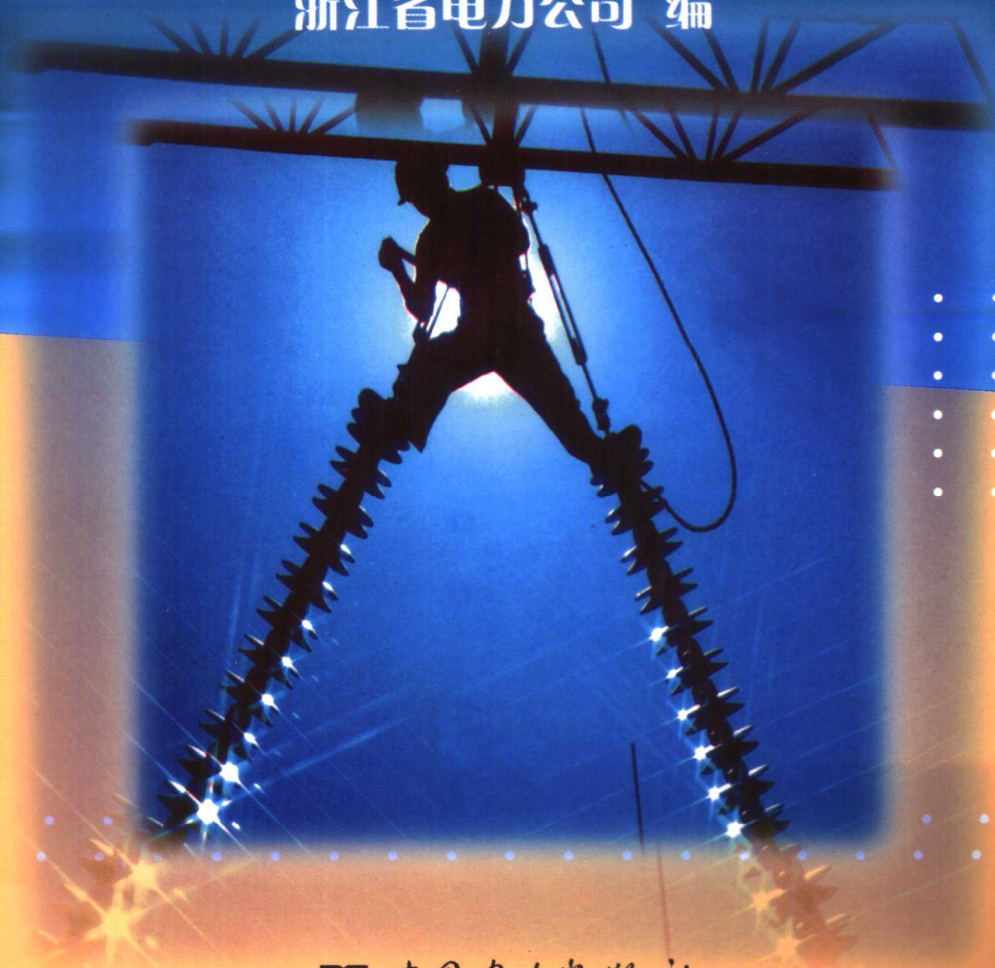




输电线路绝缘子运行技术手册

浙江省电力公司 编



62



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

输电线路绝缘子运行技术手册

浙江省电力公司 编
陶元忠 包建强 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

为确保输电线路的安全运行,提高线路安全运行的可靠性,针对绝缘子的雷电闪络、污闪、运行以及清扫、测试等问题,浙江省电力公司组织有关专家编写了该手册。全书共分9章,包括输电线路绝缘子、绝缘子串、输电线路中的绝缘配合、绝缘子的运行、绝缘子的污秽闪络、绝缘子的雷电闪络、绝缘子的更换、绝缘子的状态检修和抽样试验、合成绝缘子等,同时在附录中还列出部分高压线路盘形绝缘子、合成绝缘子技术数据,部分悬式绝缘子表面积,抽检绝缘子时出现零值的概率以及部分主要绝缘子生产厂一览表。全书内容简炼、新颖、实用,具有较高的使用价值。

本书可供电力系统从事线路设计、运行、施工、检修的技术人员和管理人员阅读,并可供与绝缘子设计、施工、选型有关的工程技术人员及相关生产厂参考。

图书在版编目(CIP)数据

输电线路绝缘子运行技术手册/浙江省电力公司编.
北京:中国电力出版社,2002

ISBN 7-5083-1173-6

I. 输… II. 浙… III. 输电线路-绝缘子-运行
-技术手册 IV. TM726-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 051927 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003年2月第一版 2003年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 15.75印张 383千字

