

高翔 编著

现代电网应用技术丛书

继电保护状态检修 应用技术

JIDIAN BAOHU ZHUANGTAI JIANXIU YINGYONG JISHU



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

现代电网应用技术丛书

继电保护状态检修 应用技术

高翔 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共分九章,包括:绪论,设备状态检修概述,电气二次设备的状态检修,继电保护状态检修必要性和可行性、实现技术、典型方案、应用实例、实施意义,以及数字化变电站技术对于状态检修的影响。

本书可供继电保护运行、检修、管理人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

继电保护状态检修应用技术 / 高翔编著. —北京:中国电力出版社, 2008

ISBN 978 - 7 - 5083 - 7060 - 6

I. 继… II. 高… III. 继电保护装置 - 检修
IV. TM774

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 060983 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 [http: //www. cepp. com. cn](http://www.cepp.com.cn))

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 6 月第一版 2008 年 6 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 12.25 印张 152 千字

印数 0001—3000 册 定价 35.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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

前言

20 世纪 90 年代以来状态检修技术已逐步在电力系统中得到重视,并在发电厂、一次设备的状态评估方面得到了具体应用。2007 年国家电网公司组织开展输变电站设备的状态检修工作,形成了《输变电设备状态检修验收细则》、状态检修管理规定、试验规程、评价导则、风险评估导则、全寿命管理指导意见等一系列文件,这将实质性地推进设备状态检修工作的具体实施。同时,将意味着一次设备检修管理体制将逐步实现计划检修向状态检修的转化,设备检修管理体制将更具科学化、规范化。

随着电网规模、电网运行技术的快速发展,未来电网安全运行基础将更多地取决于二次控制系统的安全性、稳定性。因此,在一次设备状态检修技术推进的基础上研究二次控制系统状态检修技术,尤其是“电网静静的哨兵”继电保护系统的状态检修技术将具有十分重要的现实意义。

作为电网安全运行基础的二次控制系统基于微电子、计算机技术的突飞猛进,在数字化技术的应用方面得到了迅速发展。继电保护数字化技术应用经过十几年发展,所体现的各种技术特点和优势已得到充分的应证。数字化装置的“自检”能力为状态检修技术的实现提供了很好的基础,由于保护系统除装置本身外还包含交、直流电源系统、二次控制回路系统等其他环节,因此,研究继电保护的状态检修技术必须确保所研究的范畴具备继电保护系统运行环节的完整性。

笔者作为一名电网运行单位的继电保护专业工作者,自 20 世纪 80 年代中期参加工作以来,目睹了整流型、晶体管、集成电路、微机型、数字化保护的技术发展历程,期间也深刻体会到不同技术实现的保护在运行管理、技术分析、事故处理方面的巨大差异。继电保护的状态检修是实现继电保护运行检修从“必然王国”到“自由王国”跨越的基础。尤其近年来电网规模的快速发展,保护装置数量急剧增加,根据国家电网调度通信中心、南方电网公司、中国电力科学研究院 2006 年 10 月出版的《2005 年度全国继电保护与安全自动装

置运行统计情况分析》报告,2005年底全国范围220kV及以上系统微机保护共有47481套,占整个保护装置套数的81.25%,包含线路、变压器、发电机保护。110kV以下电网的保护套数初步估算不少于220kV以上系统的8~10倍,同时,每年考虑10%~20%的增量。依据DL/T 995—2006《继电保护和电网安全自动装置检验规程》的规定,微机保护部分检验周期2~3年,全部检验周期6年,保护检验工作量是极其惊人的。因此,如何有效地实现保护检修技术已经成为一个确保电网安全的“刻不容缓”的问题。

本书阐述了设备检修体制的演变,状态检修技术的基本思想,描述了电气设备检修实现技术,及二次设备状态检修的目标和基本实现技术,分析了继电保护状态检修的必要性和可行性,继电保护状态检修实现技术,典型方案及具体应用案例。同时,分析了继电保护状态检修的实现意义,及数字化变电站技术对于继电保护状态检修技术实现的影响。

