



土木工程概论

主编 姜立伟 尚宇 于洋

哈尔滨地图出版社

土木工程概论

TUMU GONGCHENG GAILUN

姜立伟 尚 宇 于 洋 主 编
钦红戈 李 鹏 元 刚 副主编

哈尔滨地图出版社

• 哈尔滨 •

图书在版编目(CIP)数据

土木工程概论/姜立伟,尚宇,于洋主编. —哈尔滨:
哈尔滨地图出版社,2006.10

ISBN 7-80717-474-9

I. 土... II. ①姜... ②尚... ③于... III. 土木工程
—概论 IV. TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 126997 号

哈尔滨地图出版社出版发行

(地址:哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮编:150086)

哈尔滨庆大印刷厂印刷

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:16.125 字数:400 千字

2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

印数:1~500 定价:20.00 元

前 言

土木工程是关乎国计民生的千秋大业。

搞基建,功在当代,泽润子孙。土木工程的建设关系到国民经济的健康发展、人民生活的改善,关系到人民生命财产的安全,与人民的利益息息相关。

改革开放后,经过近 30 年的高速发展,我国的经济发展水平达到了空前繁荣的水平。青藏铁路、三峡水电站、黄河小浪底等举世瞩目土木工程的顺利建设、投入使用,在为祖国赢得巨大荣誉、为提高人民生活水平发挥巨大作用的同时,也为我们这些土木工程师带来了自豪和鞭策。为适应时代发展的需要,也为了满足土木工程技术、工程管理等相关学科对工程界专业人才培养、培训的需要,编者在多年工程建设实际经验和教学实践的基础上,特编写了这本《土木工程概论》。

本书的编写既注重相关知识体系的科学性、完整性,又注重土木建设的实践性,在详尽阐述土木工程知识的基础上,增加了许多前沿发展信息。既能使专业人员受到系统理论知识的培训,获得相关专业需要的知识结构和能力训练,也能激发非专业人员兴趣,使其初步了解土木工程。

本书由姜立伟、尚宇、于洋担任主编。第一章由姜立伟执笔,第二章由尚宇、于洋执笔,第三章由钦红戈执笔,第四章由姜立伟、于洋执笔,第五章由于洋执笔,第六章由李鹏执笔,第七章由元刚、钦红戈执笔,第八章由姜立伟、尚宇执笔,第九章由尚宇执笔。全书由姜立伟统校,由于洋、元刚统一编排。

本书可作为土木工程、工程管理、房地产经营管理等相关专业的培训教材,也可作为工程技术人员的培训教材。

本书在编写过程中,借鉴和参考了许多相关资料和书籍,在此表示衷心的感谢。由于时间仓促,加之编者水平有限,错谬之处不可避免,敬请批评指正。

编者

2006 年 10 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 土木工程	1
第二节 土木工程发展简史	3
第三节 土木工程的建设与使用	16
第二章 土木工程主要类型	19
第一节 房屋建筑	19
第二节 道桥工程	23
第三节 特种结构	34
第四节 隧道与地下工程	44
第五节 水利水电工程	49
第六节 加固工程	55
第三章 土木工程材料	60
第一节 石材和砖	60
第二节 胶凝材料和砂浆	68
第三节 混凝土	78
第四节 钢材	81
第五节 木材	94
第六节 合成高分子材料	98
第四章 土木工程主要构件及结构体系	105
第一节 板、梁、柱和墙	105
第二节 钢筋混凝土结构及砌体结构	110
第三节 钢结构	123
第四节 多高层建筑结构	136
第五节 大跨结构	139
第五章 土木工程荷载	148
第一节 结构上的荷载	148
第二节 荷载的代表值及标准值	149
第三节 极限状态设计法	151
第六章 建设程序	156
第一节 建设项目和建设程序	156
第二节 基本建设程序的步骤和内容	158

第七章 土木工程施工与管理	179
第一节 施工工程	179
第二节 施工组织	182
第三节 施工管理	197
第八章 电脑的应用与特殊建筑	214
第一节 电脑的应用	214
第二节 智能建筑	218
第三节 动态建筑	222
第四节 生态建筑	228
第九章 土木工程发展趋势	231
第一节 高强高性能混凝土	231
第二节 装配式建筑技术	233
第三节 信息化施工技术	237
第四节 智能建筑的未来	240
结束语	242
附录一 中国当代建筑	243
附录二 世界著名建筑	247
参考文献	251

