



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

(第二版)

土木工程概论

阎石 李兵 主编
孙威 王春刚 李明 金益民 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

(第二版)

土木工程概论

主 编	阎 石	李 兵	
副主编	孙 威	王春刚	李 明
	金益民		
编 写	隋伟宁	许秀红	丁 华
主 审	贾连光		



中国电力出版社

内 容 提 要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。全书共分十四章，主要包括土木工程材料，土木工程的勘察、测量与设计，地基与基础工程，土木工程基本构件与结构，建筑工程，交通土木工程，水利水电工程，地下工程，土木工程的配套工程，土木工程施工，建设项目管理，工程防灾与减灾，计算机技术在土木工程中的应用，土木工程的发展展望。全书系统全面地阐述了土木工程各个领域的相关内容，从不同的角度介绍了宽口径土木工程学科的若干分支领域。在保持内容丰富特点的同时，又将当前土木工程的热点内容加入其中，特别是最近发生在国内外有影响的工程实例。本书条理清晰、覆盖面广、重点突出、语言精练、图文并茂、注重工程教育与实践应用，能使读者系统了解土木工程各门课程的特点，把握土木工程未来的发展方向。

本书可作为普通高等院校土木工程专业的教材，也可供从事土木工程设计、研究的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程概论 / 阎石, 李兵主编. —2 版. —北京: 中国电力出版社, 2015.8

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-5123-8073-8

I. ①土… II. ①阎… ②李… 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 (2015) 第 173632 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 8 月第一版

2015 年 8 月第二版 2015 年 8 月北京第二次印刷

889 毫米×1194 毫米 16 开本 16.25 印张 394 千字

定价 35.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，是在第一版的基础上，根据高等学校土木工程学科专业指导委员会制定的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》为指导，按照我国现行土木工程类标准规范进行编写，符合《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的要求。

本书再版编写过程中保持了第一版教材内容覆盖面广、重点突出、语言精练、图文并茂的特点；吸取了相关教材的长处和多年来的教学经验，力图保持内容“少而精”，充分注重理论教育与工程实践相结合的原则；同时，考虑到现代土木工程技术的飞速发展，适当增加了一部分新内容，将当前土木工程领域的前沿、热点知识加以介绍，如“装配式结构”、“结构健康监测与振动控制”等知识点。

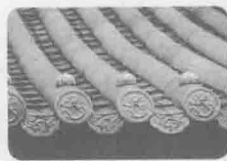
本书是由沈阳建筑大学土木工程学院编写组负责编写，由阎石教授主编，贾连光教授主审。绪论由阎石编写，第一章、第十二章由孙威编写，第二章、第七章由丁华编写，第三章、四章由李明编写，第五章、第八章由王春刚编写，第六章由隋伟宁编写，第九章由许秀红编写，第十章、第十一章由金益民编写，第十三章、第十四章由李兵编写。全书由阎石、孙威统稿。

本教材在编写过程中参考了许多文献资料，在此对各位作者表示衷心的感谢！

限于编者水平，书中还有一些不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录



前言

□ 绪论	1
□ 第一章 土木工程材料	12
第一节 砖、瓦、砂、石、木材	13
第二节 胶凝材料	17
第三节 建筑钢材	21
第四节 砂浆与混凝土	24
第五节 建筑功能材料	28
□ 第二章 土木工程的勘察、测量与设计	31
第一节 岩土工程勘察	31
第二节 工程测量	34
第三节 工程结构设计理论与方法概要	40
□ 第三章 地基与基础工程	46
第一节 基础	47
第二节 基础不均匀沉降的防治措施	54
第三节 地基处理	58
第四节 地基与基础工程事故	60
□ 第四章 土木工程基本构件与结构	63
第一节 基本构件	63
第二节 基本结构	68
□ 第五章 建筑工程	75
第一节 单层、低层及大跨度建筑结构	76
第二节 多层建筑结构	83
第三节 高层及超高层建筑结构	85
第四节 特种结构	92
□ 第六章 交通土木工程	96
第一节 道路工程	97
第二节 铁路工程	104
第三节 桥梁工程	112

第四节 隧道工程	122
第五节 飞机场工程	128
第六节 港口工程	131

■ 第七章 水利水电工程	143
第一节 农田水利工程	144
第二节 水电工程	151
第三节 防洪工程	154

■ 第八章 地下工程	157
第一节 地下工业建筑	159
第二节 地下仓储建筑	161
第三节 地下民用建筑	163
第四节 人民防空工程	166
第五节 地下空间的开发与利用	166

■ 第九章 土木工程配套工程	168
第一节 城市给水排水工程	168
第二节 建筑给水排水系统	172
第三节 建筑采暖与通风	177
第四节 建筑电气	179

■ 第十章 土木工程施工	182
第一节 基础工程施工	182
第二节 主体结构施工	191
第三节 现代施工技术	204
第四节 施工组织设计	207
第五节 流水施工与网络计划	209

■ 第十一章 建设项目管理	213
第一节 建设程序与法规	213
第二节 工程项目招投标	216
第三节 工程项目管理	218
第四节 工程监理	219

■ 第十二章 工程防灾与减灾	221
第一节 各类工程灾害及防治措施	222
第二节 工程结构的检测、鉴定与加固	228
第三节 工程防灾减灾的前沿技术	231

■ 第十三章 计算机技术在土木工程中的应用	237
第一节 计算机辅助设计 (CAD)	237
第二节 计算机模拟仿真技术	239

第三节	信息化施工管理与专家系统	240
第四节	计算机辅助教学与网络教学在土木工程中的应用	242
■	第十四章 土木工程的发展展望	244
第一节	建筑材料的发展	244
第二节	建筑空间的拓展	246
第三节	高度智能化建筑	248
第四节	发展可持续发展的土木工程	249
■	参考文献	251

