

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

土木工程概论

(新1版)

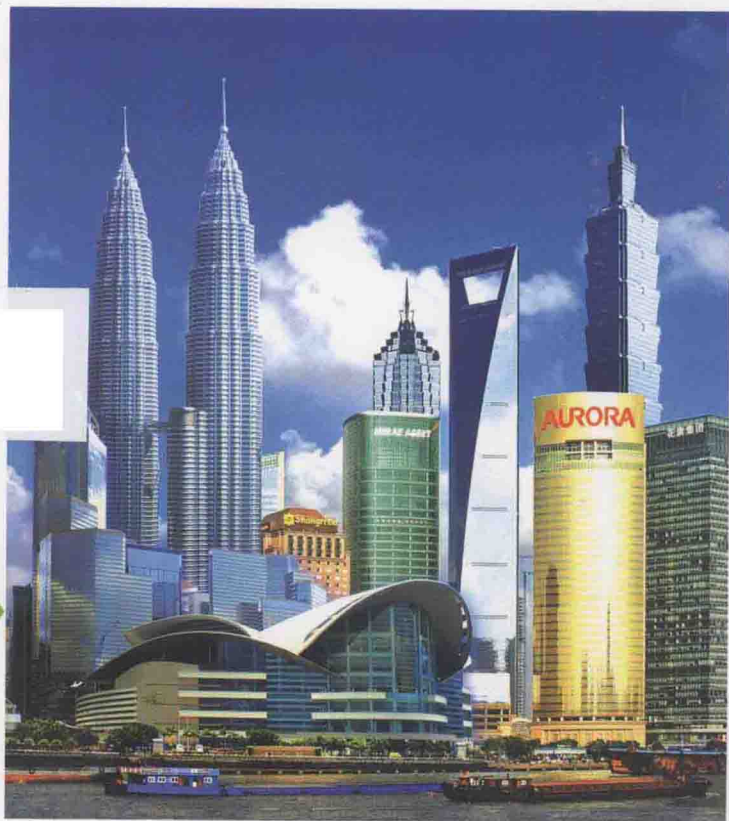
T M G C G L

熊峰 主编

伟大的土木工程源远流长、博大精深，
是这个时代发展的象征。我们想通过本
书帮助大学新生深入了解、认识、热爱
土木工程专业，焕发学习激情，从而自主学
习、自主管理，实现人生梦想。

这是土木工程大学生走进大学校门的第一课；

这是土木工程大学生走进大学殿堂的第一本教材……



WUTP



武汉理工大学出版社

土木工程概论

(新1版)

主 编 熊 峰

副主编 李章政 董事尔

本教材配有生动、详实、图文并茂的 PPT 课件,使用本教材的教师可与出版社联系,免费索取。
邮箱:306696305@qq.com

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

土木工程概论/熊峰主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2015.5
ISBN 978-7-5629-4093-7

I. ①土… II. ①熊… III. ①土木工程-概论 IV. ①TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 077248 号

项目负责人:高 英 汪浪涛
责任编辑:高 英
责任校对:张明华
装帧设计:一 尘
出版发行:武汉理工大学出版社
社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号
邮 编:430070
网 址:<http://www.techbook.com.cn>
经 销:各地新华书店
印 刷:湖北恒泰印务有限公司
开 本:889×1194 1/16
印 张:13.75
字 数:416 千字
版 次:2015 年 5 月第 1 版
印 次:2015 年 5 月第 1 次印刷
印 数:1—8000 册
定 价:39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87785758 87384729 87165708(传真)

• 版权所有 盗版必究 •

编委会名单

主任委员:熊 峰

顾 问:易思蓉 刘立新 王泽云 袁海庆

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

申 琼 江 毅 朱占元 陈 伟

李文渊 邹 皓 姚 勇 廖 莎

委 员:(按姓氏笔画排序)

王 宁 王庆国 王作文 艾长发

龙恩深 冉令刚 关宏洁 刘 立

闫慧群 李 茜 李章政 李碧雄

李德伦 李学伟 宋 帅 张 静

张友谊 邹祖银 念红芬 杨东升

郑余朝 周正峰 莫 忧 袁 翱

黄敬林 梁亚平 程玉林 董 娜

董事尔 谢 斌 雍 军 谭茹文

序 言

土木工程是个大专业,每年有近十万学子步入“土木”之门,加入到土木工程师的“预备役”。初来乍到,土木工程的新生们都要选择“土木工程概论”课程,期望从中了解未来的职业。作为土木工程的传道者,面对一双双渴望的眼睛,我们一直在思考该怎样去启蒙。我们想讲述土木工程的源远流长、博大精深;我们想分享土木工程师严谨细致的技术工作,还有那重于泰山的职业责任;我们想透过那气势恢宏的工程,传递我们对土木工程的激情与挚爱;我们想通过那些教训深刻的案例,告诫我们对学生的要求与期望。于是,二十余位学者,通过两载努力成就了本书。

目前,市场上已出版了众多形形色色的《土木工程概论》教材,多数是介绍土木工程的项目分类、基本构成以及如何学习土木工程的知识。细细考量,似感不足,我们希望能有一本更加鲜活的《土木工程概论》,它不仅要详细全面,还要生动有趣;不仅能担当传承知识的重任,还能承载编者的经验与情感,使学生能读下去、喜欢读下去,从而了解土木工程的方方面面,激发那份学习的热情与探索的欲望。毕竟土木工程概论是一门介绍性质的专业课程,仅仅需要学生对土木工程有一个总体的认识,因此生动比深入更为重要。编者反复琢磨、精心取舍,希望在以下几方面能有所创新。

诗情画意土木工程。土木工程由钢筋水泥堆砌,在野外露天操作,平凡而朴实,似乎与浪漫无缘。然而,有了土木工程,才有了城市的高楼林立、山间的大桥飞跃,才有了世界的进步、人们生活质量的提高。建造者的智慧与创造美化了生活,使得土木工程充满了诗情画意,书中使用了大量的图片、优美的诗词去赞美与歌颂土木工程,希望学子能随着我们的引领,饱览土木工程带给世界的惊喜。