印数 0001—3000册 定价 30.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

《输电线路绝缘子运行技术手册》

编写组名单

组 长:	包建强	浙江省电力公司	高级工程师
副组长:	方 鹏	浙江省电力实业总公司	高级经济师
组 员:	陶元忠	绍兴电力局	高级工程师
	叶自强	浙江省电力中心试验所	高级工程师
	陈国华	绍兴电力局	高级工程师
	顾洪连	南京雷电集团公司国家级科技专家	高级工程师
	薄 通	浙江省电力设计院	高级工程师 (教授级)
	吴尧麟	浙江省电力设计院	高级工程师
	孙 萍	浙江省电力中心试验所	高级工程师
	丘志贤	西安电瓷研究所	高级工程师



科学技术是第一生产力，是人类社会进步的重要标志。实现科学技术现代化是我国社会主义现代化建设的重要目标之一。党的十五大和十四大报告先后指出：“发展教育和科学，是文化建设的基础工程。培养同现代化要求相适应的数以亿计高素质的劳动者和数以千万计的专门人才，……关系 21 世纪社会主义事业的全局”。所以“科学进步、经济繁荣、社会发展，从根本上说是取决于提高劳动者的素质和培养大批人才”。

电力工业是整个国民经济建设的基础和先行官，提高供电质量、确保电力系统的安全运行是供电部门的重要职责。作为电力系统重要组成部分的架空输电线路的安全可靠运行，很重要的一方面在于供电人员的素质，有关人员能否掌握、遵循并驾驭电力线路的客观规律，而绝缘子是输电线路外绝缘的主要部件，在输电线路中绝缘子的污闪和雷击一直是威胁线路安全运行的两大祸害，而绝缘子的频繁更换、检测和清扫又占线路维修工作量的极大比重。所以，掌握绝缘子运行规律，提高输电线路的运行质量，既是确保线路安全运行的需要，也是减轻工人劳动强度、提高供电部门经济效益的需要。为此，我们组织编写了《输电线路绝缘子运行技术手册》。

该手册是主要论述输电线路绝缘子，在内容上大致可以分成三个不同的层次。

第一，它汇集了部分分散的绝缘子资料，如将绝缘子（串）结构特点、机电性能和厂家商标编辑在一起，便于大家日常查用；绝缘子（串）的更换及其受力计算便于实际操作；对绝缘子的劣化规律、原因、检测及预防作了客观的归纳，有利于运行人员的分析和掌握；介绍了合成绝缘子的性能、使用和管理事项，有利于供电人员的选择和使用参考；通过对绝缘配合的讨论，对绝缘配合有一个基本的概念。

第二，对输电线路的两大主要危害——绝缘子的污秽闪络和雷击闪络进行了重点讨论。这对分析、预防绝缘子的污秽闪络和雷击闪络具有实际意义。尤其是对近年来国际上普遍采用的击距法进行了较为系统的介绍，对一些公式作了必要的推导，并用具体实例加以深化，便于掌握和使用。

第三，引入了一部分最近科研成果和调查资料，使大家对绝缘子的认识带来某些新意。如玻璃绝缘子为什么会自破？它的自破源在哪里？瓷质绝缘子的铁帽在一定的条件下会发生爆炸，而玻璃绝缘子的铁帽为何不易发生这种情况？玻璃绝缘子在哪种情况下容易发生自破？通过对这些问题的论述，从中可以得到有益的启迪，或找到明确的答案。当前，我国在输电系统中，已经逐步地开始用状态检修取代周期性检修，而绝缘子的检测、清扫与更换要占整个输电线路维修工作量的 50% 以上。对绝缘子如何进行状态检修，已经成为供电部门迫切需要解决的一个现实问题。该手册对悬式瓷质绝缘子的零值抽样检测、用随机抽样试验来分析绝缘子机械和电气性能的衰减、用盐密来指导绝缘子的清扫等三个问题作了具体的介绍。

综上所述，该手册内容丰富详实、说理性强，既有实践经验，又有理论性分析、公式推

导和计算实例。它既可作广大供电线路工人和线路技术人员的参考用书，也可供变电或其他相近专业人员的参考。

我们希望通过该手册的编写和使用，不断提高电力线路工作人员的技术素质，进一步推动科学技术进步，从而达到促进安全生产、降低成本、提高经济效益、确保电力系统安全可靠运行的目的。

丁有德

2002年10月8日



输电线路的可靠性直接影响电力系统的安全可靠运行。而绝缘子的故障却是威胁输电线路安全运行的主要原因。据统计，绝缘子故障占输电线路所有故障的首位，其中雷击造成绝缘子闪络引起的跳闸率要占线路总跳闸率的 60% 以上，而绝缘子的污秽闪络造成电量损失为雷害的 9~10 倍，频繁的绝缘子掉串又扩大了事故、延长了停电时间，给国民经济造成更加严重的损失。由此说明提高线路运行的可靠性，降低线路的故障率，与绝缘子密切相关。正因为如此，绝缘子的问题越来越受到大家的重视，人们从设计、科研、试验以及施工、运行等各个方面对其进行了锲而不舍的研究，以不断提高绝缘子的使用寿命，提高电网的运行可靠性和供电部门的经济效益，减轻工人的劳动强度。鉴于此目的，我们编写了这本《输电线路绝缘子运行技术手册》，奉献给广大读者。

