

工程人才培养：在基础课中窥见工程应用

力学在水利工程中的应用

（上册）

张贵金 喻和平 李梦成 鲍海艳 编著



非
外
借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

力学在水利工程中的应用 (上册)

张贵金 喻和平 李梦成 鲍海艳 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是针对工程教育专业认证的需要和目前我国高等工程教育中实践教学环节存在的突出问题编著的。基于学生认知规律,深入挖掘工程背景知识,对接课程核心知识点,建立基础课、专业基础课、专业课、实践教学环节相互之间,以及与工程实践之间的有机联系,汇集基础力学中的知识点在水利工程中的应用案例,有些案例为现场工程师提供的亲历的工程实例。本书按照水利工程专业各门基础力学课中各知识点顺序编排,主要章节配有例题、思考题和习题。分期编撰成册,先期《力学在水利工程中的应用(上册)》共4章,内容为:水利工程中的力学问题、理论力学在水利工程中的应用、材料力学在水利工程中的应用、水力学在水利工程中的应用;后期将结构力学、土力学、岩石力学等三部分形成《力学在水利工程中的应用(下册)》。

本书可作为水利类本科学生、研究生(水利水电工程、水工结构工程、港口航道与海岸工程、海洋工程、海洋资源开发技术、农田水利工程、水文与水资源等)的教辅资料和参考书,对于从事水利工程设计、施工、科学研究的专业技术人员也有一定的参考作用。

图书在版编目(CIP)数据

力学在水利工程中的应用. 上册 / 张贵金等编著
— 北京: 中国水利水电出版社, 2018. 4
ISBN 978-7-5170-6422-0
I. ①力… II. ①张… III. ①力学—应用—水利工程
IV. ①TV

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第096148号

书 名	力学在水利工程中的应用(上册)
作 者	LIXUE ZAI SHULI GONGCHENG ZHONG DE YINGYONG 张贵金 喻和平 李梦成 鲍海艳 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 18.75印张 444千字
版 次	2018年4月第1版 2018年4月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	68.00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

Preface

目前,国内外高等工程教育特别强调,要重视培养学生的工程实践能力、创新能力及解决复杂工程问题的能力,达成培养目标并能持续发展。高校工程人才培养的诸多环节均应创造条件,适应这些发展的要求。

在宏观层面:①需要全过程强化学生的专业认知。要让低年级学生理解具体的专业培养目标及开设课程的目的,认识到工程问题的复杂性,激发学生的课堂学习动力和主动性。让高年级学生清楚每一门课程在专业中的作用,并能综合运用这些课程知识,提高解决工程复杂问题的能力。②需要强化师资队伍的工程实践训练,尤其是刚入职的青年教师需要加强自身工程实践能力培养。③充分利用课堂展示工程实践,弥补有限课时、有限地点的现场实习的缺陷,展示工程全过程施工环节,揭示隐蔽工程施工工艺流程,尽可能通过课堂获得系统全面的工程实践知识。

在微观层面:①对一门课而言:通过深入的知识挖掘,将课程的相关知识点与工程实践、科学问题充分联系,激发学生学习的主动性、积极性和创新动力。②课程之间:要将各阶段分散的知识点建立关联,在基础课、专业基础课、专业课、实践教学环节相互之间,以及与工程实践建立有效联系。如低年级学生,尽早将所学知识点与实际工程联系起来,建立起工程概念,明确学习目的;高年级的学生,明确专业知识和基础知识之间的联系,消除与工程实践的距离。提升学生运用知识的潜力和思维方式。

本书针对本科学习阶段的特点和需要,结合工程实践和水利工程专业认证的需要,汇集基础力学中的知识点在水利工程中的应用案例,开展教学研究与实践。

(1) 基于学生认知规律和知识挖掘的基本原理,深入挖掘水利工程背景知识,对接各课程核心知识点,建立基础课、专业基础课、专业课、实践教学环节相互之间,以及与工程实践之间的有机联系。

(2) 在案例编撰过程中,教师全程参与实践素材收集、关联知识挖掘、

案例分析等工作，自然增强工程素养，提高教学水平。

(3) 在课程教学中，利用本素材采用交互式、案例式、研讨式等教学方法，可以使学生在低年级时，通过了解工程背景知识建立起工程概念，知晓水利工程的复杂性，明确学习目的；高年级时基于专业知识和基础知识、工程实践之间的联系，系统学习，获得解决水利工程复杂问题的能力。充分激发学生学习的主动性、积极性和创新性，增强学生的工程实践能力，显著提升教学质量和教学效率。

本书分上、下两部分，并分期编撰成册。理论力学、材料力学、水力学三部分形成《力学在水利工程中的应用（上册）》；结构力学、土力学、岩石力学三部分形成《力学在水利工程中的应用（下册）》，供同学们直接体会和感受这些基础课程学习的重要意义。

上册编著人员分工：前言、第1章（张贵金）；第2章、第3章（喻和平，其中鲍海艳参编2.1.7及2.2.1~2.2.3部分）；第4章（李梦成）。全书由张贵金教授统编核定。研究生汪洋、韩行进、黄一为、蒋煌斌、朱亭承担了部分文字和图表绘制工作。