鉴于继电保护状态检修的实施尚处于探索阶段,期间将有不少技术、管理方面的问题需要解决,书稿中的观点、结论难免有不当之处。仅借此书稿与继电保护同仁商榷,并希冀在继电保护运行检修技术的进步中尽微薄之力。感谢本书编写过程中刘韶俊、朱炳铨所提供的应用案例,对于本书中的错误及立论不当之处,恳请同行不吝赐教。

作者

2008年3月12日

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
1.1 设备检修体制的演变	(1)
1.2 传统检修模式存在的弊端	(3)
1.3 状态检修技术的基本特点	(5)
1.4 小结	(9)
第二章 设备状态检修概述	(10)
2.1 状态检修的基本原理	(10)
2.1.1 状态检修的基本思想	(10)
2.1.2 状态检修的基本模型	(11)
2.1.3 状态检修主要技术支持	(16)
2.2 电气设备状态检修的基本应用	(19)
2.2.1 变压器状态监测	(20)
2.2.2 断路器的状态监测	(22)
2.2.3 容性设备的状态监测	(23)
2.2.4 GIS 的状态监测	(24)
2.3 电气二次设备状态检修的关键	(26)
2.4 小结	(28)
第三章 电气二次设备的状态检修	(30)
3.1 电气二次设备状态检修的目标	(30)
3.2 电气二次设备状态检修的主要技术	(32)
3.2.1 二次设备状态检修的主要方法	(32)
3.2.2 实施二次设备状态检修的关键	(34)
3.3 继电保护状态检修的预期效果	(38)
3.3.1 保护隐性故障分析	(39)

3.3.2 继电保护状态检修的预期目标	(43)
3.4 小结	(45)
第四章 继电保护状态检修必要性和可行性	(46)
4.1 继电保护状态检修的必要性分析	(46)
4.1.1 电网快速发展基本情况	(46)
4.1.2 电力设备可靠性指标的要求	(48)
4.1.3 微机保护本身的技术特点	(49)
4.1.4 计划检修管理体制的主要问题	(51)
4.2 继电保护状态检修的可行性分析	(52)
4.2.1 保护自检功能的实现	(52)
4.2.2 保护二次回路分析	(52)
4.2.3 断路器状态及 TA、TV 监视	(54)
4.3 保护状态检修实施的必要前提	(57)
4.3.1 需解决的关键问题	(57)
4.3.2 保护状态检修的技术路线	(60)
4.3.3 建立保护状态检修的评估体系	(60)
4.4 小结	(63)
第五章 继电保护状态检修实现技术	(64)
5.1 保护状态检修方案的针对性和适应性	(64)
5.2 保护状态监视系统结构和功能组成	(67)
5.3 基于状态检修技术的保护预警系统	(73)
5.4 小结	(80)
第六章 继电保护状态检修典型方案	(81)
6.1 保护监测系统 RSS 描述	(81)
6.2 采用智能操作箱技术简化二次回路	(83)
6.3 在传统试验方法中增加关键接点监测	(85)
6.4 小结	(86)
第七章 继电保护状态检修应用实例	(87)
7.1 通化钢铁公司应用案例	(87)

