

第2版

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



# 土木工程概论

阎兴华 黄新 主编



人民交通出版社  
China Communications Press



014002572

TU  
17-2

2  
版

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

# 土木工程概论

Tumu Gongcheng Gailun

阎兴华 黄新 主编



北航

C1688423



人民交通出版社  
China Communications Press

TU  
17-2

## 内 容 提 要

本书是为高等学校土木工程专业本科教学编写的教材,全书共有十一章。

本书主要介绍了土木工程的内涵及土木工程专业的宏观内容和相应的主要课程体系,土木工程发展简史及土木工程的材料、地基基础、基本结构、设计和施工的一般概念以及土木工程的基本建设程序及建设法规的基本轮廓,介绍了建筑工程、道路工程、桥梁工程、水利工程、环保工程及其他土木工程的基本概念、基本知识及典型工程,介绍了土木工程的防灾减灾、计算机应用等新领域以及土木工程的新成果及发展趋势。

本书资料丰富、概念清晰、语言流畅、图文并茂。本书除作为教材外,还可作为土木工程专业的工程技术及科研人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程概论/阎兴华,黄新主编. —2版. —北京:人民交通出版社,2013.8

ISBN 978-7-114-10735-1

I. 土… II. ①阎…②黄… III. ①土木工程—概论 IV. ①TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 139995 号

交通版高等学校土木工程专业规划教材

书 名:土木工程概论(第二版)

著 者:阎兴华 黄 新

责任编辑:张征宇 赵瑞琴

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:15

字 数:368千

版 次:2005年8月 第1版 2013年8月 第2版

印 次:2013年8月 第1次印刷 累计第6次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10735-1

印 数:14001—17000册

定 价:23.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

交通版

# 高等学校土木工程专业规划教材

## 编委会

(第二版)

主任委员: 戎 贤

副主任委员: 张向东 李帼昌 张新天 黄 新  
宗 兰 马芹永 党星海 段敬民  
黄炳生

委 员: 彭大文 张俊平 刘春原 张世海  
郭仁东 王 京 符 怡

秘 书 长: 张征宇

(第一版)

主任委员: 阎兴华

副主任委员: 张向东 李帼昌 魏连雨 赵 尘  
宗 兰 马芹永 段敬民 黄炳生

委 员: 彭大文 林继德 张俊平 刘春原  
党星海 刘正保 刘华新 丁海平

秘 书 长: 张征宇



# 序

XU



随着科学技术的迅猛发展、全球经济一体化趋势的进一步加强以及国力竞争的日趋激烈,作为实施“科教兴国”战略重要战线的高等学校,面临着新的机遇与挑战。高等教育战线按照“巩固、深化、提高、发展”的方针,着力提高高等教育的水平和质量,取得了举世瞩目的成就,实现了改革和发展的历史性跨越。

在这个前所未有的发展时期,高等学校的土木类教材建设也取得了很大成绩,出版了许多优秀教材,但在满足不同层次的院校和不同层次的学生需求方面,还存在较大的差距,部分教材尚未能反映最新颁布的规范内容。为了配合高等学校的教学改革和教材建设,体现高等学校在教材建设上的特色和优势,满足高校及社会对土木类专业教材的多层次要求,适应我国国民经济建设的最新形势,人民交通出版社组织了全国二十余所高等学校编写“交通版高等学校土木工程专业规划教材”,并于2004年9月在重庆召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路。于2004年11月在北京召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,这套规划教材已陆续出版。

在教材的使用过程中,我们也发现有些教材存在诸如知识体系不够完善,适用性、准确性存在问题,相关教材在内容衔接上不够合理以及随着规范的修订及本学科领域技术的发展而出现的教材内容陈旧、亟待修订的问题。为此,新改组的编委会决定于2010年底启动该套教材的修订工作。

这套教材包括《土木工程概论》、《建筑工程施工》等31种,涵盖了土木工程专业的专业基础课和专业课的主要系列课程。这套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例并适当反映本学科领域的新发展,力求通俗易懂、图文并茂;其中对专业基础课要求理论体系完整、严密、适度,兼顾各专业方向,应达到教育部和专业教学指导委员会的规定要求;对专业课要体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,保证知识体系的完整性、准确性、正

