

超特高压 输电线路

运行维护及检修技术

CHAOTEGAoya SHUdIAN XIANLU
YUNXING WEIHU JI JIANXIU JISHU

主 编 邵瑰玮

副主编 蔡焕青 付 晶



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

超特高压 输电线路 运行维护及检修技术

CHAOTEGAoya SHUDIAN XIANLU
YUNXING WEIHU JI JIANXIU JISHU

主 编 邵瑰玮
副主编 蔡焕青 付 晶



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

超特高压输电线路的安全稳定运行是电网安全稳定运行的关键环节,随着国内外新技术快速发展,对超特高压输电线路运行维护工作提出了新要求。本书针对超特高压输电线路的技术特点,介绍了我国超特高压输电线路运行维护和检修关键技术的最新研究成果,对建设我国特高压电网、促进超特高压输电线路的安全高效运行和保证大电网的安全稳定运行具有深远意义。

本书共分为九章,主要介绍了输电线路检测技术、输电线路状态评估技术、输电线路状态检修、输电线路防雷技术、输电线路防冰技术、输电线路防污技术、输电线路防风偏技术、超特高压输电工程检修安全技术及装置和飞行器巡检等内容,提出了超特高压输电线路的运行维护、故障防治、检修等技术方法和措施。

本书可供从事超特高压输电线路运行维护与检修的技术人员在工作中学习、使用,也可作为对其他相关人员进行培训的教材,还可作为电力院校相关专业的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

超特高压输电线路运行维护及检修技术/邵瑰玮主编. —北京:
中国电力出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-5198-0033-8

I. ①超… II. ①邵… III. ①超高压输电线路-电力系统运行②超高压输电线路-检修 IV. ①TM726. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 277927 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>)

北京九天众诚印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 12 月第一版 2016 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.125 印张 433 千字

定价 76.00 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

《超特高压输电线路运行维护及检修技术》

编 委 会

主 编 邵瑰玮

副主编 蔡焕青 付 晶

参 编 文志科 胡 霁 刘 壮 陈 怡

谈家英 曾云飞 易 辉 张丽华

王 磊 黄松泉 吴向东 马建国

董彦武 孔晨华 刘继承 胡 川

董晓虎 蔡维丽

前 言

“十二五”末期，国家电网公司已基本建成了坚强智能电网，形成了“三华”（华北、华中、华东）、西北、东北三大同步电网。根据国家电网公司“十三五”发展规划，国家电网公司仍将坚定不移推进特高压电网创新发展，使其在保增长、惠民生、调结构、治雾霾等方面发挥更大作用，根据规划，“十三五”特高压工程规划分三批建设，第一批“五交八直”工程，第二批“四交两直”工程，第三批“三交一直”工程。为满足我国未来电力需求快速增长的需要，迫切需要通过自主创新，提高电网安全稳定运行水平，提高电网供电能力。

超特高压输电线路的安全稳定运行是坚强智能电网安全稳定运行的关键环节，随着国内外新技术的快速发展，新技术、新材料、新设备、新材料和新工艺在电网中的应用层出不穷，相应地对超特高压输电线路运行维护和检修工作带来了新的机遇和挑战。一是随着电网规模的迅速增加，电网等级更高，电网结构更复杂，运行环境复杂多变，运行风险更大，传统的人工单一运检模式已不满足电网发展对运检效率、信息化、数字化、智能化、安全可靠等方面技术创新的需求；二是外部环境不断恶化，极端灾害天气频有发生，特别是超特高压输电线路路径长、覆盖广，沿途所经地域多为高原山地、微气象区、无人区、重冰区、重污染区，自然环境非常恶劣，加之极端天气频发，对超特高压输电线路的运维工作提出严峻考验。因此，如何保证我国超特高压输电线路的安全稳定运行是目前电网亟需解决的重大问题，这已引起了科研工作者和电力生产人员的特别关注。

2008年以来，中国电力科学研究院坚持自主创新，根据国家电网公司“十三五”发展规划，紧密追踪最新科学技术进展，以科研严谨的态度，组织超特高压输电线路基层生产维护单位、运行管理单位及国内外相关科研机构等单位，在借鉴、汲取国际上超特高压输电线路运维经验和总结国内近10年研究成果的基础上，对超特高压输电线路关键运行维护和检修技术研究进行了全面系统的规划，组织开展了超特高压输电线路检测技术、状态评估和检修技术、“六防”关键技术（如防雷、防冰、防污闪、防风偏等）、检修安全装置研制及飞行器巡检等课题研究，取得了“交/直流超、特高压工程检修技术及系列装置”“特高压交流单回紧凑型输电技术与应用”“特高压交直流安全运行预警及对策研究”等多项重大科研成果。

为了培养超特高压输电线路科研、运行维护、检修、管理等工作所需人才，加强对超特高压输电线路技术人员的培训，推动超特高压输电线路安全、高效、稳定运行，编写了此书。本书所有参编人员均为科研、生产运行、设计制造、运行管理一线人员且工作经验丰富的技术专家，权威性高；内容紧密结合当前超特高压输电线路运行维护和检修工作的应用实际，实用性强；内容紧密追踪当前科研和运行生产的最新技术，技术先进，科学性强。本书的出版，能为从事超特高压输电线路科研、运行维护、检修、运行管理等工作人员提供指导，为高校师生了解最前沿的超特高压输电线路运行维护和检修技术提供参考，为今后超特高压输电线路运行维护技术的进一步研究和运维经验提供借鉴。

