

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



SHUILI SHUIDIAN
GONGCHENG GAILUN

水利水电 工程概论

(第二版)

武汉大学 田士豪 编 著
三峡大学 陈新元



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



SHUILI SHUIDIAN
GONGCHENG GAILUN

水利水电

工程概论

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

教材共分九章。第一章绪论，介绍水资源、水利事业和水利水电建设事业发展概况。第二章水利水电基本知识，介绍水文学、水力学、河流动力学、工程地质等与水利水电工程建设相关的一些基本知识。第三章水利枢纽，介绍水利枢纽的特性和组成，以及不同类型水利枢纽的典型工程实例。第四章挡水建筑物和泄水建筑物，介绍不同类型的挡水建筑物和泄水建筑物，以及这些建筑物的特点、分类、作用、构造、地基处理和施工方法。第五章取水和输水建筑物，介绍取水和输水建筑物的各组成部分。第六章水电站建筑物，介绍水电站的组成、压力水管、平水建筑物、水电站厂房以及厂房有特点的水电站、其他型式的水电站。第七章过坝建筑物，介绍不同型式的通航建筑物、过鱼建筑物和过木建筑物。第八章水利水电工程建设和施工，介绍水利水电工程建设程序、施工导截流方法、施工组织设计、施工管理等。第九章水利水电工程施工机械化，介绍水利水电工程机械的状况、分类、需求、选型和经济核算。

本书可作为高等学校非水利水电类本科教材，还可作为从事水利水电工程管理人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

水利水电工程概论/田士豪, 陈新元编著. —2 版.

北京: 中国电力出版社, 2006. 10

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 7 - 5083 - 4659 - 9

I. 水... II. ①田... ②陈... III. ①水利工程—高等学校—教材②水力发电工程—高等学校—教材
IV. TV

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 104144 号

中国电力出版社出版、发行

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

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 3 月第一版

2006 年 9 月第二版 2006 年 9 月北京第三次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 337 千字

印数 6001—9000 册 定价 23.80 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 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次，不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为修订教材。

自本书出版以来，不断传来新的水利水电工程建成或开工的消息。目前，我国水电装机容量已经超过1亿kW，水电事业加速发展。本次修订版，作者保持了第一版的整体结构，并竭力将最新的工程资料补充更新到教材中，让学生们对水电事业有及时的了解。

本书第一版由武汉大学田士豪和三峡大学陈新元共同编写，此次修订由田士豪完成。

感谢读者对本书的厚爱。教材的写作和修改是个艰巨的工作。尽管编者进行了不懈的努力，教材中仍难免有不妥之处。诚恳广大读者及时批评指正，或对其中某些内容进行探讨。联系邮箱：shtian@whu.edu.cn。

在此再版之际，对帮助过本书出版工作的人在此一并表示感谢。

编者

2006年6月

第一版前言

水电是利用水在大自然中循环所产生的机械能转化为电能，是一项可重复利用的能源。水电在生产过程中不会产生环境污染，是一项清洁的能源。在我国，水电在电网中所占的比例不断上升，水利水电工程建设是一项方兴未艾的事业。随着“西电东送”战略的展开，三峡、小湾等一批大型水利水电工程建设的上马，需要越来越多的不同类型的人材涉身于水利水电事业，如外语、商贸、管理、机电等。本教材编写的目的就是为非水利类学生学习和了解水利水电工程建设相关的知识。学生通过本课程的学习，能够更好地在水利水电工程建设中发挥更大的作用。

教材全面地介绍了水力水电枢纽工程中的各种建筑物的功用、特点、类型，各种建筑物在枢纽中的布置及相互位置，以及建筑物的设计、施工。教材以介绍基本知识为主，同时力图介绍最新的水利水电工程建设成果。水力发电工程是一项系统工程，涉及到水文、地质、建材、机电、环保等多学科的知识，教材对相关知识也作了适当介绍。

《水利水电工程概论》是中国电力教育协会的普通高等教育“十五”规划教材之一。本书为非水利类专业（文、理、工科）本科生教材，也可作为从事水利水电工程管理人员的培训教材和参考书，或水利水电专业人员的入门教材。本教材以增加可读性为编写的宗旨，尽可能地采用通俗的语言，使学生能够较好地理解专业术语的内涵。

本书包括绪论、水利水电基本知识、水利枢纽、挡水建筑物和泄水建筑物、取水和输水建筑物、水电站建筑物、过坝建筑物、水利水电工程建设和施工、水利水电工程施工机械化，共九章。

