



高等学校土建类专业“十二五”规划教材

土木建筑工程概论

王作文 林莉 朱春鹏 郭汝 孟晓平 编著

TUMU

JIANZHU
GONGCHENG
GAILUN



化学工业出版社

高等学校土建类专业“十二五”规划教材

土木建筑工程概论

王作文 林 莉 朱春鹏 郭 汝 孟晓平 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以全国高校土建类学科专业指导委员会编制的《土木工程概论课程教学大纲》、《建筑工程概论课程教学大纲》和教育部“卓越工程师教育培养计划”为依据,为高等学校培养应用型人才而编写。

本书共分八章,包括绪论、工程材料与制品、基础工程、工程类型与构造、工程结构设计、工程建设与管理、工程防灾与减灾以及计算机技术与土木建筑工程等内容。主要从不同角度介绍宽口径大土木学科若干分支领域的总体情况和最新发展成就。

本书可作为高等学校土木工程、建筑环境与设备工程、测绘工程、工程管理、城市地下空间工程、安全工程等相关专业和专业方向的本科教材,也可作为从事土建工程研究、设计、施工、管理、房地产开发、建设监理等工程技术和管理人员以及注册建筑师、注册结构工程师、注册建造师、注册监理工程师等的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土木建筑工程概论/王作文等编著. —北京:化学工业出版社, 2012.9

高等学校土建类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-15159-9

I. ①土… II. ①王… 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 202879 号

责任编辑:陶艳玲

文字编辑:汲永臻

责任校对:徐贞珍

装帧设计:杨 北

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19 3/4 字数 521 千字 2012 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:38.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书以全国高校土建类学科专业指导委员会编制的《土木工程概论课程教学大纲》、《建筑工程概论课程教学大纲》和教育部“卓越工程师教育培养计划”为依据，为高等学校培养应用型人才而编写。

《土木建筑工程概论》是对《土木工程概论》和《建筑工程概论》课程进行了整合，是学习土建工程知识的一本概论性教材。本书主要通过大量的图片，从不同角度介绍了宽口径大土木学科若干分支领域的总体情况和最新发展成就。在内容上，力求构建土建学科的知识体系，体现和反映现代土建工程的新理论、新技术、新工艺、新材料、新结构、新方法和新成果。总体上，尽力求新、求精、求实，形象生动。既注重知识的系统性、完整性和创新性，又有理论深度和实用性，重点突出其应用性，综合运用土建学科的基础理论和知识，着重培养工程实际中分析问题和解决问题的能力，以满足新时期人才培养的需要。

本书内容广泛、翔实、简洁，语言通俗、精炼、易懂，插图丰富、直观、准确。为帮助老师教学和学生自学，在书的每章节后配有复习思考题，以利于学习。

本书共分八章，包括绪论、工程材料与制品、基础工程、工程类型与构造、工程结构设计、工程建设与管理、工程防灾与减灾以及计算机技术与土木建筑工程等内容。

本书由西南石油大学王作文（第1章、第4章、第6章第4节）、哈尔滨理工大学林莉（第5章、第6章）、常州大学朱春鹏（第2章、第3章）、河南城建学院郭汝（第7章、第8章）、西南石油大学孟晓平（第4章第13节和绘制整理全部插图）等编著。全书由王作文教授统稿。

本书借鉴参考了一些国内外著名学者编写的著作，在此表示衷心的感谢。由于作者水平有限，书中不足和疏漏之处难免，敬请各位读者提出宝贵意见，以便再版时修改和加以完善。

作 者
2012年5月

目 录

1 绪论	1	【复习思考题】	62
1.1 本课程的性质和任务	1	3 基础工程	63
1.2 本课程的教学要求和学习建议	2	3.1 岩土工程勘察	63
1.2.1 教学要求	2	3.1.1 岩土工程勘察概况	63
1.2.2 学习建议	3	3.1.2 工程地质条件和工程地质问题	63
1.3 土木建筑工程的发展历史与未来展望及可持续发展	3	3.1.3 岩土工程勘察等级和勘察阶段	65
1.3.1 科学、技术与工程的概念和关系	3	3.1.4 岩土工程勘察方法	68
1.3.2 土木建筑工程的发展历史	4	3.1.5 岩土工程勘察报告	72
1.3.3 土木建筑工程的未来展望及可持续发展	19	3.2 工程测量	73
【复习思考题】	21	3.2.1 工程测量概况	73
2 工程材料与制品	23	3.2.2 地形图测绘	75
2.1 工程材料概况	23	3.2.3 施工测量	76
2.1.1 工程材料的现状及发展	23	3.2.4 变形观测	82
2.1.2 工程材料的分类	24	3.3 地基与基础	82
2.1.3 工程材料的基本性质	25	3.3.1 地基与基础概况	82
2.2 古代工程材料	26	3.3.2 浅基础	84
2.2.1 石灰和石膏	26	3.3.3 桩基础	88
2.2.2 砖和瓦	29	3.3.4 沉井	92
2.2.3 砂和石材	30	3.3.5 地下连续墙	95
2.2.4 木材	32	3.4 地基处理技术	96
2.3 近代工程材料	33	3.4.1 地基处理及发展概况	96
2.3.1 菱苦土和水玻璃	33	3.4.2 地基处理方法	97
2.3.2 水泥	34	3.5 基础工程的发展趋势	102
2.3.3 钢材	37	【复习思考题】	102
2.3.4 砂浆	40	4 工程类型与构造	104
2.3.5 混凝土	41	4.1 建筑工程	104
2.3.6 沥青及混合料	43	4.1.1 建筑工程概况	104
2.4 现代工程材料	45	4.1.2 民用建筑设计与构造	116
2.4.1 合成高分子材料	45	4.1.3 工业建筑设计与构造	133
2.4.2 防水材料	48	4.1.4 建筑工程识图	135
2.4.3 装饰材料	51	4.1.5 建筑结构	155
2.4.4 绝热材料和吸声材料	52	4.1.6 建筑工程发展趋势及未来展望	167
2.4.5 新型复合材料	54	4.2 地下工程	168
2.4.6 土工合成材料	55	4.2.1 地下工程概况	168
2.4.7 合金材料	58	4.2.2 地下工程分类与特点	168
2.5 工程材料的发展趋势及未来展望	60	4.2.3 地下电站、仓库及城市地下综合体	169
2.5.1 未来工程材料	60	4.2.4 地下工程的发展趋势	171
2.5.2 发展趋势及展望	62		