娓娓动听土木工程。土木工程是科学、是技术,严谨甚至枯燥是其风格,但是土木工程博大精深,蕴涵了无尽的生动。我们希望能像讲故事一样娓娓道来,讲述古今中外土木工程的发展。全书追求生活化的叙事风格,尽量减少教科书的套路,将那些定义、分类、原理、推论留给以后的专业课,本书的目标是让学生不以考试为目的读下去。

面面俱到土木工程。作为一门学科的概论,我们追求小而全。小是指浅显易懂,不求深入;全则是面面俱到,尽可能地展示土木工程的一切。全书共分六章:“举足轻重的土木工程行业”讲述土木工程在国民经济中的重要地位;“恢宏浩大的土木工程设施”介绍那些伟大的工程建设;“理想变现实的土木工程建设”讲述工程生命周期中的技术活动,也就是土木工程师从事的工作;“精彩纷呈的土木工程职业”介绍了土木工程师的执业制度,让大家了解这个行业的入职要求;“重于泰山的土木工程师责任”则讲述了工程建设面临的灾害挑战与工程事故的惨痛教训,希望未来的土木工程师们从入门就树立责任意识;“古老而年轻的土木工程教育”则谈到了土木工程专业的知识结构和课程体系,以及所要求的素质与能力。读完全书,相信读者对土木工程会有全方位的了解。

参加本书编写的老师有:熊峰、易思蓉、王泽云、李章政、董事尔、朱占元、陈伟、李文渊、王庆国、王作文、艾长发、刘立、闫慧群、李碧雄、李学伟、张友谊、邹祖银、念红芬、杨东升、郑余朝、周正峰、莫忧、袁翱、董娜、谢斌、雍军,全书由熊峰、李章政老师统稿。本书课件由董事尔老师制作。

本书是一种尝试,希望教材能变得亲切。感谢武汉理工大学出版社的编辑们的推动和鼓励,使得作者团队精诚合作,共同探索。我们深知,改变不可能一蹴而就,第一版面世后肯定会有很多不足与缺点,我们诚恳地期待读者的批评指正。

熊峰于四川大学

2015年1月

目 录

1 举足轻重的土木工程行业	(1)
1.1 话说土木工程	(1)
1.2 国民经济的重要支柱	(11)
1.3 城市化进程中的先锋	(15)
2 恢弘浩大的土木工程设施	(20)
2.1 广厦千万间——建筑工程	(20)
2.2 天堑变通途——桥梁工程	(38)
2.3 关河万里路悠悠——道路工程	(59)
2.4 八千里路云和月——轨道工程	(72)
2.5 土润岩生雨——岩土工程	(86)
2.6 高峡出平湖——水利工程	(97)
2.7 风正一帆悬——港口海洋工程	(111)
2.8 春江水暖鸭先知——水暖工程	(120)
2.9 风吹古木晴天雨——土木工程材料	(129)
3 理想变现实的土木工程建设	(143)
3.1 运筹帷幄——土木工程前期策划	(144)
3.2 纸上谈兵——土木工程勘测与设计	(148)
3.3 大动干戈——土木工程建造	(161)
3.4 天长地久——土木工程运营与维护	(172)
4 精彩纷呈的土木工程职业	(178)
4.1 注册土木工程师知多少	(178)
4.2 执业准入设置从业门槛	(179)
4.3 职业道德保证工程质量	(185)
5 重于泰山的土木工程师责任	(189)
5.1 土木工程天敌——自然灾害	(189)
5.2 土木工程人祸——责任事故	(193)
5.3 土木工程约束——法规与规范	(197)
6 古老而年轻的土木工程教育	(202)
6.1 全面综合谈知识体系	(202)
6.2 实践创新论素质能力	(205)
6.3 开阔眼界述海外教育	(209)
参考文献	(214)

1 举足轻重的土木工程行业

1.1 话说土木工程

土木工程相当重要,它既与人们日常生活的衣食住行紧密相关,又是其他行业发展的基础。土木工程常被称为基本建设,大多数行业要发展都需要土木工程先行。无论是制造业、IT产业,还是医药卫生、国防科技等,首先都要建厂房、建设施,都得靠土木工程去完成前期的建设。同时土木工程是国民经济的支柱产业,担负着完成全社会固定资产投资的重任,所以土木工程是一个涉及行业多、影响范围大的学科或专业。

1.1.1 众说纷纭土木工程

对于“土木工程”,从不同的角度看有不同的定义,概括起来包含这样几层含义:首先是指工程建设的对象,即建造在地上或地下、空中或水中的,为人类生产、生活、经济和科学服务的各种工程设施,它是一个巨大的家族,包括房屋、道路、铁路、运输管道、隧道、桥梁、运河、堤坝、港口、给水排水及防护工程等;其次是指为建设这些工程设施所进行的一系列的技术活动,包括策划、开发、勘察、设计、施工、监理、检测、维修等,即土木工程师从事的技术工作;同时,土木工程又指一个学科,是工程学科,也即我们常说的工科中最早的一个分支,国务院学位委员会给它的定义为“土木工程是建造各类工程设施的科学技术的统称”,强调的是“设施”与“技术”。

土木工程英文为 Civil Engineering,直译为“民用工程”,其意与军事工程(Military Engineering)相对应,除了服务于战争的工程设施以外,所有服务于生活和生产需要的民用设施都属于土木工程。为何后面译为“土木工程”呢?这可能与中国古代五行学说相关。古代哲学家们认为:世界万物是由五大类物质——“金”、“木”、“水”、“火”、“土”组成的。在几千年漫长的历史上,我们的祖先都是以五行中的“土”(如岩石、沙子、泥土、石灰,以及由土烧制成的砖、瓦和陶瓷等)和“木”(如木材、茅草、藤条、竹子等植物)为材料修建设施,即所谓的大兴土木。因此,Civil Engineering便成了“土木工程”。

土木工程作为设施范围非常广泛,覆盖了房屋建筑工程、公路与城市道路工程、铁道工程、桥梁工程、隧道工程、机场工程、地下工程、给水排水工程、港口码头工程等,运河、水库、大坝、水渠等水利工程也包括在土木工程之中。人民生活离不开“衣、食、住、行”:“衣”的纺纱、织布、制衣,必须在工厂内进行,需要修建厂房;“食”需要打井取水,筑渠灌溉,还要建粮食加工厂、粮食储仓等,也离不开土木工程;“住”的建筑与土木工程直接相关;“行”需要建造铁道、公路、机场、码头,这些也是土木工程的一部分。其实国民经济的各行各业都离不开土木工程所提供的基础设施,即使高科技的航天事业也需要发射塔架和航天基地,这些都是土木工程师所建。所以我们说土木工程是各行各业的“先行官”。

