

高等院校水利水电类规划教材

抽水蓄能电站技术

高传昌 汪顺生 李君 刘新阳 编



黄河水利出版社

CHOUSHUI XUNENG DIANZHAN JISHU

策划编辑 李洪良
责任编辑 王燕燕
 赵红菲
封面设计 何 颖
责任校对 刘红梅
责任监制 常红昕

ISBN 978-7-5509-0101-8



定价：38.00元

高等院校水利水电类规划教材

抽水蓄能电站技术

高传昌 汪顺生 李 君 刘新阳 编

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是华北水利水电学院规划教材。书中介绍了抽水蓄能电站的基本原理、规划和运行的基本知识。全书共分9章,内容包括:抽水蓄能电站的基本原理与发展、电力系统与抽水蓄能电站、抽水蓄能电站站址规划、抽水蓄能电站的动能规划、水泵水轮机、电动发电机、抽水蓄能电站的水工建筑物、抽水蓄能电站的运行和经济评价。

本书可作为高等院校水利水电类本科教材,也可供从事或涉及抽水蓄能电站规划、设计、建设、管理的工程技术人员和高等院校教师、研究生学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

抽水蓄能电站技术/高传昌等编. —郑州:黄河水利出版社,2011.8
高等院校水利水电类规划教材
ISBN 978-7-5509-0101-8

I. ①抽… II. ①高… III. ①抽水蓄能水电站—高等学校—教材 IV. ①TV743

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第170960号

策划编辑:李洪良 电话:0371-66024331 邮箱:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm×1092 mm 1/16

印张:16

字数:370千字

印数:1—1 000

版次:2011年8月第1版

印次:2011年8月第1次印刷

定价:38.00元

前 言

抽水蓄能电站是一种具有启动快、负荷跟踪迅速和快速反应的特殊电源,既是一个电站又是一个电网管理的工具,具有发电、调峰、填谷、调频、调相、旋转备用、事故备用和黑启动等多种功能,同时有节约能源和保护环境的特点,已经成为我国电力系统的一个重要组成部分。现在全国已建成抽水蓄能电站 20 座,装机容量 1 184.5 万 kW,在建电站 11 座,总规模 1 308 万 kW;2020 年和 2030 年预计我国抽水蓄能电站的合理规模应分别达到 8 000 万 kW 和 1.2 亿~1.4 亿 kW。

抽水蓄能电站利用调峰填谷性能可以降低电力系统峰谷差,提高电网运行的平稳性,有效地减少电网拉闸限电次数,减少对企业和居民等广大电力用户生产和生活的影响;抽水蓄能电站启停灵活、反应快速,具有在电力系统中担任紧急事故备用和黑启动等任务的良好动态性能,可有效提高电力系统安全稳定运行水平;抽水蓄能电站跟踪负荷迅速,能适应负荷的急剧变化,是电力系统中灵活可靠的调节频率和稳定电压的电源,可有效地保证和提高电网运行频率、电压稳定性;建设适当规模的抽水蓄能电站与核电站配合运行,可解决核电站在基荷运行时的调峰问题,提高核电站的运行效益和安全性;抽水蓄能电站作为储能装置,具有转换能量快、储存规模大、转换效率高和机动灵活的调节性能,充分吸纳不稳定和不连续的风力及太阳能发电电源等清洁能源上网,提高输电线路经济性;抽水蓄能电站启停迅速、运行方式灵活,是实现高效智能电网调度的可靠保证,是坚强智能电网建设的重要组成部分,迫切需要在不同电压等级、不同电网结构、发输配电的各个环节配置不同调节性能、不同规模大小的抽水蓄能电站,满足经济社会发展对电力系统提出的更高要求。我国的抽水蓄能事业方兴未艾,必将在 21 世纪有更快、更大的发展。蔚蓝天空下,青山绿水中,抽水蓄能电站那一双双蔚蓝色的眼睛,将更加清澈,更加明亮。

本教材从专业教学要求出发,力求加强基本理论、基本概念和基本技能等方面的阐述,同时注意反映抽水蓄能电站技术的新发展和新成就。全书共分 9 章,包括抽水蓄能电站的基本原理与发展、电力系统与抽水蓄能电站、抽水蓄能电站站址规划、抽水蓄能电站主要参数选择、水泵水轮机、电动发电机、抽水蓄能电站的水工建筑物、抽水蓄能电站的运行和抽水蓄能电站经济评价。其中,第二章和附录由高传昌编写,第一章、第三章、第四章由汪顺生编写,第五章、第六章由李君编写,第七章、第八章、第九章由刘新阳编写;全书由高传昌统稿。

