

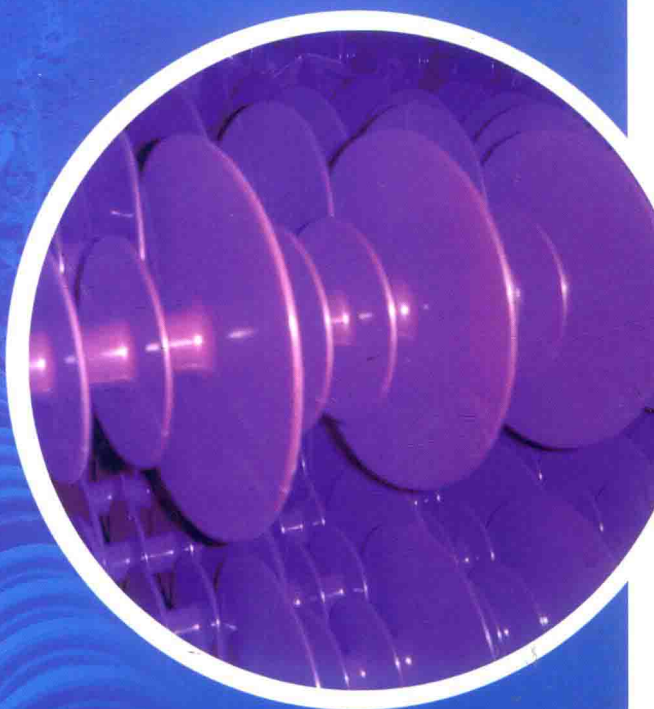
复合绝缘子

技术及故障案例分析

FUHE JUEYUANZI

JISHU JI GUZHANG ANLI FENXI

卢 明 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

复合绝缘子 技术及故障案例分析

FUHE JUEYUANZI
JISHU JI GUZHANG ANLI FENXI

卢 明 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书重点阐述了复合绝缘子现场运行及试验、复合绝缘子防覆冰技术、复合相间间隔棒防舞动技术、防舞动相地间隔棒、防风偏绝缘拉索等方面的新技术。

全书共六章,具体内容有复合绝缘子简介及发展历程、复合绝缘子防污闪特性及优势、防覆冰绝缘子技术、复合绝缘子的特殊应用、复合绝缘子性能检测及评价以及复合绝缘子故障案例分析。

本书可供从事输变电运行维护、技术管理、试验研究等工作的人员阅读使用,同时也可供绝缘子生产厂商技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

复合绝缘子技术及故障案例分析/卢明主编. —北京: 中国电力出版社, 2018.11
ISBN 978-7-5198-2575-1

I. ①复… II. ①卢… III. ①复合绝缘子—研究 IV. ①TM216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 241521 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: 薛 红 (010-63412346)

责任校对: 黄 蓓 太兴华

装帧设计: 王英磊 赵姗姗

责任印制: 石 雷

印 刷: 北京时捷印刷有限公司

版 次: 2018 年 11 月第一版

印 次: 2018 年 11 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张: 12.5

字 数: 222 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 56.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编 委 会

主 任 司学振

副 主 任 赵国喜 张洪涛 韦 静 李 清

委 员 姚德贵 王忠强 潘 勇 李 强 耿进锋

主 审 司学振

主 编 卢 明

副 主 编 阎 东 刘泽辉 吕中宾 赵书杰 张宇鹏

参编人员 寇晓适 杨 威 郭慧豪 谢 凯 王 超

庞 锴 高 超 吴光亚 刘 博 曹宏伟

杨晓辉 周晨光 白永祥 张 凯 姜国庆

白银浩 张 博 任 欢 郑 伟 张志伟



前言

复合绝缘子在我国电网中被大量应用,其优良的防污性能很好地解决了电网的防污闪问题,也正因为这一主要优点使得复合绝缘子在我国大量挂网使用,同时随着其使用数量的激增,由复合绝缘子带来的各种问题也日益增多。目前现场运行维护、技术管理、试验研究等单位的人员迫切需要学习和掌握关于复合绝缘子各方面的知识,包括基本结构、性能检测、事故分析、全过程管理等。