土木工程作为一种职业,门类众多,精彩纷呈。围绕工程建设的全生命周期,土木工程师可在策划、开发、勘察、设计、施工、监理、检测、维修各环节中工作,为满足人们需求、改善人们的生活提供各种经济、安全及环保的工程设施。美国土木工程学会对土木工程职业有如下定义:the profession in which a knowledge of the mathematical and physical sciences gained by study, experience, and practice is applied with judgment to develop ways to utilize, economically, the materials and forces of nature for the progressive well-being of humanity in creating, improving and protecting the environment, in providing facilities for community living, industry and transportation, and in providing structures for the use of humanity. 即运用通过学习、经验和实践获得的数学、物理等知识建立各种方法,经济地利用材料与自然力,不断为人类创造、改善和保护环境,为人们生活、工业生产和交通提供工程结构。从中可以看出土木工程师需要这样的素质和

能力:掌握自然科学知识;能经济合理地利用材料建造可以承受自然荷载的结构;要保护环境,坚持可持续发展。

土木工程作为工程科学的一门学科,它是运用数学、物理、化学等基础科学知识,力学、材料等技术科学知识,土木工程专门技术知识以及工程经验来研究、设计、修建各种建筑物和构筑物的一门学科。随着工程规模的不断扩大及人类对环境要求的提高,土木工程学科变得越来越综合,它不仅需要理工科基础,还需要结合管理、社会、人文等学科的理论,同时吸收绿色环保及可持续发展的理念,不断更新发展,逐渐成为现代工程科学中不可缺少的一个分支。

1.1.2 独一无二土木工程

土木工程隶属于工科,有其独特属性和特点,概括起来是:为了满足人类和社会的发展需求,在现有的物资条件约束下,不断地与自然灾害抗争以保证工程的安全,为各行各业提供设施。因此具有如下特性:

(1) 社会性——出发点

土木工程说到底是为了满足社会发展的需求。人们要遮风挡雨,需要修建筑;要出行,需要修道路;要生产,需要建基地。伴随社会科学技术水平的提高,人们要求空间越来越舒适、通道越来越便利,土木工程因此发展得越来越快。远古时代,人们只能利用自然材料搭建茅舍,后来发明了砖,人们开始砌砖房,到了19世纪,水泥和钢材出现,才有了现代化的高楼大厦。因此,土木工程设施往往反映了不同国家和地区在各个历史时期社会、经济、文化、科学技术发展的水平,是人类社会发展历史的见证之一。

(2) 物质性——约束条件

土木工程是物质的,它以最终建成设施为标志,因此受社会科技、环境、经济等条件的约束,任何工程设施都不可能超越现实条件。约束土木工程的三个基本条件是材料、场地和造价。材料是建造土木工程结构的基本要素,依赖材料科学的发展,土木工程才能发展得更快、更好;地球是工程结构的最终承载者,地质条件的优劣直接决定设施的成败,无论科技如何发达,场地条件都是土木工程首先考虑的因素;人们总是期望修建的工程既满足使用要求,又具备优美的形态,但不可能在不计成本的情况下追求完美,因此,做工程必须控制造价,以达到安全、经济与美观的统一。

(3) 恒久性——安全要求

人们常说“百年大计,质量第一”,就是指工程要恒久。土木工程的产品都是要具有持久性的,这就需要工程具有抵御自然灾害的能力。很少有学科像土木工程一样,需要长久地与自然灾害作斗争,将抗灾作为重要的责任。工程灾害带来的破坏与损失,不断地推动土木工程理论的研究和发展,以提高工程结构安全度。1976年我国经历了唐山大地震,死亡24万余人,整个唐山城夷为平地,血的教训促进了我国结构抗震理论的兴起,通过30多年的不懈努力,结构抗震设计逐渐完善,成为建筑结构安全的基本保证。

(4) 综合性——技术要求

土木工程是个系统工程,是运用多种生态资源和各类科学技术,进行开发、勘测、设计、施工、维护、管理的综合成果,它涉及方方面面的知识和技术。一般而言,建造一项工程设施要经过勘察、设计和施工三个阶段,需要运用水文地质勘察、工程测量、工程力学、工程材料、工程设计等学科的知识 and 施工技术、项目管理等领域的知识,还需用到计算机和结构测试、试验等方面的技术。

随着人们对工程设施功能要求的不断提高和科学技术的进步,土木工程逐渐向大型化、综合化方向发展,超高层的建筑、特长的跨海大桥、多功能的地铁系统不断挑战极限,使得土木工程学科的综合性和复杂性更加突出,利用单一的知识体系已无法完成复杂的工程,所以,土木工程已发展为内涵广泛、门类众多、体系复杂的综合性学科。

(5) 普遍性——最终目的

如前所述,土木工程与衣食住行相关、与各行各业相关,各行各业的发展,都需土木工程充当“先行官”。发电需先建厂房,输油需先铺管道,交通需先修路架桥,通航需先挖渠开河,即使是信息产业,也需要先铺设光缆和修建发射接收塔。因此,可以说只要有人类生存的地方就一定有土木工程的实践活动。

1.1.3 跨越古今土木工程

土木工程是一门古老的学科,与其他工程学科比较,土木工程有着最悠久的历史。从有人类活动起便有了土木工程。尽管历史悠久,但是并不意味着落伍,伴随社会发展、科技进步,土木工程仍然青春焕发,建设成就不断攀越高峰。

