

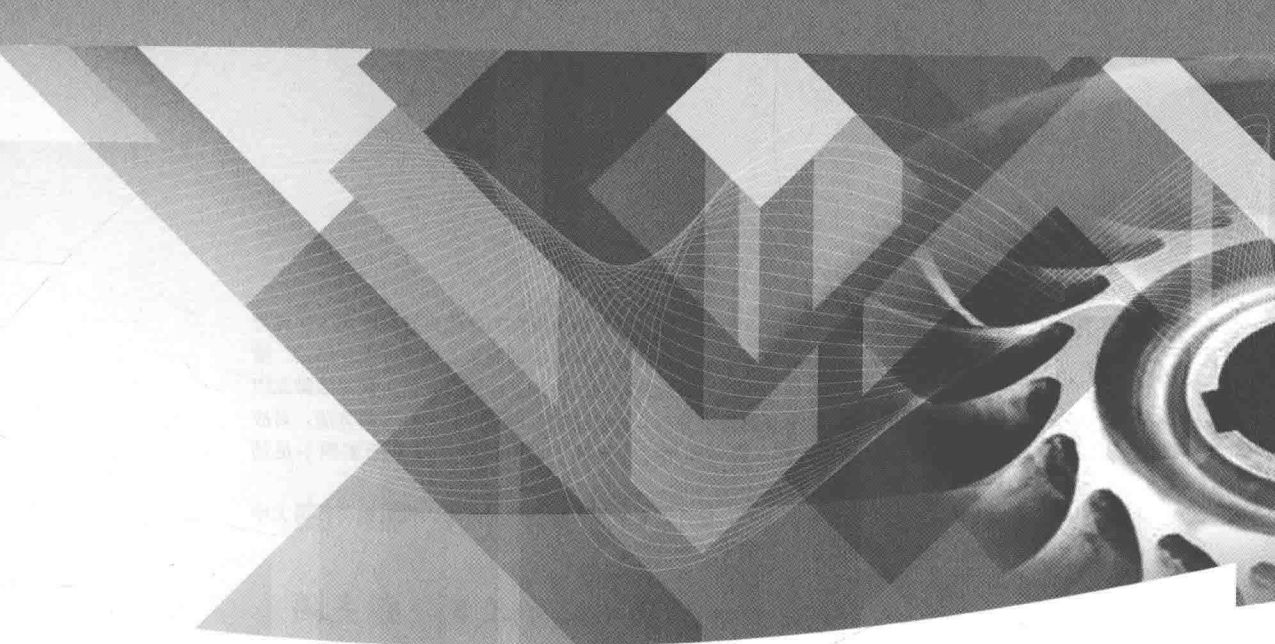


水轮发电机组 典型案例分析

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编
吴长利 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



水轮发电机组 典型案例分析

国网湖南省电力公司电力科学研究院 组编
吴长利 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书围绕水电厂水轮发电机组、辅机及控制系统在实际生产过程中发生的典型故障案例进行编写,针对每一个故障案例,分别从案例简述、原因分析、结论、措施及建议等方面进行介绍,通过大量的现场测试数据,以图、表等方式对故障原因进行了详细的阐述。本书采用理论分析、真机试验、检修检查相结合的方法,对故障的分析具有客观真实性,强调实用性,弥补了水电机组故障诊断案例不足的缺陷。

本书适用于从事水电生产、设计、安装等人员的学习参考,同时也可作为大中专院校从事水电专业教学与辅导的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水轮发电机组典型案例/吴长利主编;国网湖南省电力公司电力科学研究院组编. —北京:中国电力出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-5123-8747-8

I. ①水… II. ①吴…②国… III. ①水轮发电机-发电机组-故障诊断 IV. ①TM312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 004658 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>)

三河市百盛印装有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 12 月第一版 2015 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.75 印张 309 千字

印数 0001—1500 册 定价: 56.00 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

编 委 会

主 编 吴长利

副主编 唐卫平 王辉斌

参 编 田海平 付 亮 邹桂丽 黄 波

魏加富 寇攀高 肖 剑 张 军

乔亮亮



序 言

目前,我国水电站已经逐步朝着“无人值班,少人值守”的现代化管理模式发展,这对提高水电设备运行可靠性、保障设备安全运行提出了更高要求。水电站涵盖水、机、电等各类专业,迫切需要从设计、制造、安装、运行维护等方面,总结水电设备故障案例分析及处理的典型经验,为水电安全运行提供重要技术指导。

