

—— 大学教材 ——

土 木

工程概论

主编◎朱克亮 周国新

副主编◎黄杨一 刘合耀

云南出版集团公司
云南科技出版社

土 木 工 程 概 论

主 编 朱克亮 周国新

副主编 黄扬一 刘合耀

云南出版集团公司

云南科技出版社

• 昆明 •

图书在版编目(CIP)数据

土木工程概论 / 朱克亮, 周国新主编. —昆明:
云南科技出版社, 2013. 8

ISBN 978 - 7 - 5416 - 7412 - 9

I. ①土… II. ①朱… ②周… 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(2013)第 185702 号

责任编辑:王 韬 王建明 叶佳林

责任校对:叶水金

责任印制:翟 苑

封面设计:魔弹文化

云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码:650034)

三河市新新艺印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:21 字数:447 千字

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

前 言

土木工程建设日新月异,在我国经济发展中基础性地位日益突出。当前土木工程发展所面临的资源、环境压力日益加大。土木工程采用绿色、环保科技,走可持续发展的理念日益深入人心。近年随着高等学校招生规模逐步扩大,土木工程专业招生规模显著增加,将土木工程领域的最新进展和未来发展趋势介绍给本专业的学生,特别是刚入学的新生,对其全面了解专业情况、树立专业理想具有重要意义。

本书编写着重体现“反映时代特点、强化基本概念、实用与创新并重”的思想,具体编写特点如下:

1. 以建筑工程方向为主线,较全面地介绍土木工程专业的各个层面,包括土木工程的内涵和发展简史、土木工程材料、地基与基础、建筑工程、桥梁工程、道路与铁道工程、土木工程施工、土木工程管理、土木工程防灾减灾、高新技术应用、土木工程注册师制度等方面内容。

2. 编写考虑课程特点,以较小的篇幅(按照 20~30 学时课堂教学计划编写),力求通俗易懂,便于读者自学。

3. 为体现“科学发展”时代特点,在适当介绍了土木工程与资源消耗及可持续发展关系、土木工程高新技术应用等内容。

本书可作为高等学校土木工程、建筑学、城市规划专业的教材,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书,亦可为其他工程类、人文类专业学生的选修教材使用。

本书主编为朱克亮、周国新,副主编为黄扬一(长江水利委员会工程建设监理中心)、刘合耀(长江勘测规划设计研究院),其中朱克亮编写第一章至第三章,周国新编写第五章至第七章,黄扬一编写第八章、第九章,刘合耀编写第十章、第十一章。

编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,恳请读者批评指正,多提宝贵意见。

编者

目 录

第1章 绪 论	1
§ 1.1 土木工程的概念	1
§ 1.2 土木工程的历史与发展	3
§ 1.3 注册师制度概述	21
第2章 工程材料	25
§ 2.1 自然石、砖、瓦	25
§ 2.2 混凝土和混凝土砌块	27
§ 2.3 胶凝材料和砂浆	30
§ 2.4 钢筋、钢筋混凝土和预应力混凝土	31
§ 2.5 木	41
§ 2.6 钢	42
§ 2.7 其他材料	44
§ 2.8 新材料	45
§ 2.9 结构试验与材料试验	47
§ 2.10 材料展望	49
第3章 地基与基础工程	55
§ 3.1 地基处理与加固技术	55
§ 3.2 桩基础工程施工	67
§ 3.3 浅基础工程施工	85
第4章 土木工程与工程结构	91
§ 4.1 工程结构的结构作用	91
§ 4.2 房屋建筑	94
§ 4.3 特种结构	123
§ 4.4 桥梁工程	127
§ 4.5 公路、铁道及其他	148
§ 4.6 水利工程	160
§ 4.7 给水排水工程	166
§ 4.8 采暖与空调	168
第5章 土木工程施工技术	169
§ 5.1 土方工程	169
§ 5.2 脚手架及垂直运输设施	174
§ 5.3 基础工程	176
§ 5.4 混凝土结构工程	180
§ 5.5 砌筑工程	193

§ 5.6	装饰装修工程	196
§ 5.7	防水工程	203
§ 5.8	施工组织设计	207
第 6 章	抗震设计基本概念	211
§ 6.1	概述	211
§ 6.2	抗震设计的基本要求	217
§ 6.3	多层砌体房屋和底部框架、内框架房屋的抗震规定	220
§ 6.4	多、高层钢筋混凝土房屋的抗震规定	231
第 7 章	施工项目管理	242
§ 7.1	工程招标与投标	242
§ 7.2	施工组织设计	244
§ 7.3	施工准备	248
§ 7.4	目标控制	249
§ 7.5	项目信息管理	253
§ 7.6	项目合同管理	254
第 8 章	房地产业与物业管理	257
§ 8.1	房地产的基本概念	257
§ 8.2	房地产经营	259
§ 8.3	物业管理	264
第 9 章	建设工程监理	269
§ 9.1	建设工程监理制	269
§ 9.2	监理工程师与工程监理企业	271
§ 9.3	监理规划	275
§ 9.4	建设监理组织	278
§ 9.5	目标控制的任務	281
§ 9.6	施工合同管理与施工索赔	283
第 10 章	计算机在土木工程中的应用	290
§ 10.1	人工智能与专家系统	290
§ 10.2	计算机辅助设计 CAD	291
§ 10.3	工程结构计算机仿真分析	292
§ 10.4	计算机在智能建筑中的应用	293
§ 10.5	计算机在管理中的应用	293
第 11 章	土木工程灾害及防治	295
§ 11.1	概 述	295
§ 11.2	风灾及防治	298
§ 11.3	地震灾害及防治	304
§ 11.4	地质灾害及防治	310
§ 11.5	火灾及防治	317
§ 11.6	结构的检测与加固	321
参考文献		326