回顾历史,着眼于未来。我们追寻土木工程的发展轨迹,其实是了解人类对土木工程的需求和期待,启迪未来可能的延伸。

土木工程的发展可以分为古代、近代和现代三个阶段。

1.1.3.1 古代土木工程

古代土木工程跨越了漫长的历史,从新石器时代(约公元前 5000 年起)绵延至 17 世纪中叶。考古发掘的建筑遗址,记载了在人类初期土木工程的起源。我国黄河流域的仰韶文化遗址(约公元前 5000—公元前 3000 年,新石器时代)、西安半坡村遗址(约公元前 4800—公元前 3600 年)都发现了房屋的痕迹,其平面呈圆形或者方形,有木柱的浅穴和地面建筑围护墙的残痕,据分析应该是最早期的茅屋(图 1-1)。古代土木工程主要依经验建造,采用的材料大多是自然的木材、石材及黏土,其结构体系主要有木构架和砖拱券,我国的庙宇宫殿大多为木结构,木梁、木柱支撑着木楼盖或屋盖,围护墙多采用木板,也有用砖墙的;西方教堂则主要采用砖石拱券,其以巨大的砖柱承托着拱券,可以得到跨度很大的宏伟空间。

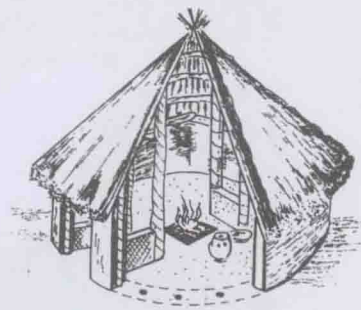


图 1-1 西安半坡村房屋复原图

尽管材料原始、没有理论,但是古代土木工程仍然创造了辉煌。

(1) 西方砖石结构古建筑代表。埃及的金字塔,建于公元前 2700 年—公元前 2600 年间,是古埃及法老们的陵墓,其中最大的一座是胡夫金字塔[图 1-2(a)],该塔基底呈正方形,每边长 230.5 m,高 140 m,用 230 余万块巨石砌成,是古代世界七大奇迹中最古老且唯一尚存的建筑物,也是世界上质量最大的单一古代建筑物体。希腊的帕特农神庙[图 1-2(b)]、古罗马斗兽场[图 1-2(c)]等都是令人神往的古代石结构遗址。修建于 532—537 年间的土耳其伊斯坦布尔的圣索菲亚大教堂[图 1-2(d)]为砖砌穹顶,直径 30 余米,穹顶高 50 多米,整体支承在用巨石砌成的大柱(截面约 7 m×10 m)上,非常宏伟。

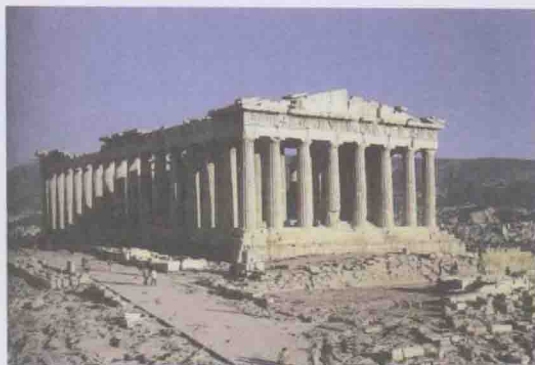
(2) 中国古代木构架建筑代表。1056 年建成的山西应县木塔[又名佛宫寺释迦塔,图 1-3(a)],塔高 67.3 m,共 9 层,横截面呈八角形,底层直径达 30.27 m。该塔经历了多次大地震,历时近千年仍完整耸立,足以证明我国古代木结构的高超技术。北京故宫[图 1-3(b)]、天坛,天津蓟县的独特观音阁等也是具有漫长历史的优秀建筑。

(3) 中国古代的砖石结构建筑也拥有伟大成就。其中最著名的当数万里长城[图 1-4(a)],长城原是春秋战国时期各国为了相互防御而各自修建在险要地势之上的城墙。秦始皇统一全国后,为了抵御北方匈奴贵族的南侵,将秦、魏、赵、燕长城加以扩建、连贯,直至明代,形成东起山海关、西至嘉峪关、全长 6350 余公里的“万里长城”,是世界最伟大的工程之一。又如 590—608 年间在河北赵县洹河上建成的赵州桥[图 1-4(b)]为单孔圆弧弓形石拱桥,全长 50.82 m,桥面宽 10 m,单孔跨度 37.02 m,矢高 7.23 m,用 28 条并列的石条拱砌成,拱肩上有 4 个小拱,既可减轻桥的自重,又便于排泄洪水,外形也较为美观,经千余年后尚能正常使用,为世界石拱桥的杰作。

(4) 我国一直有兴修水利的优良传统。传说中的大禹因治水有功而成为受人敬仰的伟大人物。四川灌县的都江堰水利工程(图 1-5),为秦昭王(公元前 306 年—公元前 251 年)时由蜀太守李冰父子在前人治水的基础上访察水脉、因地制宜、因势利导主持修建的,建成后使成都平原成为“沃野千里”的“天府之国”。这一水利工程是世界上最长的无坝引水枢纽,至今仍造福于四川人民,其灌溉面积现在达一千多万亩,创造了巨大的经济效益。在今天看来,这一水利设施的设计也是非常合理、十分巧妙的。隋朝时开凿修建的京杭(北



(a) 埃及胡夫金字塔



(b) 希腊的帕特农神庙



(c) 古罗马斗兽场

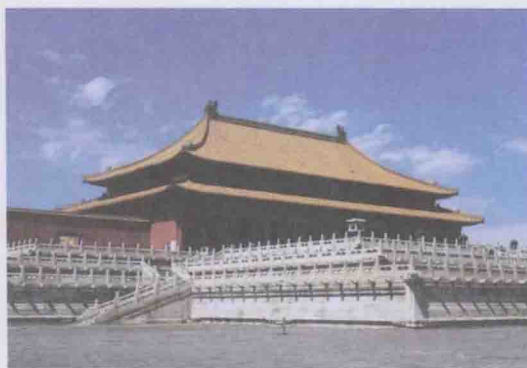


(d) 土耳其伊斯坦布尔的圣索菲亚大教堂

图 1-2 西方砖石结构古建筑代表



(a) 山西应县木塔 (佛宫寺释迦塔)



