

火电厂设备

精密点检及故障诊断 案例分析

陈 江 沙德生 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



火电厂设备

精密点检及故障诊断 案例分析

陈 江 沙德生 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

精密点检是设备点检管理中需要解决的重要内容，特别是转动设备的故障诊断技术，它是开展好精密点检的关键。

本书在点检定修制的基础上，重点介绍精密点检需解决的几大问题：设备故障诊断技术、以可靠性为中心的状态检修、设备寿命管理。特别是对转动设备振动这一故障难题进行了进一步描述和分析，并结合实际案例，从预知性检修的角度进行了评价。

本书主要面向广大机械设备技术人员和管理人员，希望通过通俗易懂的语言和大量的工程实例将复杂的问题讲述清楚，帮助建立设备精密点检体系，解决精密点检的难点。

本书可供电力、石化、冶金等行业，从事机械设备检修与维护管理的技术人员和管理人员阅读，也可供动力机械和流体机械等相关专业师生阅读。

图书在版编目（CIP）数据

火电厂设备精密点检及故障诊断案例分析/陈江，沙德生编著. —北京：中国电力出版社，2010.8

ISBN 978-7-5123-0711-7

I. ①火… II. ①陈…②沙… III. ①火电厂-设备-检修-案例分析 IV. ①TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 149047 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>)

印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 月第一版 2010 年 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.25 印张 208 千字
印数 0001—3000 册 定价 0.00 元

敬 告 读 者

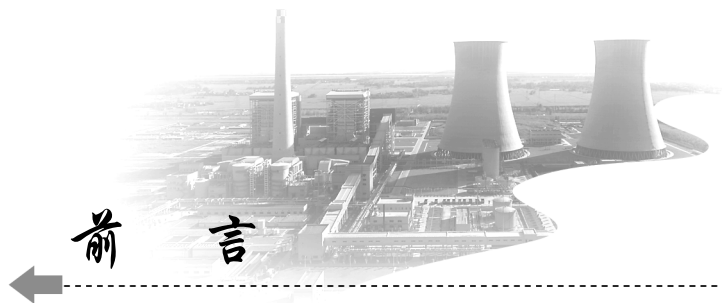
本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

领导赠言：

开展好转动设备振动状态监测是搞好设备预知性检修的基础；解决好转机的振动问题是保障转动设备可靠性的关键。在电力市场日益竞争的今天，开展设备精密点检，优化设备检修，不仅是企业经济效益提高的需要，更是创建本质型安全企业的需要。

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Jin Zhi' (金志), with a vertical line extending downwards from the end of the signature.



前言

随着我国工业化进程的加快，机电设备，特别是电力设备的重要性日益受到关注，对电力设备可靠性、安全性也已有了更高的要求。电力设备管理已经有了长足的发展和进步，尤其是点检定修制、精密点检和状态检修理理论的引入，在设备管理的实践中，取得了丰硕的成果。本书结合我厂具体的设备点检管理经验，重点研究在火电厂重要辅机上开展精密点检，提高对辅机的状态监测和故障诊断能力。同时，在以可靠性为中心的状态检修理理论和寿命管理理论指导下，进一步探讨在火电厂重要辅机上开展精细化管理的可行性。

目前，预知性检修或状态检修正在各火电厂如火如荼地开展。设备故障诊断技术水平是开展好预知性检修或状态检修的基础，而转动设备振动故障诊断与处理又是最难解决的问题之一。因此，提高转动设备振动故障诊断技术与处理水平，对于设备技术管理者开展预知性检修或状态检修而言就显得非常重要和必要。