4.3	隧道工程	172	4.12.1	海洋工程概况	218
4.3.1	隧道工程概况	172	4.12.2	海洋工程分类与特点	219
4.3.2	隧道工程分类与特点	172	4.12.3	海洋环境、海洋开发及海洋 平台	219
4.3.3	隧道的结构、通风、照明和防水 与排水	174	4.12.4	海洋工程的发展趋势	221
4.3.4	隧道工程的发展趋势	174	4.13	油田工程	222
4.4	道路工程	174	4.13.1	油田工程概况	222
4.4.1	道路工程概况	174	4.13.2	油田工程分类与特点	224
4.4.2	道路工程分类与特点	175	4.13.3	钻井与完井、油藏和石油管道 工程	224
4.4.3	道路的组成和结构	177	4.13.4	油田工程的发展趋势	228
4.4.4	道路工程的发展趋势	179	【复习思考题】	228	
4.5	铁路工程	179	5	工程结构设计	230
4.5.1	铁路工程概况	179	5.1	工程结构设计中的力学基本知识	230
4.5.2	铁路工程分类与特点	180	5.1.1	构件基本受力状态	230
4.5.3	铁路的组成和结构	182	5.1.2	材料在三向受压应力状态下的强度 和延性	231
4.5.4	铁路工程的发展趋势	183	5.1.3	预应力知识	232
4.6	桥梁工程	183	5.1.4	结构中的刚度问题	233
4.6.1	桥梁工程概况	183	5.2	结构上的作用	236
4.6.2	桥梁工程分类与特点	184	5.2.1	结构上的作用及作用效应	236
4.6.3	桥梁的组成和结构	184	5.2.2	荷载代表值	237
4.6.4	桥梁工程的发展趋势	190	5.3	现代工程结构设计基本理论	238
4.7	机场工程	190	5.3.1	工程结构设计理论概况	238
4.7.1	机场工程概况	190	5.3.2	概率极限状态设计方法	239
4.7.2	机场工程分类与特点	191	5.3.3	结构概念设计方法	241
4.7.3	机场的组成与规划	192	5.3.4	结构可靠性设计方法	242
4.7.4	机场工程的发展趋势	194	5.4	工程结构设计简介	243
4.8	给排水工程	195	5.4.1	工程结构设计	243
4.8.1	给排水工程概况	195	5.4.2	结构设计工程师应具备的 素质	246
4.8.2	给排水工程特点、分类及 组成	195	5.4.3	正确应用 CAD 软件提高建筑结构 设计质量	247
4.8.3	给排水工程的发展趋势	199	5.5	工程结构设计标准简介	247
4.9	环境工程	199	5.6	工程结构设计的发展趋势	249
4.9.1	环境工程概况	199	【复习思考题】	249	
4.9.2	环境工程分类与特点	200	6	工程建设与管理	250
4.9.3	环境工程的发展趋势	203	6.1	基本建设与建设法规	250
4.10	水利水电工程	203	6.1.1	基本建设和建设程序	250
4.10.1	水利水电工程概况	203	6.1.2	建设法规	252
4.10.2	水利水电工程分类与特点	204	6.2	工程项目决策与评价	253
4.10.3	水工建筑物	209	6.2.1	工程项目决策	253
4.10.4	水利水电工程的发展趋势	209	6.2.2	工程项目评价	254
4.11	港口工程	210	6.2.3	工程项目决策与评价程序	255
4.11.1	港口工程概况	210	6.3	工程项目的招投标与承发包	255
4.11.2	港口的组成、分类与特点	210	6.3.1	工程项目的招投标	255
4.11.3	港口布置与水工建筑物	213			
4.11.4	港口工程的发展趋势	217			
4.12	海洋工程	218			

6.3.2 工程项目的发包与承包	258	7.2 工程灾害	285
6.3.3 工程承包合同管理	258	7.2.1 地震灾害	285
6.4 工程施工	259	7.2.2 风灾	288
6.4.1 工程施工概况	259	7.2.3 火灾	288
6.4.2 工程机械	260	7.2.4 地质灾害	289
6.4.3 工程施工内容	260	7.2.5 其他灾害	289
6.4.4 现代施工技术的发展趋势及 展望	271	7.3 工程抗灾	290
6.5 工程项目管理	272	7.3.1 工程防灾与减灾的对策	290
6.5.1 工程项目管理概况	272	7.3.2 工程结构灾后检测鉴定与 加固	291
6.5.2 工程项目管理的主要内容	273	7.3.3 工程灾害的启示	294
6.5.3 工程项目管理制度	274	7.4 工程防灾与减灾的发展趋势	295
6.5.4 工程项目控制	274	【复习思考题】	295
6.5.5 工程项目管理的现代化	275	8 计算机技术与土木建筑工程	296
6.6 工程建设监理	276	8.1 计算机技术应用概况	296
6.6.1 建设工程监理制度的产生 背景	276	8.2 计算机技术在土木建筑工程中的 应用	297
6.6.2 建设工程监理的内容和程序	276	8.2.1 计算机辅助设计	297
6.7 房地产开发与物业管理	277	8.2.2 计算机模拟仿真技术	298
6.7.1 房地产与房地产开发	277	8.2.3 信息化施工技术	300
6.7.2 物业与物业管理	278	8.2.4 3S 技术	302
6.8 工程建设与管理的发展趋势及 展望	280	8.2.5 人工智能和专家系统	304
【复习思考题】	281	8.3 计算机技术应用的前景展望及发展 趋势	305
7 工程防灾与减灾	282	【复习思考题】	309
7.1 灾害概况	282	参考文献	310
7.1.1 灾害的类型	282		
7.1.2 全球灾害情况	284		

1 绪 论

【内容提要和学习要求】

本章主要介绍了土木建筑工程的基本概念以及土木建筑工程所涉及的衣、食、住、行等主要领域。熟悉土木建筑工程的发展历史与人类社会文明、进步和科技发展的关系及其相互作用。重点掌握现代土木建筑工程的特点和内容。了解土木建筑工程的成就、前途及其发展进程。规划好自己的专业学习和职业生涯。

1.1 本课程的性质和任务

土木建筑工程概论是土木工程、建筑环境与设备工程、测绘工程、工程管理、城市地下空间工程、安全工程等相关专业关于土木建筑知识的专业入门课程，其目的是使学生对土木建筑工程有一个初步的了解，启发他们的专业兴趣，从而提高对专业学习的积极性。对于这些专业新生，引导他们走近土木建筑、认识土木建筑、了解土木建筑、热爱土木建筑和学好土木建筑，以便将来更好地服务于土木建筑，即是本书的主要任务。有些专业开设土木工程概论，有些专业开设建筑工程概论，本书是合二为一，称为土木建筑工程概论。

土木建筑工程是土木工程和建筑工程的统称，包括土木工程和建筑工程两部分。实际上土木工程已经包含建筑工程，只是本书把建筑工程单独列出而已。土木工程（civil engineering）一词原意是民用工程，以区别当时的军事工程（military engineering）。土木工程是指建造各类工程设施的科学、技术和工程的总称。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。

