



SHUIDIAN JIZU

YUNXING SHEBEI

JIANCE ZHENDUAN

JISHU JI YINGYONG

水电机组运行设备 监测诊断技术及应用

刘晓亭 冯辅周 著



NLIC 2970645267

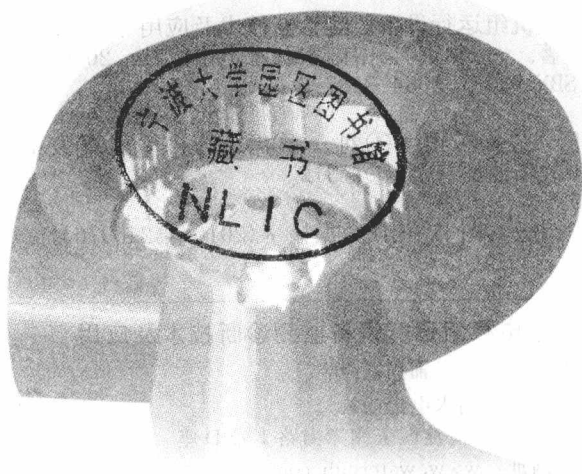


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

水电机组运行设备 监测诊断技术及应用

刘晓亭 冯辅周 著



NLIC 2970645267



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

全书由绪论、设备的性能及特点、状态参量的获取、状态信号分析、故障机理研究及故障类型、故障诊断及专家系统、项目监测与诊断、状态检修、监测诊断总体模式及应用以及附件组成。全面介绍了水电机组运行设备监测诊断技术原理、方法、实施技术与应用。该书是作者基于水电机组现场试验研究及国内外设备监测诊断技术的发展和研究,与水电同行长达近 25 年的理论、应用研究和现场实施技术及经验为依据的成果总结,是一部具有指导性、科学性、先进性、实用性的专著。

本书可供水电领域从事技术管理、科研试验、设计制造、安装检修、运行管理等方面工作的研究与工程技术人员使用,可作为全国高等院校机械、动力、水力发电、自动化控制、网络及计算机等专业教学参考书和科研辅助材料,也可作为全国各行各业从事设备监测诊断技术人员的重要参考资料。

图书在版编目 (C I P) 数据

水电机组运行设备监测诊断技术及应用 / 刘晓亭,
冯辅周著. — 北京:中国水利水电出版社, 2010. 12
ISBN 978-7-5084-8187-6

I. ①水… II. ①刘… ②冯… III. ①水轮发电机—
机组—故障监测 IV. ①TM312

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第246976号

书 名	水电机组运行设备监测诊断技术及应用
作 者	刘晓亭 冯辅周 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 37.25 印张 883 千字
版 次	2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	120.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

作者简介



刘晓亭，男，1936年8月生，河北唐山人，1965年7月毕业于长江工程大学水电系，历任湖北电力试验研究院专业组长、水力室主任、技术委员会委员、《湖北电力》常务副主编，教授级高级工程师，国家电力公司水电厂状态维修专家组成员。兼任中国振动工程学会设备故障诊断委员会常务理事、学术委员，国际水力机械研究协调中心理事，中—欧 CMMS 网络顾问，国际 IAHR 会员，中国科协科技专家，湖北省水力发电工程学会常务办公副秘书长。

长期从事水电机组试验研究、监测诊断及状态检修工作。曾负责承担和参加完成的项目有《07 工程冲击负荷试验研究》、《葛洲坝水电厂 2、3 号机鉴定试验》、《水力机组现场测试手册的编写》（水利电力部 1984 年的科研任务）以及《水电机组运行设备诊断技术的研究》（水利电力部 1987 年的科研任务）等 34 个项目。参加了广州抽水蓄能电站 1 号机以及福建池潭、浙江乌溪江、紧水滩、贵州东风等水电机组监测诊断系统研制，并承担了试点工程的技术顾问。有的项目获得省、部级、网、省局科技进步奖。

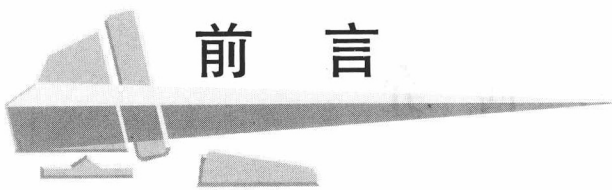
发表论文 45 篇，其中国际论文 13 篇。监测诊断技术论文有：《水电站机组运行设备诊断技术实施研究》、《大型水力发电机组监测诊断与维护管理模式实施研究》、《基于水电设备状态监测集成化系统远程诊断技术》、《大中型水轮发电机组轴系运行稳定性及故障分析》等 32 篇著作。与李维藩主编了《水力机组现场测试手册》（水利电力出版社，1993 年）；参加编著《湖北水电 50 年》中的《汉江篇》和《电网篇》（长江出版社，2006 年）。



