

CHOUSHUI
XUNENG
DIANZHAN
BAIWEN

抽水蓄能电站百问

中国水力发电工程学会 组编
梅祖彦 赵士和 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

责任编辑：杨万涛

内 容 简 介

本书为一本关于抽水蓄能电站的科普读物。书中以问答的形式、深入浅出地介绍了抽水蓄能的基本知识，并有针对性地辨析了目前对抽水蓄能电站建设的一些错误观点和看法。全书共九十六问，涵盖以下内容：电力系统基本概念；我国电力工业概况；抽水蓄能电站的规划，类型和应用，国内外建设情况，投资和效益，工程特点，机电设备及其国产化，中小型电站，运行和管理。

ISBN 7-5083-0999-5



9 787508 309996 >

ISBN 7-5083-0999-5/TV·24

定价：8.00 元

抽水蓄能电站百问

中国水力发电工程学会 组编
梅祖彦 赵士和 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

抽水蓄能电站百问/梅祖彦, 赵士和编著. - 北京:
中国电力出版社, 2002

ISBN 7-5083-0999-5

I. 抽… II. ①梅…②赵… III. 抽水蓄能水电站
- 问答 IV. TV743-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 017179 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 5 月第一版 2002 年 5 月北京第一次印刷

850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 2.75 印张 68 千字

印数 0001—3000 册 定价 8.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前年，学会在上海召开抽水蓄能专业委员会年会期间，国家电力公司何璟顾问，找电力出版社杨万涛同志和我研究抽水蓄能电站功能的宣传和科普工作，并责成我们组编一部抽水蓄能电站技术专著和一本抽水蓄能电站科普读物，为迎接新世纪我国电力工业建设新高潮的到来，作好技术和舆论准备……。

何部长是知名的电力专家，也是知名的水电专家，在电力工业建设和改革方面经验丰富，多处建树。她除对水电发展的战略研究外，还对电网规划、电源结构优化，尤其是在现代电网中抽水蓄能电站最佳配置方面，做了大量的调查研究、科学分析和专论评述。这些评述和专论揭示了我国电网生产运行的规律，提出了确保电网经济高效、安全所需的抽水蓄能比例等重大措施。

现代社会，要求电网提供高质量的电能，“发、供、用”三者瞬间完成，因此必须要严格按契约合同运作。国外实践经验证明，欲求电网实现安全、经济、高效，必须配有10%左右份额的抽水蓄能机组容量，这一比例已得到电力生产行业工程师们的认同。但在国内，某些部门的一些同志确实还存在着一些认识误区。这就是我们要组编的这本小册子的目的所在。

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，它既是一个电站又是一个电网管理的工具，它具有发电、调峰、调频、调相、事故备用、黑启动等诸多功能，同时还有节约能源和保护环境等特点，尤其是黑启动效益是任何电源所不能替代的。

2001年, *Water Power & Dam Construction* 杂志列举了31个国家的部分统计资料中已建、在建(含个别规划)抽水蓄能机组就有1371台之多,总装机容量达1.29236亿kW,就连北欧挪威是一个纯水电国家(水电装机容量占总电力装机容量99%)也建设了35座抽水蓄能电站。

我国抽水蓄能电站建设虽然起步较晚,但发展较快,从电站规模上、从技术上均已跻身世界先进行列(机组制造除外)。广州抽水蓄能电站装机240万kW(8×30 万kW),是目前世界上最大的抽水蓄能电站,此前国外最大的抽水蓄能电站是美国巴斯康蒂210万千瓦(6×35 万kW)。

日本号称“经济动物”国家,最讲经济效益。他们的水能资源有限,水电占电力总装机容量比重不到10%,但抽水蓄能电站机组容量比重却超过了10%以上,修建的抽水蓄能电站装机容量占水电总装机容量的80%。美国修建的抽水蓄能电站装机容量占水电容量的60%。1999年全世界共建抽水蓄能电站391座、总装机1.04亿kW,其中日本有43座、装机容量2100万kW,美国有35座、装机容量2000多万kW,意大利有25座、装机容量750万kW。这些国家在电网中峰谷电价比是:美国3:1~4:1,意大利5:1,法国10:1。这个外部电价条件促进了抽水蓄能电站的发展和电网的安全经济运行。

