

抽水蓄能电站

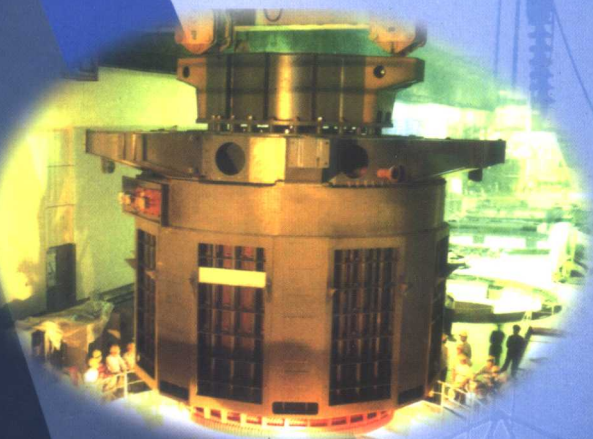
运行技术文集

上海华东水电工程咨询有限公司 汇编

CHOUSHUI XUNENG

DIANZHAN YUNXING

JISHU WENJI



黄河水利出版社

抽水蓄能电站运行技术文集

上海华东水电工程咨询有限公司 汇编

黄河水利出版社

内 容 提 要

本文集收编了20世纪末我国已建成的广州、天荒坪、十三陵抽水蓄能电站建设和生产运行中相关技术论文50余篇,重点对三个电站初期运行中出现的设备问题进行了分析、讨论,并提出了解决问题的方法。全书分为六大部分,即综合论述、水泵水轮机及其附属设备、发电电动机及其附属设备、电气设备、电站控制系统及保护装置、水工建筑物及其附属设备。可供从事水电行业设计、建设、管理的技术人员及相关的大中专院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

抽水蓄能电站运行技术文集/上海华东水电工程咨询有限公司汇编. — 郑州:黄河水利出版社,2006.7

ISBN 7-80734-089-4

I. 抽… II. 上… III. 抽水蓄能水电站—运行—文集 IV. TV743-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 075750 号

策划组稿:简群 电话:0371-66023343 E-mail:w_jq001@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

E-mail:hhsjcs@126.com

承印单位:黄委会设计院印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17.5

字数:402千字

印数:1—2 000

版次:2006年7月第1版

印次:2006年7月第1次印刷

书号:ISBN 7-80734-089-4/TV·467

定价:45.00元

前 言

由于电网发展的需要,20世纪末我国已建成了以广州、天荒坪、十三陵抽水蓄能电站为代表的大型抽水蓄能电站,电站的建设和生产运行的专业技术人员在实践过程中总结了不少宝贵的经验。现在,泰安、桐柏、琅琊山等一批抽水蓄能电站将陆续建成投产;宜兴、张河湾、西龙池等一批抽水蓄能电站正在建设中;特别是宝泉、惠州、白莲河等抽水蓄能电站的主机设备采用了技术引进方式,走上了大型抽水蓄能电站机组设备国产化之路。认真总结早期投运的广州、天荒坪、十三陵抽水蓄能电站等大型抽水蓄能电站的建设、运行的经验,对于以后的抽水蓄能电站的设计、建设和设备制造国产化一定会有很大的帮助。在抽水蓄能电站联谊会上,许多同行希望能对已投运抽水蓄能电站进行技术交流,为此我们组织收集编写了本书。在编写过程中,得到了广州抽水蓄能有限公司、华东天荒坪抽水蓄能有限责任公司、十三陵蓄能电厂、国网新源宝泉抽水蓄能有限公司等单位的领导和工程技术人员的全力支持,上海华东水电工程咨询有限公司负责文章的汇集整理工作,在此我们向他们表示感谢。希望本书的出版能为我国抽水蓄能事业的发展起到一定的推动作用。

抽水蓄能电站联谊会

2006年2月

目 录

一、综合论述

- 已投运大型抽水蓄能电站运行情况概述····· 何永泉 林肖男(3)
抽水蓄能电站运行管理模式浅析····· 马明刚(10)

