

电气设备故障试验诊断 **攻略**

绝缘子

丛书主编 包玉树
本册主编 刘洋

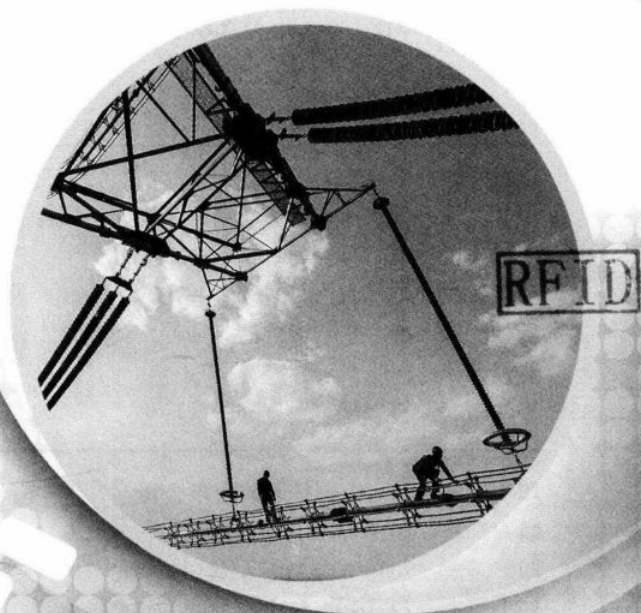


中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电气设备故障试验诊断 攻略

绝缘子

丛书主编 包玉树
本册主编 刘洋



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

绝缘子是电力系统中常用的一种电气设备，在长期运行过程中，绝缘子会受到雷击、污秽、温差等环境因素的影响，承受电气、机械应力的综合作用。本书主要叙述不同绝缘子的基本类型和定义，各类绝缘子的常见故障类型、故障诊断技术及解决措施，输变电防污闪传统技术和新技术研究与应用。

本书共分六章。第一章介绍了绝缘子的定义、分类、污闪问题及防治。第二至四章分别介绍了瓷绝缘子、复合绝缘子、玻璃绝缘子的常见故障形式，日常检测方法，典型故障案例及预防措施等。第五章介绍了输变电设备污闪事故原因并列举了近年来具有代表性的污闪类型。第六章介绍了绝缘子防污闪技术手段的最新发展成果，介绍了RTV自动喷涂，盐、灰密自动测量及污秽在线监测等新型防污闪手段的原理和应用。

本书可作为电力系统运维、检修及科研部门技术人员了解和掌握输变电设备外绝缘问题的参考资料，也可作为从事外绝缘领域技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电气设备故障试验诊断攻略. 绝缘子 / 刘洋主编; 包玉树丛书主编. —北京: 中国电力出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-5198-2782-3

I. ①电… II. ①刘…②包… III. ①电气设备—故障诊断②绝缘子—故障诊断 IV. ①TM07②TM216

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第287926号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 王 南(010-63412876)

责任校对: 黄 蓓 李 楠

装帧设计: 郝晓燕 赵姗姗

责任印制: 石 雷

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

版 次: 2019年7月第一版

印 次: 2019年7月北京第一次印刷

开 本: 787毫米×1092毫米 16开本

印 张: 6.25

字 数: 131千字

印 数: 0001—1500册

定 价: 26.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社营销中心负责退换

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

《电气设备故障试验诊断攻略》丛书编委会 审定委员会

主 任 黄志高

副 主 任 陈 晟 卞康麟

委 员 (按姓氏笔画排序)

马生坤 王丽峰 水为涟 吉 宏 许焕清 杜 森
李 杰 李瑶红 吴 俊 张红光 祝和明 徐建军
翟学锋

编写委员会

丛书主编 包玉树

丛书参编 (按姓氏笔画排序)

马生坤 马君鹏 王成亮 王伟津 王庆胜 王如山
王丽峰 王泽仁 王建刚 卞康麟 邓嘉欣 甘 强
叶加星 付 慧 司增彦 朱孟周 刘 洋 孙和泰
孙景奕 孙 熊 杜 森 杨小平 杨世海 杨景刚
李夕强 李 军 李 勇 李瑶红 吴 俊 吴 剑
张兴沛 陈华桂 陈志勇 陈 杰 陈明光 范 忠
周 源 孟 嘉 赵 胤 胡永建 钟子娟 钟永和
祝和明 秦嘉喜 贾勇勇 徐敏锐 殷 峰 高 山
高 嵩 黄亚龙 黄一芬 黄 磊 隋东礪 衡思坤

本册编写人员

主 编 刘 洋

参 编 陈 杰 周志成 梁 伟 高 嵩 路永玲 张 星
张 龙 胡丽斌 毕晓甜 曹京荣 李陈莹 谭 笑

前 言



目前，国家电网公司立足自主创新，大力发展特高压和智能电网并取得了重大突破，实现了“中国创造”和“中国引领”，电力事业日新月异，蓬勃向前。国网江苏省电力有限公司的广大员工随潮而动，逐梦而飞。在此背景下，经过近四年的筹划、组织、立项、编撰、审核、修改，《电气设备故障试验诊断攻略》丛书与读者见面了。