国网湖南省电力科学研究院水电技术室(以下简称水电室)成立于1998年,常年从事水电技术的科研、生产试验、事故排查和分析等工作,在科学研究、科技推广、技术服务方面,致力于水电领域新技术、新方法的研究及应用,结合水电实际开展了大量的试验分析和研究工作,解决了一系列影响水电站安全生产的重大技术难题,有力保障了水电设备及电网的安全稳定运行。现为国家水轮机调速器标委会委员单位、全国海洋能转换设备标委会委员单位、国家水轮机标委会观察员单位、大坝安全监测专委会成员单位,在省内外40多个电厂开展了日常技术监督与技术服务工作,负责、参与多项电力行业及国网企业标准制定。水电室在水轮发电机组状态远程监测分析及预警、水力机组结构振动、水电站过渡过程及控制技术、水电站流体及结构仿真分析、水轮机控制系统仿真计算、水轮机参数测试及建模、水电机组一次调频、水电机组避振运行与AGC协调控制等方面取得了较为突出的成绩。

《水轮发电机组典型案例分析》是湖南水电技术人,特别是水电室专家多年在一线工作的经验积累和总结。我很荣幸能分享他们的这一成果,也希望他们的成果能得到更广泛的传播。我觉得该书的出版对故障分析和处理具有重要的工程价值,是指导技术人员水平提高的重要资料,也期待着他们继续总结提高,为水电设备及电网安全运行做出更大贡献。

2015年10月



前言

近年来,随着科技的发展,我国开发的水电站装机容量越来越大,单机容量已发展到百万兆瓦级别,三峡、溪洛渡、向家坝等特大型水电厂相继投产发电。机组的结构设计更加灵活,设备使用的材料强度不断提高,随着机组尺寸的增加及刚度的降低,机组的运行稳定性逐渐凸显出来。同时国内已投运多年的超期服役老旧机组进入到改造的高峰期,水电机组在运行过程中存在的各种潜在故障都将影响到机组的安全运行。目前,有关水电站事故的报道屡见不鲜,其中2009年俄罗斯萨扬-舒申斯克水电站发生的灾难性事故,给我国的水电生产安全敲响了警钟。目前,针对水电机组故障的研究多数停留在理论分析层面,缺乏针对现场的故障案例分析,存在一定的理论研究与生产实际脱节现象。

本书通过列举大量真实的故障案例,利用大量的现场测试数据作为支撑,深入浅出地对每个故障案例进行了故障分析,并提出了相应的防范措施,能够为理论研究提供最真实的现场资料。全书共分为水轮发电机组故障案例篇和辅机及控制系统故障案例篇两个篇章。案例涉及混流式机组、轴流转桨式机组、灯泡贯流式机组等多种机型,包含水轮机、调速器、水工金属结构、辅助设备等多个专业。

本书在编写过程中得到了国网湖南省电力公司、国网湖南省电力公司电力科学研究院有关领导和专家的大力支持,同时得到了多家水力发电厂的鼎力协助,在此一并表示感谢。在本书的编写过程中,国网湖南省电力公司电力科学研究院水电技术室的同志倾注了大量心血,其中田海平、黄波、张军、肖剑、乔亮亮负责了水轮发电机组故障案例篇的编写,付亮、邹桂丽、魏加富、寇攀高负责了辅机及控制系统故障案例篇的编写,唐卫平主任、王辉斌副主任完成了全书的统稿修改,吴长利副总工程师对全书进行了审阅定稿。

由于编者水平有限,难免存在纰漏和不足之处,还望各位同行专家和各位读者批评指正。

编者

2015年10月



目 录

序言

前言

水轮发电机组故障案例篇.....	1
案例一 某水电厂机组推力瓦温报警情况分析报告.....	3
案例二 某水电厂3号机组开机过程推力瓦烧损原因分析	10
案例三 某水电厂混流式机组推力轴承烧瓦故障分析	11
案例四 某水电厂轴流转桨式机组推力轴瓦损坏故障分析	13
案例五 某电厂机组下导轴瓦磨损故障分析	14
案例六 水电厂水导轴承温度异常故障分析	16
案例七 某水电厂水导轴承烧瓦案例分析	18
案例八 某水电站水轮机顶盖平衡水管漏水处理	19
案例九 某水电厂3号机组水导摆度异常增大分析	21
案例十 轴流转桨式水轮机发电机组异常振动分析	22
案例十一 某水电厂200MW水轮发电机组推导组合轴承甩油 原因初步分析及处理	29
案例十二 轴流转桨式水轮机停机状态下导叶异常啸叫故障处理	32
案例十三 某水电厂停机蠕动、活动导叶不同步问题调查	38
案例十四 某水电厂1号轴流转桨式机组桨叶动作异常原因分析	39
案例十五 某水电厂灯泡贯流式机组水导轴承烧瓦故障分析	42
案例十六 某水电厂1号灯泡机组运行中水轮机转轮室异常撞击声分析	45
案例十七 某水电厂水导摆度偏大分析	46
案例十八 某混流式水电站转轮叶片受损故障分析	51
案例十九 某水电厂混流式水轮机转轮损坏分析	56
案例二十 某水电厂灯泡贯流式水轮机出力不足案例分析	77
案例二十一 某水电厂水轮机桨叶操作机构双连板圆柱销压板螺栓 剪断故障分析	80
案例二十二 某水电厂进水口事故闸门反向支承损坏故障分析	81
案例二十三 水轮发电机挡风板固定螺栓断裂原因分析与处理	88
案例二十四 进水口闸门异常声响原因分析与处理.....	106