本书基于国网河南省电力公司电力科学研究院 2016 年承担的国家电网公司科技指南项目《特高压交直流工程用大吨位绝缘子运行性能跟踪分析评估研究》的研究成果和近些年多个科研项目,并参考引用了阎东、卢明等 2008 年出版的《输电线路用复合绝缘子运行技术及实例分析》一书中的部分内容,汇集了多年来在复合绝缘子现场事故案例分析方面的经验总结。在此也对几个课题的合作单位:重庆大学、清华大学、华北电力大学等单位表示感谢。本书在编写中,参考和引用了国家电网公司发布的关于复合绝缘子方面的文件和调查报告,并对相关研究成果进行了汇总,谨在此向相关人员表示衷心的感谢。

编者所在单位国网河南省电力公司电力科学研究院近年来在复合绝缘子现场运行及试验、复合绝缘子防覆冰技术、复合相间间隔棒防舞动技术、防舞动相地间隔棒、防风偏绝缘拉索等方面有深入的研究,本书中的许多研究成果是首次公开,对其他单位开展相关研究有很好的借鉴意义。

本书从复合绝缘子的结构、材料、设计、生产、运行、试验等方面入手,重点讲述复合绝缘子最新的几种特殊应用、运行评价以及现场故障实例分析,包括复合绝缘子的一些特殊故障案例等。随着学者对复合绝缘子的深入研究,复合绝缘子技术定会有长足的发展。

全书由国网河南省电力公司电力科学研究院教授级高工司学振担任主审,《特高压交直流工程用大吨位绝缘子运行性能跟踪分析评估研究》课题负责人卢明担任主编。

由于编者水平有限,书中不足或不妥之处在所难免,技术上也可能存在缺点和错误,敬请读者批评和指正。

卢 明

2018年8月于郑州



目 录

前言

第一章	复合绝缘子简介及发展历程	1
	第一节 复合绝缘子技术发展历程简述	1
	第二节 复合绝缘子结构	6
	第三节 近年来主要技术突破及未来趋势	23
第二章	复合绝缘子防污闪特性及优势	25
	第一节 硅橡胶防污机理	25
	第二节 自然环境下复合绝缘子憎水性变化特性	28
	第三节 复合材料的老化特性	40
	第四节 线路用复合绝缘子的技术优势	45
	第五节 线路用复合绝缘子的经济优势	49
	第六节 复合绝缘子选型分析	52
第三章	防覆冰绝缘子技术	56
	第一节 复合绝缘子覆冰分析	56
	第二节 冰闪机理研究	59
	第三节 覆冰复合绝缘子电场特性	63
	第四节 关于复合绝缘子冰闪的试验研究	76
	第五节 复合绝缘子防冰闪应采取的措施	80

第四章

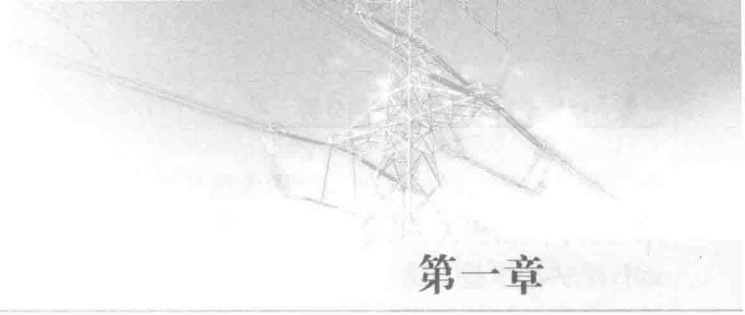
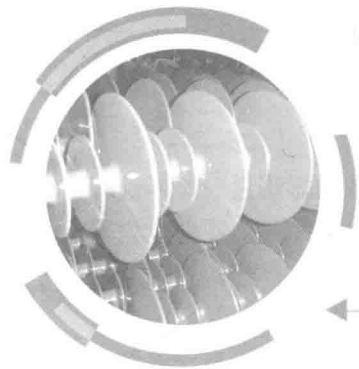
复合绝缘子的特殊应用	82
第一节 相间间隔棒	82
第二节 相地间隔棒	99
第三节 防风偏绝缘拉索	106
第四节 硬质复合绝缘子	111