确性和适应性,专业课教材原则上按课群组划分不同专业方向分别考虑,不在一本教材中体现多专业内容。

反映土木工程领域的最新技术发展、符合我国国情、与现有教材相比具有明显特色是这套教材所力求达到的目标,在各相关院校及所有编审人员的共同努力下,交通版高等学校土木工程专业规划教材必将对我国高等学校土木工程专业建设起到重要的促进作用。

## 交通版高等学校土木工程专业规划教材编审委员会 人民交通出版社





《土木工程概论》是“交通版普通高等院校土木专业规划教材”中的一本教科书,主要用于大学本科土木工程专业教学,其课程内容属于专业基础课的范畴。

全书共十一章,分别为:第一章,土木工程及土木工程专业;第二章,土木工程材料;第三章,地基和基础;第四章,建筑工程;第五章,道路与铁路工程;第六章,桥梁工程;第七章,隧道工程及地下工程;第八章,其他土木工程;第九章,土木工程设计和施工;第十章,建设法规与建设管理;第十一章,土木工程的新领域及发展前景。本书主要介绍了土木工程的内涵及土木工程专业的宏观内容和主要课程体系,土木工程发展简史及土木工程的材料、地基基础、基本结构、设计和施工的一般概念以及土木工程的基本建设程序及建设法规的基本轮廓,介绍了建筑工程、道路工程、桥梁工程、水利工程、环保工程及其他土木工程的基本概念、基本知识及典型工程,介绍了土木工程的防灾减灾、计算机应用等新领域以及土木工程的新成果及发展趋势。

本书采用最新资料,内容丰富、系统,图文并茂,概念清晰,语言流畅,通俗易懂。本书除作为土木工程专业的教材外,还可作为其他相关专业的教材及相关工程技术人员、科研人员的参考用书。

《土木工程概论》(2005年版)为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”,“北京高等教育精品教材”。此次修订增加了常用土木工程专业词汇的中英文对照,增加了土木工程领域的最新信息和工程实例,调整、完善了部分章节的内容,删掉了一些过时的资料。

本书由北京建筑工程学院及南京林业大学联合主编。北京建筑工程学院参编人员有:阎兴华教授、刘栋栋教授、韩淼教授、戚承志教授及穆静波教授。南京林业大学参编人员有:黄新教授、郑晓燕教授、朱华平讲师、高敏杰副教授及戴兆华副教授。

各编者完成的工作内容分别为:阎兴华编写第一章、第十一章;刘栋栋编写第二章;韩淼编写第三章;郑晓燕编写第四章;高敏杰编写第五章;朱华平编写第六章;戚承志编写第七章;黄新编写第八章;穆静波编写第九章;戴兆华编写第十章。

限于编者水平,书中可能会存在一定的疏漏及错误,敬请广大读者及同行批评指正。

编者

2013年6月

# 目录 MULU

第一章 土木工程及土木工程专业	1
第一节 土木工程的内涵和发展	1
第二节 土木工程专业及学习建议	19
思考题	21
参考文献	21
第二章 土木工程材料	23
第一节 砌体材料	23
第二节 混凝土	28
第三节 钢材	31
第四节 其他材料	35
思考题	40
参考文献	40
第三章 地基和基础	41
第一节 地基	41
第二节 基础	46
思考题	51
参考文献	52
第四章 建筑工程	53
第一节 基本构件	53
第二节 建筑工程的类型	57
第三节 建筑结构形式及结构体系	60
思考题	70
参考文献	70



