



# 高压电器外绝缘环境技术的评述和展望

清华大学 关志成

**[摘要]** 1990年年初,我国发生了大面积污闪事故,给电力工业和国民经济造成严重损失,同时对高压电器外绝缘环境技术的研究提出急迫的要求。本文对高压电器外绝缘环境技术的特点、研究方法、现状和问题作出评述,同时分析和展望了该技术的研究方向和发展趋势。

## 一、前言

在潮湿、脏污环境条件下,沿高压电器产品外绝缘的闪络(简称污闪)往往造成长时间、大面积停电事故,是对电力系统安全运行的严重威胁。污闪事故的特点是:1.重合闸往往不成功,抢修时间长,电量损失大。2.事故波及面大,甚至会造成一个地区、整个城市的停电。3.和地理、气候、污染程度等环境条件密切相关。

输电线路从建立之日起,污闪事故就成为困扰电力系统安全运行的难题。经过人们近百年的努力,虽想出很多办法,但至今尚未找到根治措施。随着生产发展,输电线路不可避免延伸到高海拔地区、近海岸线等恶劣环境条件中。伴随工业发展的污染问题未得到有效控制,再加上化肥、农药的大量使用,使得环境污染问题日趋严重。上述因素造成污闪事故更加频繁,使电力系统安全运行面临严峻形势。

1990年年初,我国北方广大地区长期干旱少雨,突遇连续多雾潮湿的天气,高压电器外绝缘表面的积污在长期干旱条件下得不到雨水清洗,积污严重。在雾、露等气候条件下绝缘子表面形成导电水膜,造成了极易发生污闪事故的环境条件。我国华北、东北、西北、华中等地区相继发生污闪事故,发电厂、变电

站、110kV~500kV的高压输电线路都有污闪事故发生,污闪事故之频繁,事故涉及面之广,损失之严重,实属罕见。

大面积污闪造成的难以估量的损失,给环境技术工作者提出了紧迫的研究课题。高压电器外绝缘的环境技术条件、环境试验方法、环境条件检测、可靠性评估以及防污闪的具体措施等,都是急待解决的研究课题。高压电器外绝缘的环境技术研究是我国科研中的薄弱环节,紧迫需要组织力量、立项攻关。

## 二、高压电器外绝缘的环境技术特点

高压电器的绝缘分内绝缘和外绝缘两部分,本文主要讨论外绝缘问题,即裸露在大气中的绝缘部件的绝缘问题,如线路绝缘子、电站棒形支柱、电器套管等的绝缘问题。高压电器外绝缘的工作环境有如下特点:

1、工作在高电压、高场强的环境条件下,除承受持续作用的工作电压外,还承受雷电过电压和操作过电压等暂态电压的作用。

2、直接受气候条件的影响,裸露在大气中的外绝缘承受酷暑严寒、风吹日晒、雨雪冰霜的作用。气压、温度、大气湿度都影响外绝缘的放电电压。<sup>[1]</sup>

3、我国幅员辽阔,各地区的地理环境、气候条件千差万别,高压电器外绝缘的工作环境也是千差万别。

4、外绝缘的放电是固体介质和气体交界面的放电现象,外绝缘的表面状态明显影响它的工作状况,例如绝缘表面积污的高压电器,在潮湿条件下的放电电压大大降低,甚至在工作电压下就会沿面闪络,造成事故。如果绝缘表面呈憎水状态,则沿面闪络电压较高;如果呈亲水状态,则沿面闪络电压较低。

5、高压电器一般都是多元件并联工作,例如线路绝缘子串是数以百计、千计地并联工作,只要其中任何一串闪络,就会造成整条输电线路的停电事故,因此对每个元件的工作可靠性要求甚高。

上述特点决定了高压电器外绝缘环境技术的研究,难度大,要求高。

### 三、高压电器外绝缘的环境试验技术

#### 1、高压电器外绝缘承受电压的模拟

高压电器外绝缘不仅承受长期工频工作电压的作用,还会承受雷电过电压、操作过电压等暂态电压的作用。为研究外绝缘在各种电压作用下的特性,已研制和发展了多种试验电源及相应的试验方法。<sup>[2]</sup>

