

21 世纪普通高等院校规划教材
土木工程类

TUMU GONGCHENG
GAILUN

土木工程概论

尹紫红 主编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪普通高等院校规划教材——土木工程类

土木工程概论

尹紫红 主编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

土木工程概论 / 尹紫红主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2009.9

21 世纪普通高等院校规划教材. 土木工程类

ISBN 978-7-5643-0414-0

I. 土… II. 尹… III. 土木工程—高等学校—教材
IV. TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 154511 号

21 世纪普通高等院校规划教材——土木工程类

土木工程概论

尹紫红 主编

责任编辑	张 波
特邀编辑	陈 斌 唐 飞 杨 勇
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蜀通印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	18.75
印 数	1—3 000 册
字 数	467 千字
版 次	2009 年 9 月第 1 版
印 次	2009 年 9 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-0414-0
定 价	32.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

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》和对土木工程专业人才的培养目标与培养方案要求编写而成的。

本书主要介绍了土木工程各个分支学科所涉及的内容，力求反映土木工程专业的总体情况和最新发展状况。全书共十章，主要包括绪论，建筑工程，道路工程，铁道工程，桥梁工程，隧道及地下工程，港口工程及水工建筑物，机场工程，给水排水工程，土木工程的防灾、减灾等内容。涵盖了大土木工程的主要研究领域，力求构建大土木的知识体系，尽可能多地反映现代土木工程新技术、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，培养解决工程实践问题的能力，满足新时期人才培养的需要。本书的目的是使学生了解土木工程的基本知识，开阔学生的视野，激发学生对土木工程学科的兴趣和热情。

本书由西南交通大学尹紫红老师担任主编，参与编写的人员有西南交通大学的曾勇、康锐、金虎、陈庚生、梁明学以及成都铁路运输学校的刘堂辉。同时，本书的编写还得到了西南交通大学钟新樵教授的大力支持。本书可作为高等院校土木工程专业的本科生教材或教学参考书，也可作为其他专业选修课教材。

由于编者水平有限，书中不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

2009年7月



西南交通大学出版社

西南交通大学出版社是 1985 年 8 月成立的大学出版社,同时拥有图书、音像制品和电子出版物的出版权。

西南交通大学出版社始终遵循党的出版方针,把握正确的出版导向,坚持“诚信、质量、创新、服务”的办社理念,以传播科技信息、促进学术交流、推广科技成果、普及科学知识为己任,面向全国各类本科院校、高职高专、中等职业学校及全社会,出版以工、理、管、经、文、农为主的各种教材、教学参考书、学术专著、科普读物及国外先进科学技术译著等。同时还配合本版图书,出版音像制品和电子出版物。

西南交通大学是教育部直属的具有 110 余年历史的全国重点大学,为我国的交通运输事业培养了数十万计的工程建设人才。长期以来,西南交通大学出版社依托学校在交通运输工程、土木工程、铁道工程、电气工程、机械工程、信息与通信工程、材料科学与工程、环境科学与工程、地质资源与地质工程、超导磁浮、经济管理、人文社会科学等领域的学科优势、人才优势以及教育资源优势,将这些优势转化成出版资源,形成了我社图书以理工类见长的特色。特别是结合我们的专业优势以及国民经济建设和发展的重点而组织出版的一系列学术著作,被列入“十五”、“十一五”国家级重点图书,几十种教材被教育部列入“十一五”国家级规划教材。已形成规模的重点本科、应用型本科、高职高专、中等职业教育系列教材根据课程改革和新的专业设置正在不断地补充和完善。

建社 20 余年来,我社有 500 多种图书获全国、铁道部、教育部、西南地区、四川省的优秀图书奖,并有多种图书被评为全国优秀畅销书。

西南交通大学出版社向社会承诺“诚信为本,质量为先”,一次真诚的合作,将成为永远的朋友!

