

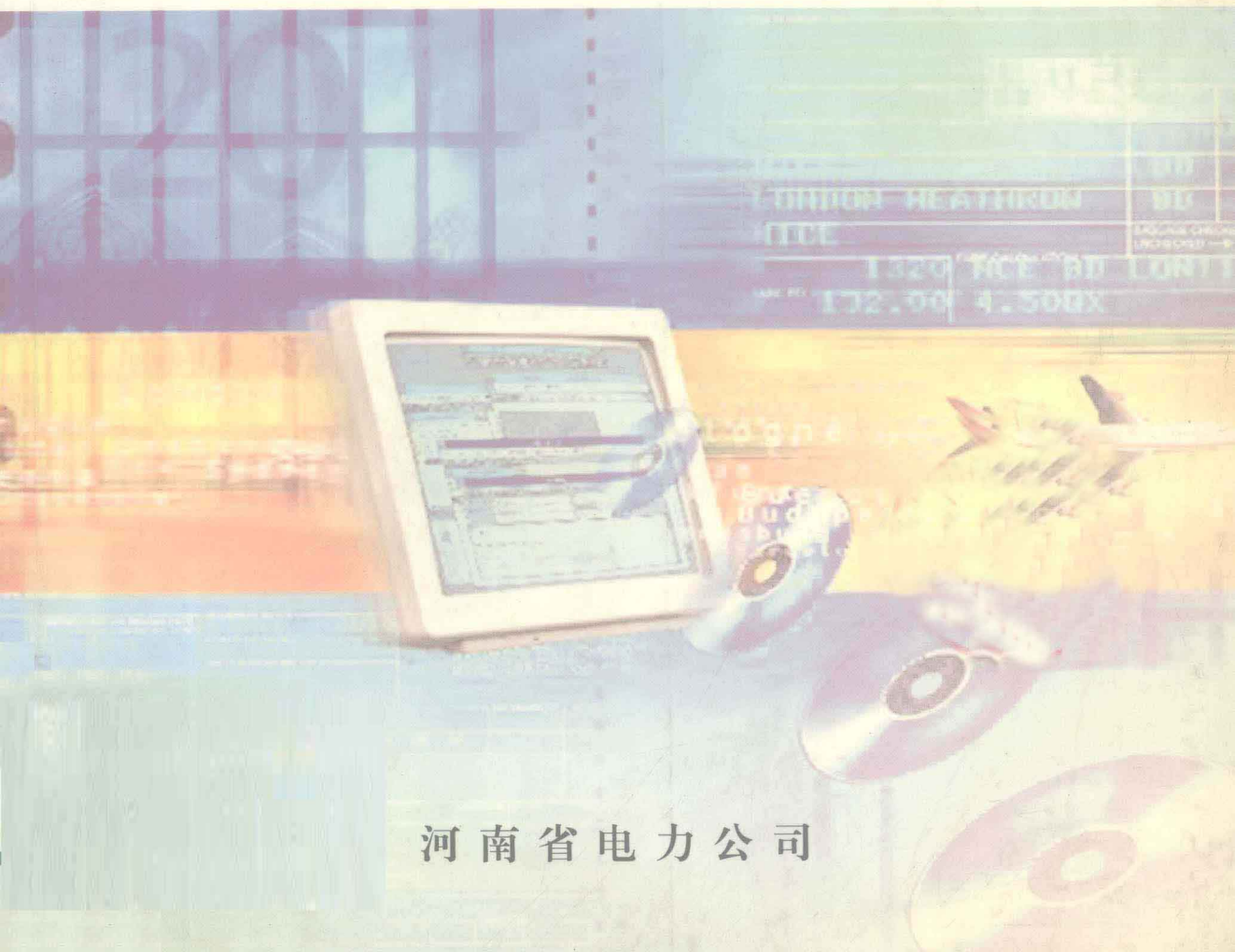


河南省电力公司
ELECTRIC POWER OF HENAN

河南省电力公司2005年

科技论坛

专题技术文集



河南省电力公司

编委会

主 编：罗承廉

副主编：杨成兴 刘韶

编 委：（按姓氏笔画排列）

牛元立

田 芳

卢 明

孙承亮

孙新良

闫 东

陈守聚

朱晓鹏

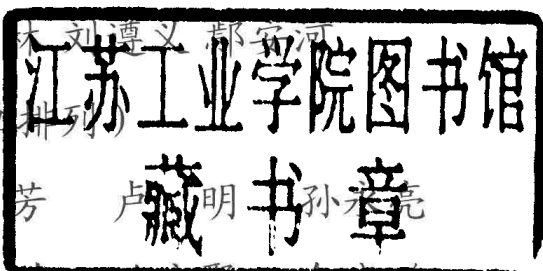
范 斗

郭一夫

胡家跃

黄兴泉

韩金华



前 言

在“科学技术是第一生产力”和“以信息化带动工业化、以工业化促进信息化”的重要思想指导下，我省电力科技信息工作蓬勃发展，取得了大量优秀成果。广大科技人员紧密围绕省公司的中心工作，自觉把科技的发展纳入省公司的大局之中，实施了大批围绕河南电网安全运行、资源优化配置、节能降耗、提高生产效率和管理水平的科技信息项目，解决了生产、建设、调度、安监工作中的一系列关键技术问题，取得了显著的经济效益和社会效益。通过卓有成效的信息化建设，成功建立了综合信息网络系统和网络安全防范体系，实现了信息资源整合和各应用系统数据的实时抽取和处理，全公司的信息化水平逐年提高。科技信息工作为电网安全、稳定、经济运行做出了突出贡献。

随着我省经济的快速发展，用电需求的增长潜力很大。电网供电能力与用电需求矛盾突出，电网企业安全责任增大，电网公司面临着越来越大的维护电网安全稳定可靠供电的压力。同时，电网建设的资金缺乏，外部条件趋紧，环保压力增大。这些挑战都对省公司的科技信息工作提出了更高的要求。科技信息工作必须走在公司电网各个领域工作的前面，为河南电网的生产、建设、

经营、管理各个方面提供全方位的优质服务。

