

THE TRAINING COURSE FOR
THE TECHNOLOGY OF OPERATION AND MAINTENANCE
OF PUMPED STORAGE POWER PLANT

抽水蓄能运维技术 培训教程

◎ 冯伊平 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

抽水蓄能运维技术培训教程

冯伊平 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

抽水蓄能运维技术培训教程 / 冯伊平主编. —杭州:
浙江大学出版社, 2016.5

ISBN 978-7-308-15551-9

I. ①抽… II. ①冯… III. ①抽水蓄能水电站—技术
培训—教材 IV. ①TV743

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 318283 号

抽水蓄能运维技术培训教程

冯伊平 主编

责任编辑 樊晓燕(fxy@zju.edu.cn)

责任校对 余梦洁 丁佳雯

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 杭州日报报业集团盛元印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 26

字 数 633 千

版 次 2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-15551-9

定 价 80.00 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中心联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

编写人员名单

主 编 冯伊平

编写组	李浩良	孙华平	朱兴兵	孔令华	姜 丰
	王良生	万正喜	赵毅锋	郑小刚	朱东国
	廖文亮	叶 林	杨众杰	张明雷	朱德全
	吴军锋	王春明	郁小彬	韩时勋	晁新刚
	冯海超	邹中林	周俊杰	马 飞	

前言

随着国家“节约、清洁、安全”能源战略的推进实施,电力系统规模不断扩大,并逐渐形成了以特高压电网为骨干网架、以输送清洁能源为主导的能源互联网,电网安全可靠成为高度关注以及需要首先解决的问题。抽水蓄能技术的发展正是保证清洁能源大规模开发和电网安全可靠和经济运行的关键,它可以使得电力实时平衡的“刚性”电力系统变得更加“柔性”,特别是可以平抑大规模可再生能源接入电网带来的波动性,提高电网的安全性、经济性和灵活性。

研究及应用表明,抽水蓄能电站是电力系统中最可靠、寿命周期最长的储能装置,它既是新能源发展的重要组成部分,也是目前发展清洁能源最可靠的保障。根据电力发展的需要和抽水蓄能产业发展的要求,国家提出“适度加快抽水蓄能电站发展”的要求,明确了今后十年抽水蓄能电站发展的主要目标:到2025年全国抽水蓄能电站总装机容量将达到约1亿千瓦,占全国电力总装机的比重达到4%左右。

面对国家宏观政策环境、能源发展格局、行业发展态势正在发生的深刻变化,抽水蓄能产业迎来了重要的战略机遇期,同时将需要一大批专业的抽水蓄能电站运维人员。为了加快抽水蓄能运维人员的培养和梯队建设,编者在总结和提炼多年来的抽水蓄能运维及培训经验的基础上,编写了本书。全书根据抽水蓄能电站设备及运维业务的内容共分为24章。大部分章分为四部分:第一部分为概述,对本章内容进行简单介绍,结合抽水蓄能电站设备的特点,说明抽水蓄能电站运维工作需要重点关注的方面;第二部分为培训纲要,包括设备的熟悉(设备的原理、结构、图纸、规范及现场)、运行监视、操作与隔离要点、设备故障处理、设备维护等内容,并对要点进行了简要的说明;第三部分为典型故障案例,帮助学员深入了解抽水蓄能电站实际运维工作;第四部分为题库,是培训要点的具体体现及延伸。全书理论联系实际,以实用为要,采取简洁的形式突出抽水蓄能运维技术的培训要点。

