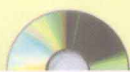


普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

土木工程 概论

● 李斌 刘香 主编

EDUCATION



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

土 木 工 程 概 论

主 编	李 斌	刘 香	
参 编	赵根田	金国辉	李 建
	张 玥	闻 洋	王英浩
	鲍先凯	许有俊	董素芬



机 械 工 业 出 版 社

本书内容共 12 章, 全面介绍了目前土木工程下属各分支和相关学科的概况, 主要包括: 土木工程材料, 基础工程, 建筑结构, 地下空间的开发利用, 桥梁工程, 道路与铁路工程, 机场与港口工程, 防灾与减灾工程, 土木工程施工与建设项目管理, 土木工程的相关行业, 数字化技术在土木工程中的应用。

本书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, 同时也可作为建设管理、设计、施工、投资等单位及工程技术人员的参考用书, 还可以作为其他工程类、人文类专业学生的选修课教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程概论/李斌, 刘香主编. —北京: 机械工业出版社, 2012. 7
普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材
ISBN 978-7-111-39001-5

I. ①土… II. ①李… ②刘… III. ①土木工程—高等学校—教材
IV. ①TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 143458 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 马军平 责任编辑: 马军平

版式设计: 霍永明 责任校对: 潘蕊

封面设计: 张静 责任印制: 乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 20.75 张 · 515 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-39001-5

定价: 42.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

编 审 委 员 会

主任委员：姜忻良 天津大学 教授、博导

副主任委员：张向东 辽宁工程技术大学 教授、博导

李自林 天津城市建设学院 教授、博导

委 员：李 珠 太原理工大学 教授、博导

魏连雨 河北工业大学 教授、博导

王成华 天津大学 教授

李 斌 内蒙古科技大学 教授

赵根田 内蒙古科技大学 教授

胡启平 河北工程技术大学 教授

张瑞云 石家庄铁道大学 教授

段树金 石家庄铁道大学 教授

段敬民 天津城市建设学院 教授

张敏江 沈阳建筑大学 教授

徐世法 北京建筑工程学院 教授

曹启坤 辽宁工程技术大学 教授

张泽平 太原理工大学 教授

前 言

本书紧密结合 2011 年 9 月住房和城乡建设部高等学校土建学科教学指导委员会最新颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》，涵盖其所有知识点，以工程实际为背景，以工程技术为主线，着力提升学生的工程素养，培养学生的创新能力，引导学生面对新世纪的挑战。

本书各章都是由经验丰富的教师编写的，除了介绍土木工程下属各分支和相关学科，如土木工程材料，基础工程，建筑结构，地下空间的开发利用，桥梁工程，道路与铁路工程，机场与港口工程，防灾与减灾工程，土木工程施工与建设项目管理，土木工程的相关行业，数字化技术在土木工程中的应用外，对高新技术应用、土木工程专业培养等都有介绍，还引入了土木工程最新典型实例。

本书由内蒙古科技大学李斌教授、刘香教授主编。具体编写分工如下：第 1 章由李斌编写，第 2 章由董素芬编写，第 3 章由王英浩编写，第 4 章由刘香编写，第 5 章由鲍先凯编写，第 6 章由张玥编写，第 7 章由许有俊编写，第 8 章由赵根田编写，第 9 章由闻洋编写，第 10 章由金国辉编写，第 11、12 章由李建编写。全书由李斌、刘香统稿。在编写本书的过程中，得到了部分兄弟院校和工程界同行的大力支持，同时也为我们提供了许多宝贵的参考资料，在此表示衷心的感谢。

本书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，同时也可作为建设管理、设计、施工、投资等单位及工程技术人员的参考用书，还可以作为其他工程类、人文类专业学生的选修课教材使用。