在本教材编写过程中,主要参考和引用了陆佑楣、潘家铮主编的《抽水蓄能电站》,梅祖彦编著的《抽水蓄能发电技术》,董述春、张德旺编写的《抽水蓄能电站》,王永华主编的《抽水蓄能电站规划及运行》和张克诚编著的《抽水蓄能电站水能设计》等书和国内外有关抽水蓄能技术的文献,并在文后列出了主要参考文献,对这些参考书和有关文献的作者,在此表示衷心的感谢。

本教材的编写得到了华北水利水电学院教务处的全力支持及华北水利水电学院规划

教材和河南省水力发电动力工程教学团队资金的资助,黄河水利出版社为本教材的出版付出了辛勤的劳动,研究生苏泊源、刘彩萍、李兴敏、赵楠等参与了本教材的文字图表处理等工作,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者
2011年7月

目 录

前 言

第一章 抽水蓄能电站的基本原理与发展	(1)
第一节 抽水蓄能电站的基本原理及组成	(1)
第二节 抽水蓄能电站的开发方式和分类	(3)
第三节 抽水蓄能电站的工作特性	(9)
第四节 抽水蓄能电站发展概况与趋势	(12)
思考题	(18)
第二章 电力系统与抽水蓄能电站	(19)
第一节 电力系统概述	(19)
第二节 电力负荷	(25)
第三节 能源概述及各类发电厂的特点	(31)
第四节 电力系统运行	(38)
第五节 抽水蓄能电站在电力系统中的作用及经济性	(43)
思考题	(48)
第三章 抽水蓄能电站站址规划	(49)
第一节 抽水蓄能电站的建设条件	(49)
第二节 站址普查	(56)
第三节 站址选择	(57)
第四节 抽水蓄能电站的建设与环境问题	(61)
思考题	(63)
第四章 抽水蓄能电站的动能规划	(64)
第一节 抽水蓄能电站的主要参数	(64)
第二节 上、下水库参数的计算与选择	(69)
第三节 输水道直径选择	(73)
第四节 水泵水轮机额定水头选择	(78)
第五节 装机容量选择	(80)
思考题	(89)
第五章 水泵水轮机	(90)
第一节 水泵水轮机概述	(90)
第二节 水泵水轮机特性	(100)
第三节 水泵水轮机选型	(123)
思考题	(134)

第六章 电动发电机	(135)
第一节 电动发电机的类型与特点	(135)
第二节 电动发电机的主要参数	(137)
第三节 电动发电机的结构与通风冷却方式	(141)
第四节 电动发电机的启动与机组的电气制动	(147)
第五节 可变转速电动发电机及容量选择	(157)
思考题	(160)
第七章 抽水蓄能电站的水工建筑物	(161)
第一节 抽水蓄能电站的水工建筑物及其特点	(161)
第二节 抽水蓄能电站的布置形式	(162)
第三节 水库及挡水、泄水建筑物	(164)
第四节 抽水蓄能电站的进出水口和拦污栅	(166)
第五节 抽水蓄能电站的输水建筑物	(169)
第六节 抽水蓄能电站的厂房	(180)
思考题	(193)
第八章 抽水蓄能电站的运行	(194)
第一节 抽水蓄能机组的工况转换	(194)
第二节 抽水蓄能电站在电网中的运行方式	(196)
第三节 抽水蓄能电站的过渡过程	(201)
思考题	(207)
第九章 抽水蓄能电站的经济评价	(208)
第一节 经济评价的意义和内容	(208)
第二节 抽水蓄能电站的经济合理性及经济效益分析	(208)
第三节 资金的时间价值及折算公式	(214)
第四节 经济评价的动态方法	(218)
思考题	(225)
附 录 抽水蓄能电站技术计算实例	(226)
例题一 抽水蓄能电站输水洞断面尺寸选择	(226)
例题二 水量平衡计算	(227)
例题三 纯抽水蓄能电站装机容量选择	(231)
例题四 装机容量选择的经济比较	(233)
例题五 抽水蓄能电站主要参数选择	(234)
例题六 水泵水轮机选型设计	(237)
参考文献	(248)