<b>第五章 道路与铁路工程</b> .....	71
第一节 道路工程 .....	71
第二节 铁路工程 .....	79
思考题 .....	84
参考文献 .....	85
<b>第六章 桥梁工程</b> .....	86
第一节 桥梁结构的基本组成 .....	86
第二节 桥梁类型 .....	88
第三节 桥梁下部结构 .....	96
思考题 .....	97
参考文献 .....	97
<b>第七章 隧道工程及地下工程</b> .....	98
第一节 隧道工程 .....	98
第二节 地下工程 .....	107
第三节 地下建筑防灾 .....	120
第四节 计算机技术在地下工程中的应用 .....	123
思考题 .....	125
参考文献 .....	125
<b>第八章 其他土木工程</b> .....	126
第一节 给水排水工程 .....	126
第二节 水利工程 .....	133
第三节 港口工程 .....	148
思考题 .....	157
参考文献 .....	158
<b>第九章 土木工程设计和施工</b> .....	159
第一节 土木工程设计 .....	159
第二节 土木工程施工 .....	161
思考题 .....	180
参考文献 .....	180
<b>第十章 建设法规与建设管理</b> .....	181
第一节 建设法规 .....	181
第二节 建设管理 .....	190





# 第一章 土木工程及土木工程专业

## Chapter 1 Civil Engineering and Civil Engineering Major

### 第一节 土木工程的内涵和发展

#### Section 1 Connotation and Development of Civil Engineering

##### 一、土木工程的定义及在国民经济中的作用(Definition of Civil Engineering and Its Role in the National Economy)

###### 1. 土木工程的定义及内涵(Definition and Connotation of Civil Engineering)

中国国务院学位委员会在学科简介中对“土木工程”给出的定义为: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,也包括所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等技术活动。

由上述定义可以看出土木工程包括以下两个方面的内涵:

(1) 各类工程设施即工程建设的对象,包括了建筑工程、桥梁工程、公路与城市道路工程、铁路工程、隧道工程、水利工程、机场工程,地下工程,港口工程、海洋工程、给水排水工程、环境工程等。

(2) 利用适当的材料和设备建造及维护各类工程设施的工程技术活动,包括了勘测、设计、施工、鉴定加固等。

土木工程在英语中称为“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土木工程的范畴了。在我国历史上通常把大规模的工程建设活动称为“大兴土木”,如“秦始皇修长城”、“隋炀帝修运河”便是人们所熟知的大兴土木的范例。因此,现在的土木工程的称谓既沿袭了我国的传统,又融入了国际公认的内涵。

###### 2. 土木工程在国民经济中的作用(Role of Civil Engineering in the National Economy)

土木工程包含的内容及涉及的范围非常广泛,它和人民群众的“衣、食、住、行”息息相关,在国民经济中起着非常重要的作用。

要解决“衣、食、住、行”中“住”个问题就需要建造各种类型的住宅;“行”需要建造铁道、公路、机场、码头等交通土建工程;“食”需要打井取水,筑渠灌溉,建水库蓄水,建生产农药、化肥及农业机械的工厂,建粮仓及粮食加工厂,建各类餐馆、饭店等;而与“衣”相关的纺纱、织布、制衣等工作,也必须在相应的工厂内进行。总之,“衣、食、住、行”都离不开土木工程。

此外,各种工业生产必须要建工业厂房,办公要建办公楼,看病要建医院,上学要建学校,体育要建比赛场馆,旅游、休闲要建宾馆、度假村等。即使是航天事业,也需要建发射塔架和航

天基地。可以说,各行各业均离不开土木工程。

还应该看到,土木工程的建造需要大量的工程材料和工程机械,还需要大量的劳动力,因此土木工程事业的发展能够有力的促进钢铁工业、建筑材料工业及机械制造工业等相关产业的发展,能够创造大量的就业机会,对推动整个国民经济的发展及保障社会稳定起着非常重要的作用。

正因为土木工程涵盖的内容如此广泛、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。

## 二、土木工程发展简史(Brief history of Civil Engineering Development)

土木工程发展到现在,经历了古代、近代和现代三个阶段。

### 1. 古代土木工程(Ancient Civil Engineering)

古代土木工程的时间跨度,大致从旧石器时代(约公元前 5000 年起)到 17 世纪中叶。

古代土木工程所用的材料,最早为当地的天然材料,如泥土、石块、树枝、竹、茅草、芦苇等,后来发展了土坯、石材、木材、砖、瓦、青铜、铁、铅以及混合材料如草筋泥、混合土等。古代土木工程所用的工具,最早只是石斧、石刀等简单工具,后来发展了斧、凿、锤、钻、铲等青铜和铁制工具以及打桩机、桅杆起重机等简单施工机械。古代土木工程的建造主要依靠工程经验,缺乏设计理论的指导。尽管如此,古代土木工程还是留下了许多伟大的工程,记载着灿烂的古代文明,成为人类共同的、不可再生的宝贵遗产。

