

SHUDIAN XIANLU DIANXING GUZHANG
ANLI FENXI JI YUFANG

输电线路典型故障 案例分析及预防

张逸群 李海星 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

输电线路典型故障 案例分析及预防

张逸群 李海星 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以图文并茂的方式,介绍输电线路各种常见典型故障的分析处理过程和预防措施。全书共4章,分别为杆塔及基础典型故障分析与防范、导线及地线典型故障分析与防范、绝缘子典型故障分析与防范、金具及其他典型故障分析与防范。本书通俗易懂,针对性强,所述内容都配有相应的现场照片,所举案例具有一定的普遍性和典型性,是一本实用的科技书。

本书可供输电线路运行、检修、维护人员日常学习和现场分析时使用,也可供供电企业输电工程技术人员及相关管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

输电线路典型故障案例分析及预防/张逸群,李海星主编. —北京:中国电力出版社,2012.5

ISBN 978-7-5123-3039-9

I. ①输… II. ①张…②李… III. ①输电线路-电力系统运行-故障修复 IV. ①TM726

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第097620号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012年7月第一版 2012年7月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 10印张 167千字

印数0001—3000册 定价40.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



《输电线路典型故障案例分析及预防》

编 委 会

主 任	葛国平			
副 主 任	张晓华			
委 员	赵仲民	李海星	安 军	姚卫东
	宁丙炎	李庆安	王 军	秦冀川
	曾定文	冯政协	张力森	刘春阳
	范永刚	周志锋	汪 锋	栾立民
	卢 明	王俊良	梁峰云	王宗元
主 编	张逸群	李海星		
副 主 编	卢 明	平林涛	肖春伟	梁树华
	戚德成			
编写人员	栾立民	汪 锋	梁峰云	金会军
	郭晓飞	赵元林	张金光	李春生
	郑福彬	王 敏		
技术顾问	卢 明			

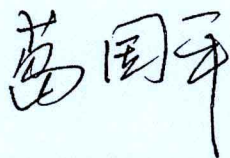
序

输电线路是电网的重要组成部分，由于其暴露在野外，长期受到风吹日晒、严冬酷暑、污秽侵袭、雷电冲击及外部环境的影响，随时可能导致线路故障，影响安全供电，严重时将会导致大面积停电事故。因此，深入研究和分析输电线路各类典型故障的特点和机理，有针对性地采取防范措施，对于输电线路突发故障的快速查找、消除隐患，增强电网抵御自然灾害的能力和提⾼安全运行水平具有十分重要的意义。

《输电线路典型故障案例分析及预防》以输电设备典型故障的分析、处理及预防为主线，按照国家电网公司输电线路专业故障分类方法进行分类，精选具有代表性的 59 个典型案例和 100 余幅故障现场照片及试验数据，图文并茂，科学比对，精确分析，依规判定，从专业技术管理人员的视角，研究故障发生原因、分析缺陷发展过程及后续处理，并有针对性地提出了预防措施。

本书的出版，是对输电线路常见各种故障的规范分类、系统分析和总结，必将有助于推动职工的学习和培训，有助于提高线路技术和管理⼈员对故障的分析判断能力，有助于促进输电设备状态检修的全面开展，进而有助于提高输电线路运行维护和管理水平。

本书编写⼈员论述严谨，分析细致，几经审改最终定稿。在此，我谨对所有支持和参与本书编写工作的同志表示敬意。希望有更多的同志在工作中善于总结、发现规律、未雨绸缪、超前防范，为电网安全运行贡献更大的力量。



2011 年 11 月

前言

架空输电线路是一个开放的系统，长期暴露在野外，点多面广，运行中经常受到污秽漂尘、大风、冰雪、大雾、大雨、高温、雷击、鸟害、外力破坏等因素的干扰和影响，随时可能引起线路跳闸。发生故障的原因往往比较复杂，受自然环境、微气象、外力、设备质量、施工工艺等诸多因素影响，其故障特征往往也比较模糊，发生故障时，很难快速、准确分析判断出故障原因，及时从根本上消除，恢复电网安全稳定运行。

本书按照国家电网公司输电线路专业故障分类统计方法编写目录提纲，通过大量的实际典型案例和图片，阐述各种可能引起线路故障的原因，并结合故障动作情况、现场实况、周边环境和天气等辅助信息，对输电线路各种常见典型故障特征进行分析和推断，找出引起线路故障的真正原因，并从技术、方法和管理等多方面提出、总结和归纳了一系列有针对性的防治措施，供输电线路运行维护和技术管理部门参考。