本书获得教育部“长沙理工大学-五凌电力有限公司卓越工程师人才培养校外实践教育基地”项目资助。感谢清华大学金峰教授、河海大学顾冲时教授的建议和肯定，特别感谢四川大学陈建康教授对本书的宝贵意见。感谢水利部澧水流域水利水电开发有限公司黄志勇高工提供了部分实际工程案例。

目录 Contents

前言

第1章 水利工程中的力学问题	1
1.1 水利工程概述	1
1.2 水利工程中的力学问题概述	26
1.3 基础力学在水利工程中的应用概述	34
参考文献	39
第2章 理论力学在水利工程中的应用	40
2.1 水工建筑物中的静力学问题	40
2.2 水工建筑物中的运动学问题	74
2.3 水工建筑物中的动力学问题	82
参考文献	107
第3章 材料力学在水利工程中的应用	108
3.1 轴向拉伸和压缩	108
3.2 弯曲内力	111
3.3 弯曲应力	138
3.4 弯曲变形	156
3.5 应力状态和强度理论	163
3.6 组合变形	176
3.7 压杆稳定	204
3.8 温度应力	210
参考文献	211
第4章 水力学在水利工程中的应用	213
4.1 水静力学问题	213
4.2 水动力学基本方程	223
4.3 有压管流	236
4.4 明渠流	242
4.5 堰流水力计算问题	252

4.6 泄水建筑物下游水流衔接与消能	260
4.7 港航工程（以船闸、航道整治为例）水力学问题	268
4.8 水利工程中的渗流问题	282
参考文献	292

第 1 章 水利工程中的力学问题

1.1 水利工程概述

“水利”一词最早见于《吕氏春秋·孝行览·长攻》(公元前 240 年)。到西汉武帝时,司马迁考察了许多河流和治河、引水等工程之后写成中国第一部水利通史——《史记·河渠书》(公元前 104 年),给水利下了比较完整的定义。书中写道,“甚哉,水之为利害也。”关于水利的内容,书中提到的有:“穿渠”,即开挖灌、排水沟渠及运河;“溉田”,即灌溉农田;“堵口”,即修复被洪水毁坏的堤防。这是在中国历史上首次给予“水利”一词以兴利除害的完整概念。1933 年,中国水利工程学会在第三届年会的决议上提出“水利范围应包括防洪、排水、灌溉、水力、水道、给水、污渠、港工八种工程在内”。随着社会经济的发展,水利包含的内容不断丰富,现代对水利的认识更加完整,它包括了防洪、排水、灌溉、供水、水力发电、航运、水土保持以及水产、旅游和改善生态环境等方面的建设。

在欧、美国家,一般使用 Hydraulic Engineering (水利工程) 或 Water Conservancy (水利),20 世纪 60 年代之后,又称作 Water Resources (水资源),其含义已引申到水资源的开发与管理。

水利在人类发展史上占有显著的地位。众所周知,水是人类生存和发展不可须臾或缺的物质。人类在漫长的历史中,经历过从适应自然,改造自然到综合利用自然为人类造福的各个阶段。古代的人类主要依靠自然的赐予,以渔牧为主,逐水草而居,避水害,择丘陵而处;到农业生产和定居的出现后,人类才开始了主动取水和排水,趋水利避水害,出现了初期的农田水利工程(如灌溉、排水沟渠,有坝引水工程等)、防洪工程(如修堤防洪、分洪泄水等)以及航运工程(如开凿运河等)。工业化社会的到来以及兴水利除水害多目标的近代水利建设技术的采用,掀起了较大范围、较大规模水利工程建设的热潮,开创了将水能转变为电能的水电事业,人类开始步入大力开发、利用水资源的阶段。20 世纪中叶以来,现代水利建设大发展,全世界的灌、排面积和水力发电总装机容量均成倍增加,水利建设规模的扩大更是惊人。如坝高已从 19 世纪的 30~50m 增高到 300m 级,人类已不局限于除水害和兴水利,还着眼于保护水源、调配水量、防治水源污染以及避免水土流失等,提出了建设高标准水利工程和实施多目标综合利用的要求,并以取得经济、社会、生态等诸方面的效益,长期造福于人类为水利建设的目标。

水利工程是用于控制和调配自然界的地表水和地下水,达到除害兴利目的而修建的工程。其发展历程及目的如下。

- (1) 古代水利工程:与自然斗争,主要用于农田灌溉、军事等。
- (2) 近现代水利工程:兴利除害,主要用于防洪兴利、发电造福、改善生态、养殖致



富、改善通航、改善生活（调水工程）等。

（3）将来的水利工程：可持续性，主要用于创建节水型社会、协调环境、实现可持续发展等。

1.1.1 水利工程的类型

1.1.1.1 按目标或服务对象分类

（1）防洪工程——防止洪水灾害。修建水库拦蓄洪水、挖河筑堤宣泄洪水等，防止洪水灾害，保障人们生活生产正常进行，见图 1.1。



图 1.1 典型堤防工程

（2）农业水利工程——为农业生产服务，防止旱、涝、渍灾。或称其为灌溉和排水工程，包括灌溉、排水、除涝和防治盐、渍灾害等工程，见图 1.2。

（3）水力发电工程——将水能转化为电能。

1) 昆明附近的石龙坝水电站，是中国历史上第一座水电站，官商合办，聘德国工程师建造，购德国设备。1910 年 7 月开工，1912 年 4 月发电，最初装机容量为 480kW，