绪 论



一、土木工程概述

什么是土木工程？土木工程涵盖哪些内容？《中国大百科全书：土木工程卷》给出这样的定义：土木工程是建造各类工程设施的科学技术的统称，它既指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养维修等技术活动，也指工程建设的对象，即建造在地上或地下、陆上或水中，直接或间接为人类生活、生产、军事、科研服务的各种工程设施，例如房屋、道路、铁路、运输管道、隧道、桥梁、运河、堤坝、港口、电站、飞机场、海洋平台、给水和排水以及防护工程等。

在英语中，土木工程译为“Civil Engineering”，即“民用工程”之意，它的原意是与军事工程“Military Engineering”相对应，即除了服务于战争的工程设计以外，所有服务于生活和生产需要的工程。在历史上，“Civil Engineering”的范围涵盖很广，不但包括土木工程，还包含机械工程、电气工程、化工工程等，这是因为这些学科都具有民用性。后来，随着工程技术的发展，机械、电气、化工逐渐成为独立学科，“Civil Engineering”就成了土木工程的代名词。

土木工程与广大人民群众的生活和一个国家的经济发展密切相关。人们的“衣、食、住、行”都离不开土木工程。土木工程为人类居住活动提供了所需要的、具有各种功能及良好舒适性、美观性的场所，既满足了人类生存的物质需要，又满足了精神需要。土木工程又可作为一个国家重要的产业支柱，它的发展可带动其他行业一同发展。总之土木工程为人们的生活和国家经济的发展提供了重要的物质基础，在生产和生活中发挥着重要的作用。

作为一个重要基础学科，土木工程有其重要属性——综合性、实践性、社会历史性，以及技术、经济和艺术统一性。

土木工程的综合性表现为过程复杂、内涵广泛、门类众多。就建造一项工程设施的过程而言，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，施工技术、施工组织等领域的知识，以及电子计算机和力学测试等技术；就土木工程设施所具有的使用功能而言，有的供生息居住之用、有的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；就土木工程已发展出许多分支而言，包括房屋工程、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、给水和排水工程、城市供热供燃气工程、港口工程、水利工程等学科。因此土木工程是一门范围广泛的综合性学科。

土木工程又是具有很强的实践性的学科。早期的土木工程施工是通过工程实践，总结成功的经验，尤其是吸取失败的教训发展起来的。从 17 世纪开始，以伽利略和

土木工程，是建造各类工程设施的科学技术的统称，它既指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养维修等技术活动；也指工程建设的对象，即建造在地上或地下、陆上或水中，直接或间接为人类生活、生产、军事、科研服务的各种工程设施，例如房屋、道路、铁路、运输管道、隧道、桥梁、运河、堤坝、港口、电站、飞机场、海洋平台、给水和排水以及防护工程等。——选自《中国大百科全书：土木工程卷》。

作为一门重要的基础学科，土木工程具有重要的属性：

- (1) 综合性。
- (2) 实践性。
- (3) 社会历史性。
- (4) 技术、经济和艺术统一性。



西安半坡村原始
房屋复原图

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、岩体力学,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。

土木工程的社会历史性表现为建筑结构能够反映出不同时期、不同地域的社会经济、政治、文化、宗教以及科技的发展面貌。在古代,人们为了适应、生产、生活、宗教活动、战争等不同的需要,兴建了民宅、宫殿、寺庙、城池、运河以及其他各种建筑物。产业革命以后,特别是到了 20 世纪,由于社会发展给土木工程提出了新的要求,同时社会各个领域也为土木工程的发展创造了良好的条件。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。因而在这个时期的土木工程得到突飞猛进的发展。在世界各地出现了现代化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。

土木工程的技术、经济和建筑艺术的统一性是指人们力求最经济地建造一项工程设施,用以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与各项技术活动密切相关。工程建设的总投资、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。这些技术问题联系密切,需要综合考虑。在符合功能要求的同时,人们还追求土木工程的艺术性。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,会使环境受到影响。在土木工程的长期实践中,人们不仅对房屋建筑艺术给予很大注意,并且取得了卓越的成就。

二、土木工程的发展简史

在人类文明的历史长河中,土木工程的发展经历了古代、近代和现代 3 个历史时期,各个时期都留下了传世的建筑精品,它们是人类的瑰宝,是人类勤劳与智慧的体现。

(一) 古代土木工程

古代土木工程的历史跨度很大,它大致从新石器时代(约公元前 5000 年起)开始至 17 世纪中叶。这一时期土木工程的特点主要体现在三个方面:

- (1) 设计过程没有形成理论指导,施工过程主要依靠工匠的经验。
- (2) 所用材料广泛取之于天然,或稍事加工,即用于结构的建造,如砖、瓦、石块及土坯等。
- (3) 施工所用工具简单,只有斧、锤、刀、铲以及石夯等。

尽管如此,人类在这一时期还是留下了许多传世之作,有些建筑即便是从现代角度看也是非常伟大的,甚至超乎想象。

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。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。中国黄河流域的仰韶文化遗址如西安半坡村遗址,曾经发现过许多圆形房屋的遗迹,距今已有 5000~7000 年的历史。经分析是直径为 5~6m 圆形房屋的土墙,墙内竖有木柱,支撑着用茅草做成的屋面,茅草下有密排树枝起到龙骨作用。这

