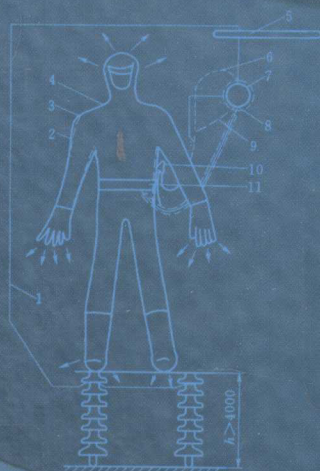


电力线路实
用技术丛书

电力线路故障 实例分析及防止措施

主编 殷俊河



DIANLI XIANLU GUZHANG
SHILI FENXI JI FANGZHI CUOSHI



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电力线路实用技术丛书

电力线路故障 实例分析及防止措施

主编 殷俊河



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本套丛书共 5 册, 本册主要介绍电力线路 18 种故障类型 200 多个典型事故实例分析及防止措施, 分别有: 电力线路故障类型及检测方法, 电力线路雷害, 污闪事故, 线路导线覆冰、舞动事故, 微风振动引起的事故, 线路导线风偏事故, 架空线路鸟害事故, 线路混凝土电杆裂纹, 接地装置腐蚀, 铁塔锈蚀, 杆塔基础故障, 倒杆断线, 绝缘子损坏, 电缆事故及低压配电线路事故等内容。本书是广大电业专业人员不可多得的书藉, 一册在手定会对你的工作有帮助。

本书内容丰富, 系统全面, 实用性强, 可供城乡电气专业人员阅读应用, 也可供大中专院校电气专业师生参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

电力线路故障实例分析及防止措施 / 殷俊河主编

— 北京: 中国水利水电出版社, 2010. 6

(电力线路实用技术丛书)

ISBN 978-7-5084-7608-7

I. ①电… II. ①殷… III. ①输配电线路—故障诊断
②输配电线路—检修 IV. ①TM726

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第115246号

书 名	电力线路实用技术丛书 电力线路故障实例分析及防止措施
作 者	主编 殷俊河
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 21 印张 524 千字
版 次	2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	42.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

编写人员名单

主 编：殷俊河

副主编：李家坤 葛秦岭 陈家斌 崔军朝 朱秀文 李强友
沈 磊 姜俊峰 汪 华 赵 鹏 张光明 吴 起

编 委：孟建峰 杨大冬 陈 钊 齐晓明 张立民 冷 超
李 楠 张宏宾 吴 璇 王云浩 韩洪生 牛新平
张建村

前言

随着时代的发展，国民经济迅速增长，人们的精神生活和物质生活水平日趋现代化，电力行业也随着社会发展的需要得到快速发展。为了保证社会的需要和人们生活的要求，就必须确保电网安全、稳定、科学经济地运行，为此要有一支业务素质过硬的电力职工队伍，才能管好、用好、电气设备，提高电气设备的施工、运行、检修质量。为满足广大电力线路专业人员的需要，我们特编写了这套《电力线路实用技术丛书》。

全套书共分五册，分别为：《电力架空线路设计与施工》、《电力架空线路运行维护与带电作业》、《电缆图表手册》、《配电网实用技术》、《电力线路故障实例分析及防止措施》。

本套书编者是从事多年电力生产一线专家，有着极其丰富的实践经验，在编写过程中，强调突出岗位实用的特点，深入浅出地介绍了本专业岗位应知应会的技术知识，重点是实际操作技能，尤其是对初学者起到“一学就会，拿来就用，立竿见影”的效果。

本套书严格按照国家现行标准、规程、规范进行组稿，内容丰富，系统全面，简明扼要，通俗易懂，便于自学，既有专业理论知识，又有岗位应知应会的基本技能知识，这样使读者拥有这套书就能很快胜任本职工作。

本册书为《电力线路故障实例分析及防止措施》，把电力线路故障分为18种类型，从生产实际中选编200多个典型事故实例进行认真科学地分析，并提出具体的防止事故发生的措施，对广大电气工作者提高岗位技能方面会有一定的帮助。