由于编写者水平所限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 导论 1

1.1 土木工程和土木工程专业概述 1

1.2 土木工程发展简史 3

1.3 土木工程在国民经济
中的地位与作用 13

1.4 土木工程展望 16

思考与练习 18

第2章 土木工程材料 19

2.1 概述 19

2.2 木材、石材和砂 19

2.3 砖、瓦和灰 22

2.4 钢材 25

2.5 水泥、混凝土和砂浆 28

2.6 功能性土木工程材料 34

2.7 绿色与智能化土木工程材料 40

思考与练习 42

第3章 基础工程 43

3.1 工程地质勘察 44

3.2 浅基础 46

3.3 深基础 50

3.4 地基处理 56

思考与练习 57

第4章 建筑结构 58

4.1 结构概念和体系 58

4.2 建筑结构的组成及其分类 60

4.3 结构设计的基本理论与方法 67

4.4 现代建筑结构 70

4.5 建筑结构展望 75

思考与练习 76

第5章 地下空间的开发利用 77

5.1 概述 77

5.2 地下空间开发利用的
历史和现状 81

5.3 隧道工程 89

5.4 地下铁道工程 102

5.5 地下空间开发利用发展趋势 107

思考与练习 109

第6章 桥梁工程 110

6.1 概述 110

6.2 桥梁的基本组成 110

6.3 桥梁的分类 111

6.4 桥梁工程发展概况及国内外
桥梁建设成就 126

思考与练习 151

第7章 道路与铁路工程 152

7.1 道路工程 152

7.2 铁路工程 180

7.3 道路工程与铁路工程
的发展趋势 195

思考与练习 197

第8章 机场与港口工程 198

8.1 机场工程 198

8.2 港口工程 207

思考与练习 214

第9章 防灾与减灾工程 215

9.1 防灾减灾基本概念 215

9.2 防灾减灾的基本
目标、原理、措施 216

9.3 地震灾害与防震减灾 217

9.4 风灾害与防风减灾 232

9.5 火灾害与防火减灾 239

9.6 工程结构加固技术及其选择 251

思考与练习 254

第10章 土木工程施工与 建设项目管理 255

10.1 土木工程施工技术 256

10.2 施工组织概论 275

10.3 建设项目管理	279	思考与练习	305
思考与练习	286	第 12 章 数字化技术在土木	
第 11 章 土木工程的相关行业	287	工程中的应用	306
11.1 地质勘察	287	12.1 计算机辅助设计	306
11.2 建筑设计	288	12.2 信息化施工	313
11.3 建筑施工	292	12.3 智能化交通	315
11.4 监理	293	12.4 智能建筑	322
11.5 房地产投资与开发	296	思考与练习	324
11.6 房地产金融与保险	299	参考文献	325
11.7 物业管理	302		

第 1 章 导 论

1.1 土木工程和土木工程专业概述

1.1.1 土木工程概述

土木工程 (Civil Engineering) 是 18 世纪末由英国的斯米顿 (John Smeaton) 首先提出的土木工程师 (Civil Engineer) 而得来的。Civil Engineering 直译为民用工程, 主要用以区别军事工程 (Military Engineering), 后来逐渐成为一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称, 并发展成为一个学科。

我国国务院学位委员会将土木工程定义为“建造各类工程设施的科学技术的统称”。它既指工程建设的对象, 即建造在地上、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、管理、养护、维修等专业技术活动。

土木工程涉及的领域十分宽广。从建设的对象而言, 它包含建筑工程、地下工程、桥梁工程、隧道工程、道路工程、铁路工程、矿山建筑、港口工程、海洋工程、水利工程等。从土木工程所用的材料而言, 它可分成金属结构、混凝土结构、高分子材料结构、木结构、石结构、土结构等。从技术性质而言, 它涉及勘测、设计、施工、管理、养护、维修等。从职业分工而言, 有从事土木工程的技术人员、管理人员、研究人员和教师等。

土木工程是和社会科技发展所需要的“衣、食、住、行”的先行官之一。土木工程需要解决的问题有:

1) 为人类活动建造所需要的、功能良好和舒适美观的空间和通道。它既有物质方面的需要, 又有精神方面的需要, 这是土木工程的根本目的和出发点。

2) 所建造的设施能够抵御自然或人为的作用力。前者如地球引力、风力、气温和地震作用等; 后者如振动、爆炸等。这是土木工程之所以存在的根本原因。

3) 充分发挥所采用材料的作用。土木工程都是应用石、砖、混凝土、钢材、木材乃至合金材料、塑料等在地球表面的土层或岩层上建造的。材料所需的资金占土木工程投资的大部分。这是建造土木工程的根本条件。

4) 如何通过有效的技术途径和组织手段, 利用各个时期社会能够提供的物资设备条件, “好、快、省”地组织人力、财力和物力, 把社会所需要的工程设施建造成功, 付诸使用, 这是土木工程的最终归宿。土木工程的要素和目的如图 1-1 所示。