冯辅周，男，1971 年 4 月生，湖北黄冈人，2000 年毕业于清华大学精密仪器系，获机械设计及理论专业博士学位，历任装甲兵工程学院讲师、副教授、教授。兼任中国工程机械学会测试技术分会常务理事，全国高校机械工程测试技术研究会理事，中国振动工程学会故障诊断专业委员会理事，中国故障预测与健康管理局会员，是《机械工程学报》、《清华大学学报》、《Shock and Vibration》等刊物的审稿人。

长期从事装备机电液系统的状态检测与故障诊断技术相关的教学与科研工作，在清华大学攻读博士和博士后研究期间，主要从事水电机组动态性分析、信号分析与处理及专家系统设计与开发等研究工作。先后参加了广州抽水蓄能电站 1 号机组和福建池潭水电厂 2 号机组的监测诊断系统研制工程。近 5 年来共承担国家自然科学基金、中韩国际合作项目、维修预研基金及军内计划科研等项目 15 项，已完成的项目中获得教育部科技进步二等奖 1 项，军队科技进步二等奖 3 项，三等奖 3 项。

发表学术论文 82 篇，其中国际期刊和会议论文 26 篇，被 SCI/EI 收录 20 篇。主编总装备部研究生教材《军用车辆故障诊断学》1 部。



前 言

随着现代科学技术的迅速发展,我国电力工业已进入大电网、高电压、大机组、高参数、高自动化的现代化发展时期,由此对水电企业的现代化管理提出了更高的要求。当前,国内大中型水电厂遵照电力部 1996 年 484 号和国家电力公司 2002 年 685 号文件精神,正朝着“无人值班(少人值守)”的管理模式发展,争创国际一流水电厂,努力提高自身的安全经济运行管理水平和综合自动化的程度。水电厂有针对性地进行机组运行设备监测诊断,维护保养,实施预测维修制度,将给水电厂及电网带来显著的经济效益和社会效益。

水电机组运行设备如何监测、分析、诊断以及设备状态检修的实施,一直是水电厂长期期待并要努力解决的问题。随着国内外诊断技术的发展,传感技术、信号监测及信号处理技术、信号分析技术、系统辨识技术、网络技术及远程控制技术、计算机技术以及智能诊断技术与智能专家系统的发展和应用,为水电机组状态监测及故障诊断系统的建立提供了坚实的技术基础,已经能准确可靠地对运行设备的缺陷、故障、寿命进行分析、判断决策,达到状态监测与诊断,实施状态检修的目的。

本书是作者承担原水利电力部下达题为《水电机组运行设备诊断技术的研究》的科研项目 [(87) 电生水字第 97 号文],在水电机组现场试验研究的基础上,基于国内外机械设备监测诊断技术的发展和研究水平,与水电同行长达近 25 年的理论研究、应用研究和现场实施技术及经验为依据的成果总结。

本书根据水电机组运行设备性能、特点及故障特征,按照水电机组运行设备状态监测、故障诊断与状态检修的递进层次,全面介绍了水电机组设备监测诊断与状态检修的全过程及各个主要环节。全书内容充实,结构清晰,系统性强,有其独到之处:一是水电机组运行设备诊断理论研究与应用研究紧密结合水电机组运行设备的实际,在水电厂实施应用中具有很强的实用性、针对性;二是遵循水电机组设备结构特点和使用规律,设备研究了适应水电机组运行设备的故障诊断模式和智能诊断专家系统;三是考虑电网与电厂运行关系及其特性,便于集成运行,高效管理,设计研制了水电机组运行设备集成化系统,即包含系统状态监测项目内容和信息的集成水电厂局域网的

各个功能系统的集成以及水电机组运行设备监测诊断与维护管理（含调度）的集成等三层涵义；四是针对水电厂主体运行设备，紧扣水电机组设备故障诊断要害部位，其监测诊断的内容、方法和诊断结构模式在水电厂中便于运作，易于实施推广。因此，本书是一部具有指导性、科学性、先进性和实用性的专著。

