

前 言

本标准是根据国际电工委员会 IEC 420:1990 出版物《高压交流负荷开关—熔断器组合电器》制定的,在技术内容上与该国际标准等效。

这样,使本标准的技术内容和编写规则尽可能与相应的国际标准一致,以尽快适应国际贸易、技术和经济交流以及促进该类产品的发展。

依据国际标准 IEC 420 进行本标准制定时,为适合我国的国情,在某些内容上与国际标准稍有差异,例如电压等级、环境条件等,但这不妨碍从整体和实质上等效采用国际标准。

本标准规定了额定电压(即最高电压)3.6~40.5 kV,频率 50 Hz 的交流三极负荷开关—熔断器组合电器及其操动机构和辅助设备的以下内容:

- 范围;
- 引用标准;
- 正常使用条件;
- 定义;
- 额定值;
- 设计与结构;
- 型式试验;
- 出厂试验;
- 随询问书、标书和订单一起提供的资料;
- 运输、贮存、安装和维护规则;
- 附录 A:选用负荷开关—熔断器组合电器的使用导则;
- 附录 B:熔断器、负荷开关和变压器配合的例子;
- 附录 C:决定转移电流和与试验方式 4 有关的(试验)参数的方法的论证。

本标准的附录 A 是标准的附录。

本标准的附录 B、附录 C 是提示的附录。

本标准由中华人民共和国机械工业部提出。

本标准由全国高压开关设备标准化委员会归口。

本标准起草单位:西安高压电器研究所。

本标准主要起草人:韩骁勇、龙复为、田恩文、沙维华、侯仲吉、刘青春、张重乐。

IEC 前言

1. IEC 有关技术问题的正式决议或协议,是由技术委员会代表了对这些问题特别关切的所有委员会提出的,它们尽可能地表达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,并就此被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的范围内,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。

本标准是由 IECTC17“开关设备和控制设备技术委员会”下设的 SC17A“高压开关设备和控制设备分技术委员会”起草的。

IEC 出版物 420 第二版代替了 1973 年的第一版以及第一号修案(1973),第二号修订(1977)和第三号修订案(1978)。

本标准基于下列文件:

六个月法	投票报告
17A(CO)209	17A(CO)212

表决赞成本标准的全部资料可在上表指出的投票报告中找到。

中华人民共和国国家标准

交流高压负荷开关—熔断器组合电器

GB 16926—1997
eqv IEC 420:1990

High-voltage alternating current
switch-fuse combinations

1 范围^{1]}

本标准适用于额定电压(即最高电压)3.6~40.5 kV,频率 50 Hz 配电系统中所用的三极交流高压负荷开关—熔断器组合电器(以下简称组合电器)。

组合电器的主要元件是交流高压负荷开关(包括隔离负荷开关)和限流熔断器,各元件在各相关方面应符合各自标准的规定。装入熔断器是为了扩大组合电器的短路额定值,并使其超过单独用负荷开关时的短路额定值。安装撞击器,既为了依靠熔断器的动作使负荷开关的三极自动分开,又可在故障电流小于熔断器最小开断电流时正确操作。除熔断器的撞击器外,组合电器还可安装过流脱扣器或者并联脱扣器。

组合电器能够开断:

- a) 直到负荷开关额定开断电流的任何负载电流;
- b) 通过过流起动自动开断直到组合电器额定短路开断电流的任何电流。

本标准不适用于熔断器—断路器、熔断器—接触器,电动机回路中的组合电器或包含开合单个电容器组的负荷开关的组合电器。

注^{2]}

- 1 除了通过熔断器和其撞击器操作外,自动开断还可通过过流脱扣器或自身保护装置来完成。
- 2 考虑到熔断器的限流作用,除短时电流和短路关合要求外,负荷开关应符合 GB 3804—90。
- 3 如果组合电器中带有接地开关,接地开关应符合 GB 1985—89。
- 4 本标准亦适用于环网单元中的负荷开关—熔断器组合电器。

2 引用标准^{3]}

下列标准包含的条文,通过在本标准中引用而构成为标准的条文。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。

GB 156—93 标准电压

GB 311.1—1997 高压输变电设备的绝缘配合

GB/T 16927.1 高压试验技术 第1部分:一般试验要求

GB 762—83 电气设备额定电流

采用说明:

- 1] IEC 420:1990 的 1.1,额定电压范围及频率分别为 1 kV 以上 52 kV 以下和 50 Hz 或 60 Hz。本标准根据我国电力系统情况分别改为 3.6~40.5 kV 和 50 Hz。
- 2] 本标准将四个“注”集中放在该章的最后,编排上与 IEC 420 有异。
- 3] IEC 420:1990 中 1.2。本标准列出的引用标准大部分已采用了 IEC 标准,但采用程度有异。

- GB 763—90 交流高压电器在长期工作时的发热
 GB 1094.1~1094.5—85 电力变压器
 GB 1984—89 交流高压断路器
 GB 1985—89 交流高压隔离开关和接地开关
 GB 2900.1—92 电工术语 基本术语
 GB/T 2900.19—94 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合
 GB/T 2900.20—94 电工术语 高压开关设备
 GB 3309—89 高压开关设备常温下的机械试验
 GB 3804—90 3~63 kV 交流高压负荷开关
 GB 3906—91 3~35 kV 交流金属封闭开关设备
 GB 5273—85 变压器、高压电器和套管的接线端子
 GB 7354—87 局部放电测量
 GB 11022—89 高压开关设备通用技术条件
 GB/T 15166.1—94 交流高压熔断器 术语
 GB 15166.2—94 交流高压熔断器 限流式熔断器
 GB/T 15166.4—94 交流高压熔断器 通用试验方法

3 正常使用条件^{1]}

按 GB 11022—89 中第 3 章规定。

4 定义^{2]}

本标准所采用的定义除按有关标准规定外,根据组合电器的特点,定义下列术语。

4.1 器件 device

4.1.1 负荷开关—熔断器组合电器 switch-fuse combinations

一种组合电器,它包括一组三极负荷开关及三个带撞击器的熔断器,任何一个撞击器动作,应使负荷开关三极全部自动分闸。

4.1.2 带熔断器的负荷开关 switch-fuse

一种负荷开关,其中一极或多极分别与熔断器串联于一个复合单元内。

4.1.3 熔断器式负荷开关 fuse-switch

一种负荷开关,其动触头由一个熔断器或者带熔丝的载熔体构成。

4.1.4 脱扣器操作的组合电器 release-operated combination

一种组合电器,它的负荷开关的自动分闸由过流脱扣器或并联脱扣器触发。

注:脱扣器可以被过流继电器或接地故障继电器来操作。

4.2 特性参量 characteristic quantities

4.2.1 预期电流(回路的和对置于其中的组合电器而言的) prospective-current

如果组合电器中每极用阻抗可以忽略不计的导体代替,回路中流过的电流。

4.2.2 最大预期峰值电流(交流回路的) maximum prospective peak current

电流的起始是在导致最大可能值瞬间的预期峰值电流。

采用说明:

1] 即 IEC 420:1990 的第 2 章按 IEC 694 的规定,IEC 694 规定户内温度下限为-5℃、-25℃;户外温度下限为-25℃、-40℃;海拔为 1 000 m。GB 11022—89 中规定户内温度下限为-10℃、-25℃;户外温度下限为-30℃、-40℃;海拔高度为 1 000、2 000、3 000 m。

2] 即 IEC 420:1990 的第 3 章,其中在有关国标已有规定的,本标准不再列出。

注：对于多相回路中的多极装置，最大预期峰值电流是仅指单相而言。

4.2.3 预期开断电流(对负荷开关或熔断器的) prospective breaking current

对应于开断过程起始瞬间的预期电流。

注：对于机械的开关装置或熔断器，开断过程起始瞬间通常定义为开断过程中电弧的起始瞬间。

4.2.4 开断电流 breaking current

开断过程中，电弧起始瞬间流过负荷开关或熔断器的电流。

4.2.5 最小开断电流 minimum breaking current

在规定的使用和性能条件以及规定的电压下，熔断器能开断的预期电流的最小值。

4.2.6 短路关合能力 short-circuit making capacity

在规定的条件(包含开关装置端子短路)下的关合能力。

4.2.7 转移电流(撞击器操作的组合电器的) transfer current

在熔断器与负荷开关转换开断职能时的三相对称电流值。当低于该值时，首开极电流由熔断器开断，而后两相电流就由负荷开关开断；大于该值时，三相电流仅由熔断器开断。

4.2.8 交接电流(脱扣器操作的组合电器的) take-over current

两种过电流保护装置(负荷开关的和熔断器的)的时间-电流特性交点所对应的电流值。

4.2.9 最小交接电流(脱扣器操作的组合电器的) minimum take-over current

该电流值由相应于以下条件的熔断器和负荷开关的时间-电流特性的交点而确定：

- a) 最大开断时间，如果适用，再加上外部过流继电器或者接地故障继电器的最大动作时间；
- b) 熔断器的最小弧前时间。

4.2.10 最大交接电流(脱扣器操作的组合电器的) maximum take-over current

该电流值由相应于以下条件的熔断器和负荷开关的时间-电流特性的交点而确定：

- a) 负荷开关由脱扣器起动的最小分闸时间，如果适用。再加上 0.02 s 以代表外部过流继电器或接地故障继电器的最小动作时间；
- b) 具有最大额定电流值的熔断器的最大动作时间。

4.2.11 最大允许功率耗散 maximum acceptable power dissipation

组合电器安装最大功率耗散的熔断器时，由温升试验决定的组合电器耗散的功率。

4.2.12 熔断器限制的短路电流 fused short-circuit current

当限流装置是熔断器时的被限制的短路电流。

4.2.13 外施电压 applied voltage

在组合电器中负荷开关刚关合电流之前，加在负荷开关一极端子间的电压。

4.2.14 恢复电压 recovery voltage

电流被开断后，出现于组合电器中负荷开关或熔断器一极端子间的电压。

4.2.15 瞬态恢复电压(TRV) transient recovery voltage

在电压恢复过程中，具有显著瞬态特性的恢复电压。

注

- 1 瞬态恢复电压可以是振荡的或非振荡的或两者的组合，取决于回路和组合电器中负荷开关或熔断器的特性。它包含多相回路中性点电压的偏移。
- 2 在三相回路中，若无另外的规定，瞬态恢复电压是指首开极上的电压，因为它高于其他两极中的任何一极上的电压。

4.2.16 工频恢复电压 power frequency recovery voltage

瞬态电压现象消失后的恢复电压。

4.2.17 预期瞬态恢复电压(回路的) prospective transient recovery voltage

由理想开关设备开断预期对称电流后所出现的瞬态恢复电压。

注：为获取预期瞬态恢复电压，代替负荷开关或熔断器的理想开关设备被定义为：在电流自然零点瞬间，其弧隙阻

抗由零突变至无穷大。对于多相回路,由理想开关设备进行的电流开断仅发生在所考虑的一极。

4.2.18 熔断器触发的分闸时间(负荷开关的) fuse-initiated opening time

从熔断器起弧瞬间到负荷开关所有极弧触头都分开瞬间的时间间隔。

4.2.19 脱扣器触发的分闸时间(负荷开关的) release-initiated opening time

脱扣器触发的分闸时间按下述脱扣方法来定义,这时构成负荷开关一体的任何延时装置调整到规定的整定值。

a) 对由任何形式辅助电源提供脱扣功率的负荷开关,脱扣器触发的分闸时间是从处于合闸位置的负荷开关的分闸脱扣器通电瞬间起到所有极弧触头都分离为止的时间间隔。

b) 对由主回路中电流而不是借助任何形式辅助电源进行脱扣(由撞击器触发的除外)的负荷开关,脱扣器触发的分闸时间是从处于合闸位置的负荷开关的主回路电流达到过流脱扣器动作值的瞬间起到所有极弧触头都分离为止的时间间隔。