为了认真落实科学发展观，使广大科技人员进一步深入了解科技信息化体系建设的内容和架构，了解河南电力科技信息化工作发展的现状和存在的差距和问题，掌握与电网安全运行密切相关的新技术、新方法，推动科技成果的普及应用，我们编辑出版了这本技术文集。该文集内容涉及信息化建设与研究，继电保护，变压器专题（有载分接开关动作特性测试、局部放电检测、绕组变形的频率响应测试等），电网线路基本情况，复合绝缘子应用，输电线路的污闪、导线舞动、覆冰闪络、鸟害、防雷、防锯盗等，内容丰富，图文并茂，既包含了深入浅出的理论分析，又介绍了许多行之有效的技术措施，同时还不乏详细具体的应用实例。相信这本技术文集的出版，会对我省电力系统的信息化建设和电网的安全、经济运行与管理起到一定的促进作用。

编者

2005年6月

目 录

输电线路

| | |
|-----------------------------|----|
| 一、河南电网线路基本概况 | 1 |
| 1 线路设备统计 (截止 2004 年底) | 1 |
| 2 绝缘子统计 | 1 |
| 3 线路跳闸原因统计 | 2 |
| 二、复合绝缘子及应用 | 3 |
| 1 复合绝缘子结构 | 3 |
| 2 复合绝缘子在我省的典型故障 | 4 |
| 3 复合绝缘子现场测试“四部法” | 9 |
| 三、输电线路导线舞动 | 11 |
| 1 架空输电线路导线舞动造成的危害 | 12 |
| 2 导线舞动的发展现状 | 13 |
| 3 导线舞动的影响因素 | 14 |
| 4 导线舞动的防护对策综述 | 16 |
| 四、输电线路覆冰闪络 | 21 |
| 1 今年信阳地区电网覆冰介绍 | 21 |
| 2 污闪 | 21 |
| 3 覆冰闪络研究综述 | 22 |
| 4 绝缘子串防冰闪的基本措施 | 23 |
| 5 覆冰绝缘子串防冰闪的机理及分析 | 25 |
| 6 结束语 | 25 |