全书由绪论、水电机组运行设备的性能及特点、设备状态参量的获取、设备状态信号分析、设备故障机理研究及故障类型、设备故障诊断及专家系统、设备项目监测与诊断、设备状态检修、设备监测诊断总体模式及应用以及附录组成。绪论介绍了水电机组运行设备监测诊断的目的、意义、任务和效益，以及国内外设备监测诊断技术发展状况和研究水平；第1章介绍了水电机组运行设备的基本知识、特性参数、特点和机组运行性能及分析；第2章介绍了水电机组运行设备监测的内容及基本参数、状态信号获取的方法和关键环节以及状态数据管理；第3章主要涉及水电机组运行设备状态信号分析方法，即设备信号分析的基本方法，适应水电机组设备信号分析的特殊方法及运行设备状态分析；第4章叙述了水电机组运行设备故障机理研究（含机组运行特性的理论分析、机组运行状态实时仿真以及现场试验的机理研究）及故障类型及分类；第5章主要涉及水电机组运行设备故障诊断的基本方法，故障诊断专家系统，以及远程诊断技术和实施模式；第6章介绍了水电机组运行设备项目监测与诊断，即机组能量性能、机组稳定性、发电机运行状态、推力轴承运行状态、调速系统、水轮机空化空蚀等设备项目的监测诊断；第7章重点介绍了水电机组运行设备状态检修的目的意义，国内外状态检修工作的状况、状态检修实施工作流程及工作重点、实施步骤（即实施的主要环节和关键技术）、管理及操作以及状态检修决策系统和维护实施系统；第8章介绍了水电机组运行设备监测诊断总体模式（含监测诊断、维护高效管理集成化模式）以及5个水电厂（包括试点厂）机组运行设备状态监测与故障诊断系统设计开发和实施运行状况；附录中主要介绍了涉及设备监测诊断的国内外标准和2002年7月30日国家电力公司颁发的《水电厂开展设备状态检修工作的指导意见》。

本书由刘晓亭主持撰写，具体分工：刘晓亭撰写前言，绪论，第1章，第2章2.1、2.2（2.2.1、2.2.2、2.2.3），第3章3.3，第4章4.3、4.4、4.5，第5章5.2、5.3，第6章6.3、6.4、6.5、6.6，第7章7.2~7.5，第8章8.2、8.4、8.6、8.8；冯辅周撰写第2章2.2（2.2.4、2.2.5）、2.3，第3章3.1、3.2，第4章4.1、4.2，第5章5.1，第6章6.1，第8章8.3、8.5、8.8；刘昱撰写第7章7.1，第8章8.1，附录及本书的相关网络结构、图表。

全书由刘晓亭统稿。

本书撰写承华中科技大学中国科学院院士扬叔子、中国工程院院士张勇传和郑州大学张瑞林教授的大力支持，并提出许多宝贵的意见，特此致以衷心的感谢。

原国家电力公司状态检修专家组组长杨金栋教授级高级工程师、发输电运营部副主任余卫国教授级高级工程师和原电力部水电处李维藩处长、教授级高级工程师为本书提供了宝贵的资料和很好的建议，特此致谢。

在本书撰写的过程中得到了中国振动工程学会故障诊断专业委员会陈进理事长，何正嘉、史铁林、褚福磊及韩捷副理事长等专家教授的积极支持；同时还得到了广州抽水蓄能电站、福建省电力公司及池潭水力发电厂、浙江省电力公司及乌溪江、紧水滩水力发电厂、乌江流域水电开发公司及东风水力发电厂、华北电力科学研究院北京华科同安监控技术有限公司、北京奥技异电气技术研究所等单位的领导和工程技术专家的支持和协助；在本书收集资料的过程中，还得到了吴玉林教授、端润生教授、张伟副教授等给予的支持，在此一并表示感谢。