第1章 绪论

本章概述

土木工程的发展贯通古今,它同社会、经济,特别是与科学、技术的发展有密切联系。土木工程内涵丰富,而就其本身而言,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。土木工程发展史可以划分为古代土木工程、近代土木工程和现代土木工程三个时期。17世纪工程结构开始有定量分析,可以作为近代土木工程的开端;第二次世界大战后科学技术的突飞猛进,可作为现代土木工程的起点。

学习要点

1. 土木工程的概念
2. 土木工程的历史与发展
3. 注册师制度概述

§ 1.1 土木工程的概念

1.1.1 定义

土木工程是建造各类工程设施的科学技术的总称,专业知识包括工程设施的勘测、设计、施工、保养、维修等科学技术知识。土木工程的主干学科是结构工程、岩土工程、桥梁与隧道工程;相关学科有市政工程,供热、供燃气、通风及空调工程,防灾减灾及防护工程,水工结构工程,港口、海岸及近海工程等。土木工程的重要基础支撑学科有数学、物理学、化学、力学、材料科学、计算机科学与技术等。土木工程虽然是古老的学科,但其领域随各学科的发展而不断发展扩大和更新。

1.1.2 土木工程的基本属性

1. 社会性

土木工程是伴随着人类社会的发展而发展起来的。它所建造的工程设施反映了各个历史时期社会经济、文化、科学、技术发展的面貌,因而土木工程成为社会历史发展的见证

之一。远古时代,人们就开始修筑简陋的房舍、道路、桥梁和沟渠,以满足简单的生产和生活需要。后来,人们为了适应战争、生产和生活以及宗教传播的需要,兴建了城池、运河、宫殿、寺庙以及其他各种建筑物。许多著名的工程设施显示出人类在这个历史时期的创造力,如中国的长城、都江堰、大运河、赵州桥、应县木塔,埃及的金字塔,希腊的巴台农神庙,罗马的给水工程、科洛西姆圆形竞技场(罗马大斗兽场),以及其他许多著名的教堂、宫殿等。

产业革命以后,特别是到了20世纪,一方面社会向土木工程提出了新的需求;另一方面社会各个领域的技术发展为土木工程的进步创造了良好的条件。例如,建筑材料(钢材、水泥)工业化生产的实现,机械和能源技术以及设计理论的进展,都为土木工程提供了材料和技术上的保证。因而这个时期的土木工程得到突飞猛进的发展,世界各地出现了规模宏大的工业厂房、摩天大厦、核电站、高速公路和铁路、大跨桥梁、大直径运输管道、长隧道、大运河、大堤坝、大飞机场、大海港以及海洋工程等。现代土木工程不断地为人类社会创造崭新的物质环境,成为人类社会现代文明的重要组成部分。

2. 综合性

建造一项工程设施一般要经过勘察、设计和施工三个阶段,需要运用工程地质勘察、水文地质勘察、工程测量、土力学、工程力学、工程设计、建筑材料、建筑设备、工程机械、建筑经济等学科和施工技术、施工组织等领域的知识,以及计算机和力学测试等技术。因而土木工程是一门范围广阔的综合性学科。

随着科学技术的进步和工程实践的发展,土木工程学科已发展成为内涵广泛、门类众多、结构复杂的综合体系。例如,就土木工程建造的工程设施所具有的使用功能而言,有供生息居住之用的房屋,有作为生产活动的场所,有的用于陆海空交通运输,有的用于水利事业,有的作为信息传输的工具,有的作为能源传输的手段等。这就要求土木工程综合运用各种物质条件,以满足多种多样的需求。土木工程已发展出许多分支,如房屋工程、铁路工程、道路工程、飞机场工程、桥梁工程、隧道及地下工程、特种工程结构、给水排水工程、城市供热供燃气工程、港口工程、水利工程等。其中有些分支(如水利工程)由于自身工程对象的不断增多以及专门科学技术的发展,已从土木工程中分化出来成为独立的学科体系,但是它们在很大程度上仍具有土木工程的共性。