高压试验变压器提供工频工作电压,除对50周的波形有一定要求外,还要求电源的外特性比较坚挺,尤其是作污闪试验的变压器,要求提供较大的短路电流。

冲击电压发生器可产生以微秒计的雷电冲击电压和以百微秒计的操作冲击电压。国际电工委员会对这两种电压的波形作出了严格的规定和要求。雷电冲击电压的波形是双指数形式,操作冲击电压有双指数波形和震荡波形两种形式。

#### 2、高压电器外绝缘环境条件的模拟

由于环境条件十分复杂,种类万千,不可能一一模拟。解决的方法有两条途径,一是研究气压、温度、空气湿度等因素对外绝缘放电电压的影响,找出影响规律,把各种气象条件下的放电电压值换算成标准大气状态下的放电电压值。<sup>[1]</sup>

第二种途径是模拟几种典型的严酷气候条件,研究在这些典型条件下的放电规律。目前已能模拟的环境条件有:

(1)大雨:对雨量、雨水电阻率、淋雨角度都有严格的规定,电器外绝缘的雨闪试验可反映高压电器在大雨条件下的绝缘耐受能力。此项试验技术比较成熟,各种高压电器的外绝缘都对雨闪电压提出了明确的要求。<sup>[2]</sup>

(2)复冰:在人工气候室使外绝缘表面复冰,研究在复冰条件下外绝缘的放电现象和闪络规律。

(3)大雾和凝露:在人工雾室造成大雾或使绝缘表面凝露的气候条件,研究表面湿润状态外绝缘的放电规律。

(4)积尘:利用风洞,研究不同形状绝缘部件在自然界的表面积污状况。

(5)冷热试验:按一定周期将绝缘子依次放进冷、热两种环境中,考验绝缘部件耐受温度骤变的能力。

上述几种方法都是单因素环境条件模拟,实际上还广泛采用多因素环境模拟的方法,其中最主要的是污秽试验。由于污闪事故较为严重,因而受到较多的重视,已发展起多种试验方法。总体上可分为两大类:一是自然污秽试验,二是人工污秽试验。

自然污秽试验可在自然污秽试验站进行,是自然界的积污和湿润条件,试验站可对脏污程度作自动检测,同时可统计外绝缘的闪络次数,从而能对不同形状试品耐污闪能力的优劣作出定量评价。自然污秽试验也能在实验室进行,这是将自然积污的绝缘子放在人工雾室中,使绝缘表面达到饱和受潮状态,再加上电压使试品闪络。这种方法可在较短时间里获取大量的污闪电压数据,便于作出统计评价。

人工污秽试验是同时模拟外绝缘的积污和受潮条件,常用的方法有三种。<sup>[3]</sup>

##### a. 固体污层法

用硅藻土或高岭土模拟污物中的不导电成分,用 NaCl 模拟污物中的导电成分。定量配制好的污液可用刷、浇、浸等多种方法涂敷在试品的绝缘表面。污层干透后才放在雾室中受潮,外绝缘的积污和受潮过程都用人工方法模拟,人工雾的种类有冷雾、热雾及冷热混合雾。受潮方式又分缓慢受潮和快速受潮,施加电压方式也有多种,如干燥的试品放进雾室就立即加压,或待污层达饱和受潮状态后再施加电压等。此方法又称清洁雾法,在我国应用较多。此方法所模拟的污闪过程较接近于内陆及工业污源的情况。

#### b. 盐雾法

将定量配制的食盐水溶液,用规定的喷头按一定方向喷射,使盐雾弥散在整个雾室中。污秽等级由盐水的浓度决定。此方法主要模拟沿海的污秽状况。

#### c. 湿污法

此方法不需要雾室,将外绝缘表面涂污后立即加压,配制的污液比固体污层法的污液要粘稠,水分维持时间较长。规定的污液有以甲基纤维素为主体及以高岭土为主体两大类。这种人工污秽实验方法比较接近于实际运行的冷合闸状态。

目前的发展趋势,一是进一步完善已有的试验方法,严格执行,以使不同实验室的试验结果能够进行比较。二是根据实际需要,推出越来越多新的模拟试验方法。

例如直流输电线路的建立和发展,促进了直流污秽问题的研究。由于直流电压下的积污和污闪都比交流严重,是近年来污染绝缘问题的研究热点,已提出了相应的试验方法。<sup>[4]</sup>

高海拔地区的污闪电压远低于平原地区,为能给高海拔地区输电线路的建设和发展提供试验依据,高海拔、低气压条件下的污秽放电问题研究已提上日程。这对模拟试验环境条件提出了更高的要求,不仅要模拟出