二、水泵水轮机及其附属设备

- 天荒坪抽水蓄能电站主轴密封改造····· 游光华(19)
高水头抽水蓄能机组主轴密封的对比探讨····· 孔令华(25)
广州蓄能电厂 A 厂主轴密封问题处理探讨····· 谈进昌(30)
水泵水轮机“S”型特性及其影响····· 游光华 孔令华(35)
可逆式低比速混流式转轮密封装置的泄漏量及其对机组运行的影响
····· 戴勇峰 王 海 张克危等(41)
天荒坪抽水蓄能电站机组甩负荷试验压力钢管压力上升分析····· 游光华(50)
天荒坪抽水蓄能电站甩负荷过渡过程实测成果仿真分析
····· 游光华 刘德有 王 丰(55)
可逆式低比速混流式转轮轴向水推力研究····· 戴勇峰 王 海 张克危等(62)
天荒坪抽水蓄能电站 2# 机组转动部分抬机现象及原因分析····· 孔令华(71)
十三陵蓄能电厂 4# 球阀耳轴轴承断裂原因分析及处理····· 潘春强 胡新文(76)
十三陵蓄能电厂球阀控制系统的改进····· 杨占良(80)
广州蓄能电厂 B 厂主球阀引发水力振荡的分析及处理····· 谈进昌 刘玉斌(83)
球阀工作密封压力开关故障导致 3 号机发电启动失败的原因分析及处理····· 郭建强(88)
球阀工作密封 O 型圈损坏原因分析····· 楼 勇(91)
天荒坪抽水蓄能电站水泵水轮机导叶推力装置改造····· 倪晋兵(95)
广州蓄能电厂 B 厂接力器漏油问题····· 谈进昌(99)
广州蓄能电厂 B 厂调速器导叶不同步故障研究····· 方 竣(102)

三、发电电动机及其附属设备

- 十三陵蓄能电厂 3 号发电机定子绝缘接地故障处理及分析····· 赵贵前(111)
十三陵蓄能电厂 3 号发电机定子绕组防晕检修处理····· 赵贵前(115)
高转速蓄能机组定子线棒绑线松动原因分析及处理····· 朱兴兵(118)
大型抽水蓄能机组滑环温度高问题的研究及解决····· 黄 炜(122)
广州蓄能电厂 B 厂机组轴承甩油问题····· 谈进昌(126)
交流灭磁技术在大型抽水蓄能机组中的应用····· 张明华 曾广移 刘明波(130)

大型抽水蓄能机组交流灭磁开关应用及性能分析·····	江宇遨	张明华(135)
天荒坪抽水蓄能电站励磁整流桥出现工作电流不平衡的原因分析·····	金根明	(139)
天荒坪抽水蓄能电站3号电气制动闸刀故障分析及对策·····	何涛	(142)
天荒坪抽水蓄能电站机组轴电流保护问题分析·····	曾辉	张亚武(145)
机组高速加闸原因分析及技术改进·····	郑小刚	(149)

四、电气设备

广州蓄能电厂输配电设备及运行情况分析·····	张明华	刘国刚(157)
天荒坪抽水蓄能电站主变压器安装和运行中故障问题的分析 ·····	何永泉	陆胜(163)
环氧胶浸纸电容套管运行中的问题及处理对策·····	何永泉	(169)
国内首根引进500kV XLPE电缆在天荒坪抽水蓄能电站中的运用·····	何永泉	(177)
十三陵蓄能电厂220kV电缆终端事故与检修·····	赵贵前	(183)
天荒坪抽水蓄能电站发电机断路器操作气压过低事故处理·····	喻鹤之	郑小刚(186)
天荒坪抽水蓄能电站发电机断路器的检修·····	廖文亮	(190)
天荒坪抽水蓄能电站500kV GIS装置的VFT过电压测试 ·····	杨凌辉	张嘉旻 马仁民等(193)
十三陵蓄能电厂GIS开关故障的分析与处理·····	赵贵前	(198)

五、电站控制系统及保护装置

广州蓄能电厂SCADA监控系统问题探讨·····	蔡镇坤	(203)
天荒坪抽水蓄能电站计算机监控系统存在的问题和主机改造的必要性分析··	宋旭峰	(206)
天荒坪抽水蓄能电站计算机监控系统操作监视系统改造技术方案研究·····	宋旭峰	(209)
厂级监控信息系统在天荒坪抽水蓄能电站的实践·····	宋旭峰	冯伊平 杨丽君等(214)
广州蓄能电厂外加电源方式100%定子接地保护的拒动与误动问题·····	贺儒飞	(220)
大型抽水蓄能机组断路器失灵保护改造·····	陈莉	(224)
热电阻(RTD)元件故障原因分析及对策·····	李浩良	(229)
十三陵蓄能电厂基础自动化技术改造·····	施美霖	(233)
十三陵蓄能电厂二次系统运行与改造·····	任志武	(238)
十三陵蓄能电厂消防报警系统完善及技术改进·····	樊玉林	孔祥武(244)