| | |
|-------------------------|----|
| 五、输电线路的鸟害及防鸟害对策 | 26 |
| 1 鸟害概况..... | 26 |
| 2 鸟害产生的机理 | 27 |
| 3 电力系统防鸟害对策分析综述 | 30 |
| 4 我省南阳局防鸟害对策..... | 31 |
| 六、杆塔拉线部件防锯盗 | 35 |
| 1 拉线棒被锯盗的原因分析..... | 36 |
| 2 防盗对策..... | 37 |
| 七、变电站进线段综合防雷新技术研究 | 39 |
| 1 线路防雷方法介绍 | 39 |
| 2 综合防雷新技术研究科研项目应用介绍... | 41 |
| 八、河南电网雷电监测定位系统..... | 47 |
| 1 河南电网雷电监测定位系统简介 | 48 |
| 2 河南雷电定位系统目前应用情况 | 50 |
| 3 河南雷电定位系统应用情况 | 51 |
| 4 河南雷电定位系统下一步的工作 | 53 |

继电保护

| | |
|--------------------------|----|
| 九、加强继电保护技术进步提高电网安全稳定水平.. | 55 |
| 1 微机保护和收发信机的技术改进 | 55 |
| 2 高频保护收发信机的改进..... | 57 |
| 3 应用新技术，探索保护应用的新课题..... | 58 |
| 4 加大科技投入，提高管理手段和水平..... | 60 |

变压器

| | |
|-----------------------------|----|
| 十、变压器专题讲座 | 63 |
| 1 我省变压器设备概述 | 63 |
| 2 K-211 变压器有载分接开关动作特性测试仪... | 65 |
| 3 变压器局部放电超高频检测装置 | 68 |
| 4 变压器绕组变形的频率响应法测试 | 77 |
| 5 今后研究方向和待解决问题 | 82 |
| 6 结束语 | 83 |

开关

| | |
|----------------------------|----|
| 十一、GIS 局部放电在线检测技术及其应用 ... | 84 |
| 1 概述 | 84 |
| 2 GIS 局部放电在线检测技术 | 85 |
| 3 GIS 超高频局部放电检测技术的应用 | 93 |

电气设备状态监测

| | |
|----------------------|-----|
| 十二、电网设备状态监测及诊断 | 98 |
| 1 概述 | 98 |
| 2 电气设备状态在线检测技术 | 101 |
| 3 电气设备状态诊断专家系统 | 106 |
| 4 电网状态检修的未来 | 123 |

电网无功调试

| | |
|--------------------------|-----|
| 十三、河南电网初步实现实时无功电压优化调度... | 124 |
|--------------------------|-----|

| | |
|--------------|-----|
| 1 引言 | 124 |
| 2 实现原理 | 125 |
| 3 关键技术 | 127 |
| 4 系统功能 | 128 |
| 5 运行效果 | 130 |
| 6 总结 | 132 |

信息化建设

| | |
|------------------------|-----|
| 十四、电力企业信息化建设与研究 | 134 |
| 1 国内外电力企业信息化建设概况 | 134 |
| 2 国家信息化体系六要素 | 138 |
| 3 河南电力信息化建设概况 | 140 |
| 4 电力企业信息化建设现状分析 | 142 |
| 5 电力信息化发展趋势 | 144 |
| 6 电力企业信息化体系结构 | 145 |
| 7 电力企业信息化系统建设要点 | 150 |
| 8 电力企业信息化建设解决思路 | 151 |
| 9 数字化电网模型 | 154 |