进入新世纪,我国实施西部大开发战略,电力行业西电东送、南北互供、全国联网,实现电力资源优化配置势在必行,我们应该特别关注如下问题:

1. 西部水电基地大开发,东送基本电力负荷为东部电网错峰腾出峰谷空间,促进东部抽水蓄能电站的发展机遇。

2. 在水电为主的电网中,如果水电比重超过50%,而在调节性能不够理想的条件下,必须加大抽水蓄能电站的比重。

3. 全国抽水蓄能电站建设必须在统一规划的基础上,进行分区、分省、分网建设。应立即组织全国抽水蓄能电站资源普查,为全国建设统一规划提供依据。

4. 要处理好电源建设与抽水蓄能电站建设的比例关系，以实现水—蓄，火—蓄，风—蓄，核—蓄的最佳配合。

为提高对电网安全、经济效益的认识，普及抽水蓄能电站知识，推动抽水蓄能电站的发展和技术进步，中国水力发电工程学会会同中国电力出版社共同组织编写了《抽水蓄能电站百问》这本小册子，邀请清华大学梅祖彦教授和国家电力公司水电规划总院赵士和高工（教授级）共同主编，两位专家为此进行了广泛的调研工作，付出了艰辛的劳动和努力。在《百问》即将付梓之际，谨代表中国水力发电工程学会，向他们表示由衷的敬意，并希望这本小册子能发挥它应有的作用。

中国水力发电工程学会

邵凤山

2002年2月15日

前言

由于抽水蓄能电站能够顶尖峰，填低谷，并有调频、调相、旋转备用、事故备用、黑启动等功能，且具有负荷跟踪速度快的特点，故对改善电网的经济性和稳定性有很大作用，显示出其在现代电网中不可替代的位置。20世纪90年代以来，我国已建成一些抽水蓄能电站，目前在全国有几座百万千瓦以上的抽水蓄能电站正在兴建中，还有许多的抽水蓄能电站正在规划或设计中。

为了使管理部门，特别是电力管理部门和广大工程技术人员能进一步了解抽水蓄能电站的作用和效果，特编著这本科普性的书籍，并采用“问答”的形式，以方便阅读。

本书按专业内容，划分为12部分：①电力系统基本概念；②我国电力工业概况；③抽水蓄能电站的规划；④抽水蓄能电站的类型和应用；⑤国外抽水蓄能电站的建设情况；⑥我国抽水蓄能电站的建设情况；⑦抽水蓄能电站的投资和效益；⑧抽水蓄能电站工程的特点；⑨抽水蓄能电站的机电设备；⑩中、小型抽水蓄能电站；⑪抽水蓄能设备的国产化问题；⑫抽水蓄能电站的运行和管理。由清华大学梅祖彦负责编写第1、5、6、8、9、11、12部分；水电水利规划设计总院赵士和负责编写第2、3、4、7、10部分。

本书编写过程中承国家电力公司顾问何璟、中国水力发电工

程学会秘书长邴凤山、水电水利规划设计总院专家委员会委员史毓珍等几位专家审阅并提了宝贵意见，作者在此深表谢意。

作者

2002年1月

目 录

序 前言

一、电力系统基本概念

1-1 什么是电力系统负荷?	1
1-2 何谓基荷、峰荷、腰荷、峰谷差?	1
1-3 什么是日负荷率、平均负荷率、最小负荷率?	2
1-4 什么是日循环、周循环?	2
1-5 什么是静态效益?	3
1-6 什么是动态效益?	3
1-7 什么是电价水平?	3
1-8 什么是财务内部收益率?	3
1-9 怎样确定上网电价、容量电价、电量电价?	4
1-10 什么是电源规划?	5
1-11 什么是必需容量?	5
1-12 什么是替代容量?	5
1-13 什么是水电必要的重复容量?	6
1-14 什么是进相运行?	6