六、水工建筑物及其附属设备

十三陵蓄能电厂地下厂房结构振动监测·····	彭涛	(251)
从天荒坪抽水蓄能电站高压输水系统运行情况分析得到的几点认识 ·····	周民权	吴宏伟(257)
天荒坪抽水蓄能电站上库沥青混凝土防渗护面产生裂缝原因分析 ·····	周民权	吴宏伟(260)
十三陵蓄能电厂上池进出水口闸门控制系统改造·····	王志刚	黄继宏(264)

一、综合论述

一、综合论述

已投运大型抽水蓄能电站运行情况概述

上海华东水电工程咨询有限公司 何永泉 林肖男

[摘要] 本文综述了广东广州、华东天荒坪和北京十三陵为代表的第一批大型抽水蓄能电站的概况和电站机电设备初期运行的一些情况;同时,论述了它们在电网中所起的作用。

[关键词] 抽水蓄能电站;电站概况;运行方式;可靠性分析

国内大型抽水蓄能电站的建设始于 20 世纪 80 年代,到 2000 年建成了以广东广州、华东天荒坪和北京十三陵为代表的第一批大型抽水蓄能电站,总装机容量为 5 000MW。这些电站的建成,在电网运行中发挥了重要作用,运行实践使人们对抽水蓄能电站的认识进一步深化,同时也为抽水蓄能电站的设计、施工、管理和运行积累了丰富的经验。下面提供了已建的广东广州、北京十三陵和华东天荒坪三座大型抽水蓄能电站的建设与运行的主要情况,供规划与正在建设的抽水蓄能电站借鉴。

1 电站概况

广州抽水蓄能电站(简称广蓄)一、二期,十三陵抽水蓄能电站(简称十三陵)和天荒坪抽水蓄能电站(简称天荒坪)均为日调节纯抽水蓄能电站,电站的基本特点与建设指标列于表 1、表 2。

表 1 电站特性

电站名称	广蓄一期	广蓄二期	十三陵	天荒坪
电站所在地	广东从化	广东从化	北京昌平	浙江安吉
电站装机容量 (MW)	1 200	1 200	800	1 800
电站装机台数 (台)	4	4	4	6
正常发电库容 (万 m ³)	700		381	676.76
备用库容 (万 m ³)	300			125.32

表 2 工程实施情况

电站名称	工程总投资 (亿元)	外资来源	单位投资 (元/kW)	主体工程开工时间 (年·月)	投产时间 (年·月)	竣工时间 (年·月)	总工期 (月)
广蓄一期	28.20	法国政府贷款	2 350	1989.5	1994.3	1994.12	58
十三陵	37.30	日本政府贷款	4 662	1992.9	1995.12	1997.6	78
广蓄二期	34.25	亚洲银行贷款	2 450	1994.9	1999.4	2000.6	69
天荒坪	62.76	世界银行贷款	3 487	1994.3	1998.9	2000.12	81

国内这些初次建成的大型抽水蓄能电站,其建设规模、建设速度和主要技术指标均达到世界先进水平。尽管我国抽水蓄能电站建设起步较晚,但由于有大规模常规水电建设积累的经验,加上改革开放后,引进国外先进技术和管理经验,使电站建设的起步较高。表3列出了这三座抽水蓄能电站的主要工程特性。由于当时国内尚无蓄能机组制造能力,电站的主要机电设备均经国际招标从国外引进(表4列出电站主要设备的来源,表5列出设备主要参数),三座电站的设备都是由有较好业绩的国外制造商提供的。

表3 主要工程特性

项 目		广蓄一期	广蓄二期	十三陵	天荒坪
上 水 库	多年平均径流量(万 m ³)	660		—	—
	多年平均流量(m ³ /s)	0.209		—	—
	总库容(万 m ³)	2 408		445	919.2
	正常水位(m)/有效库容(万 m ³)	816.8/1 686		566/422	902/676.76
	最高蓄水位(m)	818.25		566.0	905.2
	上库主坝坝型	钢筋混凝土面板 堆石坝		钢筋混凝土面板 堆石坝	沥青混凝土斜墙 土石坝
	最大坝高(m)/坝顶长度(m)	68.0/318.52		118/550	72/503
	溢洪道	侧槽式岸边溢洪道			
下 水 库	集雨面积(km ²)	13		223	24.2
	多年平均流量(m ³ /s)	0.544		0.522	0.876
	总库容(万 m ³)	2 342		7 977	859.56
	正常水位(m)/有效库容(万 m ³)	287.40/1 713		89.5/990.3	342/676.76
	最高蓄水位(m)	289.90		89.5	344.5
	下库主坝坝型	碾压混凝土 重力坝		钢筋混凝土面板 堆石坝	钢筋混凝土面板 堆石坝
	最大坝高(m)/坝顶长度(m)	43.3/127.0		29/627	95/230
	溢洪道	坝顶溢流式		岸边侧堰溢洪道	岸边侧堰溢洪道
压 力 输 水 道	主隧洞数/长度(m)/内径(m)	1/3 856.817 (含进、出 水)/8.0	1/946.04/8.0	2/805.349~ 810.148/5.2	2/884~ 886/7.0
	高压岔管数/长度(m)/内径(m)	4/144.334~ 158.299/3.5	4/总长 620.013/3.5	2/391~ 382/3.8	3/258~ 308/3.2~2.2
	上游调压井(直径×高,m)	8.5×20	上室 D25,大 井 D14/阻抗 孔 D6.3	7.0×84.6	—
主厂房尺寸(m×m×m)	146.5×21 ×45	152×21 ×45.7	145×23 ×46.6	200×21 ×48	
主变室尺寸(m×m×m)	138.12 ×17.24 ×27.40	138×17.24 ×17.6	141.7×16.5 ×25.65	180×18×24	

