

# 目 录

第 1 章 导论 .....	1
1.1 土木工程概述 .....	1
1.2 土木工程概论课程的任务 .....	5
1.3 土木工程的起源与发展 .....	6
1.4 土木工程建设程序 .....	20
1.5 土木工程分类 .....	21
同步思考 .....	21
第 2 章 土木工程材料 .....	22
2.1 土木工程材料概述 .....	22
2.2 土木工程材料的种类与作用 .....	29
2.3 新型土木工程材料 .....	34
同步思考 .....	43
第 3 章 基础工程 .....	44
3.1 工程地质勘察 .....	44
3.2 基础类型 .....	55
3.3 地基处理 .....	59
同步思考 .....	64
第 4 章 道路、桥梁与隧道工程 .....	65
4.1 道路与铁路工程 .....	65
4.2 桥梁工程 .....	79
4.3 地下工程与隧道工程 .....	94
同步思考 .....	102
第 5 章 机场工程 .....	103
5.1 机场工程概述 .....	103
5.2 机场规划 .....	106
5.3 机场工程建设 .....	111
同步思考 .....	118

<b>第 6 章 港口与海洋工程</b>	119
6.1 港口工程概述	119
6.2 港口工程的规划和设计	130
6.3 港口工程的发展前景	135
6.4 海洋工程概述	137
6.5 海洋工程发展趋势	145
同步思考	148
<b>第 7 章 给排水工程</b>	149
7.1 给排水工程概述	149
7.2 给水工程	150
7.3 排水工程	158
同步思考	164
<b>第 8 章 土木工程施工</b>	165
8.1 土木工程施工概述	165
8.2 土木工程施工技术	166
8.3 土木工程施工组织	176
8.4 土木工程施工的发展	181
同步思考	183
<b>第 9 章 工程防灾与减灾</b>	184
9.1 灾害概述	184
9.2 工程结构的防灾减灾	187
9.3 我国地质灾害概况	190
9.4 土木工程的防灾减灾	197
同步思考	199
<b>第 10 章 建设工程项目管理</b>	200
10.1 工程项目管理概述	200
10.2 建设工程项目的生产与进度管理	206
10.3 建设工程合同管理	222
10.4 建设工程项目管理的发展	234
同步思考	240
<b>参考文献</b>	241

# 第 1 章 导 论

## 本章导读

土木工程为国民经济的发展和人民生活的改善提供了重要的物质技术基础，在国民经济中占有举足轻重的地位。土木工程的发展水平能够充分体现国民经济的综合实力，反映一个国家的现代化水平，而人们的生活也离不开土木工程。

## 知识要点

- 21 世纪土木工程专业对人才素质的要求
- 建设项目的基本程序
- 土木工程的发展趋势

## 1.1 土木工程概述

### 1.1.1 土木工程和土木工程专业

“土木”在中国是一个古老的名词，意指建筑房屋等工事，如把大量建造房屋称作大兴土木。古代建房主要依靠泥土和木料，所以称为土木工程。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。1828 年，伦敦土木工程师学会为土木工程下的定义为，“Civil Engineering 是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，是人类改造和建设生活、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。中国国务院学位委员会在学科简介中将土木工程定义为，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。

随着科学技术的迅速发展，工程建设活动日趋增多，土木工程也随之形成多个具有自身特色的专门学科。如从事建（构）筑物等工业与民用建筑工程活动称之为房屋建筑工程。当前，土木工程专业将运用一些基础性学科的理论（如数学、力学、物理学、材料科学等），同时运用工程建设活动中的工程实践经验分析处理问题，从而向更高层次发展。

土木工程具有以下四个基本属性：

（1）社会性

土木工程随社会不同历史时期的科学技术和管理水平而发展。

（2）综合性

土木工程是运用多种工程技术进行勘测、设计、施工工作的成果。

（3）实践性

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。

（4）技术、经济和艺术统一性

土木工程是为人类需要服务的，它必然是每个历史时期技术、经济、艺术统一的见证。

### 1.1.2 土木工程专业的培养目标

随着我国社会经济的发展 and 加入 WTO，土木工程专业人才的需求已完全市场化，并呈现出明显的多样化的特征。首先，是人才市场需求量的扩大，用人企业、单位的类型增多，除设计单位、教育部门、规划部门外，房产企业、一般企事业的基建部门等也都需要一定量的高层次专业人才；其次，职业综合素质能力的要求在强化，除具有传统教育所注重培养的设计创新能力外，应具备管理、公共关系、社会协调、自我推销、通力合作等能力素质，符合建筑商品化趋势，有较强的经济意识和效益观念及竞争意识；再次，职业范畴及分工在细化，更加层次化、多样化，出现了专门承接涉外工程项目的设计人员，以及专门从事施工图的设计人才、专门从事方案设计的人才、专门从事 AutoCAD 及效果图制作的人才等；最后，社会对专业人才的业务范畴要求多样，人才类型与职业不再一一对应，而是更加社会化、市场化，既要求具备一定相关学科背景知识，能够成为拥有宽口径的复合型人才模式，又具有可变性、适应性的潜能，在择业中具有更大的自主度，在社会竞争中有更多的机会。

土木工程专业培养掌握工程力学、流体力学、岩土力学和市政工程学科的基本理论和

基本知识，能够面向基层，具有时代气息和开放意识，具备健全人格、社会责任、国际视野，创新意识强、团队协作好、综合素质高，能在建筑工程、市政工程、地下工程、隧道工程、道路与桥梁工程等土木工程相关部门的设计、规划、研究及管理工作的的高素质、多样化人才。

在校学习期间，学生可获得建筑结构设计能力、施工技术问题解决能力、施工组织与管理能力及工程项目管理能力；掌握工程造价评估能力、工程监测和工程质量鉴定与评价能力；具有工程监理、建筑设计的初步能力。学生在校学习期间，经考核可获得社会承认的见习造价工程师资格，参加工作一年后，可转为三级造价工程师。

土木工程专业人才的培养面临从教学内容、方法到组织形式与专业实践、工程环境的塑造、职业意识的培养等适合匹配，培养出一种新型的、复合型的、具有广泛社会适应性的应用型人才和创造性人才。培养的目标主要包括以下几个方面：

### 1. 综合分析能力的培养

学生必须应用所掌握的建筑知识，对不同类型的建筑单元和环境规划进行正确的解释、分析与综合，最终设计出既能解决工程实际问题，又充满新意的空间环境。提高学生的综合分析能力，首先需要拓宽学生的知识面，不仅要学习建筑工程科技知识，还要了解哲学、文化、生态等方面的知识；其次要能多角度、多途径地构思空间方案，思维敏捷，目光敏锐，不墨守成规；最后要善于总结经验教训，注重知识积累，加强自信，使学生具备良好的创造性心理品质。

### 2. 自学能力的培养

21 世纪，新理论、新技术日新月异，土木工程专业学生要适应社会发展，所学知识要能同步更新，因此，仅仅学习课本知识是远远不够的，还应培养自学能力，主动通过网络和其他途径掌握建筑理论的最新动向。这样才能开拓知识领域，才能将所学领域的知识融会贯通。

### 3. 创造性思维和创新能力的培养

建筑科技的发展体现了以信息化和国际化为特征的、各国凭借知识资产在世界上进行激烈竞争这一鲜明的时代特征，土木工程专业的发展离不开创新思维和创新能力的培养。当今时代，各类土木工程专业理论层出不穷，多种设计思潮此起彼伏，新型建筑材料不断发明，先进施工工艺纷纷涌现。建筑科技的发展必须与时俱进，土木工程专业理论必须推陈出新。

土木工程专业学生的创新能力的培养需要有深厚的土木工程专业知识作基础，但知识不等于创新能力。创新意识、创造性思维与创造性实践相结合，才能培养出创新能力。土木工程创新意识是指具有敏锐、强烈的空间设计动机；创造性思维是指空间想象丰富，风格新颖独特，能冲破传统模式、独辟蹊径的思维模式；创造性实践是指为了达到预期创造性目标，勤奋探索、刻苦钻研、科学严谨、百折不挠的实践活动。只有将这三者有机地结合在一起，才有利于土木工程专业学生创新能力的培养。

有人认为，21 世纪的工程师至少要做好回答以下四个问题的准备：

- 1) 会不会去做，即能否在科学技术上解决工程中的难题。
- 2) 可不可以做，即能否在政策法规下遵照法律把事办成。
- 3) 值不值得做，即能否在人、财、物和时空约束条件下经济合理地完成任务。
- 4) 应不应该做，即能否自觉地考虑生态可行性和工程持续性。

以上的四个问题也给土木工程专业的教学指明了方向，给本专业的学生指明了方向。

### 1.1.3 对所培养人才的素质要求

土木工程专业是一门综合性较强的学科，通过对土木工程专业的学习，学生各种素质都要求达到一定的水平。

#### 1. 技术素质

当今世界，科技迅猛发展、信息膨胀、知识爆炸已成为时代的特征。以互联网为特征的信息载体发挥着巨大作用，新的知识经济以其特有的生命力异军突起。新科技革命的本质是知识革命，其任务是突破人脑的局限性，解放人的智力，加速科技向现实生产力转化。在新科技革命浪潮中出现的主要是知识密集型和技术密集型工业，形成了现代生产具有科学化、智能化的特点。高新技术不断被采用，要求生产者既要有一定的科学文化知识，又要有较高的劳动技能，否则不能进入生产过程，不能构成现实生产力。现代生产的特点表明高科技与人的文化技术素质对现代生产的重要作用。由于高科技是人创造发明的，要由人来掌握、运用与推广，这就需要通过教育培训活动，使劳动者从体力型经过文化型向科技型转化，提高劳动者的技术素质以适应高科技发展的步伐。

技术素质是一个综合的概念，包括多种因素，学生可以通过多种途径加强自身的技术素质。首先，可以从课程学习上加强，比如“建筑构造”“建筑材料”等；其次，在教学中则可结合实际工程、组织工地实习或参观建筑材料展览等方式，提高学生的学习兴趣；再次，提高学生的技术素质，增加绘图练习量，让学生基本掌握这门工程师的语言。对另外一些专业课程如“建筑设计”，尤其是高年级的建筑设计，可以结合建筑结构、设备、法律法规等知识对学生进行指导，让学生更全面地认识建筑，这不仅有利于学生将来更快地进入工作角色，也是学生形成科学建筑观的必要手段。由于建筑教育中的技术素质并不仅限于建筑结构、设备等方面的知识，它是一个随着科学技术发展不断变化的范畴。因此，我们还可以根据实际情况开设一些选修课或聘请校外专家举办专题讲座等，让学生根据自己的职业规划学习相关的知识。

#### 2. 人文素质

为什么土木工程专业学生的培养要加强人文素质教育呢？

首先，当前自然科学与人文科学一体化的发展趋势给高等学校的人才培养提出了新的要求。它要求文科学生应当有必要的自然科学素养，理工科学生则应有必备的人文社会科学

学知识,学生不但要能掌握所学知识,而且能够把握所学知识的社会意义,进而要求具备一定的了解社会现状,分析社会需求和把握社会发展的能力。目前我国理工科学生由于过早的文理分科及知识结构不合理等多种因素,人文素质贫乏,具体表现为文字表达能力差、思维方式片面、心理承受能力脆弱等。因此,我们应大力加强学生人文素质的培养,尤其是理工科学生。随着知识经济时代的到来,社会更需要既有专业知识又有经济意识,既有科学功底又具备人文素质的通才,而不是只懂一门专业的专才。

其次,土木工程专业学科的特殊性也对该学科大学生人文素质的培养提出了较高的要求。土木工程学科并不是单纯的工科,而是一门具有多元特性的知识学科体系。

加强学生的人文素质教育具体来说首先应优化学生的知识结构,要从单一型结构转向复合型结构,以便能容纳更多门类的知识,如开设一些文学、历史、艺术等人文社会科学方面的选修课,邀请校外知名的专家学者举办讲座等;要从封闭型结构转向开放型结构,改变传统的教学方式,最大限度地发挥学生的主观能动性,让学生从被动地接受知识转变为主动地学习知识,使学生能随着时代的发展自觉地进行知识更新。另外,人文素质的教育还应走出课堂,走进学生的课余生活。与中学生相比,大学生拥有更多的课余时间,学校可以把这段时间利用起来,作为人文素质培养的阵地。比如,建筑学专业的学生可以结合专业课的学习内容联系当地的历史文化,参观一些历史建筑或做一些相关调研,这样不仅巩固了专业知识,也了解了风土人情和历史文化。

### 3. 拓宽专业,加强基础和应变能力

当前土木工程专业学科教育要尽快理顺、完善和充实引导性专业目录,并且与研究生专业目录相互比照和对应,既与国外建筑本科的专业目录相呼应,又体现我国教育特色。高校建筑教育要面向世界,要进行国际间的教育合作与科技交流,要更广泛地使用科技信息资源这一无形的宝库,尽可能地使土木工程学科专业设置及人才的培养具有国际性。

加强基础是指加强土木工程专业基础课程和技术基础课程的教学及教学改革。首先,可以考虑根据学校特点,加强外语和计算机系列课程的建设,支持从教学条件、教学方法、教学效果等方面加强建设,从而使学生具备扎实的土木工程专业基础知识和技术基础知识;其次,要进一步进行这些课程教学内容和课程体系的改革,以达到拓宽和加强学生基础的目的。

## 1.2 土木工程概论课程的任务

面对充满挑战的新世纪,知识经济的端倪已在全世界范围显现。知识经济的发展对人才及人才培养的模式提出了更高的要求,土木工程学科同样面临着全面的改革。本书的编写主要是实现两个目标:一是使学生较全面地了解土木工程所涉及领域的内容和发展情

况，初步构建专业基础；二是为学生提供一个清晰的、有逻辑性的工程学科的基本概念和方法，初步树立专业思想和方法。

同时在本书中始终体现了结合时代发展的实际，提出了创新思维和应用型人才的发展要求，希望能够全方位、多角度地启发学生大胆创新的思维能力。古人云：尽信书不如无书！从一个编者的角度来说，我们不能束缚学生个性的发展，而应为其提供条件、创造空间。没有个性，创造就没有基础！从一个求知的角度来说，我们希望以后有更多更好的成果，来建设、装扮祖国这一美好家园！

## 1.3 土木工程的起源与发展

### 1.3.1 古代土木工程

古代土木工程时间大致从新石器时代开始至 17 世纪中叶。古代土木工程又可以分为如下的三个阶段：

1) 原始社会阶段。本阶段主要的土木工程活动是解决人类的生存居住问题。从穴居、巢居到原始房屋是该历史时期建筑的发展历程，如我国长江流域多水地区的杆栏式建筑、黄河流域的木骨泥墙房屋等。

2) 奴隶社会阶段。大量青铜生产工具的出现带动了土木工程技术的发展，出现了雄伟的都城、宫殿、庙宇、陵墓等建筑群，同时出现了桥梁、道路、水坝等工程设施。

3) 封建社会阶段。封建社会由于生产力的提高促进了土木工程技术的发展，土木工程的规划、设计、施工技术有了很大进步。

古代土木工程有以下特征：①从选用的材料来看，古代土木工程材料主要是泥土、砾石、树木到稍后的土坯、砖瓦、铜铁等；②从土木工程工艺技术来分析，主要采用的建筑器具为石斧、石刀到随后的铜铁工具到封建社会后期的煅烧加工、打桩机、桅杆起重机等施工机械；③从工程分工分析，古代土木工程已有很清楚的分工，如木工、瓦工、泥工、土工、窑工、雕工、石工等；④从土木工程设计理论和思想来看，古代土木工程缺乏理论依据和指导。