由于作者水平与经验有限，加之时间比较仓促，书中难免有不妥之处或错漏的地方，请广大读者批评指正。

作者

2009.10

目 录

前言

0 绪论	1
0.1 水电机组运行设备状态监测与故障诊断的目的、意义	1
0.2 水电机组运行设备诊断技术范畴与实现方法	3
0.2.1 水电机组运行设备诊断技术范畴	3
0.2.2 水电机组运行设备监测诊断的实现方法	4
0.3 水电机组运行设备监测诊断的任务与效益	6
0.3.1 水电机组运行设备监测诊断的任务	6
0.3.2 实施设备监测诊断的效益	8
0.4 水电机组运行设备监测诊断技术发展概况	10
0.4.1 国外研究水平及发展状况	10
0.4.2 国内研究水平及发展状况	12
1 水电机组运行设备的性能及特点	16
1.1 水电机组运行性能的基本知识	16
1.1.1 水电机组运行设备类型及结构	16
1.1.2 水电机组运行特性参数	21
1.2 水电机组运行性能及特点	35
1.2.1 水电机组运行主要性能及特点	35
1.2.2 水电机组设备监测诊断技术应考虑的性能特点	48
1.3 影响水电机组运行性能的一般问题及分析	51
1.3.1 影响水电机组运行性能的基本原因	51
1.3.2 水轮机及过流部件水力稳定问题	53
2 水电机组运行设备状态参量的获取	69
2.1 水电机组运行设备监测内容及基本参数	69
2.1.1 水电机组运行设备监测的主要内容	69
2.1.2 水电机组运行设备监测对象和项目	72
2.1.3 水电机组运行设备监测的基本参数	75
2.2 水电机组运行设备状态信号的获取	77
2.2.1 水电机组运行状态主要信号源、类型及特点	77
2.2.2 水电机组运行设备状态监测诊断测点选择与布置	90

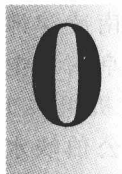
2.2.3	一次传感元件的选择、配置及使用	95
2.2.4	水电机组运行状态信号的采集、处理与管理	107
2.3	水电机组运行设备信号特征及征兆	120
2.3.1	信号特征的提取	120
2.3.2	信号特征与征兆的关系	122
2.4	水电机组运行设备状态数据的管理	123
2.4.1	数据库的基本概念	123
2.4.2	数据仓库与数据挖掘技术	126
2.4.3	数据分类和不同存储方式	128
2.4.4	数据压缩	128
2.4.5	水电机组运行状态的自动报警	130
3	水电机组运行设备状态信号分析	131
3.1	水电机组运行状态信号分析的基本方法	131
3.1.1	概述	131
3.1.2	离散信号的幅域分析及其特征参量计算	131
3.1.3	离散信号的时域分析方法及其特征参量计算	136
3.1.4	离散信号的频域分析方法及其特征参量计算	149
3.2	水电机组运行设备状态信号分析的特殊方法	157
3.2.1	阶次比分析	158
3.2.2	波德图	161
3.2.3	极坐标图	162
3.2.4	三维谱阵图	164
3.2.5	轴心轨迹分析	168
3.2.6	水电机组轴系空间轴线图	169
3.2.7	发电机定子和转子气隙	169
3.2.8	启停机曲线及变负荷曲线	170
3.3	水电机组运行设备的状态分析	170
3.3.1	设备状态分析的先决条件	170
3.3.2	设备状态分析的主要环节	172
3.3.3	水电机组运行设备的状态分析模块	173
4	水电机组运行设备故障机理研究及故障类型	180
4.1	水电机组运行特性的理论分析	180
4.1.1	水电机组的自振特性	180
4.1.2	水电机组的动态特性	185
4.2	水电机组运行状态实时仿真的机理研究	213
4.2.1	实时仿真建模理论	213
4.2.2	水电机组运行系统分析及建模	218
4.2.3	数字实时仿真与仿真测试	229

4.3	水电机组运行状态现场试验的机理研究	233
4.3.1	水电机组现场试验特点及主要内容	234
4.3.2	水电机组故障原因现场试验分析及异常识别	236
4.4	水电机组运行设备故障类型和故障分类	243
4.4.1	水电机组轴系运行及故障分析	243
4.4.2	水电机组推力轴承运行及故障分析	247
4.4.3	发电机运行及故障分析	249
4.4.4	水轮机及过流部件运行及故障分析	253
4.4.5	调速系统运行及故障分析	260
4.4.6	主变压器运行及故障分析	266
4.5	水电机组运行设备的故障树与因果分析	274
4.5.1	水电机组运行设备的故障树	274
4.5.2	水电机组运行设备因果图和事件树及其分析	278
4.5.3	基于水电机组运行设备故障树模型的分析诊断	282
5	水电机组运行设备故障诊断及专家系统	284
5.1	故障诊断的基本方法	284
5.1.1	概述	284
5.1.2	经典的故障诊断方法	285
5.1.3	故障诊断的数学方法	290
5.2	故障诊断专家系统	307
5.2.1	故障诊断专家系统的发展	308
5.2.2	水电机组故障诊断专家系统的建设和基本原则	310
5.2.3	水电机组故障诊断专家系统的结构	311
5.2.4	故障诊断知识获取和表示	312
5.2.5	水电机组运行状态故障诊断过程及结果处理	326
5.3	水电机组运行设备远程诊断技术与实施模式	330
5.3.1	设备远程诊断实现的目的和要求	330
5.3.2	远程诊断的实现方式	332
5.3.3	基于状态监测集成化远程诊断系统及实施技术	337
6	水电机组运行设备项目监测与诊断	342
6.1	水电机组能量性能的监测诊断	342
6.1.1	水轮机流量监测	342
6.1.2	水轮机及水电机组效率的确定	345
6.1.3	能量系列曲线的分析与评估	348
6.2	水电机组稳定性监测诊断	351
6.2.1	影响水电机组稳定性的主要原因	352
6.2.2	常规水电机组稳定性状态监测诊断	354
6.2.3	抽水蓄能机组稳定性监测诊断	362

