

K43

备案号: 3984—1999

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 402—1999

eqv IEC 56: 1987

代替 DL/T 402—91

交流高压断路器订货技术条件

High-voltage alternating current circuit-breakers

1999-08-02 批准

1999-10-01 实施

## 前 言

交流高压断路器是开关设备众多品类中的主导产品,也是一系列高压成套装置中的主要元件。它能在系统故障与非故障情况下实现多种操作,是电力系统最主要的操作与保护装置。它的性能及其考核方法、考核装置历来受到首要的关注。

国际上,交流高压断路器的标准为 IEC 56 (1987)《高压交流断路器》,现正在修订中。

我国于 1964 年制定了 JB518—64《交流高压断路器》及 JB519—64《交流高压断路器的操动机构》,它们源于前苏联标准 Г ОСТ 687—41《交流高压断路器》。这是当时的机械部标准。

1989 年,我国制定了 GB1984—89《交流高压断路器》国标。由于运行部门有一些问题未能及时充分反映,由原水电部高压开关设备标准化技术委员会于 1985 年制定了水电部标准 SD132—85《交流高压断路器技术条件》,又于 1991 年修订为电力行业标准 DL/T402—91,后者沿用至今,已经过去 5 年。

科技进步使产品在品种、特性上发生许多变化,一些品类退居次要地位,另一些品类正在飞速发展。标准也在随之变化,标准既要去约束产品使它健康发展,又要去推动产品,加快发展。

国际上,IEC 56(1987)已有修订意见发布,见 17A/438/CD [即 17A(s)392—1995] (1995.2.28)。之后,又发布了第 3 号修订件(1996.9)。本文考虑了这些文件的内容。

原电力工业部于 1995 年初提出,标准应及时修订。本标准修订经开关标委会秘书处 1995 年提出,1996 年立项,于 1996~1997 年进行修订,并尽可能采用国际上的通用准则。因此,本标准将 DL/T402—91 予以彻底修改,章节安排等同于 IEC 56 (1987),凡能引用者一律不变,凡需要按国情补充者一律加注“采用说明”,使本标准“等效”采用国际标准,在原则上逐步一致。

近 15 年来,开关标委会秘书处组织人力完成了下列论证任务:发热,绝缘水平,燃弧时间差,开、合感应电动机,开、合空载变压器,开、合变压器二次侧的短路故障,近区故障开断过程,开关柜内绝缘及凝露,真空断路器电寿命特性的表征值,气体绝缘金属封闭开关设备的泄漏与水汽(受潮),冲击电压的耐压试验方法(雷电与操作),首开极因数,合分时间,关合过程等。本标准中已将这些内容列入。这显示,我国标准既充分引用了国际上的一般规定,也反映了本国的研究水平。

本标准由中国电力科学研究院高压开关研究所提出。

本标准由电力行业高压开关设备标准化技术委员会归口。

本标准修订工作组单位及成员如下:

负责单位:中国电力科学研究院高压开关研究所 曹荣江、顾霓鸿、袁大陆、盛 勇

参加单位:中国电力企业联合会 姚抚城

|            |         |
|------------|---------|
| 华北电管局      | 祝鸿绪     |
| 华东电管局      | 刘兆林     |
| 河北省电力局     | 李志鹏     |
| 湖北省电力试验研究所 | 冯永华     |
| 吉林省电力试验研究所 | 万家震     |
| 清华大学       | 徐国政     |
| 北京开关厂      | 钱予圭、卢国平 |
| 福州第一开关厂    | 周 鼎     |
| 天水长城开关厂    | 胡 亮     |
| 东北电管局      | 于 波     |
| 广东省电力局     | 朱根良     |

本标准起草人：曹荣江、顾霓鸿。

本标准由电力行业高压开关设备标准化技术委员会秘书处负责解释。

## IEC 前 言

1)IEC 在技术问题上的正式决议或协议，是由各技术委员会代表了对这些问题特别关切的所有国家委员会提出的，它们尽可能地表达出对所涉及的问题在国际上的一致意见。

2)这些决议或协议以推荐标准的形式供国际上使用，并在此意义上为各国家委员会所接受。

3)为了促进国际上的统一,IEC 希望所有国家委员会在其本国条件许可范围内,采用 IEC 推荐标准的内容作为他们的国家规则。IEC 推荐标准和相应的国家规则之间的任何分歧，应尽可能在国家规则中明确指出。

## 序

本标准由 IEC17(开关设备和控制设备)技术委员会下设的 17A(高压开关设备和控制设备)分委员会起草。

本文为 IEC56 出版物的第四版，它取代 IEC56—1，56—2，56—3，56—4，56—4A，56—5 和 56—6 出版物以及它们的各项修订。

本标准的内容是以下列文件为基础的：

| 六 个 月 法      | 表 决 报 告      | 六 个 月 法                | 表 决 报 告      |
|--------------|--------------|------------------------|--------------|
| 17A(CO)145   | 17A(CO)149   | 17A(CO)175             | 17A(CO)185+A |
| 17A(CO)155   | 17A(CO)169   | 17A(CO)176, I, II, III | 17A(CO)186+A |
| 17A(CO)156   | 17A(CO)170   | 17A(CO)177             | 17A(CO)187+A |
| 17A(CO)157   | 17A(CO)171   | 17A(CO)178             | 17A(CO)188   |
| 17A(CO)159+A | 17A(CO)172   | 17A(CO)179             | 17A(CO)190   |
| 17A(CO)160   | 17A(CO)167   | 17A(CO)180             | 17A(CO)191   |
| 17A(CO)161   | 17A(CO)165   | 17A(CO)181             | 17A(CO)192   |
| 17A(CO)173   | 17A(CO)183+A | 17A(CO)195             | 17A(CO)201   |
| 17A(CO)174   | 17A(CO)184+A | 17A/467/FDIS           | 17A/480/RVD  |

更详细的资料可以在上列文件中指出的相应表决报告中找到。

增补的条款均从序号 101 编起，附录及其插图命名为 AA，BB 等。

## 第一篇 使用条件、定义、额定值、结构和设计

### 1 范围与引用标准

#### 1.1 范围

本标准适用于设计安装在户内或户外并运行在频率为 50Hz、标称电压 6kV~500kV 系统的交流断路器<sup>1]</sup>。

采用说明：

1] IEC 规定为 60Hz, 1000V 以上。根据我国情况, 改为 50Hz, 6kV~500kV。

2] 新加。

它仅适用于三相系统中的三极断路器和单相系统中的单极断路器。

本标准也适用于断路器的操动机构及其辅助设备。然而, 本标准不包括直接依靠人力操动机构合闸的断路器, 因为它不能确保关合额定短路关合电流, 从安全上考虑, 依靠人力操作方式或许是应该反对的。

本标准不包括电力牵引设备的移动电站中的断路器。

注

1 验证各种不正常条件下的性能试验应遵循制造厂和用户之间的协议。

2 超出本标准的要求由用户和制造厂协商。凡气体绝缘金属封闭开关设备、SF<sub>6</sub> 断路器、真空断路器、厂用电和发电机断路器等有超过本标准的要求时, 在相应的专门标准中另行规定<sup>2]</sup>。

#### 1.2 引用标准

下列标准所包含的条文, 通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时, 所示版本均为有效。所有标准都会被修订, 使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

|                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| GB156—93        | 额定电压                    |
| GB311.1—1997    | 高压输变电设备的绝缘配合            |
| GB/T2900.20—94  | 电工术语 高压开关设备             |
| BG4473—1996     | 交流高压断路器的合成试验            |
| GB4585.2—91     | 交流系统用高压绝缘子人工污秽试验方法 固体层法 |
| GB7354—87       | 局部放电测量                  |
| GB7674—1996     | 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备  |
| DL/T403—91      | 10~35kV 户内高压真空断路器订货技术条件 |
| DL/T486—92      | 交流高压隔离开关订货技术条件          |
| DL/T593—1996    | 高压开关设备的共用订货技术条件         |
| DL/T615—1997    | 交流高压断路器参数选用导则           |
| IEC50(441)—1984 | 电工术语 高压开关设备和熔断器         |

采用说明：

1] 我国环境条件与 IEC 694 的一般规定略不同。

2] 根据 IEC 前言序规定, 增补的条款均从序号 101 编起。

3] 术语中尽可能引用中国标准 GB/T 2900.20—94。

### 2 正常和特殊使用条件

见电力行业标准 DL/T 593—1996 第 3 章规定<sup>1]</sup>。

### 3 定义

本条款参照了 GB/T 2900.20—94(以下简称, “2900.20”)和 IEC 50 (441)—1984(以下简称 “441”)。

对本标准来说,适用的定义如下。

### 3.101<sup>2)</sup> 通用术语<sup>3)</sup>

#### 3.101.1 高压开关设备和控制设备 High-voltage switchgear and controlgear (2900.20 3.2)

#### 3.101.2 户内高压开关设备和控制设备 Indoor high-voltage switchgear and controlgear(2900.20 3.3)

#### 3.101.3 户外高压开关设备和控制设备 Outdoor high-voltage switchgear and controlgear(2900.20 3.4)

#### 3.101.4 短路电流 Short-circuit current (2900.20 2.9)

#### 3.101.5 中性点绝缘系统 Isolated neutral system

除了经极高阻抗的指示、测量或保护装置接地之外,不与地连接的系统。

#### 3.101.6 谐振接地系统 Resonant earthed system; 经消弧线圈接地系统 System earthed through an arc-suppression coil

中性点经电抗器接地的系统,该电抗值为,当单相对地故障时通过电抗器的工频感性电流基本上抵消了接地故障电流的工频容性分量。

**注:**系统谐振接地时,故障处的剩余电流被限制到大气中故障电弧通常能自灭的程度。

#### 3.101.7 中性点直接接地系统 Earthed neutral system

中性点直接接地系统,直接或者经足够低值的电阻或电抗接地,以显著地减少瞬态振荡并改善接地故障保护的选择性。

#### 3.101.8 接地故障因数 Earth fault factor

在三相系统的选定地点(通常是设备的安装点)以及对于给定的系统结构,接地故障(在一相或多相的任一点发生的)时健全相最高相对地工频电压有效值与无故障时在该选定地点获得的相对地工频电压有效值之比。

**注**

1 该系统为纯数值比(大于1),它概括地表征了从上述地点观察到的系统的接地条件,而与选定地点的实际运行电压值无关。

该“接地故障系数”是 $\sqrt{3}$ 和过去曾使用过的“接地系数”之积。

2 接地故障系数是以从选定地点观察到的系统的相序阻抗分量来计算的,对旋转电机则采用次瞬变电抗。

3 对于所有已在运行的系统结构,如果零序电抗小于正序电抗的3倍以及零序电阻不超过正序电抗,则接地故障系数将不超过1.4。

#### 3.101.9 周围空气温度 Ambient air temperature (2900.20 2.39)

#### 3.101.10 温升(断路器部件的) Temperature rise (of a part of a circuit breaker)

部件温度和周围空气温度之差。

#### 3.101.11 单个电容器组 single capacitor bank

一组并联的电容器组,当其投入时涌流被电源系统的电感及其电容所限制,没有靠近到足以显著增加涌流的其他电容器并联在系统中。

#### 3.101.12 多个(并联)电容器组(背对背电容器组) Multiple (parallel) capacitor bank (back-to-back capacitor bank)

一组并联的电容器或电容器组合,它的各个单元可独立地投入或退出电源系统,已经接入电源的电容器会显著地增加该单元的涌流。

#### 3.101.13 过电压(系统中) Overvoltage (in a system)

相对地或相间电压,其峰值超过开关设备额定电压相应的峰值。

#### 3.101.14 失步条件 Out-of-phase conditions

分处在断路器两侧电力系统之间失去或缺乏同步的不正常回路条件。在该条件下，在断路器操作瞬间，代表两侧电压的旋转矢量间的相位角超过了正常值，并且可能达到  $180^\circ$  (反相)。

#### 3.101.15 失步(作为特性参数的前缀) Out-of-phase (as prefix to a characteristic quantity)

一种限定术语，表示特性参数适用于断路器在失步条件下的操作。

#### 3.101.16 单元试验 Unit test

在一个或一组关合或开断单元上进行的试验，其关合电流或开断电流为断路器整极试验的规定值，而其外施电压或恢复电压为断路器整极试验规定值的适当部分。

#### 3.101.17 半波 Loop

由两个连续的电流零点所包含的电流波部分。

注：大半波与小半波之间的区别，取决于两个连续的电流零点之间的时间间隔，比电流交流分量的半周期长些或短些。

#### 3.101.18 近区故障 Short-line fault

在架空线上离断路器端子距离短，但有明显影响处的短路。

注：通常这一距离不超过几公里。

#### 3.101.19 功率因数(回路的) Power factor(of a circuit)

想象成电感和电阻串联的等效回路，在工频下的电阻与阻抗之比。

#### 3.101.20 外绝缘 External insulation

空气间隙和设备的固体绝缘的外露表面，它们承受电压的作用并受大气以及其他外界条件的影响(诸如污秽、潮湿、兽虫害等)。

#### 3.101.21 内绝缘 Internal insulation

设备内部的固体、液体或气体绝缘部分，它不受大气和其他外界条件的影响。

#### 3.101.22 自恢复绝缘 Self-restoring insulation

破坏性放电后，能完全恢复其绝缘性能的绝缘。

#### 3.101.23 非自恢复绝缘 Non-self-restoring insulation

破坏性放电后，丧失或不能完全恢复其绝缘性能的绝缘。

#### 3.101.24 破坏性放电 Disruptive discharge

在电压作用下与绝缘失效有关的现象，在试验中，放电全部桥接了绝缘，电极间的电压降低到零或接近零。

注

1 本术语适用于固体、液体和气体介质及其组合体中的放电。

2 固体介质中的破坏性放电导致绝缘强度的永久丧失(非自恢复绝缘)；在液体或气体介质中，其绝缘强度丧失可能只是暂时的(自恢复绝缘)。

3 当破坏性放电发生在气体或液体介质中时，使用术语“火花放电”(Spark over)。当破坏性放电发生处在气体或液体介质中的固体绝缘表面时，使用术语“闪络”(flash over)。当破坏性放电穿过固体绝缘发生时，使用术语“击穿”(Puncture)。

### 3.102 开关 Switching devices

#### 3.102.1 开关 Switching device (441 14-01)

##### 3.102.2 机械开关 Mechanical switching device (441 14-02)

##### 3.102.3 断路器 Circuit-breaker (2900.20 3.13)

##### 3.102.4 外壳接地断路器 Dead tank circuit-breaker (2900.20 3.14)

##### 3.102.5 外壳带电断路器 Live tank circuit-breaker (2900.20 3.15)

##### 3.102.6 油断路器 Oil circuit-breaker (2900.20 3.17)

##### 3.102.7 真空断路器 Vacuum circuit-breaker (2900.20 3.21)

- 3.102.8 磁吹断路器 Magnetic blow-out circuit-breaker (2900.20 3.19)  
3.102.9 SF<sub>6</sub> 断路器 Sulphur hexafluoride circuit-breaker (2900.20 3.20)  
3.102.10 压缩空气断路器 Air-blast circuit-breaker (2900.20 3.16)  
3.102.11 无重击穿断路器 Restrike-free circuit-breaker

在容性电流开断过程中无重击穿的断路器。

注：由于重击穿具有统计特性，当经过本标准试验证明为无重击穿断路器时，在运行中也仍然有重击穿的可能。

- 3.102.12 E1 级断路器<sup>1]</sup> Circuit-breakers class E1

不属于 3.102.13 中 E2 级断路器之外者。

- 3.102.13 E2 级断路器<sup>2]</sup> Circuit-breakers class E2

主回路灭弧元件在其使用期中不需要维护，而其余部件维护工作量为最少的断路器。

注

1] 维护工作量为最少，指的是诸如润滑、更换气体、以及清除外表面等。

2] 本条规定只适用于额定电压在 40.5kV 及以下的断路器。

采用说明：

1] 根据 IEC 56 第 3 号修订件增加的。

2] 根据 IEC56 第 3 号修订件增加的。

### 3.103 断路器的部件

- 3.103.1 极 Pole (2900.20 2.23)

3.103.2 主回路 Main circuit (2900.20 2.24)

3.103.3 控制回路 Control circuit (2900.20 2.25)

3.103.4 辅助回路 Auxiliary circuit (2900.20 2.26)

3.103.5 触头 Contact (2900.20 4.1)

3.103.6 触片 Contact piece (441 15-06)

3.103.7 主触头 Main contact (2900.20 4.4)

3.103.8 弧触头 Arcing contact (2900.20 4.5)

3.103.9 控制触头 Control contact (2900.20 4.6)

3.103.10 辅助触头 Auxiliary contact (2900.20 4.7)

3.103.11 辅助开关 Auxiliary switch (2900.20 4.28)

3.103.12 “a”触头，接通触头 “a” contact, make contact (2900.20 4.8)

3.103.13 “b”触头，分断触头 “b” contact, break contact (2900.20 4.9)

3.103.14 滑动触头 Sliding contact (2900.20 4.11)

3.103.15 滚动触头 Rolling contact (2900.20 4.12)

3.103.16 脱扣器 Release (2900.20 4.29)

3.103.17 灭弧室 Arc extinguishing device (2900.20 4.15)

3.103.18 位置指示装置(指示器) Position indicating device (indicator) (2900.20 4.40)

3.103.19 连接(螺栓或等效的) Connection(bolted or the equivalent)

两个或更多的导体用螺钉、螺栓或等效的方法紧固在一起以保证回路的持久连通性。

- 3.103.20 端子 Terminal

用来连接断路器与外部导体的一种组件。

- 3.103.21 (关合或开断)单元 (Making or breaking) unit

断路器的一种部件，它本身的作用就象断路器，它和一个或多个相同的并同时操作的关合或开断单元串联构成完整的断路器。

注

- 1 关合单元和开断单元可以是分开的或组合的。每一单元可以有几个触头。
- 2 控制各单元间电压分布的方法可各不相同。

### 3.103.22 积木式组件(断路器一极的) Module (of a pole of a circuit-breaker)

通常由关合或开断单元、支柱绝缘子和机械零件组成的一种装配,并且与其他相同的装配作机械和电气的连接,以构成断路器的一极。

### 3.104 操作

#### 3.104.1 操作 Operation (2900.20 5.1)

##### 3.104.2 操作循环 Operating cycle (2900.20 5.5)

##### 3.104.3 操作顺序 Operating sequence (2900.20 5.6)

##### 3.104.4 合闸操作 Closing operation (2900.20 5.3)

##### 3.104.5 分闸操作 Opening operation (2900.20 5.2)

##### 3.104.6 自动重合闸 Auto-reclosing (2900.20 5.7)

##### 3.104.7 正向分闸操作 Positive opening operation (441 16-11)

#### 3.104.8 正向驱动操作 Positively driven operation (441 16-12)

##### 3.104.9 与人力有关的操作 Dependent manual operation (2900.20 5.9)

##### 3.104.10 动力操作 Dependent power operation (2900.20 5.10)

#### 3.104.11 贮能操作 Stored energy operation

借助于开关操作前贮存在机构本身的足够完成预定条件下所规定操作循环的能量而进行的一种操作。

##### 3.104.12 与人力无关的操作 Independent manual operation (2900.20 5.12)

##### 3.104.13 合闸位置 Closed position (2900.20 5.32)

##### 3.104.14 分闸位置 Open position (2900.20 5.33)

##### 3.104.15 固定脱扣断路器 Fixed trip circuit-breaker (2900.20 4.47)

##### 3.104.16 自由脱扣断路器 Trip-free circuit-breaker (2900.20 4.48)

##### 3.104.17 瞬时脱扣 Instantaneous release (2900.20 4.31)

##### 3.104.18 关合电流脱扣器 Making-current release

在合闸操作中,如果关合电流超过预定值,允许断路器无任何故障时延地分闸,而断路器在合闸位置时就不动作的一种脱扣器。

##### 3.104.19 过电流脱扣器 Over-current release (2900.20 4.30)

##### 3.104.20 定时限过电流脱扣器 Definite time-delay over-current release (2900.20 4.32)

##### 3.104.21 反时限过电流脱扣器 Inverse time-delay over-current release (2900.20 4.33)

##### 3.104.22 直接过电流脱扣器 Direct over-current release (2900.20 4.34)

##### 3.104.23 间接过电流脱扣器 Indirect over-current release (2900.20 4.35)

##### 3.104.24 分励脱扣器 Shunt release (2900.20 4.38)

##### 3.104.25 欠电压脱扣器 Under-voltage release (2900.20-4.39)

##### 3.104.26 反向电流脱扣器(仅用于直流) Reverse current release (d.c.only)

##### 3.104.27 动作电流(过电流脱扣器的) Operating current (of an over-current release)

##### 3.104.28 电流整定值(过电流脱扣器的) Current setting (of an over-current release)

##### 3.104.29 电流整定范围(过电流脱扣器的) Current setting range (of an over-current release)

##### 3.104.30 防跳跃装置 Anti-pumping device (2900.20-4.24)

##### 3.104.31 联锁装置 Interlocking device (2900.20-4.25)

##### 3.104.32 带防止合闸闭锁的断路器 Circuit-breaker with lock-out preventing closing

### 3.105 断路器的特性参数

注

1 图 1～图 7 解释了本条的某些定义。

2 时间参量(见 3.105.32～3.105.46 的定义)用毫秒或周波数表示。当用周波数表示时，应在括号内说明工频频率。

3 在断路器装有分、合闸电阻的情况下，如果合适，把开、合主电流的触头时间参量同开、合电流受分、合闸电阻限制的触头的时间参量加以区别。

4 除非另有规定，时间参量系指开合主电流的触头而言。

#### 3.105.1 额定值 Rated value

一般为制造厂对一种组件、装置或设备按规定的运行条件所指定的一种特性参数的值。

#### 3.105.2 预期电流(回路的并对断路器而言的) Prospective current (of a circuit and with respect to a circuit-breaker) (2900.20-6.6)

##### 3.105.3 预期峰值电流 Prospective peak current

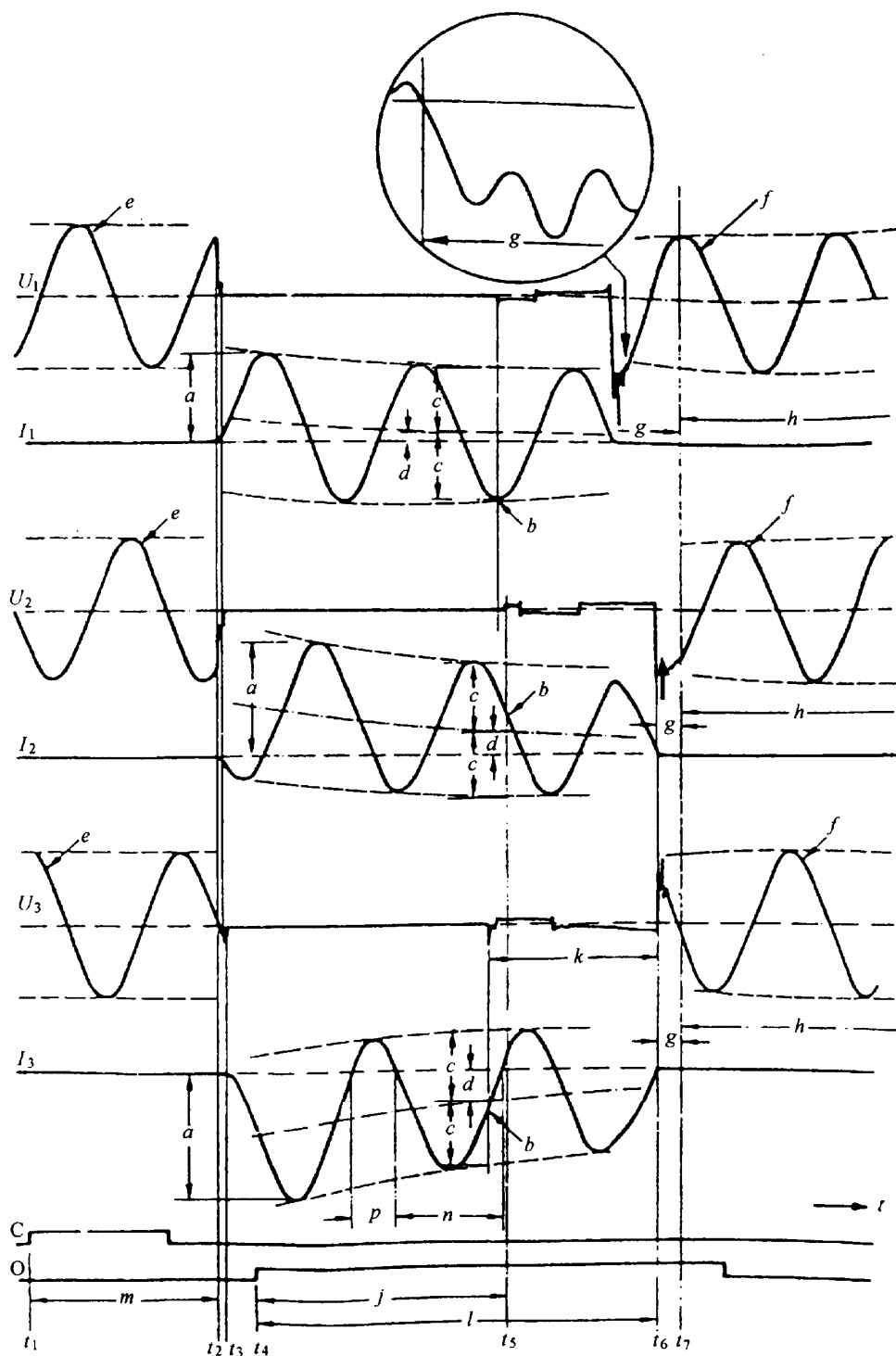
在电流出现后的瞬态过程中预期电流第一个大半波的峰值。

注：本定义假定用理想断路器关合电流，即断路器各极端子间的阻抗从无穷大同时瞬变到零。一极与另一极的峰值可以不同，它取决于电流出现瞬间对应的各极端子间的电压波形。

##### 3.105.4 峰值电流 Peak current

在电流出现后的瞬态过程中电流第一个大半波的峰值。

##### 3.105.5 预期对称电流(交流回路的) Prospective symmetrical current(of an a.c.circuit)



$U_1$ —首开极端子间的电压； $I_1$ —首开极电流； $U_2, U_3$ —另两极端子间的电压；  
 $I_2, I_3$ —另两极的电流；C—合闸指令，即合闸回路端子间的电压；  
O—分闸指令，即分闸脱扣器端子间的电压； $t_1$ —合闸操作的起始瞬间；  
 $t_2$ —主回路开始通过电流的瞬间； $t_3$ —所有极都有电流的瞬间； $t_4$ —分闸脱扣器带电的瞬间；  
 $t_5$ —所有极的弧触头都已分离的瞬间(或起弧的瞬间)； $t_6$ —所有极中最后灭弧的瞬间；  
 $t_7$ —最后开断极上瞬态电压现象已消失的瞬间； $a$ —(峰值)关合电流； $b$ —开断电流；  
 $c$ —交流分量的峰值； $d$ —直流分量； $e$ —外施电压； $f$ —恢复电压； $g$ —瞬态恢复电压(重击穿电压)；

$h$ —工频恢复电压； $j$ —分闸时间； $k$ —燃弧时间； $l$ —开断时间； $m$ —关合时间；  
 $n$ —大半波； $p$ —小半波

图 1 三相短路 C—O 循环的典型示波图

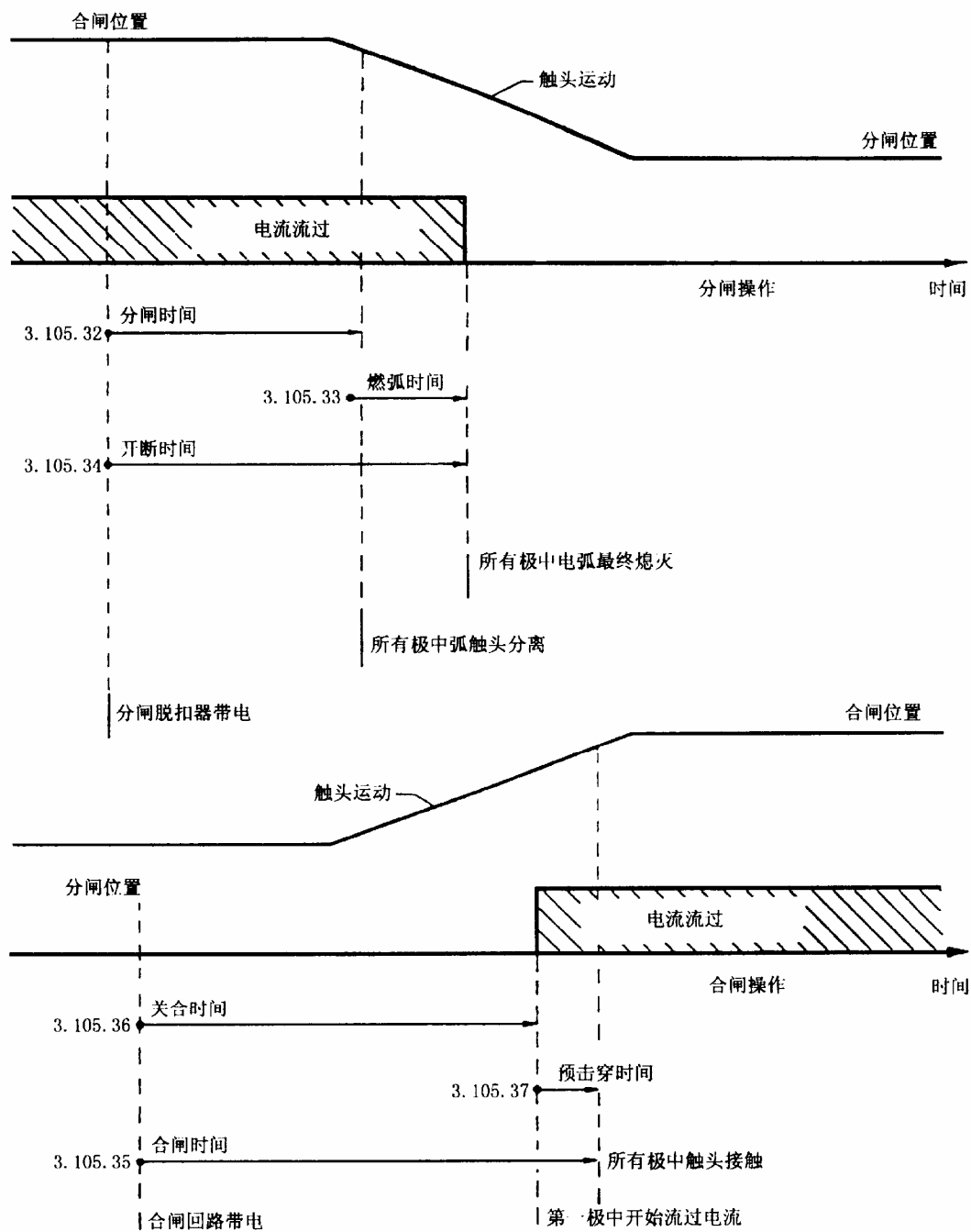


图 2 不带分合闸电阻的断路器，O 和 C 操作

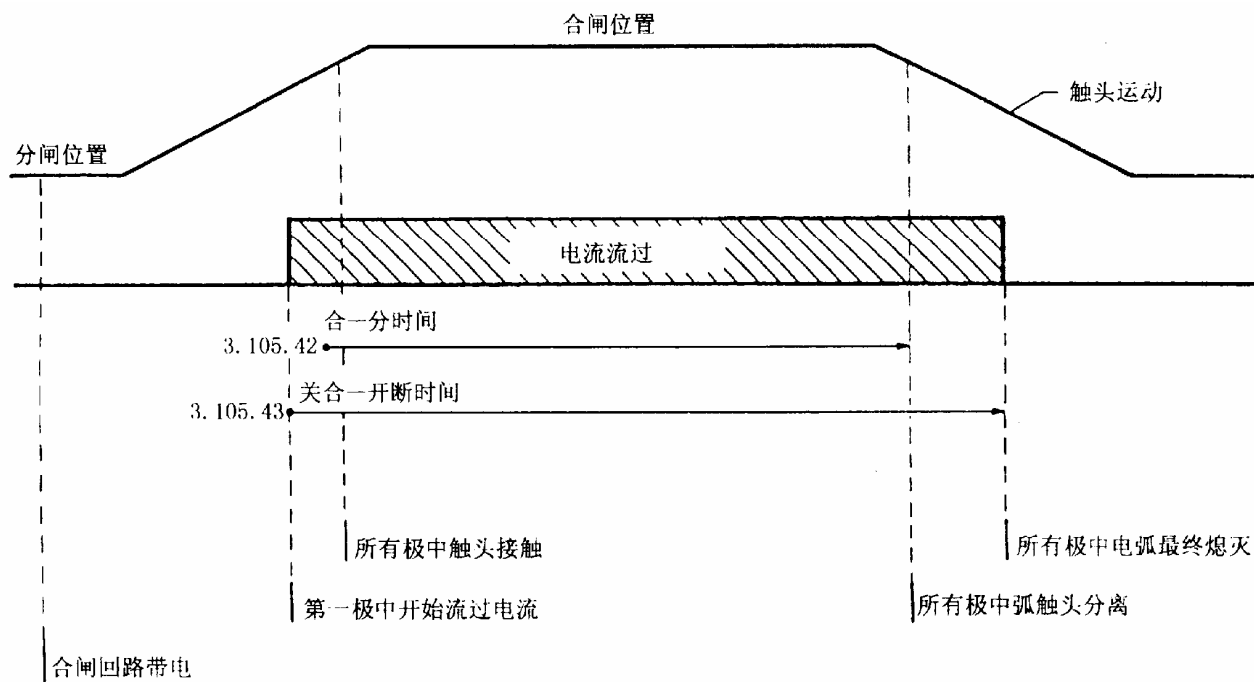


图3 不带分、合闸电阻的断路器，C—O 循环

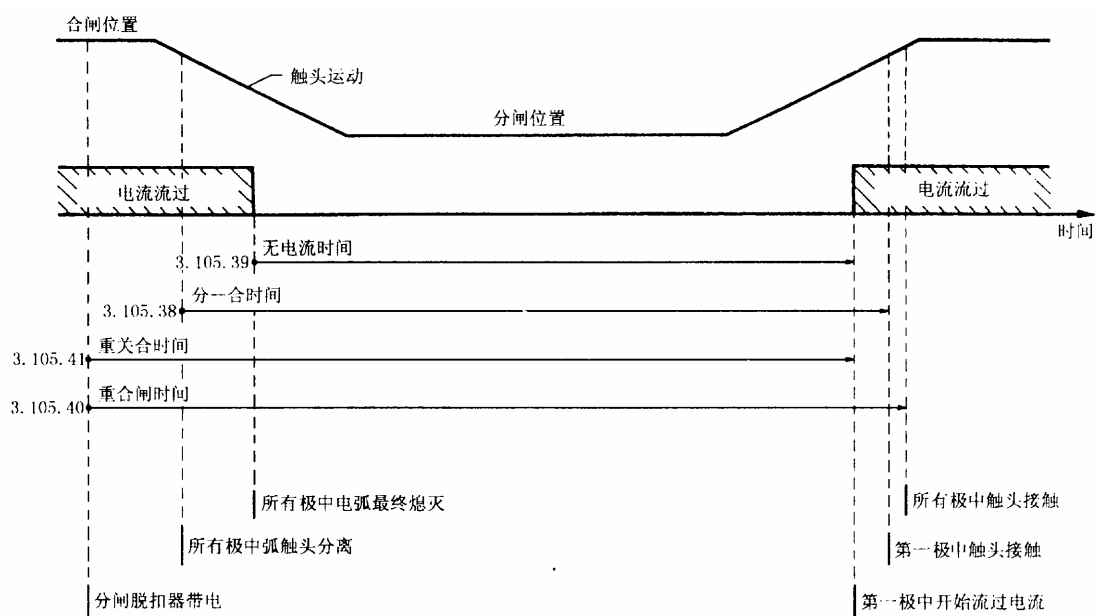


图4 不带分、合闸电阻的断路器，重合闸(自动重合闸)

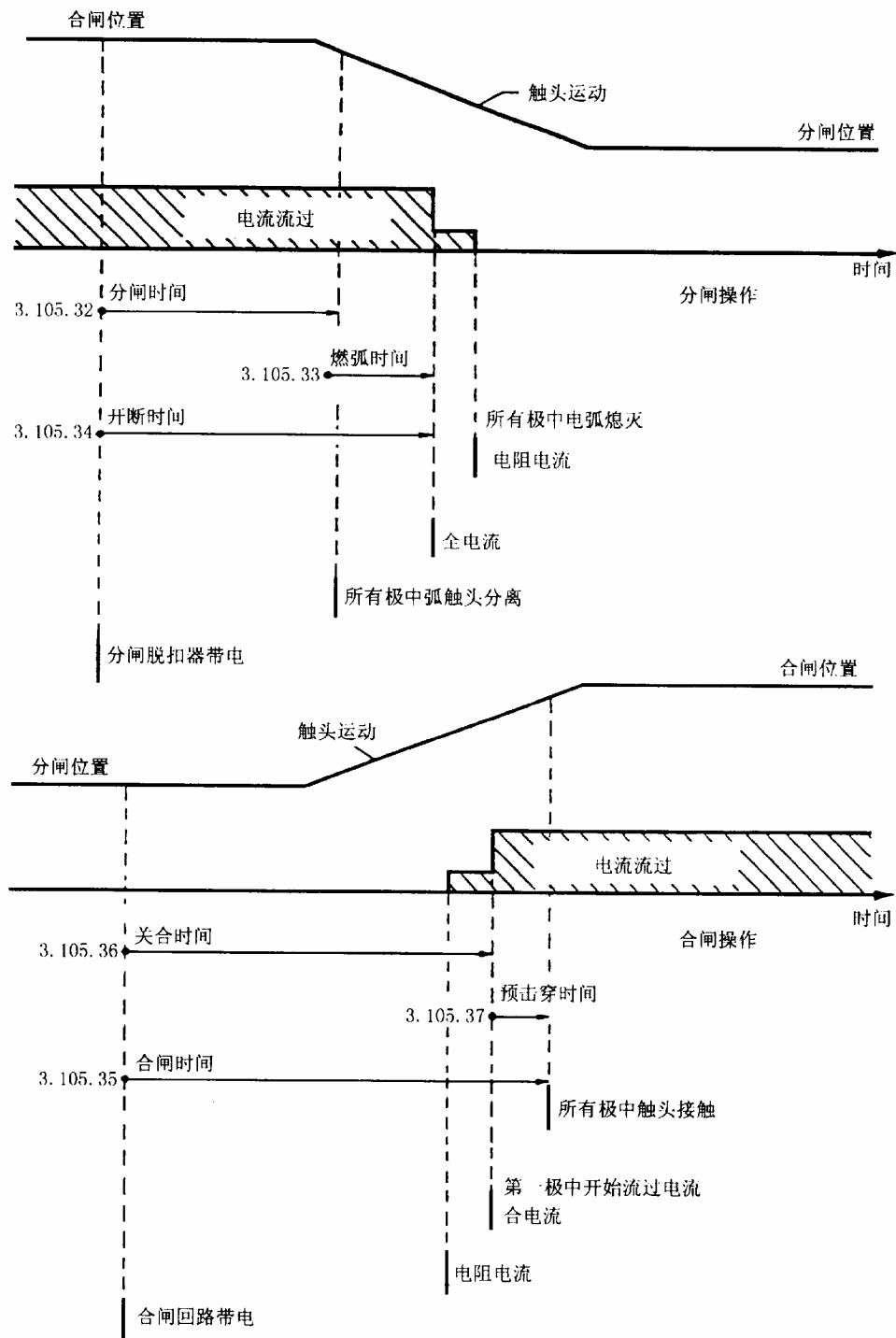


图5 带分、合闸电阻的断路器，O 和 C 操作

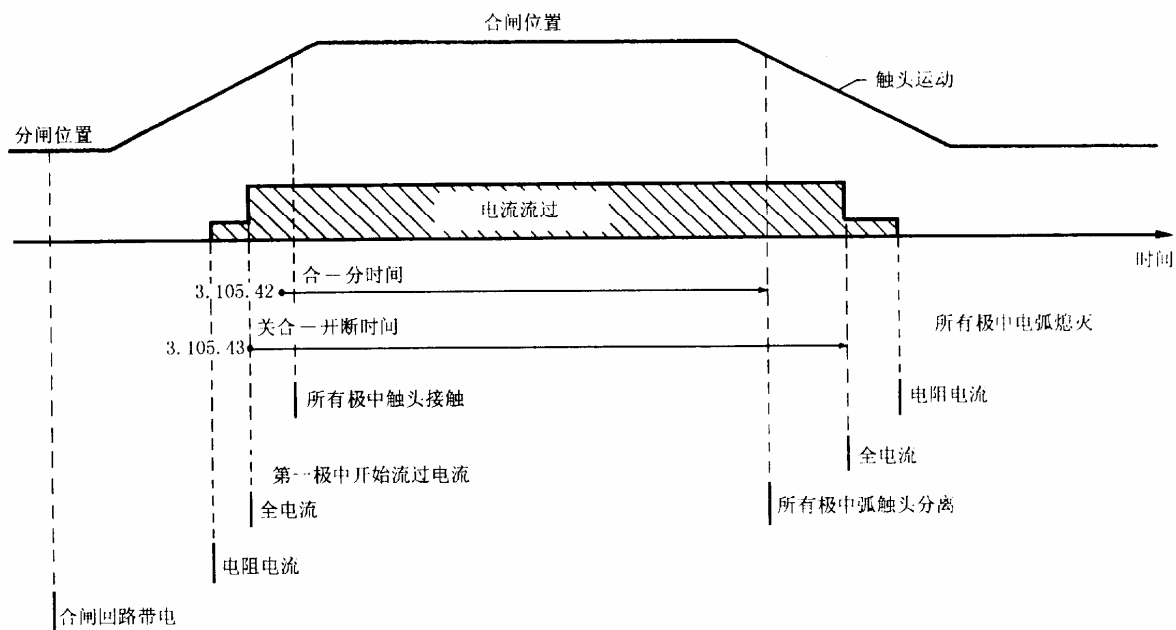


图 6 带分、合闸电阻的断路器，C—O 循环

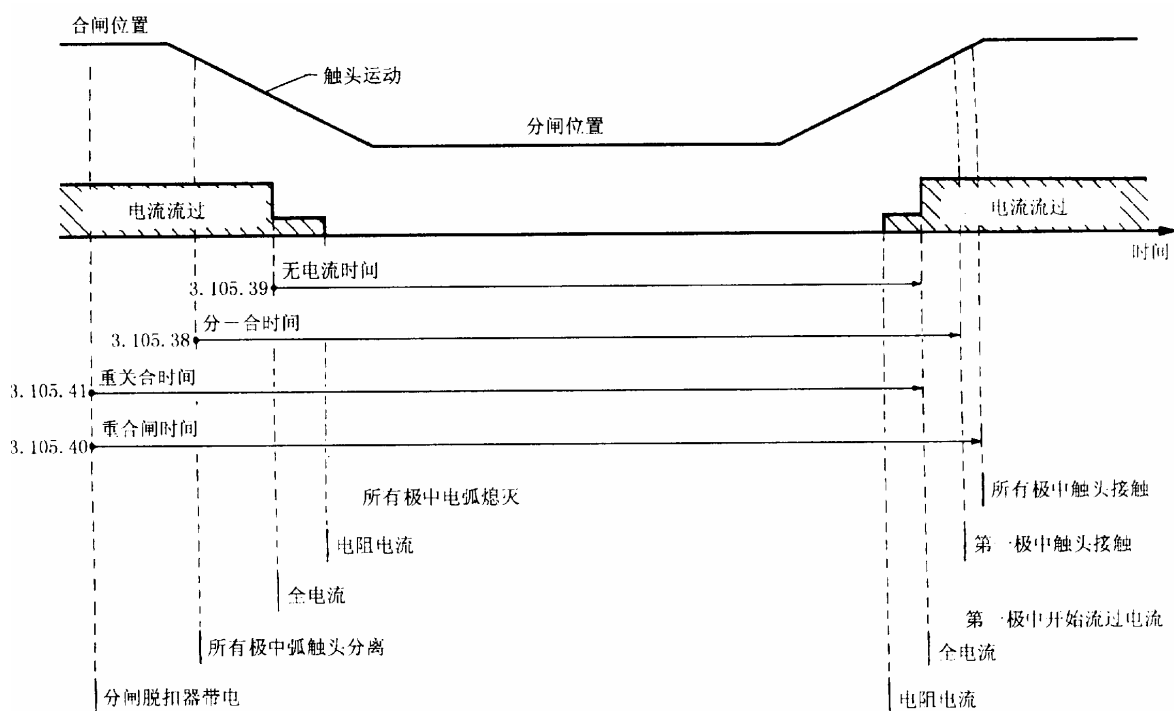


图 7 带分、合闸电阻的断路器，重合闸(自动重合闸)

3.105.6 最大预期峰值电流(交流回路的) Maximum prospective peak current (of an a.c.circuit) (2900.20 6.8)

3.105.7 预期关合电流(对于断路器一极的) Prospective making current(for a pole of a circuit-breaker) (441 17-05)

3.105.8 (峰值)关合电流 (Peak) making current

关合操作时，在电流出现后的瞬态过程中，流过断路器一极的电流的第一个大半波的峰值。

注

1 一极与另一极以及一次操作与另一次操作的峰值可以不同,因为它取决于电流出现瞬间对应的外施电压波形。

2 除非另有规定,在多相回路中,单一的(峰值)关合电流值系指任意相中的最大值。

3.105.9 预期开断电流(对于断路器一极的) Prospective breaking current (of a pole of a circuit-breaker)

开断过程中,在对应于电弧起始瞬间求得的预期电流。

3.105.10 开断电流 Breaking current (2900.20 6.17)

3.105.11 临界(开断)电流 Critical (breaking) current

比额定短路开断电流小的开断电流值,在该电流值下,其燃弧时间最长,且比之额定短路开断电流下有明显增长。

3.105.12 开断能力 Breaking capacity (441 17-08)

3.105.13 线路充电(空载线路)开断能力 Line-charging (line off-load) breaking capacity

在规定的使用 and 性能条件中,包含了开断空载运行的架空线的工况的一种开断能力。

3.105.14 电缆充电(空载电缆)开断能力 Cable-charging (cable off-load) breaking capacity

在规定的使用 and 性能条件中,包含了开断空载运行的电缆的工况时的一种开断能力。

3.105.15 电容器组开断能力 Capacitor bank breaking capacity

在规定的使用 and 性能条件中,包含了开断电容器组的工况的一种开断能力。

3.105.16 关合能力 Making capacity (2900.20 7.14)

3.105.17 失步(关合或开断)能力 Out-of-phase(making or breaking) capacity

在规定的使用 and 性能条件中,包含了断路器两侧电网间失去或缺乏同步的工况时的一种关合或开断能力。

3.105.18 短路关合能力 Short-circuit making capacity (2900. 20 5.18)

3.105.19 短路开断能力 Short-circuit breaking capacity (2900.20 5.17)

3.105.20 短时耐受电流 Short-time withstand current (2900.20 7.19)

3.105.21 峰值耐受电流 Peak withstand current (2900.20 7.20)

3.105.22 外施电压 Applied voltage (2900.20 6.13)

3.105.23 恢复电压 Recovery voltage (2900.20 6.30)

3.105.24 瞬态恢复电压(TRV) Transient recovery voltage (TRV) (441 17-26)

3.105.25 预期瞬态恢复电压(回路的) Prospective transient recovery voltage (of a circuit)(441 17-29)

3.105.26 工频恢复电压 Power frequency recovery voltage (441 17-27)

3.105.27 峰值电弧电压 Peak arc voltage (441 17-30)

3.105.28 间隙净距 Clearance (2900.20 2.35)

3.105.29 极间净距 Clearance between poles (2900.29 2.26)

3.105.30 对地净距 Clearance to earth (2900.20 2.37)

