

抽水蓄能电站 水能设计

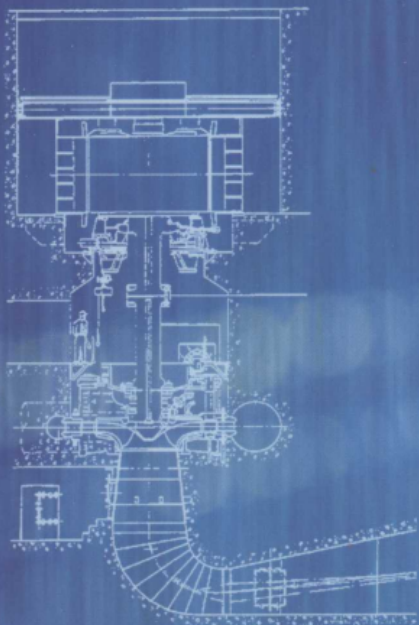
CHOUSHUI XUNENG DIANZHAN
SHUINENG SHEJI

中国水电顾问集团华东勘测设计研究院 张克诚 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

责任编辑：王丽 冯红春



ISBN 978-7-5084-4490-1



9 787508 444901 >

定价:28.00 元

抽水蓄能电站 水能设计

CHOUSHUI XUNENG DIANZHAN
SHUINENG SHEJI

中国水电顾问集团华东勘测设计研究院 张克诚 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍抽水蓄能电站规划设计工作内容。全书共分11章。第1章介绍抽水蓄能电站国内外发展简史和工作原理以及开发方式；第2章介绍电力系统特性，为阐述后面的内容作准备；第3章介绍抽水蓄能电站在电力系统中的作用；第4章介绍抽水蓄能电站经济效益分析；第5章介绍建设抽水蓄能电站必要性论证方法；第6章介绍与抽水蓄能规划有关的水利动能经济计算方法；第7章介绍抽水蓄能资源调查和站址选择；第8章介绍抽水蓄能电站的建设规模论证和工程参数选择；第9章介绍抽水蓄能电站经济评价；第10章介绍抽水蓄能电站运行设计；第11章介绍国内部分已建和在建抽水蓄能电站的规划设计特点。

本书内容丰富、资料翔实。可供从事抽水蓄能规划设计或电力系统规划及管理人员以及相关专业大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

抽水蓄能电站水能设计/张克诚编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2007

ISBN 978-7-5084-4490-1

I. 抽… II. 张… III. 抽水蓄能水电站—设计 IV. TV743

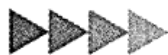
中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第038007号

书 名	抽水蓄能电站水能设计
作 者	中国水电顾问集团华东勘测设计研究院 张克诚 编著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32开本 9.5印张 255千字 1插页
版 次	2007年6月第1版 2007年6月第1次印刷
印 数	0001—2500册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言



世界上最早的抽水蓄能电站问世已有 120 余年了，但是抽水蓄能电站的规模化发展是从 20 世纪 60 年代才开始的。我国自 20 世纪 60 年代开始在已建常规水电站加装抽水蓄能机组，形成小型混合式抽水蓄能电站。改革开放以后，随着经济发展速度和规模的持续增长，用电负荷迅速增加，负荷构成和负荷特性逐年变化，在电力供不应求的同时，电网调峰问题日趋突出。为了满足不断增长的电力需求，国家加大了电源建设步伐，大容量燃煤机组和核电机组陆续建成投产，同时远距离超高压输电线路迅速增多，多数电网水电比重逐年下降，电网稳定安全运行面临更大压力，迫切需要新增运行灵活可靠的调峰电源。在这样的形势下，各地逐渐掀起研究和建设抽水蓄能电站热潮。

从 20 世纪 80 年代起至今我国已经建成广州（最大水头 552m，装机 2400MW）、十三陵（最大水头 476m，装机 800MW）、天荒坪（最大水头 614m，装机 1800MW）、潘家口（最大水头 86m，装机 270MW）、羊卓雍湖（最大水头 842m，装机 90MW）、沙河（最大水头 123m，