3. 技术、经济和建筑艺术的统一性

人们力求最经济地建造一项工程设施,用以在充分保障其安全可靠的前提下满足使用者的预定需要,其中包括审美要求。而一项工程的经济性又是和各项技术活动密切相关的。工程的经济性首先表现在工程选址、总体规划上,其次表现在设计和施工技术上。工程建设总投资,工程建成后的经济效益和使用期间的维修费用等,都是衡量工程经济性的重要方面。这些与技术问题联系密切,需要综合考虑。

符合功能要求的土木工程设施作为一种空间艺术,首先是通过总体布局、本身的体型、各部分的尺寸比例、线条、色彩、明暗阴影与周围环境,包括它同自然景物的协调和谐表现出来的;其次是通过附加于工程设施的局部装饰反映出来的。工程设施的造型和装饰还能够表现出地方风格、民族风格以及时代风格。一个成功的、优美的工程设施能够为

周围的景物、城镇的容貌增美,给人以美的享受;反之,会破坏环境或景观,乃至影响到人们的正常生活。

4. 实践性

土木工程是实践性很强的学科。在早期,土木工程是通过工程实践,总结成功的经验,吸取失败的教训发展起来的。从17世纪开始,以伽利略和牛顿为先导的近代力学同土木工程实践结合起来,逐渐形成材料力学、结构力学、流体力学、岩石力学,作为土木工程的基础理论学科。这样,土木工程才逐渐从经验发展成为科学。在土木工程的发展过程中,工程实践经验常先行于理论,工程事故常显示出未能预见的新因素,触发新理论的研究和发展。至今不少工程问题的处理,在很大程度上仍然依靠实践经验。

土木工程技术的发展至今在很大程度上仍要依靠工程实践有两个原因:一是有些客观情况过于复杂,难以如实地进行室内实验或现场测试和理论分析。例如,地基基础、隧道及地下工程的受力和变形状态及其随时间的变化规律,至今还需要参考工程经验进行分析判断。二是只有进行新的工程实践,才能揭示新的问题。例如,建造了高层建筑、高耸塔楼和大跨桥梁等,工程的抗风和抗震问题突出了,才能发展这方面的新理论和技术。

§ 1.2 土木工程的历史与发展

1.2.1 古代土木工程

土木工程的古代时期是从新石器时代开始的。随着人类文明的进步和生产经验的积累,古代土木工程的发展大体上可分为萌芽时期、形成时期和发达时期。

1. 萌芽时期

大致在新石器时代,原始人为避风雨、防兽害,利用天然的掩蔽场所(如山洞和森林)作为住处。当人们学会播种收获、驯养动物以后,天然的山洞和森林已不能满足需要,于是使用简单的木、石、骨制工具,伐木采石,以黏土、木材和石头等模仿天然掩蔽物建造居住场所,开始了人类最早的土木工程活动。

初期建造的住所因地理、气候等自然条件的差异,仅有“窟穴”和“槽巢”两种类型。在北方气候寒冷干燥地区多为穴居,在山坡上挖造横穴,在平地则挖造袋穴。后来穴的面积逐渐扩大,深度逐渐减小。在黄河流域的仰韶文化遗址(约公元前5000—公元前3000年)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(约公元前4800—公元前3600年)有很多圆形房屋,直径为5~6m,室内竖有木柱,以支撑上部屋顶,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;还有的是方形房屋,其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。在西伯利亚则发现用兽骨、北方鹿角架起的半地穴式住所。

新石器时代已有了基础工程的萌芽,柱洞里填有碎陶片或鹅卵石,即是柱基础的雏

形。洛阳王湾的仰韶文化遗址(约公元前 4000—公元前 3000 年)中,有一座面积约 200m^2 的房屋,墙下挖有基槽,槽内填卵石,这是墙基础的雏形。在尼罗河流域的埃及,新石器时代的住宅是用木材或卵石做成墙基,上面造木构架,以芦苇束编墙或土坯砌墙,用密排圆木或芦苇束做屋顶。

在地势低洼的河流湖泊附近,从构木为巢发展为用树枝、树干搭成架空窝棚或地窝棚,以后又发展为栽桩架屋的干栏式建筑。浙江吴兴钱山漾遗址(约公元前 3000 年),是在密桩上架木梁,上铺悬空的地板。西欧一些地方也出现过相似的做法,今瑞士境内保存着湖居人在湖中木桩上构筑的房屋。浙江余姚河姆渡新石器时代遗址(约公元前 5000—公元前 3300 年)中,有跨距达 $5\sim 6\text{m}$ 、联排 $6\sim 7$ 间的房屋,底层架空(属于干栏式建筑形式),构件结点主要是绑扎结合,但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,这种榫卯结合的方法代代相传,延续到后世,为以木结构为主流的中国古建筑开创了先例。

