

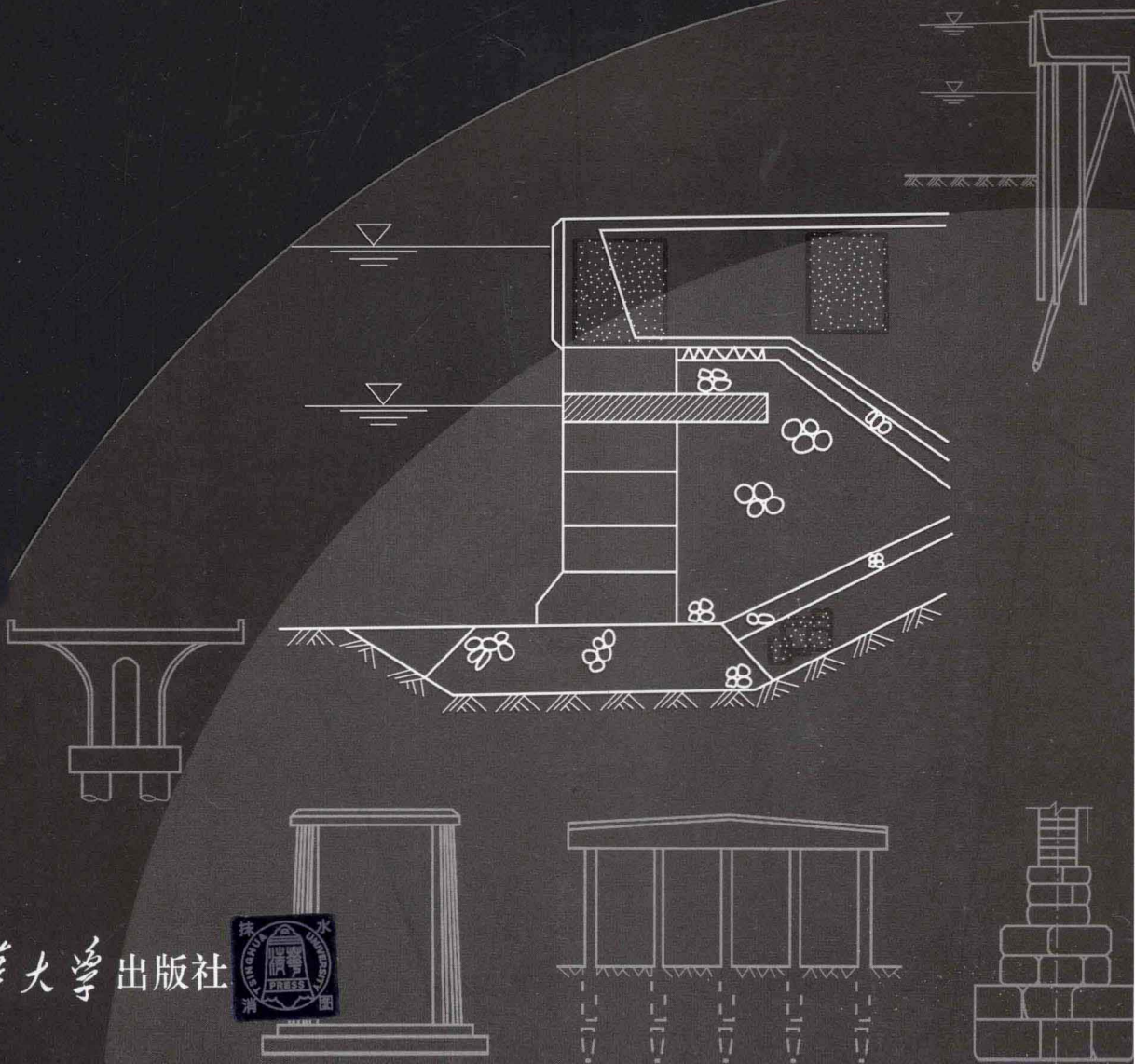


普通高等院校土木工程专业本科精品教材

土木工程概论

武胜 主编

左宏亮 主审



清华大学出版社



普通高等院校土木工程专业本科精品教材

土木工程概论

武 胜 主 编

清华大学出版社

内 容 简 介

本书全面地介绍了目前土木工程领域下属各分支和相关学科概况。内容包括：土木工程专业知识构成、土木工程材料、地基基础工程、建筑工程、道路工程、铁路工程、桥梁工程、港口工程、海洋工程、机场工程、给水排水工程、环境工程、土木工程设计与施工、土木工程防灾与减灾、土木工程经济与建设项目管理、土木工程的发展趋势及高新技术应用、土木工程执业注册制度及执业资格证书。本书内容涵盖了土木工程的主要研究领域，力求构建土木工程的知识体系，尽可能多地反映现代土木工程的新技术、新方法、新工艺和新成就，突出综合运用土木工程及相关学科的基础理论和知识，着重培养解决工程实际问题的能力，以满足新时期人才培养的需要。

本书可作为高等院校土木工程、建筑学、城市规划等专业的教材，也可作为土木工程相关专业技术人员了解土木工程概论的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

土木工程概论 / 武胜主编. —北京:清华大学出版社, 2013. 7

普通高等院校土木工程专业本科精品教材

ISBN 978-7-302-30599-6

I. ①土… II. ①武… 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266322号

责任编辑：封秀敏

封面设计：张 璐

责任校对：王 瑶

责任印制：宋 林

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦A座 邮 编：100084

社总机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：天津泰宇印务有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185 mm×260 mm 印 张：19 字 数：451千字

版 次：2013年7月第1版 印 次：2013年7月第1次印刷

印 数：1~3000

定 价：38.00元

前 言

