

SHUBIANDIAN SHEBEI de ZHUANGTAI JIAN

陈三运 谭洪恩 江志刚 编著

输变电设备 的状态检修



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

输变电设备 的状态检修

陈三运 谭洪恩 江志刚 编著



中国电力出版社
www.ccpp.com.cn

内 容 提 要

本书就电网主设备——输变电设备的状态检修问题进行了全面分析和较深入的探讨,归纳了状态检修的特点,提出了状态检修的基本思路和方法。对状态检修决策支持系统及其相关的基础知识进行了介绍,对架空送电线路状态检修进行了客观的分析并提出了工作重点及建议,对各种变电设备的常见故障类型、诊断要点、建议的试验检修周期、状态信息数据库项目、状态评价方法标准以及良好状态的全过程控制等技术及其管理进行了介绍。

本书内容新颖、语言通俗,经验做法较多,实用性强,可供电力企业有关管理及技术人员进行设备管理工作时参考,可供电气检修、试验及运行及设计人员在提高业务素质或开展状态检修工作时学习阅读,也可供大、中专院校电力类师生了解供电设备维修管理及其发展动向时参考。

图书在版编目(CIP)数据

输变电设备的状态检修/陈三运,谭洪恩,江志刚
编著. —北京:中国电力出版社,2004

ISBN 7-5083-2144-8

I. 输… II. ①陈…②谭…③江… III. ①输
电—电气设备—检修②变电所—电气设备—检修
IV. TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第014995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>)

北京博图印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004年6月第一版 2004年6月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 6.375印张 139千字

印数 0001—4000册 定价 12.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序

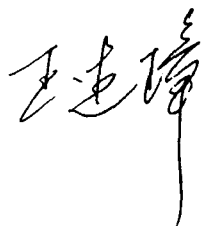
供电设备状态检修是近一二十年来经常讨论但没有取得根本性进展的管理课题，也是当前供电行业无法回避的应该认真审视的一个现实课题。

稍加回顾和分析可以看到，供电设备状态检修至今没有真正开展起来的主要原因一是时机问题，二是认识问题，其次，在学术专业领域也似乎还没有一个一致的意见，譬如，虽然总的都认为状态检修是发展方向，但对状态检修是否一定要以在线监测作为前提条件；当前的输变电设备素质的普遍提高、电网的扩延、供电企业的减人增效与状态检修是何种关系；怎样具体进行状态检修等问题还没有统一认识。

我欣喜地发现，本书的编著者对上述状态检修问题作了较深入的思考和分析，对基层开展状态检修的一系列问题作了一定的设想和阐述，具有一定的思维启发性、实用性和可操作性。本书也是我国第一部涉足并较系统地论述输变电、供电设备状态检修问题的专业书籍，尽管书中的内容可能有错误和遗漏，一些观点也不一定正确，但该书的出版对促进供电设备状态检修工作的开展、启发有关专业人员的思路，对有关人员在开展和进行状态检修具体工作时的学习、借鉴和参考是大有裨益的。

原国电公司已于2001年12月下发了“火力发电厂实施设备状态检修的指导意见”，现中电联供电分会也正在积极

起草“供电行业状态检修指导意见”。我希望有关供电企业，尤其条件较好的供电企业能积极主动地进行一些状态检修的实践工作。我相信在不久的将来，在状态检修工作一定会推向全国各个供电企业，必将登上供电单位生产管理的议事日程，状态检修工作一定会发挥积极效应，取得丰硕成果。

A handwritten signature in black ink, consisting of the characters '王建璋' (Wang Jianzhang) in a cursive style. The signature is positioned to the right of the main text block.