本套丛书按照一次设备的种类分别成册，内容涵盖设备结构、针对性试验、典型故障、诊断攻略等方面，重点放在具有可操作性的故障诊断上。丛书中所列故障案例，既有作者的亲身经历，也有收集借鉴的他山之石，经过筛选、加工一一呈现在读者面前，期望这套丛书能给读者带去不一样的收获。本套丛书各分册内容安排主要以故障描述、缺陷排查、综合分析、诊断攻略的形式呈现，另外对专业领域的试验与诊断新技术做了前瞻性叙述。

《绝缘子》分册共分六章，第一章主要介绍了绝缘子的定义、分类、污闪问题及防治。第二~四章分别叙述了瓷绝缘子、复合绝缘子、玻璃绝缘子的常见故障形式、日常检测方法、典型故障案例及预防措施等。第五章介绍了输变电设备污闪事故原因并列举了近年来具有代表性的污闪类型。第六章介绍了绝缘子防污闪技术手段的最新技术成果，主要介绍了 RTV 自动喷涂，盐、灰密自动测量及污秽在线监测等新型防污手段的原理和应用。

在丛书的编写过程中，得到了国网江苏省电力有限公司领导的大力支持，书中参考了其他省市电力公司的事故案例，引用了一些研究成果及试验数据，在此对相关单位的领导和专家表示衷心的感谢。

本丛书可供电力系统从事电气设备试验的工程技术人员使用，也可作为高等院校相关专业师生的学习参考资料。

由于各分册作者均为在职电力系统专家，利用工作之余的时间编写，时间仓促，书中仍有疏漏与不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2018 年 8 月

前言

第一章 概述	1
第一节 绝缘子定义与分类	1
第二节 绝缘子污闪及其防治	7
第二章 瓷绝缘子故障试验诊断	10
第一节 瓷绝缘子常见故障	10
第二节 瓷绝缘子日常检测方法	10
第三节 案例一：悬式绝缘子劣化诊断	12
第四节 案例二：长棒型绝缘子瓷件损伤	18
第五节 案例三：悬式绝缘子断串分析	21
第三章 复合绝缘子故障试验诊断	28
第一节 复合绝缘子常见故障	28
第二节 复合绝缘子日常检测方法	29
第三节 案例一：端部密封失效导致芯棒断裂	31
第四节 案例二：护套蚀孔导致芯棒断裂	35
第五节 案例三：复合绝缘子芯棒异常发热诊断	42
第六节 案例四：空心复合绝缘子硅橡胶伞裙老化案例	44
第四章 玻璃绝缘子故障试验诊断	50
第一节 玻璃绝缘子常见故障	50
第二节 玻璃绝缘子日常检测方法	50
第三节 案例：玻璃绝缘子自爆故障诊断	51
第五章 输变电设备污闪事故	55
第一节 大气环境对设备外绝缘的影响	55
第二节 案例一：雾霾环境下变电站及线路污闪事故	56
第三节 案例二：长棒型瓷绝缘子污闪事故	63
第四节 案例三：沿海重污秽地区线路污闪事故	64

第六章 绝缘子防污闪新技术	70
第一节 概述	70
第二节 绝缘子防污闪涂料	70
第三节 绝缘子污秽度自动化测量	79
第四节 绝缘子污秽在线监测系统	85
参考文献	90

概 述

第一节 绝缘子定义与分类

一、绝缘子定义

绝缘子一般由固体绝缘材料制成，安装在不同电位的导体之间或导体与接地构件之间，是同时起到电气绝缘和机械支撑的电气设备。不同类型绝缘子的结构、外形虽有较大差异，但都是由绝缘本体和连接金具两大部分组成。

用于架空线路的绝缘子称作线路绝缘子，在变电站用于支撑母线和隔离开关的绝缘子称作支柱绝缘子。套管类绝缘子的作用是作为互感器或者避雷器等设备的容器及绝缘护套，其中套管的作用是将电气设备内部带电端子和外部系统相连或者使室内的带电端子和室外系统相连。