在我国经济发展中,土木工程建设日新月异,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,走可持续发展道路的理念日益深入人心。近年来随着高等院校招生规模的逐步扩大,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,特别是刚入大学的新同学,对其全面了解专业情况、树立专业理想具有重要的现实意义。

本书是依据教育部《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》、土木工程专业人才的培养目标和培养方案的要求而编写的,从不同角度介绍了宽口径土木工程学科的若干分支领域及土木工程专业的总体情况和最新发展。

本书编写着重体现“紧扣专业特点、突出专业重点、强化基本概念”的思想,具体编写特点如下所述。

1. “紧扣专业特点”:土木工程专业涉及面广,分支众多。为此,本书以建筑工程方向为主线,较全面地介绍了土木工程专业的各个领域,包括土木工程材料、地基基础工程、建筑工程、道路工程、铁路工程、桥梁工程、港口工程、海洋工程、机场工程、给水排水工程、环境工程、土木工程设计与施工、土木工程防灾与减灾、土木工程经济等分支领域。

2. “突出专业重点”:将新同学关心的本专业重点内容尽量突显出来。为此,本书在全面介绍各分支领域的前提下,安排了新同学关心的土木工程专业知识构成、土木工程的发展趋势及高新技术应用、土木工程执业注册制度及执业资格证书、高校土木工程专业设置与就业方向介绍等内容,以期由兴趣出发,引领新同学走进土木工程专业的大门。

3. “强化基本概念”:考虑到土木工程专业的宽领域,针对新同学的学习兴趣,本书力争做到强化领域内基本概念的讲解,配合每章前面的内容提要,让同学们在较轻松的状态下学习到应该掌握的专业知识和感兴趣的专业信息。

本书第0、1、8、11章由东北林业大学武胜编写,第4、5、10章由东北林业大学徐嫚编写,第6、7章由东北林业大学李国东编写,第2、3、9章由黑龙江八一农垦大学刘文洋编写,第12章由东北林业大学寇素霞编写,附录由武胜整理。全书由武胜统稿。本书承东北林业大学左宏亮教授审阅。东北林业大学土木工程学院的研究生王蕊、吕福佳、苗雨和本科生于宏君、涂文铎、孙彤、李孙正参加了书中图表的绘制工作,在此一并感谢。

编者深知内容如此广泛的教材不易写好,加之编者水平所限,书中不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2013年6月