土木工程是一种工程分科，其特点是指用土、木、石、砖、瓦、混凝土、钢材、沥青、建筑塑料、铝合金等工程建筑材料和设备建造各种建筑物和构筑物，如修建房屋建筑、地下、隧道、道路（包括公路和城市道路）、铁路、桥梁、机场、给排水、环境、水利水电、港口、海洋、油田、矿业、特种结构、市政等工程的生产活动和工程技术。这种生产活动和工程技术还包括对上述各类工程的勘测、设计、开发、施工、装饰、管理、保养、维修等活动以及相应的工程技术。这里的建筑物特指房屋，凡直接供人类进行生活、生产或其他活动的建筑称为建筑物，如住宅、办公楼、学校、医院、商店、影剧院、体育馆、厂房、车间等各种房屋或场所。把不直接供人类在其内部使用的建筑称为构筑物，如道路、铁路、桥梁、机场、码头、水塔、烟囱、蓄水池、堤坝、水库、高炉、贮油罐、栈桥、井架、广播电视塔、铁塔、发射塔、纪念碑等各类工程设施，是为某种工程目的而建造。建筑物和构筑物通称为建筑。“建筑物”又常称为“建筑”。而建筑工程是土木工程中最具有代表性的一个分支，一般单指以房屋建筑为修建对象的生产活动和工程技术。主要解决社会和科技发展所需的衣、食、住、行中“住”的问题。表现为形成人类活动所需要的、功能良好和舒适美观的空间，满足人类物质和精神方面的需求。

土木工程的含义可从两方面去理解，一层含义是指与人类生活、生产活动有关的各类工程设施，如建筑工程、地下工程、隧道工程、道路工程、铁路工程、桥梁工程、市政工程

等；另一层含义是指为了建造工程设施应用材料、工程设备在土地上进行规划、勘测、设计、施工、装饰、管理、维修、保养等工程技术活动。但其领域随着其他相关学科的发展、经济建设及社会进步的需要而不断深化和拓展。

人类的一切活动都离不开土木工程，土木工程范围和内容非常广泛，几乎囊括国民经济所有行业，包括上述修建的所有工程内容和各种科技活动。如工业、农业、交通、通信、教育等各项事业，都离不开土木工程。通常把道路、铁路、桥梁、工厂、矿井、住宅、学校、商店、医院、农田水利等工程建设，统称基本建设，都是土木工程的“用武之地”，因基本建设投资 50% 以上都属于土木工程的范畴。建设项目包括单项、单位、分部和分项工程。

土木工程是一门传统、综合、不断发展的古老学科，是人类赖以生存和发展的基础，即土木工程学。土木工程学是指运用数学、物理、化学等基础科学知识，力学、材料等技术科学知识以及土木工程方面的工程技术知识来研究、设计、修建各种建筑物和构筑物的一门学科。土木工程学是土木工程技术的基础，担负着驱使这一技术不断发展所必要的结构、设施、装置的规划、设计、施工以及维修管理的理论和实践的研究任务，属于工程科学的范畴。土木工程的进步不仅为人类生产、生活提供了最基本的物质保障，而且也大大地推进了相关科学和技术的进步。

土木工程所要解决的问题是：首先能创造新的环境，形成人类生存所需要的、功能良好的、舒适美观的空间、通道和环境等；其次能够实施对各种灾害的防御，抵御自然灾害或人为的作用力；第三能充分发挥材料的功能和作用；最后能“好、快、省”地组织人力、物力和财力，把工程设施建造成功。显然，土木工程具有社会性，综合性，实践性，技术、经济 and 艺术的统一性等基本属性，牵涉面十分广阔。社会性表现在随社会不同历史时期的科学技术和管理水平而发展；综合性体现在是运用多种工程技术，进行勘测、设计施工工作的成果；实践性是由于影响土木工程的因素错综复杂，使土木工程对实践的依赖性很强；土木工程是为人类需要而服务的，必然是每个历史时期技术、经济、艺术统一的见证。

由上可知，土木建筑工程直接与人类的衣、食、住、行等日常生活、生产密切相关，人类的生存及社会的发展都离不开建造各类建筑物、构筑物和修建各种工程设施。土木建筑业是一个古老的行业，是真正的“古老而又年轻”的学科，是永恒的“朝阳产业”。土木建筑工程是国民经济发展的关键和重要标志，是百年大计，社会需求量大、不易饱和，具有恒久性、涉及面广、难点多、难度高、效益大、投入大、回收周期长，能大幅度拉动国民经济，提供大量的就业岗位。因此，土木建筑工程具有强大的生命力，在国民经济建设中起着非常重要的作用，并占有举足轻重的地位。

1.2 本课程的教学要求和学习建议

1.2.1 教学要求

本课程系统地阐述土木建筑工程的专业基本知识、基本要点和综合知识的主要构成。其目的是为学生学习土木建筑工程专业的基本知识，了解和掌握土木建筑工程项目规划、勘测、设计、研究、开发、施工与管理的基本知识、基本理论和基本方法以及学习各专业课程打下基础。培养学生的自学能力，语言、文字、图面等表达能力，综合分析和解决问题的能力，创新意识、创造性思维和创新实践能力与实践以及公关、协调和管理能力，具有审美观和经济头脑。

其主要知识和能力要求是：具有扎实的专业基础知识和基本理论；掌握工程力学、流体

力学、岩土力学和市政工程学科的基本理论；掌握工程规划与选型、工程材料、结构分析与设计、地基处理、施工技术和施工组织方面的基本知识；掌握工程测量、测试与试验的基本技能；具有工程制图、计算机应用、主要测试和试验仪器使用的基本能力；具有综合应用各种手段（包括外语）查询资料、获取信息的初步能力；了解土木工程的一般技术工作、主要政策法规和主要成就；具有进行工程设计、试验、施工、管理和研究的初步能力；具有较广泛的工作适应性；具有宽厚的基础知识和良好的个人文化素质；具有创新精神、创新意识和创新能力，适应社会发展对创新性人才素质的要求。

按照教育学的解释：素质是指“人在先天生理基础上受后天环境、教育影响，通过个体自身的认识和社会实践，养成的比较稳定的身心发展的基本品质”。

对所培养人才的素质要求：在认知方面，掌握本专业知识和方法；在技能和能力方面，提高信息处理、应用、思维、创新和公关的能力；在思想和情感方面，培养良好的思想、政治和道德品质；在意识和意志方面，提升实践、质量、协作、竞争和创新意识及能力；在心理和体魄方面，形成良好的学风、作风和体能。