本书在编写过程中得到了各级领导的大力支持，书中大量的照片凝聚了现场运行、检修技术人员和管理人员的心血，借此对各级领导、各兄弟单位和各位同仁表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2011 年 10 月

目 录

序
前言

第一章 杆塔及基础

1

- 第一节 大风造成杆塔故障 / 1
- 第二节 洪水冲刷故障 / 6
- 第三节 山体滑坡故障 / 12
- 第四节 基础下沉故障 / 19
- 第五节 拉线被盗割故障 / 23
- 第六节 构件丢失故障 / 29
- 第七节 外力冲撞（撞击）故障 / 34
- 第八节 设计缺陷案例 / 37
- 第九节 构件制造质量不良案例 / 42
- 第十节 材质不佳案例 / 46

第二章 导线及地线

52

- 第一节 覆冰故障 / 52
- 第二节 舞动故障 / 57
- 第三节 交叉跨越故障 / 62
- 第四节 雷击故障 / 69
- 第五节 外力破坏故障 / 74
- 第六节 材料质量及出厂质量故障 / 80
- 第七节 风偏故障 / 86

第三章

绝缘子

91

- 第一节 污闪故障 / 91
- 第二节 雷击故障 / 94
- 第三节 冰闪故障 / 101
- 第四节 鸟害故障 / 103
- 第五节 外力破坏故障 / 114
- 第六节 绝缘子质量不佳 / 117
- 第七节 绝缘子掉串 / 124

第四章

金具及其他

131

- 第一节 质量不佳 / 131
- 第二节 金具受损 / 135
- 第三节 错误使用 / 140
- 第四节 施工工艺故障 / 145

第一章

杆塔及基础

第一节 大风造成杆塔故障

一、大风造成杆塔倾倒故障

（一）案例简介

2009年4月14日14时50分，某供电公司负责维护的220kV × ×线双高频保护动作跳闸，A相动作，跳三相，重合失败，故障测距距离220kV × ×变电站7.4km，根据测距显示推算故障点应在220kV × ×线34~36号杆之间。运行负责人在接到线路跳闸指令后，立即组织运行巡视人员进行现场巡视，巡视发现处于山区半山腰一侧的220kV × ×线36号杆杆塔倾倒，造成导地线严重受损，导线未断线。

（二）基本情况

1. 线路概况

220kV × ×线导线型号为LGJ-300/40，地线型号为GJ-50，该线路于1991年7月建成投入运行。220kV × ×线是一条某重要用户主供电源线路，故障前一直处于正常运行状态。

2. 天气及环境情况

220kV × ×线故障时天气阴，有阵雨，在线风速仪监测到山口风力瞬时达8~9级，东南风向，无雷电活动；220kV × ×线路位于山区，线路呈东北西南走向，运行环境温度在-4~12℃，该线路在年最低气温情况下未发生过覆冰现象，但在最大风速情况下发生过导线舞动情况。

3. 现场情况

资料显示：220kV × × 线 36 号杆塔为直线铁塔，该基铁塔呼称高为 28m，水平档距 636m，垂直档距 674m，线路最大设计风速为 28m/s。

实况观测：故障的 36 号杆塔位于一个平整的小山坡上，在垂直于故障的 36 号杆塔西南边大约 200m 处有一座大型采石场，并与相邻的一座山头形成一个风口，该线路的 37 号至 38 号一档导线有一处交叉跨越线路。

倾倒的 36 号杆塔如图 1-1 所示。

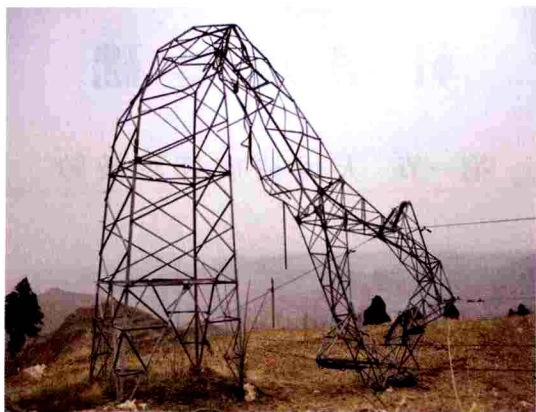


图 1-1 倾倒的 36 号杆塔

（三）原因分析

1. 初步原因分析

- （1）采石区炸石损伤杆塔塔材造成 36 号杆塔倾倒。
- （2）相邻交叉跨越线路压迫该线路使杆塔承重荷载超过自身设计承载力，造成 36 号杆塔倾倒。
- （3）遭受外力破坏（偷盗杆塔角铁）造成 36 号杆塔倾倒。
- （4）导线覆冰或导线舞动断线造成 36 号杆塔倾倒。
- （5）塔材的材质不能满足要求，由于瞬时风力过大，超过了杆塔所能承受的极限负荷，造成杆塔倾倒。