随着技术的不断进步，以及我国更多超特高压输电工程的不断建设和投运，我们将会面临新的课题和大量工作。本书仅是我国超特高压输电技术科研人员和运维人员实践的总结，皆在为工程技术人员今后开展相关工作提供指导和借鉴。

限于工作量大，时间仓促，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 8 月

目 录

前言

第一章 输电线路检测技术..... 1

 第一节 输电线路本体设备缺陷与通道环境威胁..... 1

 第二节 输电线路在线监测..... 4

 第三节 超特高压交/直流输电线路的检测..... 26

第二章 输电线路状态评估技术 43

 第一节 输电线路状态评价 43

 第二节 输电线路运行单元及其状态量 46

 第三节 输电线路风险评估 57

第三章 输电线路状态检修 63

 第一节 状态检修分类及检修项目 63

 第二节 状态检修策略 66

 第三节 状态检修计划制订及调整 68

 第四节 超特高压线路状态检修的实施情况 70

第四章 输电线路防雷技术 74

 第一节 防雷计算方法 74

 第二节 防雷措施应用效果分析 78

 第三节 线路雷击预警主要指标和基本原则 85

 第四节 特高压输电线路雷击特点及故障分析 85

 第五节 特高压线路防雷击的对策 89

第五章 输电线路防冰技术 93

 第一节 输电线路覆冰影响因素 93

 第二节 导地线覆冰计算模型 96

 第三节 不平衡张力计算方法..... 101

 第四节 舞动仿真计算方法..... 107

 第五节 国内外电网中冰灾防范设计标准比较分析..... 116

 第六节 特高压线路冰害预警主要指标、基本原则和对策..... 119

第六章 输电线路防污技术..... 124

 第一节 污秽闪络特点..... 124

 第二节 污闪跳闸的影响因素..... 126

 第三节 污秽外绝缘配置方法及应用..... 131

 第四节 污秽监测及其应用..... 136

第五节 特高压线路污闪预警主要指标、基本原则和对策	145
第七章 输电线路防风偏技术	147
第一节 风偏闪络特点	147
第二节 风偏闪络原因	148
第三节 风偏角计算方法	152
第四节 风偏角计算参数	153
第五节 特高压线路风偏特点	166
第六节 特高压线路风偏预警主要指标、基本原则和对策	182
第八章 超特高压输电工程检修安全技术及装置	185
第一节 检修作业内容、作业方法	185
第二节 检修作业安全工器具、适用范围及分类	198
第三节 安全工器具	200
第九章 飞行器巡检	254
第一节 直升机电力作业	254
第二节 无人机巡检	265
第三节 数据处理技术	276
参考文献	280

输电线路检测技术

第一节 输电线路本体设备缺陷与通道环境威胁

随着经济工业的发展，电网规模迅速增加，受全球气候变化的影响，今后极端灾害性天气的出现还将呈频发、突发态势，输电线路本体设备和通道环境的安全稳定运行将面临更大的威胁。特别是 500kV 及以上电压等级输电线路输送功率大、输电距离长，沿途地质、气候、环境等因素复杂，雷击、强风等极端气象环境对电网安全稳定运行的威胁将更为突出。