从古代建筑的结构形式来看，可以分为木结构、石结构、砖结构。

#### 1. 木结构

木结构建筑是我国古代建筑史中的光辉一页，它全部由木材质建筑而成。木材也是当时社会历史时期的天然材料。如山西应县木塔（见图 1-1），该塔位于山西省应县西街北侧，建于辽清宁二年（公元 1056 年），原名“佛宫寺释迦塔”，因塔身全部用木质构成，



俗称“木塔”。塔为楼阁式，用优质松木建成，高 67.13m，底层直径 30m，平面呈八角形。塔的第一层有高 10m 的释迦像，塔壁上有 6 幅如来佛像，像及壁画为辽代风格。应县木塔结构设计精巧，保存至今已近千年，是我国现存木结构建筑之最。

## 2. 石结构

石结构顾名思义是以石头为原材料堆砌而成的，典型的建筑为埃及的金字塔。胡夫金字塔是用上百万块巨石垒起来的，每块石头平均质量达 2t，最大的超过 160t。这些巨石是从尼罗河东岸开采出来的，既无起重机装卸，也无轮车运送。在那时



图 1-1 山西应县木塔

开采石头并不容易，因为当时人们并没有炸药，也无钢钎。埃及人当时是用铜或青铜的凿子在岩石上打上眼，然后插进木楔，灌上水，当木楔被水泡胀时，岩石便被胀裂。这样的方法在今天看来也许很笨拙，但在 4000 多年前，却是很了不起的技术。从采石场运往金字塔工地也极为困难，古代埃及人是将石头装在雪橇上，用人和牲畜拉。为此需要宽阔而平坦的道路，仅修建运输石料的路和金字塔的地下墓室就用了 10 年的时间。

## 3. 砖结构

在我国古代，随着社会技术水平的发展，砖作为一种强度高的建筑材料而被广泛采用，气势磅礴的万里长城就是个典范。八达岭长城在北京延庆县，是长城的一个隘口。其关城为东窄西宽的梯形，建于明弘治十八年（1505 年），嘉靖、万历年间曾修缮。关城有东西二门，东门额题“居庸外镇”，刻于嘉靖十八年（1539 年），西门额题“北门锁钥”，刻于万历十年（1582 年）。两门均为砖石结构，券洞上为平台，台之南北各有通道，连接关城城墙，台上四周砌垛口。京张公路从城门中通过，为通往北京的咽喉。从“北门锁钥”城楼左右两侧，延伸出高低起伏、曲折连绵的万里长城。长城全长 6700km，是世界上古老的伟大建筑之一。

## 1.3.2 近代土木工程

近代土木工程的历史主要指的是从 17 世纪中叶至 20 世纪中叶 300 年间的历史，它有了以下鲜明的特征：

- 1) 有力学和结构理论指导。
- 2) 砖瓦木石等材料应用广泛，钢材、钢筋混凝土、早期预应力混凝土得到发展。
- 3) 施工技术进步很大，建筑规模大，建造速度加快。

在近代土木工程历史上有重大意义的大事如下：

1) 意大利学者伽利略在 1638 年出版的著作《关于两门新科学的谈话和数学证明》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。

2) 英国科学家牛顿在 1687 年总结了力学三大定律，它们是土木工程设计理论的

基础。

3) 瑞士数学家欧拉 1744 年出版的《曲线的变分法》建立了柱的压屈理论, 得到计算柱的临界受压力的公式, 为分析土木工程结构物的稳定问题奠定了基础。

4) 1825 年纳维建立了土木工程中结构设计的允许应力法; 19 世纪末里特尔等人提出极限平衡的概念。他们都为土木工程结构理论分析打下了基础。

5) 1824 年英国人阿斯普丁取得了波特兰水泥的专利权, 1850 年开始生产。水泥是制备混凝土的主要材料, 水泥的出现使得混凝土在土木工程中得到广泛应用。20 世纪初, 有人发表了水灰比等学说, 初步奠定了混凝土强度的理论基础。

6) 1859 年发明了贝赛麦转炉炼钢法, 使得钢材得以大量生产, 并能越来越多地应用于土木工程。

7) 1867 年法国人莫尼埃用钢丝加固混凝土制成花盆, 并把这种方法推广到工程, 建造了一座蓄水池, 这是应用钢筋混凝土的开端。1875 年, 他主持建造了第一座长 16m 的钢筋混凝土桥。

8) 1883 年美国在芝加哥建造的 11 层保险公司大楼, 是世界上最先用铁框架 (部分钢梁) 承受全部大楼里的重力, 外墙仅为自承重墙的高层建筑。1889 年法国在巴黎建成的高 320m 的埃菲尔铁塔, 使用钢约 7 000t, 它是近代钢高层建筑结构的萌芽。

9) 1886 年美国入杰克逊首先应用预应力混凝土制作建筑配件, 后又用它制作楼板。1930 年法国工程师弗涅希内将高强度钢丝用于预应力混凝土, 克服了因混凝土徐变造成所施加的预应力完全丧失的问题。于是, 预应力混凝土在土木工程中得到广泛应用。

10) 土木工程在铁路、公路、桥梁建设中得到大规模发展。1825 年英国人斯蒂芬森在英格兰北部斯多克斯和达林顿之间修筑了世界第一条长 21km 的铁路; 1863 年, 英国又在伦敦建成了世界第一条地下铁路; 1779 年英国用铸铁建成跨度为 30.5m 的拱桥; 1826 年英国用锻铁建成第一座跨度为 177m 的悬索桥; 1890 年英国又建成两孔主跨达 521m 的悬臂式桁架桥。这样, 现代桥梁的三种基本形式 (梁式桥、拱桥、悬索桥) 相继出现。1931—1942 年, 德国率先修筑了长达 3 860km 的高速公路网。

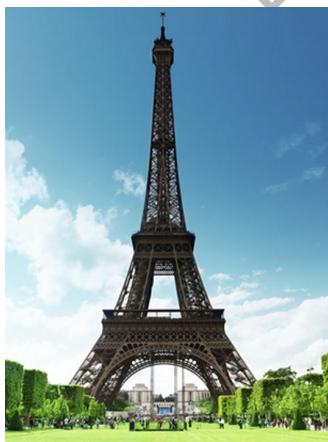


图 1-2 埃菲尔铁塔

11) 1906 年美国旧金山大地震、1923 年日本关东大地震, 这些自然灾害推动了结构动力学和工程抗震技术的发展。

典型的建筑埃菲尔铁塔如图 1-2 所示, 铁塔高 320m, 分三层, 共 1 711 级台阶, 分别在离地面 57m, 115m 和 276m 处建有平台。该塔共用钢铁 7 000t, 12 000 个金属部件用 250 万只铆钉连接起来。

### 1.3.3 现代土木工程

现代土木工程为 20 世纪中叶第二次世界大战结束后至今

的土木工程。产业革命以后，特别是到了 20 世纪，一方面社会向土木工程提出了新的需求；另一方面，社会各个领域为土木工程的前进创造了良好的条件，因而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。

它的特点是首先社会经济建设对土木工程提出日益复杂和高标准的要求，更具体的一般表现为以下三个方面：

1) 土木工程功能化，即土木工程日益同它的使用功能或生产工艺紧密结合。要求公共和住宅建筑物中的各种现代技术设备结合成整体；工业建筑物往往要求对各方面破坏有预防作用，并向大跨度、超重型、灵活空间方向发展；发展高新技术对土木工程提出了更高的标准和要求。

2) 城市建设立体化。20 世纪中叶以来，城市建设有三个趋向：高层建筑的大量兴起；地下工程的高速发展；城市高架公路、立交桥大量涌现。

3) 交通运输高速化。它的标志是高速公路的大规模修建、铁路电气化的形成和大量发展、高速铁路及长距离海底隧道的出现和发展。

由于社会发展出现了以上三方面的要求，使得构成土木工程的三个要素——材料、施工和理论也出现了新的发展趋势。

1) 建筑材料的轻质高强度。高强钢丝、钢绞线和粗钢筋的大量生产，使预应力混凝土结构在桥梁、房屋等工程中得以推广。近年来轻集料混凝土和加气混凝土已用于高层建筑。而大跨、高层、结构复杂的工程又反过来要求混凝土进一步轻质、高强度。高强钢材与高强混凝土的结合使预应力结构得到较大的发展。

2) 施工过程的工业化、装配化。大规模现代化建设使建筑标准化达到了很高的程度。力求推行机械化和工业化的生产方式，同时组织管理开始应用系统工程的理论和方法，日益走向科学化；有些工程设施的建设继续趋向结构和构件标准化和生产工业化。在标准化向纵深发展的同时，种种现场机械化施工方法在 20 世纪 70 年代以后发展得特别快。此外，钢制大型模板、大型吊装设备与混凝土自动化搅拌楼、混凝土搅拌运输车、输送泵等相结合，形成了一套现场机械化施工工艺，使传统的现场混凝土浇筑方法获得了新生命，在多层、高层房屋和桥梁中部分地取代了装配化，成为一种发展很快的方法。这样，不仅可以降低造价、缩短工期、提高劳动生产率，而且可以解决特殊条件下的施工作业问题，以建造过去难以施工的工程。

3) 设计理论的精确化、科学化。它表现为理论分析由线性分析到非线性分析，由平面分析到空间分析，由单个分析到系统的综合整体分析，由静态分析到动态分析，由经验定值分析到随机分析乃至随机过程分析，由数值分析到模拟试验分析，由人工手算、人工做方案比较、人工制图到计算机辅助设计、计算机优化设计、计算机制图。此外，土木工

程各理论，如可靠度理论、土力学和岩体力学理论、结构抗震理论、动态规划理论、网络理论等也得到迅速发展。

由以上近代和现代土木工程的分析可知，现代土木工程的发展速度是土木工程发展史上又一次质的飞跃。这也是由于现代土木工程技术的发展是建立在近代土木工程的技术上的。近代土木工程为以后的发展提供了一系列经典的理论、多样的材料、卓越的发明创造及大量宝贵的经验。现代土木工程的建设基础是在近代的 300 年间所建立起来的。而如今的土木工程建设是在之前的基础上，一方面将现成的科学技术知识更加灵活地运用，使建筑多元化，以满足人们日益增长的物质生活需要，另一方面是在现有的科学技术知识上探索出更先进的道路。新的设计方法、新的施工工艺、新的建材在高层建筑、桥梁、路基、港口及近海结构等工程中得到广泛采用，现代土木工程建设对地基基础提出了更高的要求。

土木工程是具有很强的实践性的学科。在早期，土木工程是通过工程实践，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的学科。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。

以往的总体规划常是凭借工程经验提出若干方案，从中选优的。由于土木工程设施的规模日益扩大，现在已有必要，也有可能运用系统工程的理论和方法以提高规划水平。特大的土木工程，例如高大水坝会引起自然环境的改变、影响生态平衡和农业生产等，这类工程的社会效果有利也有弊。在规划中，对于趋利避害要进行全面的考虑。

近代土木工程有力学和结构理论作为指导，建筑材料更为丰富，施工技术进步很大，且建造规模日益扩大，建造速度也比古代大大加快；现代土木工程日益复杂，标准更高，特别是在社会要求的功能化、城市建设立体化、交通运输高速化等要求下，建筑材料变得轻质高强，施工过程工业化、装配化，施工手段也得到很大的发展，设计理论更为精确化、科学化。

随着土木工程规模的扩大和由此产生的施工工具、设备、机械向多品种、自动化、大型化发展，施工日益走向机械化和自动化。同时组织管理开始应用系统工程的理论和方法，日益走向科学化，有些工程设施的建设继续趋向结构和构件标准化、生产工业化。这样，不仅可以降低造价、缩短工期、提高劳动生产率，而且可以解决特殊条件下的施工作业问题，以建造过去难以施工的工程。

苏通大桥（见图 1-3）位于江苏省东部的南通市和苏州（常熟）市之间，路线全长 32.4km，由跨江大桥和南、北岸接线三部分组成。跨江大桥由主跨 1 088m 双塔斜拉桥及辅桥和引桥组成。主桥主孔通航净空高 62m，宽 891m，满足 5 万吨级集装箱货轮和 4.8 万吨级船队通航需要。工程始于 2003 年 6 月 27 日，于 2008 年 6 月 30 日建成通车。

### 1.3.4 未来土木工程

由于受到现有可利用土地等资源的限制,现代土木工程的可持续发展随之受到一定制约。因此,未来土木工程更趋于向水下、荒漠化地区、盐碱化地区和地球以外空间等区域扩张,所运用的工程建筑材料具有经济、环保、高强度等特点,设计理念更趋于精准、智能,同时信息智能控制系统也将大规模引入土木工程领域。

未来土木工程以美国的太空建筑、德国的智能建筑及其他西欧国家的绿色建筑为代表,日本还拟建高空城市,来缓解人口过于密集的状况(见图1-4)。



图 1-3 中国苏通大桥



图 1-4 高空城市(日本)

#### 1. 太空城市

太空城市将是什么样子呢?地球的人口急剧增长,导致了城市的快速扩张,耕地减少,城市污染严重,而随着航天技术的发展,建立太空城市,到太空中去生活和工作,有望在21世纪变成现实。科学家们提出了许多方案。美国科学家奥尼尔1975年设计出一种最简便的方案,称之为“宇宙岛”。这个“宇宙岛”外形像一个车轮子,直径约500m,它以一定的速度旋转,产生模仿地球引力的“人造重力”。人在“岛”内不会四处飘浮,感觉像在地球上一样,同样可以头顶蓝天,脚踏实地。“岛”的外壁有一层约2m厚的粗糙外壳,用以抵挡宇宙中外来物的撞击。“岛”内建有工厂、农场、住宅、商店、医院、学校、娱乐场所等,可容纳上万人,是一个封闭的自给自足的人造生态系统。

还有一种比较典型的设计是大型圆筒形太空城。城市建在一个直径为6.7km、高32km的大圆筒内。圆筒绕竖直轴自转,产生人造重力,居民可有上百万。这座“太空城”中有人造陆地、湖泊、河流,还有大片森林、公园,光照充足,气候宜人,并可人工控制昼夜和季节的变化,真可算得上是世外桃源。

很多建筑师包括一些物理学家设计的太空城,它们大多采用了圆环式的结构,通过旋转产生重力。人造重力是太空城的设计重点。美国斯坦福大学设计的轮胎形太空城,圆环直径1.8km,以1r/min的速度旋转,以产生人造重力,这就是俗称的“斯坦福圆环”,里面有住房、学校和农业生产区,可供1万人居住。而普林斯顿大学的奥尼尔博士设计的太空城,像一把没有伞衣张开的大伞,一个个农业舱室连成圆环构成伞的边缘,伞柄是个直径达6.5km的大圆筒,高32km,两分钟旋转一圈,以产生人造重力。