3.105.31 触头开距 Clearance between open contacts (2900.20 5.22)

3.105.32 分闸时间 Opening time

断路器的分闸时间是根据下述的脱扣方法定义的,与断路器构成一个整体的任何时延装置均调整到它的最小整定值:

(1)对用任何形式辅助动力脱扣的断路器,分闸时间是处于合闸位置的断路器,从分闸脱扣器带电瞬间起到所有各极的弧触头都已分离瞬间为止的时间间隔。

(2)对用主回路电流而不借助任何形式的辅助动力脱扣的断路器,分闸时间是处于合闸位置的断路器,从主回路电流达到过电流脱扣器动作电流的瞬间起到所有各极的弧触头都已

分离瞬间为止的时间间隔。

注

1 分闸时间可以随开断电流而显著变化。

2 对于每极装有多灭弧单元的断路器，所有各极弧触头都已分离的瞬间是以最后分的一极的首开单元触头分离的瞬间确定的。

3 分闸时间包括断路器分闸必需的并与断路器构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

3.105.33 燃弧时间 Arcing time (2900.20 6.52)

3.105.34 开断时间 Break time (2900.20 6.54)

3.105.35 合(闸)时间 Closing time

从接到合(闸)指令瞬间起到所有极触头都接触瞬间的时间间隔。

注

1 合(闸)时间包括断路器合闸所必需的并与断路器构成一整体的任何辅助设备的动作时间；

2 对装有并联电阻的断路器，需把与并联电阻串联的触头都接触瞬间前的合闸时间和主触头都接触瞬间前的合(闸)时间作出区别。

除非另有说明，合(闸)时间就是指直到主触头都接触瞬间的时间。

3.105.36 关合时间 Make time

处于分闸位置的断路器，从合闸回路带电起到某一极中首先流过电流瞬间为止的时间间隔。

注

1 关合时间包括断路器合闸必需的并和断路器构成一个整体的任何辅助设备的动作时间。

2 关合时间可以由于预击穿时间的变化而不同。

3.105.37 预击穿时间 Pre-arcing time

合闸操作时，从一极开始流过电流瞬间起到所有各极触头均接触瞬间为止的时间间隔。

注

1 预击穿时间取决于规定的合闸操作时的外施电压的瞬时值，因而可以有显著的变化。

2 断路器的预击穿时间定义不应与熔断器的弧前时间定义混淆。

3.105.38 分—合时间(自动重合闸时) Open-close time (during auto-reclosing)

所有各极的弧触头都已分离的瞬间和重合闸操作时某一极触头首先接触瞬间之间的时间间隔。

3.105.39 无电流时间(自动重合闸时) Dead time (during auto-reclosing)

在分闸操作中，从所有各极的电弧最终熄灭到随后的合闸操作中任意极首先重新出现电流之间的时间间隔。

注：无电流时间可以由于预击穿时间的变化而不同。

3.105.40 重合闸时间 Reclosing time

重合闸操作时，分闸时间的起始瞬间和所有各极中触头均接触瞬间之间的时间间隔。

3.105.41 重关合时间 Re-make time (during reclosing)

分闸时间的起始瞬间和随后的合闸操作中任意极首先重新出现电流瞬间之间的时间间隔。

注：重关合时间可以由于预击穿时间的变化而不同。

3.105.42 合—分时间 Close-open time

合闸操作中，某一极触头首先接触的瞬间和随后的分闸操作中所有极弧触头都分离瞬间

之间的时间间隔。

注：除非另有规定，即认为与断路器组合的分闸脱扣器是在某一极触头首先接触瞬间通电。这是最短合一分时间。

3.105.43 关合—开断时间 Make-break time

合闸操作时，从某一极中电流首先流通起到随后的分闸操作时燃弧时间结束为止的时间间隔。

注

1 除非另有规定，即认为断路器的分闸脱扣器是在关合时主回路中电流开始通过后半周波通电。应该注意，使用较短动作时间的继电器可能使断路器承受超过在 6.106.5 中规定的非对称电流。

2 关合—开断时间可以由于预击穿时间的变化而不同。

3.105.44 预接入时间 preinsertion time

各极中自合闸电阻触头接通到该极中开断元件主触头接通之间的时间间隔。

注：当断路器由几个相互串联的开断单元构成一极时，预接入时间表示最后一个合闸电阻接通的瞬间到最后一个主开断单元触头闭合瞬间之间的时间间隔。

3.105.45 最短脱扣指令持续时间 Minimum trip duration

为保证完成断路器的分闸，辅助电源施加到分闸脱扣器上所需的最短时间。

3.105.46 最短合闸指令持续时间 Minimum close duration

为保证完成断路器的合闸，辅助电源施加到合闸装置上所需的最短时间。

3.105.47 复燃 Re-ignition (2900.20 2.14)

3.105.48 重击穿 Restrike (2900.20 2.15)

3.105.49 正常电流 Normal current

在规定的使用 and 性能条件下，断路器主回路能够连续承载的电流。

3.105.50 峰值因数(线路瞬态电压的) Peak factor (of the line transient voltage)

近区故障电流开断后，架空线一相线路对地瞬态电压的最大幅值与起始值之比。

注：瞬态电压的起始值对应于该极灭弧瞬间的电压。

3.105.51 首开极因数(三相系统的，断路器安装处的) First-pole -to-clear factor(of a three-phase system, at the location of a circuit-breaker)

在断路器安装处两相短路时(可接地或不接地)，该处完好相和另两相之间的工频电压与短路消除后同一处相对中性点电压之比。

3.105.52 绝缘水平 Insulation level

表示断路器绝缘能力的耐受电压值(一个或多个)。

3.105.53 工频耐受电压 Power frequency withstand voltage

在规定的条件和规定的时间下进行试验时，断路器能耐受的正弦工频电压的有效值。

3.105.54 冲击耐受电压 Impulse withstand voltage

在规定的试验条件下，断路器的绝缘能耐受的标准冲击电压波的峰值。

注：根据波形，该术语可以称作“操作冲击耐受电压”或“雷电冲击耐受电压”。

4 断路器的基本分类和额定值

断路器的分类如表 1<sup>[1]</sup>。

采用说明：

1] 增加了表 1。

表 1 断路器分类

|      |                        |
|------|------------------------|
| 基本类别 | 多油，少油，空气，六氟化硫，磁吹，真空，产气 |
| 装置地点 | 户内，户外                  |

|         |                     |
|---------|---------------------|
| 能否自动重合闸 | 能，不能                |
| 操动机构    | 手力贮能，电磁，液压，弹簧，气动，永磁 |

断路器在正确的维护和调整条件下，应能耐受运行中发生的全部应力，只要这些应力不超过断路器的额定特性。

用来决定额定值的断路器及其操动机构和辅助设备的特性如下：

- a)额定电压；
- b)额定绝缘水平；
- c)额定频率；
- d)额定电流；
- e)额定短时耐受电流；
- f)额定峰值耐受电流；
- g)额定短路持续时间，对于未装直接过电流脱扣器的断路器而言；
- h)合闸和分闸机构以及辅助回路的额定电源电压；
- i)合闸和分闸机构以及辅助回路的额定电源频率；
- j)操作及灭弧用压缩气体源的额定气压(如采用时)；
- k)额定短路开断电流；
- l)出线端故障的额定瞬态恢复电压；
- m)额定短路关合电流；
- n)额定操作顺序；
- o)额定时间参量；
- p)额定近区故障特性，对额定电压在 72.5kV 及以上，且额定短路开断电流大于 12.5kA，设计成直接与架空输电线连接的三极断路器；
- q)额定线路充电开断电流，用来开合架空输电线的三极断路器；
- r)额定失步开断电流；
- s)额定电缆充电开断电流；
- t)额定单个电容器组开断电流；
- u)额定背对背电容器组开断电流；
- v)额定电容器组关合涌流；
- w)额定小感性开断电流；
- x)额定异相接地的开合试验 <sup>1]</sup>；
- y)二次侧短路开断的试验 <sup>2]</sup>；
- z)噪声及无线电干扰水平 <sup>3]</sup>。

采用说明：

1] 新加。

2] 新加。

3] 新加。

4] 按我国条件提出。

5] 按我国条件提出。

#### 4.1 额定电压

采用 DL/T 593—1996 中 4.2.1<sup>4]</sup> 的规定。

#### 4.2 额定绝缘水平

采用 DL/T 593—1996 中 4.2.2 及其表 4 的值 <sup>5]</sup>。

#### 4.3 额定频率

采用 DL/T 593—1996 中 4.2.3 的规定。

#### 4.4 额定电流和温升

采用 DL/T 593—1996 中 4.2.4.1 及 4.2.4.2 的规定。

如果断路器装有串联附件，例如直接过电流脱扣器，则附件的额定电流是该附件在额定频率下能连续通过而不会劣化的电流有效值，同时其温升不超过 DL/T 593—1996 中 4.2.4.2 表 5 的规定值。

#### 4.5 额定短时耐受电流

采用 DL/T 593—1996 中 4.2.5 的规定，同时增加下列规定：

额定短时耐受电流等于额定短路开断电流。

#### 4.6 额定峰值耐受电流

采用 DL/T 593—1996 中 4.2.6 的规定，并增加下列规定：

额定峰值耐受电流等于额定短路关合电流。

#### 4.7 额定短路持续时间

采用 DL/T 593—1996 中 4.2.7 的规定，并增加下列规定：

对于装有直接过电流脱扣器的断路器不一定规定短路持续时间，如果断路器接到预期开断电流等于其额定短路开断电流的回路中，则当断路器的过电流脱扣器整定到最大时延时，该断路器应能在按照额定操作顺序操作，且在与该延时相应的开断时间内，承载通过的电流。

#### 4.8 合闸和分闸机构以及辅助回路的额定电源电压

采用 DL/T 593—1996 中 4.2.8 的规定。

#### 4.9 合闸和分闸机构以及辅助回路的额定电源频率

采用 DL/T 593—1996 中 4.2.9 的规定。

#### 4.10 操作和灭弧用压缩气体源的额定压力

DL/T 593—1996 中 4.2.10 适用于操作用压缩气体源的额定压力。

对于灭弧用压缩气体源的额定压力不作规定。

#### 4.101<sup>1]</sup> 额定短路开断电流

额定短路开断电流，是在本标准规定的使用和性能条件下，在工频恢复电压对应于断路器的额定电压和瞬态恢复电压等于 4.102 规定的额定值的回路中，断路器应能开断的最大短路电流。三极断路器的交流分量由三相短路确定。如需要时，应考虑 4.105 关于近区故障的规定。

额定短路开断电流由两个值来表征：

a) 交流分量有效值；

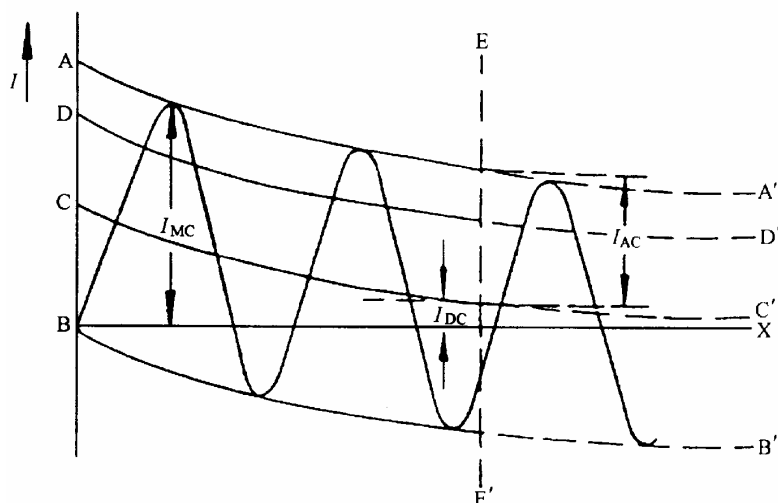
b) 直流分量百分数。

采用说明：

1] 根据 IEC 前言序规定，增补的条款均从序号 101 编起。

注：如果直流分量不超过 20%，额定短路开断电流仅由交流分量有效值来表征。

交流和直流分量的确定见图 8。



AA'、BB' — 电流波的包络线； BX—正常零线； CC' —任一瞬间电流波零线的偏移；  
DD' —由 CC' 测量的任一瞬间电流交流分量的有效值；  
EE' —触头分离的瞬间(开始燃弧)；  $I_{MC}$ —关合电流；

$I_{AC}$ —在 EE' 瞬间电流交流分量的峰值；  $\frac{I_{AC}}{\sqrt{2}}$  —在 EE' 瞬间电流交流分量的有效值；

$I_{DC}$ —在 EE' 瞬间电流的直流分量；  $\frac{I_{DC} \times 100}{I_{AC}}$  —直流分量的百分数

图 8 短路关合和开断电流以及直流分量的百分数的确定

在上述条件下，断路器应能开断直到额定短路开断电流的任一短路电流，该电流包含直到额定值的任一交流分量和随之产生的直到规定值的任一百分数的直流分量。

断路器应能：

- a)在电压低于或等于额定值时，断路器应能开断其额定短路开断电流；
- b)在电压高于额定值时，短路开断电流不予保证，但 4.106 项规定的范围除外。

#### 4.101.1 额定短路开断电流的交流分量

额定短路开断电流的交流分量有效值应从下列数值中选取：

6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100kA。

注：以上数值选自 R10 数系，如果需要，也应从该数系中选取比所示的更大的数值。

#### 4.101.2 额定短路开断电流的直流分量

直流分量百分数应决定如下：

- (1)对于不借助任何形式的辅助动力而由短路电流就能脱扣的断路器，直流分量百分数对应的的时间间隔  $\tau$  等于断路器的最小分闸时间  $T_{op}$ 。
- (2)对于指定仅由辅助动力脱扣的断路器，直流分量百分数对应的的时间间隔  $\tau$  等于断路器的最小分闸时间  $T_{op}$  加额定频率的半个周波  $T_r$ 。

上述最小分闸时间，是断路器在任何运行条件下，不管在开断操作中，还是在关合一开断操作中，能达到的最小分闸时间，由制造厂规定。

直流分量百分数%dc 决定于时间间隔  $\tau$ ，图 9 给出了它的标准值，曲线的计算公式为：

$$\%dc=100e^{-\frac{\tau}{T}}$$

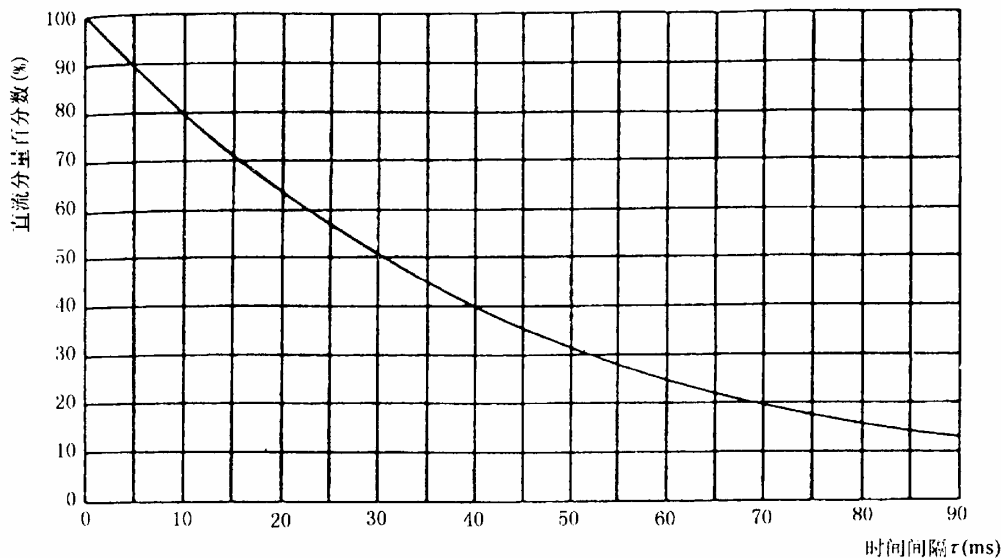


图 9 直流分量百分数与时间间隔  $\tau$  的关系( $T=45\text{ms}$ )

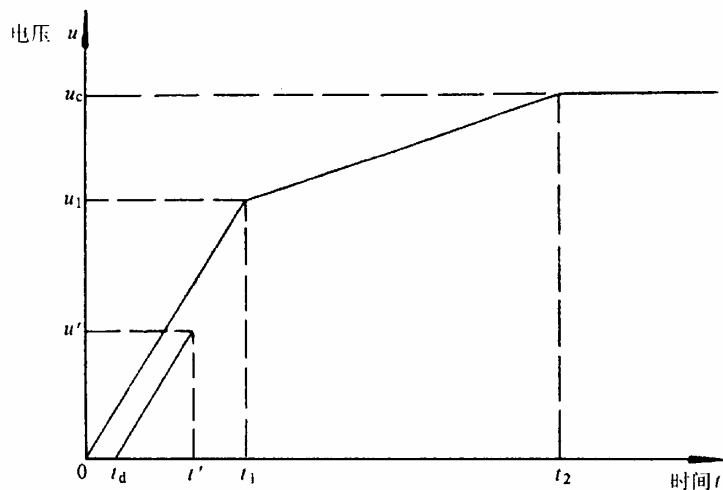


图 10 由四参数参考线和时延线表示规定的瞬态恢复电压(TRV)

注：在不同的系统条件下，例如靠近发电机的断路器，相应于断路器分闸时间的直流分量百分数可能比图 9 所给出的值高些。图 9 是在忽略短路电流交流分量的衰减以及直流分量在 10ms 内其值按指数衰减至 80%，即时间常数约为 45ms 的基础上作出的。故在此情况下，所要求的直流分量百分数应在咨询书中予以规定，并且应按制造厂与用户的协议做试验。根据需要，时间常数  $T$  也可分为 60ms、75ms 或 120ms。

#### 4.102 出线端故障的额定瞬态恢复电压

按照 4.101 的规定，与额定短路开断电流有关的出线端故障额定瞬态恢复电压(TRV)是一种参考电压，它构成了断路器在出线端短路时应能开断的回路预期瞬态恢复电压的极限值。

##### 4.102.1 瞬态恢复电压波形的表示

瞬态恢复电压波形因实际回路的布置不同而异。

在某些情况下，特别是电压高于 100kV 的系统中，短路电流相对于所考虑点的最大短路电流而言是比较大的，瞬态恢复电压包括一个高上升率的起始阶段，继之而来的后一阶段上升率比较低。这种波形一般适宜于用四参数法确定的三条线段所组成的包络线来表示。

在另外一些情况下，特别是在电压低于 100kV 的系统中，或系统电压虽高于 100kV 而短路电流相对较小且经变压器供电的条件下，瞬态恢复电压接近于一种阻尼的单频振荡波，这种波形适宜用于两参数确定的两条线段所组成的包络线来表示。

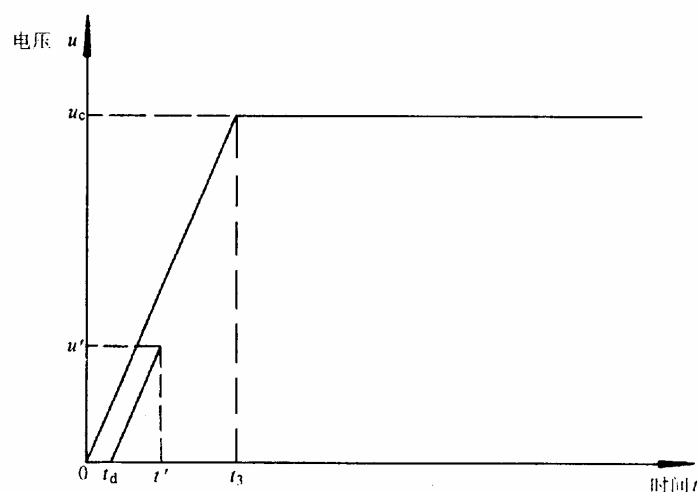


图 11 由两参数参考线和时延线表示规定的瞬态恢复电压(TRV)

两参数表示法是四参数表示法的一种特殊情况。

由于断路器电源侧局部电容的影响，在 TRV 最初几微秒内产生了一个较低电压上升率，这一影响用引入一个时延来考虑。

TRV 波形的每一部分都可能影响断路器的开断能力。对某些型式的断路器，TRV 的最开始部分可能是重要的。TRV 的这个部分，称为起始瞬态恢复电压(ITRV)，是由沿着母线从第一个主要不连续点来的反射波形成的低幅值起始振荡引起的。ITRV 主要是由变电所的母线和线路间隔结构决定的。ITRV 是一种与近区故障非常相似的物理现象。与近区故障相比，其第一个电压波峰稍微低，但到达第一个电压波峰的时间极短，即在电流零点后最初几微秒内。因此，热开断的状态可能会受影响。

如果断路器有一近区故障额定值，只要近区故障试验是用无时延的线路进行的，对 ITRV 的要求就可考虑已包括在内(见 6.104.5.2)。

由于 ITRV 正比于母线波阻抗和电流，对于波阻抗较小的金属封闭开关设备(GIS)和额定短路开断电流小于 25kA、额定电压小于 100kV 的所有开关设备，可忽略对 ITRV 的要求。

#### 4.102.2 TRV 的表示

TRV 用下列参数表示：

##### (1)四参数参考线(见图 10)：

$u_1$ ——第一参考电压，kV；

$t_1$ ——到达  $u_1$  的时间， $\mu s$ ；

$u_c$ ——第二参考电压(TRV 峰值)，kV；

$t_2$ ——到达  $u_c$  的时间， $\mu s$ 。

##### (2)两参数参考线(见图 11)：

$u_c$ ——参考电压(TRV 峰值)，kV；

$t_3$ ——到达  $u_c$  的时间， $\mu s$ 。

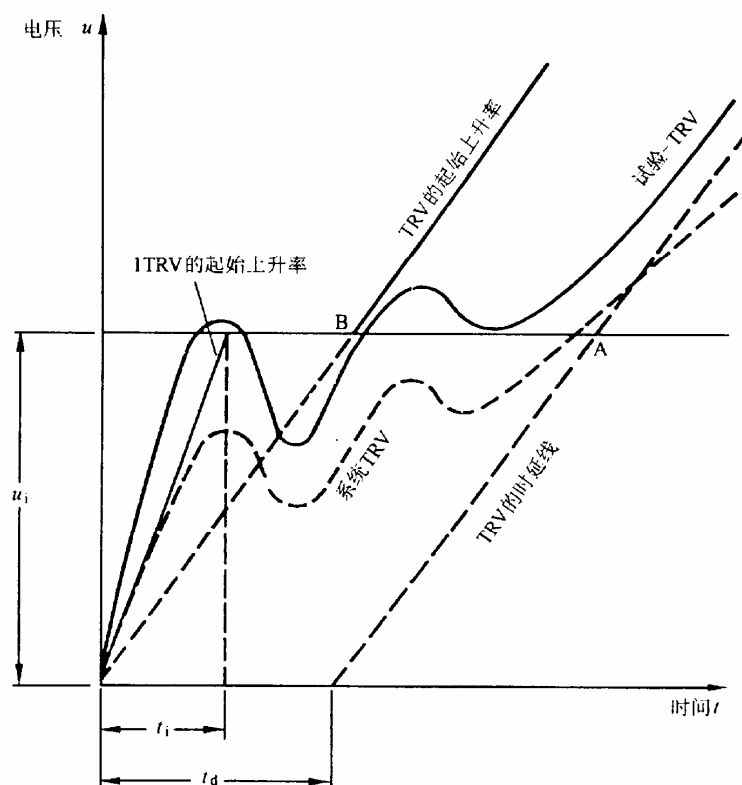
##### (3)TRV 的时延线(见图 10 和图 11)：

$t_d$ ——时延， $\mu s$ ；

$u'$ ——参考电压，kV；

$t'$ ——到达  $u'$  的时间， $\mu s$ 。

时延线在时间轴上的额定时间处开始，与额定 TRV 参考线的第一段平行，并在电压  $u'$  (时间坐标  $t'$ ) 处终止。



A—ITRV 包络线与 TRV 时延线的交点；

B—ITRV 包络线与 TRV 包络线的交点

图 12 ITRV 的表示及其与 TRV 的关系

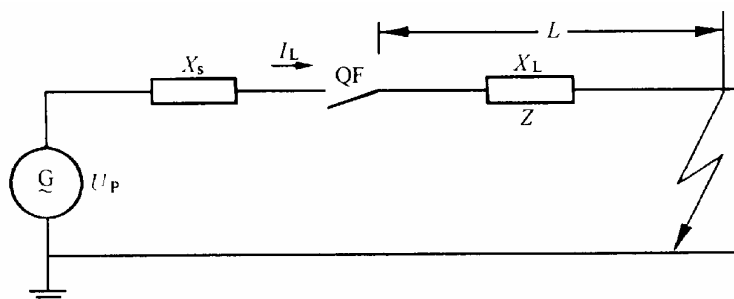
(忽略了在  $t=0$  时 TRV 的微小位移)

(4)ITRV(见图 12):

$u_i$ ——参考电压(ITRV 峰值), kV;

$t_i$ ——到达  $u_i$  的时间,  $\mu s$ 。

ITRV 的上升率决定于开断的短路电流，而其幅值决定于沿母线到第一个不连续点的距离。额定 ITRV 表示为：在坐标原点与  $(u_i, t_i)$  点之间画的直线和从  $(u_i, t_i)$  点作水平线与规定的 TRV 时延线在 A 点相交的直线。



$G$ —电源； $X_s$ —电源侧电抗； $U_p$ —相对地电压值； $U/\sqrt{3}$ ； $X_L$ —线路侧电抗；

$I_L$ —近区故障电流； $Z$ —线路波阻抗； $QF$ —断路器； $L$ —到故障点的线路长度

图 13 近区故障回路

4.102.3 额定 TRV 的标准值

额定电压 100kV 以下的三极断路器的额定 TRV 标准值用两参数法表示。对于额定电压 100kV 及以上，采用四参数法表示。

各电压等级，在各种电流值下开断时的 TRV 特性值列于表 2～表 4 中。各特性参数的计算方法取自 IEC 56 (1987)4.102.3，6.104.5.2，6.104.5.3，6.104.5.4，6.104.5.5。

表 2～表 4 中  $K_{pp}$  为首开极因数；“ $K_{fa}$ ”为工频恢复电压的振幅系数；“%”为开断电流百分数(以额定短路开断电流为 100%计)。

采用说明：

1] 根据我国电压等级和 IEC 的规定算法计算出的 TRV 参数集中放在表 1～表 3 三个表中，便于引用。

表 2 用两参数法表示的 TRV 特性参数(7.2kV～72.5kV)<sup>1]</sup>

| $U$<br>kV | 开断电流的百分数<br>% | $K_{pp}$ | $u_c$<br>kV | $t_3$<br>$\mu s$ | $t_d$<br>$\mu s$ | $u'$<br>kV | $t'$<br>$\mu s$ | $u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ | $K_{fa}$ |
|-----------|---------------|----------|-------------|------------------|------------------|------------|-----------------|--------------------------|----------|
| 7.2       | 100           | 1.5      | 12          | 51               | 8                | 4.1        | 25              | 0.24                     | 1.4      |
| 7.2       | 60            | 1.5      | 13          | 22               | 4                | 4.4        | 12              | 0.60                     | 1.5      |
| 7.2       | 10～30         | 1.5      | 13          | 11               | 2                | 4.4        | 6               | 1.20                     | 1.5      |
| 12.0      | 100           | 1.5      | 21          | 61               | 9                | 6.9        | 29              | 0.34                     | 1.4      |
| 12.0      | 60            | 1.5      | 22          | 26               | 5                | 7.3        | 14              | 0.85                     | 1.5      |
| 12.0      | 10～30         | 1.5      | 22          | 13               | 3                | 7.3        | 7               | 1.70                     | 1.5      |
| 24.0      | 100           | 1.5      | 41          | 88               | 13               | 13.7       | 42              | 0.47                     | 1.4      |
| 24.0      | 60            | 1.5      | 44          | 38               | 8                | 14.7       | 20              | 1.16                     | 1.5      |
| 24.0      | 10～30         | 1.5      | 44          | 19               | 4                | 14.7       | 10              | 2.32                     | 1.5      |
| 40.5      | 100           | 1.5      | 69          | 116              | 17               | 23.1       | 56              | 0.60                     | 1.4      |
| 40.5      | 60            | 1.5      | 74          | 50               | 10               | 24.8       | 27              | 1.48                     | 1.5      |
| 40.5      | 10～30         | 1.5      | 74          | 25               | 5                | 24.8       | 13              | 2.96                     | 1.5      |
| 72.5      | 100           | 1.5      | 124         | 166              | (8)25            | 41.4       | (64)80          | 0.75                     | 1.4      |
| 72.5      | 60            | 1.5      | 133         | 72               | 14               | 44.4       | 38              | 1.85                     | 1.5      |
| 72.5      | 10～30         | 1.5      | 133         | 36               | 7                | 44.4       | 19              | 3.70                     | 1.5      |

表 3 用两参数法表示的 TRV 特性参数(126kV～550kV)

| $U$<br>kV | 开断电流的百分数<br>% | $K_{pp}$ | $u_c$<br>kV | $t_3$<br>$\mu s$ | $t_d$<br>$\mu s$ | $u'$<br>kV | $t'$<br>$\mu s$ | $u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ | $K_{fa}$ |
|-----------|---------------|----------|-------------|------------------|------------------|------------|-----------------|--------------------------|----------|
| 126       | 100           | 1.5      | 216         | 108              | (2)12            | 77         | (41)50          | 2                        | 1.4      |
| 126       | 100           | 1.3      | 187         | 94               | (2)10            | 67         | (35)43          | 2                        | 1.4      |
| 126       | 60            | 1.5      | 231         | 77               | (2)13            | 77         | (28)39          | 3                        | 1.5      |
| 126       | 60            | 1.3      | 201         | 67               | (2)11            | 67         | (24)33          | 3                        | 1.5      |
| 126       | 30            | 1.5      | 231         | 46               | (5)8             | 77         | (20)23          | 5                        | 1.5      |
| 126       | 10            | 1.5      | 236         | 41               | 5                | 79         | 19              | 5.8                      | 1.7      |
| 252       | 100           | 1.3      | 374         | 187              | (2)20            | 134        | (69)87          | 2                        | 1.4      |
| 252       | 60            | 1.3      | 401         | 134              | (2)22            | 134        | (47)67          | 3                        | 1.5      |

|     |     |     |      |     |       |     |          |     |     |
|-----|-----|-----|------|-----|-------|-----|----------|-----|-----|
| 252 | 30  | 1.5 | 463  | 93  | (5)15 | 154 | (36)46   | 5   | 1.5 |
| 252 | 10  | 1.5 | 472  | 67  | 8     | 157 | 31       | 7   | 1.7 |
| 363 | 100 | 1.3 | 539  | 270 | (2)29 | 193 | (98)125  | 2   | 1.4 |
| 363 | 60  | 1.3 | 578  | 193 | (2)32 | 193 | (66)96   | 3   | 1.5 |
| 363 | 30  | 1.3 | 578  | 116 | (5)19 | 193 | (44)58   | 5   | 1.5 |
| 363 | 10  | 1.5 | 680  | 82  | 10    | 227 | 37       | 8.3 | 1.7 |
| 550 | 100 | 1.3 | 817  | 409 | (2)44 | 292 | (148)190 | 2   | 1.4 |
| 550 | 60  | 1.3 | 876  | 292 | (2)49 | 292 | (99)146  | 3   | 1.5 |
| 550 | 30  | 1.3 | 876  | 175 | (5)29 | 292 | (63)88   | 5   | 1.5 |
| 550 | 10  | 1.5 | 1031 | 103 | 13    | 344 | 47       | 10  | 1.7 |

表 4 用四参数法表示的 TRV 特性参数(126kV~550kV)

| $U$<br>kV | 开断电流<br>的百分数<br>% | $K_{pp}$ | $u_1$<br>kV | $t_1$<br>$\mu s$ | $u_c$<br>kV | $t_2$<br>$\mu s$ | $t_d$<br>$\mu s$ | $u'$<br>Kv | $t'$<br>$\mu s$ | $u_1/t_1$<br>kV/<br>$\mu s$ | $K_{fa}$ |
|-----------|-------------------|----------|-------------|------------------|-------------|------------------|------------------|------------|-----------------|-----------------------------|----------|
| 126       | 100               | 1.5      | 154         | 77               | 216         | 231              | (2)12            | 77         | (41)50          | 2                           | 1.4      |
| 126       | 100               | 1.3      | 134         | 67               | 187         | 201              | (2)10            | 67         | (35)43          | 2                           | 1.4      |
| 126       | 60                | 1.5      | 154         | 51               | 231         | 231              | (2)13            | 77         | (28)29          | 3                           | 1.5      |
| 126       | 60                | 1.3      | 134         | 45               | 201         | 201              | (2)11            | 67         | (24)33          | 3                           | 1.5      |
| 126       | 30                | 1.5      | 154         | 31               | 231         | 231              | (5)8             | 77         | (20)23          | 5                           | 1.5      |
| 252       | 100               | 1.3      | 267         | 134              | 374         | 401              | (2)20            | 134        | (69)87          | 2                           | 1.4      |
| 252       | 60                | 1.3      | 267         | 89               | 401         | 401              | (2)22            | 134        | (47)67          | 3                           | 1.5      |
| 252       | 30                | 1.5      | 309         | 62               | 463         | 463              | (5)15            | 154        | (36)46          | 5                           | 1.5      |
| 363       | 100               | 1.3      | 385         | 193              | 539         | 578              | (2)29            | 193        | (98)125         | 2                           | 1.4      |
| 363       | 60                | 1.3      | 385         | 128              | 578         | 578              | (2)32            | 193        | (66)96          | 3                           | 1.5      |
| 363       | 30                | 1.3      | 385         | 77               | 578         | 578              | (5)19            | 193        | (44)58          | 5                           | 1.5      |
| 550       | 100               | 1.3      | 584         | 292              | 817         | 876              | (2)44            | 292        | (148)190        | 2                           | 1.4      |
| 550       | 60                | 1.3      | 584         | 195              | 876         | 876              | (2)49            | 292        | (99)146         | 3                           | 1.5      |
| 550       | 30                | 1.3      | 584         | 117              | 876         | 876              | (5)29            | 292        | (63)88          | 5                           | 1.5      |

表 1~表 3 给出的值都是预期值。它们适用于一般三相输配电系统中使用的断路器，系统由变压器、架空线和短电缆组成。

对于单相系统或安装在更严酷条件下使用的断路器，额定 TRV 值应遵循制造厂和用户之间的协议，特别是对于下列情况：

- a)靠近发电机回路的断路器；
- b)靠近串联电抗器的断路器。

在电源侧直接接有大型电缆网络的回路中，采用额定瞬态恢复电压上升率较低的断路器可能更经济，但在这种情况下，其数值应遵循制造厂与用户之间的协议。对于额定电压 72.5kV 及以上且额定短路开断电流超过 12.5kA，并可能要求在近区故障条件下进行操作的断路器，还有附加的要求(见 4.105)。

#### 4.102.4 126kV 及以上三相试验中第二和第三开断极的 RRRV 标准值

126kV 及以上三相试验中第二和第三开断极的 RRRV 标准值根据其首开极 TRV 标准值乘以乘积因子，这些乘积因子的值见表 5。

表 5 用于 126kV 及以上三相试验中第二和第三开断极的 RRRV 乘积因子

| 首开极因数                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 乘 积 因 子 |       |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 第二开断极   |       | 第三开断极 |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | RRRV    | $u_c$ | RRRV  | $u_c$ |
| 1.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0.7     | 0.58  | 0.7   | 0.58  |
| 1.3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0.95    | 0.98  | 0.7   | 0.77  |
| <p>注</p> <p>1 72.5kV 及以下的乘积因子正在考虑中。</p> <p>2 参阅附录 J。</p> <p>3 本表对试验方式 1、2、3、4、5 均能适用，也用于对方式 5 的首开极参数修正(见 IEC 427 标准)。</p> <p>4 表中对应于首开极因数 1.5 而言，只有当相间各极不同期性不大于 5ms 时才能成立。</p> <p>5 在计算第二、第三开断极的 RRRV 和 <math>u_c</math> 时，将首开极的 RRRV 及 <math>u_c</math> 值乘以表中的乘积因子即可。</p> <p>6 对首开极，第二、第三开断极而言，它们的 <math>t_1</math>，<math>t_2</math> 值是一样的。选用的 RRRV 乘积因子</p> <p><math>\frac{u_1}{t_1}</math></p> <p>是相对于 <math>t_1</math> 而言的。</p> |         |       |       |       |

4.102.5 额定 ITRV 的标准值

ITRV 标准值见表 6。

表 6 额定电压 126kV 及以上额定起始瞬态恢复电压的标准值

| 额定电压<br>$U$<br>kV                                                                                                                                                                                                                                                                          | 确定 $u_i$ 随短路开断电流 $I$ 有效值而变化的倍数 <sup>1)</sup><br>$f_i$<br>kV/kA | 时 间<br>$t_i$<br>$\mu s$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 126                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.046                                                          | 0.4                     |
| 252                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.069                                                          | 0.6                     |
| 363                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.092                                                          | 0.8                     |
| 550                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.116                                                          | 1.0                     |
| <p>注：表中的数值被认为概括了三相和单相故障，并以下述假定为基础：母线连同与其连接的元件(支柱绝缘子、电流互感器、电压互感器、隔离开关等)可粗略地用大约 260 <math>\Omega</math> 的波阻抗 <math>Z_i</math> 表示。<math>f_i</math> 和 <math>t_i</math> 的关系为：</p> $f_i = \sqrt{2}t_i z_i \omega$ <p>式中：<math>\omega</math> 相应于断路器的额定角频率。</p> <p>1)由本栏数值乘以短路开断电流有效值得到实际起始峰值。</p> |                                                                |                         |

4.103 额定短路关合电流

断路器的额定短路关合电流(见图 8)是与额定电压对应的，且为额定短路开断电流(见 4.101)交流分量有效值的 2.5 倍(当  $\tau=45ms$  时)。

4.104 额定操作顺序

有以下两种可供选择的额定操作顺序：

(1)O—t—CO—t'—CO。

除非另有规定，则

a)t=3min，对于不用作快速自动重合闸的断路器；

- b) $t=0.3s$ ，对于用作快速自动重合闸的断路器(无电流时间)；
- c) $t'=3min$ 。

注：用于快速自动重合闸的断路器时，也可采用  $t'=15s$ (用于额定电压小于或等于 40.5kV)和  $t'=1min$ 。

(2)CO— $t''$ —CO。

$t''=15s$ ，对不用作快速自动重合闸的断路器。此处：O 代表一次分闸操作；CO 代表一次合闸操作后立即(也就是无任何故意的时延)紧跟一次分闸操作； $t$ 、 $t'$  和  $t''$  为连续操作之间的时间间隔， $t$  和  $t'$  一般以分或秒表示， $t''$  一般以秒表示。

如果无电流时间是可调的，则应规定调整的极限。

4.105 近区故障的额定特性

对于设计用于额定电压 72.5kV 及以上、额定短路开断电流大于 12.5kA、直接与架空输电线路连接的三极断路器，要求具有近区故障额定特性。这些特性相应于在中性点直接接地系统中开断单相接地故障。

注：对于本标准来说，在相电压下的单相试验概括了所有型式的近区故障条件。中性点绝缘系统中的单相接地故障并未使断路器承受近区故障条件。

近区故障回路是由断路器电源侧的电源回路及其负载侧的一条短线路组成的(见图 13)，其额定特性如下：

(1)额定电源回路特性：

电压等于断路器的额定相电压 $U/\sqrt{3}$ 。

在出线端故障的情况下，短路电流等于断路器的额定短路开断电流。

在出线端故障的情况下，预期瞬态恢复电压的标准值在表 7 和表 8 中给出。

ITRV 特性从表 6 导出。

(2)额定线路特性：

表 9 给出了额定波阻抗  $Z$ 、额定峰值系数  $k$  和时延  $t_{dl}$  的标准值。

由额定特性计算瞬态恢复电压的方法在附录 A 中给出。

表 7 近区故障电源回路的额定瞬态恢复电压标准值  
(额定电压 72.5kV 及以下用两参数法表示)

| 额定电压<br>$U$<br>kV                                                     | TRV 峰值<br>$u_c$<br>kV | 时间<br>$t_3$<br>$\mu s$ | 时延<br>$t_d$<br>$\mu s$ | 电压<br>$u'$<br>kV | 时间<br>$t'$<br>$\mu s$ | 上升率<br>$u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 72.5                                                                  | 83                    | 166                    | 8                      | 28               | 64                    | 0.50                            |
| 注： $u_c=1.4\sqrt{\frac{2}{3}}U$ ； $t_d=0.05t_3$ ； $u'=\frac{1}{3}u_c$ |                       |                        |                        |                  |                       |                                 |

表 8 近区故障电源回路的额定瞬态恢复电压标准值  
(额定电压 126kV 及以上用四参数法表示)

| 额定电<br>压<br>$U$<br>kV | 第一参<br>考<br>电压 $u_1$<br>kV | 时间<br>$t_1$<br>$\mu s$ | TRV 峰<br>值<br>$u_c$<br>kV | 时间<br>$t_2$<br>$\mu s$ | 时延<br>$t_d$<br>$\mu s$ | 电压<br>$u'$<br>kV | 时间<br>$t'$<br>$\mu s$ | 上升率<br>$u_1/t_1$<br>kV/ $\mu s$ |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 126                   | 103                        | 51                     | 144                       | 154                    | 2                      | 51               | 28                    | 2.0                             |
| 252                   | 206                        | 103                    | 288                       | 309                    | 2                      | 103              | 53                    | 2.0                             |

|                                                                                      |     |     |     |     |   |     |     |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|
| 363                                                                                  | 296 | 148 | 415 | 445 | 2 | 148 | 76  | 2.0 |
| 550                                                                                  | 449 | 225 | 629 | 674 | 2 | 225 | 114 | 2.0 |
| 注： $u_1 = \sqrt{\frac{2}{3}}u$ ; $t_2=3t_1$ ; $u_c=1.4u_1$ ; $u' = \frac{1}{2}u_1$ 。 |     |     |     |     |   |     |     |     |

表 9 近区故障额定线路特性的标准值

| 额定电压<br>$U$<br>kV                                                                                     | 每相导线数 | 额定波阻抗<br>$Z$<br>$\Omega$ | 额定峰值<br>系数<br>$k$ | RRRV 系数 $s$      | 时延       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------|-------------------|------------------|----------|
|                                                                                                       |       |                          |                   | 50Hz             | $t_{dL}$ |
|                                                                                                       |       |                          |                   | kV/( $\mu$ s·kA) | $\mu$ s  |
| $\leq 126$                                                                                            | 1~4   | 450                      | 1.6               | 0.2              | 0.2      |
| $\geq 252$                                                                                            |       |                          |                   |                  | 0.5      |
| 注                                                                                                     |       |                          |                   |                  |          |
| 1 RRRV 系数 $s$ ，见附录 A。                                                                                 |       |                          |                   |                  |          |
| 2 断路器线路侧(例如隔离开关、电流互感器和电压互感器)的局部电容在最起始的阶段产生一个较低的线路侧电压上升率，因此考虑引入一个线路侧时延 $t_{dL}$ ，这个电容对于实际线路的波阻抗没有任何影响。 |       |                          |                   |                  |          |
| 线路侧时延和线路侧电压上升率的确定见图 14。                                                                               |       |                          |                   |                  |          |

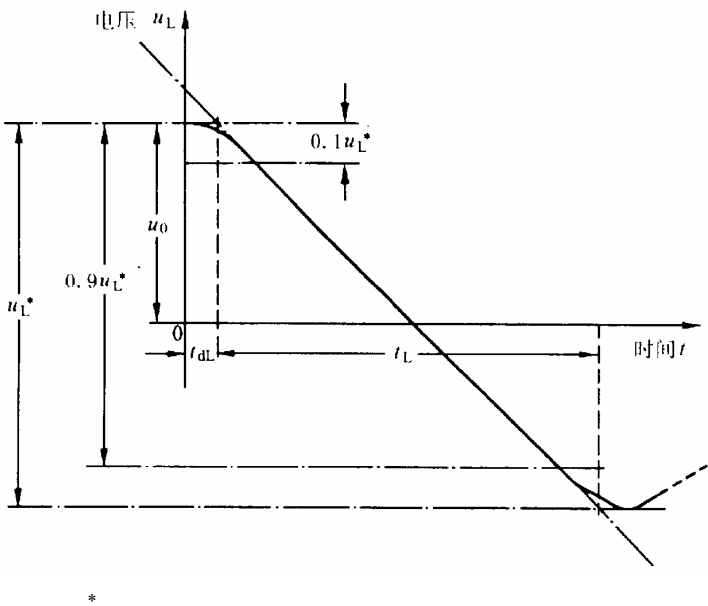


图 14 表示导出  $u_L$ ， $t_L$  及  $t_{dL}$  值图解的圆峰及带时延的线路侧瞬态电压的实例

4.106 额定失步开断电流

额定失步开断电流，是断路器在本标准规定的使用和性能条件下，在具有以下规定的恢复电压的回路中，应能开断的最大失步电流。

额定失步开断电流的规定并不是强制性的。如果指定有额定失步开断电流，则可用以下的规定：

- (1)工频恢复电压，对于中性点直接接地系统应为  $2.0/\sqrt{3}$  倍的额定电压；对于其他系统应为  $2.5/\sqrt{3}$  倍的额定电压。
- (2)瞬态恢复电压应符合：

a)表 10 用于在中性点直接接地系统以外的其他系统中使用的额定电压低于 100kV 的断路器。

b)表 11 用于在中性点直接接地系统中使用的额定电压 126kV 的断路器。

c)表 17 用于在中性点直接接地系统以外的其他系统中使用的额定电压为 126kV 的断路器。

d)表 12 用于在中性点直接接地系统中使用的额定电压为 252kV 及以上的断路器。

(3)除非另有规定，额定失步开断电流为额定短路开断电流的 25%。

关于额定失步开断电流的标准使用条件如下：

a)分闸和合闸操作应按照制造厂提供的断路器及其辅助设备的操作和正确使用的说明书进行。

b)电力系统中性点的接地条件与做过试验的断路器的接地条件相对应。

c)断路器两侧均无故障。

表 10 失步开断的额定瞬态恢复电压标准值

额定电压系列 I 用两参数法表示中性点直接接地系统

| 额定电压 $U$<br>kV                                           | TRV 峰值 $u_c$<br>kV | 时间 $t_3$<br>$\mu s$ | 上升率 $u_c/t_3$<br>kV/ $\mu s$ |
|----------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|
| 7.2                                                      | 18.4               | 102                 | 0.18                         |
| 12                                                       | 30.6               | 118                 | 0.26                         |
| 24                                                       | 61                 | 175                 | 0.35                         |
| 40.5                                                     | 103                | 235                 | 0.43                         |
| 72.5                                                     | 185                | 336                 | 0.55                         |
| 注： $u_c = 1.25 \times 2.5 \times \sqrt{\frac{2}{3}} U$ 。 |                    |                     |                              |

表 11 失步开断的额定瞬态恢复电压标准值

额定电压 126kV 用四参数法表示中性点直接接地系统

| 额定电压 $U$<br>kV                                                      | 第一参考电压 $u_1$<br>kV | 时间 $t_1$<br>$\mu s$ | TRV 峰值 $u_c$<br>kV | 时间 $t_2$<br>$\mu s$ | 上升率 $u_1/t_1$<br>kV/ $\mu s$ |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|
| 126                                                                 | 206                | 134                 | 257                | 401                 | 1.54                         |
| 注： $u_1 = 2\sqrt{\frac{2}{3}} U$ ； $t_2 = 3t_1$ ； $u_c = 1.25u_1$ 。 |                    |                     |                    |                     |                              |