二、绝缘子分类

根据不同的分类标准，绝缘子可以分为几种不同的类型。根据用途的不同，线路绝缘子可细分为几种不同的类型。在杆塔上用于悬挂架空导线的线路绝缘子称作悬式绝缘子。在线路的始末端、线路转弯处以及其他部位，需承受导线张力的绝缘子称作耐张绝缘子。悬式绝缘子和耐张绝缘子都是固定在与塔柱相连的塔臂上，它们的结构和形状可能一样，差别仅是悬挂方式和作用的不同。悬式绝缘子是垂直悬挂或V形悬挂，耐张绝缘子是水平悬挂；对耐张绝缘子的机械强度要求较高，特别是重要大跨越线路，往往采用多串并联方式，确保绝缘子运行安全可靠。在城市地区，为了减少线路走廊，架空线路多采用横担绝缘子，可起到绝缘和横担的作用。绝缘子通常分为可击穿型和不可击穿型。按结构可分为柱式（支柱）绝缘子、悬式绝缘子、针式绝缘子、蝶式绝缘子、拉紧绝缘子、防污型绝缘子和套管绝缘子。按应用场合又分为线路绝缘子和电站、电器绝缘子。其中用于线路的可击穿型绝缘子有针式、蝶形、盘形悬式，不可击穿型有横担、棒形悬式。用于电站、电器的可击穿型绝缘子有针式支柱、空心支柱和套管，不可击穿型有棒形支柱和容器瓷套。架空线路中所用绝缘子，常用的有针式绝缘子、蝶式绝缘子、悬式绝缘子、瓷横担、棒式绝缘子和拉紧绝缘子等。

目前常用的绝缘子有瓷绝缘子、玻璃钢绝缘子、复合绝缘子、半导体绝缘子。下面重

点介绍架空线路中常用的几种绝缘子类型。

(1) 盘形悬式绝缘子。盘形悬式绝缘子在线路中应用广泛，它由铁帽、钢脚和瓷件组成，如图 1-1 所示。金具和绝缘件之间用水泥胶装，盘形悬式绝缘子可方便的组成绝缘子串。组成绝缘子串时，钢脚的球接头插入铁帽的球窝中，使绝缘子串只承受拉力，不承受弯矩和扭矩。盘形悬式绝缘子结构简单，串接后可在任意电压等级的输电线路使用，是高压线路上使用最广的一种绝缘子。

盘形悬式绝缘子的型号和命名遵循一定的规则。盘形悬式绝缘子的产品型号中不含电压等级，只含机械强度。举例说明，XP-70 表示普通盘形悬式绝缘子、机电破坏负荷为 70kN。

盘形悬式绝缘子的产品型号表示方法见图 1-2。

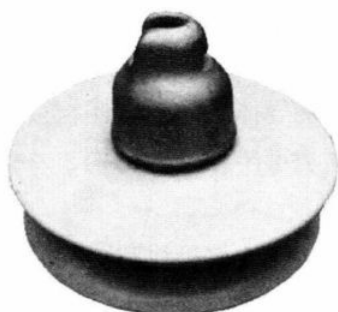


图 1-1 盘形悬式绝缘子实物图

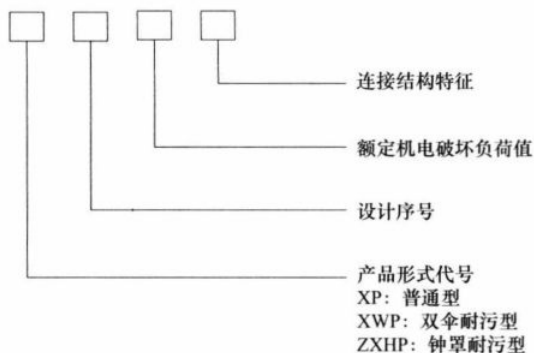
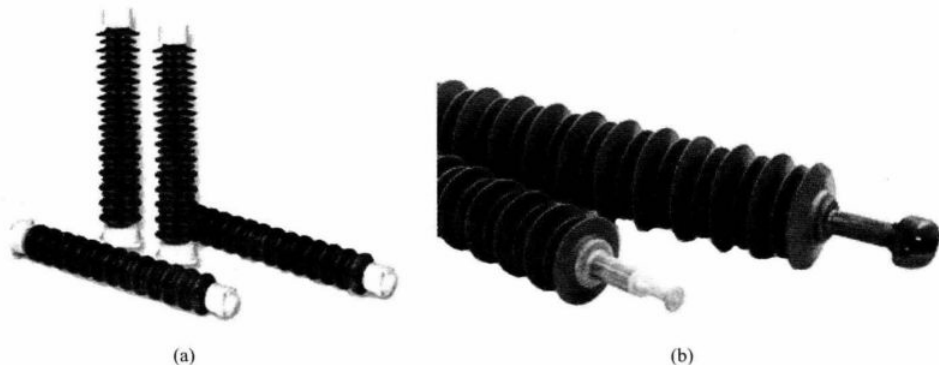


图 1-2 盘形悬式绝缘子的产品型号表示方法

(2) 长棒型绝缘子。与悬式绝缘子相比，长棒型绝缘子绝缘件损坏时导线一般容易落地。长棒型绝缘子按材料类型分为长棒型复合绝缘子和长棒型瓷绝缘子。长棒型复合绝缘子也称为棒形悬式有机硅橡胶绝缘子，与传统的瓷绝缘子、玻璃绝缘子相比，具有重量轻、体积小、耐污性能高等优点。该绝缘子由伞盘和芯棒等部分组成，伞盘为硅橡胶为基体的高分子化合物，芯棒采用环氧玻璃纤维棒制成，具有很高的抗张强度。长棒型瓷绝缘子是由氧化铝质陶瓷制成的高强度实芯多裙绝缘子，两端与钢帽连接采用铅锡合金浇铸，避免盘形悬式绝缘子发生泥胶膨胀破坏和电热故障。