1975年,美国有一位科学家曾经提出了一个叫“向日葵”城的太空城方案,顾名思

义，这座太空城的样式有点像向日葵，主体是一个直径达 450m 的圆筒，以 2r/min 的速度自转，这样可以产生像地面一样的重力，人在上面生活工作像在地面上一样。周围配备圆锥形反射镜反射阳光，最外边是农业区，最上面是聚光镜，靠这面镜子聚集的阳光发电为城内提供电能。“向日葵”城可居住 1 万人。

美国太空总署为配合星际探险计划的开展，与波音公司合作研制了一种名为“愉快花园”的适应性太空舱。这个太空舱实际上是一个保持受控状态的生命保障系统。在这个系统中，将种植各种花卉、果树和粮食作物，既为太空人提供良好的环境，又为他们提供食品和水果。整个花园里产生的二氧化碳将由小球藻系统来排除和制造氧气，保持新鲜空气。太空花园还专门设立了“运动区”，供到这里旅游参观的客人进行太空运动，运动区的引力相对较弱。为实现太空移民和长期载人航天，美、日和西欧在 21 世纪的太空计划中，将植物在密闭太空舱内的长期生长试验作为重点研究项目。同时，太空集体农庄的设计工作已经开始进行。

美国航空航天局 2014 年 12 月 5 日公布，计划送人类重返月球并建立永久基地，为登上火星作准备。最初，科学家们会先在月球建立一个仅供少数人长期居住的科研基地，然后依靠机器人和其他设备进一步发掘月球资源，并利用这些资源不断扩大建筑规模，逐步从地球迁移人口至月球居住。



图 1-5 国际空间站

国际空间站（见图 1-5）是太空中最大的建筑。该建筑于 2004 年竣工，它长为 79.9m，翼展为 108.6m，质量达 456t。它由 44 次发射来完成，是目前最大的国际太空工程。美国、俄罗斯、加拿大、日本、巴西及 11 个欧洲国家参与了此项工程。到太空中去工作、旅游，甚至移民，需要一系列人工建筑物，于是将出现一项崭新的产业——太空建筑业。

在太空工地里，建筑工将在太空环境中作业，必须穿上笨重的宇航服工作，必须学会如何在太空中行走、工作。譬如要拧紧一枚螺钉，在地面上可说是易如反掌，但在太空中却不那么容易。在失重的条件下，没有了地心引力的依托，不仅拧不紧螺钉，用力不当自己却会在反作用力的作用下，向相反方向旋转起来。再譬如用地面上的方式去钉钉子，钉钉者会在反作用力的作用下向反方向飘离。因此，每一个太空操作工，工作之前都必须将身体固定，并使用专为太空工作设计的工具，才能从事相应的工作。

为了保障施工者的安全，太空工地应附设生命保障系统休息室。由于太空建筑的难度和复杂性，科学家正在设计具有高度自动化能力的专用机械，尽量减少人员的直接操作。

在地面上造房子，离不开砖瓦、钢筋和水泥，是它们在承受着建筑物的巨大荷载。在太空中，砖瓦这样传统的建筑材料失去了用武之地。因为建筑材料处于失重状态，无需承受任何压力；太空中也没有风、雨、雷、雪之忧，更不必为地震而烦恼，因此，传统建材遮风避雨抗震的那些特性，已无关紧要。但太空材料也有特殊的要求，那里温度变化剧



烈,要求建材必须能够承受在阳光曝晒时迅速升高到 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的高温,又能经受没有阳光时快速冷到 $-100^{\circ}\text{C}$ 左右的低温。这种冷热的交替极容易引起材料变形,因此它又必须具有很小的膨胀系数。太空建筑材料还必须具有抵御或吸收宇宙辐射的能力,以保障居住者的安全。太空建筑业刚刚起步,由于缺乏更多的实践机会,尚无法预见它还有哪些问题等待解决。但许多年后,它将成为一门热火朝天的事业。

我国科学家已将“宇宙空间建设工程技术”提上议事日程,列入2020年前工程技术领域12项关键技术。它将配合已经正式启动的“嫦娥工程”登月计划,为在月球上建设科研基地做准备,最终和平开发利用月球为人类服务。

我国有关学者指出,2020年之前的宇宙空间建设工程技术研究发展目标,将着重针对在月球上建立天文观测基地、地球观测基地、深空探测基地、新材料研制与生产基地、人居基地等不同需要,提出并研究相关的科学技术课题。同时还提出了五个优先发展方向及相应的研究重点。除了开发适合月球环境的建设施工技术,特别是机器人施工技术、月球建筑材料加工技术两个方向外,月球岩土和月球结构工程技术是另两个重要研究方向。比如,一个完整的月面基地包括用于人居生活、工业加工、农业栽培、观测研究甚至旅游观光等内容。月球结构工程技术将负责设计各种不同用途建筑在月球上的特殊结构,以适应月球高真空、无磁场、弱重力、高温差、强辐射的特殊环境。此外,还要发展宇宙建筑物的信息化和智能化、固体废弃物无害化处理等其他宇宙空间建设工程技术。

宇宙空间建设工程技术同时也面临一系列从未遇到的挑战,有很多不确定性和难以精确虚拟的实验。而且,月球表面没有大气,昼夜温差极大(高温时为 $140^{\circ}\text{C}$ ,低温则至零下 $170^{\circ}\text{C}$ ),太阳辐射很强,各种月球基地的设计、施工、维护与管理及基地建设安全保障、可持续发展等方面存在有很多重大的科学技术问题。

### 2. 智能建筑

智能建筑指通过将建筑物的结构、设备、服务和管理根据用户的需求进行最优化组合,从而为用户提供一个高效、舒适、便利的人性化建筑环境。智能建筑是集现代科学技术之大成的产物。其技术基础主要由现代建筑技术、现代计算机技术、现代通信技术和现代控制技术所组成。

20世纪80年代以来,计算机、信息、电子、控制、通信等技术得到迅速发展,促进了社会生产力的提高,也使人们的生产方式和生活方式发生了日新月异的变化,为了满足21世纪全球化知识经济时代的需要,当今世界产业结构正在向高增值型与知识集约型转变。智能化建筑的兴起与发展,主要是适应社会信息化与经济国际化的需要,也是人类社会进步生产力发展的必然需求。智能化建筑是建筑技术与电子信息技术相结合的产物,已成为21世纪房地产投资开发的主导方向。智能化建筑正是当代用信息技术改造传统(建筑)产业本身带动产业优化升级与产业结构调整最典型、最具体、最直接的体现形式。

智能建筑的概念,在20世纪末诞生于美国。第一幢智能大厦于1984年在美国哈特福德(Hartford)市建成。1985年8月在东京青山完成的本田青山大楼,有人称之为日本的

第一幢智能大厦。我国的智能建筑在 20 世纪 90 年代才起步，但发展迅猛，势头令人瞩目。智能建筑是信息时代的必然产物，建筑物智能化程度随科学技术的发展而逐步提高。GB/T 50314—2015《智能建筑设计标准》将智能建筑定义为“以建筑物为平台，基于对各类智能化信息的综合应用，集结构、系统、应用、管理及优化组合为一体，具有感知、传输、记忆、推理、判断和决策的综合能力，形成以人、建筑、环境互为协调的整合体，为人们提供安全、高效、便利及可持续发展功能环境的建筑”。智能建筑必须满足两个基本要求：第一，对于建筑管理者来说，智能建筑应当具有一套管理、控制、维护和通信设施，能够在花费较少的条件下，有效地进行环境控制、安全检查、报警监视，能够实时地与城市管理部门取得联系；第二，对于建筑使用者来说，智能建筑应当创造一个有利于提高工作效率，有利于激发工作人员的创造性，并且舒适和谐的好环境。

智能建筑由以下几个方面组成：

### (1) 通信自动化系统 (Communication Automation)

智能建筑的信息通信系统是保证建筑物内语音、数据、图像传输的基础，同时与外部通信网（如电话公网、数据网、计算机网、卫星以及广电网）相连，与世界各地互通信息。其主要包括，以控制交换机为核心的电话、传真等为主的通信网络；建筑内的局域网，把建筑内的各种终端、计算机、工作站、主计算机与数据库等联网，实现数据通信；与国内外建立远程数据通信网络。先进的通信自动化系统应既可传输语言、数据，还可以传输图像等多媒体信息。不同功能用途的建筑，对通信要求有所不同，应根据应用需求，提供相应的应用系统。

### (2) 办公自动化系统 (Office Automation)

办公自动化系统是利用技术的手段提高办公的效率，进而实现办公自动化处理的系统。它采用 internet/intranet 技术，基于工作流的概念，使企业内部人员方便、快捷地共享信息，高效地协同工作；改变过去复杂、低效的手工办公方式，实现迅速、全方位的信息采集、信息处理，为企业的管理和决策提供科学的依据。系统由高性能的传真机、各种终端、计算机、文字处理机、主计算机、声像设备等现代办公设备与相应的软件组成。办公自动化系统主要用于文字处理、办公服务、公文文档等综合管理，以及电子票务、电子邮件、电视会议及电子数据交换等。

### (3) 楼宇自动化系统 (Building Automation System)

楼宇自动化系统 (BAS) 是智能建筑的主要组成部分之一。智能建筑通过楼宇自动化系统实现建筑物（群）内设备与建筑环境的全面监控与管理，为建筑的使用者营造一个舒适、安全、经济、高效、便捷的工作生活环境，并通过优化设备运行与管理，降低运营费用。楼宇自动化系统涉及建筑的电力、照明、空调、通风、给排水、防灾、安全防范、车库管理等设备与系统，是智能建筑中涉及面最广、设计任务和工程施工量最大的子系统，它的设计水平和工程建设质量对智能建筑功能的实现有直接的影响。楼宇自动化系统采用传感器技术、图形图像技术、计算机和现代通信技术对建筑的电力、空调、冷水机组、热



力站、给排水、消防系统、保安监控、出入门控制等设备实行全自动的综合监控管理。该系统包括楼宇自动化管理系统、出入管理系统、磁卡识别系统、保安监控系统、防火系统及各种设备控制与监视系统等。

红色的智能建筑——美国太平洋设计中心（PDC）（见图 1-6）作为西海岸最大的为设计产品和活动服务的场地，拥有  $1.2 \times 10^6 \text{ ft}^2$  ( $1 \text{ ft}^2 = 0.093 \text{ m}^2$ ) 的面积，包括 130 个陈列室、一个剧院、一个会议中心和当代艺术博物馆。拥有玻璃质地立面的新“红色建筑”，得名于其红色，包括两个办公塔楼，6~8 楼层高，在其下面还有 7 层停车场。塔楼包含景色优美的内庭和占地面积在  $14\,000 \sim 36\,000 \text{ ft}^2$  的数个陈列室。

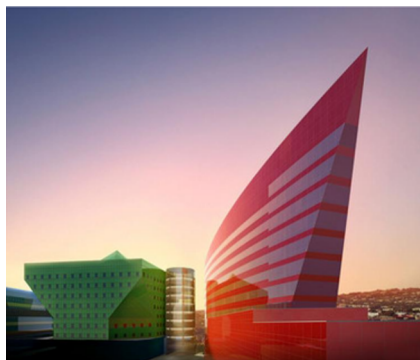


图 1-6 美国太平洋设计中心（PDC）

### 3. 绿色建筑

绿色建筑是指在建筑的全寿命周期内，最大限度地节约资源（节能、节地、节水、节材），保护环境和减少污染，为人们提供健康、适用和高效的使用空间，与自然和谐共生的建筑。21 世纪人类共同的主题是可持续发展，对于城市建筑来说，也必须由传统高消耗型发展模式转向高效绿色型发展模式，绿色建筑正是实施这一转变的必由之路，是当今世界建筑发展的必然趋势。当前提到的健康建筑、绿色建筑、生态建筑等，实际上都涉及了人、自然环境和建筑三者间的关系，但总的宗旨和方向是一致的。如何把三者的关系解决好呢？对于人，主要是解决舒适和健康问题；对于自然环境，主要是解决排放和补偿问题；对于建筑而言，主要是解决节材、节能、高效的问题，三者之间是互相影响和谐共生的关系，简要地说，做好了节材、节能、高效、环保、舒适、健康这几个方面，就是绿色建筑了。

荷兰 Delfut 大学图书馆（见图 1-7）通过精妙的总体设计，结合自然通风、太阳能利用、地热利用、中水利用、绿色建材和智能控制等高新技术，充分展示了绿色建筑的魅力和广阔的发展前景。



图 1-7 荷兰 Delfut 大学图书馆

在我国，现在不缺少生态理念的概念，但普及不够，真正落实推广起来难度还很大。在

政策层面，国家对资源、能源和环境问题是十分重视的，现已将可持续发展作为基本国策。在技术层面，绿色建筑的推进需要技术支撑，要加快对新技术的开发。目前国内各方面都在推进生态示范项目的实践，在设计中强调更多采用被动式生态策略，尽可能利用可再生能源。在经济层面，提高节能产品的效能并降低其成本。如利用光伏电池板发电是利用太阳能的好方式，但有两个问题需要解决，一是效率低，二是成本高，普通的建筑用不起。那就需要科技创新，加快产业化步伐，大批量生产，降低成本，普及其在绿色建筑中的应用。另外，对城市或居住区来说，可以通过各种生态策略来削减生态赤字，这样大约可解决 50% 的问题，剩下的问题要靠建设节约型社会、改变不良的生活方式、倡导绿色消费来解决。

1992 年巴西里约热内卢联合国环境与发展大会以来，中国政府相继颁布了若干相关纲要、导则和法规，大力推动绿色建筑的发展；2004 年 9 月建设部“全国绿色建筑创新奖”的启动标志着我国的绿色建筑发展进入了全面发展阶段；2005 年 3 月召开的首届国际智能与绿色建筑技术研讨会暨技术与产品展览会（每年一次），公布“全国绿色建筑创新奖”获奖项目及单位，同年发布了《建设部关于推进节能省地型建筑发展的指导意见》；2006 年，住房和城乡建设部正式颁布了《绿色建筑评价标准》；2006 年 3 月，国家科技部和建设部签署了“绿色建筑科技行动”合作协议，为绿色建筑技术发展和科技成果产业化奠定基础；2007 年 8 月，住房和城乡建设部又出台了《绿色建筑评价技术细则（试行）》和《绿色建筑评价标识管理办法》，逐步完善适合中国国情的绿色建筑评价体系；2008 年，住房和城乡建设部组织推动绿色建筑评价标识和绿色建筑示范工程建设等一系列措施；2008 年 3 月，成立中国城市科学研究会节能与绿色建筑专业委员会，对外以中国绿色建筑委员会的名义开展工作；2009 年 8 月 27 日，我国政府发布了《关于积极应对气候变化的决议》，提出要立足国情发展绿色经济、低碳经济；2009 年 11 月底，在哥本哈根气候变化会议召开之前，我国政府作出决定，到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放量将比 2005 年下降 40%~45%，作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划，并制定相应的国内统计、监测、考核；2009 年，中国建筑科学研究院环境测控优化研究中心成立，协助地方政府和业主方申请绿色建筑标识；2009 年、2010 年分别启动了《绿色工业建筑评价标准》和《绿色办公建筑评价标准》编制工作；2015 年，新版《绿色建筑评价标准》正式执行。