表 12 失步开断的额定瞬态恢复电压标准值

额定电压 126kV 用四参数法表示中性点直接接地系统以外的系统

| 额定电压 $U$<br>kV | 第一参考电压 $u_1$<br>kV | 时间 $t_1$<br>$\mu s$ | TRV 峰值 $u_c$<br>kV | 时间 $t_2$<br>$\mu s$ | 上升率 $u_1/t_1$<br>kV/ $\mu s$ |
|----------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|
| 126            | 257                | 154                 | 321                | 462                 | 1.67                         |

$$u_1 = 2.5\sqrt{\frac{2}{3}}U$$

注：  $u_1 = 2.5\sqrt{\frac{2}{3}}U$  ;  $t_2=3t_1$ ;  $u_c=1.25u_1$ 。

表 13 失步开断的额定瞬态恢复电压标准值  
 额定电压 252kV 及以上用四参数法表示中性点直接接地系统

| 额定电压<br>$U$<br>kV                                                                                                                                                         | 第一参考电<br>压<br>$u_1$<br>kV | 时间<br>$t_1$<br>$\mu s$ | TRV 峰值<br>$u_c$<br>kV | 时间<br>$t_2$<br>$\mu s$ | 上升率<br>$u_1/t_1$<br>kV/ $\mu s$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|
| 252                                                                                                                                                                       | 419                       | 272                    | 524                   | 816                    | 1.54                            |
| 363                                                                                                                                                                       | 604                       | 392                    | 755                   | 1176                   | 1.54                            |
| 550                                                                                                                                                                       | 915                       | 594                    | 1143                  | 1782                   | 1.54                            |
| <div> <math display="block">u_1 = 2\sqrt{\frac{2}{3}}U</math> <p>注： <math>u_1 = 2\sqrt{\frac{2}{3}}U</math> ; <math>t_2=3t_1</math>; <math>u_c=1.25u_1</math>。</p> </div> |                           |                        |                       |                        |                                 |

4.107 额定线路充电开断电流<sup>1]</sup>

额定线路充电开断电流，是断路器在本标准规定的使用和性能条件下，在其额定电压下应能开断的最大线路充电电流，开断时不得重击穿，且过电压不得大于表 16 中给出的数值。额定线路充电开断电流的规定，局限于指定使用在开合三相架空线，且额定电压等于或大于 40.5kV 的断路器，其标准值在表 14 中给出。

- 采用说明：
- 1] 以下 4.107～4.110 各节中均不允许重击穿。
- 2] 新加。

表 14 额定线路充电开断电流的标准值

| 额定电压<br>$U$<br>kV  | 额定线路充电开断电流<br>$I_1$<br>A | 额定电压<br>$U$<br>kV | 额定线路充电开断电流<br>$I_1$<br>A |
|--------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|
| 40.5 <sup>2]</sup> | 6                        | 252               | 160                      |
| 72.5               | 10                       | 363               | 315                      |
| 126                | 31.5                     | 550               | 500                      |
| 注：采用紧凑型杆塔时的电流值另定。  |                          |                   |                          |

4.108 额定电缆充电开断电流

额定电缆充电开断电流，是断路器在其额定电压和本标准规定的使用和性能条件下，应能开断的最大电缆充电电流，开断时不得重击穿，且过电压不得大于表 16 中给出的数值。

断路器的额定电缆充电开断电流并非强制性的，而是应要求才规定的。如需要作规定，可按表 15 作出推荐。

表 15 额定电缆充电开断电流的标准值

| 额定电压<br>$U$<br>kV | 额定电缆充电开断电流<br>$I_c$<br>A | 额定电压<br>$U$<br>kV | 额定电缆充电开断电流<br>$I_c$<br>A |
|-------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|
| 12                | 25                       | 126               | 140                      |
| 24                | 31.5                     | 252               | 250                      |
| 40.5              | 100                      | 363               | 355                      |

| 72.5                                                   | 125 | 550 | 500 |
|--------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| 注：表中的值相应于大多数电力系统的正常最大要求值。超出这些电缆充电电流值时应遵循制造厂与用户之间的特别协议。 |     |     |     |

#### 4.109 额定单个电容器组开断电流

额定单个电容器组开断电流，是断路器在其额定电压和本标准规定的使用和性能条件下，应能开断的最大电容电流，开断时不得出现重击穿，且操作过电压不得大于表 16B 栏的数值。

此开断电流系指开合一组并联电容器的电流，断路器的电源侧并没有连接多个并联电容器。

额定单个电容器组开断电流的规定并非强制性的。

单个电容器组开断电流的额定值应从 R10 数系中选取。

#### 4.110 额定背对背电容器组开断电流

额定背对背电容器组开断电流，是断路器在其额定电压和本标准规定的使用和性能条件下，应能开断的最大电容电流，开断时不得出现重击穿，在运行中操作过电压未超过规定的最大允许值。其值在表 16 的 B 栏中给出。

此开断电流系指开合一组并联电容器的电流，断路器电源侧连接有一组或几组并联电容器，其关合涌流等于额定电容器组关合涌流。

额定背对背电容器组开断电流的规定并不是强制性的。

背对背电容器组开断电流的额定值应从 R10 数系中选取。

注：类似的条件适用于电缆的开合。

#### 4.111 额定电容器组关合涌流

额定电容器组关合涌流，是断路器在其额定电压及相应于使用条件(见附录 B)的涌流频率下，应能关合的电流峰值。

对于具有额定背对背电容器组开断电流的断路器，其额定电容器组关合涌流的规定是强制性的。

电容器组关合涌流的额定值应从 R10 数系中选取。

注

1 在运行中，涌流的频率通常在 2kHz~5kHz 范围内。

2 可以认为，断路器适用于任一涌流的频率，只要该频率低于实际试验值。

#### 4.112 额定小感性开断电流

详见 6.112。

#### 4.113 额定时间参量

对下列时间参量规定了额定值：

- a)分闸时间上下限；
- b)开断时间；
- c)合闸时间上下限；
- d)分—合时间；
- e)重合闸时间；
- f)合—分时间。

额定时间参量根据以下规定：

- g)合闸和分闸机构以及辅助回路电源电压的额定值(见 4.8)；
- h)合闸和分闸机构以及辅助回路电源频率的额定值(见 4.9)；
- i)供操作和灭弧用压缩气体源的气压额定值(见 4.10)；

- j)供操作用液压源压力的额定值；
- k)周围空气温度为(20±5)℃。

注

- 1 由于预击穿时间的不同，规定一个、关合时间或关合—开断时间的额定值，通常是不实际的。
- 2 如制造厂无明确规定，在允许的最高、最低电(气、液)压下和正常运行的周围空气温度时，各时间参量也应符合额定值。

表 16 当开断线路充电电流、电缆充电电流和电容器组开断电流时，  
最大允许操作过电压的参考值

| 额定电压<br>(有效值)<br>kV                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 额定雷电冲击<br>耐受电压<br>(峰值)<br>kV | 最大允许操作过电压(对地) |     |          |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------|-----|----------|-------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                              | A             |     | B        |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                              | 峰值<br>kV      | 标么值 | 峰值<br>kV | 标么值   |
| (1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | (2)                          | (3)           | (4) | (5)      | (6)   |
| 7.2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 60                           | 26.4          | 4.5 | 14.7     | 2.5   |
| 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | (60)                         | (29.5)        | (3) | (24.5)   | (2.5) |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 75                           | 39.2          | 4   | 24.5     | 2.5   |
| 24                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 125                          | 74            | 3.8 | 49       | 2.5   |
| 40.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 185                          | 125.65        | 3.8 | 82.7     | 2.5   |
| 72.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 325                          | 207           | 3.5 | 148      | 2.5   |
| 126                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 450                          | 309           | 3   | 257      | 2.5   |
| 252                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 850                          | 556           | 2.7 | 412      | 2     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 950                          | 617           | 3   | 412      | 2     |
| 363                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1050                         | 711           | 2.4 | 593      | 2     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1175                         | 800           | 2.7 | 593      | 2     |
| 550                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1425                         | 943           | 2.1 | 898      | 2     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1550                         | 1033          | 2.3 | 898      | 2     |
| 注<br>1 这些数值仅适用于 6.111 的试验条件。其他的过电压，例如带有残留电荷的线路的重合和开断小感性电流时出现的那些过电压以及相间过电压均不包括在本表内。<br>2 这些数值常常不能保证不发生相间闪络。<br>3 A 栏的数值适用于电力系统中开合空载的架空线路和常用的电缆线路的通用断路器。B 栏的数值适合于电力系统中开合电容器组或空载架空线路和电缆线路的专用断路器，该电力系统具有诸如避雷器、火花间隙等。<br>4 在 252kV 及以上，对中性点直接接地系统和电容器组(当电容器组有中性点时)采用 B 栏的数值。<br>5 本表中的绝缘水平是以额定雷电冲击耐受电压表示的；相应的额定工频或操作冲击耐受电压，可以由 DL/T 593—1996 中的表 4 来确定。<br>6 括号内的数值用于中性点直接接地的场所。 |                              |               |     |          |       |

#### 4.113.1 额定开断时间

断路器在辅助电源的额定电压和额定频率、气动或液压源的额定压力以及周围空气温度(20+5)℃下(见 4.113)操作时，在 6.106.2，6.106.3 和 6.106.4 的试验方式 2，3 和 4 中确定的最大开断时间应不超过额定开断时间。

注

1 根据 6.102.2，基本短路试验方式应在操动机构的最低操作电压或压力下进行。为了验证这些试验方式中的额定开断时间，所记录的最大开断时间应考虑对较低的辅助电源电压和压力作如下的修正：

$$t_b \geq t_1 - (t_2 - t_3)$$

式中： $t_b$ ——额定开断时间；

$t_1$ ——在试验方式 2，3 和 4 中所记录的最大开断时间；

$t_2$ ——在和试验方式 2，3 和 4 中所使用的相同的辅助电源电压和压缩气体源压力下所记录的空载分闸时间；

$t_3$ ——额定分闸时间。

如果按照这个程序确定的开断时间超过额定开断时间，则给出最长开断时间的试验方式，可在辅助电源的额定电压和额定频率、气动或液压源的额定压力下重复试验，如果合适，还可在灭弧介质的额定压力下进行。

2 对于模拟三相操作的单相试验，所记录的开断时间按注 1 修正后可以超过额定开断时间 0.1 周波，因为在这些情况下出现电流零点没有三相时的频繁。

3 试验方式 4 的关合一开断操作中的开断时间应不超过额定开断时间 0.5 周波。

4.114 额定值的配合

表 17～表 18 给出了额定电压(4.1)，额定短路开断电流(4.101)和额定电流(4.4)的数值配合。

表 17～表 18 并不是强制性的，而是用作优先选用的导则。因此，其他额定值配合的断路器并不排除在本表之外。

采用说明：

1] 根据我国情况对本表作了较多的补充。

表 17 断路器额定值的配合表(一)<sup>1]</sup>

| 额定电压<br>$U$<br>kV | 额定短路<br>开断电<br>流<br>$I_{sc}$<br>kA | 额 定 电 流    |     |  |      |      |  |      |      |      |
|-------------------|------------------------------------|------------|-----|--|------|------|--|------|------|------|
|                   |                                    | $I_n$<br>A |     |  |      |      |  |      |      |      |
| 7.2               | 8                                  | 400        |     |  |      |      |  |      |      |      |
|                   | 12.5                               | 400        | 630 |  | 1250 |      |  |      |      |      |
|                   | 16                                 |            | 630 |  | 1250 | 1600 |  |      |      |      |
|                   | 20                                 |            | 630 |  | 1250 | 1600 |  |      |      |      |
|                   | 25                                 |            | 630 |  | 1250 | 1600 |  | 2500 |      |      |
|                   | 31.5                               |            |     |  | 1250 | 1600 |  | 2500 | 3150 |      |
|                   | 40                                 |            |     |  | 1250 | 1600 |  | 2500 | 3150 | 4000 |
| 12                | 6.3                                | 400        |     |  |      |      |  |      |      |      |
|                   | 8                                  | 400        |     |  |      |      |  |      |      |      |
|                   | 12.5                               | 400        | 630 |  | 1250 |      |  |      |      |      |
|                   | 16                                 |            | 630 |  | 1250 | 1600 |  |      |      |      |
|                   | 20                                 |            | 630 |  | 1250 | 1600 |  |      |      |      |

|      |      |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
|      | 25   |     | 630 |     | 1250 | 1600 |      | 2500 |      |      |
|      | 31.5 |     |     |     | 1250 | 1600 |      | 2500 | 3150 |      |
|      | 40   |     |     |     | 1250 | 1600 |      | 2500 | 3150 | 4000 |
|      | 50   |     |     |     | 1250 | 1600 |      | 2500 | 3150 | 4000 |
| 24   | 8    | 400 | 630 |     | 1250 |      |      |      |      |      |
|      | 12.5 |     | 630 |     | 1250 |      |      |      |      |      |
|      | 16   |     | 630 |     | 1250 |      |      |      |      |      |
|      | 25   |     |     |     | 1250 | 1600 |      | 2500 |      |      |
|      | 31.5 |     |     |     | 1250 | 1600 |      | 2500 |      |      |
|      | 40   |     |     |     |      | 1600 |      | 2500 |      | 4000 |
| 40.5 | 8    |     | 630 |     |      |      |      |      |      |      |
|      | 12.5 |     | 630 |     | 1250 |      |      |      |      |      |
|      | 16   |     | 630 |     | 1250 | 1600 |      |      |      |      |
|      | 25   |     |     |     | 1250 | 1600 |      | 2500 |      |      |
|      | 31.5 |     |     |     | 1250 | 1600 |      | 2500 | 3150 |      |
|      | 40   |     |     |     |      | 1600 |      | 2500 |      | 4000 |
| 72.5 | 16   |     |     | 800 | 1250 |      |      |      |      |      |
|      | 20   |     |     |     | 1250 | 1600 | 2000 |      |      |      |
|      | 25   |     |     |     | 1250 | 1600 | 2000 |      |      |      |
|      | 31.5 |     |     |     | 1250 | 1600 | 2000 |      |      |      |
|      | 40   |     |     |     |      | 1600 | 2000 | 2500 |      |      |

表 18 断路器额定值的配合表(二)

| 额定电压<br>U<br>kV | 额定短路<br>开断电流<br>$I_{sc}$<br>kA | 额 定 电 流<br>$I_n$<br>A |      |      |      |      |      |      |  |  |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|--|--|
|                 |                                |                       |      |      |      |      |      |      |  |  |
| 126             | 20                             |                       | 1250 | 1600 | 2000 |      |      |      |  |  |
|                 | 25                             |                       | 1250 | 1600 | 2000 |      |      |      |  |  |
|                 | 31.5                           |                       |      | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |      |  |  |
|                 | 40                             |                       |      | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 |  |  |
|                 | 50                             |                       |      |      |      | 2500 | 3150 | 4000 |  |  |
| 252             | 31.5                           |                       | 1250 | 1600 | 2000 |      |      |      |  |  |
|                 | 40                             |                       |      | 1600 | 2000 |      | 3150 | 4000 |  |  |
|                 | 50                             |                       |      |      | 2000 |      | 3150 | 4000 |  |  |
|                 | 63                             |                       |      |      |      |      | 3150 | 4000 |  |  |
| 363             | 31.5                           |                       |      |      | 2000 |      |      |      |  |  |
|                 | 40                             |                       |      | 1600 | 2000 |      | 3150 | 4000 |  |  |
|                 | 50                             |                       |      |      |      |      |      | 4000 |  |  |
| 550             | 40                             |                       |      |      | 2000 |      | 3150 |      |  |  |
|                 | 50                             |                       |      |      | 2000 |      | 3150 | 4000 |  |  |
|                 | 63                             |                       |      |      |      |      | 3150 | 4000 |  |  |

5 设计和结构

5.1 对断路器中液体的要求

采用 DL/T 593—1996 中 5.1。

5.2 对断路器中气体的要求

采用 DL/T 593—1996 中 5.2。

5.3 断路器的接地

采用 DL/T 593—1996 中 5.3。

5.4 辅助设备<sup>[1]</sup>

采用 DL/T 593—1996 中 5.4，但增加以下几点：

采用说明：

[1] 根据 DL/T 402—91 作了较多的补充。

连接件应能承受断路器施加的应力，尤其是那些由于操作时的机械力而产生的应力。

对于户外断路器，所有辅助设备包括连线均能充分地防雨、防潮和防止凝露。

辅助开关用作位置指示器时，应指示断路器的已处静止状态的分闸或合闸最终位置。

采用的控制设备的专用元件，应在规定的辅助和控制回路电源电压及灭弧和操作介质的规定参数范围内动作，并能切换由断路器制造厂规定的负载。

辅助设备的专用元件，诸如液体指示器、压力指示器、释放阀、充放设备、加热器和闭锁的触点，应能在辅助和控制回路电源电压的规定范围内及/或在灭弧和操作介质的使用范围内操作。

加热器在额定电压下的能耗应在制造厂规定值的±10%范围内。

操动机构的控制、联动及信号电路各元件的绝缘应符合有关标准和技术条件的规定。如未加注明，应能承受 2kV，1min 的工频耐压。

操动机构的各种线圈(电动机绕组和接触器线圈除外)的匝间绝缘应能承受表 19 所规定的交流试验电压 1min。试验时用提高频率的方法将电压施加于线圈端钮上，或在被试线圈中感应以工频电压，但必须保证线圈温升不超过 DL/T 593—1996 中 6.1.10 表 11 规定的数值。

表 19 操动机构线圈 1min 交流试验电压规定值

| 线圈种类   | 直流线圈      | 交流线圈      |
|--------|-----------|-----------|
| 交流试验电压 | 2.5 倍额定电压 | 3.5 倍额定电压 |

电流互感器供电的脱扣线圈的热稳定要求，由产品技术条件指明。

手力储能机构的手柄和单臂杠杆的长度应不大于 350mm，转动角度应不大于 150°；手轮直径和双臂杠杆的长度应不大于 750mm，且转动角度应不大于 180°。

操动机构箱及开关箱均应能防尘、防寒、防热、防潮、防水和防止异物进入。

户外操动机构的机构箱内应能装设刀开关和合闸熔丝。

操动机构应能装设不少于 12 对供控制、信号及联动回路用的辅助触点，辅助线路能通过的持续电流应不小于 10A，导线截面不得小于 2.5mm<sup>2</sup>，辅助开关应能可靠地通过并切断控制回路的电流。厂家应提供辅助开关与主断口触头间的配合时间。

断路器与其配用的隔离开关之间应有闭锁装置。

断路器及操动机构上的一切计量、控制元件和协作件都必须经由断路器的制造厂校验合格和调整完善后方能装配出厂，制造厂应对这些元件的质量全面负责。

户外操动机构箱中应设有照明装置。

对分相操作的断路器要求在三相各自的操动机构箱上各装一套统计“开、合”次数的计数器；对三相联动操作的断路器必须设立一套统计“开、合”次数的计数器。

断路器的操动机构上应设有供调试用就地控制的手力机械分闸装置；有机构箱的操动机

构应能在不取下或不打开箱门时，在箱外进行手力分闸操作。动力式操动机械应有供检修及调整用的手力合闸装置和手力脱扣装置或就地操作按钮。

断路器的操动机构本身应具有防跳跃性能和保证合分时间的能力。

72.5kV 及以上 SF<sub>6</sub> 断路器应有两个分闸线圈。

断路器发生非全相的合闸或出现非全相运行时应由断路器本身的回路实现保护性分闸。

断路器的操动机构箱中应设有适用于低温地区的自动投切的加热装置。

液压机构应具有以下装置：

a)监视压力变化的装置，当液压高于或低于规定值时应发出信号并切换相应控制回路的触点；

b)防止断路器在运行中慢分的装置，以及附加的机械的防慢分装置；

c)保证传动管路充满传动液体的装置和排气装置；

d)安全阀和过滤装置；

e)液压机构的保压时间应不小于 24h；

f)液压机构的加热器应能根据温度的变化自动投切，液压机构的电动机和加热器均应有断线指示装置；

g)液压机构应给出各压力定值(停泵、启泵、压力异常的警告信号；分、合闸闭锁)及其相应的贮压筒活塞杆行程。

5.5 动力合闸

采用 DL/T 593—1996 中的 5.6，并作如下补充：

用外部能源进行动力合闸的断路器亦应能在关合额定短路关合电流的操作后立即分闸，参见 5.7.6。

动力式操动机构，当操作能源的电压或气压在表 20 规定的范围内时，应保证断路器可靠合闸 (包括关合额定短路关合电流)，且关合后应能接着立即开断；在规定的最高值时，应能空载合闸而不产生异常现象。

表 20 操作能源的电压和气压 <sup>1]</sup>

采用说明：

1] 根据 DL/T 402—91 补充了表 20。

2] 根据 DL/T 402—91 提出。

| 断路器的额定<br>短路关合电流(峰<br>值)<br>kA | 操 作 能 源 参 数  |                  |                  |
|--------------------------------|--------------|------------------|------------------|
|                                | 电 压          |                  | 气 压              |
|                                | 直 流          | 交 流              |                  |
| <50                            | 80%~110%额定电压 | 85%~110%额定电<br>压 | 85%~110%额定气<br>压 |
| ≥50                            | 85%~110%额定电压 |                  |                  |

注

1 表中规定的电压极限范围，为受电元件线圈通电时端钮间的稳态数值。

2 表中规定的气压极限范围，为操动机构附有的储气筒内的气压数值。

3 表中规定的电压极限范围，只当电磁式及电动机式操动机构的电磁合闸线圈或电动机绕组的温度不超过 80℃时方为有效。

4 对空气、弹簧和液压操动机构的合闸线圈的动作要求与 5.7.1 的要求相同。

5 电磁机构的合闸接触器的动作电压要求与 5.7.1 的要求相同。

5.6 贮能合闸

采用 DL/T 593—1996 中 5.6，并增加下述内容：

贮能合闸的断路器亦应能在关合额定短路关合电流的操作后立即分闸，并满足 5.7.6 的要求。

5.7 脱扣器操作<sup>2)</sup>

采用 DL/T 593—1996 中 5.7，但增加下述几点：

5.7.1 由独立的直流或交流电源供电的分闸电磁铁、合闸接触器，其可靠动作电压应为 65%～120%额定值，30%时不得分闸。当装有多个分别作用的脱扣器时，任一个脱扣器的缺陷皆不应影响其他脱扣器的功能。

5.7.2 附装的失压脱扣器，其动作特性应符合表 21 的规定。某些机构的失压脱扣器，应具有延时脱扣的性能。在预定的时延終了前，若电压恢复到某一值，则脱扣器不得完成其动作，并回到初始位置。制造厂应给出有关说明。

表 21 失压脱扣器动作特性

| 电源电压<br>与额定电源电压的比<br>值 | <30%         | 35%～65%    | 65%～85%    | >85%         |
|------------------------|--------------|------------|------------|--------------|
| 失压脱扣器的工作状<br>态         | 铁心应可靠地释<br>放 | 铁心允许释<br>放 | 铁心不得释<br>放 | 铁心应可靠地吸<br>持 |

5.7.3 附装的过电流脱扣器，其额定电流规定为 5A，脱扣电流等级及其准确度应符合表 22 的规定。

表 22 过电流脱扣器脱扣电流等级及其准确度

| 过电流脱扣器种类               | 瞬时动作的 | 不定限延时的 | 定限延时的 |
|------------------------|-------|--------|-------|
| 脱扣电流 A                 | 5～15  | 5～10   | 5～10  |
| 每级脱扣电流的准确度             | ±10%  |        |       |
| 同一脱扣器中各级脱扣电流<br>准确度的差异 | ±5%   |        |       |

过电流延时脱扣器的延时应能调整，其延时最大整定值应不小于 1s；当整定值为 0s 时，脱扣器的动作时间应不大于 0.1s。

在特性曲线上与电流无关的部分，定限延时脱扣器的延时准确度应不超过 ±0.5s；定限延时脱扣器的延时准确度，在特性曲线上与电流有关的部分，以及不定限延时脱扣器的延时准确度不规定其标准数值。

定限延时脱扣器的特性曲线与电流无关部分的起点，应落在脱扣电流值的 250%～350% 的范围内。

5.7.4 由电流互感器供电的附装过电流脱扣电磁铁，当其电路依靠分装的过电流继电器触点的动作关合时，其脱扣电流应为 2.5A 及以上。

5.7.5 多个脱扣器

若断路器装有同样功能的多个脱扣器，则一个脱扣器的缺陷不应干扰其他脱扣器的功能。

5.7.6 脱扣自我保护功能<sup>1)</sup>

断路器在合闸过程中得到分闸命令时，应能进行分闸操作，但必须保证其开断能力不会降低。如无此可能，则断路器应能自行合闸到底，然后再行分闸。

5.8 低气压和高气压闭锁装置、其他闭锁

采用 DL/T 593—1996 中 5.8。

5.9 铭牌

采用 DL/T 593—1996 中 5.10，并补充以下几点：

断路器及其操动机构的铭牌应按表 23 内容标明。

操动机构的线圈应有参考标牌，使之能从制造厂获得全部数据。

脱扣器应带有适当的数据。

铭牌应在正常工作位置和安装位置均可见。

对 SF<sub>6</sub> 断路器应提供其压力与温度的关系曲线。

断路器装有套管型电流互感器时，应在断路器的铭牌上或其他补充铭牌上标出电流互感器各分接头的变流比、准确度、容量；断路器装有电压抽取装置时，应有一个补充铭牌，其上应标有二次电压的数据<sup>2]</sup>。

5.101 各极的同期性要求<sup>3]</sup>

当各相间的同期性要求未作特殊规定时，分、合闸不同期性不应大于 5ms，对 363kV 及以上的合闸不同期不应大于 5ms，分闸不同期不应大于 3ms。断路器在其所规定的操作电(液、气)压变化范围内应能保证所规定的同期性。制造厂应指明同相各断口间的同期性要求。

5.102 对操作的一般要求

断路器及其操动机构应能按照 5.5~5.8 完成其额定操作顺序，参见 4.104。

此要求不适用于辅助的手动操动装置；若提供这种装置，则仅供维护和不带电回路的紧急操作之用。

表 23 铭牌内容<sup>4]</sup>

采用说明：

1] 根据我国情况提出。

2] 新加。

3] 按我国规定提出。

4] 根据我国情况稍作更动。

| 铭牌内容                | 简称                    | 单位  | 断路器      | 操动机<br>构 | 仅当以下情况时要求<br>标明     |
|---------------------|-----------------------|-----|----------|----------|---------------------|
| (1)                 | (2)                   | (3) | (4)      | (5)      | (6)                 |
| 制造厂                 |                       |     | X        | X        |                     |
| 设计型号和系列号            |                       |     | X        | X        |                     |
| 企业标准号               |                       |     | X        | X        |                     |
| 额定电压                | <i>U</i>              | kV  | X        |          |                     |
| 额定雷电冲击耐压            | <i>U<sub>w</sub></i>  | kV  | X        |          |                     |
| 额定操作冲击耐压            | <i>U<sub>s</sub></i>  | kV  | <i>y</i> |          | 额定电压 363kV 及以<br>上  |
| 额定电流                | <i>I<sub>n</sub></i>  | A   | X        |          |                     |
| 额定短路持续时间            | <i>t<sub>th</sub></i> | s   | <i>y</i> |          | 不等于 1s 时            |
| 额定短路开断电流            | <i>I<sub>sc</sub></i> | kA  | X        |          |                     |
| 额定短路开断电流直流<br>含量百分数 |                       | %   | <i>y</i> |          | 大于 20%时             |
| 首开极因数               |                       |     | <i>y</i> |          | 不等于 1.3 时           |
| 额定失步开断电流            | <i>I<sub>d</sub></i>  | kA  | (X)      |          |                     |
| 额定线路充电开断电流          | <i>I<sub>l</sub></i>  | A   | <i>y</i> |          | 额定电压 72.5kV 及以<br>上 |
| 额定电缆充电开断电流          | <i>I<sub>c</sub></i>  | A   | (X)      |          |                     |
| 额定单个电容器组开断<br>电流    | <i>I<sub>sb</sub></i> | A   | (X)      |          |                     |

|                                                                                                   |          |     |     |     |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|-----|-----|--------------------|
| 额定背对背电容器组开断电流                                                                                     | $I_{bb}$ | A   | (X) |     |                    |
| 额定电容器组关合涌流                                                                                        | $I_{bi}$ | kA  | (X) |     |                    |
| 额定操作气压(表压)                                                                                        | $P_{ap}$ | MPa |     | X   |                    |
| SF <sub>6</sub> 额定气压(表压)                                                                          | $P_{cb}$ | MPa | X   |     |                    |
| 合闸和分闸装置额定电源电压                                                                                     |          | V   |     | (X) |                    |
| 合闸和分闸装置额定电源频率                                                                                     |          | Hz  |     | (X) |                    |
| 辅助回路额定电源电压                                                                                        | $U_a$    | V   |     | (X) |                    |
| 辅助回路额定电源频率                                                                                        |          | Hz  |     | (X) |                    |
| 质量(油断路器, 包括油)                                                                                     | $m$      | kg  | y   | y   | 大于 300kg           |
| 额定操作顺序                                                                                            |          |     | X   |     |                    |
| 制造年份                                                                                              |          |     | X   | X   |                    |
| 温度等级                                                                                              |          |     | y   | y   | 不同于: 户内-5℃, 户外-25℃ |
| <p>注</p> <p>1 X—强制标志的值, 空格表示此值为零; (X)—非强制标志的值; y—对于第(6)栏情况标志的值。</p> <p>2 第(2)栏简称可用来代替第(1)栏术语。</p> |          |     |     |     |                    |

### 5.103 气吹断路器灭弧用压缩气体的压力极限

制造厂应规定灭弧用压缩气体的最大和最小压力, 断路器在此极限下应能按其额定值使用, 并且应在此极限压力下整定合适的低气压和高气压闭锁装置(见 5.8)。

断路器应具备有足够容量的能量贮存, 使之在所指定的相应最低气压下能满意地进行各种恰当的操作。

对具有单独的泵或压缩机的断路器来说, 泵或压缩机的出力和贮气筒的容量应足以供给断路器在额定短路关合和开断电流及以下的所有电流下进行额定操作顺序(4.104)的操作。操作顺序开始时的压力应等于制造厂按照上述要求以及泵或压缩机得以正常运转所规定的适当的最低气压。若合适, 制造厂可规定泵或压缩机运转的压力极限。

采用说明:

1] 根据我国要求提出。

2] 根据 DL/T 402—91 提出。断路器所用的压力容器质量应遵守国家劳动总局《压力容器安全监察规程》的规定<sup>1)</sup>。

### 5.104 排逸孔

断路器排逸孔的设置应使排油或排气或排逸两者时不致引起电击穿, 且不朝向任何可能出现人员的地方。

断路器或其辅助设备正常操作产生的气体不会聚集存留在以致被操作中或操作后产生的火花所点燃的任何地方。排气孔应能防止异物进入。

### 5.105 其他要求<sup>2)</sup>

(1) 断路器的二次回路应能防止电磁感应。

(2) 制造厂在产品说明书中应提供绝缘件的介质损失角或泄漏电流的数值。

(3) 断路器的并联电容器应能耐受二倍断路器的额定相电压 2h, 其绝缘水平应与断路器断口间的耐压水平相同。耐压试验后应进行局部放电试验: 在 1.1 倍额定电压下应小于

100pC；在 1.1 倍额定相电压下应小于 10pC。制造厂应指明并联电容的数值及其公差范围。

(4)并联电阻的热容量应满足制造和用户双方所商定的操作顺序的要求。

制造厂应在产品说明书中指明并联电阻的数值及其公差范围。

并联电阻的阻值在热容量试验后确定，其误差应不大于±5%。

(5)制造厂应在产品说明书中提出断路器作用在基础上的操作力，并指明强度、固有频率等特性。对断路器基础强度(包括抗震强度)所提的要求应与断路器的作用力相对应。

(6)制造厂应提供各种短路开断容量下不需检修的连续开合次数。对 40.5kV 及以上电压等级油断路器，应给出运行中最低油质的指标。

(7)对以压缩气体灭弧或以气(液)压操动的断路器，制造厂应给出允许的最高气(液)压及在额定短路开断和短路关合电流下分别完成“O”、“C—O”、“O—t—CO”的相应最低压力。制造厂还应提供气体维护和处理装置及使用说明。

(8)制造厂应提供断路器的调试方法、检修方法和相应的技术要求，应提供相应的机具、上下提升装置，根据用户需要可提供检修架。制造厂应明确规定断路器主回路的接触电阻及其变动范围(规定上限值)。

(9)制造厂应提供在额定操作电压或液压及其下限下的速度特性曲线。

(10)断路器的灭弧介质、绝缘介质以及操动机构的液压油和氮气应符合相应的标准或产品技术条件的规定。

(11)断路器金属外壳应能防锈。

(12)操动机构上必须具有易于观察的表示断路器分、合位置的机械指示器。在断路器本体上也应尽量具有这一装置。

(13)产品接线端子应能承受表 25 所规定的静态拉力。静态安全系数为 3.2~3.5。

(14)户外产品应考虑冷凝、雨、温度骤变及日照等的影响。

(15)断路器工作时处于高电压的各外露部分(绝缘子与其接触部分除外)应标以警告危险的字样、符号，或涂以红色。

(16)同一型号的断路器及其操动机构的安装尺寸应统一，相同部件、易损件和备品备件应具有互换性。

(17)断路器应便于检修。当断路器的本体不能方便和可靠地起吊时，断路器应有供起重用的吊钩或吊环。

(18)断路器的二次回路(包括断路器附装的电流互感器和电压测量装置)应有与总接线板相连接的导线和接线端子，且二次回路应以接地金属物或绝缘物与主回路隔离。

(19)对油断路器的结构要求：

a)注油和放油装置以及取油样的装置。

b)易于观察的油位指示器、安全阀(或其他排气通道)。

c)当油箱和油的质量超过 30kg 时，应有升降的装置。

(20)对压缩空气断路器的结构要求：

a)应有指示断路器储气筒中气压的装置。

b)应有监视气压变化的装置，此种装置应在压力低于或高于允许值时，发出信号并根据需要切换控制线路的触点。

c)应有压缩空气过滤器。

d)储气筒进气端的总导气管上应有控制气阀。

e)在储气筒的进气管中应装有逆止阀。

f)应有通风指示器(若需通风时)。

g)应有手启气动按钮。

h)应有消声装置。

i)压缩空气断路器的储气罐中必须采取防锈措施。三相空气断路器的分相管路应设有控制阀以便于按相充气。压缩空气系统中应设有安全阀、排污阀。导气管应采用防锈材料如不锈钢、铜做作成。

j)以压缩空气为动力源的气动机构尚应满足下列要求:

进入储气罐的压缩空气必须是清洁的,干燥的;

储气罐的进气孔应装逆止阀:在规定的压力范围内,储气容量应能保证进行 O—t—CO—t'—CO 操作顺序的要求,其分、合闸速度应符合规定;

设有气体压力监视装置,当压缩空气的压力达到上限或下限前应能发出警报信号,超过规定值时应进行闭锁;

在结构上应保证气源在分(或合)操作完成后才断开;

机构本身附有独立的空压机系统时应装有安全阀、排污阀。

k)额定气压和额定液压,压缩空气断路器和压缩空气操动机构的额定气压为 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3, 4MPa。液压机构的液压额定值和自附压缩机的压缩空气操动机构的气压额定值由制造厂自行确定。断路器灭弧用压缩空气的减压比不得低于 1/5。

(21)同相断口间的外绝缘爬电比距为对地爬电比距的 1.1~1.3 倍。如果对地爬电比距值较高,可选较低的倍数,反之,则应选较高的倍数值见 DL/T 593—1996 表 2。

图 2~图 7 注释如下:

1.实际上,三个极的触头行程之间存在着时间分散性。在图中,为了清楚起见,用单独的一条线来表示所有三个极的触头行程。

2.实际上,在三个极中在电流流通的起始点间和终点间存在着时间的分散性。为了清楚起见,在图中电流流通的起始和终了瞬间均用单独的一条线来表示所有三个极的情形。

## 第二篇 试验、选择、订货和安装

### 6 型式试验<sup>1)</sup>

采用说明:

1) 根据我国标准提出。

凡断路器在系统中运行时所能遇到的运行、开断与关合条件都应得到确切的试验验证,因此,这些工作条件都应该作为该产品的型式试验内容。

所有的型式试验结果均应记录在型式试验报告中。报告中应包括足够的数,以证明是否符合本标准。受试断路器在所有重要部分必须与制造图纸相符,并经核实。型式试验报告还应包括有关断路器支持结构或将断路器作为组成部分的金属封闭单元的一般资料,以及试验用操动机构的资料。

型式试验也是为鉴定某台试品是否符合某一标准,证明该台试品能够定型并进行批量生产。

应进行型式试验的产品:

新产品;

转厂试制的产品或当断路器所配操动机构型号规格改变时;

当产品在设计、工艺或所使用的材料作重要改变时应做相应的型式试验;

经常生产的产品,每隔 8~10 年进行一次,试验项目见(1)~(6),并应进行异相接地开合试验(对系统中性点绝缘时)和电寿命试验(对 E2 级断路器)。

型式试验项目如下:

(1)绝缘试验,包括工频耐压试验,雷电冲击耐压试验,操作冲击耐压试验,人工污秽试验,局部放电测试,辅助回路和控制回路的工频耐压试验。

(2)机械试验,包括机械特性试验,机械操作稳定性试验(常温下),端子静拉力试验。

(3)主回路电阻测量。

(4)温升试验(长期工作时的发热试验)。

(5)短时耐受电流试验和峰值耐受电流试验(热稳定试验及动稳定试验)。

(6)端部短路条件下的开断与关合试验。

(7)其他条件下的开断与关合试验,包括近区故障条件下的开合试验,失步条件下的开合试验,异相接地条件下的开合试验,额定短路开断电流下的连续开断能力试验(电寿命试验),临界电流的开合试验。

(8)容性电流开合试验,包括线路充电电流的开合试验,电缆充电电流的开合试验,单组电容器的开合试验,背对背电容器组开合试验。

(9)小电感电流的开合试验,包括开合并联电抗器的试验,电动机的开合试验(空载、启动时),开断空载变压器的试验。

(10)无线电干扰电平测试。

(11)环境条件下的试验,包括高、低温试验,湿度试验,淋雨试验,覆冰条件下的试验,密封试验,地震考核,噪声水平测定。

各项型式试验应该在新的、干净的断路器上进行。1)~6)中各项建议在一个试验站中完成。

有关开断、关合及短时电流性能的型式试验记录和报告细节见附录 C。

## 6.1 绝缘试验

### 6.1.1 试验时周围空气条件

采用 DL/T 593—1996 中 6.1.1。

### 6.1.2 湿试程序

采用 DL/T 593—1996 中 6.1.2,并作以下补充:

对于外壳接地断路器,见 6.1.7 中的(1)。

### 6.1.3 绝缘试验时断路器的条件

采用 DL/T 593—1996 中 6.1.3。

### 6.1.4 试验电压的施加和试验条件

采用 DL/T 593—1996 中 6.1.4。

### 6.1.5 试验电压

采用 DL/T 593—1996 中 6.1.5。

### 6.1.6 雷电和操作冲击电压试验

采用 DL/T 593—1996 中 6.1.6,并作以下补充:

(1)雷电冲击电压试验。

对于额定电压 252kV 及以下的等级,当按照 4.2 选择较低额定雷电冲击耐受电压时,则在试验断路器分闸状态的断口绝缘时可能需要较高的试验电压。

a)对额定电压从 126kV 至 252kV 的等级,按制造厂与用户的协议,试验电压应该是 4.2 中规定的相应于断路器额定电压的额定雷电冲击耐受电压之一;

b)对额定电压 72.5kV 及以下的等级,试验电压应按制造厂与用户的协议。

对额定电压 363kV 及以上的断路器,征得制造厂同意,可以不采用工频电压源在分闸的断路器上进行试验,这种情况将分成两个试验系列进行:

a)第一个试验系列,依次对每一个端子连续进行 15 次冲击试验,其电压等于额定雷电冲击耐受电压  $U_w$  和  $0.7U \times \sqrt{2}/\sqrt{3}$  (峰值)之和,而对面的端子接地,其他端子、被施加电压的端子及底座可以用绝缘的方法,防止对地发生破坏性放电;

b)第二个试验系列,依次对每一个端子连续施加 15 次额定冲击耐受电压  $U_w$ ,其他端子

和底座应接地。

通常，可以认为这种试验比按规定的试验程序作的试验要苛刻。

注：对 550kV 这个试验程序可能不合适。有关试验方法正由 IEC 第 42 技术委员会(高电压试验技术)考虑中。

(2)操作冲击电压试验。

对户外断路器，干试只用正极性电压进行。

断路器处于合闸位置，对于 DL/T 593—1996 中 6.1.4 表 7 规定的每个试验条件，应施加额定对地耐受电压。

断路器处于分闸位置，应进行两个试验系列：

a)第一个试验系列，对 DL/T 593—1996 表 7 中规定的每一个试验条件，应施加额定对地耐受电压；

b)第二个试验系列，按 DL/T 593—1996 表 4(12)或(13)进行断口间的耐压试验。

对在标准条件下使用的断路器，第二个试验系列应是对 DL/T 593—1996 表 7 中的每一个试验条件在分闸的断路器断口上施加额定耐受电压 [DL/T 593—1996 中 4.2.2 表 4(13)栏横线上部的电压值]。

因为这种情况下施加电压可能高于对地额定耐受电压，允许被施加电压的端子、其他极的端子及底座予以绝缘，以防止对地发生破坏性放电。

作为一种替代，对于特殊使用的断路器，第二个试验系列的试验电压应符合 DL/T 593—1996 表 4(13)栏中横线下的规定值。对 DL/T 593—1996 中 6.1.4 表 9 的每一个试验条件，一个端子施加操作冲击电压，而对面的端子施加工频电压。

在制造厂的同意下，这个试验可以不用工频电压源。

这个试验系列包括依次对每个端子施加冲击试验电压，其数值等于额定操作冲击电压和  $\sqrt{2}U/\sqrt{3}$  值(峰值)之和，电压值由 DL/T 593—1996 表 4 栏(13)中横线下的值选取，而对面的端子应接地，其他端子、被施加电压的端子及底座应予以绝缘，以防止对地发生破坏性放电。

通常，这个试验被认为比遵循规定的试验程序的试验要苛刻。

注：对 550kV 这个试验程序可能不适用。有关方法正由 IEC 第 42 技术委员会考虑中。

#### 6.1.7 工频电压试验

采用 DL/T 593—1996 中 6.1.7，并作以下补充：

(1)对额定电压 252kV 及以下的断路器。

湿试时，无论内、外绝缘均不得发生闪络击穿现象。

注：对于外壳接地断路器，当其套管已按其专业标准提前试验过时，则可省略湿条件下的试验。

(2)对额定电压 363kV 及以上的断路器。

断路器处于分闸位置，对每一个试验条件(见 DL/T 593—1996 中 6.1.4 表 8)，应利用两个反相的电压源将试验电压同时施加到每一极的两个端子上，以便在断路器断口上获得规定的电压。施加于任一个端子上的电压都不应大于  $U$ ，断口上的总电压值  $U_T$  见 DL/T 593—1996 中表 4。

断路器处于分闸位置，在制造厂的同意下，可采用一个单独的电压源进行试验。在这种情况下，应依次对每一极的每一个端子施加 DL/T 593—1996 表 4 中的电压 1min，而对面的端子和其他极的所有正常带电部件均接地。

对于这种试验，允许将断路器的底座对地绝缘，对底座施加一个固定电压  $U_f$ ，使  $U_T-U_f$  处在相对地额定耐受电压的 90%~100%之间。

这个试验比遵循规定试验程序的试验更苛刻。

#### 6.1.8 人工污秽试验和凝露试验

当设备外绝缘最小公称爬电比距满足 DL/T 593—1996 中 3.1 中所列爬电比距要求时，可免去这一试验。

应用户要求需要进行人工污秽试验时可按 GB 4585.2—91 进行。

对户内设备进行凝露试验时按 DL/T 593—1996 中 6.1.8.2 进行。

#### 6.1.9 局部放电试验

在整体断路器上一般不需要进行局部放电试验。然而，如果断路器采用了某些元件，与这些元件有关的标准包含有局部放电测量的要求时(例如套管)，制造厂应该提出表明这些元件已通过了在有关标准中规定的局部放电试验的证明。当对某些元件有局部放电试验要求时，试验方法见 GB 7354—87。

#### 6.1.10 辅助回路和控制回路的试验

按 DL/T 593—1996 中 6.1.10 的规定进行。

#### 6.1.11 状态检验的工频耐压试验

按 DL/T 593—1996 中 6.1.11 的规定进行。

### 6.2 无线电干扰电压试验

见 DL/T 593—1996 中 6.2，并作以下补充：试验可以在断路器的一个极上分别在合闸和分闸位置进行。

### 6.3 温升试验

按 DL/T 593—1996 中 6.3 的规定进行。

#### 6.4 主回路电阻测量

按 DL/T 593—1996 中 6.4 的规定进行。

#### 6.5 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

按 DL/T 593—1996 中 6.5 进行，但作如下补充：

(1)如果断路器装有直接过电流脱扣器，应该把最小动作电流的线圈整定在最大电流和最大时延下进行试验，线圈应该接到试验回路的电源侧。如果断路器可以不带直接过电流脱扣器使用，还应在不带直接过电流脱扣器下进行试验。

(2)对于装有直接过电流脱扣器的断路器，应进行仅限于分闸操作的额定操作顺序，所有极和操作中的开断电流交流分量有效值的平均值应作为短时电流有效值。当试验在额定电压下进行时，可以采用预期电流值。

(3)装有直接过电流脱扣器的断路器试验后的情况也应符合 6.102.8 的规定并以最小脱扣电流的 110%进行试验合格。

#### 6.101 机械和环境试验

##### 6.101.1 机械和环境试验的各项规定

###### 6.101.1.1 组件试验

当试验整台断路器不切实际时，组件试验可作为型式试验。制造厂应确定适合于试验的组件。

组件是具有独立功能的部件，可以独立于整台断路器而操作(例如一极，一个开断单元，一个操动机构)。

当进行组件试验时，制造厂应保证试验时组件上的机械应力不小于整台断路器试验时施加在同一组件上的机械应力。如果个别的试验适于在组件上进行，则组件试验应包括整台断路器中所有不同类型的组件。型式试验的条件应根据正常的或特定的运行条件和断路器的额定特性导出。

按照有关标准制造的辅助和控制设备部件应符合这些标准。与断路器其他部件功能有关

的这类部件的固有功能应进行验证。

#### 6.101.1.2 试验前后应记录的断路器的特性和整定值<sup>1]</sup>

采用说明：

1] 根据我国要求作了某些补充。

试验前后，如果适用的话，下列操作特性或整定值应予记录或计算：

- a)合闸时间上下限；
- b)分闸时间上下限；
- c)一极中各单元之间的同期差；
- d)极间同期差(如果做多极试验)；
- e)操作装置的重激励时间；
- f)控制回路的损耗；
- g)脱扣装置的损耗，如有可能，记录脱扣电流；
- h)分闸和合闸指令脉冲的持续时间；
- i)密封性(见附录 E)；
- j)气体密度或压力；
- k)主回路电阻；
- l)时间—行程特性图；
- m)合闸速度；
- n)分闸速度；
- o)记录操动机构在“C”、“O”、“CO”操作时的压力损耗情况，以及贮能时间；
- p)由制造厂规定的其他重要特性或整定值。

上述操作特性的测量和记录应在下列条件下进行：

- a)额定操作电压和额定操作压力；
- b)最高操作电压和最高操作压力；
- c)最低操作电压和最低操作压力。

对真空断路器的试验中还应记录下列特性数据：

- a)合闸弹跳情况；
- b)分闸反弹情况。

#### 6.101.1.3 断路器在试验中及试验后的状况

断路器在试验中及试验后应处于这样的状态：能够正常操作，能够通过额定电流，能够关合、开断其额定短路电流及按照其额定绝缘水平承受试验电压值。

如果断路器符合下列条件，则通常认为上述要求已被满足：

- a)试验中，断路器按指令动作，无指令不动作；
- b)试验中及试验后，按照 6.101.1.2 测出的特性处在制造厂给出的偏差范围内；
- c)试验中及试验后，所有部件(包括触头)无过度磨损；
- d)试验后，触头表面的覆盖层仍应保持在触头面上，否则，触头被认为是裸露的，温升试验中(按照 6.3)的触头温升不应超过相应于裸露触头的温升允许值；
- e)试验中及试验后，机械部件的任何变形对断路器的操作没有不利的影响，也不妨碍可更换零部件的正常装配；
- f)试验后，处于断开状态的断路器的绝缘特性应与试前一样。试后可目测判断时，但对密封灭弧室断路器应按 DL/T 593—1996 中 6.1.11 进行状态检验性试验。