二、我国电力工业概况

2-1 我国能源蕴藏量有多少?	6
-----------------------	---

2-2	我国新能源的种类和储藏量有多少？	7
2-3	我国现在主要使用哪几种能源发电？各占多大比例？	7
2-4	当前电力系统的主要矛盾是什么？	8
2-5	电力系统调峰主要有哪几种手段？	9
2-6	“西电东送”的作用是什么？	9
2-7	建设“西电东送”工程的困难是什么？如何解决？	10
2-8	核电现在在我国电力系统中的作用是什么？	11
2-9	小水电现在在我国电力系统中占什么地位？	12
2-10	风力发电在我国电力系统中占什么地位？	13

三、抽水蓄能电站的规划

3-1	什么是抽水蓄能电站？	15
3-2	抽水蓄能电站适用于哪些电力系统？	15
3-3	有人说抽水蓄能是“用4度电换3度电”，是划不来的。这种看法为何不对？	17
3-4	什么是抽水蓄能电站的静态效益？	18
3-5	什么是抽水蓄能电站的动态效益？	18
3-6	抽水蓄能电站在增进能源利用上有什么作用？	20
3-7	抽水蓄能电站选点规划的原则是什么？	20
3-8	在已有水库上增建抽水蓄能电站应有哪些考虑？	21
3-9	为什么有些水电丰富的地区仍需要抽水蓄能电站？	22
3-10	为什么风电较集中的电网也需要抽水蓄能电站？	23
3-11	抽水蓄能电站与核电站配合运行有哪些效果？	24
3-12	“西电东送”（大容量远距离输电）为何需要抽水蓄能电站？	26
3-13	我国需要哪些措施才能使抽水蓄能得到更大发展？	27

四、抽水蓄能电站的类型和应用

4-1	抽水蓄能电站有哪些类型？各适用于什么场合？	29
4-2	抽水蓄能电站有哪些运行方式？与常规水电机组有哪些不同？	31
4-3	抽水蓄能电站和常规水电站有哪些不同？	33

4-4	抽水蓄能电站有哪些组成部分？各部分都起什么作用？	34
4-5	什么叫纯抽水蓄能电站？	35
4-6	什么叫混合式抽水蓄能电站？	35
4-7	如何认识抽水蓄能电站的经济合理性？	36
4-8	怎样计算抽水蓄能电站的综合效率？	36
4-9	当今抽水蓄能电站发展的特点是什么？	37

五、国外抽水蓄能电站的建设情况

5-1	国外抽水蓄能电站有多少年的发展历史？	38
5-2	国外抽水蓄能电站现在发展到什么水平？	39
5-3	国外抽水蓄能电站的发展有哪些特点？	39
5-4	为什么国外抽水蓄能电站有较高的经济效益？	41

六、我国抽水蓄能电站的建设情况

6-1	我国什么时候开始建设抽水蓄能电站？为何说我们有较好的建设条件？	41
6-2	我国已建成的抽水蓄能电站有哪些？这些电站占电力系统的比重有多少？	42
6-3	抽水蓄能机组在总装机容量中应占的最优比重是多少？	42
6-4	我国在建和规划中的抽水蓄能电站有哪些？	43
6-5	进行抽水蓄能建设有哪些局限性？	44
6-6	我国在建设抽水蓄能电站中和国外的差距有哪些？在深化电力改革中应如何解决？	45

七、抽水蓄能电站的投资和效益

7-1	抽水蓄能电站的投资是怎样估算的？	46
7-2	抽水蓄能电站各个组成部分在总投资中各占多少比重？和常规水电站有何不同？	47
7-3	抽水蓄能电站的经济效益有哪些算法？	47

7-4	我国的几座抽水蓄能电站运行以来经济效益如何?采用什么 经营管理模式?	48
7-5	抽水蓄能电站从哪些方面可以提高核电站的效益?	51
7-6	抽水蓄能电站的经济评价与常规水电站有何异同?	52