表 4 电站主要设备来源

设备名称	广蓄一期	广蓄二期	十三陵	天荒坪
水泵水轮机	法国 Alstom	德国 Voith	美国 Voith	挪威 Kvaerner
发电电动机	法国 Alstom	德国 Siemens	奥地利 ELIN	加拿大 GE
监控系统	法国 Alstom	德国 Siemens	加拿大 Bailey	加拿大 Bailey
主变压器	法国 Alstom	英国 Peebles	奥地利 ELIN	英国 Peebles
GIS	法国 Alstom	德国 Siemens	瑞士 ABB	瑞士 ABB
高压电缆	法国 Alcatel	法国 Alcatel	德国 Siemens	日本日立

表 5 主要机电设备参数

项 目		广蓄一期	广蓄二期	十三陵	天荒坪
水泵水轮机	型式	立轴单级可逆 混流式	立轴单级可逆 混流式	立轴单级可逆 混流式	立轴单级可逆 混流式
	额定出力(MW)	306	306	218	306
	转轮直径(m)	3.886	3.865	3.679	4.03
	最大毛水头/额定水头(m)	537.18/496.02	541.8/509	481/430	610.2/526
	额定转速/飞逸转速(r/min)	500/725	500/725	500/725	500/725
	吸出高程(m)	-70	-70	-56	-70
发电电动机	型式	立轴、空冷、三 相半伞式	立轴、空冷、三 相半伞式	立轴、空冷、 三相半伞式	立轴、空冷、 三相悬式
	机端电压(kV)	18	18	13.8	18
	额定容量(发电/ 抽水)(MW)	300/300	300/312	200/218	300/320
	励磁方式	自并激可控硅 静态励磁	自并激可控硅 静态励磁	自并激可控硅 静态励磁	自并激可控硅 静态励磁
启动方式	SFC + 背靠背	SFC + 背靠背	SFC + 背靠背	2 SFC + 背靠背	
主变压器	型式	强迫油循环水 冷三相变压器	强迫油循环水 冷三相变压器	强迫油循环水 冷三相变压器	强迫油循环水 冷三相变压器
	额定容量(MVA)	340(连续过 负荷 360)	360	240	360
	变比(kV/kV)	525/18	525/18	220/13.8	515/18
升压站	主接线	四角形	四角形	双发-变 联合单元	单母线 双分段
	高压设备	500kV 室内 GIS	500kV 室内 GIS	220kV 室内 GIS	500kV 室内 GIS

三座大型抽水蓄能电站的规划、建设和运行,凝聚了设计、施工和运行人员的智慧与心血,同时也取得了一系列科技进步成果。例如,解决了上水库大面积人工库盆钢筋混凝土面板防渗处理和沥青混凝土护层防渗技术;取得了地下厂房喷锚支护设计和施工的成功经验;掌握了岩壁吊车梁、水工隧洞、岔管钢筋混凝土衬砌及斜井的设计和施工技术;攻

克服了科学、合理地选择大型抽水蓄能机组参数的课题;实现了蓄能电站“无人值班、少人值守”的自动化管理模式;积累了蓄能机组在大电网中优化运行的成功经验,并在国内首次采用 500kV 交联聚乙烯干式电缆等一系列新技术;同时,探索和积累了适用于抽水蓄能电站的经营管理经验。

2 抽水蓄能电站在电网中的作用

已投运的广蓄、十三陵、天荒坪抽水蓄能电站在所在的电网中均发挥了重要作用。虽然蓄能电站都具有运行方式灵活、启动快速、调峰调压性能优良等优点,但根据所在电网的特点及其需要,三座电站的实际运行方式和作用各有特色。