第一章 概 述

“土木”在中国是一个古老的名词,意指楼宇、宫殿、房屋等建筑,如把大量建造房屋称作“大兴土木”(出处:宋·洪迈《容斋三笔》卷十一:“奸佞之臣,罔真宗以符端,大兴土木之役,以为通宫玉清昭应之建。”)。古代建房主要依靠泥土和木料,所以称土木工程。在国外,土木工程一词是1750年设计建造艾德斯通灯塔的英国人J·斯米顿首先引用的,意即民用工程,以区别于当时的军事工程。至1828年,伦敦土木工程师学会将土木工程定义为:“利用伟大的自然资源为人类造福的艺术……”,与中国土木工程的含义相近,故译作土木工程。事实上,土木工程为所有工程中发展最早、内容最广的工程学科,是人类改造、建设生活、生产环境的先行基本手段。它所建造的各种工程设施,满足了当时的生活和生产的需求,也反映了各个历史时期的社会、经济、文化和科学技术的面貌。

第一节 土 木 工 程

一、土木工程

土木工程是建造各类工程设施的科学技术的总称。它指包括所应用的材料、设备、机具和所进行的规划、可行性研究、勘测、设计、施工、管理维修等技术活动;也指工程建设的对象,即建造在地上、地下或水中,直接或间接为人类生活、生产、军事和科学研究等服务的各种工程设施,如房屋、道路、铁路、管道、桥梁、隧道、运河、堤坝、港口、电站、飞机场、海洋平台、电视塔、给水和排水、集中供热和供燃气及防护工程等。

荷载,是事物受到自然界和人为的作用和影响。对任何一项工程设施来说,它总是不可避免的。首先,是地球引力产生的工程自身重量和使用荷载;其次,风、雪、水、冰、温度、地震以及爆炸等不确定因素的影响也不可忽视。因此,为确保人们生命财产安全,各类工程设施必须具备抵抗上述各种荷载作用的能力。土地、建筑材料、建筑设备和施工机具,是建造工程设施的物质基础。

土木工程所建造的每一项工程设施,需要经过可行性研究、勘测、设计、施工、养护和后期维修等阶段,运用工程勘察、工程力学、工程结构及其设计理论、地基基础、建筑材料及设备、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及电脑和实验测试技术才能完成。因而土木工程是一门范围广阔的综合学科,并逐渐成为内涵广泛、门类众多、结构复杂的综合体系。

中国将土木工程分为如下分支: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、给排水工程、城市供热供燃气工程、交通工程、环境工程、港口工程、水利工程等学科。其中有些分支,如水利工程,由于自身工程的不断增多及专门科学技术的

发展,也已从土木工程中分化出来成为独立的学科体系,但在很大程度上仍具有土木工程的共性。美国将土木工程概括为5个方面:建筑工程、交通运输工程、近海和水利工程、动力工程、公共卫生工程。

这种学科内涵上的差异从学会的机构设置上也反映出来。中国土木工程学会设:桥梁及结构工程、隧道及地下工程、土力学和基础工程、混凝土及预应力混凝土、电脑应用等5个分科学会和港口工程、市政工程、给水排水、城市公共交通、城市煤气等5个专业委员会。美国土木工程师协会设:结构、工程力学、航空交通、施工、公路、水利、灌溉排水、管线、发电、测量地图、都市计划与发展、水路与港口等技术组。

二、土木工程的重要性

人们的生活离不开衣、食、住、行。其中,“住”是与土木工程直接相关的;而“行”则需要建造铁路、公路、桥梁、隧道、机场、港口、码头、运河等交通设施,与土木工程的关系也非常紧密;而“食”需要打井取水,建水库蓄水,建坝、筑渠灌溉,建粮食储库,大型冷冻储库、食品加工厂等;而“衣”的纺纱、织布、制衣,也必须在工厂内进行,因此也离不开土木工程。

各种工业建设,无论其性质和规模如何,首先必须兴建厂房才能投产。火力发电需要建设厂房,核电站也是这样,核反应堆的基础和保护罩乃至核废料的处理,都牵涉到土木工程。即使水力发电,也需建坝和建造机房。露天采矿也不能没有办公用房和生活用房;采矿机械和运输车辆也不能长期露天放置;破碎机和选矿设备也应在室内操作运行。近海平台的设计和兴建,水下仓库、车库、水下和海底隧道也无一不需土建人员参加。宇宙火箭和航天飞机的发射基地和发射架甚至太空试验站都有土木工程人员“用武之地”。

由此可以看出,土木工程在方方面面人们的生活和工作都有着密不可分的影响。这些影响决定人们生活和工作水平的高低,对满足人们21世纪日益增长的物质、文化需要有着重大的现实意义。可以说,人们时时处处离不开土木工程。

正因为土木工程如此重要,所以称工厂、矿井、铁路、公路、桥梁、农田水利、商店、住宅、医院、学校等工程的建设为基本建设。

土木工程的建设,既包括建筑安装工程,也包括建设单位及其主管部门的投资活动以及征用土地、工程勘察、设计、工程监理等。工程建设是社会化大生产,有着产品体积庞大,建设场所固定、建设周期长、投资数额大、占据资源多的特点,它涉及到建筑业、房地产业、工程勘察设计等行业,也带动了物业管理和工程咨询等行业的发展。