本书主要面向抽水蓄能电站运维人员及抽蓄基建单位生产准备人员,也可作为水电工程技术有关人员的学习参考书。

本书内容虽经过多年的实际运用,但肯定存在不足之处,欢迎广大读者批评指正。

编者

2016年4月

目 录

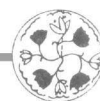
第 1 章 抽水蓄能电站概论	1
第 1 节 概 述	1
第 2 节 培训纲要	3
第 3 节 习 题	5
第 2 章 水泵水轮机	12
第 1 节 概 述	12
第 2 节 培训纲要	13
第 3 节 典型故障案例	24
第 4 节 习 题	29
第 3 章 发电电动机	40
第 1 节 概 述	40
第 2 节 培训纲要	41
第 3 节 典型故障案例	51
第 4 节 习 题	55
第 4 章 调速系统	68
第 1 节 概 述	68
第 2 节 培训纲要	69
第 3 节 典型故障案例	79
第 4 节 习 题	82
第 5 章 主进水阀	89
第 1 节 概 述	89
第 2 节 培训纲要	90
第 3 节 典型故障案例	98
第 4 节 习 题	100
第 6 章 油气水系统	106
第 1 节 概 述	106



第2节 培训纲要	107
第3节 典型故障案例	113
第4节 习 题	115
第7章 金属结构	122
第1节 概 述	122
第2节 培训纲要	123
第3节 典型故障案例	129
第4节 习 题	130
第8章 升压站设备	136
第1节 概 述	136
第2节 培训纲要	137
第3节 典型故障案例	143
第4节 习 题	146
第9章 主变压器	153
第1节 概 述	153
第2节 培训纲要	154
第3节 典型故障案例	164
第4节 习 题	166
第10章 发电机出口电气设备	177
第1节 概 述	177
第2节 培训纲要	178
第3节 典型故障案例	185
第4节 习 题	188
第11章 静止变频器	195
第1节 概 述	195
第2节 培训纲要	196
第3节 典型故障案例	206
第4节 习 题	208
第12章 厂用电系统	217
第1节 概 述	217
第2节 培训纲要	218
第3节 典型故障案例	225
第4节 习 题	227



第 13 章 监控系统	234
第 1 节 概 述	234
第 2 节 培训纲要	235
第 3 节 典型故障案例	248
第 4 节 习 题	251
第 14 章 电气保护和安全自动装置	262
第 1 节 概 述	262
第 2 节 培训纲要	263
第 3 节 典型故障案例	272
第 4 节 习 题	274
第 15 章 机械保护	283
第 1 节 概 述	283
第 2 节 培训纲要	284
第 3 节 典型故障案例	290
第 4 节 习 题	292
第 16 章 励磁系统	297
第 1 节 概 述	297
第 2 节 培训纲要	298
第 3 节 典型故障案例	306
第 4 节 习 题	308
第 17 章 直流系统	315
第 1 节 概 述	315
第 2 节 培训纲要	316
第 3 节 典型故障案例	321
第 4 节 习 题	323
第 18 章 通信系统	328
第 1 节 概 述	328
第 2 节 培训纲要	328
第 3 节 典型故障案例	331
第 4 节 习 题	332
第 19 章 生产过程实时与仿真系统	336
第 1 节 概 述	336



第2节 培训纲要	337
第3节 习 题	339
第20章 水工建筑物	341
第1节 概 述	341
第2节 培训纲要	342
第3节 典型故障案例	347
第4节 习 题	350
第21章 消防及通风空调系统	358
第1节 概 述	358
第2节 培训纲要	359
第3节 典型故障案例	363
第4节 习 题	366
第22章 机组整组调试与试验	371
第1节 概 述	371
第2节 培训纲要	372
第3节 习 题	384
第23章 事故应急处理	391
第1节 概 述	391
第2节 培训纲要	392
第3节 习 题	395
第24章 运检管理	402
第1节 概 述	402
第2节 培训纲要	403
第3节 习 题	406

抽水蓄能电站概论

第 1 节 概 述

一、抽水蓄能电站概述

抽水蓄能电站运行灵活、反应快速,是电力系统中具有调峰、填谷、调频、调相、事故备用和黑启动等多种功能的特殊电源,是目前最具经济性的大规模储能设施。

抽水蓄能电站是根据能量转换原理进行工作的,其机组一般由可逆式水泵水轮机与发电电动机组成。一般情况下,在电力系统负荷为低谷时,机组作为水泵运行,利用系统多余的电能将下水库的水抽到上水库中,将电能转换为水的势能贮存起来;在电力系统负荷为高峰时,机组作为发电机运行,将上水库的水放下来发电,以补充系统不足的尖峰容量和电能,满足系统调峰需求。