对学生的教学和培养可采用课堂理论讲解、小组讨论、书写报告、实验教学、工地实习或电化教学（观看录像、录音、计算机辅助教学）、与老师交流、设计训练等主要形式和方法。

对于开设土木工程概论的专业，可讲授土木工程设计相关理论和知识、基础工程、工程材料与制品、工程类型与构造、工程结构设计、工程施工、工程建设项目管理、工程防灾与减灾以及计算机技术在土木建筑工程中的应用等内容；而开设建筑工程概论的专业，可重点讲授建筑工程设计理论和知识、建筑材料基本知识、建筑构造以及施工图识读的相关内容。

1.2.2 学习建议

我们所培养的学生是未来的工程师，属于技术家的范畴，也可能成为科学家。由于本学科涉及的知识面广、实践性强，而且土木建筑工程技术发展迅速。因此，学生在学习过程中必须理论联系实际，既要重视基础科学和技术科学的学习，又要重视专业工程技术的学习。特别要重视与工程实践有关的专业工程技术知识和技能的学习及应用，重视工程意识和创新精神的培养与形成，以及能力的训练和提高，以适应多变的社会需求和个性发展的需要。

学生可通过课堂理论学习、撰写论文报告、实验、录像、课堂讨论、与老师交流、现场教学、案例教学、教学参观、工地实习、设计训练、社会实践和考核等方式，得到各种素质的培养和能力的提高。除了对课堂讲授的基本知识、基本理论和基本方法加以理解和掌握之外，还必须随时了解国内外土木建筑工程的最新发展动态。通过该课程的学习，要求学生以后的工作中应该知道在技术上会不会去做，在法律上可不可以做，在经济上值不值得做，在生态可行性和可持续发展上应不应该做的硬道理。

在学习上要求学生勤奋学习、刻苦钻研、科学严谨、勤于探索、努力实践、勇于创新、交融集体、身心健康和适应时代的发展。拓宽专业知识面，夯实基础和提高应变能力，不论是在技术素质上，还是人文素质上应都有所提高。

1.3 土木建筑工程的发展历史与未来展望及可持续发展

1.3.1 科学、技术与工程的概念和关系

在学习土木建筑工程的发展历史时首先要弄清科学、技术和工程的基本概念。

科学是指关于事物的基本原理和事实的有组织、有系统的知识。其任务是研究世界万事万物的本质和机理,以及它们发展变化的客观规律。如数学、物理、化学、天文等基础科学是研究自然界最基本的客观规律。如固体力学、流体力学、机械学、电工学等技术科学是研究相邻几门工程方面共同性的自然规律。其中科学家则是从事科学研究的专家,有自然科学家和社会科学家。

技术是根据自然科学原理或生产实践经验而转化成的各种生产工艺、作业方法、操作技能、设备装置等的总和。其任务是利用和改造自然,为生产完成满足人类需要的某种产品服务,如农业技术、土木工程技术等。其中技术家则是从事技术工作的专门家,如工程师、医师、农艺师、园艺师等。

科学与技术是有很大区别的,是两个不同的概念。科学主要是指事物的本质和客观规律;技术主要是各种生产工艺、作业技能。科学是基础,应用科学可以开发技术;技术的发展,能进一步发展科学;两者相互促进,相辅相成。但在现实生活中是将“科学技术”作为一个词来使用的。

工程则是将自然科学的原理应用到工农业生产部门中去形成的各种学科的总称,即运用自然科学原理、各种技术手段或实践经验,生产开发对社会有用的产品和实践活动的各种学科的总称,是指土木建筑或其他生产、制造部门用比较大而复杂的设备来进行的工作。其任务是利用和改造自然为人类服务。一般来说,工程不仅与科学、技术有关,而且还受到经济、政治、法律、美学等多方面的影响。如土木工程、机械工程、化学工程、水利工程等。其中工程师是从事工程活动的技术家,有工程技术型、研究开发型和工程管理型工程师。

目前,我国实施的执业资格制度是市场经济国家对专业技术人才管理的通用规则。如注册建筑师、注册结构工程师、注册建造师、注册监理工程师、注册造价工程师、注册岩土工程师等。规划师负责工程环境,就像规划人的生活环境;建筑师负责工程布局和艺术处理,好像人的体型、容貌和气质;结构工程师负责工程骨架(结构),好比人的骨骼和寿命;设备工程师负责工程给排水、暖通和电照等设施,犹如人的器官和神经。作为未来的土木建筑工程师不仅要完成工程的各类设计、保证工程能承受各种作用力,同时,还能根据现有的物质基础(土地、材料、施工机具等)经济而迅速地地完成其建造任务。

1.3.2 土木建筑工程的发展历史

人类出现以来,为满足衣、食、住、行以及生产活动需要,从构木为巢、掘土为穴、夯土为基、架空窝棚或地窝棚、栽桩架屋(干栏式建筑)的原始操作开始,到今天建造的摩天大厦、万米长桥,以至移山填海的宏伟工程,经历了漫长的发展过程。发展贯通古今,同社会、经济,特别是与科学、技术的发展有密切的联系。土木建筑工程内涵丰富,就其本身而言,则主要是围绕着材料、施工、理论三个方面的演变而不断发展的。

土木建筑工程发展经历了古代、近代和现代三个历史时期,其典型示例或事件(表1-1)。

表 1-1 古代、近代和现代土木建筑工程发展的典型示例或事件

阶段	世 纪	范例或事件
古代土木建筑工程	公元前 50~前 11 世纪	约公元前 50~前 33 世纪,浙江余姚河姆渡新石器时代遗址 约公元前 50~前 30 世纪,黄河流域的仰韶文化遗址 约公元前 48~前 36 世纪,西安半坡村遗址 约公元前 30 世纪,浙江吴兴钱山漾遗址 约公元前 27~前 26 世纪,古埃及帝王陵墓建筑吉萨金字塔群 约公元前 11 世纪,安阳殷墟遗址