绿色建筑实践中要解决的九个理念：

### （1）科学的城市发展观

城市的可持续发展是我们追求的目标，它的实现必须符合事物发展的客观规律。根据城市的生态承载力和人均生态赤字，采取相应的生态策略达到生态平衡，通过城市生态资源的综合评价，构建区域生态安全格局，确定合理的城市发展方向。可以通过可再生能源法及相关法规的导向作用，促进生态环境建设和循环经济的发展，促进各种生态技术的产业化，为生态城市的建设提供技术经济支持。同时要构建城市自然生态安全网络，确保城市基本的生态安全，为城市规划和城市设计提供科学的设计依据。

### (2) 复合的城市生态系统观

城市是由自然生态系统、社会生态系统、经济生态系统等构成的复合生态系统。自然生态系统强调生态安全和生态效益；社会生态系统强调构建和谐社会和文化的持续发展；经济生态系统强调科学的发展观和循环经济模式的推广。这里既要保持每个系统内部的动态平衡，又要实现各系统之间的协调发展，达到天地人和谐共生。

### (3) 整体的生态建筑观

建造生态建筑要全方位考虑建筑与生态环境的相关性，同时还要考虑时间因素，树立建筑发展全生命周期的观念。考虑空间因素，控制建筑系统对自然生态系统的空间置换影响；考虑资源的有限性，在人居环境建设中要高效利用和保护地球上的资源。

### (4) 城市建设生态优先

在城市复合生态系统中，自然生态系统对人类的生存和发展尤为重要，必须树立“自然生态优先”的思想，才能确保城市复合生态系统协调平衡。在城市总体规划和设计中，通过对城市资源的综合评价，建立土地生态适宜性分析模型，根据景观生态学“斑块—廊道—基质”理论和碳氧平衡的原理，构建自然生态安全网络，为规划设计提供前提条件和设计依据。作为城市市政基础设施中处于先行地位的自然生态安全网络，是城市及其居民持续获得自然生态服务的保障。

### (5) 生态策略被动优先

在生态建筑设计中，往往要采取多种生态策略才能实现目标。在选择生态策略时，应主张被动式策略（自然通风、相变蓄热体、阳光房等）优先、主动式策略（太阳能集热器、空调系统等）优化，这样才能更加容易实施并可形成有特色的空间形态。

### (6) 问题导向、因地制宜

在城市总体规划和设计中，由于城市的各种生态因子和城市的功能要求不同，因此所构建的自然生态安全网络和城市形态也是千差万别，各具特色。在生态居住区设计中，不同的原生生态环境、不同的乡土树种和不同的设计条件，会导致不同的场地设计策略和不同的居住区特色。在生态建筑设计中，应根据建筑所在的气候区特点，挖掘和提升乡土材料与技术，选择成熟有效的被动式生态策略，构建生物气候缓冲层，辅以优化的主动式生态策略，创建节材、节能、环保、舒适、健康的人居环境。

### (7) 人居环境积极化

任何事物都是一分为二的，既有积极的一面，又有消极的一面，关键是要持积极的态度，捕捉和分析矛盾，挖掘和显化积极因素，发现和转化消极因素，达到人居环境良性发展的目的，这个过程称为“人居环境积极化”。在生态环境建设中，自然生态安全网络、各种被动式生态策略、循环经济模式、环境保护的3R（减量化、再循环、再利用）原则、工业废弃地活化再生等，都是积极化的典型案例。

### (8) 学科交叉、多方共建

生态环境建设是一个复杂的系统工程，必须通过多学科交叉、跨行业合作及全民参与

才能真正解决问题。在学术层面，强调多学科交叉，联合攻关，综合解决问题；在技术层面，强调跨行业合作，共建高质量的人居环境；在社会层面，必须提高全民的生态环境意识和参与意识，提倡绿色消费和节约型生活方式，建设和谐社区；在生态环境建设中，建筑师应起综合和整合的作用。

### (9) 寻求新城市文化价值

新城市文化价值观的核心思想是天地人和谐共生。主要体现在：①持续发展意识的普及，从领导到市民都要树立这种意识；②和谐社会构建的落实，包括社会的公平、人心的凝聚、系统的平衡、文化的持续；③循环经济战略的推进，这是建立节约型城市的根本途径；④生态城市建设的进程，将美学的原理引入城市生态环境建设领域，通过生态环境建设中的空白和未定性，构成其召唤结构，充分调动接受主体的积极性，填补空白，达到生态环境建设目标的圆满实现。

推动建筑向节能、绿色、智能化方向发展，是国际建筑界实践可持续发展理念的大趋势，也是中国经济社会发展面临的重要任务。随着我国城镇化、工业化进程加快，发展绿色建筑，开展建筑节能有着广阔的前景和巨大的潜力。我国采取的主要措施包括以下几点：

1) 对新的建筑积极推行绿色标准。严格执行节能标准，同时加大绿色建筑标准的认证和推广力度。以节能为突破口，全面推进节水、节地、节材，从整体上提升建筑的资源节约水平。

2) 稳步推进既有建筑节能改造。政府机关和大型公共建筑应率先实施节能改造。开展居民住宅等普通建筑的节能改造试点，并适时加以全面推广。

3) 利用先进技术推动绿色节能建筑发展。加强对绿色节能技术、设备、建材的研究开发，广泛运用建筑智能技术，改善生产、生活和公共活动场所的环境质量，降低建筑能耗。

4) 加强政策引导和法制建设。积极稳妥地推进供热体制改革，制定有利于促进建筑节能的财税、金融等政策。建立健全建筑节能的法规体系，加强对有关标准执行的监督。

总之，建筑形式是外在美的体现，建筑是否节能、环保，则是建筑内在美的体现。只有做到了内在美与外在美、形式美与内容美的统一，才是一个符合科学发展观要求、反映人类文明进步水平的优秀建筑作品，这也是当代建筑师们应当追求的目标。

## 1.3.5 土木工程的发展趋势

### 1. 土木工程历史上的三次飞跃

对土木工程的发展起关键作用的，首先是作为工程物质基础的土木建筑材料，其次是随之发展起来的设计理论和施工技术。每当出现新的优良的建筑材料时，土木工程就会有飞跃式的发展。

人们在早期只能依靠泥土、木料及其他天然材料从事营造活动，后来出现了砖和瓦这

种人工建筑材料,使人类第一次冲破了天然建筑材料的束缚。中国在公元前 11 世纪西周初期制造出瓦。最早的砖出现在公元前 5 世纪至公元前 3 世纪战国时的墓室中。砖和瓦具有比土更优越的力学性能,可以就地取材,又易于加工制作。

砖和瓦的出现使人们开始广泛地、大量地修建房屋和城防工程等。由此土木工程技术得到了飞速的发展。直至 18—19 世纪,在长达 2 000 多年时间里,砖和瓦一直是土木工程的重要建筑材料,为人类文明做出了伟大的贡献,甚至在目前还被广泛采用。

钢材的大量应用是土木工程的第二次飞跃。17 世纪 70 年代开始使用生铁,19 世纪初开始使用熟铁建造桥梁和房屋,这是钢结构出现的前奏。

从 19 世纪中叶开始,冶金业冶炼并轧制出抗拉和抗压强度都很高、延性好、质量均匀的建筑钢材,随后又生产出高强度钢丝、钢索。于是适应发展需要的钢结构得到蓬勃发展,除应用于原有的梁、拱结构外,新兴的桁架、框架、网架结构、悬索结构逐渐推广,出现了结构形式百花争艳的局面。

建筑物跨径从砖结构、石结构、木结构的几米、几十米发展到钢结构的百米、几百米,直到现代的千米以上。于是在大江、海峡上架起大桥,在地面上建造起摩天大楼和高耸铁塔,甚至在地面下铺设铁路,创造出前所未有的奇迹。

为适应钢结构工程发展的需要,在牛顿力学的基础上,材料力学、结构力学、工程结构设计理论等就应运而生。施工机械、施工技术和施工组织设计的理论也随之发展,土木工程从经验上升成为科学,在工程实践和基础理论方面都面貌一新,从而促进了土木工程更迅速的发展。

19 世纪 20 年代,波特兰水泥制成后,混凝土问世了。混凝土骨料可以就地取材,混凝土构件易于成形,但混凝土的抗拉强度很小,用途受到限制。19 世纪中叶以后,钢铁产量激增,随之出现了钢筋混凝土这种新型的复合建筑材料,其中钢筋承担拉力,混凝土承担压力,发挥了各自的优点。20 世纪初以来,钢筋混凝土广泛应用于土木工程的各个领域。

从 20 世纪 30 年代开始,出现了预应力混凝土。预应力混凝土结构的抗裂性能、刚度和承载能力,大大高于钢筋混凝土结构,因而用途更为广阔。土木工程进入了钢筋混凝土和预应力混凝土占统治地位的历史时期。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。这是土木工程的又一次飞跃发展。

### 2. 土木工程的发展趋势

土木工程是一门综合性的学科,它跟其他学科的发展息息相关。特别是新材料、新技术等方面的发展,往往会给土木工程的发展带来契机。未来土木工程的发展将围绕以下几个方面:

- 1) 建筑材料轻质高强度。
- 2) 施工技术工业化、装配化。
- 3) 设计理论精确化、科学化。

4) 计算分析方法上由线性分析转为成熟的更接近真实的非线性分析, 由平面分析到空间分析, 由单个分析到综合分析, 由静态分析到动态分析; 工程设计施工中由经验定值分析到随机分析最终到随机过程分析, 由数值分析到模拟试验分析, 同时各种辅助工具也相继应用到土木工程领域中, 如计算机辅助设计、优化设计等。

## 1.4 土木工程建设程序

项目建设程序是指国家按照项目建设的客观规律制定的, 从设想、选择、评估、决策、设计、施工、投入生产或交付使用的整个建设过程中, 各项工作必须遵循的先后工作次序。项目建设程序是工程建设过程客观规律的反映, 是建设项目科学决策和顺利进行的重要保证。

尽管世界上各个国家和国际组织在工程项目建设程序上可能存在着某些差异, 如世界银行对任何一个国家的贷款项目, 都要经过项目选定、项目准备、项目评估、项目谈判、项目实施和项目总结评价等步骤的项目周期, 从而保证世界银行在各国的投资保持较高的成功率。但一般说来, 按照建设项目发展的内在规律, 投资建设一个工程项目都要经过投资决策、建设实施和交付使用三个发展时期。这三个发展时期又可分为若干个阶段, 它们之间存在着严格的先后次序, 可以进行合理的交叉, 但不能任意颠倒次序。

按现行规定, 我国一般大中型及限额以上项目的基本建设程序可以分为以下几个阶段(见图 1-8):

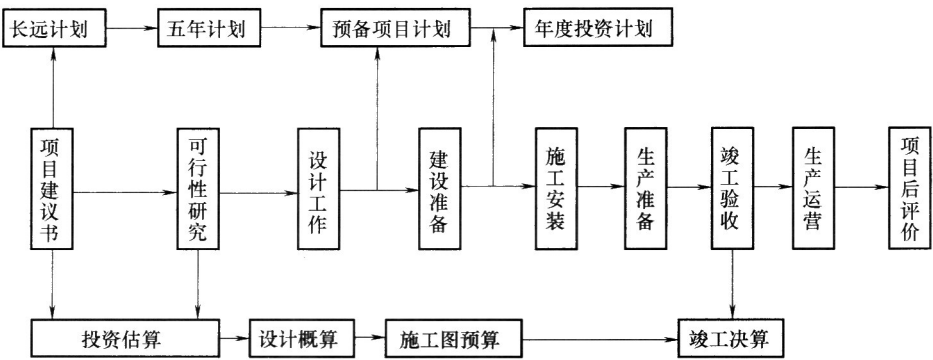


图 1-8 我国大中型项目的基本建设程序

1) 根据国民经济和社会发展规划, 结合行业和地区发展规划的要求, 提出项目建议书。

2) 在勘察、试验、调查研究及详细技术经济论证的基础上, 编制可行性研究报告。

3) 根据咨询评估情况, 对建设项目进行决策。

- 4) 根据可行性研究报告, 编制设计文件。
- 5) 初步设计经批准后, 做好施工前的各项准备工作。
- 6) 组织施工, 并根据施工进度, 做好生产或动用前的准备工作。
- 7) 项目按批准的设计内容建完, 经投料试车验收合格后正式投产交付使用。
- 8) 生产运营一段时间 (一般为 1 年) 后, 进行项目后评价。

### 1.5 土木工程分类

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、施工和养护等阶段, 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计算机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性学科, 并成为内涵广泛、门类众多、结构复杂的综合体系。

我国将土木工程分为如下分支: 房屋工程、铁路工程、道路工程、机场工程、桥梁工程、隧道及地下工程、特种结构工程、给水排水工程、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五个方面: 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、计算机应用等五个分科学会和港口工程、市政工程、给水排水、城市公共交通、城市煤气等五个专业委员会。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。

### 同步思考

1. 结合当前的形势, 谈谈 21 世纪土木工程专业对人才素质的要求。
2. 土木工程专业作为培养“应用型”人才的专业, 规划你在大学阶段的学习安排。
3. 结合自己个人的生活经历, 谈谈土木工程过去、现在、将来的变化。
4. 我国一般大中型及限额以上项目的基本建设程序分为几个阶段?
5. 根据掌握的初步知识, 结合个人感性的认识, 讨论土木工程的发展趋势。

## 第 2 章 土木工程材料

### 本章导读

任何土木工程建（构）筑物（包括道路、桥梁、港口、码头、矿井、隧道等）都是用材料按一定的要求建造的，土木工程中所使用的各种材料统称为土木工程材料。材料的品种很多，一般分为金属材料和非金属材料两大类。金属材料包括黑色金属（钢、铁）与有色金属；而非金属材料，按其化学成分，则有无机（矿物质）与有机之别。

### 知识要点

- 土木工程材料的发展历史及发展趋势
- 土木工程材料的作用及其特性
- 新型土木工程材料的发展趋势

### 2.1 土木工程材料概述

土木工程材料的发展一直伴随着人类社会和文明的发展而进步。人类最早是穴居巢处，进入石器时代后，才开始利用土、木、石等天然材料从事营造活动，主要表现为挖土凿石为洞，伐木搭竹为棚。随着人类文明的进步和社会生产力的发展，人类开始利用天然材料进行简单加工，砖、瓦等人造土木工程材料相继出现，这一类材料的使用一直延续到今天。

17 世纪 70 年代，人类开始在土木工程中使用生铁；19 世纪初，人们开始把熟铁用于土木工程建设之中。19 世纪中叶，建筑钢材开始出现于建筑历史上。19 世纪 20 年代，随着波特兰水泥的发明，混凝土材料开始大量使用。钢筋混凝土、预应力混凝土材料随之出现，并很快成为建筑材料的主流。



随着人类社会的进步和发展,更有效地利用地球上的有限资源和能源,全面改善人类工作与生活环境,迅速地扩大人类的生存空间,满足愈来愈高的安全、舒适、美观、耐久的要求成为一种趋势。实现土木工程的可持续发展,将成为土木工程面临的新挑战,也对土木工程材料提出了更多和更高的要求。今后,在原材料方面,最大限度地节约有限的资源,充分利用可再生资源 and 工农业废料;在生产工艺方面,尽量降低原材料及能源消耗,大力减少环境污染;在性能方面,力求轻质、高强、耐久和多功能,并考虑材料的安全性和可再生性;在产品形式方面,积极发展预制技术,提高产品构件化、单元化的水平。人类进入 21 世纪后,土木工程材料正向着高性能、多功能、安全和可持续发展的方向改进。