八、抽水蓄能电站工程的特点

8-1	抽水蓄能电站工程有哪些特点?	53
8-2	抽水蓄能电站是否需要天然水源?	54
8-3	抽水蓄能电站水库的库容应怎样选取?	55
8-4	什么是水库的正常蓄水位、死水位?什么是水库的工作 库容、死库容?	55
8-5	什么叫 L/H 比? L/H 比值是否越小越好?	56
8-6	利用现有水库作为蓄能电站的水库在工程上应有哪些考虑?	57
8-7	为什么抽水蓄能电站的水库防漏要求特别高?	57
8-8	抽水蓄能电站的输水系统包括哪些部分?	58
8-9	建设抽水蓄能电站也会有淹没损失吗?	58
8-10	设计抽水蓄能电站与设计常规水电站有什么不同的考虑?	59
8-11	建设混合式蓄能电站应有哪些考虑?	59

九、抽水蓄能电站的机电设备

9-1	衡量水泵水轮机的性能主要有哪几项指标?	60
9-2	可逆式水泵水轮机的优缺点是什么?	61
9-3	水泵水轮机和常规水轮机组相比有哪些不同?	62
9-4	为何抽水蓄能机组的安装高程要比常规水电机组低很多?	62
9-5	什么是组合式(三机式)蓄能机组?它有哪些优缺点?	62
9-6	特别高水头的场合应选什么样的抽水蓄能机组?	63
9-7	抽水蓄能机组为何对水流中的泥沙特别敏感?	64
9-8	抽水蓄能电站使用的电动发电机与常规水轮发电机有何不同?	64
9-9	为何有的抽水蓄能机组要使用双转速?双转速是怎样实现的?	65
9-10	使用交流励磁的变速电机(无级变速)有什么特点?	66

- 9-11 为何可逆式蓄能机组抽水启动时要使用专门的启动设备? 66
- 9-12 抽水蓄能机组的试运转与常规水电机组有什么不同? 67

十、中、小型抽水蓄能电站

- 10-1 在发展大型抽水蓄能电站的同时,是否应因地制宜地建设一批中、小型抽水蓄能电站? 67
- 10-2 我国已建成哪些中、小型抽水蓄能电站? 68
- 10-3 中、小型抽水蓄能电站有哪些特点和优势? 69

十一、抽水蓄能设备的国产化问题

- 11-1 为何我们要强调抽水蓄能机组的生产应逐步实现国产化? 70
- 11-2 大型抽水蓄能机组本土化和国产化的发展前景怎样? 70
- 11-3 在抽水蓄能机组的制造中我国制造厂承担了哪些任务? 71

十二、抽水蓄能电站的运行和管理

- 12-1 什么是发电机组的可靠性和可用率? 72
- 12-2 抽水蓄能电站可以达到什么样的自动化程度? 72
- 12-3 我国抽水蓄能电站现在是怎样运营管理的? 73
- 12-4 电价改革前,抽水蓄能电站还可以有哪些经营管理模式? 74
- 12-5 电价改革以后,抽水蓄能电站可能有哪些经营管理模式? 75

一、电力系统基本概念

1-1 什么是电力系统负荷?

电力系统用电负荷是电力系统中某一时刻所有各种用电设备,如电动机、电热、照明等消耗电力的总和。

电力系统的用电负荷加上网络中损耗的功率称为供电负荷,再加上各发电厂厂用功率总称为电力系统的发电负荷。

电力负荷是电力系统规划、设计、运行和调度的主要依据,因此,系统负荷数据资料的搜集、积累、分析和预测工作很重要。

1-2 何谓基荷、峰荷、腰荷、峰谷差?

基荷是日负荷曲线图(见图1)最小负荷 P_{\min} 以下的部分。承担基荷的发电机组可以连续运行。

腰荷是在日负荷曲线图平均负荷 P_{av} 和最小负荷 P_{\min} 之间的部分,它在一天内是有间断的,承担腰荷的机组一般需要间歇运行,如图1所示。

峰荷 P_{\max} 是日负荷曲线图平均负荷 P_{av} 以上的部分,一般电网在一天内有2个或3个尖峰负荷,如图1所示。承担峰荷的机组需要具有起停方便、能快速带上或卸掉负荷的能力。