第一章 抽水蓄能电站的基本原理与发展

第一节 抽水蓄能电站的基本原理及组成

一、概述

抽水蓄能电站是水电站的另一种形式,是一种特殊形式的水电站,由上水库、下水库、输水道、厂房及开关站等部分组成,是一种储存电的仓库。抽水蓄能电站利用的是可以兼具水泵和水轮机两种工作方式的抽水蓄能机组,当夜间因部分用户用电停止,而各种大型火电、核电不能大幅度停机或少发电,电力系统出现剩余电量时,抽水蓄能电站可以利用这些剩余电量,开动设备把低处的水抽到高处蓄存起来,等到电力系统用电高峰时,再把高处的水放下来,带动水轮发电机组发电,把电力送回电网,供给用户用电,发电后的水仍回到低处。如此循环往复的操作运用,促使整个电网运行灵活可靠、安全经济。

二、基本原理

抽水蓄能电站是根据电能转换原理而工作的,如图 1-1 所示。它利用午夜系统电力负荷低估时的多余容量和电量,通过电动机水泵将低处下水库的水抽到高处上水库中,以水为载体将这部分低谷电能转换成水的位能蓄存起来,待到次日电力系统用电负荷回升时,再将上水库的水通过水轮发电机组放回下水库,将水的位能转换成电能送回电网,以补充不足的尖峰容量和电量,满足系统调峰需求,如此不断循环工作。这样,既避免了火电机组反复变出力运行所带来的弊端,又增加了电力系统峰荷供电能力;既解决了电力系统的调峰问题,又提高了电力系统的运行安全性和经济性。从这个意义上来说,抽水蓄能电站实际上是一个能量转换装置,利用水为载体,将电力系统的电能在时间上重新分配,以协调电力系统的发电出力与用电负荷在时间分配上的不一致性,从而使电力系统达到安全、经济运行的目的。这种转换是现代电力系统不可或缺的,虽然在转换过程中不可避免地要产生能量损失,但给整个电力系统带来了许多好处。

三、抽水蓄能电站的组成

任一抽水蓄能电站的组成都包括上、下水库和厂房,至于输水系统的具体组成建筑物则因条件不同有较大的差异。一般来讲,抽水蓄能电站的主要组成建筑物从上游开始依次是:①上水库;②进(出)水口;③引水道和调压室;④压力管道;⑤厂房;⑥尾水道和调压室;⑦出(进)水口;⑧下水库。

如果压力水管是直接从上水库取水,则引水隧洞、调压室都可以省掉;如果厂房布置在地下,尾水隧洞又很长,则要设尾水调压室。

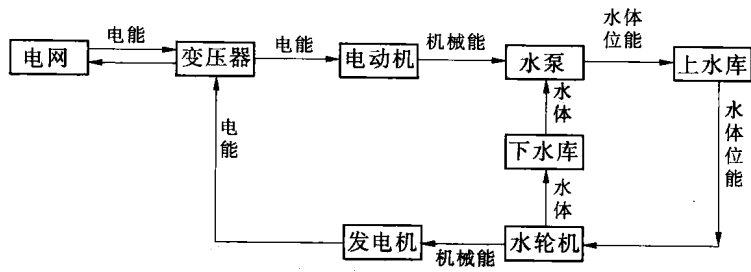


图 1-1 抽水蓄能电站能量转化过程示意图

(一) 上、下水库

混合式抽水蓄能电站的上水库一般为已建成的水库,下水库可能是下一级电站的水库或为用堤坝修建起来的新水库。纯抽水蓄能电站多数是利用现有水库为下水库,而在高地上或山间筑坝建成上水库。

人工修筑的水库,其容量除应满足全天发电所需的水量外,另有一定的备用库容,以抵消蒸发量和渗漏量。据估计,大型抽水蓄能电站每年损耗水量可达 100 万 ~ 200 万 m³。上水库的修筑工作量是巨大的,所形成的库容十分宝贵,库底及边壁都应有防渗保护措施。国内外现在广泛使用沥青混凝土全面铺盖,也有用混凝土板防护的,对原来有水源的上水库也应视情况决定是否采取防护措施。

(二) 引水系统(高压部分)

与常规水电站一样,抽水蓄能电站引水系统的高压部分包括上水库的进水口、引水隧洞、压力管道和调压室。上水库的进水口在发电时是进水口,但在抽水时是出水口,故称为进出水口。为满足双向水流的要求,进出水口应按两种工况的最不利条件设计。常规水电站在进水口都装有拦污栅。在抽水蓄能电站中,因水泵工况的出水十分湍急,对拦污栅施加很大的推力和振动力,所以拦污栅是进出水口设计的一个重要项目。