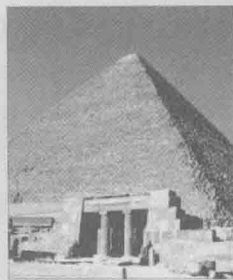
类圆形的房屋,是我国先民早期的居住场所形态。

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,材料方面,开始出现经过烧制加工的瓦和砖;构造方面,形成木构架、石梁柱、券拱等结构体系;工程内容方面,有宫室、陵墓、庙堂等。古埃及帝王陵墓建筑群——吉萨金字塔群,建于公元前 2700~2600 年。其中以古王国第四王朝法老胡夫的金字塔最大。该塔塔基呈正方形,每边长 230.5m,高约 146m,用 230 余万块巨石砌成。塔内有甬道、石阶和墓室等。金字塔是古埃及文明的象征。希腊的帕特农神庙作为雅典卫城的核心建筑建于公元前 447 年,是为了歌颂雅典战胜侵略者而建。罗马斗兽场是古罗马时期最大的圆形角斗场,建于公元 72 年,是古罗马建筑的代表作之一。随着西方宗教文化的兴起,各类宗教建筑广泛出现。公元前 532 年开始修建的土耳其伊斯坦布尔索菲亚大教堂以其巨大的圆顶闻名于世。该教堂为砖砌穹顶,直径约 30m,穹顶高约 50m,支承在大跨度砖拱和用巨石砌筑的巨型柱上,被誉为拜占庭式建筑的典范及“改变了建筑史”。法国卢浮宫是世界著名的宫殿建筑,最早始建于 1204 年。它不但是世界著名的建筑,也是世界上最古老、最大的博物馆之一。这一时期,西方的建筑受地域、文化的影响,以砖石建筑为主。印度的泰姬陵,始建于 1631 年,是莫卧儿王朝第 5 代皇帝沙贾汗为了纪念他已故皇后而建立的陵墓,被誉为“完美建筑”,具有极高的艺术价值。

而中国的古代建筑则以木结构加砖墙形式居多。历代封建王朝建造的大量宫殿和庙宇建筑,都属于该类结构。它是用木梁、木柱做成承重骨架,用木制斗拱做成大挑檐,四壁墙体都是自承重的隔断墙。北京故宫是中国古代宫廷建筑的集大成者。故宫旧称紫禁城,建成于明代永乐十八年(1420 年),是明、清两代的皇宫,世界现存最大、最完整的木质结构的古建筑群,被誉为“无与伦比的古代建筑杰作”。公元 1056 年建成的山西应县木塔(佛宫寺释迦塔),塔高 67.3m,共九层,横截面呈八角形,底层直径达 30.27m,是保存至今的唯一木塔,也是我国现存最高的木结构之一。该塔经历了多次大地震仍完整无损,足以证明我国古代木结构的高超技术。

中国古代的砖石结构也有伟大成就。最著名的当数万里长城,它是古代中国在不同时期为抵御塞北游牧部落联盟侵袭而修筑的规模浩大的军事工程的统称。最早始建于春秋战国时期,现存的长城修建于明代。长城是我国古代劳动人民创造的伟大奇迹,是中国悠久历史的见证,被世人看作中国的象征。坐落在河北省赵县洺河上的赵州桥,建于隋代大业年间(公元 605~618 年),由著名匠师李春设计和建造,距今已有约 1400 年的历史,是当今世界上现存最早、保存最完善的古代敞肩石拱桥。同类型的桥梁,欧洲到 19 世纪中期才出现,比我国晚了 1200 多年。赵州桥经历了 10 次水灾,8 次战乱和多次地震。特别是 1966 年 3 月 8 日邢台发生 7.6 级地震,赵州桥距离震中只有 40 多公里,都没有被破坏。著名桥梁专家茅以升评价该桥,“先不管桥的内部结构,仅就它能够存在 1400 多年就说明了一切。”

中国是传统的农业国家,一直有兴修水利的传统。大禹治水“三过家门而不入”的故事为人称道。在中国几千年的历史长河中,留下了许多堪称经典的杰作。最为著名的当属都江堰水利工程,它是全世界至今为止,年代最久、唯一留存、以无坝引水为特征的宏大水利工程。这项工程始建于公元前 256 年,由当时秦国蜀太守李冰父子主持修建。工程主要包括鱼嘴分水堤、飞沙堰溢洪道、宝瓶口进水口三大部分和百丈



胡夫金字塔,塔高 146.5m,塔身是用 230 万块石料堆砌而成,大小不等的石料重达 1.5~160t,塔的总重量约为 684 万 t,它的规模是埃及迄今发现的 108 座金字塔中最大的。它是一座几乎实心的巨石体,成群结队的人将这些大石块沿着地面斜坡往上拖运,然后在金字塔周围以一种脚手架的方式层层堆砌。它是 100000 人共用了 30 年的时间才完成的人类奇迹。



紫禁城,现称“故宫”,是位于北京市中心。曾为明、清两代的皇宫,是当今世界上现存规模最大、建筑最雄伟、保存最完整的古代宫殿和古建筑群。城四周环有高 10m 的城墙,宽 52m 的护城河。城南北长 961m,东西长 753m,占地面积 720000m²。整体宫殿建筑布局严谨,次序井然,寸砖片瓦皆遵循封建等级礼制,映现出帝王至高无上的权威。