积污和受潮而且要求实验容器能调节气压,还需引进高电压,这对试验设备提出了更高的要求。

近年来有机合成绝缘材料的发展势头迅猛,与合成绝缘材料相关联的一套试验方法正迅速发展。如有机绝缘材料的抗电蚀、抗老化及疲劳试验等。

此外,现场运行发生的由鸟粪引起的外绝缘闪络问题,湿热地区外绝缘表面长青苔问题,以及酸雨、导电雾等问题,都引起人们的重视,希望能对这些问题引起事故的机理及防护措施,进行模拟研究。

由生产实践提出的课题很多,高压电器外绝缘环境技术领域现有的试验设备和试验技术还不成熟,远不能满足需要,面临艰巨的任务。

### 四、分析和展望

高压电器外绝缘环境试验技术研究的任务很繁重,急需研究的课题也很多,然而目前我国高压电器环境技术研究的力量相对较为薄弱,建议将研究的重点放在电力系统安全运行所急需解决的污染绝缘问题研究上。最急迫的研究课题有以下三方面。

#### 1. 环境条件的试验方法研究

自然污秽试验方法等效性好,但建立自然污秽试验站需花费巨额投资,且数目有限,自然环境条件的覆盖面小。此外试验站所能收集到的数据有限,试验周期长,难以在短时期内得到试验结果。人工污秽试验方法周期短,短时间就可得到大量统计数据。然而等效性差,例如它能得到同等污秽条件下不同形状绝缘子性能的优劣,这个优劣次序可能和运行条件下绝缘子耐污性能的优劣次序不一致。因为实际耐污性能的优劣决定于积污状况和同样污秽条件下的耐污闪能力两方面的因素。常规人工污秽试验方法仅反映后者因素,很有必要研究出新的人工污秽试验方法。它不是人工均匀涂污,而是利用类似风洞的

方法,让不同形状的试品在同样条件下积污。还可用人工雨的方法,检验不同形状绝缘子的自清洗效果,再测试这些试品在同样受潮状态下的污闪电压。测得的不同形状绝缘子耐污闪能力的优劣,和自然条件下的排序是接近的。国际上已有人开始了这项研究,我们也有条件上,建议立项研究。这将对防污绝缘子造型提出明确指导意见。

### 2、外绝缘污染程度检测方法研究

对大气污染程度的检测已有了一套方法和相应的仪器。对高压电器外绝缘积污程度的检测尚无理想的方法。目前采用的几种方法都有一定问题。等值附盐密度法应用较广泛,这种方法比较简便,但反映不出易溶盐类和难溶盐类的差别,在和耐污闪能力的等价性方面很难令人满意。<sup>[5]</sup>污层电导率法需一套高压设备,在试验室里应用方便,但很难用此法在现场检测试品的污秽程度。泄漏电流法可用于现场监测,在气候潮湿的地区使用效果较好。在长期干旱地区,泄漏电流反映不出试品的综合污秽程度。新近提出的局部电导率法综合了上述几种方法的优点,值得进一步深入研究。<sup>[6]</sup>

### 3、高压电器外绝缘的环境防护问题

高压电器外绝缘环境技术的研究目标是保证设备的安全运行。通常采用的防护措施主要有三条,简称爬、扫、涂。

爬是指增大外绝缘的爬电距离,可采用增加一串绝缘子的个数,或采用泄漏距离较大的防尘形绝缘子。一般说来污闪电压不会随泄漏距离的增大而线性增加,这里有一个有效泄漏距离的问题,绝缘子的形状越复杂,泄漏距离的有效利用系数越低。设计出造型合理的绝缘外形应是制造厂和有关研究部门的努力方向。

扫是指用人工方法清扫外绝缘表面的积污。一般方法是停电手工擦拭,还发展了带电水冲洗及电动毛刷等方法。清扫工作量大,工

作条件艰苦。随着输电线路电压等级的提高及管辖范围的扩大,清扫工作量越来越大,尤其是对输电线路的清扫,困难很大,运行部门难以胜任。任务量大,清扫季节的气候条件又十分恶劣,很难保证清扫质量。