感谢电力系统广大工程技术人员提供的典型事故经验资料，由于编者水平有限，书中可能存在不当或错误，敬请广大读者批评指正。

编者

2009年10月

目 录

前言

第一章 电力线路故障类型及检测方法	(1)
1. 架空线路故障类型.....	(1)
2. 架空线路故障原因.....	(1)
3. 架空线路的检测项目.....	(4)
4. 电缆故障类型.....	(5)
5. 电缆故障产生的原因.....	(6)
6. 电缆故障的检查试验.....	(8)
第二章 电力架空线路雷害事故实例分析及防止措施	(12)
1. 东海 220kV 线路雷害事故的分析及防止措施.....	(12)
2. 全力 500kV 线路雷击事故分析及防止措施.....	(13)
3. 某电网雷击引起多条送电线路跳闸事故分析及防止措施.....	(17)
4. 安新 110kV 线路雷击事故分析及防止措施.....	(19)
5. 高明 110kV 线的雷害事故分析及防止措施.....	(21)
6. 自强 220kV 线防雷改造措施.....	(23)
7. 启岗 220kV 线防雷改造措施.....	(24)
8. 高桥 220kV 线路跨河段无避雷线的防雷方式分析.....	(26)
9. 亮华 35kV 线路闪络事故分析及防止措施.....	(30)
10. 天大 220kV 线路预放电棒间隙放电的故障分析.....	(31)
11. 天中 110kV 线防雷措施.....	(34)
12. 某电网 500kV 双回线路绕击故障分析及防止措施.....	(38)
13. 方全 220kV 线路频繁跳闸原因分析及整改措施.....	(41)
14. 某电网线路雷击闪络断线事故分析及防止措施.....	(45)
15. 某电网线路绕击事故现场分析及防止措施.....	(46)
16. 氧化锌避雷器在某电网送电线路上的应用.....	(49)
17. 杆塔接地装置引下线接触电阻对防雷的影响分析及改造措施.....	(51)
18. 百中 220kV 双回线路防雷措施.....	(53)
19. 某山区线路的雷害分析及防止措施.....	(55)
20. 某电网架空线路的雷害分析及防止措施.....	(57)
21. 高原某电网线路雷击事故分析及防雷对策.....	(60)
22. 雷害故障性质鉴别方法.....	(62)

23. 线路雷击闪络或污闪的判别方法	(65)
第三章 电力架空线路污闪事故实例分析及防止措施	(66)
1. 向北 500kV 线路污闪事故分析及改造措施	(66)
2. 田西 220kV 线路连续跳闸事故的分析及防止措施	(67)
3. 全新 220kV 线路闪络分析及防止措施	(68)
4. 重新 220kV 线污闪事故分析及防止措施	(69)
5. 某电网闪络故障的分析及防止措施	(70)
6. 某电网线路合成绝缘子闪络的分析	(72)
7. 马天 500kV 线路 317# 杆塔合成绝缘子污闪故障分析及防止措施	(74)
8. 全程 500kV 线污闪事故分析及防止措施	(76)
9. 某电网污闪事故分析及防止措施	(78)
10. 东北某电网闪络事故分析及防止措施	(80)
11. 东南某电网雾闪故障分析及防止措施	(82)
12. 沿海某地区线路绝缘子闪络的分析	(84)
13. 某线路空挂串盐密值监视方案的选定	(85)
14. 气象条件对线路污闪事故的分析	(88)
15. 利用测试线路绝缘子盐密指导线路清扫周期	(89)
16. 绝缘子串的闪络指示装置介绍	(93)
第四章 架空线路导线覆冰实例分析及防止措施	(96)
1. 架空线路导线防覆冰技术措施	(96)
2. 某山区架空输电线路的覆冰原因分析与防止措施	(99)
3. 某电网 220kV 线路的覆冰原因分析与熔冰措施	(100)
4. 某电网相方 110kV 线路覆冰断线事故分析及防止措施	(102)
5. 某电网自计 500kV 线路不均匀覆冰的分析及防止措施	(103)
6. 架空线路防冰环的应用	(104)
7. 架空导线覆冰临界电流的确定	(105)
8. 某电网线路导线覆冰舞动的原因分析及防止措施	(108)
9. 架空线路绝缘子串防冰闪原因及防止措施	(111)
10. 某电网前程 500kV 线路绝缘子覆冰闪络的事故分析和防止措施	(114)
11. 某电网架空线路绝缘子冰闪故障分析和防范措施	(116)
第五章 架空线路导线舞动事故实例分析及防止措施	(119)
1. 山区某架空线路导线舞动的分析及防止措施	(119)
2. 某 110kV 线导线舞动跳闸的分析及防止措施	(122)
3. 某 500kV 线路大跨越导线舞动的分析与防止措施	(125)
4. 电力架空送电线路导线舞动原因分析及防止措施	(130)
5. 某电网输电线路导线舞动分析及其防止措施	(135)
6. 使用耐热导线防线路导线舞动	(138)
第六章 架空线路微风振动引起损坏实例分析及防止措施	(141)
1. 架空线路微风振动引起的疲劳损坏分析	(141)

