



新世纪土木工程系列教材

# 土木工程概论

(第2版)

叶志明 江见鲸 主编



高等教育出版社

2004

新世纪土木工程系列教材

# 土木工程概论

第 2 版

叶志明 江见鲸 主编



高等教育出版社

## 内容提要

本书是新世纪土木工程系列教材之一,是在2001年出版的《土木工程概论》的基础上修订而成的。本书对原教材作了较大的修改,在保持教材原有特点的同时,对部分内容进行了删减、增扩,使教材从学科概论的视角反映土木工程的综合性、社会性及其在技术、经济与管理方面的统一性,并在进行工程教育的过程中告诉学生从事土木工程专业的思想和方法。

本书着重介绍土木工程专业的基本内容,以简明、新颖、实用的内容帮助学生了解土木工程所涉及的范围、成就和最新发展等情况。全书共分十五章,分别为绪论、土木工程材料、基础工程、建筑工程、交通土建工程、桥梁工程、港口工程、地下工程、水利水电工程、给排水工程、土木工程施工、建设项目管理、工程灾害与抗灾、数字化技术在土木工程中的应用和土木工程设计方法。

本书可作为普通高等学校土木工程、水利工程、建筑学、城市规划等专业的教材和教学参考书,也可作为理工类其他专业和人文类专业的选修课教材,同时亦可供高职高专与成人高校师生使用。

与本书配套的有《土木工程概论 CAI》、《土木工程概论网络课程》和《土木工程概论电子教案(中、英文版)》。

## 图书在版编目(CIP)数据

土木工程概论/叶志明,江见鲸主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2004.12 2008重印  
ISBN 978-7-04-015616-4

I.土... II.①叶...②江... III.土木工程—高等学校—教材 IV.TU

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第106922号

策划编辑 赵湘慧 责任编辑 赵湘慧 封面设计 于涛 责任绘图 朱静  
版式设计 张岚 责任校对 朱惠芳 责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100011  
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京泽明印刷有限责任公司

开 本 787×1092 1/16  
印 张 18.5  
字 数 450 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2001年7月第1版  
2004年12月第2版  
印 次 2008年4月第10次印刷  
定 价 23.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 15616-00

## 教育部高等教育出版社土建类系列教材

### 编辑委员会委员名单

主任委员：沈蒲生(湖南大学)

副主任委员：(排名先后以姓氏笔画为序)

白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

周绪红(长安大学)

强士中(西南交通大学)

委员：(排名先后以姓氏笔画为序)

卫 军 (华中科技大学) 王 健 (北京建筑工程学院)

王清湘 (大连理工大学) 叶志明 (上海大学)

江见鲸 (清华大学) 关宝树 (西南交通大学)

刘 明 (沈阳建筑大学) 朱彦鹏 (兰州理工大学)

张印阁 (东北林业大学) 张家良 (辽宁工学院)

吴胜兴 (河海大学) 沙爱民 (长安大学)

杨和礼 (武汉大学) 尚守平 (湖南大学)

周 云 (广州大学) 赵明华 (湖南大学)

黄醒春 (上海交通大学) 梁兴文 (西安建筑科技大学)

焦兆平 (广州大学) 廖红建 (西安交通大学)

霍 达 (北京工业大学)

## 出版者的话

新世纪土木工程系列教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编辑委员会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。

2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。

3. 各门课程教材要具有与本门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。

4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。

5. 随着高新技术、特别是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。

6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审定教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想，我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会，由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基本内容与编审原则，并推荐作者。

我们出版本系列教材，旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系

统的专业系列教材,以期为我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材第1版出版之后,在教学实践基础上,将组织修订出版第2版、第3版,希望在不断修订的过程中更新内容、消除疏漏,更加适应教学需要。

本系列教材的编写大纲和初稿、修订稿都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,请读者批评指正!

高等教育出版社

力学土建策划部

2003年1月

## 第2版前言

本书第1版于2001年7月出版,自出版以来,得到广大教师和学生的欢迎。第2版,依然是一本全面扼要地介绍土木工程总体情况的入门书,依然保持原作的特点和风格,即:

1. 以工程概论为主要线索来介绍土木工程所涵盖的各个领域,较为详尽地介绍了土木工程各个分支学科所涉及的内容。

2. 由本书作者编著、国内首次出版的多媒体课件《土木工程概论 CAI》与本书配套,两者内容互为呼应、互为补充,以增加学生的学习兴趣和提高学习效果。

3. 本书在编写时,以教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会的指导意见为依据,充分考虑“大土木”的专业特点,力求以较小的篇幅,反映宏大的土木工程领域。本书文字力求通俗易懂,便于读者自学。

本书的编写为的是实现两个目标:一是使学生较全面地了解土木工程所涉及领域的内容和发展情况,初步构建专业基础知识;二是为学生提供一清晰和有逻辑性的工程学科的基本概念和方法,初步树立专业思想和方法。因此,作者根据在本书第1版使用中发现的问题和不足,以及土木工程领域近年来所取得的进展,对第2版作了较大的修改,主要不同之处有:

1. 尽可能地反映土木工程学科在近几年所取得的新技术、新方法和新成就,补充和加强了某些章节的内容,引入相关的例子。例如:已投入商业运行的磁悬浮列车、土木工程防灾中的生命线工程、意大利比萨斜塔的纠偏加固工程、数字化技术在土木工程中的应用等。

2. 为了便于学生能较全面、宏观地了解土木工程学科以及思考有关问题,将部分章节内容通过合并和缩减成一章来统一讲述,以突出其共性和宏观层面。例如:将“道路工程”、“铁路工程”、“机场工程”和“隧道工程”合并为“交通土建工程”。

3. 在对工程概论的叙述中也尽可能介绍一些工程问题的思想和分析方法。例如:增加了“土木工程设计方法”一章,该章从较宏观的层面上简要地阐述了土木工程设计中要考虑的基本内容、基本概念及基本思维方式等。

4. 本书可以与作者研制的“教育部新世纪网络课程建设项目”《土木工程概论网络课程》(于2003年由高等教育出版社出版)配套互动学习。

本书第1章由清华大学江见鲸编写;第5、6、13、14、15章和附录由上海大学叶志明编写;第2、3、7、9、11、12章由上海大学宋少沪编写;第4、8、10章由上海大学汪德江编写;上海大学陈玲俐参与了第10、14章部分内容的编写,全书由叶志明和江见鲸主编。楼思展、顾冲、任月芬、曾玉山、张福波、张佩军和漆敏琦等参与了本书有关章节的资料收集和编写工作。

本书修订过程中,得到了教育部高等教育出版社、清华大学、上海大学等有关部门的大力支持,部分兄弟院校和工程界同行对本书第1版提出了很多宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心的感谢。

编 者

2004年7月 上海

# 第1版前言

1998年7月教育部正式颁布了《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新目录的颁布使我国普通高等学校的土木工程专业正式规范于“大土木”的框架。现今的“大土木”包括了原来的建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设(部分)、工业设备安装工程、涉外建筑工程等专业，但新的土木工程专业并不是以前土木工程相关专业的简单归并与重复，而是更高意义上的整合与扩展。

随着新的土木工程专业目录的实施，迫切需要有一本面向学生的介绍“土木工程”总体情况的教材，以使学生入学后能及早地了解本专业的概况性内容。本书就是为适应这种需要而编写的。

本教材具有以下特点：

1. 以工程概论为主要线索来介绍土木工程中的各个层面，较为详尽地介绍了土木工程各个分支学科所涉及的内容。具体包括房屋建筑工程、道路工程、铁路工程、岩土与地下工程、桥梁工程、飞机场工程、水利工程、给排水工程、土木工程施工、土木工程材料、土木工程勘察、计算机在土木工程中的应用等方面的内容。

2. 本书与国内首次出版的《土木工程概论 CAI》多媒体光盘(世界银行贷款资助、上海市普通高校“九五”重点教材，高等教育出版社2000年出版)相配套，两者内容不尽相同，可以互为补充，以增加学生的学习兴趣和提高学习效果。

3. 本教材在编写时，以教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会的指导意见为依据，充分考虑新专业的特点，力求以较小的篇幅(按20~30学时的教学计划编写)，反映土木工程所涉及的各个领域。本书文字力求通俗易懂，便于读者自学。

本书第一章由清华大学江见鲸编写；第五、六、七、八、十五、十六章和附录由上海大学叶志明编写；第二、三、九、十一、十二、十三、十四章由上海大学宋少沪编写；第四、十章由上海大学汪德江编写；上海大学徐旭参与了第五章和第七章的编写，全书由江见鲸和叶志明统稿，本书承清华大学土木系系主任石永久教授审阅。

本书除可作为土建类本科和专科有关专业的必修课和选修课教材外，也可供水利类专业参考选用，同时亦可作为建设管理、设计、施工、投资等单位及工程技术人员的参考用书，也可以作为其他工程类、人文类专业学生的选修课教材使用。