第五章

复合绝缘子性能检测及评价	114
第一节 复合绝缘子试验	114
第二节 线路用复合绝缘子运行评价	123
第三节 复合绝缘子的使用	141
第四节 复合绝缘子性能检测典型案例	145

第六章

复合绝缘子故障案例分析	156
第一节 复合绝缘子芯棒脆断案例分析	156
第二节 复合绝缘子内击穿案例分析	160
第三节 复合绝缘子鸟啄案例分析	163
第四节 复合绝缘子鸟粪闪络案例分析	169
第五节 复合绝缘子发热案例分析	174
第六节 复合绝缘子酥断案例分析	179
第七节 复合绝缘子粉化案例分析	184
第八节 复合绝缘子不明原因闪络案例分析	187



第一章

复合绝缘子简介及发展历程

第一节 复合绝缘子技术发展历程简述

一、国内外研究现状

自 20 世纪 50 年代国外就开始研究和使用的复合绝缘子，当时主要使用环氧树脂浇注结构，一般安装在户外。20 世纪 60 年代后期出现了由树脂增强玻璃钢芯棒和以橡胶或氟塑料等聚合材料为伞裙护套的复合结构绝缘子，并陆续在 30 多个国家和地区的各种工业线路和试验线路运行。从 20 世纪 80 年代开始国外复合绝缘子推广应用非常迅速，美国是使用复合绝缘子最早和应用最广泛的国家。

国内复合绝缘子的发展和应用至今已有 40 多年的历史。早期复合绝缘子材质包括环氧树脂、乙丙橡胶、室温硅橡胶等。20 世纪 70 年代，随着高温硫化硅橡胶复合绝缘子在德国的问世，复合绝缘子相对于瓷绝缘子、玻璃绝缘子更加优异的耐污特性等优点充分显现，使复合绝缘子步入了高速发展时期。

我国对复合绝缘子的研制开发始于 20 世纪 80 年代初，尽管起步较晚，但起点高。在吸取国外经验教训的基础上，一开始就研制生产出高温硫化硅橡胶绝缘子。国产复合绝缘子从 1985 年首次挂网试运行至今，得到了生产运行部门的广泛好评，也引起了设计部门的关注。近年来，复合绝缘子不仅在各电压等级交流线路运行调整爬距（简称调爬）中广泛使用，而且在新建线路工程中得到大批量甚至全线路使用。2000 年，复合绝缘子开始用于 $\pm 500\text{kV}$ 直流线路；2005 年，又在 750kV 线路中批量使用。

我国电网的高速发展有力地促进了复合绝缘子产业的迅速壮大。目前，我国复合绝缘子的研究、制造和运行已居世界领先水平，运行经验也引起了国际大电网会议（International council on large electric systems, CIGRE）和国际电工委员会（International electro technical commission, IEC）的关注。实际运行表明，使用复

合绝缘子是解决我国污秽地区输电线路外绝缘污闪最为有效的方法之一，不仅有效遏制了大面积污闪事故的发生，也大大减轻了繁重的污秽清扫及零值检测等运行维护工作量。随着复合绝缘子制造装备、工艺和管理水平的提高，以及设计和运行经验的积累，复合绝缘子性能将得到进一步改善和提高。可以预见，复合绝缘子必将在特高压电网建设中得到大量应用，为电网安全可靠运行发挥更大的作用。

二、技术发展历程

全国电力系统复合绝缘子挂网运行大致可分为小批量挂网试运行、批量工业性试验及大规模实用化三个阶段。

第一阶段小批量挂网试运行阶段。1981~1988年，是我国复合绝缘子的研制期，1988~1990年期间复合绝缘子的科研工作告一段落，生产出的样品、包括科研过程中的样品开始在各级电网挂网试运行。据统计，最初几年生产厂家较少，只有湖北、河南、上海、内蒙古、山西、京津唐、甘肃和新疆等地的少数供电局试用了约2000支左右的复合绝缘子。