河南电网线路基本概况

1 线路设备统计（截止 2004 年底）

110~500kV 线路总计 1010 条 19955 公里；

其中 500kV 线路 19 条 2036.47 公里，占总公里数 10.4%；

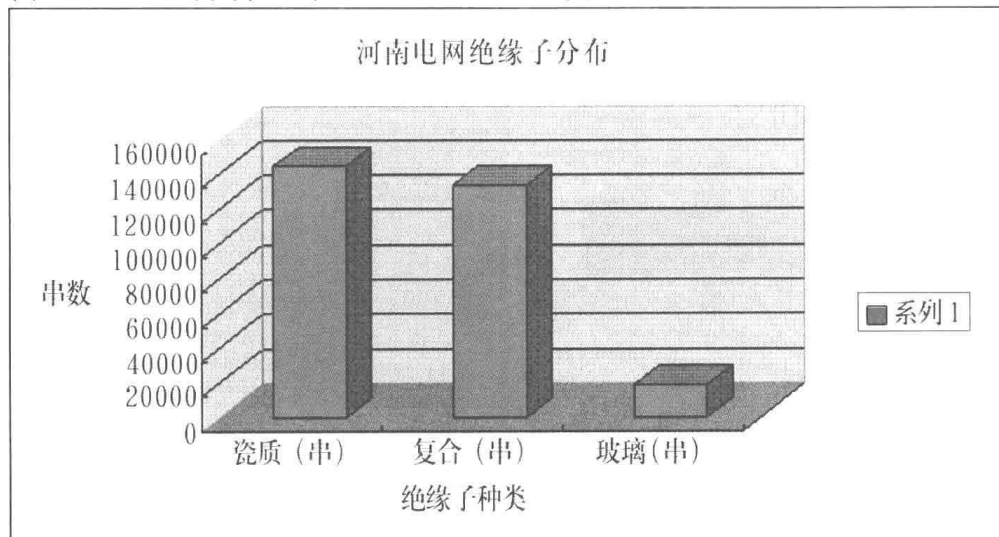
330kV 线路 1 条 50.86 公里，占总公里数 0.25%；

220kV 线路 224 条 8020.78 公里，占总公里数 40.2%；

110kV 线路 766 条 9847.68 公里，占总公里数 49.4%。

2 绝缘子统计

2004 年底全省线路已安装复合绝缘子 133074 串（110kV 及以上线路），占总挂网绝缘子串数的 45%。瓷质（串）：144437；占 49%；玻璃（串）：18005，占 6%。



3 线路跳闸原因统计

河南电网公司所属线路共跳闸 85 次，跳闸原因：外力破坏 32 次，占 37.65%，其中异物短路 15 次、机械碰线 9 次、盗窃倒杆（塔）8 次；雷击闪络 16 次，占 18.82%；鸟粪闪络 8 次，占 9.41%；风偏舞动闪络 16 次，占 18.82%，冰闪 5 次，占 5.88%，污闪 8 次，占 9.41%。

复合绝缘子及应用

前言

截止 2004 年底全省线路已安装复合绝缘子 133074 串（110kV 及以上线路），占总挂网绝缘子串数的 45%。但是我省大量使用的复合绝缘子运行特性及可靠性如何？有没有适合运行单位现场测试的方法？河南电力试验研究院通过科研项目“河南省线路用复合绝缘子运行特性及可靠性评价”对上述疑问进行了大量工作。该项目于 2005 年 3 月 18 日通过省公司鉴定。

1 复合绝缘子结构

复合绝缘子也有人称为合成绝缘子，它是由两种以上的有机材料组成的复合结构绝缘子。电网中运行的复合绝缘子主要是以棒型悬式绝缘子为主，约占各类运行复合绝缘子总串数的 95% 以上，因此在本文中主要进行该类型复合绝缘子技术的讨论。