#### 6.101.1.4 辅助及控制设备在试验中及试验后的状况

试验中及试验后，辅助及控制设备应满足下列条件：

- a)试验中，应注意防止过热；

b)试验中，应设置一组触头(包括接通和分断的辅助触头)，用以分合控制回路电流(见 5.4)；

c)试验中及试验后，辅助和控制设备应满足其功能；

d)试验中及试验后，辅助开关和控制设备的辅助回路的功能不受到损坏，若有怀疑，应按照 DL/T 593—1996 中 6.1.10 进行试验；

e)试验中及试验后，辅助开关的接触电阻应不受不利的影响，通以额定电流时的温升应不超过规定值(见 DL/T 593—1996 中表 5)。

6.101.2 周围空气温度下的机械稳定性试验

6.101.2.1 概述

机械稳定性试验应在试验场地的周围空气温度下进行，周围空气温度应记录在试验报告中。所谓操动装置应包括它的组成部件和辅助设备。

机械稳定性试验应进行 2000 次操作循环(对 SF<sub>6</sub> 断路器、真空断路器的机械稳定性试验要求见 6.101.2.4)。

除装有直接过电流脱扣器的断路器外，试验应在主回路中既无电压也无电流的条件下进行。

对装有直接过电流脱扣器的断路器，大约 10%的操作循环应该是在操作装置由主回路中的电流激励的情况下进行，电流应是过电流脱扣器动作所必需的最小电流。对于这些试验，通过过电流脱扣器的电流可由一个合适的低压电源供给。

试验中，允许按制造厂的说明书进行润滑，但不允许进行机械调整或维修。

三极联动的断路器应进行三极机械试验，分极的断路器只进行单极试验。两者的试验次数相同。

6.101.2.2 试验前断路器的状况

被测断路器应安装在它的支架上，操动机构应按照规定的方式操作。根据断路器的类型，按照下列规定进行试验：

由一个操动机构操作，和/或所有极装在一个共用基架上的多极断路器，应当作为一个整体进行试验。

每极或者甚至每个柱分别由单独的操动装置操作的多极断路器最好以一台完整的多极断路器进行试验，但是为了方便，或者由于试验间尺寸的限制，可以用断路器的一个极进行试验，只要在整个试验范围内同完整的多极断路器试验等价，或者不会更有利，例如在下列几方面：

- a)合闸速度；
- b)分闸速度；
- c)分合闸机构的功率和强度；
- d)结构的刚度。

6.101.2.3 试验的说明

断路器应按照表 24 进行试验。

如机械稳定性试验为 3000 次，按表 24 进行试验时，前一轮 2000 次按表 24 进行，最后 1000 次按表 24 中的各数值减半进行；如为 5000 次，则前两轮各 2000 次按表 24 进行，而最后 1000 次按表 24 中数值减半进行。当机械稳定性试验超过 10000 次时，按以上规则类推 1)。

表 24 2000 次机械操作稳定性试验的顺序和次数

| 操作顺序 | 控制电压和操作压力 | 操作顺序次数   |           |
|------|-----------|----------|-----------|
|      |           | 自动重合闸断路器 | 非自动重合闸断路器 |

|                                                                                                                                                                                            |                |                   |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|-------------------|
| $C-t_a-O-t_a$                                                                                                                                                                              | 最低<br>额定<br>最高 | 500<br>500<br>500 | 500<br>500<br>500 |
| $O-t-CO-t_a-C-t_a$                                                                                                                                                                         | 额定             | 250               | —                 |
| $CO-t_a$                                                                                                                                                                                   | 额定             | —                 | 500               |
| <p>注</p> <p>1 “CO”操作是“C”操作后，紧接着“O”操作，而不应有故意的时延。</p> <p>2 <math>t_a</math>为两次操作之间的时间间隔，以使断路器恢复到起始状态和/或防止断路器的某些部件过热(这个时间根据操作的型式而定)。</p> <p>3 如无其他规定，对于快速自动重合闸断路器 <math>t</math> 定为 0.3s。</p> |                |                   |                   |

在整个试验过程中，不允许误动和拒动，也不允许漏油(气)(包括断路器本体及其操动机构)，零部件不得松动、胶落或损坏<sup>2]</sup>。

采用说明：

- 1] 补加条文。
- 2] 按我国要求提出。
- 3] 按 IEC 56 第 3 号修订件增加。

#### 6.101.2.4 频繁操作用的断路器的机械稳定性试验<sup>3]</sup>。

此种试验进行如下：

(1)真空断路器的机械稳定性试验定为 1 万次、2 万次、3 万次、4 万次；SF<sub>6</sub> 断路器的机械稳定性试验定为 3000 次，5000 次。进行方式见 6.101.2.3。

各轮试验之间允许按制造厂规定添加润滑剂，进行机械调整。不允许更换触头。

在试验进程中的维护工作由制造厂确定，但应记录在试验报告中。

(2)在整个试验完成之后及试前应进行下列机械操作检查：

- a)在额定操作电压(或压力)下进行 5 次“CO”操作；
- b)在最低操作电压(或压力)下进行 5 次“CO”操作；
- c)在最高操作电压(或压力)下进行 5 次“CO”操作；
- d)手动“CO”5 次。

在进行这些操作检验时，应记录(或算出)如 6.101.1.2 所要求的特性，但不必罗列出所有的示波图。

此外，如有要求可进行下述检验(见附录 H)：

- a)操作时的液压变化，压力降；
- b)能否完成额定操作顺序；
- c)能否完成所指定的其他操作顺序(如果有的话)。

试验前、后测得的断路器机械特性参数的变化量不应超出制造厂原定的变动范围。

(3)在每一轮试验后(即每经过 2000 次操作循环后)，应记录或算出从 6.101.1.2 中选定的某些重要特性参量值。

(4)完成全部 5 轮试验程序后的断路器状态应满足 6.101.1.3 的要求。

#### 6.101.3 低温和高温试验

##### 6.101.3.1 概述

低温和高温两类试验不需连续进行，试验顺序是任意的。

对于单箱壳的断路器或共用一个操动装置的多箱壳断路器应进行三极试验。对于每极为一独立单元的多箱壳断路器，允许用一个完整的极进行试验。

如受试验设备的限制，多箱壳断路器可以采用下列一个或几个替代方案进行试验，假定

在试验的布置上断路器不处于比正常的机械操作条件更有利的条件下(见 6.101.2.2):

- a)降低相对地绝缘高度;
- b)缩小极间距离;
- c)减少单元数目。

如果需要,可以投入热源。

供给断路器操作用的液体或气体的温度与试验时的周围空气温度相同。除非断路器的设计要求为它们提供热源。

试验过程中,不允许检修及更换零部件,但允许对断路器进行润滑或调整。

**注:为了确定材料的温度、老化等特性,比下列条款所规定的更长时间的试验可能是必要的。**

作为替代办法,可由制造厂提供现场运行经验资料来证明某断路器系列已能符合本条款的要求。这些运行经验包括:至少在一个地点,其周围空气温度经常等于或高于所规定的最高周围空气温度 40℃;及至少在一个地点,其周围空气温度为所规定的最低温度(取决于断路器的类型见 DL/T 593—1996 第 3 章)的运行试验。

#### 6.101.3.2 周围空气温度的测量

试验地点周围空气温度的测量点应是在断路器高度的一半及离断路器 1m 处。

断路器高度上的最大温度偏差应不超过 5K。

#### 6.101.3.3 低温试验

试验顺序图和下面规定的试验操作的代号示于图 15(a)。

如果低温试验是紧接着高温试验后进行,则低温试验可以在高温试验完成 u)项后继续进行,而下面的 a)和 b)项可以取消。

a)按照说明书对被试断路器进行调整。

b)在周围空气温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}(T_A)$ 下,按照 6.101.1.2 记录断路器的特性及其整定值。按照附录 E1.4 进行密封试验(如果适用的话)。

c)断路器处于合闸位置,根据断路器的分类,将空气温度降到相应的最低周围空气温度 $(T_L)$ ,待空气温度稳定在 $T_L$ 后,应保持合闸位置 24h。

d)断路器在温度 $T_L$ 下,保持合闸位置的 24h 期间,应进行密封试验(如果适用的话)。如果断路器恢复到周围空气温度 $T_A$ 并处于热稳定时,其泄漏率能恢复到原始值,则增大的泄漏率是可以接受的,但这种暂时增大的泄漏率不得超过规定允许值 $F_p$ 的 3 倍(见附录 E)。

e)保持温度 $T_L$  24h 后,断路器应在额定电源电压及操作压力下的分闸和合闸,记录下分闸和合闸时间,以确定断路器的低温操作特性。如果可行,还要记录触头运动速度。

f)切断热源 $t_x$ 期间,以检验断路器的低温性能及其警报和闭锁系统。在这期间出现报警是允许的,但不得出现闭锁。在 $t_x$ 终了的时刻,应在额定电源电压及操作压力下给出一个分闸指令,此时断路器将分闸,记下分闸时间(如可能,记下触头速度特性),以便评估其开断能力。制造厂应指定 $t_x$ 之值(即切断热源而断路器仍能操作的时限),如果制造厂不能给出 $t_x$ 值,可取 $t_x$ 为 2h。

g)断路器处于分闸位置 24h。

h)断路器在低温 $T_L$ 下处于分闸位置 24h 期间,应进行密封试验(如果适用的话)。如果断路器恢复到周围空气温度 $T_A$ 并处于热稳定时,其泄漏率能恢复到原始值,则增大的泄漏率是可以接受的,但这种暂时增大的泄漏率不得超过规定允许值 $F_p$ 的 3 倍(见附录 E)。

i)在 24h 终了时,在低温 $T_L$ 下,断路器应以其额定电源电压及操作压力进行 50 次合闸和 50 次分闸操作,对于每个循环或顺序允许至少有 3min 时间间隔。应记录第一次合闸和分闸操作特性参量,以确定其低温操作特性。如果可行的话,应记录触头速度。

在第一次合闸和第一次分闸后,应进行三个“CO”操作(无故意的时延)。其余的操作

应按“C— $t_a$ —O— $t_a$ ”操作顺序进行( $t_a$ 的定义见 6.101.2.3)。

j)完成 50 次分闸和 50 次合闸操作后,空气温度应以每小时大约 10K 的变化率增加到周围空气温度  $T_A$ 。

在温度变化的过渡期间,断路器应以额定电源电压和操作压力交替地按“C— $t_a$ —O— $t_a$ —C”和“O— $t_a$ —C— $t_a$ —O”顺序操作,交替操作顺序之间的时间间隔为 30min,使断路器在操作顺序之间的 30min 期间处于分闸位置和合闸位置。

k)断路器稳定在周围空气温度  $T_A$  后,按照 a)和 b)重新检查断路器的整定值、操作特性和密封,以便同起始特性进行比较。

从上述试验项目 b)到 k),在低温试验中的泄漏总量影响下,不致使断路器闭锁(即不补气,而压力仍在闭锁压力之上),但允许给出报警。

#### 6.101.3.4 高温试验

试验顺序图和下面规定的试验操作的代号示于图 15(b)。

如果在低温试验后立即进行高温试验,在完成低温试验的 k)项后即可继续进行,而下面的 a)和 b)项可以取消。

a)按照说明书对被试断路器进行调整。

b)在周围空气温度( $20 \pm 5$ )°C( $T_A$ )下,按照 6.101.1.2 的规定记录断路器的特性及其整定值,按照 E1.4 进行密封试验(如果适用的话)。

c)断路器处于合闸位置,将空气温度升高到 40°C,当断路器周围空气温度稳定在 40°C 后保持合闸位置 24h。

注:如考虑太阳辐射,模拟辐射的自然条件是必要的(即辐射的方向和强度),参看 IEC 68—2—5 出版物:基本的环境试验程序,第二部分:试验,试验 Sa:地面上日照的模拟。

d)在温度 40°C 下断路器处于合闸位置 24h 期间,应进行密封试验(如果适用的话)。如果断路器恢复到周围空气温度  $T_A$  并处于热稳定时,泄漏率能恢复到原始值,则增大的泄漏率是可以接受的,但这种暂时增大的泄漏率不得超过规定允许值  $F_p$  的 3 倍(见附录 E)。

e)保持温度 40°C 24h 后,断路器应在额定电源电压及操作压力下分闸和合闸,记录下分闸和合闸时间,以确定其高温操作特性,如果可行,应记录触头运动速度。

f)在温度 40°C 下断路器分闸并处于分闸位置 24h。

g)在温度 40°C 下断路器处于分闸位置 24h 期间,应进行密封试验(如果适用的话)。如果断路器恢复到周围空气温度  $T_A$  并处于热稳定时,其泄漏率能恢复到原始值,则增大的泄漏率是可以接受的,但这种暂时增大的泄漏率不得超过规定允许值  $F_p$  的 3 倍(见附录 E)。

h)24h 终了时,在温度 40°C 下,断路器应以额定电源电压和操作压力进行 50 次合闸和 50 次分闸操作,对于每个循环或顺序允许至少有 3min 时间间隔。记录下第一次合闸和分闸操作特性以确定其高温操作特性。如果可行,应记录触头速度。

在第一次合闸和第一次分闸操作后,应该进行 3 个“CO”操作循环(无故意的时延)。其余的操作按“C— $t_a$ —O— $t_a$ ”操作顺序进行( $t_a$ 的定义见 6.101.2.3)。

i)完成 50 次分闸和 50 次合闸操作后,空气温度应以每小时约 10K 的变化率降低到周围空气温度  $T_A$ 。

在温度变化的过渡期间,断路器应以额定电源电压和操作压力交替地进行“C— $t_a$ —O— $t_a$ —C”和“O— $t_a$ —C— $t_a$ —O”操作。交替操作顺序之间的时间间隔应为 30min,使断路器在操作顺序之间的 30min 期间处于分闸和合闸位置。

j)断路器稳定在周围空气温度  $T_A$  后,要按照 a)和 b)重新检查断路器的整定值、操作特性和密封,以便同起始特性进行比较。

从 b)到 j)的整个高温试验中的泄漏总量(在不补气情况下)不致使断路器闭锁,但允许发出警报信号。

6.101.4 湿度试验

6.101.4.1 概述

如果因为温度的骤变、可能在长期承受电压作用的绝缘表面出现凝露，则应对断路器或断路器的部件进行湿度试验。没有必要对已采取了有效的防凝露措施的设备(如充气断路器、带有防凝露加热器的控制柜)实施。

6.101.4.2 试验程序

断路器部件应装在具有循环空气的试验室中，此试验室的温度及湿度条件如下：

a)室内的温度要求按照图 16 所示由 $(25 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 到 $(40 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 进行周期性变化；

b)当温度上升及保持在  $40^{\circ}\text{C}$  期间，室内相对湿度要保持在 95%以上。

注：为了获得这些条件，可以向室内直接注入蒸汽或喷入热雾，使温度由  $25^{\circ}\text{C}$  上升到  $40^{\circ}\text{C}$ ，必要时，另加加热器。

在温度下降时期，不规定相对湿度值。当温度维持在  $25^{\circ}\text{C}$  期间，相对湿度应在 80%以上。

为使室内湿度分布均匀，空气应循环流动。

水质要求：在试验室内收集到的水的电阻率应等于或大于  $100\ \Omega \cdot \text{m}$ ，既不含盐(氯化钠)，又无腐蚀性元素。

注：如果试验室内的设备允许， $t_1$  及  $t_3$  可以缩短，但时间  $t_2$  及  $t_4$  应该增长，以使  $t_1+t_2+t_3+t_4$  保持不变。

试验循环次数应为 350 次。

试验后，断路器部件的操作特性应不受影响，辅助和控制回路应承受 1500V 工频电压 1min，腐蚀的程度(如果有的话)，应在试验报告中说明。

6.101.5 验证严重结冰条件下的操作试验

严重结冰条件下的试验仅适用于具有可动的外部部件的断路器，结冰厚度规定为 10mm 或 20mm，试验按 DL/T 486—92 的规定进行。

6.101.6 端子静负载试验

6.101.6.1 概述

端子静负荷试验仅适用于额定电压 40.5kV 及以上的户外断路器。

端子静负荷仅按用户同制造厂的协议进行，以验证在冰、风及连接导体同时作用下断路器能正确地操作。

断路器上的覆冰和风压应符合 DL/T 593—1996 中 3.1.2 的规定。

表 25 中给出了由于软连接和管形连接导体产生的作用力的一些例子(不包括作用在断路器本体上的风压和冰负荷)，作为试验的导则<sup>[1]</sup>。

采用说明：

1] 根据我国要求提出表 24。

2] 6.101.7~6.101.9 根据我国标准提出。

由连接导线产生的拉力假定作用在断路器最外面的端头上。

冰、风和连接导线同时作用时，合成端子负荷分别以  $F_{\text{shA}}$ 、 $F_{\text{shB}}$  和  $F_{\text{sv}}$ (见图 17)表示，且定义为端子额定静负荷。

表 25 断路器接线端子静态拉力额定值

| 额定电压 $U$  | kV 额定电流 $I_A$ | 水平拉力 $N$            |                     | 垂直力(向上下)<br>$F_{\text{tv}}N$ |
|-----------|---------------|---------------------|---------------------|------------------------------|
|           |               | 纵向 $F_{\text{thA}}$ | 横向 $F_{\text{thB}}$ |                              |
| 12        |               | 500                 | 250                 | 300                          |
| 40.5~72.5 | $\leq 1250$   | 750                 | 400                 | 500                          |
|           | $\geq 1600$   | 750                 | 500                 | 750                          |

|                          |                            |           |            |             |
|--------------------------|----------------------------|-----------|------------|-------------|
| 126                      | $\leq 2000$<br>$\geq 2500$ | 1000 1250 | 750<br>750 | 750<br>1000 |
| 252~363                  | 1250~3150                  | 1500      | 1000       | 1000        |
| 550                      | —                          | 2000      | 1500       | 1500        |
| 注：用户要求超过本表规定时由制造与使用双方另定。 |                            |           |            |             |

#### 6.101.6.2 试验

试验应在试验室内的周围空气温度下进行。

试验最好至少在断路器的一个完整极上进行。如果制造厂能够证明一个极中各柱之间无相互作用，则可只试一个柱。对于相对于一个极的垂直中心线是对称的断路器，只试一侧端子。对于非对称的断路器，每个端子都应试验。

试验程序如下：首先以力  $F_{shA}$  施加于端子的水平轴(图 18 中的方向 A)；第二，可以力  $F_{shB}$  相继施加于与端子纵向轴成  $90^\circ$  的两个方向上(图 18 中的方向 B1 和 B2)；第三，以力  $F_{sv}$  相继施加于两个方向上(图 18 中的方向 C1 和 C2)。

为了模拟作用在断路器重心处的风负载，可将等效的作用力施加在图 17 的端子上(等效作用力按重心处和端部位置的力臂长度进行换算，以使在断路器基部的最大力距是相等的)。

上述每种试验中的试验循环数：两个。

#### 6.101.7 淋雨试验<sup>21</sup>

户外断路器及其操动机构的淋雨试验，应从断路器最不利方向淋雨，雨滴与水平面成  $45^\circ$ ，雨量每分钟 3mm~10mm，淋雨 24h 后，断路器及其操动机构内部不应有进水的痕迹，断路器(绝缘介质、绝缘件)的绝缘性能不应低于制造厂规定的水平。淋雨试验进程中对断路器应进行 O、C 操作各 10 次。

#### 6.101.8 密封试验

液体、气体断路器或液压机构、气动机构，在充压到最高压力后，关闭流体源放置规定时间，并分别在分、合闸状态下测量压力降(压力应按温度折算)或漏油、漏气量，它们均应符合产品技术条件规定(特别要提出低温和环境温度骤变下的泄漏数据)。

机械稳定性试验后油断路器放置 24h 不应有渗漏油。

按产品技术条件规定测量产品的漏气、漏油程度，其泄漏量在指定的时限内不得超过规定值。所指的规定时限是指在较不利的环境条件下连续若干小时的泄漏量。作密封试验时尚应考虑昼夜日温差的影响。

#### 6.101.9 噪声水平测试

在离地高 1m~1.5m，距声源设备外沿垂直面的水平距离为 2m 处测得的户外设备的噪声水平不得超过 110dB(A)；户内设备的噪声水平不得超过 90dB(A)。

#### 6.102 关合和开断试验中的各项规定

下列条款适用于所有的关合和开断试验，除非在有关条款中另有规定。

##### 6.102.1 概述

三极联动断路器的短路关合和开断试验应在三极断路器上进行整体试验。

在试验室中进行试验时，既可采用直接试验法，也可以采用合成试验法。

如果受试验设备的限制，可采用下列方式中的一种或几种进行试验，但应遵守等价条件：

- a)单相试验；
- b)单元试验；
- c)多部试验。

##### 6.102.1.1 单相试验

对三极断路器的一个极在单相回路上进行试验。试验电流和三相试验时相同。施加的工

频电压等于用完整的三极断路器在相应的条件下进行三相关合和开断试验时承受最高电压的极上的电压，参看 6.102.4.1。

#### 6.102.1.2 单元试验

某些断路器是由相同的开断或关合单元串联组成，通常利用并联阻抗来改善每极各单元之间的电压分布。

这种型式的设计使得有可能按照 6.102.4.2 在一个或多个单元上进行试验来检验断路器的开断或关合性能。

#### 6.102.1.3 多部试验

对于给定的试验方式，如果不能同时满足瞬态恢复电压的全部要求，则试验可以连续地按两部分或多部分进行，如图 27 所示，说明参看 6.102.4.3。

**注：对于装有合闸电阻或低欧姆分闸电阻的断路器，可以采用其他的特别程序。**

#### 6.102.2 试品的数量

IEC 696 的 6.1.1 适用，并做如下补充：

作为进行短路关合、开断试验和开合试验(适用时包括端子短路、近区故障、失步和容性电流开合试验)的推荐经验，这些试验应用一台试品。短路试验时，每个独立的试验方式之间和其他非短路试验时每个独立试验系列之间，需要时，如果允许可以进行维修。制造厂应向实验室说明试验过程中哪些零部件需要更换。

然而，也注意到在一个位置，几个试验方式必须在同一个试验站进行，上一段的限制条件可能会成为不经济的结束。在这种情况下，最多允许使用两台样机进行上述试验。这时，应按 IEC 694 的 6.1.2 对两台样机进行全面确认；另外，两台试品触头的空载行程特性应在 6.102.6 规定的允差范围内。

作为补充，仅限于每台具有独立机构的断路器，应进行整极试验。作为对两台试品的补充，也可以使用最多两极的开断单元。如果对一极的一个单元或多个单元进行单元试验时，单相试验中使用的单元总数，如果考虑到 6.102.4.3 的规定，可以认为是一个样品。在这种情况下，可以使用两个试验样品及相应的操动机构和最多附加的两台样品。

如果完成试验后，对断路器的非可更换零部件检查未发现不可预料的损坏，但不更换非可更换零部件可能会影响断路器完成型式试验，则允许按补充要求。如果不是这种情况，则应该用同一台试品进行整个型式试验，而仅更换制造厂说明的可更换零部件。

#### 6.102.3 受试断路器的布置

##### 6.102.3.1 概述

受试断路器应整体装在其自己的支架或与之等效的支架上，作为封闭单元的一个组成部分的断路器应装配在其自己的支持结构和外壳内；外壳要完整，即装有隔离装置，构成单元部件的排逸孔，可行的话，还要有主连接和母线排。

操动机构应按规定的方式进行操作，特别是，如果它是电动、弹簧操作的，合闸线圈或分励合闸脱扣器和分励分闸脱扣器分别应在其最低电源电压保证成功操作(合闸线圈、分励合闸脱扣器和分闸脱扣器的电源电压，为 5.5 和 5.7 规定的额定电压最低值)。为了便于稳定地控制分闸操作，在试验方式 5、容性电流开合试验和 6.108 中规定的单相试验时，对于气动或液压操动装置，应该在最低操作功能压力下操作，除非相关条款中另有规定，额定操作顺序见 4.104。如果受试验站条件的限制，允许操作顺序由单分、合分和分— $t_a$ —合分操作构成，下面程序适用：

a) 开合试验前，应从最低操作功能压力开始，应记录所进行的空载额定操作顺序时的所有压力。

b) 应把记录到的压力值与制造厂提出的保证单分、合分和分— $t$ —合分成功操作的最低值比较。

c)试验应在上述 a)和 b)的最低压力下操作,试验方式中相应操作的压力不论如何低,该压力值应记录在试验报告中。

试验过程中应使联锁装置不起作用。

应表明断路器在上述条件下,如 6.102.6 规定的空载时能够满意地操作。

开断用的压缩气体的压力应整定到其最低功能值。

断路器应根据 6.102.3.2 和 6.102.3.3 规定的型式进行试验。

#### 6.102.3.2 单箱壳型

全部弧触头均装在一个共用的箱壳内的三极断路器应在三相回路中对完整的三极断路器进行试验。

理由如下:

- a)由于排出气体的影响可能在极间或极对地间引起闪络;
- b)灭弧介质的状态(压力、温度、污秽水平等)可能不同;
- c)由于三相故障产生的电动力在相间可能产生的影响;
- d)操动机构所受的应力可能不同。

#### 6.102.3.3 多箱壳型

由三个独立的单极开合装置组成的三极断路器,如果其极间同期差符合第 5.101 条的要求,则可按照 6.102.4.1 进行单相试验。

对不具有完全独立的开合装置的三极断路器,最好用整台三极断路器进行试验,但是为了方便,或由于可供使用的试验设备的限制,可以用断路器的一个单极进行试验,只要这在整个试验过程中在下列各方面同整台三极断路器等价或不处于较之更轻松的条件下:

- a)关合速度;
- b)开断速度;
- c)灭弧介质的利用率;
- d)分合闸机构的功率与强度;
- e)结构的刚度。

#### 6.102.3.4 自脱扣型断路器

装有直接过电流脱扣器的断路器,按第 6.103.4 条的规定,应安排进行下述的试验方式 1、2、3、4 和 5(6.106),过电流脱扣线圈或电流互感器应接到试验回路的带电侧。

在试验方式 1、2、3 和 4 中,把最大额定动作电流的线圈整定在最大电流和最大延时下动作,而在试验方式 5 中,则整定在最小电流和最小延时下动作。

**注:当时延太大不便于录波时,允许采用较小的时延整定值,或者使时延装置在进行试验方式 1 和方式 2 时不动作。**

### 6.102.4 关于试验方法的一般考虑

#### 6.102.4.1 三极断路器的单相试验

当断路器的设计允许用单相试验模拟三相条件且断路器的三极共用一个操动机构时,应在装配完整的三极断路器上进行试验。

在一个合适的即能再现真实短路条件下机构必须克服的最大作用力的试验中,应记录整体断路器的触头运动特性(速度和行程)。为此,这一试验应在额定短路开断电流和可供利用的最高的但不高于额定电压的电压条件下进行。

断路器必须以上述试验中记录的触头运动特性进行额定短路开断电流的单相试验,要求从触头刚分瞬刻到与最大燃弧时间对应的瞬间的分闸行程内,任一瞬刻的触头开距和速度同预测值的偏差应不超过 $\pm 10\%$ 。对于较小电流的试验,触头速度可以不同。

**注:为了获得正确的运动特性,或许需要调整操作功、运动质量等。**

应特别注意电弧分解物的喷射。如果认为这种喷射,例如,可能损害相邻极间的绝缘距

离，那么应采用接地金属屏蔽进行检查(见 6.102.7)。

#### 6.102.4.2 单元试验

当试验室的设备不能对整台三极断路器或断路器的一个单极进行试验时，根据断路器的型式可以在一个单元或多个单元上试验。

6.102.3 和 6.102.4.1 的要求也适用于单元试验。

因此至少要装配一个整极，以便在一个或多个单元上进行试验。

由独立操作的单元或单元装配组成的断路器，其试验可以分别在单元或单元装配上进行，只要操作介质的供应不比整体断路器更有利。

如果开断单元可用于不同额定电压的断路器，可由制造厂同用户商定，只对某一特定额定电压下最严酷的条件进行试验。

当进行单元试验时，重要的是各单元要彼此相同，对所考虑的试验类型(出线端故障、近区故障、失步等)单元间的静态电压分布是已知的。

##### 6.102.4.2.1 单元的统一性

断路器所有单元的形状、尺寸及操作条件必须是相同的；仅允许控制各单元间电压分布的装置可以是不相同的。特别是应满足下列条件：

(1)各触头的操作。同极触头间的分、合闸不同期性不得超过 2.5ms。采用额定操作压力和电压确定这个时间间隔(见 5.101)。

(2)灭弧介质的供应。对于从单元以外的来源供应灭弧介质给单元的断路器，每个单元的介质供应实际上与其他单元的供应无关，且供应管道的布置应保证对所有单元介质的供应实质上是同时的，方式也是相同的。

(3)灭弧介质的状态。断路器及其各单元的设计应使得在开断或关合操作时，在每个单元中已建立电弧时的介质状态(即温度、压力、流率等)实际上不受其他单元操作的影响。

特别是，与一个或多个受试单元正常串联的其他单元不存在电弧时，既不应使一个或多个受试单元的灭弧介质的供应得以增加，也不应使电弧生成物的排出变得容易。

排出的电离气体或蒸汽不得影响同相或其他相的正常工作，或因闪络而引起断路器整体故障。

##### 6.102.4.2.2 电压分布

分析同极各单元的电压分布确定试验电压。

受大地影响，一极中各单元的电压分布应按单相试验的有关试验回路条件来确定；对于出线端故障条件见 6.103.3 中项(3)和(4)以及图 21(a)、(b)和图 22(b)；对于近区故障条件见 6.109.3；对于失步条件见 6.110.2 及图 29～图 31。如各单元是非对称布置时，电压分布还应按方向相反的接线来确定。

如果断路器装有并联电阻，电压分布应按瞬态恢复电压的等效频率进行计算或静态测定。

**注：**在四参数法情况下，可认为等效频率等于  $1/(3t_1)$ ，在两参数法情况下等于  $1/(2t_3)$ (见图 23 和图 24)。

对于近区故障单元试验，电压分布应以线路侧电压和电源侧电压为基础进行计算或静态测定，这时，线路侧电压的频率等于线路振荡的基波频率，电源侧电压的频率等于出线端故障时瞬态恢复电压的等效频率，此两电压的公共点为地电位。

如果仅用电容器均压，则电压分布可按工频进行计算或测定。

应考虑到电阻和电容器在制造中的偏差，制造厂应规定这些偏差值。

**注**

**1** 失步开断试验中的电压分布可能比出线端故障或近区故障试验中的情况更为有利。按照中性点接地系统中的不接地故障条件进行试验时也是这样。

2 在确定电压分布时,不考虑污秽的影响。在某些情况下,污秽可能影响这一电压分布。

#### 6.102.4.2.3 单元试验的要求

所有单元试验应使用与试验室试验能力相适应的最大数量的串联单元,并以规定的关合和开断电流进行。

当进行单个单元试验时,试验电压应为按 6.102.4.2.2 确定的电压最高的单元的电压。对于近区故障条件,所指单元是在线路侧瞬态电压出现第一个峰值的规定时间内作用电压最高的单元。

当试验一组单元时,该组中作用电压最高单元的出线端出现的电压应等于整极中作用电压最高的单元的电压,两者均应按 6.102.4.2.2 的规定确定。

单元试验中,断路器的对地绝缘未承受整体断路器开断操作时所产生的全电压。因此,对于某些类型的断路器,例如金属封闭断路器,需要验证其对地绝缘在全部单元在最长燃弧时间条件下开断额定短路开断电流后能耐受该全电压,还要考虑排出物的影响。

注:应考虑到 IEC61633。

#### 6.102.4.3 多部试验

第一部分,瞬态恢复电压(TRV)的起始部分应符合直到电压  $u_1$ 、时间  $t_1$  点的规定的参考线,但不得超过时延线。

第二部分,应获得电压  $u_c$ 、时间  $t_2$  的点(见图 27)。

构成一个多部试验一部分的单独试验的燃弧时间应是相同的。

#### 6.102.5 合成试验

6.106 到 6.111 所要求的开断与关合试验可采用合成试验法,见 GB/T 4473—1996。

#### 6.102.6 试验前的空载操作

在关合和开断试验开始前应进行空载操作,并详细记录操作特性,如速度、合闸时间和分闸时间。空载触头运动曲线偏差的极限应在总行程的  $\pm 5\%$  范围内。分合闸时间偏差的范围由制造厂给出。

对装有关合电流脱扣器的断路器,应验证当空载时不会导致断路器动作。65%~120% 直流额定电压合闸。

对于电动操作的断路器,操作应按下列条件进行:在其合闸线圈上施加合闸装置电源电压额定值的 110%, 100% 及 85%(80%); 在并联分闸脱扣器上,施加 110%, 100% 及 85% 额定电源电压(交流)或 120%, 100% 及 65% 的额定电源电压(直流)。

对分闸脱扣器的要求见 5.7.1。

对于气动或液动操作的断路器,按照 5.5 和 5.6 规定的最低、额定和最高压力在下列条件下进行操作:

a)最低压力配 85%(交流)或 65%(直流)额定电源电压加于并联分闸脱扣装置,和 65% 的额定电源电压加于并联合闸脱扣装置;

b)额定压力配额定电源电压加于并联分、合闸脱扣装置;

c)最高压力配 120% 额定电源电压加于并联分、合闸脱扣装置;

d)最高压力配 85%(交流)或 65%(直流)额定电源电压加于并联分闸脱扣装置,和 65% 的额定电源电压加于并联合闸脱扣装置。

对于弹簧操作的断路器,操作应按下列条件进行:对并联合闸脱扣装置施加 120%, 100% 和 65% 的额定电源电压;对并联分闸脱扣装置施加 110%, 100% 和 85% 的额定电源电压(交流)或 120%, 100% 和 65% 的额定电源电压(直流)。

#### 6.102.7 供选用的合闸机构

如果断路器设计成可选用几种合闸机构时,对每一种机构均应各自进行一系列的短路试

验，除非能证明更换机构并不影响公共部分的特性，特别是有关断路器的分闸特性。

如能满意地证明这点，则只需用其中一种机构作一个完整系列的短路试验。但任何包含关合操作的短路试验方式(见 6.106.4)都应配上每种机构，逐个地分别进行试验，不能互相代替。

#### 6.102.8 试验时断路器的状况<sup>1]</sup>

采用说明：

1] 6.102.8(1)~(7)根据我国条件提出。

(1)在关合和开断试验时，断路器应既无负载过重的表现，亦不应危及操作人员。油断路器不得外喷火焰，产生的气体和混在气体中的油均应从断路器引出并离开所有带电导体及可能有人员的地方。对其他型式的断路器，如有明显的火焰或金属颗粒喷出，则在短路试验时可以要求在带电部件附近放置金属屏障，屏障与带电部件之间有一安全距离，其数值由制造厂规定。

屏障应与地绝缘，但用适当装置与之相连接，以便能指示出对地泄漏电流。

试验中，应无明显的泄漏电流通过断路器的接地构架或屏幕(当装有时)。如有怀疑，接地部分等应该用直径为 0.1mm，长为 5cm 的铜丝接地。如果铜丝在试验后完整无损，则认为未发生过明显的泄漏电流。

在某种情况下，断路器框架和地之间必须绝缘时，将框架通过一个变比为 1：1 的合适的变压器的一次绕组接地，变压器二次绕组上跨接熔丝并用火花间隙保护。

线路充电、电缆充电、电容器组和小电感电流开断试验中所产生的过电压应不超过规定值(见 4.107 至 4.110 和 4.112)。不应发生外部闪络。

(2)在制造厂所保证的试验顺序范围内不得进行检修，对操动机构不能作任何的调整。在制造厂所保证的短路开断试验顺序之后，绝缘子及非易损件不得损坏；在未经检修的情况下应能承受最高电压，能分、合额定电流；应复核耐压试验，如有怀疑可复核温升试验，其性能应符合技术条件的规定，只是弧触头部位的温升允许比标准值超过 10K。

(3)对将进行型式试验的被试品应先调整好，并安装在指定的基座或柜中，其各项时间参量应在厂家所规定的范围内；断路器在 10%和 30%容量的试验均完成后才允许检修；在 60%容量的试验后允许检修；最后在 100%容量下再进行额定操作顺序的试验，其间不得检修。试验后应不经调整和检修立即进行温升试验和耐压试验。

(4)在 100%容量下，要求在液压为合闸闭锁点前的压力下作关合试验，在分闸闭锁点前的压力下作“开断”的试验，在重合闸闭锁点前的压力下作重合闸顺序试验。

(5)在每次开断—关合试验后，断路器的断口间、相间、相对地的绝缘应能承受原有的额定耐压水平。油断路器不允许严重喷油。开断后油位可见，不允许喷火或带火的油。

(6)在完成本标准规定的全部开断、关合短路电流试验方式后、断路器在规定的最高、最低及额定电(气、液)压下的时间参量应符合产品的技术要求。在完成开断、关合容性或小电感电流试验后，不经检修、试品仍应维持其额定短路开断、关合能力、载流能力及绝缘性能，有怀疑时可作验证。

(7)操动机构经过短路试验顺序后的要求：对操动机构的机械特性可作必要的调整，但不得更换机构。在短路的开断与关合试验中，仅仅是因为调整欠当致使试验中拒动，允许重新调整，调整后重作该档试验。但在整个 10%~100%的各项试验顺序中，这种补充性调整只允许进行一次。

#### 6.102.9 试验后断路器的情况

##### 6.102.9.1 概述

在各个试验方式之后检查断路器，各个机械环节元件以及绝缘子均应与试前一样，用目视即可判断其绝缘状况是否良好，如有怀疑，应按 DL/T 593—1996 中 6.1.11 进行状态检验

试验。当不能检修灭弧室或解体检查将影响检查结果时，例如 GIS、真空断路器，状态检验是必试项目(对真空断路器开断后的绝缘不得下降)。

#### 6.102.9.2 经过一个短路试验方式后的情况

断路器在每一个短路试验方式后，虽然其短路关合和开断性能可能有所下降，仍应能在额定电压下关合和开断额定电流。

主触头试验后的状况特别是关于烧伤、接触面积、压力和运动的自由度方面应该是：能承载额定电流而温升不超过 DL/T 593—1996 中 4.2.4.2 表 5 规定值 10K 以上。如有怀疑，需补作温长试验。经验表明，不能单独把断路器端子间电压降的增加作为温升增加的可靠证据。

在任何一个短路试验方式后，在触头接触点上仍保留有银层时，才被认为是“覆盖银的”，否则触头按“未覆盖银的”来处理。

#### 6.102.9.3 经过一个短路试验系列后的情况

为校核断路器在试验后的动作，断路器在完成一个完整的短路试验系列后，应进行空载合闸和分闸操作。这些操作特性与按照 6.102.6 所作的相应操作特性相比应无明显的变化。断路器应能满意地合闸和稳固地处在合闸位置。

在完成短路试验方式的整个系列后，油断路器箱壳的衬里可能会遭到局部烧伤，假如衬里并不因此而失去作用，则这样的烧损是允许的。这一规定不能用于构成断路器主绝缘一部分的衬里、管道及屏障栏等。

在油断路器中，相间的非金属屏障和箱体衬里允许有轻微的变形，只要它不妨碍正常分闸与合闸。

如果不是受试断路器本身性能的原因，需要进行比本标准所要求的更多的短路试验方式，且如果箱体衬里已如此损坏，以致制造厂希望在完成试验方式的整个系列前即予以更换时，则在试验报告中应阐明更换的情况和作必要的解释。

对主绝缘(即在正常条件下，断路器在分闸和合闸时均承受电压作用的部分)的损坏而导致断路器绝缘的削弱时，将判断断路器不合格。为套管或灭弧装置设置的挡板，如遭损坏，只要挡板基本上保持完好并能继续完成其承担的作用，则认为这种损坏并未导致性能的失效。凡绝缘表面受损坏以致在正常电压下对地、相间或断口间可能沿绝缘表面产生爬电时，则这种损坏会导致性能的失效。

对油的变质不能给出判断准则，因为它与具体受试断路器有关。

#### 6.102.9.4 在短路试验系列以外的其他试验系列后的情况

断路器经 6.111 和 6.112 所规定的线路充电、电缆充电、电容器组和小电感电流的开断试验后，在修整前应能在任何关合和开断电流直至其额定短路关合和开断电流下满意地操作。

此外，断路器应能承载其额定电流而温升不超过 DL/T593—1996 中 4.2.4.2 表 5 的允许温升值。

绝缘材料不应有内部击穿、闪络的证据或痕迹，但灭弧装置中暴露于电弧的部分允许有适度的烧损。

**注：仅在怀疑时，才需要验证是否符合上述要求。**

#### 6.102.9.5 经过一个短路试验方式或其他试验系列后的修整

不用说，断路器在经历了一个短路试验方式或其他试验系列后，可能需要检修，以使断路器恢复到制造厂所规定的原来状况。例如，可能有必要进行下列检修：

- a)修理或更换弧触头和制造厂推荐的其他可更新部件；
- b)油或其他灭弧介质的更新或过滤，以及补充适量的介质使之恢复到正常水平或密度；
- c)清除内绝缘上因灭弧介质分解而引起的沉积物。

#### 6.102.10 短燃弧时间断路器，燃弧时差<sup>1)</sup>

采用说明：

1] 根据我国情况提出。

已知，当对短燃弧时间断路器进行开断试验时，在同一回路整定值下，由于触头在电流波形不同相位上分离，试验严酷程度可能有巨大的偏差。为此，对于首开相的燃弧时间(对于带并联电阻的断路器为主电弧熄灭时间)不大于一个周波的断路器，其试验要求如下，目的在于保证型式试验中能包含有最长燃弧时间的考验，即保证有足够的燃弧时差。

试验中要求有三次有效开断的考验。

所谓燃弧时差，是指断路器在工作中遇见的最长燃弧时间与最短燃弧时间之差。断路器在开断某一短路故障时，有一个确定的能可靠灭弧的最短燃弧时间。为保证系统安全运行，系统要求断路器有一个最长的、能可靠灭弧的燃弧时间。二者之差即为燃弧时差。在各种试验方式的试验中获得的断路器成功开断的最长燃弧时间与最短燃弧时间之差应等于或大于要求的燃弧时差。

考虑断路器开断系统三相短路故障的操作中的各种随机条件和实用的限定条件，用计算确定了直接接地系统中断路器首开极和后开极可能出现的燃弧时差分布规律，取能覆盖运行中的 95%的情况的燃弧时差作为规定的依据。

6.102.10.1 出线端故障的试验方式 1、2、3、4

(1)三相试验，不选相。

(2)单相试验。

用单个开断操作  $O_S$  按首开极条件求出各试验方式中断路器的最短燃弧时间  $t_{s, \min}$ ，并作为第一次有效开断操作。为了确定最短燃弧时间，至少要作两次试验，一次开断，一次失败，两次试验的燃弧时间之差限定为大约 1ms。

第二次及第三次开断操作的燃弧时间取表 26 中第 3 栏和第 4 栏中的值，分别是首开极和后开极条件下要求的最长燃弧时间。由于在同一试验方式的 3 次试验中不便于及时更换试验线路(改变 TRV 值)，故列出了第 5 栏的后开极代用条件。

在各个试验方式的三次有效开断中应有一次的燃弧时间达到表 26 中第 5 栏的数值。

对用于自动重合闸操作的断路器，重合闸之后的  $O_S$  操作的燃弧时间是按首开极还是后开极条件，不作规定。但对试验方式 4 重合闸之后的  $O_S$  操作的燃弧时间应按表 26 中第 5 栏的数值选取。在 3 次有效开断操作中，至少有一次为最长燃弧时间。

6.102.10.2 出线端故障的试验方式 5

三次单个开断操作按下述顺序进行：第一次开断操作在小半波之末熄弧，并由此确定最短燃弧时间  $t_{a, \min}$ ；第二次和第三次开断操作均在大半波之末熄弧，其燃弧时间等参数见表 27。

6.102.10.3 失步故障试验中的燃弧时差

在两次开断操作中得到的燃弧时间之差不小于 $(5.5 \pm 0.5)$ ms。

6.102.10.4 合成试验顺序

合成试验顺序及其代用法见表 28。

表 26 试验方式 1、2、3、4 的燃弧时差

| 系统中性点 | 参 数                 | 首开极条件                       | 后开极条件                       | 后开极代用条件                   |
|-------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1     | 2                   | 3                           | 4                           | 5                         |
| 直接接地  | 燃弧时间 ms             | $t_{a, \min} + 5.5 \pm 0.5$ | $t_{a, \min} + 9.7 \pm 0.5$ | $t_{a, \min} + 9 \pm 0.5$ |
|       | 电压因数                | 1.3                         | 1.25                        | 1.3                       |
|       | 电流零点时的变率相对值 $di/dt$ | 1                           | 0.89                        | 1                         |

|                                                                                                                                                                                     |  |  |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| <p>注</p> <p>1 表中，电压因数是开断后工频恢复电压瞬时值与额定相电压幅值之比。电流零点时的变率相对值以三相对称短路电流零点的 <math>di/dt</math> 为基准。实际试验的燃弧时间可超过表中第 3、4、5 栏规定的上限，但不得低于其下限。</p> <p>2 燃弧时差=燃弧时间-<math>t_{a, \min}</math>。</p> |  |  |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|

表 27 试验方式 5 的燃弧时差

| 系统中性点                                                                                                                                                                                           | 参 数                 | 首开极条件                   | 后开极条件                   | 后开极代用条件                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                               | 2                   | 3                       | 4                       | 5                       |
| 直接接地                                                                                                                                                                                            | 燃弧时间 ms             | $t_{a, \min}+4.1\pm0.5$ | $t_{a, \min}+8.7\pm0.5$ | $t_{a, \min}+8.2\pm0.5$ |
|                                                                                                                                                                                                 | 电压因数                | 1.3K                    | 1.25K                   | 1.3K                    |
|                                                                                                                                                                                                 | 电流零点时的变率相对值 $di/dt$ | K                       | 0.89K                   | K                       |
| <p>注</p> <p>1 表中，<math>K</math> 为 <math>\sqrt{1-p^2}+\frac{p}{2\pi f\tau}</math>，参见 GB/T 4473—1996 中 7.3。实际试验的燃弧时间可超过表中第 3、4、5 栏规定的上限，但不得低于其下限。</p> <p>2 燃弧时差=燃弧时间-<math>t_{a, \min}</math></p> |                     |                         |                         |                         |

表 28 试验方式 1、2、3、4 和 5 的合成试验顺序(252kV～550kV)

| 序号                                                                                                                                                                                                     | 试验方式    | 合成试验方式   | 操作顺序                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                      | 1, 2, 3 | 4.104(1) | O—t—CO—t' —CO                                                                                                        |
| 2                                                                                                                                                                                                      |         | 代用法      | O <sub>S</sub> ; O <sub>D</sub> —t—O <sub>S</sub> —t' —O <sub>S</sub>                                                |
| 3                                                                                                                                                                                                      | 4       | 4.104(1) | O—t—CO—t' —CO                                                                                                        |
| 4                                                                                                                                                                                                      |         | 代用法 1    | O <sub>S</sub> ; O <sub>D</sub> —t—C <sub>S</sub> O <sub>S</sub> —t' —C <sub>S</sub> O <sub>S</sub>                  |
| 5                                                                                                                                                                                                      |         | 代用法 2    | O <sub>S</sub> ; O <sub>D</sub> —t—C <sub>D</sub> O <sub>S</sub> —t' —C <sub>D</sub> O <sub>S</sub>                  |
| 6                                                                                                                                                                                                      |         | 代用法 3    | C <sub>S</sub> ; O <sub>S</sub> ; O <sub>D</sub> —t—C <sub>D</sub> O <sub>S</sub> —t' —C <sub>D</sub> O <sub>S</sub> |
| 7                                                                                                                                                                                                      | 5       | 开断操作     | O <sub>S</sub> ; O <sub>S</sub> ; O <sub>S</sub>                                                                     |
| <p>注：表中 <math>t=0.3s</math>; <math>t'=180s</math>;</p> <p>C<sub>S</sub>—合成中的关合操作;</p> <p>O<sub>S</sub>—合成中的开断操作;</p> <p>C<sub>D</sub>—低电压和额定短路关合电流下的关合操作;</p> <p>O<sub>D</sub>—低电压和额定短路开断电流下的开断操作。</p> |         |          |                                                                                                                      |

