

第1章 绪 论

1.1 土木工程的内涵、特点与作用

1.1.1 土木工程的内涵

“土木工程”在国务院学位委员会的学科简介中,定义为“建造各类工程设施的科学技术的总称,它既指工程建设的对象(建在地上、地下、水中的各种工程设施),也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等技术”。从该定义看出,土木工程具有以下三层含义。

第一层,土木工程是指各类工程设施,即工程建设的对象。工程设施的范围非常广泛,既包含建造在地上或地下、陆上或水中,直接或间接为人类生活、生产、工作、科研、国防服务的各种工程设施,又包含运河、水库、大坝、水渠等水利工程设施。如房屋建筑工程、道路工程、铁路工程、管道运输工程、隧道工程、桥梁工程、运河工程、堤坝工程、港口工程、电站与输变电站工程、飞机场工程、海洋平台工程、给水排水工程、防灾减灾工程、防护工程等。

第二层,土木工程是指建设所需的工程材料和工程机械设备。其中,工程机械设备既包括生产土木工程材料的生产机械,又包括土木工程建设过程中的施工机械。

第三层,土木工程是指一门学科。这既指勘察、测绘、规划、设计等科学技术活动,又指施工、维护、维修、保养、改造、加固、运行管理等生产技术活动,还包括土木工程材料性能试验、工程结构性能试验、工程安全性检测等试验技术活动。

土木工程是一个涉及面极广的普适性行业。土木工程的英文为 Civil Engineering,意为“民用工程”,它的原意是与“军事工程”(Military Engineering)相对应的,即指除了服务于战争设施以外的、一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称,但后来,这个界定就不那么明确了。按照学科的划分,地下防护工程、航天发射塔架等设施也属于土木工程的范畴。

目前,土木工程已发展出许多分支,如房屋工程、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、给水排水工程、城市供热供燃气工程、港口工程、水利工程等学科。其中,有些分支,如水利工程,由于自身工程对象的不断增多及专门科学技术的发展,已从土木工程中分化出来成为独立的学科体系,但是它们在很大程度上仍具有土木工程的共性。土木工程的要素和目的如图 1-1 所示。

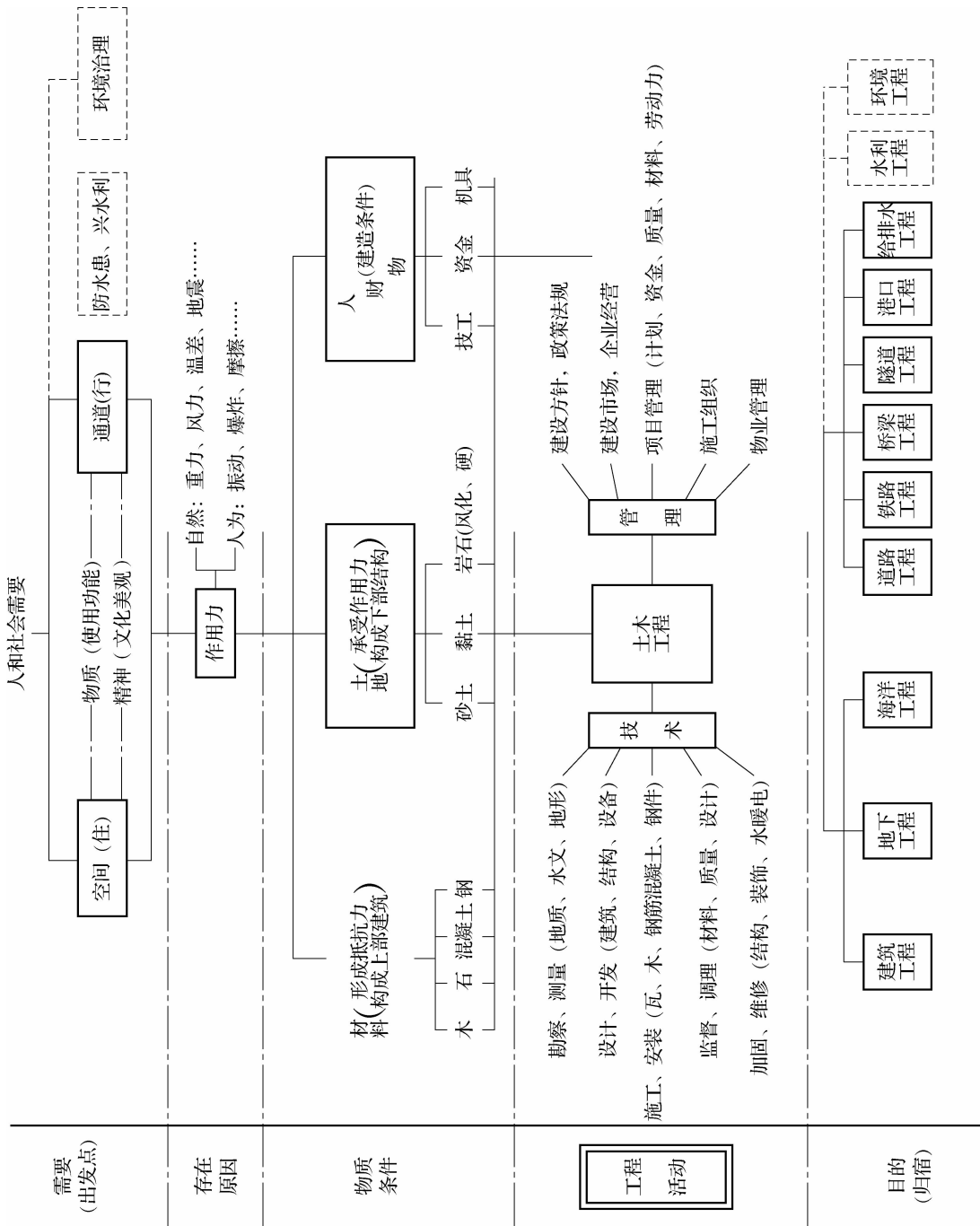


图1-1 土木工程的要素和目的

1.1.2 土木工程的特点

土木工程作为一门应用科学技术,具有以下几个基本属性。

1. 综合性

建造一项工程设施一般要经过勘察、设计、施工和运行管理四个阶段,需要运用工程地质勘察、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、工程管理等多个学科的知识,因而土木工程是一门涉及学科范围众多的综合性学科。

2. 社会性

土木工程的发展伴随着人类社会的发展,伴随着社会不同历史时期的科学技术和管理水平而发展。它所建造的工程设施反映出各个历史时期社会经济、文化、科学、技术发展的水平,因而土木工程也成为社会历史发展的见证之一。例如,远古时代,人们就开始修筑简陋的房舍、道路、桥梁和沟渠,以满足简单的生活和生产需要。后来,人们为了适应战争、生产、生活及宗教传播的需要,兴建了城池、运河、宫殿、寺庙及其他各种建筑物,如我国的长城、都江堰、京杭大运河(见图 1-2)等。



(a)京杭大运河实景



(b)地图上的京杭大运河

图 1-2 京杭大运河

3. 实践性

影响土木工程的因素既多又错综复杂,因而土木工程是具有很强实践性的学科。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,逐渐形成以材料力学、结构力学、流体力学、土力学、岩体力学等作为力学理论框架的应用学科。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。从古至今,不少工程问题的处理,在很大程度上仍然依靠实践经验。

4. 技术、经济和艺术的统一性

土木工程既然是为人类生活、生产和娱乐服务的,那么它必然与社会相应历史时期的技术、经济和艺术相协调、相统一。人们力求建造最经济的工程设施,用以满足使用者的各种需求(包括审美要求)。而一项工程的经济性又和各项技术活动密切相关,如工程选址、总体规划、设计和施工技术,这些都影响着工程建设的总投资、工程建成后的经济效益和使用期间的维修费用。

5. 建造过程单项性

土木工程一般按照建设单位的设计任务书和招标要求进行单项设计、单项施工,并且多数是在自然环境中建造。土木工程的建造周期较长,大自然和社会环境的风险较多,因而建造过程中的质量和安全问题十分重要。

1.1.3 土木工程的地位与作用

1. 土木工程是关乎人类生存的基础性产业

人类生存与生活离不开衣、食、住、行四件大事,而土木工程密切联系着每个人生活中的这四件事。

(1)衣:纺纱、织布、制衣等均要在工厂内进行,这与土木工程间接有关。

(2)食:打井取水(见图 1-3),筑渠灌溉,建水库蓄水,建粮食加工厂、粮仓、冷库等,这都与土木工程间接有关。

(3)住:人类的生活、生产离不开房屋建筑,这与土木工程直接有关。

(4)行:铁路(见图 1-4)、公路、机场、港口、码头、运河等交通工程设施离不开土木工程,这与土木工程直接有关。



图 1-3 坎儿井



图 1-4 铁路

2. 土木工程是国民经济发展的带动性行业

1) 土木工程涉及行业众多

土木工程的上游和下游企业很多,涉及多个部门,如冶金、建材、机械制造、运输等行业。土木工程物资消耗占全国总消耗量的比例分别为:钢材 25%、木材 40%、水泥 70%、玻璃 76%、塑料 25%、运输量 28%。土木工程的发展带动了相关产业的发展和繁荣。

2) 土木工程是挖掘和吸纳劳动力资源的重要平台

土木工程属于劳动密集型产业,其容纳的就业人数占全社会劳动者人数的 8% 左右,是转移农村富余劳动力,解决就业问题的主要途径。同时土木工程的劳务输出也是我国对外输出的重要方面。

3) 土木工程可以大幅度拉动国民经济增长

政府扩大内需采取积极的财政政策时,重要的资金投向就是土木工程方面的基础建设。一些大型基本建设工程,投资非常巨大,如京九铁路全长超过 2 000 km,预算投入超过 400 亿元;举世闻名的三峡工程(见图 1-5),混凝土用量达 $2.643 \times 10^7 \text{ m}^3$,总库容 $3.93 \times 10^{10} \text{ m}^3$,决算总投资超过 2 000 亿元;京沪高铁工程、南水北调工程、西气东输工程、青藏铁路工程等总投资均超过千亿元。

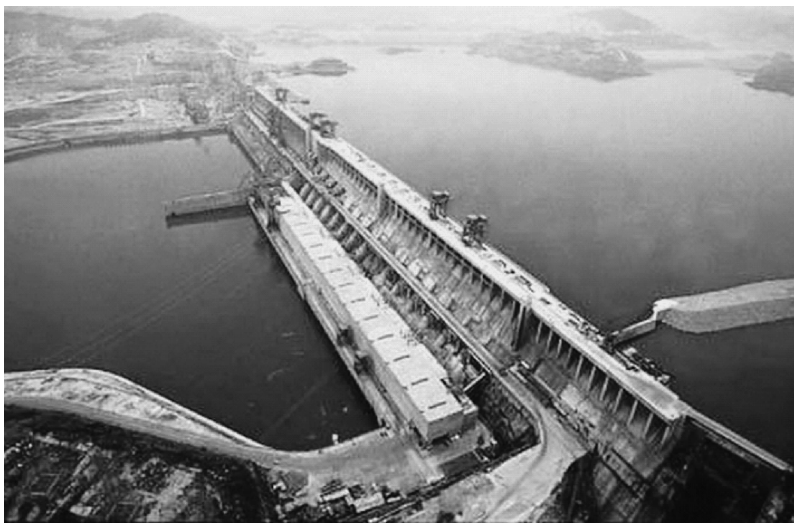


图 1-5 三峡大坝

4) 土木工程能够吸收大量的消费资金

当人民的生活水平提高到一定程度时,社会消费资金会有较大幅度的增加。这时,会出现三种情况:一是增加消费,使消费资金转化为生产资金,从而刺激生产,使经济向良性循环的方向发展;二是消费结构不合理,市场存在供不应求现象,这时消费资金的大幅增加会引起通货膨胀;三是储蓄资金增加,这对市场是潜在的压力,却不能通过市场机制用于生产,若处理不当则可能引起生产萎缩。如果后两种情况同时存在,问题就更为严重。许多国家的经验都表明,把社会消费资金(包括储蓄)吸引到住宅消费上来是一个两全其美的办法,这一方面为社会消费资金提供了良好的出路,另一方面也为土木工程提供了大量的生产资金,从而达到引导消费、调整消费结构,促进生产的效果。



5) 土木工程是国家实现经济宏观调控的重要方法

土木工程对国民经济的发展有一定的调节作用,因此当国民经济处于萧条期时,可以通过扩大国家对公共事业的投资,如市政工程、高速公路等,使土木工程不衰落下去,这样也就刺激了与土木工程密切相关的行业的发展,从而引起对其他行业需求的螺旋式增长,使国民经济不出现经济萧条(至少可以缓解国民经济萧条的程度)。反之,当国民经济出现过热现象时,国家可通过压缩公共投资规模、取消对住宅消费的优惠政策等措施,抑制土木工程的发展,这样也就抑制了其他行业的发展,使国民经济走上稳定发展的轨道。

我国实行的是社会主义市场经济,土木工程对国民经济的调节作用是通过扩大或压缩固定资产投资规模来实现的。例如,2008年由美国两房危机引发的全球金融海啸也波及中国,国务院立即出台了投入4万亿美元的救市措施,其中60%属于基础设施和民生工程,这些都与土木工程有关。

6) 土木工程设施是国家财富的重要组成部分

土木工程产值在国内生产总值中占有重要地位,能为社会创造新价值,为国家增加财富积累。长期以来,我国建筑业所创造的总产值和增加值,在社会总产值和国民生产总值中分别占到10%和6%左右的份额。土木工程创造的固定资产在固定资产形成总值中占有很大比重。据联合国统计,各国用于房屋建造的投资占国民经济生产总值的6%~12%。此外,土木工程也是政府财政收入的重要来源,其每年提供的税利数一般可占政府财政收入的10%~40%。

7) 土木工程是关系国计民生的支柱产业

土木工程是国民经济的重要物质生产部门,是国民经济和社会发展的物质技术基础。土木工程建造的产品转给使用者之后,就形成了各种生产性和非生产性的固定资产。它是国民经济各物质生产部门和交通运输部门进行生产的手段,是人民生活的重要物质基础。美国和其他一些西方国家把土木工程与钢铁工业、汽车工业并列为国民经济的三大支柱,我国一直将土木工程与工业、农业、交通运输业、商业合称为五大物质生产部门,可见土木工程在国民经济中所占地位的重要性。

8) 土木工程能够创收外汇,增加国家收入

土木工程走向国际承包市场,既能发展经济、扩大影响,又可以带动资本、技术、劳务、设备及商品输出创收外汇,这为国家的出口创汇工作起到了不可磨灭的作用。

3. 土木工程在国防军事建设中的作用

从古代最原始的军事工程,到当今现代化的军事建设,土木工程都一直发挥着相当重要的作用。特别是在军事防御方面,土木工程的作用更为突出。

1) 古代军事中土木工程的作用

在冷兵器时代时,土木工程在军事防御过程中一直处于相当重要的位置。例如,我国长城(见图1-6)的修筑是为了抵御北方的匈奴侵袭,从秦朝起一直到明朝,长城始终在军事防御上发挥着无可替代的作用。又如,在世界范围内,古代的城池多是以高高的城墙包围着城市,再以护城河围护着城墙,以抵御敌人的进攻(见图1-7)。毫不夸张地说,在冷兵器时代,土木工程的建设对于一个国家有着生死存亡的重要性。

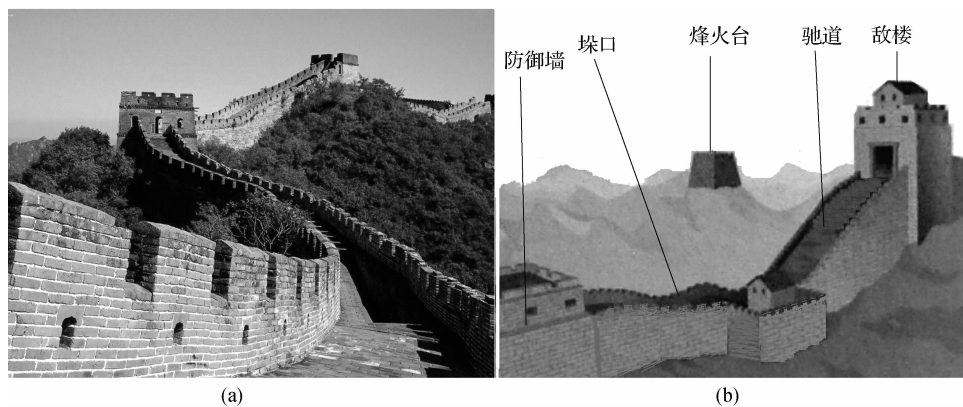


图 1-6 长城及其上的防御设施



图 1-7 古代城堡

2) 近代军事中土木工程的作用

在近代,土木工程在军事防御建设中的作用依然重要。如碉堡(见图 1-8),其用砖、石、钢筋混凝土等建成,主要作用是防守。第二次世界大战时期,碉堡在德国作为避难所,在苏联作为储存场所,在日本和其他国家作为军事检查堡垒。在当今社会,碉堡可能已经失去了曾经在军事防御中的重要地位,但在某些领域依然具有重要的用途,如在恐怖袭击中作为避难所。又如防空洞(见图 1-9),其能够有效保护人们的生命安全,减小敌军空袭带来的损失,因此,目前几乎所有的城市中高楼大厦下面都有防空洞。



图 1-8 中国嘉善的碉堡



图 1-9 中国西柏坡中共中央旧址的防空洞



3) 当代军事中土木工程的作用

当代军事技术发展迅速,新型武器不断地被研制出来,传统模式的攻击方式已经改变。面对不同的攻击方式,需要有不同的防御措施。在高技术、信息化的战争中,土木工程的作用显得尤为重要,不仅在军事防御中有着重要的战略意义,在军事建设的很多方面都有着重要作用,如军用机场的建设,水下潜艇基地的建设,核电站、核设施的建设,军港的建设,导弹发射塔的建设,以及军事抢险等。

1.2 土木工程的发展简史

人类出现以来,为了满足住和行及生产活动的需要,从构木为巢、掘土为穴的原始操作开始,到今天能建造摩天大厦、万里长桥,以至移山填海的宏伟工程,经历了漫长的发展过程。在这期间,土木工程可以分为古代、近代和现代三个阶段。