下面对一些典型的古代土木工程进行简要的介绍。

#### 1) 中国古代土木工程

(1) 万里长城(Great Wall)。万里长城是世界上修建时间最长、工程量最大工程,为世界七大奇迹之一。

长城从公元前七世纪始修建,秦统一六国后,其规模达到“西起临洮,东止辽东,蜿蜒一万余里”,于是有了万里长城称号。据 2012 年国家文物局数据,历代长城总长为 21 196. 18km;明朝对长城进行了大规模的整修和扩建,东起鸭绿江,西止嘉峪关,全长 8 851. 8km,设置“九边重镇”,驻防兵力达 100 万人。“上下两千年,纵横十万里”,万里长城不愧为人类历史上最伟大的军事防御工程。



图 1-1 八达岭长城

万里长城的结构形式主要为砖石结构,有些地段采用夯土结构,在沙漠中则采用红柳、芦苇与砂粒层层铺筑的结构。图 1-1 为八达岭长城。

(2) 都江堰和京杭大运河。都江堰和京杭大运河是我国古代水利工程的两个杰出代表。

① 都江堰,位于四川灌县的岷江上,建于公元前三世纪,由战国时期秦蜀郡太守李冰父子率众修建,是现存最古老且目前仍在灌溉的伟大水利工程。都江堰以无坝引水为特征,由鱼嘴、飞沙堰、宝瓶口三部分组成。鱼嘴是江

心的分水堤坝,把岷江分成外江和内江,外江排洪,内江灌溉;飞沙堰起泄洪、排沙和调节水量



的作用;宝瓶口控制进水流量。都江堰工程设计的合理与巧妙,令现在的许多国内外水利工程专家赞叹不已。图 1-2 为都江堰图。

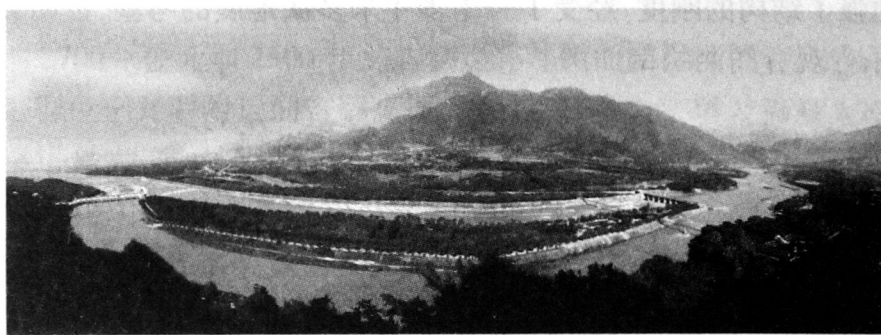


图 1-2 都江堰

②京杭大运河,是世界上开凿最早、长度最大的人工河。京杭大运河开凿于春秋战国时期,隋朝大业六年(公元 610 年)全部完成,至今已有 2 400 多年历史。京杭大运河由北京到杭州,流经河北、山东、江苏、浙江四省,沟通海河、黄河、淮河、长江、钱塘江五大水系,全长 1 794km。至今该运河的江苏、浙江段仍是重要的水运通道。图 1-3 为京杭大运河的流域图。

(3)应县木塔及蓟县独乐寺观音阁。我国古建筑大多为木结构(Wood Structure)加砖墙建成,应县木塔及蓟县独乐寺观音阁是其中的优秀代表。

①应县木塔(佛宫寺释迦塔),位于山西应县,建于辽代(公元 1056 年),是我国现存最古、最高的木结构佛塔。塔高 67.31m,底层直径 30.27m,横截面呈八角形,共九层(五个明层和四个暗层),底层设置四周环廊。

