



国家电网
STATE GRID

国网技术学院培训系列教材

输电线路状态监测诊断技术

战 杰 主 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



国网技术学院培训系列教材

输电线路状态监测诊断技术

战 杰 主 编



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为提高培训质量,国网技术学院依据国家电网公司制订的培训方案,结合自身实训设施和培训特点,编写完成了《国网技术学院培训系列教材》。

本书为《国网技术学院培训系列教材 输电线路状态监测诊断技术》分册,共分十五个项目,主要包括输电线路状态监测知识概论、输电线路状态监测诊断系统、在线监测装置通用技术、输电线路气象监测、输电线路导线温度监测及动态扩容、输电线路弧垂监测、输电线路导线风偏监测、输电线路覆冰监测、输电线路杆塔倾斜监测、输电线路导线舞动监测、输电线路导线微风振动监测、输电线路远程可视监控等。

本书可作为输电线路状态监测诊断的培训教学用书,也可作为各电力培训中心及电力职业院校输电线路状态监测诊断的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

输电线路状态监测诊断技术 / 战杰主编. —北京: 中国电力出版社, 2014.4

国网技术学院培训系列教材

ISBN 978-7-5123-5162-2

I. ①输… II. ①战… III. ①输电线路—设备状态监测—职业培训—教材 IV. ①TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 264620 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 4 月第一版 2014 年 4 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 15 印张 191 千字

印数 0001—3000 册 定价 45.00 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

《国网技术学院培训系列教材》

编 委 会

主	任	赵建国	钱 平		
副	主	任	费耀山	程 剑	马放瑞 李勤道
委	员	康梦君	张效胜	范永忠	石 椿
		孙明晔	肖成芳	黄保海	马敬卫
		王立志	陈威斋	冯 靖	张进久
		马 骐	王立新	王云飞	于洲春
		杨 健	高建国	陈祖坤	商自申
		王付生	刘汝水	赵桂廷	刘广艳
编写组组长		费耀山			
副 组 长		黄保海	杨 健		
成 员		战 杰	牛 林	郑远平	高楠楠
		王 剑	赵文彬	严有祥	卢 明
		龚政雄	吴旭涛	张宏志	白永祥
		季 斌	韩学民	王增君	



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

前言

为贯彻落实国家电网公司“人才强企”战略，积极服务公司“三集五大”体系建设和智能电网发展对技能人才的需求，打造高素质的技术、技能人才队伍，提升企业素质、队伍素质，增强培训的针对性和时效性，创新国内一流、国际先进的示范性培训专业和标杆性培训项目，国网技术学院组织院内专职培训师、兼职培训师及国家电网公司系统内生产技术、技能专家，结合国网技术学院实训设施和高技术、高技能员工培训特点，坚持面向现场主流技术、技能发展趋势的原则，编写了《国网技术学院系列培训教材》。

《国网技术学院系列培训教材》以培养职业能力为出发点，注重从工作领域向学习领域的转换，注重情境教学模式，把“教、学、做”融为一体，适应成年人学习特点，以达到拓展思路、传授方法和固定习惯的目的。

《国网技术学院系列培训教材》开发坚持系统、精炼、实用、配套的原则，整体规划，统一协调，分步实施。教材编写针对岗位特点，分析岗位知识、技术、技能需求，强化技术培训、结合技能实训、体现情景教学、覆盖业务范围、适当延伸视野，向受训学员提供全面的岗位成长所需要的素质、技术、技能和管理知识。编写过程中，广泛调研和比较分析现有教材，充分吸取其他培训单位在探索培养高素质的技术技能人才和教材建设方面取得的成功经验，依托行业优势，校企合作，与行业企业共同开发完成。