土木工程虽然是古老的学科,但其领域随各种学科的发展而不断发展扩大。其中,影响人类未来的十大科技(包括物质科学、能源科学、材料科学、生命科学、信息科学技术、地球系统科学、环境保护技术、认知神经科学、生物科学技术、太空科学技术)对土木工程的发展方向也是起决定作用的。因此,对土木工程技术人员的知识而要求更为宽广,知识要不断更新,而且学科间的相互渗透和相互促进的要求也更为迫切。因此,信息科学和国际交流对土木工程人员亦极其重要。对专业的掌握应更为深入,设计建造和科学研究更需紧密联系。因为,现代的土木工程不仅要求保证质量并按计划完成它,而且是必须按最佳方案并以最优方式来设计和建造。

三、土木工程的组成

根据上面所述可知,土木工程主要由四个部分组成:一是包括铁路、公路、桥梁、隧道、飞机场、港口、码头等在内的交通设施工程;二是包括发电站、厂房、车间、库房等在内的工业设施工程;三是包括堤坝、水库、渠道、给排水等在内的水利设施工程;四是包括影剧院、图书馆、体育场

馆、医院、酒店、办公楼、加油站、幼儿园、居住小区等在内的公用、民用建筑工程。

四、土木工程的特点和基本属性

(一)土木工程的特点

土木工程的任务是设计和建造各种建筑物或构造物,一般称之为建筑产品。它与其它工业生产的产品相比,具有特有的技术经济特点,这主要体现在产品本身、建设过程和管理上。

1. 建筑产品除了有各自不同的性质、用途、功能、设计、类型、使用要求外,还具有固定性、多样性、形体庞大、所涉及的工程技术复杂等共同特点。

2. 土木工程建设具有建设周期长,所需人力、物力资源多,受环境和自然条件的影响大以及生产的流动性和复杂性等特点。

3. 土木工程的建筑管理具有针对性、系统综合性、一次性(不可逆)等特点。

(二)土木工程的基本属性

除了以上的特点,土木工程还具有以下四个基本属性:

1. 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、材料力学、结构力学、工程设计、建筑材料、建筑设备、工程机械、建筑经济学、抗震学和施工技术、施工组织、施工管理等领域的知识。

2. 社会性

土木工程是伴随着人类社会的进步而发展起来的,它所建造的工程实体反映出各个历史时期、社会、经济、文化、科学、技术发展的基本面貌。

3. 实践性

土木工程是具有很强实践性的学科。由于影响土木工程的因素众多且错综复杂,使得土木工程对实践的依赖性很强。另外,只有进行新的工程实践和探索,才能揭示新的问题。

4. 技术上、经济上和建筑艺术上的统一性

人们力求最经济地建造一项工程设施,用以满足使用者的各种需要,包括审美要求,因此它必然是每个历史时期技术、经济和建筑艺术上的统一见证。

第二节 土木工程发展简史

土木工程从起源到现在经历了漫长的发展过程,在长期的演变和发展的过程当中,它不断地被人们注入新的内涵。除了与社会、经济、科学技术的发展密切相关外,就其本身而言,土木工程主要是围绕着材料、施工技术、力学与结构理论的演变而不断发展、前进的。

一、土木工程的历史

上古时代,亘古蛮荒,人类野处穴居。

70 万年前,旧石器时代的北京猿人(旧称中国猿人或称北京人)住在天然岩洞里。距今约 18000 年前,北京周口店龙骨山的山顶洞人,亦还住在天然岩洞里。

有巢氏,中国神话传说中巢居的发明者。正是他教民构木为巢,避免野兽的侵袭,使人们安居于树上。

从新石器时代改善巢居穴处的条件开始到 17 世纪中叶前,是土木工程从萌芽到发达的时期。

在新石器时代后期仰韶文化(约为公元前 5000~前 3000 年)的重要遗址中已发现用木骨泥墙构成的居室,如在 1954 年发掘西安东郊半坡遗址时,已发现古人有居住区,并且有制造陶器的窑场。到公元前 20 世纪(约相当于夏代),已发现有夯土的城墙。商代时已逐渐采用粘土做成的版筑墙。西周时期已有烧制的瓦。殷商西周之际已发展了独具风格的木结构和夯土技术。战国(公元前 475~前 221 年)墓葬中发现有烧制的大尺寸空心砖,因为实心砖比空心砖的制作技术要简单得多,估计这时人们已经可以烧制小尺寸的实心砖了。在欧洲,大约 8000 年前已开始采用晒干的砖;凿琢自然石的采用,大约在 5000~6000 年前;至于在建筑中采用烧制的砖,至今亦有 3000 年的历史。砖瓦的出现使土木工程技术得到飞速的发展,被称为土木工程的第一次飞跃。