转动设备故障诊断技术既要求有很高的理论水平，又要求有很强的实践经验。在理论上，不但要有机械专业知识、振动专业知识以及其他相关的系统专业知识，还要有一定的仪表测量和信号处理方面的知识。在实践方面，既要能理论联系实际，把理论知识应用到每一次的故障诊断案例中去，又要求能结合实际的具体情况，反过来对理论进行修正或补充。由于这是一门综合性和边缘性学科，目前还没有得到系统性的完善。虽然，国内外已有许多专著，对理论进行了阐述并结合实际案例进行了论证，但大多表现为理论性很强，实际案例不足，结合得不够紧密。所以现在许多专家开发的专家诊断系统都是开放式的，对实践者留有了足够自主开发和补充的空间。而反过来，许多在一线的实际工作者，解决了许多实际问题，有很巧妙的处理问题的方式和方法，有很多实践性很强的工作经验，但是，与此同时的问题是，一线的实际工作者没有理论基础，不能把其上升到一定的理论高度进行经验总结和提升。目前，我们正处在理论怎样结合实际，如何为现场解决实际问题，现场的实际工作者又怎样把经验转化为理论，同时又能反过来指导实践的关键时期，这需要许多专家和现场工程技术人员努力。尤其是对于许多现场工程技术人员来说，更应该注重理论学习，主动接受新知识，解决新问题，并能把工作经验进行总结。这样，既能不断地提高自己的理论水平和工作能力，又能为其他理论研究人员和实际工作者提供有价值的参考和有意义的帮助。

本书共收集振动故障实例 40 余例，涉及设备 20 多种。按专业分有汽轮机专业、锅炉专业、燃料专业等；按设备分有汽轮发电机组、给水泵、凝结水泵、循环水泵、磨煤机、排粉机、引风机、送风机、灰泵、供油泵、电机等；按振动方向分有径向振动、轴向振动等；按

激振力的类型分有转子激振、轴承激振、介质激振、电磁力激振等；按处理的方法分有做动平衡、加强基础、调整间隙、更换部件、系统改造等。即使是相同的处理方法，如做动平衡，由于实际情况不同，所加重量也千差万别，有的加重达 1600g，而有的只有 5g；电机相同的轴向振动，处理方法也不完全相同。

本书以实事求是的精神对在实际工作中出现的振动现象和处理方法进行了翔实的论述，以期能给读者带来一丝惊喜和一丝收获。本书所述的案例，均按照性能特性及常见故障、故障现象及特点、原因分析与查找、处理方案与效果评价四个方面的内容进行了叙述、讨论。其中，有的故障现象及特点比较细致；有的原因分析与查找比较翔实；有的处理方案与效果评价比较丰富。我们想，除了能让读者更多地掌握转动设备故障诊断技术知识以外，更能体会到预知性检修或状态检修的实质性内涵。解决问题的办法是重要的，而更重要的是能让设备不出现故障、不出现问题，延长设备的寿命，延长设备检修周期，从而达到优化检修策略，在保证安全的情况下，提高经济性的目的。

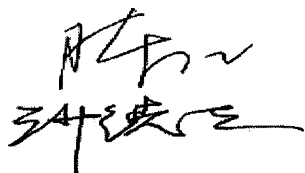
本书的第 1 部分，介绍了设备管理的基本概念、点检定修、精密点检和状态检修管理在我国的基本情况，并阐述了开展精密点检模式、状态监测位置和监测内容、重要辅机设备状态监测评价标准探索。而且，具体讲解了在重要辅机上进行的精密点检研究：针对重要辅机常见异常情况和故障特点，并结合工作实际中遇到的问题，进一步总结研究重要辅机异常情况故障诊断技术；开发火电厂重要辅机故障诊断系统；探索重要辅机以可靠性为中心状态检修（RCM）；研究重要辅机易磨损件的寿命周期，探讨在主设备检修周期情况下的检修策略优化。

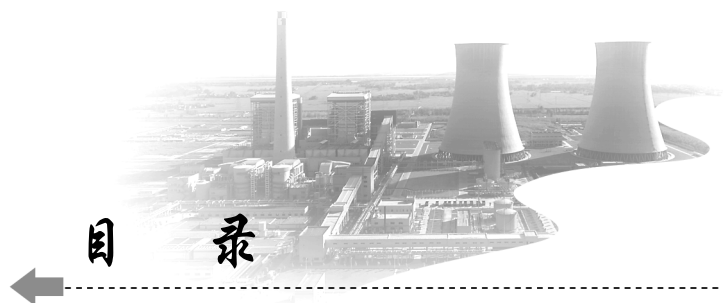
本书的第 2 部分，介绍了振动故障诊断基础理论并分类汇编了多种振动故障诊断的实例。