1961 年,经国务院批准被定为全国第一批重点文物保护单位。1987 年,被联合国教科文组织列入“世界文化遗产名录”。



泰姬陵，印度知名度最高的古迹之一，是莫卧儿王朝第5代皇帝沙贾汗为了纪念他已故皇后阿姬曼·芭奴而建立的陵墓，被誉为“完美建筑”。它由殿堂、钟楼、尖塔、水池等构成，全部用纯白色大理石建筑，用玻璃、玛瑙镶嵌，绚丽夺目、美丽无比。有极高的艺术价值。是伊斯兰教建筑中的代表作。



伽利略（1564—1642），意大利物理学家、天文学家和哲学家，近代实验科学的先驱者。生于意大利佛罗伦萨的一个没落贵族家庭。26岁就担任了比萨大学的数学教授。1632年以后，伽利略专心致力于力学的研究，并于1638年完成了《两种新科学的对话》。这部书是伽利略最大和重要的著作。伽利略首先研究了惯性运动和落体运动的规律，为牛顿第一定律和第二定律的研究铺平了道路。

堤、人字堤等附属工程构成，科学地解决了江水自动分流、自动排沙、控制进水流量等问题，消除了水患，使川西平原成为“水旱从人”的“天府之国”。公元前246年，秦王嬴政采纳韩国人郑国的建议，并由郑国主持兴修的大型灌溉渠，它西引泾水东注洛水，长达300余里。郑国渠修成后，大大改变了关中的农业生产面貌，具有深远的经济和政治意义。形成于隋代的京杭大运河，是世界上里程最长、工程量最大、最古老的运河之一。大运河北起北京，南到杭州，途经北京、天津两市及河北、山东、江苏、浙江四省，贯通海河、黄河、淮河、长江、钱塘江五大水系，全长约1794km，开凿到现在已有2500多年的历史，其部分河段依旧具有通航功能。

在道路工程方面，古代也有伟大成就。秦统一全国后，修建了以都城咸阳为中心通往全国各郡县的驰道，形成了全国的交通网。在欧洲，罗马帝国也修建了以罗马为中心的的道路网，世称“条条大路通罗马”。

在这一时期还出现了一些土木工程方面的专著，其中比较有代表性的如我国战国时期的《考工记》，是一部记录有木工、金工等工艺，并有城市、宫殿、房屋建筑等规范的专著。北魏时期郦道元编著了我国古代一部比较系统的水利工程专著《水经注》。北宋时期李诫编著的《营造法式》，是我国古代最为完善的一部建筑技术书籍。国外的专著如意大利文艺复兴时代阿尔贝蒂所著的《论建筑》等。

（二）近代土木工程

近代土木工程的时间跨度从17世纪中叶至20世纪中叶的300年间。这个时期内土木工程的主要特征有：

- （1）力学、结构等相关理论初步形成，并指导实践。
- （2）水泥、混凝土、钢材等重要的建筑材料相继出现，并运用到实际工程。
- （3）施工技术得到快速的发展，建造规模日益扩大，建造速度也大大加快。

在这一时期，土木工程相关理论得到迅速发展。意大利科学家伽利略为了解决建造船只和水闸所需梁的尺寸问题进行了一些实验，并在1638年首先提出了计算梁强度的公式。英国物理学家牛顿在1687年总结了力学三大定律。同年，英国科学家胡克发表了他根据实验观察所总结出来的重要物理定律——力与变形成正比关系的胡克定律。瑞士数学家欧拉1744年出版了《曲线的变分法》一书，建立了构件的压屈理论，得到计算柱的临界压力公式，为工程结构的稳定性分析奠定了基础。1825年，纳维建立了土木工程中结构设计的容许应力方法，成为了早期土木工程设计的理论基础。1906年美国旧金山大地震和1923年日本关东大地震，人们的生命财产遭受严重损失。1940年美国塔科马悬索桥毁于风振。这些自然灾害推动了结构动力学和工程防灾技术的研究与发展。

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。所有这些均表明土木工程学科已经形成。

18世纪下半叶，瓦特对蒸汽机作了根本性的改进，推进了产业革命。多种性能优良的建筑材料及施工机具在这一时代背景下相继产生，从而促使土木工程以空前的速度向前迈进。1824年英国人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。1867年法国人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9层高的家庭保险公司大厦,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。

土木工程的施工方法在这个时期开始了机械化和电气化的进程。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19世纪70年代电机出现后,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;1871年瑞士用风钻修筑8英里长的隧道;1906年瑞士修筑通往意大利的19.8km长的辛普朗隧道使用了大量黄色炸药以及凿岩机等先进设备。

产业革命还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年巴拿马运河凿成。在铁路方面,1825年斯蒂芬森建成了世界上第一条铁路。以后,世界上其他国家纷纷建造铁路。1863年,英国伦敦建成了世界第一条地下铁道。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。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,英国就用铸铁建成了跨度30.5m的拱桥。1826年,英国特尔特福德用锻铁建成了跨度177m的麦内悬索桥。现代桥梁的三种基本形式(梁式桥、拱桥、悬索桥)在这个时期相继出现。

随着近代工业的发展,人类需求的不断增长,房屋建筑的相关配套功能逐步完善。电力的应用,电梯等附属设施的出现,使高层建筑实用化成为可能;电气照明、给水排水、供热通风、道路桥梁等市政设施与房屋建筑结合配套,开创了市政建设和居住条件的新局面。