英国艾姆斯伯里的巨石柱群(图 1-1)是从石器时代遗留下来的巨石遗迹。它位于英国伦敦西南方约 200km,虽然有很多巨石已经不见踪影,但仍隐约可以看到它原来的风貌。巨石柱排成两个圆,外圆半径约为 15m,有 30 个巨石柱,加上 30 个横石,形成一个多拱门的圆,这些巨石平均有 26 吨重。内圆的石头体积更庞大,最重的达 50 吨,内圆是 5 个“三石塔”组成一个马蹄形,面向东北方。以当时生产力水平,史前巨石柱建造工作的艰巨性是可想而知的。史前巨石柱整个遗迹据估计并不是同一个时期建成的,其中经过大约 2000 年的时间,最早在公元前 3000 年,遗迹最外围半径约有 50m 的土堆便已经完成。而外圆及 5 个“三石塔”则建于约公元前 2000 年,然后陆陆续续有小型的更改,直到公元前 1000 年左右彻底完成。



图 1-1 巨石柱群

随着生产力的发展,私有制取代了原始的公有制,奴隶社会取代了原始社会。在奴隶社会里,奴隶主利用奴隶们的无偿劳动力,建造了大规模的建筑物,推动了社会文明的发展,也促进了建筑技术的发展。古代埃及、希腊、罗马等先后建造了许多大型建筑物。

古埃及金字塔是人类惊人创造力的重要体现标志之一。在众多金字塔中,最为著名的是吉萨大金字塔(图 1-2)。它位于开罗西南约 13km 的吉萨地区,共有 3 座,分别为古埃及第四王朝的胡夫(第二代法老)、卡夫勒(第四代法老)和孟考勒(第六代法老)所建。胡夫金字塔(又称齐阿普斯金字塔),兴建于公元前 2760 年,是历史上最大的一座金字塔,也是世界上的人造奇迹之一,被列为世界 7 大奇观的首位。该塔原高 146.5m,由于几千年的风雨侵蚀,现高 138m。原四周底边各长 230m,现长 220m。锥形建筑的四个斜面正对东、南、西、北四方,倾角为 $51^{\circ}52'$ 。整个金字塔建在一块巨大的凸形岩石上,占地约 5.29 万平方米,体积约 260 万立方米,是由约 230 万块石块砌成。外层石块约 11.5 万块,平均每块重 2.5 吨,最大的一块重约 16 吨,全部石

块总重量为 684.8 万吨。令人吃惊的是,这些石块之间没有任何粘着物,而是一块石头直接叠在另一块石头上,完全靠石头自身的重量堆砌在一起的,表面接缝处严密精确,连一个薄刀片都插不进去。这是当时征召了 10 万劳力,前后历时 30 年才建成的。胡夫大金字塔外形庄严、雄伟、朴素、稳重,与周围无垠的高地、沙漠浑然一体,十分和谐。它的内部构造复杂多变,匠心独具,自成风格,凝聚着非凡的智慧。该金字塔历经数千年沧桑,地震摇撼,不倒塌、不变形,显示了古代人不可思议的高科技水平和精湛的建筑艺术。

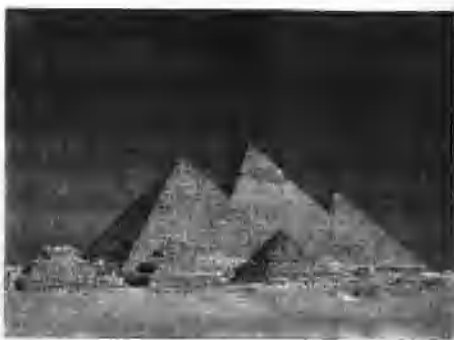


图 1-2 吉萨大金字塔

古希腊是欧洲文化的摇篮,公元前 5 世纪建成的以帕特农神庙为主体的雅典卫城(图 1-3),是最杰出的古希腊建筑。其造型典雅壮丽,气势宏大。以白色大理石砌筑,梁柱结构精美,在建筑和雕刻上都有很高的成就,是典型的列柱围廊式建筑。卫城的建筑与地形结合紧密,极具匠心。如果把卫城看作一个整体,那山岗本身就是它的天然基座,而建筑群的结构以至多个局部的安排都与这基座自然的高低起伏相协调,构成完整的统一体。它被认为是希腊民族精神和审美理想的完美体现。