2. 可能性分析

- （1）现场距 36 号杆塔东南方向约 200m 处有一采石场，现场询问当地村民和到采石场了解到，近期采石场未进行放炮炸石作业，且故障杆塔未发现遭受炸石撞击、相邻导、地线未出现炸伤断股现象，排除因采石场炸石造成铁塔

倾倒的可能。

(2) 经过现场勘查, 37 ~ 38 号档内存在一条交叉跨越线路, 且未发生故障压迫该线路, 不具备因跨越而造成铁塔受力超过荷载倾倒的可能性。

(3) 现场对 36 号铁塔本体进行察看, 未发现缺少角铁部件的情况, 铁塔螺栓连接齐全, 也未发现人为破坏痕迹, 现场不存在外力破坏杆塔现象。

(4) 36 号铁塔在倾倒后绝缘子串以及导地线连接完好, 若因导线断线造成杆塔倾倒, 倾倒方向应为顺线路方向, 而现场铁塔的倾倒方向为横线路方向, 排除因导线断线使铁塔受力不均而造成倾倒的可能。

(5) 对塔材规格及材质进行分析, 其规格满足设计要求, 出厂合格证等相关材料齐全; 对塔材断口处进行观测, 未发现夹灰、砂眼等材质问题。综合当时的气象条件: 天气阴, 有阵雨, 在线风速仪监测到山口风力达 31m/s , 风向与线路夹角接近 80° , 超过该线路最大设计风速, 36 号铁塔在持续超风速横向力的作用下, 造成铁塔横向倾斜, 局部塔材从螺栓孔处撕裂导致整体倒塔。螺栓孔被撕裂的塔材如图 1-2 所示。因此判定: 横向超设计大风是造成杆塔倾倒的主要原因。



图 1-2 螺栓孔被撕裂的塔材

(四) 暴露问题

(1) 杆塔在设计时对运行环境 (比如风速) 等因素考虑不到位, 对杆塔强度是否能满足环境运行的要求存在偏差。

(2) 特殊天气环境下对线路运行巡视监控不到位。

(3) 对特殊区域线路缺少监控手段和有效安全防范措施。

（五）处理及预防措施

1. 处理情况

220kV × × 线路 36 号杆倒杆事件发生后，该供电公司立即启动输电线路倒杆现场处置方案，组织抢修人员和应急抢修塔等物资，经过近 10h 的紧急修复工作，通过临时架设的应急抢修塔，于 15 日 24 时 36 分恢复了线路正常供电状态。

2. 预防措施

（1）在线路规划设计时，加强对特殊区域现场微气象信息收集和论证，提高线路设计安全系数，确保线路满足实际运行环境要求。

（2）严格控制施工阶段的质量管理。对施工材料选取、施工工艺要求、验收投运进行全过程质量控制，防止出现在铁塔组立过程中使用含有隐性缺陷的塔材以及损伤变形的塔材。

（3）加大对特殊区域输电线路的重点巡视、检测力度，必要时对杆塔进行加固，确保电网安全稳定运行。

二、大风造成杆塔倾斜故障

（一）案例简介

× × 年 7 月 8 日 14 时 11 分，某公司线路工区巡线员在防汛期间对 220kV × × 线进行特殊巡视时，发现 220kV × × 线 53 号杆塔向右侧发生倾斜（面向大号侧），其倾斜角度接近 30°，该杆塔的左侧是一座小山坡，右侧紧邻一条公路。

（二）基本情况

1. 线路概况

220kV × × 线导线型号为 LGJ-240/35，地线型号为 GJ-40，于 1986 年 3 月建成投入运行。该线路是某县供电公司的一条主供电源线路，担负着全县近 70% 的电力供应，线路于汛期来临前刚经过全面的安全隐患排查和处缺，运行情况良好。

2. 天气及环境情况

7 月 5 ~ 7 日，该线路故障区域段连续受到大风和暴雨的侵袭。

220kV × × 线 53 号故障杆塔区域线段呈东西走向，杆塔上装有风速在线监测装置，风向与线路夹角接近 10°，三天内监测到山口瞬时最大风力达 26m/s。该线路走廊贯穿山区与丘陵狭长风口地带，地质结构复杂。