广蓄是目前国内最大的抽水蓄能电站,也是世界上装机容量最大的抽水蓄能电站。电站所在的广东电网发展迅速,新建了不少大型火电和核电机组,火电单机容量达 660MW,核电单机容量达 900MW,西电东送 500kV 天广线供电容量为 800MW,还与香港电网相连,电网的安全问题十分突出。广蓄投运后,由于调峰填谷作用,大大改善了电网中核电和火电的运行条件,使香港中华电力公司无需多开煤机,保证核电实现不调峰稳定经济运行,核电机组在 1994~2000 年内连年超计划出力运行。从表 6 可看出广蓄一期在 1994 年 3 月投产前后广东电网拉闸限电情况得到明显的改善。在事故备用方面,广蓄从机组投运以来,平均每年紧急启动 17.9 次,自 1995 年~2003 年 9 月,广蓄为电网事故备用紧急启动机组 161 次。广蓄电站还对电网平衡无功、稳定电压起了较大的作用,由于广蓄地处广东省电网 500kV 环架的北部,在建成初期机组经常处于调相工况运行,吸收了电网大量的无功,1996 年全年吸收无功电量约为有功电量的 1/3,1994~1997 年,年均发出无功电量 54 695MVARh,年均吸收无功电量 182 320MVARh。广蓄一期初期运行有功、无功电量及机组启动次数见表 7。广蓄电站的建成还为广东电网大型机组调试创造了极为有利的条件,大亚湾 900MW 核电机组、沙角 C 厂 660MW 煤电机组带负荷试验或用负荷试验都需要广蓄机组给以配合。随着广东电网的不断发展,电网对广蓄电站的依赖也愈来愈强。

表 6 广东电网 1993~1996 年拉闸限电情况

时 间	拉闸限电次数	拉闸限电负荷(MW)
1993 年	7 354	
1994 年	1 250	7 385.4
1995 年	823	3 328.8
1996 年(1~8 月)	463	2 149.4

表 7 广蓄一期初期运行有功、无功电量及机组启动次数

项 目		1993 年	1994 年	1995 年	1996 年
有功电量 (亿 kWh)	吸收	1.89	11.56	13.68	13.55
	发出	1.59	9.11	10.7	10.68
无功电量 (亿 kVARh)	吸收	0.11	0.81	1.35	4.6
	发出	0.19	1.58	0.59	0.19
机组启动次数			2 826	3 399	3 883

十三陵蓄能电站所在的京津唐电网是一个以火电为主的电网,对保证首都北京政治用电十分重要。十三陵电站在电网的作用主要体现在调频、调峰填谷、事故备用和黑启动。电站投入运行前,京津唐电网的调峰主要依靠燃煤火电机组,由于火电调节速度的限制,1993年以前,京津唐电网频率合格率在98%左右。1995年后,十三陵电站投入运行,电网频率合格率每年都在99.99%以上。十三陵电站的投运,一定程度上增强了电网的调峰手段,有力地缓解了京津唐电网调峰的紧张局面,改善了燃煤机组的运行条件,提高了电网经济运行的水平。表8列出了十三陵电站投产前后京津唐电网拉路限电的情况比较。

表8 京津唐电网拉路限电情况对照

时 间	累计拉路次数		累计拉限负荷(MW)	
	京津唐电网	北京地区	京津唐电网	北京地区
1995年	81 830	19 231	114 910	27 990
1998年	966	0	183	0

在事故备用和应急调频方面,十三陵电站在电网中的作用更是功不可没。例如在1999年3月12~17日,首都出现连续十多天的大雾阴雨天气,电网雾闪跳闸事故不断出现,在此期间,十三陵电站开机48次,发电1 948万kWh,紧急启动成功率100%,为确保首都安全用电起到了重要作用。

天荒坪电站所在的华东电网也是以火电为主的大电网。自1998年天荒坪机组开始投运以来,较大地改善了华东电网大型火电、核电机组运行条件,对保证华东电网的安全、稳定运行发挥了重要作用。无论在大型机组故障跳机的时候,还是龙政500kV直流线路几次跳闸的情况下,天荒坪机组均能紧急启动发电,使电网频率在短时间内迅速恢复正常。天荒坪电站自1998年至2004年7月,已为电网应急调频或事故备用38次。在华东电网严重缺电的形势下,天荒坪电站充分发挥了调峰填谷的作用,为系统提供了充沛的调峰电力和电量,缓和了电网缺电的局面。同时,天荒坪电站是华东电网瓦解时恢复电网供电的黑启动电源,也作为系统调试的重要工具。