第一次世界大战以后,近代土木工程发展日趋成熟。这个时期的一个标志是道路、桥梁、房屋大规模建设的出现。在交通运输方面,由于汽车在陆路交通中具有快速和机动灵活的特点,道路工程的地位日益重要。沥青和混凝土开始用于铺筑高级路面。1931~1942年,德国首先修筑了长达3860km的高速公路网,美国和欧洲其他一些国家相继效法。钢铁质量的提高和产量的上升,使建造大跨桥梁成为现实。1937年,美国旧金山建成金门悬索桥,跨度1280m,全长2825m,是公路桥的代表性工程;1932年,澳大利亚建成悉尼港桥,为双铰钢拱结构,跨度503m,是世界上大跨度城市钢拱桥之一。工业的发达和城市人口的集中,使各类工业与公共建筑向大跨度发展,民用建筑向高层发展。日益增多的影剧院、体育场馆、工业生产车间等都要要求采用大跨度结构。1925~1933年在法国、苏联和美国分别建成了跨度达60m的圆壳、扁壳和圆形悬索屋盖。1931年美国纽约的帝国大厦落成,共102层,高378m,有效面积160000m²,结构用钢约50000余t,内装电梯67部,还有各种复杂的管网系统,可谓集当时技术成就之大成,它保持世界房屋最高纪录达40年之久。

中国清朝实行闭关锁国政策,近代土木工程进展缓慢。直到清末洋务运动,才引进一些西方技术。中国富有代表性的近代建筑为1929年建成的中山陵和1931年建



牛顿(1643—1727),人类历史上最伟大、最有影响的科学家,同时也是物理学家、数学家和哲学家。他发表的不朽著作《自然哲学的数学原理》用数学方法阐明了宇宙中最基本的法则——万有引力定律和三大运动定律。这四条定律构成了一个统一的体系,被认为是“人类智慧史上最伟大的一个成就”。牛顿为人类建立起“理性主义”的旗帜,开启了工业革命的大门。



帝国大厦,是位于美国纽约市的一栋著名的摩天大楼,共有102层,1930年动工,1931年落成,只用了410天。落成后,雄踞世界最高建筑的宝座达40年之久,直到1971年才被世贸中心超过。



金门大桥,是世界著名大桥之一,被誉为近代桥梁工程的一项奇迹,也被认为是旧金山的象征。金门大桥于1933年动工,1937年5月竣工,用了4年时间和10万多t钢材,耗资达3550万美元。整个大桥造型宏伟壮观、朴素无华。桥身呈朱红色,横卧于碧海白浪之上,华灯初放,如巨龙凌空,使旧金山市的夜色更加壮丽。

成的广州中山纪念堂。1934年在上海建成了钢结构的24层的国际饭店,直到20世纪80年代以前一直是中国最高的建筑。中国近代市政工程始于19世纪下半叶。1865年,上海开始供应煤气。1879年,旅顺建成近代给水工程。相隔不久,上海也开始供应自来水和电力。在路桥方面,1909年,中国著名工程师詹天佑主持建成京张铁路,全长约200km,达到当时世界先进水平。1894年,首次采用气压沉箱法施工建成了滦河桥。1901年,建成了全长1027m的松花江桁架桥。1905年建成了全长3015m的郑州黄河桥。1937年,我国著名桥梁专家茅以升主持兴建了公路铁路两用钢桁架的钱塘江桥,长1453m,是我国近代土木工程的优秀成果。

(三) 现代土木工程

现代土木工程以社会生产力的现代发展为动力,以现代科学技术为背景,以现代工程材料为基础,以现代工艺与机具为手段高速度地向前发展。第二次世界大战结束后,社会生产力出现了新的飞跃。现代科学技术突飞猛进,土木工程进入一个新时代。这个时期内土木工程的设计理论日趋完善,尤其随着计算机技术的发展,使得设计计算方法更加精确,设计手段自动化程度不断提高。钢材、混凝土、预应力混凝土等材料应用更为成熟和广泛,铝合金、塑料、纤维等新材料迅速发展,建筑材料呈现轻质高强的发展趋势。施工技术和设备更为先进,大型吊装设备、混凝土搅拌运输车、盾构机等设备的出现解决了大型工程、高难工程的建造问题,施工效率显著提高。土木工程建设更注重节能、环保和可持续发展,节能环保材料的利用、建筑垃圾回收利用、污水处理、生态建筑、智能建筑等为成为土木工程发展的新方向。在这样的背景下,土木工程结构呈现出以下特点。

1. 城市建设立体化

随着经济的发展,人口的增长,城市用地更加紧张,交通更加拥挤,人类对空间的利用更加充分,城市建设呈现出立体化的趋势,房屋建筑和道路交通等向高空和地下发展。

越来越多的高层建筑和超高层建筑的出现成了城市建设立体化的特征之一。现代高层建筑由于设计理论的进步和材料的改进,促成了新的结构体系的出现,如剪力墙、筒中筒结构等,这也极大促进了高层建筑的发展。美国的高层建筑数量最多,其中高度超过200m以上的建筑达100多幢。1974年,芝加哥建成高达433m的西尔斯大厦,超过1931年建造的纽约帝国大厦,成为当时世界上最高的建筑物,并将这一记录保持了20多年,目前仍是美国最高的建筑。近十几年来,高层建筑在亚洲地区也得到了迅猛的发展。1998年,我国上海建成的金茂大厦,高度达到420m,是我国首座高度超过400m的高层建筑。2008年竣工的环球金融中心大厦高度更是达到492m。