3. 现场情况

资料显示：220kV × × 线号 53 杆塔为直线铁塔，该基铁塔呼称高为 32.5m，水平档距 526m，最大设计风速为 28m/s。

实况观测：故障杆塔位置处于山坡下风口位置，右侧有一条小河，河右边是一条公路，该基杆塔基础一侧受到山洪的冲刷，造成右前基础局部外露。

倾斜的 53 号杆塔如图 1-3 所示。



图 1-3 倾斜的 53 号杆塔

（三）原因分析

1. 初步原因分析

- （1）杆塔基础旁挖沙取土造成杆塔基础位移引起杆塔倾斜。
- （2）连日暴雨冲刷杆塔基础，并在大风作用下造成杆塔倾斜。

2. 可能性分析

（1）220kV × × 线 53 号杆塔一侧是山坡，另一侧虽紧靠一条小河渠和公路，但从现场观察情况来看，没有发现挖沙取土的痕迹，因此排除由于挖沙取土造成杆塔倾斜的可能。

（2）现场检查发现，故障前连日暴雨产生的洪水对该基础一侧冲刷严重，造成右侧前方基础外露和局部悬空状态，使基础承载力减弱，由于该线路位于山区与丘陵狭长风口地带，在大风作用下该基铁塔顺线路倾斜。

因此判定：基础连日受暴雨冲刷，在大风作用下造成杆塔倾斜。

（四）暴露问题

（1）前期防汛巡视检查已发现该基础有被洪水冲刷可能的隐患，但未及时采取有效防范措施。

(2) 设备运行维护单位对线路运行中存在的危险因素认识不够,对在可能出现的自然灾害未能作有效的分析、评估和判断,对突发事件预见性不强,防范措施不到位。

(五) 处理及预防措施

1. 处理情况

(1) 杆塔倾斜事件发生后,该公司立即启动现场应急处置方案,并协调省调度对该线路停电,组织安监、生计、运行单位等应急抢修人员和应急物资,对倾斜杆塔进行抢修处理。

(2) 应急抢修人员利用抱杆抬升杆塔基础的方法对基础周边进行夯实和加固处理,使线路恢复正常运行状态。

2. 预防措施

(1) 在汛期等特殊季节来临前,全面做好输电线路隐患排查治理工作,发现隐患提前采取有效防范措施,做到排查到位、防范到位。

(2) 在汛期等特殊季节期间,对特殊区域输电线路进行重点巡视、检测,发现问题及时采取措施,避免事故进一步扩大。

(3) 对线路特殊区域加装视频在线监测装置,提高特殊区域的线路动态在线监控能力。

第二节 洪水冲刷故障

一、洪水造成杆塔倾倒故障

(一) 案例简介

××年8月2日15时57分,110kV ×× I 回线路跳闸,重合失败。某公司线路运行维护单位立即组织人员对该线路进行全线巡查,巡查中发现110kV ×× I 回线250、251号杆浸泡在河道内洪水中,250号杆塔受损严重,251号杆倾倒。

(二) 基本情况

1. 线路概况

110kV ××线为双回线路,线路建于1973年2月,导线型号为LGJ-185/35,地线型号为GJ-35,两端大部分线路为同塔运行,中间一段由于受到地形限制的影响,I、II回线分杆塔运行。

2. 天气及环境状况

故障发生的前一天,当地气象台发布了暴雨红色预警,当天即降特大暴雨,最大降雨量达到 68mm,故障当天下午 18 时,洪水突然增大到 $200\text{m}^3/\text{s}$ 。

110kV $\times \times$ 双回线路全线贯穿山区,担负着某县军事基地和部分大型企业等重要用户供电的两条重要线路,一直处于满负荷运行状态。

3. 现场情况

资料显示:110kV $\times \times$ I 回线路 250、251 号杆为混凝土双 Π 直线杆,有 4 根拉线,呼称高均为 20.5m,水平档距 400m,最大设计风速为 25m/s。

实况观测:110kV $\times \times$ I 回线路 250、251 号分别杆位于一条泄洪河道的两侧,其中倾倒的 251 号杆大号侧跨越一处民房,民房距离杆塔仅 7m 左右,杆塔下方堆积着大量杂物和石块,倾倒后压在房子的一侧,造成该间房子坍塌。倾倒的 251 号杆如图 1-4 所示。



