

中等专业学校教材



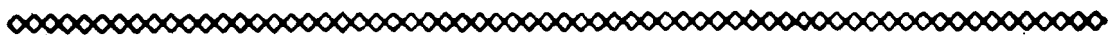
水电站概论

(第二版)

成都水力发电学校 吕尚泰
福建水利电力学校 温信文 合编



中等专业学校教材



水电站概论

(第 二 版)

成都水力发电学校 吕尚泰
福建水利电力学校 温信文 合编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书共九章,内容包括:水能的开发和利用,工程水文学基本知识,径流调节,水电站水能计算,水电站装机容量的选择,水电站水工建筑物,水电站厂房,水电站厂内经济运行,电力系统中水电站的日最优运行方式及长期最优运行方式概述。各章都附有复习思考题和必要的练习题。

本书是中等专业学校水电站动力设备专业和水电站电力设备专业的教材,也可供从事水电站规划、设计、运行管理工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电站概论 / 吕尚泰, 温信文编. —2 版. —北京: 中国水利水电出版社, 2008
中等专业学校教材
ISBN 978-7-80124-822-0

I. 水… II. ①吕…②温… III. 水力发电站—专业学校—教材 IV. TV73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 098179 号

书 名	中等专业学校教材 水电站概论 (第二版)
作 者	成都水力发电学校 吕尚泰 合编 福建水利电力学校 温信文
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 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	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	北京密云红光照排厂
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 15.75 印张 366 千字
版 次	1986 年 12 月第 1 版 1999 年 5 月第 2 版 2008 年 7 月第 8 次印刷
印 数	64221—67220 册
定 价	25.00 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

本书是根据水利部科教司《一九九〇年～一九九五年中等专业学校水利水电类专业教材选题和编辑出版规划》要求编写的，作为水电站电力设备专业和水电站动力设备专业的教材，其内容符合两个专业部颁教学大纲的要求。但是，两个专业的教学大纲所规定本课程的授课时数相差较大，为了互相照顾，本书各章的篇幅按学时数较多的专业要求控制。教师在使用本教材时，可结合各校的专业特点和学生实际情况，对书中内容可有所取舍。

《水电站概论》是一门专业课。根据两个专业的教学计划规定，它的任务是：使学生对水电站有比较全面的了解，掌握水能利用的基本知识及水电站厂房布置的原则方法；了解水电站各建筑物的组成和作用，能配合水工专业人员参加水电站的规划和厂房布置设计工作。对水电站动力设备专业的学生，还可以通过本课程的学习，获得水电站经济运行的基本知识。水电站经济运行部分，各校可自行选修。本教材编写时，参考1985年5月出版的中专《水电站概论》教材，吸取了原教材的一些优点，如选用个别例题等，同时也考虑近年来的教学实践经验和有关兄弟学校的意见。编写中力求做到：加强理论基础的阐述，注意理论联系实际，适当反映水电建设和某些先进技术经验，符合少而精原则，注意开发学生的智力和能力，适合中专学生的水平和便于学生自学。

成都水力发电学校吕尚泰编写绪论及第四、五、八章，并负责全书统稿；第一、二、三、六章由福建水利电力学校温信文编写；第七、九章由长春水利电力高等专科学校陈忠礼编写。全书由武汉电力学校陆仕镇主审。

由于编者水平有限，书中缺点错误在所难免，诚恳地希望读者提出宝贵意见。

编 者

1996年8月

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 水能的开发和利用	5
第一节 水力发电的基本原理	5
第二节 水电站出力和发电量的计算	7
第三节 水能的开发方式和水电站的基本类型	10
复习思考题	16
第二章 工程水文学基本知识	17
第一节 河川径流及其形成	17
第二节 水文统计的基本知识和方法	22
第三节 设计年径流	33
第四节 设计洪水概述	38
复习思考题、习题	39
第三章 径流调节	42
第一节 水库的径流调节概念	42
第二节 水库特性	44
第三节 设计保证率 and 设计代表年	49
第四节 径流调节计算	51
第五节 洪水调节计算概述	61
复习思考题、习题	67
第四章 水电站水能计算	69
第一节 水能计算的目的任务和水电站的水头	69
第二节 水能计算的基本方法	72
第三节 无调节水电站和日调节水电站的水能计算	83
第四节 年调节水电站和多年调节水电站保证出力和多年平均年发电量的计算	85
复习思考题、习题	88
第五章 水电站装机容量的选择	90
第一节 电力系统的负荷及其容量组成	90
第二节 水电建设项目的经济评价和经济比较概述	95
第三节 水电站最大工作容量的确定	107
第四节 水电站的重复容量	114
第五节 水电站装机容量的选择	116
第六节 水电站水库正常蓄水位和死水位的选择概述	119
第七节 水电站的水库调度图概述	123
复习思考题	126

