

SHUI DIAN ZHAN YU CHOU SHUI XU NENG DIAN ZHAN

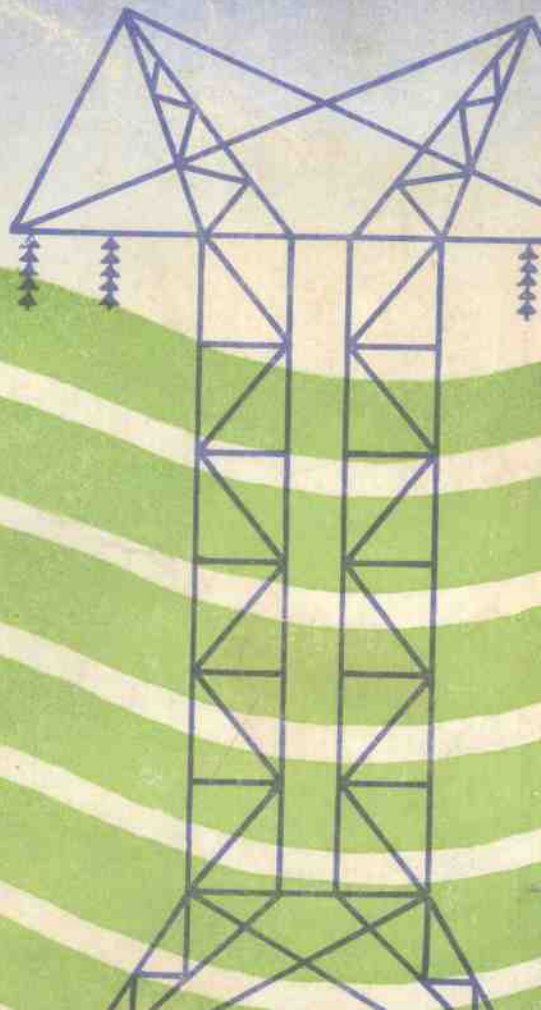
水电站与抽水蓄能电站

M·G·乔格 著

高武 吕韵平 赵旭光 合译

戚国瑞 校

湖北科学技术出版社



TV743

2

水电站与抽水蓄能电站

湖北科学技术出版社

前 言

目前，能源危机已经席卷了整个世界，煤、石油和天然气等矿物燃料的储量正在迅速地减少。因而，全世界不得不注意开发可以再生的能源资源，例如水能、潮汐能和太阳能等。所以，我们必须注意在开发已知的水力资源的同时，还要进行调查研究，以发现新的能源。

作为一名水力发电工程学科的教师，我觉得非常需要一本可以作为上述课题入门课程教科书的简明读本，因为有关上述课题的专业书籍篇幅过于庞大。此外，抽水蓄能电站现正被大规模地用于峰荷发电，而我过去也不可能得到有关抽水蓄能电站课题最新发展的技术资料。另一个正在发展的低水头发电分支，包括具有巨大蕴藏量的潮汐发电，也必须重视。

本书试图填补上述空白，我希望它将受到学生和工程技术人员欢迎。

我愿意向给予我全面合作的不同国家的机械制造工厂和各电管局致以诚挚的感谢，我还要向对出版本书给予了很多帮助的出版工作人员和所有其他人员表示感谢。

我诚挚地希望读者指出本书的错误，或者提出建议，以便改善本书再版的质量。

M.G. 乔格

1983年9月5日

译者前言

英文《水电站与抽水蓄能电站》，1989年威力(WILEY)东方有限公司(印)第一次出版，并由纽约、奇切斯特(英)、布里斯班(澳)、多伦多(加)、新加坡的威力兄弟有限公司在澳洲、欧洲、非洲、东南亚、南亚、南北美洲及世界各地发行。

该书是高等学校水力发电工程学科入门教科书，特点是在专业书篇幅庞大的情况下，用简明的语言和图片，系统介绍了国外水电站、低水头发电、潮汐发电，详细论述了抽水蓄能电站，资料涉及美、苏、英、法、西德、意、加、日、瑞士、瑞典、奥地利、卢森堡、巴西、印度、比利时、澳大利亚等国。

该书作者M·G·乔格教授(印)曾主持水电工程设计和建设，在高等学校任教近30年，在《Water Power》和国际会议上发表很多论文，对当今抽水蓄能电站有特别丰富的经验。