耗资 50 余万元，现在还在发电，见图 1.3。

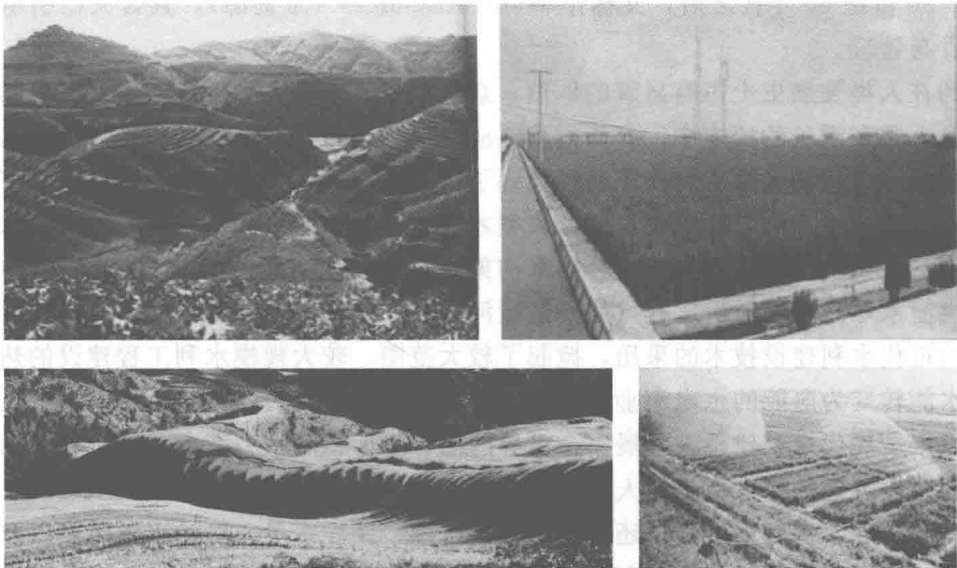


图 1.2 农业水利工程

2) 丰满水电站。1937 年日本人开始修建该坝，1943 年日本撤退时大坝尚未完成，有些坝段还没有按设计断面浇完，而且坝基断层未经处理，已浇的混凝土质量很差，廊道里漏水严重，坝面冻融剥蚀成蜂窝状，大坝处于危险状态。后在苏联援建下建成。大坝高 90 多米，为当时亚洲第一高坝，见图 1.4。