第六章 水电站水工建筑物 128

第一节 水电站枢纽及其组成 128

第二节 挡水建筑物 130

第三节 泄水建筑物 139

第四节 进水建筑物 142

第五节 引水建筑物 146

第六节 平水建筑物 152

复习思考题 157

第七章 水电站厂房 159

第一节 水电站厂房及其组成 159

第二节 水电站厂房布置与尺寸拟定原则 164

第三节 竖轴机组厂房布置 176

第四节 卧轴机组厂房布置 181

第五节 厂区布置 188

复习思考题、习题 195

第八章 水电站厂内经济运行 197

第一节 水电站优化运行准则 197

第二节 水电站动力平衡及机组典型动力特性 199

第三节 水电站机组段动力特性曲线的绘制 205

第四节 用微增率法在运行机组间进行有功负荷的最优分配 209

第五节 机组最优投入次序及工作台数的确定 212

第六节 机组间无功负荷、随机负荷的最优分配和厂内经济运行总图 215

复习思考题、习题 218

第九章 电力系统中水电站的日最优运行方式及长期最优运行方式概述 220

第一节 水电站日最优运行方式的条件 220

第二节 火电站的动力特性及火电站间的负荷最优分配 224

第三节 水电站的动力特性修正 226

第四节 水、火电站间日负荷最优分配方法 230

第五节 水电站上、下游水位变化对日最优运行方式的影响 233

第六节 关于调频任务在各电站间的最优分配概述 234

第七节 水电站长期最优运行概述 235

复习思考题 240

附表 241

参考文献 245

绪 论

一、水能利用发展概况

人类在很早以前就开始利用水能。利用水力代替人力，减轻人们的体力劳动，增加物质财富。两千多年前，我国黄河沿岸就出现了木制水车，利用水流的动力冲动水车旋转，汲水上岸；同时也利用水流作动力，带动石碓、石碾、石磨等，进行农产品加工。大约 4 世纪末，欧洲才开始利用水能。到 15 世纪，由于手工业的发展，水力的利用日益普遍。16 世纪，英国制成铁质水轮，借水力冲动桨叶汲水上岸，供城市用水。

18 世纪，欧洲进行产业革命，水力机械作为原动机在工业生产中得到较大的发展。19 世纪人们在水车和旧式水轮的基础上制成了第一台水轮机。但由于当时的水轮机效率低，又不能将能量输送到较远地方去，利用水能的工业基地必须靠近水源，从而限制了水能的发展。直到 19 世纪末叶，这个情况才有了根本的改变。随着机械制造业和电气技术的迅速发展，相继出现了发电机和高效率的水轮机，特别是高压输电技术的出现，为水能利用开辟了广阔的道路。现在水能利用的主要形式是利用水能生产电能，即水力发电。

进入 20 世纪后，水能利用事业有了更大的发展，世界各国都很重视水电建设。这是因为水力发电具有成本低、运行灵活、管理简单、适于调峰和调频、对环境不造成污染等优点。所以，世界各国的水电容量都在不断增加，水电容量在电力系统中的比重不断提高。当前，国外在建设水电站方面的趋势是：提高单机容量和扩大水电站规模；广泛采用计算机技术，提高水电站自动化程度和运行管理水平；大力发展抽水蓄能水电站；以及研究利用新的水能资源（如海浪能）等。据统计，全世界已建成的水电站容量超过 4 亿 kW，装机容量在 100 万 kW 以上的水电站（已建和在建的）有 130 座以上。世界上已建成的最大水电站是巴西与巴拉圭合建的伊泰普水电站，容量达 1260 万 kW。1994 年开工建设的我国长江三峡水电站，装机容量达 1820 万 kW，它将成为世界上最大的水电站。目前已运行的水电机组最大单机容量为 70 万 kW（美国大古力水电站）。国外还在设计单机容量 120 万~150 万 kW 的水电机组。

全世界已开发的水能资源只占蕴藏量的 20% 左右。美国和前苏联是目前世界上水力发电最多的国家，瑞士和法国的水能资源利用程度已达到 95% 以上。而发展中国家水能资源利用程度相对较低。近年来，欧洲和日本等国家，在建设大型水电站的同时，也很重视中、小型水电站的建设，特别是从 70 年代石油危机以来，过去认为不经济的小型水电站也在大力提倡兴建。发展中国家更为重视中、小型水电站的建设。因为中、小型水电站的投资少，工期短，收效快，技术也比较简单，因而得到普遍重视。

二、水力发电的特点

水力发电是电力生产的方式之一，它具有以下特点。

1. 水能是再生性能源

江河湖海里的水受太阳辐射蒸发，变为水汽，上升天空而形成气流，气流遇冷凝结，下降为雨和雪等，再流回江河湖海。这就是自然界的水在大气中的循环，所以水能资源是一

种再生性能源。而火电所用的煤炭和石油，核电所用的稀有金属原料，都是要消耗掉而不能再生的。因此，水能的再生性这个特点在能源意义上看是十分重要的。

2. 水资源的综合利用

水是一种资源，具有多方面的使用价值，可以综合利用。一个水利工程常可同时取得发电、防洪、灌溉、航运、供水、养殖以及改良环境和旅游等多方面的效益。河流的水资源还可以梯级开发利用，上游水电站发电后的水流，仍可为下游各级水电站再利用发电。

3. 水能可以贮蓄和调节

电能是不能大量贮存的，电能的生产与消费是同时完成的。而水电站可以借助于水库，贮蓄水能，代替贮蓄电能，有利于电力系统电力电量的供求平衡，提高供电的灵活性和经济性。同时，利用水库调节水能，还可以提高水能资源的利用程度。

4. 水力发电的可逆性

位于高处的水可以通过水轮发电机组，使水能转变为电能；位于低处的水也可以通过电动抽水机组提送到高处，使电能转变成水能。利用这种可逆性，可以在电力系统内建造抽水蓄能水电站，达到贮蓄和调节电能的目的，改善电力系统电能生产的供求关系，提高供电质量和经济效益。