长棒型绝缘子如图 1-3 所示。绝缘子型号表示方法分别如图 1-4 和图 1-5 所示。



(a)

(b)

图 1-3 长棒型绝缘子

(a) 长棒型复合绝缘子实物图；(b) 长棒型瓷绝缘子实物图

长棒型瓷绝缘子型号表示方法如图 1-4 所示。

长棒型复合绝缘子型号表示方法如图 1-5 所示。

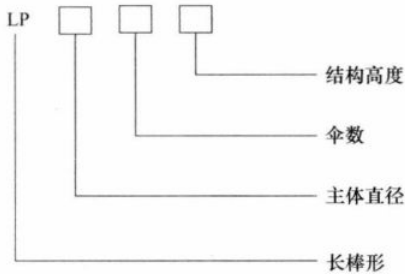


图 1-4 长棒型瓷绝缘子的型号表示方法

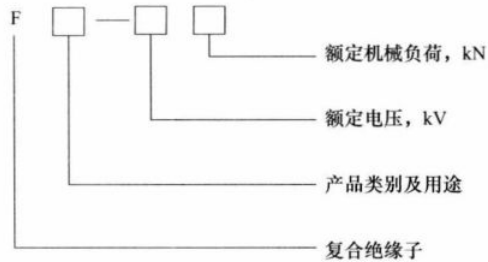


图 1-5 长棒型复合绝缘子的型号表示方法

(3) 针式绝缘子。针式绝缘子由带伞的瓷件和伸入瓷件内的铁脚以及瓷件上面的铁帽胶装而成。由于其制造简单、成本低廉、安装方便且能减小杆塔高度而广泛地使用在 6~35kV 电力线路中，但此种绝缘子耐雷水平低，往往需要结合木横担使用。

针式绝缘子实物图如图 1-6 所示。

针式绝缘子型号表示方法如图 1-7 所示。



图 1-6 针式绝缘子实物图

(4) 瓷横担绝缘子。瓷横担是一种用于电力架空线路的圆锥形或者圆柱形瓷质绝缘子，也称瓷横担绝缘子。它除了具有与普通线路绝缘子相同的固定导线和对地绝缘的功能外，还可全部或部分代替铁质或木质横担。

瓷横担有带金属附件和不带金属附件两种。应用较多的中压及以上电压等级的瓷横担都带有金属附件。常用的瓷横担有 35、10kV 等。瓷横担绝缘子实物图如图 1-8 所示。

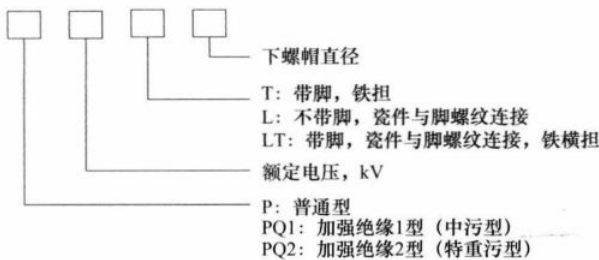


图 1-7 针式绝缘子的型号表示方法

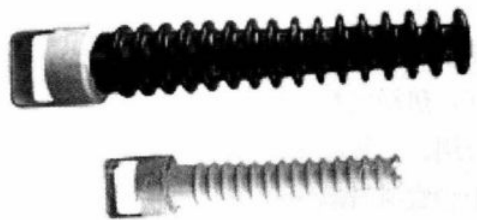


图 1-8 瓷横担绝缘子实物图

常见的瓷横担绝缘子的型号表示方法如图 1-9 所示。

如果按照电压形式区分，绝缘子分为直流绝缘子和交流绝缘子。前述的绝缘子均指交流绝缘子。直流绝缘子主要指用在直流输电线路中的盘形绝缘子。直流绝缘子一般具有比交流绝缘子更长的爬电距离，其绝缘件具有更高的体积电阻率，其连接金具应加装防电解腐蚀的牺牲电极。在相同的环境条件下，由于直流电压的集尘效应，使得直流绝