1.2.1 古代土木工程

古代土木工程有着很长的时间跨度,它大致从新石器时代(公元前 5000 年)开始至 17 世纪中期。随着年代的推移,古代土木工程具有代表性的有以下几个。

(1) 中国黄河流域的仰韶文化遗址和西安半坡村遗址。仰韶文化(公元前 5000—前 3000 年)是我国新石器时代的一种文化,1921 年首次发现于河南渑池仰韶村,分布于黄河中下游流域,有残穴和平面为圆形、方形和多室联排呈矩形的地面建筑残迹(见图 1-10)。西安半坡村遗址(公元前 4800—前 3600 年,于 1954 年开始发掘)有很多圆形房屋的痕迹,经分析它们是直径为 5~6 m 圆形房屋的土墙(见图 1-11),墙内竖有木柱,支承着用茅草做成的屋面,茅草下有起龙骨作用的密排树枝。半坡村遗址中现仍有木柱底的残穴和一些地面建筑残迹。



图 1-10 河南仰韶文化遗址



图 1-11 西安半坡遗址(模型)

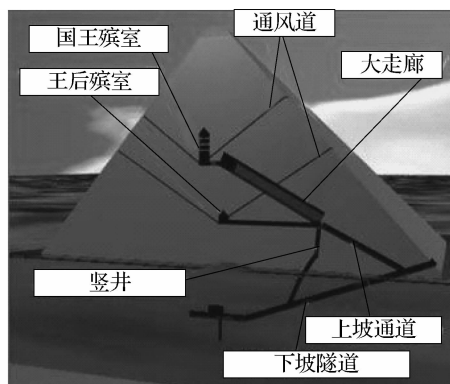
(2)埃及帝王陵墓建筑群——吉萨金字塔群(见图 1-12)。其建于公元前 27 世纪,以古王国第四王朝法老胡夫的金字塔最大。胡夫金字塔(见图 1-13)塔基呈方形,每边长 230.5 m,高约 146 m,用 230 多万块巨石砌成。塔内有甬道、石阶、墓室等。



图 1-12 吉萨金字塔群



(a)胡夫金字塔外观(南侧)



(b)胡夫金字塔内部结构

图 1-13 胡夫金字塔

(3)中国长城。公元前 7 世纪的春秋时期,楚国开始建造绵延数百里的长城;秦统一中国后(公元前 221 年),将战国时期各国修筑的自卫长城连接起来,使其长约 2 500 km。以后,汉朝、南北朝、隋朝直至明朝都大规模修筑长城。目前西起嘉峪关,东至山海关绵延 8 850 km 的长城,是明代遗留下来的(见图 1-6)。

(4)中国四川的都江堰。始建于战国时期秦昭王末年(公元前 256—前 251 年)的四川都江堰大型引水枢纽(见图 1-14),是世界历史上最长的无坝引水工程。此工程以灌溉为主,兼有防洪、水运、供水等多种功能,一直沿用至今。其规模之大、规划之周密、技术之合理,均为前所未有。

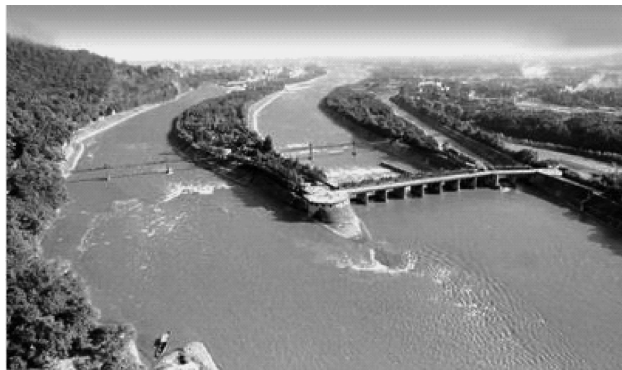


图 1-14 都江堰

(5)土耳其的索菲亚大教堂(见图 1-15)。公元 532—537 年间建造于君士坦丁堡(今土耳其伊斯坦布尔)的索菲亚大教堂为砖砌穹顶(圆形球壳)。穹顶直径约 33 m,高约 55 m,支承在大跨砖拱和用巨石砌筑的巨型柱(截面约 7 m×10 m)上。



(a)外景



(b)穹顶

图 1-15 土耳其索菲亚大教堂

(6)中国河北的赵州桥(见图 1-16)。赵州桥又称安济桥,坐落在河北省赵县洺河上。其建于隋代大业年间(公元 605—618 年),由著名匠师李春设计和建造,距今已有约 1 400 年的历史,是世界上现存最早、保存最完善的敞肩式单孔圆弧弓形石拱桥。赵州桥全长 50.82 m,桥面宽约 10 m,跨度 37.02 m,采用 28 条并列的石条砌成拱券。拱券矢高 7.23 m。拱上设有 4 个小拱,这些小拱既能减轻桥身自重,又便于排洪,且更显美观。该桥在材料使用、结构受力、艺术造型和经济上都达到极高成就。



图 1-16 河北赵州桥(又名安济桥)

(7)中国山西应县木塔(图 1-17)。应县木塔即佛宫寺释迦塔,建成于公元 1056 年,为八角形,塔高 67.3 m,底层直径 30.27 m。该塔共 9 层,其中 8 层是用 3 m 左右长的木柱支顶重叠而成,为一内外两环柱网、用交圈的扶壁拱组成的双层套筒式结构。应县木塔是保存至今的唯一木塔,也是我国现存的最高木结构之一。它经多次大地震仍完整无损,足以证明我国历史上木结构的辉煌成就。

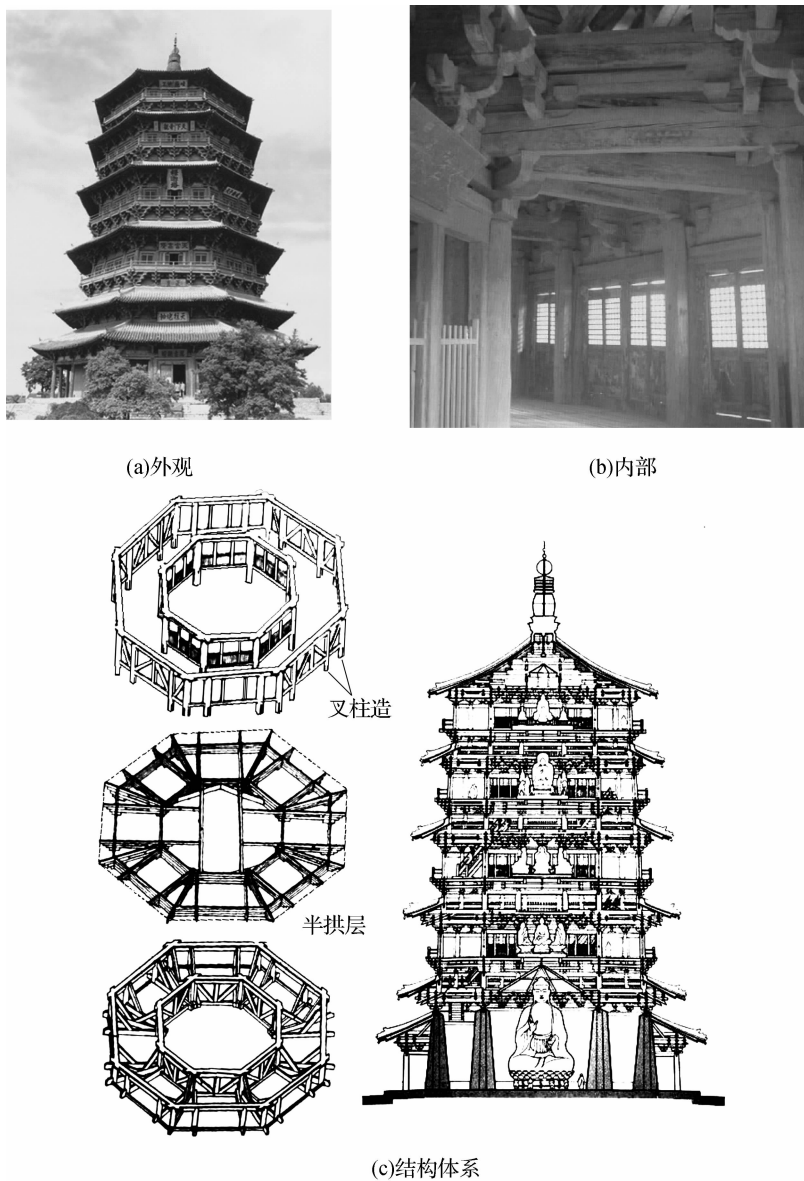
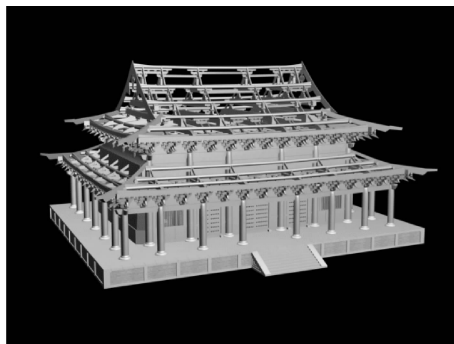


图 1-17 应县木塔

(8)中国的宫殿及庙宇建筑。中国历代封建王朝建造的大量宫殿和庙宇建筑都是木构架结构。木构架结构是用木梁、木柱做成承重骨架,用木质斗拱做成大挑檐,四壁墙体都是自承重隔断墙的一种结构(见图 1-18)。



(a)外观



(b)大殿模型



(c)大殿天花

图 1-18 宁波保国寺

(9) 西欧的教堂建筑。以意大利比萨大教堂(见图 1-19)和法国巴黎圣母院(见图 1-20)为代表的西欧教堂建筑,都采用了砖石拱券结构。



图 1-19 意大利比萨大教堂及斜塔

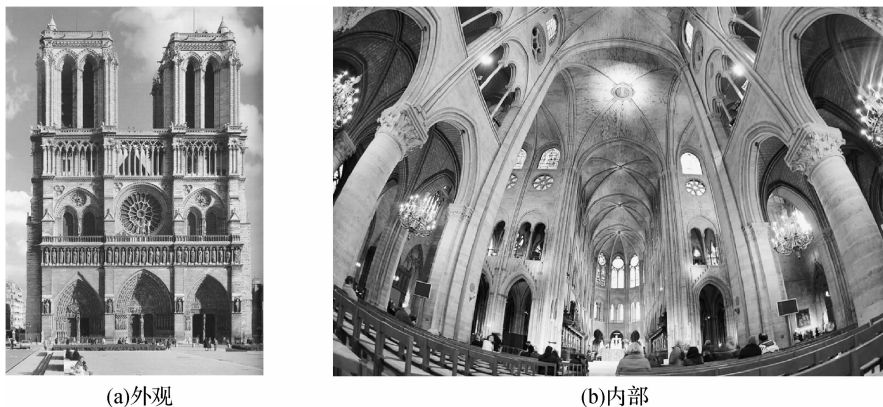


图 1-20 法国巴黎圣母院

在这个历史时期,土木工程所用的材料最早只是当地的天然材料,如泥土、砾石、树干、树枝、竹、茅草、芦苇等。后来发展了土坯、石材、砖、瓦、木、青铜、铁、铅以及混合材料如草筋泥、混合土等。土木工程的工艺技术,最早只是利用石斧、石刀等简单工具,后来发展了斧、凿、钻、锯、铲等青铜和铁质工具,兴起了窑制和煅烧加工技术,以及打桩机、桅杆起重机等施工机械。工程上的分工也日益细致,分化为木工、瓦工、泥工、土工、窑工、雕工、石工、彩画工等。

但是,在这个历史时期内,除了有一些经验总结和形象描述土木工程的著作,如中国的《考工记》(公元前 5 世纪)、《营造法式》(公元 1100 年),意大利的《论建筑》(文艺复兴时期阿尔贝蒂著)外,土木工程缺乏理论上的依据和指导。

1.2.2 近代土木工程

近代土木工程的时间跨度为从 17 世纪中期至 20 世纪中期的 300 年。这个历史时期内土木工程的主要特征是:①有力学和结构理论作为指导;②砖、瓦、木、石等建筑材料得到日益广泛的使用,混凝土、钢材、钢筋混凝土以及早期的预应力混凝土得到发展;③施工技术进步很大,建造规模日益扩大,建造速度大大加快。在这个历史时期,以下几件大事具有重要意义。

(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容许应力分析法;19 世纪末,里特尔等人提出极限平衡的概念。他们都为土木工程的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。水泥是形成混凝土的主要材料,这使得混凝土在土木工程中得到广泛的应用。后来,在 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,贝塞麦转炉炼钢法(见图 1-21)被发明了出来,使得钢材得以大量生产,并能愈来愈多地应用于土木工程。

(7)1867 年,法国人莫尼埃用铁丝加固混凝土制成花盆,并把这种方法推广到工程中,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 16 m 的钢筋混凝土桥。

(8)1883 年,“摩天楼之父”詹莱在美国的芝加哥建造了 11 层住宅保险大楼(见图 1-22)。该楼是世界上最早用铁框架(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。同一年(1883 年),美国建成世界上第一座大跨钢悬索桥——布鲁克林大桥(见图 1-23),其跨度为 $930 + 1\,595 + 930\text{ ft}$ ($284 + 486 + 284\text{ m}$)。1889 年,法国在巴黎建成高 300 m 的埃菲尔铁塔(见图 1-24),该塔使用钢约 8 000 t。它们是近代高层建筑工程的萌芽。此外,由奥蒂斯在 19 世纪 50 年代初期发明的安全升降机也使高层建筑成为可能。升降机最先采用的是蒸汽动力升降机,直到 1857 年在纽约才安装了第一台乘人用的升降机(见图 1-25)。



图 1-21 贝塞麦和转炉炼钢法



图 1-22 芝加哥家庭保险公司大楼



(a)



(b)

图 1-23 纽约布鲁克林大桥



图 1-24 埃菲尔铁塔

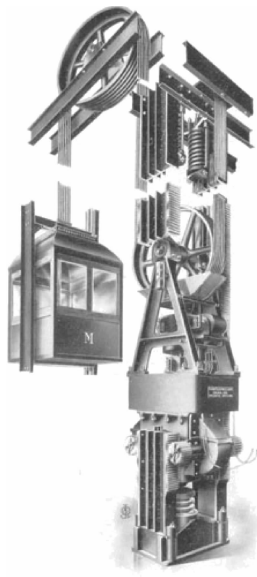


图 1-25 早期电梯

(9)1886 年,美国人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。代表成果有以下几个方面。

①1825 年,英国人斯蒂芬森在英格兰北部斯托克顿和达灵顿之间修筑了世界第一条铁路,长约 21 km。1863 年,英国在伦敦建成了世界第一条地下铁道。

②1779 年,英国用铸铁建成跨度为 30.5 m 的拱桥;1826 年,英国用锻铁建成一座跨度为 177 m 的悬索桥;1890 年,英国又建成两孔主跨达 521 m 的悬臂式桁架梁桥。至此,现代桥梁的 3 种基本形式(梁桥、拱桥、悬索桥)相继出现。

③1905—1908 年间,中国铁路工程先驱詹天佑建造了京张(北京—张家口)铁路(见图 1-26)。该铁路全长约 200 km,造价仅为当时西方各国在中国建造铁路每公里造价的 $1/3 \sim 1/2$ 。京张铁路的修筑技术达到了当时的世界先进水平,其中,八达岭隧道长 1 091 m、列车爬坡 3.33%,使该路成为当时的世界奇迹。



(a)詹天佑



(b)1908年通车的八达岭隧道



(c)京张铁路青龙桥站“人”形铁路(模型)

图 1-26 詹天佑和京张铁路



④1931—1942 年,德国率先修筑了总长约 3 860 km 的高速公路网。

(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。

1.2.3 现代土木工程

第二次世界大战之后,许多国家经济起飞,现代科学技术迅速发展,从而为土木工程的进一步发展提供了强大的物质基础和技术手段,开始了以现代科学技术为后盾的土木工程新时代。现代土木工程有如下的特点。

1. 土木工程功能化

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,主要表现在以下三方面。

(1)公共和住宅建筑物要求建筑、结构、给水排水、采暖、通风、供燃气、供电等现代技术设备结合成整体。

(2)工业建筑物往往要求恒温、恒湿、防微振、防腐蚀、防辐射、防火、防爆、防磁、除尘、耐高(低)温、耐高(低)湿,并向大跨度、超重型、灵活空间方向发展。

(3)发展高新技术和新技术对土木工程提出高标准要求。例如,发展核工业需要建造安全度极高的核反应堆和核电站(见图 1-27);研究微观世界需要建造技术要求极高的加速器工程;发展海洋采、炼、贮油事业要求建造多功能的海洋工程,如海上采油平台(见图 1-28)、海上炼油厂、海底油库等。



图 1-27 德国伊萨尔核电站



图 1-28 海上采油平台

2. 城市建设立体化

20 世纪中期以来,城市建设有以下三个趋向。

1) 高层建筑的大量兴起

由于城市人口大量集聚,密度猛增,造成城市用房紧张、地价昂贵,这迫使建筑物向空间发展,不少国家的高层建筑几乎占整座城市建筑面积的 30%~40%。美国的高层建筑数量最多,高度在 160~200 m 的建筑就有 100 多幢。近 20 多年来,中国、马来西亚、新加坡、韩国等东南亚国家的高层建筑得到很大的发展。目前,世界最高的钢筋混凝土结构建筑为 450 m 高的马来西

亚石油双塔大厦(见图 1-29);最高的钢混组合结构为 828 m 高的迪拜哈利法塔(见图 1-30)。



图 1-29 马来西亚石油双塔



图 1-30 迪拜哈利法塔

2) 地下工程的高速发展

地下工程,如地下铁道(见图 1-31)、地下商业街(见图 1-32)、地下停车库、地下体育馆、地下影剧院、地下工业厂房、地下仓库等,发展迅速,在有些城市已经形成规模宏大的地下建筑群。



图 1-31 伦敦地铁

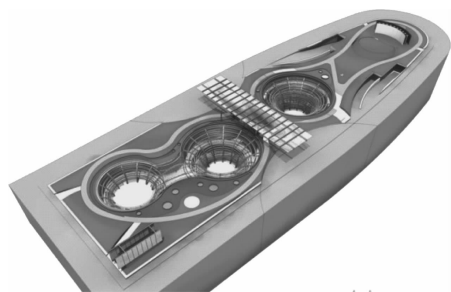


图 1-32 墨西哥地下商业街

3) 城市高架公路、立交桥大量涌现

例如,北京从 1974 年开始建造第一座全互通式立交桥起,仅至 1996 年就建成各种形式和不同类型的道路立交桥 160 余座。它们的修建,不仅缓解了城市交通的拥挤、堵塞现象,而且为城市建设的面貌增添了风采(见图 1-33)。