案例二十五	灯泡贯流式机组伸缩节螺栓断裂处理·····	118
案例二十六	流道水力谐振案例分析·····	132
案例二十七	机组并网后负荷摆动过大故障分析与处理·····	139
案例二十八	某水电厂机组甩负荷排水总管爆管事故案例分析·····	141
案例二十九	某水电厂轴流转桨式机组浮动瓦损坏故障分析·····	144
辅机及控制系统故障案例篇·····		149
案例三十	某水电厂水轮发电机组调速器接力器抽动故障分析·····	151
案例三十一	接力器及控制环剧烈抽动、供油管剧烈颤动分析·····	153
案例三十二	调速器紧急停机时导叶接力器停顿故障分析与处理·····	158
案例三十三	甩负荷时导叶接力器停顿故障分析与处理·····	161
案例三十四	机组停机过程中导叶开启机组过速故障分析与处理·····	165
案例三十五	某水电厂1号机组甩65%额定负荷事故停机分析·····	168
案例三十六	某水电厂轴流转桨式水轮机甩负荷转速过高案例分析·····	170
案例三十七	某水电厂6号机组小网运行事故低油压紧急停机·····	172
案例三十八	某水电厂3号机技术供水中断事故停机·····	175
案例三十九	某水电厂8号机组一级过速水机保护动作事故停机·····	177
案例四十	某水电厂2号灯泡机组运行中无指令自关导叶异常停机分析·····	180
案例四十一	某水电厂6号机组自动开机不成功原因分析·····	180
案例四十二	分段关闭装置问题导致机组甩负荷过速·····	181
案例四十三	机械过速装置动作后导叶动作滞后问题·····	182
案例四十四	某水电厂机组监控系统发停机令后导叶不能正常关闭·····	183
案例四十五	某水电厂闸门程控系统故障·····	184
案例四十六	某水电厂机组带制动闸开机·····	185
案例四十七	某水电厂2号机组运行过程中进水口闸门非正常全关·····	186
案例四十八	某轴流转桨式水轮机甩负荷抬机案例分析·····	187
案例四十九	某水电厂自动开机异常原因分析·····	190
案例五十	某水电厂机组运行中检修密封有压导致水机保护动作紧急 停机事件分析·····	192

水轮发电机组故障案例

篇



案例一 某水电厂机组推力瓦温报警情况分析报告

一、案例简述

2013年8月12日23:10:26,某水电厂1号机组带350MW负荷运行,监控报“1号机组推力轴承轴瓦测温RTD10 越高限(70.04℃)”,检查1号机组,10号推力瓦温显示70℃,13号推力瓦温显示69.7℃,其他推力瓦温均在68.5℃以下,推力油温36.8℃;23:13:27现场手动启动1号机组1号推力外循环油泵(备用油泵)运行并下调负荷;23:15:25监控报“1号机组推力轴承轴瓦测温RTD10 复高限(69.86℃)”,检查1号机组,推力油温、瓦温均有所下降;23:401号机组带280MW负荷,检查1号机组,10号推力瓦温显示68.9℃,13号推力瓦温显示68.4℃,其他推力瓦温均在67℃以下,推力油温显示33.4℃。图1-1所示为推力轴承温度趋势图。

