

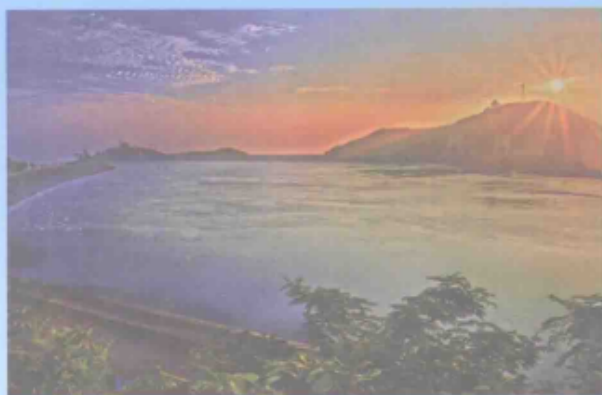
OPERATION AND MANAGEMENT
OF PUMPED STORAGE POWER PLANT

抽水蓄能电站 运行与管理

李浩良 孙华平 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社



**OPERATION AND MANAGEMENT
OF PUMPED STORAGE POWER PLANT**

ISBN 978-7-308-12190-3



9 787308 121903 >

定价：118.00元



OPERATION AND MANAGEMENT
OF PUMPED STORAGE POWER PLANT

抽水蓄能电站 运行与管理

李浩良 孙华平 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

内容提要

本书专门阐述抽水蓄能电站生产与运行的基础理论和应用技术。全书共分为六大部分 30 章, 主要内容包
括: 抽水蓄能电站作用和发展历程、系统组成及其工作原理、设备运行与维护要求、电站生产和技术管
理等。本书取材以反映目前我国已投入运行的大型抽水蓄能电站为主, 同时也适当介绍其他类型抽水蓄
能机组和国内外有关的先进技术, 并侧重于介绍抽水蓄能电站现场生产与运行管理的实际经验。

本书适合各类型抽水蓄能电站运行、维护管理人员培训学习, 也可作为从事抽水蓄能相关工作人员的
参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

抽水蓄能电站运行与管理 / 李浩良, 孙华平主编.

杭州: 浙江大学出版社, 2013. 9

ISBN 978-7-308-12190-3

I. ①抽… II. ①李… ②孙… III. ①抽水蓄能
水电站—电力系统运行—管理—技术培训—教材
IV. ①TV743

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 201764 号

抽水蓄能电站运行与管理

李浩良 孙华平 主编

责任编辑 樊晓燕

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 39.75

字 数 967 千

版 次 2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-12190-3

定 价 118.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

编审人员

编写人员(按姓氏笔画排序):

万正喜	孔令华	方军民	王亮春	王 兵	卢衍海
叶玉松	田 伟	危 伟	刘 全	沈 斌	张书友
罗华枚	陈 刚	范建强	陆 胜	杨丽君	金根明
陈学龙	项 杰	赵毅锋	姜跃东	姜泽界	郭建强
黄家贤	黄彦庆	曾 辉	楼荣武	廖文亮	

审定人员(按姓氏笔画排序):

王海涛	王春明	冯文帅	危 伟	朱东国	朱中山
吴宏炜	李建光	姜 丰	陈 鹏	陈 珏	姜泽界
郑小刚	焦修明	游光华	楼 勇	楼荣武	廖文亮

前言

我国大型抽水蓄能电站的规划和运行管理,与国外经济发达国家相比,起步虽然较晚,但发展十分迅速。20世纪90年代,随着广州一期、天荒坪和十三陵工程的相继投产与运行,国内大型抽水蓄能电站建设步伐不断加快,抽水蓄能电站运行与管理也积累了大量的经验。编者基于国内投入运行的抽水蓄能电站的运行管理的经验,尤其是以国内较为普遍的单级混流可逆式抽水蓄能机组的机型为例,收集相关的技术资料进行整理编写而成本书。