1.1.2 土木工程专业概述

发展土木工程专业的根本因素是培养大批掌握土木工程科学技术、懂得土木工程基本属性, 具有能解决上述四方面问题的人才。

世界上最早培养土木工程师的大学是 1747 年法国创立的巴黎桥路学校。此后英国、德

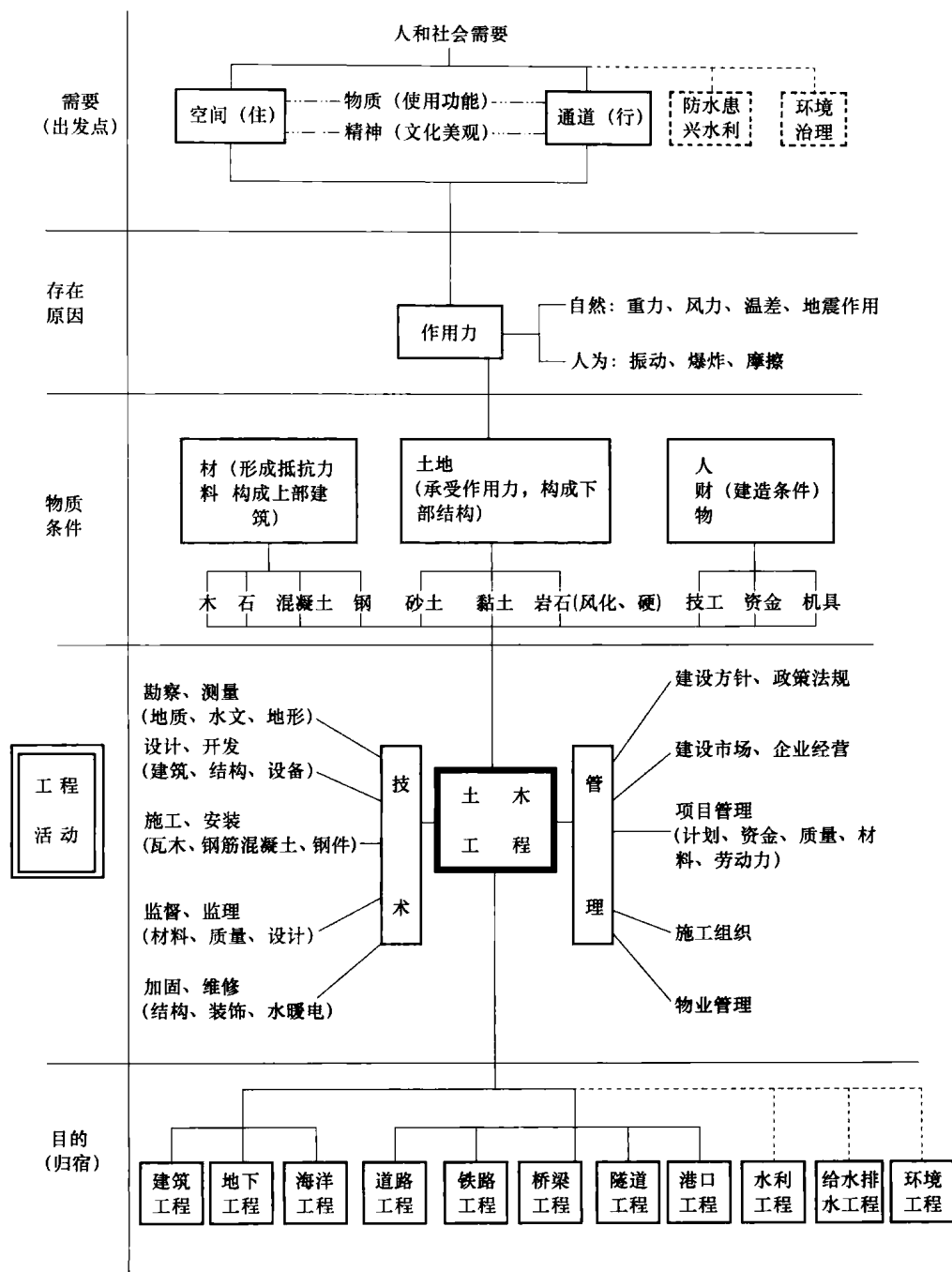


图 1-1 土木工程的要素和目的

国等也相继在大学中设置了有关土木工程的专业。我国土木工程教育事业最早出现于 1895 年创办的北洋西学学堂（后称北洋大学，今天津大学）。之后，1896 年的南洋公学（今上海交通大学）、1897 年的浙江大学等也相继开展土木工程教育。同济大学于 1914 年设立了土木工程专业。

我国高等学校土木工程专业教学指导委员会编制的土木工程专业教学指导性文件——

《高等学校土木工程专业本科教育培养目标和培养方案及课程教学大纲》中,对大学本科土木工程专业的培养目标、业务范围、毕业生基本规格和基本要求等都作了明确的指导性规定。

大学本科土木工程专业的培养目标是:“培养适应社会主义现代化建设需要,德、智、体全面发展,掌握土木工程学科的基本理论和基本知识,获得工程师基本训练并具有创新精神的高级专门人才。毕业生能从事土木工程的设计、施工与管理工作,具有初步的项目规划和研究开发能力”。这说明我国对土木工程专业的毕业生不但要求有过硬的工程技术能力,还应有过硬的全面素质、品德和健全的体魄,能够为国家服务和作出创造性的贡献。