抽水蓄能电站引水隧洞上的分岔管在发电工况时流向是分流的,在抽水工况时则是合流的,为使两个方向水流的损失都最小,需要进行专门的试验研究。

(三) 引水系统(低压部分)

地下电站的尾水部分(低压部分)是有压的,通常也做成圆断面的隧洞。设计中要特别注意过渡过程中可能出现的负压,如隧洞较长,一般需在机组下游修建尾水调压井。因为引水系统高压部分的造价比低压部分高,故现在趋向于将厂房向上游移动,也就是尾水隧洞将会更长,产生负压的可能性也就更大。

(四) 电站厂房

中低水头抽水蓄能电站或为坝后式或为引水式,都可使用地面厂房。水轮机工况的排水和水泵工况的吸水都直接连通到尾水渠。由于水泵的空化性能比水轮机要差,机组中心必须安放在比常规水轮机更低的高程。高水头抽水蓄能电站几乎没有例外地都采用地下厂房,不少中低水头的抽水蓄能电站也使用地下厂房。现在高水头抽水蓄能电站机组中心已达尾水面以下 70 ~ 80 m,厂房内所有管道都要承受很大的压力,厂房本身的防渗漏问题也需特别设计。多数的地下电站都将变压器安装在地下,故需专门开挖一个洞室放置变压器。如电站需要修建尾水调压井,则常常将几台机组的尾水闸门连通,形成第

三个洞室。

由于既接近负荷中心又具有很高水头的站址不太好寻找,选址的一个出路就是向地下发展。美国即将建造的两座大型抽水蓄能电站都利用地面上的小湖为上水库,将厂房放到废弃的矿井下面,将已有坑道扩大而形成下水库,压力隧洞和各种通道都是垂直的。

第二节 抽水蓄能电站的开发方式和分类

一、按上水库调节水量分类

(一) 纯抽水蓄能电站

纯抽水蓄能电站的特征是只有很少甚至没有天然来水进入上水库,抽水蓄能电站基本不消耗水量,厂房内机组全部是抽水蓄能机组,蓄能发电所需全部调节水量在上、下水库中循环使用。电站本身不直接生产电能,只改变电力系统电能的时间上的分配,如图 1-2 所示。

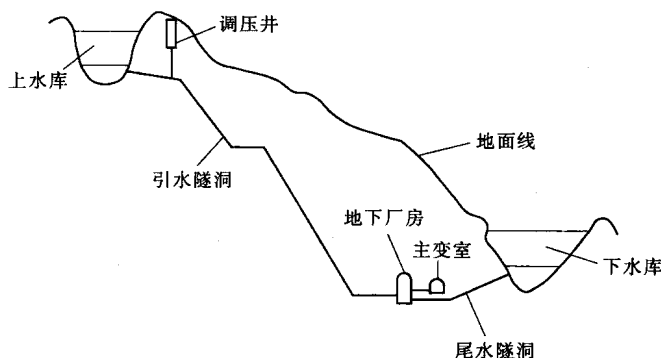


图 1-2 纯抽水蓄能电站示意图

纯抽水蓄能电站开发方式要求有足够的蓄能库容。通常,上水库建在比河面高程高几百米的地面上,围堤修建人工水库来蓄存发电水量。下水库则利用河流上已建的水库,或者在电站下游适当地点用低坝新建一个小水库,也可利用天然湖泊作为下水库。

纯抽水蓄能电站一般选择在靠近负荷中心及电源点处,以减少电站在送电和受电时输电线路的电能损失。

(二) 混合式抽水蓄能电站

结合常规水电站的新建、改建或扩建,加装抽水蓄能机组即为混合式抽水蓄能电站。厂房内有的机组是常规水轮发电机组,有的则是可逆式机组。混合式抽水蓄能电站的上水库有天然径流汇入,它的电能构成也分为两部分,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蓄水式电站类似,如图 1-3 所示,只是需要在电站下游建造一个具有相应蓄水库容的下水库,降低和挖深蓄能机组的发电厂房基础。抽水蓄能机组的水头受原有水电站设计水头的限制,单位电量投资稍大,如原有水电站远离负荷中心,输电损失就会增加。密云电站和潘家口电站都是混合式抽水蓄能电站,它们共

同的特点是上水库都是大型综合利用水库,原来水电站的运行方式常常是“以水定电”,不能满足电力系统的调峰需要,改装成可逆式机组后,便可改变电站的运行方式,既满足了综合利用部门的用水要求,又提高了电站的调峰能力。