编著者深知内容如此广泛的教材不易写好，再加之编者水平所限，错误和不足之处在所难免，敬请读者批评指正，多提宝贵意见。

本书在编写过程中，得到教育部高等教育出版社、清华大学、上海大学等有关部门的大力支持和部分兄弟院校、工程界同行的热情帮助，在此表示衷心的感谢。

编者

2001年1月 上海

## 主编简介

**叶志明** 博士,上海大学副校长,土木工程系教授,博士生导师,国际计算力学协会会员,《机械强度》、《力学与实践》和《应用数学和力学》等杂志编委、常务编委。中国建筑学会结构计算理论与工程应用专业委员会委员;教育部高等学校力学教学指导委员会委员、非力学专业力学基础课程教学指导分委员会委员兼秘书;教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会委员;享受国务院政府特殊津贴。1992年—1995年获“加拿大 NSERC/CIDA”国际奖学金,在 University of Manitoba 做博士后研究,以访问教授身份在英国(2001、2004)、澳大利亚(1997)、法国(1995)等大学做研究。在国内外学术杂志上发表论文 100 余篇;出版专著与教材 7 部:《矩阵结构力学》(1993)、《各向异性材料与混凝土材料断裂力学引论》(2000)、《土木工程概论 CAI》(2000)、《土木工程概论》(2001)、《土木工程概论网络课程》(2003)、《怎样当一名研究生》(2004)、《现代科学技术概论 CAI》(2004);获设计专利 8 项;获“上海市育才奖”(1997)、“宝钢教育基金优秀教师奖”(1999)、“上海市科技进步二等奖”(1999)、“上海市教学成果一等奖”(2001)、“上海市教育科学研究成果二等奖”(2001)、“国家级教学成果二等奖”(2001)、“全国普通高校优秀教材二等奖”(2002)、“上海市高等教育教学名师奖”(2003)。



**江见鲸** 男,1938 年生,江苏武进人。1963 年清华大学土木系本科毕业,1983 年赴瑞典获博士学位。现任清华大学土木系教授,博士生导师,教育部结构与振动重点实验室主任。主要的社会兼职有:中国土木工程学会教育工作委员会副主任,高等学校土木工程专业指导委员会副主任,高等教育土木工程专业评估委员会副主任,英国土木工程学会资深委员及国际计算力学学会委员等。主要从事结构非线性分析,钢筋混凝土结构,计算机在土木工程中的应用及城市综合防灾减灾等方面的研究和教学工作。参与编写的著作与教材有:《混凝土力学》、《建筑结构事故分析与处理》、《混凝土结构工程学》、《钢筋混凝土基本构件》、《土木工程概论》、《土建工程实用微机程序选编》、《土木工程指南》、《工程结构计算机仿真分析》等,在国内外学术期刊及学术会议上发表论文近百篇。



## 目 录

## 录

|                          |     |                         |     |
|--------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 第1章 绪论 .....             | 1   | 6.5 桥梁基础 .....          | 128 |
| 1.1 土木工程概论课程的任务 .....    | 1   | 6.6 桥梁技术的发展方向 .....     | 128 |
| 1.2 土木工程发展历史简述 .....     | 2   | 第7章 港口工程 .....          | 130 |
| 1.3 土木工程的未来 .....        | 7   | 7.1 港口分类 .....          | 131 |
| 1.4 土木工程的学习建议 .....      | 11  | 7.2 港口规划与布置 .....       | 133 |
| 第2章 土木工程材料 .....         | 14  | 7.3 码头建筑 .....          | 137 |
| 2.1 传统土木工程材料 .....       | 14  | 7.4 防波堤 .....           | 141 |
| 2.2 近代土木工程材料 .....       | 19  | 7.5 护岸建筑 .....          | 145 |
| 2.3 现代土木工程材料 .....       | 24  | 7.6 港口仓库与货场 .....       | 148 |
| 第3章 基础工程 .....           | 33  | 7.7 我国港口工程的未来发展前景 ..... | 149 |
| 3.1 工程地质勘察 .....         | 34  | 第8章 地下工程 .....          | 150 |
| 3.2 浅基础 .....            | 38  | 8.1 地下电站 .....          | 152 |
| 3.3 深基础 .....            | 41  | 8.2 地下仓库 .....          | 153 |
| 3.4 不均匀沉降问题 .....        | 45  | 8.3 城市地下综合体 .....       | 154 |
| 3.5 地基处理 .....           | 46  | 8.4 开发和利用地下空间 .....     | 156 |
| 第4章 建筑工程 .....           | 49  | 第9章 水利水电工程 .....        | 160 |
| 4.1 基本构件 .....           | 50  | 9.1 农田水利工程 .....        | 161 |
| 4.2 单层与多层建筑 .....        | 53  | 9.2 水电工程 .....          | 171 |
| 4.3 高层与超高层建筑 .....       | 60  | 9.3 防洪工程 .....          | 175 |
| 4.4 特种结构 .....           | 66  | 9.4 前景展望 .....          | 178 |
| 4.5 未来展望 .....           | 70  | 第10章 给排水工程 .....        | 181 |
| 第5章 交通土建工程 .....         | 72  | 10.1 给水工程 .....         | 181 |
| 5.1 道路工程 .....           | 72  | 10.2 排水工程 .....         | 190 |
| 5.2 铁路工程 .....           | 81  | 第11章 土木工程施工 .....       | 197 |
| 5.3 飞机场工程 .....          | 90  | 11.1 基础工程施工 .....       | 198 |
| 5.4 隧道工程 .....           | 98  | 11.2 结构工程施工 .....       | 204 |
| 第6章 桥梁工程 .....           | 112 | 11.3 现代施工技术 .....       | 217 |
| 6.1 桥梁的分类 .....          | 113 | 11.4 施工组织 .....         | 225 |
| 6.2 桥梁工程的总体规划和设计要点 ..... | 114 | 11.5 施工技术发展展望 .....     | 227 |
| 6.3 桥梁的结构形式 .....        | 115 | 第12章 建设项目管理 .....       | 229 |
| 6.4 桥墩与桥台 .....          | 126 | 12.1 建设程序与建设法规 .....    | 229 |