木塔采用分层叠合的明暗层结构,结构体系近似于当今的高层建筑;木塔用料超过 5000m<sup>3</sup>,而构件只有 6 种规格。该塔经历了多次大地震,近千年仍完好耸立,足以证明我国古代木结构的高超技术。图 1-4 为应县木塔测绘剖面图。

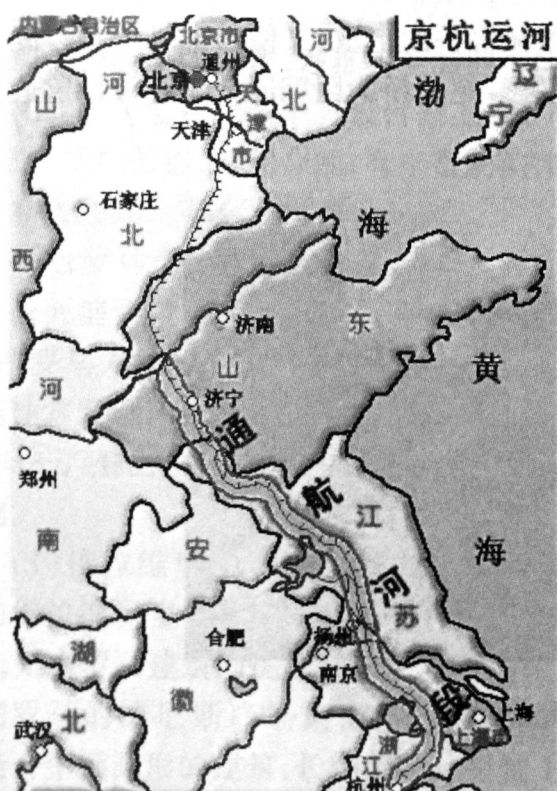


图 1-3 京杭大运河

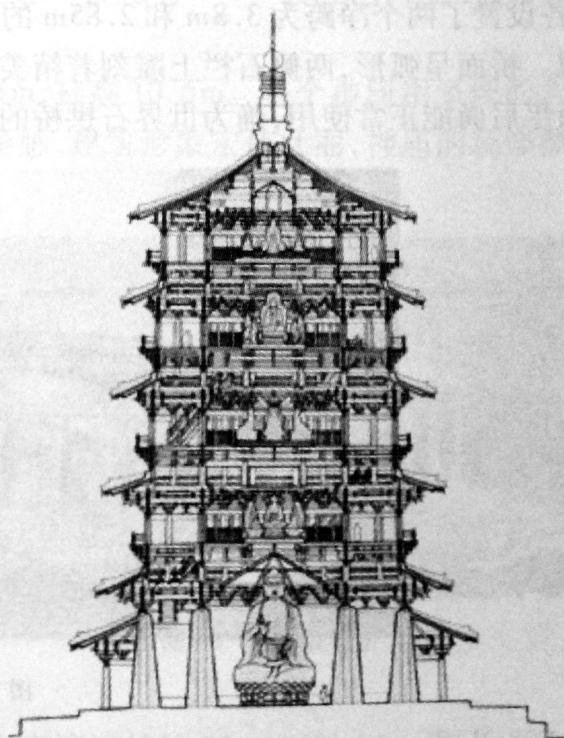


图 1-4 山西应县木塔

②蓟县独乐寺观音阁,位于河北蓟县,始建于唐,辽统和二年(984年)重建;面阔五间(20.23m),进深四间(10.52m),共3层,内有高16m的塑于辽代的观音像。观音阁在木柱之间设置了斜撑,加强了结构的刚度,经受了一千多年来多次地震的考验,证明其结构是合理的。图1-5为蓟县独乐寺观音阁测绘剖面图。