本手册讲述了输电线路中绝缘子的一些主要问题，包括绝缘子结构和特性，绝缘子串的机械和电气性能，绝缘配合基本概念，瓷质和玻璃绝缘子的劣化（或自破）规律、原因和预防等。鉴于 20 世纪 90 年代以来全国发生了几起因绝缘子污闪引起大面积停电的严重事故，所以污闪已经成为威胁线路安全运行的一个严重问题。雷害是线路中的另一个严重问题，尤其对近年来世界上所通用的击距法进行了比较系统的介绍，对其中的计算公式作了必要的推导，所以本手册中对污闪问题和防污工作这两个问题进行了专题论述，使读者有一个较为全面的了解，且可在实际工程中应用。本手册还介绍了带电更换绝缘子的方法和受力计算；状态检修在我国刚刚起步，如何进行绝缘子状态检修是一个现实问题，根据实践经验，本手册用统计学的方法，对绝缘子的零值检测、机电性能衰减和清扫等三个问题进行了介绍；合成绝缘子出现的时间还不长，由于合成绝缘子的显著优越性，使它在较短时间内较普遍地使用在输电线路，为此，本手册中也进行了必要的介绍。

本手册中第一章~第六章、第八章和第九章的第六节、第七节由陶元忠同志编写，第五章和第九章的第一节~第六节由叶自强同志编写，第七章由陈国华同志编写。全书由陶元忠和包建强同志主编。本手册由下列同志负责审校：第一章、第四章由南京雷电集团公司国家级科技专家顾洪连高级工程师审校；第二章、第三章、第九章由浙江省电力设计院薄通（教授级）高级工程师审校；第五章由浙江省电力设计院吴兆麟高级工程师审校；第六章由浙江省电力中心试验研究所孙萍高级工程师审校；第七章由浙江省电力工业局包建强高级工程师审校；第八章由西安电瓷研究所丘志贤高级工程师审校。

本手册是在浙江省电力工业局和浙江省带电作业技术情报网的统一领导和全面组织下进行的。在编写过程中得到了浙江省电力工业局陈积民局长、浙江省电力工业局原局长丁有德同志以及副总工程师林元绩的指导、关心和帮助。

本手册还征集了杭州、嘉兴、宁波、金华、湖州、温州、绍兴、衢州、丽水、台州、舟山等十一个市电力局和杭州电力学校、浙西电力技校的意见，同时还得到浙江省电力设计院、浙江省电力中心试验研究所、华东电力试验研究院、南京雷电集团公司、绍兴电力局、

HA/C33/05

浙江省电力实业总公司等单位的领导和有关同志的关心、支持和帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限，在编写中难免存在不当之处，恳切希望同行专家批评指正。

编者

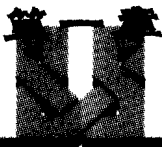
2002 年 10 月



序
前言

第一章 高压输电线路绝缘子概述	1
第一节 高压输电线路中绝缘子的分类	1
第二节 绝缘子的标识含义	5
第三节 盘形悬式绝缘子的构造	6
第四节 输电线路对绝缘子的技术要求	9
第二章 绝缘子串	14
第一节 绝缘子串连接金具概述	14
第二节 绝缘子串组装型式和机械受力情况	17
第三节 绝缘子串的电气特性	24
第三章 绝缘配合设计的一般概念	29
第一节 绝缘配合设计中的基本原则和方法	29
第二节 工频电压下的绝缘配合	33
第三节 操作过电压下的绝缘配合	39
第四节 雷电过电压时的绝缘校验	46
第五节 绝缘子串的风偏	47
第四章 绝缘子的运行	51
第一节 巡视	51
第二节 悬式瓷质绝缘子的劣化	52
第三节 钢化玻璃绝缘子的运行	62
第五章 绝缘子的污秽闪络	74
第一节 户外绝缘及其绝缘水平	74
第二节 染污放电的起因和发展过程	79
第三节 污秽度的表示方式和测定方法	83
第四节 染污绝缘子放电特性	89
第五节 污秽绝缘的运行	104
第六章 绝缘子的雷电闪络	110
第一节 雷电现象与绝缘子的雷击	110