目 录

0 绪论	1
0.1 土木工程与土木工程专业	1
0.2 土木工程发展简史	2
0.3 土木工程的未来与可持续发展	26
1 土木工程专业知识构成	28
1.1 土木工程专业的知识结构与能力培养	28
1.2 土木工程专业的数学、力学课程	32
1.3 土木工程的结构设计、施工与试验、检验	34
1.4 工程语言表达和计算机技术的应用	38
1.5 土木工程的标准体系	41
2 土木工程材料	43
2.1 钢材	43
2.2 无机胶凝材料	47
2.3 混凝土	49
2.4 砂浆	52
2.5 砌体材料	53
2.6 木材	54
2.7 建筑功能材料	56
3 地基基础工程	61
3.1 地基和基础的概念	61
3.2 浅基础	65
3.3 深基础	69
3.4 工程地质勘察	73
3.5 减轻地基不均匀沉降损害的措施	76
3.6 地基处理	78
4 建筑工程	81
4.1 基本构件	81
4.2 建筑结构的基本形式	86
4.3 多、高层建筑	91
4.4 绿色建筑与智能建筑	97
4.5 特种结构	99
5 道路、铁路和桥梁工程	102
5.1 道路工程	102

5.2	铁路工程	108
5.3	桥梁工程	115
6	港口、海洋和机场工程	124
6.1	港口工程	124
6.2	海洋工程及海洋开发利用	138
6.3	机场工程	144
7	给水排水和环境工程	153
7.1	给水排水工程	153
7.2	环境工程	174
8	土木工程设计与施工	180
8.1	工程结构荷载及现代结构设计理论	180
8.2	工程结构的设计方法	184
8.3	土木工程设计规范简介	188
8.4	基础及结构工程施工	189
8.5	防水及装饰工程施工	207
8.6	施工组织设计	210
8.7	施工技术的发展趋势	213
9	土木工程防灾与减灾	216
9.1	土木工程灾害概述	216
9.2	土木工程防灾对策与抗灾设计	218
9.3	土木工程结构检测与加固	230
9.4	土木工程防灾减灾的发展趋势及关键技术	231
10	土木工程经济与建设项目管理	234
10.1	土木工程经济	234
10.2	土木工程建设项目管理	239
11	土木工程的发展趋势及高新技术应用	247
11.1	土木工程的发展趋势	247
11.2	CAD 与仿真技术	253
11.3	现代结构试验技术	259
11.4	结构振动控制技术	261
11.5	结构健康监测与安全预警技术	264
11.6	信息化施工技术	267
12	土木工程执业注册制度及执业资格证书	272
12.1	注册工程师制度	272
12.2	土木工程注册工程师介绍	274
附录 1 土木工程专业本科(四年制)培养方案及培养模式定位		283
附录 2 高校土木工程专业设置与就业方向介绍		290
参考文献		296

0 绪 论

内容提要

本章将主要介绍土木工程与土木工程专业的概念和特点,重点介绍土木工程的发展历史和现代土木工程的特点,还将介绍土木工程的未来和可持续发展。

0.1 土木工程与土木工程专业

土木工程,英文为 Civil Engineering,是 18 世纪末由英国人斯米顿提出的“土木工程师”(Civil Engineer)一词而得来的。Civil Engineering 直译为民用工程,最初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的民用工程设施的总称,并发展为一个学科。

我国国务院学位委员会在公布的学科简介中为土木工程专业所下的定义为: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。

土木工程涉及领域十分宽广。从建造的对象看,土木工程包括建筑工程、道路工程、桥梁工程、隧道工程、机场工程、地下工程、市政工程、港口工程、海洋工程、水利工程,甚至航天领域的发射塔架和航天基地等,也都属于土木工程范畴。从使用的材料看,土木工程可分为金属结构、混凝土结构、高分子材料结构、木结构、石结构、土结构等。从技术性质看,土木工程涉及勘测、设计、施工、管理、养护、维修等。从职业分工看,有从事土木工程的工程技术人员、工程管理人员、研究人员和教师等。

为培养土木工程所需的各类人员,世界各国在大学本科教学中都设立了土木工程专业。世界上最早培养土木工程师的大学是 1747 年在法国创办的巴黎路桥学校。此后,英国、德国等也相继在大学中设置有关土木工程的专业。我国土木工程教育事业最早出现在 1895 年创办的北洋西学学堂(后称北洋大学,今天津大学)。经过一个多世纪、特别是经历改革开放 30 多年的迅速发展,我国目前已有 300 多所高等院校开设土木工程专业,培养从事土木工程设计、施工、管理、咨询、监理等方面工作的专业技术人员。