随着氏族群体日益繁衍,人们聚居在一起,共同劳动和生活。从西安半坡村遗址可看到有条不紊的聚落布局,在沪河东岸的台地上遗存有密集排列的 $40\sim 50$ 座住房,在其中中心部分有一座规模相当大的(平面约为 $12.5\text{m}\times 14\text{m}$)房屋,可能是会堂。各房屋之间筑有夯土道路,居住区周围挖有深、宽各约 5m 的防范袭击的大壕沟,上面架有独木桥(见图 1-1)。



图 1-1 西安半坡村遗址

这时期的土木工程还只是使用石斧、石刀、石镑、石凿等简单的工具,所用的材料都是取自当地的天然材料,如茅草、竹、芦苇、树枝、树皮和树叶、砾石、泥土等。掌握了伐木技术以后,就使用较大的树干做骨架;有了煅烧加工技术,就使用红烧土、白灰粉、土坯等,并逐渐懂得使用草筋泥、混合土等复合材料。人们开始使用简单的工具和天然材料建房、筑路、挖渠、造桥,土木工程完成了从无到有的萌芽阶段。

2. 形成时期

随着生产力的发展,农业、手工业开始分工。大约自公元前 3000 年开始,在材料方面,开始出现经过烧制加工的瓦和砖;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,还有许多较大型的道路、桥梁、水利等工程;在工具方面,美索不达米亚(两河流域)和埃及在公元前 3000 年,中国在商代(公元前 16 世纪—公元前 11 世纪),开始使用青铜制的斧、凿、钻、锯、刀、铲等工具。后来铁制工具逐步推广,并有简单的施工机械,也有了经验总结及形象描述的土木工程著作。公元前 5 世纪成书的《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工程。

公元前 21 世纪,传说中的夏代部落领袖禹用疏导方法治理洪水,挖掘沟渠,进行灌溉。公元前 5 世纪—公元前 4 世纪,在今河北临漳,西门豹主持修筑引漳灌邺工程,是我国最早

的多首制灌溉工程。公元前3世纪中叶,在今四川灌县(现在的都江堰市),李冰父子主持修建都江堰,解决围堰、防洪、灌溉以及水陆交通问题,是世界上最早的综合性大型水利工程(见图1-2)。

在大规模的水利工程、城市防护建设和交通工程中,创造了形式多样的桥梁。公元前12世纪初,在渭河上架设浮桥,是我国最早在大河上架设的桥梁。再如在引漳灌邺工程中,在汾河上建成30个墩柱的密柱木梁桥;在都江堰工程中,为了提供行船的通道,架设了索桥。



图1-2 都江堰水利工程

利用黄土高原的黄土为材料创造的夯土技术,在我国土木工程技术发展史上占有很重要的地位。最早在甘肃大地湾新石器时期的大型建筑就用了夯土墙。河南偃师二里头有早商的夯筑筏形基础宫殿群遗址,以及郑州的商朝中期版筑城墙遗址、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成熟。

春秋战国时期,战争频繁,广泛用夯土筑城防敌。秦代在魏、燕、赵三国夯土长城基础上筑成万里长城,后经历代多次修筑,留存至今,成为举世闻名的中国长城(见图1-3)。



图1-3 长城

我国的房屋建筑主要使用木结构。在商朝首都宫室遗址中,残存有一定间距和直线行列的石柱础,柱础上有铜趺,柱础旁有木柱的烬余,说明当时已有相当大的木构架建筑。《考工记·匠人》中有“殷人……四阿重屋”的记载,可知当时已有两层楼,四阿顶的建筑

了。西周的青铜器上也铸有柱上置栌斗的木构架形象,说明当时在梁柱结合处已使用“斗”做过渡层,柱间联系构件“额枋”也已形成。这时的木构架已开始有我国传统使用的柱、额、梁、枋、斗拱等。

在西周时代出现了陶制房屋版瓦、筒瓦、人字形断面的脊瓦和瓦钉,解决了屋面防水问题。春秋时期出现了陶制下水管、陶制井圈和青铜制杆件结合构件。在美索不达米亚(两河流域),制土坯和砌券拱的技术历史悠久。公元前8世纪建成的亚述国王萨尔贡二世宫,是用土坯砌墙,用石板、砖、琉璃贴面。

埃及人在公元前3000年进行了大规模的水利工程以及神庙和金字塔的修建,积累和运用了几何学、测量学方面的知识,使用了起重运输工具,组织了大规模协作劳动。公元前27世纪—公元前26世纪,埃及建造了世界最大的帝王陵墓建筑群——吉萨金字塔群(见图1-4)。这些金字塔,在建筑上计算准确,施工精细,规模宏大。埃及人也建造了大

量的宫殿和神庙建筑群,如公元前 16 世纪—公元前 4 世纪在底比斯等地建造的凯尔奈克神庙建筑群。

希腊早期的神庙建筑用木屋架和土坯建造,屋顶荷载不用木柱支承,而是用墙壁和石柱承重。约在公元前 7 世纪,大部分神庙已改用石料建造。公元前 5 世纪建成的雅典卫城,在建筑、庙宇、柱式等方面都具有极高的水平。如巴台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 埃及的吉萨金字塔群