涂是指在外绝缘表面涂一层憎水涂料。常用的涂料有硅油、硅脂、地蜡等。涂憎水涂料可明显提高外绝缘的耐污闪能力。但这几种涂料都不令人满意。硅油的寿命较短,一般仅能维持半年;硅脂的寿命比硅油长,但价格较贵;地蜡涂料耐粉尘的效果不好。新近研制的RTV室温硫化硅橡胶涂料具有寿命长、憎水性可迁移等特征,从而有强的耐污闪能力,值得推广。<sup>[7]</sup>

以合成材料制造的线路及电站绝缘子或电器套管都以硅橡胶等为防护材料,硅橡胶有优良的憎水性,因而合成绝缘子的耐污闪能力要明显优于瓷、玻璃等无机绝缘材料。有机绝缘子的发展势头很猛,1989年已占据美国绝缘子市场的15%,我国已积极开展合成绝缘子的研制,这是解决高压电器外绝缘防污闪的发展方向。由于经济条件的限制,近十几年我国高压电器外绝缘仍以电瓷为主体。在电瓷表面涂硅橡胶类的憎水涂料是防污闪的有效措施,它有投资小、见效快的优点,使用寿命长,3~5年不用清扫,大大减轻维护工作量,已受到电力运行部门的普遍欢迎。积极开展长效防污憎水涂料的研制和推广,是解决防污闪事故的一项有效措施。

## 五、结 论

1、高压电器外绝缘的污闪事故日趋严重,给工农业生产造成巨大损失,对高压电器外绝缘环境技术的研究提出了紧迫任务。

2、高压电器外绝缘的工作环境条件千差万别,除受地理及气象条件影响外,还承受工作电压及雷电和操作过电压的作用,当一个部件发生问题时,就会造成整条线路或整个系统的大事故,因此,对可靠性要求极高。

# 初探国外环境试验设备的引进、消化和应用

上海爱斯佩克环境仪器有限公司 陆礼明

环境技术主要研究的是:环境适应性技术、环境控制技术、环境监测技术、环境模拟技术和体现这种技术的各种测试仪器与设备,即研究“产品与环境”相互间的关系,使产品在良好的环境中生产和使用,或者使产品能适应严酷的环境条件。现在,工业发达国家非常重视环境技术,将它作为提高产品质量和市场竞争能力的一个重要手段。

随着我国工业和技术的发展,对环境模拟技术和环境设备提出了许多新的更高的要求。近十几年来,我们国内的不少单位引进了国外的先进环境试验设备,以满足产品的设计改进、适应性和可靠性实验需要。笔者在中日合资的环境试验设备公司从事技术工作数年,回顾几年来的工作实践,现就引进、消化和应用国外环境试验设备谈些粗浅的认识。

## 一、引进的必要性和计划性

对工业产品环境适应性方面的研究,国际上始于本世纪初,一九一四年在美国材料

试验学会第十七届年会上便提出用人工模拟进行盐雾试验,西德西门子公司在一九二一年就制造了简单的湿热试验设备。英国工业革命和第一次世界大战以后,由于军用品的可靠性得到了很大的重视,美国和西欧的工业国家在环境试验设备上花了一定的力气,大大推动了环境试验技术和环境试验行业的发展。与工业发达国家相比,我国环境适应性技术的研究工作的起步也属较早的国家之一,近二十年来已经涌现出了一批面向行业、拥有一定环境试验能力的环境试验研究中心。但是,在环境试验仪器设备方面还存在着不少的差距,主要表现在种类、数量和技术上。

### 1、在种类上

国内环境试验设备的大类分为气候环境试验设备、机械环境试验设备和其它环境试验设备,工作室容积小的在零点一立方以下(即一百升以下),大的在几十个立方以上。然而,国外产品的系列更多,尺寸更大,用途更

3、我国高压电器外绝缘环境技术的研究力量较薄弱,建议组织力量在三个方面立项攻关:

a、包括积污、自清洗、受潮、污闪全过程的环境技术研究方法。

b、绝缘表面污秽程度检测等环境条件测试方法的研究。

c、高压电器外绝缘的环境防护措施。

## 参考文献

[1]〈高电压绝缘〉 清华大学、西安交通大学合编,电力工业出版社,1980年。

[2]〈高电压试验技术〉 张仁豫等编著,清华大学出版社,1982年。

[3]〈Artificial Pollution Test on High—Voltage Insulators to be used on AC Systems〉  
IEC Report publication 507, 1975.