地址:四川省成都市二环路北一段 111 号

发行科联系电话:028-87600533 87600564 87600502 (FAX)

总编室联系电话:028-87600562

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail:swjtucbsfx@163.com

Cbsxx@swjtu.edu.cn

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 概 述	1
1.2 古代土木工程	2
1.3 近代土木工程	11
1.4 现代土木工程	17
1.5 土木工程发展趋势	22
第 2 章 建筑工程	26
2.1 建筑物的组成与分类	26
2.2 单层与多层建筑	48
2.3 高层建筑	56
2.4 特种建筑与智能建筑	66
2.5 建筑工程的发展前景	73
第 3 章 道路工程	75
3.1 概 述	75
3.2 道路工程发展史	75
3.3 道路工程分类	84
3.4 学科内容	86
3.5 展 望	91
第 4 章 铁道工程	92
4.1 概 述	92
4.2 铁路轨道	98
4.3 铁路路基	110
4.4 铁路选线	122
4.5 铁路车站	137
4.6 世界高速铁路	146
第 5 章 桥梁工程	178
5.1 桥梁的地位与发展	178
5.2 桥梁的组成和分类	187
5.3 桥梁的结构体系	192

5.4 桥梁的墩台与基础	195
5.5 桥梁上部结构施工方法	201
第 6 章 隧道及地下工程	204
6.1 隧道工程	205
6.2 地下工程	216
6.3 隧道及地下工程的施工方法	230
6.4 我国隧道及地下工程的发展前景	235
第 7 章 港口工程及水工建筑物	238
7.1 概 述	238
7.2 港口的分类	239
7.3 港口的组成	240
7.4 水工建筑物	242
第 8 章 机场工程	248
8.1 机 场	248
8.2 机场规划	252
第 9 章 给水排水工程	256
9.1 城市给水工程	256
9.2 城市排水工程	261
9.3 建筑给水工程	265
9.4 建筑排水工程	271
9.5 我国给水排水工程的发展前景	275
第 10 章 土木工程的防灾、减灾	277
10.1 工程灾害	277
10.2 工程防灾、减灾的热点问题	289
参考文献	291

第1章 绪 论

1.1 概 述

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。土木工程在国民经济中起着非常重要的作用，它需要解决以下问题：

(1) 形成人类活动所需要、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) 能够抵御自然或人为的作用力，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，材料所需的资金占土木工程投资的大部分，材料是建造土木工程的根本条件。

(4) 通过有效的技术途径和组织手段，利用社会提供的物资设备条件，“好、快、省”地完成土木工程建设任务，这是土木工程的最终归属。

人类出现以来，为了满足住和行以及生产活动的需要，从构木为巢、掘土为穴的原始操作开始，到今天能建造摩天大厦、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。

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，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。为便于叙述，本书将土木工程发展史划为古代土木工程、近代土木工程和现代土木工程三个时代，以 17 世纪工程结构开始有定量分析作为近代土木工程时代的开端，把第二次世界大战后科学技术的突飞猛进作为现代土木工程时代的起点。

人类最初居无定所，利用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，土木工程开始了它的萌芽时期。随着古代文明的发展和社会进步，古代土木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。古代的无数伟大工程建设是灿烂古代文明的重要组成部分。古代土木工程最初完全采用天然材料，后来出现人工烧制的瓦和砖，这是土木工程发展史上的一件大事。古代的土木工程实践应用简单的工具，依靠手工劳动，并没有系统的理论，但通过经验的积累，逐步形成了指导工程实践的成规。

15 世纪以后，近代自然科学的诞生和发展是近代土木工程出现的先声，是近代土木工程开始在理论上的奠基时期。17 世纪中叶，伽利略开始对结构进行定量分析，被认为是土木工程进入近代的标志，从此土木工程成为有理论基础的独立学科。18 世纪下半叶开始的产业革命，使以蒸汽和电力为动力的机械先后进入了土木工程领域，施工工艺和工具都发生了变革。近代工业生产出新的工程材料——钢铁和水泥，土木工程发生了深刻的变化，钢结构、钢筋

混凝土结构、预应力混凝土结构相继在土木工程中得到广泛应用。第一次世界大战后，近代土木工程在理论和实践上都臻于成熟，可称为成熟时期。近代土木工程几百年的发展，在规模和速度上都大大超过了古代。

第二次世界大战后，随着现代科学技术的飞速发展，土木工程也进入了一个新时代。现代土木工程所经历的时间尽管只有几十年，但以计算机技术广泛应用为代表的现代科学技术的发展，使土木工程领域出现了崭新的面貌。现代土木工程的新特征是工程功能化、城市立体化和交通高速化等。土木工程在材料、施工、理论三个方面也出现了新趋势，即材料轻质高强度、施工过程工业化和理论研究精密化。