在城市建设方面,早在公元前 2000 年前后,印度建摩亨朱达罗城,城市布局有条理,方格道路网主次分明,阴沟排水系统完备。我国现存的春秋战国遗址证实了《考工记》中有关周朝都城“方九里、旁三门,国(都城)中九经九纬(纵横干道各九条),经涂九轨(南北方向的干道可九车并行),左祖右社(东设皇家祭祖先的太庙,西设祭国土的坛台),面朝后市(城中前为朝廷,后为市肆)”的记载。这时我国的城市已有相当的规模,如齐国的临淄城,宽 3km,长 4km,城壕上建有跨度超过 8m 的简支木桥,桥两端为石块和夯土制作的桥台。

3. 发达时期

由于铁制工具的普遍使用提高了工效,工程材料中逐渐增添复合材料,工程内容则根据社会的发展,道路、桥梁、水利、排水等工程日益增加,大规模营建了宫殿、寺庙,因而专业分工日益细致,技术日益精湛,从设计到施工已有一套成熟的经验:①运用标准化的配件方法加速了设计进度,多数构件都可以按“材”或“斗口”、“柱径”的模数进行加工;②用预制构件,现场安装,以缩短工期;③统一筹划,提高效益,如中国北宋的汴京宫殿,施工时先挖河引水,为施工运料和供水提供方便,竣工时用渣土填河;④改进当时的吊装方法,用木材制成“戥”和绞磨等起重工具,可以吊起三百多吨重的巨材,如北京故宫的雕龙御路石以及罗马圣彼得大教堂前的方尖碑等。

我国古代房屋建筑主要是采用木结构体系,欧洲古代房屋建筑则以石拱结构为主。我国古建筑在这一时期出现了与木结构相适应的建筑风格,形成独特的木结构体系。根据气候和木材产地的不同情况,在汉代即分为抬梁、穿斗、井干三种不同的结构方式,其中以抬梁式为最普遍。在平面上形成柱网,柱网之间可按需要砌墙和安门窗。房屋的墙壁不承担屋顶和楼面的荷载,使墙壁有极大的灵活性。在宫殿、庙宇等高级建筑的柱上和檐枋间安装斗拱。

佛教建筑是东汉以来建筑活动中的一个重要方面,南北朝和唐朝大量兴建佛寺。公元 8 世纪建的山西五台山南禅寺正殿和公元 9 世纪建的佛光寺大殿,是遗留至今较完整的木构架建筑。我国佛教建筑对于日本等国也有很大影响。

佛塔的建造促进了高层木结构的发展,公元 2 世纪末,徐州浮屠寺塔的“上累金盘,下为重楼”是在吸收、融合和创造的过程中,把具有宗教意义的印度摩塔竖在楼阁之上(称为刹),形成楼阁式木塔。公元 11 世纪建成的山西应县佛宫寺释迦塔(应县木塔),塔高 67.3m,八角形,底层直径 30.27m,每层用梁、柱、斗、拱组合为自成体系的完整、稳定的构架,9 层的结构中有 8 层是用 3m 左右的柱子支顶重叠而成,充分做到了小材大用。塔身采用内

外两环柱网,各层柱子都向中心略倾(侧脚),各柱的上端均铺斗拱,用交圈的扶壁拱组成双层套筒式的结构。这座木塔不仅是世界上现存最高的木结构之一,而且在杆件和组合设计上,也隐含着对结构力学的巧妙运用(见图 1-5)。

约自公元 1 世纪东汉时起,砖石结构有所发展。在汉墓中已可见到从梁式空心砖逐渐发展为券拱和穹窿顶。根据荷载的情况,有单拱券、双层拱券和多层券。每层券上卧铺一层条砖,称为“伏”。这种券伏相结合的方法在后来的发券工程中被普遍采用。自公元 4 世纪北魏中期起,砖石结构已用于地面上的砖塔、石塔建筑以及石桥等方面。公元 6 世纪建于河南登封县的嵩岳寺塔,是我国现存最早的密檐砖塔(见图 1-6)。



图 1-5 山西应县木塔

西安的大雁塔(本名大慈恩寺塔,见图 1-7),是唐高宗永徽三年(公元 652 年)玄奘法师为供奉从印度带回的佛像、舍利和梵文经典,在慈恩寺的西塔院建起一座高 60m 的五层砖塔,后改建为七层。大雁塔平面呈正方形,由塔基和塔身两个部分组成。公元 1604 年,明万历二十三年在维持了唐代塔体的基本造型上,在外表完整地砌上了 60cm 厚的包层。塔基边长 48m,高 4.2m,其上为塔身,边长 25m,高 59.9m,塔基和塔身通高 64.1m。塔身各层壁面都用砖砌扁柱和阑额,柱的上部施有大斗,并在每层四面的正中开辟砖券的大门。塔内的平面也呈方形,各层均有楼板,设置扶梯,可盘旋而上至塔顶。大雁塔造型简洁,气势雄伟,是我国佛教建筑艺术中不可多得的杰作。