《国网技术学院系列培训教材》在经过审稿和试用后，已具备出版条件，将陆续由中国电力出版社出版。

本书为《国网技术学院系列培训教材 输电线路状态监测诊断技术》分册。全书共十五个项目：项目一由国网技术学院战杰、牛林、郑远平、高楠楠编写；项目二由国网技术学院战杰、国网公司运检部王剑编写；项目三由国网技术学院牛林、国网华东分部赵文彬编写；项目四由国网技术学院战杰、国网福建省电力有限公司严有祥编写；项目五由国网技术学院战杰、国网河南省电力公司卢明编写；项目六由国网技术学院牛林、国网湖南省电力公司龚政雄编写；项目七由国网技术学院牛林、国网宁夏电力公司吴旭涛编写；项目八、项目九由国网技术学院战杰、国网辽宁省电力有限公司张宏志编写；项目十、项目十一由国网技术学院战杰、国网河南省电力公司白永祥编写；项目十二、项目十三由国网技术学院战杰、国网湖北省电力公司季斌编写；项目十四由国网技术学院战杰、国网安徽省电力公司韩学民编写；项目十五由国网技术学院战杰、国网山东电力集团公司王增君编写。全书由国网技术学院战杰主编，国网技术学院杨健主审，国网山西省电力公司史晋生、国网浙江省电力公司陆伟民、中国科学院孙志锐、山西大学李可军、国网山东电力集团公司朱振华等参审。

由于编者自身认识水平和编写时间的局限性，本教材难免存在疏漏之处，恳请各位专家及读者不吝赐教，帮助我们不断提高培训水平。

编 者

2012 年 7 月



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

目 录

前言

项目一 输电线路状态监测知识概论	1
任务一 认识输电线路状态监测	1
任务二 认识输电线路在线监测	3
任务三 学习输电线路在线监测技术的发展	7
项目二 输电线路状态监测诊断系统	9
任务一 认识输电线路状态监测诊断系统	9
任务二 认识数据通信网络	12
任务三 认识输电线路在线监测装置	16
任务四 认识输电线路在线监测代理	19
任务五 使用输电线路在线监测主站系统	21
项目三 在线监测装置通用技术	25
任务一 在线监测装置能量供应	25
任务二 在线监测装置通信	39
任务三 在线监测装置可靠性	47
项目四 输电线路气象监测	49
任务一 认识恶劣气象环境对输电线路运行的危害	49
任务二 认识自动气象站	51
任务三 使用各类传感器	53

任务四 分析运行实例	61
项目五 输电线路导线温度监测及动态增容	65
任务一 监测输电线路导线温度	65
任务二 学习增容技术理论	67
任务三 认识导线温度监测和动态增容实时系统	76
任务四 分析运行实例	81
项目六 输电线路弧垂监测	88
任务一 学习弧垂监测技术	88
任务二 认识输电线路弧垂监测实时系统	94
任务三 分析运行实例	99
项目七 输电线路导线风偏监测	104
任务一 认识风偏监测	104
任务二 输电线路风偏监测类型	107
任务三 计算电气间隙	108
任务四 使用输电线路风偏监测实时系统	109
项目八 输电线路覆冰监测	112
任务一 解析输电线路覆冰	112
任务二 学习线路覆冰实时监测方法	117
任务三 计算输电线路等值覆冰厚度	121
任务四 预测覆冰增长	135
项目九 输电线路杆塔倾斜监测	138
任务一 认识输电线路杆塔倾斜监测	138
任务二 使用输电线路杆塔倾斜监测系统	139
项目十 输电线路导线舞动监测	142
任务一 认识输电线路导线舞动	142
任务二 学习输电线路导线舞动监测方法	144

任务三	分析舞动	145
任务四	使用输电线路舞动监测系统	152
项目十一	输电线路导线微风振动监测	155
任务一	认识输电线路导线微风振动监测	155
任务二	计算输电线路微风振动	159
任务三	使用输电线路微风振动监测系统	162
项目十二	输电线路远程可视监控	166
任务一	认识输电线路远程可视监控	166
任务二	学习输电线路远程可视监控关键技术	170
任务三	使用输电线路远程可视监控系统	185
项目十三	输电线路现场污秽监测	192
任务一	认识污秽输电线路现场污秽	192
任务二	学习污闪危害及防污闪措施	194
任务三	学习输电线路现场污秽监测方法	199
项目十四	输电线路防盗报警监测	207
任务一	认识输电线路防盗报警监测	207
任务二	输电线路防盗报警监测关键技术	209
任务三	使用输电线路防盗报警监控系统	210
项目十五	输电线路驱鸟装置	213
任务一	认识鸟害	213
任务二	预防鸟害	216
任务三	使用超声波驱鸟装置	219
参考文献		222