本书舍弃了深奥的理论推导,力求“通俗易懂,方便实用”,叙述简明扼要,强调实际应用。对于复杂的设备和操作,均配置了清晰的插图和表格,一目了然,易于记忆;对于日常运行中常见的运行维护、故障处理等问题,提供了典型案例及其解决途径,以便于拓宽工作思路;电站管理部分的阐述紧贴工作实际,具有较强的针对性与实践性。读者经过本书的理论培训和运行实践,能够基本掌握抽水蓄能电站的组成、各系统工作原理和生产管理流程、考核后能胜任各级运行操作任务,并能完成一般的设备检修、故障处理等工作。

全书分为六大部分,第一部分概论重点介绍了抽水蓄能电站的基本工作原理、发展过程、运行特点及其在电力系统运行中所发挥的作用;第二部分主机设备重点介绍了抽水蓄能电站水泵水轮机、发电电动机、调速器系统、主进水阀、油气水系统和金属结构等各设备基本组成、功能及工作原理、检修与运行规范及其典型故障处理分析;第三部分电气一次设备重点介绍了抽水蓄能电站升压站设备、主变压器、发电机出口设备、静止变频器和厂用电系统等各设备基本组成、功能及工作原理、检修与运行规范及其典型故障处理分析;第四部分电气二次设备重点介绍了抽水蓄能电站监控系统、电气保护系统、机组机械保护、励磁系统、直流系统、通讯系统和实时仿真系统等各设备基本组成、功能及工作原理、检修与运行规范及其典型故障处理分析;第五部分水工设施重点介绍了抽水蓄能电站主要的水工建筑物及其观测系统的组成、功能、检修运行规范及其典型故障处理分析;第六部分辅助设备重点介绍了抽水蓄能电站主要的消防、通风空调和起重设备的组成、功能、检修运行规范及其典型故障处理分析;第七部分管理重点介绍了抽水蓄能机组整组调试与调试的具体内容与流程,抽水蓄能电站事故预案、生产管理、安全管理、技术管理和检修管理的国家相关规范、具体内容及其注意事项。

本书在编写过程中,得到了国家电网新源华东天荒坪抽水蓄能有限责任公司相关人员和武汉大学蔡维由教授的大力支持,在此一并表示感谢。

本书虽然经长期调研和认真编写,但难免还存在缺点和错误,热忱欢迎广大读者批评指正。

编者

2013年8月

目 录

第 1 章 抽水蓄能电站概论	1
第 1 节 抽水蓄能资源与发展理念	1
一、抽水蓄能发展的资源问题	1
二、抽水蓄能发展的理念问题	1
第 2 节 抽水蓄能电站的工作原理、特点与类型	2
一、抽水蓄能电站的工作原理	2
二、抽水蓄能电站的工作特点	3
三、抽水蓄能电站的类型	5
第 3 节 抽水蓄能电站的发展概况与发展趋势	9
一、抽水蓄能电站概述	9
二、国外抽水蓄能电站的发展概况和建设经验	9
三、我国抽水蓄能电站的发展概况与趋势	11
第 4 节 抽水蓄能电站的结构特点和运行方式	12
第 5 节 抽水蓄能电站的发电电动机类型	13
一、发电电动机的分类	13
二、发电电动机的运行特点	14
第 6 节 抽水蓄能电站对系统的贡献	14
一、抽水蓄能电站在电网中的作用	14
二、抽水蓄能电站的经济效益和社会效益	18
第 2 章 水泵水轮机	22
第 1 节 水泵水轮机概述	22
一、水泵水轮机的作用	22
二、水泵水轮机的基本原理	22
三、水泵水轮机的类型	23
四、水泵水轮机的主要技术参数	27
五、可逆式水泵水轮机的发展趋势	30
第 2 节 水泵水轮机结构	30
一、转 轮	30
二、活动导叶及导水机构	31
三、水导轴承	32