图 1-33 立交桥

3. 交通运输高速化

交通运输高速化的标志有以下几个。

1) 高速公路的大规模修建

据不完全统计,21 世纪初全世界有 60 多个国家和地区拥有高速公路(见图 1-34),总长约 1.7×10^5 km,其中有近 20 个国家和地区拥有 1 000 km 以上,如美国约 8.4×10^4 km,德国约 9×10^3 km。我国 2012 年年底时高速公路通车里程已达 9.8×10^4 km,成为世界第二高速公路大国。高速公路已在一定程度上取代了铁路的职能。



图 1-34 高速公路

2) 铁路电气化的形成和大量发展

1964 年 10 月,日本东京至大阪的“新干线”行车速度达到 210 km/h,为普通铁路列车行车时速的 3 倍。1981 年,法国巴黎到里昂的高速铁路运行时速高达 270 km,把高速铁路的发展推向新阶段。1983 年,德国建设了一条长 32 km 的磁悬浮列车试验线,行驶速度达 412 km/h。我国高速铁路起步于 2005 年,2010 年开通的京沪高速铁路设计速度 300 km/h,全长 1 318 km,投资 2 000 多亿元,是目前世界上一次建成的最长的高速铁路(见图 1-35)。



图 1-35 中国和谐号列车

3) 长距离海底隧道的出现

日本的青函海底隧道越过津轻海峡,连接本州(青森)与北海道(函馆),长 53.85 km,是世界上最长的海底铁路隧道。它埋深 100 m,海水深度为 140 m。英法之间的英吉利海峡隧道于 1990 年贯通,它长 50.5 km,最浅处理深 45 m,海水深度 60 m。上海黄浦江打浦路隧道是我国第一条水底隧道,于 1970 年建成通车,全长 2.76 km。

1.2.4 未来土木工程

由于社会发展出现了以上三方面要求,必然使得构成土木工程的三个要素:材料、施工和设计理论,以及工程教育理论也出现了新的发展趋势。

1. 建筑材料的轻质高强度

现在,建筑材料正向轻质高强度发展。其中,普通混凝土向轻骨料混凝土、加气混凝土和高性能混凝土方向的发展尤其迅速。混凝土的密度由 $2\,400\text{ kg/m}^3$ 降至 $600\sim 1\,100\text{ kg/m}^3$,抗压强度由 $20\sim 40\text{ MPa}$ 提高到 $60\sim 100\text{ MPa}$,其他性能得到了很大改善。此外,钢材也在向低合金、高强度方向发展。一批轻质高强材料,如铝合金、建筑塑料、玻璃钢也得到了迅速发展。

2. 施工过程的工业化、装配化

在现代土木工程中,出现了在工厂里成批生产房屋、桥梁等的各种构配件、组合体,再将它们运到建设现场进行拼装的施工方式。此外,各种先进的施工手段,如大型吊装设备、混凝土自动搅拌输送设备、现场预制模板、石方工程中的定向爆破等,也得到很大发展。

3. 设计理论的精确化、科学化

设计理论精确化、科学化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、人工做比较方案、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,土木工程学的学科理论,如可靠性理论、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。



4. 工程教育理念的工程化

随着 20 世纪中期以后科学、技术和工业化程度的迅猛进展,工程教育的理念也在不断进步。许多国家的工程教育从侧重“工程技术教育”进步到侧重“工程科学教育”。20 世纪 90 年代,美国工程教育界提出“回归工程”,强调技术和科学教育的内容必须与工程实践紧密结合,成为“工程教育”。不久之后,美国麻省理工学院校长又提出“大工程观(Engineering with a big E)”的教育理念,它指的是工程教育所培养的人才要有宏远的工程视野、工程中多学科知识及其所需要的科学基础素养,以及相应的人文情怀和工程组织营养。这些工程教育理念已为我国高等工程教育所重视。

1.3 土木工程专业的发展及执业注册制度

土木工程专业是最古老的工程类专业,在世界上已有上百年的历史,在社会发展的各个时期,都需要土木工程类的专业人才。目前,土木工程专业在两类学校里设置:高等学校,包括普通高等学校和高等职业技术学校,主要目的是培养土木工程师;中等专科学校,主要培养的是土木工程技术人员。

世界上最早培养土木工程师的大学是法国的巴黎路桥学校(于 1747 年创办)。此后,英国、德国等西方国家相继在大学里设置了土木工程专业。中国近代土木工程教育事业开始于 1895 年创办的天津北洋西学学堂(后称为北洋大学,现在天津大学的前身)。经过一个多世纪的努力,特别是新中国成立后改革开放三十多年的迅速发展,截至 2013 年,我国开设土木工程的本科院校已超过 400 所,培养能从事土木工程设计、施工、管理、咨询、监理等方面工作的专业技术人员;开设建筑工程技术专业的高职(专科)院校超过 600 所,培养在工程建设、设计、施工、管理及相关企业第一线从事生产、技术管理等方面工作的高等技术应用型人才。

1.3.1 我国土木工程专业发展历史沿革

1. 新中国成立前

1896 年,本着实业救国的理想,清朝末期大力兴办现代大学教育,工科学科的设置基本上学习英国与美国,土木工程是最早开办的专业之一。当时实行学年学分制,即读满四年,满 130~140 个学分方可毕业,取得工学学士学位。

此阶段的土木工程教学没有明确的专业,没有统一的教学计划,更没有教学大纲,各校土木系开课很不一致,开设的课程很广泛。基本课程有数学、理论力学、材料力学、结构力学、测量学等。专业课程有钢结构、钢筋混凝土结构和木结构等,其余课程则因授课教师而异,没有统一的建筑构造、道路设计、铁道曲线等。所用的教材基本上是英国与美国的,内容较浅显。

2. 新中国成立初期

1952 年大规模院系调整,土木工程学科设置发生了较大的变化,成立了一批以土建为

主的单科性学校,如同济大学、中南土建学院等,至改革开放前(1978年),共开办土建类专业的学校约40所。所设立的工业与民用建筑专业专攻房屋建筑,道路专业专攻道路,采用学年学时制,即学习四年(1955年后普遍改用五年制)并满足一定的学时后方可毕业。当时的课程门数多、学时数及周数多,很少能开设选修课。

3. “文化大革命”后

1978年恢复高考招生,学制改为四年。由于学科的发展,各学科的内容不断更新、深化和扩大。例如,“钢筋混凝土结构”最初只讲授几种基本构件,然后不断增加新内容,如轴心和偏心受拉及受扭构件计算,刚度裂缝计算,楼盖、单层厂房、多层及高层建筑结构设计,结构抗震等。随着计算机科学的发展,又增设了计算机基础和程序设计(有限元分析)。

4. 改革开放后

由于历史和现实等各方面原因,专业划分过细、过窄,门类之间专业重复设置等问题十分突出。我国分别在1987年、1993年、1998年和2012年进行了四次本科专业目录的调整。其中1997年专业目录的调整,坚持拓宽专业口径、增强适应性原则,专业主要按学科划分,使培养的人才具有较宽广的适应性。

1.3.2 我国土木工程执业注册制度简介

注册师制度是指对从事与人民生命、财产和社会公共安全密切相关的从业人员实行资格管理的一种制度。《中华人民共和国建筑法》第14条规定:“从事建筑活动的专业技术人员,应当依法取得相应的执业资格证书,并在执业证书许可的范围内从事建筑活动。”《建设工程质量管理条例》规定,注册执业人员因过错造成质量事故时,应接受相应的处理。

执业资格是市场经济的产物,是市场经济条件下一个人从事某项工作所应具备的自身素质要求,是指政府对某些责任较大、社会通用性强、关系到国家和公众利益的专业(工种)实行的准入控制,规定专业技术人员从事某一特定专业(工种)的学识、技术和能力的必备标准。执业资格是相应法律、法规和专业知识的复合型资格,是专业技术人员依据相应法律、法规执行业务的资质条件,是个人在择业竞争中实力的标志。

1. 土木工程执业注册师分类

土木工程按实施过程可分为前期决策、勘察设计、施工三大阶段。土木工程职业注册制度为决策和建设咨询人员设立了注册咨询工程师、注册造价师制度;为从事勘察设计的专业技术人员设立了注册建筑师、注册结构工程师、注册土木工程师(岩土)、注册土木工程师(港口与航道)和勘察设计类的注册化工工程师、注册电气工程师、注册公用设备工程师等执业资格;为从事建设施工的技术人员设立了注册建造师、注册监理工程师制度;在土木工程相关领域设立了注册规划师、注册房地产估价师、注册资产评估师、注册会计师等执业资格。

2. 我国建设行业执业资格制度的基本内容

执业资格制度虽然是国际上对专业技术人员进行管理,实行市场准入的通行做法,但不同的国家和地区根据各自的实际情况在具体做法上也不尽相同。参照国际上的成熟做法,我国建设行业执业资格制度主要由考试制度、注册制度、继续教育制度、教育评估制度、社会信用制度等五项基本制度组成。



(1)考试制度。满足一定学历和实践要求的人员可报名参加全国统一组织的执业资格考试,考试合格者取得执业资格证书。

(2)注册制度。注册执业是建设行业执业资格制度的中心内容。已经取得执业资格的人员,符合注册执业条件的可向注册机关申请注册执业。注册有效期一般为2~3年,经批准注册的人员由注册机关颁发相应的注册证书,被允许以相应的名义执业,并享有相应的权利和义务。

(3)继续教育制度。继续教育制度是建设行业执业资格制度的重要组成部分,执业人员接受继续教育的情况是其能否继续注册执业的重要依据,对于不断提高执业人员的专业技术水平具有重要意义。

(4)教育评估制度。教育评估制度作为执业资格制度的重要组成部分,是国际上的成功经验。建设行业执业资格制度实施教育评估制度以来,有效地促进了高等学校土建类专业教学质量的提高,较好地实现了高校培养人才和社会使用人才之间的相互衔接和相互促进。

3. 目前建设执业资格工作管理体系和模式

建设行业执业资格制度在执业资格考试上由国家人事考试机构与建设行政主管部门共同组织全国统一考试;建设行政主管部门或其委托的执业资格注册中心、学会、协会负责执业注册、继续教育、社会信用管理等工作。作为一种准入制度,目前,建设行业各种执业制度都是政府性的,即只有取得执业资格并经过注册的专业技术人员才被允许以相应的名义执业,并享有相关的权利和义务以及相应的法律责任。我国工程建设行业实行执业资格制度以来,对推进我国建设行业的发展、促进行业管理体制变革、规范市场秩序均起到了积极、重要的作用。



思考与练习

1. 什么叫土木工程? 你认为哪些工程属于土木工程范畴? 它们有哪些共同点?
2. 试述土木工程在国民经济发展中的作用。
3. 古代、近代、现代土木工程分别有什么特点? 有哪些典型工程?
4. 试分析未来土木工程的发展方向。
5. 我国土木工程执业注册分哪几类? 我国建设行业执业资格制度的基本内容是什么?
6. 结合你所在院校的土木工程专业的培养方案,做出你大学的学习规划。

第2章 土木工程材料

2.1 土木工程材料概述

2.1.1 土木工程材料的发展历程

土木工程材料是土木工程中使用的各种材料和制品,它是一切土木工程的物质基础。土木工程材料是随着社会生产力的发展和科学技术水平的提高逐步发展起来的。

原始社会时期,人们为躲避雨雪风寒和防止野兽侵袭,居住于天然的岩洞(见图 2-1)、树巢中。进入石器、铁器时期,人们开始利用简单的工具砍伐树木、凿洞搭棚(见图 2-2)。进入青铜器时期,人们开始利用木材建造更为舒适的木结构建筑(见图 2-3)。大约在公元前 10 世纪,人类学会了用黏土烧制砖、瓦,用岩石烧制石灰、石膏,土木工程材料由天然材料进入人工生产阶段,这个过程一直延续到 18 世纪。18、19 世纪,随着资本主义的兴起,对建筑、桥梁、道路等工程的要求不断提高,土木工程材料进入了新的发展阶段,相继出现了钢材、水泥、混凝土和预应力混凝土及其他新型材料。进入 20 世纪,新型的土木工程材料特别是化学建材不断涌现,出现了塑料、涂料、建筑陶瓷与玻璃、新型复合材料(如纤维增强材料、夹层材料)等。



图 2-1 原始人的穴居生活

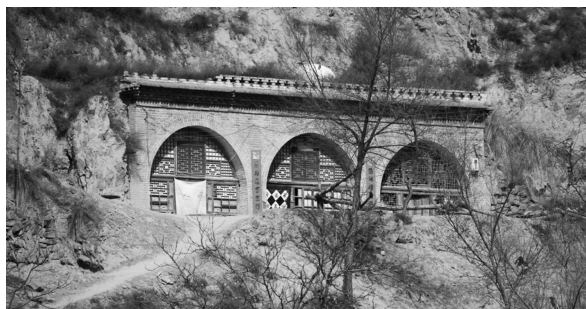


图 2-2 陕西窑洞



图 2-3 重檐方亭的木构架模型

2.1.2 土木工程对材料的要求

正确选择和合理使用土木工程材料,对整个土木工程的安全、实用、美观、耐久及降低造价具有重要意义。一般来说,优良的土木工程材料必须具备足够的强度,能够安全地承受设计荷载;材料自身的质量以轻为宜(即表观密度较小),以减轻下部结构和地基的负荷;具有与使用环境相适应的耐久性,以减少维修费用;用于装饰的材料,应能美化建筑,产生一定的艺术效果;用于特殊部位的材料,应具有相应的特殊功能,如屋面材料要具有隔热和防水功能,楼板和内墙材料要具有隔声功能等。另外,土木工程材料的生产过程应尽可能低能耗、低物耗及对环境友好。

2.1.3 土木工程材料的分类

土木工程材料根据材料的来源,可分为天然材料和人工材料;根据材料的功能,可分为结构材料,装饰材料,防水材料,绝热材料,吸声、隔声材料等;根据组成物质及化学成分,可以分为无机材料、有机材料和复合材料,如图 2-4 所示。



图 2-4 土木工程材料按组成及化学成分的分类

2.1.4 土木工程材料在土木工程中的作用

土木工程材料是土木工程的物质基础,合理选择和使用土木工程材料对于保证工程质量、降低工程造价、改善施工工艺等具有重要意义。

(1)土木工程材料是保证土木工程建(构)筑物质量的基础。土木工程中,从材料的生产、选择、使用和检验评定,到材料的储存、保管,任何环节的失误都有可能造成工程的质量缺陷,甚至导致重大质量事故。为了确保工程质量,必须实行土木工程材料的标准化。世界范围内统一使用的是 ISO 国际标准,我国相关的技术标准分为四级:国家标准,包括强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(GB/T);行业标准,如建工行业标准(代号 JG),建材行业标准(代号 JC),交通行业标准(代号 JT)等;地方标准(代号 DB);企业标准(代号 QB)。

(2)土木工程材料的费用是决定土木工程造价的主要因素。在土木工程建(构)筑物的修筑费用中,用于材料的费用约占工程总造价的 50%,在某些重要的工程中甚至可以达到 70%~80%。合理选择土木工程材料可显著降低工程造价。

(3)合理选择、正确使用土木工程材料决定了建(构)筑物的使用功能及耐久性。不同的工程、不同的使用环境、不同的功能要求,对材料的要求也不同,选择合适的材料,可使工程在不同的条件下抵抗物理、化学、生物等作用的侵蚀,保证其使用功能,延长使用寿命。

(4)土木工程材料的发展影响着土木工程的结构形式和施工方法。常规材料的不断更新和新型建材的不断出现,对工程的结构形式和施工工艺提出新的要求,促进工程结构和施工工艺朝着更安全、更先进、更科学和更环保的方向发展。

(5)土木工程材料的更新促进了新技术、新工艺的开发,新材料的出现促进了工程结构形式的变化、设计方法的改进及施工技术的革新。

2.2 木材、砂、石

2.2.1 木材

木材是人类使用最早的建筑材料之一。木材具有对热、声、电的传导性较低,弹性、塑性好,能承受冲击和振动,容易加工,木纹美观,在干燥环境或长期处于水体环境中均有很好的耐久性等优点;但木材也有构造不均匀,容易因吸湿、吸水而导致形状、尺寸、强度等物理、力学性能发生变化,长期处于干湿交替环境中耐久性变差,易燃、易腐、天然疵病较多等缺点。

木材是由树木加工而成。木材树种从树叶的外形上可分为针叶树和阔叶树两大类。针叶树如杉树、松树等,纹理平直、材质均匀、木质较软、易加工、变形小,建筑上广泛用作承重构件和装修材料。阔叶树如水曲柳、柞木等,木质较密且较硬、纹理美观,适用于室内装修和制作家具。木材的宏观构造如图 2-5 所示。

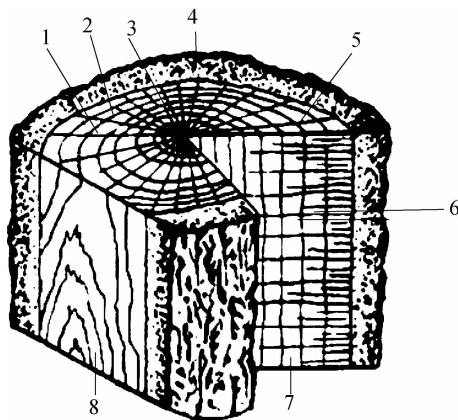


图 2-5 木材的宏观构造

1—横切面;2—年轮;3—髓心;4—树皮;5—木射线;
6—木质部;7—径切面;8—弦切面

木材的构造特点决定了木材的各种力学性质具有明显的方向性。木材的强度主要指其抗拉、抗压、抗弯和抗剪强度。木材在顺纹方向(作用力与木材纵向纤维平行的方向)的抗拉和抗压强度要比横纹方向(作用力与木材纵向纤维垂直的方向)高得多。木材各项强度的大小关系见下表。

表 木材各项强度的大小关系

抗压强度		抗拉强度		抗弯强度	抗剪强度	
顺纹	横纹	顺纹	横纹		顺纹	横纹
1	1/10~1/3	2~3	1/20~1/3	3/2~2	1/7~1/3	1/2~1