4.2.20 脱扣器触发的最小分闸时间(负荷开关的) minimum release-initiated opening time

与负荷开关构成一体的任何延时装置的整定值是其规定值的最小值时的脱扣器触发的分闸时间。

4.2.21 脱扣器触发的最大分闸时间(负荷开关的) maximum release-initiated opening time

与负荷开关构成一体的任何延时装置的整定是其值的最大值时的脱扣器触发的分闸时间。

4.2.22 开断时间(脱扣器操作的组合电器中负荷开关的) breaking time

脱扣器触发的负荷开关的分闸时间起始瞬间到所有极电弧最终熄灭瞬间为止的时间间隔。

注:根据所采用的分闸时间和燃弧时间,可加上“最大”或“最小”前缀来限定此术语。

5 额定值^{1]}

5.1 额定电压(即最高电压)^{2]}

额定电压按照 GB 156 的规定,选取电气设备的最高电压,见表 1。

表 1 交流高压负荷开关—熔断器组合电器额定电压 kV

额定电压	3.6	7.2	12(11.5) ¹⁾	(24) ²⁾	40.5
<p>1) 括号中的数值适用于老产品及试验站暂不能满足工频恢复电压规定值的试验。 2) 括号中的数值为用户要求时使用。</p>					

5.2 额定绝缘水平^{3]}

按照 GB 311.1 和 GB 11022 的规定,组合电器的额定绝缘水平应从表 2 中选取。

5.3 额定频率

50 Hz。

5.4 额定电流

额定电流值应从下列值中选取:^{4]}

1.6,3.15,6.3,8,10,12.5,16,20,25,31.5,40,50,63,80,100,125,160,200,250,315,400A。

注

1 额定电流用于负荷开关和所选用的熔断器的完整组合电器。

2 组合电器中安装的熔断器的额定值与温升试验中所用的熔断器的额定值不一样时,将改变组合电器的额定电流

采用说明:

1] 即 IEC 420:1990 的第 4 章。

2] 即 IEC 420:1990 的 4.1,额定电压规定到 52 kV 以下。我国电力系统仅有表 1 中的数值,无 17.5 和 36 kV 等级。

3] 即 IEC 420:1990 的 4.2 按 IEC 694 的规定。本标准表 2 规定的绝缘水平是按 GB 311.1.1 min 工频耐受电压高于 IEC 694 的规定。

4] 即 IEC 420:1990 的 4.4.1,按 IEC 694 的规定。本标准给出具体数值。

值。对于任一特定情况,负荷开关—熔断器组合电器的额定电流应由组合电器制造厂规定,详尽的资料见附录 A。

表 2 交流高压负荷开关—熔断器组合电器的额定绝缘水平 kV

额定电压	额定雷电冲击耐受电压(峰值)				额定短时(1 min)工频耐受电压			
	对地、相间及普通断口		隔离断口		对地、相间及普通断口		隔离断口	
	系列 I ¹⁾	系列 II	系列 I ¹⁾	系列 II	系列 I ¹⁾	系列 II ²⁾	系列 I ¹⁾	系列 II ²⁾
3.6	20	40	23	46	10	18/25	12	20/28
7.2	40	60	46	70	20	23/30	23	26/33
12	60	75	70	85	28	30/42	32	33/48
(24)		125		145		50/65		55/72
40.5		185		215		80/95		88/105

1) 额定电压 3.6~12 kV 所对应组合电器的系列 I 的绝缘水平,仅适用于中性点直接接地系统。
2) 该栏中斜线下的数值为组合电器内、外绝缘干状态之耐受电压。

5.5 温升

按 GB 763 的规定,对熔断器按 GB 15166.2 的规定。

5.6 合闸、分闸机构和辅助回路的额定电源电压

按照 GB 11022—89 中 5.8 的规定。

5.7 操作气源的额定气压

按照 GB 11022 中 5.9 的规定。

5.8 额定短路开断电流¹⁾

额定短路开断电流是指在本标准规定的使用及性能条件下,组合电器所能开断的最大预期短路电流。关于预期短路电流参见 5.10 后的注。

额定短路开断电流用其交流分量的有效值表示。

额定短路开断电流应从下列值中选取:

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

5.9 额定瞬态恢复电压(TRV)²⁾

相应于额定短路开断电流(按 5.8)的额定瞬态恢复电压是一基准电压,它是组合电器应能开断的回路短路故障条件下,回路预期瞬态恢复电压的上限。

表 3 给出了试验方式 1 电源回路的额定瞬态恢复电压标准值。预期瞬态恢复电压往往是具有衰减的、单频振荡的、或与之相近似的形式,这种波形可由两参数定义的两段组成的包络线表示(见图 1)。

采用说明:

1) 即 IEC 420:1990 的 4.101。本标准补充了 6.3 kA 一档。

2) 即 IEC 420:1990 的 4.102,表 1 中的 17.5 kV,36 kV 等级的 TRV 值未采用,不符合国情。本标准表 3 补充了 40.5 kV 等级的 TRV 值。

表3 额定电压40.5 kV及以下用两参数表示的
预期瞬态恢复电压规定值

额定电压 U kV	首开极系数 K_T	TRV 峰值 u_c kV	时间坐标 t_3 μs	时延 t_d μs	电压坐标 U' kV	时间坐标 t' μs	上升率 u_c/t_3 kV/ μs
3.6	1.5	6.2	40	6	2.1	19	0.15
7.2	1.5	12.3	52	8	4.1	25	0.24
12	1.5	20.6	60	9	6.9	29	0.34
(24)	1.5	41	88	13	14	42	0.47
40.5	1.5	69.5	114	18	23.2	59	0.61
$u_c = K_T \cdot K_0 \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} U; U' = \frac{1}{3} u_c; t_d = 0.15 t_3$							
注：括号中的数值为用户有要求时使用。							

5.10 额定短路关合电流

额定短路关合电流是在本标准规定的使用和性能条件下,组合电器能够关合的最大预期峰值电流。它应是额定短路开断电流的2.5倍。

注:组合电器的串联阻抗,熔断器或负荷开关的快速动作可能产生下述一种或两种影响:

- a) 短路电流降低到某一值,该值显著低于没有上述作用时所能达到的值;
- b) 快速开断会使短路电流的波形偏离其正常波形。

这就是评价开断和关合性能时采用“预期电流”这一术语的原因。

5.11 额定转移电流(撞击器操作的)

试验方式4所采用的试验回路中的三相对称电流值。

注:试验方式4中,负荷开关实际开断的电流是两相电流,其电流值至少等于 $\sqrt{3}/2$ (即87%)倍额定转移电流,因为另一相由熔断器开断或者开路。

5.12 额定交接电流(脱扣器操作的)

试验方式5所采用的试验回路中的三相对称电流值。

6 设计与结构

6.1 负荷开关—熔断器组合电器中液体的要求

按GB 11022—89中6.1的规定。

6.2 负荷开关—熔断器组合电器中气体的要求

按GB 11022—89中6.2的规定。

6.3 负荷开关—熔断器组合电器的接地

按GB 11022—89中6.3的规定。

6.4 辅助设备

按GB 11022—89中6.6的规定。

6.5 动力合闸

按GB 11022—89中6.8.1的规定。

6.6 储能合闸

按GB 11022—89中6.8.2的规定。

6.7 脱扣器操作

按GB 11022—89中6.9的规定。

6.8 低气压和高气压闭锁装置

按 GB 11022—89 中 6.10 的规定。

6.9 铭牌^{1]}

按 GB 11022—89 中 6.13 的规定外,负荷开关—熔断器组合电器的铭牌还应包含表 4 所列的内容。

表 4 铭牌标注

项目名称 (1)	符号 (2)	单位 (3)	负荷开关—熔断器组合电器 (4)	操 动 机 构 (5)	条件:仅当与组合电器不是整体时,或制造厂不同时,需标注 (6)
制造厂			X	Y	
型 号			X	Y	
采用标准的编号			X		
额定电压	U	kV	X		
额定雷电冲击耐受电压	U_w	kV	X		
额定工频耐受电压	U_P	kV	X		
额定短路开断电流	I_{nk}	kA	X		
熔断器的最大额定电流	$I_{n,max}$	A	X		
撞击器型式(输出能量)		中型或重型	X		
额定操作气体压力	P_{op}	MPa		Y	适用时
辅助回路额定电源电压	U_a	V		Y	适用时
制造年月			X		
温度级次					不同于-10℃(户内) ^{2]} 不同于-25℃(户外)

表中: X——必须标出的值,空格表示此值为零。
Y——根据第 6 栏条件,必须标出的值。
注:第(2)栏中的符号可以用来代替第(1)栏中的名称。采用第(1)栏中的名称时,可省去“额定的”这一词。

6.10 组合电器

负荷开关—熔断器组合电器应设计成在规定的恢复电压下,能开断直到额定短路开断电流的任何电流值。

负荷开关—熔断器组合电器能够在额定电压下关合具有额定短路开断电流的回路。

6.11 仅用于组合电器中的负荷开关

组合电器专用负荷开关应满足下述试验要求:

- 机械寿命试验符合 GB 3804—90 中 6.6.3 的规定。
- 开断试验方式 1、3 和 4 符合 GB 3804—90 中 6.5 的规定。
- 短路关合试验符合本标准中 6.12 的规定。
- 负荷开关的有功负载开断能力应等于或大于组合电器的最大额定电流。

注:组合电器中的专用负荷开关不需满足短时耐受电流的要求。

采用说明:

1] 即 IEC 420:1990 的 5.9 及相应的表 I。本标准表 4 中略去“额定频率”,“熔断器型号及制造厂”等项目,同时增加“采用标准的编号”,“额定工频耐受电压”,“额定短路开断电流”等项。

2] 不同于 IEC 420:1990 的表 I 中的规定,本标准重新规定温度值以适应我国国情。

6.12 负荷开关短路关合电流

负荷开关应能关合组合电器中可能配用熔断器的最大截止电流。

6.13 熔断器撞击器与负荷开关脱扣器之间的联动装置

熔断器撞击器与负荷开关脱扣器之间的联动装置应在三相和单相两种条件下,在给定的撞击器型号(中型或重型)的最大和最小能量下及相应撞击器的动作方式(弹簧式或爆炸式的)下,应使负荷开关良好地操作。

6.14 接地开关联锁^{1]}

装有接地开关时则接地开关与隔离负荷开关间的联锁应满足 GB 1985—89 的要求。

6.15 位置指标

装有位置指示装置时,指示装置应能正确地指示出负荷开关的分闸或合闸位置。

注:参见 GB 3804—90 中 5.3.8.2 的规定。

7 型式试验

负荷开关—熔断器组合电器的型式试验项目及要求,除应符合 GB 11022—89 的有关规定外,并做如下补充:

应明确指出,在组合电器进行型式试验前,组合电器中的负荷开关应按 GB 3804—90 进行相关项目的型式试验;组合电器中的熔断器应按 GB 15166.2—94 进行过型式试验。

型式试验项目:^{2]}

- a) 绝缘试验;
- b) 温升试验;
- c) 主回路电阻测量;
- d) 短时耐受电流和峰值耐受电流试验;
- e) 关合开断试验;
- f) 对机构的试验。

提供的试品应符合下列条件:

- a) 试品应与产品图样、技术文件相符;
- b) 当为脱扣器操作方式时,应装设过流继电器或脱扣器,其最小电流额定值应与选用的熔断器相匹配。
- c) 试品应是新的并装有符合组合电器要求的熔断器。试品应按设计要求装配完整(如充入规定压力、规定类型及数量的液体和气体等;配用规定型号的操动机构或辅助设备)。

在下列情况下,组合电器应进行型式试验:^{3]}

- a) 新试制的产品应进行全部型式试验;
- b) 转厂试制的产品应进行全部型式试验;
- c) 当组合电器中配用的负荷开关或熔断器、操动机构或辅助设备的型号或规格变更时,应进行相应项目的型式试验;
- d) 当产品在设计,工艺或使用的材料等做重大改变时,应进行相应项目的型式试验;
- e) 批量生产的产品每隔 8~10 年或不经常生产的产品(指停止生产间隔 5 年及以上者)再次生产时,应进行全部项目的型式试验。

采用说明:

1] IEC 420:1990 未规定该项目,考虑接地开关可能做为负荷开关的组成部分,本标准作补充规定。

2] 为便于了解型式试验内容,利于标准的贯彻实施,本标准增加“型式试验项目”。

3] IEC 420:1990 未规定,根据我国对高压开关设备型式试验管理的需要,本标准作了补充规定。

所有型式试验结果应出具在正式型式试验报告中。型式试验报告应包括足够证明试品符合本标准及有关标准的资料,也应包括试品应符合的技术文件及图纸资料。型式试验报告还应包括有关试品的主要组合元件,操动机构或辅助设备的技术性能,结构状况及安装方式的有关资料。