图 1-3 雅典卫城

罗马斗兽场(真实名称佛拉维欧圆形剧场图 1-4),在建筑史上堪称典范的杰作和奇迹,以庞大、雄伟、壮观著称于世。现在虽只剩下大半骨架,但其雄伟之气魄、磅礴之气势犹存。斗兽场平面呈椭圆形,占地约 2 万平方米,外围墙高 57m,相当于现代 19 层楼房的高度。该建筑为 4 层结构,外部全由大理石包裹,下面 3 层分别有 80 个圆拱,其柱形极具特色,按照多立克式、爱奥尼式和科林斯式的标准顺序排列,第 4 层则以小窗和壁柱装饰。场中间为角斗台,长 86m,宽 63m,仍为椭圆形,相当于一个足球场那么大。角斗台下是地窖,关押猛兽和角斗士。角斗台周围的看台分为 3 个区。底层的第一区是皇帝和贵族的座席,第二层为罗马高阶层市民席,第三层则为一般平民席,再往上就是大阳台,一般观众只能在此处站着观看表演。场内看台共可容纳观众 5 万多人,底层地面有 80 个出入口,可确保在 15~30 分钟内把场内 5 万观众全部疏散离场。斗兽场的建筑师究竟为何人,现在还是个未知数。有人认为可能是后来建筑多米斯亚诺宫的建筑师拉比利奥,已无从查考,但罗马斗兽场宏伟的建筑规模和美轮美奂的设计艺术绝对已成为古罗马帝国辉煌岁月的见证。



图 1-4 罗马斗兽场

在上海近郊青浦河段附近,考古人员发现了 6000 多年前中国最早的直筒水井,井底离地面

3.46m,井口略呈椭圆形,直径约60厘米,井壁光滑,未见加固材料及遗迹。这是人类为生存而斗争所进行的原始汲水工程。

中国大规模兴修水利工程始于传说中奉舜命治理洪水的夏禹。据后人记载,他领导人民疏通江河,兴修沟渠,发展农业,传说山西河津县西北龙门(禹门)为夏禹治水时所凿。公元前600年左右(春秋时期),人们修建了安徽省丰塘灌溉水库。战国魏文侯(公元前445年~前396年)时,西门豹开凿水渠12条,引漳水灌溉,改良土壤,以发展农业生产。秦昭王(公元前306年~前251年)时,李冰任蜀郡守(约在公元前256~前251年),他在岷江流域兴办了许多水利工程,其中以灌县都江堰(世界上最早的综合性大型水利工程图1-5)最为著名。在此之前,战国初期,蜀相开明决玉垒山,分引岷江水以排水患。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,基本上完成了都江堰的排、灌水利工程,于是成都平原“沃野千里,号为陆海”。都江堰以下内、外两江灌溉总面积曾达20余万公顷,后因年久失修逐渐缩减至200余万亩。解放后经大力整治扩建,现已扩大至53余万公顷。



图1-5 都江堰

从春秋、战国起,相继有20多个诸侯国和封建王朝修筑过长城(图1-6),前后持续达2000多年,总长度超过50000km,是世界上最伟大的工程之一。



图1-6 长城

长城原是春秋、战国时各诸侯国为了互相防御,在形势险要处修筑的城墙。秦始皇于公元前221年统一全国后,为了防御北方匈奴的南侵,于公元前214年将秦、赵、燕三国的北边长城予以修缮,连贯为一。故址西起临洮(甘肃岷县),北傍阴山,东至辽东。明代为了防御鞑靼、瓦剌族的侵扰,自洪武至万历时,前后修筑长城达18次,西起嘉峪关,东至山海关,称为“边墙”。宣化、大同二镇之南,直隶、山西界上,并筑有内长城称为“次边”。总长6700km,故号称“万里长城”。根据近十多年来考证,明辽东镇(明九边之一)长城,从山海关起,迤逦向东,再折向东北至镇北关,转而向南延伸至鸭绿江边是石砌城墙,为辽东镇长城,长约1050km。旧长城原为粘土拌和乱石建造的。现在河北、山西北部的长城明代中叶改用大块精制城砖重修,墙高约12m,宽约7~10m,全部材料约3亿立方米,比埃及最大的胡夫金字塔约大113倍。

前已述及,半坡遗址中已有木骨泥墙。当时还只是用未加工的树杆。在河南安阳殷墟发现了宫殿、作坊、陵墓等遗迹。中华民族的建筑体系是木构架制,即在同一台基上先用木材立柱,柱上设梁制成构架,于梁上加桁木,在其上置椽木,再于椽木间加瓦(蝴蝶瓦或筒瓦)构成屋面以遮蔽风雨。这种构架制实为现代钢和钢筋混凝土构架最早在建筑中的应用。因为经历了封建时代的战火,古代木建筑被焚毁殆尽,现仍保存完好的已不多见,其中山西五台县佛光寺大殿建于公元857年,原认为该寺为现存的最古建筑,后发现山西五台山李家庄南禅寺为三开间的佛教建筑,建于780~783年,虽规模较小,但早于佛光寺约3/4个世纪。山西应县佛宫寺木塔建于1055年,有5个正层和4个暗层,由刹光顶到地面共高66m,约相当于现代22层大厦高度,现外表基本保持得较完整。应县木塔具有抗震、防灾、防火和不受雷击的能力,不受雷击可能与高达66m的金属塔刹有关。1926年军阀混战,对该塔炮击200余发,塔身弹痕累累,有十几发击中塔身起火,但很快自行熄灭,其原因尚未得到合理解释,这标志着中国古代木结构技术已达到出神入化的水平。