6.3	发电机运行状态监测诊断	366
6.3.1	发电机运行性能监测与分析	367
6.3.2	发电机运行故障监测诊断	370
6.4	推力轴承运行状态监测诊断	386
6.4.1	推力轴承运行故障基本原因	386
6.4.2	推力轴承参数选择及测点布置	387
6.4.3	推力轴承温度过程特性分析与处理	389
6.4.4	推力轴承运行故障诊断分析	390
6.4.5	推力轴承故障诊断模式	399
6.5	水电机组调速系统的监测诊断	400
6.5.1	水电机组调速系统监测诊断系统总体结构布置	401
6.5.2	调速系统监测诊断对象及主要参数	401
6.5.3	调速系统静态监测与静态指标分析	403
6.5.4	调速系统动态特性监测与动态指标分析	408
6.5.5	调速系统油压装置调整试验与监测	417
6.5.6	水电机组过渡过程状态监测与故障分析	419
6.6	水轮机及其过流部件空化空蚀监测与诊断	422
6.6.1	空化空蚀的类型及产生的原因	422
6.6.2	空化空蚀的监测	423
6.6.3	空化空蚀分析诊断	426
6.6.4	空化空蚀的评定	430
7	水电机组运行设备状态检修	433
7.1	概述	433
7.1.1	状态检修的意义和定义	433
7.1.2	国内外设备状态检修的状况	434
7.1.3	我国水电机组运行设备状态维修工作的状况	436
7.2	设备状态检修实施工作流程及工作重点	440
7.2.1	设备状态检修实施工作流程	440
7.2.2	设备状态检修工作重点及其部位	442
7.3	水电运行设备状态检修的实施步骤	444
7.3.1	设备状态检修的实施基础及基本原则	444
7.3.2	设备状态检修的实施方式	445
7.3.3	状态检修的实施环节和关键技术	448
7.4	水电企业状态检修的管理体制及实际运作	450
7.4.1	状态检修的组织机构	450
7.4.2	水电机组运行设备状态报告	451

7.4.3	设备状态评价及设备状态检修建议报告	454
7.5	状态检修决策系统及实施维护管理系统	455
7.5.1	状态检修决策系统	455
7.5.2	实施维护管理系统	458
7.5.3	计算机检修管理系统 (CMMS)	463
8	水电机组运行设备监测诊断总体模式及应用	464
8.1	概述	464
8.1.1	适应水电机组运行设备监测诊断总体模式	464
8.1.2	水电厂实施开发应用设备监测诊断系统的成功典型	464
8.2	适应水电机组运行设备状态监测与故障诊断的总体模式	466
8.2.1	设备监测诊断的基本框架	467
8.2.2	水电机组运行设备监测诊断的一般模式	472
8.2.3	监测诊断集成化模式	476
8.2.4	监测诊断、维护与管理集成化高效模式	480
8.3	广州抽水蓄能机组稳定性状态监测及跟踪分析系统	482
8.3.1	广州抽水蓄能水电厂 1 号机组的基本情况	483
8.3.2	系统功能及特点	483
8.3.3	系统的改进建议	487
8.4	湖北隔河岩水电厂机组运行设备状态监测与故障诊断系统的可 行性研究	487
8.4.1	系统的总体结构布置模式及实施方案	488
8.4.2	系统实施的关键技术	495
8.4.3	系统的主要技术指标及特点	496
8.5	福建池潭水电厂水电机组状态监测与诊断系统	499
8.5.1	池潭水电厂水电机组基本情况	500
8.5.2	系统的功能及构成	501
8.5.3	参数采集及预处理	503
8.5.4	监测分析与故障诊断	504
8.6	浙江乌溪江、紧水滩水力发电厂设备状态监测与故障诊断系统	507
8.6.1	水电机组概况	508
8.6.2	系统总体结构	509
8.6.3	子系统监测与诊断	515
8.6.4	系统功能及特点	520
8.7	东风水电厂发变组设备状态监测与故障诊断系统	522
8.7.1	东风水电厂机组的基本情况	522
8.7.2	系统总体结构	523
8.7.3	系统主要监测范围和参数	526
8.7.4	系统的状态监测与故障诊断	527