6.102.11 电寿命试验 <sup>1]</sup>

采用说明：

1] 根据 IEC 56 第 3 号修订件及我国要求提出。

某些断路器，例如 E2 级断路器属少维护型，应按 6.106.6 的规定进行电寿命试验，或按 DL/T 403—91 中 2.9，额定短路电流开断次数的要求进行电寿命试验。

6.103 短路关合和开断试验的试验回路

6.103.1 功率因数

各相的功率因数应按附录 D 所阐述的方法之一来确定。

多相回路的功率因数应取为各相功率因数的平均值。

试验时，此平均值应不超过 0.15。

任意一相的功率因数与功率因数的平均值的差别不应超出平均值的 25%。

#### 6.103.2 频率

断路器应在额定频率下进行试验，频率允差为 $\pm 10\%$ 。

#### 6.103.3 试验回路的接地

短路关合和开断试验时，试验回路的对地联结应符合下述要求，并应在所有情况下，在试验报告的试验回路图上予以指明(见附录 C 的 2.4g)。

(1)对于三极断路器的三相试验，首开极因数为 1.5。

断路器(其构架与运行时一样接地)应接到电源中性点绝缘且短路点接地的试验回路上，如图 19(a)所示；如不可能，接线如图 19(b)。

这些试验回路给出的首开极因数为 1.5。

按照图 19(a)，电源中性点可以通过电阻接地，其电阻值应尽可能大，以欧姆表示，决不少于  $U/10$ ，其中  $U$  为试验回路的线间电压伏特数。

当采用图 19(b)时，在受试断路器的一个接线端子发生接地故障的条件下，可能产生危险的接地电流。因此允许电源中性点通过适当的阻抗接地。

(2)对于三极断路器的三相试验，首开极因数为 1.3。

断路器(其构架与运行时一样接地)应接到电源中性点通过适当阻抗接地且短路点接地的试验回路上，如图 20(a)所示；如不可能，可采用图 20(b)。

接地阻抗的选择应使首开极因数为 1.3。

(3)对于三极断路器的单极作单相试验，首开极因数为 1.5。

a)对于不考虑电力系统中性点接地情况的通用断路器：

试验回路和断路器构架应按图 21(a)连接，以便灭弧后带电部分与构架间的电压状况，与三极断路器在图 19(a)中所示的试验回路中试验时首开极上出现的电压状况一样。

为了试验站的方便，经用户同意，可采用电源具有一个中直接地点的试验回路，电压分布最好如图 21(b)所示。

b)打算用于直接接地系统，承受非接地故障的断路器：

试验回路和断路器构架应按图 21(b)连接，以便灭弧后带电部分与构架间的电压状况，与三极断路器在图 19(b)中所示的试验回路中试验时首开极上出现的电压状况一样。

为了试验站的方便，经制造厂同意，可采用图 21(a)。

(4)对于三极断路器的单极作单相试验，首开极因数为 1.3。

试验回路和断路器构架应按图 22(a)连接，以便在灭弧后带电部分与构架间的电压状况与三极断路器在图 20(a)所示的试验回路中试验时首开极上出现的电压状况大致相同。

为了试验站的方便，经用户同意，可以采用电源具有一个中直接地点的试验回路如图 22(b) 所示。

(5)对于单极断路器的单相试验。

试验回路与断路器构架应连接，以便灭弧后在断路器内部带电部分与地之间重现运行时的电压条件，试验报告中应说明所使用的连接方式。

#### 6.103.4 试验回路和断路器的连接

在断路器一侧的布置外形不同于另一侧的布置外形时，试验时试验回路的带电侧应接到使断路器能获得更严酷的对地电压条件的一侧，除非断路器系仅用于单边供电的特定设计。

如有怀疑，试验方式 1、2、3、4、5(6.106)应以相反的接线方式来进行。如果试验方式 5 被省略，则试验方式 4 应按此两种接线方式进行。

#### 6.104 短路试验参数

参数未规定允差时,进行型式试验所取的数值应不低于规定值;但上限均应得到制造厂的同意。

#### 6.104.1 短路关合试验前的外施电压

对于 6.106.4 的短路关合试验,外施电压应如下:

(1)对于在三极断路器上进行三极试验,外施电压的平均值应不低于额定电压  $U^{1]}$ ,且未得到制造厂的同意,应不超过此值 10%。

各相的外施电压与平均值之差应不超过 5%。

(2)对于在三极断路器上进行单相试验,外施电压应不低于相对地电压值  $U/\sqrt{3}$ ,且未得到制造厂的同意,应不超过此值 10%。

注:为了试验的方便,在征得制造厂同意后,允许外施电压等于相对地电压与断路器首开极因数(1.3 或 1.5)的乘积。

对于可供单相重合闸操作的断路器,在随后的三相合闸操作中各触头接触之间的最大时差超过额定频率的半个周波时,则外施电压应等于相对地电压值与断路器首开极因数(1.3 或 1.5)的乘积。

(3)对于单极断路器,外施电压应不低于额定电压,且未得到制造厂的同意时应不超过此值 10%。

(4)对 12kV 级产品的试验电压要求既可按 12kV 核算也可按 11.5kV 核算 <sup>2]</sup>。

#### 6.104.2 短路(峰值)关合电流 <sup>3]</sup>

采用说明:

1] IEC 为  $U/\sqrt{3}$ 。

2] 根据我国条件提出。

3] 根据 IEC 56 第 3 号修订件提出。

断路器关合短路的能力(关合额定短路关合电流)在方式 4 的试验中得到验证(见 6.106.4)。在电压波形上任一点发生预击穿时,断路器均应能实现关合操作。关合有两种极端情况:①在电压波峰值处被接通,预击穿弧道最长,电流为对称正弦波;②在电压波过零时被接通,没有预击穿,但电流波的直流分量最大。

下述试验程序能使断路器得到全面的关合考验:

a)在电压波峰值处关合接通,预击穿弧道最长,电流为额定短路开断电流(见 4.101);

b)断路器能在“完全不对称的短路电流”下关合,电流为额定短路关合电流(见 4.103);断路器也能在低于其额定电压下运行[见 4.101a],在这种情况下也有可能关合“完全不对称”的短路电流。在未征得制造厂同意下,不允许在更低的电压下进行试验。

注

1 如果直流分量百分数不大于 20%,可认为这种电流是对称的。

2 如果断路器的预击穿时间超过 10ms,为了达到最严酷的关合考验,关合试验的次数有可能超过两次。

3 由于三相关合的不同期,例如,有两相先接通,之后经过 5ms,第三相投入,此时的关合电流峰值有可能超过 100%。

试验程序如下:

(1)三相试验。

对三极断路器进行三相试验,按方式 4,上述 a)、b)要求已能满足。控制合闸瞬间,使得在两个 CO 操作中(方式 4)至少碰上一一次的电流达到额定短路关合电流(峰值)值。

在方式 4 的第一个 CO 操作中,如因预击穿致使得不到额定短路关合电流值,即使在调

整合闸瞬间之后在第二个 CO 中仍然得不到额定短路关合电流,应降低试验电压进行第三个 CO 操作试验。在进行第三个 CO 试验之前,允许检修断路器。

## (2)单相试验。

在单相试验中,按方式 4 或 4a 试验时,应在一次合闸中达到上述要求 a),而在另一次合闸中达到要求 b),对其次序不作规定。如果在方式 4 或 4a 进程中上述 a)、b)要求之一未能达到,要求增加一个 CO 操作。这后者之前允许检修断路器。

这增加的第三个 CO 操作应能证明(根据前两次试验中哪一次未能达到):①上述要求 a)或 b)已能满足;②作出说明,所得到的考验已能满足因预击穿而导致的实际情况。

如在试验方式 4 或 4a 中,由于断路器的特性得不到额定短路关合电流,进行第三个 CO 试验时可在低压下进行,见上述注 3。

如果在方式 4、4a 试验中未能得到对称开断电流[如上述 a)条要求],应在 6.104.1 规定的外施电压范围内再增加一个 CO 试验。

### 6.104.3 短路开断电流

断路器所开断的短路电流,应按照图 8 在触头分离瞬间进行测量,且用下述规定的两个数值予以说明:

- a)各相交流分量有效值的平均值;
- b)任何一相中最大直流分量的百分数。

在任何一相中,开断电流的交流分量有效值与平均值的差异,应不大于平均值的 10%。

虽然开断电流是在相应于触头分离瞬间测量的,然而断路器的开断性能取决于燃弧最后半波中最后开断的电流值及其他因素。因此,短路电流的交流分量的衰减是十分重要的,特别是在试验燃弧为好几个电流半波的断路器时尤其如此。为了避免试验条件的减轻,短路电流交流分量的衰减应该是:在对应于最后开断相主电弧最终熄灭瞬间,预期电流的交流分量不得小于试验方式所规定的电流值的 90%。

如果断路器的特性能使短路电流值减小到低于预期开断电流,或者如果在示波图上不能成功地把电流波的包络线画出来,则可以认为所有相预期开断电流的平均值就等于短路开断电流,且在预期电流的示波图上相应于触头分离的瞬间进行测量。

触头分离的瞬间可以根据试验站的经验和受试断路器的型式用不同的方法测定,例如,试验时记录触头行程、电弧电压或对断路器作空载试验。

### 6.104.4 短路开断电流的直流分量

对在分闸操作时不能控制直流分量的断路器,亦即装有直接过电流脱扣器的断路器按 6.102.3.1 的整定进行试验时,直流分量可能大于 6.106 对试验方式 1~4 所规定的值。

断路器在试验方式 5 中,即使在某一分闸操作中的直流分量百分数小于规定值,只要在试验方式的各分闸操作中直流分量百分数的平均值超过规定的直流分量百分数时,则应认为断路器已满足了试验方式 5。

### 6.104.5 出线端故障的瞬态恢复电压(TRV)

#### 6.104.5.1 概述

试验回路的预期瞬态恢复电压,应使用对波形无明显影响的方法在断路器端子上进行测量,与端子跨接的还包括各种必需的试验测量装置,如分压器。在附录 G 中叙进了一些合适的测量方法(见 6.104.6)。

对三相回路,瞬态恢复电压是对按 6.103.3 的规定布置的一个适合的试验回路的首开相而言,即指跨在一个分闸极上的电压,而其余两极均合闸。

试验的预期瞬态恢复电压用附录 F 所示的方法画出包络线和它的起始部分来表示。

试验中所规定的瞬态恢复电压按 4.102.3 和图 10~图 12 中的参考线、时延线及起始瞬态恢复电压(ITRV)包络线来表示。

试验回路的预期瞬态恢复电压波形应符合下述两项要求：

a)其包络线决不低于规定的参考线；

注：必须强调，包络线可超出规定参考线的程度应取得制造厂的同意；特别重要的是当规定的是四参数参考线而用两参数包络线的场合，或当规定的是两参数参考线而用四参数包络线的场合。

b)其起始部分在不超过  $t_1$  的时间内应达到规定的起始瞬态恢复电压的峰值  $u_1$ 。且其后不应与规定的瞬态恢复电压的时延线相交。

图 12 和图 23～图 27 对这些要求作了说明。

#### 6.104.5.2 试验方式 4 和 5

规定的参考线、时延线和 ITRV 均由表 2～表 4 和表 6 中的标准值给出。

关于 ITRV，如果试验所用的 TRV 包括一个经过图 12 中的点( $u_i$ ,  $t_i$ )和 A 与 B 间的水平线的振荡起始部分，则认为它对断路器的影响与由( $u_i$ ,  $t_i$ )、从( $u_i$ ,  $t_i$ )到 B 的水平线和 TRV 的起始斜率所定义的任何 ITRV 的影响相似。

由于受试验站的限制，要满足 6.104.5.1 项 b)中关于表 2～表 4 所规定的时延  $t_d$  的要求也许有困难。在进行近区故障试验时，可用提高线路侧电压第一峰值 [见 6.109.3，项 a)] 的电压振荡幅值来补偿电源回路 TRV 的欠缺。电源回路的时延应尽可能小，但在任何情况下应不超越表 2～表 4 中  $t_d$  项括号号外的数值。

对还要做近区故障试验的场合，将 ITRV 和近区故障(SLF)的线路侧回路的要求综合起来考虑可能是方便的。当 ITRV 与具有表 8 规定的时延  $t_{dl}$  的短线的瞬态电压组合时，总的负荷实际上等于无时延的短线的负荷。因此，当用无时延  $t_{dl}$  [亦见 6.109.3 项 c)] 的短线进行近区故障试验方式时，则认为对试验方式 4 和 5 的 ITRV 的要求已经满足。

#### 6.104.5.3 试验方式 3

额定电压为 72.5kV 及以下时，采用两参数参考线；额定电压为 126kV 及以上时，采用四参数参考线。规定的标准值列于表 2～表 4 中，无括号的  $t_d$  和  $t'$  值为上限值，试验时不得超过；括号内为下限值。

#### 6.104.5.4 试验方式 2

对于额定电压 72.5kV 及以下，采用两参数参考线，额定电压 126kV 及以上，采用四参数参考线。规定的标准值列于表 2～表 4 中，不带括号的  $t_d$  和  $t'$  值为上限值，试验时不得超过；括号中的值为下限值。

注：鉴于短路电流值较小时，变压器提供的短路电流相对较大，在额定电压 126kV 的中性点接地系统中，有较多的变压器在运行中中性点不接地，对于额定电压 252kV，其试验方式 2 和 1 的瞬态恢复电压规定值是基于首开极系数为 1.5。这对额定电压 363kV 及以上的试验方式也是同样适用的。

#### 6.104.5.5 试验方式 1

对额定电压 72.5kV 及以下，其瞬态恢复电压(TRV)峰值应相应于表 2 中对试验方式 2 所规定的适当值。由于试验站在小电流时难于满足短的时间  $t_3$ ，因此  $t_3$  值不作规定。应采用可能达到的最短时间，但不得小于表 2 中的数值。

对于额定电压 126kV 及以上，引入一系数 0.9，认为跨接在变压器上的电压仅为回路电压的 90%(近似)，这时假定变压器供给全部短路电流。

对于全部电压等级，都采用两参数参考线。规定的标准值列于表 3 中，到达峰值的时间是变压器自然频率的函数。

注：试验站可能难于满足小的  $t_3$  值，应采用可能达到的最短时间，并在试验报告中列出此值。

#### 6.104.6 瞬态恢复电压的测量

短路试验时, 断路器的特性诸如电弧电压、弧后电导和分合闸并联电阻的存在(若装有的话), 将对瞬态恢复电压产生影响。因此, 试验中的瞬态恢复电压不同于试验回路的预期瞬态恢复电压波形, 其差异的程度取决于断路器特性。

除非断路器对 TRV 的影响不显著, 且开断电流不包含明显的直流分量, 试验时所作的记录不应用来评定回路的预期瞬态恢复电压特性, 而应使用如附录 G 所述的其他方法进行评定。但仍希望试验时将瞬态恢复电压记录下来, 以便对试验回路预期特性进行检验。

#### 6.104.7 工频恢复电压

试验回路的工频恢复电压应不小于规定值的 95%, 并应至少维持 0.1s。

在发电机试验站中, 为了获得所要求的工频恢复电压值, 在短路期间内, 可以暂时地增强试验发电机的励磁。

对于 6.106 规定的基本短路试验方式, 工频恢复电压在上述的 95%最低值的条件下, 应遵循以下规定:

a) 对于在三极断路器上进行三相试验, 工频恢复电压的平均值应等于断路器的额定电压除以 3。

任何一极的工频恢复电压与电压保持时间终了时刻的电压平均值的偏差不超过 20%。

b) 对于在三极断路器上进行单相试验, 其工频恢复电压应等于相对地电压值  $U/\sqrt{3}$  与首开极因数(1.3 或 1.5)的乘积; 经过额定频率一个周波的间隔后, 工频恢复电压可以降低到  $U/\sqrt{3}$ 。

c) 对于单极断路器, 其工频恢复电压应等于断路器的额定电压  $U$ 。

工频恢复电压应在试验回路每相中断路器的端子上进行测量。其有效值应在示波图上在电弧最终熄灭以后试验频率的半个周波和一个周波之间的时间间隔内确定, 见图 28。应量出从第二半波的波峰至其前一半波与其后一半波的两波峰间的连线间的垂直距离(分别为  $U_1$ 、 $U_2$  和  $U_3$ ), 将此值除以  $2\sqrt{2}$  再乘以合适的标度, 即为所记录的工频恢复电压有效值。

#### 6.105 短路试验程序

##### 6.105.1 试验之间的时间间隔

基本的短路试验和近区故障试验(如果适用的话)包括 6.106 和 6.109 所规定的试验方式的各种系列。

一个试验顺序的各个操作之间的时间间隔应该是断路器的额定操作顺序的时间间隔, 如 4.104 所示, 并符合下述规定:

按照规定的时间间隔要求, 在全部试验中难于实现时, 试验的时间间隔将由制造厂同用户商议。

有时, 由于其他原因可能需要超出规定的时间间隔, 例如, 由于合成试验的较复杂的程序, 或者可能发现需要对控制或测量设备作少许的调整, 或者需要对大型发电机试验装置进行励磁或整步。在这些情况下, 如果当额定时间间隔为 3min 而试验时的实际时间间隔不超过 10min, 应认为试验合格。操作之间的实际的时间间隔应在试验报告中指明。

亦可能由于试验站的设备发生故障, 时间间隔要求大于 10min。只要这种时延不是由于断路器的操作故障所引起的, 对其状况和操作也无影响, 并且如果任何一个试验方式系列中, 这样延长的时间间隔未超过一次, 则是允许的。

另一方面, 试验之间的时间间隔当其额定值为 3min 时, 则应不短于 2min。这时, 应记录实际的时间间隔并准确到 0.5min。

##### 6.105.2 开断试验中对分闸脱扣器施加的辅助动力

在短路起始后,辅助动力应尽可能随时施加到分闸脱扣器上,但当不可能时,可在短路起始前施加动力(但触头不得在短路起始前开始移动)。于是,应该验证或出示试验证据,表明没有预脱扣情况下,在通过规定的短路电流时,断路器能满意地分闸。可用降低电压下的试验获得验证。

#### 6.105.3 关合开断试验中对分闸脱扣器施加的辅助动力

除了在 6.106.5 有关的规定之外,在关合一开断试验中,在断路器抵达合闸位置之前,辅助动力不应施加到分闸脱扣器上。在 6.106.4 中试验方式 4 的“合分”操作中,从触头关合瞬间起至少经过半个周波以后才可施加动力。为使直流分量不超过允许值,允许断路器延后分闸。

#### 6.105.4 短路扣锁

除非断路器装有关合电流脱扣器或与之等效的装置,否则应验证在合闸期间电流的交流分量衰减可以忽略不计时,断路器是否能毫无迟滞地顺利扣锁。如果对此不能用试验方式 4 或者允许的选用试验方式予以证明时,试验应在降低电压条件下,在一个能产生额定短路关合电流而交流分量衰减可忽略不计的回路上重复此项试验。

有时很难确定断路器是否已扣住和在何时扣住。因此不可能规定出一个包括所有情况的试验程序,如果有此需要,在试验报告中应记下用以验证可靠扣锁所采用的方法。

#### 6.105.5 无效试验

有可能需要进行超出本标准要求的更多的短路试验次数。如果在一个试验循环中出现无效试验,则可在断路器未经检修调整的条件下重复进行此试验循环中的无效部分。如果在这个附加的试验中,断路器未成功,则断路器可以进行检修调整,再重复进行整个的试验循环。

注

1 在快速自动重合闸试验循环中,可将“O—t—CO”作为一个部分,随后的“CO”也作为一个部分。

2 对 E2 级断路器而言可进行修整,但在修整后应重新进行全套试验<sup>1]</sup>。

采用说明:

1] 新加。

#### 6.106 基本的短路试验方式

基本的短路试验系列应包括如下规定的试验方式 1~5。

开断电流可以偏离规定值,对试验方式 1 和 2 要求不大于规定值的 20%,对试验方式 3 要求不大于 10%。

在试验方式 4、4b 和 5 的开断试验中,其短路开断电流峰值应不超过断路器额定短路关合电流的 110%。

为了试验方便,在试验方式 1、2、3 中,允许在开断操作之前省去合闸操作。在试验中各次开断操作之间的时间间隔与其额定操作顺序相同,见 6.105.1。

##### 6.106.1 试验方式 1

试验方式 1 由额定操作顺序组成,该分闸操作是在 6.104.5.5 和 6.104.7(表 2~表 4)规定的瞬态和工频恢复电压下开断 10%的额定短路开断电流,其直流分量小于 20%。

##### 6.106.2 试验方式 2

试验方式 2 由额定操作顺序组成,该分闸操作是在 6.104.5.4 和表 2~表 4 及 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下,开断 30%的额定短路开断电流,其直流分量小于 20%。

##### 6.106.3 试验方式 3

试验方式 3 由额定操作顺序组成,该分闸操作是在 6.104.5.3 和表 2~表 4 及 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下,开断 60%的额定短路开断电流,其直流分量小于 20%。

##### 6.106.4 试验方式 4

试验方式 4 由额定操作顺序组成,其试验参数是:符合 6.104.3 中要求的 100%额定短路开断电流,符合表 2~表 4 和 6.104.7 中规定的瞬态和工频恢复电压,符合 6.104.2 中要求的额定短路关合电流和 6.104.1 规定的外施电压。其直流分量应不超过 20%。

当对三极断路器的一极进行单相试验时,或者当试验设备的特性不可能在下述限定值即 6.104.1 规定的外施电压极限、6.104.2 规定的关合电流、6.104.3 规定的开断电流和 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下进行试验方式 4 时,考虑到 6.105.3 和 6.105.4 中的要求,可将试验方式 4 中的关合和开断试验按下列方式分开进行:

#### 6.106.4.1 试验方式 4a, 关合试验

在 6.104.1 规定的外施电压下:

- a)在额定操作顺序为“C—t—CO—t'—CO”时用“C—t'—C”;
- b)在额定操作顺序为“CO—t"—CO”时用“C—t"—C”。

其中有一次是关合额定短路关合电流;另一次是关合对称电流(如 6.104.2 所示)。

#### 6.106.4.2 试验方式 4b, 开断试验

在 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压下,以 100%的额定短路开断电流进行:

- a)在额定操作顺序为“O—t—CO—t'—CO”时用“O—t—C<sub>D</sub>O—t'—C<sub>D</sub>O”;
- b)在额定操作顺序为“CO—t"—CO”时用“C<sub>D</sub>O—t"—C<sub>D</sub>O”。

注意,当试验方式 4 是按试验方式 4a 和 4b 进行时,则试验方式 4a 应为在尽可能接近试验方式 4 规定的开断电流和瞬态及工频恢复电压下进行的一个完整的额定操作顺序,或者试验方式 4b 应为在尽可能接近试验方式 4 规定的关合电流和外施电压下进行的一个完整的额定操作顺序。

在试验方式 4a 和 4b 之间,允许按照 6.102.8.5 的规定将断路器恢复到原始状态。

如能在试验方式 4 以外的试验方式,例如试验方式 5 中,验证 100%的额定短路关合电流,则允许只进行试验方式 4b 来代替试验方式 4。

#### 6.106.5 试验方式 5

试验方式 5 仅适用于按 4.101.2 规定的断路器。

试验方式 5 由三个分闸操作组成,各次开断之间间隔 3min。其试验参数是:100%额定短路开断电流,其直流分量百分数等于 4.101 中规定的合适的额定值;以及 6.104.5.2 和 6.104.7 规定的瞬态和工频恢复电压。

然而,对于设计上在关合短路电流时可能达不到其合闸最终位置的断路器,试验方式 5 应按额定操作顺序进行。

对用于预期直流分量百分数大于图 9 中相应数值的场所的断路器,这种情况可能出现在发电站中心附近,其试验应按制造厂和用户协议进行,参看 4.101.2 中的注。

#### 6.106.6 40.5kV 及以下与架空线连接的 E2 级断路器(用于重合闸)的补充电寿命试验<sup>1]</sup>

采用说明:

1] 根据 IEC 56 第 3 号修订件提出。

按表 29 中的项目及操作顺序进行电寿命试验;或按 DL/T 403—91 额定短路开断电流开断次数的要求进行电寿命试验。

试品应干净、完好,在整个试验进程中,不允许中间检修试验参数同前述规定,但下述情况除外:

- a)对 SF<sub>6</sub> 断路器,在额定充气压力下进行;
- b)t 值按试验方便确定;
- c)制造厂应指明在各次操作顺序之间的最短时间间隔。

在试验中,随机分合闸对燃弧时间不作规定。

表 29 E2 级断路器的电寿命试验操作顺序

| 额定短路开断电流的百分数 %                                                                                        | 操作顺序             | 操作顺序的个数 <sup>1)</sup> | 操作顺序的个数 <sup>2)</sup> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
| 10                                                                                                    | O                | 84                    | 12                    |
|                                                                                                       | O—0.3s—CO        | 14                    | 6                     |
|                                                                                                       | O—0.3s—CO—t' —CO | 6 <sup>*</sup>        | 4 <sup>*</sup>        |
| 30                                                                                                    | O                | 84                    | 12                    |
|                                                                                                       | O—0.3s—CO        | 14                    | 6                     |
|                                                                                                       | O—0.3s—CO—t' —CO | 6 <sup>*</sup>        | 4 <sup>*</sup>        |
| 60                                                                                                    | O                | 2                     | 8                     |
|                                                                                                       | O—0.3s—CO—t' —CO | 2 <sup>*</sup>        | 8 <sup>*</sup>        |
| 100(对称)                                                                                               | O—0.3s—CO        | 2 <sup>*</sup>        | 4 <sup>*</sup>        |
| <p>1)优先值。</p> <p>2)用于中性点直接接地系统。</p> <p>* 按 6.106.1~6.106.4 试验后的断路器未经检修即进入电寿命试验时,前者的试验次数可计入电寿命试验中。</p> |                  |                       |                       |

## 6.107 临界电流试验

### 6.107.1 适用范围

这些试验是 6.106 中的基本短路试验之外的附加短路试验,仅适用于具有临界电流的断路器。如果试验方式中的一个试验方式的最短燃弧时间超过另一个试验方式最短燃弧时间一个半波或更多,则认为属于此种情况。对于三相试验,应考虑所有三相燃弧时间。

### 6.107.2 试验电流

适用时,临界电流试验应进行两个试验方式的试验,如最长燃弧时间出现在试验方式 1(10%),则要进行 20%和 5%的试验;如出现在方式 2(30%),则要进行 45%和 15%额定短路开断电流的试验。

### 6.107.3 临界电流试验方式

临界电流试验方式和开断电流按 6.107.2 规定,且按直流分量小于 20%的额定操作顺序构成。瞬态恢复电压与下一个较高开断电流试验方式一致。

注:临界电流试验可以在修整过的断路器上进行。

## 6.108 单相短路试验

### 6.108.1 适用范围

单相短路试验作为 6.106 的基本短路试验方式的附加试验,仅适用于直接接地系统中使用的三极共箱或三极分箱而机械上相连,并装有公用分闸脱扣器的三极断路器。本项试验是为了验证断路器的操作不会受到所产生的不平衡力的不利影响。

### 6.108.2 试验电流和恢复电压

应验证或提出证据,表明断路器在仅给单极施加电流,瞬态恢复电压满足 6.104.5.1 中 a)项和 b)项的要求,其标准值取自表 2~表 4,表中的电压值除以表中指明的首开极因数,时间坐标仍保持不变的条件下,能开断直流分量相对值不超过 20%的额定短路开断电流。

需要时,可以采用 6.104.5.2 有关试验设备受限制时规定的有利条款。工频恢复电压的

规定值(6.104.7)是断路器额定电压的相对地值  $U/\sqrt{3}$ 。

### 6.108.3 试验方式

试验方式包括一个单一的开断试验，电流按如下方式施加：

a)对于三极共箱断路器，电流通过外面的一极；

b)对于三极分箱但机械上相连的断路器，电流所通过的极将对极间耦合机构产生最大的作用力。

### 6.109 近区故障试验

#### 6.109.1 适用范围

近区故障试验是 6.106 的基本短路试验方式的附加短路试验，仅适用于额定电压 72.5kV 及以上，额定短路开断电流大于 12.5kA，直接连接到架空线的三极断路器。

#### 6.109.2 试验电流

试验电流应考虑电源侧和线路侧的阻抗。

电源侧的阻抗应是相应于接近 100%额定短路开断电流和额定电压相对地值的阻抗值。线路侧阻抗的两个数值，分别相应于短路开断电流交流分量减少到 90%和 75%时的阻抗值。

试验中，代表断路器负载侧的线路长度可能不同于与电流等于额定短路开断电流的 90%和 75%相应的线路长度。线路长度与这些理论长度的偏差，对于 90%试验允许-20%，对于 75%试验允许±20%。当电流的允许偏差分别为+5%和±5%时，能使上述偏差具有裕度(见 6.109.5)。对于这些试验，在触头分离瞬间的直流分量的百分数应小于 20%。

对于自能灭弧室断路器，可能还应考虑 60%额定短路开断电流的近区故障试验。

#### 6.109.3 试验回路

试验回路应是单相的，且由一电源回路和一线路侧回路组成。

电源回路按出线端故障条件应满足下列要求：

a)电源回路的预期瞬态恢复电压应满足 6.104.5.1 要求 a)并原则上满足要求 b)，其标准值由表 7、表 8 给出。由于受试验站的限制，如同 6.104.5.2 所述，要满足 b)项的要求或许是不可能的。

在近区故障试验中，电源回路瞬态恢复电压的任何这种缺陷，可用提高线路侧电压第一波峰的幅值予以补偿。

b)电源回路工频恢复电压的规定值(6.104.7)是额定电压的相对地值  $U/\sqrt{3}$ 。

c)线路侧回路的预期瞬态恢复电压，应具有近似于三角形的波形，但可以有一时延和在峰值处有某些圆度，如表 9 和图 14 所示。如果不能在电源侧提供起始瞬态恢复电压(ITRV)，可利用无时延的线路侧电压振荡或多或少地补偿欠缺的 ITRV。试验回路的预期瞬态恢复电压应符合 6.109.4 的要求。

注：如上所述，当电源侧回路的欠缺以提高线路侧电压来补偿时，重要的是要充分考虑各试验单元间电压分布不同的影响。

电源侧回路和线路侧回路的其他特性，应大致与 4.105 所列的近区故障额定特性以及由这些特性和试验电流导出的数值相符(见附录 A)。

除了为上述 a)项规定的补偿而作的调整之外，有时还需进行某些调整，特别是调整电源回路与线路侧回路之间工频阻抗的分配，以弥合额定峰值系数与线路侧实测的回路峰值因数间的差异。

#### 6.109.4 瞬态恢复电压

在断路器两端测到的试验回路的预期瞬态恢复电压是电源侧和线路侧两分量的组合，如图 A1 所示。

规定的预期瞬态恢复电压的线路侧第一波峰的时间  $t_L$  和此时的电压值  $U_T$  应由 4.105 给出的近区故障额定特性和实际的试验电流来确定，如附录 A 所示。

注：实际的值和标准(90%或 75%)值不同，并不排除使用 6.104.3 所述预期短路开断电流。

根据图 14 求出的线路侧预期瞬态恢复电压达到第一峰值的时间  $t_L$  应不超过由近区故障额定特性所确定的值。由于 6.109.3 规定的试验回路工频阻抗分布的调整，在线路侧振荡已终止后，亦可能与标准的瞬态恢复电压有偏差。

注：到达  $u_T$  值的时间提前于  $t_L$  的量值和试验回路预期瞬态恢复电压第一峰值超出  $u_T$  的量值均应取得制造厂的同意。

试验报告应阐明适合于断路器额定值的规定的瞬态恢复电压，为了比较，还应阐明所用试验回路的预期瞬态恢复电压。

在试验时记录瞬态恢复电压，以校核预期试验回路特性，特别是关于到达第一波峰的时间  $t_L$ 。

#### 6.109.5 试验方式

标准的试验应是如下规定的一系列试验方式，每个试验方式包括三次分闸操作，每次分闸操作之间间隔 3min。

a) 试验方式  $L_{90}$ ，在  $(90 \pm 5)\%$  额定短路开断电流和合适的预期瞬态恢复电压下进行。

b) 试验方式  $L_{75}$ ，在  $(75 \pm 5)\%$  额定短路开断电流和合适的预期瞬态恢复电压下进行。

#### 6.109.6 用容量有限的试验电源进行近区故障试验

当试验站的可供利用的最大短路容量不足以对断路器作整极近区故障试验时，允许进行单元试验，见 6.102.3.2。

经制造厂与用户协商同意，当放宽 6.109.3 项 a) 和 b) 的规定时，近区故障试验可以在降低的工频电压下进行。这些规定尽可能地予以满足，其中项 a) 对瞬态恢复电压的要求至少在三倍于线路侧第一波峰的规定时间内能予以满足。如果 6.106 的基本短路试验方式均已满意地通过，且假定断路器在瞬态恢复电压峰值附近的介质强度与电流过零后立即施加在其上的电压无关，就可以使用这一方法。这种试验方法也可与单元试验结合使用。这种试验完成一组即可通过。

#### 6.110 失步关合和开断试验

##### 6.110.1 适用范围

当制造厂对断路器规定有额定失步开断能力时才要求进行此种试验。

##### 6.110.2 试验回路

试验回路的功率因数应不超过 0.15。

对于单相试验，试验回路应这样布置，约有一半的外施电压和恢复电压加在断路器的每一侧上(见图 29)。

如果在试验站不能使用这种回路，则在与制造厂达成协议的条件下，允许采用两个相等而相位相差  $120^\circ$  的电压替代相位相差  $180^\circ$  的电压，只要跨在断路器上的总电压符合 6.110.3 的规定(见图 30)。

无论是单相试验还是三相试验，只有制造厂同意，才允许将断路器的一端接地(对于单相试验，见图 31)。

三相试验时，只有制造厂同意，才允许断路器一侧的三个端子接地或电源中性点接地[见图 19(a)和(b)]，特别是在中性点绝缘系统中使用的断路器。

##### 6.110.3 试验电压

对于单相试验，外施电压和工频恢复电压两者应尽量与实际接近而等于下列数值之一：

a) 对中性点直接接地系统中的断路器， $2.0/\sqrt{3}$  倍额定电压；

b) 对中性点绝缘系统中的断路器， $2.5/\sqrt{3}$  倍额定电压。

对于三相试验，首开极的工频恢复电压应具有上述单相试验的合适值。  
瞬态恢复电压应符合 4.106 的规定。

6.110.4 试验电流

如无特殊指定，试验电流值为断路器额定短路开断电流值的 25%。

6.110.5 试验方式

要进行的试验方式列于表 30。

表 30 验证失步额定值的试验方式

| 试验方式 | 操作或方式循环 | 以额定失步开断电流的百分数表示的开断电流% |
|------|---------|-----------------------|
| 1    | O, O    | 20~40                 |
| 2    | O, CO   | 100~110               |

当工频恢复电压等于 6.110.3 所述  $2.5/\sqrt{3}$  倍额定电压时，试验方式 2 可以用在  $2.5/\sqrt{3}$

倍额定电压下进行 2 次 O 操作和在  $2.0/\sqrt{3}$  倍额定电压下进行一次“CO”操作来替代。

每个试验方式中，试验之间的时间间隔应足以允许断路器恢复到其起始状态。  
对于每个试验方式中的分闸操作，开断电流中的直流分量应小于交流分量的 20%。  
对于试验方式 2 中的“CO”操作循环，关合电流和开断电流中的直流分量均不作规定。  
试验时，操作电(液、气)压应处在制造厂规定的最低值。

注

- 1 对于装有合闸电阻的断路器，在制造厂同用户协商条件下，可以将合闸电阻分开试验。
- 2 断路器的燃弧特性如果是这样，即按照 6.107.1 的规定不需要进行临界电流试验，则对于这些断路器可以省略试验方式 1。
- 3 断路器在方式 2 中的燃弧时差应满足 6.102.9.3 的规定。

6.111 容性电流开合试验<sup>1]</sup>

采用说明：

1] 本节中取消了有关“允许重击穿”的各种规定。

6.111.1 适用范围

容性电流开合试验适用于规定了一个或几个下列额定值的所有断路器：

- a)额定线路充电开断电流；
- b)额定电缆充电开断电流；
- c)额定单个电容器组开断电流；
- d)额定背对背电容器组开断电流；
- e)额定电容器组关合涌流。

上述各项容性电流的开断均应是无重击穿的。

额定电压 40.5kV 以下的断路器的线路充电电流开合试验和额定电压 24kV 及以下的断路器的电缆充电电流开合试验有需要时由用户与制造厂协商。

注：本标准不包括合线路充电电流时的过电压的确定。

6.111.2 概述

试验可在现场进行，也可以在试验室进行。对于现场试验，采用实际线路，其电源侧为一供电系统，其负荷侧为一架空线路、电缆或电容器组。

然而这样的试验结果仅对运行在与试验中的回路相同的线路中的断路器才有效。在试验室试验中，线路和电缆部分地或全部地由人工回路取代，人工回路由电容器、电抗器和电阻

等集中元件组成。

如果受试验断路器是无重击穿的且满足 6.102.4.1 的要求，则三极断路器的单相试验才有效。

允许以电容器组进行试验室试验且又满足 6.102.4.1 和 6.102.4.2 的要求，则单元试验才有效。

如果断路器重击穿，产品被认为是不合格品<sup>1]</sup>。

采用说明：

1] 根据我国要求提出。

注

1 如果允许以电容器组进行试验室单相试验，则试验回路的规定可以由恢复电压的规定取代。

2 代替架空线和电缆的试验室试验回路不能用于确定重击穿时可能产生的过电压幅值，仅用于证明断路器的开合性能是不重击穿的，还是有重击穿的。

### 6.111.3 电源回路特性

三相电源回路用于三相试验及单相现场试验。单相电源回路用于试验室单相试验。

电容电流的开断试验应该采用 6.111.3.1 和 6.111.3.2 规定的两类不同的电源回路进行。

#### 6.111.3.1 电源回路 A

电源回路 A 的阻抗应使其短路电流不超过 10%断路器额定短路电流，此外，为使开合容性电流引起的工频电压变化不超过 10%，如果需要，可降低阻抗值(低于上述要求值)。

对于线路充电、电缆充电或单个电容器组电流的开合试验，电源回路的预期瞬态恢复电压应尽可能接近 6.104.5.4 短路试验方式 2 所规定的瞬态恢复电压，但不应超过它，不需要考虑时延的要求。

对于试验室单相试验，6.104.5.4 所述的电压参数  $U_c$  和  $u'$  值应乘上系数  $k/f_\phi$ ，其中  $k$  是 6.111.7 中项 a)~e)所述的系数， $f_\phi$  是从 6.104.5.4 引用的首开极系数。

对于背对背电容器组开断电流试验，其电源回路的电容及电源侧电容器和负载侧电容器之间的阻抗应该是这样，即在 100%额定背对背电容器组开断电流试验时能够给出额定电容器组关合涌流。

注：对于试验方式 2，其电源回路 A 的阻抗值可以适当地不同于试验方式 1 的值。

#### 6.111.3.2 电源回路 B

电源回路 B 应具有尽可能低的阻抗值，但不能低到使其短路电流超过断路器的额定短路开断电流。电源回路的特性应该是这样，使开合时的工频电压的变化应尽可能小，且对于试验方式 4 在任何情况下要小于 5%。

在线路充电、电缆线路充电或单个电容器组开合试验中电源回路的预期 TRV 特性不得严于方式 4 时的情况，见 6.104.5.2。

如在试验室中进行单相试验，6.104.5.2 及 4.102.3 中所列的电压值应乘以系数  $\frac{K}{f_\phi}$ ，其中  $K$  值见 6.111.7 中项 a)~e)， $f_\phi$  是首开极因数，见 4.102.3。

在背对背电容器组的开断试验中，应适当选定电源侧的电容器组，以及它与被开、合电容器组之间的阻抗，使在开、合背对背条件下的额定电容电流时的合闸涌流为所要求的涌流额定值。

注

1 如断路器预期将用于电源侧带有较长电缆情况下，应在试验电源侧并接适当的电容。

2 对无重击穿断路器进行背对背电容器组的开、合试验时，如果关合试验是另外进行

的，则可在电源侧电容较小情况下进行开断试验，但此电容也不能太小(如果此电容太小，电源侧的 TRV 特性预期值有可能超过 6.104.5.2 的规定值)。

#### 6.111.4 电源回路的接地

对于试验室中的单相试验，单相电源回路的任一端可以接地。当有必要保证被试断路器各单元间的电压分布达到预期要求时，也可以将接地点选在电源回路中的另一端上。

三相试验时的接地按下列要求进行：

(1)开合单个电容器组，电源侧中性点应接地。电源侧的零序阻抗应小于“ $3 \times$  正序阻抗值”。

(2)开合空载线，空载电缆时，电源侧回路的接地应与使用断路器的系统回路中的接地状况一致：

a)对用于中性点直接接地系统断路器进行三相试验时，电源侧中性点应接地，且零序阻抗应小于电源侧正序阻抗的 3 倍值；

b)对用于中性点绝缘系统，或经谐振接地系统中的断路器进行三相试验时，电源侧中性点应对地绝缘，或经消弧线圈接地。

#### 6.111.5 被开合电容性回路的特性

被开合的电容回路，连同其所有必需的测试设备(如电容分压器)，在电弧最后熄灭的 100ms 之末电压降低程度不得大于 10%。

注：由于接入电容回路中的电压互感器等对上述电压降影响很大，因此，要优先选用最合适的分压器。

##### 6.111.5.1 线路充电电流开合试验

对不重击穿断路器有三种情况：

a)三相试验，允许采用几条线路相并作为开合线路，也可用集中电容器组部分地或全部地代替空载线。回路的正序总电容应约为零序电容的 200%。

b)利用三相电源回路作单相试验时，将三相电容回路中的两相与电源的两相直接相连，将被试单相断路器连在其余的一相电源和一相电容回路之间。

c)试验室中的单相试验，以集中电容部分或全部代替真实线路，以及将架空线各相导线并联在一起，通过大地，或专用导线返回构成回路。

当利用电容器组模拟架空线时，最大值为容抗值 10%的无感电阻可以与电容器串联，更高的电阻值可能会过分地影响恢复电压。如果串联这个电阻后，涌流峰值仍然是高得不可接受，那么一个替代阻抗(例如 LR)可以用来替代电阻，只要开断瞬刻的电流和电压条件以及恢复电压同规定值没有明显的差别(替代阻抗的特性正在考虑中)。注意，这种代用阻抗在复燃后可能引起过电压，从而引起不应有的重击穿。

注：允许将一根短电缆与被试架空线路串联，只要电缆充电电流小于 20%线路充电电流。

##### 6.111.5.2 电缆充电电流的开合试验

可以利用电容器组来模拟屏蔽的及铠装的电缆。对于代表三芯铠装电缆的三相试验回路，其正序电容应该近似地等于两倍零序电容。

当电容器被用来模拟电缆时，可以用最大值不大于 10%容抗的无感电阻与电容器串联，更高的电阻值可能过分地影响恢复电压。如果串联这个电阻后，涌流峰值仍然高得不可接受，那么一个替代阻抗(例如 LR)可以用来替代电阻，只要开断瞬间的电流和电压条件以及恢复电压同规定值没有明显的差别(替代阻抗的特性正在考虑中)。注意，这种代用阻抗在复燃后可能引起过电压，从而引起不应有的重击穿。

注：可以采用一条短架空线与电缆串联做此试验，只要线路充电电流不超过 1%的电缆充电电流。

6.111.5.3 电容器组电流开合试验

电容器的中性点应绝缘；对额定电压为 126kV 及以上、用于直接接地系统中的断路器而言，则试验电容器的接地条件应与电容器运行中的条件相同。

6.111.6 电流的波形

被开断电流的波形应尽可能地接近于正弦波。如果电流有效值与其基波分量有效值之比不超过 1.2，则认为电流波形是符合要求的。

被开断电流在每个工频半波中过零不得多于一次。

6.111.7 试验电压和试验电流

6.111.7.1 试验电压

对于三相试验和对于按 6.111.5.1 项 b)安排的单相试验，在断路器临分闸前于断路器所在处的线间测得的试验电压，应尽可能等于断路器的额定电压  $U$  。

对于试验室单相试验，在断路器临分闸前于断路器所在处测得的试验电压应尽可能等于  $U/\sqrt{3}$  与下列因数的乘积。

a)1.0，这相应于中性点直接接地系统的正常运行条件，容性回路各相间互无明显影响，例如中性点接地的电容器组和屏蔽电缆。

b)1.2，这适用于在铠装电缆线路上进行的试验和按 6.111.5.1 的 c)安排的相应于中性点接地单导线系统的正常运行下的线路充电电流开合试验(对分裂导线系统的试验电压因数另定)。

c)1.4，这相应于以下情况：①中性点不直接接地系统正常运行条件下的开断；②开断中性点绝缘的电容器组。

d)1.4，这相应于中性点直接接地系统中发生单相或两相接地时的开断。

e)1.7，这相应于中性点不直接接地系统中发生单相或两相接地的开断。

对于单元试验，试验电压为断路器最高电压单元的电压。

工频试验电压和容性回路上由残余电荷产生的直流电压在开断后应保持 0.3s。

注

1 如能用其他方法检验断路器在直流电压下的性能，则可采用比 6.111.5 中所述容性回路放电时间常数较短的时间常数。

2 当断路器不同极中触头分离的不同期性超过额定频率的 1/6 周波时，建议按照制造厂同用户的协议进一步提高电压因数，或仅做三相试验。

6.111.7.2 试验电流<sup>[1]</sup>

采用说明：

[1] 根据我国情况提出。

开断电容器组的电流值为：12kV——580A；40.5kV——660A；72.5kV——370A。

采用星形连接的三相电容器组时，当一相完全损坏后，电容器组保护断路器的开断电流值增为上述数值的 3 倍。

6.111.8 试验方式

6.111.8.1 相应于正常运行状况的试验条件

电容电流开合试验应包括表 31 中所规定的四种试验方式。

表 31

| 试验方式 | 电源回路 | 以额定容性开断电流的百分数表示的试验电流 % |
|------|------|------------------------|
| 1    | A    | 20~40                  |
| 2    | A    | ≥100                   |

|   |   |       |
|---|---|-------|
| 3 | B | 20~40 |
| 4 | B | ≥100  |

每种试验方式的试验次数应该符合下列规定：

- a)对于三相试验，10 次；
- b)对于单相试验，12 次，触头的逐次分离相隔大约 30°。

对于线路充电和电缆充电电流开合试验，试验方式 2 和 4 的最后两次试验应是“C—O”试验。对三相重合闸线路，线路充电电流开合试验方式是 O—CO。

对于电容器组电流开合试验，试验方式 2 和 4 中的所有试验均应是“C—O”试验。合闸应该出现在外施电压峰值的 15° 内(对于三相试验，指出现在某一相上)。对于具有额定背对背电容器组开断电流的断路器，在试验方式 4 中其关合电流应等于 4.111 条给出的额定电容器组关合涌流。

由于受试验设备的限制，对于背对背电容器组电流开合试验，可能不满足试验方式 4 中关合涌流的要求，那么，对于无重击穿断路器的要求，允许采用一个替代的试验程序，此时试验方式 4 应尽可能满足并将进行一个分开的关合试验系列。这个试验系列包括 10 次关合操作，其关合电流等于额定背对背电容器组关合涌流。试验电压应等于试验方式 4 的规定值，合闸应发生在外施电压峰值的 15° 内(对于三相试验，出现在一相上)。