第二阶段批量工业性试运行阶段。20世纪90年代初至90年代中期，是复合绝缘子工业试运行阶段。1990年初华北电网大面积污闪事故，促进了复合绝缘子的生产，并大量的投入电网中运行。到1994年底，挂网运行已达到5万多支，主要集中在污闪多发的东北、华北、西北、华东等地区。在该阶段我国颁布了以国际电工委员会标准为基础的国家行业标准JB 5892—1991《有机复合绝缘子技术条件》及能源部颁发的〔1993〕45号文件《绝缘子全过程管理办法》，对复合绝缘子的鉴定、订货、验收、运行等提出规定。在这一阶段，早期开发的复合绝缘子胶装工艺逐渐被淘汰，开发采用了护套挤包、伞套粘结式工艺。

第三阶段大规模使用阶段。从1995年至今复合绝缘子受到电力运行部门的广泛好评，复合绝缘子进入全面实用化阶段。它不仅在运行线路和变电站母线吊串的调爬中得到广泛的应用。而且在新建、扩建的线路和变电站大量使用。据不完全统计，至1998年底复合绝缘子上网运行已近50万支。国家颁发了JB/T 8460—1996《高压线路用棒型悬式绝缘子》；国调中心调网也下发了《复合绝缘子使用指导性意见》（〔1997〕93号文件）和《入网合成绝缘子质量保证必备条件》（〔1997〕145号文件）。为规范复合绝缘子生产、适应电力系统大规模使用打下了良好的基础。在这个阶段，复合绝缘子的生产设备、技术和工艺等都得到了迅速的改进和完善；先进的生产设备、测试仪器被采用；芯棒与护套界面由挤包向整体模压和整体注射发展；端部密封由采用常温硫化硅橡胶向采用加密封圈、高温整体注射密封发

展；端部金具压接工艺被开发，直流线路用复合绝缘子被开发等。目前我国复合绝缘子的生产制造水平已经达到国际领先水平。

国网河南省电力公司（简称国网河南电力）自 1989 年试挂复合绝缘子以来，复合绝缘子技术经历了多次进步，伴随每次技术的进步，同步开展了多次复合绝缘子的更换。

（1）在端部压接方面：国网河南电力早期运行的产品（2000 年前的产品）多为非压接式生产工艺；2000～2002 年为过渡期，使用的产品既有压接式又有非压接式。2002 年后使用的产品为压接式复合绝缘子。当前国网河南电力对 220kV 及以上电压等级线路在 2000 年前的非压接式复合绝缘子进行了更换。

（2）芯棒方面：国网河南电力乃至整个国家电网公司，2000 年以前使用的复合绝缘子，采用的都是 E 型玻璃纤维普通环氧树脂芯棒，耐酸性能差。2000 年以后，随着三峡输电工程的全面启动，大大加速了无硼纤维（electrical grade corrosion, ECR）耐酸玻璃纤维芯棒的研制和开发，耐酸芯棒逐步成为主流。

（3）在伞裙工艺方面：综合河南电网线路复合绝缘子使用情况，经历了单伞伞套套装式工艺、护套挤压+伞裙粘结分装式工艺、伞裙套注射成型工艺三个发展阶段。单伞伞套套装式工艺是我国最早的复合绝缘子生产工艺方法，其粘结质量的分散性大且效率低，因此该工艺不适合大批量生产。同时粘结成形后具有许多粘结界面，这些粘结界面在运行过程中极易发生老化、开裂，最终造成芯棒受潮，影响到复合绝缘子的绝缘性能、机械性能等，严重的时候可能发生向复合绝缘子内击穿或脆断的恶性事故。目前挂网运行的复合绝缘子已经很少有这种单伞套装工艺生产的产品。