5. 水电站运行的灵活性

水轮发电机组具有设备简单，运行操作灵活，易于实现自动化等优点。机组可以在几分钟内启动，投入运行，增、减负荷十分方便。因此，水电站最适于承担电力系统的调峰、调频任务和用作负荷、事故备用容量。火电站虽然也可承担这些任务，但因其设备复杂，启动不太灵活，要经常处于热备用状态，浪费一定燃料。

6. 水电站的生产成本低，效率高

水电站不耗用燃料，运行人员常为火电站的 $1/10 \sim 1/20$ ，又由于水电站的机组设备简单，年维护费用较低，所以通常水电站的电能成本只有火电站的 $1/5 \sim 1/10$ 。水电站的能源利用率也比较高，火电站烧煤的热能效率一般只有 40% 左右，而水电站的水能效率可达 85% 以上。

7. 水电站不产生污染

水电站在生产过程中既无烟气，又无废渣，废水也极少，因此，不会污染环境。相反，由于建成水库后，还可以改善环境，水库周围常常是建设疗养区和开展旅游的良好场所。

8. 水电站电能生产的不均衡性

由于河川径流的多变性与不重复性，使水电站的电能生产具有不均衡性。加上水文预报尚不够准确，也影响水电站的计划生产。这些因素都给水电站和电力系统的运行带来一定困难。

9. 水电站的建设要受到自然条件的限制

水电站必须建设在具有一定条件的河段上，受地质、地形、交通等条件限制，有时要造成一定的淹没损失。所以水电站建筑物往往比较复杂，施工也较困难。水电与火电相比，具有工程量大，工期长，投资大的特点。但是实际上，建设水电站是同时完成一次能源与二次能源的开发，故应将水电站的投资同建设火电站与相应的开发煤矿、修建铁路等投资、

工期计算在内。这样，水电站投资大、工期长的结论便不存在了。

三、我国水能资源和水电事业的发展

我国幅员辽阔，江河湖泊甚多，水力资源的理论蕴藏量（按平均流量计算，不包括台湾省）为 6.8 亿 kW，年发电量为 5.9 万亿 kW·h，居世界第一位。其中可开发利用的（单站 500kW 以上）约 3.8 亿 kW，年发电量为 1.9 万亿 kW·h。我国分省（区）水能资源蕴藏量，如表 0-1。

表 0-1 全国分省（区）水能蕴藏量统计表

地区、省 (区)	水 能 蕴 藏 量			地区、省 (区)	水 能 蕴 藏 量		
	按万 kW 计	按 亿 kW·h/a 计	占全国 比重 (%)		按万 kW 计	按 亿 kW·h/a 计	占全国 比重 (%)
全国	67604.71	59221.8	100	中南地区	6408.37	5613.8	9.5
华北地区	1229.93	1077.4	1.8	河 南	477.36	418.2	0.7
京、津、河北	220.84	193.5	0.3	湖 北	1823.13	1597.1	2.7
山 西	511.45	448.0	0.8	湖 南	1532.45	1342.4	2.3
内 蒙 古	497.64	435.9	0.7	广 东	823.60	721.5	1.2
东北地区	1212.66	1062.3	1.8	广 西	1751.83	1534.6	2.6
辽 宁	175.19	153.5	0.3	西南地区	47331.18	41462.1	70.0
吉 林	297.98	261.0	0.4	四 川	15036.78	13172.2	22.2
黑龙江	739.49	647.8	1.1	贵 州	1874.47	1642.0	2.8
华东地区	3004.88	2632.3	4.4	云 南	10364.00	9078.9	15.3
上海、江苏	199.10	174.4	0.3	西 藏	20055.93	17569.0	29.7
浙 江	606.00	530.9	0.9	西北地区	8417.69	7373.9	12.5
安 徽	398.08	348.7	0.6	陕 西	1274.88	1116.8	1.9
福 建	1045.91	916.2	1.5	甘 肃	1426.40	1249.5	2.1
江 西	682.03	597.5	1.0	青 海	2153.66	1886.6	3.2
山 东	73.76	64.6	0.1	宁 夏	207.30	181.6	0.3
				新 疆	3355.45	2939.4	5.0

注 我国台湾省资料暂缺；海南省及重庆市数据未单列出。

我国水能资源虽然丰富，但在解放以前几乎没有得到开发利用。我国第一座水力发电站建于 1912 年，装机容量为 $2 \times 240\text{kW}$ （云南省石龙坝水电站），直到 1949 年解放时全国水电装机容量只有 36 万 kW，年发电量 12 亿 kW·h。那时水电站容量和年发电量分别居世界第 25 位和第 23 位。

中华人民共和国的建立，为我国水电事业的发展开创了广阔的前途。党和政府对水电建设十分重视。从 50 年代至今，对全国大、中、小河流进行了普查，估算出我国水能资源的蕴藏量；编制了许多河流的综合利用规划报告；先后成功地兴建了新安江、三门峡、丹江口、刘家峡、龚嘴、乌江渡、葛洲坝、白山、龙羊峡、五强溪等大型水电站，全国各地还有许多大、中型水电站正在建设中。在建设大、中型水电站的同时，农村小型水电站也