制造厂只对规定值负责,而不对型式试验中获取的超出规定值范围的数据负责。

7.1 绝缘试验

按 GB 11022—89 中 7.1 及本标准 5.2 的规定耐压值进行。除此之外,具有充气隔室的组合电器还应按 GB 3906—91 中 7.1.9 进行充气隔室零表压 5 min 额定电压耐受试验。^{1]}

当组合电器中的元件有局部放电试验要求时,应进行局部放电试验。局部放电试验可在元件或部件上按 GB 7354—87 的规定进行,允许放电量由其它相关标准或产品技术文件规定。

绝缘试验时,应在元件的布置能提供最不利的绝缘条件的组合电器上进行,如无法证明,应在各种可能的布置方案下进行试验。

7.2 温升试验

温升试验按 GB 11022—89 中 7.3 及有关标准的规定进行。

试验时,组合电器应安装最大电流额定值和/或最大功率耗散的熔断器。

试验电流为负荷开关—熔断器组合电器的额定电流值,试验后熔断器的温升应符合 GB 15166.2—94 的规定,其元件及部位的温升应符合 GB 11022—89 的规定。

试验时,应记录所用的熔断器的下列情况:

- a) 制造厂和型号;
- b) 额定电压;
- c) 额定电流;
- d) 直流电阻;
- e) 功率耗散。

熔断器使用在散热条件不良的情况下,可降低额定值使用。为了满足降额值,可进行专门的试验来确定功率耗散。

这些试验应在温升试验规定的条件下进行。

功率耗散应在所考虑的电流达到稳定值时确定。试验应在 50% 和 100% 额定电流下进行。功率耗散以 W 表示。

在温升试验结束时测得的功率耗散值,即为该组合电器可接受的最大功率耗散值。

7.3 主回路电阻测量

主回路电阻测量按 GB 11022—89 中 7.4 的规定进行,其电阻值由产品技术条件规定。

当为了排除熔断器固有电阻分散性对回路电阻的表征产生影响时,可用阻抗可以忽略不计的导电棒代替熔断器后,进行直流电阻测量。此时应对导电棒的直流电阻进行记录。^{2]}

7.4 短时耐受电流和峰值耐受电流试验

短时耐受电流和峰值耐受电流试验对负荷开关—熔断器组合电器不适用。

但考虑到组合电器的其它功能单元或支路(如接地开关、接地回路等),要求进行短时耐受电流和峰值耐受电流试验时,按 GB 11022—89 中 7.5 或其它有关标准规定进行。^{3]}

7.5 关合开断试验

7.5.1 通则

采用说明:

- 1] IEC 420 无相应规定。根据用户要求,本标准增加此段后一句的内容。
- 2] IEC 420:1990 以“注”提示,本标准在“注”的基础上加补充说明作为正文内容。
- 3] IEC 420:1990 只明确“不适用”,本标准对某些特例作具体规定。

本标准规定的关合开断试验,是对负荷开关—熔断器组合电器关合和开断各类故障电流的能力和配合性能进行试验考核。

由于本标准适用于三相电力系统中使用的三极组合电器,故任何试验方式都是基于三相电路原理。

7.5.2 试验前组合电器的状况

试验前组合电器应符合本标准第7章前述的一般条件外,还应满足如下要求:

- a) 受试组合电器应完整地安装在自身的支架或等效支架上。
- b) 其配用的操动机构应按有关规定进行操作。

如果操动机构为电动或气动操作方式时,须分别在GB 11022—89中6.8和6.9规定的最低电压或气压下进行操作。如当截流影响试验结果时,组合电器允许在GB 11022—89中6.8和6.9规定的允差范围内选取的电压或气压下操作,以便触头分离时刻获得最大刚分速度和最大灭弧性能。应表明,在上述条件下组合电器能可靠地进行空载操作。如有可能,应记录动触头的行程。

如为人工储能操作的组合电器,可以借用某种装置进行遥控操作。

c) 当组合电器的电源侧与负载侧的实际布置不同,且组合电器有两侧供电的可能时,则试验回路的带电侧应接到使组合电器的试验条件较严酷的一侧,如对此有怀疑,则应倒换电源接线,重复进行该试验。但对包含若干次同一试验的试验方式,应将电源先接到一侧,进行一次试验,然后将电源接到另一侧进行其余试验。

d) 组合电器应选用制造厂规定的适用于该组合电器的最大额定电流和/或最大动作 I^2t 值的熔断器进行试验。

e) 对配有脱扣器操作的组合电器,过流继电器或脱扣器应与配用的熔断器的最小电流额定值相匹配。

f) 除非另有说明,试验应在组合电器无预加载的正常环境温度下进行。

7.5.3 试验回路

7.5.3.1 试验频率

试验回路频率偏差应为额定频率的 $\pm 10\%$ 。

7.5.3.2 功率因数

试验回路功率因数应由回路衰减时间常数计算或测量来确定,并取三相功率因数的平均值。

试验时,试验回路功率因数三相平均值,应符合本标准中7.5.5.1~7.5.5.5的规定。

7.5.3.3 试验回路的布置

对试验方式1和试验方式2,组合电器最好选用电源中性点绝缘的回路,组合电器出线端头三相短路且中性点接地,如图3a所示。当试验回路电源中性点不能绝缘时,则应予以接地,而组合电器出线端头三相短路的中性点应绝缘,如图3b所示。

对于试验方式3,组合电器应接到一单相回路中,且只允许电源中性点或试品中性点一点接地,如图4a及4b所示。而以电源中性点接地方式为优选方式。

对于试验方式4及试验方式5,组合电器应接到图5a和图5b所示的回路中。其中以负载中性点接地方式为优选方式。

对于可能产生火焰或金属粒子喷射的组合电器,试验时应在带电导体附近装设金属屏,金属屏与带电导体之间间隔的大小应由制造厂规定。金属屏、底座及其它正常接地部件应对地绝缘,但通过一个合适的指示对地泄漏电流的装置接地。

7.5.4 关合开断试验参数

7.5.4.1 开断试验的试验电压

试验电压应在组合电器开断后,立即于其所在位置测量,并且是线电压的平均值。试验电压测量点应尽可能靠近组合电器的端子,即测量点与组合电器端子间无明显的阻抗。

三相试验时,试验电压应尽可能等于组合电器的额定电压。

试验电压的允差范围是规定值的 $\pm 5\%$ 。

7.5.4.2 工频恢复电压

电弧熄灭后,工频恢复电压应至少保持 0.1 s。

三相试验回路工频恢复电压是负荷开关开断后所有相测到的工频恢复电压的平均值。试验回路的工频恢复电压应在试验回路中组合电器每一极端子间测量,且应在负荷开关分闸后一个周波处测量,如图 6 所示。

7.5.4.3 短路关合试验前的外施电压

在试验方式 1 和试验方式 2 中,短路关合试验前的外施电压是试验前瞬间,组合电器每极端子上电压的有效值。

对三相试验,外施电压的平均值不应小于组合电器额定电压除以 $\sqrt{3}$,且未经制造厂同意,不应超过该值的 10%。

外施电压的平均值与每相外施电压之差不应超过平均值的 5%。

7.5.4.4 开断电流

对于试验方式 1 和试验方式 2,预期短路开断电流的交流分量有效值应在预期短路试验中短路起始后一个半波内测量。

对试验方式 3,试验方式 4 和试验方式 5,开断电流应是在起弧瞬间测取的交流分量有效值。

对于试验方式 1,试验方式 2 和试验方式 5,任一相的开断电流交流分量有效值不能超出平均值的 10%。对于试验方式 4,用导电棒代替熔断器的两相中的开断电流交流分量有效值不能小于首开相(即装有熔断器的相)开断电流的 $\sqrt{3}/2$ (即 87%)倍。

7.5.4.5 瞬态恢复电压

试验回路预期瞬态恢复电压的测定,应采用既能产生又能测量瞬态恢复电压波形,且对其无明显影响的方法。测量应在组合电器与试验回路相连的端子上进行,分压器等测量装置应包括在内。测量方法可参见 GB 1984—89 附录 D。

对于三相试验回路,瞬态恢复电压是对按照 7.5.3.3 规定的试验回路中的组合电器的首开极而言。即首开极与其闭合的两极之间的电压。

试验回路的预期瞬态恢复电压,用图 2 所示的方法来表示,其波形应满足下列要求:

a) 其包络线在任何时刻都不能低于规定的参考线。

注:必须强调,包络线超出规定参数的程度需征得制造厂的同意。

b) 有时延规定时,其起始部分不能与时延线相交。

7.5.5 关合开断试验方式

关合开断试验的基本试验方式包括试验方式 1~5,主要内容及参数列于表 5 中。¹⁾

7.5.5.1 试验方式 1

如果满足 7.5.6.1 的要求,则本试验方式可以免做(除非用户要求时)。

本试验方式是为了验证负荷开关能够关合和承受熔断器的截止电流而无损伤,且在该电流下熔断器能正常开断,开断后熔断器撞击器能使负荷开关正常分开。

试验在装设三相熔断器的组合电器上进行。

在规定的试验回路条件下,必须进行一个单分和一个合分试验,三相回路的预期对称电流有效值和峰值电流值应等于组合电器的额定短路电流值,其允差范围为 ${}_{0}^{+10\%}$ 。

采用说明:

1) 即 IEC 420:1990 的 6.103.6 及表 V。本标准将表 5 的位置提前编排并在表中明确 TRV 的电源侧及负载侧参数,以便使用。

表5 关合开断试验方式的试验参数及条件

试验方式		试验电压	试验电流及合闸相位	试验顺序	功率因数	TRV	
方式	回路					电源侧	负载侧
1	三相 图 3	U	见 GB 15166.2—94 试验方式 1	O CO	0.07~0.15 (滞后)	见表 3	—
2	三相 图 3	U	见 GB 15166.2—94 试验方式 2	O CO	0.07~0.15 (滞后)	见表 6	—
3	单相 图 4	U	$0.8I_3$ 见 GB 15166.2—94 试验方式 3	O O	0.4~0.6 (滞后)	不规定	—
4	三相 二相 图 5a	U	$I_4/0.87I_4$ 见本标准 7.5.5.4 的规定	O	$I_4 > 400$ A	见表 3	见表 7
				O	0.2~0.3(滞后)		
				O	$I_4 \leq 400$ A 0.3~0.4(滞后)		
5	三相 图 5b	U	I_5 见本标准 7.5.5.5 的规定	O	$I_4 > 400$ A	见表 3	见表 7
				O	0.2~0.3(滞后)		
				O	$I_4 \leq 400$ A 0.3~0.4(滞后)		

注：试验方式 4 和 5 的功率因数指负荷回路的功率因数。

试验回路的功率因数应为 0.07~0.15(滞后)。

外施电压应符合本标准中 7.5.4.3 的要求。

工频恢复电压(见 7.5.4.2)应等于组合电器的额定电压除以 $\sqrt{3}$, 允差范围为 $\pm 5\%$ 。

预期瞬态恢复电压符合 5.9 及 7.5.4.5 的要求。

试验方式的第一次试验应按 GB 15166.2—94 中试验方式 1 的规定, 保证任一边相熔断器的起弧相角应在该相电压过零后 $65^\circ \sim 90^\circ$ 范围之内。

7.5.5.2 试验方式 2

如果满足 7.5.6.2 的要求, 则本试验方式可以免做(除非用户要求时)。

本试验方式的目的在于用近似于对负荷开关产生最大 I^2t 的预期电流来验证组合电器的性能, 试验是在装设三相熔断器的组合电器上进行。

在规定的三相回路条件下, 进行一个单分和一个合分试验时, 其预期电流值为按照 GB 15166.2—94 验证组合电器中熔断器产生最大 I^2t 值所要求的预期电流, 允差范围为 $\pm 10\%$ 。

试验回路的功率因数为 0.07~0.15(滞后)。

外施电压应符合 7.5.4.3 的要求。

本试验方式的第一次试验应对回路选相合闸, 保证其中任一相电流在该相电压过零后 $0 \sim 20^\circ$ 之间出现。

工频恢复电压(见 7.5.4.2)应等于组合电器的额定电压除以 $\sqrt{3}$, 允差范围为 $\pm 5\%$ 。

预期瞬态恢复电压应符合 7.5.4.5 的要求, 并按照表 6 中的规定值。其最大峰值不应低于规定的参数 u_c , 其包络线的上升段应在 t_3 允差规定的两条线之间。