综上所述，土木工程具有社会性、综合性、实践性和技术、经济与艺术的统一性，它必然是人类历史时期技术、经济和艺术统一的见证。

1.2 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。古代土木工程有着很长的时间跨度，它大致从新石器时代（约公元前 6000—前 5000 年前算起）开始至 17 世纪中叶。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。

1.2.1 萌芽时期

大致在新石器时代，原始人为避风雨、防兽害，利用天然的掩蔽物，例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。在中国黄河流域的仰韶文化遗址（约公元前 5000—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—前 3600 年）有很多圆形房屋，直径为 5~6 m，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；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。在西伯利亚发现有用兽骨、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，即是柱础石的雏形。洛阳王湾的仰韶文化遗址（约公元前 4000—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，则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。中国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—前 3300 年）中，有跨距达 5~6 m、联排 6~7 间的房屋，底层架空（属于干栏式建筑形式），构件之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。从中国西安半坡村遗址（见图 1.1）还可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。

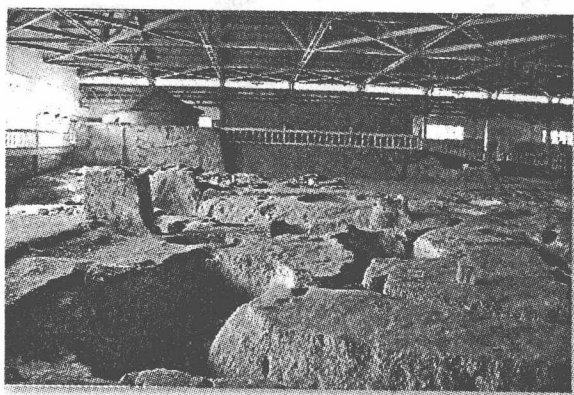


图 1.1 中国西安半坡村遗址

半坡遗址，在陕西西安附近，距今 6 000 余年前新石器时代的村落，有居民住房、制陶窑场、公共仓库、圈栏、窖穴、墓葬等。

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。

1.2.2 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，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—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。

中国在公元前 21 世纪，传说中的夏代部落领袖禹用疏导方法治理洪水，挖掘沟洫，进行灌溉。公元前 5—前 4 世纪，在今河北临漳，西门豹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 世纪中叶，在今四川灌县，李冰父子主持修建都江堰水利工程（见图 1.2），解决了围堰、防洪、灌溉以及水陆交通问题，是世界上最早的综合性和大型水利工程。

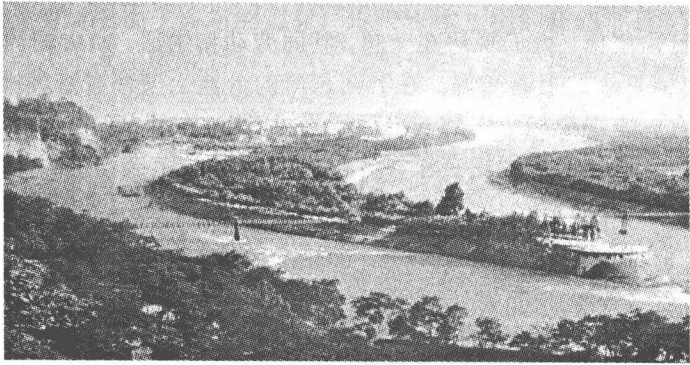


图 1.2 都江堰水利工程

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，中国在渭河上架设浮桥，是中国最早在大河上架设的桥梁。再如：在引漳灌邺工程中，汾河上建有 30 个墩柱的密柱木梁桥；在都江堰水利工程中，为了提供行船的通道，架设了索桥。

中国利用黄土高原的黄土为材料创造的夯土技术，在中国土木工程技术发展史上占有很重要的地位（见中国古代土结构相关资料）。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式浅基础宫殿群遗址，以及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成熟。在以后相当长的时期里，中国的房屋等建筑都用夯土基础和夯土墙壁。

春秋战国时期，战争频繁，广泛用夯土筑城防敌。秦统一中国后在魏、燕、赵三国夯土长城的基础上筑成万里长城，后经历代多次修筑，留存至今，成为举世闻名的长城（见图 1.3）。