本书在编写过程中，得到了武汉大学贺小明教授、南京工程学院缪国钧副教授的指导，在此表示衷心的感谢！

限于作者水平，理论分析和各方面知识还有欠缺，书中难免会有许多疏漏之处，恳请广大读者批评指正，并提出宝贵意见。

编者





前言

第 1 部分 重要辅机设备精密点检研究

1	绪论	3
1.1	电力设备点检管理概述	3
1.1.1	点检定修制	3
1.1.2	精密点检	5
1.1.3	点检与精密点检状态检修的关系	5
1.2	国内外电力设备点检管理发展状况	6
1.2.1	点检及精密点检	6
1.2.2	设备状态检修	8
2	重要辅机精密点检模式	9
2.1	点检的实施模式	9
2.2	状态监测位置和监测内容	10
2.3	状态监测评价标准探索	13
2.3.1	振动监测细化及评价标准制定	13
2.3.2	温度监测细化及评价标准制定	18
2.3.3	温升速度细化及评价标准制定	19
3	重要辅机精密点检实施	20
3.1	重要辅机故障诊断	20
3.1.1	重要辅机故障诊断理论	20
3.1.2	重要辅机故障诊断实践	23
3.1.3	设备故障诊断处理经济性比较分析	28
3.2	开发火电厂重要转机故障诊断系统	28
3.3	探索重要辅机以可靠性为中心的维修 (RCM)	32
3.3.1	以可靠性为中心的维修 (RCM) 理论	32
3.3.2	以可靠性为中心的维修 (RCM) 应用	34
3.4	重要辅机寿命管理与检修策略优化	38

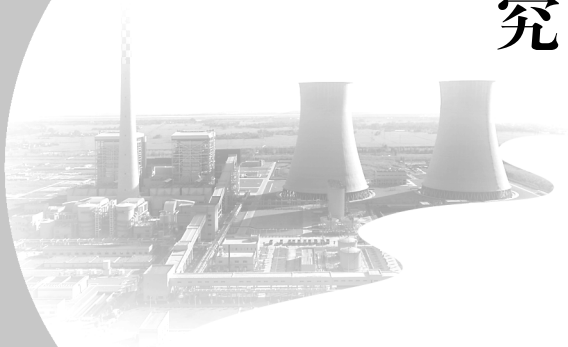
第2部分 振动故障诊断实例分析

4 振动故障诊断理论基础	43
4.1 转子振动的概述	43
4.1.1 简谐振动的基本概念和方法	43
4.1.2 单自由度振动	44
4.1.3 转子振动	46
4.2 转子系统振动故障诊断技术	48
4.2.1 转子系统异常振动的类型	48
4.2.2 转子系统异常振动的原因	49
4.3 转子平衡	60
4.3.1 刚（柔）性转子概念和划分依据	60
4.3.2 刚性转子动平衡	60
4.3.3 转子平衡时的注意事项	61
5 转动设备故障诊断实例分析	62
5.1 基础不良引起的振动	62
5.1.1 200MW 汽轮发电机组过临界振动分析与处理	62
5.1.2 华能淮阴电厂排粉机电机振动及消除	65
5.1.3 给水泵 50CHTA/5 电机径向振动	67
5.1.4 凝结水泵 NL-180 电机水平振动	70
5.1.5 引风机 Y4-73-11 11D 轴承座振动	72
5.2 转机轴向振动	74
5.2.1 转动设备轴向振动原因分析与处理（一）	74
5.2.2 转动设备轴向振动原因分析与处理（二）	79
5.3 流体诱导振动	83
5.3.1 磨煤机出口管道振动原因分析及处理	83
5.3.2 给水泵前置泵 YNKN300/200-20B 轴承振动	85
5.3.3 凝结水泵 NL-180 电机水平振动	88
5.4 设备机械缺陷	89
5.4.1 DTM380/720-Ⅲ 电机固定端轴瓦座振动	89
5.4.2 DTM380/720-Ⅲ 钢球磨煤机大小牙轮振动	91
5.4.3 凝结水泵 NLT350-400×6 电机振动	95
5.4.4 排粉机 M5-36-11NO. 21D 轴承座振动漂移	97
5.4.5 循环水泵 1200HLQ-16 中间水导轴承水平方向振动	99
5.4.6 循环水泵 1200HLQ-16 下导叶体水平方向振动异响	100
5.4.7 循环水泵 64LKXA-24.5 电机水平方向振动（一）	102
5.4.8 循环水泵 64LKXA-24.5 电机水平方向振动（二）	104
5.5 综合	107