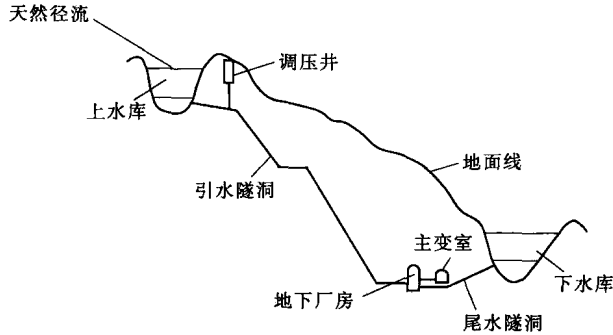


图 1-3 混合式抽水蓄能电站示意图

混合式抽水蓄能电站一般是因为该常规水电站的调节水库承担综合利用任务,例如除发电以外尚有灌溉、航运等任务,发电运行方式受到一定的限制,为了充分发挥电站的调峰作用,加装抽水蓄能机组,将其改建成混合式抽水蓄能电站,如岗南混合式抽水蓄能电站。另外,当天然径流年内分配不均匀性很大,水库调节容量有限时,为了充分利用丰水期径流发电,加装抽水蓄能机组,丰水期常规和蓄能机组同时发电,增加季节性电能,枯水期利用蓄能机组抽水发电,提高枯水期供电能力,如潘家口混合式抽水蓄能电站。

(三)非循环式抽水蓄能电站

当上水库位于两条河流的分水岭,分水岭两边河谷具有不同的高差,且高差小的一边有足够的天然径流来源时,可在高差小的一边建下水库或取水口,设置抽水站,在分水岭建上水库,同时在另一边建常规水电站,将下水库的水抽到上水库,再通过常规水电站放到下游发电,其具体布置如图 1-4 所示。这样,从下水库抽上来的水量不再返回下水库,而是流到另一条相邻河流。这是跨流域引水发电的一种特殊方式。由于抽水扬程小于发电水头,因而也是一种有利的开发方式。例如,奥地利的赖斯采克抽水蓄能电站的最大抽水扬程为 1 070 m,最大发电水头为 1 773 m,最大抽水功率为 18 MW,最大发电出力为 67 MW。

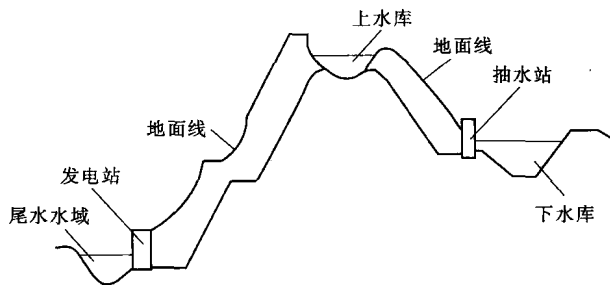


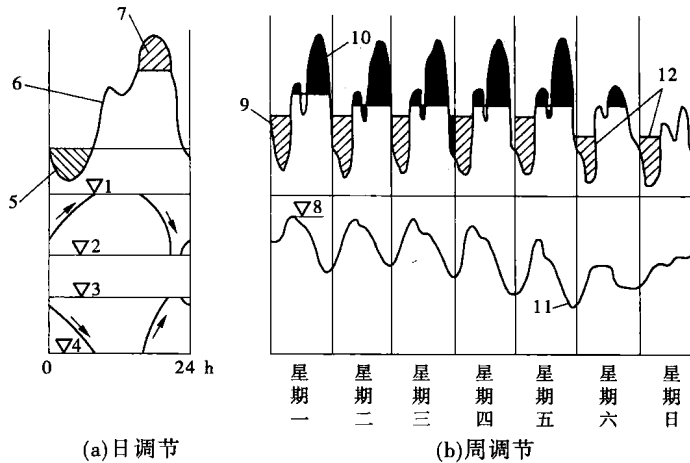
图 1-4 非循环式抽水蓄能电站示意图

二、按调节性能分类

(一) 日调节抽水蓄能电站

日调节抽水蓄能电站以一日为运行周期,夜间负荷处于低谷时进行一次抽水,日间担任峰荷时发电一次或多次,但每次时间较短,所需的蓄水库容取决于每日调峰时的发电量。

日调节抽水蓄能电站承担调节一昼夜电力负荷不均匀任务,其上、下水库水位变化的循环周期为一日。电力系统日负荷曲线是变化的,如图 1-5(a) 所示,夜间负荷减少,要求电力系统减少电力供应,迫使火电厂降低出力运行,这对火电厂运行是不利的。日调节抽水蓄能电站此时抽水,增加电力需求,也就是提高火电厂的低谷负载率,避免压负荷运行,改善火电厂的运行条件。次日负荷需求增大时,日调节抽水蓄能电站改为发电运行,又可增加电力系统负荷高峰时的供电能力。