### 2.1.1 土工合成材料的发展历史及趋势

土工合成材料是一种新型的岩土工程材料。它以人工合成的聚合物(如塑料、化纤、合成橡胶等)为原料,制成各种类型的产品,置于土体内部、表面或各层土体之间,发挥加强或保护土体的作用。土工合成材料可分为土工织物、土工膜、特种土工合成材料和复合型土工合成材料等类型。目前已广泛应用于水利、电力、公路、铁路、建筑、海港、采矿、军工等工程的各个领域。

近代土工合成材料的发展,建立在合成材料——塑料、合成纤维和合成橡胶发展的基础上。合成纤维在土工合成材料中的应用开始于 20 世纪 50 年代末期。1958 年,艾·杰·巴瑞特(R. J. Barret)在美国佛罗里达州利用聚氯乙烯织物作为海岸块石护坡的垫层,是应用现代土工合成材料的开端。在 1957 年以前,以合成纤维织物做成的砂袋已在荷兰、德国和日本等国应用。20 世纪 60 年代,合成纤维织物在美国、欧洲各国和日本逐渐推广。所用的土工织物主要是机织型的(俗称有纺织物),大部分用于护岸防冲等工程。机织型土工织物的强度具有很大的方向性,价格较高,因此限制了它的发展。

非织造型土工织物(俗称无纺布)的应用,给土工织物带来了新的生命。它的特点是把纤维做成多方向的或任意排列,故强度没有显著的方向性。厚的织物不但可以用作滤层,还可以用作导水体,适用于各种土建工程。非织造型土工织物在 20 世纪 60 年代末开始应用于欧洲,1968—1970 年相继用于法国和英国的无路面道路、德国的护岸工程和一座隧道、法国的 Valcros 土坝的下游排水反滤和上游护坡垫层。20 世纪 70 年代,这种土工织物很快从欧洲传播到美洲、非洲西部和澳洲,最后传播到亚洲。近 20 年来,由于纺黏法制造工艺的推广,生产出大量的成本低、强度高的产品,使非织造型土工织物的应用飞速发展起来。

1979 年,巴黎召开的加筋土会议大大地提高了人们对土工合成材料加筋功能的兴趣。人们开始研究与应用土工合成材料取代加筋土中习惯采用的金属材料,这就极大地促进了加筋土工合成材料的发展。目前用于加筋的土工合成材料主要有土工织物、土工格栅、土工网、土工垫、复合土工织物等,广泛地应用于加筋挡墙、加筋陡坡、加筋垫层等工程

中，并取得了良好的效果。

1977 年，詹森·帕克·希罗德 (J. P. Giroud) 与詹布·佩尔费蒂 (J. Perfetti) 率先把透水的土工合成材料称为“土工织物” (Geotextile)，不透水的土工合成材料称为“土工膜” (Geomembrane)。近十几年来，大量的以合成聚合物为原料的其他类型的土工合成材料纷纷问世，已经超出了“织物”和“膜”的范畴。1983 年，杰弗里斯·津格·弗吕尔 (J. E. Fluer) 建议使用“土工合成材料” (Geosynthetics) 一词来概括各种类型的材料，这一名词已被大多数专业人士接受。

土工合成材料的应用，在我国起步较晚，但发展很快。1976 年在江苏省长江嘶马护岸工程中，首先使用由聚丙烯扁丝织成的编织布，结合聚氯乙烯绳网和混凝土块压重，组成软体排，防止河岸冲刷。20 世纪 80 年代，编织布的应用日益增多，除用于软体排外，还普遍应用于制造土、砂、石袋、石枕以及软弱地基加固等工程。20 世纪 90 年代，在东北、华北和长江流域先后发生了几次特大洪水，编织布在防汛抢险中发挥了极为突出的作用。非织造型土工织物的应用，始于 20 世纪 80 年代初期。从 1981 年至 1989 年，铁道部曾布置了几十个试验路段，利用非织造型土工织物防止基床的翻浆冒泥，成功率达 90% 以上。1984 年，云南的军用道路及江苏省和吉林省的一些公路利用非织造型土工织物提高路基强度，解决了路基沉陷及翻浆冒泥等问题。针刺型非织造型土工织物在水利工程中的应用发展更为迅速，1984 年至 1985 年间，云南省的麦子河水库、江苏省昆山市的暗管排水工程、内蒙古的翰嘎利水库、天津的鸭淀水库、黑龙江的引嫩工程、河北的庙宫水库都用其作为反滤层，经过几年的考验，效果良好。自 20 世纪 80 年代中期以后，非织造型土工织物的应用很快推广到储灰坝、尾矿坝、水坠坝、港口码头、海岸护坡以及地基处理等工程。随着应用范围的不断扩大，生产针刺型土工织物的厂家也如雨后春笋般纷纷建立起来。

另外，还有几种土工合成材料在我国发展也很快。一种是加固软土地基的塑料排水板，从 1981—1983 年在天津新港试用以后，到 20 世纪 80 年代末期，已应用于七八个省市的港口码头、高速公路、电厂厂房、飞机场、铁路等工程；另一种是浇筑混凝土用的化纤模袋，开始试用于江苏省的南官河口岸，到 20 世纪 80 年代末期，已推广到七八个省市的三十几项工程中；再一种是塑料低压输水管道，20 世纪 70 年代末从国外引进，目前已普遍应用于河北、山东、河南、山西、东北各省和北京、天津两市广大的井灌区；其他类型的土工合成材料，如合成橡胶、塑料锚杆、塑料条带、泡沫塑料、土工网、土工格栅等，也已在我国土建工程中应用，尤其是土工格栅，在 20 世纪 90 年代后期发展非常快，大量用于加筋处理。

随着土工合成材料的普遍推广，相应的研究工作和有关学术团体也蓬勃发展起来。从 1977 年至今，相继在巴黎、拉斯维加斯、维也纳、海牙、新加坡、亚特兰大等地召开了六届国际土工合成材料学术讨论会。在国内，也已经召开了五届全国性的土工合成材料学术讨论会，已实施的采用土工合成材料的各类工程（包括加筋、排水、反滤、隔离、软基

处理等)已达到数千项。土工合成材料作为一种新型的人工材料已引起了国内外岩土工程界的极大关注。在第三届国际土工合成材料大会上,新当选的主席吉夫斯·丹纳·希罗德(J. D. Giroud)作了题为“从土工织物到土工合成材料——岩土工程领域的一场革命”的总报告,说明土工合成材料已渗透到土建工程的各个领域。

### 2.1.2 钢材、混凝土结构材料的发展历史及趋势

钢材是社会基础设施建设中的重要材料。从19世纪初,人类开始将钢材用于建造桥梁和房屋,到19世纪中叶,钢材的品种、规格、生产规模大幅度增长,强度不断提高,相应钢材的切割和连接等加工技术也大为发展,为建筑结构向大跨、重载方向发展奠定了重要基础。与此同时,钢筋混凝土问世,并在20世纪30年代发展为预应力钢筋混凝土,使近代建筑结构形式和规模进一步发展。

混凝土是由胶凝材料和骨料组成的多孔、多相、非均质复合材料。人类很早以前就知道并学会了使用混凝土材料从事土木工程活动,例如,古代人将石灰、水、砂子拌和成砂浆,用作墙体抹面或砌筑墙体时的黏结材料。1824年,英国人阿斯普丁发明了水硬性的波特兰水泥。以波特兰水泥为胶结材料的混凝土以其原材料资源丰富、价格低廉、可浇筑成任意尺寸和形状的构件以及强度高、耐久性优良等优点受到世人的青睐,被大量用于建造人类生活、生产所必需的各种基础设施,成为现代社会最大众的建设材料。目前全世界每年混凝土使用量已达到90亿吨,可以说混凝土是人类与自然界进行物质与能量的交换活动中消费量较大的一种材料。因此混凝土的生产与使用,以及混凝土本身的性能极大地影响了地球环境、资源、能源的消耗量以及所构筑的人类生活空间的质量。

长期以来,人类只注意到混凝土带来的便利,忽略了混凝土给人类和地球环境带来的负面影响。从事混凝土理论科学与实际工程的研究人员,不断探索,从素混凝土到钢筋混凝土、预应力混凝土,从干硬性混凝土到塑性混凝土、高流态混凝土以及高性能混凝土,从手工搅拌、现场搅拌到机械搅拌,从人工插捣、机械振捣到泵送、自密实混凝土等,混凝土的理论与技术不断趋于成熟。这些研究大多是为了满足人类对混凝土材料性能的需求,至于如何考虑自然环境的因素,使混凝土的生产和使用有利于环境保护和生态平衡,尽量减轻给环境造成的负担,从自然、环境、生态平衡的角度出发进行的研究则很少。进入20世纪80年代后期以来,保护地球环境、寻求与自然和谐共处,走可持续发展之路成为全世界共同关心的课题。作为人类大量使用的建设材料,除了要求不断改善其性能之外,还必须考虑其对环境的影响,以及资源、能源的消费及生态平衡等因素,即21世纪混凝土的发展方向应该是环保型混凝土。

### 2.1.3 国内外砌体结构材料的发展历史及趋势

砌体结构是指用砖砌体、石砌体或砌块砌体建造的结构。其中以石砌体结构和砖砌体

结构的历史尤为悠久，自古至今经历了一个漫长的发展过程。

### 1. 我国砌筑材料的发展历史及趋势

早在原始时代，人们就用天然石建造藏身之所，随后逐渐用石块建筑城堡、陵墓或神庙。1983 年在我国辽宁省西部的建平、凌源两县交界处的牛河梁村发现了一座女神庙遗址和数处积石大冢群，以及一座类似城堡或方形广场的石砌围墙遗址，经考证，这些遗址距今约有 5000 年的历史。

据考古资料查证，人们生产和使用烧结砖有 3000 年以上的历史。我国在夏代（约公元前 21 世纪—公元前 16 世纪）就已经采用土夯筑城墙。到了战国时期（约公元前 476—公元前 221 年）就已经能够烧制长方形或方形黏土薄砖、大型空心砖和断面呈“几”字形的花砖等。至六朝时黏土实心砖的使用已经很普遍，出现了完全用砖建成的塔，如北魏（公元 386—534 年）孝文帝建于河南省登封市的嵩岳寺塔，共 15 层，总高 43.5m，为单筒体结构，是我国保存最古老的砖塔，在世界上也是独一无二的。

我国是一个文明古国，历史上有名的、至今仍保存完好的砖石建筑物很多，其中最为著名的当数万里长城，据记载它始建于公元前 7 世纪春秋时期的楚国。还有在 1400 年前由料石修建的现保存基本完好的河北省赵县安济桥，它是世界上最早的拱桥，该桥已被美国土木工程学会选入世界第 12 个土木工程里程碑。我国现存最高的建于北宋年间的砖塔——河北省定县开元寺塔，还有敦煌、云岗、龙门等处的石窟，乐山的大佛，苏州的园林，以及在春秋战国时期就已兴修水利，如今仍然起灌溉作用的秦代李冰父子修建的都江堰水利工程等。

新中国成立以后，我国的砌筑材料得到迅速发展，取得了显著的成就。砌筑材料的主要特点如下。

#### （1）应用范围不断扩大

除了在办公、住宅等民用建筑中大量采用砖墙承重外，在中小型单层工业厂房和多层轻工业厂房，以及影剧院、食堂、仓库等建筑中也大量采用砖墙、柱承重结构。此外，砖石砌体还用于建造各种建筑物，如砖烟囱、小型水池、料仓、渡槽以及排气塔、石拱桥等。在总结防止地震震害经验的基础上，我国还积累了在地震区建造砌体结构房屋的宝贵经验，在地震烈度为七、八度及以上的地方也建造了砌体结构房屋。

#### （2）新材料、新技术和新结构的不断研制和使用

近 20 年来，我国在推广和使用混凝土砌块、轻骨料混凝土砌块或加气混凝土砌块，以及利用河砂、各种工业废料、粉煤灰、煤矸石等生产无熟料水泥煤渣混凝土砌块或蒸压灰砂砖、粉煤灰硅酸盐砖和砌块等方面，也取得了很大的发展。

### 2. 国外砌筑材料的发展历史及趋势

在欧洲，人们大约在 8000 年以前就开始使用晒干的砖，大约在 6000 年前开始使用凿磨后的自然石，至于在建筑物中采用烧制的黏土砖，亦有 3000 年以上的历史。

国外采用石材乃至砖建造的各种建筑物也有着悠久的历史。埃及的金字塔和中国的万

里长城一样举世闻名，其中最为著名的三大金字塔标志着埃及金字塔的黄金时代。古罗马和古希腊也保存了大量的古代砌体结构，其中较为著名的有古罗马角斗场、比萨斜塔，希腊雅典的古卫城、雅典娜胜利女神庙等。此外还有著名的巴黎圣母院、柬埔寨的吴哥寺等。

19 世纪的欧洲曾建造了各式各样的砖石建筑，特别是多层房屋，如 1889—1891 年，在美国芝加哥建造了一幢 16 层高的房屋，其底层采用的承重墙为砖墙，墙厚 1.80m。20 世纪 60 年代以来，欧美许多国家在完善砌体结构设计理论的同时，还研制出了许多强度高、性能好的砌筑材料和砂浆，20 世纪 90 年代美国生产的商品砖的抗压强度最高可以达到 230MPa，是普通混凝土强度的十几倍，美国 Dow 化学公司生产的“Sarabond”，即掺有聚氯乙烯乳胶的砂浆，其抗压强度可以超过 55MPa。由于采用高强材料砌筑建筑物，墙厚减薄，因此，1957 年在瑞士苏黎世用空心砖建造的一栋 19 层的塔式建筑，其承重墙厚只有 15~18cm。

近 30 年来，欧美许多国家对预制砖墙板和配筋砌体的研究也取得了显著的成果，国外许多采用配筋砌体的建筑物，其抗震性能可以和混凝土结构相媲美。例如，美国丹佛建造的 17 层配筋砖砌体房屋 Park May Fair East，高 50m，墙厚 280mm，内外壁用 M50 黏土实心砖砌筑，厚度均为 83mm，中填混凝土并配置垂直和水平钢筋，经过了里氏 5 级地震的考验。

### 2.1.4 建筑装饰材料的发展历史及趋势

随着我国国民经济的迅速发展和人民生活水平的不断提高，大量家庭居室、工作场所和公共设施对新颖、美观、富于个性的建筑装饰提出了更高的要求。建筑装饰材料是装饰工程的基础，也是建筑物的重要组成部分，它通过各种建筑物的色彩、质感和线条以及兼有的功能性质提高了环境空间的舒适性和美观效果，使建筑物更趋于完美。

