

961618

TV7
3414

高等学校教材
专科适用

水能利用

南昌水利水电专科学校 连廷栋 邹德华 合编



961618

TV7
3414

TV7
3414

高等學校教材

————— 專 科 適 用 —————

水 能 利 用

南昌水利水电专科学校 连廷栋 邹德华 合编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本教材共九章,包括水能计算和水电站水工建筑物两部分。主要讲述水能利用原理和开发方式、河川径流的分析计算和调节、水能计算和装机容量选择、水电站建筑物和厂房布置等内容。

本教材为高等学校水利水电类工程专科《水电站动力设备》专业的教科书,也可作为水力发电有关专业师生和规划、设计、管理人员的参考书。

高等学校教材

专科适用

水 能 利 用

南昌水利水电专科学校 连廷栋 邹德华 合编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 14.25印张 321千字

1993年6月第一版 1993年6月北京第一次印刷

印数 0001— 2390 册

ISBN 7-120-01628-8/TV·599

定价 3.75元

前 言

本教材是根据高等学校水利水电类工程专科《水电站动力设备》专业的《水能利用》课程编写大纲编写的，也可作为有关专业的试用教材。

在本教材编写中，注意了基本理论的阐述和基本能力的培养。为了加强工程专科教育的针对性和实用性，在有关章节中结合国内中小型工程实际，介绍设计步骤、算例和一些电站的布置情况，使学生通过这些内容的学习，加深对基础理论的理解，提高解决工程实际问题的能力。

参加本教材编写的同志有：邹德华编写第一、二、三、四、六章，连廷栋编写绪论和第五、七、八、九章。全书由连廷栋同志统稿。

本教材由陕西机械学院水利水电学院颜竹丘教授审稿。

在本教材编写中，陕西机械学院水利水电学院、浙江水利水电专科学校朱大钧同志和湖南水利水电学校大专部郑付秀同志等提供了宝贵意见。我们参考和引用了不少同志的资料，在此一并表示衷心感谢。

由于我们学识水平有限，编写中难免出现缺点和错误，诚恳地希望读者给予批评指正。

编 者

1991.3.

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 水能利用的原理和开发方式	6
第一节 水资源的综合利用	6
第二节 水能利用原理及水能资源蕴藏量估算	7
第三节 水能资源的基本开发方式	8
第二章 年径流分析与计算	16
第一节 河川径流	16
第二节 水文统计基本知识	18
第三节 年径流分析与计算	29
第三章 径流调节和水能计算	37
第一节 水库特性	37
第二节 径流调节的意义、分类及基本原理	42
第三节 径流调节的时历列表法	45
第四节 径流调节的时历图解法	51
第五节 洪水与洪水调节	61
第六节 水能计算	68
第四章 经济计算	77
第一节 水、火电站的主要经济指标	77
第二节 经济计算方法	80
第三节 经济分析	85
第四节 财务分析	89
第五章 水电站装机容量选择	94
第一节 水电站水库正常蓄水位和死水位选择	94
第二节 电力系统的负荷和容量	98
第三节 水电站最大工作容量的确定	104
第四节 水电站备用容量和重复容量的确定	108
第五节 水电站装机容量初定值及其合理性分析	113
第六节 电力系统水电站群的装机分配	116
第六章 水库调度	118
第一节 水库调度的意义与调度图	118
第二节 调配规则与调度全图	123
第三节 动态规划法在水库优化调度中的应用简介	125
第四节 水电站机组的工作范围与机组方案比较的动能计算	134

第七章	水利枢纽和挡水、泄水建筑物概述	139
第一节	水利枢纽及其组成	139
第二节	挡水建筑物	141
第三节	泄水建筑物	148
第八章	水电站引水建筑物	152
第一节	进水建筑物	152
第二节	引水渠道和前池	156
第三节	有压引水道	162
第四节	调压室	164
第五节	高压水道	174
第九章	水电站厂房	181
第一节	厂房和厂区的组成	181
第二节	厂房的基本类型	187
第三节	卧式机组的厂房布置	193
第四节	立式机组的厂房布置	203
第五节	厂区的布置	216

绪 论

自然界存在着多种能源，诸如原煤、原油、天然气、地热、太阳能、水能等。原煤、原油、天然气等为不可再生能源（一次能源），水能为可再生能源。天然河川中蕴藏的水能，如不加以利用，就白白地浪费，这是一大损失。本课程研究如何有效地利用水能资源和经济合理地兴建小型水电站，从而将自然界的水能转变为机械能和电能，用来发展工农业生产和改善人民的物质生活条件。