(b) 北京故宫

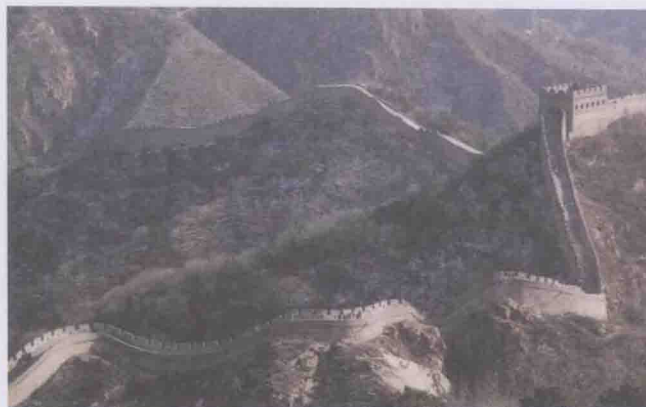
图 1-3 中国古代木构架建筑代表

京—杭州)大运河,全长 2500 km,是世界历史上最长的运河。至今该运河的江苏、浙江段仍是我国重要的水运通道。

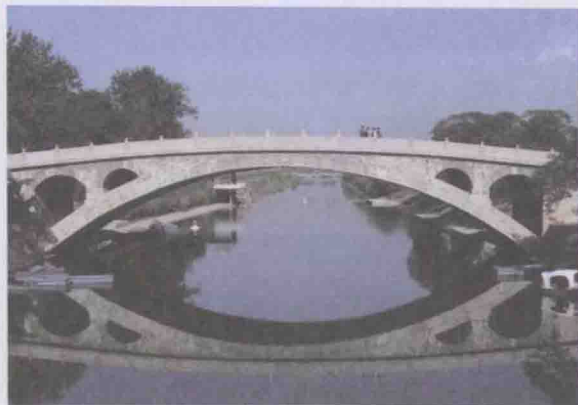
(5) 在交通土建工程方面,古代也有伟大成就。秦朝统一全国后,以咸阳为中心修建了通往全国郡县的驰道,主要干道宽 50 步(古代长度单位,1 步等于 165 cm),形成了全国的交通网。在欧洲,罗马帝国也修建了以罗马为中心的道路网,包括 29 条主干道和 322 条联系支线,总长度达 78000 km。

1.1.3.2 近代土木工程

近代土木工程始于 17 世纪中叶,直到 20 世纪中叶的第二次世界大战前后,历时 300 余年。这一时期的土木工程与古代相比有了质的飞跃:有了力学与结构理论的指导;发明了水泥、钢材;施工技术进步,建造规

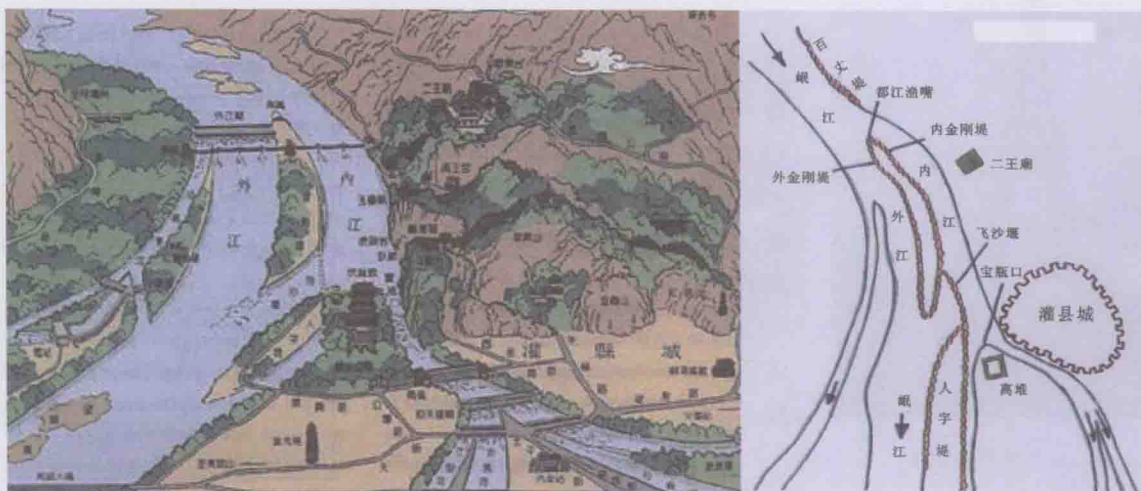


(a) 万里长城

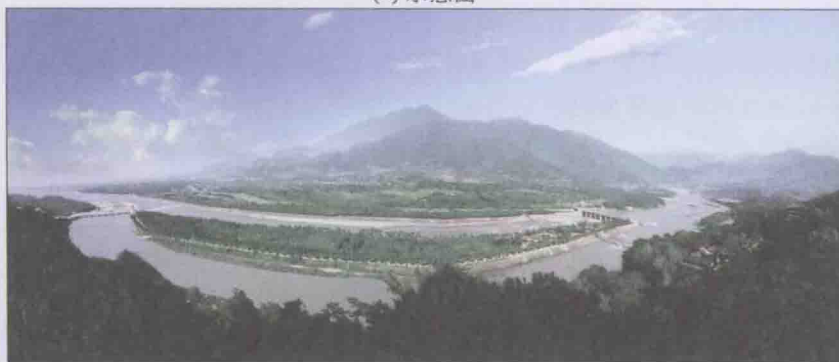


(b) 河北赵县赵州桥

图 1-4 中国古代土木工程主要代表建造物



(a) 示意图



(b) 全景

图 1-5 都江堰水利工程

模日益扩大,建造速度大大加快。

17 世纪中叶,欧洲文艺复兴带来科技进步。1683 年意大利学者伽利略出版了著作《关于两门新科学的谈话和数学证明》,论述了建筑材料的力学性能和梁的强度,并首次用公式表达了梁的设计理论。1687 年英国科学家牛顿提出了力学三大定律,为土木工程奠定了力学分析的基础。随后,在材料力学、弹性力学和材料强度理论的基础上,1744 年瑞士数学家欧拉建立了柱压屈理论,得到了柱的临界压力公式,成为土木工程

结构稳定问题的计算基础。法国的工程师纳维于 1825 年建立了土木工程中结构设计的容许应力法。19 世纪末,里特尔等人提出了极限平衡概念。从此,土木工程的结构设计有了比较系统的理论指导,不再依经验建造。这一时期力学理论的创新对土木工程发展影响深远,一些经典公式我们至今仍在使用。