城市道路和铁路很多已采用高架,同时又向地层深处发展。地下铁道在近几十年得到进一步发展,地铁早已电气化,并与建筑物地下室连接,形成地下商业街。北京地下铁道在1969年通车后,1984年又建成新的环形线。地下停车库、地下油库日益增多。城市道路下面密布着电缆、给水、排水、供热、供燃气的管道,构成城市的脉络。现代城市建设已经成为一个立体的、有机的系统,对土木工程各个分支以及它们之间的协作提出了更高的要求。

2. 工程设施大型化

20世纪90年代以来,随着电子信息技术革命的兴起,带来了社会经济高速发展,

城市化进程不断加快,由此产生强劲的基础设施建设需求,不断推动土木工程快速发展。工程设施建设规模大型化的趋势日益明显。

在高层建筑方面,2010年建成的世界最高建筑阿联酋迪拜塔高达828m,几乎是1972年建成的纽约世界贸易大厦的两倍,比现世界第二高楼台北101大厦高出了320m。

在高耸结构方面,2011年落成的日本东京天空树塔高度634m,是目前世界第一高的自立式电视塔。2009年落成的广州电视塔高度达616m,位列世界第二,也是目前我国国内最高的建筑物。加拿大多伦多电视塔,高549m位居第三。

在大跨度桥梁方面,世界最大跨度的斜拉桥苏通大桥最大跨径1088m。大桥主墩基础由133根长约120m、直径2.5~2.8m的群桩组成。承台长114m,宽48m,面积相当于一个足球场大小。世界最大跨度的悬索桥为日本的明石海峡大桥,主桥墩跨度1991m。两座主桥墩海拔297m,基础直径80m,水中部分高60m。两条主钢缆每条约4000m,直径1.12m,由290根细钢缆组成,重约50000t。

在隧道方面,世界最长的铁路隧道圣哥达铁路隧道全长57km。英吉利海峡海底隧道是世界上最长的海底隧道,它横穿英吉利海峡最窄处,全长50.5km。我国最长的隧道青藏铁路新关角隧道全长32.64km。

在大跨度建筑方面,中国国家体育场馆“鸟巢”的长轴最大跨度达333m,短轴最大跨度达297m。美国西雅图的金群体育馆为钢结构穹顶球顶,直径达202m。法国巴黎工业展览馆的屋盖跨度为218m,由装配式薄壳组成。

水利工程筑坝蓄水,对灌溉、航行、发电有许多益处。目前世界上最高的重力坝为瑞士的大狄克桑坝,高285m;其次是俄罗斯的萨杨苏申克坝,高245m。三峡水电站大坝全长2309m,最大坝高181m,坝顶宽度15m,底部宽度为124m,总装机容量 $1820 \times 10^4 \text{ kW}$,是世界上规模最大的水电工程。

土木工程不断展示其强大的生命力和创造力,不断挑战高、大、重、特工程,创造了一个又一个新的里程碑。

3. 功能要求多样化

现代土木工程的特征之一,是工程设施同它的使用功能或生产工艺更紧密地结合。日益提高的生活水平和复杂的现代生产过程,对土木工程提出了各种专门的要求。现代的公用建筑和住宅建筑不再仅仅是传统意义上徒具四壁的房屋,而要求同采暖、通风、给水、排水、供电、供燃气等种种现代技术设备结成一体。

由于电子技术、精密机械、生物基因工程、航空航天等高科技工业的发展,许多工业建筑提出了恒温、恒湿、防微震、防腐蚀、防辐射、防磁、无微尘等要求,并向跨度大、分隔灵活、工厂花园化的方向发展。现代土木工程的功能化问题日益突出,为了满足更多样的功能需要,土木工程需要更多地与各种现代科学技术相互渗透。例如,为了提高结构自身抵抗地震、风等自然灾害的作用,科研人员与工程技术人员尝试着在建筑结构内部安装阻尼器等减震耗能装置,利用控制理论降低建筑结构在地震荷载和风荷载作用下的位移响应。为保证重大建筑结构安全运营,降低结构因材料老化、自然灾害等因素导致的可靠性下降,对建筑结构进行必要的检测工作必不可少。但是,传统的检测技术往往需要涉及大量的人力、设备等,通常是结构表现出安全隐患之后才对结构采取相应的检测措施,另外无损检测多数情况下只能对结构的局部进行检测。在这样的背景下,一种全新的结构检测技术——结构健康监测受到学者和工



哈利法塔,又称迪拜塔、迪拜大厦或比斯迪拜塔,是位于阿拉伯联合酋长国迪拜的一栋已经建成的摩天大楼,有160层,总高828m。迪拜塔由美国芝加哥公司的建筑师阿德里安·史密斯(Adrian Smith)设计,韩国三星公司负责实施。建筑设计采用了一种具有挑战性的单式结构,由连为体的管状多塔组成,具有太空时代风格的外形,基座周围采用了富有伊斯兰建筑风格的几何图形——六瓣的沙漠之花。哈利法塔加上周边的配套项目,总投资超70亿美元。哈利法塔37层以下是世界上首家ARMANI酒店,45层至108层则作为公寓。第123层为观景台,站在上面可俯瞰整个迪拜市。建筑内有1000套豪华公寓。该项目于2004年9月21日开始动工,2010年1月4日竣工启用,同时正式更名为哈利法塔,是目前世界上最高的建筑物。