缘子的污秽积聚比交流绝缘子的积污更为严重。直流绝缘子的常见伞裙结构如图 1-10 所示。

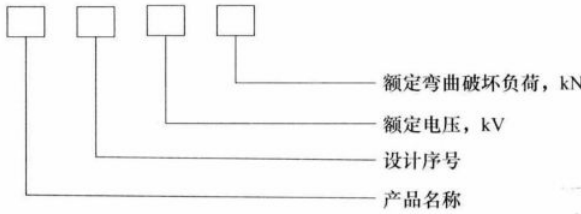


图 1-9 瓷横担绝缘子的型号表示方法

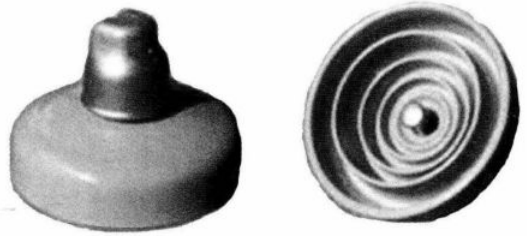


图 1-10 直流绝缘子伞裙实物图

三、绝缘子的主要材料

按采用的绝缘材料划分，绝缘子可分为瓷绝缘子、玻璃绝缘子和复合绝缘子三大类。瓷绝缘子和玻璃绝缘子由无机材料制作，且二者应用历史比较长。相比之下，复合绝缘子的应用历史短，于 20 世纪 70 年代才成功用于电力系统外绝缘，国内复合绝缘子使用从 20 世纪 80 年代末开始，目前产品已逐步成熟，在电力系统得到广泛使用，有效地解决了电网污闪问题。

(1) 电瓷材料。电瓷材料本身电气性能很好，且其环境稳定性是绝大多数绝缘材料所不具备的，因此，目前国内大部分绝缘子采用的为瓷质绝缘子。然而由于陶瓷本身属于脆性材料，其机械性能具有压缩强度很高而拉伸强度较低的特点，抗冲击性能更差，因此瓷质绝缘子容易发生裂纹、断裂等事故。此外，陶瓷材料表面为亲水性表面、积污后自洁性较差，在严重污秽地区瓷绝缘子存在污闪跳闸的可能。

(2) 玻璃材料。玻璃绝缘子表层机械强度高，使表面不易发生裂缝。玻璃的电气强度一般在整个运行期间保持不变，并且其老化过程比瓷材料要缓慢得多。此外，钢化玻璃绝缘子具有零值自爆的特点，只要在地面或在直升机上观测即可，无需登杆逐片检测，降低了工人的劳动强度。玻璃绝缘子的自爆主要在运行初期，后期会趋于稳定。

玻璃绝缘子有七八十年的使用历史，它的特点是便于检测，耐电弧、耐震动能力好，热稳定性能较好，不易老化等。玻璃绝缘子有多种不同的形状，在不同的场合得以应用。一般来说，主要有标准型、防污型、敞开型、球形和铁道接触网用棒形悬式绝缘子和直流玻璃绝缘子等。常用玻璃绝缘子的实物图如图 1-11 所示，型号表示方法如图 1-12 所示。

(3) 复合绝缘材料。有机绝缘材料发展于 20 世纪五六十年代，单一的有机材料难以满足高电压设备的外绝缘全部电气、机械性能的要求，因此复合绝缘材料得到较大发展。这些复合绝缘材料包括脂环族环氧树脂、聚四氟乙烯、乙丙橡胶、硅橡胶等，有些国家甚至还采用丁基橡胶、聚烯烃以及聚合物混凝土等材料。

脂环族环氧树脂浇筑的电压、电流互感器在中低压系统中应用较为久远，且效果不错，但在超高压领域内的应用效果不甚理想。

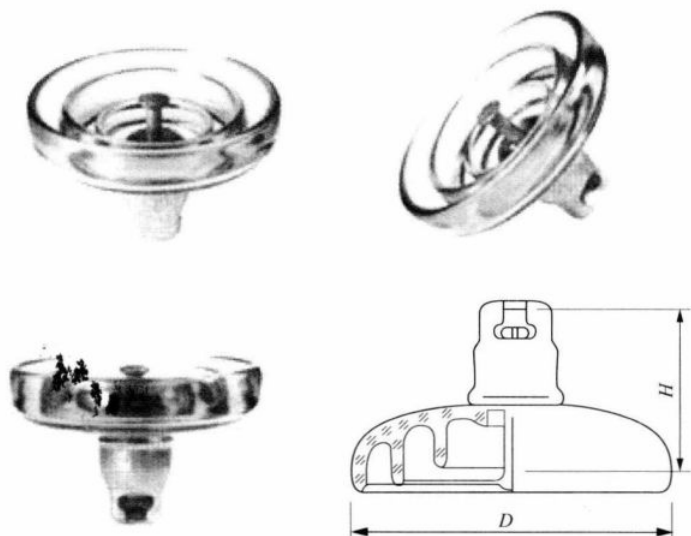


图 1-11 玻璃绝缘子实物图



图 1-12 普通玻璃绝缘子的型号表示方法

聚四氟乙烯电气性能及环境稳定性在所有有机材料中效果最好，具有抗酸抗碱、抗各种有机溶剂的特点，几乎不溶于所有的溶剂。同时，聚四氟乙烯具有耐高温（工作温度可达 250℃）、耐低温（良好的机械韧性）、不黏附（表面张力小，不黏附任何物质）、电绝缘性强等诸多优势，但是采用该材料制成的超高压悬式复合绝缘子的运行性能也并不理想。