（4）端部密封方面：国内多数复合绝缘子厂家生产复合绝缘子的密封工艺是在伞裙护套与金具端面采用高弹性室温硫化硅橡胶粘结剂人工操作密封。这种室温固化粘结密封结构受操作工艺和粘结材质影响，粘结强度和密封性都较差，密封易损坏，难以保持复合绝缘子长期运行的密封稳定性。目前许多厂家和科研机构正在进行密封结构的研究工作。改进后的工艺采用高温整体注射成型工艺，在高温、高压注射胶料的过程中，胶料的流动可将端部密封处的空气充分挤出，在金具内外表面形成两道密封层，相对于传统的密封结构，粘结效果有了很大的提高。

三、复合绝缘子使用情况分析

目前，110kV 和 220kV 线路已全面使用复合绝缘子，500kV 线路悬垂串已经大面积使用复合绝缘子，特高压交直流线路悬垂串也广泛使用复合绝缘子。特高压直流线路耐张串也试点应用复合绝缘子，复合绝缘子使用率越来越高。

以国网河南电力为例：河南电网自 1989 年开始复合绝缘子试点运行并逐渐推广，大范围使用和推广复合绝缘子开始于 2000 年左右，2006 年前后力度最大。截至 2015 年底，河南省输电线路已安装复合绝缘子 416 774 串（110kV 及以上线路）。各电压等级线路使用情况见表 1-1。

表 1-1 各电压等级线路使用情况

电压等级 (kV)	线路长度 (km)	绝缘子总串数	复合绝缘子串数	复合绝缘子使用率 (%)
1000	342.8	5341	4300	80.51
±800	147.78	2424	1636	67.49
500	6991.7	96 433	73 189	75.90
330	140.29	2736	1422	51.97
220	15 870.2	193 481	150 765	77.92
110	19 672.2	251 067	186 884	74.44

以特高压线路为例：通过对国家电网公司范围内特高压线路绝缘子的使用情况进行全面的收集与分析，统计了全国 14 个省市的 420kN 以上大吨位绝缘子挂网情况，具体包括河南、湖南、甘肃、浙江、湖北、河北、江西、江苏、宁夏、山东、上海、天津、新疆、重庆。这些省（自治区、直辖市）均有长期的特高压线路运维的历史和经验，各自运维特高压交直流线路的具体情况见表 1-2。

表 1-2 各省份运维特高压交直流线路情况

省（自治区、直辖市）	1000kV		±800kV	
	条数（条）/全长（km）	杆塔数（基）	条数（条）/全长（km）	杆塔数（基）
河南	2/342.8	698	2/709.5	1378
湖南	—	—	3/1386.814	2948
甘肃	—	—	1/1350.73	2644
浙江	10/1347.47	1704	4/534.33	1027
湖北	1/180.289	357	2/981.476	1968
河北	5/656.99	944	—	—
江西	—	—	1/449.8	909
江苏	8/382.79	375	2/65.149	144

续表

省(自治区、直辖市)	1000kV		±800kV	
	条数(条)/全长(km)	杆塔数(基)	条数(条)/全长(km)	杆塔数(基)
宁夏	—	—	2/194.375	357
山东	2/155.498	155	—	—
上海	4/147.336	188	1/106.14	264
天津	8/578.650	1128	—	—
新疆	—	—	1/165.632	327
重庆	—	—	2/575	1114

统计之后得到,这14个省(自治区、直辖市)所运维的特高压交流线路全长3791.823km,±800kV线路全长8393.086km。在特高压交直流线路上,使用的绝缘子有瓷绝缘子、玻璃绝缘子和复合绝缘子。总体来看,复合绝缘子占特高压线路总串数的57.02%。所采样14个省(自治区、直辖市)绝缘子使用情况见表1-3。