2. 某 220kV 线路跨江段导线振动磨损原因分析及防止措施	(150)
3. 山区某电网输电线路悬垂线夹磨损的分析及防止措施	(152)
4. 某电网 500kV 跳线线夹、跳线间隔棒线夹脱落的分析和防止措施	(156)
第七章 架空线路导线风偏事故实例分析及防止措施	(157)
1. 某线路风偏放电故障分析及防止措施	(157)
2. 某 220kV 线路 36# 杆导线风偏改造	(160)
3. 某线路转角塔中相跳线串风偏故障分析及改进措施	(165)
4. 某 500kV 线路风偏放电跳闸分析及防止措施	(166)
5. 某配电线路弛度过大发生混线事故分析及防止措施	(168)
第八章 架空线路鸟害实例分析及防止措施	(169)
1. 山区某电网线路防鸟害分析及防止措施	(169)
2. 某 110kV 线路鸟害的分析及防止措施	(170)
3. 丘陵地区某电网输电线路的鸟害分析及预防	(171)
4. 某线路合成绝缘子在运行中闪络故障分析	(173)
5. 某 500kV 线路合成绝缘子线路鸟害事故的分析及防止措施	(174)
6. 林区某电网 220kV 线路鸟害事故分析及防范措施	(175)
7. 某电网输电线路鸟害调查及防范措施	(177)
8. 某 220kV 线路的防鸟害治理	(180)
9. 鸟害引起某架空线路短路事故分析及防止措施	(181)
第九章 混凝土电杆裂纹的修复	(183)
1. 混凝土电杆的裂纹、腐蚀的原因分析及防护措施	(183)
2. 某单位电杆的裂纹修固方法介绍	(187)
3. 裂纹混凝土杆段高空更换方法	(190)
第十章 线路接地装置腐蚀实例分析及防护措施	(193)
1. 某电网 500kV 输电线路接地网腐蚀原因分析及防护措施	(193)
2. 全水 500kV 线路绝缘避雷线接地异常分析及处理	(195)
3. 直流对输电线路接地构件腐蚀的原因分析及防止措施	(196)
4. 山区某电网改善送电线路接地电阻措施提高耐雷水平	(199)
5. 电力送电线路杆塔接地降阻措施	(200)
6. 某 500kV 线路杆塔接地改造方法	(203)
第十一章 铁塔锈蚀实例分析及防护措施	(207)
1. 某 110kV 线路铁塔锈蚀的原因分析及预防措施	(207)
2. 某电网 500kV 线路铁塔基础腐蚀原因分析与治理	(209)
3. 南方某电网送电线路杆塔腐蚀的原因分析及防止措施	(210)
4. 架空线路拉线棒腐蚀改造措施	(212)
第十二章 架空线路导线断线故障实例分析及防止措施	(214)
1. 某电网线路引流线接头过热断股的原因分析及防止措施	(214)
2. 线路导线接头劣化原因分析和防止措施	(215)
3. 某线路架空避雷线严重断股的原因分析及防止措施	(218)

4. 光明 35kV 线断线事故原因的分析	(220)
5. 某线路架空绝缘地线的故障分析及改造措施	(222)
6. 某线路光纤复合地线雷击造成断股的原因分析及防止措施	(224)
第十三章 杆塔基础故障实例分析及处理	(226)
1. 送电线路杆塔基础上鼓原因分析及处理	(226)
2. 电力线路铁塔根部的钢筋混凝土补强防腐措施	(228)
3. 铁塔混凝土基础的裂纹原因分析和预防措施	(230)
4. 某线路铁塔基础倾斜变形的原因分析及处理方法	(231)
5. 锚杆静压桩在铁塔基础纠偏及地基加固中的应用	(234)
第十四章 架空线路其他故障实例分析及防护	(237)
1. 某线路倒塔断线原因分析	(237)
2. 某铁塔倾斜原因分析及纠偏措施	(239)
3. 某电网线路外力破坏事故原因分析及其防范措施	(241)
4. 防止杆塔拉线被盗的措施	(242)
5. 某单位带电作业引起导线脱落事故原因分析及防止措施	(243)
6. 线夹与导线规格不符, 运行中发生断线事故分析及防止措施	(244)
7. 相位接错造成的事故原因分析及防止措施	(245)
8. 二连板装反, 导线从悬垂线夹中脱落事故原因分析及防止措施	(245)
9. 爆压管压偏导致断线事故原因分析及防止措施	(246)
第十五章 架空线路的检测实例	(247)
1. 测量杆塔接地电阻的几种方法分析	(247)
2. 防止带电用火花间隙检测线路绝缘子误判措施	(251)
3. 线路静电感应的测试及防护措施	(252)
4. 线路塔上作业人员电场强的防护	(254)
5. 按瓷绝缘子劣化现状确定检测周期	(257)
6. 夜间巡视送电线路远红外夜视仪选用	(258)
7. 某电网瓷质悬式绝缘子检测	(259)
8. 线路状态监测	(261)
第十六章 带电作业工具发生故障实例分析及预防	(263)
1. 某带电作业班作业时发生绝缘杆爆炸的事故原因分析	(263)
2. 带电作业绝缘吊杆作业时炸裂的原因分析	(263)
3. 带电作业用横担固定器在实习作业中断裂	(264)
4. 带电作业用绝缘软梯回头扣加工质量事故的原因分析	(264)
第十七章 架空线路绝缘子故障实例分析及预防措施	(267)
1. 电力线路用瓷、玻璃、合成绝缘子故障原因分析	(267)
2. 某线路绝缘子劣化原因分析	(271)
3. 某电网线路绝缘子雷击闪络断裂事故的分析	(272)
4. 某电网掉线故障的分析及防止措施	(274)
5. 钢化玻璃绝缘子运行情况分析	(275)