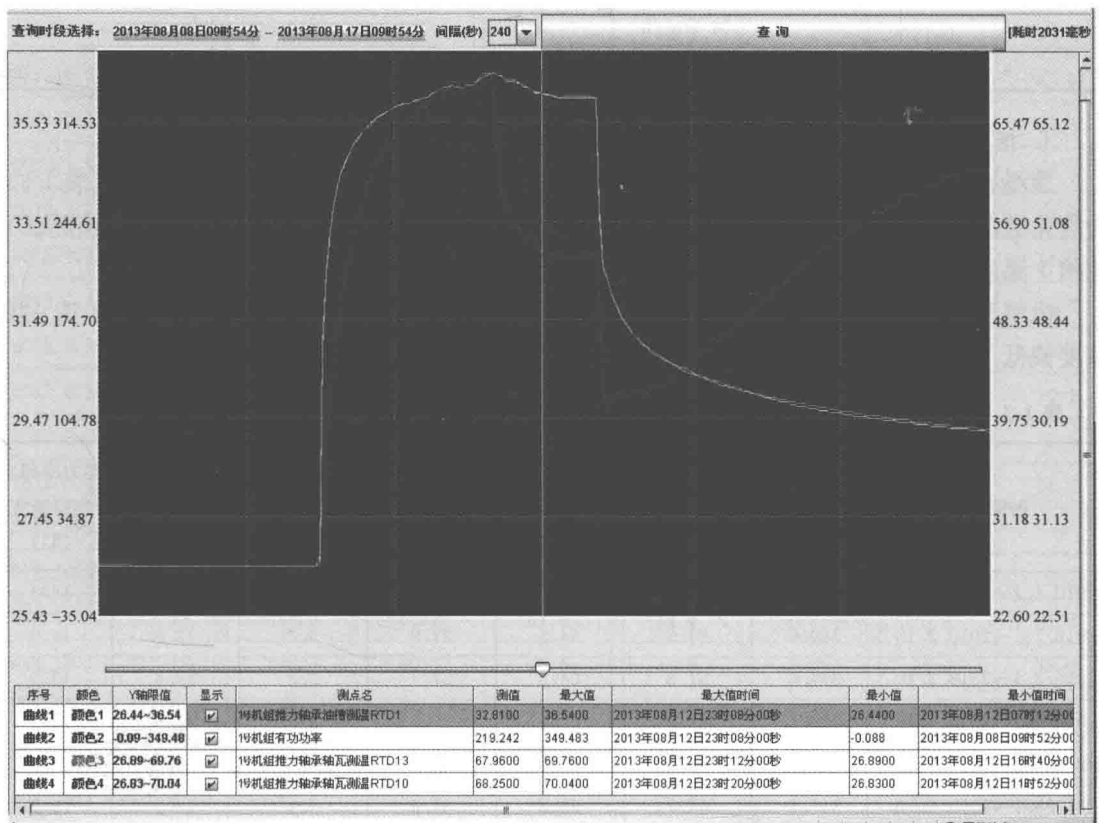


图 1-1 推力轴承温度趋势图

二、原因分析

针对该问题,现场开展了测试,并对相关记录进行了调查分析,具体如下:

1. 推力轴承冷却水量测量

现场对比了1、3、4号机组推力轴承冷却水流量(见表1-1)。1号机组推力轴承冷却水流量较3号机组、4号机组偏小(推力轴承冷却水设计流量为130m³/h)。

表 1-1 推力轴承冷却水流量

机组号	实际测量流量 (m ³ /h)	推力轴承冷却水进口压力 (MPa)	推力轴承冷却水出口压力 (MPa)	现场电磁流量计显示
1	221	0.35	0.135	26%
3	257	0.35	0.13	—
4	285	0.35	0.09	85%

2. 推力油循环泵油量测量

现场对比了 1、3、4 号机组的推力油循环泵油量（见表 1-2）。机组启动单台泵（优先启动泵）时，1 号机组循环油流量较 3、4 号机组偏小。

表 1-2 推力油循环泵油量

机组号	1 号泵启动	2 号泵启动（优先启动泵）
1	—	88.6m ³ /h
3	94.6m ³ /h	94.7m ³ /h
4	94.6m ³ /h	116m ³ /h

3. 推力瓦温变化趋势分析

现场查询了 1 号机组自 2010 年 1 月份以来的推力瓦温及推力油槽温度数据（见表 1-3），为简化数据，选择了 10 号瓦温、9 号瓦温（10 号瓦为温度较高瓦，9 号瓦为温度较低瓦）、油槽 1 温度（油槽 1 温度较高）作为参考数据。

机组瓦温及油槽温度具有明显的季节性，即 6~11 月份温度偏高，1~5 月份及 12 月份温度偏低（见图 1-2）。

表 1-3 推力瓦温及推力油槽温度

时间段	负荷 (MW)	9 号瓦温 (℃)	期间 10 号瓦 温最高值	油槽 1 温度 (℃)	温差 (℃)	推力冷却水 进口温度 (℃)	推力冷却水 出口温度 (℃)
2010.1.1~2010.1.10	343.2	58.1	61.5	27.1	3.4	14.1	15.3
2010.2.1~2010.2.10	350.9	61.3	64.5	27.9	3.3	12.5	14.0
2010.3.1~2010.3.10	339.6	61.3	64.6	27.7	3.3	12.4	13.9
2010.4.1~2010.4.10	350.1	62.3	65.6	29.0	3.3	13.9	15.5
2010.5.1~2010.5.10	346.2	63.3	66.7	30.5	3.4	16.1	17.6
2010.6.1~2010.6.10	347.1	65.1	68.2	31.8	3.1	18.1	19.7
2010.7.1~2010.7.10	338.9	65.8	68.8	33.1	3.0	19.6	21.3
2010.8.1~2010.8.10	339.0	66.0	69.0	35.5	3.0	23.6	25.3
2010.9.1~2010.9.10	348.7	65.8	68.8	35.1	3.0		
2010.10.1~2010.10.10	349.0	64.0	67.1	32.7	3.1	23.2	24.8
2010.11.1~2010.11.10	352.0	63.8	67.1	32.7	3.3	19.1	20.8
2010.12.1~2010.12.10	—	—	—	—	—	—	

