

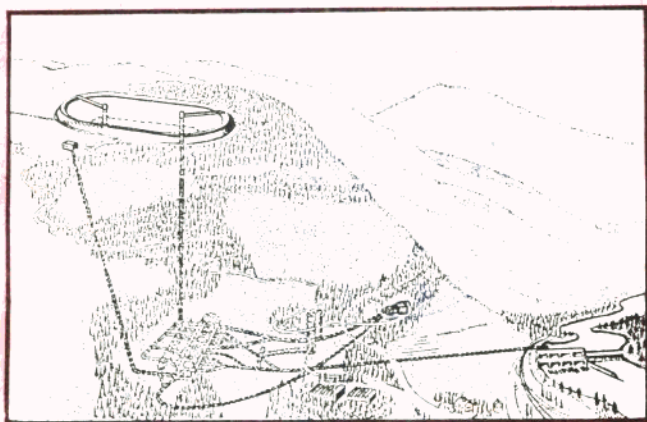
270
水力发电
技术知识
丛书
中国水力发电工程学会主编

891455

第二十四分册

抽水蓄能电站

董述春 张德旺



水利电力出版社

3
35

水力发电技术知识丛书

中国水力发电工程学会主编

第二十四分册

抽水蓄能电站

董述春 张德旺

水利电力出版社

内 容 提 要

本书介绍抽水蓄能电站的基本知识在电力系统中的作用，国内外发展水平，以及主要参数选择，经济分析方法，还介绍了水工建筑物，机电设备等的特点。可供具有中等文化程度的各级领导干部及电力系统的规划设计，运行技术人员和工人阅读参考。

水力发电技术知识丛书

第二十四分册

抽 水 蓄 能 电 站

董述春 张德旺

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各埠新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 3.75印张 80千字

1989年4月第一版 1989年4月北京第一次印刷

印数：0001—1800册 定价2.50元

ISBN 7-120-00616-9/TV·208

关于编写《水力发电技术知识 丛书》的说明

为了水力发电战线广大职工学习科学技术，适应现代化水电建设和生产的需要，中国水力发电工程学会组织编写了一套《水力发电技术知识丛书》。丛书是从普及水力发电科学技术知识的角度出发，着重介绍水力发电的基本概念和基础知识，对我国在实践中取得的经验和国外水平以及发展前景也作适当介绍。

读者对象以具有中等学校文化程度以上的各级管理干部为主，使他们能系统地了解水力发电的科技知识，不断提高业务能力和管理水平。对于中等学校文化程度的技术工人，也可通过学习本丛书为学习专业技术打下初步基础，并在工作中不断提高技术水平。对于有某种专业的技术干部，也可了解其他相邻专业的一般知识。

本丛书共分二十五个分册，

- 第一分册 水力发电概况
- 第二分册 水能规划和综合利用
- 第三分册 水能经济
- 第四分册 水电工程地质
- 第五分册 水电工程勘测
- 第六分册 水文测验和水文计算
- 第七分册 坝、泄洪和进水建筑物
- 第八分册 引水工程及发电厂房
- 第九分册 过船过鱼过木建筑物

- 第十分册 水工机械设备
- 第十一分册 水工建筑物的运行维护和观测
- 第十二分册 水电工程的施工组织和管理
- 第十三分册 水工混凝土工程施工
- 第十四分册 土石工程及地下工程施工
- 第十五分册 施工导流工程
- 第十六分册 水轮机和辅助设备
- 第十七分册 发电机和电气设备
- 第十八分册 水电站集中控制、继电保护和自动化
- 第十九分册 机电设备的安装
- 第二十分册 机电设备的运行维护
- 第二十一分册 水电站水库调度
- 第二十二分册 水电站经济运行
- 第二十三分册 小型水电站
- 第二十四分册 抽水蓄能电站
- 第二十五分册 潮汐电站

本丛书各分册承蒙从事水电事业的有关单位和院校的专家教授大力支持，花了大量时间和精力进行编写和审校，特此一并致谢。

《水力发电技术知识丛书》编辑委员会

1982年8月

前 言

随着国民经济的增长，电力工业更需加速建设，近年来多种能源的开发利用已提到议程。由于我国幅员辽阔，资源分布不均衡，各地区的用电特性也不同。为解决调峰问题，华北、东北、华东、广东地区对兴建抽水蓄能电站的可行性、必要性、经济性进行了研究。在此基础上我们又收集参考了国外的有关资料，编写了水力发电技术知识丛书的第二十四分册《抽水蓄能电站》。

本分册第一、三、五、七、八章及第四章第二节由董述春同志编写，第二、四(第一节)、六章由张德旺同志编写，经陆钦侃、程学敏、周之豪同志审核。由于我国至今建成的抽水蓄能电站很少，对此研究的也很浮浅，水平有限，书中难免出现不妥之处，敬请读者指正。