|                                       |     |                                    |     |
|---------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| 12.2 工程项目管理 .....                     | 232 | 14.6 土木工程专业中计算机辅助<br>教学与网络教学 ..... | 263 |
| 12.3 工程项目招投标 .....                    | 235 | <b>第15章 土木工程设计方法</b> .....         | 266 |
| 12.4 建设监理 .....                       | 238 | 15.1 设计的基本理念 .....                 | 266 |
| <b>第13章 工程灾害与抗灾</b> .....             | 240 | 15.2 荷载、应力、应变和弹性 .....             | 267 |
| 13.1 工程灾害 .....                       | 240 | 15.3 结构设计的一般理论与方法 .....            | 269 |
| 13.2 工程结构抗灾与改造加固 .....                | 247 | 15.4 结构安全、极限状态设计和设计<br>过程 .....    | 272 |
| <b>第14章 数字化技术在土木工程中<br/>的应用</b> ..... | 252 | <b>附录 土木工程专业简介</b> .....           | 277 |
| 14.1 计算机辅助设计(CAD) .....               | 252 | <b>参考文献</b> .....                  | 279 |
| 14.2 信息化施工 .....                      | 254 | <b>Synopsis</b> .....              | 281 |
| 14.3 智能化建筑 .....                      | 256 | <b>Contents</b> .....              | 282 |
| 14.4 智能化交通 .....                      | 259 | <b>主编简介</b> .....                  | 285 |
| 14.5 仿真系统 .....                       | 260 |                                    |     |

# 第1章

## 绪论

### 1.1 土木工程概论课程的任务

### 1.2 土木工程发展历史简述

### 1.3 土木工程的未来

### 1.4 土木工程的学习建议

## 1.1 土木工程概论课程的任务

对于刚刚跨进大学校门,并且选择了土木工程专业的小伙伴们来说,非常关心的问题是:“土木工程”包括哪些内容?掌握“土木工程”要学习哪些知识、掌握哪些基本技能、具备哪些能力?怎样才能学好“土木工程”等。回答这些问题便是本书的主要任务。

什么是“土木工程”?中国国务院学位委员会在学科简介中定义:“土木工程是建造各类工程设施的科学技术的总称,它既指工程建设的对象,即建在地上、地下、水中的各种工程设施,也指所应用的材料、设备和所进行的勘测设计、施工、保养、维修等技术”。可见土木工程的内容非常广泛,它和广大人民群众的日常生活的密切相关,在国民经济中起着非常重要的作用。

土木工程,英语为“Civil Engineering”,直译是“民用工程”,它的原意是与军事工程“Military Engineering”相对应的,即除了服务于战争的工程设施以外,所有服务于生活和生产需要的民用设施均属于土木工程,后来这个界限也不明确了。现在已经把军用的战壕、掩体、碉堡、浮桥、防空洞等防护工程也归入了土木工程的范畴。

英语的“民用工程”(Civil Engineering)怎么会译成“土木工程”呢?原来中国古代哲学(五行学说)认为,世界万物是由五大类物质:“金”、“木”、“水”、“火”、“土”组成的。而在几千年漫长的时间内,土木工程所用的材料,主要是五行中的“土”(包括岩石、沙子、泥土、石灰,以及由土烧制成的砖、瓦和陶、瓷器等)和“木”(包括木材、茅草、藤条、竹子等植物材料),古代常将大兴土木作为大搞工程建设的代名词。因而将“Civil Engineering”翻译成“土木工程”了。

土木工程的范围非常广泛,它包括房屋建筑工程、公路与城市道路工程、铁道工程、桥梁工程、隧道工程、机场工程、地下工程、给水排水工程、港口码头工程等。国际上,运河、水库、大坝、水渠等水利工程也包括于土木工程之中。人民生活离不开衣、食、住、行,其中“住”是与土木工程直接相关的,而“行”则需要建造铁道、公路、机场、码头等交通土建工程,与土木工程关系也非常紧密。而“食”需要打井取水,筑渠灌溉,建水库蓄水,建粮食加工厂、粮食储仓等。而“衣”的纺纱、织布、制衣,也必须在工厂内进行,这些也离不开土木工程。此外,各种工业生产必须要建工