本书由武汉大学田士豪（第一至四、六、七章）和三峡大学陈新元（第五、八、九章）合编，全书由田士豪统稿。中国水力发电工程学会秘书长邴凤山审阅全书。

本书在编写过程中得到了武汉大学和三峡大学的资助，以及国家、省、市的科技计划和部

目 录

前言	
第一版前言	
第一章 绪论	1
第一节 水资源及水能资源	1
第二节 水利事业	6
第三节 我国的水利水电建设发展	9
第四节 本课程的特点及相关知识	14
第二章 水利水电基本知识	15
第一节 水文学及水力学	15
第二节 水利水电规划	23
第三节 工程地质	32
第三章 水利枢纽	38
第一节 水利枢纽	38
第二节 水工建筑物	40
第三节 枢纽布置	43
第四章 挡水建筑物和泄水建筑物	50
第一节 重力坝	50
第二节 拱坝	77
第三节 支墩坝	85
第四节 土石坝	87
第五节 水闸	104
第六节 河岸溢洪道	122
第七节 水工隧洞	126
第五章 取水、输水建筑物	135
第一节 取水建筑物	135
第二节 输水建筑物	138
第六章 水电站建筑物	141
第一节 水电站的组成和类型	141
第二节 压力管道	144
第三节 平水建筑物	148
第四节 水电站厂房及其设备	151
第五节 厂房有特点的水电站	156
第六节 其他型式的水电站	160

第七章 过坝建筑物	162
第一节 通航建筑物	162
第二节 过鱼建筑物	169
第三节 过木建筑物	171
第八章 水利水电工程建设和施工	174
第一节 水利水电工程的建设程序	174
第二节 水利水电工程的勘测、设计	179
第三节 水利水电工程施工	182
第四节 施工总组织	192
第九章 水利水电工程施工机械化	201
第一节 施工机械化的意义	201
第二节 我国水利水电工程施工机械化状况	202
第三节 水电工程机械的分类	204
第四节 施工机械的生产能力和需要量的计算	205
第五节 施工机械的选型	207
第六节 机械化施工的经济分析与核算	210
参考文献	214

第一章 绪 论

第一节 水资源及水能资源

一、什么是水资源

地球上（地表、地下和空气中）用于满足人类生活和生产需要的水源统称为水资源。地球上的水资源包括：海洋、湖泊、河流、泉水、地下水、积雪、冰川、土壤水、以及大气中的水蒸气等。水是人类及一切生物赖以生存的重要物质，是任何其他物质不可替代的自然资源。

广义上的水资源，是指地球上能够直接或间接使用的各种水及水中的物质，包括地球上的全部水体。地球上水体总储量达 13.86 亿 km^3 。其中海洋水占 96.54% ，由于这部分巨大的水量是属于高含盐量的咸水体，目前还很难直接作为居民生活水或工农业生产用水。

陆地上的淡水量约 0.35 亿 km^3 ，目前便于人类利用的水只有 0.1065 亿 km^3 ，主要分布于湖泊、河流、土壤以及地下含水层中。狭义的水资源就是指这部分能够被人类利用的水。随着科学技术水平的发展，“可利用的”水资源的范围将逐步扩大，水资源的数量也将逐渐增加。但是，在当前的科学技术水平下，其“可利用的”数量相对来说还是极为有限的。同时，人类在使用水资源的过程中，过度开发和水质污染又使“可利用的”这部分水资源日见贫乏。

在本课程中，水资源主要是指在地球上能够满足人类需求的“可利用的”水及其属性，即狭义上的水资源。

二、水资源的特性

地球上的水资源具有如下显著的特性：

(1) 资源的循环性 依靠强大的太阳能，水在自然界中周而复始地循环，形成水资源的

等。人类对水资源的利用既有同一性，也有多样性。同时，也给人类综合利用提供了广阔的空间。

(5) 利、害的双重性。水能载舟，也能覆舟。水给人类提供必需的水资源的同时，也会给人类带来暴雨、洪水、干旱。

三、我国现有的水资源状况

我国现有的水资源状况有以下特点：

(一) 有非常丰富的水资源

我国的水资源从绝对数量上来说是相当丰富的，其中：

河流：总长度 40 多万 km。流域面积在 100km² 以上的河流有 5000 余条，其中流域面积在 1000km² 以上的河流有 1600 多条。在这几万条河流中，河长在 1000km 以上的有 20 条。主要的大江大河有：长江、黄河、珠江、雅鲁藏布江、淮河、海河、辽河、怒江等。长江是中国第一大河，全长 6380km，为世界第三大河。黄河是中国第二大河，全长 5464km。图 1-1 和表 1-1 为我国主要河流的径流特征和分布情况。