一、我国水能资源的分布情况及开发利用条件

根据世界动能会议最近统计，全世界水能资源的蕴藏量，按平均能量估算，约为56亿kW，其中可开发利用的约为22.7亿kW。我国幅员辽阔，江河纵横，水能蕴藏量极为丰富。根据最近普查统计，平均出力为6.76亿kW，可开发利用的水能资源约为3.78亿kW，居世界首位。我国各水系水能蕴藏量和可开发水能资源统计见表0-1，各省（区）水能蕴藏量和可开发水能资源统计见表0-2。

表 0-1 全国各水系水能蕴藏量和可开发水能资源统计

水 系	水 能 蕴 藏 量			可 开 发 水 能 资 源		
	平均出力 (万kW)	年 电 量 (亿kW·h)	占全国百分比 (%)	装机容量 (万kW)	年 电 量 (亿kW·h)	占全国百分比 (%)
全 国	67604.71	59221.8	100.0	37853.24	19233.04	100.0
长 江	26801.77	23478.4	39.6	19724.33	10274.98	53.4
黄 河	4054.80	3552.0	6.0	2800.39	1169.91	6.1
珠 江	3348.37	2933.2	5.0	2485.02	1124.78	5.8
海 滦 河	294.40	257.9	0.4	213.48	51.68	0.3
淮 河	144.96	127.0	0.2	66.01	18.94	0.1
东北诸河	1530.60	1340.8	2.3	1370.75	439.42	2.3
东南沿海诸河	2066.78	1810.5	3.1	1389.68	547.41	2.9
西南国际诸河	9690.15	8488.6	14.3	3768.41	2098.68	10.9
雅鲁藏布江及西藏其它河流	15974.33	13993.5	23.6	5038.23	2968.58	15.4
北方内陆及新疆诸河	3698.55	3239.9	5.5	996.94	538.66	2.8

注 1.表中不包括台湾省；

2.本表系根据全国统一的统计界限，即水能蕴藏量1万kW以上的河流3019条统计为6.56亿kW，并包括部分省统计的水能蕴藏量1万kW以下的河流，其统计下限各省自定。合计为6.76亿kW；

3.水能蕴藏量根据各河段的多年平均流量和落差计算；

4.本表可开发水能资源按电站装机容量500kW以上统计；根据年发电量计算占全国的比重。

我国不但有丰富的水能资源，而且在开发水能资源方面还有以下一些有利条件。

（1）能源的分布对开发水能资源非常有利。西南地区缺煤而水能资源非常丰富，沿海地区河川水能资源不多但有大量的潮汐能源。

表 0-2

全国各省(区)水能蕴藏量和可开发水能资源统计

地区、省(区)	水 能 蕴 藏 量			可 开 发 水 能 资 源		
	平均出力 (万kW)	年 电 量 (亿kW·h)	占全国百分比 (%)	装机容量 (万kW)	年 电 量 (亿kW·h)	占全国百分比 (%)
全 国	67604.71	59221.8	100.0	37853.24	19233.04	100.0
华北地区	1229.93	1077.4	1.8	691.98	232.25	1.2
京、津、河北	220.84	193.5	0.3	183.71	41.77	0.2
山 西	511.45	448.0	0.8	263.98	106.98	0.6
内 蒙	497.64	435.9	0.7	244.29	83.50	0.4
东北地区	1212.66	1062.3	1.8	1199.45	383.91	2.0
辽 宁	175.19	153.5	0.3	163.34	55.85	0.3
吉 林	297.98	261.0	0.4	432.92	109.55	0.6
黑 龙 江	739.49	647.8	1.1	603.19	218.51	1.1
华东地区	3004.88	2632.3	4.4	1790.22	687.94	3.6
上海、江苏	199.10	174.7	0.3	9.75	3.10	
浙 江	606.00	530.9	0.9	465.52	145.63	0.8
安 徽	398.08	348.7	0.6	88.15	26.09	0.1
福 建	1045.91	916.2	1.5	705.12	320.20	1.7
江 西	682.03	597.5	1.0	510.86	190.54	1.0
山 东	73.76	64.6	0.1	10.82	2.38	
中南地区	6408.37	5613.8	9.5	6743.49	2973.65	15.5
河 南	477.36	418.2	0.7	292.88	111.63	0.6
湖 北	1823.13	1597.1	2.7	3309.47	1493.84	7.8
湖 南	1532.45	1342.4	2.3	1083.84	488.91	2.5
广 东	823.60	721.5	1.2	638.99	239.80	1.3
广 西	1751.83	1534.6	2.6	1418.31	639.47	3.3
西南地区	47331.18	41462.1	70.0	23234.33	13050.36	67.8
四 川	15036.78	13172.2	22.2	9166.51	5152.91	26.8
贵 州	1874.47	1642.0	2.8	1291.76	652.44	3.4
云 南	10364.00	9078.9	15.3	7116.79	3944.53	20.5
西 藏	10055.93	17569.0	29.7	5659.27	3300.48	17.1
西北地区	8417.69	7373.9	12.5	4193.77	1904.93	9.9
陕 西	1274.88	1116.8	1.9	550.71	217.04	1.1
甘 肃	1426.40	1240.5	2.1	910.97	424.44	2.2
青 海	2153.66	1886.6	3.2	1799.08	772.08	4.0
宁 夏	207.30	181.6	0.3	79.50	31.62	0.2
新 疆	3355.45	2939.4	5.0	853.51	459.75	2.4