3 运行可靠性分析

三座抽水蓄能电站水工建筑物运行情况都较好,可靠性相对较高,其主要原因除设计经验较丰富外,同时有一套严格的施工管理、验收和鉴定的管理程序,对土建工程必须做到百年大计、万无一失,土建工程中存在的问题一般都能在施工期间和调试阶段解决,除了运行初期广蓄和天荒坪因水工缺陷各有一次放空水库进行渗漏处理外,其余运行情况正常。

从电站运行实践来看,影响机组可用率的主要因素还是机电设备故障,是电站机组设备和控制系统的设计欠妥导致的,也有安装调试过程中的潜在隐患造成的,一般随着潜在隐患的消除,设备运行的可靠性会愈来愈高。由于抽水蓄能机组具有启动迅速、工况转换方便等优点,通常将蓄能电站的可用率和启动成功率作为衡量一个抽水蓄能电站是否能最大限度发挥其各项功能的主要指标。同时大型蓄能电站由于单机容量较大,在运行过

程中出现故障跳机会对系统造成大的冲击,因此机组跳机次数也是考核蓄能电站运行管理水平的又一个重要指标。表 9、表 10 为广蓄一期和天荒坪电站投运初期的可靠性指标。

表 9 广蓄一期电站运行初期的启动成功率和跳机次数

工 况		1993 年	1994 年	1995 年	1996 年
启动成功率(%)	发电工况	95.70	96.60	98.60	98.50
	电动工况	85.70	89.40	92.70	91.90
跳机次数		26	71	39	11

表 10 天荒坪电站投产初期机组启动成功率和跳机次数

工 况		1999 年	2000 年	2001 年	2002 年
启动成功率(%)	发电工况	94.46	97.00	98.99	99.31
	电动工况	86.09	86.14	94.26	97.72
跳机次数		17	26	24	3

从三座电站运行情况分析,主设备存在的缺陷,处理难度高、所需工期长,直接影响机组运行的可靠性。通常水泵水轮机问题较多,如:广蓄一期,机组运行不到一年,4 台水轮机泄水锥固定螺栓被剪断,运行中泄水锥脱落;主轴密封在运行初期多次发生烧坏碳精密封的事故。天荒坪在运行初期,由于主轴密封不良导致的跳机次数几乎占跳机总次数的一半,经过多次改造才解决;另有导叶端面磨损、球阀工作密封损坏等异常情况。发电电动机由于定子铁芯较长、转速较高,加上频繁启停,双向运转,运行状态比较复杂,用户方通过与制造商的共同研究,较好地解决了大容量、高转速机组的推力轴承及通风冷却等问题,但仍发生了转子磁极连接板联结处开裂、磁极绕组黏结开裂、绕组向外鼓出,以及定子铁芯硅钢片位移、线棒端部绑线松动等问题。此外,还发生了多起主变压器绝缘不合格和运行中变压器绝缘事故及高压充油电缆渗油、电缆终端爆炸等事故。这些主设备事故或缺陷,不仅降低电站运行可靠性,影响系统的安全、稳定运行,而且要求运行单位花费极大的精力和劳力进行处理。

已建电站的监控系统大多是早期产品,一些电站曾多次发生死机、控制功能丧失、历史数据不能保存等问题,主机硬件和备品属淘汰产品难以购买,现已经或正在对计算机监控系统进行升级换代。此外,自动化元件故障占电站故障的 30% 左右,如位置开关、温度传感器、位置传感器等性能不稳定、耐震性能差或防潮、防尘效果欠佳导致不正常动作而误发指令,这些产品均经过逐步筛选、更换后,进入稳定运行状态。

与常规水电站一样,抽水蓄能电站建成后会有一个逐步稳定不断提高可靠性的过程,设备投入运行经过一个磨合期是不可避免的。虽然这些设备的制造厂都有相当丰富的经验,但在具体实施过程中有设计考虑欠周之处,也有的制造商为节约投资,偷工减料,而影响机组的可靠性。因此,在投运初期,都要花大力气进行设备消缺、填平补齐,这个过程一般需要 2~3 年,然后逐步进入稳定运行期。表 11 列出三座蓄能电站进入稳定运行期后

的 2004 年的可靠性指标。这些指标都达到了先进水平,明显优于国家标准对蓄能电站 30 天试运行考核指标的要求:发电工况启动成功率高于 95%;抽水工况启动成功率高于 90%;跳机次数少于 3 次。