1—上水库正常蓄水位;2—上水库死水位;3—下水库正常蓄水位;4—下水库死水位;
5—低谷抽水;6—日负荷曲线;7—高峰发电;8—上水库正常蓄水位;9—工作日低谷抽水;
10—工作日高峰发电;11—上水库死水位;12—假日集中抽水

图 1-5 日、周调节抽水蓄能电站运行方式示意图

(二) 周调节抽水蓄能电站

它以一周为运行周期,每日仍抽水和发电各一次,但在周末节假日系统负荷特低时,可多利用富裕电能延长抽水时间,储蓄更多水量,以增加日调峰出力,或延长担任调峰的时间,如图 1-5(b) 所示。所需库容较日抽蓄电站的大。国外周末工厂多数停工,这种抽水蓄能电站较多。

(三) 季调节抽水蓄能电站

将汛期多余水量抽蓄到上水库中供枯水期增加发电量用,所需库容较上述两种电站大得多,一般利用径流式水电站丰水期季节性电能作为抽水能源。季调节抽水蓄能电站承担调节年内丰、枯季节之间电力负荷不均匀任务,其上、下水库水位变化的循环周期为一年,但主要是抽蓄汛期水量的抽水蓄能电站。此类电站要求上水库调节库容必须能够调节枯水季节发电所需水量,因而所需库容较大,通常可不建下水库,只要具备取水条件

即可(同时承担日调节任务者除外)。这类电站在常规水电站较多且调节性能较差,季节性电能较多,或弃水电量较大的情况下建设较为有利。

三、按机组类型分类

(一) 四机分置式抽水蓄能电站

抽水蓄能电站机组由电动机、水泵、水轮机、发电机组成,抽水机组与发电机组分开布置。这是早期发展的纯抽水蓄能电站所采用的机组组合形式。由于厂房布置复杂,工程投资大,故这种组合形式逐步被淘汰。四机分置式将水泵和水轮机分开布置,便于使水泵、水轮机都按最佳效率运行。例如,奥地利的赖斯采克抽水蓄能电站,采用的就是四机分置式,首台机组于1957年建成投产。

(二) 三机串联式抽水蓄能电站

三机串联式的电动机和发电机结合在一个电机之内,即发电机兼作电动机。它与水轮机、水泵连接在一个直轴上,发电时由水轮机带动发电机,抽水时则由电机驱动水泵。对于容量较小的机组和电站,可布置成横轴装置,水轮机和水泵分置电机两端。对于大容量抽水蓄能电站,通常采用竖轴装置,水泵通过联轴器装在水轮机下面,见图1-6。在发电工况下运行时,可通过联轴器脱开水泵,避免其空转损失及为此而放空水泵过水部分积水的必要性。

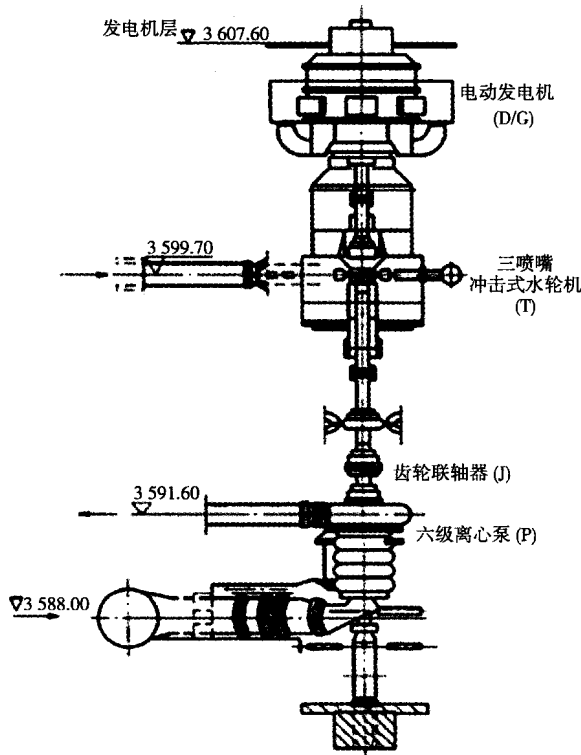


图 1-6 立轴三机式抽水蓄能装置示意图 (单位:m)