注：时延线未做规定, 是因为 TRV 波形起始部分对熔断器性能不重要(见 GB 15166.2—94 附录 C)。

表 6 试验方式 2 的预期 TRV 标准^{1]}

额定电压 U kV	TRV 峰值 u_c kV	时间坐标 t_3 μs	上升率 u_c/t_3 kV/ μs
3.6	6.6	120~160	0.055~0.041
7.2	13.2	158~208	0.084~0.063
12	22.0	180~240	0.122~0.091
24	44.1	264~352	0.167~0.125
40.5	74.4	367~489	0.203~0.152
$u_c = 1.5 \times 1.5 \times \sqrt{2/3}U$			

7.5.5.3 试验方式 3——具有长弧前时间熔断器的开断试验

如果满足 7.5.6.3 的要求,则本试验方式可以免做。

本试验方式的目的在于验证:

- 安装在组合电器内的熔断器,在弧前时间内,能够承载较低的过电流而无外部损伤。
- 熔断器经过以上所述较低过载电流的预热,能够承受一个低于其最小开断电流值的电流产生的内部电弧,直至碰撞击器动作而触发负荷开关开断之前的一段时间内(包括一定安全裕度),熔断器无外部损伤。

注:当过载电流小于熔断器的最小开断电流时,熔断器可能会熔化起弧,但对是否能熄弧是不保证的。

试验应在单相回路中进行二次开断试验,每次试验将分两步进行:

- 以一个低压电源提供电流给组合电器使熔断器预热,这一电流值应在使熔断器具有 20 min 弧前时间所对应电流值的 75%~85% 范围内。熔断器弧前时间可依据制造厂提供的平均时间-电流特性确定。

b) 经过 a) 所述的电流持续 20 min 后,电流值应增加到熔断器最小开断电流值的 70%~80% 范围内。熔断器熔化之前,组合电器应转接到电压等于组合电器额定电压的高压电源上,并通以相同值的电流(即 70%~80% 的最小开断电流)。

从低压电源转接到高压电源的方法可参照 GB 15166.2—94 中的有关规定。

具有较低的最小开断电流的某些型式熔断器,可能会即是在 80% 最小开断电流值时,熔体不会熔化或至少在适当时间内不会熔化。在这种情况下,预热 20 min 之后,低电压电流应转变成一个较高值的电流,足以使熔体在随后的几分钟内熔化。当一些或全部熔体熔化时,但带有撞击器的熔体仍然未熔化,则该熔断器应转接到电压等于组合电器额定电压的高压电源上,其电流值为 70%~80% 的熔断器的最小开断电流。

注

- 受试验站条件的限制,不能保持这一稳定电流时,则在不超过总熔化时间 20% 的时间内,该电流的允差可在两个方向超过规定值,但应保证起弧瞬时电流值在试验方式 3 规定的允差范围内。
- 无论什么原因,如果在负荷开关弧触头分离之前熔断器开断了试验回路,则该试验无效,并应重做。此时,试验中第二部分应通以较小的电流,直到获得两次有效试验。

试验应在装有熔断器的组合电器的任一边相上进行,并在与之串联的另一相中用阻抗可忽略不计的导电棒代替熔断器。

试验回路的功率因数为 0.4~0.6(滞后)。

串联的两极端头间的工频恢复电压应等于组合电器的额定电压,允许偏差为±5%。瞬态恢复电压

采用说明:

1] 即 IEC 420:1990 的表 III。表 6 中删去 17.5 kV 及 36 kV 等级,补充规定了 40.5 kV 等级及参数。

TRV 不做规定。

熔断器撞击器的动作应使负荷开关分闸。

7.5.5.4 试验方式 4——额定转移电流开断试验

如果满足 7.5.6.4 的要求,则本试验方式可以免做。

本试验方式的目的在于验证开断功能由熔断器转移到负荷开关时的电流范围内,负荷开关与熔断器的正确配合。

额定转移电流值由组合电器制造厂确定。该电流值的确定应考虑到熔断器触发的负荷开关的分闸时间和所选用最大额定电流值的熔断器的时间-电流特性,如附录 A 所述。

该试验电流应等于或大于 4.2.7(亦可见附录 A)中定义的转移电流,允差范围为 $+10\%$ 。

试验应在规定的三相回路中,进行三次开断试验。组合电器装设一相熔断器而其余两相熔断器用两根阻抗可忽略不计的导电棒替代,装设熔断器相及导电棒短接相,在三次试验中应依次交替布置。原则上导电棒与所替代的熔断器应具有同样的外形尺寸和体积。

如果以上的布置方式对试验室有困难,则可以省去熔断器,负荷开关通过别的途径分闸。在这种情况下组合电器中应装设的一相熔断器可用一模拟熔断器(或者是一个已断开过的熔断器)或者具有与熔断器同样外形尺寸及体积的绝缘棒替代。

试验回路应由三相电源及三相负载回路组成,见图 5。

电源回路的功率因数应不大于 0.2(滞后),并满足下列要求:

a) 电源回路短路电流的对称分量不应超过组合电器的额定短路开断电流,也不应小于该电流的 5%。

b) 电源回路的阻抗应在试验方式 4 试验回路总阻抗的 12%~18%之间。如果受试验站条件的限制,不能满足这一条件时,则这一百分比还可降低,但应保证所得到的预期 TRV 不会更轻松。

c) 如果适用的话,电源回路在短路条件下的预期瞬态恢复电压 TRV 不应比表 3 的规定值轻松。

负载回路应是一个串联回路,其功率因数为:

——当开断电流大于 400 A 时:0.2~0.3(滞后);

——当开断电流小于或等于 400 A 时:0.3~0.4(滞后)。

试验电压应符合 7.5.4.1 的规定。

工频恢复电压(见 7.5.4.2)应等于组合电器的额定电压除以 $\sqrt{3}$,允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

如果适用,负载回路的预期瞬态恢复电压,应符合 7.5.4.5 及表 7 规定,时延线不做规定。

表 7 试验方式 4 负载回路的预期 TRV 标准值¹⁾

额定电压 U kV	TRV 峰值 u_c kV	时间坐标 t_3 μs	上升率 u_c/t_3 kV/ μs
3.6	6.2	80	0.077
7.2	12.3	104	0.115
12	20.6	120	0.167
24	41.2	176	0.236
40.5	69.4	228	0.305
$u_c = 1.4 \times 1.5 \times \sqrt{2/3} U$			

采用说明:

1) 即 IEC 420:1990 的表 N。表 7 中删去了 17.5 kV 及 36 kV 电压等级,补充规定了 40.5 kV 等级及参数。

注

- 1 表 7 中给出的值适用于三相回路中的首先开断相。也就是说,装有熔断器或模拟熔断器或绝缘棒的一相。
- 2 表 7 中给出的参数适用于典型布置。应指出典型布置涉及的转移电流比那些因变压器二次侧端头金属短路产生的转移电流要小,后者通常由熔断器开断。所以表 7 中给出的参数不适用于要求负荷开关开断这种端头附近故障的使用情况,该条件由制造厂与用户协商。

7.5.5.5 试验方式 5——额定交接电流开断试验(仅适用于脱扣器操作的组合电器)

本试验方式仅适用有脱扣器操作的组合电器。

该试验旨在验证开断负荷由熔断器交接给脱扣器操作的负荷开关时,在交接电流范围内,熔断器与脱扣器操作的负荷开关之间的正确配合。交接电流定义见 4.2.8 的规定。

额定交接电流值由组合电器制造厂确定,确定时应考虑到脱扣器触发的负荷开关的分闸时间与所选用的最大额定电流值的熔断器的时间-电流特性(参见附录 A)。

注:这一电流应等于或大于本标准 4.2.10(亦可参见附录 A)中定义的最大交接电流。

试验应在图 5b 所示的三相回路中进行三次开断试验。试验时,组合电器中的熔断器全部用阻抗可以忽略不计的导电棒替代。原则上,导电棒应与所替代的熔断器应具有同样的外形尺寸和体积。

试验回路与试验方式 4 相同,见 7.5.5.4 的规定。

7.5.6 基本试验方式的附加条款¹⁾

原则上,本标准 7.5.5 规定的基本试验方式,只对实际提供试验的负荷开关与熔断器特定组合的组合电器的性能进行验证。然而当组合电器在使用中配用其它型号熔断器或已试熔断器的设计结构有所改变时,重复进行组合电器的全部关合开断试验一般认为是不实际的。因此,只要组合电器满足下列条件(参见本标准附录 A),则对未经试验或经过部分试验的组合电器仍可认为满足本标准要求,这些条件是:

- a) 所考虑的负荷开关和熔断器应分别满足各自相关的标准 GB 3804—90 和 GB 15166.2—94。
- b) 必须安装同一型式的撞击器,即符合 GB 15166.2—94 中有关撞击器的分类。这里同一型式主要指其动作位移特性及输出能量等。
- c) 应符合 6.13 中对熔断器撞击器和负荷开关脱扣器之间联动的要求。
- d) 选择的熔断器应满足 7.5.6.1, 7.5.6.2 及 7.5.6.3 的规定。

7.5.6.1 试验方式 1 的附加条款

如果组合电器安装其它型号的熔断器,只要按 GB 15166.2—94 规定的试验方式 1 确定的截止电流和动作 I^2t 值,不大于已试型号熔断器按相同方法确定的值,则选配这种熔断器的组合电器不必重新进行本标准规定的试验方式 1 的试验。

7.5.6.2 试验方式 2 的附加条款

如果组合电器安装其它型号的熔断器,只要按 GB 15166.2—94 规定的试验方式 2 确定的 I^2t 值,不大于已试型号熔断器按相同方法确定的值,则认为原组合电器相应的试验有效,而不必重复进行本标准规定的试验方式 2 的试验。

当组合电器按本标准试验方式 1 进行试验时,而熔断器按 GB 15166.2—94 中试验方式 1 的规定确定的动作 I^2t 值,大于按试验方式 2 的规定确定的 I^2t 值,则本标准规定的试验方式 2 可以免作。

如果组合电器能保证其负荷开关在熔断器撞击器驱动分闸动作以前合闸到位,而且其负荷开关已按 GB 3804—90 的规定,独立完成了两次关合试验且电流峰值不低于 $2.5I_2$,短路持续时间不小于 0.1 s,对称短路电流值不小于 I_2 (即 GB 15166.2—94 中试验方式 2 的预期短路电流),则本标准规定的试验方式 2 可以免做。

7.5.6.3 试验方式 3 的附加条款

采用说明:

1] 此条内容同 IEC 420:1990 的 6.101.0,而置后编排在此。

试验方式 3 是非强制性的,如果熔断器和负荷开关制造厂能提供证据说明组合电器在低过电流条件下满足下面的 a)或 b)以说明其能正常工作,则本标准规定的试验方 3 可以免作。

a) 这一证据,必须包括如下三项:

1) 熔断器制造厂应提供该熔断器可以承受使熔断器具有最长燃弧时间而无外部损伤的电流,该电流值刚低于最小开断电流值。原则上,这一电流值应在理论计算的最小开断电流的 70%~90% 范围内。

最长燃弧时间是指从起弧直到熔断器发生外部损伤时刻之前测得的时间。或者,熔断器制造厂提供给定型号熔断器在 GB 15166.2—94 规定的试验方式 3 中,记录的最长燃弧时间值,而该值比上面给出的电弧耐受时间要短。

2) 负荷开关—熔断器制造厂应说明熔断器触发的负荷开关分闸时间小于 1) 项中给出的熔断器燃弧时间,参见本标准附录中 A.2.3。

3) 熔断器制造厂提供证据说明给定的熔断器可以耐受某一电流值的低电压试验,该试验电流使熔断器具有至少 20 min 的弧前时间,而熔断器不会出现外部损伤(参见 7.5.8)。

b) 如果熔断器制造厂能提供充分证据,说明组合电器中的熔断器能够开断从额定短路开断电流直到等价的最小熔化电流(即所谓全范围熔断器),这时认为由熔断器触发的负荷开关—熔断器组合电器的分闸时间与此无关,则试验方式 3 也可以免做。

7.5.6.4 试验方式 4 的附加条款

对脱扣器操作的组合电器,若其交接电流等于或大于转移电流,则试验方式 4 可以免做。

7.5.7 对组合电器在试验中的要求

全部关合开断试验方式应在同一台组合电器上完成。各试验方式之间,可对组合电器进行检查,但不能检修(更换熔断器除外)。

操作过程中,组合电器不应出现任何损坏或者危及操作者的迹象。

充油式组合电器,不允许喷出火焰,允许喷气或喷油,但不应引起外闪。

其它类型的组合电器,可能损坏绝缘水平的火焰或金属粒子不应喷射到制造厂规定的边界之外。

试验过程中,不应接地框架或设置的屏蔽网有显著的泄漏电流。如对此有怀疑,正常接地的部件应通过一直径约为 0.1 mm,长 50 mm 的细铜丝接地。试验后,如铜丝完好,则认为无明显的泄漏电流流过。