5.5.1	电厂辅机振动故障诊断与处理	107
5.5.2	振动故障诊断技术及在华能淮阴电厂的应用	110
5.6	设备管理技术开发	113
5.6.1	火电厂重要转机故障诊断系统应用开发	113
5.6.2	火电厂重要辅机振动标准理解与探索	120
5.6.3	电厂设备点检定修制管理模式的探索	126
5.6.4	折寿法评估滚动轴承寿命分析探讨	129
6	总结与展望	133
6.1	总结	133
6.2	展望	134
	参考文献	135

第1部分

重要辅机设备精密点检研究





绪 论



目前，在火电厂设备管理中，重要辅机，即引风机、送风机、排粉机、磨煤机、给水泵、凝结水泵、循环水泵等设备管理的研究有着非常重要的意义。这些辅机都是火电厂连续发电的重要转动机械，长期连续运行，一旦出现异常情况，如果不能准确诊断出故障原因，并及时处理，都将影响机组的发电负荷和整台机组的安全性和可靠性，甚至还可能造成一定的社会影响。而且，这些转动设备，由于设计裕度不够、制造缺陷、安装不良、检修工艺差以及维护不到位等问题，运行中出现振动异常、温度异常等缺陷概率都比较大，因此是各火电厂设备管理的重点。

重要辅机的精密点检是在普通点检的基础上，利用精密的测量仪器仪表和精细化手段，对重要设备的状态进行监测和分析，了解和掌握设备的运行状态，及时发现设备异常情况，进而对设备异常情况进行诊断与控制，同时分析和研究设备及部件的劣化趋势和故障规律，研究结合发电机组检修周期，进行合理的定修。对重要辅机开展精密点检，还可以在以可靠性为中心的状态检修理论、寿命管理理论的指导下，变被动为主动，进行重要辅机的精细化管理。

1.1 电力设备点检管理概述

1.1.1 点检定修制

设备点检是借助人的感官和检测工具按照预先制定的技术标准，定人、定点、定期地对设备进行检查的一种管理方法^[1]。

点检定修制是以点检人员为责任主体的全员设备管理制度，可以使设备在可靠性、维护性、经济性达到协调优化管理。在点检定修制中，点检人员既负责设备点检，又负责设备全过程管理，点检、运行、检修三方之间，点检处于核心地位^[1]。

点检是与状态检修、优化检修相适应的一种设备管理方法。应用这种方法，可有效地防止设备的过维修和欠维修，提高设备的可靠性，降低维修费用，因此被广泛地应用在许多工业生产领域，尤其适合于连续不间断的生产系统。

点检人员是其所管辖设备的责任主体，严格按标准进行点检，并承担制定和修改维修标准、编制和修订点检计划、编制检修计划、做好检修工程管理、编制材料计划及维修费用预



算等工作。这种体制的最终目标是以最低的费用实现设备的预防维修，保证设备正常运转，提高设备利用率^[2]。

点检定修制提出了对设备进行动态管理的要求，要求运行方、检修方和管理方都要参与围绕设备的 PDCA 管理，使设备的各项技术标准日趋完善，设备的寿命周期不断延长，达到故障为零、设备受控的目的。