表 1-1 中国主要河流的径流特征值^[7]

按径流总量排序	江河流域名称	注入海(湖)域	流域面积(km ²)	年平均流量(m ³ /s)	年径流总量(亿 m ³)	径流深度(mm)
1	长江	东海	1808500	30933	9755	539
2	珠江	南海	453690	10654	3360	741
3	黑龙江	鄂霍次克海	1620170	8600	2709	167
4	雅鲁藏布江	孟加拉湾	240480	5245	1654	688
5	澜沧江	南海	167468	2410	760	454
6	怒江	孟加拉湾	137818	2229	703	510
7	闽江	台湾海峡	60992	1995	629	1031
8	淮河	黄海	269283	1937	611	227
9	黄河	渤海	752443	1785	563	75
10	钱塘江	东海	42156	1154	364	863

注 各特征值均为在中国境内或计算至国界处的数值。

湖泊：总面积约 71787km²。天然湖泊面积在 1km² 以上的有 2300 多个（不包括时令湖），面积在 100km² 以上的有 130 多个。全国湖泊贮水总量约 7088 亿 m³，其中淡水贮量 2260 亿 m³，约占 32%。

大小冰川面积约 57070km²。

我国多年平均年降水总量 61889 亿 m³，年平均降雨量 648mm。多年河川径流总量约

匮乏。

我国的地下水资源同样具有南方丰富、北方贫乏的特征。

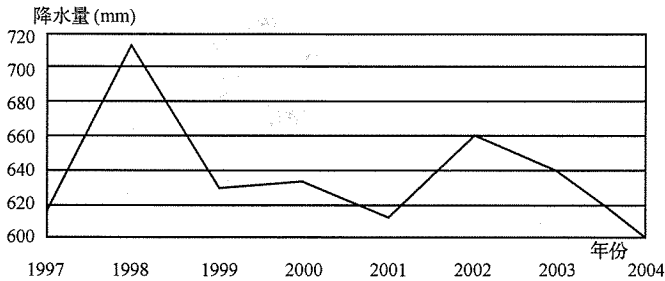


图 1-2 1997~2004 年全国年平均降水量变化图

受到季风的影响,我国的降水在时间上也分布不均。这既表现为年内分布不均,也表现为年际分布不均。图 1-2 是 1997~2004 年全国年平均降水量变化情况。其中 1997 年为 613mm,1998 年为 713mm,竟相差 100mm,增幅变化达 16.3%。

在全年之中,夏季降水量明显大于冬季,称为汛期。汛期降雨量往往是旱季的几倍。如:湖北地区 1991 年遭遇水灾,仅武汉地区就曾出现三天的降雨量大于 800mm 的情况,而 1992 年湖北地区又遇严重旱灾;1975 年 8 月河南林庄三天降雨量达 1631.1mm,相当于该地区多年平均年降雨量的两倍。

(四) 水土流失及水质污染情况不容忽视

我国的森林覆盖率只有 12.5%,居世界第 120 位。由于西北地区植被条件极度恶化,使黄河成为世界上罕见的多沙河流,年均含沙和年输沙量均居世界大河的首位。近年来,黄河经常发生断流,1997 年山东段断流时间长达 300 多天。某些专家甚至预言,如果不对当前这种情况加以扼制和改善,到 21 世纪黄河将成为内陆河。淮河的水污染一度曾导致两岸一些城市的饮用水发生困难,某些城市甚至发展到市民购买瓶装纯净水做饭的地步,是水资源受到破坏的典型。1996 年长江水质调查发现,虽然长江干流的水质污染尚未超过其自净化能力,但部分河段的水质令人担忧。重庆下游一些地方水质污染程度超过饮用水标准,如不治理,将来三峡工程建成后,江水流速大大减小,江水的自净化能力减弱,污染将会比现在严重。我国 1994 年对全国地表水进行的水质监测表明,除了上述的长江、黄河、淮河外,我国其他大部分江河水体均受到不同程度的污染,如珠江、松花江、海河等。