复合绝缘子的主要部件及结构如图 1、图 2 所示。

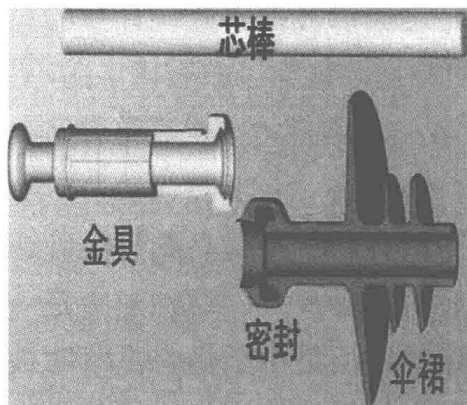


图 1 复合绝缘子结构主要部件

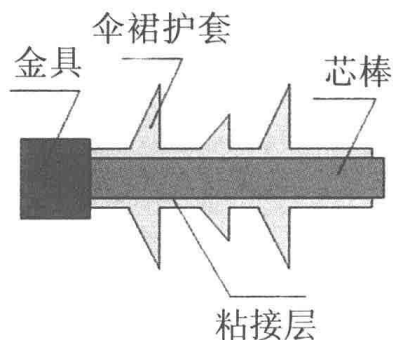


图 2 复合绝缘子基本结构

从构成复合绝缘子的四个部分的作用来看，复合绝缘子的结

构的主要特点是发挥了芯棒材料机械强度高和伞裙护套材料耐污性能好的优点，因此复合绝缘子的结构是合理的。

2 复合绝缘子在我省的典型故障

自1989年我省开始试运行复合绝缘子以来，至今已有15年。该产品在我省从无到有，现在已有约12万支挂网运行。最早的是1989年湖北襄樊产品，其余基本上为郑州祥和厂（前身郑供绝缘子厂）产品。它已成为我省电网的重要组成部分，而且今后将不断扩大应用。总体来讲，我省复合绝缘子的运行情况良好，它不仅以其优良的防污性能很好地解决了我省污秽地区的防污问题，而且以其重量轻、安装方便、便于维护（不用检测零值、少清扫）等特点，大大节约了人力资源及维护费用，收到了良好的经济效益和社会效益。复合绝缘子的应用在我省从无到有，截至2004年底约有12万支挂网运行，约占挂网运行绝缘子总串数的36%。并且随着电网的发展越来越多的输电线路都开始应用复合绝缘子。

2.1 鸟害闪络

鸟害闪络的实质是鸟粪闪络，这类事故占事故统计中的第二位，近些年来随着动物保护观念的增强，这类事故有增多的趋势，并且这类事故具有一定区域性。在我省的南部地区出现这种情况较多。

复合绝缘子的鸟害跳闸形式有两种：一种是鸟粪落在绝缘子上引起的闪络，绝缘子表面有明显的鸟粪痕迹，这种形式是一般意义上的、普遍认可的鸟粪闪络形式，但是由于鸟粪下落时被伞裙遮挡分隔为多段，实际上直接发生闪络的概率相对较低；在鸟粪闪络中更大的一部分是下面一种闪络形式。即鸟粪沿均压环外侧但接近均压环处落下，直接导致上下金具间短路放电，而绝缘

子上不留鸟粪痕迹，这种跳闸过去大多被判定为不明原因闪络。但目前已经证实是鸟害事故。这种形式的闪络原理已经由清华大学在试验室中研究证实。

目前还有一种因鸟叨啄伞裙引起的绝缘子伞裙护套的损坏，例如500kV辛嘉线路近来经巡视发现伞裙有被大鸟破损现象，见图3。通过现场查看，发现有大鸟活动的迹象，分析确定伞裙破损是由大鸟站立在均压环上啄叨伞裙护套引起的，对于这雷鸟害，应该做好防鸟刺及惊鸟措施，同时要求厂家对绝缘子的气味进行调整，使大鸟对某种树脂的芳香味不感兴趣。

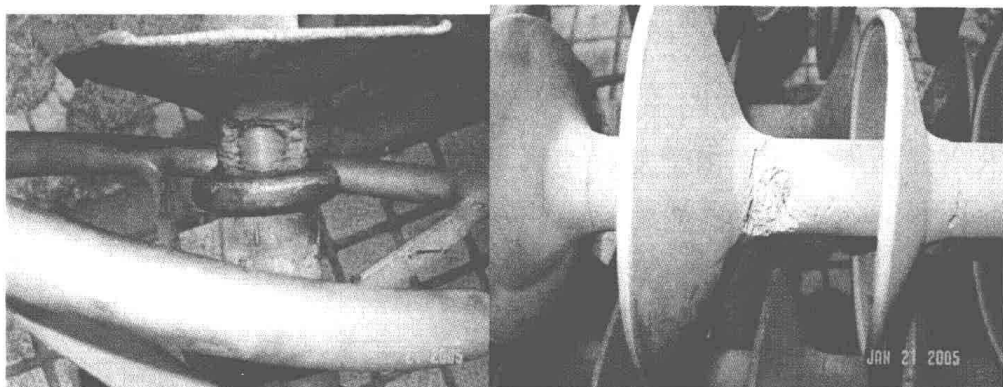


图3 鸟叨啄伞裙事故复合绝缘子照片

对于鸟害，目前采用的防鸟措施大致有绝缘子串第一片使用大盘径绝缘子或加装超大直径硅橡胶伞裙、横担上安防鸟刺和惊鸟装置等，都取得了很好的效果。下图4就是一种兼顾防冰雪和防鸟害闪络事故的绝缘子。

2.2 雷击闪络

在上述事故统计中，雷击闪络占到了我省复合绝缘子闪络的10% 比重不是太大。通过试验研究表明：复合绝缘子与瓷绝缘子串的雷电冲击放电特性，均由它们两端电极的距离所决定。在相同的环境条件下，如果它们两电极之间的干弧距离（ h ）相同，那么