《左传·昭公七年》(公元前535年):“楚子成章华之台,愿与诸侯落之”(意为楚国国君建成章华台,希望与各国国君共同庆祝落成典礼),杜预注:“台今在华容城内。”《水经·沔水注》:“台高十丈,基广十五丈”,此应为世界上见诸文字记载的很早的高层建筑。另有认为世界上第一座高层建筑为约建于公元120年的也门霍姆丹宫,20层,约高100m,位于萨那东南纳格姆山麓,可能采用砂、细石和铅熔在一起砌石建成,萨那高原海拔2300m,四季如春,故该宫为历代帝王作避暑的夏官。610年,也门成为阿拉伯帝国的一部分,693年派遣曼·本·阿法夫任第一任哈里发,他看到该宫雄伟壮丽,很妒忌和气愤,下令拆除,另建一座大清真寺,现在寺内看到的3m多高的整石柱,据说为霍姆丹宫的楼柱。

在欧洲,罗马建设了以罗马为中心,包括29条主干道和322条联络主干,总长达78000km的罗马大道网。中国战国时期已有邮驿,即为驿马通行而开辟的驿道。秦始皇统一全国后修建驿道、直道和在今云南、贵州地区通“五尺道”,以咸阳为中心构造交通网,加强全国陆路交通,可见中国大规模人工修建道路是很早的。

道路的发展推动了桥梁工程的发展。桥梁结构最早为行人的石板桥和木梁桥,这也可能为最简单和最古老的桥梁形式。后来逐步发展成为石拱桥。拱桥最早见于记载的为晋太康三年(282年)建造的洛阳七里洞旅人桥(石拱桥)。现保存完好的中国最早石砌拱桥为河北赵县安济桥(又名赵州桥图1-7),大约在隋开皇十一年至开皇十九年(591~599年)由李春建造,净跨37.02m,矢高7.23m,宽约10m。该桥无论在材料使用、结构受力、艺术造型和经济上都取得了极高的成就,它是世界上最早的敞肩式拱桥,早于欧洲同类桥约1000年。1991年该桥被美国土木工程师学会(ASCE)选为世界第12个土木工程里程碑。



图1-7 安济桥

运河为人工开挖的水道,用以沟通不同的河流、水系和海洋,连接重要城镇和矿区,发展水上运输。在春秋战国末期,吴国所开的邗沟以及战国初魏国所开的鸿沟,是中国人工开凿的古老的运河。人们在19世纪中叶还开凿了供国际通航用的运河——苏伊士运河(图1-8),建于

1859~1869年,位于埃及东北部,利用数十万埃及劳动力开凿而成,贯通苏伊士海峡,连接地中海和红海。从塞得港至陶菲克港,长161km,连同伸入地中海和红海的河段,总长173km。河面宽160~200m,河底宽60~100m,平均水深15m,可通8万吨巨轮,使从西欧到印度洋间的航程比绕道非洲好望角缩短5500~8000km。它地处欧、亚、非三洲交接地带的要冲,战略地位十分重要。巴拿马运河也是供国际通航用的运河,在中美巴拿马共和国中部,全长81.3km,宽91~304m,两端各有水闸3座以升降调节水位,水深13.5m,可畅通4~4.5万吨海轮。该运河于1881年起开凿,至1914年完工,1920年通航,使太平洋和大西洋沿岸航程缩短1万多千米。



图1-8 苏伊士运河

最早的石墙系垒石构成,后来用粘土泥浆砌筑。经过长期的经验积累,人们开始知道在泥浆中加入切短的稻草,以提高抗拉强度。石灰发明后,则用它砌筑砖墙。后来发现加砂可以减少收缩和提高强度,至于加钢筋则是更后的事了。由于一般石灰是气硬性材料,只能在空气中才会吸收 CO_2 而硬化成 CaCO_3 ,故不适宜用于大体积工程和地下工程。水硬性材料则不仅能在空气中硬化,也能在水中硬化。显然在古罗马时代,人们已知道使用天然水硬性的火山灰建筑道路、城墙和下水道等。挖掘发现当时已知道设置铜杆加强用火山灰建筑的下水道。近期在甘肃秦安县大地湾新石器时代文化遗址里出土了一处约5000年前、面积大致为100 m^2 的混凝土地面,强度约相当于C10级,其中水泥成分和现代水泥基本相同,早于罗马时代用天然火山灰建造道路约3000年。

从17世纪中叶到20世纪中叶的300年间,土木工程得到迅猛发展,脱离了经验阶段,形成了学科的理论体系。伽利略和牛顿所阐述的力学原理是近代土木工程发展的起点。土木工程作为一门学科逐步建立起来,法国是它的前驱。1716年法国成立道桥部队,1720年成立交通工程队,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。