输电线路状态监测知识概论

【项目描述】

本项目要求学员掌握输电线路状态监测的基本知识，包括在线监测、故障诊断和状态检修的概念，在线监测技术的必要性以及在我国的发展，状态检测技术的重点、难点及其发展方向。

【教学目标】

学习并掌握输电线路在线监测技术的基本理论，认识理论的背景知识，了解相关概念及意义，了解状态检修与在线监测技术的发展概况。

任务一 认识输电线路状态监测

【教学目标】

掌握在线监测、故障诊断以及状态检修的基本概念。

【任务实施】

近年来，在线监测在电力系统中越来越受到有关管理、科研、运营和工程技术人员的重视。主要有以下几方面的原因：由于电力设备的故障，不仅会造成供电系统意外停电而导致电力公司经济效益减少，且可能造成用户的重大经济损失和抱怨，因此迫切需要做到有计划的维护和停电；电



力部门希望尽量延长电力设备的维护间隔、缩短维护时间,从而缩短停电时间,减少因停电维护而造成的影响,增加经济效益;这些因素促使电力系统采用在线监测技术。可以肯定地说,广泛采用在线监测技术是电力系统发展的必然趋势。

电力设备的在线监测是利用各种传感器和测量手段对设备运行状态进行检测,其目的是为了判明设备是否处于正常状态。在线监测包括在线监测、必要时的离线检测及试验,以及不与运行设备直接接触的如巡检、图像监测、红外监测等所有可得到运行状态数据等的监测手段。设备的故障诊断是指这样的过程:根据在线监测所得到的各测量值及其运算处理结果所提供的信息,采用所掌握的关于设备的知识和经验,进行推理判断,找出设备故障的类型、部位及严重程度,从而提出设备维修处理的建议。

简言之,在线监测是特征量的收集过程,而故障诊断是特征量收集后的分析判断过程。

状态检修从理论上讲是比预防检修层次更高的检修体制。状态检修是基于设备的实际工况,根据其在运行电压下各种绝缘特性参数的变化,通过分析、比较来确定电气设备是否需要检修,以及需要检修的项目和内容,具有极强的针对性和实时性。因此,可以简单地把状态检修概括为“当修即修,不做无为检修”。目前,大多认为在线监测检修主要包含在线监测、状态分析与故障诊断、检修决策3个单元,其相互之间协调和修正,但状态检修技术随着在线监测技术的不断发展而逐渐进入实用化。与状态分析密切相关、能直接提高状态检修工作质量的理论与技术主要包括4个方面的内容,即线路检修准测、设备寿命管理与预测技术、设备可靠性分析技术、专家系统。

但目前输电线路状态检修还不能完全依赖在线监测的结果,原因主要有:①在线监测系统本身还处于研发及试运行阶段;②在线诊断的专家系

统还处于不断完善的过程；③设备老化及寿命预测的研究还处于初期阶段；④在线监测系统的技术标准、诊断导则以及专家系统的智能化程度尚有一个形成及发展过程。目前及相当长的一个时期内，需要系统而深入地不断总结和分析设备状态诊断所积累的大量诊断数据，制定各种设备、各种自然灾害的诊断标准和使用导则，经过若干年的实践与修订后，再与在线监测结果进行全面的分析对比，才可能进入真正的设备状态在线诊断新阶段。这个过程需要多少时间，取决于在线监测系统的稳定性、精确灵敏度、智能程度及满足工程需要的工艺水平。

任务二 认识输电线路在线监测

【教学目标】

了解输电线路实行在线监测的必要性，了解我国输电线路在线监测技术的发展以及在线监测技术的重点和难点。

【任务实施】

1. 输电线路在线监测的必要性

在 20 世纪 50 年代，我国电力系统推行定期检修制度，这是一种以时间周期为基础的设备定期检修制度。这种检修方式的周期、项目等都是建立在传统经验的基础上，对设备个体的质量、运行环境、性能状态的差异考虑不全，工作死板教条。存在着检修周期短、设备停电次数多、检修费用高、检修工作量大、供电可靠性低等问题。随着超高压、特高压输电线路的不断建设，这种检修模式已越来越不适应输电线路安全性、供电可靠性的要求。因此，近几年全国范围内输电线路系统尝试并推行状态检修，并取得了一定的实效。但由于输电线路在线监测技术的制约，状态检修并