土木工程中可以直接使用各种木材,如原木、板材、枋材等,也可将木材制成各种人造板材。原木是指去梢后按一定规格锯成一定长度的木料,如图 2-6 所示;板材是指宽度为厚度的 3 倍或 3 倍以上的木料,如图 2-7 所示;枋材是指宽度不足厚度 3 倍的木料,如图 2-8 所示。人造木材包括可用于各种建筑的条木地板、拼花木地板(见图 2-9)、复合木地板等,以及用于室内装饰和家具制造的胶合板(见图 2-10)、刨花板、木丝板(见图 2-11)、木屑板等。

木材易腐、易燃,可在木材表面涂覆油漆,或将化学防腐剂注入木材进行防腐;在木材表面涂刷或覆盖难燃材料,以及用防火剂浸注木材进行防火。



图 2-6 原木



图 2-7 原木板材



图 2-8 原木枋材



图 2-9 拼花木地板

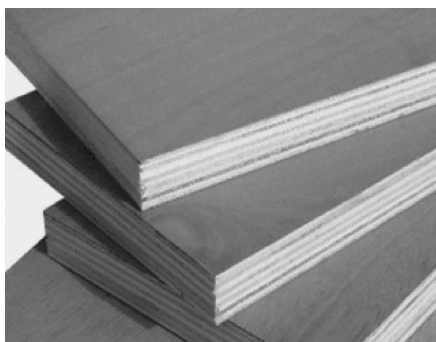


图 2-10 胶合板

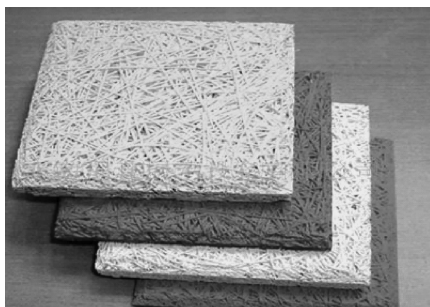


图 2-11 木丝板

2.2.2 砂

砂是组成混凝土和砂浆的主要材料之一。砂一般分为天然砂和人工砂两类,天然砂是岩石风化后形成的大小不等、由不同矿物散粒组成的混合物,一般有河砂、海砂及山砂。河砂、海砂颗粒多呈圆形,表面光滑,与水泥的黏结较差;山砂颗粒多具有棱角,表面粗糙,与水泥黏结较好;河砂较为洁净,应用较广。

砂的粒径一般为 0.15~4.75 mm。砂的粗细程度是指不同粒径的砂粒混合在一起后的平均粗细程度,一般用细度模数表示。砂通常有粗砂、中砂、细砂和特细砂四种。配置混凝土时,应优先选用中砂。

2.2.3 石材

石材是最古老的建筑材料之一。天然石材具有很高的抗压强度及良好的耐磨性和耐久性,经加工后富有装饰性,且资源分布广,蕴藏量丰富,便于就地取材。

天然石材有火成岩、沉积岩和变质岩三大类。按吸水饱和状态下的抗压极限强度平均值,天然石材的强度等级分为 MU100、MU80、MU60、MU50、MU40、MU30、MU20 七个等级。

(1)毛石。毛石是不成形的处于开采后的自然状态的石料,有乱毛石和平毛石两种。乱



毛石各个面的形状不规则(见图 2-12);平毛石虽然形状也不规则,但大致有两个平行的面(见图 2-13)。毛石主要用于砌筑建筑物基础、勒脚、墙身、挡土墙、堤岸及护坡,还可以用来浇筑片石混凝土。



图 2-12 乱毛石



图 2-13 平毛石

(2)料石。料石是指以人工斩凿或机械加工而成,形状比较规则的六面体块石(见图 2-14)。料石通常按加工的平整程度分为毛料石、粗料石、半细料石和细料石四种。料石一般由致密的砂岩、石灰岩、花岗岩加工而成,主要用于建筑物的基础、勒脚、墙体等部位,半细料石和细料石主要用作镶面材料。



图 2-14 料石

(3)石板。石板是用致密的岩石凿平或锯成的一定厚度的岩石板材,一般采用大理岩或花岗岩加工制作。石板主要用作饰面板材,其中花岗岩板材主要用于建筑工程室外装修(见图 2-15);装饰大理石板材经研磨抛光成镜面,主要用于室内装饰(见图 2-16)。



图 2-15 花岗岩石板椅及路面



图 2-16 大理石背景墙

(4)色石渣。色石渣也称为色石子,是由天然大理石、白云石、方解石或花岗岩等石材经破碎、筛选加工而成。色石渣作为集料主要用于人造大理石、水磨石(见图 2-17)、水刷石(见图 2-18)、干粘石、斩假石等建筑物面层的装饰工程。



图 2-17 水磨石地面



图 2-18 水刷石路面

(5)石子。石子可以分为碎石和卵石,粒径为 4.75~90 mm。在混凝土中,石子也称为粗集料。石子除用作混凝土中的集料外,在路桥工程、铁道工程的路基道碴中也常用到。

2.3 胶凝材料、混凝土和砂浆

2.3.1 胶凝材料

土木工程材料中,凡是经过一系列物理、化学作用能将散粒状或块状材料黏结成整体的材料统称为胶凝材料。根据胶凝材料的化学组成,一般可分为无机胶凝材料和有机胶凝材料两大类。无机胶凝材料有石膏、石灰、水玻璃和水泥等,有机胶凝材料有沥青、各种合成树脂等。

1. 石膏

天然石膏的主要成分为二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。将二水石膏在非密闭的窑炉中加热脱水可得到半水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$),即建筑石膏。

建筑石膏的初凝和终凝时间短,硬化后热导率小、吸声性强、吸湿性大,具有较好的防火性能,在建筑中可用于制作石膏抹灰材料、各种墙体材料、各种装饰石膏板、石膏浮雕花饰(见图 2-19)、雕塑制品等。



图 2-19 石膏浮雕壁画

2. 石灰

石灰是土木工程中使用较早的矿物胶凝材料之一。生石灰(见图 2-20, 主要成分为 CaO)是将石灰石(主要成分为 CaCO_3)在 $1\,000\sim 1\,100\text{ }^\circ\text{C}$ 中煅烧获得的。将生石灰加水可使其消解(见图 2-21)为熟石灰。熟石灰又称为消石灰, 主要成分为 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。

石灰在土木工程中可用于制作石灰乳和石灰砂浆, 也可用于拌制石灰土和三合土, 或用于生产硅酸盐制品。

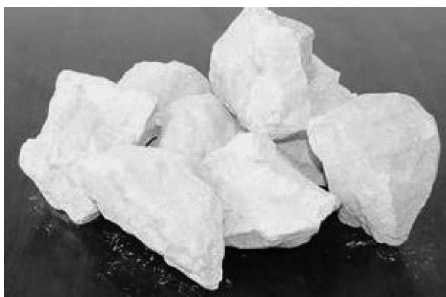


图 2-20 块状生石灰

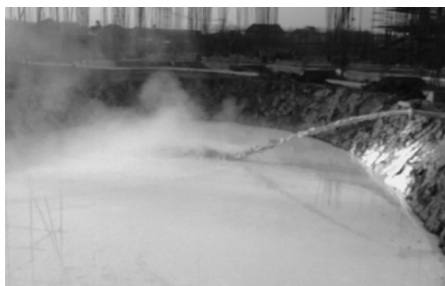


图 2-21 生石灰加水消解成熟石灰

3. 水玻璃

水玻璃俗称泡花碱, 是一种能溶于水的硅酸盐(见图 2-22)。常用的是硅酸钠水玻璃($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$)。水玻璃具有良好的黏结性能和高度的耐酸性能, 可配制快凝堵漏防水剂, 或用于土壤加固等。



图 2-22 水玻璃

4. 水泥

水泥浆体不但能在空气中硬化, 还能更好地在水中硬化, 保持并继续增长其强度。水泥是土木工程中应用最广泛的胶凝材料之一。

1) 硅酸盐水泥

硅酸盐水泥(即国外通称的波特兰水泥)是由硅酸盐水泥熟料、 $0\sim 0.5\%$ 石灰石或粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料。硅酸盐水泥的生产工艺流程如图 2-23 所示。普通硅酸盐水泥的熟料主要由 4 种矿物组成: 硅酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), 占 $36\%\sim 60\%$; 硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), 占 $15\%\sim 36\%$; 铝酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), 占 $7\%\sim 15\%$; 铁铝酸四钙($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), 占 $10\%\sim 18\%$ 。

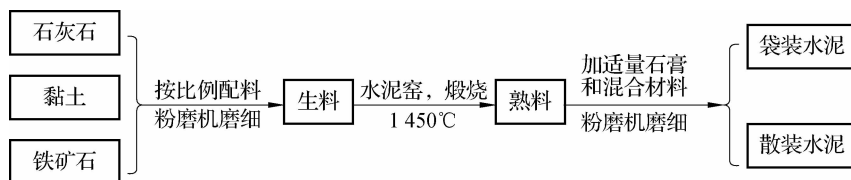


图 2-23 硅酸盐水泥的生产工艺流程

普通硅酸盐水泥凝结硬化快、强度高,抗冻性、耐磨性好;但耐腐蚀性、耐热性差,水化热大。因此主要用于重要结构的高强度混凝土和预应力混凝土工程,以及冬期施工及严寒地区遭受反复冻融的工程。普通硅酸盐水泥可分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R 六个等级,其中代号“R”表示早强型水泥。

2) 掺混合材料的硅酸盐水泥

为了改善水泥性能,调节水泥强度等级,常在水泥中加入人工或天然的非活性材料和粉煤灰、火山灰、高炉矿渣等活性材料,从而获得性能优良的普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥。

3) 其他水泥。

(1) 白色和彩色硅酸盐水泥。白色硅酸盐水泥是将高岭土、纯石英砂、纯石灰石等含有极少量着色物质的原料烧成熟料,其矿物成分主要还是硅酸盐。将白色硅酸盐水泥熟料、石膏和耐碱矿物颜料共同磨细,可制成彩色硅酸盐水泥。白色和彩色硅酸盐水泥主要用于建筑物的表面装饰工程,也可用于制作雕塑及装饰部件等(见图 2-24)。

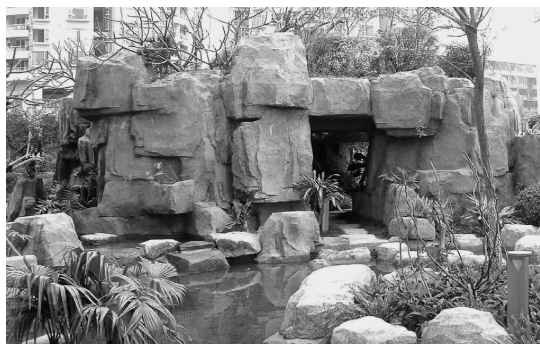


图 2-24 水泥假山

(2) 抗硫酸盐硅酸盐水泥。抗硫酸盐硅酸盐水泥对硫酸盐侵蚀具有较强的抵抗能力,具有较低的水化热和较高的抗冻性。与通用水泥相比,抗硫酸盐硅酸盐水泥熟料中铝酸三钙和硅酸三钙的含量相对较少。抗硫酸盐硅酸盐水泥适用于一般受硫酸盐侵蚀的海港、水利、地下、隧涵、道路和桥梁基础等工程。

(3) 砌筑水泥。砌筑水泥是在一种或两种以上的水泥混合材料中加入适量的硅酸盐水泥熟料和石膏,经磨细制成。砌筑水泥主要应用于砌筑和抹面砂浆、垫层混凝土等,不得用于结构混凝土。

(4) 膨胀水泥和自应力水泥。一般水泥在硬化过程中会产生一定的收缩,而膨胀水泥和自应力水泥因加入了使水泥产生膨胀反应的物质,而在硬化过程中会有不同程度的膨胀。

当水泥膨胀受到限制,水泥石本身会产生自应力。自应力大于 2 MPa 的膨胀水泥称为自应力水泥。膨胀水泥主要适用于制作防渗混凝土,填灌混凝土结构或构件接缝,工程加固与修补,浇筑机器底座及固定地脚螺栓等;自应力水泥主要用于制作自应力钢筋混凝土压力管及配件。

(5)中热水泥、低热水泥和低热矿渣水泥。中热水泥和低热水泥都是在硅酸盐水泥熟料中加入适量的石膏,经磨细制成,具有中等和较低的水化热。低热矿渣水泥是在硅酸盐水泥熟料中加入矿渣、适量的石膏,经磨细获得的具有低水化热的水泥。由于这些水泥的水化热不高,主要适用于大坝和大体积混凝土工程。

(6)道路硅酸盐水泥。道路硅酸盐水泥是在道路硅酸盐水泥熟料中加入适量的活性材料和石膏,经磨细制成。道路硅酸盐水泥抗弯强度高、耐磨性好,抗冲击性与抗冻性较好,主要适用于道路路面、机场跑道等混凝土工程。

5. 沥青及沥青混合料

沥青是一种褐色或黑褐色的有机胶凝材料,按产源可分为地沥青(包括天然沥青、石油沥青)和焦油沥青(包括煤沥青、页岩沥青),常用的主要是石油沥青。石油沥青成分复杂,一般认为由油分、树脂和沥青质三组分组成,具有较好的防水性、黏滞性和塑性等。土木工程中主要使用建筑石油沥青和道路石油沥青。建筑石油沥青主要用于制造油毡、油纸、防水卷材(见图 2-25)、防水涂料和沥青嵌缝膏等;道路石油沥青主要用于铺筑各种等级的道路路面。

沥青混合料是由矿料(粗集料、细集料和填料)与沥青拌和而成的混合材料,具有良好的力学性能、高温稳定性和低温柔性,是高等级公路修筑中的一种主要路面材料(见图 2-26)。



图 2-25 沥青防水卷材



图 2-26 摊铺沥青路面

2.3.2 混凝土

1. 混凝土的组成及分类

混凝土是由胶凝材料、水、粗集料、细集料按适当的比例配合,拌制(见图 2-27)成拌合物,经一定时间硬化而成的人造石材。混凝土种类繁多,根据胶凝材料的种类,可分为水泥混凝土、沥青混凝土、聚合物混凝土、聚合物水泥混凝土等。混凝土按表观密度可分为重混凝土、普通混凝土和轻混凝土。



图 2-27 商品混凝土搅拌站及搅拌车

(1)重混凝土。重混凝土的表观密度大于 $2\,600\text{ kg/m}^3$,由重晶石、铁矿石、钢屑等重集料和水泥配制而成,具有抵御 X 射线和 γ 射线的性能,主要用于防辐射工程。

(2)普通混凝土。普通混凝土的表观密度为 $1\,950\sim 2\,600\text{ kg/m}^3$,一般为 $2\,400\text{ kg/m}^3$ 左右,由水泥、水、普通砂、石配制而成,是目前土木工程中应用最多的混凝土。广泛用于工业与民用建筑、道路与桥梁、海工与大坝、军事设施等工程,主要用作承重结构的材料。

(3)轻混凝土。轻混凝土的表观密度小于 $1\,950\text{ kg/m}^3$,是由轻集料或引入气孔制成的混凝土,包括轻集料混凝土、多孔混凝土和大孔混凝土。强度等级较高的轻混凝土可用于桥梁、房屋等承重结构,强度等级较低的轻混凝土主要用于隔热保温。

2. 混凝土的特点

混凝土有许多优点,可以根据不同使用要求改变组分的品种和比例,配制出不同性质的混凝土;混凝土在凝结前具有良好的可塑性,可以浇筑成各种形状和大小的构件或结构物;混凝土抗压强度较高,具有良好的耐久性,与钢筋有牢固的黏结力,可制作成钢筋混凝土结构或构件;混凝土原材料资源丰富,并且可以就地取材。混凝土的缺点主要是抗拉强度低,受拉时变形能力小,破坏时呈脆性破坏,自重较大。

3. 普通混凝土

普通混凝土由水泥、水、砂和石子组成(见图 2-28)。为改善混凝土的某些性能,还常掺入适量的外加剂和矿物掺合料。常用的外加剂有减水剂、早强剂、引气剂、缓凝剂、速凝剂、防冻剂、泵送剂等。常用的矿物掺合料有粉煤灰、硅粉、粒化高炉矿渣、氟石粉等。

混凝土拌合物应具有良好的和易性。和易性是指混凝土拌合物易于施工操作(拌和、运输、浇筑、捣实)并能够获得质量均匀、成型密实的性能,是一项与施工工艺密切相关的技术性能。混凝土应满足工程结构的强度等级要求,混凝土强度等级是按混凝土立方体抗压标准强度来划分的。混凝土强度等级

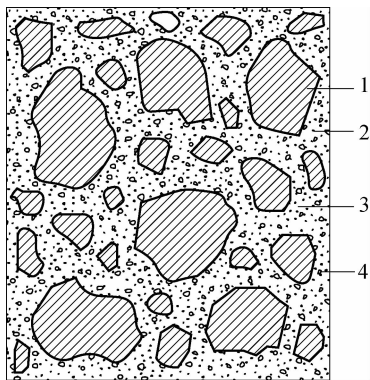


图 2-28 普通混凝土结构示意图

1—石子;2—砂子;3—水泥浆;4—气孔



采用符号 C 与立方体抗压强度标准值(MPa)表示。普通混凝土强度分为 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80 14 个等级。混凝土强度等级是混凝土结构设计时强度计算取值、混凝土施工质量控制和工程验收的依据。

4. 钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土

钢筋混凝土是指配置钢筋的混凝土(见图 2-29)。为克服混凝土抗拉强度低的弱点,在混凝土中合理地配置钢筋,可充分发挥混凝土抗压强度高和钢筋抗拉强度高的特点,使之共同承受荷载并满足工程结构的需要。

预应力混凝土一般指预应力钢筋混凝土(见图 2-30),其通过张拉钢筋产生预应力,以提高制品或构件的抗拉能力,减少或推迟混凝土裂缝的出现。预应力的产生,按张拉钢筋的方法可分为机械法、电热法和化学法;按施加预应力的顺序可分为先张法和后张法。



图 2-29 铺设钢筋混凝土



图 2-30 预应力混凝土简支梁

5. 其他混凝土

(1)高性能混凝土。高性能混凝土是采用常规材料和工艺生产,具有混凝土结构所要求的各项力学性能,且具有高耐久性、高工作性和高体积稳定性的混凝土。高性能混凝土的高性能可通过采用新型外加剂、超细矿物掺合料,以及提高混凝土的密实度等来实现。

(2)高强度混凝土。高强度混凝土是指强度等级不低于 C60 的混凝土。高强度混凝土在配制时应选用强度等级不低于 42.5 级的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,选用优质高效减水剂、高活性超细矿物掺合料及优质集料。