一、线路本体设备缺陷

输电线路本体设备常见的缺陷主要有杆塔、导线、地线、绝缘子和金具五大种类缺陷，具体介绍如下：

1. 杆塔类缺陷

杆塔类缺陷主要可以分为锈蚀、塔材被盗取、杆塔有异物、覆冰、螺栓松动等，杆塔类缺陷实例如图 1-1 所示。

2. 导线类缺陷

导线类缺陷主要有断股、导线引流板故障、引流线变形、覆冰、导线有异物等，导线类缺陷实例如图 1-2 所示。

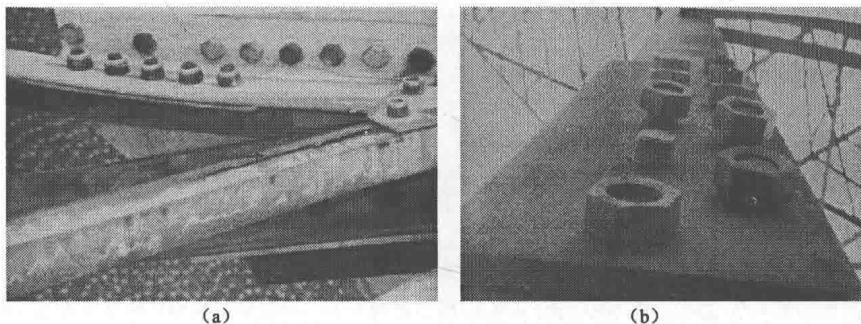


图 1-1 杆塔类缺陷实例（一）

(a) 杆塔塔材锈蚀；(b) 杆塔背铁螺栓松动

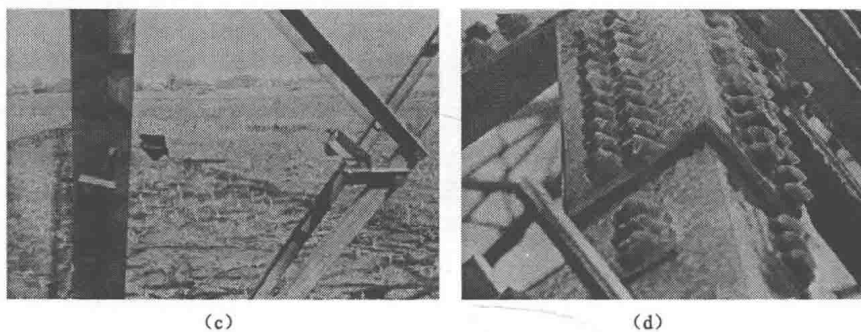


图 1-1 杆塔类缺陷实例 (二)