6. 耐污型钢化玻璃绝缘子运行情况分析	(278)
7. 某电网玻璃绝缘子与瓷绝缘子的运行情况比较	(279)
8. 复合绝缘子运行性能分析	(283)
9. 复合绝缘子芯棒出现脆断原因分析及防止措施	(287)
10. 某电网合成绝缘子运行状况的分析	(290)
11. 某直流 500kV 线路绝缘子故障原因分析及防止措施	(295)
12. 某线路大风时横担侧绝缘子破损的原因分析及防止方法	(298)
第十八章 低压电力线路故障实例分析及处理	(302)
1. 扎线松动导线磨损造成断线事故分析及防止措施	(302)
2. 导线死弯造成断线事故分析及防止措施	(302)
3. 乱接照明造成事故分析及防止措施	(303)
4. 导线弧垂不一致造成短路断线事故分析及防止措施	(304)
5. 同杆架设的上下导线距离不够造成的短路事故	(304)
6. 动力与照明线路混接引起故障分析及防止措施	(305)
7. 零线、接地线混接引起故障分析及防止措施	(305)
8. 大气过电压引起低压的线路事故分析及防止措施	(306)
9. 低压线路内部过电压引起的事故分析及防止措施	(307)
10. 导线接头接触不良引起的故障分析	(308)
11. 未送电线路引起触电事故分析	(309)
12. 未接火的线路带电故障分析	(309)
13. 检修的线路无断零线出现的故障分析	(310)
14. 配电线路雷击事故分析及防止措施	(311)
15. 高低压线路交叉引起的事故分析及防止措施	(312)
16. 大雪引起的低压电网事故分析及防止措施	(313)
17. 高杆路灯的防雷保护	(314)
第十九章 电力电缆线路故障实例原因分析及排除	(315)
1. 某 110kV 电缆绝缘击穿故障查找	(315)
2. 110kV XLPE 电缆故障定位	(316)
3. 电力电缆接地故障诊断	(317)
4. 电缆护套损坏故障诊断	(318)
5. 电缆着火事故分析及防止措施	(319)
6. ZLQ 型电缆头接地线封铅焊接故障分析及防止措施	(321)
7. 错接电缆地线造成的事故分析及防止措施	(321)
8. 电缆头接触不良引起的故障分析处理方法	(322)
9. 电缆头制作不合格引起的事故分析及改进措施	(322)
10. 油纸电缆热收缩头渗油的防治方法	(323)
11. 电缆散热不良引起火灾分析及防止措施	(324)
12. 电缆短路引起火灾事故分析	(324)

第一章 电力线路故障类型及检测方法

1. 架空线路故障类型

线路故障大致分为以下几类。

○ 短路故障

线路中不同电位的两点被导体短接起来，造成线路不能正常工作的故障，称为短路故障。

○ 断路故障

线路断路故障是指线路某一个回路非正常断开，使电流不能在回路中流通的故障。如断线、接触不良等。

○ 接地故障

线路中的某点非正常接地所形成的故障，称为接地故障。接地故障有单相接地故障，两相或三相接地故障。对于中性点接地系统的单相接地，实际上构成了单相短路故障。对于中性点不接地的单相接地，将使三相对地电压发生严重变化，从而造成电气绝缘击穿故障等。

架空输电线路用的钢芯铝绞线常发生断线、雷击烧伤和过热，由于三种金属（Zn、Al、Fe）产生异种金属接触腐蚀常发生断线，其机理如图 1-1 所示。

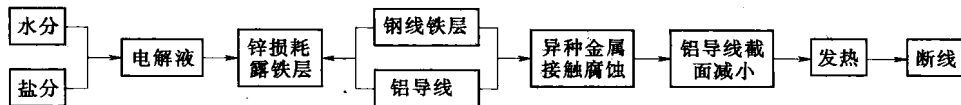


图 1-1 架空钢芯铝绞线腐蚀故障机理

2. 架空线路故障原因

○ 短路故障的类型及原因

(1) 短路故障的类型。不同电位的导电部分之间被导电体短接，或者其间的绝缘被击穿，称为短路故障。

按照不同的情况，短路故障又分为金属性短路、非金属性短路；单相短路、多相短路；匝间短路等。

1) 金属性短路和非金属性短路。不同电位的两个金属导体直接相接或被金属导电线短路，称为金属性短路。金属性短路时，短路点电阻为零，因而短路电流很大。

若不同电位的两点不是直接相接，而是经过一定的电阻相接，则称为非金属性短路。非金属性短路时，短路点电阻不为零，因而短路电流不及金属性短路大，但持续时间可能很长，在某些情况下，其故障危害性更大。