注 与表0-1注相同。

(2) 水资源的综合利用价值较高。许多河流都有防洪和水运的要求,发展农田灌溉在全国来说要求也较普遍,所以在建造水电站时,可以同时考虑防洪、灌溉、水运等问题。

(3) 许多河流有良好的地形、地质条件,可用较小的工程量和投资建设水电站。

当然,我国水能资源的开发也存在一些不利因素。如自然界水的循环运动,在时间和地区的分配上,不能适应我们的要求,需要修建水库进行水量调节;又如北方一些河流含沙量较大,治理泥沙问题尚待研究解决;有些石灰岩地区,喀斯特溶洞较发育,地质条件不利;也有一些地区,人口稠密,修建水库后的淹没和浸没损失问题要考虑等。

我国可开发的小水电资源，根据李鹏1983年3月答新华社记者问提供的数据为7000万kW左右，年发电量为2000~2500亿kW·h。其特点是分布较广泛，在全国2000多个县中，有1100多个县的小水电资源在1万kW以上。小水电资源的另一个特点是，蕴藏量多集中在边远山区，位于大电网供电范围以外，可以弥补大电网供电的不足。

我国小水电资源也可划分为4个地区，它们的情况如下：

(1) 长江流域及其以南的闽、浙、赣、鄂、湘、粤、桂、云、贵、川等10个省区，大都是雨量充沛，河流陡峻的多山地区，可开发的资源约为4000万kW，占全国小水电资源的57%。这10省区932个县中，有749个县的小水电资源超过1万kW，是今后发展小水电的重点地区。

(2) 西藏、新疆地区，地域辽阔，常年积雪，水能资源得天独厚，可开发的小水电资源约为2000万kW，这一地区也是今后发展小水电的重点地区。

(3) 长江与黄河之间的鲁、豫、皖、陕、甘、宁、青七个省区，气候干旱，地势平缓，小水电资源较少，约为650万kW，其中超过1万kW的县有135个。

(4) 黄河以北的华北和东北地区，中小河流不多，小水电资源少，可开发的约为350万kW，仅占全国的5%，但分布较集中，有近100个县可开发的小水电资源在1万kW以上。

二、我国的水电建设情况和小水电建设方针

我国虽有丰富的水能资源，但解放前只修建了十几座小型水电站，总装机容量仅1.2万kW（被帝国主义长期统治过的东北和台湾除外），其中最大的水电站装机容量也只有3000kW。

新中国的建立，为水电事业开辟了广阔的前途，水电建设事业得到了迅速发展。40多年来，全国人民在党的领导下，取得了巨大成就。截至1988年底，全国大、中、小型水电站总装机容量3270万kW，年发电量1092亿kW·h。其中，小型水电站装机容量达1179万kW，年发电量为316亿kW·h。目前我国已建成的最大水电站装机容量为271.5万kW。现我国小型水电站，最大装机容量规定为2.5万kW，供电对象已由农村用电发展为城镇和地方工业用电，运行方式也由分散单独供电发展为联网运行，由大电网外发展到大电网内。

党的十二大提出了20年内工农业总产值翻两番的宏伟目标。电力工业是国民经济的“先行官”，发展工农业必须首先发展电力。石油不宜作为发电燃料烧掉；核电虽要积极发展，但在本世纪内还不可能成为我国发电的主要能源。由此可见，本世纪我国主要发电能源仍是煤炭和水力。

近年世界能源危机在不断加深，小水电作为一种可再生能源，日益为第三世界国家所重视。一些水电发展较早的工业发达国家，也在重新评价小水电的开发价值。1980年10月，联合国工业发展组织等在杭州和马尼拉召开的第二次国际小水电会议宣言中明确提出，为了加快第三世界农村的发展，必须鼓励支持发展中国家开发小水电，向他们提供技术和经济援助，传播技术情况，使农村尽快取得廉价的电能。同时，许多发达国家对小水电的研究、设计、建设方面的规模也日益扩大。如美国拟定1985年小水电总装机容量为150万kW，

而到2020年要达到5000万kW。瑞士1976年小水电装机容量为4万kW，计划到1995年增为8.5万kW。原苏联近年来也出现了对发展小水电合理性问题进行研究的动向。