有很大发展，有的农村已实现了初步电气化。据统计，到 1996 年底，全国大、中、小型水电站总装机容量已达 5490 万 kW，年发电量 1850 亿 kW·h。至 1995 年 3 月中国发电总装机容量逾 2 亿 kW。计划 2000 年水电总装机容量将达到 7500 万 kW，并且有计划地在长江中游、金沙江、雅砻江、大渡河、黄河中上游、红水河、闽、浙、赣、西南和湘西等河流上，建设大型水电基地。

能源建设是国民经济发展的战略重点之一，以水代煤，以水代油是我国能源建设的长远方针。原电力工业部关于加快电力工业发展若干意见指出，为适应环境保护要求，我国应优先发展水电。水电开发要实行流域梯级滚动开发的方针，推行法人制度、招标、监理等改革措施。在深化改革中，应尽快组建一批河流（河段）开发公司，在我国规划的 12 大水电基地中，黄河上游、澜沧江、雅砻江、大渡河、红水河、金沙江资源优越，条件成熟，应尽快组建开发公司，实行梯级滚动开发。其它水能资源丰富的中小河流（河段），特别在一省（自治区）境内的河流（河段），也应由地方组建开发公司，滚动开发。我国水能资源极为丰富，目前已经开发利用的水能资源约为可开发的水能资源的 15%。因此，加强水电站建设，对我国经济发展有着重要意义。无疑，广大水电建设者肩负的任务是十分艰巨而光荣的。

四、本课程的性质、任务和主要内容

水电站是利用水能生产电能的企业。作为一种电力生产企业，一方面需要研究它的生产能力（即容量）、产量（即发电量），以及经济效益。研究这些问题的学科分支，称为水能利用，主要包括径流调节，水能计算，水电站在电力系统中的工作状态，经济评价和水电站参数选择等问题。另一方面还要研究水电站的各种水工建筑物和机电设备。关于这些内容的详细论述，分别在水利水电工程建筑专业、水电站动力设备专业和水电站电力设备专业的有关课程中进行。本课程仅对水电站主要水工建筑物组成、作用、工作原理和一般构造，水电站厂房布置以及水电站经济运行等，作必要的介绍。

本课程是水电站动力设备专业和水电站电力设备专业的一门专业课程。在内容上涉及面较广，概念较多，除扼要介绍一些必要的计算原理与方法外，多为综合性分析和论述，学习时要注意这些特点。通过水电站概论的学习，应使学生获得水电站方面比较完整的基本知识，为今后的实际工作打下一定的基础。

第一章 水能的开发和利用

第一节 水力发电的基本原理

一、水资源的综合利用

(一) 水资源综合利用的原则

水资源是国家的宝贵自然资源，它有许多方面的利用价值。同水资源关系密切的主要国民经济部门有：水力发电、防洪与排涝、农田灌溉、工业和民用给水、航运、水产、竹木浮运、水利卫生、环境改良与旅游等，均属于水资源有关的兴利部门。不同的兴利部门，对水资源的利用方式各不相同。例如，灌溉、给水要耗用水量，水力发电只利用水能，航运则依靠水的浮载能力，水产却要利用水面面积和水的体积等等。这就有可能也有必要使同一河流或同一地区的水资源，同时满足几个不同的水利部门的需要。并且将除水害与兴水利结合起来统筹解决。这种开发利用水资源的方式，就称为水资源的综合利用。

在上述这些经济部门中，它们各有其自身的特点，对水资源的开发利用各有其不同的要求，同时彼此间也产生着矛盾。例如，在河流上筑坝形成水库时，防洪与灌溉和发电之间，就存在着库容的划分和运用上的矛盾。从防洪的角度看，要求在总库容中占有较大部分的防洪库容，每年汛期前，水库水位尽可能放低一些，以便在汛期到来多容纳一些洪水；但从发电和灌溉的角度看，则要求在总库容中有较大的兴利库容，以增加蓄水量，提高发电和灌溉的效益。在发电和灌溉之间也存在着矛盾，从水库运用上来说，发电要求水库按照电力用户的负荷变化来供水；而灌溉则要求水库按照农作物需水情况来供水，显然发电与灌溉两个截然不同的要求无论在供水数量上、时间上都存在着矛盾。此外，在实现河流的综合利用中，还存在着上下游之间，左右岸之间，干支流之间等地域上的矛盾。例如，提高下游的防洪标准，往往会增加上游的淹没损失；左岸引水多了，右岸引水就要减少；上游用水多了，下游用水也须减少等等。

为了实现河流水资源的综合利用，必须在集中统一的领导下做好河流的流域规划工作。从全局出发，正确处理除害与兴利，工业与农业，需要与可能，近期与远景，干流与支流，上游与下游各方面的关系。按照国民经济各有关部门的要求，并考虑到由于河流特性的改变对于环境保护及生态平衡的影响，作出河流综合治理与开发利用的全面规划。分清综合利用的主次任务和轻重缓急，妥善处理相互之间的矛盾，力求做到以最少的投入，最有效地开发水资源，综合地满足各有关部门和地区的要求，取得整个流域国民经济的最大效益，这就是水资源综合利用的原则。