(c) 杆塔塔材被盗; (d) 杆塔覆冰

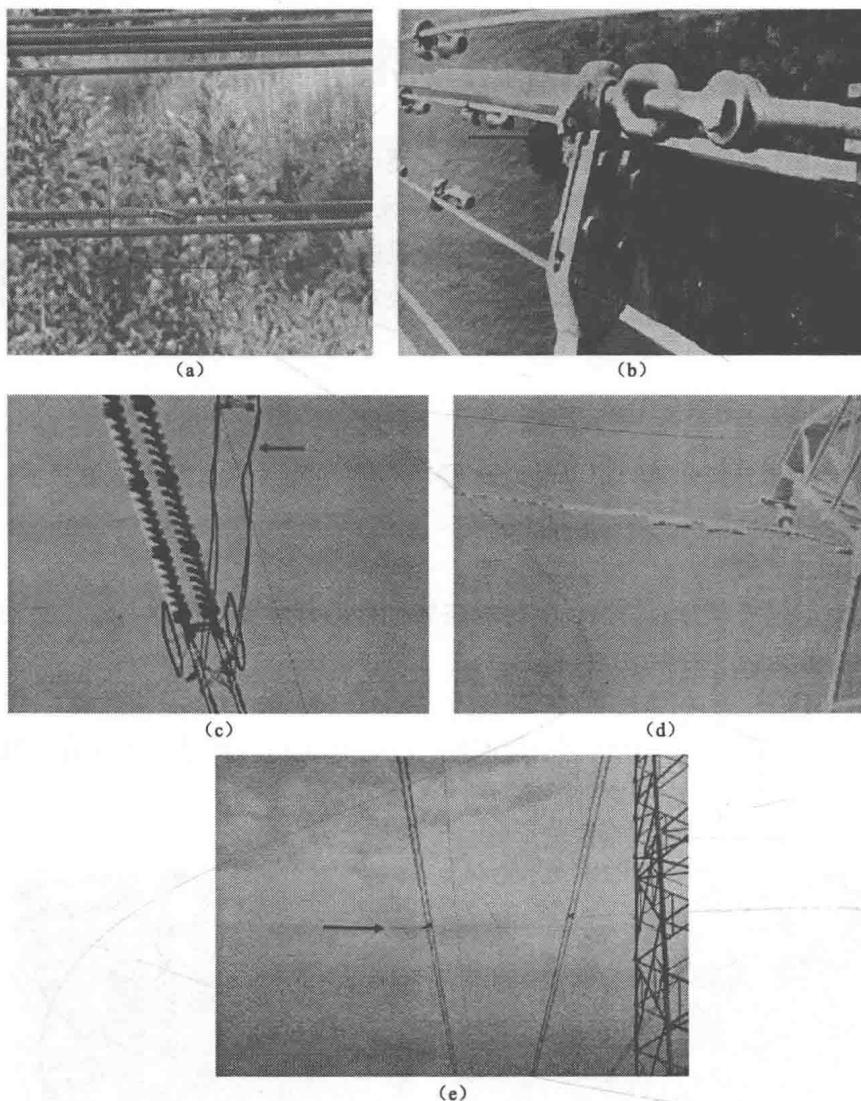


图 1-2 导线类缺陷实例

(a) 导线断股; (b) 导线引流板断裂; (c) 导线引流线变形; (d) 导线覆冰; (e) 导线挂有异物

3. 绝缘子类缺陷

绝缘子类缺陷主要有覆冰、玻璃绝缘子自爆、灼烧、绝缘子发热等，绝缘子类缺陷实例

如图 1-3 所示。

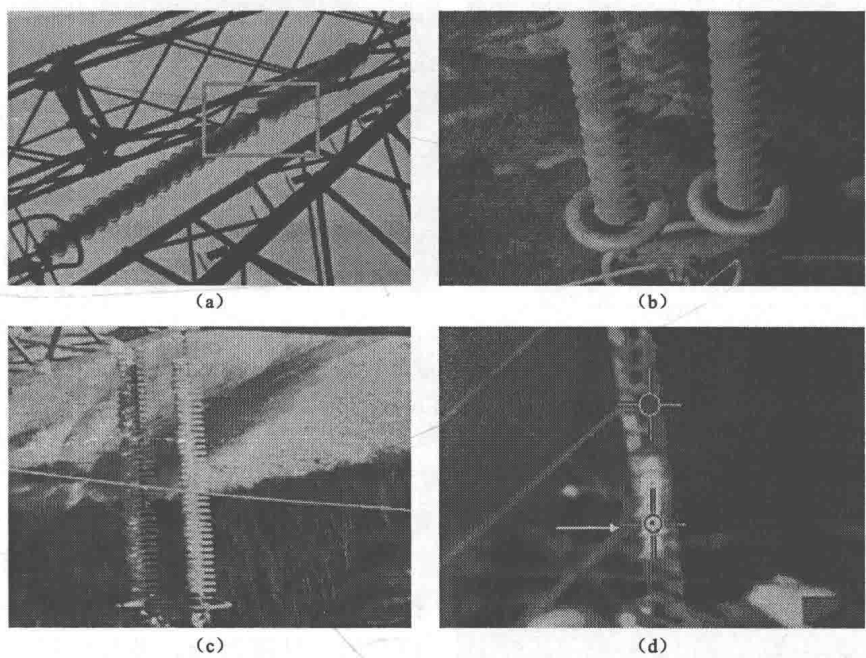


图 1-3 绝缘子类缺陷实例

(a) 玻璃绝缘子掉片；(b) 复合绝缘子表面灼烧；(c) 绝缘子覆冰；(d) 绝缘子发热

4. 金具类缺陷

金具类缺陷有导线夹板有裂纹、破损，间隔棒位置不正、支臂断裂，防振锤位置偏移、生锈，耐张联板有裂纹等，金具类缺陷实例如图 1-4 所示。

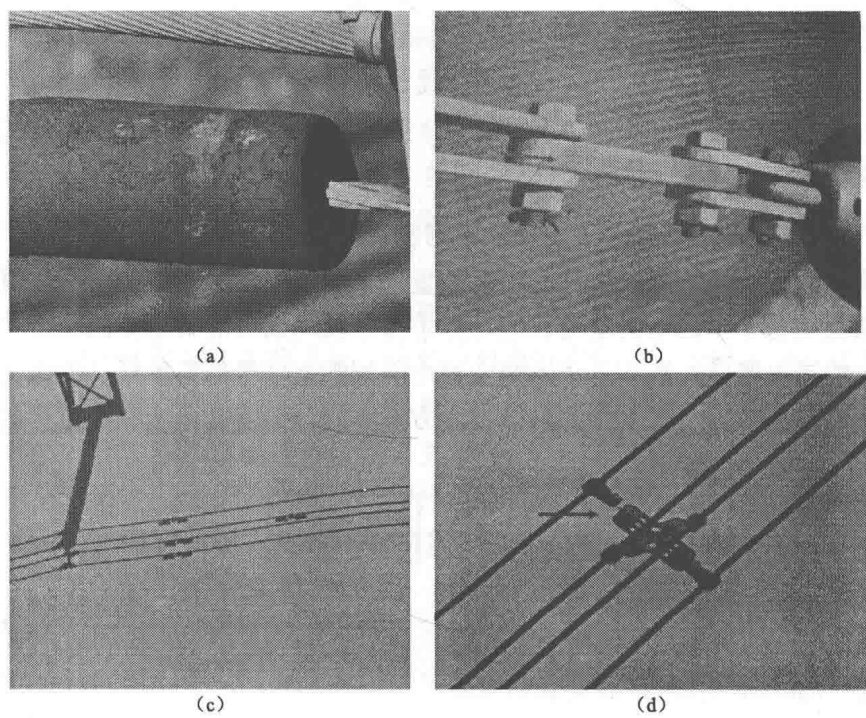


图 1-4 金具类缺陷实例（一）

(a) 防震锤生锈；(b) 耐张板有裂痕；(c) 导线防震锤位置偏移；(d) 间隔棒支架断裂

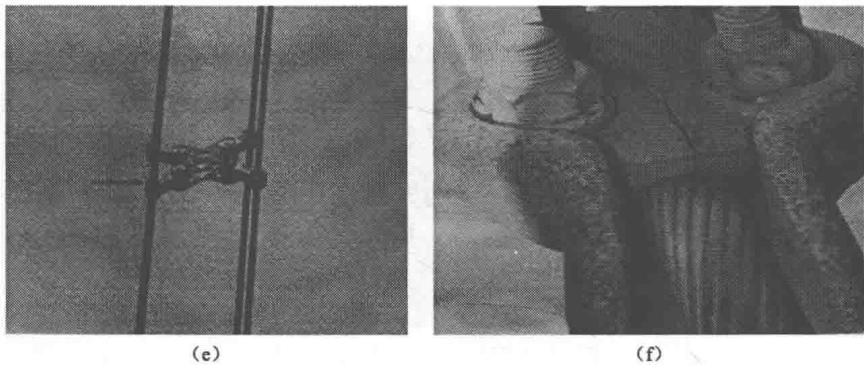


图 1-4 金具类缺陷实例（二）
(e) 间隔棒安装位置不正确；(f) 导线夹板裂痕



图 1-5 输电线路通道下违章施工实例

二、线路通道环境威胁

近年来，输电线路通道下栽种树木、开挖鱼塘相当普遍，使得输电线路通道问题日益突出，处理困难，并且由于在输电线路保护范围内种植树木、违章建房、违章取土和违章作业等现象越来越突出以及外力破坏事件的逐年增多，对线路的安全运行构成严重的威胁。输电设备通道下违章施工实例如图 1-5 所示。