在某些条件下,组合电器的框架和地之间必须保持固定的电气连接。在这种情况下,允许通过一个合适的变化为 1:1 的变压器的一次绕组把框架接地。二次绕组端子间接熔丝并由火花间隙保护。

试验方式 1、2 和 3 中,负荷开关应在熔断器的撞击器动作后分闸。

注

1 试验中,无论熔断器动作与否,三相熔断器均应更换。

2 三相试验中,一只熔断器和/或其撞击器未动作,这是正常的,它不能做为试验无效的判据,只要该熔断器无任何外部损伤。

7.5.8 组合电器试验后的要求

每一试验方式及全部试验方式完成后,应对组合电器进行检查。组合电器的机械传动部件,非易损件和绝缘件不得损坏。更换熔断器后,组合电器实际上应与试验前的状况相同。

每个试验方式后的要求:

a) 熔断器应符合 GB 15166.2—94 中 8.7.15 的要求,完成试验方式 3 后,熔断器允许有轻微的外部损伤,如小的裂缝或变色等。^{1]}

b) 组合电器的机械功能和绝缘子实际上应和试验前情况相同。绝缘子上允许沉积不过量的熄弧介质的分解物。

采用说明:

1] 即 IEC 420:1990 的 6.105 第一段,本标准作为试验后要求单独列为项 a)。

c) 在不修整的情况下,组合电器应能承受其额定电压而不击穿。

d) 对装有隔离负荷开关的组合电器,隔离负荷开关在分闸位置时,其绝缘水平不能因与隔离断口相邻的或并联的绝缘件的绝缘性能降低而降低到规定值以下,应满足 GB 1985—89 对隔离开关的要求。

e) 更换熔断器后,组合电器应能连续承载其额定电流。

试验后,对组合电器的外观检查和空载操作,通常能足以验证上述要求。

应在试验电压为规定值的 80% 时,按 7.1 的规定对组合电器进行相应的工频电压耐受试验。

当对 d 项有怀疑时,应按 7.1 进行相关的工频耐压试验。

当对 e 项有怀疑时,在更换熔断器后,按 7.2 的要求进行温升试验,温升值不应超过其规定值 10 K 以上。温升试验后,允许对组合电器进行彻底的检修。

7.6 对机构的试验

7.6.1 一般试验条件

除非另有规定,试验应在试验现场周围空气温度下进行。

7.6.2 脱扣联动试验

a) 对熔断器撞击器和负荷开关脱扣器之间机械联动的可靠性进行试验。

对相应型号的撞击器共需进行 100 次操作试验。其中用最小能量的撞击器,对每极进行 30 次操作试验(共 90 次)。用三只最大能量的撞击器同时进行三极 10 次操作试验。

这一试验方式完成之后,脱扣联动的机械性能事实上应与试验前相同。

b) 用一只带有已伸出的撞击器(即动作后的)的模拟熔断器,使其撞击器按 GB 15166.2—94 规定范围调整到最小实际行程位置,依次对每极进行试验,应证明组合电器中的负荷开关按其设计要求既不能合闸也不能保持在合闸位置。

注:为了便于这些试验,可以采用一个模拟熔断器撞击器操作的装置。

7.7 (熔断器的)机械震动试验

结合 7.6.2 的脱扣器联动试验,用能量最小的撞击器分别对每极进行 30 次操作试验时,其余两相安装结构不同的、按制造厂提供的资料在相应系列中选取机械强度最差的、不带撞击器模拟装置的熔断器。

此外,仅对熔断器式负荷开关,还应在三极安装结构不同的按制造厂提供的资料选取的在其相应系列中机械强度最差的熔断器的情况下,对组合电器进行 90 次手动“合、分”操作。

以上试验方式之后,被试熔断器不应出现任何机械损伤,其电气触头不应出现偏移。熔断器本身及串联回路的阻抗不应有明显变化。

上述试验的结果,仅对所选用的熔断器有效,而不适用于未进一步进行机械震动试验的熔断器。

8 出厂试验^{1]}

出厂试验是为了检查产品制造过程中(包括材料、结构、工艺等)存在的缺陷。出厂试验不应给产品的性能和可靠性带来损害。每台产品必须经出厂试验,合格后方可出厂。出厂产品均应附有产品合格证及相应的有关出厂试验结果的技术文件。如有协议要求,任一项出厂试验项目可作为对产品的验收内容。

出厂试验应符合 GB 11022—89 的规定。还应符合相应产品标准及本标准的规定。

出厂试验项目:

a) 结构检查;

采用说明:

1] 即 IEC 420:1990 的第 7 章。本标准增加前两段,以对出厂试验作总体说明,并先列出出厂试验项目。

- b) 主回路 1 min 工频耐压干试；
- c) 操动机构和辅助回路工频耐压试验；
- d) 主回路电阻测量；
- e) 机械操作和机械特性试验。

8.1 结构检查^{1]}

产品应符合其正式的图样和技术文件。

8.2 主回路 1 min 工频耐压干试

主回路 1 min 工频耐压干试应符合 GB 11022—89 中 8.3 的规定。

8.3 辅助回路和控制回路的工频耐压试验

辅助回路和控制回路的工频耐压试验应符合 GB 11022—89 中 8.4 的规定。

8.4 主回路电阻测量

主回路电阻测量方法应符合 GB 11022—89 中 8.5 的规定。其中电阻值不得大于产品技术条件的规定值。

8.5 机械操作试验和机械特性试验

机械操作试验和机械特性试验除应符合 GB 11022—89 及相应产品标准规定外,还应符合如下要求。

8.5.1 试验通则

操作试验是用来证明组合电器在其操动装置的规定电压和气压等范围内,能完成规定的操作。本标准规定的试验主要是为了验证:

- a) 组合电器在其操动装置已经储能或在规定的操作电压或气压下,能够正确地合闸或分闸。
- b) 规定的操作不能引起组合电器的任何损伤。

注:试验时,安装的熔断器应为可选用的具有最大质量和尺寸的熔断器。

8.5.2 试验内容

对所有的组合电器,应进行下列试验:

a) 在 7.6.2 规定的条件下,模拟撞击能量最小的熔断器撞击器动作,分别对每相进行 5 次分闸操作;模拟撞击能量最大的熔断器撞击器动作,进行二次三相联动分闸操作。^{2]}

此外,必要时还应进行如下试验:

- b) 以规定的最高操作电压和/或最大操作压力,进行 5 次“合分”操作。
- c) 以规定的最低操作电压和/或最小操作压力,进行 5 次“合分”操作。
- d) 如果组合电器既可手动操作,又可以通过正常电动或气动装置等操作,除按以上 b)、c) 项规定的操作以外,还应用手动操作进行 5 次“合分”操作。
- e) 只能手动操作的组合电器,进行 10 次“合分”操作。
- f) 仅适用于脱扣器操作的组合电器,在其额定操作电压或压力条件下,用主触头合闸使脱扣回路带电进行 5 次“合分”操作。

8.5.3 试验条件

本标准 8.5.2 规定的试验中,当进行 a)、b)、c)、d) 和 e) 项试验时,应在主回路中无电流流过的情况下进行。

当 f) 试验时,组合电器中的过流脱扣器应该整定在过流范围内的最小刻度上,主回路中应流过一个其值不超过过流整定值的 110% 的电流,过电流脱扣器应能正常操作。该电流可由一个适当的低压电

采用说明:

1] 即 IEC 420:1990 无此规定,本标准作为增加项目列出。

2] 本项最后一句为本标准补充规定,IEC 420:1990 无此规定。

源供给。

8.5.4 试验后试品状态

在所有试验中,组合电器不应调整和检修,且其动作应正确无误。每一操作应达到合闸和分闸位置。

试验后,应对组合电器进行检查,应证实没有零部件损伤,且所有零部件及组合电器功能处于良好状态。

9 随询问书,标书和订单一起提供的资料

组合电器制造厂除了提供产品额定参数及有关资料外,还应提供下列特定资料:

- a) 组合电器的最大可接受的功率耗散(见 7.2 e)项)。
- b) 经过验证的负荷开关可以承受的最大截止电流(见 7.5.6.1)。
- c) 经过验证的负荷开关可以承受的最大 I^2t 值(见 7.5.6.1 及 7.5.6.2)。
- d) 熔断器触发的负荷开关的分闸时间(见 7.5.6.3 和 7.5.6.4),如果适用的话,还有脱扣器触发的负荷开关最小分闸时间(见附录 A)。
- e) 组合电器中可以选用的熔断器的型号及规格。
- f) 配用的熔断器撞击器的型号(中型或重型)。
- g) 额定转移电流(见 7.5.5.4),如果适用的话,还有额定交接电流(见 7.5.5.5)。
- h) 操动方式:人力或动力。
- i) 如果适用,充装的介质(型号和重量等)。
- j) 如果用户需要选用一种与上述 e)项中不同型号,但具有相同规格的熔断器时,除应符合附录 A 外,还应符合 GB 15166.2 的要求。

熔断器制造厂应提供下列资料:

- k) I^2t 特性(按 GB 15166.2—94)。
- l) 截止电流特性。
- m) 7.5.6.3a)1)中规定的最长燃弧时间。
- n) 额定短路开断电流。
- o) 额定最小开断电流。
- p) 额定电流时的功率耗散。
- q) 弧前时间-电流特性。
- r) 熔断器撞击器型号(中型或重型)。

10 运输、贮存、安装和维护规则^{1]}

组合电器的运输、贮存、安装和维护规则,应符合 GB 11022—89 及有关标准的规定。

由于高压熔断器其外部及内部结构较脆弱,因此,在组合电器就位、投运之前,应单独按 GB 15166.2—94 中第 10 章规定考虑其运输、贮存和安装条件。又由于其在性能上的特殊性以及在组合电器中的重要性,熔断器的使用和维护应符合 GB 15166.2—94 附录 C 的要求。

采用说明:

1] 即 IEC 420:1990 的第 10 章,本章内容与 IEC 420:1990 一致,但规定更具体些。

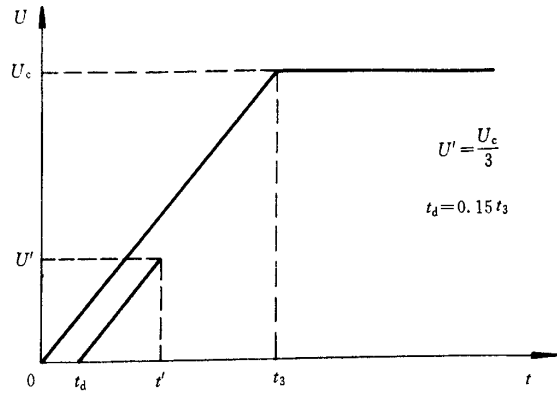


图 1 用两参数参考线和时延线表示规定的 TRV

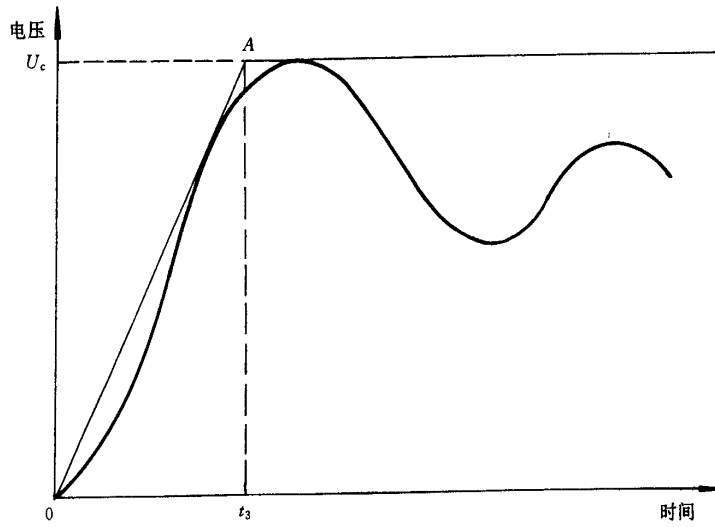


图 2 TRV 两参数参考线的例子

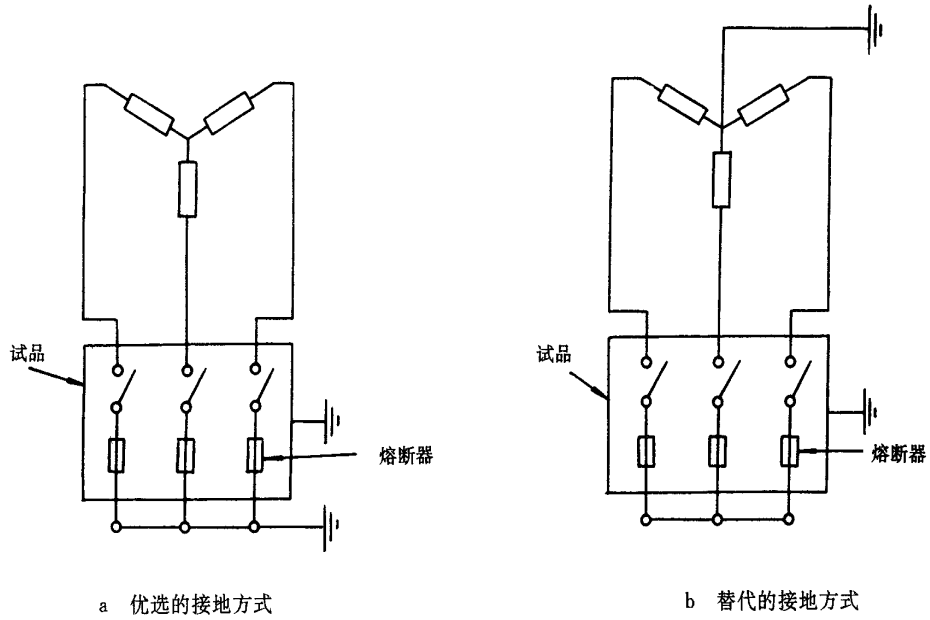


图 3 试验方式 1 和 2 的试验回路布置

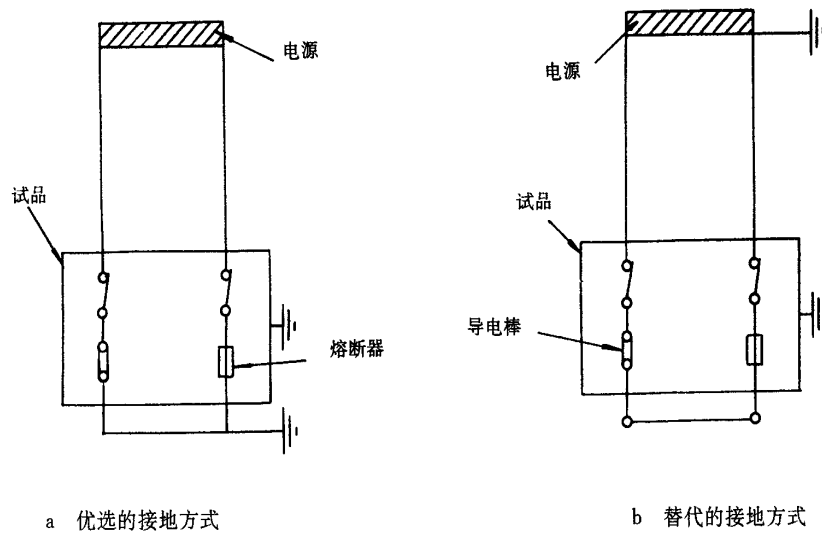


图 4 试验方式 3 的试验回路的布置

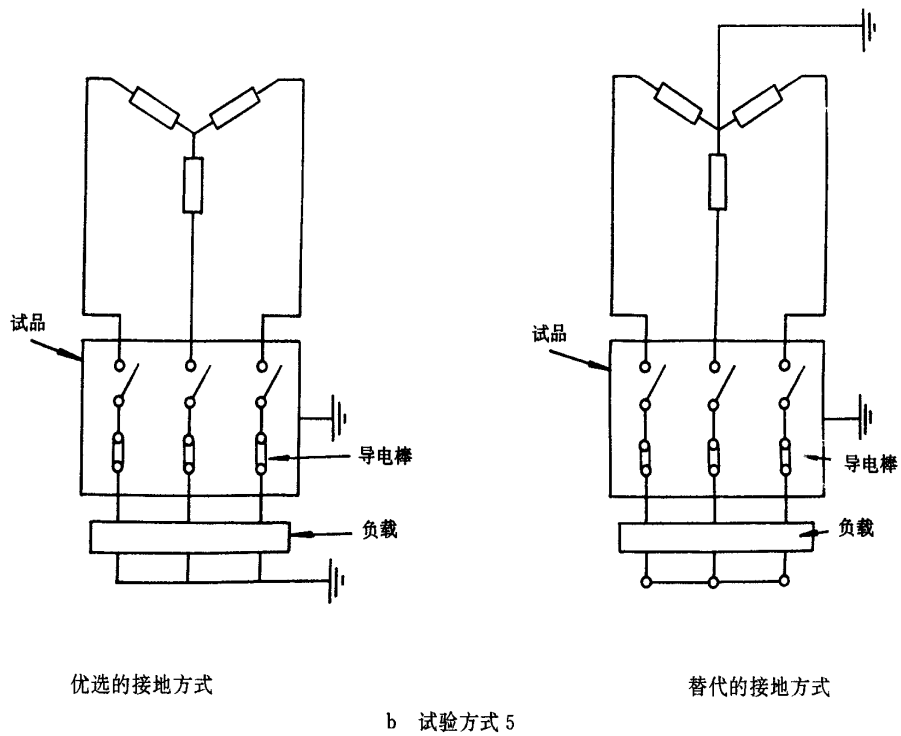
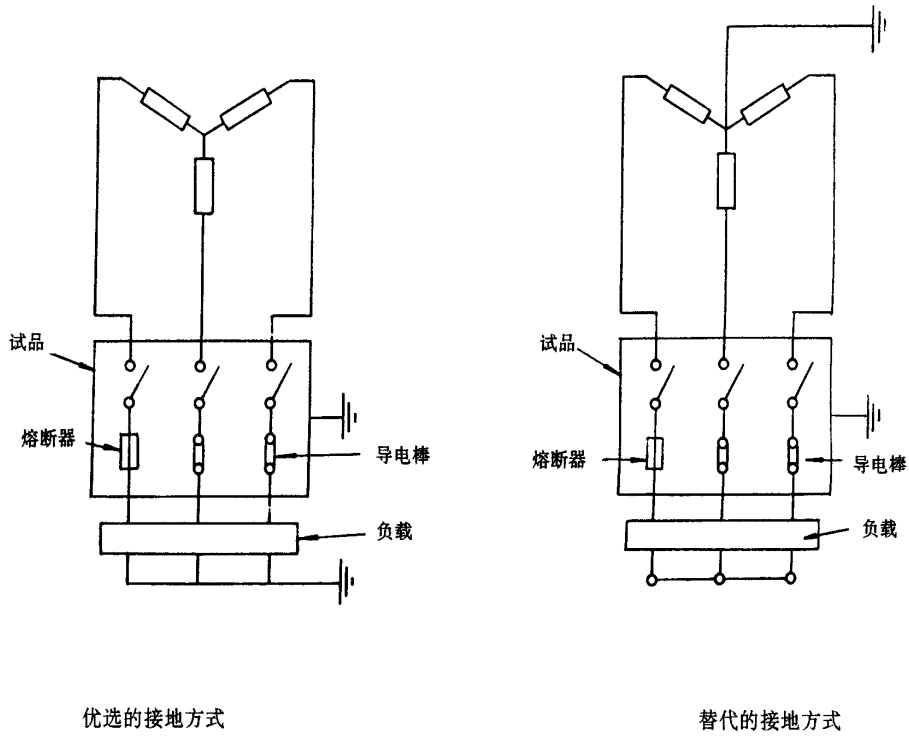
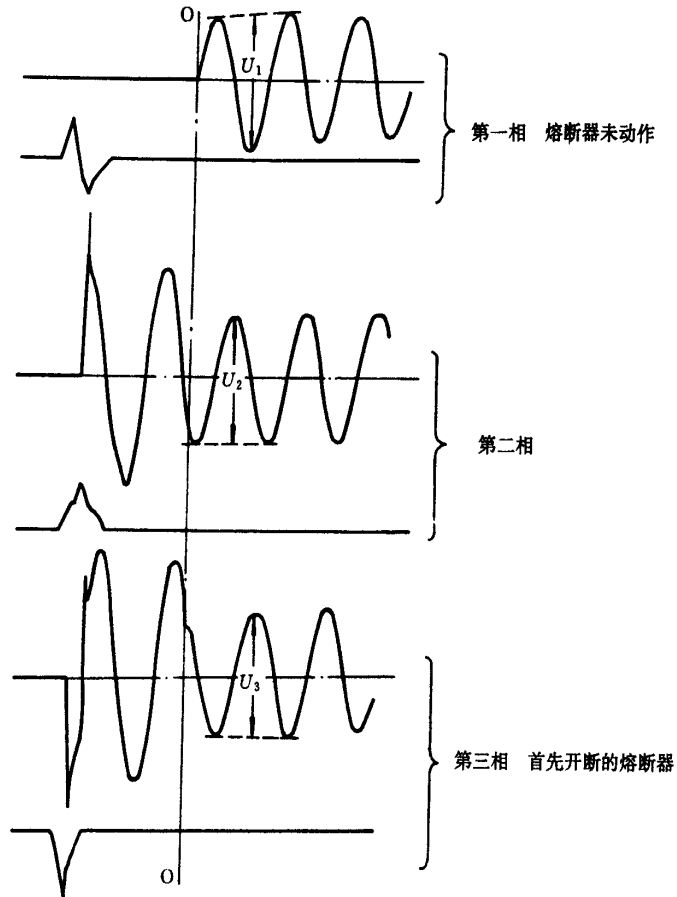


图 5 试验方式 4 和 5 的试验回路布置



$$\frac{U_1}{2\sqrt{2}} = \text{第一相电压}$$

$$\frac{U_2}{2\sqrt{2}} = \text{第二相电压}$$

$$\frac{U_3}{2\sqrt{2}} = \text{第三相电压}$$

$$\text{三相电压平均值} = \frac{\frac{U_1}{2\sqrt{2}} + \frac{U_2}{2\sqrt{2}} + \frac{U_3}{2\sqrt{2}}}{3}$$