编 者

1986年10月

《水力发电技术知识丛书》

编辑委员会

主任 施嘉炆

副主任 陆钦侃、舒扬荣、刘颂尧

编委 (按姓氏笔划为序)

于开泉、王伊复、王圣培、伍正诚、冯尚友、
李毓芬、刘颂尧、沈晋、谷云青、陈叔康、
张勇传、汪景琦、施嘉炆、陆钦侃、唐集严、
舒扬荣、董毓新、程学敏、杨德晔

目 录

关于编写《水力发电技术知识丛书》的说明

前言

第一章 抽水蓄能电站的基本原理及其发展	1
第一节 基本原理	1
第二节 抽水蓄能电站的开发方式及其在电力系统中的作用	2
第三节 抽水蓄能电站的功能	6
第四节 国内外发展简况	8
第二章 电力系统与抽水蓄能电站	17
第一节 用电负荷	17
第二节 电力系统的发、供电	21
第三章 抽水蓄能电站分类及站址选择	27
第一节 抽水蓄能电站的分类	27
第二节 站址选择的基本要求	32
第三节 上、下水库参数的计算与选择	37
第四章 抽水蓄能电站的水工建筑物	41
第一节 水工建筑物的组成及其特点	41
第二节 输水道经济断面的计算及选择	48
第五章 装机容量选择	57
第一节 装机容量选择的依据	57
第二节 装机容量选择的方法	60
第六章 机电设备	71
第一节 机型种类及适应的水头范围	71
第二节 机组主要参数及其计算方法	81
第七章 经济分析与财务计算	86

第一节	经济分析	96
第二节	财务计算	101
第八章	抽水蓄能电站建设的展望	106
第一节	勘测设计情况	106
第二节	关于加快建设抽水蓄能电站的建议	108
主要参考文献	111

第一章 抽水蓄能电站的基本原理及其发展

第一节 基本原理

一、什么叫抽水蓄能电站

抽水蓄能电站是水电站的另一种型式，也可以说它是贮存电的仓库。每当在夜间因部分用电户停止用电了，而各种大型火电、核电厂不能大幅度停机或少发电，电力系统出现剩余电量。此时抽水蓄能电站可以利用这些剩余电量。开动水泵设备把低处的水，抽到高处蓄存起来。等到电力系统用电高峰时，把高处的水再放下来，带动水轮发电机组发电，把电力送回电网，供给用户用电。发电以后的水，仍回到低处。如此循环往复地操作运用，促使整个电网运行灵活可靠、安全、经济。

多数抽水蓄能电站采用可逆式水泵水轮机，它以一套设备代替抽水机和水轮发电机两套功能。最近又出现一种同向式抽水蓄能机组。这些型式的机组，既是一个吸收低谷电能的电力用户，又是一个提供峰荷电力的水电站。

二、基本原理

抽水蓄能电站的基本原理是能量转换。它利用电力系统低负荷区的剩余电量，将下水库的水通过水泵或可逆式机组抽到上水库，以位能的形式储存起来；待电力系统用电高峰时，将上水库的水放下，驱动水轮发电机发电并送入电网，使位能变为电能。

其转换过程见图1。

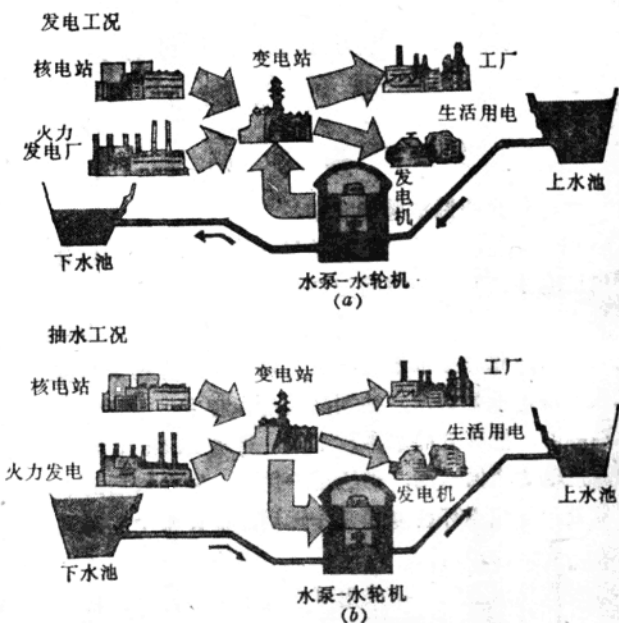


图 1 抽水蓄能电站工作原理图

第二节 抽水蓄能电站的开发 方式及其在电力系统中的作用

一、开发方式

抽水蓄能电站分为纯抽水蓄能电站和混合式抽水蓄能电站。

纯抽水蓄能电站：一般依靠抽入上池的水发电。纯抽水蓄能电站的特点是，水头高，库容不大，水工建筑物及机组尺寸相对较小，水工建筑物设计标准相对较低，不需要庞大的泄洪建筑物。