对于 O 和 C—O 试验，断路器的触头应在瞬态电流已消失后才能分离。

关合操作之前，在容性回路上无明显的残余电荷。

#### 6.111.8.2 存在接地故障时的开断试验条件

(1)架空线和电缆。

存在接地故障时线路充电和电缆充电电流的开断试验应该按制造厂和用户间的协议进行。

试验室单相试验，应该以 6.111.7 给出的试验电压和等于下述规定的容性电流进行：

- a)在中性点直接接地系统中，1.25 倍额定容性开断电流；
- b)在中性点绝缘系统中，1.7 倍额定容性开断电流。

(2)单个电容器组。

对于中性点直接接地系统中的电容器组，不需要进行试验。

开合中性点绝缘系统中的中性点接地的电容器组可能产生较高的负荷，因为这不是一种正常的系统条件，试验应按制造厂和用户间的协议进行。

#### 6.111.9 在规定的瞬态恢复电压下的试验

作为 6.111.3 到 6.111.5 所规定的替代方法，可在满足预期恢复电压要求的回路中进行电容电流开断试验。有关规定正在考虑中。

#### 6.111.10 试验结果认定

应测出电源侧和电容回路侧的对地过电压。

如满足下列条件，认为断路器已通过该项试验：

- a)断路器在开断与关合中的表现能满足 6.102.7 的要求；
- b)不发生重击穿，不发生外闪；
- c)试后断路器的状况能符合 6.102.8.4 的要求。

应特别注意检查内部元件状况是否恶化，如喷口不能有打穿的痕迹，绝缘件上不能有闪络痕迹，以及不能发生有损断路器整体性能的任何损坏。

当难于判断内部元件状况时，可按 6.1.11 进行耐压试验加以考核。

#### 6.112 励磁电流和小感性电流开合试验

##### 6.112.1 额定电压 126kV 及以上断路器开合变压器励磁电流

经验表明，在稳态条件及电压不超过其额定值的情况下，开断空载变压器励磁电流时不

会产生危险的过电压，因此，不规定模拟这种开合条件的试验。

开合空载变压器励磁涌流不是正常运行条件，试验不作规定。

6.112.2 额定电压 72.5kV 及以下断路器开合变压器励磁电流

用户有要求时，可在实际运行条件下在系统上做试验。如果不可能，则可以利用运行中被开合的真实变压器在试验室中进行三相试验。

对任一情况，在不超过额定瞬态恢复电压的条件下，电源回路的电容应尽可能的低。试验时可以接上在运行中采用的任何电压限制装置。

6.112.3 第三绕组带电抗器负载的变压器

这被认为是一种特殊情况，由制造厂同用户协议解决。标准中对此不作规定。

6.112.4 并联电抗器

试验回路在考虑中。

6.112.5 高压电动机

试验回路在考虑中。

6.112.6 各类小感性电流的开断特点 <sup>1]</sup>

采用说明：

1] 根据 DL/T 402—91 提出。

各类小感性电流的开断特点如表 32 所述。

表 32 各类小感性电流的特征

| 试验条件          | 设 备 类 别                                      |                 |                                                 |
|---------------|----------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------|
|               | 感应电动机                                        | 空载变压器           | 并联电抗器                                           |
| 试验电压水平        | 额定电压                                         |                 |                                                 |
| 单相，还是三相试验     | 三相试验                                         | 三相或与三相等价的单相试验   | 单相或三相试验                                         |
| 每种操作顺序的试验次数   | 对每种方案均要求进行 20~30 相次以上                        |                 |                                                 |
| 被开断设备的容量范围    | 从小到大，从数十千瓦到 2000、4000、5000、6000、8000、15000kW | 各种容量，由小到大       | 根据超高压电网要求而定，一般为数万千伏安(每相)，550kV 级为 4~7 万 kVA(每相) |
| 被开断设备的电压等级 kV | 7.2~12                                       | 各个电压等级          | 12 ~ 72.5， 363 ~ 550(自低压侧开断电抗器)                 |
| 被试品中性点是否接地    | 不接地                                          | 接地              | 接地                                              |
| 测量过电压的部位      | 电动机的端部对地                                     | 变压器高、中、低压侧的端部对地 | 电抗器的端部对地。断路器的断口之间，母线对地                          |
| 开、合时被试设备的运行状态 | 开断空载匀速运转的电动机；开断由静止位置起动的电动机(包括制动状态)           | 空载变压器           | 带有额定负载，目前只能在电网中进行这种试验                           |
| 操动机构的电(液、气)压  | 上限值                                          | 上限值             | 上限值                                             |
| 对试验电源提出       | 在电动机启动电流阶                                    | 电源阻抗应尽可能        | 一般只能在运行地                                        |

|          |                                                         |                                                  |                                                                       |
|----------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 的要求      | 段母线电压波动不得超过 10%；电源频率为 50 ±0.5Hz；试验母线上不得带有其他容性负载         | 能的小，其值应尽可能为负荷侧阻抗值的 5%以下，但该点的短路电流不得超过断路器的额定短路开断电流 | 点投产前进行                                                                |
| 试验时的操作顺序 | 用真空断路器开断空载电动机时为“O”，开断启动状态的电动机时为“C—O”，用少油断路器时可只进行“C—O”操作 | “O”与“C”，“C—O”                                    | 三相的“O”与“C”；三相非同期的“O”，如 A 相 O—0.2s—B 相 O—0.2s—C 相 O；“C—O”              |
| 试验中的注意事项 | 试验真空断路器时的电缆长度不得大于 100m，且应采用三芯电缆；试验少油断路器时不作要求            |                                                  | 如电抗器的参数和线路参数处于谐振范围内时，应加设中性点小电抗，其电抗值兼作抑制潜供电流用；试验时在电抗器端部应并有伏秒特性配合得当的避雷器 |

#### 6.112.7 断路器在开断小感性电流后的表现

断路器按指定的操作顺序和容量开、合感应电动机、空载变压器、并联电抗器后，断路器本身不得损坏，内、外绝缘均不得被击穿，不得引起相间闪络：由此产生的过电压应小于指定的水平。断路器本身应自备抑制过电压的保护措施，不得因操作过电压形成发展性故障；对油断路器不允许喷火，不允许带火喷油，不允许严重喷油，油位应可见。在试验过程中，断路器的外逸物不得影响周围设备的绝缘。

开、合空载变压器的统计过电压水平不得超过：252kV 及以上——2 倍；72.5kV~126kV——2.5 倍；40.5kV 及以下——3.0 倍。

#### 6.113 异相接地故障的试验 <sup>1]</sup>

采用说明：

1] 按我国规定提出。

对中性点绝缘系统中断路器应进行异相接地情况下的试验。试验电流值为额定短路电流的 86.6%；试验电压为额定电压；操作顺序为“O—0.3s—CO—180s—CO”；调频参数按基本短路试验方式 4 的要求整定。其余要求参照关于端部短路的有关规定。

#### 6.114 开断二次侧的短路故障

某些断路器在一定条件下应具有开断二次侧短路故障的能力，其开断技术要求和方法由用户与制造双方协商确定，参阅 DL/T 615 第 17 章。

#### 6.115 其他试验

6.115.1 制造厂对所使用的瓷件、环氧树脂制件、合成材料制件均应给出质量控制指标和运行中的监测指标。

6.115.2 对并联电容器制造厂应提出老化试验报告和耐压及局部放电试验报告。

### 7 出厂试验

采用 DL/T 593—1996 第 7 章，并补充如下要求：

出厂试验也包括按 7.101 规定的机械操作试验。

7.1 主回路耐受工频电压干试验

采用 DL/T 593—1996 中 7.3，并补充如下要求：

如果断路器是由相同的开断和关合单元串联而成，在分闸状态加于每个单元上的试验电压应当是断路器完全打开且一端接地时，由实际工频电压分布得出的在总耐受电压中占较高份额的单元上的电压。

参见 DL/T 593—1996 中图 1 中所示的三极断路器，并按表 33 施加试验电压。

表 33

| 试验条件           | 断路器  | 电压加在 | 接地在   |
|----------------|------|------|-------|
| 1 <sup>*</sup> | 合闸状态 | AaCc | BbF   |
| 2 <sup>*</sup> | 合闸状态 | Bb   | AaCcF |
| 3              | 分闸状态 | ABC  | abcF  |
| 4              | 分闸状态 | abc  | ABCF  |

\* 如果极间绝缘是在大气压下的空气，则这两种条件可以组合，试验电压加在连接在一起的主回路的各部分和基座之间。

7.2 控制回路和辅助回路耐受电压试验

采用 DL/T 593—1996 中 7.4。

7.3 主回路电阻测量

采用 DL/T 593—1996 中 7.5。

7.101 机械操作试验

机械操作试验应包括：

(1)在规定的最高电源电压和气源压力下(如果采用)：

a)5 次 C 操作；

b)5 次 O 操作。

(2)在规定的最低电源电压和气源压力下(如果采用)：

a)5 次 C 操作；

b)5 次 O 操作。

(3)在额定电源电压和气源压力下(如果采用)：

a)由主触头闭合使脱扣机构带电的方式进行 5 次 C—O 操作循环；

b)此外，对用作快速自动重合闸的断路器(见 4.104)，则进行 5 次 O—t—C 的操作，其中 t 应不大于对额定操作顺序规定的时间间隔。

机械操作试验最好在完整的断路器上进行。但当断路器分成单元来装配和运输时，出厂试验可以按 6.101.1.1 规定在组件上进行。操动机构和控制柜应与断路器或适当的模拟负载一起试验。

如果断路器的结构允许这种测量，应记录时间—行程曲线。机械上受力的辅助装置，在试验中和试验后应有正常功能。

在完成要求的操作顺序后，应进行下列试验和检查(如果适用)：

a)检查连接；

b)控制和/或辅助开关应正确指示断路器 C、O 位置；

c)所有辅助装置，在电源电压和/或灭弧压力及操作压力的限定值应能正确动作；

d)检查操动机构气(油)压在各种操作下的压力降及贮能时间<sup>1)</sup>。

采用说明：

1) 新加。

此外，应进行下列试验和检查(如果需要)：

a)密封试验，按产品技术条件规定(包括液压机构)测量产品对漏气、漏油的密封性，并

应符合要求;

- b)测量加热器(如有的话)和控制线圈电阻;
- c)按定货规格,检查控制、加热器和辅助设备回路的接线,并检查辅助触头的数量;
- d)检查控制柜(电气、机械、气动和液压系统);
- e)测量压缩机的输出容量;
- f)压力释放阀的功能操作;
- g)电气、机械、气动或液压的联锁和信号装置的操作;
- h)防跳跃装置的操作;
- i)在电源电压允许偏差范围内设备的一般性能;
- j)检查断路器的接地端子;
- k)产品技术条件规定的其他出厂试验项目。

对装有过电流脱扣器的断路器,脱扣器应整定在电流整定值的最小刻度上。

应该证明在经过主回路的电流不超过电流整定值的 110%时,过电流脱扣器应能正确启动断路器分闸。二次注入试验可以作为替代的方法。

对这些试验,通过过电流脱扣器或电流互感器的电流可以由适当的低电压电源提供。

对装有欠压分闸脱扣器的断路器,应该证明,当脱扣器上所加电压在规定的限定值内时,断路器应分闸并能被合闸(见 DL/T 593—1996 中 5.7.3)。

如果在机械操作试验过程中需要调整,则在调整后应重复整个试验顺序的试验。

#### 7.102 订货规格的核对和外观检查

应检查断路器,以证明其符合订货规格。

特别应检查下列项目:

- a)铭牌上的文字和数据;
- b)辅助装置的标志;
- c)金属表面的油漆和防腐层的颜色和质量;
- d)与主回路连接的电阻和电容的数值(如果有的话);
- e)结构检查<sup>1)</sup>。

采用说明:

1) 按本国要求新加。

产品及其全部零件应符合正式产品图纸和技术要求。

任何类型的产品都必须在厂整台组装,测出各项特性数据后,再拆卸装箱出厂。

出厂试验中各检查项目的原始数据应随同产品文件交付运行单位。

对有机绝缘材料的电流互感器的出厂试验增加局部放电测量的要求;对某些产品,例如 126kV 及以上断路器的提升杆等部件的泄漏电流出厂试验数值也应随同产品交付运行单位。

制造厂不但要规定零部件的尺寸偏差要求,而且要规定出整体组装后的外形总尺寸、倾斜度的要求。

### 8 断路器参数的选用导则

按 DL/T 615—1997 进行,并补充如下:

用户有权从交货的批量产品中任取一台或数台进行部分或全部型式试验。其性能应与型式试验样机的技术条件完全相符。如不合格,则该批产品全部被判为不合格,需经厂方改进后由厂方重做型式试验鉴定。

### 9 与询问单、标书和订货单一起提供的资料

#### 9.101 与询问单和订货单一起提供的资料

当询问或订购断路器时,询问者应提供下列细节:

- (1)电力系统的细节,即系统标称电压和最高运行电压、频率、相数和中性点接地的详

情。

(2)运行条件，包括最低和最高周围空气温度，后者是否高于额定值；海拔是否超过1000m；以及可能存在或出现的任何特殊条件，例如过度地暴露在水蒸气、湿气、烟雾、爆炸性气体、过量的灰尘或含盐的空气中的条件。

(3)断路器的特性。

- a)极数；
- b)户内或户外；
- c)额定电压；
- d)额定绝缘水平；
- e)额定频率；
- f)额定电流；
- g)额定线路充电开断电流(如果采用)；
- h)额定电缆充电开断电流(如果采用)；
- i)额定单个电容器组开断电流(如果采用)；
- j)额定背对背电容器组开断电流(如果采用)；
- k)额定电容器组关合涌流(如果采用)；
- l)额定小感性开断电流(如果采用)；
- m)额定短路开断电流和电寿命；
- n)首开极因数；
- o)额定出线端故障瞬态恢复电压；
- p)额定近区故障特性；
- q)额定短路关合电流；
- r)额定操作顺序；
- s)额定短路持续时间；
- t)额定失步开断电流(如果采用)；
- u)额定开断时间；
- v)在特殊要求下规定的型式试验(人工污秽和无线电干扰试验)；
- w)操作频率；
- x)其他，如额定时间参量，异相接地开合特性。

(4)断路器操动机构及其专用附属装置的特性。

- a)操作方式：手力或动力的；
- b)备用的辅助开关的数量和型式；
- c)额定电源电压和额定电源频率。

(5)有关压缩空气的使用要求和压力容器的设计与试验要求。

**注：除上述内容外，询问者应提供可能影响投标或订货的特殊条件的资料。**

#### 9.102 与标书一起提供的资料

当询问者查询断路器的技术细节时，制造厂应提供下列资料(如果适用的话)，并附有说明和图纸。

(1)额定值和特性。

- a)极数；
- b)分类：户内或户外、温度、覆冰；
- c)额定电压；
- d)额定绝缘水平；
- e)额定频率；

- f)额定电流;
- g)额定线路充电开断电流;
- h)额定电缆充电开断电流;
- i)额定单个电容器组开断电流;
- j)额定背对背电容器组开断电流;
- k)额定电容器组关合涌流;
- l)额定小感性开断电流;
- m)额定短路开断电流和电寿命;
- n)首开极因数;
- o)出线端故障额定瞬态恢复电压;
- p)额定近区故障特性;
- q)额定短路关合电流;
- r)额定操作顺序;
- s)额定短路持续时间;
- t)额定失步开断电流;
- u)额定分闸时间上下限、额定开断时间和额定合闸时间上下限;
- v)在特殊要求下规定的型式试验(人工污秽和无线电干扰);
- w)操作频率;
- x)其他,如异相接地开合特性。

## (2)型式试验。

根据要求提供的证书或报告。

## (3)结构特点。

- a)油断路器不带油时的质量,油质量,推荐油质,油箱数量;
- b)气体断路器的总质量,开断用气体源额定压力,断路器能正确工作的气体压力范围,在 0.1MPa(1bar)的压力下每极的气体总容量,断路器的密封特性;
- c)每极串联单元数量;
- d)最小空气间隙:
  - 极间;
  - 对地;
  - 对于向外喷射游离气体和火焰的断路器,开断操作时的安全边界;
- e)在所要求的周围空气的极端温度下,为了保持断路器的额定特性而采取的任何特别措施(加热和冷却)。

## (4)断路器的操动机构和附属装置。

- a)合闸机构的型式;
- b)断路器是自由脱扣还是固定脱扣,断路器是否有防止合闸的闭锁装置;
- c)合闸机构的额定电源电压或额定气体压力;如果与标准值不同,允许的压力范围;
- d)在额定电源电压下使断路器合闸所需要的电流;
- e)在额定气源压力下使断路器合闸需要消耗的空气量;
- f)并联分闸脱扣器的额定电源电压;
- g)在额定电源电压下并联分闸脱扣器所需要的电流;
- h)备用辅助开关的数量和型式;
- i)在额定电源电压下其它辅助装置所需要的电流;
- j)高低压力联锁装置的整定值。

## (5)外形尺寸及其他资料

制造厂应提供关于断路器外形尺寸的资料和安装设计所必需的细则。  
应提供断路器维护及其连接方式的一般资料。

## 10 包装、运输、储存、安装和维修规则

采用 DL/T 593—1996 第 10 章。

### 10.1 包装、运输、储存和安装条件

采用 DL/T 593—1996 中 10.1，并补充如下要求<sup>1]</sup>：

采用说明：

1] 根据 DL/T 402—91 提出。

(1)断路器及其操动机构应有包装规范，并应能保证断路器各零部件在运输过程中不致遭到脏污、损坏、变形、丢失及受潮。对于其中的绝缘部分及由有机绝缘材料制成的绝缘件应特别加以保护，以免损坏和受潮；对于外露的接触表面，应有预防腐蚀的措施。所有运输措施均应经过验证。凡有运输损坏，应由制造厂负责赔偿。

(2)油断路器的油箱、空气断路器的贮气筒及操动机构与大气相通的孔口，运输时应完全封闭。

(3)断路器在运输时，应将可动部分和触头保持在一定的固定位置。

(4)断路器单独运输的零部件应有标志，便于用户安装装配。

(5)整体产品或分别运输的部件，都要适合于运输及装卸的要求。

(6)包装箱或柜上，应有在运输、保管过程中必须注意事项的明显标志和符号(如上部位置、防潮、防雨、防震、起吊位置等)。

(7)出厂的每台断路器应附有产品合格证明书(包括出厂试验数据)、装箱单和能指导安装和维修的安装使用说明书。

(8)SF<sub>6</sub>产品在运输过程中应充以符合标准的 SF<sub>6</sub> 气体或氮气。

(9)制造厂应提供按全部解体检修用的备品备件和专用机具，随同产品发运。

### 10.2 安装

采用 DL/T 593—1996 中 10.2.1~10.2.5，并补充如下要求：

#### 10.2.101 投运试验导则

断路器安装上位并完成所有的连接后，应进行投运试验。试验的目的在于检查没有因运输和储存损坏断路器。此外，当安装和/或调整的大部分工作是在现场进行时，允许在投运试验中检查这些工作的质量和与装配有关的性能。

根据就地装配的工作量和制造厂与用户的协商意见，对投运试验处理如下：

a)可由制造厂进行；

b)可根据制造厂的说明书(试验的型式和对试验结果的接受限值)，由用户进行。

试验结果应记录在试验报告中。

制造厂和用户应依照断路器的型式、控制装置的型式、运行条件、所要求的资料数量和技术经济状况，选择所要完成的试验。

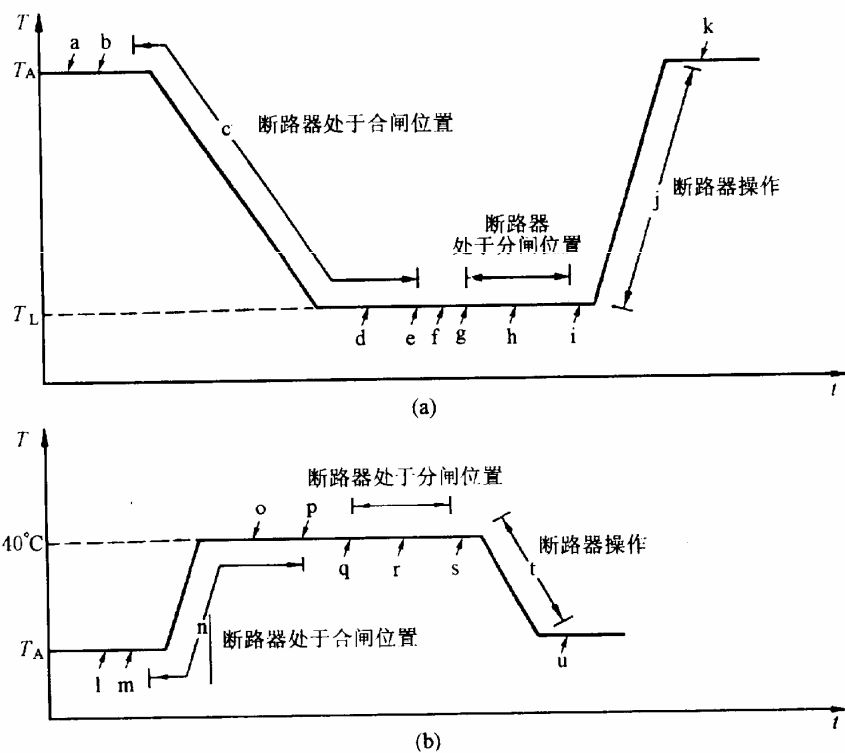
采用说明：

1] 新加。

附录 H 给出的是投运试验大纲的一个例子。

注：无论什么原因，当全部或部分出厂试验没有在工厂完成时，则它们应在安装地点完成(见 DL/T 593—1996 第 7 章)，这种出厂试验大纲应与投运试验大纲结合起来。

### 10.3 维修



字母 a~u—与 6.101.3.3 和 6.101.3.4 规定的试验点相对应

图 15 低温和高温试验的试验顺序

(a)低温试验；(b)高温试验

采用 DL/T 593—1996 中 10.3，并补充如下要求。

制造厂应进一步提供有关断路器大修的下述资料 [这些资料应包括按 a)和 b)进行操作的次数，其后断路器应进行大修]：

- a)短路操作；
- b)正常运行时的操作；
- c)制造厂应提供对检修工作必要的分解组装的重要零部件及相对位置示意图；检查和诊断试验项目；检修后的试验项目。

#### 10.3.101 电阻器和电容器

检查电阻器和电容器。应给出有关数值的允许偏差。

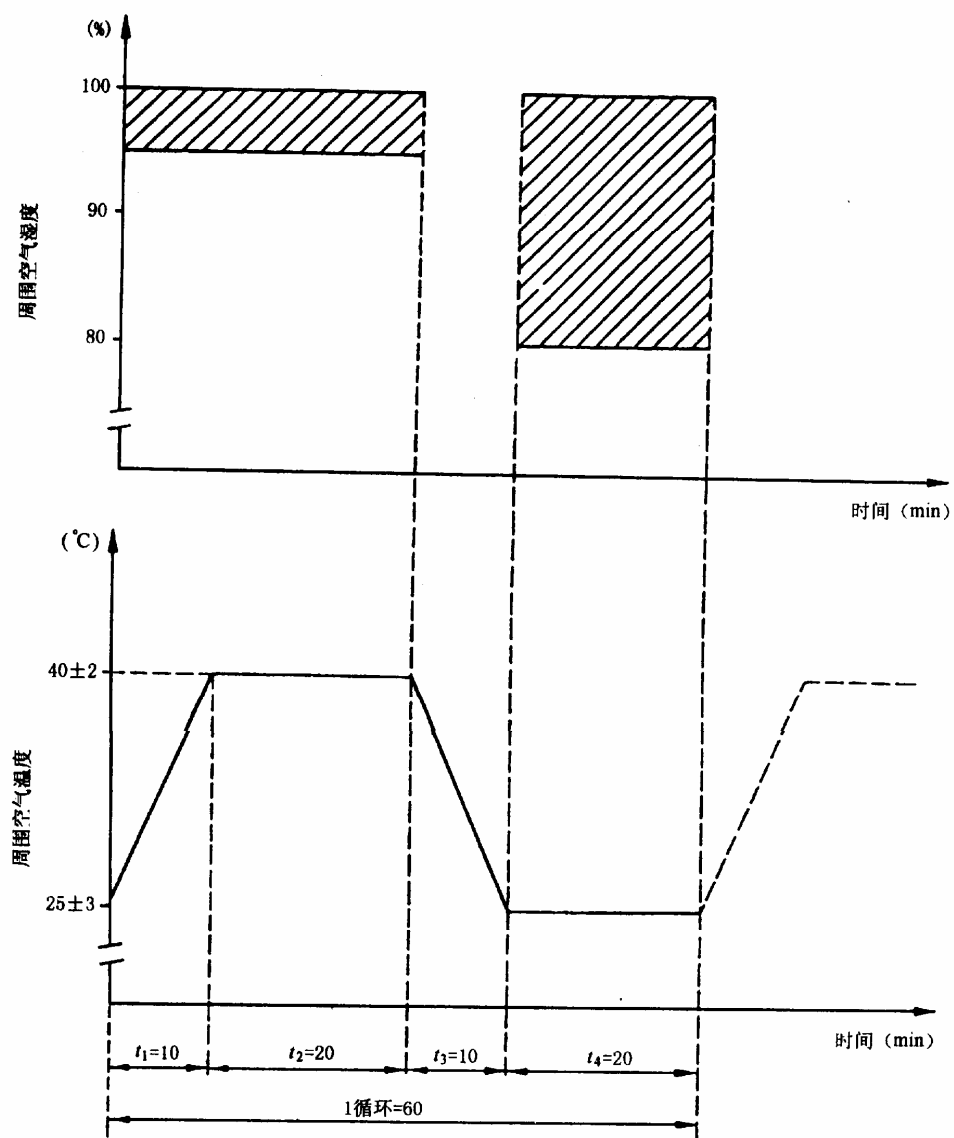
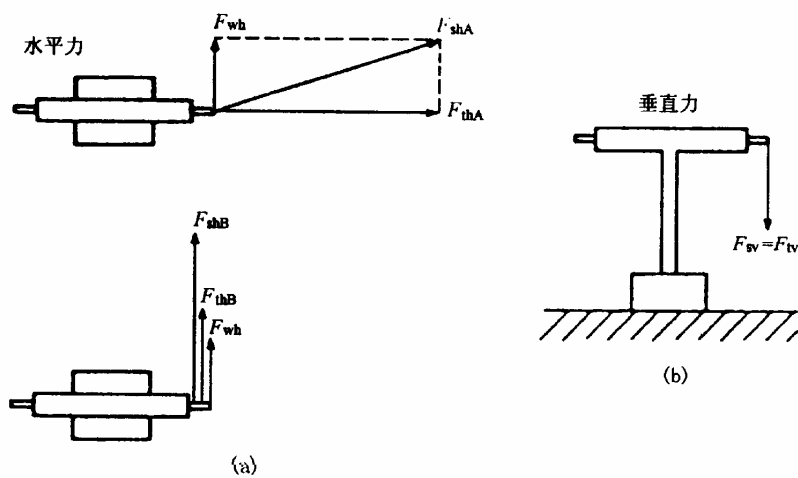


图 16 湿度试验



$F_{thA}$ —由于连接导线引起的水平拉力(方向 A);  
 $F_{thB}$ —由于连接导线引起的水平拉力(方向 B);  
 $F_{tv}$ —由于连接导线引起的垂直拉力(方向 C);

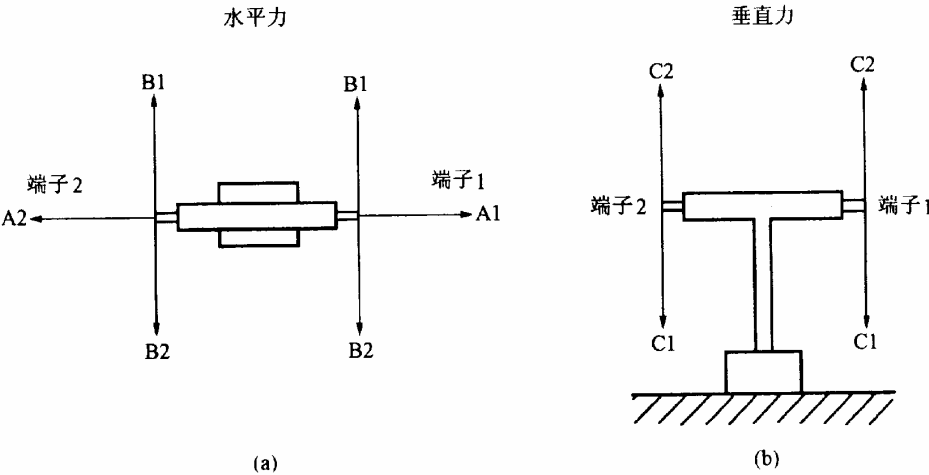
$F_{wh}$ —在覆冰的断路器上由于风压引起的水平力；

$F_{shA}$ 、 $F_{shB}$ 、 $F_{sv}$ —端子额定静负荷(合力)

图 17 端子静负荷力(见图 18 中 A、B、C 的方向)

(a)顶视图；(b)侧视图

| 端子上的力                                                                | 水平的                   | 垂直的      | 备 注    |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------|--------|
| 由于自重、风和冰在连接导线上引起的力                                                   | $F_{thA}$ 、 $F_{thB}$ | $F_{tv}$ | 按照表 25 |
| 由于风和冰在断路器上引起的力                                                       | $F_{wh}$              | O        | 由制造厂计算 |
| 合力                                                                   | $F_{shA}$ 、 $F_{shB}$ | $F_{sv}$ |        |
| 注：由于风在断路器上引起的水平力，可以从压力的中心移到一个端子上，而且其数值可以随力臂的加长按比例减小(在断路器最低部分的弯矩应相同)。 |                       |          |        |

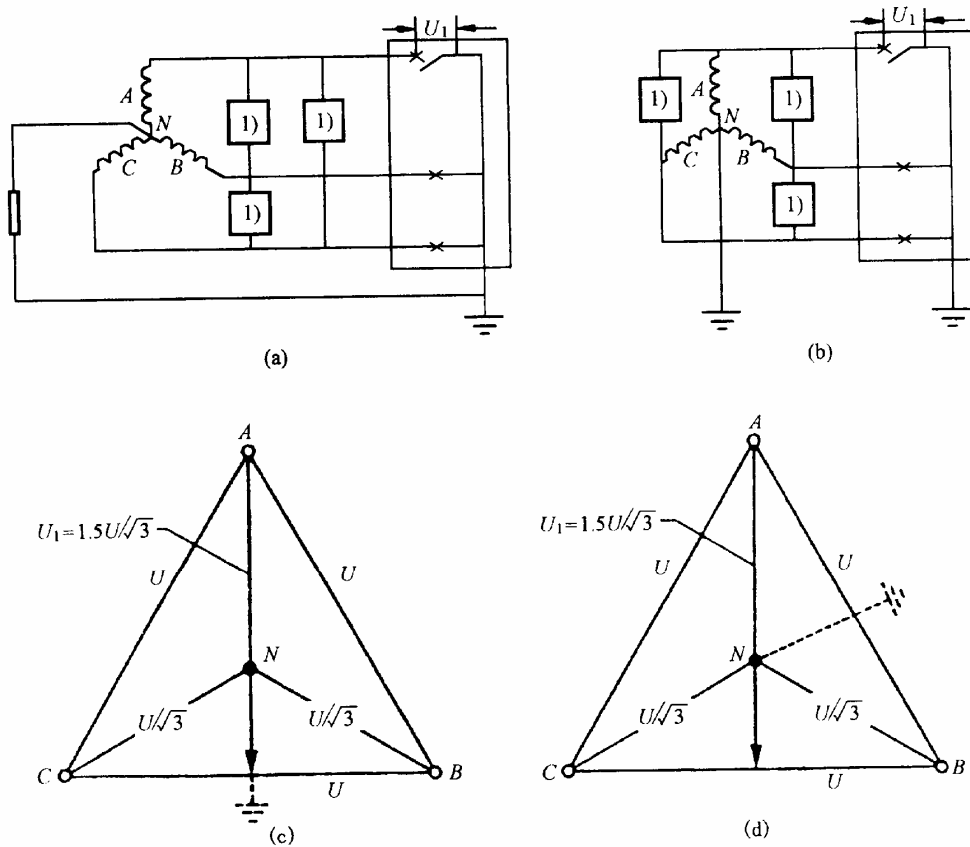


力的方位—A1，B1，B2 方向的力作用于端子 1，A2，B1，B2 方向的力作用于端子 2；

力的方位—C1、C2 方向的力分别作用于端子 1、端子 2

图 18 端子静负荷试验力的方向(若断路器对称于极的垂直中心线，则只需试验一个端子)

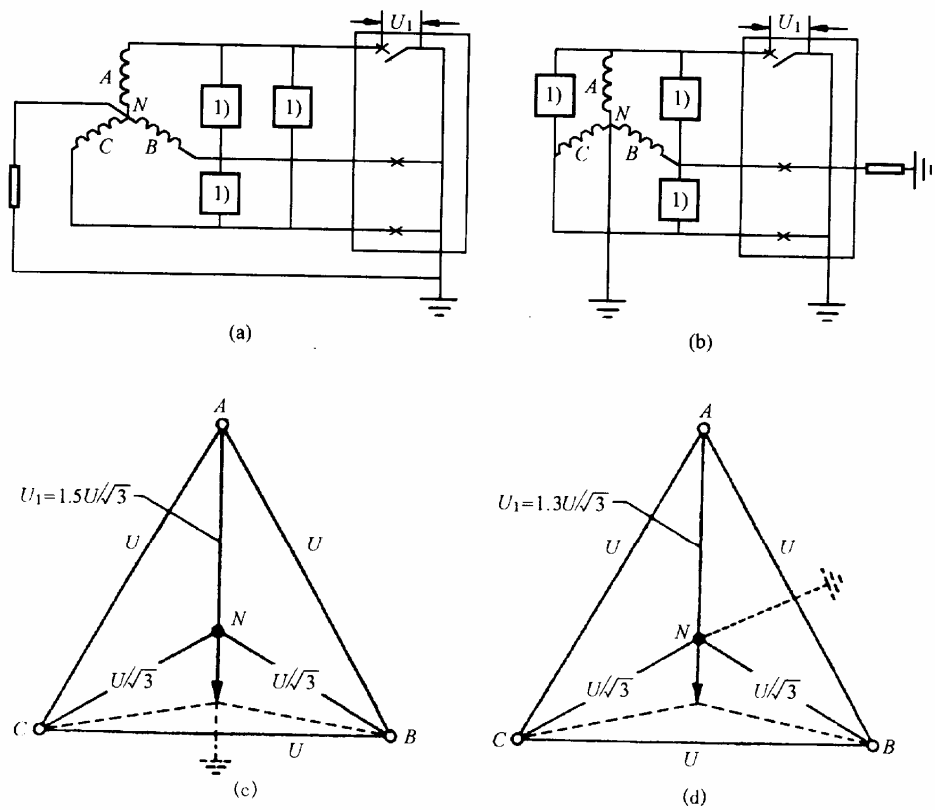
(a)顶视图；(b)侧视图



1) 代表电容和电阻的并联组合

图 19 三相短路试验回路的接地，首开极因数 1.5

(a) 优先采用的回路；(b) 代用的回路；(c) 图(a) 的电压相量图；(d) 图(b) 的电压相量图



1) 代表电容和电阻的并联组合

图 20 三相短路试验回路的接地，首开极因数 1.3

(a) 优先采用的回路；(b) 代用的回路；(c) 图 20(a) 的电压相量图；(d) 图 20(b) 的电压相量图

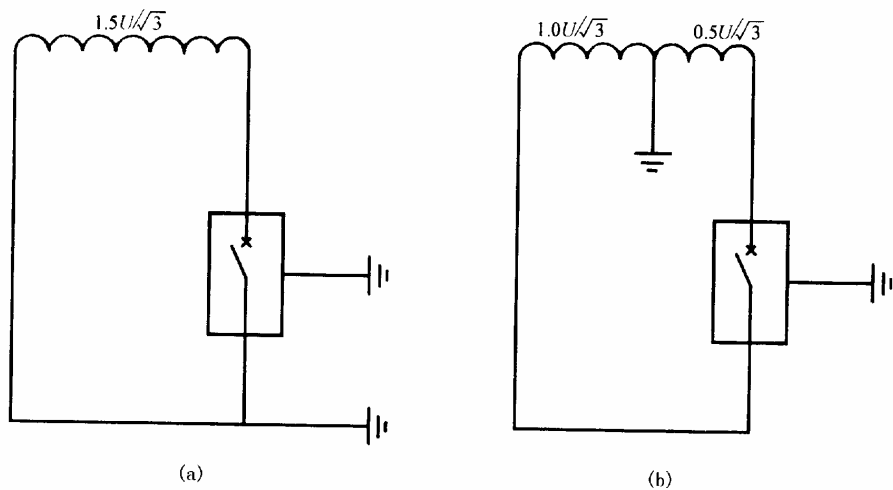


图 21 单相短路试验回路的接地，首开极因数 1.5

(a) 试验回路的接地方案一 [对于不考虑系统中性点接地条件的通用断路器，优先采用此回路；

对于使用在中性点接地系统的断路器，此回路作为代用回路(应取得制造厂的同意)；

(b) 试验回路的接地方案二 [对于中性点直接接地系统的断路器，优先采用此回路；

对于不考虑系统中性点接地条件的通用断路器，此回路作为代用回路(应取得制造厂的同意)]

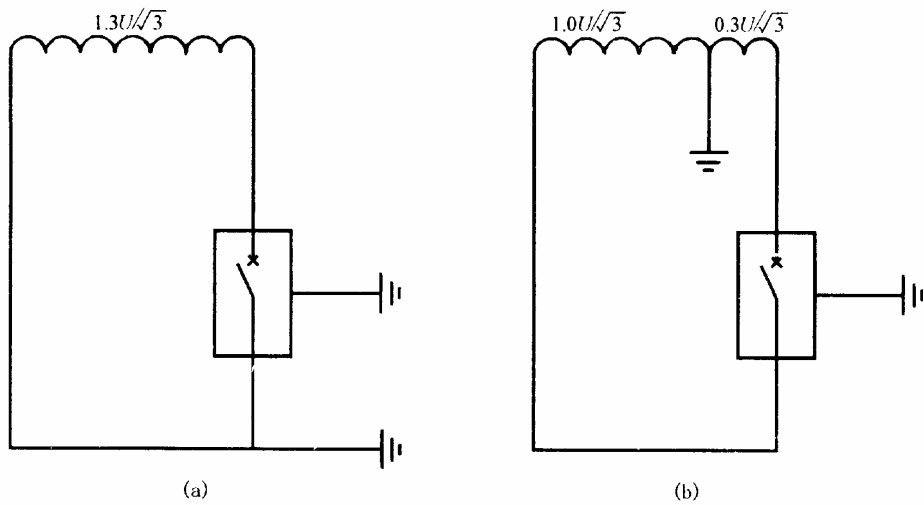


图 22 单相短路试验回路的接地，首开极因数 1.3  
(a)优先采用的回路；(b)代用回路(应取得用户同意)

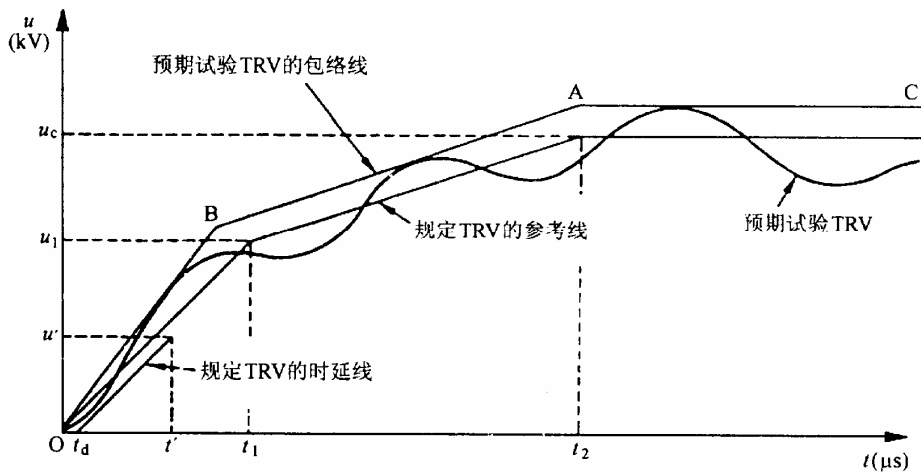


图 23 满足型式试验条件并有四参数包络线的预期试验  
TRV 的例子：用四参数参考线规定 TRV 的情况

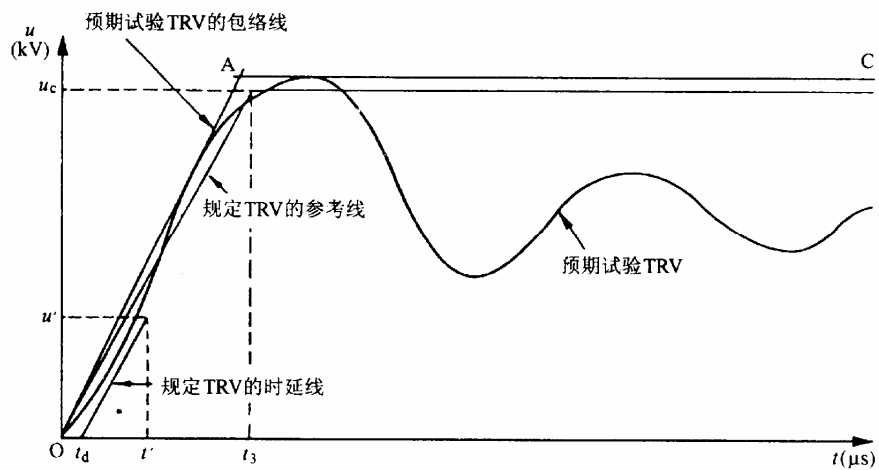


图 24 满足型式试验条件并有两参数包络线的预期试验 TRV 的例子：用两参数参考线规定 TRV 的情况

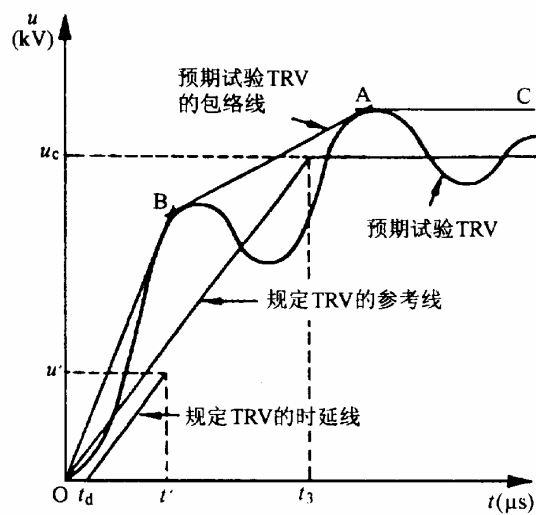


图 25 满足型式试验条件并有四参数包络线的预期试验 TRV 的例子：用两参数参考线规定 TRV 的情况

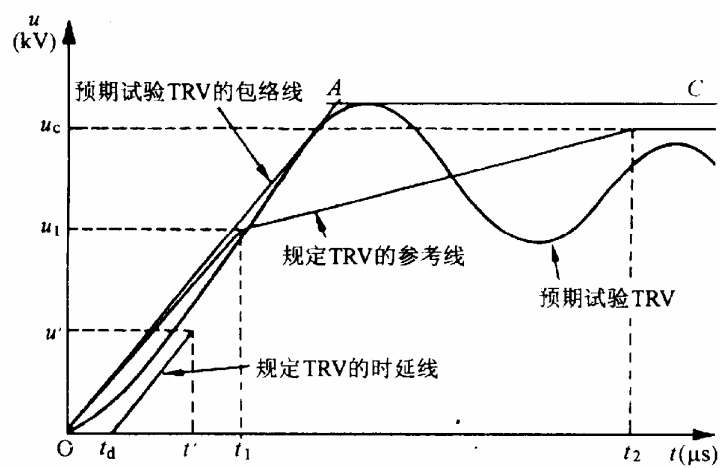


图 26 满足型式试验条件并有两参数包络线的预期试验 TRV 的例子：用四参数参考线规定 TRV 的情况

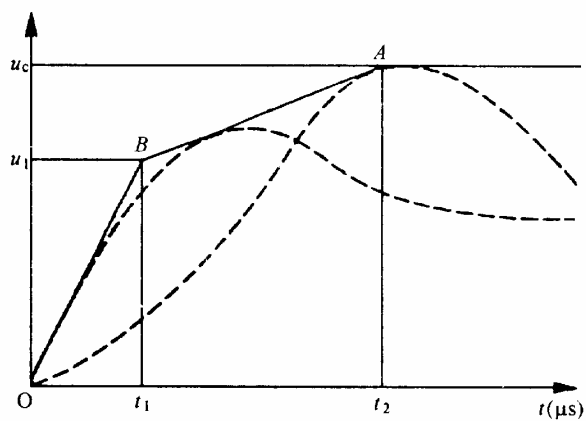
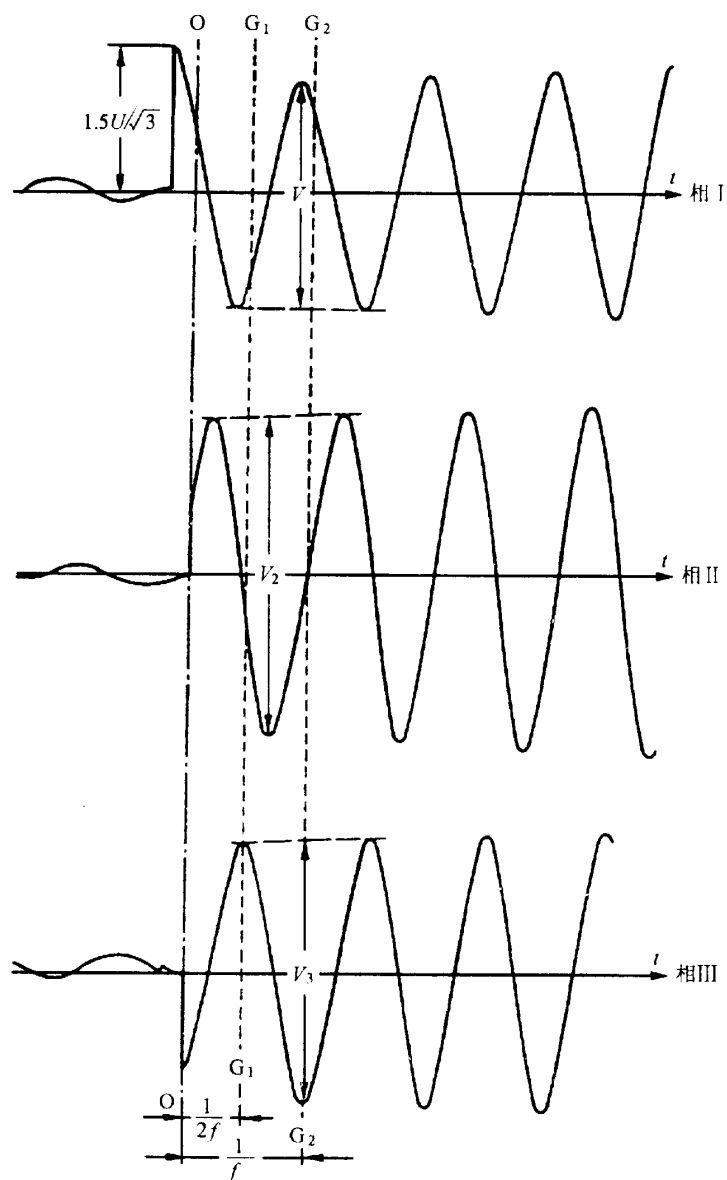


图 27 在两部法试验中两个预期试验 TRV 波形及其合成后的包络线的例子



相 I—首开相；OO—所有各相最后熄弧瞬间；G<sub>1</sub>G<sub>1</sub>—OO 后 1/2f 瞬间；G<sub>2</sub>G<sub>2</sub>—OO 后 1/f 瞬间；