装机 100MW)、溪口 (最大水头 276m, 装机 80MW)、响洪甸 (最大水头 64m, 装机 80MW)、桐柏 (最大水头 283.7m, 装机 1200MW) 等大中型抽水蓄能电站。目前正在建设的有宜兴 (最大水头 410.7m, 装机 1000MW)、琅琊山 (最大水头 136m, 装机 600MW)、宝泉 (最大水头 562.5m, 装机 1200MW)、泰安 (最大水头 253m, 装机 1000MW)、惠州 (最大水头 555m, 装机 2400MW)、张河湾 (最大水头 348m, 装机 1000MW)、西龙池 (最大水头 687.8m, 装机 1200MW)、白莲河 (最大水头 212.84m, 装机 1200MW)、白山 (最大水头 123.9m, 装机 300MW)、黑麋峰 (最大水头 334.4m, 装机 1200MW) 等大型抽水蓄能电站。还有一批抽水蓄能项目正在申请核准立项。

抽水蓄能电站水能设计涉及建设抽水蓄能电站必要性论证、抽水蓄能资源调查及站址选择、工程规模论证及基本参数选择、工程效益分析及工程经济评价、电站运行设计等, 是抽水蓄能电站建设前期工作必不可少的重要环节。我国广大工程技术人员经过 30 多年的探索和工程实践, 积累了一定的抽水蓄能规划工作经验, 初步摸索出一套适合中国国情的抽水蓄能规划工作程序和方法。笔者于 1974 年参加抽水蓄能规划工作, 对抽水蓄能规划工作怀有深厚的感情。现已退休, 愿以有生之年做一点有益的事, 编著本书抛砖引玉。希望本书能为青年同行提供一份参考材料, 如能对青年同行有所帮助则笔者感到无限欣慰。

本书的编著和出版得到华东勘测设计研究院张为民

院长、张春生总工程师、王金锋主任的热情鼓励和大力支持；计金华副总工程师为本书初稿提出了许多宝贵意见；赵佩兴教授级高级工程师和费京伟高级工程师也给予了不少帮助。在此，一并谨向他们表示衷心的感谢。

本书内容主要取材于国内的技术文献，也包括笔者对一些问题的理解和认识。书中难免有不妥之处，敬请读者和专家予以指正。

作者

2007年1月于浙江

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 抽水蓄能电站发展简史	1
1.2 抽水蓄能电站的工作原理	14
1.3 抽水蓄能电站的开发方式和分类	17
1.4 抽水蓄能电站的工作特性	25
参考文献	31
第 2 章 电力系统特性	32
2.1 电力系统基本特性	32
2.2 电力系统运行稳定性	32
2.3 电力负荷特性	34
2.4 各类电源特性	40
2.5 电力生产特点	43
参考文献	44
第 3 章 抽水蓄能电站在电力系统中的作用	45
3.1 削峰填谷作用	45
3.2 调整系统频率	48
3.3 调整系统电压	49
3.4 快速跟踪负荷变化	51
3.5 配合核机组运行	52
3.6 配合水电站运行	53
3.7 适应远距离送电需要	53
3.8 部分国家抽水蓄能电站规划意图简介	54
参考文献	56

第 4 章 抽水蓄能电站经济效益分析	57
4.1 静态效益分析	57
4.2 动态效益分析	59
参考文献	65
第 5 章 抽水蓄能电站建设必要性论证	67
5.1 必要性论证的基本途径	67
5.2 必要性论证的基本方法	68
5.3 关于配套建设的必要性问题	77
参考文献	83
第 6 章 水利动能经济计算	84
6.1 能量转换计算	84
6.2 电力电量平衡	91
6.3 调峰容量平衡	100
6.4 洪水调节计算	104
6.5 水库泥沙计算	109
6.6 水库初期蓄水计算	113
6.7 效益计算	117
参考文献	134
第 7 章 抽水蓄能电站站址选择	136
7.1 抽水蓄能电站的建设条件	136
7.2 站址普查	149
7.3 选点规划	152
参考文献	174
第 8 章 抽水蓄能电站基本参数选择	175
8.1 装机容量选择	175
8.2 上、下水库特征水位选择	178
8.3 输水道直径选择	182
8.4 水泵水轮机额定水头选择	189
参考文献	192