续表

时间段	负荷 (MW)	9号瓦温 (℃)	期间10号瓦 温最高值	油槽1 温度(℃)	温差 (℃)	推力冷却水 进口温度 (℃)	推力冷却水 出口温度 (℃)
2011.1.1~2011.1.10	349.6	60.1	65.3	29.7	5.2	14.9	16.7
2011.2.1~2011.2.10	349.7	58.6	64.2	24.7	5.5	11.8	13.4
2011.3.1~2011.3.10	349.5	58.6	64.1	27.6	5.5	11.4	13.1
2011.4.1~2011.4.10	348.9	59.2	64.5	28.6	5.2	13.0	14.7
2011.5.1~2011.5.10	349.0	60.1	65.1	30.1	5.0	15.6	17.4
2011.6.1~2011.6.10	346.3	61.0	66.0	31.0	5.0	16.8	18.5
2011.7.1~2011.7.10	349.0	63.1	67.8	33.9	4.7	20.6	21.4
2011.8.1~2011.8.10	348.7	64.2	68.8	35.3	4.7	22.8	24.6
2011.9.1~2011.9.10	349.0	64.9	69.5	36.1	4.6	24.1	25.6
2011.10.1~2011.10.10	348.5	63.9	68.5	35.1	4.7	21.0	22.6
2011.11.1~2011.11.10	348.8	62.1	67.1	32.7	4.9	19.1	20.8
2011.12.1~2011.12.10	349.0	60.9	67.0	31.4	6.1	16.6	18.4
2012.1.1~2012.1.10	348.4	59.8	66.1	29.8	6.3	14.5	16.3
2012.2.1~2012.2.10	349.2	58.4	65.0	28.4	6.6	12.0	13.8
2012.3.1~2012.3.10	349.2	57.7	64.6	27.4	6.9	10.5	14.7
2012.4.1~2012.4.10	349.7	58.8	65.3	28.8	6.5	12.4	14.2
2012.5.1~2012.5.10	349.2	60.6	66.8	31.5	6.1	16.4	18.2
2012.6.1~2012.6.10	348.8	60.9	67.2	32.1	6.3	17.5	19.2
2012.7.1~2012.7.10	353.4	62.2	68.3	34.1	6.0	20.6	22.5
2012.8.1~2012.8.10	350.1	63.6	69.5	35.6	6.0	22.4	24.1
2012.9.1~2012.9.10	—	—	—	—	—	—	—
2012.10.1~2012.10.10	—	—	—	—	—	—	—
2012.11.1~2012.11.10	348.9	61.8	67.9	33.4	6.1	19.8	21.4
2012.12.1~2012.12.10	348.3	60.4	66.6	31.5	6.2	16.9	18.6
2013.1.1~2013.1.10	348.6	59.5	65.9	29.9	6.4	14.0	15.7
2013.2.1~2013.2.10	348.8	58.8	65.6	29.1	6.7	12.6	14.4
2013.3.1~2013.3.10	349.1	58.5	65.1	28.7	6.5	12.0	14.0
2013.4.1~2013.4.10	—	—	—	—	—	—	—
2013.5.1~2013.5.10	349.8	61.0	67.0	32.2	6.0	16.9	19.0
2013.6.1~2013.6.10	347.5	61.9	67.9	33.0	6.0	18.6	20.3
2013.7.1~2013.7.10	319.9	63.0	68.7	34.8	5.7	21.5	23.1
2013.8.1~2013.8.15	320.8	64.4	70.0	36.0	5.7	24.0	25.9

注 表中负荷、9号瓦温、油槽1温度、推力冷却水进出口水温均为10号瓦温最大值时刻的取值。

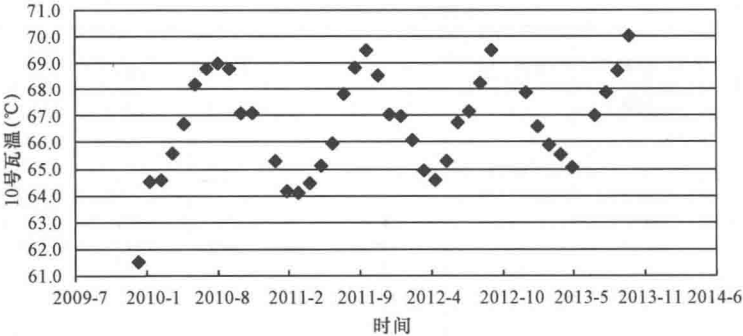


图 1-2 推力瓦温变化趋势图

4. 机组推力瓦温历史最大值分析

机组瓦温最大值集中于 7~9 三月份，表 1-4 为 2010~2013 年 7~9 三月份全月统计数据。数据显示 2010~2013 年 10 号瓦温均出现过超 69℃的记录。