混合式抽水蓄能电站：利用抽水和天然河道流量组合发电。混合式抽水蓄能电站的特点是，水头不高，运行灵活，常规和蓄能机组可互为补偿运行，可改变水电站由于综合利用，各部门用水季节性强而造成不能调峰的现象，并能提高电站的保证率，承担电力系统的事故备用。

二、抽水蓄能电站在电力系统中的作用

1. 调峰填谷作用

抽水蓄能电站是承担尖峰负荷和填平低谷的最有效手段，见图2所示。任何一个电力系统或者某一城市的用电负荷，不会在一天24h内都是均匀的。反映在日负荷曲线上就有用电高峰和低谷的差异，称为峰谷差。峰谷差就需要有调峰调频的电站，如果没有，用电高峰时电力供应就满足不了用户需要，电力系统的周波也要下降，或者为了使周波稳定在允许范围内，不得不采用行政性措施，限制一部分用户用电。拉闸限电，这与计划用电的含义有所区别，它会影响正常的生产秩序，造成不应有的经济损失。

当电力系统低谷时，用户的用电负荷减少了，但是大型火电机组、热电合供的电站和原子能电站等不易做到压火停机，只能做到小幅度的滑参数运行，而且它的热耗增大，比满出力运行要增多单位电量的燃料消耗，又影响机组的使用寿命。

建设抽水蓄能电站恰好可改变上述不利状况，它抽水是用电力系统的剩余电量，而发电是供给系统的高峰用电，这

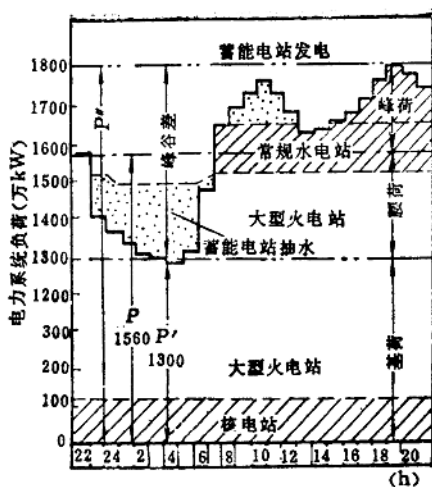


图 2 日负荷曲线特征值

样，可使火电机组满出力运行，从而节省燃料，对系统的安全稳定运行有利。这种作用就是人们常说的调峰填谷。即使是调峰性能好的常规水电站，也不具有填谷的作用，这是抽水蓄能电站独特的优点。

2. 适宜作为电力系统事故备用

抽水蓄能电站和常规水电站一样，启动灵活迅速，从启动到满负荷只需1~2min，由抽水运行转换到发电工况仅3~4min，足以应付电力系统的燃眉之急，这种灵活性是火电厂无法比拟的。所以火电比重大的电力系统中，以抽水蓄能电站作事故备用电源尤为必要。

3. 作为灵活可靠的调频电源

抽水蓄能电站承卸负荷迅速灵活，能适应负荷的急剧变

化，调频性能好。如某火电系统，负荷陡涨陡落，高峰来时每分钟负荷要上涨几万千瓦。火电机组远远适应不了这种负荷的上涨速度。以10万kW燃煤机组为例，负荷上升所需时间见表1所列。

表 1 10万kW机组负荷上升情况

负荷(万kW)	需要时间(min)	备 注
0~1.0	60	(1)这是热备用情况
1.0~1.5	30	(停机不超过8h)
1.5~2.0	30	(2)总时间需3h20min
2.0~3.0	20	
3.0~4.0	20	
4.0~5.0	20	
5.0~10.0	20	

30万kW火电机组的爬峰速度每分钟仅是容量的1%。而抽水蓄能机组就要优越得多了，比如美国勒丁顿抽水蓄能电站的单机容量34.3万kW，可逆机组全部投入的时间仅160s；卢森堡凡登抽水蓄能电站，2min可投入110万kW容量。相比之下火电机组调频是有困难的，而抽水蓄能电站运用自如。当电力系统周波偏低时，它立刻发电提高周波；当周波偏高时，它就可作为用户抽水蓄能，使周波降到正常范围，充分体现了调频的灵活性和可靠性。

4. 可承担电力系统的调相任务

抽水蓄能电站的同步发电机，在不发电、不抽水时可供调相用。抽水蓄能电站一般距负荷中心较近，控制方便，对改善系统电压质量很有利。

第三节 抽水蓄能电站的功能

1. 降低电力系统燃料消耗

随着电力工业的发展, 电力系统往往由多种能源组成, 而各类电站又都有各自的特性, 如高温高压火电机组(尤其是燃煤机组)不易变负荷运行, 强迫降低出力运行不可避免增加煤耗和油耗, 以12.5万kW机组为例, 具体数值见表2。