土木工程专业培养学生的业务范围是:“能在房屋建筑、隧道与地下建筑、公路与城市道路、铁路工程、桥梁、矿山建筑等的设计、施工、管理、咨询、监理、研究、教育、投资和开发部门从事技术或管理工作。”

1.2 土木工程发展简史

土木工程的发展可划分为三个阶段:第一阶段为古代土木工程,自公元前5000年新石器时代出现原始的土木工程活动开始,至16世纪末意大利文艺复兴,导致土木工程走上迅速发展道路为止。第二阶段为近代土木工程,从17世纪中叶开始,至20世纪40年代爆发第二次世界大战为止,土木工程进入了定量分析阶段。20世纪中叶以后则为第三阶段,虽然只有半个多世纪,但土木工程却进入了现代化发展阶段。古代、近代和现代三个阶段划分的依据,一般是建筑材料、建造理论和建造技术的进步出现了根本性的突破,形成了划时代的特征。

1.2.1 古代土木工程

早在远古时代,由于居住与交往的需要,人类开始了掘土为穴、架木为桥的原始土木工程活动。大约在新石器时代,原始人使用简单的木、石、骨制工具,伐木采石,模仿天然掩蔽物建造居住场所。在我国黄河流域的仰韶文化遗址(约公元前5000—前3000年)和西安的半坡村遗址(约公元前4800—前3600年),均发现有供居住用的浅穴和直径为5~6m的圆形房屋,如图1-2所示。

随着生产力的发展,农业、手工业开始分工,大约在公元前3000—前2000年,人们掌握了原始的冶炼技术,开始使用青铜、铁制工具,进而出现了简陋的施工机械,而烧制技术的进步则导致了砖瓦的出现。这些都为土木工程摆脱原始萌芽时期创造了客观条件。

公元前5—前4世纪,在我国今河北省的临漳,西门豹主持修筑了引漳灌邺工程。至公元前3世纪中叶,在今四川省灌县,李冰父子主持修建了都江堰(图1-3),解决了防洪、灌溉和交通工程的发展,为了满足跨越大河与行船的需要,都江堰工程首次

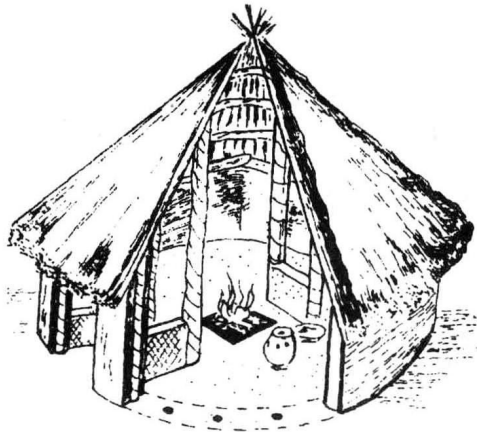


图1-2 西安半坡村房屋复原示意



采用了索桥。公元前 12 世纪初,我国已在渭上架设浮桥。与此同时,我国的夯土技术和夯土工程得到了较大发展。在郑州发现的商朝中期板筑城墙遗址和安阳殷墟(约公元前 1100 年)的夯土台基,都说明当时的夯土技术已相当成熟。春秋时期,由于战争的需要,广泛采用了夯土筑城。我国著名的万里长城(图 1-4),就是秦代在魏、燕、赵三国夯土筑城的基础上,进一步修筑和贯通后又经历代多次修筑加固留存至今的举世杰作。



图 1-3 现都江堰



图 1-4 长城

埃及在公元前 27—前 26 世纪,建造了世界最大的帝王陵墓建筑群——吉萨金字塔群(图 1-5),在公元前 16—前 4 世纪,在底比斯等地兴建了凯尔奈克神庙建筑群(图 1-6)。希腊则在公元前 5 世纪建成了雅典卫城(图 1-7)。这些建筑大都结构精美、构造准确、施工精细、规模宏大,显示了很高的艺术技术水平。