$f$ —试验频率； $\frac{U_1}{2\sqrt{2}}$ —相 I 工频恢复电压值； $\frac{U_2}{2\sqrt{2}}$ —相 II 工频恢复电压值；

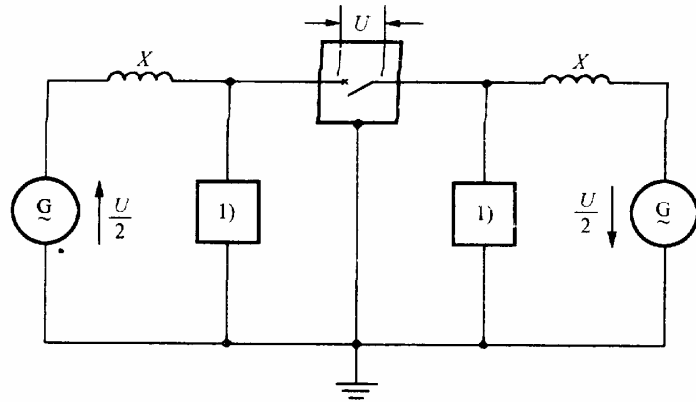
$\frac{U_3}{2\sqrt{2}}$ —相 III 工频恢复电压值

(在相 III，电压峰值恰好出现在 G<sub>1</sub>G<sub>1</sub> 瞬间，在此情况下，应在较后瞬间 G<sub>2</sub>G<sub>2</sub> 进行测量)；

相 I、II 及 III 的工频恢复电压平均值—
$$\frac{\frac{U_1}{2\sqrt{2}} + \frac{U_2}{2\sqrt{2}} + \frac{U_3}{2\sqrt{2}}}{3}$$

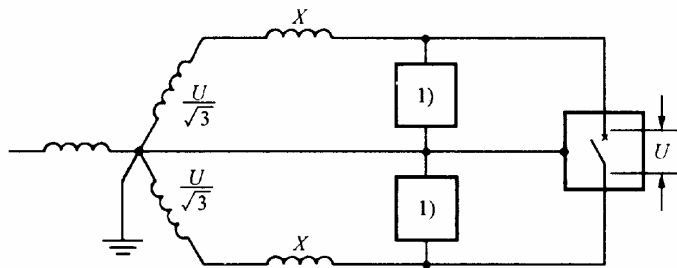
图 28 工频恢复电压的确定 [本例子说明了三极断路器在三相试验回路中进行时所得的三个电压，回路中有一个中性点是绝缘的，见图 19(a)]

或 19(b)，因此导致在首开极上恢复电压瞬时地提高 50%，如相 I 中所示]



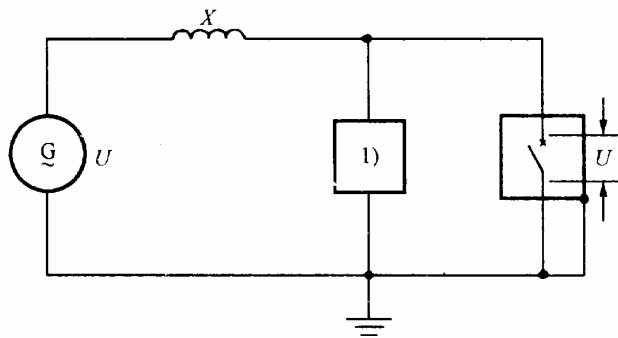
1) —代表电容和电阻的组合

图 29 单相失步试验的试验回路



1) —代表电容和电阻的组合

图 30 用相位差为 120° 的两个电压做失步试验的试验回路



1) —代表电容和电阻的组合

图 31 断路器一个端子接地的失步试验回路  
(应取得制造厂同意)

由额定特性计算近区故障的瞬态恢复电压 <sup>21</sup>

采用说明：

1] 根据我国情况对 IEC 前言序中规定附录及其插图名命为 AA，BB 等改为 A，B 等。

2] 本节中所有数值根据我国情况重新核定。

#### A1 基本方法

确定额定参数和试验时，只考虑中性点直接接地系统中单相接地的近区故障，其严酷性足以概括其他情况，系统参数可能比标准值更严酷的特殊情况除外。

简化的单相回路见图 13。

在短路时，电压为：

$$U_p = U / \sqrt{3} \quad (A1)$$

$U$  是断路器的额定电压。

该电压使电流  $I_L$  流经由电抗  $X_s$  和  $X_L$  串联的回路。电源侧电压降的有效值为：

$$u_s = I_L X \quad (A2)$$

线路上的电压降为：

$$u_L = I_L X_L \quad (A3)$$

当电流开断时，断路器线路侧端子对地初始电压的瞬时值为：

$$u_0 = u_L \sqrt{2} \quad (A4)$$

此初始电压以行波的形式沿着断路器和故障点之间的线路来回反射最后降到零，产生了线路侧的瞬态恢复电压，其形状为如图 A1 中的  $u_L$  所表示的衰减的锯齿形振荡。实际上，由于断路器端子上的集中电容(电压及电流互感器的电容等)产生的时延使锯齿波在一定程度上被畸变，即振荡波的顶部稍微变圆。在开断瞬间，断路器电源侧的端子对地电压也为  $u_0$ ，并由此按电源侧的瞬态恢复电压上升到峰值  $u_m$ ，如图 A1 中  $u_s$  所示。在电源侧(在瞬态现象结束后)对地工频电压峰值  $U_m$  将为：

$$U_m = U_p \sqrt{2} = U \sqrt{\frac{2}{3}} \quad (A5)$$

对于近区故障，规定的断路器两端的瞬态恢复电压是电源侧和线路侧的瞬态电压之差，如图 A1 中  $u_s - u_L$  所示。

#### A2 对地初始电压

开断瞬间的电压  $u_0$  和电源电压峰值  $U_m$  之比仅取决于线路电抗使短路电流减少的程度，而与额定电压、额定短路开断电流和线路常数无关，因此：

$$u_0 / U_m = 1 - I_L / I \quad (A6)$$

式中： $I$ ——额定短路开断电流；

$I_L$ ——近区故障开断电流。

表 A1 列出了近区故障电流标准比值的关系。其他比值可以从图 A2 中得到。

表 A1 近区故障的对地初始电压和瞬态恢复电压峰值

| $I_L / I$ | $u_0 / U_m$ | $u_m / U_m$ |
|-----------|-------------|-------------|
| 0.90      | 0.10        | 1.36        |
| 0.75      | 0.25        | 1.30        |

#### A3 线路侧的瞬态电压

线路侧特性的标准值，如表 9 所示。

线路侧瞬态电压  $u_L$  的幅值  $u_L^*$  由  $u_0$  值乘以适当的峰值系数  $k$  得到

$$u_L^* = k u_0 \quad (A7)$$

到达第一峰值电压  $u_L^*$  的时标  $t_L$ ，可由线路电流  $i = I_L \sqrt{2} \sin \sin(2 \pi f t)$  在电流零点开断后的线路侧瞬态电压  $u_L$  的上升率  $du_L/dt$  求得：

$$t_L = u_L^* / s I_L \quad (A8)$$

$$-s I_L = du_L / dt = -2\pi f Z I_L \sqrt{2} \quad (A9)$$

式中： $s$ ——瞬态恢复电压上升率系数；

$Z$ ——架空线路波阻抗；

$f$ ——额定频率。

额定线路特性  $Z$ 、 $k$  和  $s$  由表 9 给出。

瞬态电压以阻尼的锯齿振荡方式下降到零，如图 A1 中虚线所示。

对应于给定的近区故障，其近似的线路长度可由下面的公式得到，即

$$L = \frac{c t_L}{2} \quad (A10)$$

其中  $c$  为行波的传播速度，假定

$$c = 0.3 \text{ km} / \mu \text{ s} \quad (A11)$$

#### A4 电源侧的瞬态电压

电源侧瞬态电压从初始电压  $u_0$  到峰值  $u_m$  的演变由表 7～表 8 中导出，可直接引用给定的时间  $t_1$ ， $t_2$ ， $t_3$  和  $t_d$ 。表 8 中电压  $u_1$  等于工频相电压峰值  $U_m$ ，TRV 的峰值  $u_c$  由下式求出

$$u_m / U_m = 1 + 0.4 I_L / I \quad (A12)$$

如表 A1 和图 A2 所示。

当  $I_L / I = 1.0$  的极限情况：

$$u_c / U_m = 1.4 \quad (A13)$$

假如在时间  $t_2$  (或  $t_3$ ) 以前，线路侧振荡电压已经降到零，则电源侧瞬态电压峰值  $u_m$  也就是近区故障的瞬态恢复电压峰值。

运行中，电源侧瞬态电压开始时沿着一条以时延线为边界的曲线上升 (见 4.102.2)。近区故障的瞬态恢复电压最重要的部分是线路侧瞬态电压的第一峰值  $u_L^*$  (相应的时间为  $t_L$  以前的部分)。

在时间  $t_L$  时，电源电压的增量  $u_s^*$  的计算可不考虑电压曲线的弯曲部分 (它产生的误差可忽略)，而认为电压沿着一条直的时延线上升，该时延线的时延为  $t_d$  并与参考线平行 (对照图 10 或图 11)。

#### A5 计算实例

断路器额定参数：

$$U = 252 \text{ kV}; I = 31.5 \text{ kA}; f = 50 \text{ Hz}$$

取近区故障电流：

$$I_L = 0.75 I = 23.6 \text{ (kA)}$$

对地工频峰值电压 [从式 (A5) 或表 8 中的  $u_1$  得出]：

$$U_m = 252\sqrt{\frac{2}{3}} = 206(\text{kV})$$

对地初始电压  $u_0$  [由式(A6)或表 A1 中的  $u_0/U_m$  得出]:

$$u_0 = 0.25 \times 206 = 51.5(\text{kV})$$

线路侧瞬态电压第一个幅值 [由式(A7)和表 9 得出]:

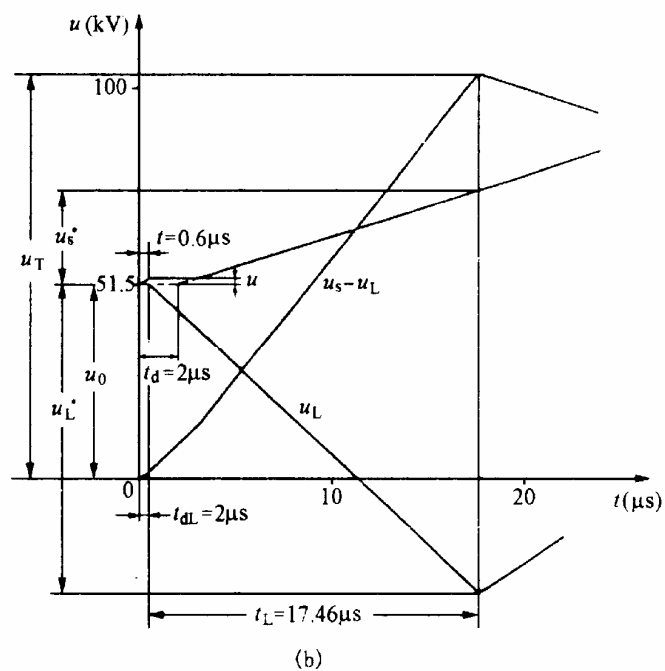
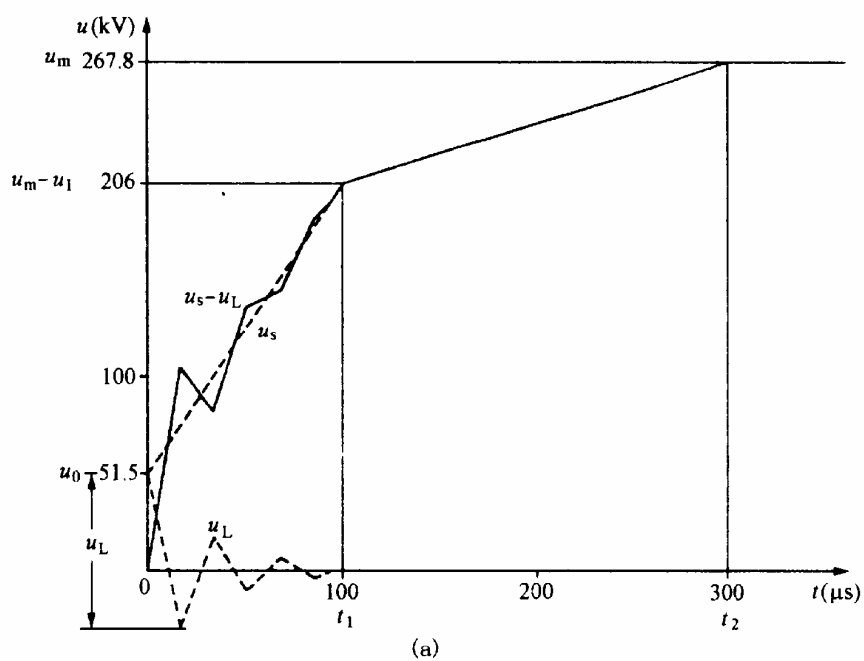


图 A1 近区故障 TRV 的构成  
(a)近区故障的 TRV 曲线; (b)TRV 的零区

$$u_L^* = 1.6 \times 51.5 = 82.4(\text{kV})$$

线路侧瞬态电压到达第一个幅值的时间  $t_L$  [由式(A8)和表 9 得出]:

$$t_L = \frac{82.4}{0.2 \times 23.6} = \frac{82.4}{4.72} = 17.46(\mu s)$$

到故障点的线路长度  $L$  [由式(A10)得出]:

$$L = \frac{0.3 \times 17.46}{2} = 2.62(\text{km})$$

由上面的数据  $t_{dL}=0.5 \mu s$  (见表 9), 可以作出线路侧的初始瞬态电压。到第一个峰值的时间为  $t_L+t_{dL}$ , 见图 A1。

电源侧瞬态电压的时间  $t_1$ ,  $t_2$  和  $t_d$  可以从表 8 得到:

$$t_1=103 \mu s; t_2=309 \mu s; t_d=2 \mu s$$

电源侧瞬态电压的上升率为:

$$\frac{206 - 51.5}{103} = 1.5(\text{kv}/\mu s)$$

在时间  $t_L+t_{dL}$  时, 电源侧电压的增量为:

$$u_s^* = (t_L+t_{dL}-t_d) \times 1.5 = (17.46+0.5-2) \times 1.5 = 23.94(\text{kV})$$

如果  $t_L < t_d$ , 仅电源侧电压的增量成为 ITRV。

电源侧的 ITRV 增量(由表 6 得到)为:

$$t_i=0.6 \mu s; u_i=0.069 \times 23.6=1.63(\text{kV})$$

电源侧的瞬态电压峰值  $u_m$  [由式(A12)或表 A1 得出] 为:

$$u_m=1.30 \times 206=267.8(\text{kV})$$

从上述数据, 可以作出电源侧的瞬态电压。因此可以估算出断路器两端的预期瞬态恢复电压  $us-u_L$ , 如图 A1 所示, 在时间  $t_L+t_{dL}$  时电压  $u_T$  的值为:

$$u_T = u_L^* + u_s^* = 82.4 + 23.94 = 106.34(\text{kV})$$

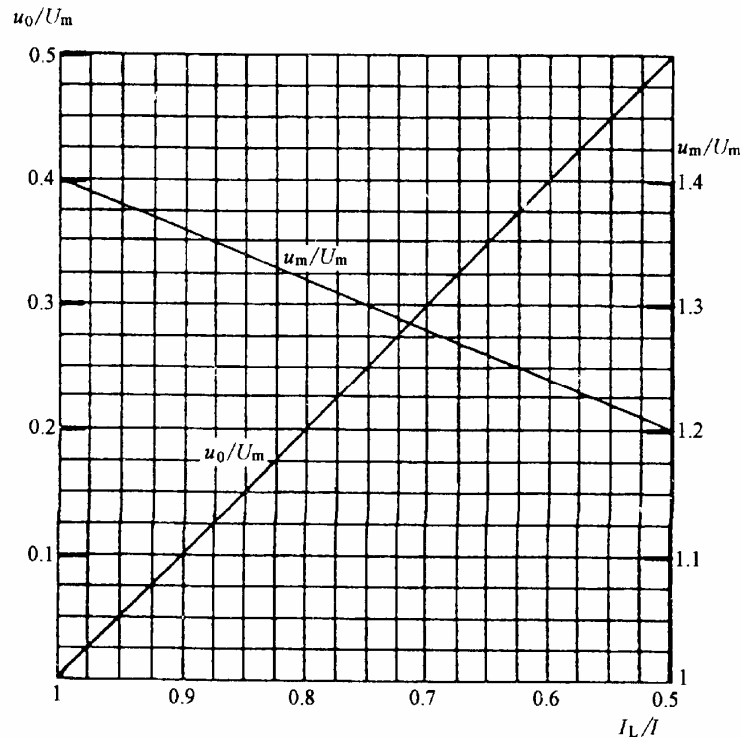


图 A2  $u_0/U_m$ ,  $u_m/U_m$  与  $I_L/I$  的函数关系

## 附录 B(标准的附录)

### 电容器组的涌流

断路器关合使充电的电容器组产生涌流，涌流是施加电压、回路电容、回路电感的数值和位置、回路关合时电容器上的电荷和操作瞬态过程的阻尼程度的函数。涌流通常是假定电容器组没有初始电荷，并且回路是在产生最大涌流的时刻关合的情况下计算的。

当关合到有电荷的电容器组时，涌流会比关合到无电荷的电容器组时更高。电流可能增加的估算系数，可以由下式求得：

$$\text{电流可能增加的估算系数} = \frac{\text{关合到有电荷的电容器组上时的电压变化}}{\text{关合到无电荷的电容器组上时的电压变化}}$$

应该指出，重击穿断路器可能在电容器上造成危险的过电压。

涌流可由已知的网络阻抗来计算。图 B1 表示的是，当已有零组、一组及  $n$  组电容器组分别与母线相连时，接入一组电容器时的三种不同情况。

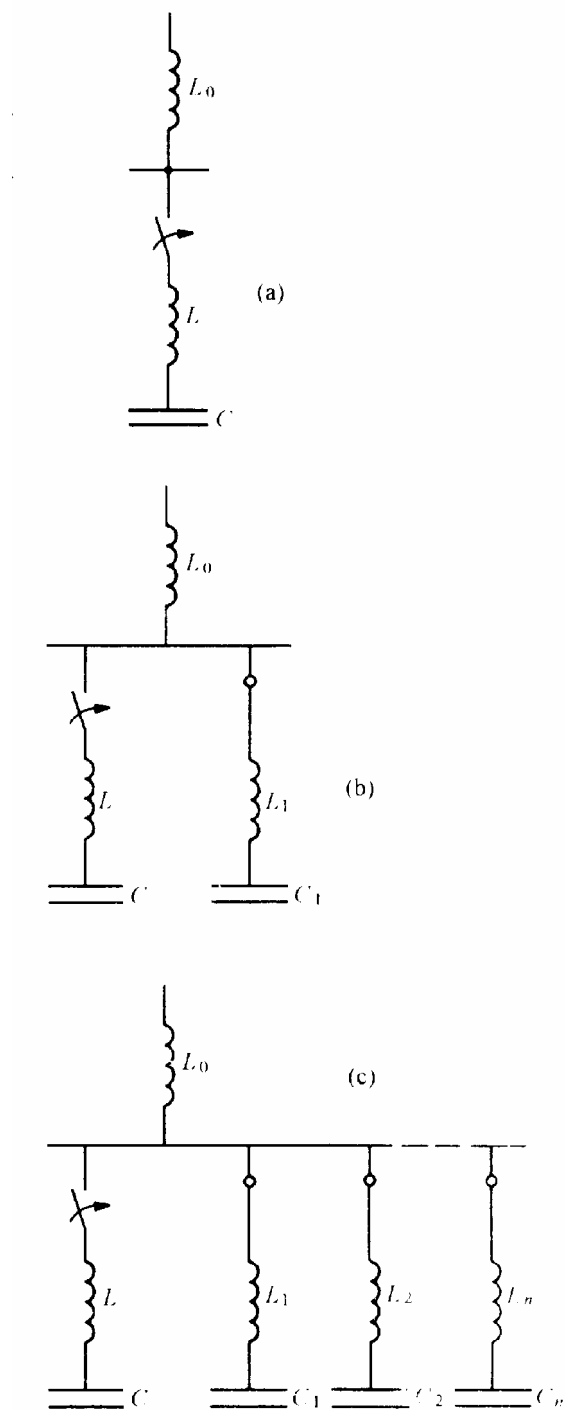


图 B1 电容器组涌流

(a)单个电容器组；(b)两个电容器组；(c) $n$  个电容器组

通常，在图 B1(b)、(c)中列出的简化计算是可以接受的。

当有两组或多组电容器组彼此紧密相连，并且相互之间的电感很小时，从减少电容器和断路器涌流的观点来看，与电容器串联阻抗是必要的。

(1)投入单个电容器组

$$i = U \sqrt{\frac{2}{3} \times \frac{C}{L_0 + L}} \approx U \sqrt{\frac{2}{3} \times \frac{C}{L_0}} \dots \dots L_0 \gg L$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(L_0 + L)}} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{CL_0}}$$

(2)一个电容器组已与母线相连时, 接入另一个电容器组

$$i = U \sqrt{\frac{2}{3} \times \frac{C_1 C}{(C_1 + C)} \times \frac{1}{L_1 + L}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{C_1 C}{(C_1 + C)} (L_1 + L)}}$$

$$S = \frac{U}{L_1 + L} \times \sqrt{\frac{2}{3}}$$

(3) $n$  个电容器组已与母线相连时, 接入另一个电容器组

$$L' = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots + \frac{1}{L_n}}$$

$$C' = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$$

$L'$  和  $C'$  代替图 B1(b)中的  $L_1$  和  $C_1$ 。如果  $L_1 C_1 = L_2 C_2 = \cdots = L_n C_n$ , 则计算是正确的, 在其他情况下则是近似的。

$U$ =系统电压;

$i$ =涌流峰值;

$f$ =涌流频率;

$s$ =涌流上升率;

$L_0$ =电源电感;

$L$ =与受开合的电容器组串联的电感;

$C$ =受开合的电容器组的电容(等效星形接法的值);

$L_1, L_2, \cdots, L_n$ =与电源侧电容器组串联的电感;

$C_1, C_2, \cdots, C_n$ =电源侧电容器组电容(等效星形接法的值)。

附录 C(标准的附录)

关合、开断和短时电流性能的类型试验记录和报告

## C1 应记录的情况和结果

关合、开断和短时电流试验的全部有关情况和结果均应包括在型式试验报告中。

所有短路试验操作均应按 C2 条作示波记录, 并应包括在型式试验报告中。

使用示波器及其有关的设备来测量那些确定额定值的参数, 例如短路电流、外施电压和恢复电压时, 其准确度应在 $\pm 5\%$ 之内。

应对断路器拍照以说明断路器在试验系列前后的状态。

型式试验报告应包括每一试验方式中断路器的性能, 每一试验方式后(如果作过检查)以及一系列的试验方式结束后断路器的状态的叙述。叙述应包括下述详细情况:

a)断路器的状态(包括零件更换或调整的细节), 触头、灭弧室和油(包括损耗量)的状态,

以及电弧屏蔽物、壳体、绝缘子和套管遭到损坏的说明;

b) 试验过程的说明, 包括有关喷油、喷气或喷焰的观察。

## C2 报告中应包括的说明

### C2.1 概述

a) 试验日期;

b) 报告编号(代号);

c) 试验编号;

d) 示波图编号。

### C2.2 受试电器

a) 型号或序号;

b) 产品的说明, 包括极数;

c) 制造厂;

d) 照片编号;

e) 图纸编号。

### C2.3 制造厂规定的额定值

a) 电压, kV;

b) 额定电流, A;

c) 频率, Hz;

d) 短路开断电流: ①电流交流分量的有效值, kA; ②直流分量的百分数;

e) 最小分闸时间, ms; 及分闸时间的变动范围; 开断时间及其变动范围;

f) 瞬态恢复电压: 峰值, kV, 以及上升率, kV/ $\mu$ s;

g) 近区故障波阻抗和峰值系数;

h) 短路(峰值)关合电流, kA;

i) 失步开断电流, kA;

j) 短路持续时间, s;

k) 操作顺序;

l) 线路充电开断电流, A;

m) 电缆充电开断电流, A;

n) 电容器组开断(和关合)电流, A;

o) 小感性开断电流, A;

p) 电源电压, V: ①合闸装置; ②分闸装置;

q) 操作气压范围, MPa(或 bar);

r) 合分时间范围。

### C2.4 试验条件(对于每一试验系列)

a) 极数;

b) 功率因数;

c) 频率, Hz;

d) 发电机中性点(直接接地的或绝缘的);

e) 变压器中性点(直接接地的或绝缘的);

f) 短路点或负载侧中性点(直接接地的或绝缘的);

g) 包括接地连接的试验回路图。

### C2.5 短路开断和关合试验

a) 操作顺序和时间间隔;

b) 外施电压, kV;

- c)关合电流(峰值), kA;
- d)开断电流: ①每相的和平均的交流分量有效值, kA; ②直流分量的百分数;
- e)工频恢复电压, kV;
- f)预期瞬态恢复电压: ①符合 6.104.5.1 的要求 a), 可以列出电压和时间坐标; ②符合 6.104.5.1 的要求 b);
- g)各相燃弧时间, ms;
- h)分闸时间, ms;
- i)开断时间, ms(可行的话, 应给出直至主电弧熄灭瞬间和直至电阻电流开断瞬间的开断时间);
- j)外观: ①喷焰、气、油等; ②表现、状况和评论;
- k)合分时间。

#### C2.6 短时电流试验

- a)电流: ①有效值, kA; ②峰值, kA;
- b)持续时间, s;
- c)外观。

#### C2.7 空载操作

- a)在关合和开断试验之前(见 6.102.5);
- b)在关合和开断试验之后(见 6.102.8.3)。

#### C2.8 失步关合和开断试验

- a)每相的开断电流, kA;
- b)每相的电压, kV;
- c)试验前气体压力(当采用时), MPa(或 bar);
- d)开断时间, ms;
- e)每相的电阻电流(当采用时), A。

#### C2.9 容性电流开合试验

- a)试验电压, kV;
- b)每相的开断电流, A;
- c)相间和相对地电压的峰值, kV: ①断路器的电源侧; ②断路器的负载侧;
- d)重击穿的次数(如果有的话);
- e)试验操作的次数;
- f)相位控制整定的细节;
- g)所用试验回路的细节;
- h)断路器在试验过程中的状况;
- j)试验后断路器的情况。

#### C2.10 示波图及其他记录

示波图应记录整个操作过程。应记录下列参数。某些参数可能要分别记录在不同的示波图上, 因而可能需要用几台不同时间刻度的示波器:

- a)外施电压;
- b)每极的电流;
- c)恢复电压(对充电电流试验应包括断路器电源侧和负载侧的电压);
- d)合闸线圈中的电流;
- e)分闸线圈中的电流;
- f)合适的时间刻度;
- g)动触头的行程(如果可行的话)。

凡不能严格地符合本标准要求的各种情况和各种偏差,均应在试验报告的开始部分清楚地予以说明。

#### 附录 D(标准的附录)

##### 短路功率因数的确定

没有精确的方法可用来确定短路功率因数,但为了满足本规程的需要,使用下列三种方法中任一较为合适的方法,可以足够精确地确定试验回路每一相的功率因数。

##### D1 方法 I——由回路常数计算

功率因数可计算为某一角度  $\varphi$  的余弦,其中  $\varphi = \arctan X/R$ ,  $X$  和  $R$  分别是试验回路在短路时的电抗和电阻。

由于现象的瞬态性质,无法精确确定  $X$  和  $R$ ,但为了符合这些规则,可用下面的方法确定。

$R$  是对试验回路用直流测出的;如果回路含有变压器,则分别测出其一次侧电阻  $R_1$  和二次侧电阻  $R_2$ ,然后由下式求出所需的  $R$  值:

$$R = R_2 + R_1 N^2$$

式中:  $N$ ——变压器的变比。

由下式求得  $X$  值:

$$X = \sqrt{\left(\frac{E}{I}\right)^2 - R^2}$$

$$\frac{E}{I}$$

式中比值  $\frac{E}{I}$  (回路阻抗)由图 D1 所示的示波图求得,其计算公式如下:

$$\text{回路阻抗} = \frac{E}{I} \times \frac{B}{D} = \frac{A}{C} \times \frac{F}{G}$$

式中:  $E$ ——触头分离瞬间回路电动势  $= \frac{B}{2\sqrt{2}}$  ;

$$I \text{——开断电流} = \frac{D}{2\sqrt{2}} ;$$

$A$ ——2 倍的外施电压峰值;

$C$ ——短路开始时电流波交流分量峰值的 2 倍;

$F$ ——外施电压波半个周波的持续时间, s;

$G$ ——触头分离瞬间电流波半个周波的持续时间, s。

##### D2 方法 II——由直流分量确定

角度  $\varphi$  可由从短路发生到触头分离瞬间之间的不对称电流的直流分量曲线确定,方法如下:

##### D2.1 直流分量的公式是

$$i_d = I_{d0} e^{-\frac{R}{L}t}$$

式中:  $i_d$ ——任意瞬间的直流分量值;

$I_{d0}$ ——直流分量的初始值;

$L/R$ ——回路的时间常数, s;

$t$ —— $i_d$  和  $I_{d0}$  之间的时间间隔, s;

$e$ ——自然对数的底。

时间常数  $L/R$  可由上述公式确定如下:

a) 测量短路瞬间的  $I_{d0}$  值和触头分离之前任一其他时间  $t$  的  $i_d$  值;

b) 用  $I_{d0}$  除  $i_d$  确定  $e^{-\frac{R}{L}t}$  的值;

c) 由  $e^{-x}$  值确定与比值  $i_d/I_{d0}$  对应的  $-x$  值;

d)  $x$  表示  $\frac{R}{L}t$ , 由此可以确定  $L/R$ 。

D2.2 角度  $\varphi$  由下式确定

$$\varphi = \arctan \omega L/R$$

式中  $\omega$  是实际频率的  $2\pi$  倍。

D3 方法III——由控制发电机确定

当试验发电机轴上装有控制发电机时,在示波图上可以将控制发电机电压先与试验发电机电压的相位进行比较,然后与试验发电机电流的相位进行比较。

控制发电机电压和试验发电机电压之间的相角与控制发电机电压和试验发电机电流之间的相角之差即为试验发电机电压和电流之间的相角,由此可以确定功率因数。

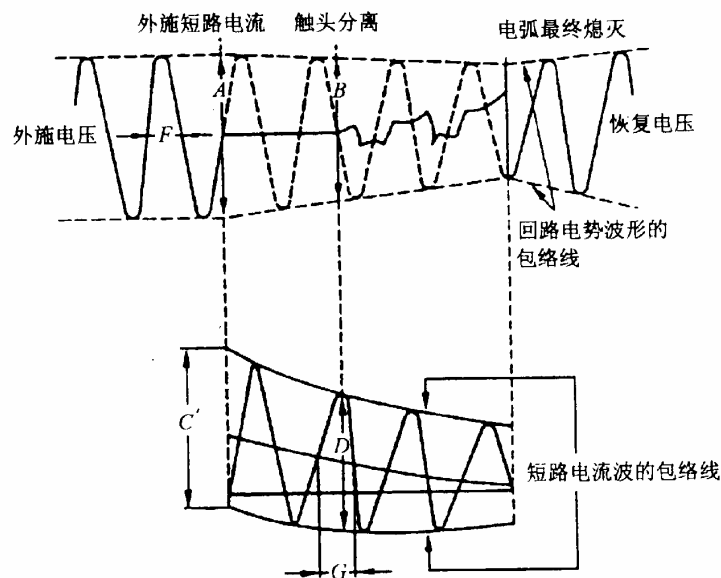


图 D1 按照附录 D 的方法 I 计算功率因数  
时所需回路阻抗的确定方法

附录 E(标准的附录)

密封的技术要求和试验

## E1 气体密封

### E1.1 范围和对象

本标准适用于以气体(大气压下的空气除外)或真空作为灭弧、绝缘或操作介质的高压户内或户外断路器。本标准旨在明确与气体密封有关的特点及其试验方法。

注：IEC 出版物 68—2—17《基本环境试验程序，第二部分：试验—试验 Q：密封》中所述的检漏方法，仅适用于小元件，故不能用于高电压设备的试验。

### E1.2 定义

#### E1.2.1 可控压力系统(用于气体)

从外部或内部气源自动补气的一种组件。

注：可控压力系统如压缩空气断路器、SF<sub>6</sub>双压式断路器(内部密封)或气动操动机构。

#### E1.2.2 封闭压力系统(用于气体)

靠人工与外部气源连通，仅能定期补气的一种组件。

注：封闭压力系统如 SF<sub>6</sub>单压式或双压式断路器(外部密封)。

#### E1.2.3 密封压力系统

在要求的工作寿命期间不需要进行处理的一种组件。

注

1 密封压力系统如真空断路器或某些 SF<sub>6</sub>断路器。

2 密封压力系统在工厂进行所有的装配和试验。

#### E1.2.4 额定充气压力 $P_r$ (或密度 $D_r$ )

人工或自动充入一个组件的归算到 20℃时的气体压力(或密度)。

#### E1.2.5 最低压力 $P_m$ (或密度 $D_m$ )

为了维持一个组件的额定性能必须人工或自动补气的压力(或密度)。

#### E1.2.6 绝对泄漏率 $F$

单位时间内气体的泄漏量，以  $\text{bar} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$  表示。

#### E1.2.7 允许泄漏率 $F_p$

由制造厂对整台断路器规定的或使用密封对应图 TC 对部件和元件规定的最大允许泄漏率。

#### E1.2.8 相对泄漏率 $F_{\text{rel}}$

与额定充气压力(或密度)下的系统中气体总量有关的绝对泄漏率，以每年或每天的百分率表示。

#### E1.2.9 补气间隔时间 $T$

为补偿泄漏率  $F$ ，以人工或自动进行的两次补气间的时间间隔。

#### E1.2.10 每天补气次数 $N$

每天补偿泄漏率  $F$  的补气次数。

该参数适用于可控压力系统。

#### E1.2.11 压力 $\Delta P$

在不补气情况下，给定时间内由泄漏率  $F$  所引起的压力降。

#### E1.2.12 密封对应图 TC

当采用部件或元件做密封试验时，所使用的说明整台断路器的密封度与其部件和/或元件的密封度之间相互关系的图。该图由制造厂提供。

#### E1.2.13 总泄漏测量法

考虑给定组件所有的泄漏以确定泄漏率的测量法。

#### E1.2.14 检漏

围绕设备缓慢移动检漏仪的探头以检测泄漏点的动作。

### E1.3 对气体密封度的要求

#### E1.3.1 可控压力系统

可控压力系统的密封度以每天的补气操作次数( $N$ )或每天的压力降( $\Delta P$ )表示。

其允许值由制造厂提供。

#### E1.3.2 封闭压力系统

封闭压力系统的密封度以两个量表示：

- a) 相对泄漏率，优选值为每年 1% 和 2%<sup>1]</sup>；
- b) 补气间隔时间  $T$ ，优选值为 3 年和 10 年。

采用说明：

1] IEC 规定为 3%。

#### E1.3.3 密封压力系统

密封压力系统的密封度以其预期工作寿命表示。优选值为 10，20 和 30 年。

### E1.4 试验

密封度试验的目的是验证总的系统泄漏率  $F$  不超过规定值  $F_p$ 。

如有可能，应在充气压力为  $P_r$ (或密度  $D_r$ )的整台断路器上进行试验。如果在整台断路器上试验有困难，可在部件或元件上进行。此时，试品的允许泄漏率与整台断路器的泄漏率的关系见密封对应图 TC，还应考虑部件之间可能出现的泄漏(见图 E1)。

除非泄漏率与断路器或所试验的部件的状态无关，否则试验既要在断路器的合闸位置上，又要在断路器的分闸位置上进行。

一般仅允许以总泄漏测量法来计算泄漏率。

型式试验报告应包括下列内容：

- a) 试品说明，包括试品内腔的容积和充入气体的类别；
- b) 断路器是在合闸位置还是在分闸位置(如果需要说明)；
- c) 试验开始和结束时记下的压力和温度以及补气次数；试验的持续时间；
- d) 压力(或密度)控制或监视装置的投入和切除压力(或密度)整定值；
- e) 仪表的校准读数；
- f) 测量结果；
- g) 如果使用的话，检验用的气体和用以确定结果的换算系数。

#### E1.4.1 可控或封闭压力系统的试验

##### E1.4.1.1 型式试验

密封试验结合机械操作试验和高、低温试验期间进行(见 6.101.2 和 6.101.3)。

在极端温度下和/或操作期间，泄漏率增加是允许的，只要温度恢复到正常周围空气温度并热稳定后和/或完成操作以后该泄漏率能恢复到不超过规定值  $F_p$ 。在分、合闸状态下，上述暂时增加的泄漏率不应超过  $3F_p$ 。总的泄漏量(在整个机械稳定性试验后)应不致使断路器闭锁。

(1) 可控压力系统。

测量一段时间  $t$  内的压力降  $\Delta P$ ，以检验相对泄漏率  $F_{rel}(t)$  要长到足以确定  $\Delta P$ ，并应考虑周围空气温度变化加以校正。在该段时间内补气装置不工作。

$$F_{rel} = \frac{\Delta P}{P_r} \times \frac{24}{t} \times 100\% / \text{天}$$

$$N = \frac{\Delta P}{P_r - P_m} \times \frac{24}{t}$$

$t$ =检验时间(h)。

注：为了保持公式线性， $\Delta P$  应与  $P_r - P_m$  具有相同的数量级。

作为替代办法，也可直接测出每天的补气次数以确定泄漏率。

(2)封闭压力系统。

可使用任何方法(例子见图 E2)测量泄漏率  $F$ ，它和密封对应图一起用来计算：

a)相对泄漏率  $F_{rel}$ ；

b)补气间隔时间  $T$ 。

由于封闭压力系统泄漏率较小，压力降测量法是不适用的。

如果试品充入的检验气体不同于运行中使用的气体 and/或试验时的压力不同于正常运行压力，则在计算时应使用制造厂提供的校正系数。

由于高、低温试验时测量困难，可采用下列试验方法：

a)在高、低温试验前、后，在周围空气温度下进行密封度试验，以确定是否有了变化；

b)记录高、低温试验前后的压力(或密度)。

注：实际上，泄漏率的测量可能有  $\pm 50\%$  的误差。

#### E1.4.1.2 出厂试验

在正常周围空气温度下进行出厂试验，断路器充气压力应与制造厂实际的试验压力相同。在可控的条件下进行检漏。

a)可控压力系统，试验方法见 E1.4.1.1(1)。

b)封闭压力系统，按密封对应图 TC，在制造过程的几个阶段在元件或部件上按 E1.4.1.1(2)进行试验。

#### E1.4.2 密封压力系统的试验

##### E1.4.2.1 型式试验

(1)SF<sub>6</sub>断路器。

SF<sub>6</sub>断路器应按 E1.4.1.1(2)进行试验。

(2)真空断路器。

真空断路器的灭弧室应采用电磁法进行试验。在灭弧室分开的触头间施加磁场，然后施加一个最长持续时间为 100ms 的陡脉冲电压，可由流过电流的大小估算出真空灭弧室内的气体压力。

应采用下列程序：

a)制造厂应提供维持断路器额定性能的真空灭弧室内气体压力的最高值；

b)对每种型号断路器的真空灭弧室应标定其内气体压力与电气参数之间的关系，在封装灭弧室的样品之前同时采用电磁法和常规的真空测量法测量即能得到这一关系，重复进行试验可得到精确的估算；

c)对真空断路器的灭弧室内压力在运行前测量两次，两次测量的时间间隔应足够长，使之能正确估计内部气体压力的变化率。

在要求的工作寿命期间，该变化率应当不使灭弧室内气体压力升到最高允许值。两次测量之间的最小时间间隔决定于真空断路器灭弧室的尺寸和试验方法的灵敏度。

注：一般认为，4 个星期的时间间隔是可以接受的。

##### E1.4.2.2 出厂试验

(1)SF<sub>6</sub>断路器。

密封的 SF<sub>6</sub> 断路器应按 E1.4.1.1(2)进行试验。

(2)真空断路器。

每个真空灭弧室由其系列号来辨认。制造厂应按 E1.4.2.1(2)进行试验，试验结果应列入试验报告，如提出要求应提供证书。

断路器装成后,在分开的触头上用出厂耐压试验的办法考验灭弧室气体压力是否能满足运行要求。

机械出厂试验后也要进行耐压试验,其试验电压应由制造厂提供。

## E2 液体密封

### E2.1 范围 and 对象

本条适用于以恒压或非恒压的液体作为绝缘、灭弧或控制介质的高压户内或户外断路器。本标准旨在明确与液体密封有关的特性和试验方法。

### E2.2 定义

#### E2.2.1 可控压力系统(用于液体)

自动补充液体的一种组件。

#### E2.2.2 封闭压力系统(用于液体)

仅用人工定期补充液体的一种组件。

### E2.3 液体密封的要求

#### E2.3.1 可控压力系统

可控压力系统的密封度由每天补充液体次数  $N$  或以不补充液体时的压力降  $\Delta P$  表示。

其允许值由制造厂提供。

#### E2.3.2 封闭压力系统

对液体加压(或不加压)的封闭压力系统的密封度应由制造厂规定。

#### E2.3.3 密封水平

对于密封水平,应区分内部密封与外部密封。

##### E2.3.3.1 总的密封

经检测,应无液体渗漏。

##### E2.3.3.2 相对密封度

在下列情况下有轻微的渗漏是允许的:

- a) 泄漏率应小于允许泄漏率;
- b) 泄漏率应不随时间或断路器的操作次数而增加;
- c) 液体的渗漏应既不引起断路器故障,又不对正在值班的运行人员造成任何损伤。

## E2.4 试验

### E2.4.1 型式试验

断路器应模拟实际运行情况,带上所有附件和规定的液体,尽可能接近运行时的安装方式(如底座、支柱)。

密封试验应在机械操作稳定性试验和高、低温试验期间进行(见 6.101.2 和 6.101.3)。

在极端温度下和/或操作期间,泄漏率增加是允许的,只要温度恢复到正常周围空气温度并热稳定后和/或完成操作后该泄漏率恢复到原有值。暂时增加的泄漏率应不影响断路器的安全运行。

对断路器进行一段足够长时间的观察,以确定泄漏率或压力降  $\Delta P$ 。此时, E1.4.1.1 (1) 的计算是有效的。

注:使用不同于运行时的液体或气体进行试验是可以接受的,但制造厂必须说明其合理性。

试验报告应包括下列内容:

- a) 试品的一般描述;
- b) 完成的操作次数和从最初充液到当时的时间间隔;
- c) 液体的性质和压力;
- d) 试验时的周围空气温度;

e)需要时，提供断路器在分闸和合闸位置的试验结果。

E2.4.2 出厂试验

出厂试验应在常温下在整台断路器上进行，也允许在部件上进行。在这种情况下，最终的检验应在现场进行。

试验方法与型式试验方法相对应(见 E2.4.1)。

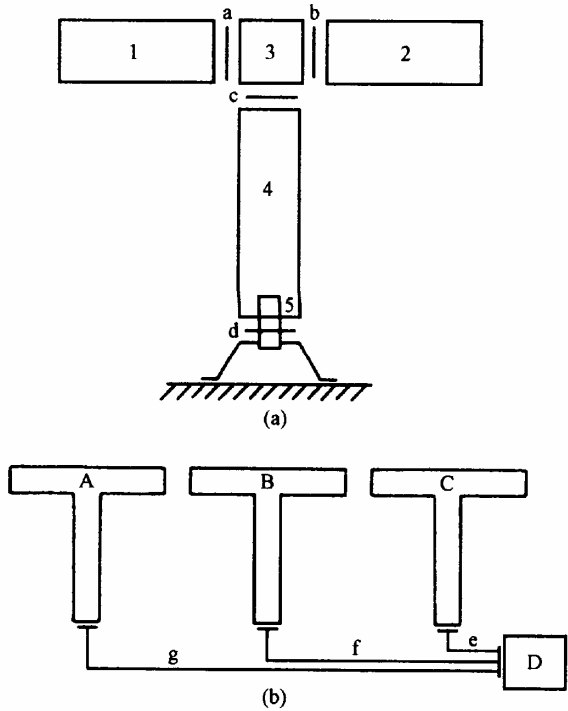


图 E1 密封对应图 TC 的举例三极断路器(SF<sub>6</sub>单压式)  
(a)单极图；(b)三极图

额定充气压力  $P_r$ :  $6 \times 10^5 \text{Pa}$ (表压)。

最低压力  $P_m$ :  $5.65 \times 10^5 \text{Pa}$ (表压)。

内部总容积:  $256 \text{dm}^3$ 。

每极泄漏率

允许泄漏率

做密封试验的每极分装部件

$\times 10^{-1} \text{Pa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$

灭弧室

(1) 60

灭弧室

(2) 60

齿轮箱

(3) 20

支持瓷套

(4) 2

操作拉杆/驱动

(5) 20

分装部件之间的密封

O 型圈

(a) 2

O 型圈

(b) 2

O 型圈

(c) 2

O 型圈

(d) 2

泄漏率/极

170

整台断路器的泄漏率允许泄漏率

$\times 10^{-1} \text{Pa} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$

A 极

170

|                   |     |     |
|-------------------|-----|-----|
| B 极               |     | 170 |
| C 极               |     | 170 |
| 控制柜(包括阀门、表计、监视装置) | (D) | 60  |
| 管道                | (e) | 2   |
| 管道                | (f) | 2   |
| 管道                | (g) | 2   |
| 整台断路器             |     | 576 |

$$F_{rel} = \frac{576 \times 10^{-6} \times 60 \times 60 \times 24 \times 365}{(6 + 1) \times 256 \times 10^3} \times 100 = 1.0(\% \text{年})$$

$$T = \frac{(6 - 5.65) \times 256 \times 10^3}{576 \times 10^{-6} \times 60 \times 60 \times 24 \times 365} = 5(\text{年})$$

| 泄漏灵敏度<br>×10 <sup>5</sup> Pa·cm <sup>3</sup> /s | 泄漏1kg<br>SF <sub>6</sub> 的时间 | 超声波<br>压力降         | 肥皂液染色手电光     | 热导率                      | 氨气检漏            | 卤素<br>检漏器       | 电子捕获<br>检漏器 | 质谱仪 |  |
|-------------------------------------------------|------------------------------|--------------------|--------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-------------|-----|--|
| 10 <sup>-1</sup>                                | 18天                          |                    |              |                          |                 |                 |             |     |  |
| 10 <sup>-2</sup>                                | 24周                          |                    |              |                          |                 |                 |             |     |  |
| 10 <sup>-3</sup>                                | 5年                           | 任何 <sup>e</sup> 气体 |              |                          |                 |                 |             |     |  |
| 10 <sup>-4</sup>                                | 48年                          |                    |              |                          |                 |                 |             |     |  |
| 10 <sup>-5</sup>                                | 480年                         |                    | 气泡试验<br>任何气体 | SF <sub>6</sub><br>氟里昂12 |                 |                 |             |     |  |
| 10 <sup>-6</sup>                                | 4800年                        |                    |              |                          |                 | SF <sub>6</sub> |             |     |  |
| 10 <sup>-7</sup>                                | 48000年                       |                    |              |                          | NH <sub>3</sub> |                 |             |     |  |
| 10 <sup>-8</sup>                                | 480000年                      |                    |              |                          |                 |                 |             |     |  |

氟里昂12

SF<sub>6</sub>

1

任何气体

2

3

—可靠的；—勉强的；1—在好的条件下检漏，

用积分检漏能达到更高的灵敏度；2—积分检漏；3—定性检漏

图 E2 检漏方法的比较

附录 F(标准的附录)