7.2	西宁钢厂应用案例	(89)
7.3	外陈(宣家)变应用案例	(93)
7.4	小结	(100)
第八章	继电保护状态检修实施意义	(101)
8.1	安全性分析	(101)
8.2	可靠性分析	(103)
8.2.1	可靠性分析基本方法	(104)
8.2.2	基于可靠性的状态检修的评价指标	(113)
8.2.3	基于可靠性的状态检修系统研究	(114)
8.3	经济性分析	(120)
8.3.1	状态检修的经济性分析	(120)
8.3.2	联系经济效益的可靠性评价方法	(121)
8.3.3	继电保护可靠性指标的计算方法	(123)
8.4	小结	(126)
第九章	数字化变电站技术对于状态检修的影响	(127)
9.1	数字化变电站概述	(127)
9.1.1	数字化变电站技术背景	(127)
9.1.2	数字化变电站主要技术特征	(130)
9.1.3	数字化变电站自动化系统架构	(140)
9.2	数字化变电站电气二次设备的状态检修方案	(154)
9.2.1	数字化变电站技术对于二次系统的影响	(154)
9.2.2	IEC61850 标准 GOOSE 介绍	(161)
9.2.3	数字化变电站保护状态检修的实现	(163)
9.3	全寿命周期成本(LCC)概念	(164)
9.3.1	全寿命周期成本分析概述	(164)
9.3.2	全寿命周期成本管理的历史沿革	(166)
9.4	状态检修对于全寿命周期成本分析的意义	(179)
9.5	小结	(184)
	参考文献	(185)

第一章

绪 论

1.1 设备检修体制的演变



设备检修就是指为保持或恢复设备的期望功能所进行的技术作业行为，通常包括检查、维护、修理、更新四项任务，其中检查是为了确定和评估设备的实际状态，维护是为了保持设备的期望状态，修理是为了恢复设备的期望状态，更新是更换无法达到期望状态的设备（或部件）。

传统设备检修体制的演变经历了两个阶段：事后检修/故障检修（18 世纪第一次产业革命）和预防性检修（19 世纪二次产业革命）。

事后检修 BM（Break Maintenance），也称故障检修 CM（Corrective Maintenance），是最早的检修方式。这种检修方式以设备出现功能性故障为判据，在设备发生故障且无法继续运转时才进行维修。显然，这种应急维修属于“被动”维修，明显存在维修不足，其直接后果是不利于设备的正常运行，设备缺乏正常检验维修所支付的代价就是设备的安全性“失控”，会严重威胁着设备或人身安全。

预防性检修 PM（Prevention Maintenance），预防性检修经过多

年的发展,根据检修技术条件、目标的不同,出现以下 5 种典型的检修方式。

(1) 定期检修 TBM (Time Based Maintenance)。

定期检修在保证设备正常工作中确实起到了直接防止或延迟故障的作用,但这种不根据设备的实际状况,单纯按规定的时间间隔对设备进行维修,不可避免会产生“过剩维修”,不但造成设备有效利用时间的损失和人力、物力、财力的浪费,甚至会引发维修故障。

(2) 以可靠性为中心的检修 RCM (Reliability Centered Maintenance)。

这种检修方式能比较合理地安排检修间隔,有效预防严重故障的发生,以最低的费用来实现机械设备固有可靠性水平。

(3) 故障查找 FF (Fault Find)。

这种维修方式主要针对紧急备用设备,在固定的时间启动这些设备,发现问题及时解决,以提高设备的可用率。

(4) 使用至损坏再修 RTF (Run To Fault)。

采用该方法进行修理的设备不控制送修,通常用于对安全无直接危害的三类故障:① 偶然故障;② 无规律性故障;③ 故障损失小于维修费用的耗损故障。

(5) 主动维修 PM (Proactive Maintenance)。

这种检修模式从经济、寿命等多种因素考虑,重点对机械故障的识别、消除和故障原因的分析,通过延长设备寿命来获得最大的效益。

1970 年美国杜邦公司首先提出了状态检修的概念,状态检修 CBM (Condition Based Maintenance) 也称之为预知性维修 PDM (Predictive Diagnostic Maintenance),其基本思想是:“在普遍掌握设备状况的基础上,确定极少数状况不好的设备实施检修”。状态检修是以设备的状态响应为基础,通过对设备的连续性观测并综合