8.7.5 系统功能与特点	537
8.8 水电机组运行设备监测诊断技术的发展和展望	538
8.8.1 传感器的精密化、多维化	538
8.8.2 诊断理论、系统性能判据的多元化	538
8.8.3 诊断方法、诊断模块的灵活及智能化	539
8.8.4 监测诊断系统的多输入输出及远程诊断维护管理	540
9 附录	542
9.1 水电机组运行设备监测诊断标准	542
9.1.1 水电机组运行设备监测诊断的国内标准	542
9.1.2 水电机组运行设备监测与诊断国际标准	573
9.2 水电厂开展设备状态检修工作的指导意见	573
参考文献	581



绪 论

0.1 水电机组运行设备状态监测与故障诊断的目的、意义

20 世纪 80 年代以来,世界各国对设备状态监测与故障的诊断,随着现代工业化、现代科学的迅速发展有了不断深入的认识,工程实践和科学研究工作都有长足的发展,技术水平不断提高,设备监测诊断在现代化工业生产和现代化管理中占有十分重要的地位,扮演着越来越重要的角色。

设备监测诊断工作是一项基于全局性、关联性、最佳性、综合性及实践性的与现代化大生产紧密相关,并建立完善的管理体系的系统工程;设备监测诊断技术是一门与数学、物理、化学、机械、力学、计算机、传感技术、电子技术、人工智能、信号处理、辨识技术和网络控制等多学科交叉,正在不断完善和不断发展的、并具有旺盛的生命力的综合应用学科,该学科的壮大和发展,为水电设备状态监测与故障诊断技术的建立提供了坚实的基础。同时,随着水电事业的兴起与壮大,水电机组运行设备监测诊断技术不断实践、不断研究总结,基本形成了具有自己特色的设备监测诊断技术及其系统。

跨进 21 世纪,随着现代化科学技术迅速发展,我国电力工业已进入大电网、高电压、大机组、高参数、高自动化和信息化的现代化发展时期。20 世纪中期至 21 世纪初,世界顶级的水电工程和水电技术在中国成批兴起,装机容量从中华人民共和国成立初期的 16.3 万 kW 发展到 11730.0kW,发电量从 7.1 亿 kW·h 发展到 3964 亿 kW·h,发生了翻天覆地的变化。据不完全统计(截至 2005 年),我国投产的大中型水电机组中,混流式机组有 301 台,如新安水电站、刘家峡水电站、丹江口水电站、凤滩水电站、碧口水电站、龚嘴水电站、乌江渡水电站、白山水电站、龙羊峡水电站、岩滩水电站、漫湾水电站、隔河岩水电站、五强溪水电站、李家峡水电站、二滩水电站等;轴流式机组有 55 台,如富春江水电站、大化水电站、八盘峡水电站、青铜峡水电站、西津水电站、葛洲坝水电站、水口水电站等;抽水蓄能电站可逆机组 25 台,如广州抽水蓄能电站(含 I 级、II 级)、北京十三陵水电站等,此外,还有一批正在建设的,如桐柏(装机容量 1200MW,下同)、铜官山(1200MW)、响水涧(1000MW)、张河湾(1000MW)、惠州(2400MW)、白莲河(1200MW)、河南宝泉(1200MW)、山西西龙池(1200MW)、内蒙古呼和浩特

(1200MW)、黑龙江荒沟(1200MW)等抽水蓄能电站大型可逆机组;低水头贯流式(灯泡式)机组有85台,如湖南马迹塘水电站、湖北王甫洲水电站、湖南凌津滩水电站、四川青居水水电站、重庆富金坝水电站、福建峡阳水电站、广西京南水电站等。目前我国在建和拟建的众多巨型水电站和单机容量为700~800MW机组共120台,如三峡水电站、红水河龙滩水电站、澜沧江小湾水电站、黄河上游公伯峡水电站和沅水三板溪水电站、清江水布垭水电站、金沙江溪洛渡水电站和向家坝水电站以及金沙江下游白鹤滩水电站等。预计2020年前,投产的单机容量为700~800MW的混流式机组约150台;单机容量为300~400MW的抽水蓄能机组约150台;单机容量为30~60MW的大型贯流式(灯泡式)机组约150台。不久的将来,在电力生产运行中将呈现出我国水电装机容量2亿kW的新纪录,届时,我国顶级的水电工程和水电技术将雄居世界之首。