2) 单相短路和多相短路。在三相交流电路中，短路故障分为单相短路、三相短路、两相短路。

只有其中一相对中性线或地线发生短接故障，称为单相短路故障。当发生单相短路时，故障相的设备将不能工作，与故障相相接的三相设备和两相设备也不能工作。

三根相线相互短接，称为三相短路故障。三相短路是最严重的短路故障。

两根相线相互短接，称为两相短路故障。

(2) 短路故障原因。产生短路故障的基本原因是不同电位的导体之间的绝缘击穿或者相互短接而形成的。

1) 三相线路短路一般有以下原因：

- a) 线路带地线合闸。
- b) 线路倒杆造成三相接地短路。
- c) 受外力破坏。
- d) 线路运行时间较长，绝缘性能下降等。

2) 两相短路故障的原因：

- a) 导线弧垂大，遇刮大风导线摆动，两相线相碰或绞线形成短路。
- b) 受外力作用，如杂物搭在两根线上造成短路。
- c) 遭受雷击形成短路。

(3) 短路故障分析。

1) 绝缘击穿。电路中不同电位的导体间是相互绝缘的。如果这种绝缘损坏了，就会发生短路故障。

2) 导线相接。两条不等电位的导线短接，也是造成电路短路故障的重要原因。这种短接可能是由于外力作用，也可能是人为的误操作。

a) 导线摆动，两相导线相碰。某高压线，由于弧度过大，不符合要求，在风力作用下导线摆动，两相导线相碰，造成短路，变电所主开关跳闸，造成大面积停电事故。

b) 树枝使导线短接。线路旁一棵树越长越高，三根导线经常与树枝相摩擦。遇到下雨天，三根导线通过树枝和雨水形成三相短路，且一相导线烧断。

c) 临时短接未拆，造成严重短路。维修线路时，为了防止误送电而引起触电事故，通常在线路停电后首先挂上短接线，线路维修完毕，必须将此临时短路线拆除。一次，某维修工人忘记拆除短接线，送电时便形成三相短接，三次重合闸，三次短路，强大的短路电流使开关触头严重烧损而不能使用。由于更换开关而使该线路长时间停电。

3) 鸟类等外物碰撞也是造成电路短路故障的重要原因。

4) 架空电力线路下方违章作业。在架空电力线路下方进行吊装和其他作业，不按规定操作，也容易造成电力线路短路。

○ 断路故障的现象及原因

(1) 断路故障的现象。断路是最常见的故障。断路故障最基本的表现形式是回路不通。在某些情况下，断路还会引起过电压，断路点产生的电弧还可能导致电气火灾和爆炸事故。

1) 断路点电弧故障。电路断线，尤其是那些似断非断路点（即时断时通的断路点），在断开瞬间往往会产生电弧，或者在断路点产生高温，电力线路中的电弧和高温可能会酿成火灾。

2) 三相电路中的断路故障。三相电路中，如果发生一相断路故障，一则可能使电动机因缺相运行而被烧毁；二则使三相电路不对称，各相电压发生变化，使其中的相电压升高，造成事故。三相电路中，如果零线（中性线）断路，则对单相负荷影响更大。

(2) 断路故障的原因。线路断路一般有以下原因：

- 1) 配变低压侧一相保险丝熔断。
- 2) 架空线路的一相导线因故断开。
- 3) 导线接头处接触不良或烧断。
- 4) 外力作用造成一相断线等。

○ 线路接地故障原因

线路接地一般有以下原因：

- 1) 线路附近的树枝等碰及导线。
- 2) 导线接头处氧化腐蚀脱落，导线断开落地。
- 3) 外因破坏造成导线断开落地。如在线路附近伐树倒在线路上，线跨越道路时被汽车碰断等。
- 4) 电气元件绝缘能力下降，对附近物体放电。