业厂房,即使是航天事业也需要发射塔架和航天基地,这些都是土木工程人员可以施展才华的领域。正因为土木工程专业如此广泛,作用如此重要,所以国家将工厂、矿井、铁道、公路、桥梁、农田水利、商店、住宅、医院、学校、给水排水、煤气输送等工程建设称为基本建设,大型项目由国家统一规划建设,中小型项目也归口各级政府有关部门管理。

对以上所介绍各种类型土木工程设施的规划、勘测、设计、施工、管理和维修便构成了土木工程专业所要学习的核心内容。作为入门教材,本书在以下各章将对以上各种类型的土木工程进行简要的介绍。

## 1.2 土木工程发展历史简述

土木工程的发展经历了古代、近代和现代三个阶段。

### 1.2.1 古代土木工程

古代土木工程的历史跨度很长,它大致从旧石器时代(约公元前 5000 年起)到 17 世纪中叶。这一时间的土木工程说不上有什么设计理论指导,修建各种设施主要依靠经验。所用材料主要取之于自然,如石块、草筋、土坯等,在公元前 1000 年左右开始采用烧制的砖。这一时期,所用的工具也很简单,只有斧、锤、刀、铲和石夯等手工工具。尽管如此,古代还是留下了许多具有历史价值的建筑,有些工程即使从现代角度来看也是非常伟大的,有的甚至难以想像。

西方留下来的宏伟建筑(或建筑遗址)大多是砖石结构的。如埃及的金字塔,建于公元前 2700 至公元前 2600 年间,其中最大的一座是胡夫金字塔,该塔基底呈正方形,每边长 230.5 m,高约 140 m,用 230 余万块巨石砌成。又如希腊的帕特农神庙、古罗马斗兽场等都是令人神往的古代石结构遗址。修建于公元 532 年至 537 年间的土耳其伊斯坦布尔的索菲亚大教堂为砖砌穹顶,直径 30 余米,穹顶高 50 多米,整体支承在用巨石砌成的大柱(截面约  $7\text{ m} \times 10\text{ m}$ )上,非常宏伟。

中国古代建筑大多为木构架加砖墙建成。公元 1056 年建成的山西应县木塔(佛宫寺释迦塔),塔高 67.3 m,共 9 层,横截面呈八角形,底层直径达 30.27 m。该塔经历了多次大地震,历时近千年仍完整耸立,足以证明我国古代木结构的高超技术。其他木结构如北京故宫、天坛,天津蓟县的独特寺观音阁等均是具有漫长历史的优秀建筑。

中国古代的砖石结构也拥有伟大成就。最著名的当数万里长城,它东起山海关,西至嘉峪关,全长 5 000 余公里。又如公元 590 年至 608 年间在河北赵县洹河上建成的赵州桥为单孔圆弧形石拱桥,全长 50.82 m,桥面宽 10 m,单孔跨度 37.02 m,矢高 7.23 m,用 28 条并列的石条拱砌成,拱肩上有 4 个小拱,既可减轻桥的自重,又便于排泄洪水,且显得美观,经千余年后尚能正常使用,确为世界石拱桥的杰作。

我国一直有兴修水利的优秀传统。传说中的大禹因治水有功而成为我国受人敬仰的伟大人物。四川灌县的都江堰水利工程,为秦昭王(公元前 306 年~公元前 251 年)时由蜀太守李冰父子主持修建,建成后使成都平原成为“沃野千里”的天府之乡。这一水利工程,至今仍造福于四川人民。在今天看来,这一水利设施的设计也是非常合理、十分巧妙的,许多国际水利工程专家参观后均十分叹服。隋朝时开凿修建的京杭(北京—杭州)大运河,全长 2 500 km,是世界历史上最

长的运河。至今该运河的江苏、浙江段仍是重要的水运通道。

在交通土建工程方面,古代也有伟大成就。秦朝统一全国后,以咸阳为中心修建了通往全国群县的驰道,主要干道宽 50 步(古代长度单位,1 步等于 5 尺),形成了全国的交通网。在欧洲,罗马帝国也修建了以罗马为中心的道路网,包括 29 条主干道和 322 条联系支线,总长度达 78 000 km。

这一时期还出现了一些经验总结和描述外形设计的土木工程著作。其中比较有代表性的为公元前 5 世纪的《考工记》,北宋李诫著的《营造法式》,意大利文艺复兴时代贝蒂著的《论建筑》等。

### 1.2.2 近代土木工程

一般认为,近代土木工程的时间跨度为 17 世纪中叶起到第二次世界大战前后,历时 300 余年。在这一时期,土木工程逐步形成一门独立学科。1683 年意大利学者伽利略发表了“关于两门新科学的对话”,首次用公式表达了梁的设计理论。1687 年牛顿总结出力学三大定律,为土木工程奠定了力学分析的基础。随后,在材料力学、弹性力学和材料强度理论的基础上,法国的纳维于 1825 年建立了土木工程中结构设计的容许应力法。从此,土木工程的结构设计有了比较系统的理论指导。