我国中央领导同志最近视察福建小水电站时，也对加强小水电建设搞与小康水平相一致的中国式的农村电气化作了重要指示。我国广大农村，现还有40%的农民没有用上电，今后农村电气化的主要任务，首先是使这些农民用上电，已经用上电的要使他们用得更好些，用电气化促进农业现代化。在小水电资源丰富的地区，依靠广大群众，充分利用水能资源，因地制宜地建设小型水电站，使小水电在农村现代化建设中发挥作用。

为了加快小水电的建设，我国已制定了“自建、自管、自用”的方针。“自建”就是农村小水电建设所需要的资金，主要靠地方自筹，农民集资和劳务投资解决，国家用长期低息贷款和其他方式给予适当的补助和扶持。小水电的利润不纳入地方财政收入，全部用于发展小水电，实行“以电养电”。

“自管”是指小水电建成后，所有权和管理权都归投资者所有，实行独立核算，自负盈亏。

“自用”是指地方和农民办小水电的方向，应该面向农村和城镇，为农业生产和农民生活服务，而不是以向国家电网卖电盈利为主要目的。小水电发出的电力，应该就近供电，就地平衡，当然如有余电，也可以卖给大电网。

实践证明，发展小水电对解决农村能源，建设农村物质文明和精神文明，保护森林，保持水土，搞好生态平衡都具有重要意义。从全国一些县来看，小水电具有如下效益：

(1) 地方工业能得到较大的发展。目前小水电有1万kW以上的县，工业产值都达到几千万元，高的超过1亿元。江西省玉山县，解放后建设小水电站79座，总装机1.47万kW。随着电力的发展，工业发展很快，1989年工业产值达1.9亿元。所以在一些山区县，小水电被人们称为工业的中心。

(2) 促进农业机械化和电气化的发展。现在小水电装机超过1万kW的县，一般都有自己的小电网，可以使60%以上的农村用上电，发展电力排灌，加工农副产品，初步实现了机械化。

(3) 提高山区农民的物质和文化生活。农村有了电，除了发展生产，还可以发展广播、电影、电视，提高山区农民的物质和文化生活水平，促使文化教育事业、社会风气和精神面貌发生根本变化。

(4) 利用季节电能，以电代柴，保护森林。目前我国农村能源短缺，农民燃料不足，挖草根，烧秸秆，砍伐树木，导致水土流失，生态破坏，土地日益贫瘠。利用丰水季节的电能，供给农民烧菜做饭，可以保护森林，提高土地肥力，保持生态平衡。

三、本课程的主要任务和内容

本课程是一门研究有效地利用水能资源和经济合理地建设小型水电站的专业课程。第一部分主要介绍水能利用原理和开发方式，第二部分主要介绍河川径流的分析和调节计算，第三部分主要介绍水能计算和水电站装机容量的选择方法，第四部分主要介绍水利枢纽和水工建筑物，第五部分主要介绍水电站厂房。

通过本课程的学习，使学生获得水能开发和河川径流的基本知识，掌握水能利用的基

本概念和水电站装机容量的选择方法，了解水利枢纽主要建筑物的作用和厂房布置的方法。

本课程与许多基础课和专业课（如制图、水力学、水轮机、电机学、电气设备、水电站自动化等）有关，学习时应注意与它们的联系和配合。本课程许多内容直接来源于水电建设的生产实践。因此，要采用理论联系实际的学习方法，即学习理论知识，参加生产实践。学会运用所学的理论去分析解决水电站建设中的实际问题。

第一章 水能利用的原理和开发方式

第一节 水资源的综合利用

众所周知，水和人类的生活、生产活动有着密切而广泛的联系，水是人类赖以生存的必不可少的物质。因而，一切地面、地下水源也就成了一种重要的自然资源，称之为水资源。其中，河川水流及沿海潮汐所蕴藏的天然水能称之为水能资源（或水力资源），它是水电站生产电能的“原料”，和煤炭、石油一样是国家的宝贵财富。

水资源的开发直接和发电、灌溉、航运、工业及城镇居民用水有关，而这些部门各有其用水要求和用水特点。水力发电是水资源开发利用的重要部门，它利用天然水流蕴藏的能量，只是以水为媒介完成水能到电能的转换，不消耗水量，引用水量的多少取决于外界的用电要求，年内变化比较均匀，也比较灵活，在水轮机最大过水能力的限制以内，遇丰水季节可以增加用水量；农业灌溉要求将水引入田间，以满足作物生长之需，耗水量的多少取决于降雨情况、灌溉面积、作物组成、土壤特性等多方面因素，其用水量季节性强，各年也不尽相同，属于耗水部门；航运则要求河流经常保持均匀而稳定的水深，但不消耗水量；而工业及城镇生活用水属于常年性的耗水部门，对于水质、供水量、供水时间的要求都比较严格。