第 9 章 抽水蓄能电站经济评价	193
9.1 抽水蓄能电站经济评价基本规定	193
9.2 抽水蓄能电站经济评价基本原则	195
9.3 可避免电源方案的选择	196
9.4 国民经济评价	197
9.5 财务评价	200
9.6 方案经济比较	224
参考文献	226
第 10 章 抽水蓄能电站运行方式	227
10.1 蓄能电站的运行任务和工况	227
10.2 国内外已建蓄能电站的运行情况	228
10.3 运行设计的基本任务	249
10.4 初期运行设计	250
10.5 生产期发电调度运行设计	251
10.6 生产期水库洪水调度运行设计	254
参考文献	255
第 11 章 我国部分已建、在建典型抽水蓄能电站规划	
设计特点简介	257
11.1 广州抽水蓄能电站	258
11.2 天荒坪抽水蓄能电站	260
11.3 十三陵抽水蓄能电站	262
11.4 桐柏抽水蓄能电站	263
11.5 潘家口抽水蓄能电站	265
11.6 羊卓雍湖抽水蓄能电站	266
11.7 沙河抽水蓄能电站	268
11.8 白山抽水蓄能泵站	268
11.9 慈利县跨流域抽水蓄能工程	269
参考文献	270
附录 世界抽水蓄能电站调查表	272

第 1 章 概 论

1.1 抽水蓄能电站发展简史

1.1.1 国外抽水蓄能电站的发展简史

抽水蓄能电站的建设起始于欧洲。1882年瑞士建成了世界上最早的抽水蓄能电站——苏黎世奈特拉抽水蓄能电站，功率515kW，扬程153m，1909年又建成了沙夫豪森抽水蓄能电站，装机容量2000kW，扬程154m。随后意大利于1912年利用两个天然湖泊之间的156m落差建成维罗尼抽水蓄能电站，装机容量7600kW。时隔12年法国建成贝尔维尔抽水蓄能电站，装机容量18000kW，水头达542m。接着德国于1926年建成施瓦森巴克沃克抽水蓄能电站，装机容量增加到43000kW，扬程为340m。1931年日本建成了小口川第三电站，该电站为混合式抽水蓄能电站，其蓄能装机14000kW，额定水头621.2m。此后西方发达国家又相继修建了一批抽水蓄能电站。电站装机规模逐渐增大，其中以德意志联邦共和国于1943年建成投产的维茨瑙抽水蓄能电站装机220MW为最大。根据《Water Power & Dam Construction》2001年年刊所载《世界抽水蓄能电站调查表》统计，到1950年，全世界建成抽水蓄能电站28座，投产容量约1994.01MW。进入20世纪60年代，美国、日本、西德、法国等发达国家加快了抽水蓄能电站的建设步伐，稍后发展中国家，例如南非、印度、巴西、哥伦比亚等也开始建设抽水蓄能电站，投入运行的抽水蓄能电站迅速增加。据不完全统计，截至2004年全球已有38个国家和地区修建了抽水蓄能电站，到2004年投入运行的抽水蓄能电站317座，装机总容量为122078.81MW。

其中装机容量最多的国家是日本，为 23682.78MW；其次是美国，为 20010.00 MW；第三位是俄罗斯，为 12283.00 MW；我国名列第七位，为 5727.00MW，见表 1.1，详见附录。

表 1.1 世界抽水蓄能电站装机容量排行榜（截至 2004 年）

序 号	国家和地区	电站数 (座)	装机容量 (MW)
1	日本	43	23682.78
2	美国	37	20010.00
3	俄罗斯	7	12283.00
4	意大利	23	8032.10
5	德国	31	6651.68
6	法国	24	5978.77
7	中国	11	5727.00
8	西班牙	22	5150.10
9	英国	5	3241.80
10	奥地利	17	2836.50
11	澳大利亚	5	2754.00
12	瑞士	18	2678.30
13	中国台湾	2	2628.00
14	捷克	10	2116.33
15	菲律宾	1	1800.00
16	南非	3	1787.00
17	波兰	5	1549.50
18	印度	5	1542.75
19	挪威	8	1280.70
20	韩国	2	1152.00
21	伊朗	1	1140.00