从材料方面来讲,1824 年波特兰水泥的发明及 1867 年钢筋混凝土开始应用是土木工程史上的重大事件。1859 年转炉炼钢法的成功使得钢材得以大量生产并应用于房屋、桥梁的建筑中。由于混凝土及钢材的推广应用,使得土木工程师可以运用这些材料建造更为复杂的工程设施。在近代及现代建筑中,凡是高耸、大跨、巨型、复杂的工程结构,绝大多数应用了钢结构或钢筋混凝土结构。

这一时期内,产业革命促进了工业、交通运输业的发展,对土木工程设施提出了更广泛的需求,同时也为土木工程的建造提供了新的施工机械和施工方法。打桩机、压路机、挖土机、掘进机、起重机、吊装机等纷纷出现,这为快速高效地建造土木工程提供了有力手段。

这一时期具有历史意义的土木工程有很多,下面列举的一些例子只是其中的一小部分。

1875 年法国莫尼埃主持修建了一座长达 16 m 的钢筋混凝土桥。

1883 年美国芝加哥在世界上第一个采用了钢铁框架作为承重结构,建造了一幢 11 层的保险公司大楼,被誉为现代高层建筑的开端。

1889 年法国建成了高达 300 m 的艾菲尔铁塔,该塔由 18 000 余个构件组成,将这些构件联结起来用了 250 万个铆钉,铁塔总重约 8 500 t。该塔已成为巴黎乃至法国的标志性建筑,至今观光者陆续不绝。

1886 年美国首先采用了钢筋混凝土楼板,1928 年预应力混凝土发明,随后预应力空心板在世界各国被广泛使用。

1825 年英国修建了世界上第一条铁路,长 21 km,1869 年美国建成了横贯东西的北美大陆铁路。

1863 年英国伦敦建成了世界上第一条地下铁道,随后美、法、德、俄、中国等国均在大城市中相继建设地下铁道交通网。

在水利建设方面宏伟的成就是两条大运河的建成通航,一条是 1869 年开凿成功的苏伊士运

河,将地中海和印度洋联系起来,这样从欧洲到亚洲的航行不必再绕行南非;另一条是1914年建成的巴拿马运河,它将太平洋和大西洋直接联系了起来,在全球运输中发挥了巨大作用。

在第一次世界大战后,许多大跨、高耸和宏大的土木工程相继建成。其中典型的工程有1936年美国旧金山建成的金门大桥和1931年美国纽约建成的帝国大厦。金门大桥为跨越旧金山海湾的悬索桥,桥跨1 280 m,是世界上第一座单跨超过千米的大桥,桥头塔架高277 m。主缆直径1.125 m,由27 512根钢丝组成,其中每452根钢丝组成1股,由61股再组成主缆索,索重11 000 t左右。锚固缆索的两岸锚锭为混凝土巨大块体,北岸混凝土锚锭重量为130 000 t,南岸的小一些,也达50 000 t。帝国大厦共102层,高378 m,钢骨架总重超过50 000 t,内装67部电梯。这一建筑高度保持世界纪录达40年之久。

这一时期的中国,由于清朝采取闭关锁国政策,土木工程技术进展缓慢。直到清末开始洋务运动,才引进了一些西方先进技术,并建造了一些对中国近代经济发展有影响的工程。例如,1909年詹天佑主持修建的京张铁路,全长200 km。当时,外国人认为中国人依靠自己的力量根本不可能建成,詹天佑的成功大长了中国人的志气,他的业绩至今令人缅怀。1934年,上海建成了24层的国际饭店,直到20世纪80年代广州白云宾馆建成前,国际饭店一直是中国最高的建筑。1937年,茅以升先生主持建造了钱塘江大桥,这是公路、铁路两用的双层钢结构桥梁,也是我国近代土木工程的优秀成果。

### 1.2.3 现代土木工程

第二次世界大战以后,许多国家经济起飞,现代科学技术迅速发展,从而为土木工程的进一步发展提供了强大的物质基础和技术手段,开始了以现代科学技术为后盾的土木工程新时代。这一时期的土木工程有以下几个特点:

#### 1. 功能要求多样化

近代的土木建筑工程已经超越本来意义上的挖土盖房、架梁为桥的范围。公共建筑和住宅建筑要求周边环境、结构布置、水电煤气供应、室内温湿度调节控制等与现代化设备相结合,而不仅仅满足于提供“徒有四壁”、“风雨不侵”的房屋骨架。由于电子技术、精密机械、生物基因工程、航空航天等高技术工业的发展,许多工业建筑提出了恒湿、恒温、防微振、防腐蚀、防辐射、防磁、无微尘等要求,并向跨度大、分隔灵活、工厂花园化的方向发展。