其他因素, 设别设备已有的或正在发生的或潜在的设备性能劣化现象, 对设备状态作出合理的评估, 确定设备最佳检修时机。

状态检修必须建立在对设备状态进行有效监测的基础上, 根据监测和分析诊断的结果安排检修时间和项目, 主要包含: ① 设备状态监测; ② 设备诊断; ③ 检修决策三个环节。状态监测是状态检修的基础, 状态监测是设备诊断的依据, 检修决策就是结合在线监测与诊断的情况, 综合设备和系统的技术应用要求确定具体的检修计划或策略。

状态检修的目标是减少设备停运时间, 提高设备可靠性和可用系数, 延长设备寿命, 降低运行检修费用, 改善设备运行性能, 提高经济效益。这种维修方式以设备当前的实际工作状况为依据, 通过高科技状态检测手段, 识别故障的早期征兆, 对故障部位、故障严重程度及发展趋势作出判断, 从而确定设备的最佳维修时机。状态检修是当前技术最先进、耗费最低的维修制度, 为设备安全、稳定、长周期、全性能、优质运行提供了可靠的技术和管理保障。状态检修需要监测的内容多, 需要增加额外的设备投资。

在状态检修技术的基础上出现了以设备寿命评估为基础的检修, 即根据状态检修系统所收集的设备基本信息, 分析估计设备寿命, 再确定检修项目、频度与检修内容。

1.2 传统检修模式存在的弊端



长期以来检修体制主要实行的是以事后维修、预防性检修为主的计划检修体制。这种检修体制一般采取定期维护形式, 检修项目、工期安排和检修周期均由管理部门根据相应的规程或经验确定。设备运行到了规定的检修周期, 不论设备处于什么样的运行工况, 也不论设备供应商的差异、设计材质的优劣、工艺质量的好坏、运行方式的区别、有无影响安全运行的缺陷等, 都必须一律

“到期必修”。“到期必修”的依据是设备检修周期，从保证设备安全运行的角度来看，计划检修似乎不会出现大的问题，但从综合管理的角度看却不尽合理，主要表现在“到期必修”上。所谓“到期必修”，就是到期必须要按固定模式检修，并非根据设备的实际状况确定，因此，从维护设备正常运行的视角看，定期检修有利于消除检修设备的隐含故障或缺陷，但对于运行状况良好的设备并不能有效地提高设备运行率；同时，会造成检修单位人力、物力的浪费，有时还会把好的设备修坏，变成“劳而无功，劳而有过”。这种检修模式使设备运行维护单位对于设备检修没有自主权，不能根据设备实际状况决定检修项目。

一、事后检修存在的主要弊端

1) 事后检修是一种被动工作模式，有很大的不可预见性，任何一起事故的发生都会给日常生产、生活带来不便，造成较大经济损失和不利的社会影响。

2) 事后检修具有“抢险”性质，时间紧、任务重，抢修人员为了赶时间，经常会简化操作程序，难免会忙中出错，多年来事后检修中发生的人身伤亡事故和其他各类事故是屡见不鲜的。

3) 事后检修属于“亡羊补牢”，为了使事故在尽量短的时间内处理完，就必须预先准备较多的原材料和备品备件，造成库存增加和资金利用率下降，从而增加检修费用。

4) 事后检修常常是就事论事，就发生的事故进行紧急处理，往往没有太充分的时间分析原因、查找根源，“按下葫芦又起瓢”的事在所难免，难以杜绝同类事故的发生。

二、定期检修的主要弊端

1) 随着电网的发展，设备在剧增，使定期检修必须有大量的人力和物力投入，定期检修实际上具有一定程度上的“盲目性”，使定期检修性价比不可能太高，从而相对降低了劳动生产率。

2) 定期检修必然导致部分运行状态较好的设备周期性停运，

使电网承受更大的运行压力。因检修所引起的停送电操作，客观上增加了误操作的几率。

3) 定期检修导致一定时间内检修工作量骤增，按照设备检修规程要求去落实每项要求，将使设备所需停电时间远远大于电网调度所能安排的停电时间，此矛盾造成很多检修内容难以落实，影响检修质量。