输电线路

它们的雷电冲击放电电压基本相同。装有均压装置后，其雷电冲击特性由均压环所起的作用所决定的。与绝缘子是什么类型无关。

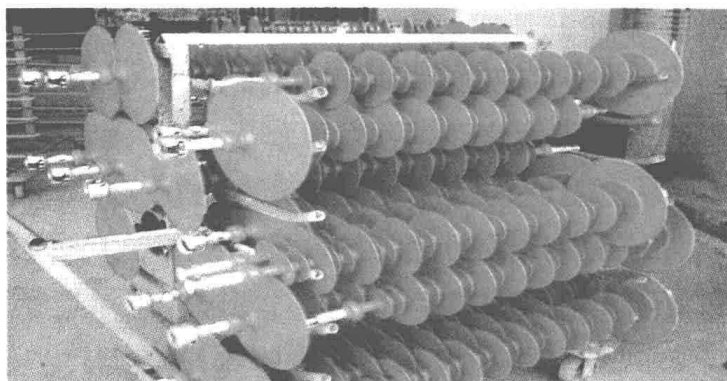


图 4 防冰雪、防鸟害复合绝缘子

如果在现役线路中用复合绝缘子代替瓷绝缘子，如果导线对铁塔的距离不变。由于复合绝缘子两端金具较长，伞裙直径较细，那么两端的干弧距离就比瓷绝缘子串的短。因此雷电放电电压相应的下降。下表 2.1 就是 110kV 复合绝缘子 50% 雷电冲击闪络特性对比结果。

表 2.1 110kV 复合绝缘子 50% 闪络特性对比试验结果

| 结构 | 实测绝缘距离 (mm) | 闪络电压 (KV) | 降低幅值 (%) |
|-------------|-------------|-----------|----------|
| 没有安装均压装置 | 1060 | 712.7 | / |
| 高压端安装均压装置 | 960 | 620 | 13.0 |
| 高低压端都安装均压装置 | 880 | 560 | 21.3 |

因此，提高复合绝缘子耐雷击闪络的最有效手段是，增加复合绝缘子的结构长度，要比目前的高出 10~15%。但这种方法仅适用于塔球头大的线路。对于塔球头小，和风偏校核不合格的不使用这种方法。根据我省雷电定位系统历史数据分析，可知我省的

西部和南部属于雷击活动多发区，因此在这些地方，运行单位就更应该在进行复合绝缘子选型时更应该注意提高复合绝缘子耐雷击闪络性能。

另外，根据运行经验，复合绝缘子发生雷击闪络后，线路大部分都能够重合成功。这一点不像瓷绝缘子串发生雷击闪络后停电事故多。在这一点上复合绝缘子还可以作为减少线路雷击事故的一项措施。

2.3 内击穿闪络

内击穿是复合绝缘子事故中一种恶性事故，它不象其它的闪络事故一样往往可以重合成功，一旦发生这类事故，就可能造成线路全线停运，影响到正常的输送电。下图5是我省某线路发生内击穿后复合绝缘子照片。