#### 2. 城市建设立体化

随着经济发展和人口增长,城市人口密度迅速加大,造成城市用地紧张、交通拥挤、地价昂贵,这就迫使房屋建筑向高层发展,使得高层建筑的兴建几乎成了城市现代化的标志。美国的高层建筑最多,其中高度在200 m以上的就有100余幢。许多发展中国家在经济起飞过程中也争相建造高层建筑。20世纪90年代以来,中国、马来西亚、新加坡等东南亚国家的高层建筑得到了迅猛发展。现在,马来西亚的石油双塔大厦高452 m,居世界第一。美国芝加哥的西尔斯大厦高443 m,居世界第二,中国上海的金茂大厦高420.5 m,居世界第三。城市为了解决交通问题,光靠传统的地面交通已无能为力,于是一方面修建地下交通网,另一方面又修建高架公路网或轨道交通。随着地下铁道的兴建,地下商业街、地下停车场、地下仓库、地下工厂、地下旅店等也陆续发展起来。而高架道路的造价比地下铁道要经济得多,因而大中城市纷纷建设高架公路、高架轨道交通。高架道路与城市立交桥的兴建不仅缓解了城市交通问题,而且还为城市的面貌增添了风

采。现代化城市建设是地面、空中和地下同时展开,形成了立体化发展的局面。

### 3. 交通工程快速化

由于市场经济的繁荣与发展,对运输系统提出了快速、高效的要求,而现代化技术的进步也为满足这种要求提供了条件。现在人们常说:“地球越来越小了”,这是运输高速化的结果。

高速公路出现于第二次世界大战前,但到战后才在各国大规模兴建。据不完全统计,全世界50多个国家和地区拥有高速公路,总长超过17万公里。铁路运输在公路、航空运输的竞争中也开始快速化和高速化。速度在150~200 km/h以上的高速铁路先后在日本、法国和德国建成。我国的高速铁道已在沈阳至山海关段建设,上海引进磁悬浮高速铁道系统,其试验速度已达500 km/h以上,目前已建成并投入商业营运。飞机是最快捷的运输工具,但成本高、运输量小。二战以后飞机的容量愈来愈大,功能愈来愈多,对此许多国家和地区相继建设了先进的大型航空港。1974年投入使用的巴黎戴高乐机场,拥有4条跑道,跑道面层混凝土厚400 mm,机场占地面积 $2.995 \times 10^7 \text{ m}^2$ ,高峰时每分钟可起降2~3架飞机。又如美国芝加哥国际机场,年吞吐量4000万人次,高峰时每小时起降飞机200架次,居世界第一。我国在北京、上海、香港新建或扩建的机场均已跨入世界大型航空港之列。这种庞大的空中交通设施,对机场的导航系统、客货出入分流系统、安全检查系统、故障紧急救援系统均有很严格的要求,完成这样巨大的航空港建设没有现代土木工程技术是不能实现的。

### 4. 工程设施大型化

为了满足能源、交通、环保及大众公共活动的需要,许多大型的土木工程在二战后陆续建成并投入使用。

古代建设交通道路是“逢山开路,遇水架桥”,但真的遇到大江大河或高山险岭,还是得绕行。如我国长江,直到1956年才有了第一座跨江大桥。有了现代化的施工技术,跨江河甚至跨海湾的大桥陆续建成。自1937年美国金门悬索桥一跨超过千米以后,目前已有6座悬索桥的跨度超过了金门大桥。其中日本明石海峡大桥,主跨1991 m,于1998年建成,它连接了日本的本洲与四国岛,是目前世界上跨度最大的悬索桥。居世界第二位的是丹麦的大贝尔特东桥,跨度1624 m。第三大跨为英国的恒伯尔桥,主跨1410 m。值得自豪的是,中国于1999年建成的江阴长江大桥,主跨1385 m,香港于1997年建成的青马大桥主跨1377 m,分别居世界第四、第五位。

在拱桥方面,南斯拉夫克尔克二号混凝土拱桥跨度达390 m,在相当长时间内位居世界第一。但中国于1997年在四川万县建成一座跨长江的混凝土拱桥,拱跨420 m,跃居世界第一。同时,中国黄河的江界河混凝土拱桥跨度330 m,广西邕江大桥,采用了钢筋混凝土组合拱结构,跨度312 m,均已成为世界名桥。在钢拱桥方面,悉尼港湾桥跨度503 m,是悉尼的标志性建筑之一。美国的奇尔文科钢拱桥跨度503.6 m,略超悉尼港湾桥,列世界第一。

斜拉桥是二战以后出现的新桥型。1993年在上海建成的杨浦斜拉桥,主跨602 m,当时居世界第一。现在跨度最大的斜拉桥为法国诺曼底桥,跨度达856 m。上海南浦斜拉桥,跨度423 m与杨浦桥及高架公路配合,组成内环交通线,不仅解决了上海浦东的交通问题,此二桥也是显示上海新风貌的宏伟工程。

在隧道方面,近代开凿了许多穿过大山或越过大江、海峡的通道。目前世界上最长的山区隧道是挪威的山岭隧道,全长25.8 km,其次为瑞士的圣哥大隧道,长16.91 km,于1980年建成。1980年德国、意大利之间开凿了开尔其隧道,全长近13 km。中国京广复线开凿的大瑶山隧道,