关系。由于种种原因,少数地方仍存在不顾大局、只注重局部利益、追求眼前发展、污染治理的经费投入不足、排污设施不配套等,导致河流、湖泊的水质污染日益恶化。近年来,各级政府非常重视这个问题。中央电视台每年举办环境保护万里行报导;对淮河沿岸五小企业强行关、停、并、转;1997年1月1日淮河实行零点行动;1999年1月1日又在太湖流域实行零点行动;一些城市在水价中增加治污部分等,都反映国家对水资源保护的决心和行动。在刚刚开工的南水北调工程中,政府又提出先治理后调水、先节水后调水的原则。使治水节水从源头抓起,从而改变了以前先开发后治理的旧模式,将治水、节水提高到一个新的高度。目前,水资源的保护任务仍然很艰巨。特别在某些贫困地区尤为严重,甚至还存在采用破坏资源的方式来发展生产。这些都有待于进一步宣传有关政策,研究治理措施。

目前,政府正在加大宣传力度和治理力度,采取一系列措施解决当前存在的突出问题。如:封山育林,退湖还田,关闭五小工业,加大污水治理,限制超采地下水,治理三江源,以及正在积极准备中的南水北调工程等。目前,以上情况已有所好转。在三峡库区,蓄水前的大规模清库、灭鼠工作,以及新建城市的排污处理厂的建立,将大大降低水库水质恶化的可能。但是,水资源的合理利用和保护是一项任重而道远的工作,需要各级政府的不懈努力和全民环保意识的不断增强。

1988年1月21日全国人民代表大会通过中华人民共和国第一部水法。这使得依法治水用水得以实现。1992年8月29日,第九届全国人大常委会第29次会议通过了《中华人民

表 1-2 中国大陆水能资源按水系分布表

水 系	理论蕴藏量 (MW)	可开发容量 (MW)	年发电量 (亿 kW·h)	所占比例 (%)
长江	268020	197240	10274.98	53.4
黄河	40550	280000	1169.91	6.1
珠江	33480	24850	1124.78	5.8
海河、滦河	2940	2130	51.68	0.3
淮河	1440	660	18.94	0.1
东北诸河	15310	13700	439.42	2.3
东南沿海诸河	20670	13900	547.41	2.9
西南沿海诸河	96900	37680	2098.68	10.9
雅鲁藏西藏其他河流	159740	50380	2969.58	15.4
北方内陆及新疆诸河	34990	9970	538.66	2.8
全国	676040	378530	19233.04	100.0

表 1-3 中国大陆水能资源按地区分布表

地区	理论蕴藏量 (MW)	可开发容量 (MW)	年发电量 (亿 kW·h)	所占比例 (%)
华北	12300	6920	232.25	1.2
东北	12120	11990	383.91	2.0
华东	30050	17900	687.94	3.6
中南	64080	67430	2973.65	15.5
西南	473310	232340	13050.36	67.8
西北	84180	41940	1904.93	9.9
全国	676040	378530	19233.04	100.0

第二节 水 利 事 业

为了充分利用水资源,研究自然界的水资源,对河流进行控制和改造,采取工程措施,合理使用和调配水资源,以达到兴利除害的各部门从事的事业统称为水利事业。水利水电工程是以水力发电为主的水利事业。

水利事业的根本任务是除水害和兴水利。除水害,主要是防止洪水泛滥和旱涝成灾;兴水利,则是从多方面利用水资源为人类服务。主要措施有:兴建水库,加固堤防,整治河道,增设防洪道,利用洼地、湖泊蓄洪,修建提水泵站及配套的输水渠道和隧洞。

水利事业的效益主要有:防洪、农田水利、水力发电、工业及生活供水、排水、航运、水产等。

一、防洪

洪水造成的危害,轻者会毁坏良田,重者造成工业停产、农业绝收,甚至于人员生命财产受到威胁。水害发生往往是大面积的。由于目前的水文预报还远未尽人意,因此,防洪往往是水利事业的头等大事。1931年,武汉江汉关水位达 28.28m,长时间造成武汉及周边地区大面积被淹,死亡人口达十几万人。

防止洪灾的几项主要措施有:

（一）增加植被、加强水土保持

在植被情况好的地方，树木、草丛可以截留和拦蓄部分雨水，减缓坡面上的水流速度，延缓洪水形成过程，从而减少洪峰流量。良好的植被还能够保护地表土壤免受水流冲刷，减少坡面水土流失和河道泥沙。良好的植被能够增加土壤中的含水量，改善空气中的湿润程度。