表 11 稳定运行期(2004 年为例)启动成功率和等效可用率统计

电站名称		广蓄	十三陵	天荒坪
启动次数 [次/(台·年)]	发电工况	1 074	252	545
	抽水工况	789	175	260
	平均日启动次数[次/(台·日)]	5.1	1.17	2.2
启动成功率	发电工况	99.69	99.87	99.39
	抽水工况	98.76		99.1
年平均运行小时数 (h/台)	发电工况	2 294	1 237	1 485
	抽水工况	2 115	1 013	1 659
等效可用率(%)		90.74	97.34	97.9

4 结语

首批建设的广蓄一期、十三陵和天荒坪抽水蓄能电站开创了国内蓄能电站建设的新局面,三座电站的设计、施工和运行管理是成功的,为建设新的抽水蓄能电站积累了相当丰富的经验。

三座蓄能电站投运后,在各自所在的电网中发挥了积极的作用,电站的运行方式与所在电网特点和电站的经营模式相关。广蓄电站投运初期,曾采用来电加工的经营模式,为广东电网将低谷电加工为高峰电,电网按每度高峰电支付加工费。这种经营模式完全依赖于电网,不能充分发挥蓄能电站的作用。自 1995 年开始实行租赁经营,提高了电站运行方式灵活性,机组启停十分频繁,为电网启动紧急事故备用次数最多。十三陵电站由电网统一经营,由电网公司统一支付其成本、利润,并负责还本付息。电站仅负责按调度的要求运行,按来电加工方式核算电站的还贷上网电价,平摊加价到用户。电站主要担负电网的事故备用,也承担部分调峰填谷的任务,机组运行时间较少。天荒坪电站采用两部制电价,即容量电价和电量电价,由于电站收益与电量有关,因此电站除为电网应急备用外还经常处于满抽满发的状态。运行实践说明,要充分发挥蓄能电站的作用,除要求电站具有较高可靠性外,还必须有相适应的经营模式。电站经营模式的选择应该不仅能充分发挥电站潜能,有益于电网,而且也应让电站得到应有的效益。

抽水蓄能发电是一种清洁、再生能源,抽水蓄能电站的建设对环境影响比常规水电站小得多。从已建的三座电站看,由于电站的兴建,极大地改善了当地的交通、供电与通信的条件,改善了环境,建成后的电站区都成为十分幽雅的旅游胜地,每天游客川流不息,前来参观电站,体验农家乐趣。

目前,抽水蓄能电站的建设犹如雨后春笋,蓬勃开展,形势喜人。不少电网都结合自身的特点,坚持科学发展观,研究确定电网中抽水蓄能电站应有的合理比例,认真吸取已建电站的经验和教训,科学地建设新的抽水蓄能电站。

抽水蓄能电站运行管理模式浅析

华东天荒坪抽水蓄能有限责任公司 马明刚

【摘要】 本文仅就作者所了解到的国内外抽水蓄能电站的运行管理模式,从其生产准备、运行方式、调度方式、运营方式、人员编制和值班方式等方面加以介绍和分析,并供运行管理人员和关注抽水蓄能电站运行管理模式的人士共同交流和探讨。

【关键词】 抽水蓄能电站;运行管理模式;人员编制;值班方式;运行方式

1 抽水蓄能电站的发展概况

随着我国国民经济的迅猛发展,电力系统的供电形势日趋紧张,随之而来的电网容量短缺、能源结构不合理、峰谷差加大、供电质量及安全可靠性下降等问题也逐步显现。正是在这种形势下,抽水蓄能电站开始应运而生,并在我国得到了蓬勃发展。

目前,已建成并投入运行的大型抽水蓄能电站主要有广州抽水蓄能电站($8 \times 300\text{MW}$)、浙江天荒坪抽水蓄能电站($6 \times 300\text{MW}$)和北京十三陵抽水蓄能电站($4 \times 200\text{MW}$)等,其总装机容量在 $5\,700\text{MW}$ 左右,约占全部装机容量的 1.8% 。在建的大型抽水蓄能电站有山东的泰安($4 \times 300\text{MW}$)、浙江的桐柏($4 \times 300\text{MW}$)、江苏的宜兴($4 \times 250\text{MW}$)、安徽的琅琊山($4 \times 150\text{MW}$)、河北的张河湾($4 \times 250\text{MW}$)、湖北的白莲河($4 \times 300\text{MW}$)、山西的西龙池($4 \times 300\text{MW}$)、广东的惠州($8 \times 300\text{MW}$)、辽宁的蒲石河($4 \times 300\text{MW}$)、河南的宝泉($4 \times 300\text{MW}$)等,并有多处电站在选址和规划当中。