表1-3 所采样14个省(自治区、直辖市)绝缘子使用情况

省(自治区、直辖市)	瓷绝缘子(串)	玻璃绝缘子(串)	复合绝缘子(支)	复合绝缘子占比(%)
河南	2585	1831	5588	55.86
湖南	15 448	2184	13 098	42.62
甘肃	0	2258	9356	80.56
浙江	3148	5640	12 958	59.59
湖北	3266	780	9288	69.66
河北	3126	2574	7884	58.04
江西	326	284	1520	71.36
江苏	764	76	2274	73.03
宁夏	776	772	2416	60.95
山东	1086	0	1856	63.09
上海	2606	2376	3702	42.63
天津	5618	0	7102	55.83
新疆	4	266	1512	84.85
重庆	4442	6	4028	47.52
合计	43 195	19 047	82 582	57.02

第二节 复合绝缘子结构

复合绝缘子是由芯棒、伞裙护套、粘结层、金具和均压环组成。

一、芯棒

(一) 概述

芯棒是复合绝缘子机械负荷的承载部件,同时又是内绝缘的主要部分,要求它有很高的机械强度、绝缘性能和长期稳定性。

玻璃纤维是芯棒的骨架,是主体。将玻璃纤维高温熔融成直径 $\leq 10\mu\text{m}$ 左右、外表光滑的圆柱状纤维,其拉伸破坏应力高达 $1000\sim 1500\text{MPa}$ 。以环氧树脂为基体材料,通过硅类表面处理剂固化成形,将玻璃纤维粘合成整体,从而组成环氧玻璃引拔棒,以此来承受和传递机械负荷。在芯棒中,玻璃纤维的含量一般在 $60\%\sim 80\%$,所以引拔固化后的环氧玻璃纤维引拔棒的抗张强度大于 600MPa 以上。

这样引拔棒抗张强度大约是普通碳素钢的2.5倍。如 $\phi 18\text{mm}$ 芯棒的抗张强度可以达到 $130\sim 170\text{kN}$ 。 $\phi 50\text{mm}$ 芯棒可以生产额定荷载 1000kN 的复合绝缘子。玻璃纤维引拔棒的强度大,而单位长度的质量小,仅为钢材的 $1/4$ 左右。同时环氧玻璃纤维芯棒还具有良好的抗弯曲性能,图1-1所示是正在进行的复合绝缘子芯棒弯曲强度试验。



图1-1 复合绝缘子芯棒弯曲强度试验

同时芯棒材料中,由于玻璃纤维与环氧树脂交接面具有吸振的能力,因此对振动的阻尼很高,其减振能力比金属

优越,这对于长期承受由于导线传递的微风频率振动是有好处的,根据试验,当纤维增强型材料出现一定损伤后,还可以经受上万次交变应力循环作用。而金属材料一旦出现疲劳裂纹后,经过很少次数的交变应力循环,就会很快发生突然断裂,所以复合绝缘子中的环氧玻璃纤维引拔棒的抗疲劳性能比金属优越。正因为如此,所以它为制造尺寸小、承受大拉力的复合绝缘子的制造提供了有利的条件。

按构成芯棒的主要材料玻璃纤维的性质分类,目前国内外存在着四种质量不同、性能不同、价格也不同的环氧玻璃纤维芯棒。

- (1) E 型玻璃纤维普通环氧树脂芯棒：不耐酸、抗拉强度 600~800MPa。
- (2) E 型玻璃纤维改进型环氧树脂芯棒：耐酸性能不良、抗拉强度 600~800MPa。
- (3) ECR 型耐酸玻璃纤维改进型环氧树脂芯棒：耐酸、抗拉强度 >1000MPa。
- (4) ECR 改进型耐酸高温玻璃纤维芯棒：耐酸、耐高温、抗拉强度 >1000MPa。

据相关资料统计, 2000 年以前生产的复合绝缘子采用的都是 E 型玻璃纤维普通环氧树脂芯棒, 耐酸性能差。2000 年以后, 随着三峡输电工程的全面启动, 大大加速了 ECR 耐酸玻璃纤维芯棒的研制和开发。