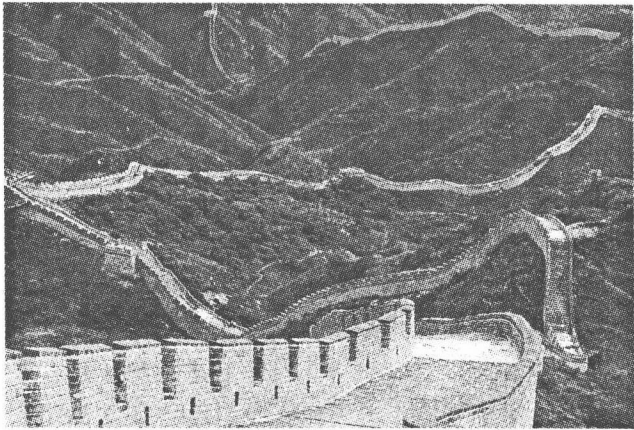


图 1.3 中国万里长城——举世最宏伟的土木工程之一

中国的房屋建筑主要使用木构架结构。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，柱础上有铜鎛，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，说明当时在梁柱接合处已使用“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中国传统使用的柱、额、梁、枋、斗拱等。

中国在西周时代已出现陶制房屋版瓦、筒瓦及人字形断面的脊瓦和瓦钉，解决了屋面防水问题。春秋时期出现陶制下水管、陶制井圈和青铜制杆件接合构件。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 年进行大规模的水利工程以及神庙和金字塔的修建中，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—前 26 世纪，埃及建造了世界上最大的帝王陵墓建筑群——吉萨金字塔群（见图 1.4）。

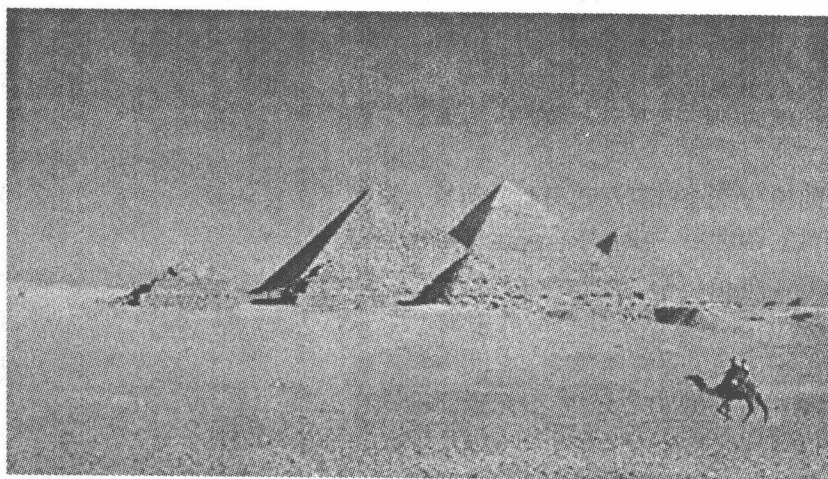


图 1.4 吉萨金字塔群

这些金字塔，在建筑上计算准确，施工精细，规模宏大。建造了大量的宫殿和神庙建筑群，如公元前 16—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，屋顶荷重不用木柱支承，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。其中，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。

在城市建设方面，早在公元前 2000 年左右，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，排水系统完备。中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。这时中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 8 m 多跨度的简支木桥，桥两端为石块和夯土制作的桥台。

1.2.3 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“戗”和绞磨等起重工具,可以吊起三百多吨重的巨材,如北京故宫三台的雕龙御路石以及罗马圣彼得大教堂前的方尖碑等。

1. 建筑工程

中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体。

(1) 木结构。中国古建筑在这一时期又出现了与木结构相适应的建筑风格,形成独特的中国木结构体系(见中国古代木结构相关资料)。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3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重,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。

佛教建筑是中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和公元9世纪建的佛光大殿,是至今保留较完整的中国木构架建筑。中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窣堵坡竖在楼阁之上(称为刹),形成楼阁式木塔。公元11世纪建成山西应县佛宫寺释迦塔(应县木塔,见图1.5),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。