不能完全发挥其实效性，从目前来看，还有很长的路要走。然而，在国外在线监测技术的应用则比较广泛，为状态检修提供了可靠、实时的状态量。因此，为更好、更快地开展状态检修工作，输电线路管理部门、相关制造企业应该把主要精力放在在线监测技术的研发及应用上。

2. 输电线路在线监测技术发展

随着电力系统状态检修工作的开展和智能电网的建设，输电线路在线监测技术得到迅速发展。2008年初的罕见冰雪灾害发生后，国家电网公司、中国南方电网有限公司均加大了对输电线路覆冰、舞动研究投入，2010年国家智能电网规划总报告中提出加大对输电线路在线监测装置及其系统的研制开发，全面建成覆盖全网范围的总部和各网省公司输电设备在线监测系统，利用先进的测量、信息、通信和控制等技术，以线路运行环境和运行状态参数的集中在线监测为基础，实现对特高压线路、跨区电网、大跨越、灾害多发区的环境参数（温度、湿度、风速、风向、雨量、气压、图像等）和运行状态参数（污秽、风偏、振动、舞动等）进行集中实时监测，开展状态评估，实现灾害的预警。

从1998年开始，国内高等院校及厂家陆续开展了对输电线路在线监测方面的产品的研发；2000年，各电力公司陆续安装绝缘子泄漏电流在线系统，由于缺乏应有的判据一直处于停滞不前状态，但该产品的面世为后期其他在线监测产品的开发提供了很多技术方面的积累；2002~2004年，国内相继研发成功了输电线路图像监测系统及输电线路覆冰监测系统，目前国内应用量较大，据估计，覆冰监测装置在国内总体应用量在1500余套左右，图像监测装置在3000套以上，这两种产品对线路覆冰监测及线路巡视维护发挥了很大的作用。2004年后，相关厂家陆续开发了线路微气象监测系统、线路导线温度监测系统、线路导线舞动监测系统等产品，均得到了一定的应用。在线监测产品制造厂家达到10余家，监测装置总体产品应用量达到1万台左右。



由于早期没有统一技术规范,经常出现在同一监控中心出现 5、6 家以上的监测主机,对系统维护造成很大麻烦。从 2008 年开始,中国南方电网有限公司召集包括清华大学在内的 10 余单位(包括厂家)召开技术交流会,会上对在线监测的规约及通信标准作出了规定,2009 年国家电网公司也启动了相关标准的起草工作,目前各厂家的产品能够达到中心兼容。尽管目前在线监测产品的安装数量达到了上万套的规模,但各厂家产品质量参差不齐,总起来说有以下问题:首先,产品可靠性差,据中国南方电网有限公司 2011 年 5 月对 2008~2010 年底安装的产品进行统计,产品在线运行率不足 40%;其次,产品功能实用化程度不高,如应用量较大的覆冰在线监测,通过测量导线及金具在覆冰状况下的拉力来分析导线的覆冰状况,从原理上来说是完全可行的,但由于各厂家覆冰计算模型不统一,造成计算误差过大,产生误报警等现象;最后,设备体积、重量过大,造成现场安装、维护困难,设备重量普遍达到 50kg 以上,某省电力公司×××覆冰监测整套装置总重量达 1t 多。

3. 输电线路在线监测技术的重点和难点

输电线路在线监测技术的推广应用,减轻了设备检修工作量,提高了电网运行的可靠性,对电力系统的安全运行起到了积极作用。但是,由于技术的复杂性和电气设备的多样性,尚有一些问题值得研究。

(1) 可靠性问题,这是困扰目前整个行业的重要问题,正如前文所述,所安装产品的在线运行率低于 40%,因此各厂家必须解决装置可靠性的问题。

(2) 低功耗问题,目前市场上各厂家装置功耗差异很大,因而造成设备的体积、重量差别很大。

(3) 电源可靠性问题,目前各厂家不约而同地采用铅酸电池,据统计,近几年来该电池的可靠性有所下降,一般运行 3 年左右就会出现充放电效率大幅度下降的问题,因此,挖掘新的蓄电池种类成为当务之急。