第二节	绝缘子的雷电冲击闪络特性及雷电参数	112
第三节	雷电感应过电压	116
第四节	直接雷过电压	119
第五节	架空送电线路耐雷水平和雷击跳闸率的计算	123
第六节	击距法	130
第七节	绕击与反击的分析	141
第八节	输电线路防雷措施概述	141
第七章 绝缘子的更换		144
第一节	更换绝缘子的操作方法	144
第二节	更换绝缘子时的受力分析	146
第八章 绝缘子的状态检修与抽样试验		152
第一节	状态检修的特点和内容	152
第二节	绝缘子的状态检修及劣化检测	153
第三节	绝缘子的随机抽样试验	165
第四节	盐密监测与绝缘子清扫	172
第九章 合成绝缘子		179
第一节	概述	179
第二节	合成绝缘子的发展和国内外应用情况	180
第三节	合成绝缘子的伞裙护套	183
第四节	合成绝缘子的耐污性能	185
第五节	合成绝缘子的耐污性、抗漏电起痕性和抗电蚀性	190
第六节	合成绝缘子的机械性能	192
第七节	合成绝缘子的使用	200
附录		206
附录 A	高压线路盘形绝缘子部分产品技术数据	206
附录 B	部分绝缘子表面积	209
附录 C	全国部分瓷厂商标	210
附录 D	国产绝缘子污秽试验情况和泄漏距离有效系数	214
附录 E	部分国产合成绝缘子技术数据	215
附录 F	在 10000 个绝缘子中抽检 n 个时可能检测到 r 个零值的概率	222
附录 G	高压线路用复合绝缘子使用导则	233
参考文献		241



高压输电线路绝缘子概述

输电线路要将巨大的电流从发电厂送到远方用户，必须具备两个基本条件，一是为传输电流的导线提供机械支撑；二是防止电流对地形成通道接地，而绝缘子就具备这两种基本功能，所以绝缘子在输电线路中占有重要地位。绝缘子在高压输电线路中又是极易损坏的一个重要元件。在输电线路中一旦有绝缘子元件损（破）坏，就会丧失绝缘，或导致供电中断，严重时甚至会造成电网解列，给国民经济造成严重损失，这在中外输电线路运行历史上都有极其深刻的教训。例如，浙江省某二条 220kV 线路于 1984 年 5 月 13 日至 1993 年 8 月 14 日的几年间，先后四次因雷击致使绝缘子钢帽炸裂，共停电 70h31min；1994 年和 1995 年 2 月，由于严重覆冰，致使武汉一条 500kV 超高压输电线路发生 XP-160 型绝缘子闪络爆炸的掉线事故。东北电网在 1987 年 12 月 28 日和 1990 年 2 月 7 日的两次污闪事故的同时，发生铁帽炸裂导线落地，造成永久性接地；1985 年 1 月至 1991 年 2 月的六年间，330kV 秦南庄线也多次发生过绝缘子铁帽炸裂；在 80 年代中期至 90 年代初，即在 1985 年 2 月至 1990 年 2 月的几年间，先后在山东、兰州、河南、京津唐、华东等地区先后发生绝缘子严重污闪，有的因铁帽炸裂造成永久性接地，使事故扩大和延长，有的因污闪严重造成不同程度的系统解列，损失惨重，教训深刻。据国际大电网（CIGRE）对线路绝缘子失效情况的调查，1964～1974 年间，澳大利亚五个电业部门的线路七次发生瓷质绝缘子钢脚或铁帽拉脱破坏的事故；1964～1973 年间，法国也多次发生钢化玻璃绝缘子铁帽拉脱或钢脚破坏的事故；据前苏联对 500kV 架空线路故障原因的统计，由于绝缘子引起的故障占据首位，为 0.145 次/（100km·a），占有故障原因中的 47.1%。事实证明，在输电线路中，跳闸率最高的原因是雷击引起的闪络；造成事故最严重、影响范围最广的是污秽绝缘子引起的污闪；在维修中工作量最大、重复劳动最频繁的是对绝缘子的清扫、检测与更换。由此我们必须认识到绝缘子在电力系统中的重要性。为确保电网的安全、经济和可靠的运行，必须提高对绝缘子在技术、管理和理论上的认识。

第一节 高压输电线路中绝缘子的分类



我国使用在高压输电线路上的绝缘子已趋向统一化和系列化，它主要包括针式绝缘子、瓷担式绝缘子、悬式瓷质绝缘子、悬式玻璃绝缘子等。随着输电线路电压等级的提高和对新材料的开发，近年来还出现半导体釉绝缘子、合成绝缘子等。然而到目前为止，我国用得最