第二节 输电线路在线监测

一、绝缘子污秽监测

（一）基于泄漏电流法和脉冲法的绝缘子污秽在线监测

泄漏电流在线监测系统通过特殊的引流装置卡采集沿绝缘子表面的泄漏电流，在线实时测量输电线路绝缘子串的泄漏电流，经计算求得一段周期内泄漏电流的峰值平均值、峰值最大值及最大泄漏电流脉冲数等。该系统主要由前端数据信号采集单元、数据传输环节、控制处理中心等部分组成。尽管运用的具体技术方案不同，但泄漏电流在线监测的基本步骤可简化为图 1-6 所示的几个步骤。

数据采集处理单元包括数据采集单元、数据处理单元和电源系统。数据采集单元主要是对泄漏电流的采集和环境温湿度的测量。数据采集单元中泄漏电流的采集是利用泄漏电流沿面形成的原理，把泄漏电流采集器安装在靠近铁塔侧的最后一块绝缘子表面，它的内径离绝缘子的钢帽只有 1~2cm，几乎能采集到绝缘

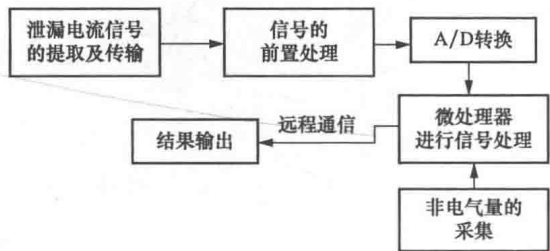


图 1-6 泄漏电流在线监测的基本步骤

子串中的全部泄漏电流，然后将泄漏电流通过双层屏蔽线引入到安装于铁塔上的数据采集单元中，泄漏电流采集如图 1-7 所示。温湿度等环境参数的采集主要是通过温湿度传感器实现。

数据处理单元主要差动放大采集信号，经带阻滤波、非线性放大、隔离以及 A/D 转换后，送入到微处理器中进行信号处理。数据处理单元工作原理如图 1-8 所示。

数据传输环节是将采集的数据以无线通信的方法传送回监控中心。信号传输单元采用 RF 和 GSM 混合传输模式。RF 为无线接力模式射频传输信息，GSM 为短消息通信方式，采用定时或定量的方式将测量数据通过短消息发送到接受站。RF 和 GSM 混合传输模式即在线路中安装带有 RF 和 GSM 两种通信模块的数据采集处理单元，通过 RF 收集数据，然后通过短消息发送到监控中心。

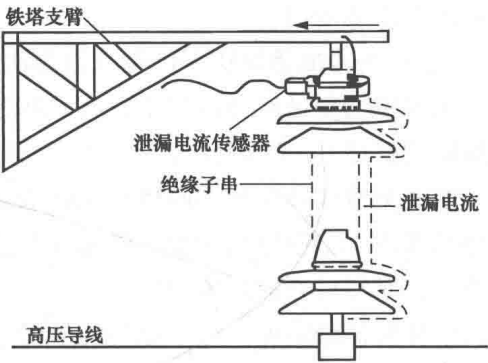


图 1-7 泄漏电流采集

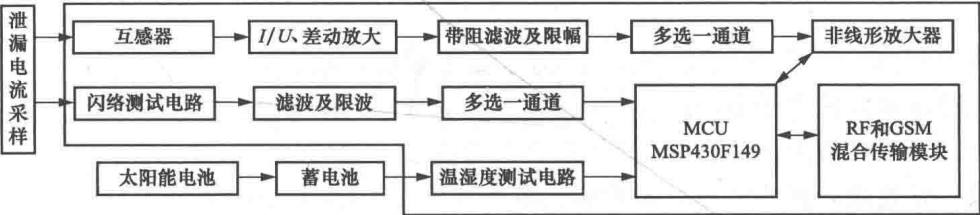


图 1-8 数据处理单元工作原理图

控制处理中心服务器的控制处理单元在专家知识库的支持下对发回的数据进行分析、存储等操作，结合数据所属线路的电压等级、绝缘子型号和片数等参数，评估绝缘子污秽状况，自动分析绝缘子的污秽发展趋势，形成完整的数据档案。控制处理中心还具有预警、故障定位等功能。

国内外已有使用绝缘子泄漏电流作为污秽闪络报警参数的在线监测系统，如西安兴西科技发展有限公司的绝缘子在线监测系统、陕西金源电气有限公司的绝缘子在线监测系统和澳大利亚红相公司的绝缘子在线监测系统等。但是，绝缘子泄漏电流在线监测系统在实际的运行中效果并不理想，现已逐步退出运行，原因主要有：