2003年12月

前 言

状态检修是近十年来屡屡出现的一个专有名词，许多人并不陌生，但又不很熟悉。至今，状态检修仍作为一个管理性课题在探索、讨论和酝酿之中。

随着电网结构的扩延和城乡电网改造力度的加大，电力安装、检修、运行维护及其技术管理的工作量一直十分巨大，设备检修安装人员常常处于数量不足和工作十分疲惫的状态。设备的定期检修、到期必修方式，与数量庞大设备的检修工作量之间的矛盾，与企业实现减人增效提高经济效益之间的矛盾，与大部分设备良好健康状态之间的矛盾，越来越突出。与此同时，对运行基本稳定设备仍实行的定期检修、到期必修方式的有效性越来越受到人们的置疑，定期检修到期必修的副作用更是受到人们的注意。实际上，一些地方早已将定期检修的周期在自觉不自觉地往后延长，基层班组对定期检修实施的项目也自觉不自觉地比规定要求缩减很多，定期检修的概念被有意识无意识地模糊和淡薄了。笔者认为，对设备盲目的定期检修、到期必修所造成的过修和对设备盲目地无规范无标准地擅自延长周期都是不可取的。

本书的编著者们长期从事电力设备的检修、试验、运行以及电网运行的技术及管理工作，对电网设备的变化历程及当前运行设备的普遍状况有切身体会。笔者还有幸参加了近年来中国电力企业联合会供电分会组织召开的几次状态检修研讨会，对中电联供电分会领导者抓住状态检修课题不放松

的精神深深打动并为之兴奋不已，对与会专家及同行们的经验介绍深受教益和启发，对如何依据设备的状态进行检修，对如何评价、掌握、控制设备的状态，对当今开展状态检修的时机是否成熟等问题作了一些思考和研究。在宜昌供电局何健、王同明、三峡大学何伟军等同志的督促和热心帮助下，我们三人共同完成了本书的编写工作。需要说明的是，由于时间和篇幅有限，本书并未就状态检修的所有相关内容作全面展开；本书中对设备的某些诊断、维护的项目、周期和作法并不一定与现行的相关规程、标准完全吻合，但确实是基层工作中实用有效的而又可行的经验作法。

本书的第二章由深圳职业技术学院的江志刚老师编写，第四章由宜昌供电局谭洪恩副局长编写，其余部分由宜昌供电局陈三运副总工程师编写，全书由陈三运统稿。武汉大学电气工程学院谈顺涛教授审核了全书并提出了宝贵的修改意见，在此表示深切谢意。本书在编写过程中参考了同行专家的许多宝贵资料和书籍，以及生产厂家的产品使用说明，在此特向他们表示感谢。

编写本书的主要目的是抛砖引玉，希望有关人员、有志之士都来关心、支持和参与状态检修工作，希望本书对供电企业的有关工作人员初步认识和了解状态检修，尽早开展状态检修，搞好状态检修起到启发、参考和帮助作用，对供电行业的状态检修工作的广泛深入开展起到促进作用。由于编著者阅历、经验和水平有限，书中难免有疏漏、错误的地方，敬请读者给予批评指正。

陈三运

2003年12月

目 录

序	
前言	
第一章 绪论	1
第一节 状态检修的提出和认识	1
第二节 状态检修的难点分析	6
第三节 状态检修的模式和任务	9
第二章 状态检修决策支持系统及有关基本知识	14
第一节 决策支持系统 (DSS)	14
第二节 状态检修决策支持系统	20
第三节 状态检修的经济技术问题	25
第四节 状态检修的故障诊断	33
第三章 状态检修的基本思路和方法	37
第一节 确保设备良好的初始状态	37
第二节 设备投运后的管理技巧	39
第三节 状态检修管理的特点和方法	44
第四章 架空送电线路的状态检修	59
第一节 架空送电线路的运行要求	59