点检定修制强调以人为本的理念，通过员工发挥主观能动性的自主管理活动来极大地调动员工的积极性。这是设备持续改进、管理日趋完善的内在动力。

点检定修制有丰富的内涵，它对我们行之有效的传统管理中的有用部分可以很好的兼容；对世界上新的管理方法和理念是一个开放的平台；工作方法上则始终如一地追求持续改进、不断提高的原则。

与传统的设备管理相比较，它有下列几个主要特点：

(1) 点检定修制明确了设备管理的责任主体——点检员，而且明确了点检员对设备的全过程管理负责，但是，在传统设备管理中，设备的管理职责难以十分清楚地界定。

(2) 点检定修制明确了以设备状态为定修的基础，同时也提出优化检修策略，执行点检定修管理将使我们的管理从计划检修逐步进入状态检修和优化检修。

(3) 点检定修制明确了对所有设备进行全过程的动态管理，在实行 PDCA 循环的同时，对设备进行持续改进，最终达到设备受控、有关技术标准符合客观实际的目的。

(4) 点检定修制所推荐的设备管理组织机构是精简、高效的管理体制，实现组织机构扁平化，减少机构层次，它的管理模式可与国际上发达国家相接轨。

(5) 点检定修制要求管理方——点检员，共同参与现场的安全、质量上的“三方”确认，加强了对重大安全、质量工作的管理力度。

在实际工作中，要求做到：确认、确信和确实。

1) 确认——确认设备的位置、地点、编号准确无误。

2) 确信——状态、质量标准、有关技术措施能符合实际情况，即是可信的。

3) 确实——有关预案、措施落实到实处。

上述工作称为点检定修制的“三确原则”。

(6) 点检定修制明确了对设备管理的全员参与，电厂的主要管理力量要放在管理设备上，运行、检修、管理三方均要树立自己对设备的责任和管理要求，同时提出了以人为本和自主管理的观念，激励全体员工全身心地投入设备管理。

(7) 点检定修制明确实行标准化作业，要求建立设备管理的“四大标准”体系，即检修技术标准、检修作业标准、点检标准、设备维护保养标准。同时，也要求建立与贯彻“四大标准”相适应的管理标准。强调所有标准均是科学管理的支持体系。

(8) 点检定修制主张员工工作的有效性，强调工作是否有成效。例如，点检工作的有效性；编制计划的准确程度（命中率），减少过维修和欠维修、设备是否受控等。

(9) 点检定修制推行满负荷工作法和人员的多能化，例如，要求点检员随手点检（消缺）和实行 A、B 角，对维修人员要求“一专多能”等。

(10) 点检定修制要求管理方、运行方、检修方的协调统一，要求专业间相互协调统一，实行“工序服从”原则，要求管理决策尽量符合客观实际，要求计划命中率不断提高，突出



为生产第一线服务的观点。

(11) 点检定修制明确规定了设备的最佳状态,提出了设备的“四保持”,该项工作的落实和推进,有利于巩固我国电力行业的前一阶段达标、创一流成果。

(12) 点检定修制规范点检员的行为,要求工作时间标准化、工作方法规范化、工作程序标准化,要求点检员抓“五大要素”,实行“七步工作法”等。

设备点检管理的基本原则是:定点、定标准、定人、定周期、定方法、定量、定业务流程、定点检要求。

在点检定修制的基础上,对设备状态的检查监督和分析研究,在人力组织方面、工作内容细化方面也进行探索。在形成了以点检定修制为模式的设备管理体制的条件下,促进了精密点检的发展,为最终实现设备状态检修打下了坚实的基础。

1.1.2 精密点检^[1]

精密点检的定义是指用检测仪器、仪表,对设备进行综合性测试、检查,或在设备不解体的情况下,运用诊断技术,特殊仪器、工具或特殊方法测定设备的振动、温度、裂纹、变形、绝缘等状态量,并对测得的数据对照标准和历史记录进行分析、比较、判定,以确定设备的技术状况和劣化程度的一种检测方法。