图 1-4 倾倒的 251 号杆

(三) 原因分析

1. 初步原因分析

(1) 由于该线路运行时间较长,杆塔塔身存在严重的安全隐患,未能及时进行技术改造,在洪水冲刷的作用下,造成 251 号杆塔倾倒。

(2) 由于该基杆塔处于泄洪的河道中,遭洪水的严重冲刷,洪水对杆塔的冲击破坏能力超过了杆塔自身的承载力,造成 251 号杆塔倾倒。

2. 可能性分析

(1) 查阅该线路运行维护记录,在当年 4 月已对该线路进行全面隐患排查和检修处缺工作,安全隐患已全部排除,能够满足正常条件下线路运行的要求,可以排除杆塔自身存在严重安全隐患造成倾倒的可能。

(2) 根据场观测和故障前天气情况来看,故障杆塔 250、251 号较长时间处于洪水浸泡和冲刷状态,造成拉线盘外露松动、杆塔基础下陷,上游冲刷下来的杂物和石块对杆塔产生了碰撞并严重阻碍了洪水流动,使洪水对电杆产生一个更大的冲击力,导致 250 号杆倾斜、251 号杆倾倒。

因此判定:洪水较长时间浸泡和冲刷造成杆塔倾倒故障。

(四) 暴露问题

(1) 线路技术管理不到位,对运行超过 30 年的老旧线路未能及时进行技术升级改造。

(2) 隐患排查和治理工作不到位,110kV × × 线路在泄洪河道内运行几十年,运行单位未能把该处作为一个重点隐患管理,没有采取有效防范措施,及时进行防范和治理。

(五) 处理及预防措施

1. 处理情况

灾情发生后,该公司紧急启动应急预案,应急领导小组要求材料供应组、人员和车辆调配组、后勤保障组、用户告知组和新闻报道组紧密配合,立即投入抗洪抢险。调度部门及时调整电网运行方式,对县政府、医院、交通和通信等重要用户恢复供电,将停电影响降低到最小。运行人员加强对 110kV × × 双回线路的巡查,抢修小组集中力量快速将 251 号杆塔后移 60m 重新组立,加固 250 号杆塔基础,并在河道两岸筑起防洪堤坝,以应对更大的洪水。

2. 预防措施

(1) 线路运行维护单位应在汛期来临前全面做好线路的隐患排查治理工作,特别是做好老旧线路的技术升级改造等预防性工作。

(2) 对特殊区域、特殊环境的输电线路加大线路巡视力度,尤其是特殊天气情况(如汛期等)下线路巡视监控,发现隐患及时采取有效措施,避免事故进一步扩大。

二、洪水造成杆塔倾斜故障

(一) 案例简介

× × 年 7 月 16 日,某供电公司农电员工在迎峰度夏暨防洪度汛特巡工作中,细心的巡线工发现运行中的 220kV × × 线 34 号铁塔由于受到洪水的冲刷,铁塔下部变形造成杆塔倾斜。杆塔下部堆积大量的杂物,如果再次遇到大的洪水,可能造成倒塔断线,将严重威胁电网安全运行。

（二）基本情况

1. 线路概况

220kV × × 线路全长 23.45km，导线型号为 LGJ-300/35，共计 58 基铁塔，该线路为 × × 变电站和 × × × 变电站之间的重要联络线。

2. 天气及环境情况

该区域连续多天的暴雨天气，致使山洪暴发，引发大量的泥石流从山上倾泻而下，对铁塔造成严重的冲刷，运行环境比较恶劣。

3. 现场情况

资料显示：220kV × × 线号 34 铁塔为直线铁塔，该基铁塔呼称高为 29.7m，水平档距 380m，最大设计风速为 30m/s。

实况观测：220kV × × 线路全线贯穿山区地带，其中 34 号铁塔位于山洪河道一侧，靠近河道内一侧的小号第一段主支撑塔材变形，在铁塔中间堆积有大量的石头、树干等杂物，倾斜的 34 号塔如图 1-5 所示。



图 1-5 倾斜的 34 号塔

（三）原因分析

1. 初步原因分析

（1）由于塔身受到杂物的阻挡，洪水暴发对塔身形成一个很大的冲击力，造成塔身靠近河内一侧主材变形，引起塔身倾斜。

（2）山洪暴发时引发的泥石流夹杂着石块和树木等杂物，连续冲撞到塔身靠近河道侧塔材，造成塔材局部变形，引起塔身倾斜。

2. 可能性分析

（1）洪水对塔身冲击时，由于存在杂物的阻挡，洪水会对塔身产生一定