表 1-4 2010~2013 年 7~9 月机组瓦温统计数据

年份	月份	负荷 (MW)	期间 10 号瓦温最 高值 (℃)	槽 1 温度 (℃)	上游水位 (m)	水头 (m)
2010	7	343.60	68.84	33.05	286.58	78.00
	8	346.18	69.38	35.83	286.57	76.32
	9	348.87	69.02	35.59	284.49	70.32
2011	7	348.60	68.43	35.00	285.56	—
	8	349.20	69.74	36.48	285.44	—
	9	349.00	69.50	36.12	283.17	—
2012	7	347.85	69.02	35.12	288.6	—
	8	349.00	69.50	35.59	286.41	—
	9	—	—	—	—	—
2013	7	319.64	68.90	35.30	286.18	71.62
	8	347.85	70.04	36.54	286.09	72.93
	9	—	—	—	—	—

注 部分时间段由于下游水位显示错误，未能计算水头。

5. 有功功率对推力瓦温的影响

图 1-3 为机组运行过程中有功功率、推力瓦温、油槽温度的录波，波形显示，有功功率越高，推力瓦温越高。

6. 推力冷却水供水温度对推力瓦温的影响

推力冷却水供水温度历史数据见表 1-3，其随时间变化的趋势见图 1-4，推力冷却水供水温度与推力瓦温变化趋势相同。推力冷却供水温度越高，冷却器内的热油与冷却水温差越小，冷却器冷却效果越差，机组油槽温度及瓦温越高。