(3)粉煤灰混凝土。将粉煤灰掺入混凝土可显著改善混凝土的和易性和泵送性能,降低水化热。粉煤灰混凝土适用于不受冻的海港工程和早期强度要求不太高的大体积工程。

(4)泵送混凝土。泵送混凝土是指混凝土拌合物在混凝土泵的推动下,沿输送管道进行输送并在管道出口处直接浇筑的混凝土。泵送混凝土适用于场地狭窄的施工现场及大体积混凝土结构物和高层建筑的施工(见图 2-31)。

(5)轻集料混凝土。轻集料混凝土是指用轻集料、轻砂(或普通砂)配制的混凝土。轻集料可采用工业废料轻集料(如煤渣、粉煤灰陶粒



图 2-31 泵送混凝土施工

等)、天然轻集料(如浮石、火山渣等)、人工轻集料(如黏土陶粒、页岩陶粒、膨胀珍珠岩等)。轻集料混凝土有 LC15、LC20、LC25、LC30、LC35、LC40、LC45、LC50、LC55、LC60 10 个强度等级。轻集料混凝土还具有优良的保温和隔热性能。

(6)防水混凝土。防水混凝土又称为抗渗混凝土,是指抗渗等级大于或等于 P6 级的混凝土。普通混凝土可通过调整配合比、加入外加剂或膨胀剂制成防水混凝土。防水混凝土主要用于工业、民用建筑的地下工程、储水构筑物、取水构筑物,以及处于干湿交替作用或冻融作用的工程。

(7)纤维增强混凝土(FRC)。在混凝土中掺入各种纤维材料,可提高混凝土的抗拉强度和韧性,降低脆性。常用的纤维有玻璃纤维、钢纤维、碳纤维、尼龙、聚丙烯、植物纤维等。纤维增强混凝土已应用于飞机跑道、桥面、端面较薄的轻型结构和压力管道等。

(8)聚合物混凝土。聚合物混凝土由有机聚合物、无机胶凝材料和集料组成,一般有聚合物水泥混凝土、聚合物浸渍混凝土、树脂混凝土三种。聚合物水泥混凝土是以高分子材料 and 水泥共同作为胶凝材料,主要用于铺设无缝地面,也可用于修补混凝土路面和机场跑道面层,以及防水层等。聚合物浸渍混凝土是将有机单体渗入混凝土中,然后用加热的方法使其聚合,使混凝土与聚合物形成一个整体。这种混凝土具有高强度、高防水性及高抗冻性、高抗冲击性、高耐蚀性和高耐磨性等特点,适用于要求高强度、高耐久性的特殊构件,特别适用于输送液体的管道、坑道等。树脂混凝土是完全以液体树脂为胶结材料的混凝土,该混凝土具有硬化快、强度高、耐腐蚀等优点,主要用作工程修复材料或制作耐酸储槽、铁路轨枕、核废料容器和人造大理石等。

(9)干硬性混凝土。干硬性混凝土是拌合物坍落度小于 10 mm 的混凝土。干硬性混凝土用水量少、可塑性差,主要用于预制构件的生产,如钢筋混凝土管、钢筋混凝土柱和桩、钢筋混凝土板及电杆等。

(10)碾压混凝土。碾压混凝土是将混凝土拌合物薄层平铺,经振动碾碾压密实的混凝土。碾压混凝土水泥用量少、施工速度快,工程造价低,温度控制简单,适合作为坝工混凝土(见图 2-32)和道路混凝土。

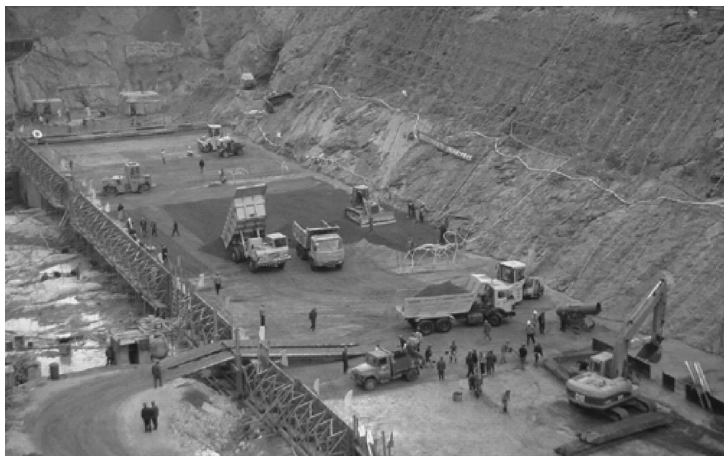


图 2-32 碾压混凝土坝施工



2.3.3 砂浆

砂浆是由胶凝材料、细集料、掺合料和水按适当比例配合,拌制并经硬化而成。砂浆主要用于砌筑、抹面、修补和装饰工程。砂浆常用的胶凝材料有石灰、水泥等。建筑砂浆按功能和用途不同,分为砌筑砂浆、抹面砂浆等;按所用胶凝材料不同,分为水泥砂浆、石灰砂浆、水泥石灰混合砂浆及聚合物水泥砂浆等。根据抗压强度平均值,砂浆强度可分为 M2.5、M5、M7.5、M10、M15 五个等级。

1. 砌筑砂浆

砌筑砂浆是将砖、石砌块黏结成砌体的砂浆。砌筑砂浆可黏结砖、石砌块以构成砌体,传递荷载、协调变形,是砌体的重要组成部分。砌筑砂浆强度等级应根据设计要求或规范规定确定,重要的砌体应选用强度等级高的砂浆。

2. 抹面砂浆

抹面砂浆是粉刷在建筑物或建筑构件表面的砂浆,可保护基层材料,并有一定的装饰作用。根据功能不同,抹面砂浆可分为普通抹面砂浆、装饰砂浆、防水砂浆和具有某些特殊功能的抹面砂浆(防水、耐酸、绝热和吸声等)。

(1)普通抹面砂浆。普通抹面砂浆是建筑工程中普遍使用的砂浆,主要功能是保护建筑和墙体,抵抗自然环境中的有害介质对建筑物的侵蚀,提高建筑物的耐久性,同时,使建筑物和墙体的表面平整、清洁与美观。常用的普通抹面砂浆有水泥砂浆、石灰砂浆、水泥石灰混合砂浆、麻刀石灰砂浆(见图 2-33)、纸筋石灰砂浆(见图 2-34)等。麻刀石灰砂浆与纸筋石灰砂浆可提高砂浆的抗拉强度,防止开裂。



图 2-33 麻刀



图 2-34 纸筋灰

(2)装饰砂浆。装饰砂浆是指用作建筑物饰面的抹面砂浆。装饰砂浆涂抹在建筑物内、外墙表面,可增加建筑物的美观。装饰砂浆采用的胶凝材料有白色水泥、彩色水泥(或在水泥中掺加耐碱矿物颜料配成彩色水泥)、石灰、石膏等。装饰砂浆可采用喷涂、弹涂、辊压等工艺方法做成丰富多彩、形式多样的面层。外墙面装饰砂浆可采用拉毛(见图 2-35)、水刷石、斩假石、水磨石等工艺做法。

(3)防水砂浆。防水砂浆是一种刚性防水材料,通过提高砂浆的密实性及改进抗裂性来达到防水抗渗的目的。防水砂浆可用于建筑墙壁及地面的处理,以及地下工程的防水层。防水砂浆可在潮湿面进行施工。



图 2-35 外墙拉毛

3. 其他特种砂浆

(1) 绝热砂浆。绝热砂浆用水泥、石灰、石膏作为胶凝材料,加入膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、浮石砂和陶粒砂等轻质多孔骨料,经拌制而成。绝热砂浆质量轻,具有保温隔热等特性,可用于屋面隔热层、隔热墙壁、供热管道隔热层、冷库等处的保温。

(2) 耐酸砂浆。耐酸砂浆用水玻璃(硅酸钠)和氟硅酸钠作为胶凝材料,掺入适量的石英岩、花岗岩、铸石等粉状细集料,经拌制而成。硬化后的水玻璃耐酸性能好,拌制的耐酸砂浆可用于耐酸地面和耐酸容器的内壁防护层。

(3) 防辐射砂浆。在水泥浆中掺入重晶石粉、重晶石砂可配制成具有抵御 X 射线和 γ 射线能力的砂浆。

(4) 膨胀砂浆。膨胀砂浆具有一定的膨胀特性,可补偿水泥砂浆的收缩,防止干缩开裂,可在修补工程和装配式大板工程中应用。

(5) 自流平砂浆。自流平砂浆在自重作用下能流平。自流平砂浆施工方便(见图 2-36)、质量可靠,地坪和地面常采用这种砂浆。

(6) 吸声砂浆。吸声砂浆是具有吸声性能的砂浆。一般由轻质多孔集料制成的绝热砂浆都具有吸声性能。吸声砂浆主要用于室内墙壁和顶棚的吸声。



图 2-36 自流平砂浆施工

4. 预拌砂浆

预拌砂浆是指由专业生产厂生产的湿拌砂浆或干混砂浆。湿拌砂浆是将水泥、细集料、矿物掺合料、外加剂、添加剂和水按一定的比例在搅拌站经计量、拌制后运至使用地点,并在规定时间内使用的拌合物。干混砂浆是将水泥、干燥集料或粉料、添加剂及根据性能确定的其他组分,按一定比例在专业生产厂经计量、混合而成的混合物,在使用地点按规定比例加水或配套组分拌和使用。预拌砂浆具有品种丰富、质量稳定、性能优良、易存放的优点。

2.4 砖、瓦、砌块

2.4.1 砖

砖是重要的砌筑材料,根据生产工艺可以分为两类:通过焙烧工艺制得的烧结砖;通过蒸养或蒸压工艺制得的蒸养砖或蒸压砖(也称为免烧砖)。

1. 烧结砖

烧结砖主要有烧结普通砖、烧结多孔砖和烧结空心砖,如图 2-37 所示。



图 2-37 烧结砖

烧结普通砖的生产工艺流程为:采土→配料调制→制坯→干燥→焙烧→成品。砖坯在氧化气氛中焙烧可制得红砖。若砖坯在氧化环境中烧成后,再经浇水闷窑,使窑内形成还原环境,将砖内的红色高价氧化铁(Fe_2O_3)还原成青色的低价氧化亚铁(FeO),则制得青砖。

烧结普通砖(见图 2-38)的标准尺寸为 $240\text{mm} \times 115\text{mm} \times 53\text{mm}$ 。考虑 10mm 厚的砌筑砖缝,4 块砖长、8 块砖宽或 16 块砖厚均为 1m ,则 1m^3 砌体需用砖 512 块。烧结普通砖根据抗压强度,可分为 MU30、MU25、MU20、MU15、MU10 五个强度等级;根据尺寸偏差、外观质量、泛霜和石灰爆裂等,可分为优等品、一等品和合格品三个质量等级。烧结普通砖在建筑工程中主要用作墙体材料,也可用于砌筑柱、拱、窑炉、烟囱、沟道及基础等,其中优等品可用于清水墙建筑,一等品和合格品用于混水墙建筑。



图 2-38 烧结普通砖

烧结多孔砖和烧结空心砖的生产工艺与烧结普通砖基本相同。烧结多孔砖孔多而小(见图 2-39),使用时孔洞垂直于承压面;烧结空心砖孔大而少(见图 4-40),使用时孔洞平行于承压面。烧结多孔砖有 MU30、MU25、MU20、MU15、MU10 五个强度等级,主要用于砌筑六层以下的承重墙体。烧结空心砖有 MU10.0、MU7.5、MU5.0、MU3.5 四个强度等级,主要用作非承重墙体材料,如砌筑多层建筑内隔墙、框架结构填充墙等。

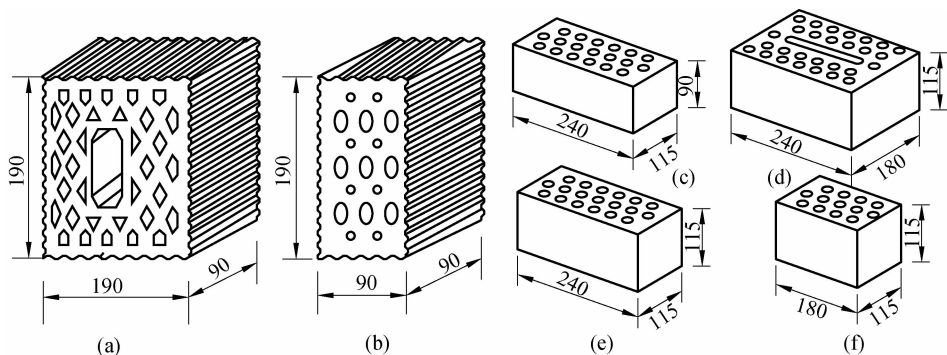


图 2-39 几种多孔砖的规格和孔洞示意

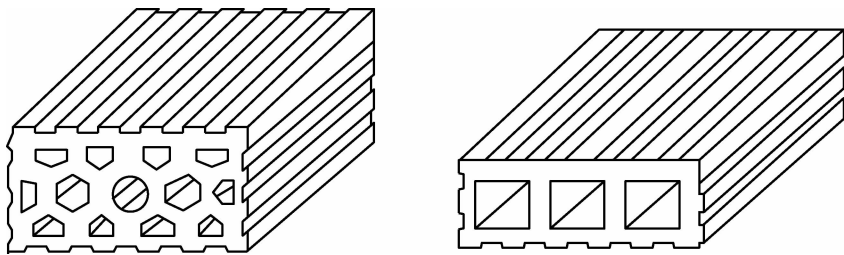


图 2-40 烧结空心砖

2. 蒸养(压)砖

蒸养(压)砖属于硅酸盐制品,是以石灰和含硅原料(砂、粉煤灰、炉渣、矿渣、煤矸石等)加水拌和,经成型、蒸养(压)制成。目前使用的蒸养(压)砖主要有粉煤灰砖、灰砂砖和炉渣砖等,其规格尺寸与烧结普通砖相同。

3. 混凝土路面砖

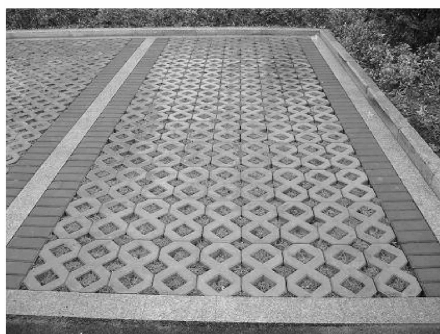
混凝土路面砖通常采用彩色混凝土制作,分为人行道砖和车行道砖两种,按形状又可分为普通型砖和异型砖两种。普通型砖有方形、六角形等多种,它们的表面可做成各种图案、花纹。异型砖铺设后,砖与砖之间可相互产生连锁作用。采用彩色混凝土路面砖可铺成许多色彩丰富、图案美观的路面和永久性的交通管理标志,具有美化城市的作用,如图 2-41 所示。



(a)



(b)



(c)

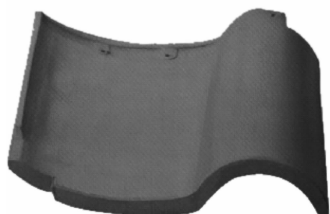


(d)

图 2-41 混凝土路面砖

2.4.2 瓦

瓦(见图 2-42)是屋面材料。瓦的种类较多,按所用材料分类,有黏土瓦、水泥瓦、石棉水泥瓦、钢丝网水泥瓦、聚氯乙烯瓦、玻璃钢瓦、沥青瓦等;按形状分类,有平瓦和波形瓦两类。不同的瓦一般均根据尺寸偏差、外观质量和物理、力学性能分为优等品、一等品和合格品三个等级,或分成一等品和合格品两个等级。



(a)



(b)

图 2-42 瓦

2.4.3 砌块

砌块是发展迅速的一种砌筑材料,除用于砌筑墙体外,还可用于砌筑挡土墙、高速公路音障及其他砌块构成物。砌块按其特征可分为实心砌块、空心砌块两种,如图 2-43 所示。凡平行于砌块承重面的面积小于毛截面的 75% 的,属于空心砌块;等于或大于 75% 的,属于实心砌块。空心砌块的空心率一般为 30%~50%。

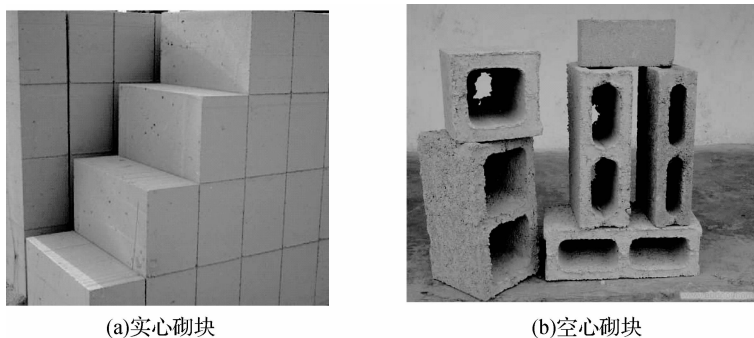


图 2-43 砌块

1. 普通混凝土小型空心砌块

普通混凝土小型空心砌块是以水泥、水、砂、石按一定比例混合,经搅拌、成型和养护而成,尺寸如图 2-44 所示。根据抗压强度,其有 MU5、MU7.5、MU10、MU15、MU20 五个强度等级。混凝土小型空心砌块可用于承重墙体和非承重的填充墙体。

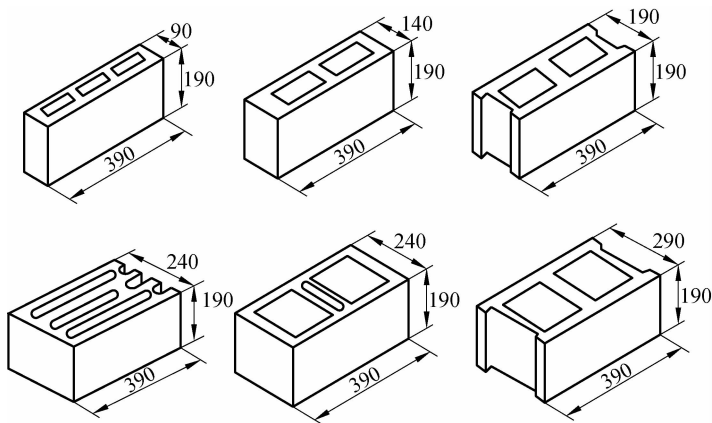


图 2-44 几种空心砌块尺寸

2. 加气混凝土砌块

加气混凝土砌块是以钙质材料(如水泥、石灰)、硅质材料(粉煤灰、石英砂、粒化高炉矿渣等)和加气剂作为原料,经混合搅拌、浇筑发泡、坯体静停与切割后,再经蒸压养护而成。加气混凝土砌块具有质量轻、保温、耐火性能良好、可锯、可刨等特点,适用于建筑物的内、外墙体材料和保温材料。此外,由于多孔,加气混凝土砌块具有较好的抗冻性。