水轮机和水泵通常采用同向旋转,可使切换到抽水工况时水泵启动便捷,而改变为发电工况时水轮机亦能很快达到正常转速。机组工况的转换通过闸门的相应开闭进行。

与两机式比较,三机串联式布置由于水泵和水轮机可按各自的运行工况进行设计,可以达到很高的效率。但三机串联式机轴长,需要厂房高度较大,进出水需要两套设备,工程投资要贵很多。

(三) 二机可逆式抽水蓄能电站

二机可逆式布置包括一个可逆式水力机械(水泵水轮机)和一个电机(电动发电机),与常规水电站的机组布置相似。反击式水轮机如反方向旋转,可以作为水泵使用。应用于抽水蓄能机组的反击式水轮机有贯流式、轴流式、斜流式和混流式四种。贯流式水泵水轮机适用于潮汐抽水蓄能电站;轴流式水泵水轮机适用于水头小于 20 m 的低水头抽水蓄能电站;斜流式水泵水轮机工作性能较佳,一般在水头为 35 ~ 140 m 时采用;水头较高时,普遍采用混流式可逆机组,当水头大于 600 m 时,要采用多级混流式可逆机组。

我国广州、十三陵、天荒坪等已建大型抽水蓄能电站均采用单级水泵水轮机发电电动机组。图 1-7 和图 1-8 分别为单级水泵水轮机和多级水泵水轮机示意图。随着机组制造水平的提高,单级水泵水轮机的最大扬程目前已提高到 778 m(如日本的葛野川抽水蓄能电站机组)。

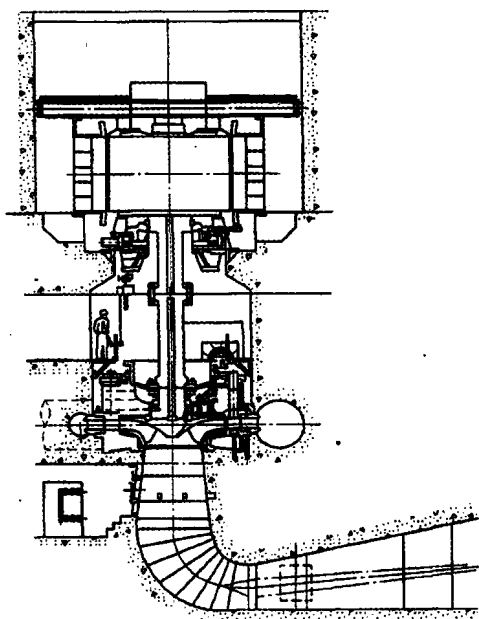
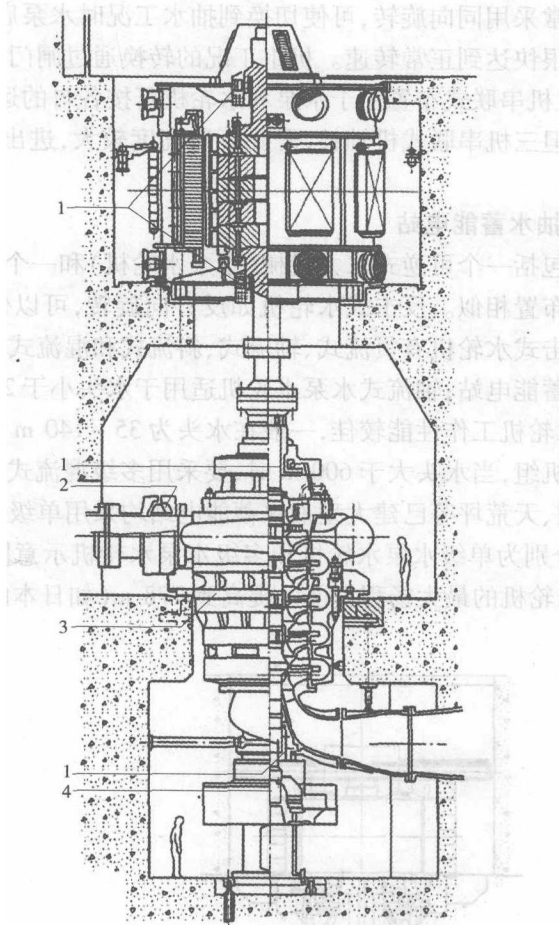