- (1) 绝缘子泄漏电流在线监测系统大部分都是基于污秽饱和和受潮条件下来确定泄漏电流与污闪的关系，虽然能够实现一定的预警功能，但是报警之后留给有关部门处理的时间很短，甚至来不及做出积极反应。
- (2) 泄漏电流的报警值可以通过对绝缘子临闪前的最大泄漏电流与闪络电压之间的关系求出，或者通过临闪前的最大泄漏电流用概率统计的方法求出。但是，如何确定泄漏电流报警的阈值至今没有一个明确的结论。
- (3) 该系统只有在特定的气象条件下才能监测到泄漏电流，在干旱、少雨地区泄漏电流

测量法是不适用的。

（二）光传感器绝缘子污秽在线监测

光传感器测量污秽是基于介质光波导中的光场分布理论和光能损耗机理。置于大气中的低损耗石英棒是一个以棒为芯、大气为包层的多模介质光波导。在石英棒上无污染时，由光波导中的基模和高次模共同传输光的能量，其中绝大部分光能在光波导的芯中传输，但有少部分光能将沿芯包界面的包层传输，光波传输过程中光的损耗很小。当石英玻璃棒上附着有污染时，它将对光能产生损耗：一是由于污染粒子的折射率大于石英的折射率，破坏了高次模的全反射传输条件。由于盐污的折射率大于石英的折射率，当传感器的石英玻璃棒上有盐污时，全反射条件被破坏，产生强漏模，使光能损耗。二是由于污染粒子对光能的吸收和散射使光能产生损耗。光能损耗机理如图 1-9 所示。

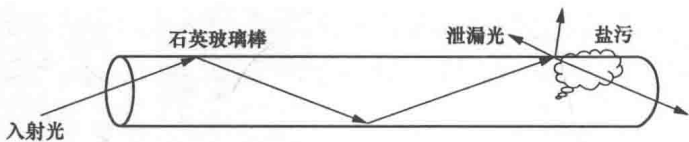


图 1-9 光能损耗机理

光能损耗的程度可以反映出污染的大小。实验表明，光波导中所改变的光能参数是由污秽中的盐分电离成的离子态和污秽中无法电离的灰分共同作用而成的。通过连续监测光能参数的变化，可以计算出污秽物中的盐密值和灰密值。

以某一角度进入光传感器芯的光能，在光波导中传输时，将有部分光功率在大气中传输，这部分功率的大小可以通过调整光传感器芯半径、光波长、光波导的数值孔径等参数来改变光的场强分布。当光传感器表面无污染时，即形成了以大气为包层、以光传感器为芯的光波导，其光功率损耗很小，只有在一定污秽条件下才能使光功率产生实质性的衰减。当大气中的盐污在光传感器表面沉积时，受污秽部分的玻璃表面的折射率增大，破坏光波导的全反射条件，使光波导中传输的光功率进一步向外泄漏。污秽物质的折射率越大，功率衰减也越大。由于光波导表面光功率衰减呈指数衰减，当传感器表面沉积的盐污达到某一厚度时，如果污层继续增加，它对光能的损耗就不起作用了。

理论分析表明，石英玻璃棒中的光通量 P 与多种因素有关，包括石英玻璃棒与空气之间的界面的折射率、大气环境的相对湿度、大气污秽物的成分等。许多因素都可使玻璃棒与空气之间的界面折射率产生变化，对光能产生吸收和散射，从而产生光通量损耗。而通过理论分析和各种试验，可以寻找各个参变量的内在联系和变化规律，建立光功率损耗与盐密的数学模型。

光传感器绝缘子污秽在线监测系统结构如图 1-10 所示，主要由数据监测终端和数据监测中心两部分组成。数据监测终端安装在送电线路杆（塔）或变电站绝缘子附近，完成对现场污秽物（盐密、灰密）、温度、湿度的实时监测。监测数据通过 GSM 无线网络以短信方式向监测中心发送。数据监测中心完成对监测数据的转换和处理。