7. 推力冷却水流量对推力瓦温的影响

考虑到 1 号机组推力冷却水流量较 3、4 号机组偏低，讨论后决定通过调节推力冷却水

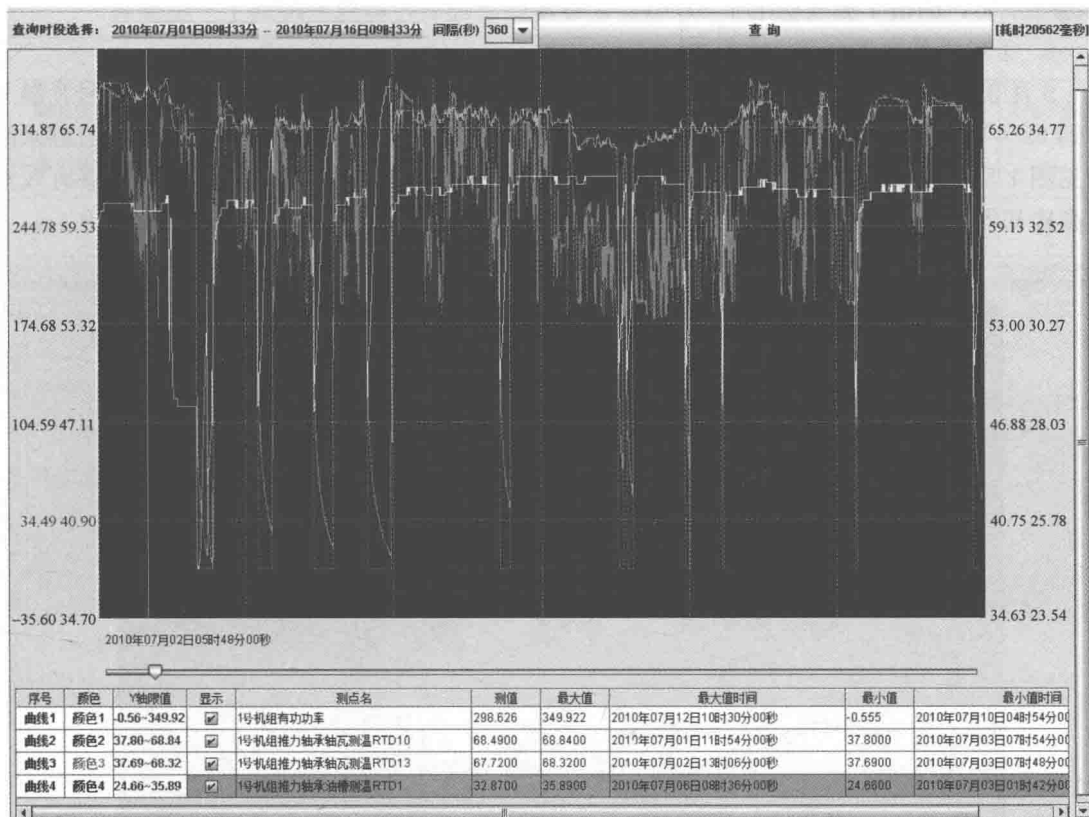


图 1-3 机组运行过程中有功功率、推力瓦温、温槽温度的录波图

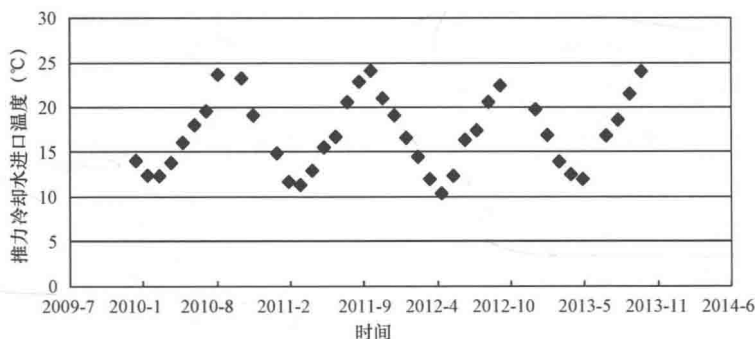


图 1-4 推力冷却水供水温度随时间变化的趋势图

进口压力（调节减压阀）提高流量，当进口水压提高到 0.45MPa，1 号机组流量上升为 261m³/h，调节流量后，机组投入运行，运行水头 73.41m，开启 2 台推力循环泵时，油槽 1 温度稳定于 32.81℃。试验结果表明增大流量对改善冷却效果影响不大（2013 年 8 月 12 日，开启 2 台推力循环泵，油槽 1 温度也稳定于 32.81℃，运行水头 72.93m，鉴于 1 号机组负荷不断变动，瓦温也随之变化，油槽温度相对稳定，所以以油槽温度为参考值，下同）。

8. 清洁冷却器对推力瓦温的影响

现场对冷却器进行了拆除清洁；清洁后机组投入运行，运行水头 76m，同时开启 2 台推

力循环泵时，油槽 1 温度稳定于 31.81℃，冷却器清理后冷却效果得到了一定提高。

9. 循环油量对推力瓦温的影响

9 月 3 日，机组开启一台泵，运行 2h 后，油槽 1 温度上升为 36.5℃，并且 10 号瓦温上升到 69.4℃，且存在上升趋势，运行人员开启两台泵，油槽温度下降为 32.81℃（过程录波图见图 1-5），在带满负荷工况下，10 号瓦温能够维持在 69.3℃。增加循环油量能够有效地提高冷却器冷却效果。

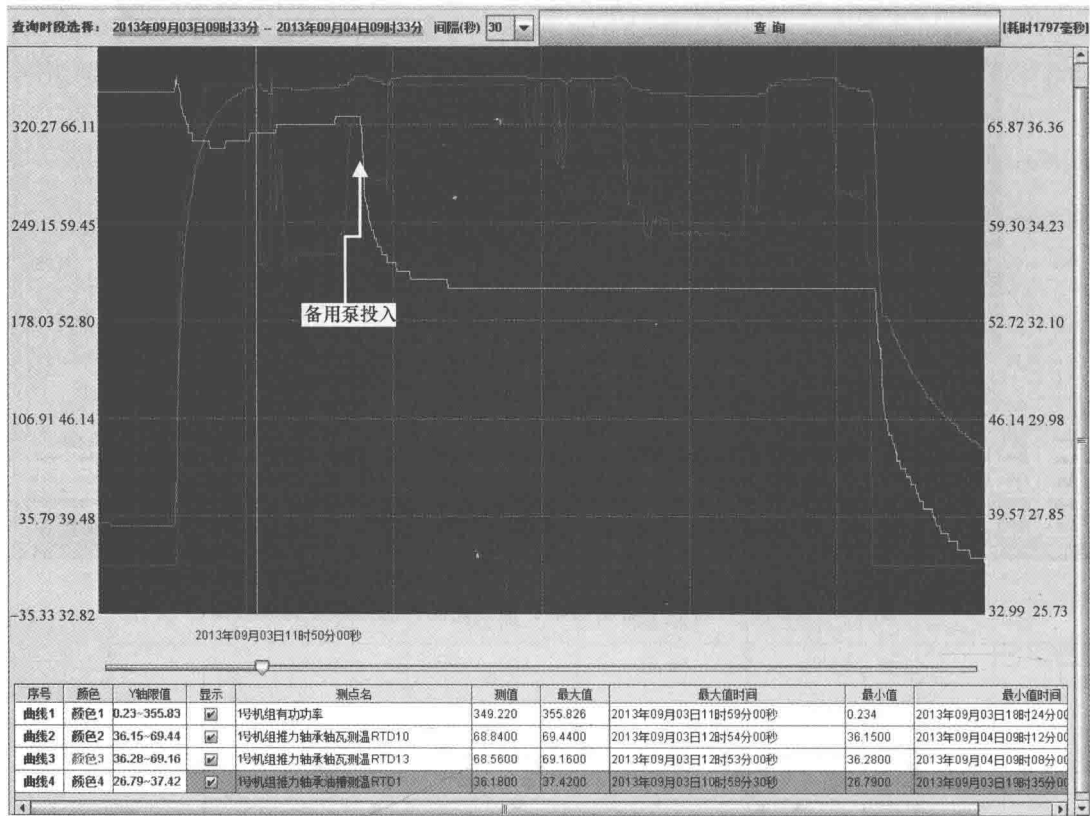


图 1-5 循环油量对推力瓦温的影响过程录波图

10. 与其他机组推力瓦温的比较

统计了 2013 年 8 月 10 日至 2013 年 8 月 15 日期间的数据，各机组瓦温的最大值见表 1-5，数据显示 1 号机组温度最大，4 号机组温度最小。这种差别可能与机组安装质量、循环油量、测温元件安装位置不是严格一致有关。