从人才培养的层次分,土木工程专业培养的人才有专科、本科(工学学士)、硕士(工学硕士)、博士(工学博士)等几个层次。按照“大土木”的人才培养目标与方案,土木工程本科下设建筑工程、道路工程、桥梁工程等若干专业方向,但专业都统一为土木工程。在本科教育阶段,土木工程专业属于大的一级学科专业,到硕士或博士阶段则具体划分为二级学科专业,如结构工程、岩土工程、防灾减灾工程与防护工程、桥隧工程等。

0.2 土木工程发展简史

土木工程的发展贯通古今,它与社会、经济,特别是科学、技术的发展有着密切的联系。土木工程的内涵丰富,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;第二次世界大战之后科学技术的突飞猛进,可以作为现代土木工程的起点。

0.2.1 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求,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,在平地上则挖造袋穴。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(图0-1)。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,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(图0-2)。在西伯利亚则发现了用兽骨、北方鹿角架起的半地穴式住所。

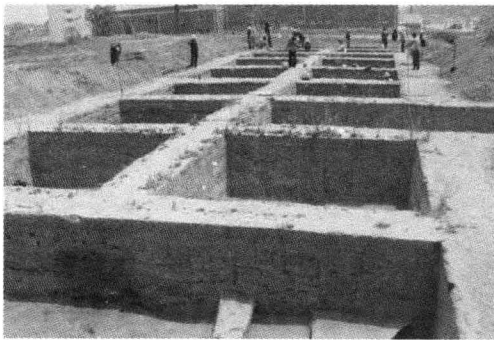


图 0-1 仰韶文化遗址



图 0-2 西安半坡村遗址复原图

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200 m²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的,上面建造木构架,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,有跨度达 5~6 m、联排 6~7 间的房屋,底层架空(属于干栏式建筑形式,图 0-3),构件结点主要是绑扎结合,但个别建筑已使用榫卯结合(图 0-4)。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。

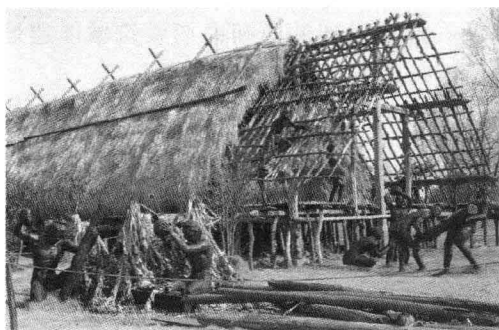


图 0-3 余姚河姆渡遗址复原图

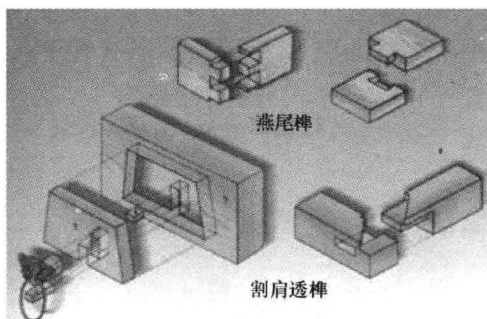


图 0-4 河姆渡遗址中榫卯使用示意

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以看到有条不紊的聚落布局,在浐河东岸的台地上遗存有密集排列的 40~50 座住房,在其中心部分有一座规模相当大的(平面约为 12.5 m×14 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 5 m 的防范袭击的大壕沟,上面架有独木桥。

这时期的土木工程还只是使用石斧、石刀、石铤、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,形成了木构架、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,并有了简单的施工机械,也有了经验总结及形象描述的土木工程著作。于公元前 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(今都江堰市),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大型水利工程(图 0-5)。

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,在渭河上架设的浮桥,是我国最早在大河上架设的桥梁。再如在引漳灌邺工程中,在汾河上建成有 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。

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(图 0-6),以及在郑州发现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经成熟。

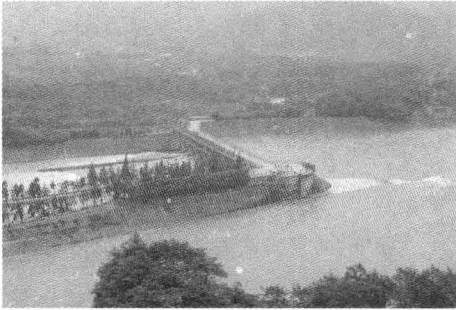


图 0-5 都江堰水利工程



图 0-6 偃师二里头遗址

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,后历代多次修筑,留存至今,成为举世闻名的中国长城(图 0-7)。