图 1-7 单级混流可逆式水泵水轮机(十三陵抽水蓄能电站机组)

四、按水头分类

抽水蓄能电站的造价在容量和蓄能量相同的前提下,一般随水头增大而降低。有效水头越高,所需要的流量和水库容积越小,单位造价越低。此外,抽水蓄能机组形式的选择和制造技术与电站水头高低有密切的联系,因此设计水头是抽水蓄能电站的重要特性



1—导轴承;2—伸缩节;3—水泵水轮机;4—推力轴承

图 1-8 二机多级可逆水泵水轮机(意大利 Hydroart 公司)

之一。

混合式抽水蓄能电站的水头受河川天然落差的限制,一般不超过 200 m。我国华北、华东和东北等地区已建及所能建设的混合式抽水蓄能电站的水头大多在 100 m 以下。

对于纯抽水蓄能电站,从减少投资的角度出发,一般认为水头在 150 ~ 200 m 是能接受的最低限度。考虑到水头对机组选择的影响,可分为水头低于 600 m 和水头超过 600 m 两种情况。

水头低于 600 m 时,选择单级可逆混流式水泵水轮机可以满足需要;水头超过 600 m 时,可选用多级式机组或三机式机组。

五、按布置特点分类

按其水工建筑物与地面所处的相对位置可分为地面式抽水蓄能电站、地下式抽水蓄能电站和特殊布置形式的抽水蓄能电站。

(一) 地面式抽水蓄能电站

全部建筑物布置在地面上,由于电站规模、地形地质条件的不同,其具体的工程布置各有不同。

露天式压力水管,只有在地形地质条件适宜布置明厂房且电站的引用流量不大时才被采用。

(二) 地下式抽水蓄能电站

除上、下水库设在地面外,整个输水系统及厂房均布置在地下。抽水蓄能电站的一个重要特点是机组防气蚀要求淹没深度大,深达 30 m 甚至更大。因此,只要地质条件允许,把厂房布置在地下,技术上和经济上都是比较有利的。按地下厂房在输水系统中所处位置不同可分为首部式、中部式、尾部式三种基本类型。

将水管布置在地下,利用围岩承担一部分内水压力,可以减少钢衬的厚度,电站工作流量较大时可比明渠方案减少压力水管的根数,这样既可以节省投资又可以减少输水能量损失。通常,引水道(包括引水隧洞和调压室)的造价要比低压的尾水隧洞高,因此抽水蓄能电站总体布置的趋势是倾向于缩短引水道的长度。

地下式布置要重视地质条件,一般尽可能把建筑物布置在较好的岩石中。这样做,即使输水道的长度有所增加,也能充分利用围岩的承载作用和防渗能力,对于施工和电站长期运行也是有利的。

(三) 特殊布置形式

特殊布置形式的抽水蓄能电站的主要特点是在地下深处筑一人工地下水库。例如,美国有一高水头抽水蓄能电站采用三机式,总水头达 1 005 m,它的厂房在地下,输水道为压力竖井。由于水头很高、流量小,所以所需蓄能库容也很小。因而作为抽水蓄能电站的下水库,也布置在地下,由隧洞网组成。电站的出线和对外交通都采用竖井。

第三节 抽水蓄能电站的工作特性

一、运行灵活性和可靠性

抽水蓄能电站启、停快,工况转换和增、减负荷迅速,运行灵活可靠,强迫停运率较低,跟踪负荷能力强,适宜承担电力系统调频、紧急事故备用和负荷备用,是很好的旋转备用电源。距离负荷中心地区较近的抽水蓄能电站,还可作调相运行,平衡系统无功功率,稳定地区电压,提高电网运行可靠性。例如,广州抽水蓄能电站从停机到满发一般只需 4 ~ 5 min,最快只需 160 s。天荒坪抽水蓄能电站从满载抽水到满载发电只需 490 s,紧急情况下只需 310 s。广州、十三陵及天荒坪等抽水蓄能电站的启动成功率均达到 99% 以上。

抽水蓄能电站启动成功率是重要的运行考核指标,一般随着机组投运时间加长,指标迅速提高。例如,广州抽水蓄能电站 1994 年刚投产时,发电、抽水启动成功率分别为 96.6%、89.4%,1997 年即提高到 99.3%、96.9%,2000 年以后均超过 99.5%。十三陵和天荒坪等抽水蓄能电站的启动成功率也都在 99.5% 以上。