1. 抽水蓄能电站的作用

目前国内各大电网均为跨省(市)电网,随着特高压、巨型电站的建设投运和全网智能化程度的提高,电网正在向现代化的大电网迈进。但基于电网以火电为主的电源结构和跨网输送电力的不断增加,全网峰谷差日益增大,调峰任务极为严峻。特高压直流闭锁后的电网频率稳定问题使电网面临重大安全风险。抽水蓄能电站已成为现代化电网不可或缺的调峰手段,它可以在下列四个方面发挥良好作用。

(1) 承担电网调峰填谷任务

抽水蓄能电站在电力系统出现峰荷时,可像常规水电站一样发电,承担系统高峰负荷,起到调峰作用;而在系统负荷低谷时,抽水蓄能电站又可作为泵站,利用系统多余的电能抽水,使火电、核电机组的出力不降低或少降低,保持机组运行平稳,起到填谷作用。

这种既调峰又填谷的双重作用,是抽水蓄能电站特有的功能,其他电源是无法替代的。而常规水电站,虽然可以承担调峰任务,但不能起填谷作用。以天荒坪抽水蓄能电站为例,其装机容量 1800MW,可承担 3600MW 的调峰、填谷任务,调峰能力与 8 个装机容量



1800MW 的火电厂的调峰能力相当(火电调峰率按 25% 考虑)。

(2) 担任系统事故备用和黑启动电源

抽水蓄能电站是电力系统最理想的备用电源。抽水蓄能机组启动迅速、运行灵活、升负荷速度快、调荷幅度大。在发电工况下,能快速跟踪系统负荷变化,起到旋转备用(备用)的作用。在静止工况下,当遇到系统中突发事件停机、特高压直流闭锁时,机组能在 2~3min 内从启动到带满负荷,顶替事故停运机组工作,使系统迅速恢复正常供电。即使在抽水工况下,当遇到系统中其他机组跳闸甩负荷特高压直流闭锁等紧急情况时,抽水蓄能机组会自动切泵而停止抽水,或由抽水工况直接转换成发电工况,迅速补充系统中容量、电量的缺额,防止事故进一步扩大。

(3) 参与系统调频调相,保证系统供电电能的质量,维护系统稳定

电力系统的频率和电压是标志电能质量的两个基本指标。当电力系统的运行频率和电压超过允许偏差时,不仅会影响用户设备的安全运行,而且可能造成减产和废品,还影响系统的安全运行,甚至酿成全网性崩溃瓦解事故,造成严重损失。

抽水蓄能电站自动化程度高,机组承卸负荷迅速灵活,能对负荷的随机、瞬间变化做出快速反应,并具有很强的应付突升负荷的能力。当电力系统周波偏离正常值时,它能立即调整周波,使之维持在正常范围之内,而火电燃煤机组则远远适应不了负荷陡升陡降。例如,300MW 火电燃煤机组的爬峰速度每分钟仅为其容量的 1%,机组全部投入需 100min。而抽水蓄能机组的爬峰能力就快得多,如天荒坪抽水蓄能电站一台机组全部投入约需 120s,其爬峰能力约为火电燃煤机组的 50 倍。火电燃气机组虽然承载负荷反应快,但其不能起到填谷作用。

抽水蓄能电站的同步发电机在没有发电和抽水任务时可用来调相。由于电站接近负荷中心,控制操作方便,对改善电网的电压稳定十分有利。

可见,抽水蓄能电站对保证电网供电电能质量、维持系统稳定具有举足轻重的作用。

(4) 配套核能和新能源的开发利用

抽水蓄能电站是电力系统最有效的调节电源。大容量的核电机组最适宜以额定出力稳定运行,为此,必须由抽水蓄能电站配合才能保证系统的供需平衡;网外输来的电能必须得到网内蓄能电站的支持才能很好利用;太阳能、风能和潮汐能等再生能源,都是受天然条件制约的随机性、间歇性能源,从目前技术水平而言,必须有抽水蓄能电站与之配套运行,才能有效地解决它们在运行过程中导致的系统电能余缺矛盾,以满足用户的需求和有效地利用这些能源。抽水蓄能电站与太阳能、风能、潮汐能发电站配套运行,可提高电网对上述随机性、间歇性电能的消纳能力,对开发利用清洁能源、改善电力结构意义重大。