建筑装饰材料的品种门类繁多、更新周期短、发展潜力大，其发展速度的快慢、品种的多少、质量的优劣、配套水平的高低决定着建筑物的装饰档次。中国装饰材料在 20 世纪 80 年代以前的基础较差，品种少、档次低，建筑装饰工程中使用的材料主要是一些天然材料以及相关的简单加工制品。从 20 世纪 80 年代中期开始，随着一批引进的和自行研制的装饰材料生产线的陆续投产，以广州市为代表的一些沿海城市的建筑装饰材料市场首先活跃起来，各种壁纸、涂料、墙地砖等装饰材料的问世，给建筑装饰业带来了色彩和生机，人们对装饰材料的选择范围也变得十分宽阔。20 世纪 90 年代中期以后，在国家可持续发展的重要战略方针指引下，提出了发展绿色建材，改变我国长期以来存在的高投入、高污染、低效益的粗放式生产方式的方针。绿色建材发展方针是选择资源节约型、污染最低型、质量效益型、科技先导型的发展方式，把建材工业的发展和保护生态环境、污染治理有机地结合起来。

进入 21 世纪以后,随着国家经济建设的发展,住宅装饰在我国形成了新的消费热点,建筑装饰业迫切需要品质优良、款式新颖、不同档次,以及可选性、配套性和实用性强的产品。今后一段时间内,建筑装饰材料将有以下一些发展趋势。

### (1) 多功能化

装饰材料的首要功能是具有一定的装饰性。现代装饰场所不仅要求材料的观感满足装饰设计的效果要求,而且还要求材料满足其他功能的规定,例如,顶棚装饰材料不仅要美观,还要兼具吸声、透气、防火的功能;地面装饰材料兼具隔声、防静电的功能;内墙装饰材料兼具隔声、隔热、透气、防火的功能等。当前,建材市场上出现了一些新型的复合墙体材料,其功能多样化,除了赋予室内外墙面应有的装饰效果之外,常兼具抗大气性、耐风化性、耐急冷急热性、保温隔热性、隔声性、防结露性等性能。

### (2) 绿色化

随着全球生态危机的加剧,人类越来越意识到需要保护自然、保护生态环境,需要在设计和材料的选用中体现可持续发展的原则。在设计中,装饰材料的选择贯彻可持续发展的原则正成为广大室内外设计师的共识。建筑装饰材料的绿色化涉及对自然的尊重和对人体健康的关注。绿色建材与传统建材相比具有五个基本特征,即大量使用工业废料、采用低能耗生产工艺、原材料不使用有害物质、产品对环保有益和产品可以循环利用。21 世纪装饰文化的核心是采用绿色建材。例如,近年来很多发达国家相继推出了各类绿色建材产品,如无机、有机溶剂挥发污染的水性涂料和黏合剂,各种节能玻璃以及无污染塑料金属复合管道等。随着社会的发展,未来的绿色建材品种将会越来越多。

过去装饰工程大多采取现场湿作业的方式,例如,墙面、吊顶的粉刷和油漆,水磨石地面的施工等传统施工工艺都带有湿作业的性质。湿作业的劳动强度大,施工周期长,不经济,而且现场的环境污染严重,已经不适应现代装饰工程的需要。轻钢龙骨、各种新型板材、金属装饰制品、塑料制品、新型玻璃等现代装饰材料的开发,对墙面、地面、顶棚等部位进行装饰时,只需采用钉、粘等施工方法或装配式的施工工艺即能完成,方法简便快捷,劳动强度低,施工效率高。

### (3) 人造化

在过去的装饰工程中,人们大多使用自然界中的天然材料来装饰建筑,如天然石材、木材、天然漆料等。由于地球人口的膨胀,生态环境破坏问题日趋严重,天然材料的开采和使用受到了制约,人造材料替代天然材料成为必然的发展趋势。人造大理石、高分子涂料、塑料地板、塑钢门窗等,已经成功地应用于现代装饰工程中,使建筑装饰材料的面貌发生了很大的变化,不但最大限度地满足了建筑设计师的设计要求,推动了建筑技术的发展,也为人们选择不同档次、不同功能的建筑装饰材料提供了更大的可能。

### (4) 智能化、科学化

建筑装饰设计的最大目标是要为人们创造一个舒适、方便、卫生、安全的生活和工作环境,这就对建筑装饰材料的发展提出了更高的要求,而这几项要求都是和建筑装饰材料

的应用分不开的。例如，在装饰设计中充分利用玻璃材料的折射、反射等物理性质，使室内光线变得更明亮，利用石膏装饰材料的隔声、吸声等功能，使室内达到理想的声学效果等。未来的建筑装饰材料必然会朝着智能化、科学化的方向发展。

## 2.2 土木工程材料的种类与作用

土木工程材料作为土木工程的物质基础，对土木工程的发展起着关键作用。一种新的优良材料的出现往往会带来工程技术的变革，甚至出现大的飞跃。

迄今为止，土木工程三次大的历史性飞跃都是由新土木工程材料的变革引起的。利用天然材料进行简单加工而成的砖、瓦等人造土木工程材料的出现使人类第一次冲破天然材料的束缚，开始大量修建房屋和各种防御性工程等，从而引发了土木工程的第一次飞跃。17 世纪开始使用的生铁到 19 世纪开始使用建筑钢材，结构物的跨度从砖、石结构和木结构的几十米发展到几百米，直到现代的千米以上，是土木工程的又一次飞跃。第三次飞跃是由于 19 世纪波特兰水泥的发明和后来钢筋混凝土以及预应力混凝土的出现，这些材料使土木工程出现了经济、美观的新型工程结构形式，带动了结构设计理论和施工技术的蓬勃发展。

### 2.2.1 土工合成材料

#### 1. 土工合成材料的种类

土工合成材料是岩土工程中应用的合成材料的总称。关于土工合成材料的分类，至今尚无统一的标准。早期曾将土工合成材料分成土工织物（geotextile）和土工膜（geomembrane）类，分别代表透水和不透水合成材料。随后，在工程中透水和不透水材料联合应用不断增多。复合材料、特种合成材料产品大量涌现，两大类的分法难以互含和概括。1998 年，我国由水利部会同有关部门共同制定的《土工合成材料应用技术规范》，经有关部门会审，批准为强制性国家标准。该规范将土工合成材料分为四大类，即土工织物、土工膜、土工复合材料和土工特种材料。此外，土工合成材料还可作为掺合料改良土的性质，如在土中掺入合成纤维，形成纤维土（texsoil），分类中暂未列入。

#### 2. 土工合成材料的功能与应用

土工合成材料的功能是多方面的，综合起来，可以概括为以下六种基本功能。

##### （1）过滤作用

把土工合成材料置于土体表面或相邻土层之间，可以有效地阻止土颗粒通过，从而防止由于土颗粒的过量流失而造成土体的破坏。同时允许土中的水或气穿过织物自由排出，

以免由于孔隙水压力升高而造成土体失稳等不良后果。

### (2) 排水作用

有些土工合成材料可以在土体中形成排水通道，把土中的水分汇集起来，沿着材料的平面排出体外。较厚的针刺型非织造型土工织物和某些塑料排水管道或具有较多孔隙的复合型土工合成材料都可以起排水作用。其主要应用于下列工程：土坝内部垂直或水平排水、软基处理中垂直排水、挡土墙后面的排水、埋入土体中（如水力冲填坝中）消散孔隙水压力、建筑物周边的排水等。

### (3) 隔离作用

有些土工合成材料能够把不同粒径的土、砂、石料隔离开来，或者把土、砂、石料与地基隔离开来，以免相互混杂或发生土粒流失现象。用作隔离层的土工合成材料，必须满足两方面的要求：一方面它能够阻止较细的土粒侵入较粗的粒状材料中去，并保持一定的渗透性；另一方面，它必须具备足够的强度，以承担由于荷载产生的各种应力或应变，亦即织物在任何情况下不得产生破裂现象。设计时，必须对材料的孔隙率、透水性、顶破强度、刺破强度、握持抗拉强度及其延伸率、撕裂强度等性能进行核算，以选择合适的材料。

### (4) 加筋作用

土工合成材料埋在土中，可以扩散土体的应力，增加土体的模量，限制土体侧向位移，并增加土体和其他材料之间的摩阻力，提高土体及有关建筑物的稳定性。土工织物、土工格栅及一些特种或复合型的土工合成材料，都具有加筋功能。

### (5) 防渗作用

土工膜和复合型土工合成材料，可以防止液体的渗漏和气体的挥发，保护环境或建筑物的安全。

### (6) 防护作用

土工合成材料可以将比较集中的应力扩散，使应力减小，也可由一种物体传递到另一种物体，使应力分解，防止土体受外力作用破坏，起到对材料的防护作用。防护分两种情况：一是表面防护，即将土工合成材料放置于土体表面，保护土体不受外力影响破坏；二是内部接触面保护，即将土工合成材料置于两种材料之间，当一种材料受集中应力作用时，不会使另一种材料破坏。

## 2.2.2 钢材

### 1. 钢材的生产

钢材的生产分两步进行，第一步是炼铁过程。以自然界中存在着的铁矿石为原材料，加上焦炭和石灰石等在高炉中经高温熔炼，将氧化铁中的高价铁还原出来，得到生铁。生铁的主要成分为单质铁（Fe），但其含碳量较高（大于2%），同时，硫、磷、硅、锰等其



他杂质元素的含量也较高。因此,生铁的韧性差,呈脆性。第二步是以生铁为原料,在高温下进行脱氧和去硫、磷等杂质的冶炼过程,可得到钢材。与生铁相比,钢的含碳量降低至2%以下,同时,硫、磷、氧、氮等杂质元素的含量也降低至所要求的水平。因此,钢材不仅具有较高的强度,并且具有抗冲击、抗疲劳等力学性能,以及其切割、焊接等工艺性能均比生铁有较大的改善。

### 2. 钢材的作用与特性

#### (1) 轻质高强

与铸铁、混凝土材料相比,钢材的强度较高;与木材相比,钢材可以获得较大的尺寸,钢材适用于高层、大型结构物。例如,1889年建造的埃菲尔铁塔,高度为321m,采用铸铁材料,自重为7000t。而1958年建造的东京塔,高度为333m,采用钢材,自重仅为4000t。可见,同样规模的结构物采用钢材可以比铸铁减少将近一半的自重。

#### (2) 韧性好、抗冲击能力强

钢材具有良好的韧性,抗冲击能力强。随着钢构件连接技术的不断进步,其整体性也逐渐加强。承受冲击荷载的桥梁、高层建筑以及其他抗震结构物大多采用钢结构。曾占据世界第一高建筑宝座25年之久的美国芝加哥的西尔斯大厦(高443m)、曾经是亚洲第一高的建筑——中国香港的中银大厦(高315m)、目前世界上跨度最大的桥梁——日本的明石海峡大桥(主跨1990m)等世界巨型建筑物或桥梁绝大多数采用钢结构,其主要原因是超高层建筑、大跨度的桥梁要求具有很高的抗震、抗风荷载的能力和韧性。

#### (3) 外表轻巧、华美,具有光泽

钢材强度高,与石材、混凝土等材料相比,构件的截面尺寸小,给人以轻巧、明快、纤细的感觉。同时金属材料具有光泽,外表华美,给人以明快感。例如,香港的汇丰银行采用悬挂式钢结构,钢柱和钢桁架全部暴露在外,不另加装饰,以结构材料本身的光泽和颜色获得金碧辉煌的外观效果,底部完全开敞,内部空间大,给人以开阔感。

#### (4) 容易腐蚀

自然界中的铁以氧化铁的形式存在,这种在自然界中本来的存在状态是稳定的。而钢材是将天然铁矿石(氧化铁)中的高价铁,通过高温、化学反应等条件,人为还原成单质铁制造而成的材料。因此,钢材是在化学上不稳定的状态下使用的,它有恢复其本来的稳定状态,即氧化物状态的趋势。在长期使用过程中,当环境中氧气和水存在时,钢材中的铁将被氧化变成高价铁(即被腐蚀)。为了使钢结构物能够达到设计寿命,必须解决钢材的防腐蚀问题。

## 2.2.3 混凝土材料

### 1. 混凝土的定义与组成

混凝土材料已经成为现代社会文明的物质基础。在日常生活中,几乎随时随地可见混

凝土，例如，城市住宅、办公楼、道路、铁路轨枕、飞机场跑道、地铁、水库大坝、海港结构物等。目前全世界每年混凝土的生产量已经达到大约 90 亿吨，是当今社会使用量最大的建筑材料。

从广义上讲，由胶凝材料、骨料和水（或不加水）按适当的比例配合，拌和制成混合物，经一定时间后硬化而成的坚硬固体叫作混凝土。最常见的混凝土是以水泥为胶凝材料的普通混凝土，即以水泥、砂、石子和水为基本组成材料，根据需要掺入化学外加剂或矿物外加剂，经拌和制成具有可塑性、流动性的浆体，浇筑到模型中去，经过一定时间硬化后形成的具有固定形状和较高强度的人造石材。混凝土在宏观上是颗粒状的、骨料均匀地分散在连续的水泥浆体中的分散体系，在细观上是不连续的非均质材料，而在微观上是多孔、多相、高度无序的非均质材料。

普通的水泥混凝土中，粗、细骨料占容积的 70%~80%，骨料比较坚硬，体积稳定性好。同时，骨料属于地方性材料，成本大大低于水泥，因此骨料在混凝土中起骨架作用和填充作用，而水泥和水构成的水泥浆尽管只占容积的 20%~30%，但其作用十分重要。新拌状态下的水泥浆，具有流动性和可塑性，赋予混凝土整体流动性和可塑性。硬化后的水泥石本身具有强度，同时具有黏结性，能够把骨料颗粒黏结为整体，所以说，水泥石是混凝土强度的来源，是维系混凝土材料整体性的关键组分。

## 2. 混凝土材料的作用与特性

混凝土材料具有以下性能特点。

1) 原材料来源丰富，造价低廉。砂、石等地方性材料占 80% 左右，可以就地取材，价格便宜。

2) 利用模板可浇筑成任意形状、尺寸的构件或整体结构。

3) 抗压强度较高，并可根据需要配制不同强度的混凝土。传统的混凝土抗压强度为 20~40MPa，近 20 年来，混凝土向高强方向发展，抗压强度为 60~80MPa 的混凝土已经应用于工程中，实验室内已经能够配制出抗压强度为 100MPa 以上的高强混凝土。

4) 与钢材的黏结能力强，可复合制成钢筋混凝土。利用钢材抗拉强度高的优势弥补混凝土脆性弱点，利用混凝土的碱性保护钢筋不生锈。

5) 具有良好的耐久性。木材易腐朽，钢材易生锈，而混凝土在自然环境下使用，其耐久性比木材和钢材优越得多。

6) 耐火性能好，混凝土在高温下仍能保持几小时的强度。

7) 生产能耗低。混凝土的生产能耗大约是钢材的 1/90，所以人们尽量以混凝土代替钢材，以节省材料的生产能耗。

尽管混凝土材料存在着诸多优点，但是也存在着一些不可克服的缺点。例如，混凝土的自重较大，其强重比只有钢材的 1/2；虽然其抗压强度较高，但抗拉强度低，拉压比只有 1/20~1/10，且随着抗压强度的提高，拉压比仍有降低的趋势，受力破坏呈明显的脆性，抗冲击能力差，不适合高层、有抗震性能要求的结构物。混凝土的导热系数大约为