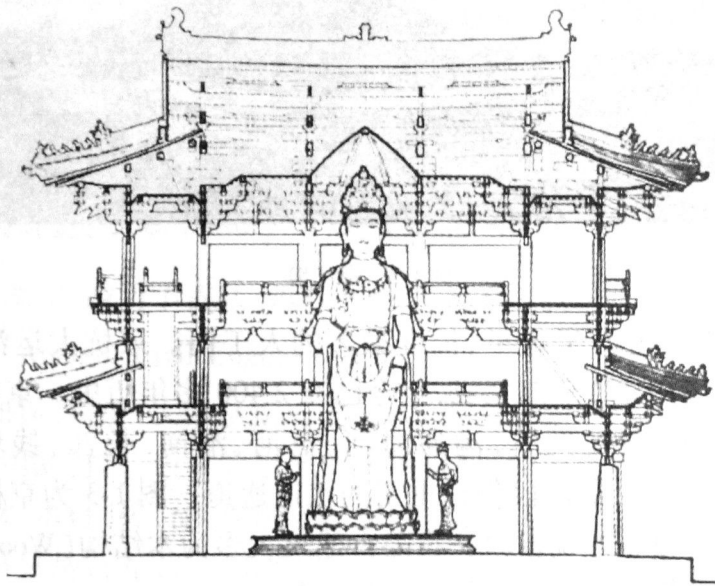


图1-5 河北蓟县独乐寺观音阁

此外,北京故宫、沈阳故宫等宫殿建筑,明十三陵等帝王陵墓的地上建筑,颐和园、北海等皇家园林及苏州园林的建筑等,都是世界著名的中国古代木结构建筑。

(4)赵州桥(图1-6)。又名赵州安济桥,位于河北赵县浚河上,建造于隋代的公元595年~公元605年。赵州桥为单孔圆弧形石拱桥(Stone Arch Bridge),全长50.82m,桥面宽10m,单孔净跨度37.02m,矢高7.23m,用28条并列的石拱券构成,拱券厚度1.03m;在主拱券的两侧,各设置了两个净跨为3.8m和2.85m的小拱,既可减轻桥的自重,又便于排泄洪水,且显得美观。桥面呈弧形,两侧石栏上雕刻着精美的龙兽图案。赵州桥为隋朝匠人李春设计监造,经千余年后尚能正常使用,确为世界石拱桥的杰作。



图1-6 赵州桥

## 2) 古埃及金字塔

金字塔(Pyramids)是一种高大的底座为四方形的角锥体建筑物,用巨石建造,是古埃及法



老的陵墓。

古埃及第一座石砌金字塔为昭赛尔金字塔,建于公元前3000年,基底东西长126m,南北长106m,高60m,6层台阶。

建造于公元前2700~公元前2500年的吉萨金字塔群(图1-7),是古埃及金字塔最成熟的代表。吉萨金字塔群位于开罗附近的吉萨高原,包括三座大金字塔及狮身人面像,其中第四王朝法老胡夫的金字塔最大,底面正方形,边长230.5m,高146.59m,为埃菲尔铁塔以前的世界最高建筑物;胡夫金字塔用230余万块巨石垒砌,每块石头平均2000多公斤,最大的100多吨。石块之间,没有任何黏着物,石头磨得很平,至今很难用刀刃插入石块的间隙。塔内结构复杂,有甬道、石阶、庙堂、墓室并饰以壁画、雕刻等艺术品。

在胡夫的儿子哈夫拉的金字塔附近,建有一个雕着哈夫拉的头而配着狮子身体的大雕像,即狮身人面像(图1-8)。除部分狮身是用石块砌成之外,整个狮身人面像是在一块巨大的天然岩石上雕琢而成的,至今已有4500多年的历史。