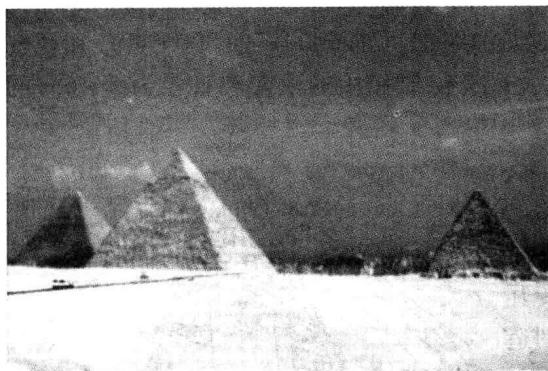


图 1-5 吉萨金字塔群



图 1-6 凯尔奈克神庙

在土木工程逐步发展的同时,人们已经开始注意总结经验,运用简单的科学技术知识。如公元前 5 世纪我国以记述木工、金工等工艺为主且兼论城市、宫殿、房屋建筑的土木工程专著《考工记》,公元 1100 年我国北宋李诫重新修编的《营造法式》,公元前 3 世纪,埃及人在兴修水利等工程中已运用并积累了一些几何学和测量学方面的知识。公元 1 世纪古罗马

建筑师、工程师维特鲁威 (Vitruvius) 的《建筑十书》，公元 15 世纪意大利文艺复兴时期的建筑师、建筑理论家阿尔贝蒂 (Albeai) 的《论建筑》等。这些都说明土木工程已开始由感性阶段上升到理性阶段，从实践中总结出了理论。

古代土木工程的特征是：

- 1) 建筑材料以天然材料为主。
- 2) 建造理论主要是长期建造经验的总结。
- 3) 建造技术以手工工具为主，如斧、凿、钻、锯、铲、碾等，也发明了一些简单的施工机械，如打桩机、桅杆起重机等。



图 1-7 雅典卫城

1.2.2 近代土木工程

从 17 世纪中叶开始，土木工程产生了质的飞跃。这一阶段土木工程发生了以下有意义的大事件：

1) 意大利学者伽利略 (Galileo) 在 1638 年出版的著作《关于两门新科学的谈话和数学证明》(Two New Sciences and His Dialogue)，论述了建筑材料的力学性质和梁的强度，首次用公式表达了梁的设计理论。

2) 英国科学家牛顿 (Newton) 在 1687 年总结了力学三大定律，为土木工程奠定了力学分析基础。

3) 瑞士数学家欧拉 (Euler) 1744 年出版的《曲线的变分法》建立了柱的压屈理论，得到计算柱的临界受压力的公式，为分析土木工程结构物的稳定问题奠定了基础。

4) 1773 年法国工程师库仑 (Coulomb) 发表了著名论文《建筑静力学各种问题极大极小法则的应用》，阐述了材料强度的概念以及挡土墙的土压力理论。

5) 1825 年纳维 (Navier) 建立了土木工程中结构设计的允许应力分析法，为结构设计理论提出了通用的方法；19 世纪末里特尔 (Ritter) 等人利用极限平衡的概念，提出钢筋混凝土设计理论。

6) 18 世纪下半叶，以瓦特发明蒸汽机为标志的产业革命带动了近代土木工程的发展。蒸汽机和电动机在抽水、打桩、挖土、轧石、压路和起重等作业方面的应用，开创了土木工程施工机械化和电气化的进程。

7) 1824 年英国人阿斯普丁取得了波特兰水泥的专利权，1850 年开始生产。这是形成混凝土的主要材料，使得混凝土在土木工程中得到广泛应用。在 20 世纪初水灰比等学说的发表，初步奠定了混凝土强度的理论基础。

8) 1859 年贝塞麦转炉炼钢法的发明使钢材得以大量生产，并能越来越多地应用于土木工程。

9) 1886 年美国的杰克逊 (Jackson) 提出了预应力混凝土的想法，后于 1930 年由法国的弗雷西内 (Freyssinet) 研制成功。

10) 20 世纪上半叶美国的克劳斯 (Cross) 提出了力矩分配法，使刚架结构的分析简便可行，促进了刚架结构的应用；同时期奥地利的泰沙基 (Terzaghi) 提出了土的固结、侧压力、承载力等理论，奠定了土力学学科的基础。