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并列的石柱础,柱础上有铜鬲,柱础旁有木柱的残余,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。



图 0-7 长城

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,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

坏砌墙,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——吉萨金字塔群和狮身人面像(图 0-8)。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(图 0-9)。

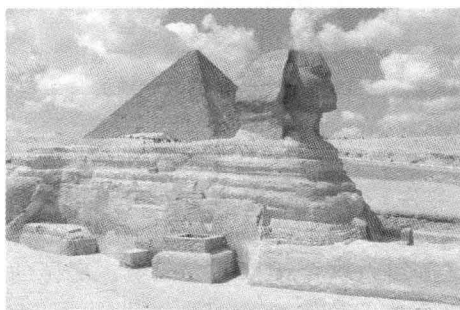


图 0-8 埃及金字塔和狮身人面像



图 0-9 凯尔奈克神庙遗址

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,如帕特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 0-10)。

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 3 km,长 4 km,城壕上建有跨度超过 8 m 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,如我国北宋的汴京宫殿,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 300 多 t 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(现归属梵蒂冈)前的方尖碑(图 0-11)等。



图 0-10 希腊帕特农神庙遗址



图 0-11 罗马圣彼得教堂前的方尖碑

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,其中以抬梁式最为普遍。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。

佛教建筑是我国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(图 0-12)和公元 9 世纪建的佛光寺东大殿(图 0-13),是遗留至今较完整的木构架建筑。我国佛教建筑对日本等国也有很大影响。



图 0-12 五台山南禅寺

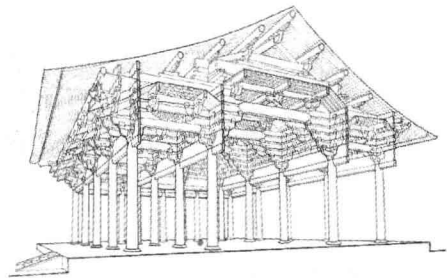


图 0-13 五台山佛光寺东大殿构造图

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窣堵波竖在楼阁之上(称为刹),形成楼阁式木塔(图 0-14)。公元 11 世纪建成的山西应县佛宫寺释迦塔(应县木塔),塔高 67.3 m,八角形,底层直径 30.27 m,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 3 m 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(图 0-15)。



图 0-14 徐州浮屠寺塔



图 0-15 山西应县木塔

约自公元 1 世纪我国东汉时起,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(图 0-16)。

西安的大雁塔(本名大慈恩寺塔,图 0-17),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的一座高 60 m 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 60 cm 厚的包层。塔基边长 48 m,高 4.2 m,其上为塔身,边长 25 m,高 59.9 m,塔基和塔身通高 64.1 m。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。

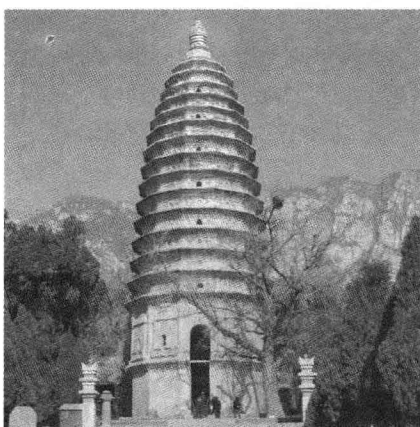


图 0-16 河南登封嵩岳寺塔



图 0-17 西安大雁塔

早在公元前 4 世纪,古罗马就采用券拱技术砌筑下水道、隧道、渡槽等土木工程,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做胶凝材料(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券拱。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,图 0-18)的圆形正殿屋顶,直径为 43.43 m,是古代最大的圆顶庙。卡拉卡拉浴场(211—217 年,图 0-19)采用十字拱和拱券平衡体系。古罗马的公共建筑类型多,结构设计复杂,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,如维特鲁威所著《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、古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。