抽水蓄能电站的建成和投产对于改善系统的能源结构、调峰填谷、调频调相、事故备用,提高电网的安全经济运行和火(核)电站的综合利用率,减少能源损耗等方面均发挥了重要作用,是现代电网发展的必然产物。特别是随着目前我国各地区电网供电形势的日益严峻、系统峰谷差的逐年加大,抽水蓄能电站已成为电网不可或缺的组成部分,并发挥了举足轻重的作用和产生良好的经济效益。

2 抽水蓄能电站的结构特点和运行方式

与常规水电站相比,抽水蓄能电站在结构特点和运行方式上存在着诸多不同之处,并对抽水蓄能电站的运行管理模式的确定产生了不同程度的影响。具体说抽水蓄能电站有以下特点:

(1)设备结构复杂。由于抽水蓄能电站比常规电站多了抽水和抽水调相等工况,因而电气上存在换相问题和泵工况的启动问题,并增加了换相设备和变频启动装置(SFC)、启动母线等设备,相应的二次控制系统需要监控和调节的量更多,也更复杂,机械方面为适

应机组不同方向的旋转和高水头要求也做出了相应变化,因而检修维护和运行巡检的工作量会有所增加。

(2)地形条件和结构布置特殊。抽水蓄能电站按与常规电站的结合情况分为纯抽水蓄能电站和混合式抽水蓄能电站;按调节性能分为日调节、周调节、季调节抽水蓄能电站;按布置特点分为地面式、地下式抽水蓄能电站等。在枢纽布置上存在上、下两个水库,水工建筑物也要比常规电站复杂。

由于要兼顾发电和抽水需要,对机组水轮机的淹没深度有一定的要求,并考虑到设备的合理布局和节约成本,因而主设备(含机组和主变压器等)大都布置在山体内,同时考虑到更加有益于运行值班人员的身体健康,往往将中央集控室布置在地面。日常生产过程中,机组的开停机操作主要在中央控制室内进行,而设备的巡检操作和检修维护等工作大都要在地下厂房内进行,从工作的环境上看较为分散,对运行值班人员的配置和值班方式也提出了新的要求。

(3)机组运行工况多且开停机及工况转换频繁。常规电站的机组一般只进行发电或调相运行。而抽水蓄能机组除了发电和发电方向调相工况外,多了抽水和抽水方向调相工况,部分抽水蓄能电站还增设了线路充电(黑启动)和由抽水紧急直接转发电的特殊工况。对于电网来说,因其开机时间短,响应速度快,所以在满足负荷的迅速变化要求、应付突然的增荷、稳定周波和保证电网可靠运行等方面,可利用的调节手段更多,系统响应速度比火电机组更快。

以日调节的天荒坪抽水蓄能电站为例(图1),其典型的运行方式是“两发一抽”,每天早峰时段(8:00~12:00)发电,晚峰时段(17:00~22:00)发电,低谷时段(23:00~次日8:00)抽水,在系统迎峰度夏和供电紧张时期,有时中午和晚峰前还要各增加一次抽水,下午时段增加一次发电,以6台机组计,日机组最高启停次数达42次之多。由于机组启停过于频繁,大大地增加了检修人员的设备维护和运行人员的操作,其实际工作量与常规电站相比大幅度增加,也带来了运行管理模式的变化。

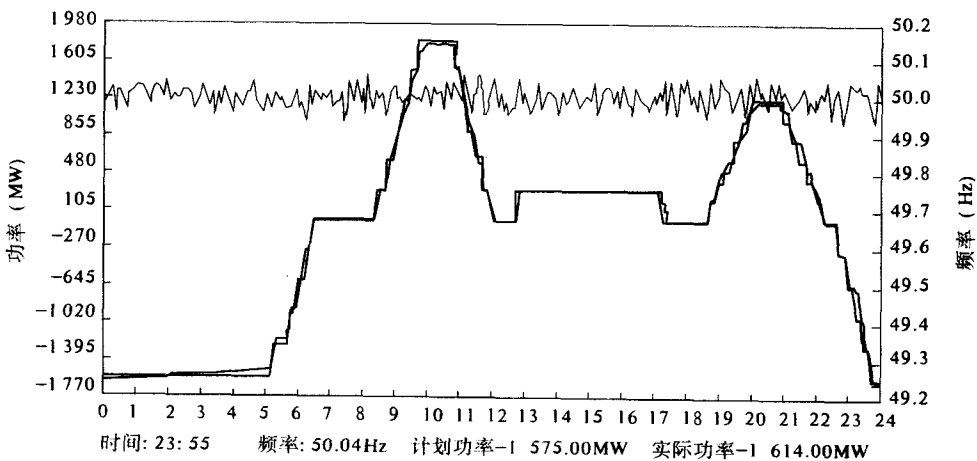


图1 天荒坪抽水蓄能电站功率曲线