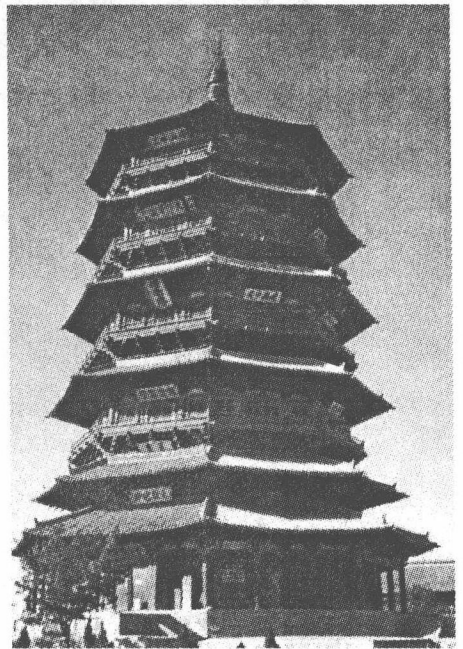


图 1.5 佛宫寺释迦塔(应县木塔)

(2) 砖石结构。约自公元1世纪,中国东汉时,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隆顶。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”,这种券伏相接合的方法在后来的发券工程中普遍采用。

自公元 4 世纪北魏中期, 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, 是中国现存最早的密檐砖塔, 如图 1.6 所示。

早在公元前 4 世纪, 罗马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 (公元 120—124 年) 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 (公元 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。如维特鲁威的《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, 拜占庭建筑继承古希腊、罗马的土木建筑技术并吸收了波斯、小亚一带的文化成就, 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 (公元 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 551 m; 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; 西班牙科尔多瓦大清真寺 (公元 785—987 年), 即是用两层叠起的马蹄券, 如图 1.7 所示。

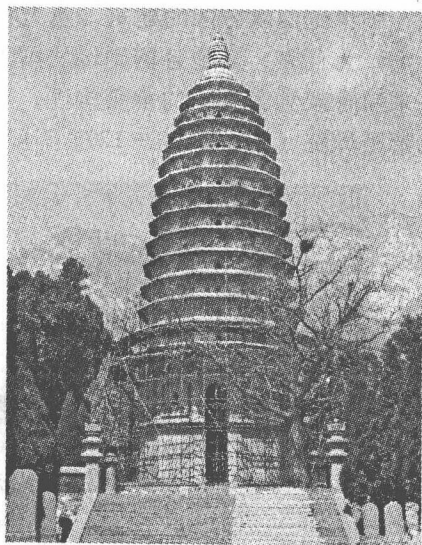


图 1.6 河南登封嵩岳寺塔

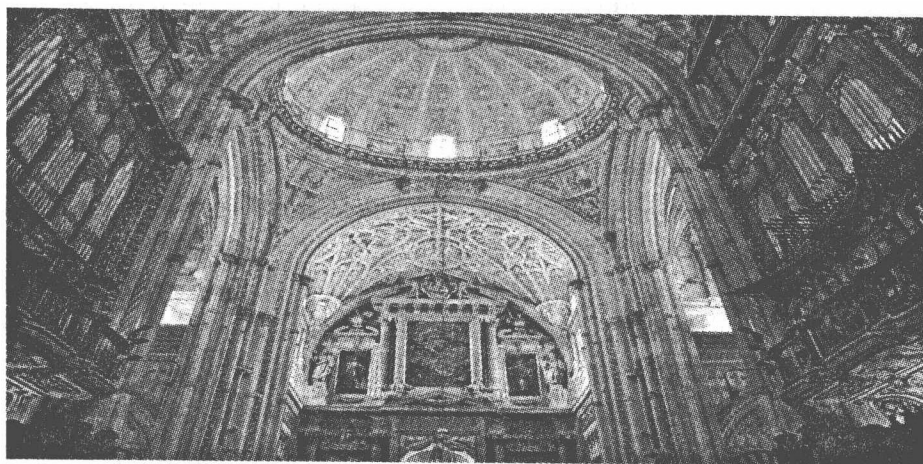


图 1.7 西班牙科尔多瓦大清真寺内景

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（公元 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，飞券扶壁抵挡拱脚的侧推力，并使用二圆心尖券和尖拱。巴黎圣母院（公元 1163—1271 年）的圣母教堂是早期哥特式教堂建筑的代表（见图 1.8）。