在这些开创性研究的引领下，土木工程的建造理论发展成为完整的学科——结构工程。近代土木工程有下列一些典型性项目：

1825 年，英国采用盾构技术开凿泰晤士河底隧道（图 1-8）。同年，英国的斯蒂芬森（Stephenson）建成第一条长达 21km 的铁路。T. 特尔福德（Telford）用锻铁建成了跨度 177m 的威尔士梅奈悬索桥。1863 年，英国伦敦建成世界第一条长 7.6km 的地下铁道。1867 年法国人 J. 莫尼埃（Monier）用铁丝加固混凝土制成花盆，并把这种方法推广到工程中，建造了一座蓄水池，这是应用钢筋混凝土的开端。1869 年，美国建成横贯北美大陆的铁路；同年，苏伊士运河开通。1875 年，莫尼埃主持建造了第一座长 16m 的钢筋混凝土桥。1885 年美国在芝加哥由称为“摩天楼之父”的詹莱建造了 10 层住宅保险大楼（图 1-9），是最先用铁框架（部分钢梁）承受全部大楼里的重力，外墙仅为自承重墙的高层建筑，被誉为是近代高层建筑的开端。此外，由奥蒂斯在 19 世纪 50 年代初期发明的安全升降机（图 1-10）也使高层建筑成为可能；它最先采用的是蒸汽动力升降机，直到 1857 年在纽约才安装了第一台乘人用的电梯。1885 年，德国奔驰汽车问世以后，掀起了兴建高速公路的热潮，仅德国 1931—1942 年间就修建了长达 3860km 的高速公路网。1914 年，巴拿马运河开通。1937 年，美国在旧金山修建跨度 1280m，全长 2825m 的金门悬索桥（图 1-11），成为桥梁的代表性工程。



图 1-8 泰晤士河底隧道



图 1-9 美国芝加哥的住宅保险大楼

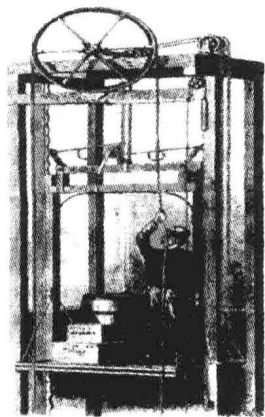


图 1-10 奥蒂斯发明的安全升降机

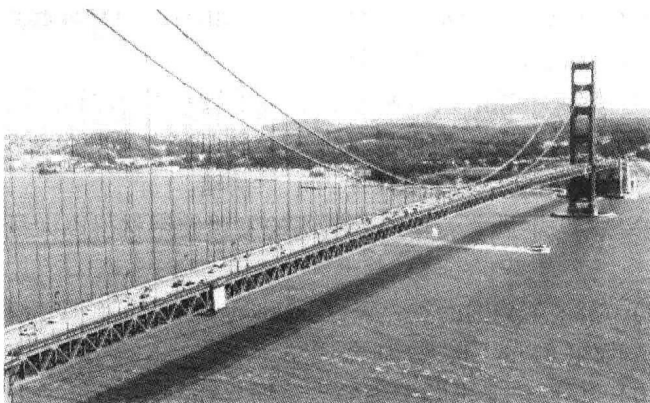


图 1-11 金门大桥

1928年,法国工程师弗雷西内(Freyssinet)研制成功预应力混凝土为钢筋混凝土结构向大跨高层发展提供了保障;1933年,法国、前苏联和美国分别建成跨度达60m的圆壳、扁壳和圆形悬索屋盖;1931年,在美国纽约建成了保持世界纪录达40年之久的帝国大厦(图1-12),共102层,高378m,结构用钢超过5万t,内装电梯67部,以及各种复杂的管网系统。1936年美国建成的胡佛坝(Hoover Dam)(图1-13)是当时最高的重力曲形坝。



图 1-12 帝国大厦

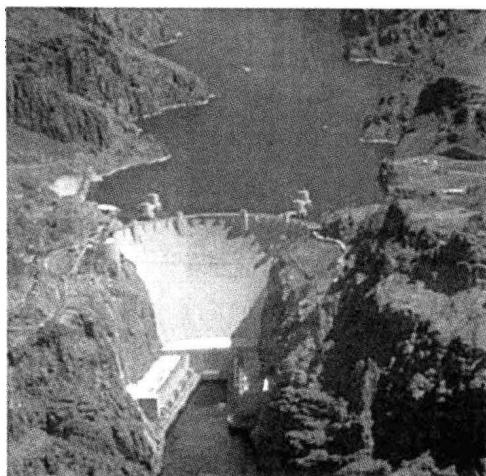


图 1-13 胡佛水坝

这一时期,我国的土木工程也有了一定的发展:1909年,詹天佑主持兴建了难度很大的京张铁路(图1-14),全长200km,沿程有4条隧道,最长的八达岭隧道1091m;1929年,建成中山陵(图1-15);1934年,在上海建成24层的钢结构国际饭店(图1-16);1937年,建成全长1453m的钢结构钱塘江大桥(图1-17)。在材料方面,1889年,在唐山建成了我国的第一个水泥厂;1910年,开始生产机砖。这些工程建设在我国近代土木工程史上都具有一定的代表性。