表2 12.5万kW机组不同负荷时主要经济指标

试验负荷(万kW)	12.5	10.0	8.0	6.0
调速汽门运行方式	定压	滑压	滑压	滑压
汽包压力(10^5 Pa)	144.5	117.1	90.1	65.4
再热器出口汽温($^{\circ}$ C)	532	526	512	502
汽耗(kg/kW·h)	3.26	3.23	3.31	3.42
热耗(kcal/kW·h) ^①	2160	2165	2240	2352
机组热效率(%)	39.8	39.7	38.4	36.6
机组煤耗(g/kW·h)	338	339	352	373
机组辅机电耗(%)	5.64	6.27	7.40	11.27
机组供电煤耗(g/kW·h)	357	360	378	420

注 资料来源取自华东电力试验研究所《华东电力》1981年第10期第14页

① $1\text{kcal} = 4.1868\text{kJ}$

由表2可清楚地看出, 火电机组压荷运行时煤耗、油耗、厂用电率都要增大。由12.5万kW负荷压到6万kW时, 每

度电煤耗增加35g。如采用抽水蓄能电站和火电厂联合运行，火电机组就可以不压负荷运行，从而节省电力系统燃料。

2. 延长火电机组寿命

由抽水蓄能电站替代电力系统中的中低压火电机组调峰或者使大火电机组不压负荷或少压负荷运行，均可减少火电设备磨损，延长火电机组寿命。因为火电机组频繁开停会使事故率增大，大修周期缩短，小修次数增加等。

3. 投资少

纯抽水蓄能电站常建在站址条件较好的地方，绝大多数是高水头、小流量，不受天然流量影响，因而水工建筑物尺寸小，所需蓄能水库的库容不大，淹没损失很少甚至没有，而且不必修建尺寸大、要求高的泄洪建筑物。又因距负荷中心较近，输电线路短。所以，它的单位千瓦投资比常规水电站小，一般相当火电厂单位千瓦投资。

4. 可作为发电成本低的峰荷电源

可逆机组作水泵运行（抽水时）时效率较低，要把发电水量抽回到上水库，所需的功率和时间都大于发电工况，所以抽水耗用电量大于发电量。运行实践证明，抽水用电 $3\text{kW}\cdot\text{h}$ 换取尖峰电量 $2\text{kW}\cdot\text{h}$ 或以 $4\text{kW}\cdot\text{h}$ 换取 $3\text{kW}\cdot\text{h}$ ，都是合算的。因为抽水耗电费用可以从火电站煤耗费的降低和年运行费用的减少来补偿。火电机组负荷急剧变化时单位煤耗大大增加。据国外统计，火电厂承担基荷（24h运行）时的煤耗为 $0.3\text{kg}/\text{kW}\cdot\text{h}$ ，承担峰荷时的煤耗一般为 $0.400\text{kg}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 左右，此外，火电机组调峰使设备磨损大、机组寿命缩短、事故和修理停工多，抽水蓄能电站调峰填谷带给火电厂的好处，均可补偿抽水蓄能电站的抽水耗电费用。

实际上，抽水蓄能电站的每 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 抽水用电费用，相当

基荷火电厂每度电的燃料费。但它的发电成本比基荷火电燃料费高。

5. 对环境没有任何污染且可美化环境

抽水蓄能电站有上、下两个水库。纯抽水蓄能电站的上水库建在较高的山顶上，如在风景区，还会增辉添色。

第四节 国内外发展简况

一、国外

最早的抽水蓄能电站于1882年兴建在瑞士的苏黎世，装机容量仅515kW，扬程是153m。1920年美国在罗克河上修建了装有别置式机组的抽水蓄能电站。1931年日本在小口川第三电厂加装3.2万kW水泵。到1945年世界上共有50个抽水蓄能电站投入运行。近30年来，抽水蓄能电站发展得很快，1961年全世界装机总容量为640万kW，1970年达1600万kW，到1972年蓄能电站发展到150座，装机容量总计3400万kW，截止1978年底装机容量约为5000万kW，预测到1990年世界抽水蓄能电站总装机容量将达1亿kW左右。

装机容量在100万kW以上的抽水蓄能电站，到目前已建成29座，见表3，最大水头超过1000m的抽水蓄能电站见表4，在建的和规划的100万kW以上的抽水蓄能电站见表5～表6。已建的容量最大的是美国巴斯康蒂（BathCoanty）抽水蓄能电站，装机容量210万kW，单机容量35万kW，最大水头390m，设计水头329m，最小水头328m，电站于1985年投产。

抽水蓄能电站的水头由最早的几十米发展到几百米，现超过1000m的已有10座，其中水头最高的是意大利的马吉亚