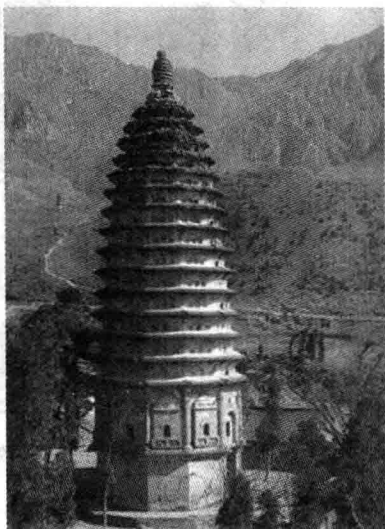


图 1-6 河南登封县的嵩岳寺塔



图 1-7 西安市的大雁塔

早在公元前 4 世纪,罗马就采用券拱技术砌筑下水道、隧道、渡槽等,在建筑工程方面继承和发展了古希腊的传统柱式。公元前 2 世纪,用石灰和火山灰的混合物作胶凝材料(后称罗马水泥)制成的天然混凝土得到广泛应用,有力地推动了古罗马的券拱结构的大

发展。公元前1世纪,在券拱技术基础上又发展了十字拱和穹顶。公元2世纪时,在陵墓、城墙、水道、桥梁等工程上大量使用发券。券拱结构与天然混凝土并用,其跨越距离和覆盖空间比梁柱结构要大得多,如万神庙(120—124年)的圆形正殿屋顶,直径为43.43m,是古代最大的圆顶庙。卡拉卡拉浴室(211—217年)采用十字拱和拱券平衡体系。古罗马的公共建筑类型多,结构设计、施工水平高,样式手法丰富,并初步建立了土木建筑科学理论,如维特鲁威著《建筑十书》(公元前1世纪)奠定了欧洲土木建筑科学的体系,系统地总结了古希腊、罗马的建筑实践经验。古罗马的技术成就对欧洲土木建筑的发展有深远影响。

进入中世纪以后,拜占廷建筑继承古希腊、罗马的土木建筑技术并吸收了波斯、小亚细亚一带的文化成就,形成了独特的体系,解决了在方形平面上使用穹顶的结构和建筑形式问题,把穹顶支承在独立的柱上,取得开敞的内部空间,如圣索菲亚教堂(532—537年)为砖砌穹顶,外面覆盖铅皮,穹顶下的空间深68.6m,宽32.6m,中心高55m。8世纪在比利牛斯半岛上的阿拉伯建筑,运用马蹄形、火焰式、尖拱等拱券结构。科尔多瓦大礼拜寺(785—987年)即是用两层叠起的马蹄券(见图1-8)。



图1-8 科尔多瓦大礼拜寺

中世纪西欧各国的建筑,意大利仍继承罗马的风格,以比萨大教堂建筑群(11—13世纪)为代表;其他各国则以法国为中心,发展了哥特式教堂建筑的新结构体系。哥特式建筑采用骨架券为拱顶的承重构件,飞券扶壁抵抗拱脚的侧推力,并使用二圆心尖券和尖拱。巴黎圣母院(1163—1271年)的圣母教堂是早期哥特式教堂建筑的代表(见图1-9)。

15—16世纪,标志意大利文艺复兴建筑开始的佛罗伦萨教堂穹顶(1420—1470年)是世界最大的穹顶,在结构和施工技术上均达到很高的水平。集中了16世纪意大利建筑、结构和施工最高成就的则是罗马圣彼得大教堂(1506—1626年)。

意大利文艺复兴时期的土木建筑工程内容广泛,除教堂建筑外,还有各种公共建筑、广场建筑群,如威尼斯的圣马可广场等;人才辈出,理论活跃,如L. B. 阿尔贝蒂著《论建筑》(1455年)是意大利文艺复兴期最重要的理论著作,体系完备,影响很大;施工技术和工具都有很大进步,工具除已有打桩机外,还有桅式和塔式起重设备以及其他新的工具。

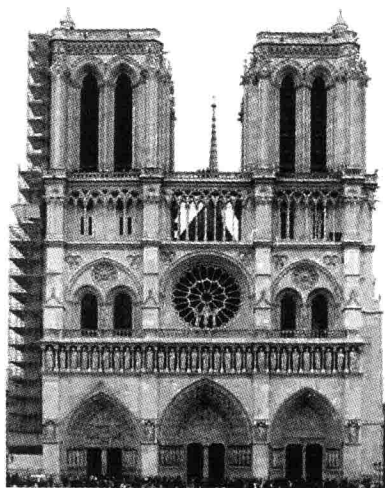


图1-9 巴黎圣母院的圣母教堂

这一时期道路桥梁工程也有很多重大成就。秦朝在统一中国的过程中,运用各地不同的建设经验,开辟了联接咸阳各宫殿和苑囿的大道,以咸阳为中心修筑了通向全国的驰

道,主要线路宽 50 步,统一了车轨,形成了全国规模的交通网。比中国的秦驰道早些,在欧洲,罗马建设了以罗马城为中心,包括有 29 条辐射主干道和 322 条联络干道的罗马大道网。汉代的道路约达 30 万里以上,为了越过高峻的山峦,修建了褒斜道、子午道,恢复了金牛道等许多著名栈道,所谓“栈道千里,通于蜀汉”。