续表

序 号	国家和地区	电站数 (座)	装机容量 (MW)
22	南斯拉夫	2	1130.00
23	卢森堡	1	1096.00
24	比利时	2	990.00
25	阿根廷	2	862.00
26	泰国	3	743.00
27	葡萄牙	4	562.50
28	保加利亚	2	535.00
29	瑞典	3	426.00
30	摩洛哥	1	330.00
31	爱尔兰	1	292.00
32	克罗地亚	1	280.00
33	罗马尼亚	5	237.30
34	墨西哥	1	200.00
35	巴西	4	191.40
36	加拿大	1	122.00
37	哥伦比亚	3	30.70
38	智利	1	28.60
合 计		317	122078.81

从1950~1980年的31年间电站数增加7.9倍，装机容量增加29.3倍，这说明随着装机总量的增加，单站装机规模增加较快。年平均增长率以1961~1970年最大，为15.37%，其次是1971~1980年，为12.30%，进入20世纪80年代以后，年平均增长率开始出现下降趋势。各时期抽水蓄能电站增长情况见表1.2，详见附录。

表 1.2 世界抽水蓄能电站增长情况统计表

项 目	1950 年 以前	1951~ 1960 年	1961~1970 年	1971~1980 年
电站数 (座)	28	36	67	91
累计 (座)	28	64	131	222
装机容量增加 (MW)	1994.00	2393.60	13942.30	40158.76
期末装机容量 (MW)	1994.00	4387.60	18329.90	58488.66
年平均增长率 (%)	—	8.21	15.37	12.30
项 目	1981~1990 年	1991~2000 年	2000~2004 年	
			投 产	在 建
电站数 (座)	61	30	4	26
累计 (座)	281	313	317	(343)
装机容量增加 (MW)	34854.85	27090.30	1645.00	16077.85
期末装机容量 (MW)	93343.51	120433.81	122078.81	(138156.66)
年平均增长率 (%)	4.79	2.58	0.34	(3.49)

注 加括号的数字包括投产和在建的电站。

早期建设的抽水蓄能电站装机规模比较小,随着电力系统的扩大及机组制造技术的进步,电站装机规模逐渐增大,目前已经全部建成或首台机组投产的装机容量达到或超过 1000MW 的抽水蓄能电站有 43 座。其中最大的是俄罗斯的卡涅夫抽水蓄能电站,装机容量为 3600MW,第一台机组于 1993 年建成发电;其次是我国的广州抽水蓄能电站,装机容量为 2400MW,第一期 4×300MW 于 1994 年建成发电,第二期 4×300MW 于 2000 年建成投产。日本的神流川抽水蓄能电站装机 2700MW,共 6 台机组,一期工程 4 台机组于 1999 年 4 月开工建设,计划 2005 年

7月1号机组投产，5年后2号机组投产，3号、4号机组尾水管锥管已安装，何时投产尚无计划。世界大型抽水蓄能电站见表1.3，详见附件。

初期建设的抽水蓄能电站采用水轮机与水泵分开布置，后来随着水力机械制造技术的进步，逐步采用可逆式机组（发电电动机——水泵水轮机组），最早采用可逆式机组的是西班牙于1929年建成的乌尔迪塞托抽水蓄能电站，该电站装机容量7.2MW，最大扬程420m。20世纪60年代以后，抽水蓄能电站大量采用可逆式机组，目前单级水泵水轮机的最大扬程已达778m（日本葛野川电站），最大单机容量已达475MW（美国的腊孔山电站）。

世界抽水蓄能电站迅速发展的主要原因归纳起来有以下几点。

（1）电力负荷迅速增长，特别是用电结构的变化，使负荷率下降，高峰负荷与低谷负荷差距加大，要求有更多的运行灵活的电站来承担调峰任务。而一些国家和地区可供经济开发的常规水电已开发殆尽，不能满足电力系统安全、经济运行需要。

（2）普通火电机组参加调峰运行技术上难以完全适应电力负荷急剧而频繁变化，频繁大幅度变出力运行容易引起故障，增加检修维护费用，同时机组效率降低，能耗增加，也加大了运行费用。而专门设计的用来担任调峰运行的所谓尖峰火电机组制造技术复杂，价格昂贵，运行成本高。