该书介绍了许多发达国家的常规和非常规水电站资料，目前我国介绍低水头发电、潮汐发电、抽水蓄能电站的教材尚少，故译本可供高等学校水电类专业本、专科和函授学生选修选读或阅读原著的参考译文，也可供中专教师参考和学生选读。同时，该书具有专业科技普及的性质，故译本还可供水电系统干部、技术人员和职工阅读。

该书由武汉水利电力学院高武、吕韵平、赵旭光翻译。其中，内容提要，前言，一、三、四、十一、十四、十六章由高武译；作者简介，五、九、十、十二、十五、十九章由吕韵平译；目录，二、六、七、八、十三、十七、十八章由赵旭光译。

全书由武汉水利电力学院戴国瑞教授作了非常认真的校核，译者向他表示真诚的敬意。

同时，译者曾得到我院函授部、图书馆、总务处和水动系的支持；曾得到骆公望教授，刘炳文、吴甲铨副教授，薛陵山副研究员，姚宝庆、宋绪典副编审和涂深富、郑荣华、仇乔玲、张承发、胡建林、陶翠慧、郭智明、苏双洪、邓淑珍等同志的帮助。湖北科学技术出版社和武汉测绘科技大学印刷厂为译本的出版做了许多工作。在此，译者向他们表示谢意。

由于原著少数图片不够清晰，影响翻拍制版，译者、出版社、印刷厂共同商定，不得不删去少数照片，图号略有变动。此外，限于时间和水平，译本中不足之处难免，敬请读者指正。

译者

1990年8月

目 录

| | |
|-------------------|------|
| 第一章 结论 | (1) |
| § 1—1 远景规划 | (3) |
| 第二章 电力生产 | (5) |
| § 2—1 负荷曲线 | (5) |
| § 2—2 电站分类 | (8) |
| § 2—3 选择标准 | (10) |
| § 2—4 非常规能源 | (11) |
| 第三章 水电站 | (12) |
| § 3—1 水力发电 | (12) |
| § 3—2 水力发电的优点 | (12) |
| § 3—3 水力发电的缺点 | (13) |
| § 3—4 综合利用 | (14) |
| § 3—5 水电站的代表性组成部分 | (15) |
| § 3—6 水电站的分类 | (17) |
| 第四章 水文学 | (25) |
| § 4—1 概述 | (25) |
| § 4—2 降水 | (25) |
| § 4—3 降雨量的分配 | (26) |
| § 4—4 降雨径流相关关系 | (27) |

| | |
|---------------------|-------------|
| § 4—5 流量的测定 | (30) |
| § 4—6 洪水估算 | (30) |
| § 4—7 水库设计 | (33) |
| 第五章 水轮机 | (36) |
| § 5—1 概述 | (36) |
| § 5—2 水轮机的分类 | (37) |
| § 5—3 水斗式水轮机 | (38) |
| § 5—4 混流式水轮机 | (48) |
| § 5—5 轴流式和轴流转浆式水轮机 | (58) |
| § 5—6 斜流式水轮机 | (65) |
| 第六章 电气设备 | (68) |
| § 6—1 水轮发电机 | (68) |
| § 6—2 变压器 | (80) |
| § 6—3 开关设备 | (82) |
| § 6—4 变电站 | (86) |
| § 6—5 辅助设备 | (86) |
| § 6—6 控制室设备 | (87) |
| 第七章 闸门和阀门 | (88) |
| § 7—1 概述 | (88) |
| § 7—2 用途 | (88) |
| § 7—3 阀门 | (92) |
| 第八章 压力钢管和调压井 | (99) |
| § 8—1 概述 | (99) |

| | |
|--------------------|--------------|
| § 8—2 输水管道系统的组成 | (99) |
| § 8—3 压力管道类型 | (100) |
| § 8—4 压力管道设计 | (106) |
| § 8—5 压力钢管的经济直径 | (108) |
| § 8—6 水锤 | (110) |
| § 8—7 调压井 | (110) |
| § 8—8 拉戈·代利奥调压井 | (115) |
| § 8—9 克善阿昌调压井 | (116) |
| § 8—10 菲奥里诺调压井 | (116) |
| 第九章 坝 | (118) |
| § 9—1 概述 | (118) |
| § 9—2 坝的分类 | (118) |
| § 9—3 土石坝 | (119) |
| § 9—4 重力坝 | (122) |
| § 9—5 拱坝 | (124) |
| § 9—6 支墩坝 | (126) |
| § 9—7 溢流坝 | (126) |
| 第十章 水电站厂房布置 | (130) |
| § 10—1 概述 | (130) |
| § 10—2 各种设备的安装 | (130) |
| § 10—3 其他设备 | (132) |
| § 10—4 电站厂房的选址 | (132) |
| § 10—5 厂房分类 | (133) |
| § 10—6 厂房尺寸的确定 | (140) |