图1-7 吉萨金字塔群

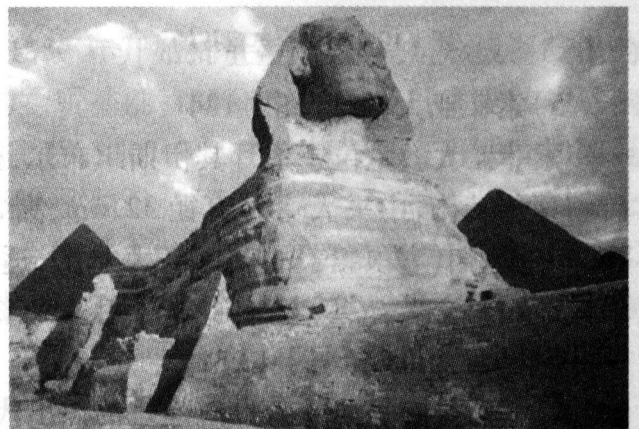


图1-8 狮身人面像

### 3) 古希腊的帕提农神庙

帕提农神庙(图1-9)是古希腊最著名的建筑,建造于公元前447~公元前438年,为供奉雅典保护神雅典娜而建,是雅典卫城的主体建筑。

帕提农神庙建在一个三级台基上,长70m,宽31m,柱高10.5m。整个神庙用坚硬的大理石建造,结构匀称、比例合理,有丰富的韵律感和节奏感,建筑形象宏伟壮丽,神庙的装饰雕刻更是精美绝伦,被誉为“雅典的王冠”。

### 4) 古罗马竞技场及万神庙

公元前8世纪至公元476年,为古罗马时代,古罗马人在公路、桥梁、城市街道、输水道、神庙建筑及剧场、竞技场、浴场等公共建筑方面均作出了杰出的贡献,并给后世带来深远的影响。

(1) 佛拉维奥竞技场(图1-10):建于古罗马的佛拉维奥皇朝时代(公元75年~公元80年),是古罗马建筑的优秀代表。竞技场位于意大利罗马的威尼斯广场南面,占地20000m<sup>2</sup>。

它是一个椭圆形的建筑,长轴188m,短轴156m,中央表演区长轴86m,短轴54m,周长527m,高57m。场内设有观众席60排,逐排向上升起,可以容纳10万名观众。竞技场的外观分为4



图1-9 帕提农神庙



层,由不同艺术形式的柱列支承,极其宏伟壮观。

(2)罗马城的万神庙(图 1-11):万神庙是罗马穹顶技术的最高代表,穹顶直径和顶端高度均是 43.3m。在现代结构出现以前,它一直是世界上跨度最大的大空间建筑。

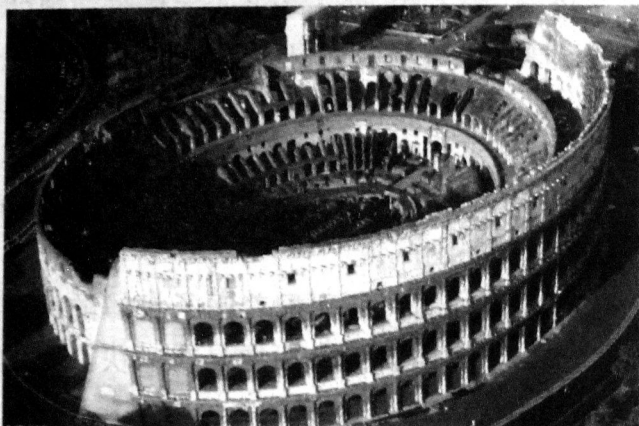


图 1-10 佛拉维奥竞技场



图 1-11 万神庙

### 5) 索菲亚大教堂(图 1-12)

索菲亚大教堂位于土耳其伊斯坦布尔,建造于公元 532 年~公元 537 年。主体建筑采用砖砌穹顶结构,中央大穹顶直径 32.6m,高 54.8m,支承在用巨石砌成的大柱(截面尺寸约为 7m×10m)上,穹顶覆盖的大厅高大宽阔,适宜于隆重豪华的宗教仪式和宫廷庆典活动,沿穹顶底部四周密排着 40 个窗洞,光线射入时形成幻影,使大穹顶显得轻巧凌空。

### 6) 巴黎圣母院(图 1-13)

巴黎圣母院是西欧中世纪建筑的杰出代表,建造于公元 1163 年~公元 1250 年,位于法国巴黎城中。教堂宽 47m,进深 125m,可容近万人。正面是一对高 60 余米的塔楼,中部有高达 90m 的尖塔。