1.4W/(m·K)，是黏土砖的 2 倍，保温隔热性能差，视觉和触觉性能均欠佳，此外，混凝土的硬化速度较慢、生产周期长等缺陷均使混凝土的应用受到了限制。

## 2.2.4 复合材料

复合材料 (composite materials) 是由有机高分子、无机非金属或金属等几类不同材料通过复合工艺组合而成的新型材料。它既能保持原组分材料的主要特色，又可以通过复合效应获得原组分材料所不具备的性能。

复合材料凭借其本身的优越性能以及合成组分生产能力和技术的不断提高带来各类复合材料制品性能的提高和成本的降低，复合材料正越来越多地应用于现代土木工程领域。

目前实际应用中技术相对成熟、形式多样且使用量最大的是树脂基复合材料 (resin matrix composite)，也称纤维增强塑料 (fiber reinforced plastic) (简称 FRP)，这类复合材料根据增强材料的不同可分为玻璃纤维增强塑料 (GFRP)、碳纤维增强塑料 (CFRP)、芳纶纤维增强塑料 (AFRP)，另外还有诸如超高分子聚乙烯纤维、陶瓷纤维、矿物纤维、硼纤维、植物纤维等增强基的复合材料。实际上复合材料已开发应用于承载结构、围护结构、采光制品、门窗装饰、给排水工程、卫生洁具、采暖通风设备、高层楼房屋顶，以及特殊大型建筑如大跨飞机库、活动房屋、屏蔽房、太阳能建筑等方面。

### 1. 复合材料的优点

从结构的性能角度分析，复合材料与传统的建筑材料相比有以下几个显著优点。

- 1) 比强度、比模量大。
- 2) 耐疲劳性能好。
- 3) 阻尼减震性好。
- 4) 破损安全性好。

研究表明，纤维复合材料的破坏需经历基体损伤、开裂、界面脱黏、纤维断裂等一系列过程，而且当少数增强纤维发生断裂时，荷载又会通过基体的传递分散到其他完好的纤维上去，这些过程都能降低灾难性破坏突然发生的概率。

### 2. 复合材料的缺点

复合材料在建筑结构中使用时也存在一些缺点，主要表现在如下四个方面。

#### (1) 刚度问题

普通玻璃钢弹性模量比钢低 10 倍，用它来设计建筑结构构件时必须从结构稳定的观念出发，采用稳定性较高的结构形式，如折板式、双曲面拱形、球形薄壳或夹层结构，以克服材料本身刚度较低的缺点。

#### (2) 经济性问题

常用的玻璃钢建筑产品比传统建筑材料稍贵些，碳纤维复合材料更甚之。这主要是由于原材料成本昂贵、国内生产开发能力和经济承受能力有限所致。随着国民经济的不断增

长，对原材料开发和工艺技术的改良以及对应用方法的研究，这一问题将逐步得到解决。

### (3) 防火问题

一般树脂基复合材料遇火易燃，在设计复合材料建筑构件时，宜尽量选用阻燃材料对复合材料表面作处理。

### (4) 耐久性问题

耐久性问题是复合材料面临的一个新问题。现代建筑乃百年大计，由于复合材料的结构应用研究起步较晚，国外最早使用的玻璃钢管材也不过 50 多年的历史，目前仍完好无损，因此还无法从实际的角度判断复合材料的耐久性。

## 2.3 新型土木工程材料

随着科学技术的进步和建筑业发展的需要，一大批新型土木工程材料应运而生，而社会的进步、环境保护和节能降耗及建筑业的发展，又对土木工程材料提出了更高的要求，本节简要介绍几种具有广阔发展前景的新型土木工程材料。

### 2.3.1 高性能混凝土 (HPC)

混凝土是当今世界上土木工程界应用最普遍、应用量最大的建筑材料。从人们常住的房屋到桥梁、公路、港口、城市道路等，都是以混凝土为主体的建筑工程。

长期以来，混凝土给大多数人留下的印象是碎石、砂、水泥加水的拌和物，是一种低技术“粗活”。近年来，随着我国混凝土产业政策的加强和商品混凝土的兴起，人们逐渐改变了这种看法。特别是 1990 年美国 NIST 和 ACI 提出高性能混凝土的概念后，掀起了国内连续 20 多年的高性能混凝土研究热。

高性能混凝土 (HPC) 一词是 1990 年由美国学者提出来的，对于高性能混凝土的定义，国际上和国内不同的专家、学者有着不同的见解。根据美国有关 HPC 的专业材料介绍，HPC 是针对具体工程要求而言的，含义比较广泛。

HPC 要求具有高耐久性和高强度、优良的工作性，首先体现在较高的早期强度、高验收强度、高弹性模量；其次是高耐久性，可保护钢筋不被锈蚀，在其他恶劣条件下使用，同样可保持混凝土坚固耐久；最后是高和易性、可泵性、易修整性。可配制大坍落度的流态混凝土，而不发生离析；可降低泵送压力，修整容易。冬天浇筑时，混凝土凝结时间正常，强度增长快于普通混凝土，低温环境下不冰冻，高温环境下浇筑混凝土保持正常的坍落度，并可控制水化热。

高性能混凝土的生产配制和应用主要有以下几方面的特点。

### (1) 大量使用工业磨细掺合料和掺加各种外加剂

高性能混凝土目前的热点之一就是大量使用各种工业磨细掺和料，大多数混凝土搅拌站所生产的高性能混凝土粉煤灰掺量达 30% 左右，深圳盐田港二期工程中粉煤灰掺量达 40%。我国在海港工程施工规程中规定硅粉掺量最大为 15%，粉煤灰掺量最大为 55%，矿粉掺量最大为 70%。

高性能混凝土的另一个特点是使用各种性能的混凝土外加剂，有时几种同时使用。如湛江某高速公路所使用的高性能混凝土，由于施工因素的影响，使用了高效减水剂，还加入了缓凝剂和引气剂。

### (2) 混凝土强度增长规律的变化

高性能混凝土使用了大量工业磨细料，由于它活性低，在混凝土拌和物中大量蓄水，降低了水泥早期水化速度。在标准养护条件下，高性能混凝土比普通混凝土早期抗压强度要低。但是掺合料在降低水泥水化速度的同时也降低了混凝土内部的水化温度，并减少了混凝土内部温差引起开裂造成的混凝土抗压强度损失，同时由于水胶比的降低，以及磨细工业掺合料作为一个完整的级配填入混凝土等综合因素，高性能混凝土的抗压强度后期增长时间长，强度高。

### (3) 高耐久性及绿色建材

混凝土高耐久性的含义是有长久的安全使用寿命。高性能混凝土由于密实、强度长期增长，具有比普通混凝土更强的抵抗大气环境作用、化学侵蚀、磨损及其他劣化作用的能力。现在美国使用的高强高性能混凝土寿命普遍达到 100 年以上。英国的国家图书馆设计寿命更长达 250 年。

高性能混凝土，特别是高强高性能混凝土普遍掺有大量工业磨细料及混凝土外加剂。工业磨细料大多为工业废渣，这些工业废渣的利用起到保护环境的作用。另外，工业磨细料和混凝土外加剂的大量使用也大大降低了水泥的使用量，减少了在生产水泥过程中造成的工业污染。高强高性能混凝土的强度级别可达 100MPa 以上，由于混凝土强度级别的提高，建筑物截面尺寸大幅度减小，混凝土用量大幅度减少，砂、碎石用量也随之减少，从而有效地保护了自然资源，因此高性能混凝土，特别是高强高性能混凝土实际上是一种绿色建材。

## 2.3.2 活性粉末混凝土 (RPC)

活性粉末混凝土 (Reactive Powder Concrete, 以下简称 RPC) 是继高强高性能混凝土之后开发出的超高强度、高韧性、高耐久性、体积稳定性良好的新型材料。它是 DSP (Densified System Containing Ultra-fine Particles) 材料与纤维增强材料相复合的高技术混凝土。根据其组成和热处理方式的不同，这种混凝土的抗压强度可以达到 200~800MPa；抗拉强度可以达到 20~50MPa；弹性模量为 40~60GPa；断裂韧性高达 40 000J/m<sup>2</sup>，是普通混凝土

土的 250 倍，可与金属铝相媲美；氯离子渗透性是高强混凝土的 1/25，抗渗透能力极强；300 次快速冻融循环后，试样未受损，耐久性因子高达 100%；预应力活性粉末混凝土梁的抗弯强度与其自重之比接近于钢梁。RPC 在工程结构中的应用可以解决目前高强高性能混凝土抗拉强度不够高、脆性大、体积稳定性不良等缺点，同时还可以解决钢结构的投资高、防火性能差、易锈蚀等问题。

从工程应用角度来看，活性粉末混凝土有以下几方面的优越特性。

1) 可以有效地减轻结构物的自重。RPC 材料具有很高的抗压强度和抗剪强度，在结构设计中可以采用更薄的截面或具有创新性的截面形状，从而使结构自重比普通混凝土结构轻得多。

2) 可以大幅度提高结构物的耐久性。RPC 材料减小了界面过渡区的厚度与范围。骨料粒径的减小，使得其自身存在缺陷的概率减小，从而整个基体的缺陷也减少。RPC 材料十分密实，孔隙率极低，它不但能够阻止放射性物质从内部泄漏，而且能够抵御外部侵蚀性介质的腐蚀，从整体上提高了体系的均匀性、强度和耐久性。

3) 采用 RPC 材料设计的构件，可以极大地减少箍筋和受力筋的用量，甚至可以不设箍筋。

4) RPC 材料的高耐久性极大地减少或免除了维护费用，延长了使用寿命，因而具有很高的性价比。

5) RPC 材料的高韧性和结构自重的减轻有利于提高结构的抗震和抗冲击性能。

6) RPC 材料的耐高温性、耐火性以及抗腐蚀能力远远高于钢材。

7) RPC 材料的拌和物施工性能优异，不仅流动性好，而且黏聚性良好，在运输、浇筑和捣实过程中不发生离析现象。在窄小的模板和钢筋间隙内的通过性能良好，浇筑后不需要振捣。

8) RPC 材料具有良好的环保性能。同等承载力条件下 RPC 材料的水泥用量几乎是普通混凝土与 HPC 的 1/2，因此同等量水泥生产过程  $\text{CO}_2$  排放量也只有 1/2 左右。在生产过程中，不可再生的自然资源骨料的用量 RPC 材料只占 HPC 与 30MPa 混凝土的 1/3 与 1/4。

综上所述，RPC 材料的优点可以看出，采用 RPC 材料可以延长结构寿命，免除维护费用，降低工程建设和使用的综合造价。RPC 材料的突出技术性能主要表现在：硬化体的高强度、高韧性、高耐久性，拌和物的良好施工性能，原材料组成的环保性能。

### 2.3.3 生态混凝土

生态混凝土是一种较为特殊的混凝土，其材料选用与制造工艺都与普通的混凝土存在一定的区别，所以其制造出来的混凝土结构较为特殊，表面特性也不同。生态混凝土能有效地改善环境负荷，并且能够与自然环境和谐相处，从而达到一定的环保效果。生态混凝土概念的提出，意味着在处理混凝土与环境之间的关系上得到了积极的改善。

### (1) 生态混凝土的分类

生态混凝土主要分为两类，即环境友好型生态混凝土和生物相容型生态混凝土。

首先，环境友好型生态混凝土也就是再生混凝土，是指能够降低环境负荷的混凝土，即采用固体废弃物再生利用实现生产，通过增强混凝土的耐久性来延长混凝土寿命，最后通过改变混凝土的性能来改善混凝土对环境的影响，最终降低环境负荷的混凝土。

其次，生物相容型生态混凝土是指能够与大自然中的动植物和谐共存，并且能够在一定程度上进行生态环境的协调，有效地美化环境，达到人与自然和谐共存。生物相容型混凝土的种类繁多，其能够透气、透水，渗透植物营养，有助于植物根系生长，让陆生和水生植物附着栖息在空隙内，相互作用形成食物链，使混凝土吸附各种微生物，通过生物层的作用净化水质，从而帮助植物生长、绿化环境，给海洋生物和淡水生物提供良好的生长环境，利用微生物循环解决污水的富营养化现象，从而保护生态环境。

### (2) 生态混凝土的研究现状和实际应用难题

生态混凝土主要是利用多孔间隙使混凝土的透水性好，通过微生物吸附作用帮助改善环境、美化环境以保护生态环境的混凝土。虽然生态混凝土在一定程度上能够帮助优化生态环境，然而在实际运用的过程中还存在着很多难题需要克服，通过对生态混凝土实际运用问题进行探讨，从而进一步改善生态混凝土的性能，保护生态环境。

首先，多孔间隙会降低混凝土的强度，混凝土的强度与骨料的种类、粒径、级配和形态有关。生态混凝土采用普通混凝土的骨料、粒径、级配，形态不同，导致生态混凝土的强度减弱，为了提高生态混凝土的强度，要求制造混凝土的材质性能高，这就增加了生态混凝土的成本，从而影响生态混凝土的广泛使用。

其次，生态混凝土在水化作用下呈强碱性，这种碱性可以保护钢筋不受腐蚀，但是不利于植物生长以及水生物生存，此外，多孔间隙设计导致生态混凝土在水底环境下遭植物缠绕、微生物作用，加上水化作用的影响，生态混凝土容易遭到侵蚀。因此，生态混凝土在水中碱性作用的调节以及在水中保持耐久性都是生态混凝土在实际运用过程中需要解决的难题。

再次，生态混凝土主要依靠多孔间隙和生物吸附作用改善环境，但是多孔间隙很容易被固体形态物质堵塞，降低生态混凝土优化环境的效能。改善生态混凝土，提高生态混凝土畅通性也是生态混凝土实际运用存在的问题。

此外，我国研究生态混凝土技术尚不成熟，生态混凝土研究大多数模仿国外研究成果，实际上，由于知识产权的原因，我国不能直接运用国外成熟的生态混凝土技术。另外，我国研究生态混凝土的标准比较分散，没有实行生态混凝土的研制标准，所以我国发展和推广技术成熟的生态混凝土还需进行长期的研究和探索。

### (3) 再生混凝土研究应用现状

据统计，工业固体废弃物中，建筑废弃物独占40%，其中废弃混凝土堪称建筑废弃物排放量最大者。近二三十年来，随着世界范围内城市化进程的加快，对原有建筑物的拆

除、改造工程与日俱增。建筑废弃物多数堆积在城市郊区的公路、河道、沟壑附近，如此做法会恶化环境，带来严重的二次污染。另外，堆放混凝土废弃物会占用大片场地，对于土地和空间日趋宝贵的城市是一种极大的威胁，限制城市的发展空间，渐有垃圾包围城市之势！

混凝土原材料中用量最大的砂石曾被人们认为是用之不竭的而随意开采，结果造成山体滑坡、河床改道，破坏了骨料原生地生态环境的可持续发展。天然砂石的形成需要经过漫长的地质年代，目前我们已经面临天然骨料的短缺，就像面临煤炭、石油、天然气短缺一样。我国优质的天然骨料（河砂、卵石）在有些地区已枯竭，许多地区合格的混凝土用砂供应紧张，一些大城市已找不到高性能混凝土用砂。