随着特高压输电线路的建设,跨电网大容量输电已经成为现实,抽水蓄能电站能很好地消纳区外输电,对特高压电网起到稳定作用。

2. 抽水蓄能电站的特点

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,同时它又和常规水电厂存在很多共同点,因此可以说它立足于常规水电站,又脱胎换骨于常规水电站,也因此对抽水蓄能电站的运行管理模式的确立产生了不同程度的影响。具体说抽水蓄能电站主要有以下特点。



(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,因而在电气方面存在换相和泵工况的启动问题,并因此增加了换相设备和变频启动装置(SFC)、启动母线等设备,相应的二次控制和保护系统等需要监控和调节的量更多也更复杂。同时,为了适应机组旋转方向的不同和高水头的要求,在机械方面也做出了相应变化。

(2) 水工建筑、地形条件和结构布置特殊

抽水蓄能电站一般有上、下两个水库,具有水头较高、水位变幅大、地下式厂房(也有少数抽水蓄能电站采用半地下厂房,当常规机组与蓄能机组位于同一厂房时可以是地面厂房)等特点。其对无天然来水补充水量的水库库盆防渗要求特别严格,并在地形条件与引水道的设计施工方面有着特殊要求。由于要兼顾发电和抽水需要,对水泵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)大都布置在山体内。

(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和发电调相运行。而抽水蓄能机组除了发电和发电调相工况外,增加了抽水和抽水调相工况,部分抽水蓄能电站还增设了热备用、线路充电(黑启动)等特殊工况。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、稳定周波和保证电网可靠运行等方面,可利用的调节手段多,系统响应速度快。

以国内大型6台单机容量为300MW的日调节抽水蓄能电站为例,典型的运行方式是“每天两发一抽”,即早峰8:00—12:00发电,晚峰17:00—22:00发电,低谷23:00至次日6:00抽水。而在电力系统迎峰度夏(冬)和供电紧张时期,运行方式调整为“每天三发两抽”或“每天两发两抽”,即在中午或晚峰前负荷相对低时增加抽水,从而可大大增加晚峰时段的发电负荷。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、负荷调整过于频繁,大大地增加了运维人员的工作量,其实际工作量与常规电站相比大幅度增加,也带来了运检管理模式的变化。

二、主要内容

本章要重点掌握的内容有:抽水蓄能电站的工作原理、作用及特点;抽水蓄能电站类型及其运行方式;抽水蓄能电站水工建筑物的组成及枢纽布置情况;抽水蓄能电站的设备组成及其特有的设备。

第2节 培训纲要

一、抽水蓄能电站工作原理及作用

1. 熟悉抽水蓄能电站的工作原理

抽水蓄能电站是根据能量转换原理进行工作的。在电力系统负荷为低谷时,机组作为



水泵运行,利用系统多余的电能将下水库的水抽到上水库中,将电能转换为水的势能贮存起来;在电力系统负荷为高峰时,机组作为发电机运行,将上水库的水放下来发电,以补充系统不足的尖峰容量和电能,满足系统调峰需求。