四、主轴密封	33
五、转轴(包括中间轴)	34
六、顶盖与底环	34
七、蜗壳与座环	34
八、尾水管	34
九、水力测量系统及平压系统	35
十、机组振动监测系统	35
第3节 水泵水轮机特性	35
一、水泵水轮机的全特性及过渡过程	35
第4节 水泵水轮机运行与维护	41
一、水泵水轮机的运行	41
二、水泵水轮机巡检	42
三、水泵水轮机检修及调试	42
四、水泵水轮机典型故障分析及处理	43
第3章 发电电动机	47
第1节 发电电动机概述	47
一、作用	47
二、工作原理	47
三、特点	48
四、类型	48
第2节 发电电动机结构	51
一、定子	52
二、转子	53
三、推力轴承	55
四、导轴承	56
五、发电电动机附属设备	57
第3节 发电电动机运行	60
一、运行特性	61
二、运行的基本技术要求	61
三、运行方式	62
四、发电电动机的运行监视	63
五、发电电动机的启动、并列、负荷调整和停机	64
六、运行中常见异常现象及处理方法	64
第4节 发电电动机检修与故障	66
一、发电电动机的检修管理	66
二、发电电动机绝缘预防性试验	68
三、发电电动机典型故障	69



第4章 调速系统	71
第1节 调速系统概述	71
一、调速系统工作原理	71
二、调速器的功能与特点	74
第2节 调速系统主要结构	78
一、调速器机械液压系统	78
二、调速器电气控制系统	83
第3节 调速器系统运行与检修	89
一、调速系统运行	89
二、调速系统的检修与试验	89
三、典型故障分析与处理	91
第5章 主进水阀	93
第1节 概 述	93
一、主进水阀的作用	93
二、主进水阀的常见形式	94
三、主进水阀的主要技术参数	95
第2节 主进水阀的结构组成	97
一、阀 体	97
二、活门、阀轴和轴承	99
三、密封装置	100
四、操作机构及摇摆式接力器	103
五、旁通管和旁通阀	104
六、伸缩节	105
七、主进水阀的操作方式及操作系统	106
第3节 主进水阀的运行与维护	106
一、主进水阀的日常运行	106
二、日常维护	108
三、主进水阀检修	108
四、调整和试验	111
五、主进水阀的异常问题处理	113
第6章 油气水系统	115
第1节 供水系统	115
一、供水系统概述	115
二、供水系统的组成	116
三、供水系统的运行与维护	121
四、典型故障——技术供水泵运行异常分析处理	121



第2节 排水系统	122
一、排水系统概述	122
二、排水系统的组成	122
三、排水系统的排水方式及维护	123
四、典型故障——集水井深井泵流量异常分析处理	123
第3节 压缩空气系统	124
一、压缩空气系统概述	124
二、压缩空气系统的组成	124
三、高压气系统	125
四、中压气系统	126
五、低压气系统	127
六、典型故障——高压气系统交流电源故障分析处理	128
第4节 油系统	129
一、油系统概述	129
二、油系统的组成	129
三、油系统的主要技术参数	130
四、油系统试验项目及方法	131
五、油系统的维护与管理	132
第7章 金属结构	134
第1节 概 述	134
第2节 进出水口闸门和尾水闸门	134
一、平板闸门的特点	134
二、平板闸门的结构	135
三、上库进出水口事故闸门	136
四、尾水事故闸门	137
五、下库进出水口检修闸门	137
第3节 下水库放空阀	138
一、下水库放空设备结构及工作原理	138
二、下库放水操作步骤及注意事项	140
第4节 进出水口拦污栅	140
一、拦污栅的作用	141
二、拦污栅的结构	141
第5节 启闭机	142
一、闸门启闭机特点	142
二、液压启闭机	142
三、卷扬式启闭机	146
第6节 闸门与启闭机的安装和调试	147
一、闸门的安装与调试	147



二、启闭机安装与调试	148
第7节 闸门及启闭机的运行与维护	149
一、闸门运行方式	149
二、闸门及启闭机运行监视	149
三、日常巡检	150
四、定期维护工作	150
五、设备检修	151
六、闸门系统典型故障及处理	151
第8章 升压站设备	153
第1节 升压站设备概述	153
一、升压站设备的作用	153
二、升压站设备及形式	154
第2节 升压站设备组成	154
一、GIS	154
二、SF6 断路器	156
三、隔离开关	157
四、接地开关	157
五、电流互感器	158
六、电压互感器	158
七、避雷器	158
八、套 管	158
九、母 线	158
十、高压电力电缆	159
十一、出线场设备	160
第3节 升压站设备运行	161
一、运行操作原则	161
二、运行方式	161
三、运行监视和巡视	161
四、运行管理	163
五、运行注意事项	163
六、运行异常处理	164
第4节 升压站设备的维护与检修	165
一、日常维护	165
二、检 修	165
第5节 试 验	171
一、出厂试验	172
二、形式试验	172
三、特殊试验	172