4) 不良现场检修条件和落后的检修工艺导致设备损坏的概率加大，增加了检修过程中产生新的设备隐患的可能。

综上所述，作为电网安全运行的重要支撑检修管理体制传统已经越来越不适应现代电网快速发展的要求，需要探索新的设备检修技术，以适应电网日新月异的发展变化。

1.3 状态检修技术的基本特点



国外的设备状态检修开展较早，20 世纪 70 年代末，美国电力科学研究院 EPRI 对电气二次设备的状态检修进行研究和应用。日本从 20 世纪 80 年代开始对电气二次设备实施状态分析和在线检测为基础的状态检测。欧洲大多数国家也正在进行检修体制的改革，方向也是状态检修。到目前为止，基于计算机网络技术的设备管理、事故分析和预警系统在美国、加拿大等国已普遍应用，如 Integrated Maintenance System 等。这些软件系统应用 Intranet、Internet 及地理信息系统 GIS 等最新的计算机技术，将状态管理、事故预警和事故处理进行有机的集成，大大改善了其设备监督管理环境，提高了监督管理水平。

工业发达国家电力公司的预防性试验工作，从整体上来看试验项目较少，试验周期较长，有时甚至对某些设备不做试验。其主要原因是在于发达国家电力设备产品质量较好，运行维护水平较高，这就要求对新增设备或技术改造从选型、监造、安装、调试方面把

好质量关，不能依赖预防性试验来发现隐患或事故暴露缺陷。同时，抓好运行维护工作，通过常规巡检或离线探察掌握设备的状态。

状态检修作为一种先进的检修体制是与多方面的管理工作分不开的，世界各国从不同的管理目标出发，形成了不同的管理系统。芬兰的 IVO (Imatran Voima Oy Finland) 输电服务公司开发的变电站检修管理系统 (SOFIA)，建立在对一座变电站的长期检修计划的基础上，从寿命周期费用 LCC (Life Cycle Cost) 着手，使用设备的劣化模型的数学形式 (状态模型) 来估计设备将来的状态。SOFIA 在考虑预算及其设备状态的情况下，通过检修费用的优选，降低总费用。荷兰 B. V. KEMA 与荷兰 Delft 技术大学在考虑市场情况及技术条件的前提下，研制了一种包括状态检修在内的多种策略均衡应用的检修管理系统，其特点在于引入了诊断专家系统，使可靠性和安全性达到可接受的水平。德国提出将工人或供货商的管理层所有功能融为一体，以减少中间环节的瘦型管理。此管理方法在德国的 Weisweiler 电厂检修管理中得到运用，使该厂 48% 的工作任务流程得到优化效果明显。

为推进我国设备状态检修工作的开展，国务院于 1987 年颁发了《关于全民所有制工业交通企业设备管理条例》，指出：“企业应当积极采用先进的设备管理方法和维修技术，采用以设备状态监测为基础的设备维修方法，不断提高设备管理和维修技术现代化水平”，继而国务院经贸办又在 1992 年的《“八五”后三年工交企业设备管理工作要点》中明确指出：“要继续破除单纯以时间为基础的设备维护制度，建立以状态监测为基础的设备维修制度”。原水利电力部颁发的 SD 230—87《发电厂检修规程》也增补说明：“应用诊断技术，进行预知维修是设备检修的发展方向”。这些文件精神为变电站、电厂检修制度的改革提供了政策依据，符合电力企业“安全为基础，效益为中心”的原则，并为生产技术管理人员更新

知识,探索先进、科技的检修制度和管理方式指明了方向。2001 年国家电力公司颁发《火力发电厂实施设备状态检修的指导意见》中指出:“设备状态检修是一种先进的检修管理方式,能有效地克服定期检修造成设备过修或失修的问题,提高设备的安全性和可用性,在发供电企业实施设备状态检修是企业实现管理现代化、提高综合实力的有效途径之一,也是建设一流发供电企业的重要内容,是管理创新、技术创新的具体体现”。