广、最多、最悠久的还是悬式瓷质和玻璃绝缘子，本书主要讨论这两种绝缘子。本章首先叙述绝缘子的分类、标志、构造和架空输电线路对绝缘子性能的基本要求等。

一、按连接型式分类

悬式绝缘子的种类很多，它可以分别按连接方式、绝缘介质材料和承载能力大小分类。

按连接方式分，悬式绝缘子主要有球型和槽型两种。用球型、槽型连接的绝缘子外形见图 1-1。

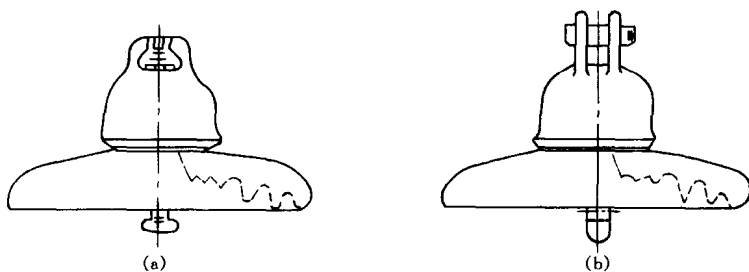


图 1-1 用球型、槽型连接的绝缘子外形
(a) 球型连接绝缘子；(b) 槽型连接绝缘子

球型绝缘子是用球头与钢帽中的球窝相连。为防止球头从球窝内脱出，在球窝内，球头底部加“W”或“R”形弹簧销。它既可以防止球头从球窝内脱出，又可用专用工具将弹簧销从球窝内拉出，便于更换。由于它具有施工方便的特点，所以使用广泛。

槽型连接的绝缘子〔见图 1-1 (b)〕的特点是两只绝缘子之间用槽型连接，即钢帽上端的双槽与另一只绝缘子钢脚下端的单槽相连后用销子锁住。销子另一端有一小孔，以便穿入开口销，可防止销子脱落。用这种槽型方式连接的绝缘子在更换时只要将销子拔出，绝缘子就能脱卸，施工方便，使用也很普遍。

二、按绝缘子介质分类

绝缘子按介质分时，主要有钢化玻璃悬式绝缘子、瓷质悬式绝缘子、半导体釉和合成绝缘子。

(一) 钢化玻璃绝缘子

以玻璃为介质的钢化玻璃绝缘子已广泛地应用在 500kV 及其以下的输电线路，一部分已用在 750kV 和 1100kV 试验线路上。目前全世界使用数量已超过 2 亿片。钢化玻璃绝缘子具有许多优点。

(1) 制造钢化玻璃绝缘子的全部过程可以实行机械化、自动化。

(2) 制造钢化玻璃绝缘子的一个工厂所需投资，比新建一个制造瓷质绝缘子厂的投资低。

(3) 玻璃绝缘子的机械强度高，钢化玻璃强度 80~120MPa(而陶瓷为 40MPa)，它是瓷质强度的 2~3 倍，若以单摆冲击试验来说，它是瓷质绝缘子的 1~1.7 倍(平均值)，因而使用钢化玻璃绝缘子可以大大减少绝缘子的构造材料和质量，可以降低制造成本和线路造价。

(4) 由于玻璃的透明性，在外形检查时容易发现细小裂缝和内部损伤等缺陷。

(5) 由于钢化玻璃绝缘子具有出现各种损伤时均会发生自破的特点，所以在运行中可以不进行预防性试验，从而减轻劳动强度，提高经济效益。据粗略统计，在输电线路的日常

维护中, 清扫、检测和更换绝缘子的工作量要占 50%, 而检测零值工作又要占绝缘子工作量的 50%。我国 1981 年第一批投产之一的某 500kV 线路, 由于当时带电测零的工具尚未得到解决, 在 1984 年 7 月对该线 75000 只绝缘子进行高空停电绝缘摇测, 所花的劳力和时间是可想而知的。而使用玻璃绝缘子省去检测工作, 对减轻供电工人的劳动强度提高经济效益非常显著。

(6) 由于钢化玻璃绝缘子表面强度高, 使表面不易产生裂缝, 玻璃介质在 $1/50\mu\text{s}$ 冲击时, 其平均击穿强度达 $1700\text{kV}/\text{cm}$, 约为瓷质的 3.8 倍, 而耐弧性能比瓷质高, 电气性能好, 所以它的电气强度在整个运行过程中一般保持不变, 老化过程比瓷质更慢。据法国在 1980 年对运行了 22 年 (1958 ~ 1980 年) F7 型的钢化玻璃绝缘子进行试验, 其机电性能没有衰减。正因为钢化玻璃绝缘子有这些优点, 所以它愈来愈受到使用单位欢迎。

玻璃绝缘子的自破性, 既是它的优点, 也是它的弱点。但是随着工艺水平的不断提高, 年自破率已降低到极小, 工程中完全可以接受。目前, 我国已有完整的自动生产线生产玻璃绝缘子, 年生产能力在 350 万片以上, 其产品已经广泛地使用在 35 ~ 500kV 线路上。到 1996 年时, 其中使用在 500kV 线路上高吨位玻璃绝缘子已达 70 万片。经过长期运行经验证明, 我国生产的玻璃绝缘子性能能够满足输电线路的需要。据对 1985 年 12 月至 1993 年 3 月对 18 条 500kV 线路的 41.45 万片, 运行 133.1 万片·年绝缘子的统计, 他们自破 3397 片, 年自破率 0.225%。经过长期运行考验证明, 我国生产的玻璃绝缘子的质量是可靠的。在 1994 年 6 月开始生产圆柱形头的玻璃绝缘子 (LXY), 使产品质量更上一个台阶, 其自破率在万分之二到万分之四以下, 其产品质量符合国际电工标准 (IEC)、美标 (ANSI)、英标 (BS) 和澳标 (AS)。我国生产的玻璃绝缘子不但使用在交、直流输电线路, 而且还出口国外, 进入国际市场。我国生产的玻璃绝缘子的产品尺寸准确、分散性小、电气性能优越, 得到广大用户的赞赏。