[4]〈Artificial Pollution Tests on High—Voltage Insulators to be used on DC Systems〉  
WG9 of TC36,1989

[5]〈自然污秽可溶盐构成及其对污闪电压值的影响〉  
关志成等 〈电瓷避雷器〉,1989. 6.

[6]〈局部表面电导率—表征绝缘子污秽程度的一种新方法〉 张仁豫、关志成等, 〈高电压技术〉,1990. 1

[7]〈RTV—一种新型绝缘子防污憎水涂料〉 关志成、薛家麟,〈电力技术〉,1990. 10.



论文写作，论文降重，  
论文格式排版，论文发表，  
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，  
英文翻译，提供全流程发表支持  
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：[http://www.paperyy.com/reduce\\_repetition](http://www.paperyy.com/reduce_repetition)

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

---

### 阅读此文的还阅读了：

- [1. 高电压外绝缘技术的新发展](#)
- [2. 加强服务意识 营造创新环境 促进科技创新——北京中医药大学科技工作回顾与展望](#)
- [3. 光电信息实验中心的建设与思考](#)
- [4. 小合成氨厂脱碳技术评述](#)
- [5. 小合成氨厂脱碳技术评述](#)
- [6. “直流断路器关键技术研究”课题取得重大进展](#)
- [7. 气候变暖背景下碳足迹研究现状与展望](#)
- [8. 技术经济学科发展述评与展望](#)
- [9. 近10年中国英语词汇学习策略研究综述](#)
- [10. 江淮城市群的研究述评及展望](#)
- [11. 把握电业脉搏——记陕西电力科学研究院高压电器技术研究所副所长王森](#)
- [12. 基于流动性视角的第二居所旅游研究综述](#)
- [13. 2005年中国石油和化工行业经济形势评述与今后展望](#)
- [14. 二十一世纪国际金融发展趋势展望](#)
- [15. 城市建筑环境展望](#)
- [16. 高等级公路建设与环境的协调发展](#)

- [17. 未来纺纱技术展望](#)
- [18. 企业持续创新理论研究评述](#)
- [19. 业绩创新纸回升仍艰难—纺织板块2001年业绩评述及展望](#)
- [20. 关于物业环境管理建设的思考和展望](#)
- [21. 质量功能展开:评述与展望](#)
- [22. 热泵的现状与展望](#)
- [23. 高压电气设备外绝缘试验时高海拔修正因数的计算](#)
- [24. 有机碳同位素示踪古环境变化研究](#)
- [25. 数显式高压兆欧表基本技术综览](#)
- [26. 供大于求 价格低迷——2002年1~4月钨市场评述](#)
- [27. 竹炭生产工艺浅述](#)
- [28. 国外卫星侦察与监视技术发展的综合评述与体制初探](#)
- [29. 并购背景下品牌整合研究评述及展望](#)
- [30. 助力食品安全的无线扫描 追踪追溯技术回顾与展望](#)
- [31. 我国环境经济政策评述](#)
- [32. 中国酒曲技术的发展与展望](#)
- [33. 中国世界遗产地旅游与社区参与研究评述](#)
- [34. 2005年广西软件产业发展状况与2006年发展展望](#)
- [35. 2008专家展望智能建筑行业发展——北京2008年奥运会的基本信息化环境](#)
- [36. 中国非政府组织筹资环境评述](#)
- [37. 光纤化学传感器的研究及其在环境分析中的应用](#)
- [38. 妇女贫困:从农村到城乡,从收入贫困到多维贫困——2000年以来中国“妇女贫困”研究评述与展望](#)
- [39. 干粉砂浆技术发展及在宁波地区应用展望](#)
- [40. 盈余质量研究:评述与展望](#)
- [41. 我国沿海港口发展与布局研究综述](#)
- [42. 环境风险评价现状与建议](#)
- [43. 我国铀矿冶技术成就和今后发展方向](#)
- [44. 高海拔对电力机车车顶高压电气外绝缘的影响及试验电压修正](#)
- [45. 我国稀土矿选矿生产现状及选矿技术发展](#)
- [46. Metallomics in environmental and health related research: Current status and perspectives](#)
- [47. 环境向好, 稳健发展--家电行业2014年运行形势展望](#)
- [48. 高压电器设备绝缘试验技术研究](#)
- [49. 日本新药研制环境展望 学术机构新药研发遇紧急关头没有药物化学知识是症结](#)
- [50. 中国河口研究五十年:回顾与展望](#)