(二) 各需水部门的特点、用水要求及相互关系

1. 水力发电

水资源的开发利用，水力发电通常是一个重要的用水部门。一方面，水力发电可提供大量的廉价的电力，有力地促进该地区工农业的发展；另一方面，从需水的特点看，水力

发电只利用水流所含的能量，它本身不会消耗水量，发电后的尾水仍可供下游其它部门使用，使之发挥综合利用的效益。为了发电的需要，通常要修筑挡水坝或引水渠道等水工建筑物，用以集中水头并形成调节径流的水库。发电用水取决于用电要求，一年内变化较均匀。

2. 灌溉

农田灌溉是个耗水部门，其耗水定额与灌溉制度、作物种类、土壤性质、气候因素等有关。灌溉后的水量大部分因蒸发、渗漏而消耗掉，只有一小部分的水经渗透回归河中。灌溉属季节用水户，年内用水变化较大。灌溉有自流灌溉和提水灌溉两种，自流灌溉对引水高程有一定的要求，提水灌溉则有较大的灵活性。

灌溉用水耗水量大，它与其它需水部门的矛盾最突出。利用水库调节可以提高枯水期的灌溉水量，如在水电站上游取水灌溉，将减少发电用水，从而降低水电站的出力和发电量。如在水电站下游取水灌溉，可先发电后灌溉，但在引水高程、灌溉时间及需水量方面常常与发电存在着一定的矛盾，需要合理的设计和安排。

3. 防洪

在我国，河流多数属于雨源型河流，由于雨量在时间上分布不均匀，往往发生暴雨洪水，容易造成灾害，因此，在开发利用河流水资源时，大都要求解决防洪问题。防洪部门既不是水的消费者，也不是水的利用者。它只是在洪水季节里限制下泄流量，以防止洪水灾害。

防洪与兴利都要求水库蓄水以调节径流，但在实际运用时也常存在争夺库容的矛盾，防洪要求水库预留较大防洪库容，以存蓄洪水，但减少了兴利库容；兴利部门则要求有较大的兴利库容，但减少了防洪库容。防洪库容与兴利库容二者的结合程度，取决于洪水预报的精度。

防止洪水灾害措施除利用水库的防洪库容来调节洪水外，修筑堤防、疏竣河道、利用湖泊洼地蓄洪与分洪，均可提高防洪能力。

4. 航运

航运用水特点是：不消耗水量，但要求保持河中一定的航深，以利通航。

修建水利枢纽的任务之一，是要求扩大河流的通航能力，提高通航船只吨位，以适应航运发展的要求。在这种情况下，修建水库调节径流，应保证泄放维持规定航深的最小流量。同时必须考虑船只过坝设施，如建造船闸或升船机等通航建筑物，以保证枢纽上下游之间的通航。

船闸用水不能用来发电，但它的需水量是不大的。航运与发电的矛盾主要表现在用水方式上，航运有固定放流的要求，对水电站的运行方式和效益有一定的影响。

5. 工业与民用给水

工业与民用给水是消耗水的一个部分，在开发利用水资源时，应优先给予满足。工业与民用给水一般为常年性的用水户，用水量比较均匀。同灌溉一样，当它自上游取水时，要减少发电用水，但与发电用水量相比，一般用水量不大。

以上五个综合利用部门，是水资源综合利用的主要项目。一个水利工程应该开发哪几个项目，它们之间的主次关系如何，应根据当地的可能和需要，通过不同方案的分析才能

确定。至于水库养鱼、木材流放、水利卫生、改善环境等综合利用开发项目，也应尽量满足要求，以充分发挥工程的综合利用效益。

二、水力发电的基本原理

天然河道中水流经常冲刷河岸及河底，并挟带大量的泥沙和砾石，从上游流向下游。这是由于沿河道流动着的水流中蕴藏着一定的能量，这种能量在天然情况下，消耗在冲刷河床、推移泥沙及克服摩擦阻力中。若采用人工措施，控制水流，集中落差，减少损耗，利用水能来为人类生产服务，这就是水能的开发利用。

图 1-1 是水电站示意图，筑坝或闸拦截水流，形成水库，抬高上游水位，集中落差形成水头，水能即蕴藏其中。然后在坝后修建水电站，用压力水管将水流引入水轮机，使水轮机转动，将水能转换成机械能，通过水轮机带动发电机，将机械能转换成电能，再用高压输电线送入电网或直接送给用户使用，这就是水力发电的基本过程。为了实现水能转换成电能而修建的水工建筑物和所安装的水轮机发电机组及其附属设备的总体，就称为水电站。

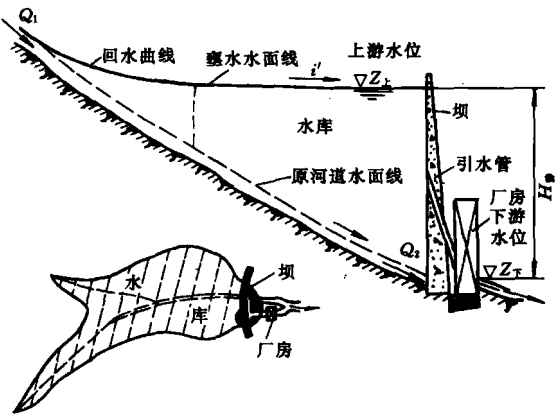


图 1-1 水电站示意图

第二节 水电站出力和发电量的计算

一、河流水资源的估算

(一) 水流的出力和能量

河流中蕴藏着多少水能，可用水力学中的能量公式进行计算。

如图 1-2 所示，在河流上取两个断面 1-1 和 2-2，两断面相对于某一基准面的水面高程分别为 Z_1 和 Z_2 (m)；平均流速分别为 V_1 和 V_2 (m/s)，假定在 T 秒时段内有 W (m^3) 的水量流过河段的两断面，则断面 1-1 处水流的总能量为