3. 石膏砌块

石膏砌块是在天然石膏或化工石膏中掺入适量的锯末、膨胀珍珠岩等多孔填充材料而制成的。石膏砌块质量轻、吸声、绝热,具有一定的耐火性并可钉、锯,可用于高层建筑、框架轻板结构、房屋加层、户内分室等。

2.5 金属材料

土木工程中,金属材料有着广泛的用途。金属材料可分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属是指以铁元素为主要成分的金属及其合金,如生铁和钢等;有色金属是指以其他金属元素为主要成分的金属及其合金,如铝合金、铜合金等。

2.5.1 钢材

钢材是土木工程中应用最多的金属材料,主要应用于铁路、桥梁、建筑工程等钢筋混凝土结构(见图 2-45)和钢结构(见图 2-46)。钢材是在严格的技术控制条件下生产的,品质均匀致密,抗拉、抗压、抗弯、抗剪强度都很高;常温下能承受较大的冲击和振动荷载,有一定的塑性和很好的韧性。钢材具有良好的加工性能,可以铸造、锻压、焊接、铆接和切割,便于装配,但钢材的耐火性差,容易生锈,维护费用大。



图 2-45 钢筋混凝土中的钢筋



图 2-46 钢结构桥

1. 钢材的分类

钢材的基本成分是铁和碳,此外还含有锰、硅、钒、钛、镍、铬等合金元素和氧、硫、磷等杂质元素。

钢材的分类方法很多,根据化学成分不同,钢材可以分为碳素钢和合金钢两大类,土木工程用钢基本上都是碳素结构钢和低合金结构钢。碳素钢中碳的质量分数小于 2%,根据碳含量又可分为低碳钢(碳的质量分数小于 0.25%)、中碳钢(碳的质量分数为 0.25%~0.6%)和高碳钢(碳的质量分数大于 0.6%)。根据屈服点不同,《碳素结构钢》(GB/T 700—2006)将碳素钢划分为 Q195、Q215、Q235 和 Q275 四个牌号,每个牌号又可根据硫、磷杂质含量划分为若干等级。合金钢根据合金元素总含量可以分为低合金钢(合金元素含量小于

5%)、中合金钢(合金元素含量 5%~10%)和高合金钢(合金元素含量大于 10%)。《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2008)将低合金高强度结构钢划分为八个牌号(Q345、Q390、Q420、Q460、Q500、Q550、Q620、Q690),每个牌号根据硫、磷杂质含量分为 A、B、C、D、E 五个等级。

根据冶炼时的脱氧程度,钢材可以分为沸腾钢、镇静钢和特殊镇静钢。根据用途,钢材可以分为结构钢、工具钢和特殊钢。

2. 钢材的加工、防腐和防火

将钢材在常温下进行冷拉、冷拔或冷轧,使钢材发生塑性变形,可以提高其屈服强度。将钢材按一定的规则加热、保温和冷却,如退火、正火、淬火和回火,可改变钢材内部组织,改善钢材性能。

随着钢材所处环境温度升高,其持久强度将会下降,如发生火灾时,无保护层的钢柱耐火极限只有 0.25 h,因此土木工程中,钢结构用钢材须包覆防火板或涂刷防火涂料,钢筋混凝土结构中的钢筋应有足够的保护层以满足防火需要。

由于环境因素和自身特点,钢材会发生化学腐蚀、电化学腐蚀和应力腐蚀,降低钢材强度。可通过在型钢表面涂装、镀锌、加涂塑料复合层,保证钢筋混凝土中钢筋保护层厚度,防止钢材腐蚀。

3. 土木工程中常用的钢材

1) 钢筋

钢筋是土木工程中用量最大的钢材之一,主要用于钢筋混凝土和预应力混凝土的配筋。钢筋的主要品种有以下几个。

(1) 热轧钢筋。热轧钢筋根据表面形状分为光圆钢筋和带肋钢筋(见图 2-47)。热轧光圆钢筋是用碳素结构钢轧制而成的,其牌号由 HPB 和屈服强度(MPa)特征值构成,有 HPB300 一种,可用作中小型钢筋混凝土结构的主要受力钢筋,也可作为冷轧带肋钢筋和冷拔低碳钢丝的原材料。普通热轧带肋钢筋的牌号由 HRB 和屈服强度(MPa)特征值构成,有 HRB335、HRB400、HRB500 三种。细晶粒热轧带肋钢筋的牌号由 HRBF 和屈服强度(MPa)特征值表示。带肋钢筋加强了钢筋与混凝土之间的黏结力,可有效防止混凝土与钢筋之间发生相对位移。HRB335 和 HRB400 主要用于大中型钢筋混凝土结构的主筋,经冷拉处理后也可作为预应力筋;HRB500 主要用于工程中的预应力钢筋。

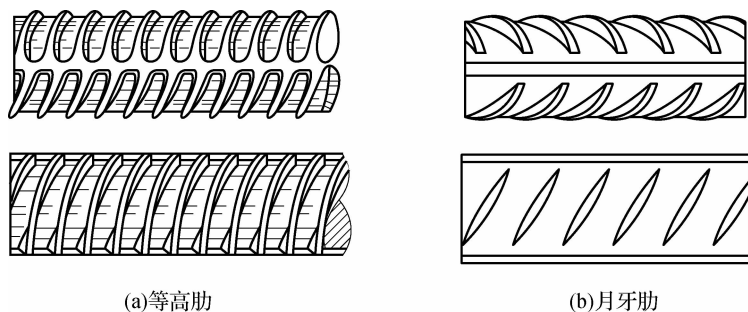


图 2-47 带肋钢筋



(2)冷轧带肋钢筋。冷轧带肋钢筋是用热轧圆盘条经冷轧后,在其表面带有沿长度方向均匀分布的三面或二面横肋的钢筋。冷轧带肋钢筋的牌号由 CRB 和抗拉强度(MPa)最小值构成,有 CRB550、CRB650、CRB800、CRB970 四种。CRB550 为普通混凝土用钢筋,其他牌号为预应力混凝土钢筋。CRB550 钢筋的公称直径为 4~12 mm,CRB650 及以上牌号钢筋的公称直径为 4 mm、5 mm、6 mm。

(3)预应力混凝土用钢棒。预应力混凝土用钢棒是用低合金钢热轧圆盘条经淬火、回火调质处理而成的,通常有光圆、螺旋槽、螺旋肋和带肋四种表面形状,公称直径 6~16 mm。

(4)预应力混凝土用钢丝与钢绞线。预应力混凝土用钢丝是以优质碳素结构钢盘条为原料,经淬火奥氏体化、酸洗、冷拉制成的用作预应力混凝土骨架的钢丝,按加工状态可分为冷拔钢丝和消除应力钢丝两类,主要用于桥梁、吊车梁、大跨度屋架、管桩等预应力钢筋混凝土构件中。预应力混凝土钢绞线是由数根优质碳素结构钢钢丝经绞捻和热处理(消除应力)而成的,如图 2-48 所示。预应力钢绞线主要用于大型屋架、薄腹梁、大跨度桥梁等负荷大、跨度大的预应力结构。



图 2-48 钢绞线

2)型钢

(1)热轧型钢。常用的热轧型钢有角钢(等边和不等边)、工字钢、槽钢、H 型钢、T 型钢等,几种常见的热轧型钢截面如图 2-49 所示。型钢由于截面形式合理,材料在截面上分布对受力最为有利,且构件间连接方便,因此它是钢结构中主要采用的钢材。

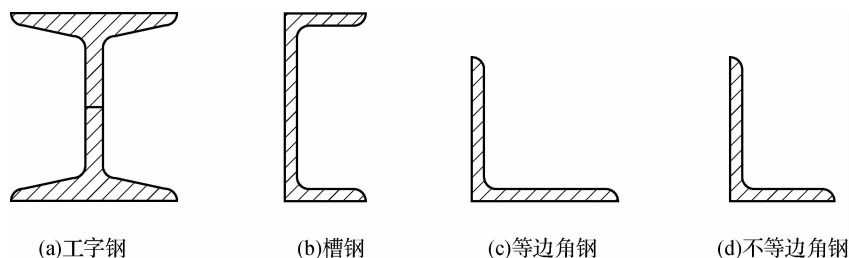


图 2-49 几种常见热轧型钢截面

(2)冷弯薄壁型钢。冷弯薄壁型钢通常用 2~6mm 的薄钢板冷弯或模压而成。如图 2-50所示,有角钢、槽钢等开口薄壁型钢,以及方形、矩形等空心薄壁型钢,可用于轻型钢结构。

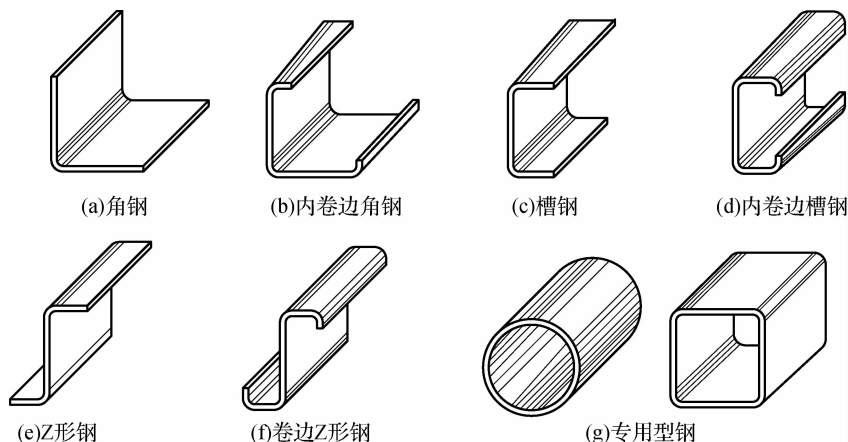


图 2-50 冷弯薄壁型钢截面

(3) 钢板、压型钢板和钢管。钢板是用轧辊轧制而成的扁平钢材,按轧制温度不同,钢板可分为热轧钢板和冷轧钢板两类,热轧钢板分为厚板(厚度 $>4\text{ mm}$)和薄板(厚度 $0.35\sim 4\text{ mm}$),冷轧钢板只有薄板(厚度 $0.2\sim 4\text{ mm}$)。厚板可用于型钢的连接与焊接,组成钢结构承力构件;薄板可用作屋面或墙面等围护结构,或作为薄壁型钢的原料。

薄板经辊压或冷弯可制成截面呈 V 形、U 形、梯形或类似形状的波纹,并可采用有机涂层、镀锌等表面保护层的钢板,称为压型钢板。压型钢板可用作建筑屋面板、楼板、墙板、装饰板等,还可与保温材料等复合制成复合墙板。

钢管分为无缝钢管和焊接钢管。土木工程中,钢管可用于输送各种流体,在建筑结构上可用于制作桁架、塔桅等构件,也可用于制作钢管混凝土。

2.5.2 铝合金及其制品

纯铝可加工成铝粉,用于加气混凝土的发气或防腐涂料(银粉漆)。在铝中加入锰、镁、铜、锌等可制成铝合金,其强度和硬度等显著提高。通过电化学处理可使铝合金制品表面具有各种颜色,提高装饰效果;通过热挤压、轧制、铸造等工艺,铝合金可被加工成铝合金门窗(见图 2-51)、龙骨、压型板、花纹板、管材等。压型板和花纹板可直接用于墙面(见图 2-52)、屋面等的装饰,也可以与各种绝热材料复合为轻质的隔热保温材料。



图 2-51 铝合金窗



图 2-52 氟碳铝板外墙

2.6 高分子材料及功能材料

2.6.1 高分子材料

高分子材料及其复合材料在土木工程中应用十分广泛。高分子材料由高分子化合物组成,高分子化合物又称为高分子聚合物,相对分子质量一般为 $10^4 \sim 10^6$,其分子由许多相同的、简单的结构单元通过共价键(有些以离子键)有规律地重复连接而成。自然界的蛋白质、淀粉、纤维,以及人工合成的塑料、橡胶等都属于高分子化合物。

合成高分子材料具有加工性能优良、质量轻、热导率小、化学稳定性好、电绝缘性好、功能的可设计性强、装饰性能出色等优点。但合成高分子材料也存在易老化、耐热性差、易燃等缺点,使用时必须注意。土木工程中常用的高分子材料主要有塑料和胶黏剂。

1. 塑料

塑料是以合成树脂为基础,加入改善性能的各种添加剂(如填充剂、增塑剂、稳定剂、固化剂等)而制成的。按受热时的变化特点,塑料分为热塑性塑料和热固性塑料;按功能和用途,塑料分为通用塑料、工程塑料和特种塑料。

建筑塑料主要有塑料型材(见图 2-53)与塑料管材(见图 2-54),前者有塑料地板、塑料门窗、塑料墙纸、玻璃钢建筑制品等,后者则包括硬质聚氯乙烯(UPVC)塑料管、聚乙烯(PE)塑料管、聚丙烯(PP)塑料管、无规共聚聚丙烯(PP-R)塑料管、聚丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)塑料管、聚丁烯(PB)塑料管、玻璃钢(FRP)管、复合塑料管等。

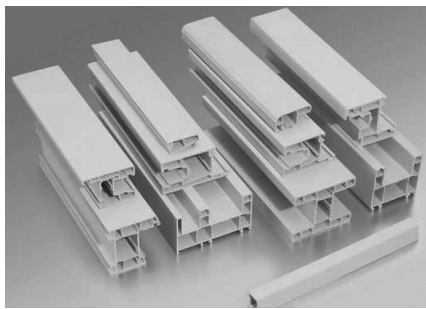


图 2-53 塑料型材

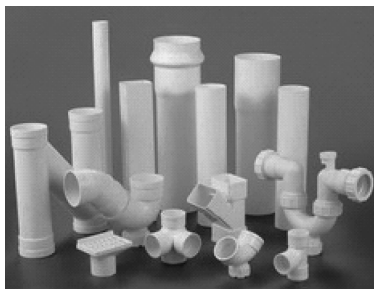


图 2-54 塑料管材

2. 胶黏剂

胶黏剂通常是以具有黏性或弹性的天然或合成高分子化合物为基本原料,加入固化剂、填料、增韧剂、稀释剂等组成的一种混合物。常用的胶黏剂有热塑性胶黏剂与热固性胶黏剂。前者有聚醋酸乙烯胶黏剂(俗称白乳胶)、聚氯乙烯溶液胶等,后者有不饱和聚酯胶黏剂、环氧树脂胶黏剂、合成橡胶胶黏剂(如氯丁橡胶胶黏剂、丁腈橡胶胶黏剂)等。

2.6.2 功能材料

土木工程中的功能材料是以材料的力学性能以外的功能为特征的材料,功能材料的主要作用有防水密封、保温隔热、吸声、隔声等。

1. 防水材料

防水材料具有防止雨水、地下水与其他水分侵入建筑物的功能,它是建筑工程中重要的建筑功能材料之一。建筑物进行防水处理的部位主要有屋面、墙面、地面和地下室等。防水材料根据其特性可分为柔性防水材料和刚性防水材料两类。柔性防水材料具有一定的柔韧性和较大的延伸率,如防水卷材、防水涂料等;刚性防水材料具有较高的强度,无延伸能力,如防水砂浆、防水混凝土等。

1) 防水卷材

防水卷材是可卷曲成卷状的柔性防水材料(见图 2-55),有沥青防水卷材、高聚物改性沥青防水卷材和合成高分子防水卷材等三大系列。

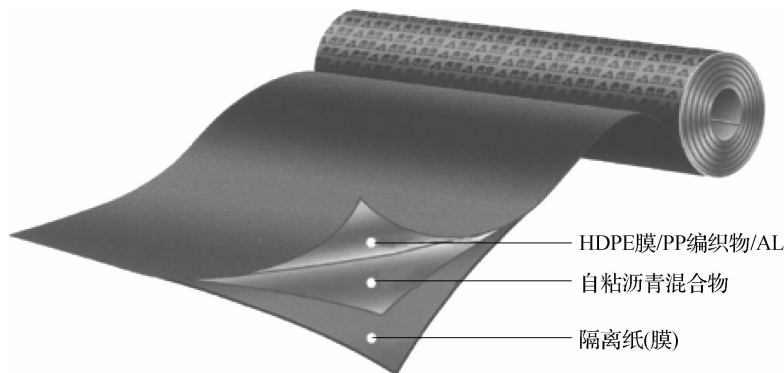


图 2-55 防水卷材结构示意图

(1) 沥青防水卷材是将原纸、纤维织物、纤维毡等胎体浸涂沥青,在浸涂了沥青的胎体表面撒布粉状、粒状或片状材料制成的防水卷材,是较低档的防水材料。常用品种有石油沥青纸胎油毡、石油沥青玻璃布油毡、石油沥青玻纤胎油毡、石油沥青麻布胎油毡等。

(2) 高聚物改性沥青防水卷材是以合成高分子聚合物改性沥青为涂盖层,纤维织物或纤维毡为胎体,粉状、粒状、片状或薄膜材料为覆面材料制成的可卷曲片状防水卷材,属于中低档防水材料。主要有 SBS 改性沥青防水卷材、APP 改性沥青防水卷材、聚氯乙烯改性焦油沥青防水卷材、三元乙丙改性沥青防水卷材等。

(3) 合成高分子防水卷材是以合成橡胶、合成树脂或合成橡胶与合成树脂的共混体为基料,加入适量的化学助剂、填充料等,经混炼、压延或挤出等工序制成的防水卷材或片材,是高档防水材料。主要有合成橡胶类三元乙丙(EPDM)橡胶防水卷材、聚氯乙烯(PVC)防水卷材和氯化聚乙烯-橡胶共混防水卷材等。

2) 防水涂料

防水涂料是以高分子材料为主体,在常温下呈无定形液态,经涂布能在结构表面固化,形成具有相当厚度并有一定弹性的防水膜。防水涂料有沥青基防水涂料(如石灰乳化沥青涂料)、改