(二) 瓷质绝缘子

瓷质悬式绝缘子使用历史悠久, 它所用的介质材料具有输电线路所要求的特性, 不论在机械负荷、电气性能以及热机性能等都能满足各级电压的要求。正因为如此, 所以瓷质绝缘子在输电线路中一直使用。至今, 我国生产瓷质悬式绝缘子的厂家已有上百家。经过几十年的努力, 产品质量大大提高, 产品种类基本齐全, 不但能满足我国电力事业发展的需要, 而且还出口国外, 至今已能生产 300kN 及以下的高强度瓷质绝缘子, 产品远销欧美澳等 40 多个国家和地区。尤其是 80 年代以后生产的瓷质绝缘子, 其年劣化率可稳定在十万分之几, 这一指标已接近日本 NGK (碍子) 公司生产的十万分之二的水平。

然而普通的瓷质绝缘子存在两方面的致命弱点, 一是在污秽潮湿条件下, 绝缘子在工频电压作用时绝缘性能急剧下降, 常产生局部电弧, 严重时会发生闪络; 二是绝缘子串或单个绝缘子的电压分布不均匀, 在电场集中的部位常引起电晕, 因而产生无线电干扰。不均匀的电压分布, 极易导致瓷体老化, 而半导体釉绝缘子可以克服这些缺点。

(三) 半导体釉绝缘子

半导体釉绝缘子是一种新型的绝缘子。它的特点是在绝缘子外层含半导体釉。这种半导体釉中的功率损耗使表面温度比环境温度高出几度, 从而在雾与严重污秽环境中可以防止由此凝聚所形成的潮湿, 以此可以提高污秽绝缘子在潮湿环境下的工频绝缘强度。半导体釉的种类, 目前以氧化锡与少量氧化锑高温合成, 再添加于基础釉中而制得的一种, 其热稳定性

较好。半导体釉绝缘子在前苏联、日本、加拿大等国家都在研制和使用。我国研究的锑锡型半导体釉绝缘子,已取得了良好的效果。

(四) 合成绝缘子

合成绝缘子是近几年来出现的一种新型绝缘子,其基本结构如图 1-2 所示。这是一种高强度优质轻型绝缘子。自 1967 年以来,先后有 30 多个国家安装了合成绝缘子。它的特点是质量轻,体积小,运输费用低,安装设备方便、省时,可以省去清洗和检测零值绝缘子等工作,它强度大,各种电气性能好,内外绝缘基本相等,是属于不击穿型结构,一般不会发生内部击穿的零值问题。以质量来说,一座 500kV 普通直线塔,若使用瓷质绝缘子,则总重达 600kg,而使用合成绝缘子,则只需要用 3 支,总质量仅有 75kg。两者质量比达 8 倍。所以,合成绝缘子的优越性是显而易见的。

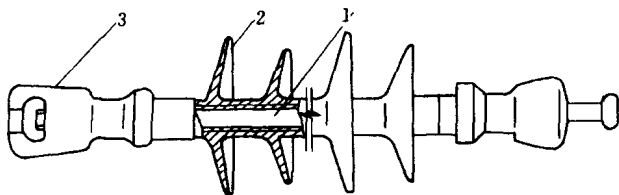


图 1-2 合成绝缘子基本结构

1—芯棒; 2—伞裙护套; 3—金属端头

合成绝缘子的结构形式很多,但基本上由芯棒、伞盘、金属端头(帽窝或碗头)等几部分组成。芯棒一般由环氧树脂玻璃纤维引拔棒制成,其抗拉强度大于 600MPa。如用直径 18mm 的芯棒,可使合成绝缘子的额定荷载高达 130~170kN,合成绝缘子在抗震、阻尼、抗疲劳断裂以及抗污

闪、抗老化等性能方面都远远超过其他类型绝缘子,在国外已广泛地使用在 69~765kV 输电线路。美国首先将其用在 400kV 线路上,对在该线路上同时安装爬电距离为 3.53cm/kV 的瓷质绝缘子和合成绝缘子进行比较,发现该线路的瓷质绝缘子每隔 60 天必须清扫一次,否则就会闪络,而合成绝缘子在运行的 6 年间未清扫也没有发生闪络。美国最近又建了一条 11.5km、1500kV 的试验线路,全部采用合成绝缘子。1977 年,加拿大在 736kV 线路上也安装试用合成绝缘子。我国使用合成绝缘子的历史还不是很长,但已取得了飞速的进展。我国先后有武汉电力大学、清华大学、华东电力集团公司、湖北襄樊、山东淄博、河北保定、浙江温州、上海虹桥、广东东莞、辽宁大连等单位在研究、开发和生产合成绝缘子,并在 35~500kV 的线路上得到了应用,其运行情况良好,得到了较为满意的效果。