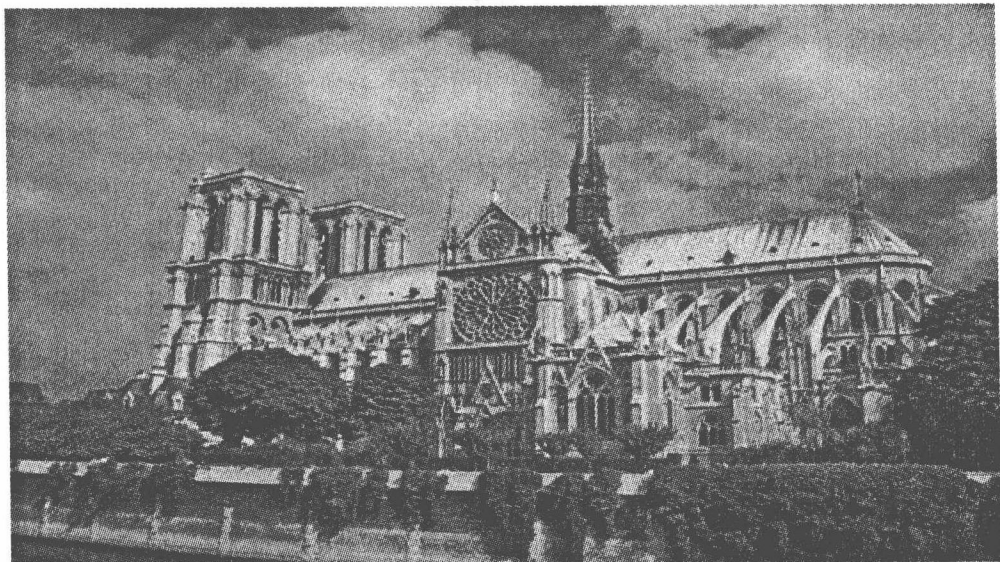


图 1.8 巴黎圣母院

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（公元 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（公元 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。

2. 其他土木工程

发达时期的其他土木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，包括有 29 条辐射主干道和 322 条联络干道，总长达 78 000 km 的罗马大道网。中国汉代的道路约达 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。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 1.9）。

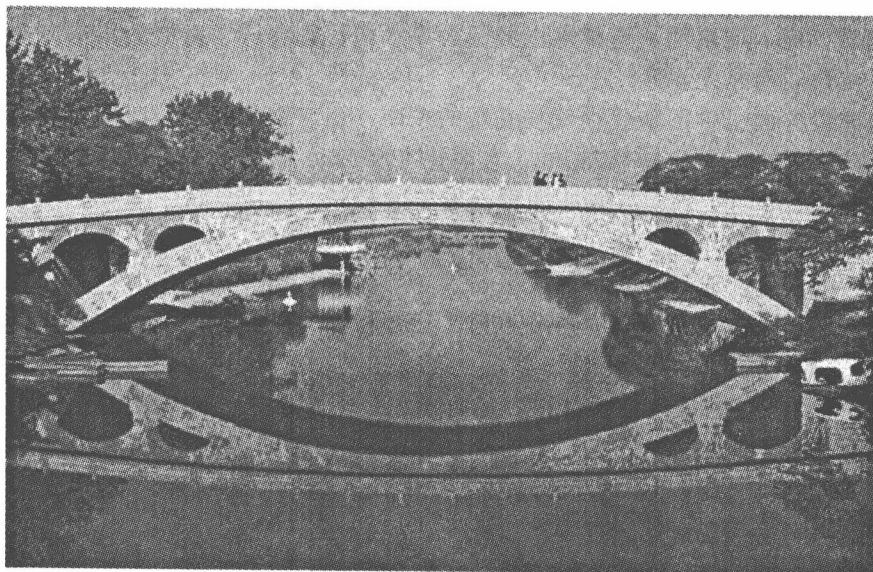


图 1.9 赵州桥

这个时期水利工程也有新的成就。公元前 3 世纪，中国秦代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—公元 2 世纪之间，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。其中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，如图 1.10 所示。