东京天空树，直立在东京墨田区、台东区，正式命名称为新东京铁塔，是在日本东京都墨田区预定兴建的电波塔。自2008年7月14日起动工，原定2011年12月完工，但3·11大地震令建筑材料供应短缺，至2012年2月29日终于举行竣工仪式。整项工程共投入了58万名建筑工人，单是铁塔本身，已耗资650亿日元（约合人民币50亿元）。塔身将用2000盏LED灯进行照明，用纯粹的水色与雅致的紫色这两种具有江户风情的颜色装扮整个塔身。它建在一个三角形的底座上，呈圆柱形，随着高度上升塔身逐渐变细，顶端呈圆球形。据说这种类似日本国宝“五重塔”的结构造型，主要是为了有效抵抗地震和强风。

程技术人员的广泛关注。结构健康监测通过在结构内部安置各种类型的传感器，并与计算机系统相连接，自动、实时的测量结构在各类荷载作用下的响应。再通过计算机系统内的损伤识别算法对结构健康状态给予评估。结构振动控制技术和健康监测技术使结构在满足人们传统功能需求的基础上，具备了防灾减灾的功能。

4. 施工过程的机械化

工程机械的广泛应用，大大提高了施工速度、效率和施工质量，减少了安全事故，减轻了工人的劳动强度，而且使大型工程建设变成可能。

目前大型隧道施工已经比较广泛地使用盾构机。世界上最大的盾构机直径达14.44m，我国生产的最大盾构机直径为12m，刀头加盾身的重量就达到1600t。大型吊装机械在高层建筑施工中起到不可替代的作用。上海环球金融中心吊装中采用的两台M900D塔吊，是目前国内房屋建筑领域中起重量最大、高度可达500m的巨型变臂塔吊，总重量达225.40t。大厦封顶后，该塔吊在500m高空拆卸，属世界首创。高强度、高耐久、高流态、高泵送混凝土技术在工程中得到普遍推广应用。上海环球金融中心基础施工中使用19台泵车、350辆混凝土搅拌车一次连续40h浇筑主楼底板3.69万m³混凝土，同时在主体结构施工中将混凝土一次泵送至492m高空，创造了世界混凝土浇筑高度的新纪录。

5. 设计理论完善化

结构理论的发展与完善也是现代土木工程快速发展的重要基础和标志。现代社会对土木工程的要求日益多样化，土木工程技术不仅要能快速建设大量的一般工程，还要解决大量复杂工程的关键问题，同时要使所建造的工程具有预定的功能和抵御各种自然灾害的能力。如没有理论的发展和完善，这些要求就不可能实现。传统的依靠经验建造工程的时代，不仅不能解决大量一般工程的快速建设问题，更不能建设超高、大跨等复杂工程的设计和施工问题，因为无法解决复杂工况的计算分析及复杂条件与环境的施工问题。由于实验设备与技术、结构非线性分析理论、材料多轴循环本构关系以及计算机技术的高度发展，结构分析计算理论与方法有了重大突破，结构设计方法实现了从经验方法、安全系数法到可靠度设计方法的过渡。进入21世纪，基于性能设计理论、抗连续倒塌设计理论、结构耐久性理论、结构的振动控制理论、结构实验技术等又有了重大发展，所形成的理论逐渐在实际工程中应用，在工程结构的防灾减灾中发挥着巨大作用。

三、土木工程专业及人才培养

土木工程专业是为培养土木工程专门技术人才而设置的。早在1747年，法国就创立了巴黎路桥学校。我国土木工程教育则始于1895年天津大学。目前全国有近500余所高等院校开设了土木工程专业。

从1872年清政府第一批官办留学开始到20世纪初，我国派遣了一批优秀人才到国外学习桥梁工程、采矿工程、地质工程等工科专业。这些留学生回国后不仅为我国的工程技术与工业发展作出了开创性的贡献，而且大都奠定了各学科的基础。如我们熟知的铁道专家詹天佑1872年留学耶鲁大学，桥梁专家茅以升1916年留学美国康奈尔大学，地质学家李四光1913年留学英国伯明翰大学。他们为中国的土木工程事业的发展作出了卓越的贡献。新中国成立以后，我国的土木工程专业教育有了很大的发展，也涌现了大批卓有成绩的专家学者。

目前，从我国土木工程专业人才培养层次上划分有专科、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分为二级学科专业,如结构工程、岩土工程、防灾减灾与防护工程、桥隧工程等。

高等土木工程专业本科教育课程包括基础理论 and 应用理论两个方面。基础理论主要包括高等数学、物理和化学。应用理论内容较多,包括基本工程力学(理论力学、材料力学)、结构力学、流体力学、土力学与工程地质学等。土木工程的专业知识与技术包括建筑结构(如钢结构、混凝土与砌体结构等)的设计理论和方法、土木工程施工技术与组织管理、房屋建筑学、工程经济、建筑法规、土木工程材料、基础工程、结构试验、土木工程抗震设计等。学习土木工程需要的相关知识还包括给排水、供暖通风、电工电子、工程机械等。土木工程需要掌握的技能或工具有工程制图、工程测量、材料与结构试验、外语和计算机在土木工程中的应用等。

我国高等学校土木工程专业的培养目标是:培养适应社会主义现代化建设需要,德、智、体全面发展,掌握土木工程学科的基本理论和基本知识,经过土木工程师基本训练的,具有创新精神的高级技术人才。毕业生能从事土木工程的设计、施工与管理工作,具有初步的工程项目规划和研究开发能力。