性沥青类防水涂料(如氯丁橡胶沥青防水涂料、SBS 改性沥青防水涂料、APP 改性沥青防水涂料等)和合成高分子防水涂料(如聚氨酯防水涂料、聚氯乙烯防水涂料、有机硅防水涂料等)三种。

2. 灌浆材料

灌浆材料是在压力作用下注入地层、岩石或构筑物的缝隙、孔洞中,达到增加承载能力、防止渗漏及提高构筑物整体性能等效果的一种工程材料。常用的灌浆材料有水泥、水玻璃、环氧树脂、甲基丙烯酸甲酯、丙烯酰胺、聚氨酯等。

3. 绝热材料

绝热材料是对热流有显著阻抗能力的材料或材料复合体。习惯上把控制室内热量外流的材料称为保温材料,把防止室外热量进入室内的材料称为隔热材料。材料的导热性能用热导率表示。热导率是指当垂直温度梯度为 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 时,单位时间内通过单位水平截面面积所传递的热量。一般把热导率小于 $0.23\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的材料称为绝热材料。根据化学组成,绝热材料可分为无机绝热材料和有机绝热材料。

(1)无机绝热材料分为多孔轻质类绝热材料(如硅藻土、膨胀蛭石、膨胀珍珠岩等)、纤维类绝热材料(如玻璃纤维、陶瓷纤维、岩棉及矿渣棉等)与泡沫类绝热材料(如泡沫玻璃、多孔混凝土等)。

(2)有机绝热材料主要有泡沫塑料(如聚苯乙烯泡沫塑料、脲醛泡沫塑料、聚氨酯泡沫塑料、聚氯乙烯泡沫塑料等)和硬质泡沫橡胶。

4. 吸声材料和隔声材料

吸声材料能在较大程度上吸收由空气传递的声波能量。在音乐厅、影剧院、大会堂内部的墙面、地面、顶棚等部位采用吸声材料,可改善声波在室内的传播质量,获得良好的音响效果。

材料的吸声效果用吸声系数 α (α = 吸收声能/入射声能)表示,通常把对 6 个频率(125 Hz、250 Hz、500 Hz、1 000 Hz、2 000 Hz、4 000 Hz)的平均吸声系数大于 0.2 的材料称为吸声材料。常用的吸声材料有无机材料(如石膏板、水泥蛭石板、水泥膨胀珍珠岩板)、有机材料(如软木板、木丝板、木质纤维板)与多孔材料(如泡沫玻璃、泡沫水泥、泡沫塑料)等。

隔声材料是指起隔声作用的材料,主要用于外墙、门窗、隔墙等。隔绝空气声(通过空气传播的声音)可采用密实、沉重的材料,如黏土砖、钢板、钢筋混凝土等;隔绝固体声(通过撞击或振动传播的声音)可采用不连续结构处理,即在墙壁和承重梁之间、房屋框架和墙壁及楼板间加设弹性衬垫,如厚地毯、橡胶板、塑料板、软木地板等,将固体声转化为空气声后被衬垫吸收。

2.7 其他材料

2.7.1 建筑装饰材料

建筑装饰材料一般是指主体结构工程完成后,进行室内外墙面、顶棚、地面装饰所需的材料,主要起装饰作用,同时可满足一定的功能要求。建筑装饰材料按建筑物装饰部位的不同分为:①外墙装饰材料,如天然石材、玻璃制品、铝合金门窗、外墙涂料、装饰混凝土等;②内墙装饰材料,如壁纸与墙布、覆面装饰板、内墙涂料等;③地面装饰材料,如木地板、塑料

地板、地毯、陶瓷地砖、地面涂料等；④顶棚装饰材料，如塑料吊顶板、石膏板、各种吸声板等。

(1)常用的建筑装饰石材有天然石材(如大理石、花岗岩)和人造石材(如水泥型人造大理石、树脂型人造大理石、烧结型人造大理石)。

(2)常用的建筑装饰玻璃有普通平板玻璃、磨砂玻璃、釉面玻璃、钢化玻璃、中空玻璃、玻璃马赛克、热反射玻璃、吸热玻璃、Low-E 中空玻璃、光致变色玻璃等。

(3)常用的建筑陶瓷有墙地砖、陶瓷锦砖、釉面砖、琉璃制品、卫生陶瓷等。

(4)常用的高分子化合物装饰材料有塑料地板、塑料壁纸、化纤地毯等。

(5)常用的装饰木材有木地板、胶合板、纤维板、木线条等。

(6)常用的建筑装饰涂料有合成树脂乳液内墙涂料、合成树脂乳液砂壁状建筑涂料、无机建筑涂料等。

建筑装饰材料除满足颜色、光泽、透明度、表面组织及形状尺寸等美观要求外，还应根据不同的装饰目的和部位满足一定的环保、强度、硬度、耐火性、阻燃性、耐水性等要求。

2.7.2 新型建材

1. 新型建筑板材

1) 钢丝网架水泥夹芯板

钢丝网架水泥夹芯板是由工厂用专用设备生产的三维空间焊接钢丝作为网架，内填泡沫塑料板或半硬质岩棉板以构成网架芯板，经施工现场喷抹水泥砂浆后形成的轻质板材。根据芯材的种类，钢丝网架水泥夹芯板可分为钢丝网架水泥泡沫塑料夹芯板和钢丝网架水泥岩棉夹芯板两类。泡沫塑料夹芯板可采用脲醛、聚氨酯、聚苯乙烯泡沫塑料等。

钢丝网水泥夹芯板充分利用了芯材保温隔热和质量轻的特点，两侧又具有混凝土的性能，因此在土木工程施工中具有木结构的灵活性和混凝土的表面质量。泰柏板是典型的钢丝网架水泥夹芯板，其结构如图 2-56 所示。泰柏板具有质量轻、强度高，以及保温、隔声、抗震性能好等特点，适合作为高层建筑的内隔墙、复合保温墙体的外保温层或低层建筑的承重

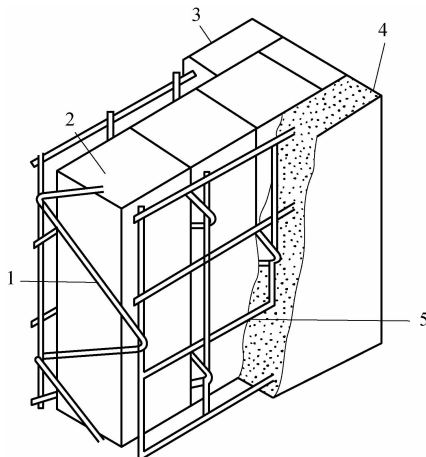


图 2-56 泰柏板结构示意图

1—连接钢丝；2—泡沫塑料层；3—内侧砂浆层；4—外侧砂浆层；5—钢丝网



内、外墙和楼板、屋面板。

2) 金属面夹芯板

金属面夹芯板是以彩色涂层钢板、镀锌钢板、不锈钢钢板等为面材,以阻燃型聚苯乙烯泡沫塑料、聚氨酯泡沫塑料或岩棉、矿渣棉为芯材,用胶黏剂复合而成的板材。图 2-57 和图 2-58 分别是金属面聚苯乙烯夹芯板(简称 EPS 板)和金属面聚氨酯夹芯板(俗称“天荣板”)的结构示意图。金属面夹芯板由于采用高效保温材料作为芯材,因而属于超轻型高效多功能复合建筑板材,具有质量轻、强度高、绝热性好、施工方便、可重复安装使用、耐久性好等优点。金属面夹芯板广泛应用于轻钢建筑的墙面、屋面及活动房、冷库建筑等。

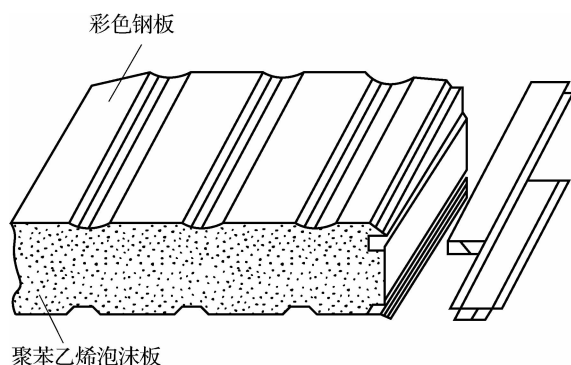


图 2-57 金属面聚苯乙烯夹芯板(EPS 板)

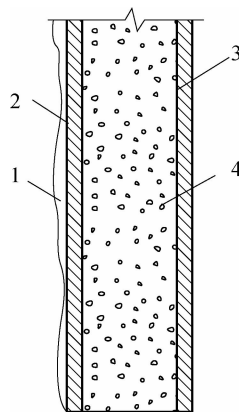


图 2-58 金属面聚氨酯夹芯板(“天荣板”)

1—涂层;2—彩色镀锌钢板或沥青纸板;

3—彩色镀锌钢板;4—聚氨酯

3) 植物纤维水泥板

植物纤维水泥板是以木纤维或秸秆为增强材料制成的一类板材。植物纤维水泥板的主要品种有木纤维增强水泥空心墙板、水泥刨花板、水泥木屑板、水泥木丝板及植物纤维水泥板等。

4) 钢筋混凝土绝热材料复合外墙板

钢筋混凝土绝热材料复合外墙板是指以钢筋混凝土为承重层和面层,以岩棉为芯材,在台座上一次复合而成的复合外墙板。根据墙板构造,可以分为承重混凝土岩棉复合外墙板(见图 2-59)和非承重薄壁混凝土岩棉复合外墙板(见图 2-60)。相同类型的板材还有混凝土聚苯复合外墙板、混凝土膨胀珍珠岩复合外墙板等。钢筋混凝土绝热材料复合外墙板具有优良的保温、隔热、隔声和防水性能,可满足不同地区、不同类型建筑对墙体的多功能要求。

2. 建筑膜材

建筑膜材具有优良的声学性能、保温性能、防火性能、力学性能、光学性能和自洁性能,已经大量应用于膜结构建筑。常用的建筑膜材有聚四氟乙烯(PTFE)膜材、乙烯-四氟乙烯共聚物(ETFE)膜材、聚氯乙烯(PVC)膜材及加面层的 PVC 膜材。

3. 智能土木工程材料

智能土木工程材料是指以最佳条件响应外界环境变化,且按这种变化显示自己功能的材料,主要有压电材料、形状记忆合金、光导纤维、电(磁)流变液体材料等。智能材料一般由基体材料、敏感材料、驱动材料和信息处理器四部分组成。

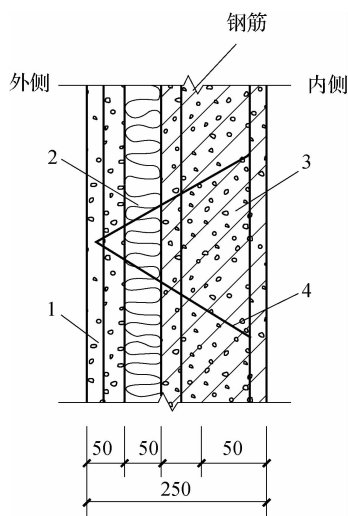


图 2-59 承重混凝土岩棉复合外墙板构造示意

1—混凝土外装饰保温层；2—岩棉保温层；
3—钢筋混凝土结构承重层；4—钢筋联结件

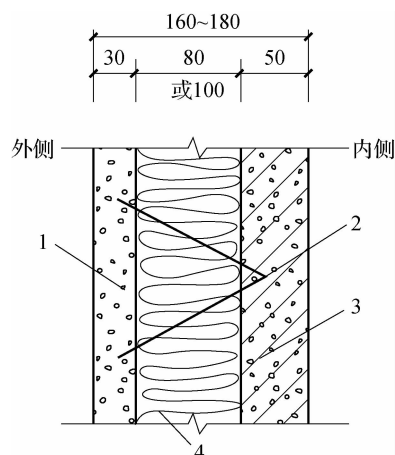


图 2-60 非承重薄壁混凝土岩棉复合外墙板构造示意

1—混凝土饰面层；2—钢筋联结件；
3—钢筋混凝土结构层；4—岩棉保温层

1) 压电材料

当在某些材料上施加机械力时,材料表面会出现与应力成正比的束缚电荷,这种现象称为正压电效应,这种材料就是压电材料。将压电材料制成传感元件,可利用逆压电效应将电能转化为机械能,从而使结构变形或改变应力状态。常用的压电材料有压电单晶体、压电陶瓷、压电薄膜等。目前,压电材料已应用于静变形控制、噪声主动控制、安全评定和自适应修复等。

2) 形状记忆合金

形状记忆合金具有“记忆”,并可回复到它在奥氏体状态下的形状。目前发现的形状记忆合金体系有 Au-Cd、Cu-Zn-Sn 以及聚氨基甲醇乙醇等。目前,形状记忆合金已经应用于结构抗震、结构加固、智能混凝土等领域。

3) 光导纤维材料

光导纤维材料是一种由外包层和内芯构成的纤维状光通信介质材料。将光导纤维作为传感元件埋入混凝土结构,可对结构的强度、裂缝、损伤、变形、振动、钢筋锈蚀、施工质量等进行自动诊断、监测、预报、控制和评价。

4) 电(磁)流变液体材料

电(磁)流变液体材料在外加电场或磁场作用下,其黏性、弹性、塑性等流变性能可发生显著的可逆变化。电(磁)流变液体材料可用于制作多种形式的减振驱动器,应用于高层建筑、电视塔、大跨度网架和大跨度桥梁等结构的地震半主动控制。

5) 智能混凝土

智能混凝土是在传统混凝土原有组分的基础上复合智能型组分,使混凝土成为既能承重又具有自感知、记忆、自适应和自修复等特定功能的材料。智能混凝土包括自感知混凝土、自调节混凝土和自修复混凝土。

(1) 自感知混凝土可以在破损情况下感知并获得被测结构物全部的物理、力学等参数,如温度自监控混凝土、损伤自诊断混凝土等。



(2) 自调节混凝土在外力、温度、电场或磁场等变化下具有产生形状、刚度、湿度或其他机械特性响应的能力,如调湿混凝土等。

(3) 自修复混凝土,它对材料的损伤破坏具有自行愈合和再生功能,如仿生自愈合混凝土等。

2.7.3 绿色建材

绿色建材是指采用清洁生产技术,少用天然资源和能源,大量使用工业或城市固态废弃物,生产无毒、无污染、无放射性、有利于环境保护和人体健康的建筑材料。绿色建材一般具有以下几个基本特征。

(1) 建材生产尽可能少地使用天然资源,大量使用尾矿、矿渣、垃圾等废弃物。

(2) 采用低能耗、不污染环境的生产技术。

(3) 生产过程中不使用甲醇、芳香族化合物、碳氢化合物等,不使用铅、镉、铬及含有铅、镉、铬的颜料、添加剂和制品。

(4) 产品不仅不能损害人体健康,还应有益于人体健康。

(5) 产品具有多种功能,如抗菌、灭菌、除霉、除臭、隔热、保温、防火、消磁、防辐射、防静电等。

(6) 产品可循环和回收利用,废弃物无污染。

在当前的科学技术和社会生产力条件下,已经可以利用各类工业废渣生产水泥、砌块、装饰砖和装饰混凝土等;利用废弃的泡沫塑料生产保温墙体材料;利用无机抗菌剂生产各种抗菌涂料和建筑陶瓷等。



思考与练习

1. 土木工程材料如何分类? 根据材料的组成物质及化学成分,土木工程材料可以分为哪几种?

2. 土木工程对材料有什么要求?

3. 土木工程中常用的石材有哪几类?

4. 什么是胶凝材料? 工程中常用的胶凝材料有哪些?

5. 硅酸盐水泥熟料包含哪些物质? 硅酸盐水泥有哪些种类? 各适用于什么工程?

6. 混凝土的组成物质有哪些? 各有什么作用? 土木工程中常用的混凝土种类有哪些? 各有什么特点?

7. 砂浆的组成物质有哪些? 土木工程中常用的砂浆种类有哪些? 各有什么特点?

8. 砖的种类有哪些? 它们有什么区别?

9. 钢材如何分类? 土木工程中常用的钢材有哪些种类?

10. 土木工程中的功能材料有哪些? 各有什么作用?

11. 智能土木工程材料有哪几类? 各有什么用途?

12. 什么是绿色建材? 绿色建材有什么特征?

13. 试述土木工程材料的发展趋势。

14. 除教材中所述新型建材外,土木工程中还有哪些新型建材?

15. 观察你所在的教学楼,试列举它采用了哪些建筑材料。其中哪些是功能材料? 哪些属于新型建材? 哪些是绿色建材?