图 1-12 索菲亚大教堂

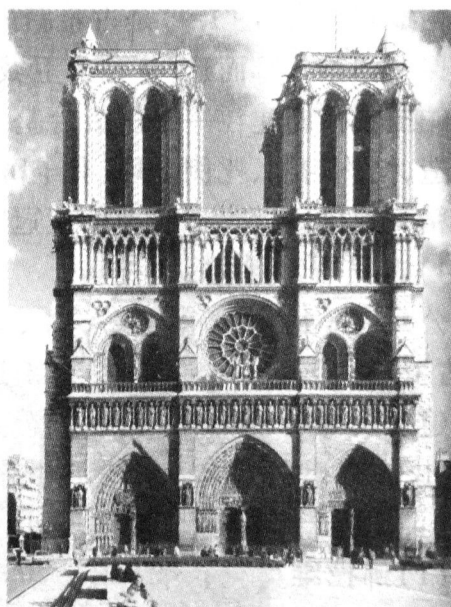


图 1-13 巴黎圣母院

在古代土木工程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,比较有代表性的为我国公元前 5 世纪的《考工记》,北宋李诫的《营造法式》,意大利文艺复兴时期贝蒂著的《论建筑》等。

## 2. 近代土木工程(Early Modern Civil Engineering)

近代土木工程的时间跨度为17世纪中叶到20世纪中叶,历时300余年。在这一时期,土木工程有了革命性的发展,其主要特点表现为以下三个方面。

### 1) 土木工程有了比较系统的理论指导,成为一门独立的学科

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(Mechanical Analysis)的基础;1744年,瑞士数学家欧拉建立了柱的压屈理论,给出了柱的临界压力计算公式,为结构稳定计算奠定了理论基础;1825年,法国的纳维建立了土木工程中结构设计(Structure Design)的容许应力法;19世纪末里特尔等人提出了结构的极限平衡概念;1906年美国旧金山大地震,1923年日本关东大地震,推动了结构动力学和工程抗震技术的发展。与古代土木工程不同,近代土木工程的结构设计有了比较系统的理论指导,土木工程也逐渐发展成为一门独立的学科。

### 2) 新的土木工程材料的发明与应用

1824年,英国人阿斯普丁发明了波特兰水泥,1850年开始批量生产,水泥是形成混凝土的主要材料,是混凝土得以在土木工程中大量应用的物质基础;1859年,发明了贝塞麦转炉炼钢法,使钢材得以大量生产,并愈来愈多应用于土木工程;1867年,法国人莫尼埃用铁丝加固混凝土制成了花盆,开始应用钢筋混凝土,并于1875年主持修建了一座长达16m的钢筋混凝土桥;1928年,预应力混凝土被发明;1886年,美国杰克逊首先应用预应力混凝土制作建筑配件。这些新材料的发明与应用,使得土木工程师有条件创造新型的土木工程,有条件建造规模更为庞大、构造更为复杂的工程设施。

### 3) 施工机械和施工技术有了巨大的进步

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,为快速高效地建造土木工程设施提供了有力的手段。

这一时期具有历史意义的土木工程很多,下面列举的一些典型的例子。

#### (1) 建筑工程(Building Engineering)

1883~1885年,在美国芝加哥建造了世界上第一座采用铁框架作为承重结构的高层建筑——芝加哥家庭保险公司大楼(图1-14),楼高55m,10层。

1887~1889年,在法国巴黎市中心,建造了高达320.7m的艾菲尔铁塔(图1-15)。铁塔由18000多个钢铁部件和250万个铆钉铆接而成,总质量达8500t,其地面处的平面形状为边长100m正方形,在57m、115m、276m和300m处分别设有平台,有步梯1711级,还设置了4部升降机。艾菲尔铁塔已成为巴黎乃至法国的标志性建筑。

1929~1931年,在美国纽约市中心建造了102层、高381m的帝国大厦(1950年在顶部加建电视塔后高度为448m,见图1-16),建筑占地130m×60m;大厦采用钢框架结构,总质量365000t,用钢51900t;建筑高度保持世界纪录达40年之久。

#### (2) 桥梁工程(Bridge Engineering)

1933~1937年,在美国旧金山建造的金门大桥(图1-17)为跨越旧金山海湾的悬索桥,桥跨1280m,是世界上第一座单跨超过千米的大桥,桥头塔架高227m,主缆直径1.125m,由27572根钢丝组成,索质量11000t左右。锚固缆索的两岸锚锭为混凝土巨大块体,北岸和南岸的混凝土锚锭质量分别为130000t和50000t。