续表

阶段	世 纪	范例或事件
古代 土木 建筑 工程	公元前 5~前 1 世纪	约公元前 5 世纪 447~407 年,古希腊雅典卫城 约公元前 5 世纪 478 年,山东曲阜孔庙开建 约公元前 5 世纪,春秋齐国土木建筑工程专著《考工记》问世 约公元前 5~前 3 世纪,始建于春秋战国时期的万里长城,总长约 6700km 约公元前 5~前 4 世纪,河北临漳西门豹主持修筑引漳灌邺工程 约公元前 3 世纪 256~251 年,战国时期李冰父子主持修建都江堰工程 约公元前 2 世纪,古罗马用石灰和火山灰作胶凝材料,制成天然混凝土 约公元前 1 世纪 27 年,古罗马建筑师维特鲁威《建筑十书》问世
	1~10 世纪	约 2 世纪 120~124 年,古罗马万神庙 约 2 世纪,徐州浮屠寺塔 约 6 世纪 532~537 年,东欧拜占庭君士坦丁堡的圣索菲亚大教堂 约 7 世纪,隋朝开凿的世界历史上最长的南北大运河(京杭大运河) 约 7 世纪 605~618 年,河北赵州桥是隋代敞肩式单孔圆弧弓形石拱桥 约 7 世纪,17 世纪 1645 年又重建,西藏拉萨布达拉宫
	10~16 世纪	约 8~9 世纪,山西五台山南禅寺、佛光寺大殿 约 10~11 世纪 1100 年,北宋李诫《营造法式》问世 约 11 世纪 1056 年,辽代山西应县木塔即佛宫寺释迦塔 约 11~13 世纪,意大利比萨大教堂(1063~1350 年)、法国巴黎圣母院(1163~1257 年) 约 14 世纪 1407~1420 年,北京故宫 约 16 世纪 1506~1626 年,意大利罗马圣彼得大教堂
近代 土木 建筑 工程	17 世纪	1638 年意大利伽利略首次用公式表达梁的设计理论 1687 年英国牛顿的力学三大定律问世,奠定工程力学分析的基础
	18 世纪	1744 年瑞士数学家欧拉建立了柱的压屈理论公式 1773 年法国工程师库伦发表建筑静力学问题及土压力理论 1750 年以后瓦特发明蒸汽机,引发了英国著名的工业革命 1779 年英国用铸铁建成跨度 30.5m 的科尔布鲁克代尔拱桥
	19 世纪	1816~1819 年英国工程师马克当碎石路面筑路法问世(马克当路面) 1818 年法国工程师布律内尔获得发明隧道盾构的专利权 1824 年英国泥瓦匠阿斯普丁发明波特兰水泥,取得专利,1850 年生产 1825 年法国力学家、工程师纳维建立了工程结构设计的容许应力分析法;同年英国用盾构技术开凿泰晤士河底隧道、斯蒂芬森建成第一条长 21km 的铁路 1826 年英国工程师特尔福德用锻铁建成跨度 177m 威尔士梅奈悬索桥 1851 年英国建成采用铸铁梁柱、玻璃覆盖的伦敦世博会水晶宫 1853 年美国奥蒂斯发明电梯 1856 年英国工程师贝塞麦发明转炉炼钢法,提高了钢材的产质量 1863 年英国伦敦建成世界第一条长 7.6km 的地下铁道 1865 年中国上海开始供应煤气 1867 年法国工程师莫尼埃发明了钢筋混凝土 1869 年美国建成横贯北美大陆的铁路、苏伊士运河开通 19 世纪 60 年代内燃机问世、70 年代电机出现 1870 年美国哥伦比亚大学教授斯米德特发明沥青混凝土 1871 年瑞士用风钻修筑 8 英里长隧道 1875 年法国工程师莫尼埃建造了第一座长 16m 钢筋混凝土桥 1879 年中国旅顺建成近代给水工程 1883 年美国芝加哥建成第一座高达 11 层保险公司大楼,开创了建造高层建筑的时代;美国建成世界第一座全长 1053m 大跨钢悬索桥即布鲁克林桥;同年德国戴姆勒发明内燃机 1885 年德国本茨发明汽车;德国奔驰汽车问世,带动了高速公路发展 1886 年英国工程师杰克逊首次提出应用预应力混凝土制作建筑构件 1889 年巴黎建成高达 300m 埃菲尔铁塔、中国唐山建成第一个水泥厂 19 世纪末里特等人提出钢筋混凝土理论,应用了极限平衡的概念 1890 年英国福斯湾建成两孔主跨达 521m 悬臂式桁架梁桥 1891 年芝加哥建成 16 层、有电梯最高的莫纳德·洛克砌体结构大楼 1894 年中国建成用气压沉箱法施工的滦河桥 1895 年创办天津北洋西学学堂(后称北洋大学,今天津大学) 1896 年创办北洋铁路官学堂(后称唐山交通大学,今西南交通大学)