降雨是我国河流的主要补给水源，我国地处太平洋西岸，夏季受太平洋气流影响，雨量充沛，冬季季风来自寒冷干燥的亚洲大陆，雨量、雪量都比较小，致使我国大部分地区降雨量年内分配不均匀，年际变化也较大。不均匀的降雨势必形成河流水量的丰枯变化，丰水期往往出现洪水威胁。因而，我国大部分河流都不同程度的存在着防洪问题。

为了降低下泄流量，滞缓洪水下泄时间，减小洪水威胁，需要修建水库；为了满足发电、灌溉等兴利部门的用水要求，也需要修建水库。从需要修建水库工程这一点来看，防洪、兴利两者是一致的。但防洪部门要求汛期以前尽量腾空库容，以吞蓄洪水；而兴利部门却要求尽早多蓄水，以备枯水期引用，两者存在争库容的矛盾。仅就各兴利部门而言，也存在用水量的多少，用水时间的安排等方面的矛盾。另外，水库的兴建还可能引起自然环境和生态平衡关系的变化，如库区淹没、浸没损失，泥沙截留使农田失去肥源，河水被拦截妨碍了水生物的洄游活动等。

综上所述，可以看出水资源具有多方面的开发价值，一条河流或一个地区的水资源有可能也有必要尽量满足各有关部门的需要。这就要求我们在进行河流规划、考虑水资源开发利用时，要从各个部门的综合效益出发，以最小的投资获得尽可能大的国民经济综合效益。并以此作为治理和开发一切河流的根本原则。水资源综合利用涉及范围广，影响因素多，各部门之间关系错综复杂。所谓综合效益就不是各部门经济效益的简单相加，而是有机的结合。需要根据河流的自然地理条件、水文特征以及用水要求等因素确定主要的开发

目标, 兼顾其他。例如对于北方水土流失严重和干旱的中小流域, 一般应以水土保持和解决灌溉问题为重点; 对于南方地区, 山高坡陡, 河谷狭窄, 水量丰富, 落差比较集中的中小流域, 常以发电为主, 同时解决上游通航、木材流放和灌溉等问题。至于防洪问题, 需根据具体情况确定其在总体规划中的地位, 一般来说中小流域的防洪问题不如大流域突出。

第二节 水能利用原理及水能资源蕴藏量估算

一、水能利用的基本原理

在重力作用下, 由高处流往低处的水体具有一定的能量, 在天然状况下, 这种能量消耗于克服水流摩阻、河床表面的摩阻、挟带泥沙、冲刷河床等。进行水能开发就是采取人工措施, 将这些分散的白白消耗掉的能量集中起来加以利用。

水流能量可以用伯诺里方程来表示: 水量 W 自I—I断面流经II—II断面(图1-1), I—I断面处水流速度为 V_1 、水面高程为 Z_1 、大气压强为 P_1 , II—II断面的流速为 V_2 、水面高程为 Z_2 、大气压强为 P_2 。

则水体 W 通过I—I断面时, 所具有的能量为 E_1 ,

$$E_1 = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} \right) \gamma W \quad (\text{J})$$

通过II—II断面时, 所具有的能量为 E_2 ,

$$E_2 = \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} \right) \gamma W \quad (\text{J})$$

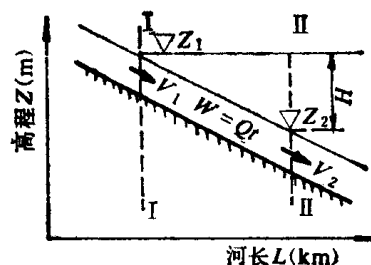


图 1-1 河流纵断面图

估算河段水能时, 近似取用两断面大气压强 $\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma}$, 流速水头 $\frac{\alpha V_1^2}{2g} = \frac{\alpha V_2^2}{2g}$, 故由I—I断面至II—II断面, 水体 W 所消耗的能量可以表示为 E

$$E = E_1 - E_2 = (Z_1 - Z_2) \gamma W \quad (\text{J})$$

则单位时间内水体 W 所作的功, 即功率或出力 N 为

$$N = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{T} \right) \gamma W = \gamma Q H \quad (\text{kW}) \quad (1-1)$$

式中 T ——时间;

H ——两断面间水面高程差, m ;

Q ——平均流量, m^3/s ;

γ ——水容重, $9.81\text{kN}/\text{m}^3$ 。

故水流理论出力或简称水流出力值 N 为

$$N = 9.81 Q H \quad (\text{kW}) \quad (1-2)$$

二、河川水能资源蕴藏量估算及蕴藏图

根据世界动力会议统一规定，某一国家、地区或河流水能资源蕴藏量应等于其全部水力地址理论出力之和。估算时，可采用历时保证率为95%、50%相应的年径流量或多年平均流量（一般常用多年平均流量），水头 H 取用与引用流量相应的河段水面落差，因为河流