（3）新型高参数大容量火电机组大量投入，核电站日益增多，从安全和经济的角度出发都要求这些机组尽可能在高效率区稳定运行。抽水蓄能电站正好能配合这些电站联合运行，既可提高电力系统的运行可靠性，又能降低电力系统运行成本，经济效益和社会效益明显。

（4）随着科学技术的进步，机组制造水平不断提高，高扬程、大容量可逆式机组得到广泛应用。而扬程高、水头大，相应的调节库容、输水道直径、机组和厂房尺寸都可以大为减小，工

表 1.3 世界大型抽水蓄能电站 (截至 2000 年)

序号	电站名称	国家和地区	第一台机组投产年份	台数	机型	发电工况			抽水工况			调节周期
						最大功率 (MW)	最大流量 (m^3/s)	最大水头 (m)	最大功率 (MW)	最大流量 (m^3/s)	最大扬程 (m)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	蒂默特 3	澳大利亚	1973	9	(6)混流+(3)多级泵	1689		161.5	582	297	164.6	日/周
2	广州	中国	1992	8	可逆混流	2400		536	2608		550	日/周
3	天荒坪	中国	1998	6	可逆混流	1800	392	567	1860	332	614	日
4	明湖	中国台湾	1985	4	可逆混流	1008		316.5		334.8	326	
5	明潭	中国台湾	1992	6	可逆混流	1620		401	1650		411	
6	特尼斯特尔	俄罗斯	1993	7	可逆混流	2268	1890	155.4	2947	1834	165.6	日
7	凯夏多尔	俄罗斯	1990	8	可逆混流	1600	1808	111.5	1600	1512	111.5	日
8	卡涅夫	俄罗斯	1993	16	可逆混流	3600	3776	114	4000	3456	114	周
9	列宁格勒	俄罗斯	1995	8	可逆混流	1560	1912	93.3	1760	1648	97.8	日
10	塔什累克	俄罗斯	1992	10	(4)混流+(6)可逆混流	1820	2908	83.5	1260	1368	83.5	日
11	扎戈尔斯克	俄罗斯	1998	6	可逆混流	1200	1356	113	1320	1134	113	日
12	格兰德迈松	法国	1987	12	可逆水机	1800	380	905	1850	204	955	季
13	戈尔戴斯撒	德国	(2002)	4	可逆混流	1060	403.2	325	1040	317.2	325	日
14	马克斯巴赫	德国	1979	6	可逆混流	1050	420	288	1140	60	288	日

续表

序号	电站名称	国家和地区	第一台 机组投 产年份	台数	机 型	发电工况			抽水工况			调节 周期
						最大功率 (MW)	最大流量 (m ³ /s)	最大水头 (m)	最大功率 (MW)	最大流量 (m ³ /s)	最大扬程 (m)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
15	夏赫比谢	伊朗	(1996)	4	可逆混流	1140		505	940		515	
16	埃多洛	意大利	1993	8	可逆水机	1021	95	1195	1120	95	1265.6	日
17	奇奥塔斯	意大利	1982	8	可逆水机	1184	128	1048	1263	118	1048	日
18	普列森扎诺	意大利	1990	4	可逆水机	1000	238	489	1016	195	495.5	日
19	布康瓦尔格	意大利	1971	9	(8)冲击+(1)水泵	1040	160	753	720	89	746.5	日
20	今市	日本	1988	3	可逆混流	1080	240	539.5	1083	177	573	
21	侵野川	日本	1986	4	可逆混流	1234		529.1	1260	110	489	
22	葛野川	日本	1999	4	可逆混流	1648	280	712.4	1752	201.2	778	
23	大河内	日本	1992	4	可逆混流	1320			1456		394.7	
24	奥清津	日本	1978	4	可逆混流	1040	260	490	1028	216	470	
25	奥美浓	日本	1994	4	可逆混流	1036			1040		520	
26	奥多良木	日本	1974	4	可逆混流	1240	376	406	1256	288	182.2	
27	奥吉野	日本	1978	6	可逆混流	1242	265	505	1284		526	
28	下乡	日本	1988	4	可逆混流	1040	143.5	421	1120		440	