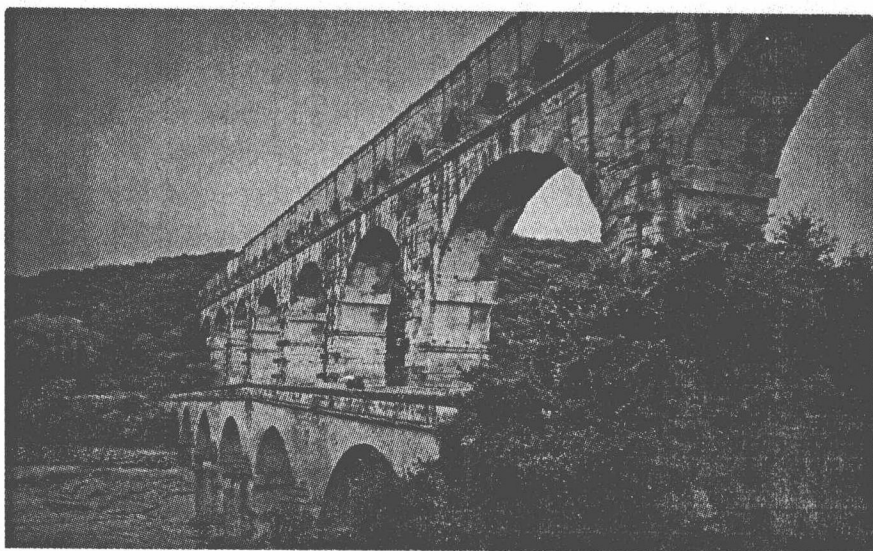


图 1.10 加尔河谷输水道桥

古罗马加尔输水道桥，建于公元前 63—前 13 年，道路桥扩建于 1747 年。

公元 7 世纪初，中国隋朝开凿了世界历史上最长的大运河，总长 2 500 km；13 世纪，元代兴建大都（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，中国隋代在汉长安城的东南，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，都做了周密地考虑。它的规划、设计为日本建设平安京（今京都）所借鉴。

在土木工程工艺技术方面也有进步，分工日益精细，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出生于工匠而知识化了的建筑师、工程师来承担。这一时期出现了多种仪器，如抄平水平设备、度量外圆和内圆及方角等几何形状的器具“规”和“矩”；计算方法方面也有进步，已能绘制平面、立面、剖面和细部大样等详图，并且具有用模型设计的表现方法。

随着年代的推移，古代有以下一些具有代表性的著名土木工程：

(1) 中国黄河流域的裴李岗遗址（约公元前 60 世纪前）和仰韶遗址（约公元前 40 世纪前），以复原的西安半坡遗址为代表。

(2) 古埃及的金字塔群，约建于公元前 27—前 23 世纪，以今埃及吉萨金字塔为代表。

(3) 公元前 14—前 11 世纪的殷墟遗址，为商代宫殿建筑，建造在夯土台基上，以墙体、木梁柱和坡屋顶组成，现河南安阳有其复原建筑。

(4) 公元前 8 世纪的亚述建筑，以萨尔贡王宫为代表，该王宫遗址中可见有 200 余房间、内院、塔楼、拱门等，建于中亚幼发拉底河和底格里斯河流域。

(5) 公元前 7 世纪春秋时期楚国始建长城，战国时（公元前 4—前 2 世纪）赵、郑、魏、齐、燕等国各自建造自己的长城，秦统一中国后将北部长城连接，西起甘肃，东至辽东，长万余里。现保存的长城，大部分是明代遗物，东起山海关，西达嘉峪关，长约 14 700 里。

(6) 公元前 5 世纪建造的古希腊雅典卫城（含神庙、露天剧场、山门等）。

(7) 公元前 5 世纪春秋末期始建的大运河，13 世纪末又进一步开凿沟通，北起北京，经冀、鲁、苏、浙四省，南至杭州，称京杭大运河。它是中国隋代至清代的南北交通大动脉，也是世界上开凿最早最长的大运河。

(8) 公元前 3 世纪（战国时期）始建于秦昭襄王末年的四川都江堰大型引水枢纽，是世界上最长的无坝引水工程，以灌溉为主，兼有防洪、水运、供水等各种用途。

(9) 公元 123 年建成的罗马万神庙，公元 537 年建成的索菲亚大教堂以及公元 1436 年建成的佛罗伦萨圣玛利亚大教堂。

(10) 公元 11 世纪下半叶法国兴建的哥特式建筑，后英国、意大利、德国相继兴起，以哥特式教堂为代表。

(11) 始建于 12 世纪的莫斯科克里姆林宫，至 15 世纪已初具规模。

(12) 中国历代王朝建造的大量宫殿和庙宇建筑。以明代为例，1368 年在南京建都，1421 年迁都北京，前后进行了大规模的宫殿、城垣、陵墓建设。如北京元大都城改建、紫禁城宫殿建设、明十三陵和各地的寺庙建设等。在这个历史时期内，土木工程所用材料最早只是当地的天然材料（如泥土、树干、茅草、砾石），后来才发展了土坯、石材、砖、瓦、木材、青