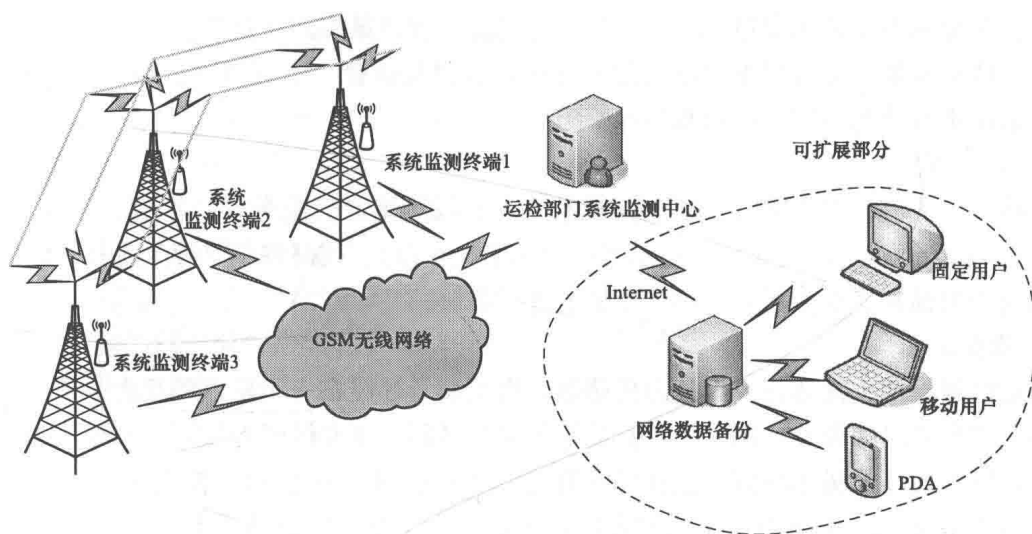


图 1-10 光传感器绝缘子污秽在线监测系统结构图

数据监测终端结构由以下 3 个部分组成：

- (1) 太阳能接收器。提供主机工作电源，采用倾斜式结构。
- (2) 光传感器。采集积污量。
- (3) 主机。完成现场设备控制，并实时发射有关监测数据。

现场终端需要将其固定安装在铁塔横担上，靠近某相绝缘子串。装置安装调试后即可投入运行，并不需维护。整个监测和数据传送自动完成。

数据监测中心结构由以下 2 个部分组成：

- (1) 信息收发模块。接受所控制监测终端发回的监测信息，并可以存储 3 个月的盐密、灰密数据，保障主机出现问题时，避免丢失监测信息。
- (2) 监测中心系统软件。提供在线盐密分析软件。

鉴于光传感器绝缘子污秽在线监测技术不受气象环境限制，能实时测量出污秽物中的盐密值和灰密值，且积累了一定的运行经验，因此，基于光传感器绝缘子污秽在线监测技术的污秽监测装置在实际中得到了较多应用。该套监测系统于 2003 年开始在河南新乡及广州供电公司挂网试运行至今，取得了一定的效果。

二、覆冰监测

在冬季恶劣气候条件下，输电线路由于其输送距离长、所经区域的地质地貌复杂，通常容易遭受大范围覆冰，使部分线段覆冰厚度超出其设计标准，导致线路出现较大范围内的冰闪跳闸、导线舞动、相间闪络、金具损坏和倒塔断线等严重事故，直接影响输电线路正常运行。

线路覆冰分为 3 类：第 1 类是由降水产生的覆冰雪，即降水覆冰，包括由冻雨而形成的雨淞和覆雪；第 2 类是处在过冷却状态下的液体云粒或水滴碰到地面物体上，经过冻结后而产生的覆冰，此类覆冰称为云中覆冰；第 3 类是大气中的水蒸气直接冻结或经过凝华而在地面物体上形成的一种霜，是经过凝华而产生的，称为凝华覆冰，也称为晶状雾凇。在 3 类覆

冰中，云中覆冰发生的概率最大，引起的输电线路事故也最多。在目前情况下，通过输电线路覆冰在线监测系统实现对中重冰区覆冰的在线监测与预警、掌握覆冰分布的规律和特点，有利于采用更有效的防冰、融冰和除冰措施。

(一) 原理

覆冰监测一般是以线路设计冰厚为基础，当在线测得的气象条件（温度、风速、风向、湿度等）、环境因素（海拔高度、凝结高度及地形地貌等）、线路参数（导线直径、线路结构等）达到一定预警等级时，对线路覆冰情况进行测量。

1. 称重法

称重法即将球头挂环替换为拉力传感器，直接测量导线在一个垂直档距内的质量，结合倾角传感器和当时的风速、风向，计算绝缘子串的倾斜分量和风阻系数，得出导线上的覆冰质量，再等效为等值覆冰厚度。主杆塔等效档距示意如图 1-11 所示，在主杆塔 A 点上安装一个拉力传感器，监测 A 点的各类状态特征参量，如拉力（包括导线自重、绝缘子串重量、风荷载、冰荷载）、拉力传感器的轴向倾角、径向倾角、风速大小、风向，结合导线的物理参数（线长、比载、分裂导线数、导线膨胀系数等）、两侧杆塔的海拔高度、档距等参数的综合分析，计算出导线的等值覆冰厚度，并运用分析模型预测覆冰厚度的发展趋势，评估其对输电线路正常运行的危险程度。

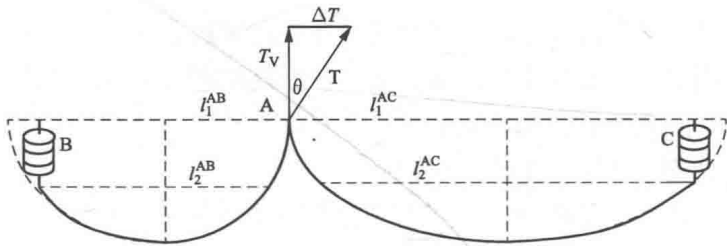


图 1-11 主杆塔等效档距示意图

(1) 计算导线的冰风载荷。

$$\Delta T_v = (q_{wind} + q_{ice}) \frac{S_{DI}^{AB} + S_{DI}^{AC}}{2} = \frac{q_w}{2} (S_{DI}^{AB} + S_{DI}^{AC}) \tag{1-1}$$

$$\left. \begin{aligned} S_{DI}^{AC} &= \frac{2T_H^{AC}}{q_0} \text{sh} \frac{l_{DI}^{AC} q_0}{2T_H^{AC}} \\ S_{DI}^{AB} &= \frac{2(T_H^{AC} + T_v \tan \theta)}{q_0} \text{sh} \frac{l_{DI}^{AC} q_0}{2(T_H^{AC} + T_v \tan \theta)} \end{aligned} \right\} \tag{1-2}$$