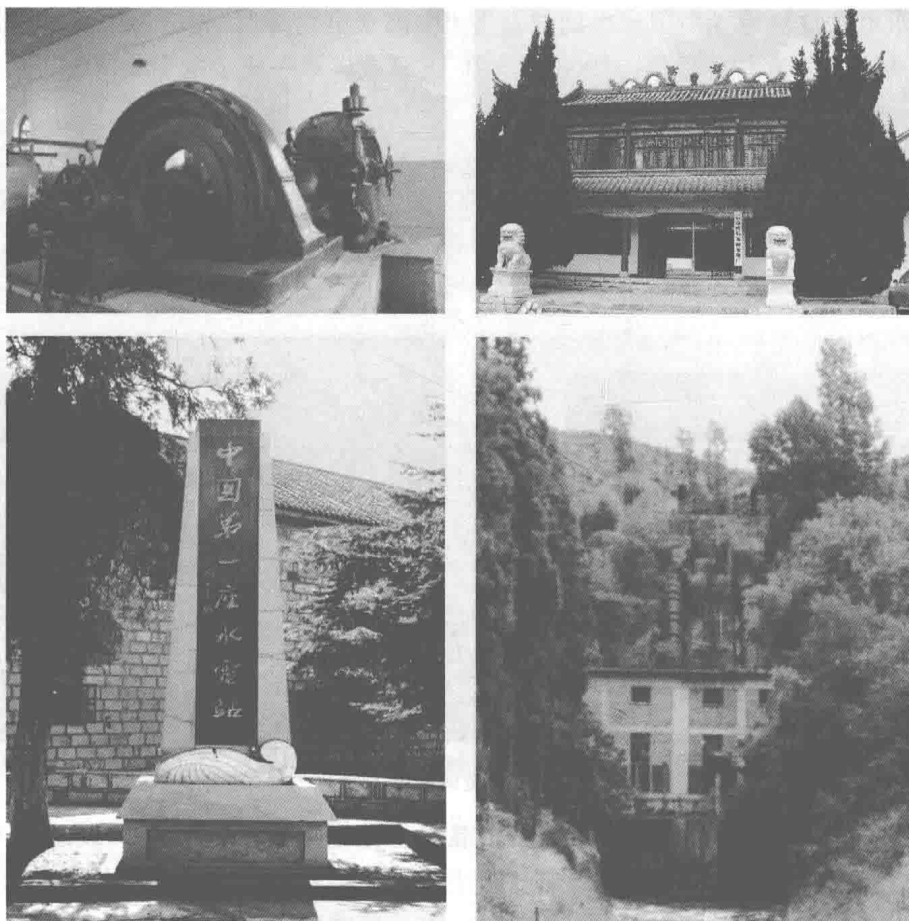


图 1.3 石龙坝水电站

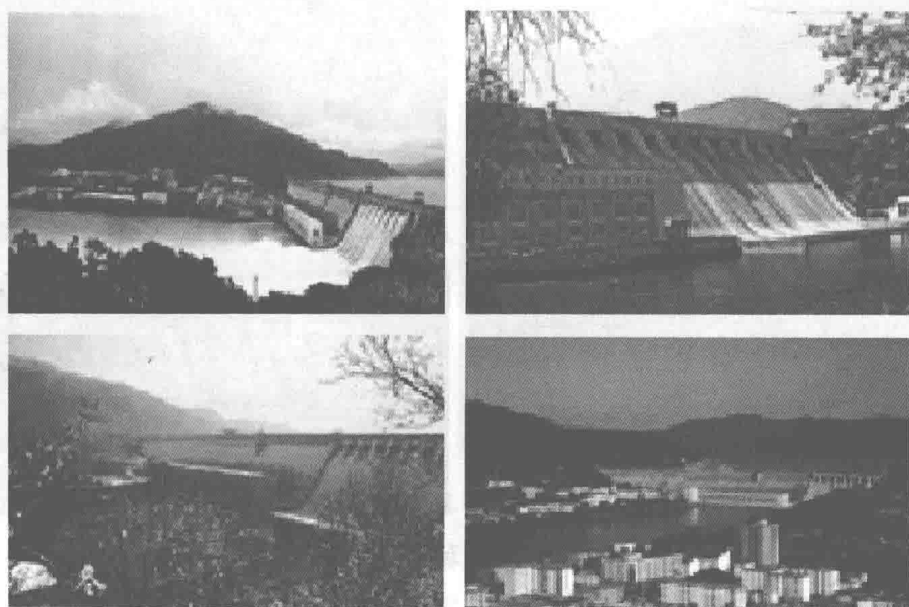


图 1.4 丰满水电站



丰满水电站被称为“中国水电的摇篮”“中国水电之母”，先后为中国培养、输送了 2000 多名专业人才和技术骨干。2008 年 3 月 13 日我国第一座水电专业博物馆在丰满水电站建成。

3) 坝工建设——标志性工程系列。

胡佛水坝位于美国亚利桑那州的西北部，距拉斯维加斯约 48km，建在高山峡谷之间，工程庞大，建成后对工农业发展起着巨大的作用。该坝为混凝土拱坝，坝高约 221.4m，见图 1.5。1931 年 1 月动工，1936 年 3 月竣工完成，使用 260 万 m^3 混凝土。水电站发电机组年发电 40 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

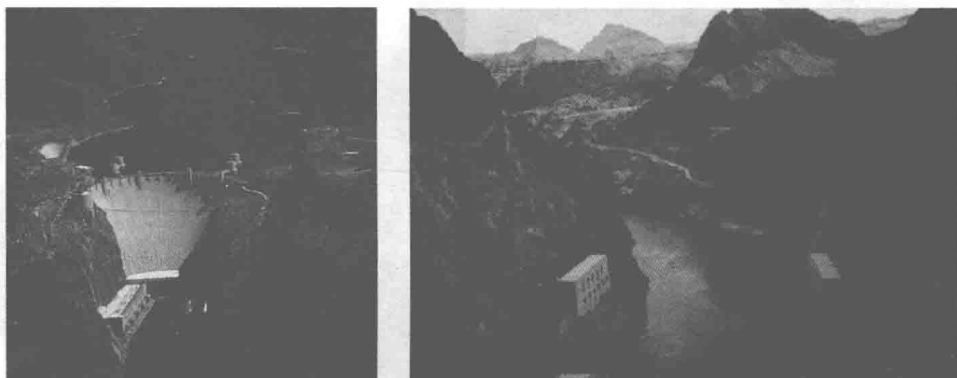


图 1.5 美国胡佛水坝

20 世纪 50 年代建成的新安江水电站，混凝土宽缝重力坝，坝高 102m，是中华人民共和国成立后中国自行设计、自制设备、自主建设的第一座大型水力发电站，见图 1.6。