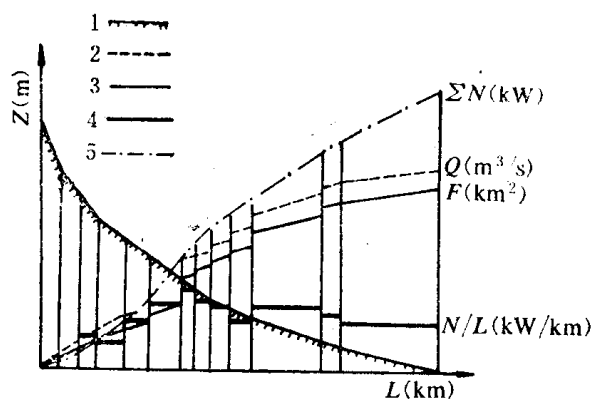


图 1-2 河流水能资源蕴藏量示意图

1—河底高程 Z ；2—流量 Q ；3—流域面积 F ；4—单位长度出力 N/L ；5—累积出力 ΣN

纵比降（河段水面高程差与河段长度之比）和流量都是沿程变化的，所以在实际估算河流水能蕴藏量时，常沿河分段计算出力值，然后逐段累加求得河流总的水流出力。分段的断面位置一般选在较大支流注入处，纵向坡度变化显著或有利的开发地点。为估算河流的水能蕴藏量，需要对河流的径流资料，河流的坡降变化，流域面积沿河长的变化进行测量和调查，并根据式（1-2）按表1-1逐

项计算，并将成果绘图表示，见图1-2。

某河流水能资源蕴藏量计算表

断面 顺序	各断面 水面高程 Z (m)	相邻断面 水面落差 H (m)	断面间 距 L (km)	断面处 流量 Q (m^3/s)	河段 平均流量 $\bar{Q}$ (m^3/s)	河段 理论出力 N (kW)	单位河长 水流出力 N/L (kW/km)	理论出力 累积值 ΣN (kW)
1	260	45	120	0	9	3973	33	3973
2	215	25	38	18	21	5150	135	9123
3	190	30	60	24	30	8829	147	17952
4	160	15	35	36	43	6327	180	24279
5	145			50				

第三节 水能资源的基本开发方式

由前述可知，水能资源蕴藏量与河流水面落差、引用流量成正比。然而，除了特殊的地形条件如瀑布、急滩以外，一般情况下，河流落差是沿河分散的，因而采取人工措施集中落差就成了水能开发的必要方法。按照集中落差的方式可以将水能开发分成为坝式、引水式及混合式三种基本方式。

一、坝式开发

拦河筑坝形成水库，坝上游水位壅高，库面坡降比原河道水面坡降平缓，使得库区水

流速度比天然状态下的流速大为降低，从而大大减小了水头损失，原来在河道中损失的水头大部分集中于坝址，在坝的上、下游形成一定的水位差（图1-3），用这种方式集中水头的水电站称为坝式水电站。

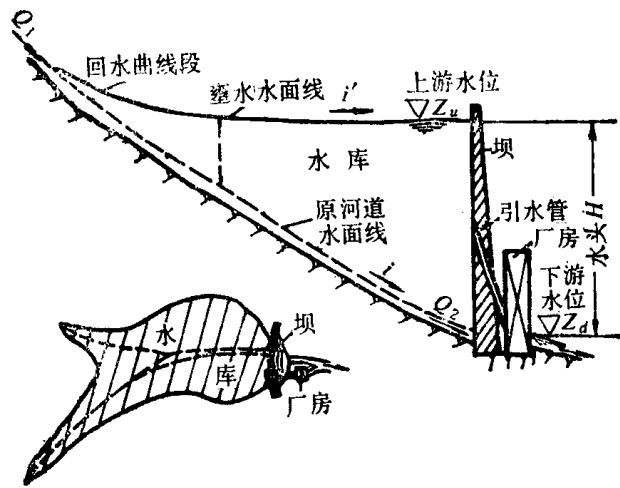


图 1-3 坝式开发示意图

显然，对于坝式开发而言，坝越高集中的水头越大，但坝高常受库区淹没损失，坝址地形、地质条件、施工技术、工程投资以及水量利用程度等多方面因素的限制。目前，世界上坝式水电站最大水头已达300m，我国引用流量最大的水电站是葛洲坝水电站，其最大引用流量为17953m³/s，集中水头最高的坝是台湾的德基，最大水头180m。