再生混凝土是指将废弃的混凝土经裂解、破碎、清理、筛分后制成混凝土骨料，全部或部分代替天然骨料配制而成的新混凝土。这是目前最常见的再生利用方法，生产再生混凝土骨料所用的原始混凝土称为原生混凝土。

目前国内对废弃混凝土的研究还不够深入。而且，废弃混凝土再利用需要经过一系列的加工和分离处理，成本相对较高，这又进一步妨碍了废弃混凝土利用的研究和使用进程。

总之，废弃混凝土的再生利用已成为一项迫切需要解决的课题。将废弃混凝土破碎后作为再生骨料，既能解决天然骨料资源紧缺问题，保护骨料产地的生态环境，又能解决城市废弃物的堆放占地和环境污染等问题，可见废弃混凝土的再生利用有着很显著的社会效益。利用再生骨料是当今世界众多国家可持续战略追求目标之一，也是发展绿色混凝土的主要措施。

#### 2.3.4 纤维混凝土

一般混凝土均存在脆性大、易开裂和抗冲击性能差等问题，因此如何提高混凝土材料的抗裂、抗冲击性能受到较大关注。近 10 多年来，合成纤维混凝土在改性混凝土中已成为越来越主要的角色，合成纤维加入到混凝土中后可以改善混凝土的抗裂性能及提高混凝土的抗冲击性能，在工程中的应用效果良好。

##### （1）钢纤维混凝土

钢纤维是当今世界各国普遍采用的混凝土增强材料，它具有抗裂和抗冲击性能强、耐磨强度高、与水泥亲和性好、可增加构件强度、可延长构件使用寿命等优点。在普通钢筋混凝土结构中掺入钢纤维，不仅可以提高抗拉、抗剪和抗弯强度，而且在使用性能如断裂韧性、极限应变、裂后承载和耐磨、抗折、抗冲击、抗疲劳等方面都获得显著改善，并且在同等强度下可减少混凝土厚度，节约混凝土用量 40%~50%，大大降低工程造价。此外，由于早期强度高，可缩短施工周期 25%，特别适用于要求快速连续浇筑混凝土的较大工程，如道路、港口、飞机场、桥梁、隧道等。钢纤维的缺点是价格贵、密度大、不易于



分散、不宜在常规的水泥增强制品中使用。

### (2) 碳纤维混凝土

碳纤维是20世纪60年代以来随航天工业等尖端技术对复合材料的苛刻要求而发展起来的新材料,具有强度高、弹性模量高、密度小、耐疲劳和腐蚀、热膨胀系数低等优点。碳纤维的特性首先是质量轻、厚度薄,其相对密度为钢的 $1/4$ ,厚度为 $0.1\sim 0.2\text{mm}$ ,单位面积质量约为钢板的 $1/100$ ;其次是高强高效性,其抗拉强度约为钢材的10倍;第三是良好的耐久性及耐腐蚀性,具有耐酸、碱、盐及大气环境腐蚀的特性;第四是施工方便,碳纤维质地柔软,易加工,手工操作,不需大型机具。施工效率高;第五是施工质量易保证,其与混凝土有效接触面积达80%以上;最后是适用范围广,碳纤维适用于各种工业与民用建筑的梁、板、柱及桥梁、隧道、烟囱等建筑物和构筑物。碳纤维混凝土具有良好的塑性变形特性,而且具有导电性,可用于抗静电地面和电磁屏蔽室。碳纤维混凝土的压缩韧性比较好,提高了拉伸强度和抗弯强度。但碳纤维价格偏高,生产成本比较大。

### (3) 玻璃纤维混凝土

20世纪50年代末,美国首先成功研究开发出了高强度玻璃纤维,迄今为止,世界上仅有美、法、日、俄、加及中国六个国家能生产高强度玻璃纤维。高强度玻璃纤维性价比优越,以每年高于10%的增长率迅速发展。玻璃纤维强度和重量要比钢大,具有高抗拉强度和碱溶性。它的延伸性低,具有很高的抗变形能力。玻璃纤维不发生蠕变,能确保产品长期使用。此外,玻璃纤维具有优良的物理化学稳定性和高低温稳定性。玻璃纤维在道路工程施工中有很广泛的应用,因为它与路面混合料有良好的相容性。

### (4) 芳香族聚酰胺纤维混凝土

芳香族聚酰胺纤维于1965年由美国杜邦公司发明,与玻璃纤维相比,其相对密度更小,韧性较好。芳香族聚酰胺纤维除了在物理性能上具有高强、耐磨的特点外,还具有耐高温、耐冲击、加工性能好等优点,芳香族聚酰胺纤维以其耐冲击力的优点与拉伸强度高的碳纤维组合成为高性能的尖端复合材料。芳香族聚酰胺纤维的热稳定性能和其他性能介于碳纤维和聚丙烯纤维之间,其价格比较低,具有相当的竞争力,比其他高性能纤维有更广阔的应用前景。

### (5) 聚丙烯纤维混凝土

聚丙烯纤维在混凝土的碱性条件下非常稳定,有较高的熔点,质量轻,价格低,使混凝土的能量吸收能力和延性提高,且抗弯强度和疲劳极限也有所提高。但聚丙烯纤维与水泥机体黏结弱,耐火性能差,混凝土抗压强度没有提高。

### (6) 聚酰胺类纤维混凝土

聚酰胺又称尼龙,聚酰胺纤维与水泥基体相容性好,能经受水泥水化产物的侵蚀而受损,耐久性良好,价格低廉,与水泥基体黏合好。掺加了尼龙纤维的混凝土和砂浆的抗裂性能也得到提高,能有效控制裂缝发展。

## 2.3.5 功能型混凝土

### (1) 导电混凝土

将传统混凝土与石墨、碳纤维、钢纤维等复合,可使混凝土具有导电功能。导电混凝土主要应用在北方寒冷地区的公路路面、铁路站台和机场跑道。例如,北美为防止机场路面结冰撒了大量的化冰盐,结果致使钢筋锈蚀加剧,造成了巨大的经济损失。而利用导电混凝土建造机场跑道,将使跑道的除冰工作更为简便。此外,导电混凝土还可用于钢筋的阴极保护,避免钢筋锈蚀,也可用于防静电和设备的接地。

### (2) 屏蔽电磁辐射混凝土

随着电子信息时代的到来,各种电器及电子设备的数量呈爆炸式增长,导致电磁泄漏问题越来越严重,电磁泄漏场的频率分布极宽,从超低频到毫米波,它可能干扰正常的通信和导航,引起泄密,甚至危害人体健康。因此要求建筑材料具有屏蔽电磁辐射的功能。

电磁波屏蔽水泥基复合材料多数是通过吸收电磁波来实现屏蔽功能的。一般是通过掺加导电粉末(碳、石墨、铝、铜或镍等)、导电纤维(碳、铝、钢或锌等)或导电絮片(石墨、锌、铝或镍等),使水泥基复合材料具有吸收电磁波的功能。

### (3) 屏蔽磁场混凝土

地下电力传输线和电力设施如变压器、开关等产生的磁场,足以影响人们的健康,因此,有必要采取措施屏蔽磁场。为了使路面和建筑物具有屏蔽磁场的功能,一般采用在混凝土中加入钢丝网或曲别针的方法。由于曲别针为分散的、互不相连的个体,因此不会明显影响新拌混凝土的和易性及混凝土的施工。

### (4) 损伤自诊断混凝土

大型土木工程结构和基础设施的使用期都长达几十年,甚至上百年,在其服役过程中,由于环境荷载作用、疲劳效应、腐蚀效应和材料老化等不利因素的影响,结构将不可避免地产生损伤积累、抗力衰减,甚至导致突发事件。为了有效地避免突发事件的发生,就必须加强对此类结构和设施的健康监测。在一些重要的建筑物上常常设置各种传感器对构件的变形、断裂进行监控。一种新的监控方法是利用混凝土本身成为传感器。因而,可以使监控更廉价、更易于实施和更耐久。

将一定形状、尺寸和掺量的短切碳纤维掺入水泥基材料中可以使材料具有自感知内部应力、应变和损伤程度的功能。通过对材料的宏观行为和微观结构变化的观测,发现水泥基复合材料的电阻变化与其内部结构变化是相对应的。如电阻率的可逆变化对应于可逆的弹性变形,而电阻率的不可逆变化对应于非弹性变形和断裂,其测量范围很大。而且这种水泥基复合材料可以敏感而有效地监测拉、弯、压等工况及静态和动态荷载作用下材料的内部情况。因此,掺入一定量特殊碳纤维可以配制损伤自诊断混凝土。

### (5) 仿生自愈合混凝土

一些生物组织如树干和动物的骨骼在受到伤害之后自动分泌出某种物质,形成愈伤组织,使受到创伤的部位得到愈合,受此现象的启发,一些学者将内含黏合剂的空心玻璃纤维或胶囊掺入水泥基复合材料中,一旦水泥基复合材料在外力作用下发生开裂,空心玻璃纤维或胶囊就会破裂而释放黏合剂,黏合剂流向开裂处,使之重新黏结起来,起到愈合损伤的效果。

### 2.3.6 新型节能墙体材料

在目前建筑工程项目施工中,新型墙体材料主要指的是不以消耗土地、破坏环境、影响生态为代价来建立适应现代化、信息化、智能化社会发展的施工方式。在这种材料的应用中,是顺应施工机械化、减少施工现场湿作业、改善建筑功能等现代建筑业发展要求而生产的墙体材料,就我国现阶段而言是指除黏土实心砖以外的所有建筑墙体材料,主要有加气混凝土块、陶粒砌块、小型混凝土空心砌块、纤维石膏板、新型隔墙板,这些都是以煤灰、煤矸石、石粉等废料为主要原料,具有质轻、隔热、隔音的作用。这样的材料既减少了环境污染,又节省了大量生产成本。

《新型建筑墙体材料专项基金征收和使用管理办法》中将新型建筑墙体材料共分六类:①非黏土砖,包括孔洞率大于25%非黏土烧结多孔砖和空心砖、混凝土空心砖和空心砌块、烧结页岩砖;②建筑砌块,包括普通混凝土小型空心砌块、轻集料混凝土小型空心砌块、蒸压加气混凝土砌块和石膏砌块;③建筑板材,包括玻璃纤维增强水泥轻质多孔隔墙条板、纤维增强低碱度水泥建筑平板、蒸压加气混凝土板、轻集料混凝土条板、钢丝网架水泥夹芯板、石膏墙板、金属面夹芯板、复合轻质夹芯隔墙板和条板等;④原料中掺有不少于30%的工业废渣、农作物秸秆、垃圾、江河淤泥的墙体材料产品;⑤预制及现浇混凝土墙体;⑥钢结构和玻璃幕墙。

近年来,通过自主研发开发设备和引进的国外生产技术,我国墙体材料工业初步形成了以块板为主的墙材体系,但各种轻质板、复合板所占比例仍不大,与工业发达国家相比,还较为落后。新型墙体材料发展缓慢的重要原因之一是对实心黏土砖限制的力度不够,缺乏具体措施来保护土地资源,以毁坏土地为代价制造黏土砖成本极低,使得新型墙体材料无法在价格上与之竞争。

传统的墙体以砌筑结构为主,以黏土砖、各种砌块为基本单元材料,并且砌筑时需要用砂浆等胶结材料将块体材料黏结,形成砌筑整体。这种墙体结构自重大,消耗大量自然资源和能源,施工速度慢,而且墙体内部没有设置保温层,保温隔热性能较差,因此砌筑的墙体不具有可持续发展性,必须开发新的墙体结构。目前,在欧美一些发达国家和日本,建筑物的主体骨架大多采用框架结构,墙体采用由外墙板、保温层和内墙板复合而成的板材,从根本上取代了黏土砖墙体。

新型墙体材料的研制还应考虑具有良好的施工性能，能够满足建筑施工的需要，同时能够兼顾社会生产和资源环保等多方面的需要。随着科技的革新，更加前沿的材料还会继续问世，在不可再生资源逐日被开采的情况下，实现人类与自然和谐共处。

### 2.3.7 纳米智能材料

纳米材料由于超微的粒径而具有常规物体所不具有的超高强、超塑性和一些特殊的电学性能。纳米材料被应用于很多领域并取得了显著的增强、增韧及智能化等效果。其中纳米智能混凝土已经成为一个新的发展方向。近年来，一些学者将纳米材料应用于混凝土，开辟了新的纳米材料应用和智能混凝土研究方向。已有的研究表明，混凝土中掺加适量的纳米  $\text{SiO}_2$  或  $\text{TiO}_2$  后，抗压强度、抗折强度和韧性都得到了显著提高。纳米材料还赋予混凝土智能特性，水泥基纳米复合材料的电阻率随应变而发生线性变化，并且具有很高的灵敏度和重复性，可用来作为传感器材料。水泥基纳米复合材料作为一种本征性智能材料，强度高，传感性好，具有广阔的发展前景。但是目前对水泥基纳米复合材料的研究主要集中于力学和智能特性上，对其耐久性的研究很少。而耐久性是评价混凝土性能好坏的重要指标，关系到纳米混凝土结构长期使用的安全性。耐久性研究是纳米混凝土的优异特性能否得到实际应用的重要基础。

### 2.3.8 新型土木工程材料未来发展的设想

随着社会的进步和科学技术的不断提高，土木工程材料一定会往多功能化、智能化、节能化的方向发展。上海世博会的各国世博馆所展示的不再遥不可及，如中国馆（见图 2-1）的 60m 观景平台四周采用特制的透光型“双玻组件”太阳能电池板，用这种“双玻组件”

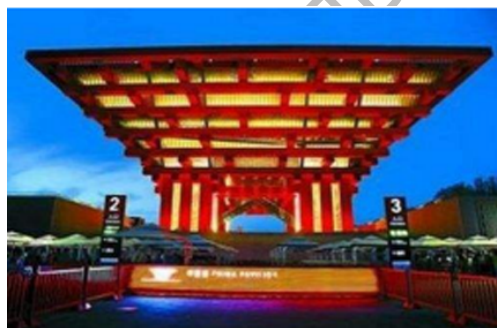


图 2-1 世博会中国馆

建成的玻璃幕墙，既具有传统幕墙的功能，又能够将阳光转换成清洁电力，一举两得。日本馆（见图 2-2）选择了透光、轻质高强、可回收利用的夹层薄膜乙烯-四氟乙烯共聚物（ETFE）作为建筑表皮系统，夹层中埋设有曲面太阳能电池，为建筑提供绿色辅助能源。据悉，日本馆在建造过程中通过使用“发电膜”和“循环呼吸柱”，实现了将钢筋的使用量削减至普通建筑物的 60%。同时，设在建筑表皮上的喷雾系统可降温而不湿衣。呼吸孔与排热塔用于室内外空气的交换，强化冷暖空气流通，同时具有采光、收集雨水、洒水降温的“呼吸”功能，可减少空调能耗和照明用电。

科技在发展，社会在进步，新型土木工程材料的研发与应用必将给人类带来无可估量的裨益。



图 2-2 世博会日本馆

### 同步思考

1. 结合当今社会情况，讨论土木工程材料应该向什么方向发展。
2. 根据个人了解，谈谈已知的土木工程材料以及它们合理的应用方向。
3. 结合本文谈谈你对常见土木工程材料的认识。