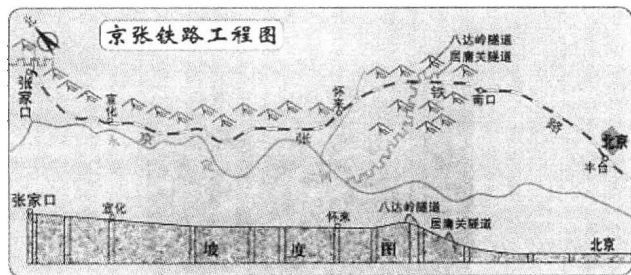


图 1-14 京张铁路



图 1-15 中山陵

近代土木工程的主要特征是:

- 1) 建造材料从天然材料为主转向人造材料为主。
- 2) 建造理论从主要以总结长期建造经验向重视科学理论兼顾经验转变。

3) 建造技术从手工工具为主发展为大规模使用施工机械,一些性能优异的大型机械不断出现,并创造出各种极有成效的施工方法,人们开始能使用大型施工机械建造结构复杂或所处环境恶劣的土木工程。



图 1-16 上海国际饭店



图 1-17 钱塘江大桥

1.2.3 现代土木工程

现代土木工程从第二次世界大战结束至今只有 60 多年的时间。体现时代特征的土木工程已不再是一些个体工程，而是一些大型综合体，且与世界经济、科学技术、社会的度发展紧密联系在一起。这一阶段取得的主要辉煌成就有以下几个方面：

(1) 房屋建筑 随着经济的发展，人口的增长和城市化进程的加速，出现了一大批高度超过 100m 的高层建筑，其中最为引人瞩目的有：1974 年美国芝加哥建成的西尔斯大厦（图 1-18），高 443m；1996 年马来西亚吉隆坡建成的石油大厦双塔楼（图 1-19），高 452m；1998 年我国上海建成的金茂大厦，高 420m（图 1-20）；2004 年我国台北建成的国际金融中心，高 508m；2008 年我国上海建成的环球金融中心，高 492m；2010 年建成的阿联酋的迪拜塔（哈利法塔），高 828m（图 1-21）。

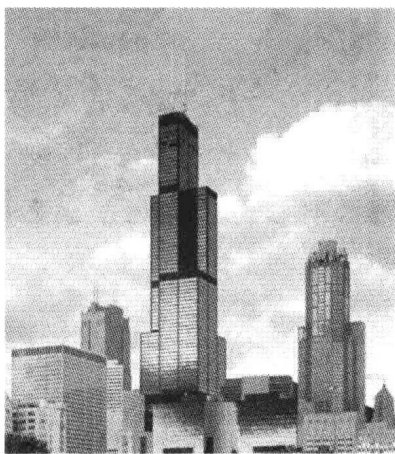


图 1-18 西尔斯大厦



图 1-19 石油大厦双塔楼

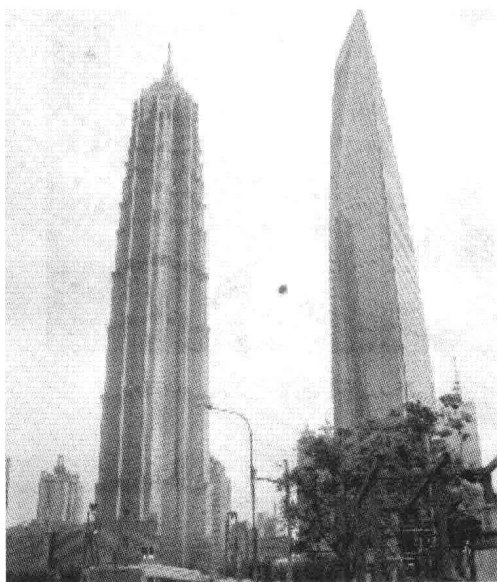


图 1-20 上海金茂大厦和金融中心



图 1-21 阿联酋的迪拜塔

(2) 桥梁工程 为了适应经济发展的需要,各国都大量投资于基础设施建设,建造了大量跨度超过 1000m 的悬索桥和跨度超过 500m 的斜拉桥,其中最为引人瞩目的有:1998 年日本建成的明石海峡悬索桥(图 1-22),主跨长 1991m;1997 年丹麦建成的大海带链悬索桥(图 1-23),主跨长 1624m;1999 年我国建成的江阴悬索桥(图 1-24),主跨长 1385m;2005 年我国建成的润扬悬索桥,主跨长 1490m;1995 年法国建成的诺曼底斜拉桥(图 1-25),主跨长 856m;1993 年我国建成的上海杨浦斜拉桥,主跨长 602m;1999 年日本建成的多多罗斜拉桥(图 1-26),主跨长 890m。2011 年 6 月 30 日通车的青岛海湾大桥又称胶州湾跨海大桥(图 1-27),是我国建桥者自行设计、施工、建造,具有独立知识产权的特大跨海大桥。大桥全长 41.58km,投资 100 亿元,历时 4 年,是当今世界上最长的跨海大桥。