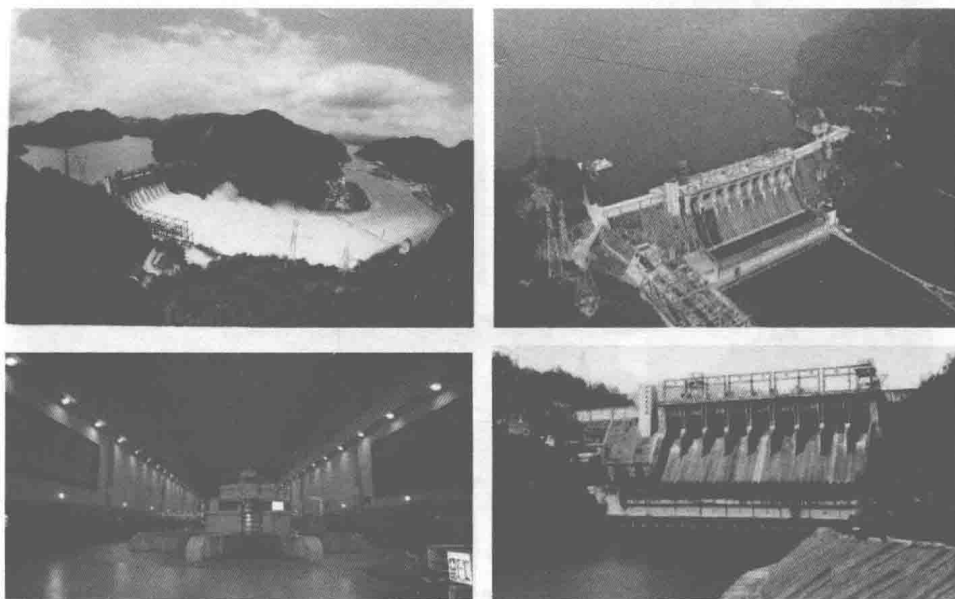


图 1.6 新安江水电站

60 年代建成的刘家峡水电站（图 1.7），混凝土重力坝，坝高 147m，是我国第一座高坝，坝址区地震基本烈度为Ⅷ度，主坝设防烈度为Ⅸ度。



图 1.7 刘家峡水电站

阿斯旺水坝距埃及的阿斯旺城约 10km，主坝全长 3600m。大坝为黏土心墙堆石坝，见图 1.8，最大坝高为 111m，当最高蓄水位 183m 时，水库总库容 1689 亿 m^3 ，电站总装机容量 210 万 kW，设计年发电量 100 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。工程始于 1960 年，工期 10 年，耗资 10 亿美元。大坝控制尼罗河水流量。形成的纳赛尔湖为埃及合理利用水源提供了保障，供应了埃及一半的电力需求，并阻止了尼罗河每年的泛滥。

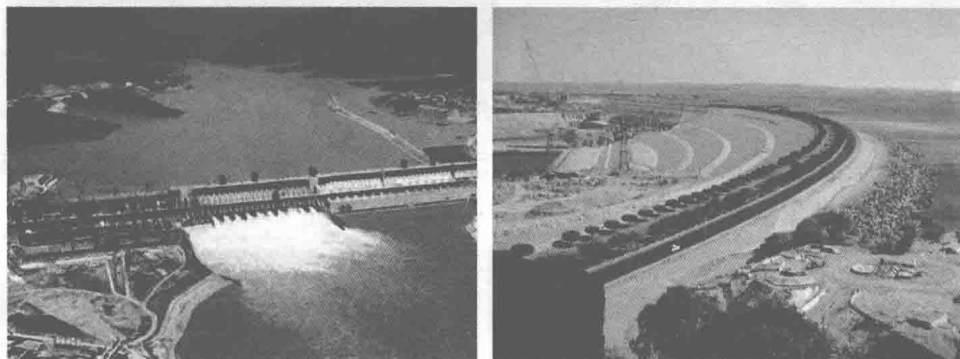


图 1.8 埃及阿斯旺水坝

70 年代建成的乌江渡水电站，见图 1.9，建于石灰岩岩溶区，重力拱坝坝高 165m。革新成果 791 项，其中有 9 项达到国内先进水平，成功地解决了岩溶地区建设水电站的水库防渗、大坝基础稳定、泄洪及施工后期导流等重大技术难题。