我国电力工业现代化的迅速发展,高电压、大容量、高参数、高自动化的设备日益增多,对我国水电企业的现代化管理提出了更高的要求。水电企业在提高效率、提高生产率、降低生产成本的同时,要确保水电机组运行设备的安全可靠运行,提高设备的可利用率,减少突发性事故,延长设备使用寿命,实施设备监测诊断技术,才能获得水电机组运行设备控制、维护高效管理的目的。当前,我国大中型水电站(水电企业)遵照电力部1996年484号文件的精神,正朝着“无人值班(少人值守)”的管理模式发展,并根据2002年国家电力公司颁发的《水电厂开展设备状态检修工作的指导意见》(以下简称《指导意见》),努力提高自身的安全经济运行管理水平和综合自动化的程度,有针对性地进行设备监测诊断,维护保养,实施预测维修制度,提高水电厂综合实力,给水电厂和电网带来显著的经济效率和社会效益。为此,在水电机组设备选型设计和现有水电机组运行设备的基础上,特别是大型水电机组,研究实施设备的状态监测与诊断技术及其系统,建立预测维修理论系统与维修实施系统,实现水电厂(水电企业)运行设备诊断与维护高效管理,是十分迫切而又极为重要的任务,有着十分重要的意义。

水电站(水电企业)水电机组运行设备的监测与诊断技术的实现,对确保水电机组运行设备的安全经济运行,对整个电力系统发、供、电都是十分重要的。归纳起来,有以下明显的作用。

(1) 通过诊断技术掌握设备状态、异常和故障之间的关系,预测判断水电机组运行设备趋势和未来状态,防止事故发生。

(2) 确定新水电机组设备的实际运行状态性能及最佳运行参数,掌握设备运行规律。

(3) 正确评价水电机组设备运行质量及性能。

(4) 针对被诊断的水电机组设备各个薄弱环节,进行水电机组设备更新改造,为结构设备改进、设计制造提供依据。

(5) 通过对水电机组运行设备的监测诊断,确定水电机组设备维护内容和计划,实现以状态监测与诊断技术为主的预测维修制度,即以最低成本提高设备有效利用率,延长检修间隔,降低维修费用。

(6) 促进和实现水电站的综合自动化和现代化,提高水电站的科学管理水平。

0.2 水电机组运行设备诊断技术范畴与实现方法

0.2.1 水电机组运行设备诊断技术范畴

水电机组运行设备诊断技术，按照设备的故障诊断技术的定义，其含义是：在水电机组设备运行或停机、不拆卸情况下，了解和掌握水电机组运行设备的运行状态，准确确定水电机组运行设备整体或局部是否正常、异常、故障；分析判断水电机组设备故障原因部位、故障程度和故障特征；预测水电机组设备的可靠性和寿命，识别和评价设备使用规律及发展趋势；针对实时情况提出具体治理对策，给出检修决策和实施维护管理的方案。

水电机组运行设备诊断技术逻辑功能系统，如图 0.1 所示。由图可知，水电机组运行设备诊断技术在功能内涵上设置了六个递进层次，即水电机组运行设备（系统）、设备状态监测；设备状态分析；设备故障诊断；预测判断与决策处理。并形成有机的闭环系统。每个递进层次都有自己的功能特点和要求。

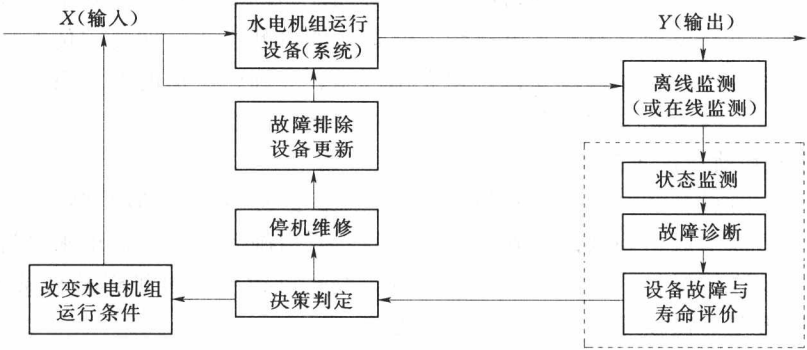


图 0.1 水电机组运行设备诊断技术逻辑功能系统图

0.2.1.1 水电机组运行设备（系统）

水电机组运行设备（系统）是指设备监测诊断对象。根据《指导意见》，水电厂实施设备状态检修，以检修工作量大、工期长的水轮发电机组主体为重点，包括水电机组的水轮机、发电机、主变压器以及 GIS 开关（含高压断路器）等主要设备。根据水电机组设备监测的主要对象，综合考虑水电机组在电网的地位与水电机组运行性能、设备结构特点以及设备运行故障特征，确定水电机组设备监测的主要项目内容（可参见 2.1 节内容）。