第6节 典型故障分析及处理	173
一、开关合闸失灵	173
二、开关三相不一致动作	174
第9章 主变压器	175
第1节 概 述	175
一、变压器的用途	175
二、变压器的工作原理	175
三、电力变压器的分类	176
四、变压器的主要参数	177
第2节 电力变压器的结构	178
一、铁 芯	179
二、绕 组	180
三、绝缘结构	180
四、油箱及其他部件	181
第3节 电力变压器的安装与运行	188
一、大型油浸式变压器的安装	188
二、油浸式变压器的运行	189
三、变压器的日常巡视	191
四、运行中常见异常现象及处理方法	192
第4节 电力变压器的检修与故障	193
一、变压器的检修管理	193
二、变压器试验	194
三、常见电力变压器故障类型	197
四、典型故障	199
第10章 发电机出口设备	201
第1节 概 述	201
第2节 系统组成及介绍	201
一、发电机出口开关	202
二、换相闸刀	205
三、电气制动闸刀	205
四、启动母线闸刀	206
五、中性点设备	206
六、避雷器和电容器	206
七、电压互感器	206
八、电流互感器	207
九、励磁变压器	207
十、离相封闭母线	207



十一、接地闸刀	208
第 3 节 运行维护	208
一、日常巡检	208
二、定期维护	210
三、检 修	211
四、典型故障	215
第 11 章 静止变频器	218
第 1 节 静止变频器概述	218
一、静止变频器的作用	218
二、电动机启动方式比较	218
三、静止变频器典型分类	219
第 2 节 静止变频器的组成	222
一、功率部分	223
二、控制部分	225
三、保护部分	225
四、电源部分	225
五、辅助设备	225
第 3 节 静止变频器工作原理	226
一、可逆可控硅全控桥的基本原理	226
二、同步电动机矢量变换控制	227
三、转子位置测量	227
四、转速测量	228
五、变频启动控制	228
六、静止变频启动的低速运行阶段	230
七、静止变频启动的高速运行阶段	231
第 4 节 静止变频器的运行	232
一、运行方式	232
二、运行监视与巡检	233
三、启停流程	234
四、运行异常及处理	236
第 5 节 静止变频器的维护与调试	238
一、定期维护	238
二、定期检查与试验	238
三、预 试	238
四、调 试	239
五、典型故障——静止变频器启动机组“转子初始位置检测故障”分析及处理	241



第 12 章 厂用电系统	242
第 1 节 厂用电系统简介	242
一、厂用电概述	242
二、厂用负荷分类	242
三、厂用电电压等级的设置	243
四、厂用电接线原则	244
第 2 节 厂用电设备的组成及保护	245
一、厂用电设备的组成	245
二、厂用电系统保护	246
第 3 节 厂用电系统的运行	247
一、正常运行方式	247
二、特殊运行方式	247
三、主用电源备自投装置的运行方式	248
四、厂用 0.4kV 备自投装置的运行方式	249
五、运行操作	249
六、运行巡视、检查	250
七、运行中常见异常现象及处理方法	251
第 4 节 黑启动	252
一、概述	252
二、黑启动过程中的电压和频率控制问题	252
三、黑启动过程中的合环问题	252
四、黑启动过程对直流系统的要求	252
五、黑启动流程	253
第 5 节 厂用电系统检修与试验	254
一、厂用电系统常见故障	254
二、厂用电系统的检修管理	254
三、厂用电系统的试验	255
第 6 节 厂用电系统运行典型故障及处理	257
一、励磁变匝间短路故障	257
二、抽屉式低压配电开关电缆绝缘老化引起相间短路	257
第 13 章 抽水蓄能电站监控系统	261
第 1 节 监控系统概述	261
一、监控系统的作用	261
二、监控系统典型结构	261
三、监控系统原理	262
四、监控系统主要技术参数	262
第 2 节 电站监控系统的组成	263
一、系统控制层	263