18世纪下半叶,规模宏大的产业革命,为土木工程提供了性能优良的建筑材料和施工机具。1856年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,使土木工程有了第二次飞跃。19世纪20年代波特兰水泥制成后,混凝土的出现给建筑物带来了新的经济、美观的工程结构形式,使土木工程产生了新的施工技术和工程结构设计理论,是土木工程的第三次飞跃。

此后,人们陆续建成了高度超过100m直至400m以上的大楼(波兰华沙附近钢管无线电塔高达646.38m,由15根缆索锚拉,是当前人工构筑物的最高高度,1991年8月8日因更换缆索不慎而塌落),至20世纪末有17座跨度超过1000m的大桥已全部建成通车。

第二次世界大战后的40多年间,现代科学技术突飞猛进,社会生产力出现了新的飞跃,土木工程进入一个新时代。前20多年土木工程的特点是进一步大规模工业化,后20多年的特点则是现代科学技术对土木工程的进一步渗透。规模极大的工程成为这一时期的代表,如西尔斯大厦(高443m,1974年;美国)、多伦多电视塔(高553m,1975年;加拿大)、亨伯桥(跨度1410m的悬索桥,1980年;英国)、青函海底隧道(长53.85km,1988年;日本)、杨浦大桥(跨度

602 m 的斜拉桥,1993 年;中国)。这些工程适应了社会经济发展的需求,其特征是工程功能化、城市立体化、交通高速化,在这些特征的影响下,构成土木工程 3 要素的材料、施工和设计理论也出现了新趋势:材料轻质高强度,施工过程工业化,理论研究精密化。

随着新的工程材料的不断发现、发明、应用和新结构、技术的不断创造,土木工程这一古老学科,将在实践和理论方面步入一个更新的阶段。

二、土木工程的现状和中国现阶段达到的水平

(一)世界现状

19 世纪中叶钢材及混凝土在土木工程中的开始应用以及 20 世纪 20 年代后期预应力混凝土的制造成功,标志着建筑材料和工艺实现了两个飞跃,从而使建造摩天大楼和跨海峡大桥(1 000m 以上)成为可能。

目前,2004 年建成的台北 101 大厦(图 1-9)以 508 m 的高度成为世界上目前最高的建筑。但通过世界最高的建筑物排行榜(表 1-1)我们可以看到,即将建成的 3 个建筑物将再次超越台北 101 大厦。其中,2008 年建成的韩国汉城国际商务中心的高度将达到 580 m。



图 1-9 台北 101 大厦

表 1-1 世界最高建筑物排行榜

排名	建筑名称	高度	竣工时间	层数	目前状态	城市	国家
1	国际商务中心	512/580	2008	130	在建	汉城	韩国
2	上海环球金融中心	492	2007	101	在建	上海	中国
3	九龙站第 7 期	480	2007	102	在建	香港	中国
4	台北 101 大厦	448/508	2004	101	建成	台北	中国
5	西尔斯大厦	443/527	1974	108	建成	芝加哥	美国
6	世界贸易中心	417/526	1972	110	已倒闭	纽约	美国
7	佩特纳斯大厦	416/452	1996	88	建成	吉隆坡	马来西亚
8	国际金融中心	415	2003	88	建成	香港	中国
9	金茂大厦	403/421	1998	88	建成	上海	中国
10	帝国大厦	381/449	1931	102	建成	纽约	美国
11	东帝士大厦	347/378	1997	85	建成	台湾	中国

关于高度:本列表中有部分建筑存在两个高度米 1/米 2,这是因为这些建筑的顶部还有塔尖、天线、旗杆等构造物体,米 1 是不包括这些物体的高度,米 2 是包括在内的建筑总高度。

关于排序:本列表的排序并非真正的排位,真正的世界排位以官方统计数据为准。但此列表是参照过多方数据后整理出来的,具有一定的参考价值。

世界上最大的单一建筑工程为三峡水利枢纽。已建成的三峡工程包括两岸非溢流坝在内,总长 2 335 m。泄流坝段 483 m,水电站机组 70 万千瓦 $\times$ 26 台,双线 5 级船闸+升船机。三峡水库表面积将相当于新加坡的国土总面积,整个工程耗资 245 亿美元。

位于瑞典尤卡斯耶尔维的冰旅馆为世界上最大的冰建筑物,室内总面积为 5 000m²,每晚可接待 150 位来宾。过去 5 年中该宾馆每年 12 月修缮一次,面积逐年增加。目前这座宾馆以冰雕、电影院、桑拿浴和冰吧为特色,还设有世界上独一无二的冰制祈祷室。

世界上最大公寓楼区为英国伦敦的巴比肯住宅区。该住宅区 1959 年由建筑师钱伯林、鲍威尔和邦德共同设计。总占面积 16 公顷,共有 2 014 套公寓,停车场可停放 1 710 辆汽车。

在高耸结构方面,预应力混凝土结构加拿大多伦多塔(图 1-10),由塔底部至顶尖端共分 5 层,全高 553.33 m,为世界之冠。该塔是多伦多和加拿大的象征,每年有 2 100 万人次的游览者登上看台,鸟瞰多伦多的市容和安大略湖的风光。如果天气晴朗,可以看到 160 km 内的景物。