| | | |
|-------------|-------------|-------|
| 第十一章 | 一些典型的水电站 | (147) |
| § 1 1—1 | 科伊纳流域的开发 | (147) |
| § 1 1—2 | 罗斯朗水电站 | (150) |
| § 1 1—3 | 伊利亚绍尔梯拉水电站 | (153) |
| § 1 1—4 | 特雷斯马丽亚斯水电站 | (158) |
| § 1 1—5 | 阿沙赫水电站 | (164) |
| 第十二章 | 低水头发电 | (169) |
| § 1 2—1 | 概述 | (169) |
| § 1 2—2 | 最新发展 | (170) |
| § 1 2—3 | 灯泡式水轮机的优点 | (171) |
| § 1 2—4 | 限制因素 | (172) |
| § 1 2—5 | 发电机的位置 | (173) |
| § 1 2—6 | 使用灯泡式机组的节资值 | (173) |
| § 1 2—7 | 直流式或全贯流式水轮机 | (176) |
| § 1 2—8 | 贯流式水轮机 | (177) |
| 第十三章 | 潮汐发电 | (180) |
| § 1 3—1 | 概述 | (180) |
| § 1 3—2 | 运行方式 | (181) |
| § 1 3—3 | 抽水蓄能 | (182) |
| § 1 3—4 | 潮汐电站站址选择 | (183) |
| § 1 3—5 | 诺斯潮汐电站 | (183) |
| 第十四章 | 抽水蓄能电站 | (191) |
| § 1 4—1 | 概述 | (191) |

| | |
|-------------------------|--------------|
| § 1 4—2 用煤作燃料电站发电的单位费用 | (192) |
| § 1 4—3 备用电站的必要性 | (193) |
| § 1 4—4 抽水蓄能电站的运行 | (194) |
| § 1 4—5 抽水蓄能电站运行过程的效率 | (196) |
| § 1 4—6 经济合理性 | (196) |
| § 1 4—7 远景规划 | (197) |
| § 1 4—8 抽水蓄能电站的优点 | (197) |
| 第十五章 抽水蓄能电站的分类 | (199) |
| § 1 5—1 概述 | (199) |
| § 1 5—2 抽水蓄能电站的站址选择 | (201) |
| § 1 5—3 抽水蓄能电站的典型布置 | (202) |
| 第十六章 抽水蓄能电站的机组设备 | (209) |
| § 1 6—1 概述 | (209) |
| § 1 6—2 水泵的运行 | (210) |
| § 1 6—3 实现抽水蓄能功能的机组 | (214) |
| § 1 6—4 水泵的布置 | (217) |
| § 1 6—5 活动连接串列机组的运行 | (219) |
| § 1 6—6 固定连接的串列机组 | (220) |
| § 1 6—7 可逆式水泵—水轮机的二元机组 | (224) |
| § 1 6—8 多级可逆式水泵—水轮机 | (228) |
| § 1 6—9 同轴水泵—水轮机 | (230) |
| § 1 6—1 0 多台机组的运行 | (232) |

| | |
|----------------------------|--------------|
| § 1 6—1 1 系统的备用容量····· | (234) |
| § 1 6—1 2 典型机组····· | (234) |
| 第十七章 抽水蓄能电站的水库····· | (237) |
| § 1 7—1 概述····· | (237) |
| § 1 7—2 上水库····· | (237) |
| § 1 7—3 下水库····· | (240) |
| 第十八章 抽水蓄能电站的厂房····· | (243) |
| § 1 8—1 概述····· | (243) |
| § 1 8—2 地面厂房····· | (243) |
| § 1 8—3 地下厂房····· | (244) |
| § 1 8—4 竖井式厂房····· | (247) |
| 第十九章 典型的抽水蓄能电站····· | (250) |
| § 1 9—1 克鲁阿昌抽水蓄能电站····· | (250) |
| § 1 9—2 菲安登抽水蓄能电站····· | (257) |
| § 1 9—3 昌谟斯抽水蓄能电站····· | (263) |