二、电站控制层	263
三、现地控制层	264
第 3 节 监控系统的运行	264
一、控制原则	264
二、运行操作	265
第 4 节 抽水蓄能电站监控系统的维护与检修	274
一、日常巡检	275
二、定期维护	276
三、新投产监控调试与试验	278
四、典型故障分析及处理	280
第 14 章 电气保护系统	285
第 1 节 概 述	285
一、继电保护的作用	285
二、继电保护的基本原理	285
三、继电保护的组成	286
四、对继电保护的基本要求	287
五、抽水蓄能电站继电保护的的特殊性	288
第 2 节 抽水蓄能电站的继电保护	288
一、机组保护	289
二、主变保护	306
三、母线/电缆线保护 87B	312
四、线路保护	312
五、故障录波器	317
第 3 节 继电保护的运行与维护	319
一、抽水蓄能电站继电保护的运行	319
二、抽水蓄能电站继电保护的维护	320
三、继电保护异常处理原则	323
四、典型案例分析	324
第 15 章 机组机械保护	326
第 1 节 概 述	326
第 2 节 机械保护的组成及功能	326
一、机械保护传感器	327
二、机械保护跳闸矩阵	332
三、安全装置及停机程序	332
四、机械保护与电气保护、全厂紧急按钮(箱)的关系	332
第 3 节 机械保护的配置	333
一、温度保护	333



二、振动、摆度、抬机量保护	337
三、液位、压力保护	338
四、闸门保护	341
五、特殊保护	341
六、机组过速保护	342
第4节 机械保护运行和维护	342
一、运行监视和巡检	342
二、运行异常及处理	343
三、维护与试验	344
第16章 励磁系统	349
第1节 励磁系统概述	349
一、作用	349
二、分类	349
三、主要技术参数	350
第2节 励磁系统的组成	351
一、励磁功率单元	351
二、励磁调节器	358
第3节 励磁调节器的运行	362
一、励磁调节器的运行方式	363
二、励磁调节器限制器及保护	363
三、励磁系统与监控系统的接口信号	365
四、机组各种工况下励磁的动作过程	366
第4节 励磁系统的运行	368
一、运行特性	368
二、运行监视	369
第五节 励磁系统的检修与试验	370
一、维护与检修	370
二、试验	371
三、典型故障分析及处理	375
第17章 直流系统	377
第1节 概述	377
一、作用	377
二、工作原理	377
三、直流系统分类	379
四、直流系统的主要技术参数	382
第2节 系统组成	383
一、蓄电池组	383



二、充电装置	386
三、直流馈电回路	389
四、绝缘监测装置	389
第3节 直流系统的运行	390
一、运行方式	390
二、运行监视	391
三、注意事项	392
四、故障、事故处理	392
第4节 检修维护与调试	393
一、日常维护	393
二、特殊试验	394
三、设备检修工序	395
四、设备检修项目及周期	397
第18章 通信系统	400
第1节 概 述	400
一、电力线载波系统	400
二、数字光纤系统	400
三、程控交换机系统	401
四、电源系统	401
第2节 系统组成	401
一、基本组成	401
二、每种通信设备的具体配置情况	402
第3节 运行维护	410
一、电力线载波系统	411
二、程控交换机系统	412
三、通信电源	412
第19章 生产过程实时与仿真系统	415
第1节 概 述	415
第2节 生产过程实时监视系统	415
一、SIS系统的组成	415
二、实时系统与监控系统比较	421
三、生产过程实时系统技术指标	421
四、生产过程实时系统维护与应用	422
第3节 抽水蓄能电站仿真培训系统	423
一、整体概述	423
二、抽水蓄能仿真培训系统仿真对象	423
三、机组模型各工况的转换	425