电力线路故障及原因见表 1-1。

表 1-1 电力线路故障及原因

序号	故 障	故 障 原 因	故 障 防 止 措 施
1	导线混连 短路	(1) 导线的弧垂太大 (2) 同挡用不同种类导线连接 (3) 外力、外物破坏 (4) 导线上结冰后融化脱落或导线跳动	(1) 按规程调整导线的弧垂 (2) 加长承力杆横担 (3) 夏季重点加强线路巡视工作
2	导线拉断	(1) 导线的拉力太大 (2) 导线被损伤 (3) 产品质量低劣 (4) 导线上结冰	(1) 导线的弧垂太小及时调整（冬季） (2) 严把施工质量关 (3) 使用国标产品 (4) 加强新建线路验收 (5) 机械除冰 (6) 电流除冰
3	导线接头 接触不良	(1) 承力接头质量低劣 (2) 弓子线跳线不合格	(1) 直接绑接法 (2) 钳压接法 (3) 严格按规程要求施工
4	倒杆、断 杆、断横担	(1) 电杆埋置深度不够 (2) 电杆埋在松土、水田里 (3) 雨季电杆未采取防风措施（河道、山坡） (4) 冬季施工解冻后杆基下沉	(1) 加强施工质量 (2) 保持杆周围环境 (3) 采用有效措施（打围桩、加固等） (4) 风期加强巡视，采取有效措施 (5) 采用国标产品 (6) 加强新建线路验收
5	绝缘子 不良	(1) 制造质量不良 (2) 施工碰伤 (3) 雷电过电压 (4) 污脏 (5) 外力破坏 (6) 绝缘老化	(1) 采用名牌产品 (2) 耐压试验 (3) 加强施工质量 (4) 严禁向绝缘子抛物 (5) 严禁在线路上打鸟、射击 (6) 带电测试 (7) 停电用兆欧表测试
6	污闪	(1) 尘土污秽 (2) 盐碱污秽 (3) 海水污秽 (4) 工业污秽 (5) 鸟粪污秽	(1) 确定线路污秽期及污秽等级 (2) 定期清扫 (3) 更换不良绝缘子 (4) 增加单位泄露比距 (5) 采用有效涂料

3. 架空线路的检测项目

测试是巡视检查的必须补充，使用仪器能测得正常巡视检查无法发现的缺陷。

○ 绝缘子测试

为查明不良绝缘子，一般每年应进行一次测试。其方法是利用特制的绝缘子测试杆，在带电线路上直接进行测量。

(1) 可变火花间隙型测试杆。根据绝缘子串中每片绝缘子上的电压分布是不均匀的，改变测试杆上电极间距离，直至放电，即可测得每片绝缘子的电压，当测出的电压小于完好绝缘子所应分布的电压时，就可判断出不良绝缘子。

(2) 固定火花间隙型测试杆。电极间的距离，已预先按绝缘子的最小电压来整定（一般间隙为 0.8mm）。由于间隙已固定，而绝缘子串的电压分布不能测出，只能发现零值或低值绝缘子。

测试时应注意：不能在潮湿、有雾或下雨天测试，测试的顺序应从靠近横担的绝缘子试起，直到一串绝缘子测试完为止。

○ 导线接头测试

导线接头是个薄弱环节，长期运行接头接触电阻可能会增大，接触恶化的接头，夜间可看到发热变红现象。因此，除正常巡视外，还应定期测量接头电阻。

(1) 电压降法。正常的接头两端的电压降一般不超过同样长度导线电压降的 1.2 倍。若超过 2 倍，应更换接头才能继续运行，以免引起事故。

测量时，可在带电线路上直接测试负荷电流在导线连接处的电压降，也可在停电后，通过直流电进行电压降的测量，但带电测试必须注意安全。

(2) 温度法测试。用红外线测温仪，可距被测点一定距离外进行测试，通过导线接头温度的测量，来检验接头的连接质量。

○ 检测诊断方法

架空输电设备历来是靠目测进行巡线检查来诊断设备劣化状态的。这种方法难以发现绝缘子劣化和导线损伤，也不能定量地掌握设备的劣化状况。近年来国内外电力部门一方面对现有的架空输电设备故障诊断技术加以改进，另一方面开发新的非破坏性带电诊断检测技术。例如：自走式电磁感应导线损伤诊断、钢芯铝绞线的钢芯腐蚀诊断、红外温度及热成像诊断导线过热、自走式不良绝缘子检测器、绝缘子污秽监测系统、合成绝缘子的诊断以及绝缘子的人工智能诊断等，其诊断概况如表 1-2 所示。

架空线路的故障定位技术传统方法，有脉冲式阻抗式，采用行波新型技术，差动式故障定位；电磁场检测故障定位以及光纤复合架空地线（OPGW）定位。人工智能（神经网络和专家系统）技术得到发展。架空线路故障原因判识，采用闪络前后高次谐波的辨识方法也得到开发。