2.掌握抽水蓄能电站的作用

抽水蓄能电站的作用包括调峰填谷、事故备用、调频调相、黑启动等。

3.熟悉抽水蓄能电站的工作特点

抽水蓄能电站的工作特点包括水头高、效益种类多、启动频繁等。

4.了解抽水蓄能电站综合效率的概念

抽水蓄能电站综合效率的定义式为

$$\text{抽水蓄能电站综合效率} = \text{输送给系统的功率} \div \text{从系统输入的功率}$$

5.了解抽水蓄能电站的经济与社会效益

抽水蓄能电站的经济与社会效益包括静态效益:容量效益、节煤效益;动态效益:调频效益、负荷跟踪效益、旋转备用效益、调相效益、系统运行可靠性效益等。

6.熟悉抽水蓄能电站的类型

- (1)按电站有无常规发电功能分类(纯抽水蓄能、混合式)。
- (2)按水库调节性能分类(日调节、周调节、季调节型)。
- (3)按站内的抽水蓄能机组类型分类(四机分置式、三机串联式、两机可逆式)。
- (4)按布置特点分类(按水工建筑物与地面所处的相对位置可分为地面式、地下式;按厂房在输水系统中的位置可分为首部式、中部式、尾部式)。

二、抽水蓄能电站的组成及特点

1.熟悉抽水蓄能电站枢纽布置情况

抽水蓄能电站枢纽包括上水库、下水库、输水系统、地下厂房、升压变电系统等。

2.熟悉抽水蓄能电站特有的设备

抽水蓄能电站特有的设备包括水泵水轮机、发电电动机、换相闸刀、静止变频器、启动母线等。

3.熟悉抽水蓄能电站的特点

抽水蓄能电站的特点主要指地形条件和枢纽布置特殊、设备结构复杂、机组工况多及启停频繁等。

4.熟悉抽水蓄能电站与常规水电站的不同之处

抽水蓄能电站与常规水电站的不同之处包括运行方式:系统低负荷时抽水、高负荷时发电;经济效益核算:没有两部制电价,即容量电价和电量电价。

5.熟悉电网典型负荷曲线

结合电站日负荷计划曲线,上、下水库水位曲线熟悉抽水蓄能电站典型的运行方式,例



如每日两发一抽、三发两抽等。

三、抽水蓄能电站发展概况与发展趋势

- (1)了解国外抽水蓄能电站发展情况。
- (2)了解我国抽水蓄能电站发展情况,了解国内已建、待建和正在建设的抽水蓄能电站概况。
- (3)了解抽水蓄能电站选址要求(在电网中的位置、地理位置、地形地质条件、工程水文条件等)。
- (4)了解抽水蓄能电站电价模式(两部制电价、单一制峰谷电价及租赁电价),了解两部制电价构成(容量电价、电量电价),了解国家关于抽水蓄能价格机制的相关要求。
- (5)了解国家抽水蓄能电站发展规划。
- (6)了解抽水蓄能电站的建设程序。

第3节 习 题

一、填空题

- 1.抽水蓄能电站在电网中主要的作用有____、事故备用、调频调压、黑启动等。
- 2.抽水蓄能电站的机组在系统低谷时作为水泵运行,将____水库的水抽到____水库中,将这部分水量以____形式储存起来。系统高峰时,抽水蓄能机组作为发电运行,将____水库的水放下来发电。
- 3.抽水蓄能机组由可逆式水泵水轮机与____组成,它与常规水电站不同之处在于不仅能像常规水电站一样发电,还能像水泵站那样抽水。
- 4.抽水蓄能电站比常规电站多了抽水和抽水调相等工况,因而在电气方面存在____和泵工况启动的问题,并因此增加了换相设备和变频启动装置、启动母线等设备。
- 5.抽水蓄能电站水工建筑物一般包括上水库、下水库、____、地下厂房等。
- 6.厂房从设备布置、运行要求空间划分为____、副厂房、安装场。
- 7.上游水库一般控制在____以下,以保证大坝和水工建筑物的安全,又避免上游淹没损失。
- 8.抽水蓄能电站不仅能供给电网电能进行调峰,而且也可以消耗电网的电能用于抽水,进行____。
- 9.电力系统的电能质量标准有三个方面:一是____在规定的范围内并保持稳定;二是频率在规定的范围内并保持稳定;三是电能供应充分并有高度的可靠性。
- 10.按水库调节性能来分类,抽水蓄能电站可以分为____调节抽水蓄能电站、周调节抽水蓄能电站、季调节抽水蓄能电站。



11. 抽水蓄能电站在电力系统中具有_____、调频、调相、紧急事故备用和_____等多种功能。
12. 水力发电需要有两个最基本的条件,一是要有_____,另一个是要有集中落差。
13. 抽水蓄能电站的经济效益分为静态效益和_____两类。