续表

阶段	世 纪	范例或事件
近代土木建筑工程	20 世纪前半叶	20 世纪初发表的水灰比等学说,才初步奠定混凝土强度的理论基础 1901 年建成全长 1027m 哈尔滨松花江桁架桥 1903 年美国建成世界第一幢混凝土结构高层建筑辛辛那提英格尔夫大楼 1905 年建成全长 3015m 郑州黄河桥 1906 年瑞士修筑通往意大利 19.8km 长的辛普朗隧道,使用大量黄色炸药以及凿岩机等先进设备;同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 1908 年上海建造中国最早的钢筋混凝土框架结构上海电话公司大楼 1909 年中国著名工程师詹天佑主持兴建京张铁路,全长 200km,沿程 4 条隧道,最长的八达岭隧道 1091m 1910 年开始生产机制砖 1912 年成立中华工程师会,詹天佑为首任会长 1914 年巴拿马运河开通 1918 年加拿大建成跨度 548.6m 魁北克悬臂桥 1922 年建成仿古希腊神殿式的美国林肯纪念馆 1925~1933 年法、前苏联和美分别建成跨度 60m 圆壳、扁壳和圆形悬索屋盖 1928 年法国工程师弗雷西内发明预应力混凝土(应用高强钢丝) 1929 年中国建成南京中山陵 1931 年建成跨度 30m 广州中山纪念馆。同年纽约建成高达 381m、102 层帝国大厦,保持纪录达 40 多年。纽约也建成主跨 504m 的公路钢桁架拱桥即贝永桥 1931~1942 年,德国首先修筑长达 3860km 高速公路网,美国和欧洲其他国家相继效仿 1932 年,澳大利亚建成悉尼港桥,双铰钢拱结构,跨度 503m 1934 年上海建成 24 层钢结构国际饭店、21 层百老汇大厦(今上海大厦)和 12 层钢筋混凝土结构的大新公司 1936 年成立中国土木工程师学会 1937 年桥梁专家茅以升主持建成采用沉箱基础、公路铁路两用全长 1453m 钢桁架钱塘江大桥;同年美国旧金山建成跨度 1280m、全长 2825m 金门悬索桥,是世界第一座单跨超过千米的悬索大桥 1939 年法国工程师弗雷西内、1940 年比利时工程师马涅尔改进了预应力筋的张拉和锚固方法 1940 年美国跨度 853m 塔科马悬索桥毁于风振,开始结构抗风研究 1947 年墨西哥湾建造了世界第一座钢结构海上采油平台
现代土木建筑工程	20 世纪	1952 年英国制造商皮尔金顿发明了浮法玻璃;中国成昆铁路建成 1954 年中国川藏公路和青藏公路建成通车 1956 年瑞典建成跨度 182.6m 斯特伦松德桥,世界上第一座现代斜拉桥 1957 年中国建成长 1670m 武汉长江大桥 1961 年建成净跨为 94m 辐轮式悬索结构屋面的北京工人体育馆 1964 年时速为 210km 世界第一高速铁路在日本诞生 1968 年莫斯科建成高 540m 电视塔;中国建成铁路(长 6772m)、公路(长 4588m)两用南京长江大桥 1969 年美国建成全长 38.4km 庞恰特雷恩湖桥 1970 年中国建成长 2.76km 第一条水底隧道(上海黄浦江打浦路隧道) 1973 年建成澳大利亚悉尼歌剧院和美国 110 层、高 417m 纽约世贸中心 1974 年巴黎戴高乐机场建成 4 条跑道,年吞吐量 5000 万人次;同年美国芝加哥建成西尔斯大厦高 443m,首次突破纽约帝国大厦高度 1975 年加拿大建成高 553.34m 多伦多电视塔;重庆云阳建成主跨为 75.84m 双塔斜拉桥 2006 年爆破拆除;上海建成直径 110m 屋顶网架结构的上海体育馆(上海大舞台) 1976 年建成广州白云宾馆,高 112.45m 1980 年英国建成单跨达 1410m 亨伯尔悬索桥;克罗地亚大跨度钢筋混凝土桥克尔克桥最大跨度达 390m 1982 年济南建成主跨为 220m 黄河公路斜拉桥 1983 年西班牙建成单跨达 440m 卢塞纳预应力混凝土斜拉桥;同年建成法国巴黎到里昂的高速铁路,时速达 270km;中国完成引滦入津工程 1985 年世界最长的达 53.85km 日本青函海底隧道建成,1988 年通车 1984 年美国康涅狄格州哈特福德诞生世界第一幢 38 层智能商业办公大厦 1987 年建成通车跨度达 260m 天津永和桥 1990 年建成高 315m 香港中国银行大厦 1992 年建成高 374m 香港中环广场大厦 1993 年英吉利海峡海底隧道通车,全长 50.5km,处于海平面下 100m 深;同年上海建成主跨 602m 杨浦斜拉桥 1994 年我国建成时速达 160km 第一条准高速铁路(广深高速铁路);上海建成高 468m“东方明珠”电视塔 1995 年建成主跨 856m 法国诺曼底斜拉桥 1996 年马来西亚吉隆坡建成高 452m 石油双子星塔楼;中国建成全长 2000km 京九铁路通车;深圳建成总高度 384m 地王大厦即信兴广场大厦 1997 年香港建成主跨 1377m 青马大桥(悬索桥);重庆万县建成一座拱跨 420m 混凝土拱桥,居世界第一 1998 年建成主跨 1991m 日本明石海峡大桥(悬索桥) 1999 年中国建成主跨 1385m 江阴长江大桥(悬索桥);上海建成高 420.5m 金茂大厦;日本建成主跨 890m 多多罗大桥(斜拉桥)

续表

阶段	世 纪	范例或事件
现代 土木 建筑 工程	21 世纪	1993~2009 年中国三峡工程 1997~2008 年上海建成高 492m、101 层上海环球金融中心 1999~2003 年中国台北建成高 508m 台北 101 大楼 2001~2006 年中国青藏铁路修建, 全长 1100km 2002~2005 年中国西气东输工程开始通气, 全长 4167km 2003~2008 年北京国家体育场即“鸟巢”、国家游泳中心即“水立方” 2004 年建成高 339m 的四川广播电视塔 2004~2010 年阿联酋迪拜塔即哈利法塔 160 层, 总高 828 米 2006~2008 年中国首都机场扩建, 年吞吐量 6000 万人次 2006~2050 年中国南水北调工程, 共调水 448 亿 m^3 2008 年建成总长度 36km 杭州湾跨海大桥 2008~2011 年开通运营我国第一条高速铁路(京沪高速铁路), 为客运专线, 全长约 1300km, 时速 300/350km, 全封闭、全立交 2010 年建成全长 7800m 胶州湾海底隧道即胶州湾隧道 2010~2030 年成都天府新区建设, 规划面积 1578 km^2 , 人口 600~650 万, 建设用地约 650 km^2 2011 年建成全长 41.58km 青岛海湾大桥即胶州湾跨海大桥

1.3.2.1 古代土木建筑工程

古代土木建筑工程时间跨度长, 其历史大致从新石器时代(约公元前 5000 年起)~17 世纪中叶, 前后约 7000 年。

古代土木建筑主要由土、木头和石头等建造的, 这就是“土木”一词的由来。人类最初居无定所, 原始人为避风雨、防兽害, 利用山洞和森林等天然掩蔽物作为居处, 农业出现以后需要定居, 出现了原始村落, 于是便开始了它的萌芽时期。大规模的建筑活动是从奴隶社会开始的。随着古代文明的发展和社会进步以及生产经验的积累, 古代土木建筑工程经历了它的形成时期和发达时期, 不过因受到社会经济条件的制约, 发展颇不平衡。但在房屋建筑、桥梁、水利和高塔工程等方面都取得了辉煌成就。主要有木结构、石结构和砖结构等。

该阶段特点是以天然材料为主, 以及混合材料和加工后形成的材料。工艺技术简单, 早期用石制器具, 后来用人工打造的金属工具, 逐步产生了窑制和煅烧加工技术, 以及打桩机、桅杆起重机等简单施工机械。分工逐步专业化, 以经验总结和形象描述为主, 缺乏理论依据。

萌芽时期: 古代土木建筑最初所用的材料完全取自当地的天然材料, 如泥土、树枝、树皮、树叶、树干、竹、茅草、芦苇、砾石、骨等。后来发明煅烧加工技术, 能制作材料, 如红烧土、白灰粉、土坯、石材等, 并逐渐懂得使用草筋泥、混合土等复合材料, 模仿天然掩蔽物建造居住场所, 开始了人类最早的土木建筑工程活动。生产工艺、施工机具也很简单, 在工艺技术上使用简单的石器工具, 如石刀、石斧、石铲、石锤、石镑、石凿、石夯等。初期建造的住所仅有“窟穴”和“槽巢”两种类型。中国发现的新石器时代遗址已超过 7000 处, 遍布全国各地。其中最早的是河南新郑裴李岗和河北武安磁山两处, 距今已有 7000~8000 年历史。该时期特点是采用天然材料和简单工具建房、筑路、挖渠、造桥, 土木建筑工程从无到有。如西安半坡村遗址、浙江余姚河姆渡遗址和英国巨石阵等代表性工程。