图 1-10 加拿大多伦多塔

阿拉伯联合酋长国的迪拜正在兴建一座世界最大的机场,预计这座机场年客运量可达 1.2 亿人次,年吞吐量 1 200 万吨,耗资 330 亿美元。新机场名为“迪拜世界中心国际机场”,位于阿里山港免税区东侧的沙漠中。一条跑道已经接近完工,还有 5 条跑道正在修建中。新机场预计于 2008 年底投入运营。

世界高速公路最长的为美国,总长超过 89 000km。

现在最大跨度的悬索桥是主跨长为 1 991 m 的日本明石海峡大桥(图 1-11);斜拉桥方面,法国诺曼底桥以主跨 856 m 名列世界第一。



图 1-11 日本明石海峡大桥

一条长 85.3 km 的隧道正伸展于中国东北的辽宁山区。这条直径 8 m 的引水隧道建成后,将会超过 57.6 km 的瑞士戈特哈尔德隧道,成为世界上最长的隧道。这条高差 36 m、完全靠自流引水的

隧道东起辽宁省桓仁满族自治县,西至辽宁省新宾满族自治县。隧道将穿越 50 余座山峰,50 多条河谷,29 条断层。地表到隧道顶端距离最大为 630 m,最小 60 m。

以宽 75 m,长 126 m,高 100 m 的宏伟外观为荣的“LUN-A”平台是于 2003 年 9 月开工,历时 33 个月建设完成的。它由韩国三星重工制造,总重量为 2.7 万吨,相当于 20 万辆中型汽车。这个世界上最规模的海洋平台是世界上第一个完全在陆上组装完成的大型建筑物,能满足零下 40℃ 条件下的海上作业的需求。

(二) 中国达到的水平

回顾 20 世纪特别是改革开放 20 多年来,中国土木工程建设取得举世瞩目的辉煌成就,现就铁路建设、公路建设、港口建设、水利建设、核电建设和其它方面简述如下。

1. 铁路建设

经过 50 多年发展,中国铁路发生了巨大变化。铁路运营路程达 6.8 万千米,超过印度跃居世界第 3 位,居亚洲第 1 位。中国已经批准开工的时速 200 km 以上的新线建设项目有武汉至广州、郑州至西安、北京至天津、合肥至南京、合肥至武汉、温州至福州等铁路,累计达 3 000 km。其中,武汉至广州、郑州至西安客运专线时速在 300 km 以上。2007 年铁路运输即将实现第 6 次大提速。

投资规模最大、技术含量最高的京沪高速铁路,经国务院批准立项。现在,正在紧锣密鼓地进行着这条高速铁路开工前的准备工作。中国铁路运输最繁忙、能力最紧张的百年老线——京沪线也全面完成电气化施工改造任务,电力机车牵引定数从 5 000 吨提高到 5 500 吨,为将来客车提速和货运重载创造了条件。中国首座全长 20 km 的铁路隧道——乌鞘岭隧道双线开通,标志着兰新铁路兰州至武威南二线铁路建成通车。郑徐线电气化、胶济线电气化、西安北环线建设如期完成。郑徐线电气化开通后,提高了牵引定数,延长了机车交路,扩充了运输能力,优化了路网结构。西安北环线的建成,有效疏解了西安枢纽压力,提高了陇海线通过能力。

中国首条一次将既有线改造成客货共线的高等级电气化铁路干线——浙赣电气化铁路,于 2006 年 9 月 15 日顺利竣工通车。京沪、沪杭、胶济、郑徐和浙赣等主要干线电气化开通后,直通货物列车牵引重量胶济、浙赣线按 4 500 吨、其它线按 5 500 吨贯通,实现繁忙干线能力的提升,有效提高了路网整体能力。

2006 年 7 月 1 日,举世瞩目的青藏铁路(图 1-12)——世界上海拔最高、线路最长的高原冻土铁路全线贯通。中国土木工程建设者在素有“生命禁区”之称的雪域高原上拼搏奋斗,努力攻克“多年冻土、高寒缺氧、生态脆弱”三大世界性难题,建设的这条“天路”,是世界铁路建设史上的辉煌壮举,是中国人民树起的一座新的丰碑。

青藏铁路的通车,使全国各省、自治区、直辖市均有铁路通达,基本形成了以大通道为骨架、干支结合、纵横交错、连接亚欧的铁路网络。二是路网布局有了很大的改善,占国土面积一半以上的西南、西北地区,从昔日的



图 1-12 青藏铁路

不足上千千米跃进到上万千米,在整个路网中的比重上升到 1998 年的 24%。三是初步形成中国铁路“八纵八横”路网主骨架的格局,特别是南北方向的京广、京沪、京九、京哈通道和东西方