(二) 耐酸芯棒

最新研制出的 ECR 耐酸玻璃纤维芯棒具有比普通芯棒更好的耐酸性能, 可以大大降低脆断发生的可能性。复合绝缘子的脆性断裂 (简称脆断) 事故对电力系统危害十分严重, 成为生产厂家和电力部门非常关注的问题。目前所有脆断均发生在 E 纤维制成的普通芯棒上。国内外研究者一般都认为脆断是由于承载的绝缘子芯棒受到酸蚀环境的腐蚀作用而发生的, 并称之为应力腐蚀。自从输电线路中的复合绝缘子发生脆断事故以来, 德国赫斯特陶瓷公司从提高芯棒的耐应力腐蚀性能出发, 改变原来芯棒中使用的 E 玻璃纤维, 采用一种他们称之为 ECR 的无硼纤维, 生产出耐应力腐蚀性能大大提高的芯棒。近年来, 国内外大多数芯棒厂家都采用 ECR 纤维生产芯棒, 并推荐了关于复合绝缘子用芯棒耐应力腐蚀性能的试验方法。这种芯棒逐渐得到了用户的认可, 普遍称这种提高了耐应力腐蚀性能的芯棒为耐酸芯棒。但不是所有 ECR 纤维芯棒都具有很好的耐酸性能, 所以应选用耐应力腐蚀性能较好的耐酸芯棒。

对于耐酸芯棒的定义, 国内外没有统一明确的规定, 目前大致认为能达到应力腐蚀标准的芯棒为耐酸芯棒。我国 DL/T 810—2002《±500kV 直流棒性悬式复合绝缘子技术条件》中规定应力腐蚀标准为: 芯棒在 67% 的额定载荷 (S.M.L.) 下, 在浓度为 1mol/L 的硝酸溶液中不间断耐受 96h。

以 ECR 纤维材料为基材生产耐酸芯棒。自从使用以来, 未有过脆断事故。研究也表明, 采用 ECR 纤维制成的耐酸芯棒的耐应力腐蚀性能得到了极大的提高。特高压输电线路对线路的安全稳定性要求更高, 复合绝缘子的脆断也成为考虑的一大问题, 而对于耐酸芯棒的长期性能目前还没有最终的认识, 采用耐酸芯棒后, 复合绝缘子是否不发生脆断, 仍然很难回答。

清华大学的有关研究结论表明:

(1) 即使是已经达到现有应力腐蚀试验标准的耐酸芯棒,耐应力腐蚀性能之间也仍存在较大差别,耐应力腐蚀性能更好的耐酸芯棒,在非常严酷的条件下也极难发生脆断。

(2) 耐酸芯棒在某一浓度的酸液环境和表面刻痕的条件下,存在一个导致其断裂的临界应力值,临界断裂应力值随酸液浓度和表面微裂纹深度的增加而减小,反映了芯棒耐应力腐蚀性能的差异。

(3) 复合绝缘子芯棒应用于特别重要的工程时,可以适当提高现行应力腐蚀试验标准的要求,以挑选出性能更加优异的耐酸芯棒。

(三) 芯棒的生产工艺

从芯棒的生产工艺上来看,也有两个明显的阶段。早期用于连续生产玻璃纤维型材(FRP)的拉挤生产工艺均采用开放式浸胶,在常压下使玻璃纤维通过胶槽浸胶,然后经过成型模固化成型,经牵引机拉出,制造出各种FRP型材。由于玻璃纤维在经过浸胶槽时,是在常压状态下进行的,因此很容易发生玻璃纤维浸胶不透和夹带气泡,产品性能受环境影响大,这样大大影响到了复合绝缘子的运行性能。目前已经有厂家和科研单位研制出新型芯棒生产工艺——连续树脂传递模塑(Continuous Resin Transfer Modeling, CRTM)新工艺(习惯上称作芯棒的注射拉挤工艺)。通过这种新工艺生产出来的玻璃纤维芯棒具有以下明显的优点:玻璃纤维与树脂充分浸透;气泡含量少;芯棒玻璃纤维含量高;机电性能优良;注射的树脂一直保持有相同的固化特性;芯棒透明,使产品缺陷(如夹杂、结砂、气泡多等)易于发现和剔除。