绘制回路预期瞬态恢复电压包络线和确定特性参数的方法

F1 引言

瞬态恢复电压波形可能具有不同的形状，振荡和非振荡的两种都有。

该波形可由三条连续的线段构成的包络线规定，当波形接近单频阻尼振荡时，其包络线变成两条连续的线段。在所有情况下，包络线都应尽可能准确地反映瞬态恢复电压的实际形

状。这里所述的方法在大多数实际情况下可以足够近似地达到此目的。

注：有时候，所建议的作图法得出的参数更苛刻，这应作为例外处理， 并应由制造厂和用户或实验室之间协商解决。

## F2 画包络线

下述方法用于绘制组成预期瞬态恢复电压曲线包络线的各线段。

F2.1 第一条线段通过原点  $O$ ，与曲线相切但不相交(见图 F1～图 F3 的线段  $OB$  和图 F4 的线段  $OA$ )

若曲线的初始部分向右凸，则切点常在第一峰值附近(见图 F1 和图 F2 的线段  $OB$ )。

若向左凸，例如指数曲线的情况，则切点在原点附近(见图 F3 的线段  $OB$ )。

F2.2 第二条线段是在曲线最高峰值处与曲线相切的水平线(见图 F1～图 F4 的线段  $AC$ )

F2.3 第三条线段在前两个切点之间与曲线的一点或多点相切， 但不与曲线相交

这一线段有三种可能的画法：

F2.3.1 可以画一条线段与曲线切于两点(或多于两点)

在这种情况下，它就构成包络线的一部分(见图 F1 的线段  $BA$ )。

从而可得四参数包络线  $OBAC$ 。

F2.3.2 与曲线的两点(或多点)相切而不相交的线段可能画出多条

在这种情况下，用作包络线的线段与曲线只在适当的一点相切，使得在切点两旁曲线和包络线之间的面积近似相等(见图 F2 的线段  $BA$ )，从而可得四参数包络线  $OBAC$ 。

F2.3.3 不能画出与曲线切于一点以上而不与之相交的线段

在此情况下应作下列区别：

(1)第一线段的切点远离最高峰值点。这是指数曲线或近似指数曲线的典型情况。

在这种情况下，线段和曲线应在这样的点相切，使得在该点两旁的曲线和包络线之间的面积近似相等，如 F2.3.2(见图 F3 的线段  $BA$ )。

从而可得四参数包络线  $OBAC$ 。

(2)第一线段的切点和最高峰值点相距较近。这是属于单频阻尼振荡曲线或与之相似的曲线的情况。

在这种情况下，不画第三条线段，而采用与前两条线段对应的两参数表示(见图 F4)。

从而可得两参数的包络线  $OAC$ 。

## F3 参数的确定

根据定义，构成包络线的各线段交点的坐标就是表征其特性的参数。

当包络线由三条线段组成时，图 F1～图 F3 中的四个参数  $u_1$ ， $t_1$ ， $u_c$  和  $t_2$  就是交点  $B$  和  $A$  的坐标。

当包络线仅由两条线段组成时，如图 F4 中的两个参数  $u_c$  和  $t_3$  就是交点  $A$  的坐标。

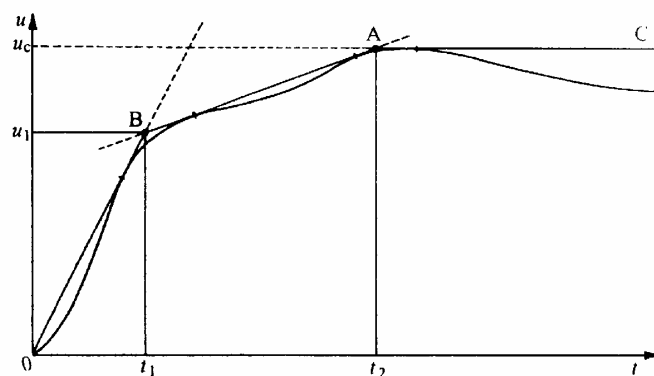


图 F1 用四参数表示的回路预期瞬态恢复电压，附录 F 的 F2.3.1 的情况

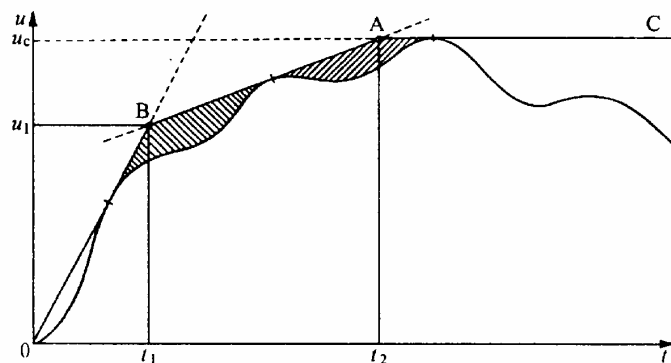


图 F2 用四参数表示的回路预期瞬态恢复电压，附录 F 的 F2.3.2 的情况

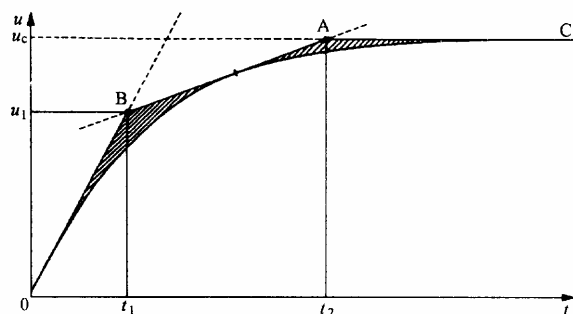


图 F3 用四参数表示的回路预期瞬态恢复电压，附录 F 的 F2.3.3(1)的情况

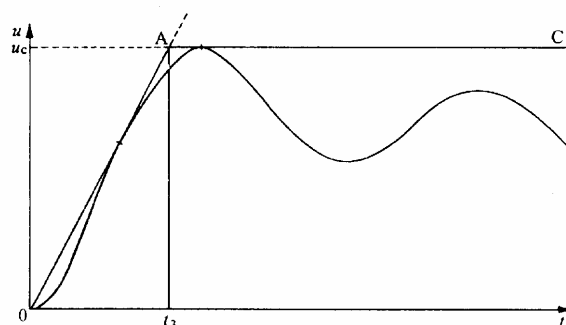


图 F4 用两参数表示的回路预期瞬态恢复电压，附录 F 的 F2.3.3(2)的情况

## 附录 G(标准的附录)

### 确定预期瞬态恢复电压波形的方法

#### G1 引言

开断短路电流产生的瞬态恢复电压(TRV)的波形取决于两个主要因素，即回路特性(电感、电容、电阻、波阻抗等)和断路器特性(电弧电压、弧后电导、并联电容和并联电阻等)。本节推荐的方法仅用于确定由回路特性产生的 TRV，即“预期 TRV”。

因为任何测量装置都会对预期 TRV 产生影响，需要采取预防措施和可能的修正。

已有很多方法用于估计短路试验站和电力系统的预期 TRV。这里列举并简述所推荐的各种方法，同时考虑了目前为额定值和试验规定的 TRV 特性。

试验站和电力系统的经验表明，短路电流开断之后，迭加在工频电压波上的不仅有单频的或多频的振荡，而且还有数值相当大和持续时间相当长的指数分量。后者的时间常数取决

于回路元件(如发电机、变压器、线路等)的特性。这些指数分量具有抑制 TRV 上升率和峰值的作用,使之低于假如只有振荡分量迭加在工频电压上时的值。这一点示于图 G1。任何测量方法都应考虑这种影响。

测量表明,由于在导体、大地和磁路内部的涡流的屏蔽作用,各种回路元件的电感都随频率变化。再加上其他降低瞬时电压的因素,为此引入了一个时间常数。从某些发电机的几百微秒变至某些变压器的几十微秒,确切的值取决于具体设备的设计和 TRV 各分量的频率,这会使 TRV 的峰值产生降落,在某些情况下可达 25%之多。

因此,无论在确定试验站还是系统的预期 TRV 时,考虑这些因素都是重要的。因而,在给出推荐方法的同时也给出了导则。

不论采用哪一种方法,试验站预期 TRV 的实测值,都应符合本标准的规定值。

当 TRV 峰值的时间坐标  $t_2$  超过例如 1250  $\mu\text{s}$  时,除了考虑上述影响之外,在任何情况下,工频电压瞬时值都要降低 6%以上(50Hz 时)。因此,当使用确定预期 TRV 的方法(其中含有工频恢复电压)时,或者使用回路常数计算时,还应考虑这种影响。

电流零点后的恢复电压工频分量瞬时值还与短路功率因数和最后半波电流直流分量的百分数有关,因而可能低于原定峰值。对于对称电流并且短路功率因数等于 0.15 或者更小时,降低量不超过 1.5%,因而在试验站回路上并不重要,对于在运行中可能出现的高功率因数,其降低量可能显著。

对于出线端故障的额定 TRV(见 4.102),引进了一个时延以计及断路器电源侧局部电容的影响。对各种有关的试验回路(见 6.104.5)已规定了相应的时延,测量 TRV 的方法应能够分辨出这些时延。

对于某些断路器也规定了在近区故障条件下的额定特性(见 4.105)和相应的 TRV。断路器和线路之间的局部电容在线路侧的 TRV 分量上也产生时延。在试验中,希望测量和记录线路侧时延,使用的方法应能求出这一数值。

## G2 推荐方法综述

确定预期 TRV 波形的基本方法分类如下:

- 第 1 组——直接短路开断;
- 第 2 组——工频电流注入;
- 第 3 组——电容电流注入;
- 第 4 组——模型网络;
- 第 5 组——根据回路参数计算;
- 第 6 组——空载时接通带有变压器的试验回路。

第 1 组~第 6 组适用于短路试验站。

第 1, 4 和 5 组推荐用于电力系统。

第 2 和 3 组可用于电力系统的某些部分。

当使用第 1, 2, 3, 4 或 6 组时,应仔细检查电压测量线路,以保证在被测量 TRV 的频率范围内,测量刻度的标定是常数,并且时间的偏转是线性的。示波器和任何分压器的刻度都应该用已知的电压标定,使用具有扫描时基的阴极射线示波器时,应准确地知道偏转/时间刻度,最好是线性的,以免为了比较等目的而另行作图。

## G3 推荐方法的细节

### G3.1 第 1 组——直接短路开断

这种方法包括在所研究的系统中开断金属短路的短路电流,并用示波器记录 TRV。在理想的情况下,被开断电流应是对称的。如果有明显的不对称,应考虑  $di/dt$  的变化。使用这种方法,主要应计及断路器的影响。在这方面最重要的特性是电弧电压和弧后电导。

由于电弧电压,在电流开断瞬间,断路器触头两端的电压可能不是零,因而 TRV 不是

从零而是从电流零点的电弧电压值开始上升。因而，TRV 从零电压轴线下开始上升，然后穿过该轴线(见图 G3)。

结果，电压峰值高于理想断路器(电弧电压为零)时的值(见图 G2)。当电流小时，有可能在显著提前的电流零点处开断(电流截断)，这将产生与上述相似的但是更明显的影响(见图 G4)。如果 TRV 包含几个振荡分量时，电流截断产生的 TRV 波形可能与由理想断路器开断产生的 TRV 波形有很大差别。

因此，电流零点前的电弧电压低，并且不会截断电流的断路器，最适于用作直接短路开断。

如果电弧电压的峰值不超过 TRV 峰值的 10%，则电弧电压的影响可以被补偿，如图 G6 所示。

原则上，电弧电压的补偿只适用于单频 TRV 的情况。对多频 TRV，如果它的主要振荡分量的幅值占优势，也可将它作为一种好的近似法用于多频瞬态过程的 TRV。

弧后电流的阻尼作用能影响 TRV 波形，降低其上升速度和峰值(见图 G5)。与断路器灭弧室并联的电阻也产生类似影响。

由此得出，用于直接短路开断法的任何断路器，其电弧电压要低，不截流，不得装设并联电阻，也不应呈现显著的弧后电导。

尤其在试验站允许适当降低励磁电压运行的情况下，可将真空断路器用作近于“理想”的断路器。但应查明，用于研究的具体回路中的任何装置都不应存在显著的截流。

用作直接短路开断的断路器，其特性常数可作适当改进，例如，调整触头分离瞬间以产生短的电弧持续时间和低的电弧电压。

用这种方法，在所研究的回路中被开断的是真实的短路电流，所记录的 TRV 将或多或少地考虑了导致恢复电压降低的各种效应。基于这一理由，直接短路开断法是获得预期 TRV 的最合适的方法(这取决于断路器的特性)，常被用作校验其他方法的基础。但是，直接短路开断法不大适用于测量时延，特别是近区故障的线路侧 TRV 的时延。

### G3.2 第 2 组——工频电流注入

由于回路带电时进行测量的方案正在发展中，工频电流注入法只用于不带电的回路，因此，这种方法主要用于试验站或用于可从系统分离出去的不带电部分，因而这种方法不考虑电晕和磁饱和现象。

这种方法的基础是把一较小的电流注入到回路中，并当电流被一理想开关装置(即电弧电压和弧后电流都可以忽略的装置)开断时记录回路的响应。

注入电流的合适的电源是用当地低压干线供电的单相变压器，其二次侧输出电压和电流范围为：从 200V 时 2A 到 25V 时 300A，这个范围可以覆盖所需测量的大多数回路的阻抗。作为使用这种方法的一个例子，图 G7 示出了原理图及元件的详细说明。图 G8 示出了操作顺序。

应当注意，要保证电源和测量装置的固有电容不影响测量结果。

应在回路的输入端测量电压响应。如果可行，回路的一端应接地。如果回路的任一端都不接地，则测量和注入装置应完全对地绝缘。利用对地绝缘并且对地电容可以忽略的辅助发电机可以达到这一点。

对这种方案最方便的开关装置是半导体二极管。通常，反向恢复时间不超过 100ns 的半导体二极管被认为是合适的。当 TRV 具有低的等效自然频率时，可允许较长的反向恢复时间。为了得到合适的载流能力，可用几个二极管并联运行。

**注：二极管的特性取决于许多因素，例如，正向电流值、反向电压值和波形以及制造厂提供的数据，后者取决于测定其特性所使用的方法。**

为了得到对称电流波，可能需要使电流通过的时间长达 20 个周波。在这一时间的大部

分，二极管被一开关旁路，此开关在这一时间的末尾打开，从而使电流通过二极管，并在紧接着的电流零点将电流切断。

注入电流和所研究回路两端的电压应使用适当速度的时基来记录，此外，应使用高速来记录电流零点时的电流和电压。应使用灵敏度合适的示波器记录 TRV，使电压峰值的偏转不小于 30mm，从 TRV 零点到峰值的时间标度不小于 30mm。

为了精确测定时延，需要将 TRV 波形起始部分的电压和时间标度放大。

电流的低速记录将表明开断时的电流是否对称，而其高速记录将给出电流开断零点前的

变化速度  $\frac{di}{dt}$ ，并将表明，是否存在显著的弧后电流导致 TRV 的阻尼，或者是否存在可能影响 TRV 幅值的明显的电流强制过零现象。

TRV 的记录将表示被研究回路的自然瞬态振荡，且包含了引起电压降落的大部分因素。

各个参数值可用回路满容量的电压标度确定。其细节见 G3.4。

### G3.3 第 3 组——电容电流注入

这种方法与第 2 组的方法相似，但是通过被研究回路的电流来自电容器的放电电流。因此，注入电流的频率取决于电容和回路电感的值。

由于放电电流的频率应等于或低于回路等效自然频率的 1/8，它表明，这种方法适用于测量含有高自然频率的回路，特别适于测量近区故障试验回路的线路侧 TRV，它们的自然频率高，时延小。

电容电流注入回路的原理图的例子及元件的详细说明示于图 G9。图 G10 表示图解的操作顺序。

注意事项和标度方法与第 2 组相同，详见 G3.4。

### G3.4 第 2 和第 3 组——标度方法

由注入电流零点前的变化率  $di/dt$  的实测值，计算注入电流的等效有效值

$$I_i = \frac{\frac{di_i}{dt}}{2\pi f_i \sqrt{2}}$$

式中  $f_i$  是注入电流的频率。

在计算中假定：

$$i_i = I_i \sqrt{2} \sin 2\pi f_i t \approx I_i \sqrt{2} \times 2\pi f_i t$$

当  $t_2 < 1250 \mu s$  时这一假定大致正确。

根据上述近似，可得出下列规则：

引入电流的频率应等于或低于被测回路等效自然频率的 1/8。当预期 TRV 的时间坐标  $t_2$  大于  $1250 \mu s$  时，注入电流的频率应等于额定工频频率。

如果回路的最大短路电流有效值是  $I_{sc}A$ ，则对应于  $I_{sc}$  的 TRV 电压标度  $U_{sc}/mm$  应是：

$$U_{sc} / mm = U_i / mm \times \frac{I_{sc}}{I_i} \times \frac{f_{sc}}{f_i}$$

式中  $f_{sc}$  是短路电流的频率。

根据上述关于  $t_2$  较长时的预期 TRV 的规定，当注入电流曲线偏离正弦对称波形过大而不可忽略时，应使用下述基本公式：

$$U_{sc} / \text{mm} = U_i / \text{mm} \times \frac{\frac{di_{sc}}{dt} i_{sc} \rightarrow 0}{\frac{di_i}{dt} i_i \rightarrow 0}$$

其中 $(di_{sc}/dt)i_{sc} \rightarrow 0$ 是在电流零点时的工频短路电流的变化率，短路电流的函数是：

$$i_{sc} = I_{sc} \sqrt{2} \sin 2\pi f_{sc} t \approx I_{sc} \sqrt{2} \times 2\pi f_{sc} t$$

这个公式特别适用于电流呈轻微阻尼振荡形式的电容电流注入法。

采用下面的方法适合于确定近区故障试验的标度：

从高速示波图中测量出：

$du_i/dt$ =在注入电流零点时 TRV 的上升率(RRRV)；

$u_i$ =注入电流零点后的第一个电压峰值；

$di_i/dt$ =注入电流零点时的变化率。

由此可计算出波阻抗 Z 的值：

$$Z = \frac{du_i / dt}{di_i / dt}$$

#### G3.5 第 4 组——模型网络

在这种方法中，由许多元件组成模型网络，这些元件应能真实地代表实际回路的元件。通常需要使用具有集中参数的元件模拟实际回路的具有分布参数的元件。此外，重要的是，在频率高到至少相当于与被考虑的 TRV 相当的频率下，网络模型的阻抗(特别是电抗和电阻)特性应当尽可能真实地模拟实际回路元件的阻抗特性。

这种方法的精确度取决于我们掌握的被模拟回路的确切数据，这些数据常常难以得到，也难以用小的模型元件来模拟。

这种方法特别适用于随频率变化的那些参数，因此，这种方法一般不直接考虑 TRV 的测量值比实际值降低了多少(与在实际系统上直接短路时得到的值相比)，而是使这种方法给出稍高的值。

这种方法主要用于研究电力系统，因为它不必使电力系统退出运行。只要认识到其局限性，这种方法将给出有用的指导。

#### G3.6 第 5 组——根据回路参数计算

如第 4 组那样，当回路元件的参数已知时，便可方便地计算出 TRV 的波形，特别是当回路不太复杂的时候。

通常，这种方法不考虑电压降落的效应，不过在回路的有关参数已知时，可作些修正；同样，对于  $t_2$  超过 1250  $\mu s$  的 TRV，可以考虑工频分量的降低。

除非在使用第 1, 2, 3 或 6 组的方法时，用试验得到的实际 TRV 来校验结果方面已经取得经验，否则，这种方法有第 4 组的局限性，还有计算中的固有误差。

#### G3.7 第 6 组——空载时接通带有变压器的试验回路

这种方法包括接通处在开路状态的试验变压器和用示波图记录变压器二次侧的开路间隙上的瞬态电压特性。

这种方法对由发电机提供短路电流的试验站非常有用。但是，接通用的断路器应无并联电阻，不得有明显的预击穿，并且应紧靠被试的断路器。这种方法只限于用在产生单频 TRV 的回路上，且不能再现与杂散电流有关的指数分量。

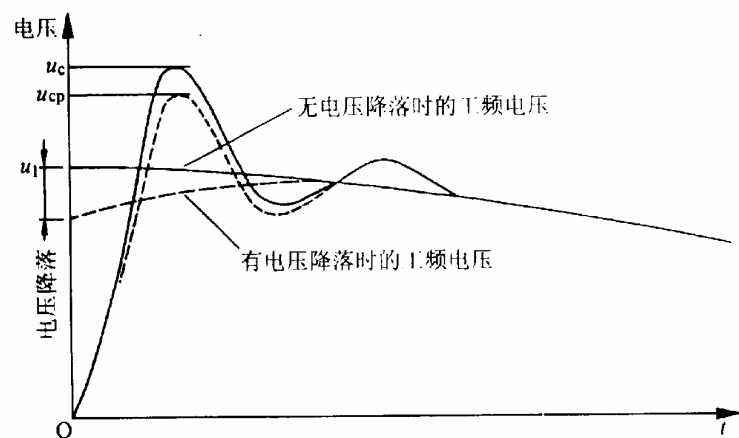
#### G4 各种方法的比较

各种方法的特点和优缺点列于表 G1。

表 G1 确定预期 TRV 的各种方法

| 方 法                                     | 理论上的限制                                                                | 实际上的限制                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1—用理想断路器在实际线路上试验(全电压, 全电流)            | 无。所有现象都能得到正确的反映                                                       | 不存在可以在整个范围内满足各种要求的理想断路器                                                                                                                                                                       |
| 1.2—在全电压、有限电流扰动下的工频试验(理想断路器试验或“合闸”试验均可) | 不考虑试验回路中可能存在的非线性关系。非线性关系是指在某一特定频率下电流和电压之间不存在线性关系(不要和与时间有关的回路元件的影响相混淆) | 不存在可以在整个范围内满足各种要求的理想断路器。把 TRV 分离出来需要熟练的测量技术, 否则, 在有大的工频电压分量的情况下, 难以解释所得结果。对关合试验, 最合适的限流装置是纯电感; 否则, 现有的试验回路的元件(如电阻或电容)也可以使用。这些元件可能既贵又笨                                                         |
| 1.3—在降低电压下的实际试验回路上用理想断路器做工频试验(即低励磁试验)   | 不考虑试验回路中可能存在的非线性关系。非线性关系是指在某一特定频率下电流和电压之间不存在线性关系(不要和与时间有关的回路元件的影响相混淆) | 在尚无满足全部范围的理想断路器时, 所用理想断路器的选择受到限制<br>当回路使用一台以上的发电机时, 同步难以达到<br>为了避免波形畸变, 励磁电压应足够高, 一般不能用于网络试验站                                                                                                 |
| 1.4—用普通断路器在实际试验回路上试验(全电压, 全电流)          | 难以从试验时所记录的 TRV 特性中剔除断路器的影响                                            | 要选择一种断路器, 它的电弧电压较低, 使在电流零点产生的电流畸变可以忽略, 它的弧后电流小到可以忽略并且没有并联阻抗<br>如果上述条件达不到, 可能产生误差, 并且由于使用了具有不同特性的断路器, 各试验站之间有可能缺乏一致性                                                                           |
| 2—在“不带电”回路上使用工频电流注入的理想断路器试验             | 不考虑试验回路中可能存在的非线性关系。非线性关系是指在某一特定频率下电流和电压不存在线性关系(不要和与时间有关的回路元件的影响相混淆)   | 在网络试验站中, 只适用于“不带电”的回路元件(如近区故障回路元件), 或者网络阻抗与回路阻抗的其余部分相比可以忽略的情况<br>电机必须静止, 以避免残余电压<br>如果直轴与交轴电抗间有显著的差别, 则转子的位置可能很重要<br>用以代替理想断路器, 并能承受所需的注入工频电流的开关二极管, 其反向恢复时间可能影响含有高频分量的 TRV, 如在近区故障试验回路中的情况那样 |

|                                           |                                                                                                               |                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           |                                                                                                               | <p>当因试验回路电抗很小，因而实测电压较低时(如近区故障情况下)，外部电源在“不带电”试验回路中感应产生的干扰可能影响 TRV</p>                                                                                   |
| <p>3—在“不带电”的回路中，使用频率高于工频的电流注入的理想断路器试验</p> | <p>不考虑回路中可能存在的非线性<br/>不直接给出工频阻抗。在注入频率高于工频而远低于 TRV 频率的条件下，也只能给出单频和多频回路的 TRV 从零到第一个最大值部分的正确波形和数值。不能正确估算幅值系数</p> | <p>在网络试验站中，只适用于“不带电”的回路元件(如近区故障回路元件)，或者网络阻抗与回路阻抗的其余部分相比可以忽略的情况。</p> <p>发电机必须静止，以避免残余电压。</p> <p>如果直轴与交轴电抗间有显著的差别，则转子的位置可能很重要表 G1(续完) 方法理论上的限制实际上的限制</p> |
| <p>4—模型网络试验(瞬态网络分析仪)</p>                  | <p>有关网络的非线性和与频率有关的特性的精确资料并非经常能得到。需要对回路元件及其杂散参数有确切的了解</p>                                                      | <p>在瞬态网络分析仪的元件中，要充分再现试验回路元件的特性(包括非线性和与时间有关的特性)</p>                                                                                                     |
| <p>5—根据回路参数计算</p>                         | <p>有关网络的非线性和与频率有关的特性的精确资料并非经常能得到。需要对回路元件及其杂散参数有确切的了解</p>                                                      | <p>当网络阻抗与试验站阻抗相比不可忽略时，需要对有关的瞬态网络条件有完整的了解</p> <p>需要精确地或适当地再现回路元件，包括其非线性和与时间有关的特性，特别是寄生参数</p>                                                            |
| <p>6—空载时接通试验变压器</p>                       | <p>除非在或接近于电压波峰值处使变压器带电，否则需要对工频电压波前进行校正</p>                                                                    | <p>需要实际的短路试验回路。只适用于单频回路</p>                                                                                                                            |



$u_c$ —规定的瞬态恢复电压峰值； $u_{cp}$ —有电压降落时测出的瞬态恢复电压；

$u_1$ —无电压降落时的工频电压峰值

图 G1 电压降落对瞬态恢复电压峰值的影响

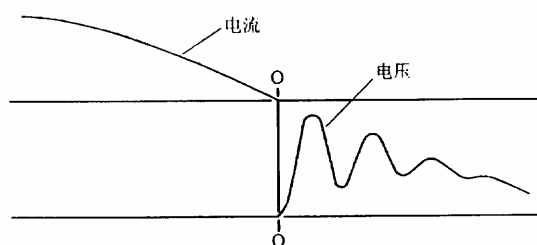


图 G2 理想开断情况中的瞬态恢复电压

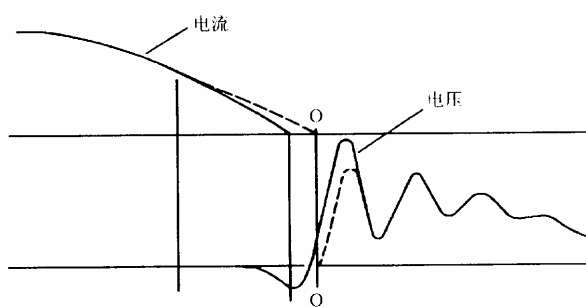


图 G3 有电弧电压的开断

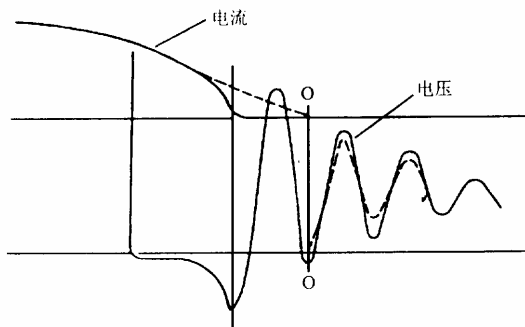


图 G4 电流零点显著提前的开断

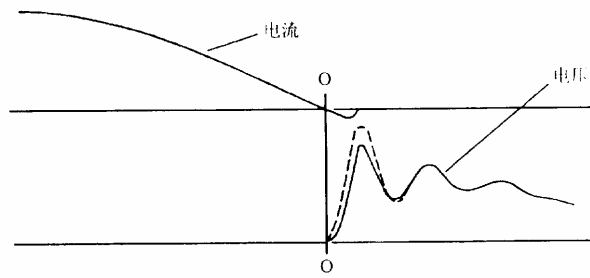
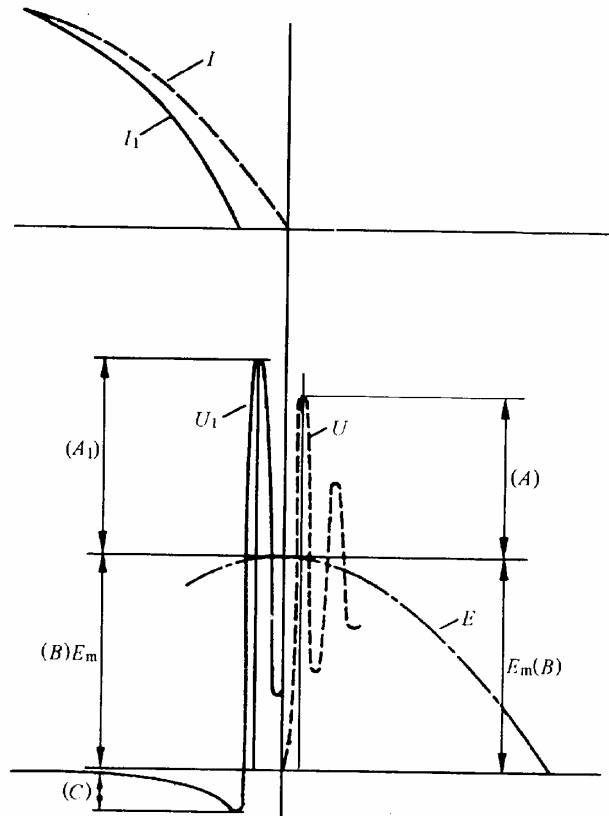


图 G5 有弧后电流的开断

图 G3~图 G5 中，分别表示电弧、提前电流零点及弧后电导对瞬态恢复电压的影响，其中的虚线代表理想开断后的特性。

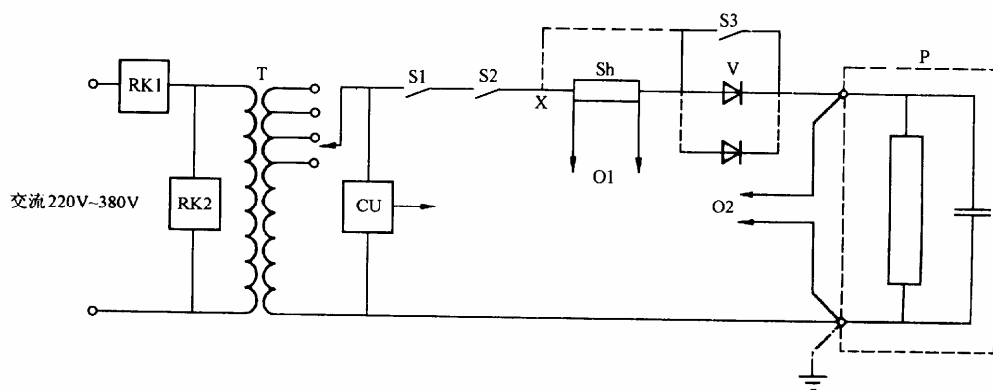


$I_1$ ,  $U_1$ —分别为试验中出现的电流和电压； $I$ ,  $U$ —分别为系统的预期电流和电压；

$$A + B = A_1 \frac{B}{B + C} + B$$

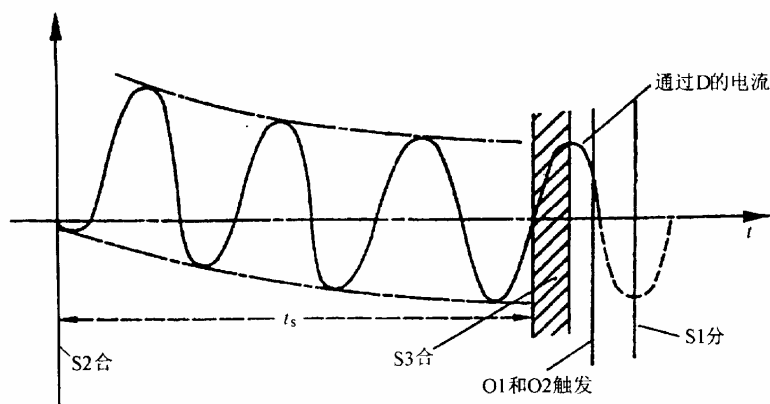
$E$ —工频恢复电压； $A$ —瞬态恢复电压峰值

图 G6 试验中出现的和系统预期的电流值之间与瞬态恢复电压的关系



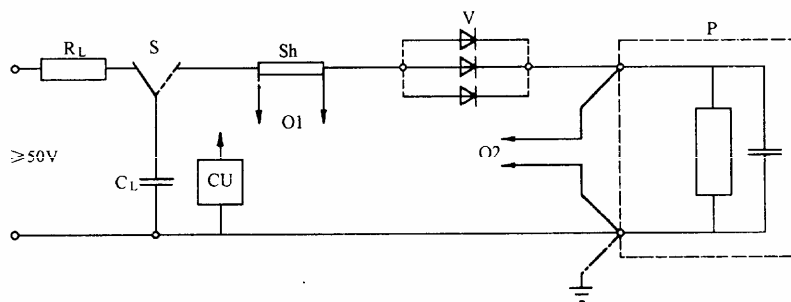
RK1，RK2—必要时用以抑制谐波的串联和并联谐振回路；T—变压器，用以将注入回路与电源隔离，并提供一可调的输出电压；S1—保护开关；S2—关合开关；S3—二极管旁路开关；X—开关 S3 的可替代的连接方式，这样允许使用一个较低时间—电流额定值的分流器；V—并联数可达 5 个的快速晶闸管开关二极管；Sh—电流测量分流器；O1—阴极射线示波器，射线 1 用于记录电流的量值和线性，以检查二极管的工作情况；O2—阴极射线示波器，射线 2 用于记录回路的响应；P—待测的预期瞬态恢复电压回路；CU—控制单元，用以提供图 G8 规定的操作顺序

图 G7 工频电流注入装置的原理线路图(注入电流也可在地电位处测量)



静止状态—S1 和 S3 合，S2 分； $t_s$ —开关 S3 操作前电流流通期的持续时间

图 G8 工频电流注入装置的操作顺序(在注入电流的 10~20 周波之间，如果电流有直流分量，则其直流分量值应衰减到交流分量的 20%以下)



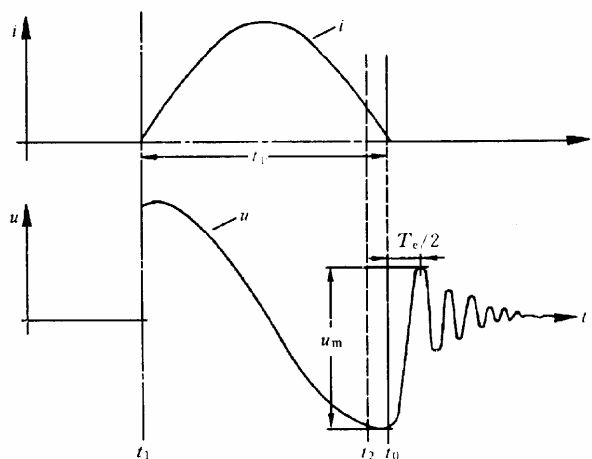
$R_L$ —充电电阻； $S$ —切换用继电器； $C_L$ —电源电容(当已充电的电容  $C_L$  通过继电器

$S$  接到回路  $P$  时，即有频率为  $f_1$  的振荡电流流通， $C_L$  的值应调整到使得：①  $f_1 \leq \frac{f_c}{8}$ ，

式中  $f_c$  为回路  $P$  的自然频率， $f_{e=} = \frac{1}{2I_e/2}$ ；②  $f_1$  值应能使电流过零瞬间之前叠加的电流振荡已经消失)； $Sh$ —电流测量分流器； $O1$ —阴极射线示波器，射线 1 用于记录电流的量和线性，以检查二极管的工作情况； $O2$ —阴极射线示波器，射线 2 用于记录回路的响应； $V$ —并联数可达 100 的快速晶闸管开关二极管； $P$ —待测的预期瞬态恢复电压回路；

$CU$ —控制单元，用以提供图 G10 规定的操作顺序

图 G9 电容注入装置的原理线路图(注入电流也可在地电位处测量)



$t_1$ — $S$  的开合操作； $t_2$ —阴极射线示波器的触发； $u$ —回路  $P$  的端子间的电压曲线； $i$ —注入电流的波形； $u_m$ —作用于二极管上的最大电压； $t_0$ —电流通过零点的时间

(瞬态恢复电压振荡的开始)； $t_1$ —电流通过二极管  $V$  的持续时间， $f_1 = \frac{1}{2t_1}$ ；

$T_c/2$ —瞬态恢复电压的半周波持续时间

图 G10 电容注入装置的操作顺序

## 投运试验项目示例

### H1 安装后的检查

#### H1.1 一般检查

- a)按制造厂图纸和说明书进行的装配检查;
- b)断路器及其控制装置的密封度检查;
- c)所有管件及连接件;
- d)端子板连接紧固性;
- e)油漆着色及防锈蚀;
- f)清洁度。

#### H1.2 电路的检查

- a)符合布线图;
- b)信号装置(位置、报警装置、闭锁等等);
- c)加热和照明装置。

#### H1.3 绝缘和/或灭弧流体的检查

- a)油型号, 介电强度, 油面高度;
- b)SF<sub>6</sub>, 品质和含水量, 充入压力或密度(密封式电器除外);
- c)压缩空气, 品质(如有要求)和压力。

### H2 机械试验和测量

#### H2.1 操作流体压力特性的测量(如有要求)

##### H2.1.1 通则

应作下述测量(需要时可列成表格), 以便将它们与出厂试验时记录的制造厂保证的数据相对照。这些数据可作为日后检查(维修)的参考数据, 并使操作特性的任何变动能够被检查出来。

测量包括了闭锁装置或报警装置(压力开关、继电器等等)的操作检查。

##### H2.1.2 测量项目

- a)泵路装置(泵、压缩机、控制阀等)处于工作状态下, 在压力升高的过程中:
  - a)分闸闭锁的复位;
  - b)合闸闭锁的复位;
  - c)自动重合闸闭锁的复位(如有的话);
  - d)低压力报警的消失;
  - e)泵路装置的切断;
  - f)安全阀的打开(如有的话)。

注: 测量可与操动机构的储能时间测量装置结合进行(见 H2.4.2)。

- b)泵路装置不工作时在压力的降低过程中:
  - a)安全阀的关闭(如有的话);
  - b)泵路装置的启动;

- c)低压力报警的出现;
- d)自动重合闸的闭锁(如有的话);
- e)合闸的闭锁;
- f)分闸的闭锁。

在液压控制情况下,贮压筒补压前的压力应在进行试验前与周围空气温度一起测量。

## H2.2 操作压力消耗的测量(如有要求)

在泵路装置投入压力的情况下,对于被切除的泵路装置和独立贮压的容器,应测量下列每一操作或操作顺序之后的压力消耗:

- a)三极 O;
- b)三极 C;
- c)三极 O—0.3s—CO(如有需要)。

应当记录每一操作或操作顺序之后的静态压力。

## H2.3 额定操作顺序的核实

断路器进行规定的额定操作顺序的能力应当加以核实。试验应当在储能装置工作的情况下,在现场电源电压,以及如有必要,其操作起始压力为泵路装置的投入压力时进行,如同 H2.2 所述。

## H2.4 时间参量的测量

### H2.4.1 断路器的时间参量

#### H2.4.1.1 合闸和分闸时间、不同期性

下列测量应在最大压力(泵路装置关闭)和现场电源电压下进行:

a)每极合闸时间、各极的合闸不同期性,如有可能,还有每极各开断单元或单元组的合闸不同期性;

b)每极分闸时间、各极的分闸不同期性,如有可能,还有每极各开断单元或单元组的分闸不同期性。

有多个脱扣线圈时,应试验和记录每一线圈的动作时间。

如有三极控制继电器的话,则其通电瞬间也应记录下来,以便计算三极操作的全部时间(中继时间加上合闸或分闸时间)。

当断路器装有并联电阻的接通和分断单元时,电阻投入时间也应记录。

#### H2.4.1.2 控制触头和辅助触头的操作

在断路器的合闸和分闸操作时,应确定每一类(关合和开断)控制触头和辅助触头的操作相对于主触头操作的时序。

## H2.4.2 操动机构的储能时间

### H2.4.2.1 液压操动机构

应测量泵路装置(泵、压缩机、控制阀等等)的工作时间:

(1)在最低与最高压力之间(相当于泵路装置投入和切断);

(2)在下列操作或操作顺序时,开始每次都在最低压力下(泵路装置投入):

- a)三极 C;
- b)三极 O;

c)三极 O—0.3s—CO(如有需要)。

#### H2.4.2.2 弹簧操动机构

应在现场电源电压下，测量一次合闸操作后电动机的再储能时间。

### H2.5 某些特殊操作的检查

#### H2.5.1 闭锁压力下的自动重合闸(如有要求)

在泵路装置退出工作时，控制压力应降低到自动重合闸的闭锁值，进行一次自动重合闸操作 (在现场条件下，可能需要使用单独的定时装置来启动再次投入)。试验应在现场电源电压下进行。终压力应予记录，并保证离分闸闭锁压力仍有足够的安全裕度，以防止压力开关触点偏差和出现压力瞬变过程。

如有怀疑时，作为上述方法的替代，可在比自动重合闸闭锁压力更低的压力下开始进行试验 (短接闭锁触点)。随后应证实仍能进行一次分闸操作。

#### H2.5.2 闭锁压力下的合闸(如有需要)

在泵路装置退出工作的情况下，控制压力应一直降低到合闸闭锁值，进行一次合闸操作。试验应在现场电源电压下进行。终压力应予记录，并保证离分闸闭锁压力仍有足够的安全裕度。

如有怀疑时，作为上述方法的替代，可在比合闸闭锁压力更低的压力下开始进行试验(短接闭锁触点)。随后应证实仍能进行一次分闸操作。

#### H2.5.3 闭锁压力下的分闸(如有需要)

在泵路装置退出工作的情况下，控制压力应一直降低到分闸闭锁值，进行一次分闸操作。试验应在现场电源电压下进行。终压力应予记录。

#### H2.5.4 事故关合操作的模拟和防跳跃装置的检查

在“CO”循环中，由辅助触点闭合使脱扣回路带电，测量断路器停留在合闸位置的时间。

试验也能检查防跳跃装置的工作，以及检查不会出现因分闸指令突然送入时，由任何机械上、液动上或气动上原因而导致失灵的情况。

合闸指令应维持 1~2s，以检查防跳跃装置的有效工作。

**注：简化的防跳跃试验，也可用就地控制来完成。此时合闸指令送入并保持一个持续的分闸指令。**

#### H2.5.5 在已加有分闸指令的情况下断路器在合闸指令下的状态

当先前的分闸指令送入并保持时，应证实断路器在有合闸指令的情况下能够满足技术要求。

#### H2.5.6 分闸指令同时加到两个脱扣器上(如有需要)

两个脱扣器(正常的和紧急的)同时(或实际上同时)通电是可能发生的。

应保证操作不受任何机械、液动或气动干扰的影响，特别是如果两个脱扣器的动作值不同时。

#### H2.5.7 防止极的不一致动作(如有需要的话)

防止极的不一致动作应利用下面两试验之一加以检查：

a)断路器处于分闸，在一个极的合闸脱扣器上通电，进行检查，应观察到该极先合闸，

然后分闸；

b)断路器处于合闸，在一个极的分闸脱扣器上通电，进行检查，应观察到其他两极分闸。

### H3 电气试验和测量

#### H3.1 绝缘试验

辅助回路的绝缘试验通常在降低电压下进行，施加 1s 时间，以避免解开电路中的元件。

在现场主回路应进行绝缘状态检验，按 DL/T 593—1996 中 6.1.11 进行<sup>1]</sup>。

采用说明：

1] 按我国要求提出。

#### H3.2 主回路电阻的测量

只有在现场装配开断单元时，才需测量主回路电阻。测量应使用直流，并应符合 DL/T 593—1996 中 6.4 的规定。

附录 J(提示的附录)<sup>1]</sup>

关于第二和第三开断极 RRRV 的乘积因子

采用说明：

1] 根据 IEC56 第 3 号修订件提出。

对 72.5kV 及以下的乘积因子正在考虑中。表 5 所约定的条件如下：

a)只考虑了三相接地故障；

b)其 RRRV(在额定短路开断电流下)主要来自架空线路，它等于电流过零时的  $\frac{di}{dt}$  与等值波阻抗的乘积；

c)线路的阻抗是由断路器端子上看进去的  $Z_0$  及  $Z_1$  计算得出，并选定  $Z_0/Z_1 \approx 2$ ；

d)TRV 的峰值  $u_c$  与开断瞬间工频恢复电压的瞬时值成比例。

详见图 J1 和图 J2。

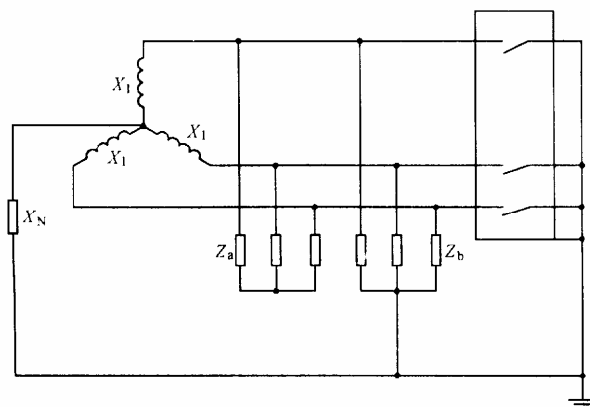


图 J1 三相线路图 [ $X_N = \infty$ (首开极因数为 1.5 时);  
 $X_N = 0.75X_1$ (首开极因数为 1.3 时); 其中  $Z_0/Z_1 = 2$ ;  $Z_a = Z_b = 2Z_1$ ]

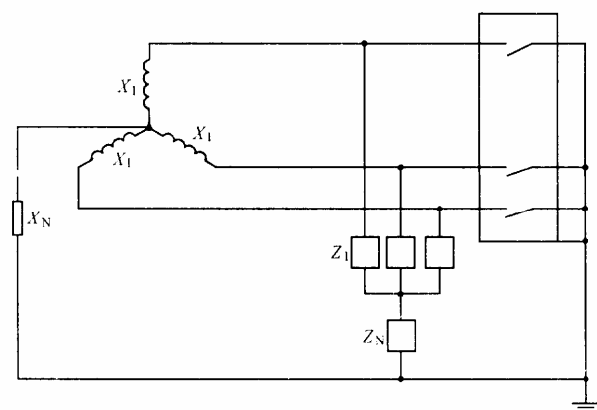


图 J2 图 J1 的代用方案(其中  $Z_0/Z_1=2$ ,  $Z_N = \frac{1}{3}Z_1$ )

附录 K(提示的附录)<sup>[1]</sup>

#### 增设 E2 级断路器的说明

采用说明:

1] 根据 IEC56 第 3 号修订件和我国实际情况提出。

K1 E2 级断路器的概念只用于配电电压等级, 即 40.5kV 及以下。

K2 目前, 大多数配电用断路器的灭弧室都是密闭型或闭合式, 有些只能加气, 有一些灭弧室内部根本不能打开。过去的配电型断路器并不要求它是“少维护型”, 但用户一方非常需要这种“少维护”品种, 因此, 增设 E2 级。

K3 有两种选择: 其一, 维护型, 用一段时间后就修; 其二, 少维护型, 即 E2 类, 用更严的试验要求去考验它的开断能力。

K4 断路器要求从试验方式 1 试到试验方式 5, 再增加额定短路开断电流的电寿命试验。按此法对 SF<sub>6</sub> 和真空断路器进行试验已有好多年了。

对这类断路器的试验不要求调整它的燃弧时间。

K5 附加的电寿命试验是根据经验统计确定的。

K6 要小心对待不同的试验程序, 开断中的老化进程各不一样, 与试验程序有关。

K7 电力运行部门认为, E1 级、E2 级断路器(例如: 真空类, SF<sub>6</sub> 类)均应进行电寿命试验。