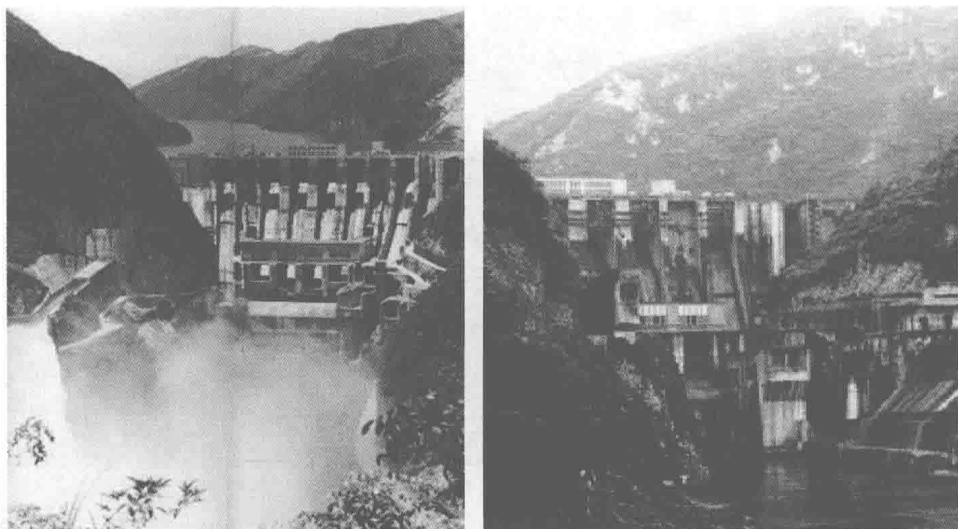


图 1.9 乌江渡水电站

伊泰普水坝位于巴西西南部与巴拉圭和阿根廷的交界处，为混凝土双支墩空腹重力坝，见图 1.10。坝长 7744m，最大坝高为 196m。该坝于 1975 年 10 月开始建造，1991 年 5 月建成，耗资 183 亿美元，共 20 台发电机组（每台 70 万 kW），总装机 1400 万 kW，年发电量 900 亿 kW·h，总库容 290 亿 m^3 。电站不仅能满足巴拉圭全部用电需求，而且能供应巴西全国 30% 以上的用电量。

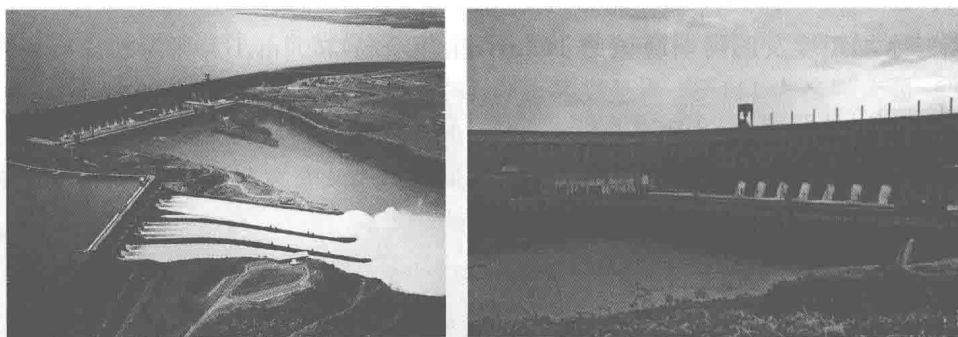


图 1.10 巴西伊泰普水坝

80 年代建成的葛洲坝水利枢纽，是我国万里长江上建设的第一座大坝，耗时 18 年，装机 21 台，大江截流流量达 $4400 \sim 4800 \text{m}^3/\text{s}$ ，年均发电量 141 亿 kW·h，见图 1.11。