坝式开发的最大优点是有水库调节径流，水量利用程度高，综合利用价值高。但工程量和淹没损失都比较大，施工期限较长，工程造价较高。一般适于修建在坡降较平缓，流量较大的河段，且要有适合建坝的地形、地质条件。

二、引水式开发

在河道上布置一低坝取水，水流经纵向坡降比原河道坡降小的人工引水道，水道末端的水位就高出了河道下游水位，从而获得了集中落差，这种开发方式为引水式开发。用这种方式集中水头的电站，称为引水式水电站。引水道可以是无压明渠，如图1-4；也可以是有压隧洞，如图1-5。

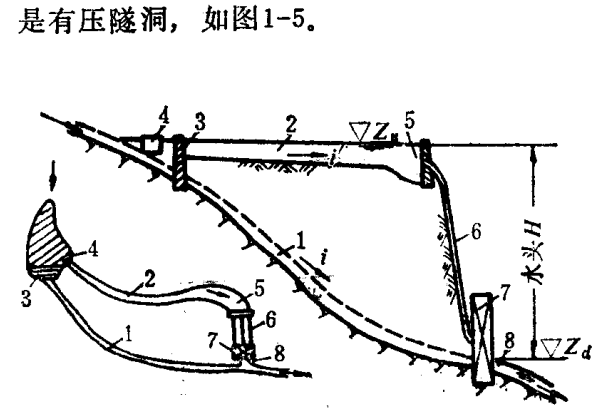


图 1-4 无压引水式开发示意图

1—原河道；2—明渠；3—取水坝；4—进水口；
5—前池；6—压力水管；7—水电站厂房；8—尾水渠

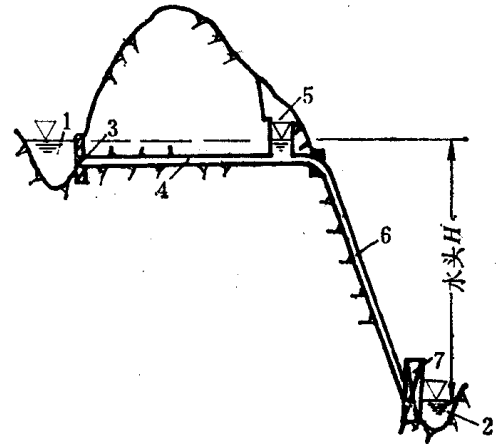


图 1-5 有压引水道式水电站

1—高河（或河湾上游）；2—低河（或河湾下游）；3—进水口；
4—有压隧洞；5—调压室（井）；6—压力钢管；7—水电站厂房

引水式开发，引水道越长，坡降越小，集中的水头就越大，但坡降太小时，流速很低，引水道断面很大，不经济。引水道断面、坡降的选择，需根据地形、地质情况，经动能经济比较确定。

引水式开发水电站水头较高，目前世界上水头最高的引水式水电站已达2000m以上，我国以礼河水电站，水头也已达629m，这是坝式开发无法与之相比的。且这种开发方式，一般来说，没有淹没问题，工程量、工程单位造价都比较小。但因没有水库调蓄径流，水量利用程度低，综合利用价值也比较低。一般适合于修建在流量小，坡降较大的河流中上游，是山区小型水电站常采用的开发方式，在有瀑布、河道大弯曲段，以及相邻河流高差大、距离又较近的条件下，采用引水式开发更为有利。如图1-6、图1-7。

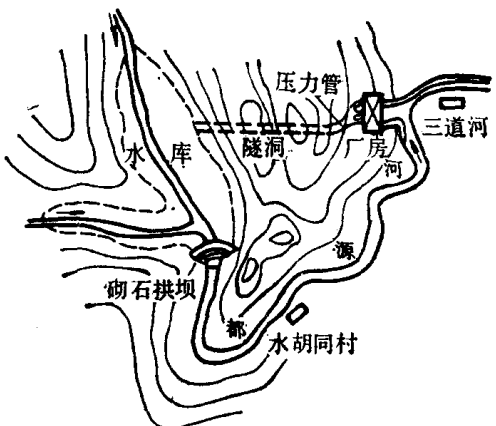


图 1-6 截弯取直示意图



图 1-7 跨河引水示意图

三、混合式开发

这种开发方式，一部分落差靠拦河筑坝集中，一部分落差由有压引水道形成。混合式开发有水库可以调节径流，有引水道可以集中较高的水头，具有坝式、引水式两种开发方式的特点。当上游河段地形、地质、施工等条件适于筑坝，下游河道坡降比较陡或有其他有利地形，适于采用引水式开发时，选用混合式开发较为有利。见图1-8。