(五) 棒悬式绝缘子

棒悬式绝缘子也是近几年出现的一种新型绝缘子。随着电力事业的不断发展和对盘形悬式绝缘子运行长期积累的经验和教训,盘形悬式绝缘子存在一定的局限性,即随着时间的推移,会产生一定的劣化,致使绝缘子的机械承载能力和绝缘性能的下降,尤其是在污秽或雷击闪络的同时,多次伴随着钢帽的爆裂、导线永久性接地甚至系统解裂的严重事故。在这种情况下,棒悬式绝缘子应运而生。

棒悬式绝缘子的两端是金属联接构件,中间是高强度铝质瓷制成的绝缘体,而瓷件的长度可以根据需要而定。如德国生产的单个棒悬式绝缘子元件长度可达 1.7m。根据绝缘的需要也可制成一个元件、二个元件或三个元件,相互串接而成。高强度铝质瓷的抗拉强度一般可以达到 60N/mm²,但实际使用抗拉强度远低于此值。如目前棒悬式绝缘子的质量处于世界领先地位的日本和德国,它们对铝质瓷抗拉强度仅取 23N/mm² 和 35N/mm²,而我国取 36N/mm² 左右,与德国相近。棒形瓷件在构造上有直棒形和有伞裙两种。我国目前生产的 35kV 和 60kV

第二部分数字,表示机电破坏负荷值,用 kN 表示。我国生产的标准型绝缘子主要有 40、60、70、100、160、210、300kN 等几种,更大吨位的绝缘子正在开发中。

第三部分字母表示绝缘子的特征。如 C—表示槽形连接；D—表示大爬电距离。

而瓷质绝缘子、球窝形连接，以及非大爬电距离绝缘子等都不再用字母表示。下面举例说明之：

XP—70C——悬式瓷质绝缘子，机电破坏负荷 70kV，槽形连接；

XP—210D——普通型瓷质绝缘子，球窝形连接，机电破坏负荷 210kN，大爬电距离；

XHP1—160——钟罩式瓷质绝缘子，机电破坏负荷 160kN；

LXY—210——钢化玻璃绝缘子，圆柱形头部结构，球形连接，机电破坏负荷 210kN。

其余类推。在第一部分字母后，有的有一个数字；如 XHP1—16 中的下标 1，表示设计序号。

目前，我国生产绝缘子的工厂有上百家，每个厂家生产的绝缘子都有它自己的标志，在绝缘子表面都鲜明地表示出厂标志、绝缘子型号和生产日期，以示与其他厂家和类型的区别。而其商标的识别尤为重要，在附录 C 列出了我国部分绝缘子厂家及商标，以供参考。

第三节 盘形悬式绝缘子的构造



悬式绝缘子一般由钢帽、钢脚、绝缘介质和填充料等几部分组成。

盘形悬式绝缘子的介质是绝缘子的主体，它必须具备架空线路所需要的机械强度和电气强度的特性，并在激烈变化的大气条件下，具有足够的热机稳定性。而电瓷和钢化玻璃具备这些特性，所以成为绝缘工业中广泛采用的优质介质材料。

在瓷质绝缘子中所采用的介质，是高质量的塑性黏土加石英砂和微晶化岗岩，它是制造瓷质绝缘子的好材料。经过一定配方，使介质特性改善，在绝缘子表面覆以厚薄均匀而又光亮的瓷釉。经过 1300℃ 左右烧结，使之成为耐压强度高、绝缘性能好的瓷质材料。它一般适用于高压输电线路，但这种高硅质瓷质绝缘子的抗弯和抗拉强度较低。随着超高压和特高压输电线路的架设，对悬式瓷质绝缘子的机械强度提出了更高的要求。为此，在介质材料配方中增加适量的氧化铝（即高铝质瓷），从而提高它的抗弯和抗拉强度。