第一章 绪 论

近五千年以来，人类社会走过了从以农业为基础到以工业为基础的漫长的道路。在古代，农业生产、交通运输和其它经济活动都是靠人力或畜力来进行的。借助于三种基本机械的帮助，奴隶们用艰苦的劳动建造了埃及的金字塔。有许多可靠的资料表明：人类在2000年以前就懂得了使用水泵，在800年以前就懂得了利用潮汐为动力来磨面。但是，由于蒸汽机的发明才宣告了真正的机械时代。蒸汽机产生了对商品生产有用的廉价而经济的动力，逐渐降低了生产的成本，并且产生了剩余。这些又反过来对发展商品经济进行了巨大的投资，同时使得生产工厂需要更多的动力，因而引起的连锁作用似乎是无止境的。

随着电的发现，由于电力具有清洁、多用性和容易远距离输送等优点，机械的动力被降到了第二位。

社会正义的观念把喧嚷引到了提高物质生活水平。这对工业、交通、农业和民用来说只有随着大规模的用电才能达到。因此，对电力的需要已开始逐步提高，而且人均耗电量已成为一个国家富裕的指标。1952年在发达国家，例如美国、加拿大、联合王国和瑞典，人均年发电量超过了1000千瓦时；而印度的人均年发电量只有17千瓦时。

对于为满足日益增长的电力需要来说，可以用来发电的资源有矿物燃料（固体或液体）、水和放射性物质。但是，

这些资源对世界各国并不是均匀分布的。英国和德国有丰富的煤；阿拉伯国家有丰富的石油；瑞士、瑞典及挪威等多山的国家有丰富的水力资源；而其他的国家，象美国、印度和苏联有丰富的煤及水力资源。

存在的一个危险信号是，非再生的能源按现在消耗的速度，在不久的将来可能会造成全世界性的能源短缺。就石油而言这种情况已经发生。然而，美好的一线希望是发现越来越多的煤矿，先进的工艺可以使低等级的煤矿开采更加经济。同时，特别希望能在海洋底下发现新的石油和天然气资源。

对于非常规能源，例如太阳能、地热能，必须给以认真的注意。但是，直到今天为止，这些能源的开发还在试验阶段，还不能加以经济地利用。

在发达国家，电力开发的准则如下：

(1) 应该在规定的电压范围内，对用户连续不断地供电；

(2) (a) 总的装机容量必须总是能满足总的负荷要求；

(b) 如果没有任何故障的话，即使尖峰负荷在一年内也许只出现少数几个小时，电力系统也必须满足这最大的峰荷要求。

要满足这些条件，系统所装设的发电容量必须始终超过负荷要求量，同时还必须对负荷的增长率合理地作出准确预测，我们假定合理的负荷年增长率为7%。但是，如果存在经济下降趋势的话，那么这个比率可以减小。

在发达国家，一般有稳定的资本市场，重要的电力部门

绝不允许因为资金短缺而蒙受损失。

在发展中国家，矿产的开发，农业的现代化和迅速的工业化，对电力的需求正在飞跃地增长。因此，装机容量总是落后于负荷的增加，人们几乎每天都要议论频繁发生的供电不足。引起这些混乱情况的原因也许是多方面的。长期计划可能订得太大，而财政的可能性也许受到限制，因为电力部门的投资必须与其它部门，如工业、运输、农业、卫生及国防部门统筹安排。

在电力部门内部，不同发电方式之间，及发、输电与配电之间，均存在互相竞争的要求。动力工程的实现是延续若干年的漫长的过程，除非在要求的时间内有足够的财力支持，否则工程常常被推迟完成。这种不利的情况具有一个累积效应，使得后续工程也要推迟。

大多数发展中国家缺乏有关电站方面的制造器材和所需要的设备，因此不得不依靠进口。这就需要大量的外汇——一种珍贵的商品。这些国家还受到缺少熟练技术人员的困扰，因而不得不从其它国家聘请。

尽管技术熟练的人员可能是供不应求的，而普通工人可以很容易招到。但是为了减少失业人数，机械化不得不保持在最低的程度，而另一方面由于劳动力的不稳定也会给工程带来困难。虽然存在这些困难，但是许多发展中国家仍然在快速地增加他们的装机容量。