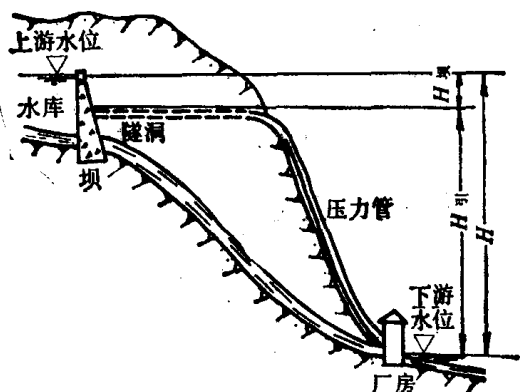


图 1-8 混合式开发示意图

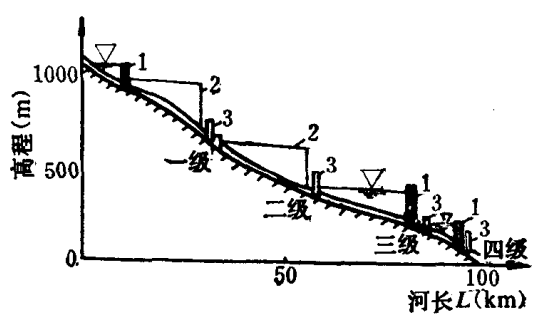


图 1-9 河流梯级开发示意图
1—坝；2—引水道；3—水电站厂房

四、梯级开发

由于地形、地质、施工技术水平、工程投资及淹没损失等因素的限制，往往不适宜在

河流下游修建单一的大电站来利用河流总落差，一般将一条河流分成几级，修建几个电站，分段集中，分段利用河流落差，这种开发方式为梯级开发，见图1-9。

在我国，除对以礼河、猫跳河、龙溪河、古田溪以及黄河、红水河、大渡河等大江大河进行了梯级开发的建设与规划以外，各县的河流规划也都采用或拟定了梯级开发方案，如江西省奉新县的老愚公四级、浙江省缙云县盘溪梯级等。

进行梯级开发时应注意：

(1) 尽可能充分地利用水能资源。从这点出发，梯级布置上尽量减少级数，每一级集中尽可能大的落差，一般要求上一级的尾水位能与下一级的正常蓄水位衔接，甚至有一定重叠，以利用下一级库水位消落时所空出的一段水头。且在梯级的最上一级，最好采用坝式或混合式开发，以便利用水库调节径流，改善下游各级的运行状况，提高整个梯级的发电能力和综合效益。如浙江缙云县盘溪梯级的一级，江西奉新县老愚公一级等都建有年调节能力的“龙头水库”。

(2) 作好第一期工程的选择。选择第一期工程时，一方面要考虑该梯级在整个梯级的作用，特别是能满足河流开发中当前最迫切的综合利用要求。例如最上一级蓄水梯级作为第一期工程，对其他各级的施工、运行、综合效益的发挥都比较有利。另一方面，也是更主要的方面，第一期工程的选择，常取决于现有人力、物力、施工条件等因素。

(3) 对河流梯级开发方案进行技术、经济、施工条件、效益、淹没损失等方面的比较时，要求对各梯级开发方案的每一级单独进行分析评价外，还应将各梯级作为一个整体，进行总体评价。

浙江缙云县盘溪梯级开发对实现缙云县电气化起了很大作用，并在规划方面总结了“筑坝蓄水，引水补源，拦集区间，级级相连”的经验，最大限度地利用了河流自然落差和流量，达到了以发电为主结合灌溉的目的。

盘溪从大圳头到出口总长22.6km，总落差为653m，河床平均坡降2.89%，已开发五级，共装机13台7565kW，年发电量3038万kW·h，其梯级布置见图1-10。

大洋水库位于梯级之首，坝高45m，库容1190万m³，是盘溪的骨干工程。为了充分发挥大洋水库的作用和提高各级电站的设备利用率，开挖隧洞3490m，跨流域引水，年平均引进水量580万m³。另外，为了充分利用各级电站之间的集雨面积，筑坝修引水渠，将区间径流分别引入二、三、四级电站，年平均引入水量874万m³。“级级相连”主要是充分利用水头，从盘溪一级至五级总落差616m，实际利用水头583.7m，其中一级为36.2m，二级220m，三级206.5m，四级92m，五级29m，水头利用率达94.8%。

五、特殊型式水电站

(一) 抽水蓄能水电站

抽水蓄能的含义是以水体为媒介，进行能量的储存和利用。以此，对外界负荷起到“调峰填谷”的作用。对水、火电站组成的混合电力系统而言，即指利用负荷低谷时期火电的剩余出力抽水蓄能，等到负荷高峰时期放水发电。这样，一方面使火电负荷均匀，提高效率，减少煤耗；另一方面又发挥了水电站适应变化负荷的优点。

目前，一般抽水蓄能式电站的总效率在70%~75%之间，即通常讲抽水用电3~4