目前,利用这种工艺的芯棒已经投入批量生产,也正在被越来越多的复合绝缘子生产厂家所采用。

复合绝缘子的在输电系统中具有重要的作用。运行过程中,由于受到外界环境和运行条件的影响,环氧玻璃引拔棒中的玻璃纤维易遭受水的侵蚀,会造成芯棒力学性能的下降,同时如果长时间浸水后会使得树脂发生水解而损坏,最终导致电性能的变坏。芯棒在干燥的正常状态下,工频击穿强度是很高的,大于12kV/cm,冲击击穿强度达到100kV/cm。但一旦受潮后,绝缘强度迅速下降,甚至丧失绝缘能力。所以环氧玻璃纤维棒作为绝缘子芯棒时,应保证芯棒不受水的侵蚀,以确保芯棒的机械强度和绝缘水平。

二、伞裙、护套

伞裙和护套是复合绝缘子的外绝缘部分,其作用是使复合绝缘子具有足够高的防污闪和雨闪的外绝缘性能,以保护芯棒免遭外部大气的侵袭。伞裙和护套常

年暴露在户外大气中，经受日晒、雨淋、酷暑、严寒等各种恶劣气象条件，承受自然（飞尘、盐碱）和各类工业污染，它在污秽潮湿条件下可能遭受火花放电或局部放电的烧蚀。通常要求伞裙和护套必须具有优良的耐污闪性能、耐漏电起痕性能和耐电蚀性能，以及耐臭氧、耐高低温等大气老化作用。复合绝缘子的优异耐污闪能力主要是由伞裙和护套的材料决定的，它直接关系到复合绝缘子的长期老化问题。

（一）伞裙设计

复合绝缘子的伞裙形状合理性不及瓷绝缘子和玻璃绝缘子。复合绝缘子结构细长，沿面电场分布不均匀，在伞裙护套与端部金具连接处的场强最高。伞裙的表面电流密度正比于局部场强，同时也取决于该处的表面积，圆柱直径越小的表面其电流密度越大。电流密度太大会导致局部电弧，局部电弧不但会造成端部密封的劣化，而且会使伞裙表面憎水性受到影响。同时在运行中易使相邻伞裙间局部爬电距离被空气短路和发生伞裙间飞弧短接，使其爬电距离减少，造成复合绝缘子的不明闪络。尤其是在运行若干年后，憎水性部分或完全丧失后，这种现象更易发生。因此不同的伞裙设计对复合绝缘子的耐污性能、电气性能和使用寿命都有重要的影响。一种好的伞形结构，应该充分兼顾各参数的配合，使之不仅具有相应的爬距和较好的防污性能和自洁性能，还要能够避免伞间电弧桥接的可能，从而使爬距能够被充分利用。

伞裙设计中伞间最小距离 C 和爬电系数 $C.F$ 是两个非常重要的参量。

伞间最小距离 C ：指具有相同伞径的相邻大伞，上面的一个伞的滴水缘最低点到下一个伞表面的垂线长度。如图 1-2 所示。

爬电系数 $C.F$ ：是整体绝缘子尺寸的设计参数，指绝缘子总的爬电距离与绝缘子两电极间沿空气放电最短距离之比。

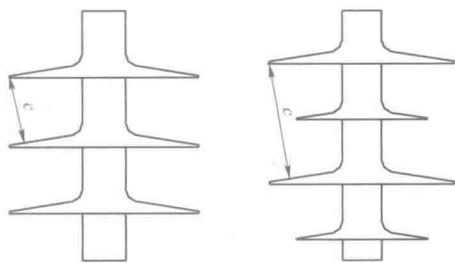


图 1-2 等径伞与大小伞伞间最小距离示意图

GB/T 26218.3—2011《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定，第 3 部分：交流系统用复合绝缘子》中对伞裙形状做了明确的推荐：大小伞推荐 C 值不应小于 70mm；对于等径伞推荐 C 值应不小于 35mm。对于所有污区等级推荐 $C.F$ 应不大于 4.4。

现在一些厂家及科研机构在上面基础之上对伞裙的设计又进行了改进，图 1-3