（二）提高河槽行洪能力

由于降水量等因素的影响，河道内洪水流量有大有小，河水位有涨有落，在相对宽阔的河道中往往会形成一些滩地。在常年一般情况下，这些河滩地无水，只有在洪水期才漫滩地行洪，河滩处水面陡然变宽。河水一旦漫滩，河道的过流能力迅速加大，有利于洪水通过。河滩地是行洪的重要通道，是防洪的安全储备，不应随意侵占。近年来，随着城乡人口增加，人类的活动范围扩大，以及经济的发展，使得某些人仍置全局的利益于不顾，随意侵占河滩地，在其上建筑临时和永久建筑物。殊不知，建筑物的存在造成了河道过水断面减小，形成人为阻止洪水的障碍，大大降低洪水的通过能力。当洪水到来时，因洪水通过困难而迫使上游水位壅高，威胁堤防安全，对防洪非常不利。

武汉市政府在 1998 年的防汛中充分认识到河滩建筑物对河槽洪造成的不利影响，曾下令全部拆除河滩障碍建筑物，以提高河道行洪能力。2001 年底，武汉市政府将建筑在汉阳大堤内的已建成住宅楼全部炸毁，表明政府清障防洪的决心。黄河中，除泥沙淤积外，人为设障也是阻碍行洪的因素。1996 年，致使第一号洪峰在河道内行洪缓慢，长时间不能下泄出海，形成第二号洪峰在山东境内追上第一号洪峰的现象。

洼、上六方堤、下六方堤、石姚段、塘垞湖、荆山湖、邱家湖、城东湖等9个行洪蓄洪区,削洪峰20多亿 m^3 ,为确保两岸重要工矿城市和重要设施的安全发挥重要作用。

二、农田水利

在全国的总用水量中,80%以上的用水量是农业用水。良好的排灌水利设施是保证农业丰收的主要措施。修建水库、堰塘、渠道、泵站等水利设施可以提高农业的生产保障,是水利事业中的重要内容。

三、水力发电

水能资源由太阳能转变而来,是以位能、压能和动能等形式存在于水体中的能量资源,亦称水力资源。广义的水能资源包括河流落差水能、海洋潮汐水能、波浪水能、海洋潮流水能、盐差能和深海温差能源。狭义的水能资源指主要河流水能资源。水在自然界周而复始地循环,从这种意义上来说,水能资源是一种取之不尽、用之不绝的能源。水能相对于石油、煤炭等不可再生的化石能源,具有不可比拟的优势。

水力发电就是利用蓄藏在江河、湖泊、海洋的水能发电。现阶段,主要是利用大坝拦蓄水流,形成水库,抬高水位,依靠落差产生的位能发电。水力发电不消耗水量,没有污染,清洁,运行成本低,是优先考虑发展的能源。

四、给水和排水

工业和民用供水需要供水质量好,供水保证率高。修建水库等储水、供水设施可提高供水保证率和供水质量。

生活和工业污水排放是城市市政建设和工业设施的一部分。当前,污水排放是江河污染的源头,采用一定的污水处理措施是必要的。

积水排渍工程是城市防洪工程的一部分。

五、航运及水产养殖

一方面,水利水电工程修建了拦河大坝等建筑物后,阻隔了江河水流的天然通道,隔挡了船只的航行,需要在水利水电枢纽工程中修建船闸、升船机等通航建筑物,帮助船只克服上游水位抬升造成的落差,恢复全河段的河道通航问题。另一方面,某些河段在天然情况下,或是落差大、水流急,或是河滩多、水深浅,在这些河流中,有些只能作季节性通航。

第三节 我国的水利水电建设发展

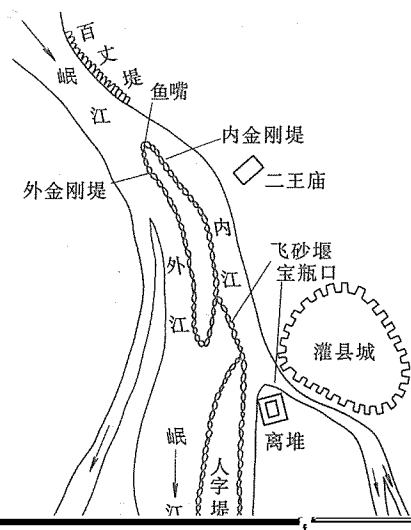
我国早在公元前 2000 多年前已经开始与水作斗争。鲧 (gun) 采用“堵”的方法治水归于失败后，他的儿子禹用“疏”的方法获得成功。大禹治水“三过家门而不入”的佳话，反映了劳动人民与水斗争取得胜利的业绩。中国古代的水利工程主要用于防洪、灌溉、航运等。