表 1-2 架空输电设备的检测诊断法

设备部件	劣化状态	检测诊断方法	检测诊断项目	备 注
1. 杆塔	塔材 腐蚀， 变形	目视，膜厚测量器	观察生锈、变形、龟裂情况， 测量镀锌层膜厚	
	接地装置 腐蚀， 断线	目视及脉冲式接地测试器	用相似于雷电波的脉冲加于塔脚，测接地电阻	可不打开地线进行

续表

设备部件	劣化状态	检测诊断方法	检测诊断项目	备 注
2. 绝缘子	绝缘子	目视不良绝缘子检测器: (1) KD式 (2) 氛灯式 (3) 音响式 (4) 音响脉冲式 (5) 兆欧表式	(1) 直接读取绝缘子泄漏电流 (2) 由发光程度看绝缘子承担电压 (3) 测量间隙放电声响大小, 检查绝缘子分担电压 (4) 音响脉冲经接收器脉冲电压值 (5) 用绝缘子旁路电容测分担电压	带电进行 用绝缘杆 只适用于2~ 3片针式瓶 用绝缘杆凭 经验
	金具	腐蚀、 磨损	目视	
3. 导线、地线	导线及 地线	断股, 烧伤 (3) 8mm 摄像机电视 摄像机	(1) 望远镜或乘吊篮 (2) 在自走机的两侧装摄像机, 然后放映检查	
		过热 (2) 红外温度计 (3) 目视	(1) 用红外摄像电视, 从热像图发现导线热点, 温度 (2) 检查导线发热热点 (3) 用反射镜观察	设备贵重

4. 电缆故障类型

电力电缆故障类型较多, 较常见的有漏油、接地、短路、断线等。现综合如下。

○ 漏油

(1) 过负荷引起使温度过高, 内部油压升高, 一般从中间接头或端头渗漏出来。漏油严重的应重新制作端头。

(2) 端头高低差过大由静压造成漏油。应加强密封。

(3) 中间接头或终端头绝缘包扎不紧, 端头密封不好。应进行重新包扎处理。

○ 接地和短路

(1) 负荷过大, 造成绝缘老化过快而损坏。

(2) 终端头或中间接头密封不良而进水。应清除水和提高接头质量。

(3) 铅包上有小孔或裂纹或化学及电腐蚀, 或被外物刺穿, 潮气和水分进入电缆内部使绝缘损坏。

(4) 弯曲半径太小, 或受外力而发生机械损伤。

(5) 绝缘制造中的先天缺陷: 如带的裂纹、填料过少、浸渍不良、合成物不稳定等。

(6) 受到闪电的冲击而过电压击穿。

(7) 低阻接地或短路故障。电缆一芯或数芯对地绝缘电阻或芯与芯之间的绝缘电阻低于 $100\text{k}\Omega$, 而导线连续性良好者。一般常见的有单相接地, 两相或三相短路接地。

(8) 高阻接地或短路故障。电缆一芯或数芯对地绝缘电阻或芯与芯之间的绝缘电阻低于正常值很多但高于 $100\text{k}\Omega$, 导体连续性良好。一般常见的有单相接地、两相或三相短路或接地。

○ 断线

施工中挖断和损坏电缆, 敷设处地面沉降而受拉力太大, 导体制造中的缺陷等。

- (1) 断线故障。电缆各芯绝缘良好，但有一芯或数芯导体不连续。
- (2) 断线并接地故障。电缆有一芯或数芯导体不连续，而且经电阻接地。
- (3) 闪络性故障。这类故障大多在预防性耐压试验时发生，并多出现于电缆中间接头或终端头内。发生这类故障时，故障现象不一定相同。有时在接近所要求的试验电压时击穿，然后又恢复，有时会连续击穿，但频率不稳定，间隔时间数秒至数分钟不等。

○ 交联聚乙烯电缆的故障

交联聚乙烯电缆已得到广泛的应用，而这种电缆的故障又有其特殊性，其老化可分为化学树、水树和电树老化。

(1) 化学树老化。当埋在含有硫化物工厂废液或地下水的砂土中的电缆，或受硫化物影响的环境的电缆，当硫化物透过护套和绝缘，铜导体起化学反应生成硫化铜，再析出到绝缘层中，就会变为化学树。黑色的树枝状物质在绝缘层中扩展形成树状型。其作用是使电缆绝缘性能下降，表现为 $\tan\delta$ （介质损耗）的增加，耐压值下降，绝缘电阻降低，直流泄漏电流增加，最后使绝缘击穿。

(2) 水树老化。水分由于某种原因而进入电缆后，在电场下因电场不均匀，电应力集中处形成树枝现象。它可分为内导水树（这是以电缆内半导体层作为起点的水树），蝴蝶形水树（这是以绝缘层中杂质和气隙为起点的水树），外导水树（这是以电缆的外半导体层作为起点的水树），而引起事故多数为内导水树。