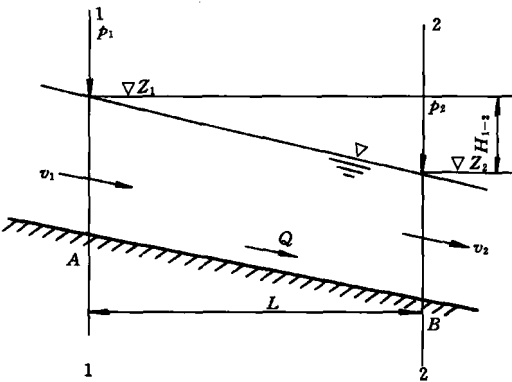


图 1-2 天然河流的水能

$$E_1 = \gamma W \left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) \quad (N \cdot m) \quad (1-1)$$

式中 Z_1 、 $\frac{p_1}{\gamma}$ 、 $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ ——单位水重的势能、大气压能和动能；
 γ ——水的容重， N/m^3 。

同理, 水体 W 通过断面 2-2 时水流的能量为

$$E_2 = \gamma W \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-2)$$

两断面水流能量之差, 即该段的水能蕴藏量, 也就是在时段 T 内水量 W 由断面 1-1 流到断面 2-2 所消耗的能量, 由下式确定

$$\begin{aligned} E = E_1 - E_2 &= \gamma W \left(Z_1 - Z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \\ &= \gamma W H \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中 H ——两断面单位水重的能量差, m 。

考虑到两断面大气压强差和动能差很小, 可忽略不计, 故通常以两断面的水位差 $Z_1 - Z_2 = H$ 代替总能量差。

能量 E 的单位是 $\text{N} \cdot \text{m}$ (牛顿·米), 与功的单位一致, 表示 T 时段内流过水量 W 的做功能力。单位时间内的做功能力称功率, 工程上通常称为出力或容量。于是河段水流的平均出力 N 为

$$N = \frac{E}{T} = \gamma \frac{W}{T} H = \gamma Q H \quad (\text{N} \cdot \text{m/s}) \quad (1-4)$$

式中 $\frac{W}{T} = Q$ ——流量, m^3/s 。

工程上习惯用 kW (千瓦) 作为出力的单位, 能量单位常用 $\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦时)。而 $1\text{kW} = 102 \times 9.81 \text{ (N} \cdot \text{m/s)}$, 水的容重 $\gamma = 1000 \times 9.81 \text{ N/m}^3$, 则式 (1-4) 和式 (1-3) 可分别写成

$$N = 9.81 Q H (\text{kW}) \quad (1-5)$$

$$E = 9.81 Q H \left(\frac{T}{3600} \right) = \frac{1}{367} W H = 0.00272 W H \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-6)$$

上式中 N 和 E 分别表示该河段中的水流在不考虑损失时所具有的全部出力和能量, 通常称为理论出力 (理论功率) 和理论水能蕴藏量。

(二) 河流水能蕴藏图

要开发一条河流的水能资源, 首先应全面、合理地作好流域规划和水能开发方案。为此, 常需绘制河流水能蕴藏图, 其步骤如下:

(1) 如图 1-3 所示, 从河源到河口, 沿河长 L 测量枯水水面的高程 Z , 并绘制 $Z \sim L$ 线, 此线可反映沿河水面落差的变化情况, 可由此确定各河段的落差值。

(2) 根据水文资料, 计算河流各断面上的多年平均流量值 Q , 绘制 $Q \sim L$ 线。

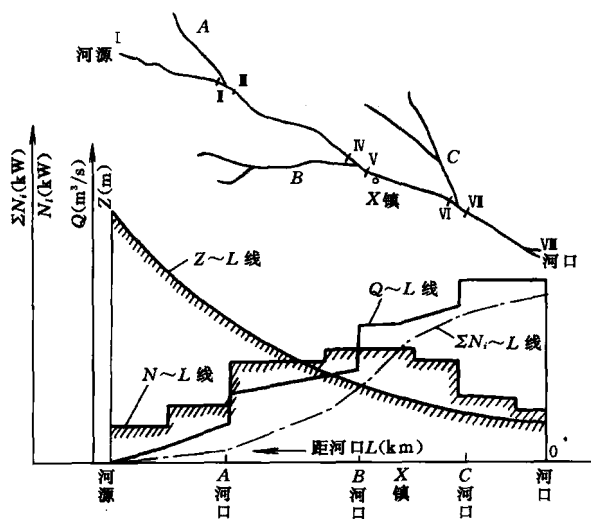


图 1-3 河流水能蕴藏图

此线可查出任意河段上、下断面的流量 Q_{i1} 和 Q_{i2} 。

(3) 分段计算各河段的水流理论出力 N ，划分计算段的依据为：流量有较大变化处（如较大的支流汇合处）；河流坡降有较大变化处；优良坝址或附近有急需开发任务之处；有重要城镇和农田不能淹没处等。计算河段水流的理论出力

$$N_i = 9.81 \left(\frac{Q_{i1} + Q_{i2}}{2} \right) H_i \quad (\text{kW}) \quad (1-7)$$