作为刚跨入高等学校大门的学生,理解本专业的培养目标,就是懂得“为什么学习”这个根本问题。这是由高等教育区别于中等教育的特点所决定的。高等教育是指一切建立在普通教育基础上的专业教育。高等教育学校里一个专业的培养目标,就是这个专业教育活动的根本出发点和归宿,也是高等学校所培养的人才在毕业时预期的素质特征。大学生在学习过程中要按照这个目标接受教育,进行学习,在思想、知识、技能、能力、体魄等各方面严格要求自己。毕业时,用人单位将根据这个目标评价和选择毕业生;学生自己则要按照这个目标自我评价,选择利于自己发展的工作岗位。

在土木工程学科的系统学习中,不仅要注意知识的积累,更应该注意能力的培养。土木工程专业对所培养人才的素质要求,体现在以下几个方面。

(一) 掌握相关学科的知识

掌握数理化基础理论的原理和方法,了解当代科学技术发展的主要方面和应用前景;掌握与专业相关的工程图学、工程力学、材料学、计算机科学、测量学等原理;掌握本专业主要的工程技术的知识和方法;掌握与经济分析、技术经济、管理、建设法规、环境治理等有关的知识;掌握哲学及方法论、经济学、历史、法学、伦理、社会学、文学、公共关系、艺术等人文社会科学及军事方面的基础知识。

(二) 技能和能力方面的培养

培养获取、储存、记忆、交流信息的技能,由此形成很强的自主学习能力;培养运算、实验、测试、计算机应用、设计、绘图、操作等技能,由此形成较强的解决实际技术问题的能力;培养交谈、联络、协调、合作、管理等方面的技能,由此形成初步的组织管理能力;掌握科学锻炼身体的基本技能,养成良好的体育锻炼和卫生习惯,接受必要的军事训练,达到国家规定的有关合格标准,能履行建设和保卫祖国的神圣义务。

(三) 思想和感情方面的培养

政治上要做到热爱祖国,拥护中国共产党和国家的路线方针,懂得政策,有法制

观念，对思潮有辨别力；思想上要做到懂得马列主义、毛泽东思想、邓小平理论及三个代表的基本原理，树立辩证唯物主义世界观，走与工农群众、与劳动相结合的道路，对土木工程事业有情感、有信念、有责任心；道德品质上要做到遵纪守法，有良好的品德修养和文明的行业准则，有鲜明的职业道德。

（四）意识和意志方面的培养

培养实践意识，一切从实际出发，实践是检验真理的唯一标准；培养质量意识，能够对质量方针政策、现象、原因、危害全面认识；培养协作意识，能与周围群众协同工作，协调配合；培养竞争意识，力争上游，在相互竞争中求发展；培养创新意识，追求新意境、新见解；培养坚毅意志，克服困难、调节行动，顽强实现预定目标。

（五）心理和体魄方面的培养

学风上要勤奋、严谨、求实、进取；作风上要谦虚、谨慎、朴实、守信；要具有健全的体质、良好的体能、旺盛的精力和活跃的思维。

四、土木工程专业课的学习建议

对于刚刚跨入大学校门并且选择了土木工程专业的同学们来说，学好各门课程是摆在他们面前的首要问题。大学的课程设置，总体可分为基础课和专业课。如果说扎实地学好基础课是进一步学好各门专业课的前提，那么学好专业课则能够为今后步入工作岗位打下坚实的基础。土木工程专业教学主要包括课堂教学、实验教学、课程设计以及实习等环节。这些环节在教学中所发挥的作用各不相同，但是不可或缺。

（一）课堂教学

课堂教学是学校学习的最主要形式，即通过老师的讲授、学生听课而开展的教学活动。大学的课堂教学与中学相比有很大区别。一是进度快、内容多；二是合班授课，听课学生数量多；三是教学内容可能随时代的发展而增添新的内容。

学生在课堂教学中，要注意老师讲授的思路、重点、难点和主要结论。建议在课堂上对重要的知识点记笔记，以便课后复习。在大学的课堂上，特别是一些专业课程，老师经常会针对某个知识点开展讨论，以便使同学们能够深刻理解、灵活运用。因此，同学们要积极参与。

课堂教学后，要复习巩固，整理笔记，进行课后思考题训练。对于不懂的问题不要放过，可自己思索，也可与同学交流，适当的时候要与老师沟通答疑。

课堂教学是各个环节中最重要的过程，它是获取知识的直接途径。如果课堂教学环节欠缺，想通过其他环节弥补，也难以取得良好的效果。因此，同学们一定要重视课堂学习过程，及时地将课上知识做到融会贯通，往往会取得良好的学习效果。

（二）实验教学

实验教学的目的是通过实验手段掌握实验方法，观察实验现象，同时与理论知识点进行对比，从而加深对知识点的理解。土木工程专业包含丰富的实验教学环节，除物理实验外，还开设有材料力学实验、结构力学实验、钢筋混凝土实验、结构检测实验、抗震实验等。通过实验教学，同学们不但熟悉有关实验规程，熟悉实验方法和仪器，而且加深了对课本所学重要知识点的理解。同学们切莫怀有轻视实验教学的思想，认真对待每一次实验，并积极参与学校开设的一些自主设计、自主规划的开放性实验。

（三）课程设计

课程设计是培养学生综合运用所学知识，发现、提出、分析和解决实际问题，锻炼实践能力的重要环节，是对学生实际工作能力的具体训练和考察过程，是将教学环