钢化玻璃绝缘子用的介质是细粒石英砂、白云石、石灰石和长石等矿物原料，以及纯碱、碳酸钾、氟硅酸钠和芒硝等化工原料，按钢化玻璃的配方要求配制，经过 1500℃ 左右高温熔融成透明的玻璃体后，进行钢化技术的热处理，使产品的预应力分布均匀。这样可以提高它的机电强度和冷热性能，以满足高压和超高压输电线路的要求。制成后的盘形绝缘子瓷体或玻璃体的表面应是光滑的，同时在上表面保持 5°~10° 的斜坡面，便于下雨散水，并能把积在表面的污物冲掉。在下表面制成有棱的几何旋转体，以增加工频几何泄漏距离，并提高工频污闪和湿放电压。其头部制成圆锥形或圆柱形。我国生产的悬式瓷质盘形绝缘子按国家标准 GB1001—1986 标准生产，与前苏联一样，采用圆锥形的头部结构。它与美国和西欧国家普遍采用的圆柱形头部结构的不同点仅在于钢脚、钢帽与绝缘体的连接方法。以两种玻璃绝缘子为例，圆锥形头部内孔的受力面为推拔形，抗弯和抗拉时受力不均匀，难以提高它的机械强度。而圆柱形绝缘子，其头部内孔为内外螺旋形，受力面呈均匀分布的受压状态，从而提高了它的机械强度。由于圆柱形头部结构尺寸缩小，使产品的质量明显减轻，如图 1-3 所示。这两种玻璃绝缘子，圆锥形头部直径大而高，而圆柱形头部小而矮。表 1-1 表示了圆锥型和圆柱型两种玻璃绝缘子结构尺寸及质量比较，图 1-3 中钢化玻璃绝缘子头部结

构有锥头结构和柱头结构两种。由图 1-3 和表 1-1 中可以很清楚地看出,圆柱头结构产品的质量明显减轻,而其爬电距离增大了,这对提高抗污能力具有一定的优势。以 70kN 的玻璃绝缘子为例,圆柱形结构的盘径和高度分别比圆锥形的小 31.4% 和 4.5%,而爬电距离却增加了 9.4%,质量减轻了 20%。其他的绝缘子情况同样如此。由此可以显示出圆柱形头部结构的优越性。值得指出的是,圆柱形头部结构的瓷绝缘子,除了造型结构特殊外,还需增添一道头部上砂烧成的工序,这给生产工艺和稳定产品质量增加了一定的难度。现日本 NGK 公司已突破难关,大量生产和出口这种绝缘子。最近我国引进了日本技术和生产线,开始生产这种圆柱形结构的瓷质绝缘子。

表 1-1 圆锥型和圆柱型两种玻璃绝缘子结构尺寸及质量比较

绝缘子等级 (N)	头部结构	头部直径 (mm)	头部高度 (mm)	爬电距离 (mm)	质量 (kg)
70	锥 头	74.0	58.0	290	4.2
	柱 头	56.3	55.5	320	3.5
160	锥 头	90.0	72.3	330	6.8
	柱 头	75.0	68.0	370	6.0
210	锥 头	96.0	80.0	340	7.8
	柱 头	79.3	73.0	375	7.0

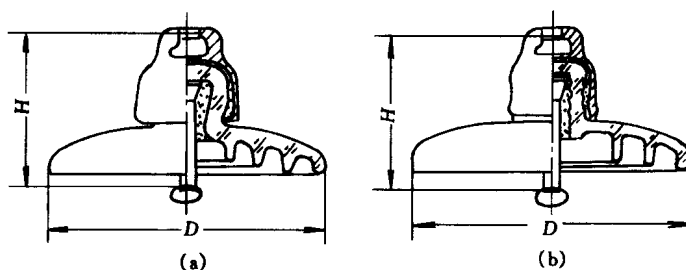


图 1-3 两种玻璃绝缘子头部结构

(a) 锥头结构; (b) 柱头结构

悬式绝缘子的胶装普遍采用高标号水泥作填充料,其膨胀系数应与钢脚钢帽以及绝缘元件相匹配,使做成楔形的水泥填充料紧密卡住。这就保证了头部钢帽和钢脚与水泥填充料之间不产生松动现象。圆柱结构因尺寸小,水泥填充料用量少,在确保提高机械强度的前提下,必须采用高频机械振动进行胶装,同时还采用温水养护。对钢帽钢脚的表面均应热镀锌防腐,直流架空线路用的绝缘子的钢脚还要用锌套保护,作为“牺牲”电极。目前我国生产的钢化玻璃绝缘子就是采用这种圆柱形头部结构,从而使尺寸缩小,质量减轻,强度提高。

绝缘子的钢帽一般由高硅可锻铸铁制成,其破坏强度为 0.4~0.6MPa。盘形悬式绝缘子的钢帽分球窝形和槽形两种。在钢帽结构中,为减小帽口处的应力,承力部分采用二层台阶,悬式绝缘子头部构造如图 1-4 所示。钢脚的承力面取锥角 $\gamma = 25^\circ \sim 30^\circ$ 。绝缘子的机电破坏负荷与绝缘件内孔承力面面积有关。承力面面积 S 可按式 (1-1) 计算。

$$S = (d + d_1) \times L \times \pi/2 = (d + d_1) \pi \sqrt{\frac{(d - d_1)^2}{4} + (h - r)^2} \times \frac{1}{2} \quad (1-1)$$