在我国黄河流域的仰韶文化遗址中, 遗存有浅穴和地面建筑, 建筑平面有圆形、方形和多室联排的矩形。西安半坡村遗址(图 1-1)属新石器时代仰韶文化, 距今 6000 年左右。遗

址东西最宽处近 200m, 南北最长超过 300m, 总面积约 5 万平方米, 分为居住、陶窑和墓葬三个区。居住区约 3 万平方米, 较为完整的建筑基址有 40 余座。居住区周围有宽、深各 5~6m 的壕沟堑环绕, 上面架有独木桥。构筑房屋或圆或方或地上或地下, 房之间散置许多贮藏窖穴。圆形房屋直径为 5~6m, 室内竖有木柱, 以支顶上部屋顶, 四周密排一圈小木柱, 既起承托屋檐的结构作用, 又是维护结构的龙骨; 方形房屋承重方式完全依靠骨架, 柱子纵横排列, 这是木骨架的雏形。当时的柱脚均埋在土中, 木杆件之间用绑扎结合, 墙壁抹草泥, 屋顶铺盖茅草或抹泥。住房建筑环绕一个广场布置, 中央偏东, 有一座面向广场的大房子, 属方形半地穴式建筑。在西伯利亚发现用兽骨、北方鹿角架起的半地穴式住所。而郑州大河村遗址, 距今已约 5000 年, 属新石器时代仰韶文化晚期。

浙江余姚河姆渡遗址 (图 1-2) 属于新石器时代遗址, 约为公元前 6000 年。有跨距达 5~6m、联排 6~7 间的房屋, 底层架空, 属于栏式建筑形式。构件的结点主要是绑扎结合, 个别建筑已使用榫卯结合。在没有金属工具的条件下, 用石制工具凿出各种榫卯是很困难的, 这种榫卯结合方式代代相传, 延续到后世, 为以木结构为主流的中国古建筑开创了先河。

英国南部威尔特郡索尔兹伯里平原环状列石 (也称巨石阵, 图 1-3), 欧洲巨石文化遗址, 保存最完整的环状列石, 为原始社会晚期出现的纪念性巨石建筑。约建于公元前 2500~公元前 1500 年, 距今已经有 4300 多年。布局直径约 32m, 石杆高 5m 余, 当中有五座门状的石塔。据测, 石杆与石门的排列及间距同每年主要节令日中太阳与月亮起落时所投的阴影有关。

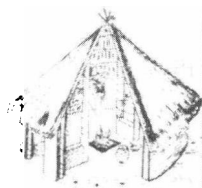


图 1-1 半坡遗址



图 1-2 河姆渡遗址



图 1-3 索尔兹伯里巨石阵

形成时期: 大约自公元前 3000 年。在材料方面, 逐步产生了窑制, 开始出现经过人工烧制加工的瓦和砖, 这是土木建筑工程发展史上的一件大事。以后有了青铜、铁、铅等; 在工具方面, 开始使用青铜、铁制的斧、凿、刀、铲、钻、锯等工具, 并有简单的施工起重机械等。在构造方面, 形成木构架、石梁柱、券拱等结构体系; 在工程内容方面, 有宫室、陵墓、庙堂等, 还有较大型的道路、桥梁、水利等工程。其特点是铁制工具逐渐推广, 使用简单的施工机械, 出现经验的积累和总结及形象描述的土木工程著作, 逐步形成了指导工程实践的成规。如《考工记》, 记述了木工、金工等工艺, 以及城市、宫殿、房屋建筑规范, 对后世的宫殿、城池及祭祀建筑的布局有很大影响。在一些国家或地区已形成早期的土木建筑工程, 其代表性工程, 如古埃及金字塔、古希腊雅典卫城、中国的长城、都江堰等。

古埃及帝王陵墓建筑群——吉萨金字塔群 (图 1-4)。包括胡夫金字塔、卡夫拉金字塔、孟卡拉金字塔和斯芬克斯像, 以及西、南两面长方台式墓与多座小型金字塔等纪念性建筑。三座大金字塔都用淡黄色石灰石砌筑, 外贴一层磨光的白色石灰石。塔身是精确的正方锥形, 彼此平面位置沿对角线相接。狮身人面像高 20m, 长约 73.2m。胡夫大金字塔的 4 个斜面正对东、南、西、北四方, 误差不超过圆弧的 $3'$, 塔底边原长 230.5m, 原高 146.5m, 因顶端剥落, 现高 136.5m, 相当于一座 40 层摩天大楼。塔身由大小不一的 230 万块巨石组成, 每块重量在 1.5~160t, 石块间合缝严密, 不用任何黏合物。由北侧离地面 14.5m 处的人

口经长甬道可达上、中、下三个墓室。胡夫金字塔工程浩大，结构精细，其建造涉及测量学、天文学、力学、物理学和数学等各领域，被称为人类历史上最伟大的石头建筑，至今还有许多未被揭之谜。金字塔反映古埃及几何、测量和起重运输机械知识已达到相当高的水平。

古埃及也建造了大量的宫殿和神庙建筑群，如公元前 16~公元前 4 世纪在底比斯等地兴建了凯尔奈克神庙建筑群等。

古希腊雅典卫城（图 1-5），在建筑、庙宇、柱式等方面都具有极高的水平。如帕提农神庙全用白色大理石砌筑，庙宇宏大，石质梁柱结构精美，是典型的列柱围廊式建筑。

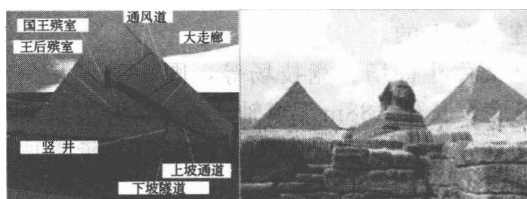


图 1-4 吉萨金字塔群

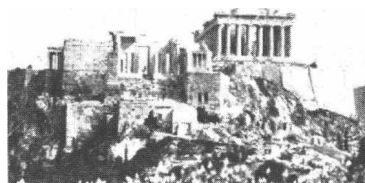


图 1-5 雅典卫城中的帕提农神庙

中国古代规模最宏大的防御工程——万里长城（图 1-6）。长城是中华民族的象征，全长 12000 多里，是世界上最伟大的建筑之一。春秋时楚国最早夯土筑长城长数百里，称“方城”，在今河南方城县。战国时齐、魏、燕、赵、秦等国也相继兴筑。秦始皇以过去秦、赵、燕三国的北方长城为基础，修缮增筑，形成西起临洮，东至辽东的万里长城。明代对长城进行了大规模的修缮和增筑。明长城东起鸭绿江，西达嘉峪关，全长约 6700km，后经历代多次修筑而留存至今，成为举世闻名的长城，现在我们能看到的长城几乎都是明代所建。八达岭长城是明长城中保存最好的一段，也是最具代表性的一段，是明代长城的精华，这里是长城重要关口居庸关的前哨，地势险要，城关坚固，历来是兵家必争之地。