表 1-5 各机组瓦温的最大值

机组号	1	2	3	4	5
负荷 (MW)	348.9	348.8	349.5	349.6	349.6
高温瓦 (瓦号/温度℃)	10 号/70.04	7 号/67.39	11 号/66.51	12 号/64.04	14 号/68.41
低温瓦 (瓦号/温度℃)	9 号/64.21	9 号/63.25	4 号/62.22	13 号/61.47	15 号/64.47
瓦温温差 (℃)	5.83	4.14	4.29	2.57	3.94

续表

机组号	1	2	3	4	5
高温油槽（槽号/温度℃）	1号/36.54	3号/37.94	3号/39.02	2号/37.8	2号/38.37
推力冷却水进口水温（℃）	23.94	24.42	25.72	24.67	24.4
推力冷却水出口水温（℃）	25.87	25.8	26.67	25.04	25.94
水头（m）	72.5	72.5	72.7	72.5	72.5

注 表中负荷、低温瓦温、高温油槽温度、推力冷却水进出口水温均为高温瓦温最大值时刻的取值。

11. 现场检查

2013 年 12 月份，1 号机组启动了投产后的首次 A 级检修，检修中对机组推力部件进行了拆除检查，检查发现部分推力支柱及托瓦接触面出现不同程度的刮痕（见图 1-6）。

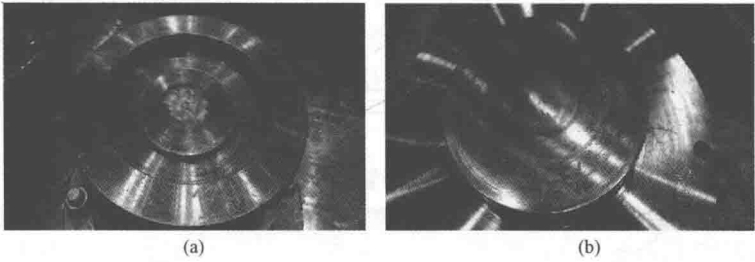


图 1-6 推力支柱及托盘现场检查情况
(a) 支柱刮痕；(b) 托板刮痕

该水电厂推力支撑为刚性支撑方式，采用支柱支撑方式（见图 1-7），为了便于观察及调整推力瓦受力，在支柱中部设置了一根测量杆，支柱与托瓦的接触面为球面，因此推力瓦具有一定的晃动量，利于油膜的形成。

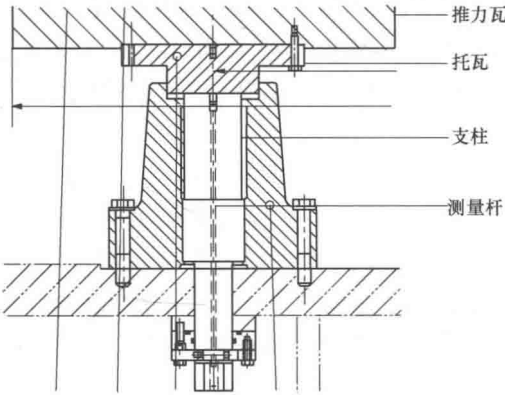


图 1-7 推力支撑结构

通过查阅历史检修资料发现，1 号机组投产运行一段时间后，发现测量杆的安装孔存在渗油，为了消除渗油，检修人员将测量杆与支柱螺钉球面接触部分封焊，并进行了打磨处理。由于支柱螺钉球面的弧度很小，通过打磨基本成了平面，这也导致了处理后的推力瓦晃动量减小，进而导致了推力瓦瓦温的进一步上升。

三、结论

(1) 机组推力瓦温呈现季节性变化，7~9 月份为高温期。推力冷却供水温度也呈现季节性变化，现场调查时推力冷却供水温度超过 23℃，冷却供水温度的升高将影响冷却效果，从而使瓦温上升。

(2) 加大机组冷却水量对改善冷却效果影响不大；清洁冷却器，可以使冷却器冷却效果得到一定提高；提高机组循环油量（开启两台油循环泵）能够较为明显的提高冷却效果。

(3) 1 号机组较其他机组瓦温偏高，这种差别可能主要与各台机组安装质量有关，另外与循环油量不同、测温元件安装位置不一致也有一定关系。1 号机组的 10 号瓦及 13 号瓦一直存在较其他瓦偏高的现象，这可能与机组推力瓦受力不均匀有关系，因此需改善推力瓦受力均匀度。