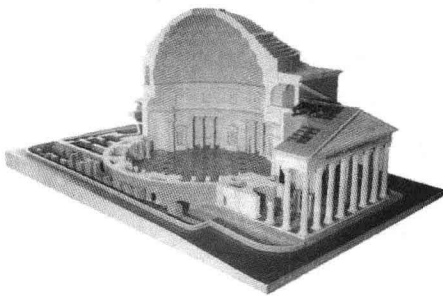


图 0-18 古罗马万神庙解剖图



图 0-19 古罗马卡拉卡拉浴场复原图

进入中世纪以后,拜占庭建筑继承古希腊、古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 68.6 m,宽 32.6 m,中心高 55 m(图 0-20)。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(图 0-21)。



图 0-20 土耳其伊斯坦布尔圣索菲亚大教堂



图 0-21 科尔多瓦大礼拜寺内景

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(图 0-22);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,飞券扶壁抵挡拱脚的侧推力,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(图 0-23)。



图 0-22 意大利比萨大教堂



图 0-23 法国巴黎圣母院

15—16世纪,标志着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(图 0-24)。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,图 0-25)。



图 0-24 意大利佛罗伦萨大教堂



图 0-25 罗马圣彼得大教堂

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(图 0-26)等;人才辈出,理论活跃,如阿尔贝蒂著的《论建筑》(1455年)是意大利文艺复兴时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,工具除有打桩机外,还有桅式和塔式起重设备以及其他新的工具。

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,开辟了连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。汉代的道路可达30万里(1里=500m)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,其为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的隋代单孔圆弧弓形敞肩石拱

桥——赵州桥(图 0-27)。



图 0-26 意大利威尼斯圣马可广场

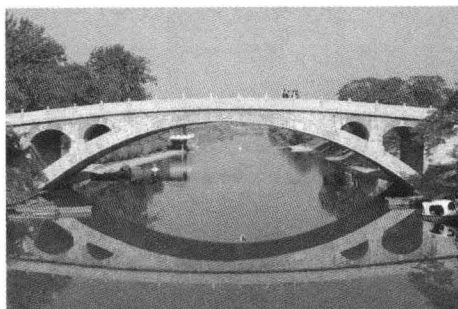


图 0-27 河北赵州桥

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 34 km,落差 32 m,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 世纪—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 530 km。如尼姆城的加尔河谷输水道桥(公元 1 世纪建),有 268.8 m 长的一段是架在 3 层叠合的连续券上(图 0-28)。公元 7 世纪初,隋朝开凿了世界历史上最长的大运河,共长 2500 km。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京杭大运河(图 0-29)。

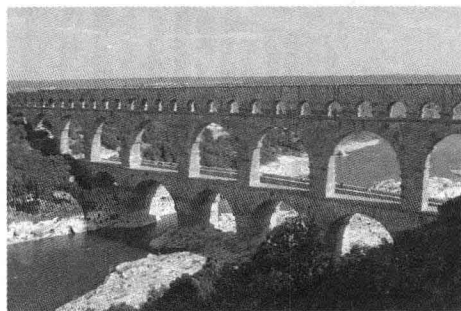


图 0-28 法国加尔河谷输水道桥



图 0-29 京杭大运河

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 9.72 km,东西宽 8.65 km,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,将其余部分划分为 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(图 0-30)。它的规划、设计为日本建设平安京(今京都)所借鉴。



图 0-30 唐长安城示意

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,并且采用模型设计的表现方法。

0.2.2 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,由以木材、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。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—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《关于两门新学科的谈话和数学证明》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,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、法国的卢浮宫、印度的泰姬陵、俄国的冬宫等(图0-31~图0-34)。土木工程实践的近代化,还有待于产业革命的推动。



图 0-31 中国雍和宫

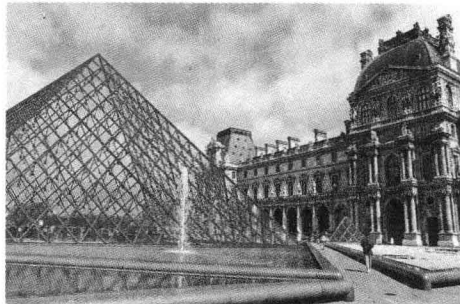


图 0-32 法国卢浮宫