乙丙橡胶虽然耐老化性能较聚四氟乙烯差很多，环境稳定性不佳，但是由于材料制作成本低廉，使得其在棒形悬式绝缘子、线路支柱复合绝缘子以及中低压复合套氧化锌避雷器方面得到较大的应用。

硅橡胶（包括室温硫化硅橡胶、中温硫化液体硅橡胶与高温硫化硅橡胶）在电气性能与耐老化性能上堪与聚四氟乙烯相媲美，远胜过其他几乎所有的有机材料。纯硅橡胶的机械性能虽然很差，但经补强改性后其机械性能可以满足现场要求，并且其良好的加工性能、黏接性能远胜过聚四氟乙烯。促使硅橡胶在高电压外绝缘领域得到广泛应用的另一个主要原因是其憎水迁移性，而这一性能是硅橡胶所独有的。所谓硅橡胶憎水迁移性是指硅橡胶材料能够在表面被污染后，将自身的憎水性传递给污秽物质而硅橡胶本身

继续保持其憎水性的一种特性，从而积聚在硅橡胶表面的污秽层也变得具有了憎水性。因而在运行中硅橡胶复合绝缘子表现出了远胜过其他所有有机材料绝缘子的优异的耐污性与耐湿性。

复合绝缘子主要结构一般由伞裙护套、玻璃钢芯棒和端部金具组成。与瓷和玻璃绝缘子相比，复合绝缘子具有强度高、质量轻、湿闪电压高、运行维护方便等优点。目前使用的复合绝缘子主要有线路柱式复合绝缘子、长棒型复合绝缘子、支柱复合绝缘子、空心复合绝缘子和电气化铁道用复合绝缘子。

图 1-13 是常见复合绝缘子的实物图。



图 1-13 复合绝缘子实物图

常见悬式复合绝缘子和支柱复合绝缘子的型号说明分别如图 1-14 和图 1-15 所示。

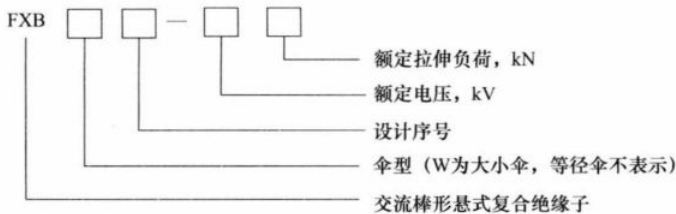


图 1-14 悬式复合绝缘子的型号说明



图 1-15 支柱复合绝缘子型号说明

四、常见绝缘子性能比较

目前，输电线路使用的绝缘子主要有盘形悬式瓷绝缘子、盘形悬式玻璃绝缘子、棒形悬式复合绝缘子三大类。另外，长棒型瓷绝缘子在江苏、安徽、广东等地区得到大量使用。随着技术的发展，一些新型的瓷复合绝缘子、硬质绝缘子研制成功并在部分地区的输电线路投入使用。

盘形悬式瓷绝缘子具有长期丰富的运行经验、良好的机电性能、耐气候性、耐热性，使用寿命周期长、伞型丰富、适合各种气候地区。盘形悬式瓷绝缘子属于可击穿型结构，其内在缺陷不易发现，运行单位需要花费大量人力和物力进行定期清扫和劣化检测。

盘形悬式玻璃绝缘子同样具有良好的机电性能，更具有零值自爆特点，可减少大量的零值检测等运行维护工作、使用寿命周期长。该产品主要不足是伞型结构比较单一，主要是深棱的钟罩型。

棒形悬式复合绝缘子具有优异的防污性能，机械强度高、体积小、重量轻，制造工艺简单、运行维护简便，经济性好。该产品属于不可击穿型结构，不存在零值检测问题，其主要缺点是硅橡胶材料容易在大气环境下发生不可逆的老化现象，材料的憎水性、机械性能等会有所降低。

三类绝缘子因各有所长，使用时应因地制宜。瓷和玻璃绝缘子具有较高的机械强度、寿命长、稳定性好，能抵抗环境老化，较适用于清洁的环境和需抵抗外力侵蚀的环境，如强风地区、沙尘地带或覆冰地区等。复合绝缘子具有较高的机械强度、稳定性好，能抵抗环境老化、质量轻、防污性能优良、生产工艺简单、经济性好，适用于污染严重的地区；且电压等级越高，复合绝缘子的经济优势越明显。绝缘子的选用原则应参照 DL/T 1000 和 DL/T 864 等规定，并结合工程实际，从技术和经济上进行综合分析、合理选择。一般来说，轻污秽地区建议采用瓷或玻璃绝缘子，重污秽地区建议采用复合绝缘子。由于存在鸟啄等问题，林区不推荐使用复合绝缘子。耐张串宜采用自洁性能好的瓷或玻璃绝缘子。