OO—负荷开关分闸时刻

图 6 工频恢复电压的确定

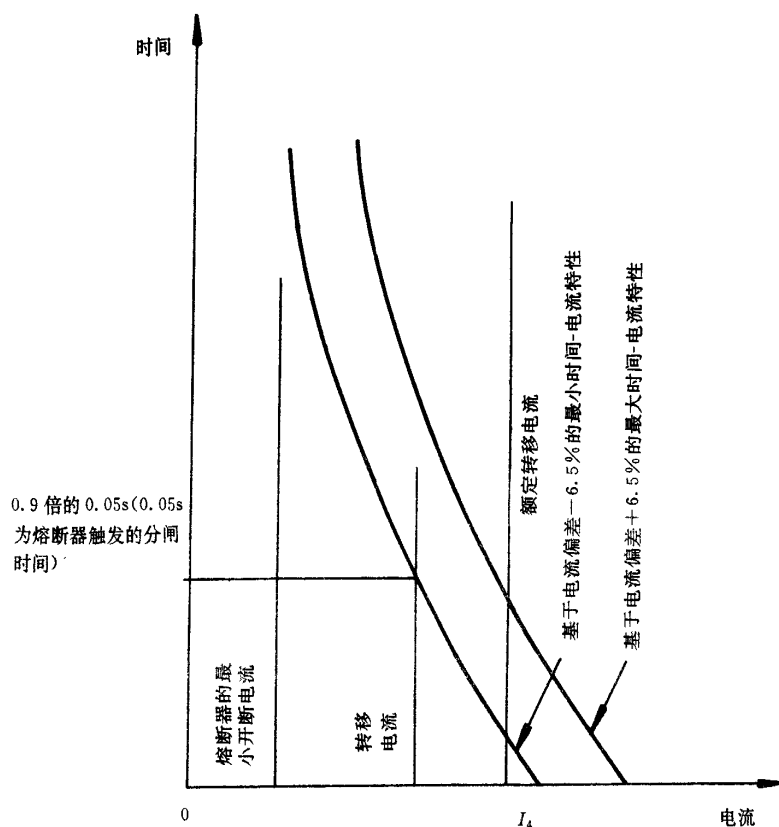


图 7 转移电流的实际确定

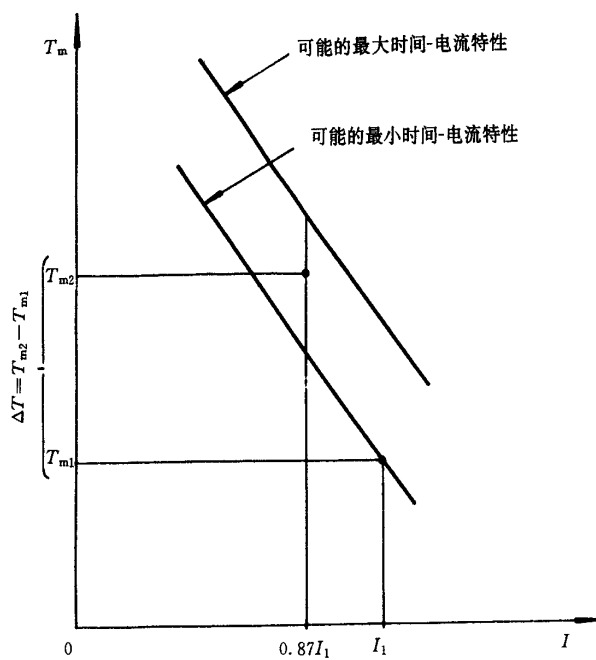


图 8 熔断器可能的最大和最小时间-电流特性

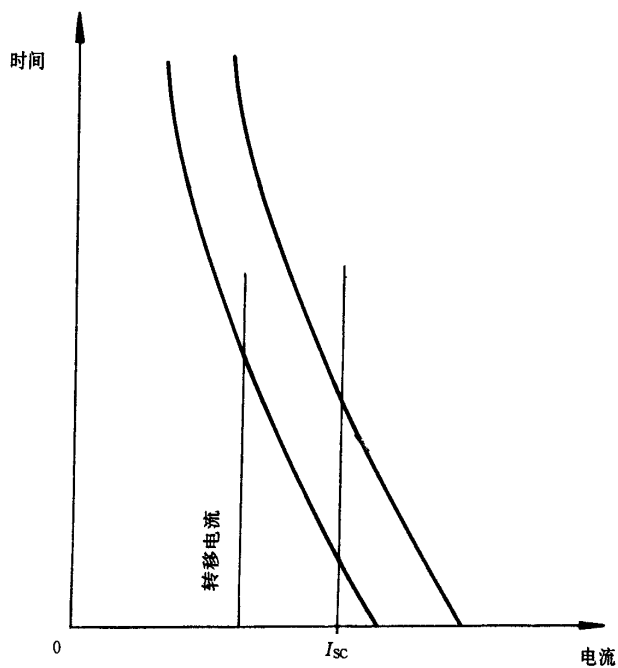


图 9 转移电流与由变压器二次端子直接短路引起的一次故障电流 I_{sc} 的关系

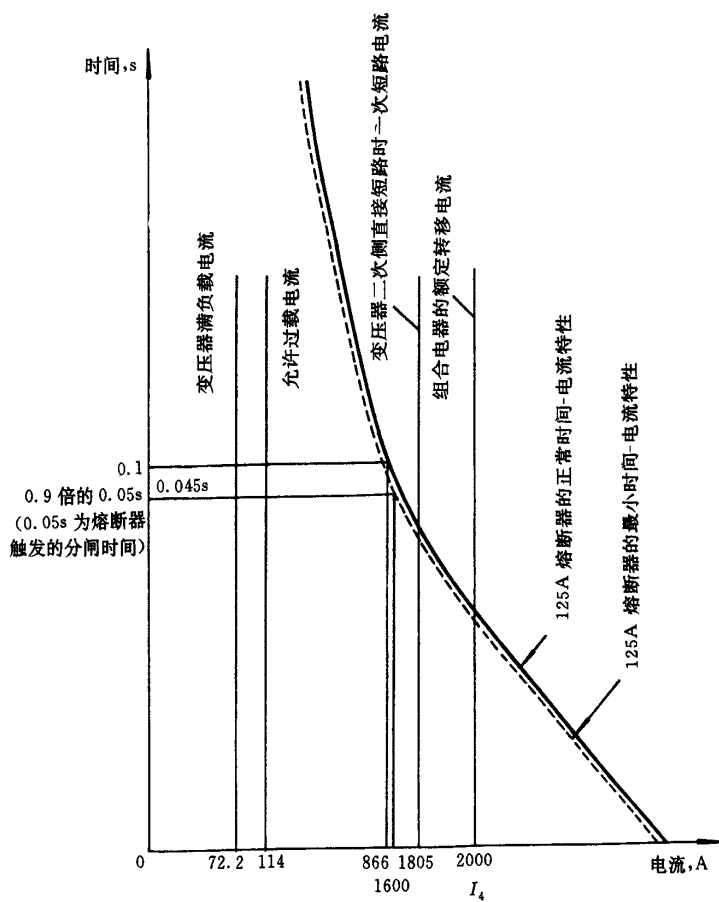


图 10 相应于 10 kV, 1 250 kVA 的变压器保护的特性

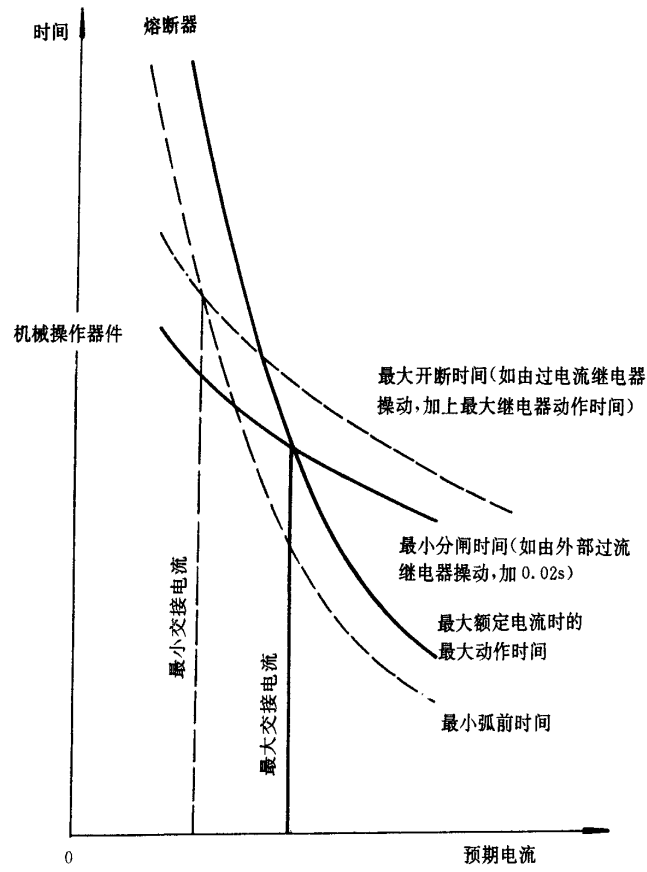


图 11 确定交接电流的特性图

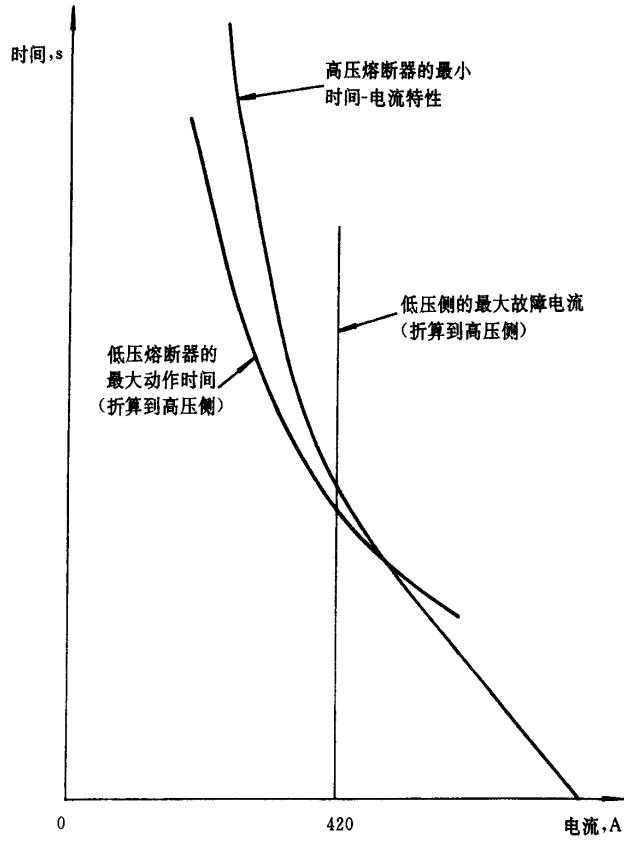


图 12 高压和低压熔断器之间的配合

附录 A

(标准的附录)^{1]}

负荷开关—熔断器组合电器运行的使用导则

A1 目的^{2]}

本使用导则,按照 GB 3804—90、GB 15166—94 和本标准进行试验所确定的参数,规定保证负荷开关—熔断器组合电器安全运行的使用准则。

本标准中规定的试验方式和把这些试验用于其它组合电器的相关使用导则已能概括绝大多数用户的要求。然而,在某些情况下,例如,型式试验是在某制造厂提供的全范围熔断器的组合电器上进行的,若采用后备保护熔断器时,可能还要进行附加的组合电器试验。这样一种试验需制造厂同用户协商。

A2 负荷开关和熔断器的配合

A2.1 额定短路开断电流

组合电器的额定短路开断电流,在很大程度上,取决于所选用的熔断器,且应大于等于配电系统中组合电器安装地点的最大预期故障电流水平。

A2.2 额定电流

熔断器的额定电流是参照熔断件单个在空气中或油中试验时的温升而确定,当熔断器用于外壳中,可能须降低电流额定值,以便仍能符合温升要求。考虑功耗试验结果,可得到降低额定值的使用导则。

组合电器的额定电流是由负荷开关—熔断器的温升试验数据确定的,且取决于负荷开关和熔断器的型式及额定值。

如果使用地点的环境温度高于规定的环境温度(见 GB 11022—89 第 3 章),则组合电器的额定电流应有所降低。

注:组合电器的额定电流一般小于熔断器的额定电流,但不应小得过多。

A2.3 低过电流特性

当故障电流低于组合电器中所用熔断器的最小开断电流时,在熔断器因长时间的内部电弧损坏之前,组合电器正确动作是靠一个或几个熔断器的撞击器撞击负荷开关的脱扣机构而使负荷开关分闸保证的。

应该遵守 7.5.6.3 规定的准则,以保证组合电器正确动作。然而在 7.5.6.3a)1)中第一种情况下,没有对熔断器触发的负荷开关分闸时间和熔断器的无损伤耐受时间之间规定任何裕度。根据实践经验建议熔断器的无损伤耐受时间至少比熔断器触发的负荷开关分闸时间长 50%。这样就给制造公差和使用条件的变更留有合理的安全裕度。

7.5.6.3a)1)中第二种情况基于证明的这样一个概念:当故障电流刚刚小于实际最小开断电流时的燃弧半波数总是大于故障电流刚刚大于实际最小开断电流时的燃弧半波数。利用这一概念,只要去检查所用的熔断器按照 GB 15166.2—94 有关规定进行试验方式 3 试验的示波图,并测量其燃弧时间。如果燃弧时间大于相应组合电器中熔断器触发的负荷开关分闸时间,则认为第二种条件已被满足。

确切地讲,应该是负荷开关的开断时间而不是分闸时间。然而,通常情况下,分闸时间便于测取,并

采用说明:

1] 即 IEC 420:1990 的第 8 章。本标准将此章作为标准的附录编写,以适应我国的使用习惯。

2] 即 IEC 420:1990 的 8.1。本标准取消了 IEC 420:1990 中第二段及第三段,因此两段无实际的技术内容,不影响对本标准的采用。

且对使用已足够准确。在某些特定情况下,负荷开关的燃弧时间与其分闸时间可比时,则应采用负荷开关的开断时间。

A2.4 转移电流

组合电器的转移电流取决于两个因素,即熔断器触发的负荷开关分闸时间和熔断器的时间-电流特性。

在转移点附近,三相故障条件下,最快的熔体熔化的首开相,其撞击器开始使负荷开关分闸。其余两相将承载减小了的电流(87%),它或者被负荷开关或者被剩下的熔断器开断。转移点是指负荷开关分闸和熔体同时熔化的时刻。