全长 14.295 km。跨海峡的隧道常比穿山隧道要长,目前穿越英吉利海峡的隧道长 50.3 km,于 1993 年建成,日本于 1985 年建成的连接北海道的青函海底隧道,长 53.8 km,居世界第一。

在高层建筑方面,1972 年美国纽约建成了世界贸易中心大楼(2001 年在美国“911”事件中倒塌),110 层,高 417 m,1994 年美国芝加哥建成的西尔斯大厦,也为 110 层,高 443 m。目前中国最高的建筑为上海金茂大厦,88 层,高 420.5 m。国内其他有代表性的高层建筑有:深圳地王大厦,高 325 m;广州中天广场,高 321.9 m;广东国际会议中心,高 200 m。

在高耸结构方面,加拿大多伦多电视塔,横截面为 Y 形,高 549 m,为世界之冠。第二位则为 1967 年建成的莫斯科电视塔,高 537 m。我国上海于 1995 年建成的上海东方明珠塔,高 468 m,居世界第三。以下依次为吉隆坡电视塔,高 421 m;天津电视塔,高 406 m;北京电视塔,高 380 m。

在大跨度建筑方面,主要是体育馆、展览厅和大型储罐。如美国西雅图的金群体育馆为钢结构穹球顶,直径达 202 m。法国巴黎工业展览馆的屋盖跨度为  $218\text{ m} \times 218\text{ m}$ ,由装配式薄壳组成。北京工人体育馆为悬索屋盖,直径 90 m。日本于 1993 年建成的预应力混凝土液化气储罐,容量达  $14 \times 10^4\text{ m}^3$ ,在瑞典、挪威、法国等欧洲国家,在地下岩石中修建不衬砌的油库和气库,其容量高达几十万甚至上百万立方米。

为了满足日益增加的能源要求,海上采油平台、核电站等也加快了建造速度。20 世纪 50 年代才开始和平利用核能建造原子能电站,到 20 世纪 80 年代已有 277 座核电站分布于 23 个国家,在建的尚有 613 座,分布于 40 个国家。目前我国已有大亚湾、秦山与连云港核电站,核电站相配合的土木工程非常复杂,为防辐射泄露及防爆的核安全壳就是要求十分严格的特种结构。再如海上采油平台,全世界已有 300 多座,中国在渤海、东海和南海也建有多座采油钻井平台,正在开采海底石油。这种平台所处环境恶劣、荷载复杂、施工困难而功能要求很高,平台的建造可以显示其土木工程的技术水平。

水利工程中筑坝蓄水,对灌溉、航行、发电有许多利益。目前世界上最高的重力坝为瑞士的大狄克桑坝,高 285 m,其次为俄罗斯的萨杨苏申克坝,高 245 m,我国于 1989 年建成的青海龙羊峡大坝,高 178 m。为了减小坝体断面,减少工程量,二战后发展了钢筋混凝土拱坝。当今世界上最高的双曲拱坝是俄罗斯的英古里坝,坝高 272 m。我国贵州乌江渡坝为拱形重力坝,坝高 165 m。在装机发电容量方面,超过  $1 \times 10^7\text{ kW}$  的电站有 3 座,分别为美国大古里水电站,总装机容量  $1\,030 \times 10^4\text{ kW}$ ;委内瑞拉水电站,装机容量  $1\,083 \times 10^4\text{ kW}$ ;巴西—巴拉圭的伊泰普水电站,总装机容量为  $1\,260 \times 10^4\text{ kW}$ ,居世界第一。我国在建的三峡水利枢纽,水电站主坝高 190 m,总装机容量预计  $1\,820 \times 10^4\text{ kW}$ ,建成后将列世界第一。中国近期建成的水电站还有:四川二滩水电站,拱坝高 242 m,装机容量  $300 \times 10^4\text{ kW}$ ;黄河小浪底水利枢纽,主坝为堆石坝,坝高 154 m,总装机用量  $180 \times 10^4\text{ kW}$ ;均属世界先进水平。

综观土木工程历史,中国古代土木工程中拥有光辉成就,至今仍有许多历史遗存,有的已列入世界文化遗产名录。土木工程在近代进展很慢,这与封建时代末期落后的制度有关。在现代土木工程中,我国在近 20 年来取得了举世瞩目的成就。以往在列举世界有名的土木工程时,只有长城、故宫、赵州桥等古代建筑,而现在无论是高层建筑、大跨桥梁,还是宏伟机场、港口码头,中国在前十名中均有建树,有的已列前三名,甚至第一名。这些成就均是改革开放以来取得的。土木工程的发展可以从一个侧面反映出我国经济的发展,显示中华民族正在开始复兴。这一进程仅仅是开始,有志于土木工程建设的小伙伴们是非常幸运的,可望在未来土木工程的建设中