状态检修是预知性检修,是以设备状态为基础,以预测设备状态发展趋势为依据的检修方式。能有效地避免故障检修和周期性定期检修带来的弊端,是较为理想的检修方式,也是今后设备检修模式发展的趋势。状态检修的优点是显而易见的,状态检修的实现基础主要体现在以下几个方面。

一、电气设备状态检修的可行性

1) 多年来,国产电气设备积累了大量的运行经验,其运行和维护技术日臻完善,这为实施状态检修工作奠定了技术基础。同时,国产设备的质量有了很大提高,为状态检修提供了一定的物质基础。

2) 新型设备投入运行及新技术的应用,监测手段的不断提高,如红外线成像技术在电力生产中的应用,大型变压器油色谱分析在线系统的研制成功,变压器绕组变形探测技术的发展,电容型带电设备集中在线测试技术的投入使用等,使正确诊断设备状态有了可能。

3) 随着传感技术、微电子、计算机软、硬件和数字信号处理技术、人工神经网络、专家系统、模糊集理论等综合智能系统在状态监测及故障诊断中应用,使基于设备状态监测和先进诊断技术的状态检修研究得到发展,成为电力系统中的一个重要研究领域。

二、电气设备状态检修的优越性

1) 状态检修之前的准备工作一状态管理,不仅减轻了原手工

作业的劳动强度,提高了工作效率;更重要的是,能够充分利用已有的状态信息,通过多方位、多角度的分析,最大限度地把握设备的状态,依此制订合理的检修维护策略,为提高设备运行可靠性提供了保障。

2) 状态检修可以使检修人员现场定期试验和测量工作量减轻到最小,显然这是一种降低成本的好方法。特别是在对设备的寿命进行正确估计后,提高了设备的最大可用性,就可以更有效地储存和安排设备备件,节省大量的备品费用。

3) 在实现设备的状态检修后,可以通过适当的维修来避免重要设备故障,同时又避免了不必要的维修作业,降低了由于不必要的预防性检修引起故障的可能性。

4) 通过设备的状态分析,可以发现问题于其萌芽状态,限制问题向严重化的方向发展,对于预防类似事故、改进产品质量、提高设备监督管理水平具有重要的指导意义。

5) 实现状态检修后,把计划性停电降低到最少,可增加售电收入,提高供电可靠性和用户满意度。

实行状态检修时应根据设备的原始状态和历年来的状态变化趋势,并参考同类可比设备的状态统计分析来制订符合维修总策略的测试方案。对于初始状态良好的运行稳定设备,可适当延长常规测试周期;对于状态异常设备,适当延长常规测试周期;对于状态异常设备,适当提高常规测试频度;对于有明显缺陷的设备,要跟踪进行测试,避免在测试工作中的盲目性。通过历次试验检修情况进行综合分析,根据设备运行的可靠性和安全状况对预防性试验和检修的项目和周期进行调整。

状态检修是今后检修技术的发展方向,实现预防性检修向状态检修的过渡仍需要较长的时间。在此过程中预防性检修作为保证设备安全运行的主要手段仍然将发挥重要作用。因此,需处理好状态检修与事故检修、预防性检修的关系;状态检修工作与技术监督的

关系；在线与离线的关系。制定设备状态检修相关规程，做好状态检修的组织准备工作：如建立完善的技术档案，包括设备随机资料、安装调试记录、历次检修试验报告、运行记录等，为以后的状态检修创造条件。要在做好状态检修的准备工作的基础上，有针对性的明确工作思路，确定阶段性目标，推广电力设备在线监测，逐步淡化定期的预防性检修，加速状态检修的全面推广。

1.4 小结



本章介绍了设备检修体制变化的过程，分析了传统计划检修体制的主要问题，阐述了设备状态检修技术的基本特点，提出了状态检修需与常规检修策略相结合的思路。随着电力工业的发展，电力设备检修技术的研究将更具有经济和社会价值。