为了实用,对于给定用途的转移电流可通过下面方法决定。

在熔断器的最小弧前时间-电流特性(基于电流偏差-6.5%)上对应于0.9倍熔断器触发的负荷开关分闸时间的时间(见图7)(推导见附录C)所对应的电流值就是三相转移电流值。且该值不能大于制造厂提供的用于试验方式4的额定三相转移电流。装有熔断器的一相的电流开断后,进行试验方式4时安装有导电棒的负荷开关两相中的试验电流将等于 $\sqrt{3}/2$ (即87%)倍的额定转移电流值。

上述方法的数学论证见附录C。

注:A2.4和A2.5中的电流偏差选 $\pm 6.5\%$ (即 $\pm 10\%$ 的 $\pm 2\sigma$)是基于当前的实践。

A2.5 交接电流

组合电器的交接电流值取决于两个因素,即脱扣器触发的负荷开关分闸时间和熔断器的时间-电流特性。交接电流值为一过电流值,小于这一电流时,熔断器把开断电流的任务交给脱扣器触发的负荷开关承担。

为了实用,对于给定用途的最大交接电流可通过下面方法来确定。

在熔断器的最大弧前时间-电流特性(基于电流偏差+6.5%)上(见图11),时间坐标为最小的脱扣器触发的负荷开关分闸时间,如果适用再加上0.02s(以代表外部继电器的最小动作时间)后的总时间,则所对应的电流就是交接电流值。而且该值不应大于制造厂提供的用于试验方式5中的额定交接电流值。

A2.6 转移电流范围内涉及到的故障类型^{1]}

除非变压器的二次保护失败或者一次和二次保护之间的错误配合,一次侧保护装置专门保护变压器二次保护装置前面的故障,很少保护二次线路故障。

变压器二次端头直接短路时产生的一次故障电流为:

$$I_{sc} = \frac{100I_T}{Z}$$

式中: I_T ——变压器(一次侧)的额定电流。

Z ——变压器短路阻抗百分比。

正如表7后面注2)指出的,变压器二次端头直接短路使得一次侧故障产生严酷的TRV值,组合电器中的负荷开关不具有开断这种故障的能力。因此,必须由熔断器单独将此故障开断,而不把开断任务转移给负荷开关。也就是说,转移电流应总是小于 I_{sc} (见图9)。

满足这个条件后,转移电流就相当于这样一类故障。其弧阻抗和故障线路阻抗降低了电流的幅值和TRV值,且提高了功率因数。

示例见附录B。

A2.7 关合开断型式试验有效性的扩展

对所有的负荷开关—熔断器组合电器进行试验,或者每次变更熔断器时,对组合电器进行重复试验

采用说明:

1] 本标准此条将IEC 420:1990的8.2.6和附录B中的B4合并叙述,使得在编排上更为合理,使用方便。

是不现实的,本条款规定了关合开断型式试验的有效性扩展到那些未经过试验的负荷开关—熔断器组合电器的条件。

负荷开关—熔断器组合电器制造厂或者用户都能利用这一扩展条件自行决定其它类型的熔断器是否可有效地用在组合电器中。扩展关合开断型式试验有效性的条件基于下列原则:

a) 用于组合电器的熔断器或变更过的熔断器应按 GB 15166.2—94 取证,因而不仅要对熔断器进行试验验证,而且熔断器制造厂还应提供其截止电流和动作 I^2t 值。

b) 熔断器的截止电流和动作 I^2t 值不应大于组合电器中经过型式试验的熔断器的相应值,以保证负荷开关不承受没有经过验证的条件。

c) 必须有证据说明,在低过电流条件下,对熔断器发生任何不可接受的外部损伤之前,负荷开关应能脱扣。

d) 应采用在组合电器中进行过型式试验的熔断器的相同能量输出的撞击器,以保证负荷开关可靠脱扣。

e) 仅对熔断器式负荷开关而言,熔断件质量(mass)的任何变化不应使机械操作失效。

A3 操作

a) 在一特定的组合电器中应安装三相同一型号和同一额定电流值的熔断器,否则,对组合电器的开断性能会产生不良影响。

b) 正确地安装带撞击器的熔断器,对组合电器的正确动作是非常重要的。

c) 当负荷开关—熔断器遇到三相故障操作时,则有可能出现下列情况。

1) 三相熔断器中两相动作;

2) 三相熔断器均已动作,但其中只有两相熔断器的撞击器动作。

三相使用条件下,一组熔断器的这种部分动作,不应该认为是不正常的。

d) 当系统中无任何明显的故障迹象,而负荷开关—熔断器已动作,则检查动作过的熔断器可为故障的类型和故障电流的近似值提供线索,这样的研究工作可由熔断器制造厂进行并向用户提供这类服务。

e) 除非确知未熔化的熔断器中没有通过过电流,否则,组合电器中一相或两相熔断器动作后,最好废弃或更换所有的三相熔断器。

f) 更换熔断器之前,操作者应该核实:熔断器底座与组合器中所有可能仍带电的零部件在电气上是否已隔离。这一点,当熔断器底座没有可见隔离断口时尤为重要。

A4 联锁

采用 GB 3906—89 中 6.7 的适用内容。

附录 B

(提示的附录)¹⁾

熔断器、负荷开关和变压器配合的例子

用户根据具体的运行要求选定变压器,从而确定了全负载电流和最大允许过负荷电流。

高压系统的最大故障电流值是已知的。

本附录选取 10 kV, 1 250 kVA 变压器作为例子,所在高压侧系统的最大故障电流为 31.5 kA。

采用说明:

1) 即 IEC 420:1990 的附录 A。为了使该例子更适用我国实际使用情况,本标准对变压器举例赋值不同于 IEC 420:1990。

a) 满负载电流约:72.2 A;

b) 假定允许短时过载为 150%,并在变压器的“-5%”分接处,过载电流可近似为:

$$72.2 \times 1.05 \times 1.5 = 114 \text{ A}$$

c) 冲击励磁涌流(最大持续时间 0.1 s)为:

$$72.2 \times 12 = 866 \text{ A}$$

现场周围空气温度是 45℃,也就是说高出标准 5℃。

假定用户已决定选用某制造厂的一台额定电压为 12 kV 负荷开关—熔断器组合电器去控制和保护该变压器。

负荷开关—熔断器组合电器制造厂可在组合电器按本标准进行型式试验基础上并参照附录 A 中 A2.7,列出可用在该组合电器中的熔断器清单,并建议选用哪些熔断器更合适。

假定组合电器制造厂建议选用某个熔断器制造厂某一给定型号的一组 10 kV,125 A,40 kA 的后备保护熔断器,为了确证这一建议,组合电器制造厂应核实:

1) 熔断器可以承受 866 A 变压器励磁涌流 0.1 s。这可通过检查熔断器的时间-电流特性或向熔断器制造厂咨询而得到证实。

2) 装入熔断器后,负荷开关—熔断器组合电器的额定电流值足以允许在周围空气温度为 45℃时变压器周期性过载到 114 A。

注:装入熔断器后,组合电器的额定电流值可能达不到 125 A,特别是在高于标准的环境条件下使用;组合电器温升试验或计算可以说明电流额定值,如在 45℃的环境条件下,额定电流值为 120 A,则可以满足使用。

3) 在熔断器时间-电流特性 10 s 范围内,熔断器的弧前电流足够低以保证更好地保护变压器,为了达到这一点,通常通过检查熔断器的时间-电流特性或向熔断器厂咨询。

4) 熔断器应能单独处理变压器二次端头直接短路的故障条件,也就是说,最大一次短路电流(按 GB 1094—85 的规定,变压器阻抗按 4%考虑)。

$$\frac{1\ 250}{10 \times \sqrt{3} \times 4\%} = 1\ 805 \text{ A}$$

大于装有 125 A 熔断器组合电器的转移电流(见 4.2.7);为此,利用附录 A2.4 中所述的方法确定转移电流。本例假定熔断器触发的负荷开关分闸时间为 0.05 s,由图 10 确定的转移电流仅为 1 600 A。

5) 假定选用的组合电器的额定转移电流为 2 000 A,则装入 125 A 熔断器后组合电器的实际转移电流小于其额定转移电流 I_4 ,并且小于变压器二次端子直接短路时一次侧故障电流。

这是为保证组合电器中的负荷开关不去承受没有经过试验的条件。

供电当局必须检查这些熔断器,在低压系统中发生相间故障条件下与高额定值的低压熔断器的配合问题。

注:这通常是配合的最严条件。

高压熔断器与低压熔断器的时间-电流特性交点处的电流值应大于低压熔断器负载侧的最大故障电流(见图 12)。

附录 C

(提示的附录)^{1]}

确定转移电流的程序和试验方式 4 有关参数的论证

C1 背景资料

转移电流定义为,在撞击器操作下,开断任务由熔断器转移到负荷开关时的电流(见 7.5.5.4 第一段)。

转移电流发生在第一相熔断器起弧后,负荷开关在该相熔断器的撞击器驱动之下,在第二相熔断器熔断之前或与之同时开断,这是因为熔断器熔化时间存在着不可避免的差别。

转移电流的确定取决于熔断器熔化时间差 ΔT 与撞击器触发的负荷开关分闸时间的比较。

C2 ΔT 的数学确定

图 8 表示出在转移电流范围内可能的最大和最小的熔断器时间-电流特性小线段。

在最小特性上的时间 T_{m1} ,是在三相故障电流 I_1 下首先动作的熔断器的熔化时间。

时间 T_{m2} 是第二动作相熔断器的熔化时间。时间 T_{m2} 要小于最大时间-电流特性上的两相电流 ($0.87I_1$)所对应的时间,这是由于第二动作相的熔断器已经经过了一个三相故障电流 I_1 时间为 T_{m1} 。

可以近似认为在转移电流附近的小范围内,时间-电流特性在对数坐标中为直线,它们的关系式为:

$$\log T_m = -\alpha \log I + \log C$$

即
$$I^\alpha T_m = C \dots\dots\dots (C1)$$

式中: α ——梯度。

$\log C$ ——定义为直线在纵坐标上的截距。

把等式(C1)用于表示最小时间-电流特性,则最大时间-电流特性的关系式为:

$$I^\alpha T_m = C(1 + X)^\alpha \dots\dots\dots (C2)$$

式中: X ——为最大和最小时间-电流特性之间电流的偏差,而且定义为 $100X\%$ 。

在三相故障电流 I_1 ,时间 T_{m1} 时,第一根熔断器熔断,按照等式(C1):

$$I_1^\alpha T_{m1} = C \dots\dots\dots (C3)$$

经过电流 I_1 ,时间 T_{m1} 后,第二根熔断器在两相故障电流 $0.87I_1$,时间 T_{m2} 时熔断。按照最大时间-电流特性式(C2)即:

$$I_1^\alpha T_{m1} + (0.87I_1)^\alpha (T_{m2} - T_{m1}) = C(1 + X)^\alpha \dots\dots\dots (C4)$$

综合式(C3)和(C4)可得出:

$$\Delta T = (T_{m2} - T_{m1}) = T_{m1} \left[\frac{(1 + X)^\alpha - 1}{(0.87)^\alpha} \right] \dots\dots\dots (C5)$$

C3 转移电流的实际确定:

选取一个实用的熔断器时间-电流特性的统计偏差为 $\pm 6.5\%$ ($\pm 10\%$ 的 $\pm 2\sigma$),则此时 $X=13\%$ 。

再根据熔断器触发的负荷开关分闸时间在 $0.05 \sim 0.3$ s 之间,实践中通常遇到的 α 值是 4,则由等式(5)可得出:

采用说明:

1] 即 IEC 420:1990 的附录 B,本标准将其 B4 移入附录 A 中。

$$\Delta T = T_{m1} \left[\frac{(1 + 0.13)^4 - 1}{(0.87)^4} \right] = 1.1 T_{m1}$$

转移点就发生在熔断器触发的负荷开关时间 T_0 等于 ΔT 时:

$$T_0 = \Delta T = 1.1 T_{m1}$$

或

$$T_{m1} = 0.9 T_0$$

因此,转移电流可以定义为:熔断器最小时间-电流特性上,熔化时间等于 $0.9 T_0$ 时的电流值。