我国在水利建设方面有两个繁荣时期：春秋战国时期和新中国成立以后。

一、春秋战国时期

春秋战国时期，封建社会制度的建立逐渐取代了没落的奴隶社会制度。新的生产关系的确立，大大地促进了社会生产力的发展。铁器的发明、农业的发展，都促使与农业紧密相关的水利事业获得迅速地发展。当时建成的著名工程有：

(1) 都江堰，在今四川成都西北的灌县（今都江堰市）。公元前 250 年，由当时任蜀都太守的李冰父子主持修建，用于成都平原的灌溉。都江堰工程包括宝瓶口、飞沙堰、分水鱼嘴、金刚堤、人字堤等建筑物（见图 1-3）。宝瓶口依山开凿而成，是整个灌溉渠的进水口，不仅能够在枯水期大量引水，还能在洪水期约束控制进渠水量。分水鱼嘴建在岷江的江心洲滩最前端，在枢纽中起着导水作用，低水位时分水入渠。飞沙堰长 150~200m，高 2m，汛期通过堰顶由内江向外江溢水分流排沙。内金刚堤长约 650m，外金刚堤长约 900m。整个工程



顺地势修建而成，既能将岷江水引入成都平原

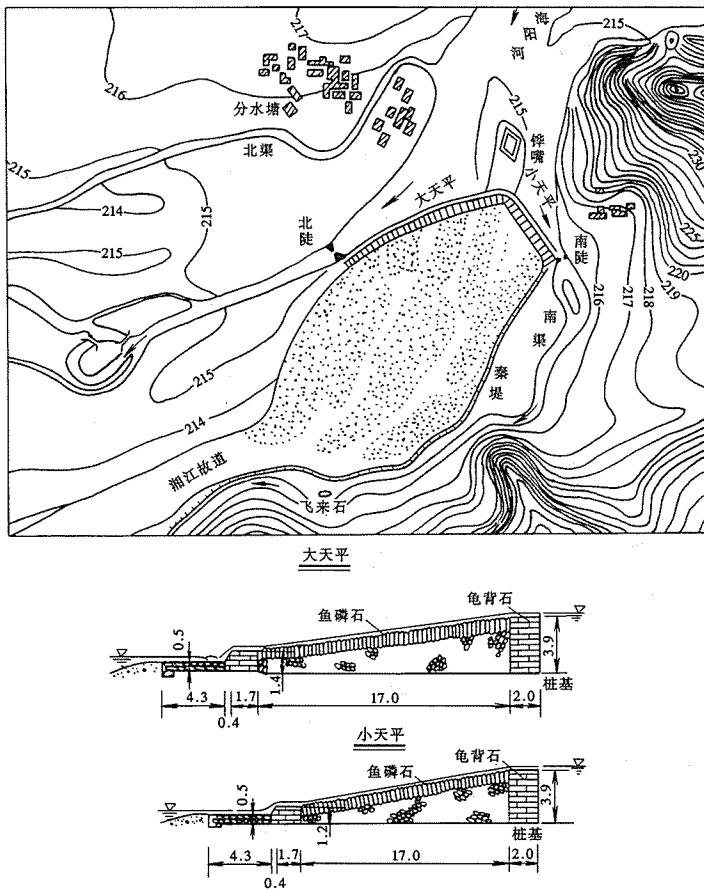


图 1-4 灵渠工程布置图

(3) 芍陂 (quebei), 建于公元前 598~公元前 591 年, 在今天安徽寿县境内, 今称安丰塘。陂是中国古代特有的一种水利工程, 是由人工修造而成的蓄水塘。芍陂位于淮水支流淠水和肥水之间的一大片洼地上, 在北、西两面筑堤蓄水, 以南面诸水为源。芍陂因引淠水经白芍亭东蓄水而得名。历史上灌溉面积从数千顷到四万顷不等。芍陂建成后, 经三国魏、西晋、东晋、南朝、隋、唐、宋、元各代都对芍陂进行过修治。到了明代, 芍陂虽然也多次修治, 但是规模都不大, 陂内的淤塞日益严重。至清光绪年间 (1875~1908 年), 芍陂的淤塞已极为严重, 陂的作用已经很小。但是, 芍陂仍是保留至今最完整的在低洼地修建堤堰的灌溉工程。新中国成立后, 芍陂经过大规模修治, 现为淠史杭灌区

的一个反调节水库。现在, 蓄水量已达到了 7300 多万 m^3 , 灌溉面积 63 万多亩。

这个时期建成的工程还有河北的引济十一渠 陝西的郑国渠 江苏的环沟和河南的泃