(3) 电树老化。这是绝缘内部或与其他物质接触面间存在空隙或有杂质及屏蔽层有突出部分导致电场集中，在薄弱处发生放电现象。

5. 电缆故障产生的原因

各种类型电力电缆的故障原因可大致归纳为如下几种。

○ 机械损伤

机械损伤引起的电缆故障占电缆事故很大的比例。有些机械损伤很轻微，当时并没有造成故障，但在几个月甚至几年后损伤部位才发展成故障。造成电缆机械损伤的主要原因有：

(1) 安装时损伤：在安装时不小心碰伤电缆，机械牵引力过大而拉伤电缆，或电缆过度弯曲而损伤电缆。

(2) 直接受外力损坏：在安装后电缆路径上或电缆附近进行城建施工，使电缆受到直接的外力损伤。

(3) 行驶车辆的震动或冲击性负荷造成地下电缆的铅（铝）包裂损。

(4) 因自然现象造成的损伤：如中间接头或终端头内绝缘胶膨胀而胀裂外壳或电缆护套；因电缆自然行程使装在管口或支架上的电缆外皮擦伤；因土地沉降引起过大拉力，拉断中间接头或导体。

○ 绝缘受潮

绝缘受潮后会引故障。造成电缆受潮的主要原因有：

(1) 因接头盒或终端盒结构不密封或安装不良而导致进水。

(2) 电缆制造不良，金属护套有小孔或裂缝。

(3) 金属护套因被外力刺伤或腐蚀穿孔。

○ 绝缘老化变质

电缆绝缘介质内部气隙在电气作用下产生游离使绝缘下降。当绝缘介质电离时, 气隙中产生臭氧、硝酸等化学生成物, 腐蚀绝缘层; 绝缘层中的水分使绝缘纤维产生水解, 造成绝缘下降。

过热会引起绝缘层老化变质。电缆内部气隙产生电游离造成局部过热, 使绝缘层碳化。电缆过负荷是导致电缆过热很重要的因素。安装于电缆密集地区、电缆沟及电缆隧道等通风不良处的电缆、穿在干燥管中的电缆以及电缆与热力管道接近的部分等都会因本身过热而使绝缘层加速损坏。

○ 护层的腐蚀

由于电解和化学作用使电缆铅包腐蚀, 因腐蚀性质和程度的不同, 铅包上有红色、黄色、橙色和淡黄色的化合物或类似海绵的细孔。

○ 过电压

大气过电压和内部过电压使电缆绝缘所承受的电应力超过允许值而造成击穿。对实际故障进行分析表明, 许多户外终端头的故障是由于大气过电压引起的, 电缆本身的缺陷也会导致在大气过电压时发生故障。

○ 材料缺陷

材料缺陷主要表现在三个方面。一是电缆制造的问题, 主要有包铅(铝)留下的缺陷, 在包缠绝缘过程中, 纸绝缘上出现褶皱、裂损、破口和重叠间隙等缺陷; 二是电缆附件制造上的缺陷, 如铸铁件有砂眼, 瓷件的机械强度不够, 其他零件不符合规格或组装时不密封等; 三是对绝缘材料维护管理不善, 造成制作电缆中间接头和终端头绝缘材料受潮、脏污和老化, 影响中间头和终端头的质量。

○ 中间接头和终端头的设计和制作工艺问题

中间接头和终端头的设计不周密, 选用材料不当, 电场分布考虑不合理, 机械强度和裕度不够等是设计的主要弊病。另外中间接头和终端头的制作工艺要求不严, 不按工艺规程的要求进行, 使电缆头的故障增多, 例如封铅不严, 导线连接不牢, 芯线弯曲过度, 使用的绝缘材料有潮气, 绝缘剂未灌满造成盒内有空气等。

○ 电缆的绝缘物流失

油浸纸绝缘电缆敷设时地沟凹凸不平, 或处在电杆上的户外头, 由于起伏、高低落差悬殊, 高处的绝缘油流向低处而使高处电缆绝缘性能下降, 导致故障发生。

电缆线路故障的原因见表 1-3。

表 1-3

电缆线路故障原因

序号	故障类型	故障原因
1	机械损伤	直接受外力损伤、因振动引起铅护层的疲劳损坏、弯曲过度、因地沉承受过大的拉力等
2	绝缘受潮	水分或潮气从终端或电缆护层侵入
3	绝缘老化	绝缘在电热的作用下局部放电, 生成树枝而老化, 使介质损耗增大而导致局部过热击穿
4	护层腐蚀	护层因电解腐蚀或化学腐蚀而损坏
5	过电压	雷击或其他过电压使电缆击穿
6	过热	过载或散热不良, 使电缆热击穿