(4) 计算各河段单位河长所蕴藏的水流出力 N_i ，并绘制 $N_i \sim L$ 线。

$$N_i = \frac{N_i}{L_i} \quad (\text{kW/km}) \quad (1-8)$$

(5) 将各河段出力沿河长方向依次累加得 $\Sigma N_i \sim L$ 线。

从水能蕴藏图上可以清楚地看出任一河段的蕴藏水能量、河流总水能和单位出力大的河段等。单位出力大的河段说明水能较集中，可以用较少的工程量取得较大的发电效益，通常是优先开发的河段。

上述水能蕴藏图，表示河流天然水能的蕴藏状况，在实际开发利用时往往因施工困难或不经济等原因，某些河段上的水能不宜开发而被丢弃。从理论水能蕴藏量中扣除这些丢弃部分，就得出该河流可能开发的水能资源。

二、水电站出力和发电量的计算

天然河流的落差通常是分散的，为了利用河段的水能，常借助于水工建筑物将天然落差集中起来用于发电，就成为水电站的水头。水电站上游与下游水位的高程差，称为水电站的静水头 $H_{\text{静}}$ ($H_{\text{静}} = Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}}$)。实际上，在由水能转变为电能的过程中，不可避免地要有能量损失，这种损失表现在两个方面：一方面水流自上游到下游的整个流动过程中，由于摩擦和撞击会损失一部分能量，通常用水头损失来表示，从静水头 $H_{\text{静}}$ 中扣除水头损失 $\Sigma \Delta H$ ，才是作用在水轮机上的有效水头，称为水电站净水头 ($H = H_{\text{静}} - \Sigma \Delta H$)；另一方面，在水轮机、发电机和传动设备中实现能量的转变和传递时，由于机械磨损等原因，也将损失一部分能量，实际有效利用的部分，分别用效率 $\eta_{\text{水机}}$ 、 $\eta_{\text{电机}}$ 、 $\eta_{\text{传动}}$ 来表示。由于上述两个方面的能量损失，所以水电站的实际出力、发电量要小于由式 (1-5)、式 (1-6) 计算出的理论出力和发电量。水电站的实际出力 N 和发电量 E 由下面两式计算

$$N = 9.81 \eta Q H \quad (\text{kW}) \quad (1-9)$$

$$E = 0.00272 \eta W H \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-10)$$

式中 η 表示水轮发电机组的总效率， $\eta = \eta_{\text{水机}} \eta_{\text{电机}} \eta_{\text{传动}}$ 。 η 值的大小与设备类型、性能、机组传动方式、机组工作状态等因素有关，同时也受设备制造和安装质量的影响。在初步计算中，可以近似地认为总效率 η 是一个常数， η 值在小型水电站上约为 0.65~0.8，中型水电站约为 0.80~0.85，大型水电站可达 0.9。初步估算水电站的出力时，若令 $A = 9.81\eta$ ，则式 (1-9) 可以改写为

$$N = A Q H \quad (\text{kW}) \quad (1-11)$$

式中的 A 称为水电站的出力系数，对大型水电站可采用 8.0~8.5，中型水电站 7.5~8.0，小型水电站 6.0~7.5。 Q 为水电站的引用流量， H 为作用在水轮机上的净水头，在初步估算水电站出力时，亦可近似地用静水头 $H_{\text{静}}$ 代替。

第三节 水能的开发方式和水电站的基本类型

一、开发水能的基本技术措施

如前所述,构成河流水能的两个基本要素是河中水量(或流量)和河段落差(或水面高程差)。为了利用天然水能发电,必须首先设法获得足够的水头和流量。但天然河道的落差,除了在瀑布或急滩的河段比较集中外,落差一般是沿河分散的,不便于利用。天然河道的流量是经常变化的,洪水期流量很大,常常用之有余,枯水期流量很小,又不能满足所需。因此,为了最充分最有效地利用天然水能发电,就必须采取适当的工程技术措施去集中落差和调节径流。由此可见,针对天然水能落差分散和流量多变的特点,开发利用水能时要解决的基本问题是集中落差和调节径流,尤其是集中落差更为重要。所谓水能开发方式,通常是指采用哪种技术措施来集中落差而言。由于天然水能存在的状况不同,开发利用的方式也各异,所以水电站的型式也是多种多样的,就集中落差而言,有坝式、引水道式和混合式三种基本方式。

二、水电站基本类型

(一) 水电站按集中落差的方式分类

1. 坝式开发和坝式水电站

在河流峡谷处,拦河筑坝,坝前壅水,在坝址处形成集中落差,这种水能开发方式称为坝式开发。用坝集中落差形成水头的水电站称为坝式水电站。

坝式开发的显著优点是:由于形成蓄水水库,可以进行径流调节和综合利用,引水道很短,水头损失较少,水能的利用程度较充分,工程比较集中。缺点是:一般坝的工程量大,投资大,工期长。尤其是形成蓄水水库会造成淹没损失,增加投资。坝式开发一般适用于河道坡降较缓,流量较大,有筑坝建库条件的河段。坝式水电站按坝和厂房的相对位置不同,又可分为坝后式和河床式两种基本类型。