公元前 21 世纪，传说夏代部落头领禹用疏导方法治理洪水，挖掘沟渠，进行灌溉。战国魏（公元前 445 年~公元前 396 年），西门豹在今河北临漳主持修筑引漳灌邺工程，是中国最早的多首制灌溉工程。公元前 3 世纪，中国秦代在今广西兴安开凿灵渠，总长 34km，落差 32m。战国时期秦国蜀郡太守李冰父子在今四川灌县主持修建都江堰大型水利工程（图 1-7），位于四川省灌县城西的岷江中游。都江堰枢纽工程由分水导流工程、溢流排沙工程和引水口工程组成（鱼嘴分水堤、飞沙堰溢洪道、宝瓶口进水口三大部分）。以灌溉为主，兼有防洪、水运、供水等多种效益，解决了围堰、防洪、灌溉以及水陆交通问题。是世界上最早、最长的综合性大型无坝引水枢纽工程，一直沿用至今仍造福于四川人民，使成都平原成为沃野千里的“天府之国”。

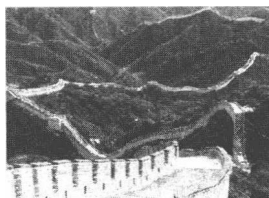


图 1-6 万里长城

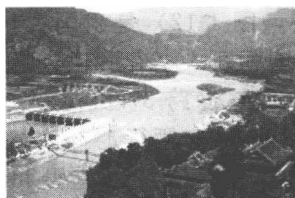


图 1-7 都江堰



图 1-8 加尔输水道桥

发达时期：随着道路、桥梁、水利、排水等工程日益增加，大规模营建宫殿、寺庙等。工程专业分工上日益细致，逐步专业化，技术日益精湛，如木工、瓦工、泥工、土工、石工、窑工、雕工、彩画工等，主要靠经验的摸索和师徒间的传授为主，依靠手工劳动，并没

有系统的设计理论, 缺乏科学理论上的依据和指导, 但从设计到施工已有一套成熟的经验。

特点是对土木工程的认识进一步深化, 出现了众多的优秀工匠和技术人才, 编写出许多优秀的土木工程著作, 如古罗马建筑师维特鲁威著《建筑十书》奠定了欧洲土木建筑科学的体系, 还有中国北宋喻皓著的《木经》、李诫著的《营造法式》、意大利文艺复兴时期阿尔贝蒂著的《论建筑》(1450~1452年)等。代表性工程有古罗马加尔输水道桥、河南登封嵩岳寺塔、河北赵县赵州桥、中国京杭大运河、佛宫寺释迦塔(应县木塔)、巴黎圣母院等。

公元前3~公元2世纪, 古罗马采用券拱技术筑成隧道、石砌渡槽等城市输水道11条, 总长530km。如古罗马尼姆城的加尔河谷输水道桥(约公元前63年~公元前13年建, 图1-8), 有268.8m长的一段是架在3层叠合的连续券上的。

约建于公元70~82年的古罗马大角斗场(又称斗兽场、竞技场等, 图1-9), 是一种平面为椭圆形的建筑物。建在几座小山之间的谷底, 长轴188m, 短轴156m, 周边长527m, 观众座位以62%的坡度升起。结构的主要承重部分采用灰华石, 拱顶和上层的承重墙用混凝土, 骨料里添有浮石。

古罗马万神庙是穹顶技术的最高代表(图1-10)。平面为圆形, 上覆古代世界最大的圆穹顶, 穹顶直径43.3m, 顶部矢高43.3m, 中央开一个直径8.92m的圆洞。基础、墙和穹顶都用火山灰水泥制成的混凝土浇筑。基础底宽7.3m, 墙和穹顶底部厚6m, 穹顶顶部厚1.5m。穹顶内表面作凹格以减轻重量, 共5排, 每排28个。墙上除大门外有7个凹室, 也能起减少施工量的作用。墙里和穹顶里都有砖券, 结构作用不明显, 可能出于施工需要。

建于君士坦丁堡(今土耳其伊斯坦布尔)的圣索菲亚大教堂(图1-11)为东正教的中心教堂。是东欧拜占庭建筑最光辉的代表。为集中式建筑, 东西长77.0m, 南北长71.7m。该教堂正中是直径32.6m, 高15m(穹顶离地高54.8m)的砖砌穹顶(圆形球壳), 外面覆盖铅皮, 有40个肋, 通过帆拱架在四个7.6m米宽的石砌墩子上。中央穹顶的侧推力在东西两面由半个穹顶扣在大券上抵挡, 它们的侧推力又各由斜角上两个更小的半穹顶和东、西两端的各两个墩子抵挡。这两个小半穹顶的力又传到两侧更矮的拱顶上去。中央穹顶的南北方向则以18.3m深的四片墙抵住侧推力。

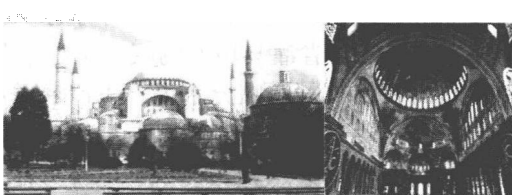
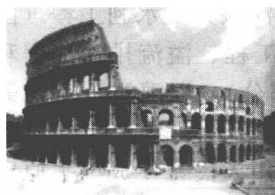


图 1-9 古罗马大角斗场

图 1-10 古罗马万神庙

图 1-11 圣索菲亚大教堂

河北赵县赵州桥(又称安济桥, 图1-12)是我国古代石拱桥的杰出代表, 也是世界著名的、最早的敞肩式古石拱桥。为隋朝匠人李春所建。赵州桥是世界现存最早、跨度最大的空腹式单孔圆弧石拱桥, 全长50.83m, 净跨37.02m, 矢高7.23m, 桥面宽9m。其特点是桥身弧形平缓, 既节约石料又便于行人和车辆行走。敞肩拱的运用, 既能减轻桥身重量, 又利于排洪。该桥无论在材料使用、结构受力、艺术造型和经济上都达到极高成就。

中国京杭(北京—杭州)大运河(图1-13)是世界历史上最长的大运河, 全长约1794km。至今该运河的江苏、浙江段仍是重要的水运通道。

西藏布达拉宫(图1-14), 公元七世纪, 吐蕃王松赞干布为迎娶唐朝的文成公主, 在红山之上修建了九层楼宫殿一千间, 取名布达拉宫以居公主。以后经历代扩建, 便成今日之规模。主楼有13层, 主要由东部的白宫、中部的红宫及西部白色的僧房组成。