另外，在我国南方和东部地区架空线路大量采用长棒型瓷绝缘子。该类型绝缘子具有质量轻（介于盘型瓷绝缘子和复合绝缘子之间）、抗老化性能好、自洁能力强、不可击穿、维护简便等优点，故障率相对较低。近年来运行经验表明，长棒型瓷绝缘子在湿润地区自洁性能良好，表面污秽度能够长期维持在相对较低水平；在半湿润地区，其表面污秽度随时间以指数函数持续增长，长期会趋近某一稳定值。严重染污条件下，长棒型瓷绝缘子串耐污性能略低于盘形绝缘子。

第二节 绝缘子污闪及其防治

一、污闪的定义

污闪是指电气设备绝缘表面附着的污秽物在潮湿条件下，其可溶物质逐渐溶于水，在绝缘表面形成一层导电膜，使绝缘子的绝缘水平大大降低，在电场力作用下出现的强烈放电现象，最后导致绝缘子整体击穿闪络。

污秽湿润的绝缘子表面发生的闪络不是简单的大气间隙击穿，而是一个涉及电、热、化学等因素的污秽潮湿绝缘子表面气体电离、局部电弧发生发展的热动态平衡过

程。具体来说，污闪发生一般经历以下四个阶段：①绝缘子表面积累污秽；②在潮湿的环境中污秽物质变得湿润；③绝缘子表面泄漏电流产生的热效应出现干区，从而改变了电压分布，引发局部电弧；④局部电弧进一步发展导致绝缘子完全闪络。

二、影响污闪发生的因素

国内外针对影响污闪的因素进行了大量的研究工作，目前认为主要有以下几种原因导致污闪事故的发生。

(1) 大气污染。大气污染主要由工矿企业排出的废气污染物引起。火电厂、水泥厂、钢铁厂、化工厂及矿山等工业排出的大量气、液、固态污染物，随着气压、风速、温度等条件的变化形成严重的污染源，易在绝缘子表面形成积污，从而影响污闪发生的第一阶段。

(2) 生物污染。鸟害是生物污染的主要部分。其基本危害形式如下：鸟粪落在瓷绝缘子表面，遇有雾、露、毛毛雨等湿润天气，鸟粪潮解，使绝缘子绝缘水平降低，易发生污闪事故；鸟在 V 型绝缘子串上排泄粪便造成导线对横担间隙短路而接地跳闸；鸟在绝缘子串的正上方排泄，造成空气间隙放电导致闪络；鸟在杆塔上筑巢，遇有湿润天气，筑巢用的树枝受潮，减少绝缘距离导致接地故障；或者大风天气鸟巢被吹散，树枝或金属丝等搭在导线上引起跳闸故障。

(3) 绝缘子覆冰、覆雪。重冰区和冬季气温骤降时容易发生绝缘子覆冰、覆雪的情况。覆冰、覆雪会影响绝缘子污闪电压。研究发现，无论绝缘子先污染后结冰还是先结冰后污染，也无论是在冻冰期还是融冰期，污闪电压都会升高。但一般都是冰雪先被污染然后冻在绝缘子上，此时耐受电压只有湿闪电压的 25%，极易发生闪络事故。

(4) 海拔。随着海拔升高、气压降低，污秽绝缘子闪络电压降低。国内外对高海拔地区瓷绝缘子和玻璃绝缘子的污闪特性进行了广泛研究，提出高海拔下的污秽绝缘子闪络电压与气压成幂指数关系，其幂指数或气压影响特征指数反映了高海拔下污秽闪络电压下降的特征。

(5) 酸雨酸雾污染。由于酸性污染源的 pH 值较低、电导率较大，会降低绝缘子污闪电压。在 pH=3 时，清洁绝缘子在酸雨环境中的污闪电压下降 17%~25%。在酸雾环境中，相当于提高一个污秽等级。在一些工业厂矿比较集中的地区，工业废气导致气候恶劣，酸雨问题有加剧趋势，更要提高防范意识。

(6) 雷电和操作过电压。近年来国内外大量研究试验均证明雷电和操作过电压会影响绝缘子的污闪性能。相关研究表明污秽绝缘子在雷电波作用下的污闪电压比清洁干燥时下降 25%~33%，而操作波的污闪电压则随污秽程度的增加最大可降低 50%。

三、防治污闪事故的措施

(1) 调整爬电比距、安装增爬裙。一般来说，绝缘子的爬距越长，其耐污闪能力越强。应根据电力设备所在环境下的污秽和潮湿特征及污级来选择绝缘子的爬电比距，这

也是提高污秽环境下运行可靠性、预防污闪的根本措施。

防污闪增爬裙的绝缘子一般包括芯棒和伞裙。在安装前，应在毛毛雨、大雾等潮湿恶劣的天气下进行观察，选择发生局部放电、滑闪放电等放电位置作为安装位置。

(2) 清扫绝缘子表面污秽。清扫一般分为带电清扫和停电清扫两种。清除绝缘子表面的污秽能恢复原有的绝缘水平，达到防止污闪的目的。但清扫过后，绝缘子仍将继续积污。因此，应合理安排清扫时间，一年清扫一次的时间应安排在污闪季节前 1~2 个月进行；合理选择清扫周期，对一般设备要求每年清扫一次，但对个别污秽严重地区，则应增加清扫次数，特别是实测的盐密度超过了爬距所允许的污闪耐受值时；合理安排清扫顺序，由于清扫工作量大，可以按照电压等级、绝缘子型式或受污程度有计划地进行。