同期,建筑材料有了革命性的突破,标志是 1824 年波特兰水泥的发明以及 1867 年钢筋混凝土的应用。当然之前 1859 年转炉炼钢法的成功使得钢材得以大量生产是基础。至此,钢筋混凝土与钢结构开始大规模应用于房屋、桥梁的建筑中。1886 年美国首先采用了钢筋混凝土楼板,1928 年人类发明了预应力混凝土,随后预应力空心板在各国被广泛使用。由于混凝土及钢材的推广应用,使得土木工程师可以建造更大跨度、更大空间的工程设施,结构越来越轻巧,造型也越来越复杂。

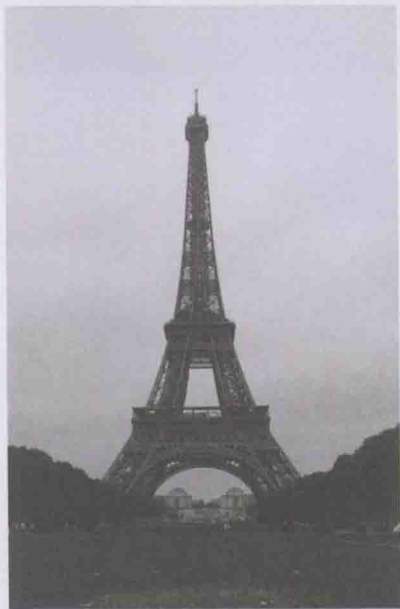


图 1-6 埃菲尔铁塔

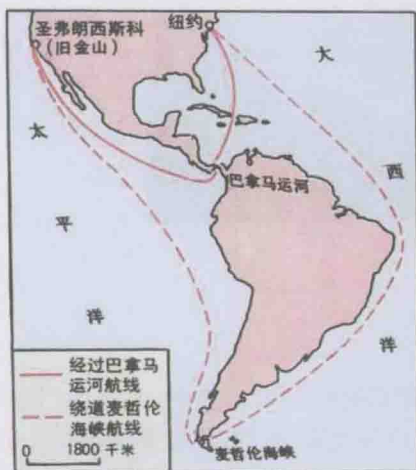
工业革命的发展也促进了新的施工机械和施工方法的产生。打桩机、压路机、挖土机、掘进机、起重机、吊装机等纷纷出现,为快速高效地建造土木工程提供了有力手段。

理论、材料、设备的进步推动了近代土木工程的发展,一大批有历史意义的典型工程涌现。

1875 年,法国莫尼埃主持修建了第一座 16 m 的钢筋混凝土桥,尽管跨度没有破纪录,但是新的桥梁结构体系诞生了。1883 年,美国芝加哥首先采用了钢铁框架作为承重结构,建造了一幢 11 层的保险公司大楼,被誉为现代高层建筑的开端。1889 年,法国建成了高达 300 m 的埃菲尔铁塔(图 1-6),该塔由 18000 余个构件组成,用了 250 万个铆钉连接,铁塔总重约 8500 t,是近代超高层建筑结构的先河,该塔现已成为巴黎的标志性建筑,观光者络绎不绝。

1825 年,英国修建了世界上第一条铁路,长 21 km。1869 年,美国建成了横贯东西的北美大陆铁路。1863 年,英国伦敦建成了世界上第一条地下铁道,随后美、法、德、俄等国均在大城市中相继建设地下铁道交通网。

两条大运河的建成通航,是近代水利工程的标志性成就:1869 年开凿成功的苏伊士运河,将地中海和印度洋联系起来,打通了欧洲到亚洲的航行通道。1914 年建成的巴拿马运河(图 1-7),位于美洲大陆中部,纵贯巴拿马海峡,沟通了太平洋和大西洋。巴拿马运河为船闸式运河,全长 81.3 km,最窄处为 152 m,最宽处为 304 m。从巴拿马运河中线分别向两侧延伸 16.09 km,所包括的地带为巴拿马运河区,总面积为 1432 km²。



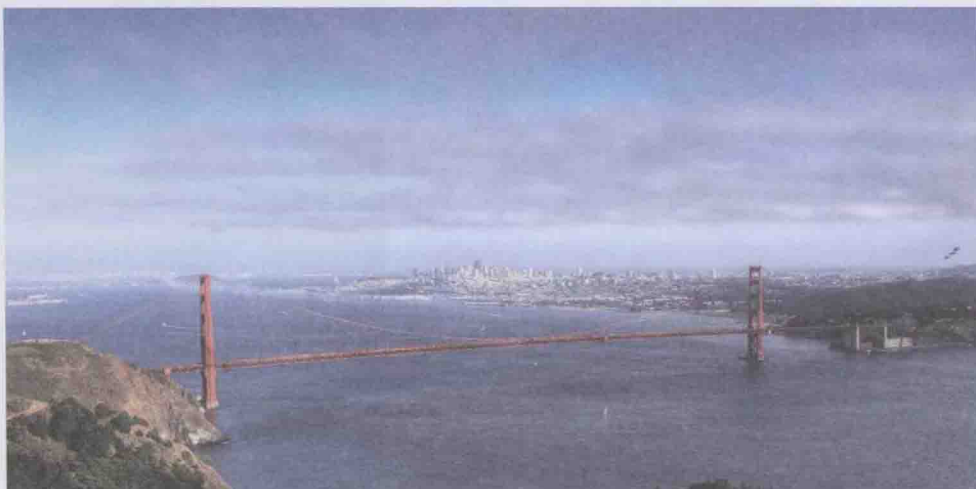
(a) 巴拿马运河航线



(b) 巴拿马运河米拉弗洛雷斯港

图 1-7 巴拿马运河

1936年美国旧金山建成的金门大桥[图1-8(a)]和1931年美国纽约建成的帝国大厦[图1-8(b)]是大跨和高耸结构的杰作。金门大桥色彩鲜艳,跨越著名的旧金山海湾,桥跨1280m,采用悬索结构,桥头塔架高277m;悬索主缆直径达1.125m,由27572根钢丝组成,其中每452根钢丝组成1股,61股合成主缆索,索重11000t左右;锚固缆索的两岸锚锭为混凝土巨大块体,北岸混凝土锚锭重130000t,南岸的小一些,也达50000t。帝国大厦为全钢结构,共102层,高378m,钢骨架总重超过50000t,内装67台电梯,保持世界建筑高度纪录达40年之久。