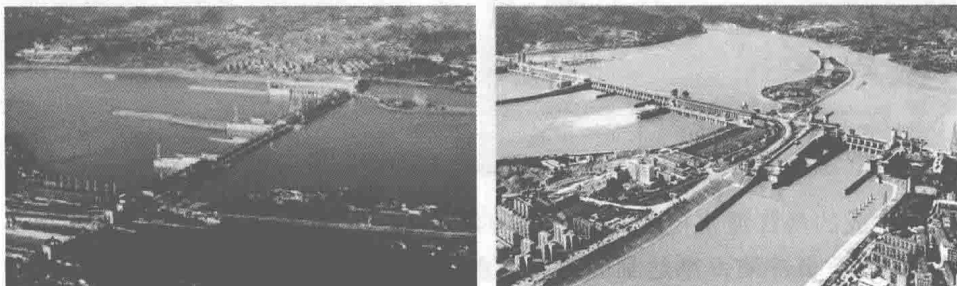


图 1.11 葛洲坝水利枢纽



21 世纪初建成的三峡水电站，是世界上规模最大的水电站，多项指标（如库容、发电量、混凝土工程量、船闸等）居世界第一，见图 1.12。

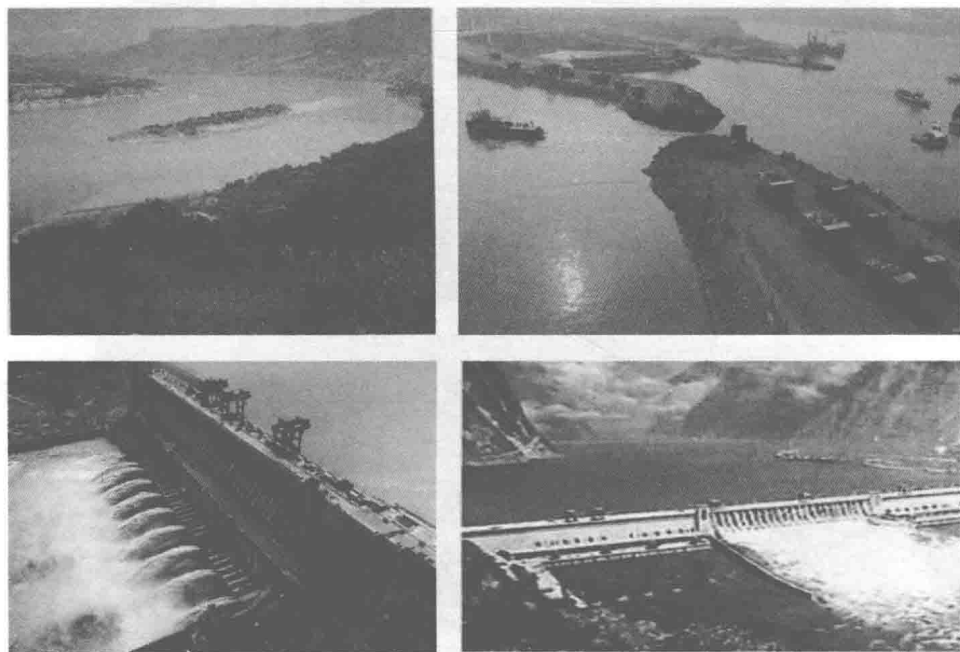


图 1.12 三峡工程

二滩水电站是我国第一个全面实行国际竞争性招标的水电建设项目，拱坝最大坝高 240m，中国第一座超过 200m 的高坝。地下厂房洞室群巨大，总装机 330 万 kW，见图 1.13。



图 1.13 二滩水电站



小浪底水利枢纽是治理开发黄河的关键性工程，拦河坝采用斜心墙堆石坝，最大坝高 154m，在面积约 1km^2 的单薄山体中集中布置了各类洞室 100 多条，见图 1.14。