带电清扫方法中，带电水冲洗是防止污闪的一种有效的方法，也是目前国内应用最广泛的一种方法，输电线路主要采用直升机进行带电水冲洗，带电水冲洗作业时，应在安全防护及适宜的气候条件下进行冲洗。

(3) 检测和更换劣质绝缘子。由于绝缘子在运行中会出现劣化，采用红外热像仪等测量方法定期对绝缘子串进行检测，发现劣质绝缘子或零值绝缘子，要及时更换。

(4) 采用防污型绝缘子。采用防污型绝缘子是解决防污闪问题的一项重要措施。按外形结构，防污型绝缘子一般分为双伞型、钟罩型、流线型和大爬距型。实践证明，我国通用的双伞型防污绝缘子具有光滑而倾斜的裙边、积污量较小；而钟罩型耐污绝缘子积污较快，应用于空气潮湿多雾的南方地区，防污效果不佳。

(5) 采用复合绝缘子。复合绝缘子伞裙具有良好的耐污闪性能，其硅橡胶材料自身的憎水性能能够迁移至污秽层表面，使得污层也具有憎水性，因此即使在湿润的大气环境下，染污复合绝缘子也不易发生闪络。所以采用复合绝缘子是线路防污闪的有效措施。

(6) 涂防污涂料。20 世纪 60 年代初，华东、华北等电力试验研究所就采用了硅油、硅脂和地蜡等有机材料做防污闪涂料并取得了较好的效果。80 年代，清华大学研究出了 RTV 防污闪憎水长效涂料。RTV 防污闪憎水涂料是室温硫化硅橡胶涂料，也是一种有机硅涂料，它的耐污闪能力强、使用寿命长，有效期可达数年。后来又研制出了 PRTV 涂料，它是一种复合化硅氟橡胶涂料，其附着力等技术指标和使用寿命更加优异。PRTV 涂料既有 RTV 涂料的室温硫化、就地成型的特性，同时具有作为永久性绝缘材料的高温硫化硅橡胶的材料性能，确保防污性能长期可靠及闪络状态下对瓷、玻璃件或设备的保护。

瓷绝缘子故障试验诊断

第一节 瓷绝缘子常见故障

因采用无机材料，瓷绝缘子具有优良的抗老化能力和非常好的化学稳定性，在实际运行中具有优异的耐电晕或电弧烧灼能力，同时也具有耐化学腐蚀能力。因此，瓷绝缘子在电力系统外绝缘中得到了广泛应用。不可否认的是，瓷绝缘子有一定的缺点，例如亲水性、易受潮、笨重、易破碎等。其故障类型主要表现在零值、低值、污闪、钢脚钢帽腐蚀等方面。

零值绝缘子或者低值绝缘子是指其绝缘性能降低到零或者绝缘电阻值很低。瓷绝缘子为内胶装结构，内胶装使用黏合剂；因为瓷和钢脚热膨胀系数各不相同，当绝缘子受冷热变化时，瓷件受到较大的应力，故瓷件容易被击穿或者开裂形成零值绝缘子。

瓷绝缘子的劣化会造成绝缘子内部发生质的变化，使得绝缘性能大大降低。当绝缘子的击穿电压下降到小于表面闪络电压时，一旦外部有过电压，将造成绝缘子内部击穿，使瓷质完全丧失绝缘能力。因此，瓷绝缘子劣化的主要特征就是其击穿电压降低。

第二节 瓷绝缘子日常检测方法

对在线路上运行年限不同的瓷绝缘子、玻璃绝缘子进行机电性能对比试验，发现部分瓷绝缘子在运行 15~25 年后，其不合格率随运行年限增加，而玻璃绝缘子的稳定性和分散性要好于瓷绝缘子。高频振动疲劳试验表明振后瓷绝缘子的机电强度明显下降。一方面是因为国产瓷绝缘子厂家较多，由于材质及制造工艺等方面的因素造成质量分散性大；另一方面，由于瓷质烧结体是不均匀材料，在长期的运行过程中受各种机械冲击力、振动力的作用，可能对瓷体造成损伤而导致机械性能下降。

生产环节瓷绝缘子的检验分为逐个试验、抽样试验、定型试验和补充试验。出厂后对瓷绝缘子的抽样检验主要是到货验收试验和运行过程中抽检，试验方法应参照 GB/T 1001.1、GB/T 775.1、GB/T 775.3、DL/T 1000.1 及 DL/T 626 等相关标准要求。

对于验收到货瓷绝缘子，应从每批提交的绝缘子中随机抽取绝缘子进行试验。用于