第二节	架空送电线路的检修特点及检修规定	63
第三节	架空送电线路的状态检修	68
第四节	带电作业	73
第五章	电力变压器的状态检修	77
第一节	变压器良好的初始状态要点	77
第二节	变压器不停电检测周期、停电检测周期及部件维修周期	82
第三节	变压器的在线监测	84
第四节	变压器常见故障类型及诊断要点	86
第五节	变压器状态的信息管理	90
第六章	互感器的状态检修	96
第一节	互感器良好的初始状态要点	97
第二节	互感器的检测周期和常见故障	98
第三节	互感器状态的信息管理	99
第七章	高压断路器的状态检修	104
第一节	断路器状态检修的总体分析	105
第二节	断路器良好初始状态要点	107
第三节	断路器定期检测及局部维修周期	115
第四节	断路器状态检修的依据	116
第五节	断路器在线监测方法介绍	126
第六节	断路器最常见缺陷及故障分析	128
第七节	断路器状态的信息管理	130
第八章	隔离开关的状态检修	137
第一节	隔离开关良好初始状态要点	139

第二节	隔离开关的检修周期、项目和加强管理的措施	143
第三节	隔离开关常见故障现象	146
第四节	隔离开关的信息管理	150
第九章	避雷器的状态检修	154
第一节	氧化锌避雷器常见故障和故障成因	155
第二节	氧化锌避雷器良好初始状态要点	158
第三节	氧化锌避雷器定期测试周期	164
第四节	氧化锌避雷器的信息管理	166
第十章	电力电缆的状态检修	169
第一节	电缆常见故障及其原因	170
第二节	交联聚乙烯电缆交接试验、预防性试验及故障查找试验	173
第三节	电缆良好初始状态要点	181
第四节	电缆预试、巡检、维护周期及项目	187
第五节	电缆状态的信息管理	189

电费损失。

3. 定期检修

定期检修是指按预先规定的周期或操作次数所执行的定期预防性检修作业，其特点是：根据经验预先规定周期即时间间隔（与设备状态无关），在达到周期时对设备进行修理或更换。这种检修方式对一些可靠性不高，且易产生规律性磨损的设备，一般可消除隐患，恢复到设备原有的可靠性。

20世纪50年代以后，我国借鉴前苏联的办法，对电气设备实行定期检修模式，即检修类别、项目、周期均按全国统一规程规定执行。规定中要求，对主变压器，在投运5年内进行一次大修，以后每5~10年进行一次大修；对110~220kV少油断路器，投运一年时进行一次大修，以后每3~5年一次大修，一年一次小修；对35kV多油断路器，投运一年后一次大修，以后每3~4年一次大修；对110kV及以上线路，基本上是每年一次年检（包括紧固并钩线夹、清扫绝缘子）、处理缺陷。在以前电力设备普遍可靠性不高且设备总量不是很多的情况下，这种定期检修方式对供电企业提高设备安全运行水平、规范检修管理，起了一定的作用。

20世纪80年代中后期，许多先进的供电企业结合设备检修实际，借鉴国外先进经验，对现行的定期检修制度进行了剖析，普遍认为，按固定周期检修的模式忽略了设备个体的质量、环境、性能状态的差异。在检修中，大部分情况是设备拆开没有检查出任何问题；一些状态不佳、周期未到的设备却又不能按正常规则列入计划大修。可以说，对定期检修而言，大部分是设备检修过剩，对某些不宜过多拆装的设备，过剩的检修会使好设备越修越坏；另一部分则是检修

不足，或头痛医脚，加上某些工艺环节的不到位，使设备恢复不了原来的状态，反而增加一些不安全运行的因素。传统定期检修模式的问题是重视了设备到期的大修，对有缺陷、有问题设备的综合分析、统计归纳、跟踪和及时的检修处理不够，对规范地进行定期维护、全过程控制的工作力度不够，因此定期检修存在很大的局限性。