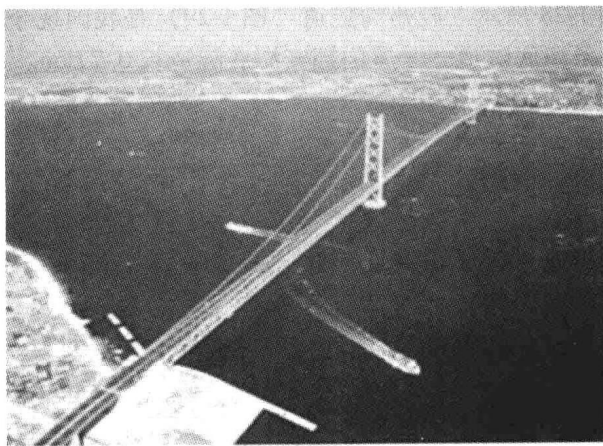


图 1-22 明石海峡悬索桥

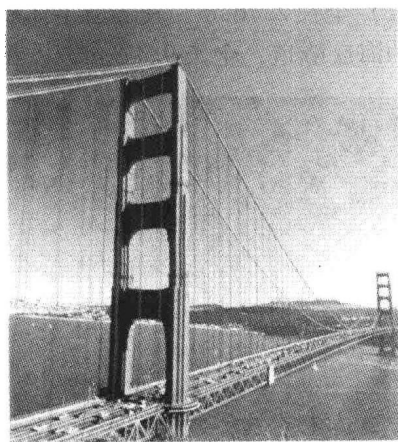


图 1-23 丹麦大海带桥



图 1-24 江阴悬索桥



图 1-25 诺曼底斜拉桥

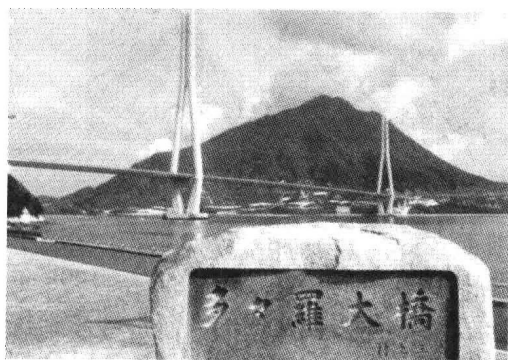


图 1-26 多多罗斜拉桥



图 1-27 胶州湾跨海大桥

(3) 长距离海底隧道 由日本和丹麦自 20 世纪 60 年代率先启动的跨海工程, 引发了世界各国海底隧道的兴建热潮, 我国也有 7 个跨海工程正在兴建或规划中。日本已于 1985 年完成了穿越津轻海峡长达 53.85km 的青函海底隧道, 埋深 100m; 1999 年贯通的英吉利海峡隧道长 50.5km, 埋深 45m。我国 1970 年建成通车的第一条水底隧道(上海黄浦江打浦路隧道) 全长 2.76km, 其隧道主体断面如图 1-28 所示。胶州湾隧道(图 1-29) 是我国现今最长的海底隧道, 全长 9.47km, 较我国第一条海底隧道——厦门翔安海底隧道长 0.77km。

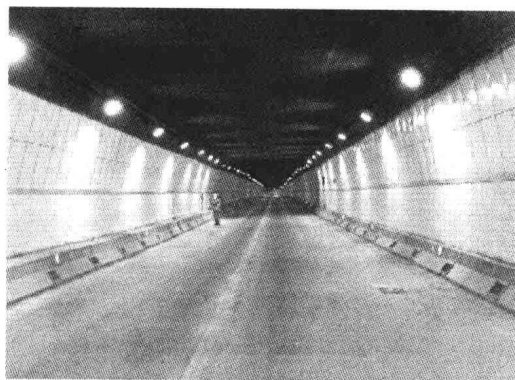


图 1-28 上海黄浦江打浦路隧道

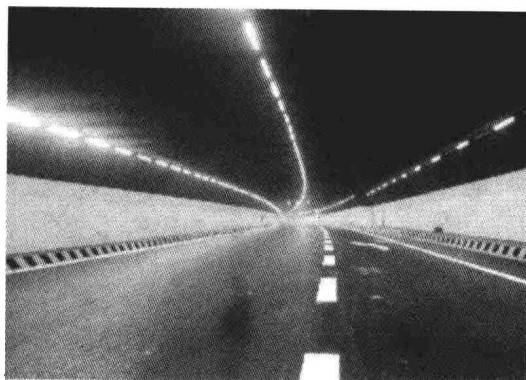


图 1-29 胶州湾隧道