(4) 传感器的特性和质量是在线监测的关键。目前常用的传感器, 易受温度、压力、冲击等外界环境的影响, 是影响测试精度和稳定性的重要因素。所以研制高精度、高稳定的传感器仍是在线监测的一个研究课题。

(5) 干扰问题。由于高压电气设备处在强电场环境中, 使微量信号的采集难度增大。

(6) 对设备制造厂家提出在线监测技术要求。目前的高压电气设备均未考虑在线监测问题, 都是在线监测设备厂家针对运行设备情况进行设计并安装。运行设备有的可以安装和抽取信号, 有的则不能。

(7) 积累运行经验, 完善专家系统, 制定监测标准。输电线路在线监测的各项参数往往与停电测试结果有一个“偏差”, 但这个“偏差”往往存在一定规律, 只要积累数据, 加以分析就不难发现, 并可以此为依据对照预防性试验标准设定报警值, 当设备运行参数超越报警值时, 系统自动报警。完善专家系统, 建立数据库, 强化分析功能, 制定监测标准仍是目前亟待解决的问题。

(8) 在线监测的管理问题。要实行状态检修, 必须要有能描述状态的准确数据, 即要有大量的有效信息用于分析与决策, 这就涉及状态数据管理。然而输电线路在线监测系统涉及大量的数据, 且数据关系复杂、种类繁多, 主要分为三大部分: 一是大量输电线路的属性数据, 如线路设计条件、运行年限、设备健康状况、地质、地貌、设备危险点、施工图和施工录像等; 二是运行管理的各种申请、审批报表等; 三是在线监测设备提供线路状态数据, 如运行绝缘子表面的泄漏电流、导线温度、导线舞动频率、杆塔现场图片以及环境温度、湿度、风向、雨量及大气压力等。如何将众多数据进行有效的存储、管理和利用是输电线路状态运行管理考虑的首要问题, 也是很难解决的问题。

任务三 学习输电线路在线监测技术的发展

【教学目标】

了解输电线路在线监测技术的发展方向。

【任务实施】

随着全球大气环境的变化,极端风雪天气在我国愈加频繁出现,架空输电线路绝缘子污闪、风偏闪络、导线舞动、覆冰等现象时有发生,往往会引起线路跳闸,电弧烧伤,金具、绝缘子损坏,导线断股、断线,倒塔等严重事故,造成巨大的经济损失,严重地威胁着我国架空输电线路的安全运行。在线监测技术作为智能输电的关键技术之一,是目前国家智能电网建设的重要研究方向。因此,作为智能电网的关键环节,输电线路的监测具有重要意义,技术主要发展方向为:

(1) 实用性,经过逐步的产品推广应用,会出现一些主流的应用产品,如覆冰、气象、图像、舞动、导线温度,而其他产品会逐步退出市场应用。

(2) 应用嵌入式系统为主要方向,ARM 等系统的应用会成为主流,这将有助于提高设备的可靠性,有利于设备功能的扩展,提供丰富的接口应用。

(3) 各种分析、计算、预警等计算模块将随着前端装置 CPU 计算功能的加强进行迁移,也就是说,后期各厂家生产的在线监测装置直接就是一台诊断设备,而不需要后台软件的分析、计算。

(4) 前端传感器的标准会逐步统一。目前国家电网公司、中国南方电网有限公司只对整套装置的通信协议作出相应规范,没有对前端传感器的



规约及接口作出要求。随着前端传感器规约接口的统一,将会出现该行业的产业分化,各厂家的传感器将可以通用,各厂家可根据自己的专长进行开发生产,也可吸引末端传感器专业厂家的进入,如气象传感器生产厂家、拉力传感器生产厂家等。各厂家将会向专业化方向发展,有利于整套产品可靠性的提高。

(5) 产品重量、体积会大幅度缩小,有利于现场安装、施工方便。未来两年内将会出现整套重量低于 20kg 的产品。

(6) 产品会以高度集成的功能模块的方式出现,将有助于缩小体积、提高可靠性。