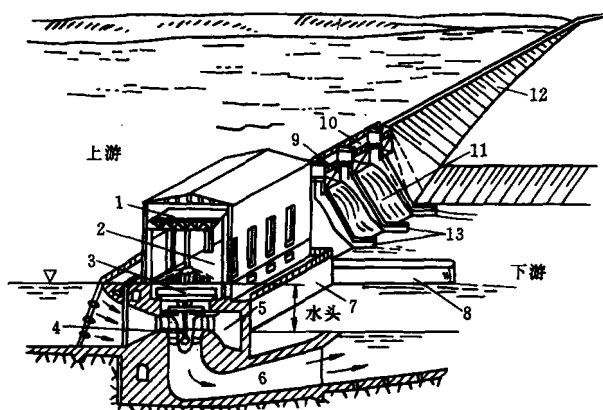


图 1-4 河床式水电站示意图

- 1—起重机; 2—主机房; 3—发电机; 4—水轮机; 5—蜗壳; 6—尾水管; 7—水电站厂房; 8—尾水导墙; 9—闸门; 10—桥; 11—混凝土溢流坝; 12—土坝; 13—闸墩

(1) 河床式水电站。河床式水电站一般修建在河流中、下游河道纵向坡度平缓的河段上,或修建在灌溉渠道上。适用于较低的水头,一般不超过 30~40m。其基本布置特点是水电站厂房代替一部分坝体作为抬高水位的建筑物,直接承受着上游水压力。它没有专门的水轮机管道,水流由上游进入厂房,驱动水轮机后泄回下游。这类以厂房承受上游水压力为特点的坝式水电站,称为河床式水电站,如图 1-4 所示。

由于厂房承受很大的水压力,故在

结构上应满足强度与不透水性的要求。厂房基础与河岸、河床及坝体的结合应当紧密以防渗漏，并应保证整个厂房在上游水压力及各种外力作用下的稳定性。我国浙江富春江、广西大化、甘肃八盘峡、湖北葛洲坝等，都属于河床式水电站。

(2) 坝后式水电站。当由拦河坝集中起来的水头较大时，如果水电站采用河床式布置，由于上游水压力很大，厂房本身的重量已不能维持其稳定，因此不得不将厂房移到坝后，厂房常用缝分开，厂房不承受上游水压力，全部水压力由坝承受，由于厂房在坝后，这样布置的水电站称为坝后式水电站，如图 1-5 所示。坝后式水电站的建筑物组成一般包括：拦河坝、坝身取水口和引水管道、厂房、溢洪道、泄水孔等。

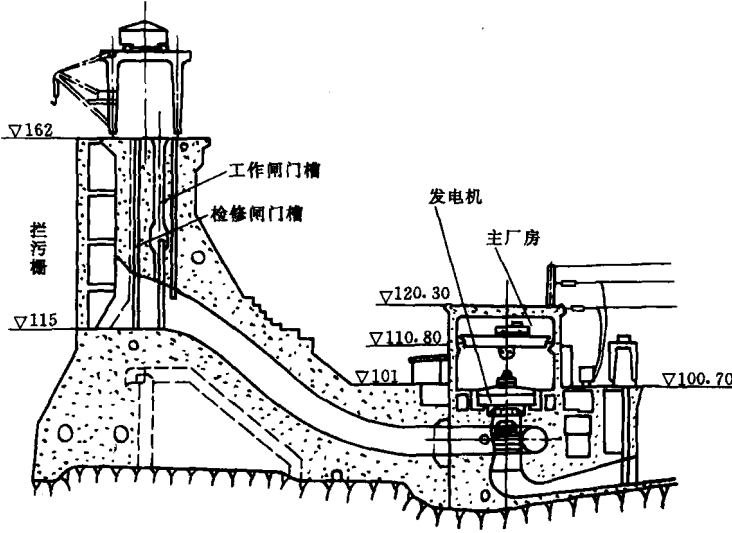


图 1-5 坝后式水电站示意图

坝后式水电站一般修建在河流的中、上游河段。在这种河段上必然会产生一定程度的淹没。与河床式电站比较起来，坝可以修建得较高，这不但使电站获得了较大的水头，更重要的是，在坝的上游形成了可以调节天然径流的水库，有利于发挥防洪、灌溉、发电、通航及水产等多方面的综合效益，并给水电站的运行创造了十分有利的条件。我国湖北的丹江口水电站，装机容量 900MW；青海的龙羊峡水电站，装机容量 1280MW；福建的水口水电站，装机容量 1400MW；巴西和巴拉圭合建的伊泰普水电站，装机容量为 12600MW 等，都属于坝后式水电站。

当坝后式水电站的拦河坝为土坝或堆后坝等当地材料坝时，其发电用的压力管道可以埋设在坝基内，如图 1-6 (a) 所示。但这种埋设方法，若水管因某种原因破裂时不易检修，压力管道渗漏的水将威胁大坝安全。因此，有许多水电站的压力管道改用隧洞，而将厂房布置在河流的一岸，如图 1-6 (b) 所示，这种布置方式称为河岸式。

2. 引水式开发和引水式水电站

当河流上游河床坡度较大时，可借助人工引水建筑物（隧洞、渠道、水管等）来集中落差，这种开发方式称为引水式开发。由引水建筑物集中水头的水电站，称为引水式水电站。