4. 状态检修

状态检修，也称预知检修或主动维修。其基本思想是：在普遍掌握设备健康状况的基础上确定极少数状况不好的设备实施检修，最好是在该设备结构和性能接近损坏前夕或对设备的安全性能有怀疑时才实施检修。定期检修是以时间为基准的预防性检修，无论设备个体状况如何，到期必修；而状态检修是以状态为基准的响应性检修，是一种不搞一刀切的预防性检修，是该修必修。状态检修方式通过对设备关键参数的带电连续性监测（即在线监测）或带电抽样检测或停电检测，以及对设备外在特征的运行观察，并综合其他因素，来识别其已有的或正在发生的或潜在的劣化迹象，并对设备状态作出综合评估。这种检修方式不要求对设备进行定期的检修或大修，但要求及时收集、整理、归纳设备存在的问题，及时评价设备的状态，视情检修，视情确定检修项目。这种检修方式提高了检修的针对性和有效性，能促使加强设备的综合分析和精细化管理，能尽最大努力地发现问题于萌芽状态，有效延长设备的使用寿命，合理降低设备运行维护费用。状态检修就是，对各类信息进行综合分析后对设备的状态作出评价，对状态欠佳的设备给予严密关注，对状态严重不良的设备，及时的提出检修并强调主要检修项目，对已检修的设备进行更进一步的跟踪及分析总结得失。



请记住本书在这里所讲述的状态检修工作模式的真正含义，即并不是说在电网设备检修管理中只采用状态检修这一种策略，而是强调实施以状态检修方式为主，融故障检修、定期检修、状态检修三种检修策略为一体的优化的检修模式，取代以往的以定期检修策略为主的检修模式。

电力设备的事故是在必然性因素和偶然性因素共同作用下按一定概率发生的。设备出厂时初始性能质量如何、设备设计选型的合理与否、安装调试质量的好坏、运行维护的好坏、运行环境的好坏、有无缺陷或缺陷的性质、大小、运行及检测参数的变化等，是决定设备事故概率的必然性因素，是主要因素；对人们未能掌握的也有一定概率发生的设备内部异常状态，何时、何种条件下发展成事故，则是偶然的，是事故概率的次要因素。人们通过加强管理、测试和检修来尽量减少必然性因素，必然性因素的外在表征叫作设备的状态，必然性因素越少，则设备的状态越好。状态是可以通过检测和评估来掌握的，更重要的是状态可以通过厂家的质量管理和电力部门的全过程管理来控制的。对偶然性因素产生的事故，无论状态检修还是定期检修都是无能为力的。定期检修也只能在周期足够短的情况下才能捕捉到概率极小的偶然性故障因素，这在实际上是做不到的，也是不必要的。概率极小的偶然性故障所导致的事故主要靠继电保护和电源断路器的正确动作来切除，即限制事故的发展和减少对电网的恶劣影响。

5. 开展状态检修的特点

(1) 通过对设备开展更精细的管理使设备始终处在良好的状态，提高系统的安全性。精细的管理体现在对“状态不好设备的跟踪和及时的检修”上，因为不搞定期检修后，总



体的设备检修工作量将大大减少，对设备状态的严密监测、全过程质量控制、针对性的高质量检修和状态检修的研究必然成为工作的重点，人们必将把注意力放在收集设备多方面的信息，综合分析，掌握设备状态上面，这样就可以对少数状态不良的设备进行有效的少量的检修，这是安全运行的基础。安全性还体现在，由于检修总量的减少断路器、隔离开关因检修而来的停送电操作的事故几率将相应减少，且检修作业中人身安全事故几率的减少上。此外，开展状态检修还可以更好地落实设备维护管理责任制。因为，设备状态的检测和管理必然是按专业、按区域、分单位、分责任人来分工进行的。开展状态检修后，运行状态的评价和信息上报在运行单位；测试信息分析及其状态评价在试验单位（或部门）；状态的综合评价、处理建议及检修工作在检修单位及其生技部门。状态有缺陷的设备也就是应处理的设备，在定期评价报表中必须给出充分的说明。为此，检修单位的状态评价责任人必须不断审视所管辖设备的状态，这正好体现了设备主人翁的原则。因此，检修单位的工作必然更加主动。开展状态检修以后，还可以借助有序的信息渠道使设备管理者及有关领导能较好的掌握设备状态。