随着道路的发展,在通过河流时需要架桥渡河,当时桥的构造已有许多种形式。秦始皇为了沟通渭河两岸的宫室,首先营建咸阳渭河桥,为 68 跨的木构梁式桥,是秦汉史籍记载中最大的一座木桥。此外,还有留存至今的世界著名隋代单孔圆弧弓形敞肩石拱桥——赵州桥(见图 1-10)。

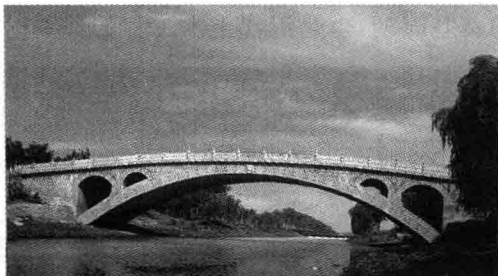


图 1-10 赵州桥



图 1-11 尼姆城的加尔河谷输水道桥

这个时期水利工程也有新的成就。公元前 3 世纪,秦朝在今广西兴安开凿灵渠,总长 34km,落差 32m,沟通湘江、漓江,联系长江、珠江水系,后建成能使“湘漓分流”的水利工程。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。如尼姆城的加尔河谷输水道桥(公元 1 世纪建),有 268.8m 长的一段是架在 3 层叠合的连续券上(见图 1-11)。公元 7 世纪初,隋朝开凿了世界历史上最长的大运河,共长 2500km。13 世纪元朝兴建大都(今北京),科学家郭守敬进行了元大都水系的规划,由北部山中引水,汇合西山泉水汇成湖泊,流入通惠河。这样可以截留大量水源,既解决了都城的用水,又接通了从都城向南直达杭州的南北大运河。

在城市建设方面,隋朝在汉长安城的东南,由宇文恺规划、兴建大兴城。唐朝复名为长安城,陆续改建,南北长 9.72km,东西宽 8.65km,按方整对称的原则,将宫城和皇城放在全城的主要位置上,按纵横相交的棋盘形街道布局,将其余部分划为 108 个里坊,分区明确、街道整齐。对城市的地形、水源、交通、防御、文化、商业和居住条件等,都作了周密的考虑。它的规划、设计为日本建设平安京(今京都)所借鉴。

这个时期在土木工程工艺技术方面也有进步。分工日益细致,工种已分化出木作(大木作、小木作)、瓦作、泥作、土作、雕作、旋作、彩画作和窑作(烧砖、瓦)等。到 15 世纪,意大利的有些工程设计已由过去的行会师傅和手工业匠人逐渐转向由出身于工匠而知识化了的建筑师、工程师来承担。出现了多种仪器,如抄平水准设备、度量外圆和内圆及方角等几何形状的器具“规”和“矩”。计算方法也有进步,已能绘制平面、立面、剖面和细部大样等详图,并且用模型设计的表现方法。

1.2.2 近代土木工程

从 17 世纪中叶到 20 世纪中叶的 300 年间,是土木工程迅猛发展的阶段。在材料方

面,由木材、石料、砖瓦为主,到开始并日益广泛地使用铸铁、钢材、混凝土、钢筋混凝土,直至早期的预应力混凝土;在理论方面,材料力学、理论力学、结构力学、土力学、工程结构设计理论等学科逐步形成,设计理论的发展保证了工程结构的安全和人力物力的节约;在施工方面,由于不断出现新的工艺和新的机械,施工技术进步,建造规模扩大,建造速度加快了。在这种情况下,土木工程逐渐发展到包括房屋、道路、桥梁、铁路、隧道、港口、市政、卫生等工程建筑和工程设施,不仅能够在地面,而且有些工程还能在地下或水域内修建。

土木工程在这一时期的发展可分为奠基时期、进步时期和成熟时期三个阶段。

1. 奠基时期

17 世纪到 18 世纪下半叶是近代科学的奠基时期,也是近代土木工程的奠基时期。

伽利略、牛顿等所阐述的力学原理是近代土木工程发展的起点。意大利学者伽利略在 1638 年出版的著作《关于两门新科学的谈话和数学证明》中,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。这本书是材料力学领域中的第一本著作,也是弹性体力学史的开端。1687 年牛顿总结的力学运动三大定律是自然科学发展史的一个里程碑,直到现在还是土木工程设计理论的基础。瑞士数学家 L. 欧拉在 1744 年出版的《曲线的变分法》中建立了柱的压屈公式,算出了柱的临界压屈荷载,