设备的精密点检和劣化倾向管理就是设备状态的诊断,它是状态检修的基础。

长期以来实行的卓有成效的技术监督制度,就其内涵分析,也应属于精密点检和劣化倾向管理的范畴。因此,在建立设备的综合保护体系时,应把这些内容整合在一起。

火力发电企业设备点检定修管理导则对设备进行了划分并制定了定修管理的策略。根据设备的重要性把设备划分为A、B、C三类。A类设备是指该设备损坏后,对人员、电力系统、机组或其他重要设备的安全构成严重威慑的设备,以及直接导致环境严重污染的设备;B类设备是指该设备损坏或在自身和备用设备皆失去作用时,会直接导致机组的可用性、安全性、可靠性、经济性降低或导致环境污染的设备,价值昂贵且故障检修周期或备件采购(或制造)周期较长的设备;C类设备是指除A、B类设备以外的设备。对A、B、C三类设备采用不同的定修策略:对A类设备以预防性检修为主要检修方式,并结合日常点检管理、劣化倾向分析和状态监测的结果,制定设备的检修周期,并严格执行;对B类设备采用预防性检修和预知性检修相结合的检修方式,检修周期应根据日常点检管理、劣化倾向管理和状态监测的结果及时调整;C类设备以事后检修为主要检修方式。

1.1.3 点检与精密点检状态检修的关系

点检是精密点检的基础,点检定修制也是精密点检的制度保证。点检与精密点检所不同的是,一般点检所使用的手段比较简单,主要靠人的感官进行看、听、摸,或者用最简单的工具进行测振等工作,对照标准,判断设备状态的好坏。而精密点检,是用专用的检测仪器、仪表进行综合性测试,并且能够对照标准和记录进行分析,确定设备的技术状态,诊断故障的原因,判断劣化程度。设备状态检修是根据先进的状态监视和诊断技术提供设备状态信息,判断设备的异常,预知设备的故障,在故障发生前进行检修的方式,即根据设备的健康状态来安排检修计划,实施设备检修^[3]。状态监测是状态检修的基础,而对监测结果的有效管理和科学应用则是状态检修得以实现的保证。

点检是为了确定运行中设备的状态,点检基础上的定修也可以说是在实施状态检修。两



者在性质上十分接近，无非是对状态的掌握程度，后者具备更准确的检测手段，对设备状态的确定更有把握而已。从状态检修角度来看，点检制有局限性^[4]。因此，很多学者把点检定修视为状态检修的初级阶段。

点检是状态检修或优化检修的基础，基于点检的设备管理是状态检修和优化检修的一种初级模式^[5]。实践表明，现代点检是符合现今我国火电设备管理现状的，凡是点检开展较好的电厂，其设备管理和检修管理确实也取得了长足的进步。

点检发展成为今天的一种设备管理模式，与当初引进时的情况完全不同了。在不同的电厂，点检都有不同的特色，点检员的职能也逐步演变为设备管理工程师的职能。正是有了这样的设备管理模式和这样一支设备管理队伍，很多电厂首先针对辅机开展了优化检修，已经成功从大修（或 A 级检修）中间剥离辅机检修部分，转变为平时的状态检修，有效地优化了大修的内容和时间。最近两年的发展表明，点检工作也在为主设备状态检修提供支持，是科学延长大修周期的管理基础。

用点检的手段，是实现设备状态检修的理论和目的，而精密点检是实现状态检修的理论和目的的最重要的手段。特别是对于 B 类设备中的重要辅机，进行深入的状态监测、寿命管理以及可靠性分析，不但能提高重要辅机的可靠性、安全性，提高辅机的管理水平，还将会对 A 类设备的状态分析、故障预测和设备管理产生深远的影响，为全面、系统的设备状态检修提供理论与实践的技术支持。