峰谷差是日负荷图上负荷最高点 P_{\max} 和最低点 P_{\min} 的差值,近代电力系统呈现峰谷差愈来愈大的特征。

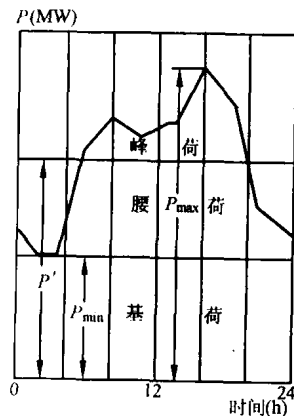


图1 日负荷曲线图

1-3 什么是日负荷率、平均负荷率、最小负荷率？

日负荷率是一天内的平均负荷 \overline{P} 与最高负荷的比率，也就是平均负荷率。对于同样的用电量，如果日负荷率高，则所需投入运行的机组容量比较小；最高负荷与最低负荷的差额（峰谷差）必然小，多数机组可接近额定容量运行，因而可提高运行的经济性。

最小负荷率是一天内最小负荷与最大负荷的比率。如最小负荷率的数值低，则表示电力系统的高低负荷之间差别大，也就是峰谷差大。采用抽水蓄能这种方式来储备电网负荷低谷时的电能，到负荷高峰时发电，是一种提高电力系统运行经济性的好措施。

1-4 什么是日循环、周循环？

如果一个电力系统的运行规律是每天一样的，则这样的运行方式称为日循环。也有的电力系统在一周之内每天的运行规律不相同，但每周的运行规律是相同的，则称为周循环。现在各国都重视工作人员的周末（周六、周日）休息，所以正常工作日（周一至周五）的负荷较高，而周末的负荷较低。周循环的负荷图如图 2 所示。在这种电力系统内装设的抽水蓄能机组在正常工作日

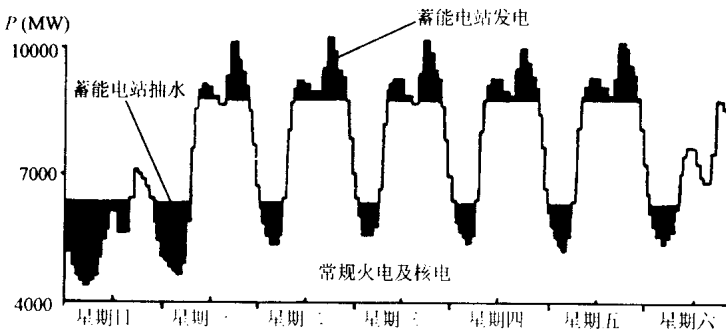


图 2 电力系统周负荷图

抽水（蓄能）少而发电多，到周末则基本上全抽水（蓄能）而很少发电。

1-5 什么是静态效益？

静态效益是一段时间内，如一个月或一年，发电设备所产生的经济效益。可能是新增设备的容量、电量，或替代其他电站所产生的容量、电量；或者是替代其他燃料品种所产生的经济效益。

1-6 什么是动态效益？

动态效益是发电设备在运行期间，随电力系统的需要所承担的不同功能的任务而产生的经济效益，如机组的调频、负荷跟随、调相、旋转备用、事故备用、黑启动等功能所产生的经济效益。

1-7 什么是电价水平？

电价水平是电能价格高低的尺度。随各国社会制度的不同，价格政策、管理制度、燃料资源的价格不尽相同，因而电价水平也有差别。我国各电网由于燃料结构、电价成本、用电构成和地区平均利用率水平不同，电价水平也不一致。

1-8 什么是财务内部收益率？

财务内部收益率是指项目经济寿命期内各年净现金流量的累计净现值等于零时的折现率。就其经济含义而言，财务内部收益率是一种考虑了资金时间价值以后的投资收益率，是反映项目投资获利能力常用的重要动态评价指标。若项目的投资来源由资本金和银行贷款两部分组成，则区分为全部投资财务内部收益率和资本金财务内部收益率两种。

全部投资财务内部收益率评价指标的经济意义在于把项目所创造的财务收益与总投资额联系起来，据以判别项目可以创造的