§ 1-1 远景规划

我们必须根据洲际超级高压输电网来考虑电力远景规

划，将来的洲际超级电网包括若干个国家，为了使不同的可用来发电的能源得到最好的利用，他们将互相合作。欧洲共同市场的一些国家，在克服了过去竞争中遗留的困难之后，早已得到了合作成就所带来的效益。将来有可能用巨型热电站、核电站及水电站发出的电能，向横跨亚洲的超级高压输电网供电。到本世纪末，原子能发电将起主要的作用。可是，水力发电仍将保持其廉价、没有污染及可再生发电电源等特点，水力发电将仍然与水利灌溉或航运相结合，因为综合利用工程将证明对用户是非常有利的。将来，发送基荷电力将主要由巨型热电站或热核电站来承担，这种巨型电站，其机组将是技术先进的大功率机组，单机容量将超过50万KW。这些先进的机组必须尽量接近设计工况运行。否则，它们的效率就显著下降。这些机组缺乏使它们本身适应电网瞬时负荷波动的运行灵活性，从经济利用的角度出发，必须实施将非峰荷时段的可用多余电力进行大规模的转换，以满足高峰负荷的需要。

这一点只有求助于抽水蓄能电站才能够实现。在非峰荷的时间，抽水蓄能电站把水大量地抽蓄起来，再把它用来发电，以满足高峰负荷的需要。经验证明巨型热电站与作为辅助的抽水蓄能电站联合运行，对电网是非常有利的。因此，世界各地正在大量兴建抽水蓄能电站，在输电网中起着重要的作用。

本书试图就常规的和非常规的水电站提供一些初步知识。

第二章 电力生产

§ 2-1 负荷曲线

系统对电力的需求量在分钟与分钟、天与天、季与季之间都有变化，为了考虑这种需求量的变化特性需要绘制负荷按时间变化的曲线称之为负荷曲线。

图2-1表示了系统某天的负荷曲线。在一般情况下，峰荷出现在上午到中午及随后的晚上这段时间内，夜间即午夜至清晨的负荷最小。尖峰负荷与低谷负荷值的大小取决于系统负荷的特性，涉及到人们活动方式及气候等等。正常周末的需电量比工作日的需电量小，在气候寒冷的地区冬天的需

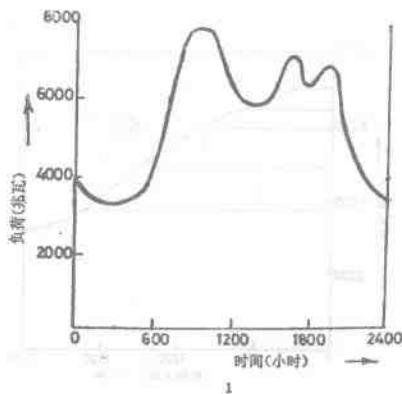


图 2 - 1 日负荷曲线

电量比夏天的需电量大多得多。图2-2为某电网的一周负荷曲线。

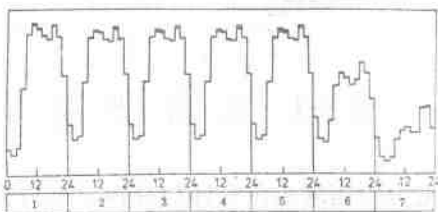


图 2-2 某电网的典型周负荷曲线

1. 星期一 2. 星期二 3. 星期三 4. 星期四 5. 星期五
6. 星期六 7. 星期日

如果将所绘制的负荷曲线以最大负荷对时间的百分数表示时，那么曲线的基本形状不变，但它对系统本身各天负荷之间的比较或对与其他系统的负荷进行比较成了非常有用的基本依据。

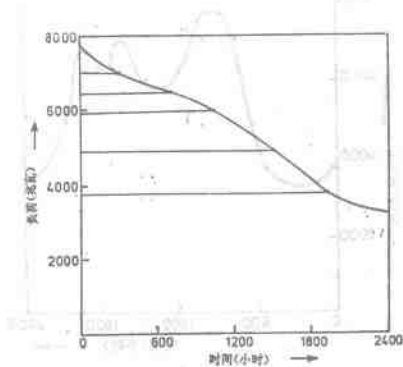


图 2-3 负荷持续曲线