1.2 国内外电力设备点检管理发展状况

1.2.1 点检及精密点检

我国电力行业的设备管理体制，是在我国第一个五年计划期间从前苏联引进设备的同时引进的当时苏联的设备管理模式。采用这种管理模式，企业的管理层次多，检修的频度和强度大，因而需要大量的管理人员和维修人员，既不利于企业总体效益的提高，又不能集中精力把设备真正管好。随着改革开放的不断深入发展，我国国民经济的快速增长，电力行业无论从设备的先进性和单机容量上都有大幅度的提升，原有设备管理体制和管理方法备受质疑，这是点检定修制进入我国电力行业的时代背景^[6]。

原电力部为了改变我国发电企业管理落实的局面采取了相应的措施，具体内容如下所述。

(1) 20 世纪 90 年代初，原电力部在北京举办为期 1 个月的发电厂管理培训研讨班，邀请了几位日本国内发电厂的厂长，面对面地研讨日本国内发电厂的管理体制、管理方法和管理经验，实际也是一次对设备实行 TPM 管理的一次高端培训。参加这次培训的有我国当时容量在 100 万 kW 以上或者是全省容量最大的发电厂的厂长。

(2) 20 世纪 90 年代初，原电力部邀请英国国家电力公司的几位厂长在北京就英国发电厂的管理进行了为时一周的讲座，当时电力部所属许多大型发电企业和有关研究院、所的领导参加了这次培训。

(3) 20 世纪 90 年代中期，对于新建电厂，原电力部明确规定了新厂实行新的管理体制，人员编制大幅度减少。电厂原则上不配检修队伍，要求管理逐步与国际接轨。



(4) 20 世纪 90 年代中期开始,原电力部在多次会议上,明确在电力设备检修中要逐步推行状态检修,并部署了有关的试点单位。

点检定修制从管理体制到管理方法的全面引进,在我国则是来源于上海宝钢集团。

上海宝钢集团公司一期工程全套引进日本的设备(包括该钢铁联合企业的自备电厂),在引进设备的同时,花了数千万美元引进全套管理软件,在设备管理上实行点检定修制的管理。上海宝钢集团自备电厂受原电力部华东电管局管理,后来划归冶金部的上海宝钢集团。上海宝钢集团自备电厂也是中国电力企业联合会火电分会的成员厂,在两次电厂厂长的年会上,他们介绍了采用点检定修制的成功经验。这些经验表明他们从不自觉被强制实行点检定修制到比较自觉地执行这种管理方法,设备健康状况明显提高,故障减少,在提高设备可靠性(全年未停机)的同时,在降低维修费用上也取得了明显成效。

作为我国电力行业的行业协会,中国电力企业联合会火电分公根据 1997 年厂长年会上确定的管理跨越和创新的思路,认为点检定修制与电力行业深化改革相适应,即新厂新模式可以采用这种体制,老厂的改革可以借鉴这种管理模式。因此,在该次会议后决定把点检定修制作为重点研讨和推广的课题。

与此同时,当时原冶金部也从宝钢集团实行点检定修制中总结了这种先进管理模式的优点,并安排 10 个钢铁企业进行试点,对试点情况进行统计表明,在设备管理推行点检定修管理后,设备的故障和事故停机的下降率为 40%,维修费用下降 20%~30%。

点检定修制的先进理念和内涵符合设备管理的客观规律,被世界上很多发达国家所采用;它一进入我国电力行业,就受到众多发电企业的关注和响应。

从点检定修制来之不易的在电力行业应用的推广进程表 1-1 中可以看到,点检定修制的强大生命力,其在短短六年多的时间内得到了广泛的应用。目前,许多大的发电公司已将其明确为设备管理的基本模式。