式中 ΔT_v ——有冰、风载荷双重作用时与只有自重载荷作用时主杆塔上竖向载荷的差值；
 T_v ——利用拉力传感器和倾角传感器可以测算出悬垂绝缘子串上的垂直拉力值大小；
 T_H ——输电导线最低点的水平张力大小，可以结合实际输电线路的档距 l 、高度差 h 、自重载荷 q_0 ，输电导线的原始长度 S ，根据悬挂点不等高线路长度的公式计算；
 l_{DI} ——等效档距，可以依据悬点不等高时等效档距公式计算，仅和实际线路的档距大小 l 、高度差 h 、自重载荷 q_0 以及导线最低点水平张力 T_H 有关。

(2) 计算导线风载荷。风载荷可以通过风速传感器、导线直径大小和风向夹角等参数算出,即

$$q_{ice} = q_w - q_{wind} \tag{1-3}$$

其中

$$q_{wind} = 0.75\alpha\beta_c(d+2b)v_0^2 l_H (\sin\theta)^2 \times 10^{-3} \tag{1-4}$$

- 式中 α ——导线风压不均匀系数;
 β_c ——作用于杆塔上的风载调整系数;
 d ——导线的计算等效直径, mm;
 b ——覆冰厚度, mm;
 v_0 ——监测的风速, m/s;
 l_H ——水平档距, m;
 θ ——风向与导线的轴向间的夹角。

(3) 计算覆冰厚度。根据上节求得的覆冰重量,并结合覆冰的密度 (0.9kg/cm^3)、导线直径来求出导线的覆冰厚度。设定覆冰形状为均匀圆柱,如图 1-12 所示,则可求解出标准冰厚 b 为

$$b = \left[\sqrt{\frac{4q_{ice}}{9.8\pi\gamma_0} + d^2} - d \right] / 2 \tag{1-5}$$

- 式中 γ_0 ——冰的密度 (雨淞), kg/cm^3 ;
 d ——导线的计算等效直径, mm;
 q_{ice} ——覆冰载荷, N。

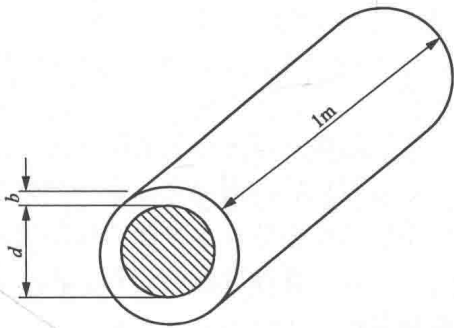


图 1-12 覆冰导线的结构示意图

称重法的优点是使用的传感器价格低廉、可靠性高、计算简便,计算精度较高,能够较为全面地掌握覆冰线路的情况。但对于串接于绝缘子串中的传感器要求很高,它必须具有比绝缘子连接金具更优的机械性能及设计荷载,其设计荷载应依据输电线路绝缘子的连接金具如球头挂环的机械强度设计值,并适当放大,而且增加的结构高度有严格的限制条件。同时受环境因素的影响比较大,非线性误差大,容易受电磁的干扰,不能长期稳定运行。

2. 倾角-弧垂法

在悬垂线夹附近的导线上安装倾角传感器,采集导线倾角、弧垂等参数,结合输电线路状态方程、线路参数和气象环境参数,得出导线倾角-弧线的覆冰重量,再换算成等值覆冰厚度。该计算模型从线路基本方程出发,从实时测量到的导线悬挂点的倾角计算导线的弧垂和应力,然后计算出导线覆冰的厚度。

导线悬挂点不等高时的架空线如图 1-13 所示。

(1) 导线的弧垂和悬挂点倾斜角。当导线悬挂点 A、B 间的档距为 l , A、B 间的高

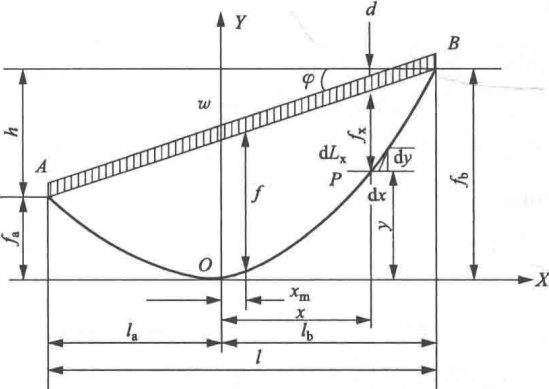


图 1-13 悬挂点不等高的架空线