二、判断题

1. 当抽水蓄能电站的要求发电量 E_T 一定时,上、下水库之间的水位高程差 H 越大,则所需要的蓄能库容 V 越小,也就是水库和输水管道的建设投资越省,所以抽水蓄能电站应向高水头方向发展。 ()
2. 抽水蓄能电站启动迅速、运行灵活,能有效调节系统的供需平衡,是系统最有效的调节电源。 ()
3. 抽水蓄能电站是 4 度电换 3 度电的调峰电源,其经济效益较低。 ()
4. 抽水蓄能机组能提高火电机组和核电机组等的运行效率,改善其运行条件,减少其设备启停次数,大大降低设备的故障率和运行费用。 ()
5. 由于防止气蚀的要求,一般抽水蓄能机组淹没深度较大。 ()
6. 抽水蓄能电站地下厂房不属于水工建筑物。 ()
7. 抽水蓄能机组具有调节电网负荷峰谷变化、提供紧急备用、稳定系统频率等功能。 ()
8. 混合式抽水蓄能电站上水库具有天然径流汇入,来水流量已达到能安装常规水轮发电机组的要求。 ()
9. 抽水蓄能机组在水泵和发电这两个工况下,机组转向不变。 ()
10. 与常规水电机组相比,抽水蓄能可逆式机组多了抽水和抽水调相等工况,相应的二次控制及保护系统更为复杂。 ()

三、简答题

1. 简述抽水蓄能的概念。
2. 简述抽水蓄能电站的工作原理。
3. 简述抽水蓄能电站类型。
4. 简述抽水蓄能电站的枢纽及设备组成。
5. 简述抽水蓄能电站的特点。
6. 简述抽水蓄能电站与常规电站在设备结构上的主要区别。
7. 简述抽水蓄能电站在增进能源利用上的作用。
8. 简述纯抽水蓄能电站的特点。
9. 简述混合式抽水蓄能电站的特点。
10. 简述怎样计算抽水蓄能电站的综合效率。



四、综合题

- 1.叙述抽水蓄能电站选点规划的原则。
- 2.结合抽水蓄能特点叙述抽水蓄能电站的作用。
- 3.请叙述日调节抽水蓄能电站与周调节抽水蓄能电站运行方式的区别。
- 4.叙述抽水蓄能电站工程的特点。
- 5.抽水蓄能电站有哪些方面的动态效益?如何认识抽水蓄能电站的经济合理性?

参考答案

一、填空题

- | | | |
|------------|---------|----------|
| 1.调峰填谷 | 6.主厂房 | 10.日 |
| 2.下;上;势能;上 | 7.正常高水位 | 11.调峰;填谷 |
| 3.发电电动机 | 8.填谷 | 12.流量 |
| 4.换相 | 9.电压 | 13.动态效益 |
| 5.输水系统 | | |

二、判断题

- 1.√ 2.√ 3.× 4.√ 5.√ 6.× 7.√ 8.√ 9.× 10.√

三、简答题答题要点

1.抽水蓄能电站是为了解决电网高峰、低谷之间的供需矛盾而建立的,是间接储存电能的一种方式。它在用电低谷时用过剩电力将水从下水库抽到上水库储存起来,然后在用电高峰时将水放出发电,并流入下水库。在整个运作过程中,虽然部分能量会在转化间流失,但相比之下,使用抽水蓄能电站仍然比增建煤电发电设备来满足高峰用电而在低谷压负荷、停机这种情况来的便宜,效益更佳。除此以外,抽水蓄能电站还能担负调频、调相和事故备用等动态功能。所以,抽水蓄能电站是电网运行管理的重要工具,是确保电网安全、经济、稳定生产的支柱,发展抽水蓄能电站是非常必要的。