表 1-1 点检定修制在电力行业应用的推广进程表

时间	应用和推广单位	推广和应用形式	备 注
1997 年	浙江北仑电厂	继上海宝钢集团自备电厂后,第一家进行点检定修制试点的大型火力发电厂	先在燃料专业试点,以后逐步推广到全厂,装机容量为 300 万 kW (5×60 万 kW)
1998 年初	中国电力企业联合会火电分会和原华东电力企业协会	召开电力行业内第一次设备点检定修管理的研讨会	由上海宝钢集团自备电厂设备管理部门作专题介绍
1998—1999 年	原华东电管局所属三省一市电力公司生产管理部门	召开各省、市所属发电企业在点检定修管理上的具体做法,推出了我国第一本点检定修管理导则	由中国电力企业联合会火电分会有关专业作专题介绍
1999 年 5 月	上海电力股份有限公司	为规范原浙江省电力公司所属发电厂(包括水电厂)在点检定修管理上的具体做法,推出了我国第一本属于省公司一级的企业标准	由中国电力企业联合会火电分会科技服务中心协助编写上海电力股份有限公司点检定修管理导则



1.2.2 设备状态检修

国外在状态检修体制以及相关支持技术方面的研究与实践,都已取得了长足的进展。美国、日本、欧洲各国都有这方面的大量报道。奥地利维也纳大学的 Mueller, H. 1983 年就开始研究火电厂的计算机辅助维修管理^[7]。加拿大的 Billinton, R. 等 1984 年发表了在考虑电网互连影响的情况下优化发电设备检修计划的文章。英国中央发电局 (Central Electricity Generation Board, CEGB) 的 Low, M. B. J. 等发表论文,总结中央发电局的状态监测工作,对比研究了状态检修和现有检修方式的优劣。同年,在美国西海岸第 49 届电力工程和运行年会上就有电力设备状态检修的相关文章发表。

进入 20 世纪 90 年代,有关研究集中到以可靠性为中心的维修 (RCM)^{[8]~[13]}、诊断技术^[14]与状态检修、电力系统检修计划优化等问题上。1990 年,苏格兰电力公司的 Brook、R. N. T. 等介绍了实施汽轮发电机组振动状态在线监测、推进状态检修^[15]的情况。General Physical 公司的 Cipriano、James J. 等研究了延长发电设备寿命以及优化寿命管理中的电厂设备状态评价问题,探讨了状态检修技术的另一个方面。ASME 开始在核电站推行 RCM,提出了一套实施程序 Inservice Testing Code,核电站可以根据实际情况修改和扩展这个程序。采用 RCM 后,核电站的设备可用率由不足 80% 提高到 80%~90%^[16]。

1997 年,美国的 Lukas、Malte 等研究了基于润滑油状态监测的状态检修体系,指出润滑油监测、振动监测、性能监测和红外温度监测是状态检修的基本检测手段^[17]。

国外已经进入中国市场的、在开发和推广应用状态检修技术方面比较著名的机构有美国电力研究院及其监测诊断中心 (EPRI M & D Center),美国 CSI 公司,美国 ENTEK-IRD 公司,以及一些仪器公司,如 Bently 公司、BMA Advance Maintenance & Cleaning 公司(西马力)、其他主要以红外测温设备为主的公司等,它们已将多种诊断和检修系统运用于电厂锅炉、汽轮机、发电机系统、辅机系统以及输变电设备上^{[18]~[20]}。

国内从 1996 年到 2002 年国家电力体制重组之前,国家电力公司以及各网省电力公司组织了若干发电设备状态检修项目和试点工作,通过引进技术和自主研究,培育了一批设备管理先进的电厂,积累了一大批骨干人才。同时,部分科研单位率先开展了状态检修的理论研究和技术开发工作,取得了可喜的基础研究成果,逐步形成了状态检修的理论体系。但是,由于刚起步,状态检修的具体实施方案和理念都处于形成阶段。2002 年原国家电力公司发布的《火力发电厂实施设备状态检修的指导意见》^[21]应该是对这一阶段的总结,也是重要的成果。

目前,国内对状态检修的研究与实践随着管理理念和技术的进步不断发展。近几年来,很多文章介绍了实施状态检修工作的情况、体会,以及研究成果。据不完全统计,2000 年以来,在国内正式刊物上发表的与状态检修或状态维修相关的文献约 2553 篇。可见,近几年以来,状态检修问题一直是一个热点。