(a) 美国旧金山金门大桥



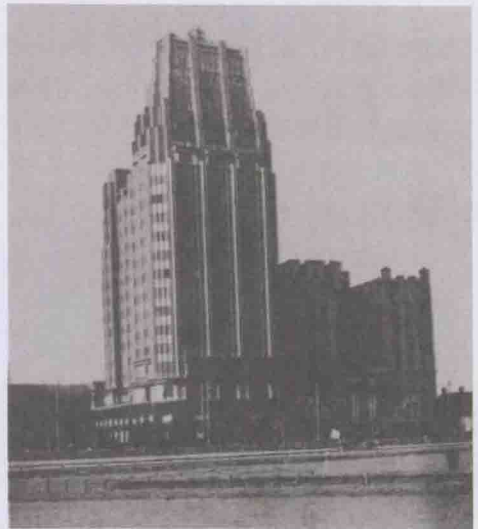
(b) 美国纽约帝国大厦

图 1-8 西方近代土木工程主要代表建筑

这一时期的中国处于半殖民地半封建社会,由于清朝政府采取闭关锁国政策,土木工程技术发展缓慢。直到清朝末年掀起洋务运动,才引进了一些西方先进技术,建造了一些有影响的土木工程。如1909年我国杰出工程师詹天佑亲自规划督造了我国第一条自行设计和建造的铁路——京张铁路[图1-9(a)],全长200km,当时,外国人认为中国人依靠自己的力量根本不可能建成,詹天佑的成功大长了中国人的志气。1934年,上海建成24层的国际饭店[图1-9(b)],开创了我国现代高层建筑的先河,直到20世纪80年代广州白云宾馆建成前,上海国际饭店一直是中国最高的建筑。1937年,茅以升先生主持建造了钱塘江大桥[图1-9(c)],位于浙江省杭州市西湖之南、六和塔附近的钱塘江上,是我国自行设计和建造的第一座双层铁路、公路两用桥,横贯钱塘江南北,是连接沪杭甬铁路、浙赣铁路的交通要道。



京张铁路基本走向比较线
(a) 京张铁路线路图



(b) 上海国际饭店



(c) 钱塘江大桥

图 1-9 中国近代土木工程主要代表建筑

1.1.3.3 现代土木工程

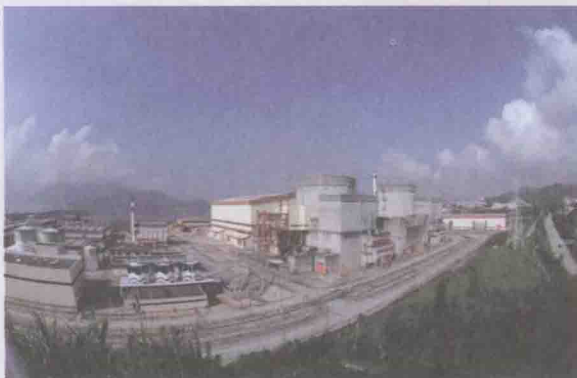


图 1-10 大亚湾核电站

现代土木工程始于 20 世纪中叶。第二次世界大战结束后,各国经济迅速崛起,现代科技日益进步,为土木工程的发展提供了强大的动力和雄厚的物质基础。一个以现代科学技术为强大后盾的现代土木工程时代开始了,土木工程迎来了发展的黄金时期。

现代土木工程为满足社会经济发展的需求,规模越来越大、自重越来越轻、功能越来越多、体型越来越复杂,呈现出如下特征:

(1) 工程设施功能化。以满足用户需求为第一目标,土木工程扩展了许多新领域。如安全度要求极高的核反应堆和核电站(图 1-10),承受风浪荷载的海上钻井平台、海底油库等海洋工程等。

(2) 城市建设立体化。随着社会的不断发展,很多国家的城市人口大量集中,造成城市土地资源日益紧张、地价飙升。因此,人类更加充分地利用城市空间:修建高层建筑,开发地下空间,铺设高架道路、形成立体交通。1974年,美国芝加哥建成了110层、高达443 m的西尔斯大厦[图 1-11(a)],于2009年更名为威利斯大厦],其高度超出纽约帝国大厦65 m,曾保持世界第一20余年。20世纪80年代以后,亚洲各中心城市人口矛盾更加突出,高层建筑风起云涌:马来西亚吉隆坡建成双塔佩特纳斯大厦[1996年,高达452 m,图 1-11(b)],上海建成金茂大厦[1998年,高达421 m,图 1-11(c)右]、台北建成101大厦[2004年,高达508 m,图 1-11(d)],紧接着又有上海环球金融中心[2008年,高达492 m,图 1-11(c)左]、迪拜哈利法塔[原名迪拜塔,2010年,高达828 m,为当今世界第一高塔,图 1-11(e)],纪录不断被刷新,真可谓“没有最高,只有更高”。



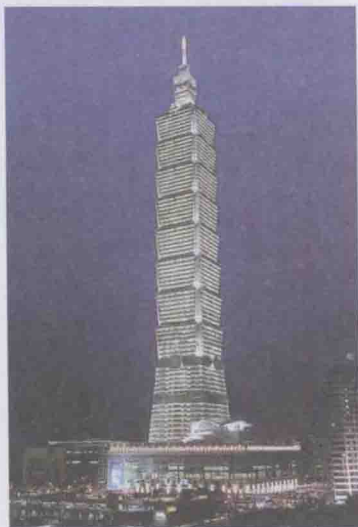
(a) 威利斯大厦(原西尔斯大厦)



(b) 双塔佩特纳斯大厦



(c) 环球金融中心(左)、金茂大厦(右)



(d) 台北101大厦



(e) 哈利法塔

图 1-11 现代土木工程时期高层建筑的主要代表

(3) 交通运输高速化。交通网络的形成拉近了城市间的距离,使人们出行更方便快捷,物流四通八达。

大型桥梁的兴建,跨越江海,天堑变通途。以长江为例,1957年武汉长江大桥[图 1-12(a)]建成通车,结束了万里长江无桥的历史。该桥为公铁两用的连续钢桁梁桥,梁高16 m,包括引桥全桥总长1670.4 m。大型钢梁的制造和架设以及深水管柱基础的施工技术等为我国现代桥梁建设开创了新路。自此之后,我国桥梁建设捷报频传,跻身桥梁大国的行列。1969年建成的南京长江大桥是我国自行设计、制造、施工并使用国