2.抽水蓄能电站是根据能量转换原理进行工作的。抽水蓄能机组由可逆式水泵水轮机与发电电动机组成,在电力系统负荷为低谷时作为水泵运行,利用系统多余的电能将下水库的水抽到上水库中,将电能转换为水的势能贮存起来;在电力系统负荷为高峰时,机组作为发电机运行,将上水库的水放下来发电,满足系统的调峰需求。



3.按电站有无常规发电功能分为纯抽水蓄能电站和混合式抽水蓄能电站;按水库调节性能分为日调节抽水蓄能电站、周调节抽水蓄能电站、季调节抽水蓄能电站;按站内安装的抽水蓄能机组的类型分为四机分置式、三机串联式和二机可逆式;按地下厂房布置特点分为首部式、中部式、尾部式。

4.抽水蓄能电站枢纽主要由上水库、下水库、输水系统、地下厂房、升压变电系统等组成,设备主要由电气一次设备、电气二次设备、机械设备及辅助设备组成。

5.抽水蓄能电站的特点有:机组运行工况多且开停机及工况转换频繁;设备结构复杂;地形条件和结构布置特殊,有上、下两个水库,具有水头较高、水位变幅大、地下式厂房等特点。

6.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,因而在电气方面存在换相和泵工况启动问题,并因此增加了换相设备和变频启动装置 SFC、启动母线等设备,相应的二次控制和保护系统等需要监控和调节的量更多也更复杂。同时,为了适应机组旋转方向的不同和高水头的要求,在机械方面也做出了相应的变化,因而检修维护和运行巡检的工作量也会有所增加。

7.抽水蓄能电站的调峰填谷效益主要体现在提高电网中火电及其他能源的负荷率,使火电和其他电源的能量得到更充分的利用。电网中有了抽水蓄能电站,可使火电尽可能承担负荷曲线图上的基本负荷和部分腰荷,从而使火电机组安全、稳定地运行,提高了利用小时,并减少频繁启动,从而可节约能源、降低煤耗;使核电站可担任基本负荷,稳定运行,借以提高电网和核电站本身的经济性和安全性;使水电比重较大的电网可减少常规水电站汛期的弃水调峰,借以提高水能资源的利用率;使风电比重较大的电网可增加系统吸收的风电电量,使随机的不稳定的风电电能变成可随时、调用的可靠电能。总之,有了抽水蓄能电站后,可使火电和其他类型电源所发电量的利用率都得到提高,也使电能的质量提高了。

8.纯抽水蓄能电站的特征是只有很少甚至没有天然径流进入上水库,在调节时段内水量通过引水系统和厂房在上、下水库之间往复循环,只需为了抵消蒸发和渗漏的损失,补充少量水源,厂房内安装的机组全部是抽水蓄能机组。纯抽水蓄能电站要求有足够的蓄能库容,在建设时,有的利用现有水库作为上水库(或下水库),新建另一水库、引水系统和厂房;也有的没法利用现有水库,完全依靠新建上、下两个水库,以及引水系统和厂房。纯抽水蓄能电站一般选择在负荷中心或重要的电源点附近,以减少电站在送电和受电时输电线路的电能损失。

9.结合常规水电站的新建、改建或扩建,加装抽水蓄能机组,即构成混合式抽水蓄能电站。厂房内的机组,有的是常规水轮发电机组,有的则是可逆式抽水蓄能机组。其上水库有天然径流汇入,产生的电能分为两部分,一部分为天然径流发电,另一部分为抽水蓄能发电。混合式抽水蓄能电站整体布置与一般的常规水电站相似,只是需要在电站下游建筑一个具有相应库容的下水库,在发电厂房内增装蓄能机组(需要比常规机组进行更大的挖深)。蓄能机组水头受常规水电机组水头的限制,有可能比较低。

10.抽水蓄能电站的抽水电量将大于所发电量,即在实现能量转换时存在着能量损失。在一个循环运行过程中,发电工况下输水系统、水轮机、发电机和主变压器工作效率的乘积与抽水工况下主变压器、电动机、水泵和输水系统工作效率乘积的比值称为抽水蓄能电站的综合效率,是衡量其技术经济特性的重要指标。对于已运行的抽水蓄能电站,常用所发