图 1.14 小浪底水利枢纽

(4) 航道和港口工程——改善和创建航运条件。疏浚天然航道、人工开挖运河、修建港口码头等，见图 1.15。

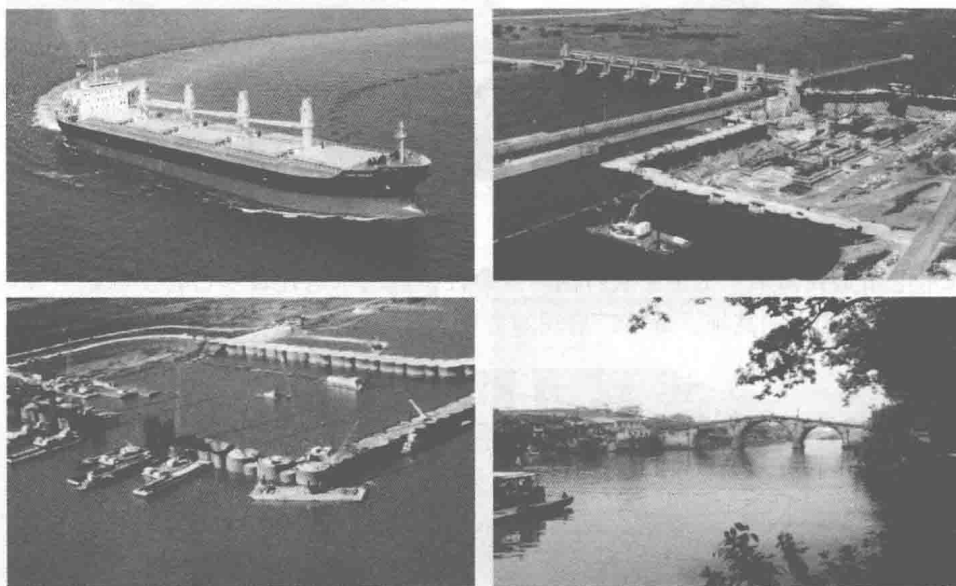


图 1.15 航道和港口工程

(5) 城镇供水和排水工程——为工业和生活用水服务，主要处理和排除污水和雨水；水体生态修复（图 1.16 和图 1.17）。



图 1.16 (一) 韩国良才川水质生物-生态修复设施



图 1.16 (二) 韩国良才川水质生物-生态修复设施

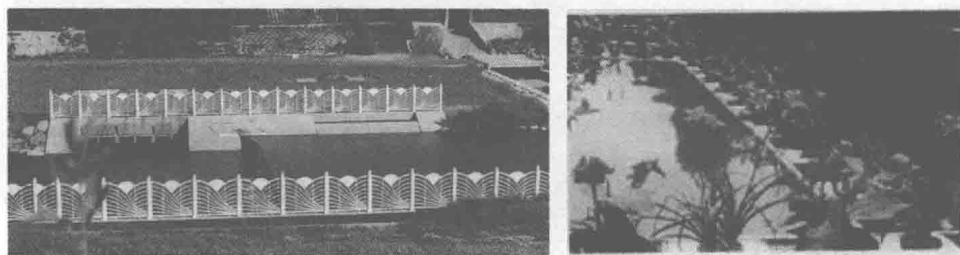


图 1.17 河流生物浮岛净化

(6) 水土保持工程和环境水利工程——防治水土流失和水质污染, 维护生态平衡; 防止泥石流 (图 1.18), 减少地质灾害。

(7) 渔业水利工程——保护和增进渔业生产, 见图 1.19。

(8) 海涂围垦工程——围海造田, 满足工农业生产或交通运输需要等。

一项水利工程同时为防洪、灌溉、发电、航运等多种目标服务的, 称为综合利用水利工程。

1.1.1.2 按直接目的分类

(1) 蓄水工程: 水库和塘坝。

(2) 引水工程: 从河道、湖泊等地表水体自流引水的工程。

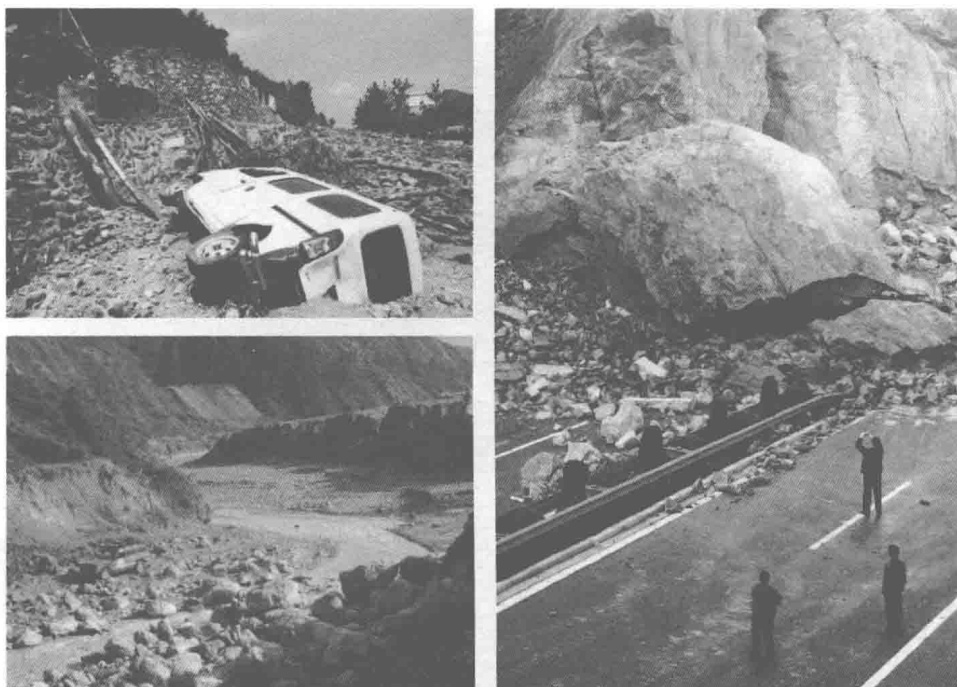


图 1.18 泥石流灾害

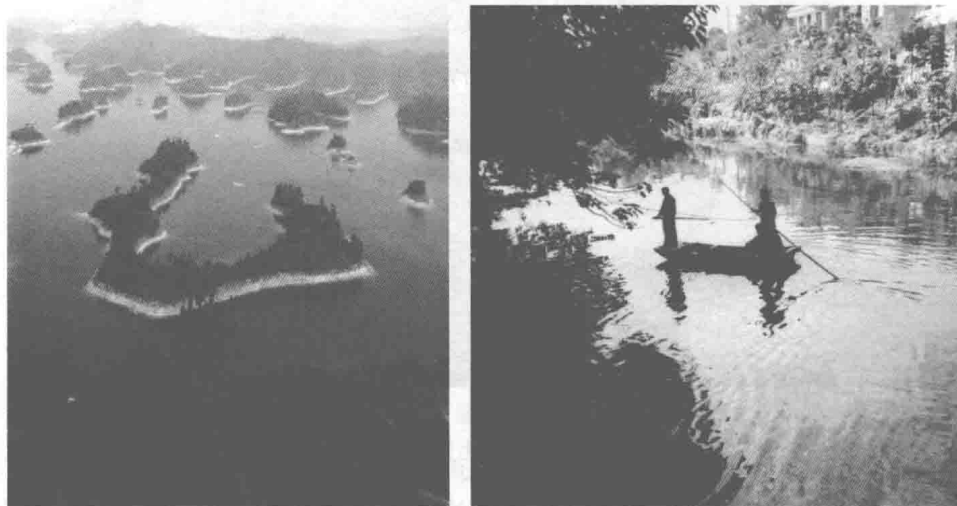


图 1.19 水库水产渔业

(3) 提水工程：利用扬水泵站从河道、湖泊等地表水体提水的工程。

(4) 调水工程：水资源一级区或独立流域之间的跨流域调水工程。2400 年前我国开凿大运河；公元前 2400 年前古埃及从尼罗河引水灌溉至埃塞俄比亚高原南部；公元前 486 年我国引长江水入淮河的邗沟工程；美国前后花了近 80 年在西部修建中央河谷、加州调水、科罗拉多水道和洛杉矶水道等长距离调水工程；中华人民共和国成立后我国的调水工程：江苏江都江水北调工程，广东东深引水工程，河北与天津引滦入津工程，山东引黄济青工程，甘肃引大入秦工程等。