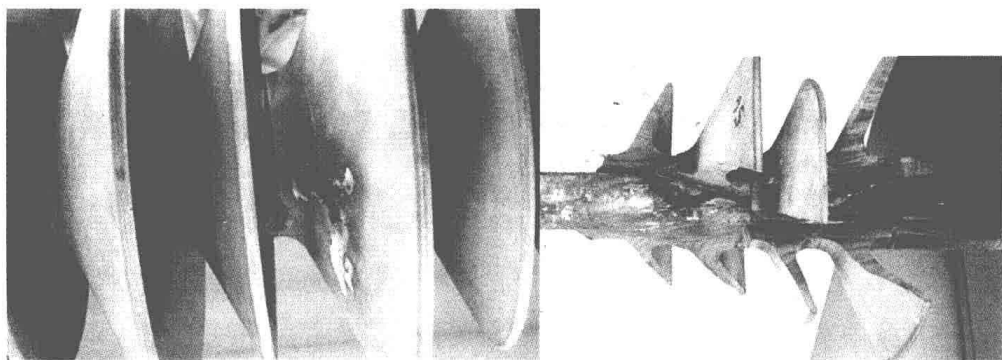


图5 我省某线路发生内击穿后复合绝缘子照片

从图中可以看出芯棒沿轴向炸成贯穿的两半，局部段炸成多个部分，击穿面大面积烧黑，击穿面邻近的芯棒部分已呈疏松状。目前关于内击穿机理比较一致的看法是：

复合绝缘子内部（界面或芯棒）存在缺陷，但击穿的具体原因仍有待深入研究，这里提出2种可能：一种是因绝缘子缺陷处的局部场强过高导致局部放电形成碳化通道并逐渐发展成贯穿性击穿；一种是护套或端部密封破坏，水份沿界面或芯棒的缺陷进入

输电线路

绝缘子内部，导致内击穿。

内击穿是一种渐进性的故障类型，从出现故障隐患到事故发生往往要经历很长一段时间，因此一方面在使用复合绝缘子上要严格把关，使用质量和工艺都优异的产品，另一方面在日常的运行当中一定要加强运行巡视，利用红外成像技术，检测跟踪发热异常的复合绝缘子，如果发现发热点温度持续升高或发热点转移，应立即采取其它相应的措施。

2.4 机械强度下降

由于机械强度下降造成复合绝缘子掉串的事故，在河南电网并没有出现过。但随着复合绝缘子运行年限的增长，复合绝缘子的机械强度下降的问题将是对电网输电线路安全运行的一大威胁。特别是采用早期楔型结构的产品，运行状况更令人担忧。因此，对于运行在10年以上的产品要加强巡视和抽检工作，每1~2年都要进行机械强度试验。一旦发现某一类型的产品不合格，建议密切关注或全部更换。

2.5 污秽闪络

复合绝缘子的憎水及憎水迁移性使其具有优良的耐污闪性能，因此在防止污闪闪络方面的作用是巨大的。但一些因素可影响憎水性的强弱，相应影响复合绝缘子的防污性能，例如：污秽成份、气象条件、强电场、紫外线、高低温变化等。例如镁等特殊金属粉尘可抑制憎水性的迁移；污秽中的不溶盐含量（以灰密表示）过高时，憎水性难以迁移至污层表面（例如：过厚的水泥污层）；气温较低时，憎水性迁移缓慢；连续潮湿天气都可使憎水性降低等。我省94年以来共发生污闪事故3次，占整个闪络事故的13%。虽然次数不多，但也说明应用了复合绝缘子后，防污问题并没有彻底解决。因此，运行单位今后对于运行中的复合绝缘子，

应定期做憎水性检测，以确定其当前的耐污闪性能，并用于综合分析该批产品的外绝缘性能是否已老化。目前还有单位提出以灰密指标控制复合绝缘子的清扫或更换，效果不错，并取得了一定的经验；此外，对闪络绝缘子，应尽可能及时测定表面憎水性，一旦等至一天甚至数天后测量，憎水性可能随天气变化而变化，这样就失去了判断复合绝缘子跳闸原因的重要参数。

2.6 包装、运输不当

在复合绝缘子异常情况中有一类情况往往容易被人忽略，这就是由于包装运输不当造成的复合绝缘子损坏。因为硅橡胶分子间的距离大，分子间作用力弱，这样就造成了硅橡胶本身的机械强度不高，比一般橡胶的强度要低；同时它的硬度、耐磨性较差，因此在包装、运输过程中极易发生这种情况，并且这些小的损坏往往不容易被发现。当这些受到损坏的复合绝缘子安装在线路上挂网运行，就会成为影响线路运行的一个安全隐患。

3 复合绝缘子现场测试“四部法”

根据本次对复合绝缘子的试验结果，我们提出运行单位现场测试的“四部法”（一看：外观检查、二照：红外测温、三掰：掰伞裙、四喷：测量憎水性），采用现场测试的“四部法”可以有效监测复合绝缘子的状态。抽检周期宜1~2年进行，对于重要联络线和重载线路应缩短检验周期。

3.1 一看：外观检查

在雨、雾、露、雪及晴天气条件下绝缘子表面的放电及憎水性能的变化情况；伞裙护套表面是否有蚀损、漏电起痕、树枝状放电获电弧烧伤；伞裙与护套之间是否有脱胶现象；端部金具连接部分是否有明显的滑移，密封处是否脱胶；球头球窝金具是否