0.2.1.2 设备状态监测

设备状态监测技术主要包括两项任务：一是根据水电机组设备监测对象、项目内容，获取设备运行的实时状态信号；二是根据设备状态信号，进行信号检测与处理，提取设备运行的实时有效信号，并进行信号存储与管理，为状态分析提供可靠依据。

水电机组运行设备状态信号的获取是设备诊断的基本任务，涉及信号采集的信号获取与处理四个方面的技术问题：一是弄清水电机组运行设备信号源及信号类型与特点；二是按设备监测的基本参数，合理地选择和布置监测诊断测点；三是传感器是信息转换重要的唯一元件，要正确适时地选择和使用一次传感器元件；四是根据水电机组信号运行特点，

确定信号采集频率和周期,进行信号处理与存储管理。正确合理地实施这些关键环节,才能获得准确可靠的设备状态信号。

0.2.1.3 设备状态分析

由于运行设备的结构特点和性能不同,反映其设备的状态信号、特征、征兆也就不相同,其水电机组设备信号分析的基本功能也是有差异的。通常,应用通用机械设备的系统信号分析基本功能和水电机组运行设备固有特性的系统信号分析功能,来综合进行水电机组设备状态信号分析。通过对水电机组运行设备的状态信号分析,才能识别设备的运行状态,揭示设备问题的内在因素,了解和掌握设备运行的实时状态模式,按水电机组设备状态检修标准衡量比较,分析确定设备运行是否正常、异常、故障。

0.2.1.4 设备故障诊断

基于设备状态信号分析的特征信号和征兆,分析诊断,确定设备故障诊断模式,识别、判断水电机组运行设备故障原因、故障部位、故障程度和故障类型,预测设备的使用规律、趋势以及使用寿命。实施水电机组运行设备智能诊断时,应解决好四个关键技术:一是基于水电机组运行设备信号分析的特征信号和征兆的提取;二是基于设备故障机理研究的故障类型;三是要建立符合水电机组实时运行的诊断模式;四是定位专家系统的推理机制,确定实际运作的专家领域知识,建立用可靠、准确、可信的专家系统。这些技术问题的具体内容,可参考第3章、第4章和第5章的有关内容。

0.2.1.5 预测判断与决策处理

水电机组运行设备经过状态监测与分析,系统的故障诊断和预测判断,设备的好坏与寿命长短,便可以形成正确结论,确定应采取的相应措施和对策,提出水电机组设备诊断检修决策技术及决策报告(是否停机检修或更新改造或改变水电机组运行条件),供实施维护管理部门参考,供领导机关、运行调度决策。

综上所述,水电机组运行设备诊断技术涉及的范畴是很广的,除了水电机组设备诊断过程所涉及的主要技术内容外,还涉及诊断技术的基础技术和应用技术,如设备信号的获取,需要应用传感技术、检测技术及信号处理技术等;设备信号识别与判断,需要应用信号分析技术、辨识技术和预测预报技术等。这些技术基础都是设备监测诊断技术不可缺少的技术内容,它们都将在本书有关章节作详细介绍。

0.2.2 水电机组运行设备监测诊断的实现方法

0.2.2.1 水电机组运行设备诊断方法的分类

由于机械设备种类繁多,千差万别,加上设备的工作条件、运行状态及使用规律各有千秋,因此,设备的监测诊断方法也是不同的,而且类型较多。归纳起来,主要有以下几种诊断方法。

(1) 按水电机组设备监测诊断对象划分,可以划分旋转机械、往复机械、工程结构等诊断方法。如果从某一机械设备工程来考虑它的监测诊断对象,那么,对于水电机组运行设备,可以分成不同项目内容的诊断方法,即水电机组能量性能的监测诊断、水电机组稳定性监测诊断、发电机运行状态监测诊断、推力轴承运行状态监测诊断、调速器系统运行监测诊断、水轮机及过流部件空蚀监测、变压器运行状态监测诊断、高压开关监测诊断以及水电机组固定部件疲劳损伤监测与寿命诊断等方法。