产高强度钢材的现代化大型桥梁。包括引桥在内,铁路桥全长 6772 m,公路桥全长 4589 m。1992 年建成的九江长江大桥,正桥上部结构为栓焊钢梁,最大跨度 216 m,钢板最大厚度达 56 mm。1999 年建成的江阴长江大桥[图 1-12(b)]为悬索桥,主跨跨径 1385 m,主塔高 193 m,主缆直径 86.6 m,长 2200 m。2000 年建成的芜湖长江大桥[图 1-12(c)],为低塔钢斜拉桥,主跨跨径 312 m。2008 年建成的苏通大桥[图 1-12(d)]为双塔双索面斜拉桥,全长 32.4 km,主跨跨径 1088 m,混凝土桥塔高 300.4 m,创造了“最深群桩基础”、“最高桥塔”、“最长斜拉索”和“最大主跨”四项世界纪录。



(a) 武汉长江大桥



(b) 江阴长江大桥



(c) 芜湖长江大桥



(d) 苏通大桥

图 1-12 现代土木工程桥梁的主要代表

高速公路穿山越岭,连接城市乡村,带动了农村的发展。2007 年 1 月秦岭终南山隧道[图 1-13(a)]建成通车,全长 18.02 km,为世界最长的公路隧道,总投资 31.93 亿元,使秦岭变通途,蜀道不再难。2012 年 5 月通车的雅西高速公路始于四川省雅安市,贯穿大小凉山抵达西昌,全长约 244 km。全线桥梁 270 座,隧道 26 条,桥隧总长度占整个高速公路的 54.5%[图 1-13(b)为其中的泥巴山隧道,全长 10.04 km],堪称山区高速公路建设的奇迹。位于四川荣经县境内的腊八斤沟特大桥[图 1-13(c)],为预应力混凝土连续刚构主桥与简支 T 形梁引桥的组合,其中 10 号桥墩高 182.64 m,为亚洲第一高墩特大桥。拖乌山小半径双螺旋曲线隧道[图 1-13(d)]的设计则属世界首创,为克服 729 m 高差,同时避开断裂带、季节性冰冻带,将路面设计成了双螺旋曲线形,曲线半径为 600 m,近 50 km 均为上坡。

现代土木工程的成就,得益于以下三个方面的进步:

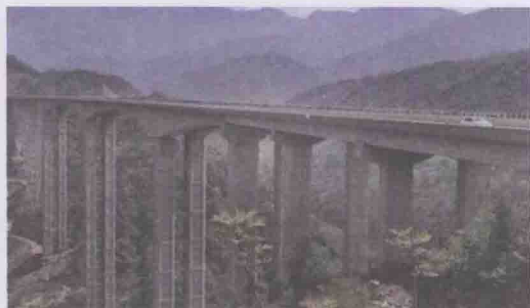
(1) 建造材料的轻质高强度、智能化。材料是土木工程的基础,对土木工程来说,最需要轻质高强度材料。混凝土强度高但自重,因此混凝土一直向减轻自重、提高强度的方向发展;通过改善骨料、增加添加剂等途径,目前研制了各种各样的功能混凝土,如轻骨料混凝土、加气混凝土、高强混凝土等,密度可减低至 $600 \sim 1100 \text{ kg/m}^3$ (普通混凝土的密度约为 2400 kg/m^3),强度提高到 $60 \sim 100 \text{ MPa}$;钢材也在向高强度方向发展,同时一些新型高强高分子材料也得到应用,如碳纤维、玻璃钢、纳米材料等,它们在结构加固和修复中发挥着重要的作用;高科技的智能化材料也崭露头角,这类材料具有感知、驱动与控制功能,能自动获取结构对环境刺激的反应信息,并加以分析判断,采取一定的措施进行适度响应,如英国科学家开发出了一种“自愈合”纤维,这种纤维能感知混凝土中的裂纹,并能自动粘合混凝土的裂纹,它是用玻璃丝和聚丙烯制成的多孔状中



(a) 秦岭终南山隧道



(b) 泥巴山隧道



(c) 腊八斤沟特大桥



(d) 拖乌山小半径双螺旋曲线隧道

图 1-13 现代土木工程时期的桥隧

空纤维,将其掺入混凝土后,在混凝土过度挠曲时,它会被撕裂,从而释放出一些化学物质来充填和粘合混凝土中的裂缝。

(2) 施工机械化、装配化、工业化。工业革命带来施工机械设备的发展,为修建巨型工程提供了方便,如大型吊车、挖掘机、盾构机、混凝土泵等,极大地提高了生产率,减轻了现场劳动强度;同时,施工又向装配化方向发展,各类房屋、桥梁构件在工厂预制,然后运到现场安装,能更好地保证工程质量,加快施工速度。目前我国正在推行住宅产业化,通过模块化的设计,批量生产各类住房,加快城镇化的步伐。

(3) 设计理论精确化、信息化。计算机的发展,极大地提高了结构分析的精度,带来了设计理论的更新。从早期应用经典力学的手算,到现在的计算机数值模拟分析,能越来越清楚地了解结构在各种荷载作用下的反应,如在不同地震作用下,分析结构的受力情况、变形形态以及破坏模式,从而能采取有效的措施防止结构发生破坏。现代结构设计理论建立在概率统计学原理上,依赖高性能受力分析,处理结构不确定的随机破坏,能极大地提高结构的安全度。

1.2 国民经济的重要支柱

这里所说土木工程行业是指所有从事与土木工程建设相关的职业或企业群体,是泛称。如按我国国民经济行业分类,土木工程行业主要指建筑业,同时覆盖其他行业,如房地产、地质勘查、交通运输等。

土木工程是一个重要的行业,说它对国民经济起举足轻重的作用一点也不夸张,仅就国内生产总值 GDP 而言,土木工程建设的贡献就超过 1/3,同时它带动作用强,引领多个行业的发展,如建材、钢铁、化工及机电等,常常作为国民经济发展的助推器。

1.2.1 数据土木工程

宏观经济看数据。土木工程发展迅速,特别是改革开放 30 多年来,中国犹如一个大工地,土木工程建设遍地开花。到处都在建高楼大厦、经济开发区,到处都在修公路、铁路、港口航道及大型水利工程,其速度之