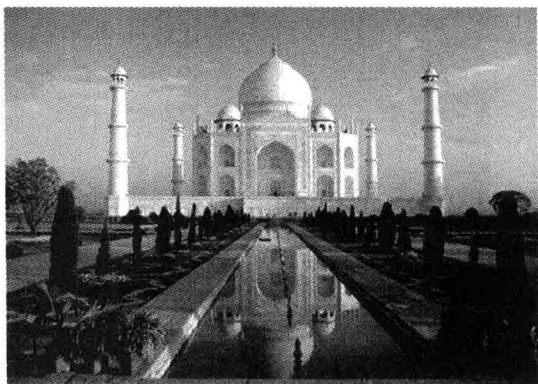


图 1-12 泰姬陵

这个公式在分析工程构筑物的弹性稳定方面得到了广泛的应用。

尽管同土木工程有关的基础理论已经出现,但就建筑物的材料和工艺看,仍属于古代范畴,如我国的雍和宫、法国的罗浮宫、印度的泰姬陵(见图 1-12)、俄国的冬宫等。土木工程实践的近代化,还有待于产业革命的推动。

由于理论的发展,土木工程作为一门学科逐步建立起来,法国在这方面是先驱。1716 年法国成立道桥部队,1720 年法国政府成立交通工程队,1747 年创立巴黎桥路学校,培养建造道路、河渠和桥梁的工程师。所有这些表明,土木工程学科已经形成。

2. 进步时期

18 世纪下半叶,J. 瓦特对蒸汽机作了根本性的改进,蒸汽机的使用推进了产业革命。规模宏大的产业革命为土木工程提供了多种性能优良的建筑材料及施工机具,也对土木工程提出新的需求,从而促使土木工程以空前的速度向前迈进。

1824 年英国人 J. 阿斯普丁取得了一种新型水硬性胶结材料——波特兰水泥的专利权,1850 年左右开始生产。1856 年大规模炼钢方法——贝塞麦转炉炼钢法发明后,钢材越来越多地应用于土木工程。1851 年英国伦敦建成水晶宫,采用铸铁梁柱,玻璃覆盖。1867 年法国人 J. 莫尼埃用铁丝加固混凝土制成了花盆,并把这种方法推广到工程中,建造了一座贮水池,这是钢筋混凝土应用的开端。1875 年,他主持建造成第一座长 16m 的

钢筋混凝土桥。1886年,美国芝加哥建成家庭保险公司大厦,9层,初次按独立框架设计,并采用钢梁,被认为是现代高层建筑的开端。1889年法国巴黎建成高300m的埃菲尔铁塔,使用熟铁近8000t(见图1-13)。



图 1-13 埃菲尔铁塔

这个时期土木工程的施工方法进入了机械化和电气化阶段。蒸汽机逐步应用于抽水、打桩、挖土、轧石、压路、起重等作业。19世纪60年代内燃机问世和70年代电动机出现后,很快就创制出各种各样的起重运输、材料加工、现场施工用的专用机械和配套机械,使一些难度较大的工程得以加速完工;1825年英国首次使用盾构开凿泰晤士河河底隧道。

产业革命从交通方面推动了土木工程的发展。在航运方面,有了蒸汽机为动力的轮船,使航运事业面目一新,这就要求修筑港口工程,开凿通航轮船的运河。19世纪上半叶开始,英国、美国大规模开凿运河,1869年苏伊士运河通航,1914年巴拿马运河通航,体现了海上交通已完全把世界联成一体。在铁路方面,1825年G. 斯蒂芬森建成了从斯托克顿到达惠灵顿、长21km的第一条铁路,并用其自己设计的蒸汽机车行驶,取得成功。其后世界上其他国家纷纷建造铁路。1869年美国建成横贯北美大陆的铁路,20世纪初俄国建成西伯利亚大铁路。20世纪铁路已成为不少国家国民经济的大动脉。1863年英国伦敦建成了世界第一条地铁,长7.6km。其后,世界上一些大城市也相继修建了地铁。在公路方面,1819年英国马克当筑路法明确了碎石路的施工工艺和路面锁结理论,提倡积极发展道路建设,促进了近代公路的发展。19世纪中叶内燃机制成和1885—1886年德国C. P. 本茨和C. W. 戴姆勒制成用内燃机驱动的汽车;1908年美国福特汽车公司用传送带大量生产汽车以后,大规模地进行公路建设工程。铁路和公路的空前发展也促进了桥梁工程的进步。早在1779年英国就用铸铁建成跨度30.5m的拱桥,1826年英国T. 特尔福德用锻铁建成了跨度177m的麦内悬索桥,1850年R. 斯蒂芬森用锻铁和角钢拼接成不列颠箱管桥,1890年英国福斯湾建成两孔主跨达521m的悬臂式桁架梁桥。现代