(2) 减少了大多数状态较好设备的无效劳动，实现了减人增效。检修费用明显降低。设备的技术管理和人员的技术培训可以而且必然得到加强。

(3) 减少了设备停电次数，提高了设备利用率。在不降低设备可靠性的前提下降低人力、物力和系统操作，从而提高了电网经济效益，提高了供电可靠性和社会效益。

(4) 对所管辖的设备数量越大、设备普遍状况越好、设备的精密化模块化程度越高（不适于现场拆修），实行状态

检修越有效益，越有动力。因为这种情况下，大量的设备延长了检修间隔期，甚至有些直到寿命终止时才用“设备更新”来代替，检修的成本自然大大降低。很明显，对于一些千疮百孔、危机四伏的设备，无论是状态检修、还是定期检修都是很难保证安全运行的，也谈不上哪种检修方式更有效益。

第二节 状态检修的难点分析

状态检修方法在欧美、日本等先进国家已经开始大量实施，在我国目前还处于探索和倡导阶段，只在为数不多的几个先进地区试行，其开展方式也是各树一帜。如大连供电局对 66kV 及以下设备大胆试行，220kV 设备谨慎对待，线路清扫和继电保护定期检验放得比较开，7 条 66kV 线路 1991 年来从未清扫；广州供电局重点开展了变压器的状态大修和断路器状态检修的研究，详细制定了各类断路器等效开断电流和次数的换算方法；宝鸡供电局 20 世纪 70 年代起就开始了断路器弹性检修周期的研究，已出台了全局 6 个专业（变压器、断路器、线路、继电保护、自动化、通信）的状态检修实施细则。

当前，在我国状态检修进程仍然缓慢，究其原因，状态检修还有以下难点问题需解决或重新认识：

(1) 对设备事故的分析与责任追究时，往往习惯地以规程划线，特别是一些事故的直接（技术和责任）原因未查出时，时常把对规程的严格执行或定期修试与否当成事故的主要因素或作为重要的整改措施。如：事故发生后，首先查该设备是否按规定的周期进行了修试，这种首先把事故责任往

周期上靠的作法实际上往往掩盖了事故的真实技术原因或事故的真正责任人。

(2) 基层检修试验单位对状态检修的原动力不足。定期检修所需费用是按大修数量和适当标准列入年度大修预算的，一般由企业生技部门下达给修试单位。如开展状态检修，修试单位对设备的管理要花费比定期检修大得多的心血，承担的风险也要增加，但传统的年度检修（盲目的轻车熟路的）数量的减少，使得修试单位得到的费用反而要减少，这必然影响修试单位开展状态检修的积极性。

(3) 供电企业领导对状态检修的原动力不足。绝大多数供电企业管电网管设备但并不是独立核算的经济实体，没有一切围绕效益来管理的迫切压力。状态检修虽然效益显著，但需要主管负责人承担更大风险，需要各级设备管理人员付出更大努力，这需要相应的政策配套。随着电力体制改革的不断深入，相信状态检修原动力会越来越大。

(4) 在线监测技术手段的不完善。目前客观上能检测设备某些状态的仪器还不很多，尤其是对断路器机械状态的有效检测手段不多。但应该看到，当前已较成熟的在线监测手段——红外线测温、色谱分析、油中气体在线监测（ H_2 、 CO ）、氧化锌避雷器全电流监视，效果还是不错的。他们能够对设备运行正常与否以及存在何种类型的故障提供较为充分的判据，或提供很有价值的线索。但是，十多年来国内外在线监测的探索实践证明，现有在线监测手段所针对的设备对象和故障类型是有限的，对电网大多数设备都实施在线监测在技术上是很困难的，而且一时还看不到有很好的前景。我们掌握每类设备的全面状态还必须紧紧依靠停电检测的信息，同时还必须收集设备的运行信息、历史信息、同类设备