第3章

土木工程中的力学和结构概念

3.1 力、力矩、力偶和平衡

3.1.1 力

力是一种物体间有方向的相互作用,这种相互作用有使物体改变原来形状或改变运动方向,或二者俱有的效应。因此力是矢量(既有量值又有方向)。任何矢量都可用一条带箭头的直线段代表,其相对于某固定轴线的方向为矢量方向,按比例画出的长度代表矢量段的量值。譬如任何物体的重量都可用重力表示;重力的方向垂直于地球中心(故也称地球引力),重力的量值用有方向的直线段表示,重力的作用点在该物体重心处。

3.1.2 力矩

力对物体的外效应除移动效应外,还有转动效应。移动效应可由力矢来度量,而转动效应则取决于力矩。如图 3-1 所示,作用于扳手一端的力 F 使扳手绕 O 点转动。 O 点称为力矩中心,简称矩心。扳手绕矩心的转动效应不仅与力 F 的大小有关,还与矩心 O 到力的作用线的距离 d 有关。从矩心 O 到力 F 作用线的距离 d 称为力臂。由力的作用线和矩心 O 所决定的平面称为力矩作用面。在力学中用 F 的大小与 d 的乘积来度量力使物体绕矩心的转动效应,称为力 F 对 O 点之矩,以符号 $M_O(F)$ 表示。即

$$M_O(F) = \pm Fd \quad (3-1)$$

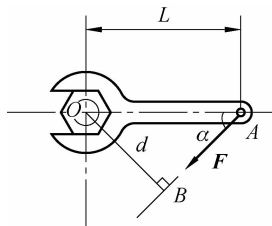


图 3-1 对点之矩



如图 3-2 所示,在力的作用下,物体绕矩心 O 转动也可以看成是物体绕过 O 点与力矩平面垂直的轴线的转动,所以,平面内力对 O 点之矩可以看成是空间力对 z 轴之矩。力 F 对轴之矩用符号 $M_z(F)$ 表示。

在平面问题中,力矩规定为代数量。力使物体绕矩心逆时针转动时,力矩取正值;反之为负。在空间问题中,力对轴之矩也是代数量,其正负用右手法则(见图 3-3)来确定,即用右手握住转轴,弯曲的四指指向力矩的转向,拇指所指的方向如果与转轴的正向相同,对应的力矩为正,反之为负。也可以从轴的正向看,当力矩绕轴逆时针转动时为正,反之为负。力矩的单位是力的单位和长度单位的乘积,常用单位为 $N \cdot m$ (牛顿·米)、 $N \cdot mm$ (牛顿·毫米)等。

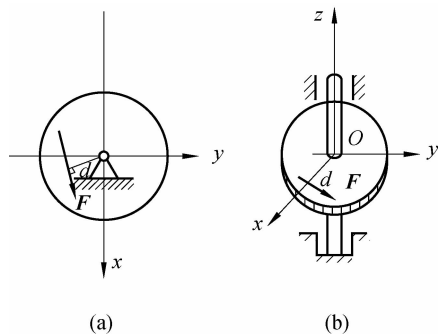


图 3-2 力对轴之矩

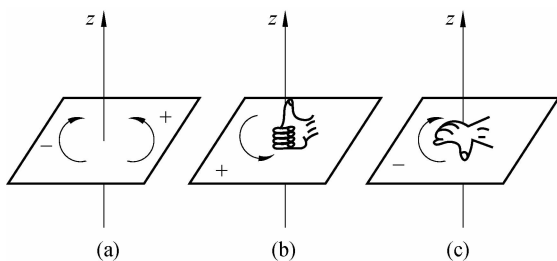


图 3-3 右手法则

3.1.3 力偶

在日常生产、生活中,常会看到物体同时受到大小相等、方向相反、作用线平行的两个力的作用。如汽车司机转动方向盘时加在方向盘上的两个力(见图 3-4);钳工师傅用双手转动丝锥攻螺纹时,两手作用于丝锥扳手上的两个力(见图 3-5);拧水龙头时加在开关上的两个力等。这样的两个力显然不是一对平衡力,它们作用在物体上将使物体产生转动效应。

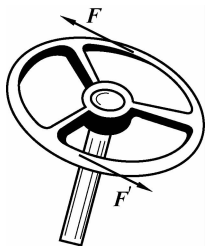


图 3-4 方向盘上力偶

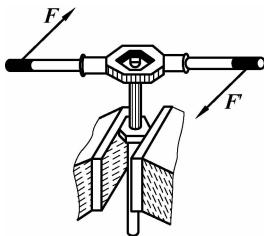


图 3-5 水龙头上力偶

在力学中把大小相等、方向相反、作用线平行的两个力所组成的力系称为力偶。记为 (F, F') ,如图 3-6(a)所示。力偶中两力作用线间的距离 d 称为力偶臂,力偶所在的平面称为力偶作用面,力偶中的一个力的大小与力偶臂的乘积称为力偶矩,用符号 M 表示。在平面问题中

$$M = \pm Fd \quad (3-2)$$

式中,正负号表示力偶的转向。通常规定:使物体产生逆时针转动效应的力偶矩为正,反之

为负。力偶矩的单位同力矩的单位。在画图表示力偶时常用心图 3-6 中的符号来表示。

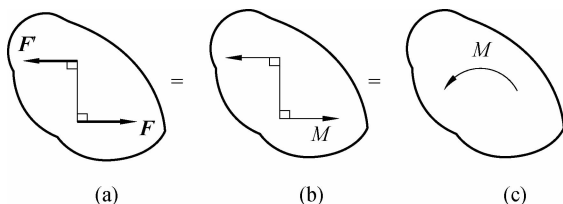


图 3-6 力偶示意

组成力偶的两个力向任意轴的投影的代数和为零,因此力偶无合力,力偶作用在物体上不产生移动效应,只产生转动效应,力偶不能与一个力等效。

力偶的两个力对其作用面内的任意一点的力矩的代数和恒等于其力偶矩,而与矩心的位置无关,因此力偶的转动效应只取决于力偶矩的大小和转向。

3.1.4 平衡

在力学系统里,平衡是指惯性参照系内,物体受到几个力的作用,仍保持静止状态,或匀速直线运动状态,或绕轴匀速转动的状态。建筑物、桥梁、机器等,在正常的工作状态下,一般都处于静力平衡状态,或以一定的运转速度处于动力平衡状态。

根据力的作用线的分布情况,力系可以分为平面力系与空间力系。力系中各力的作用线都在同一平面上的,称为平面力系。力系中各力的作用线呈空间分布的,称为空间力系。平面力系又可分为平面汇交力系(各力的作用线相交于同一点)、平面平行力系(各力的作用线相互平行)和平面任意力系(各力的作用线,既不完全平行也不完全相交)。相应的,空间力系也可分为空间汇交力系、空间平行力系、空间任意力系。

平面力系向其作用面内任意一点简化,可得到一个主矢(力)和一个主矩(力偶);空间力系向一点简化也得到一个主矢和一个主矩,但主矩是矢量。物体处于平衡时所应满足的条件是相同的,必须是力系的主矢和主矩同时为零。

3.2 外力、内力和反力

对任何一个土木工程的结构而言,力有外力、反力、内力之分。如图 3-7 所示,当人将重物放在独木桥中跨处的轴线上时,人体、重物的重力和木桥自重是独木桥承受的外力,桥身两端固定处承受的是桥座给桥身的反力。倘若仔细观察桥身,就会发现桥身下半部伸长了、上半部缩短了、全桥弯曲且下垂了,这说明独木桥还承受有内力。这些内力使桥身下半部受拉伸、上半部受压缩,使全桥受弯曲,如图 3-7(a)所示。再想象倘若桥的两端曾可能被锯过又接了起来,当人拿着重物走上去时,桥身必然像被剪切般地地下落,如图 3-7(b)、(c)所示。现在桥身没有被锯,受力后完好无损,说明在可能锯开的地方附近还承受有剪切力。如果再设想将重物放在桥身一侧,全桥还将受到扭曲,如图 3-7(d)所示。这些拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭曲就是桥身承受内力的结果,人和重物能静止地位于桥上,说明它处于平衡状态。

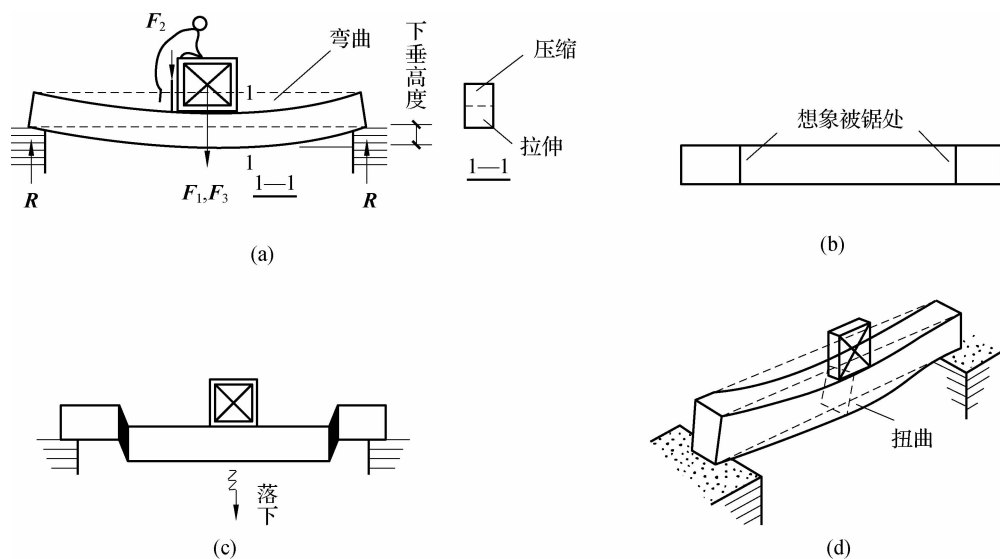


图 3-7 独木桥受力的示意

独木桥是最简单的案例。所有土木工程设施的结构,无论大小、重轻、厚薄(大如铁路大桥、小如独木桥)都处于外力、反力和内力作用下的平衡状态。它承受的内力,归纳起来为下列五种(见图 3-8)及它们间的组合。

- (1)拉力:产生拉伸变形,一般以 $+N$ 表示;
- (2)压力:产生压缩变形,一般以 $-N$ 表示;
- (3)弯矩:产生弯曲变形,一般以 M 表示;
- (4)剪力:产生剪切变形,一般以 V 表示;
- (5)扭矩:产生扭曲变形,一般以 M_T 表示。

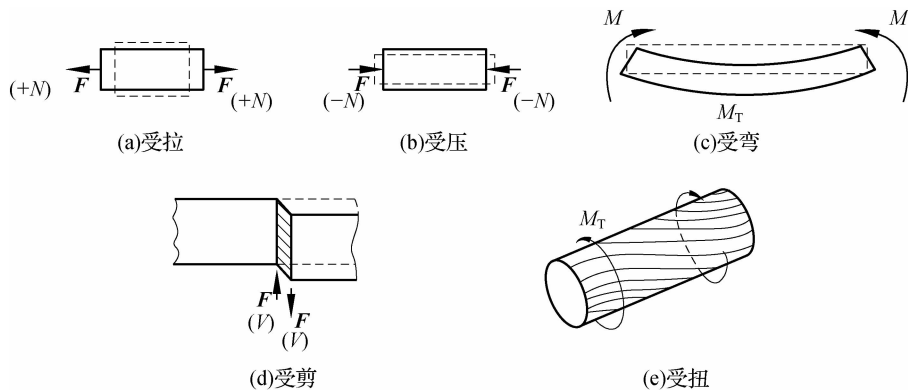


图 3-8 土木工程结构的基本内力特征

土木工程结构就是通过上述五种内力的基本作用,将施加在结构上的外力通过基础传递给地球(即工程设施下面的土层,在土木工程中称为地基)的。地球给予结构的则是作用在结构基础上的反力。

3.3 荷载和作用

3.3.1 荷载

直接施加在土木工程结构上的外力是由荷载引起的。土木工程师的一个重要任务是确定有哪些荷载会作用在土木工程设施上,在极端情况下,这些荷载的值有多大。土木工程中的荷载大体有以下三类,单位一般为 kN 、 kN/m 或 kN/m^2 。

1. 永久荷载

永久荷载也称恒载,指在使用期间永久施加在结构上,其值不随时间变化的荷载。承重结构的自重、围护结构(墙面、地面、屋面、桥面等)的重力以及固定装置的重力就是恒载(见图 3-9)。恒载一般以构件的体积乘以所用材料单位体积的质量(即容积密度)得到。在建筑物中,承重结构的恒载占总荷载的 $50\% \sim 70\%$ 。此外,地下工程、挡土工程和隧道工程所承受的土压力和围岩压力也是恒载。

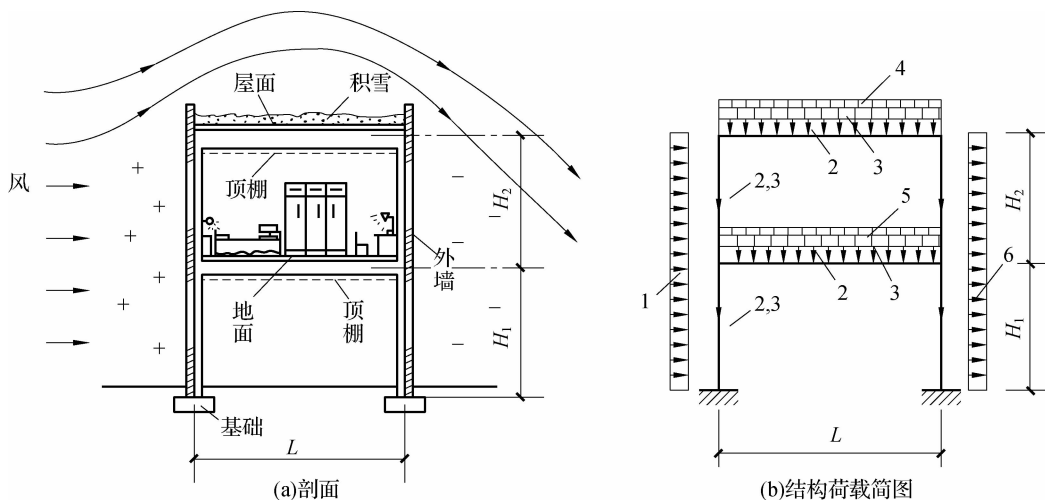


图 3-9 施加在结构上的荷载

1—风载(压力, +); 2—承重结构自重; 3—墙面、屋面、地面(含顶棚)恒载;
4—雪载; 5—楼面活载; 6—风载(吸力, -)

2. 可变荷载

可变荷载也称活载,指在使用期间施加在结构上的值随时间变化的荷载。活载有多种类型,例如以下的几种。

(1) 使用活载。例如,楼面活载(人群、家具、可移动设备、操作时使用的工件等)、屋面活载(屋面上人时的人群和设施、屋面积灰、屋面直升机停机坪等)都是使用活载(见图 3-9)。

(2) 车辆活载。这主要是铁路列车或公路车辆的荷载,它们表现为一系列集中荷载和均



布荷载组成的移动荷载(见图 3-10)。此外,工业厂房中的起重吊车(俗称“天车”)也是一种移动式活载。

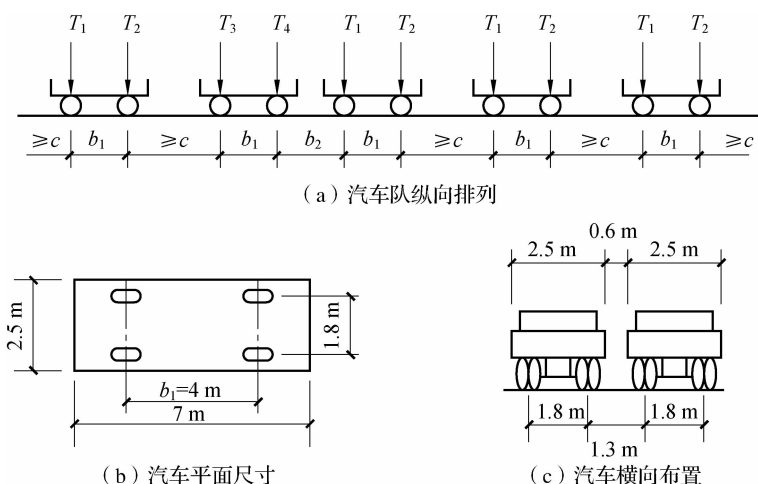


图 3-10 桥梁上的汽车荷载

T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 —汽车轴重; b_1 、 b_2 、 c —不同规范规定的车轴间距离

(3)风载。风是由大气压力不等引起的空气运动。由风的运动而施加在墙面或结构上的压力称为风载(见图 3-9)。风载有三个“不一样”:①不同地区不一样(沿海大、内陆小);②同一地区每时每刻不一样;③不同高程、不同部位不一样(例如,50 m 比 5 m 高程处的风载约大 15 倍)。设计时采用的风载值是重现期为 50 年的 10 min 内平均风压的统计值。

(4)雪载。雪载是指由积雪引起的荷载(见图 3-9)。雪载也因地区不同而异。我国南方地区如广州、海口,甚至没有雪载。

3. 偶然荷载

偶然荷载是指在使用期间不一定出现,一旦出现,其值很大且持续时间很短的荷载,如撞击荷载、爆炸荷载等。

3.3.2 作用

除直接施加在结构上的外力(即荷载)外,还有一种因间接施加影响引起结构受力的作用,它们也以三类形式出现。

1. 约束变形作用

约束变形作用以温差作用为典型(见图 3-12)。土木工程中的结构构件因昼夜和季节温差,每时每刻都在改变着形状和尺寸。当这种改变受到约束时会使结构受到内力,这就是温差作用。在现代高层建筑和大跨度桥梁中,这种因温差作用引起的结构内力是很大的,必须在设计中予以考虑,如图 3-11 所示。另外,钢结构构件在焊接时产生的作用也属于这类。

2. 外加变形作用

外加变形作用以地基的沉陷作用最为典型(见图 3-12)。土木工程的结构是构筑在土层上的,土层受力后总会产生不均匀沉陷,但过大的不均匀沉陷会引起结构产生不小的内力,甚至可使结构开裂或倒塌。

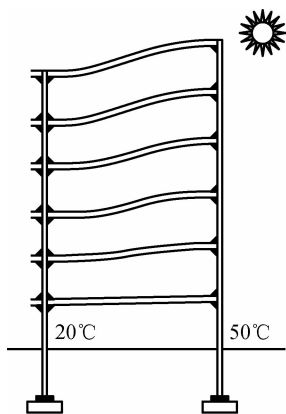


图 3-11 温差作用

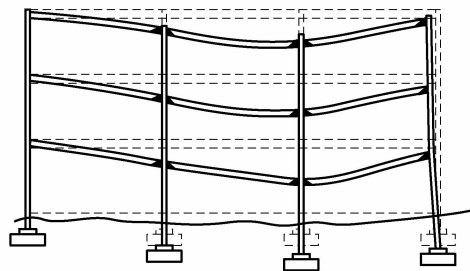


图 3-12 沉陷作用

3. 惯性作用

惯性作用以地震作用最为典型。地震引起的地面运动会使土木工程结构在水平和竖向产生加速度反应(见图 3-13),这种加速度反应值与土木工程设施本身质量的乘积就形成了地震施加给结构的力,即地震作用。地震作用按牛顿第二定律考虑是一种惯性力,它的大小除和工程设施质量有关外,还和地面运动的强烈程度(即地震烈度)以及结构的动力特性(与结构的刚性程度有关)有关。地震作用以水平方向为主。对北京地区一幢 8~9 层用砌块填充的框架结构建筑物来说,它的总水平地震作用为其总重的 5%~8%,如果该建筑总重为 75 000 kN,则其总水平地震作用为 3 800~6 000 kN。

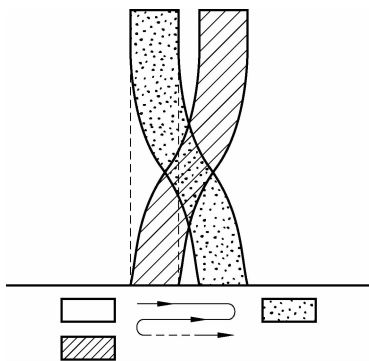


图 3-13 地面运动时建筑物的相应运动

上述荷载和作用可归纳成图 3-14。

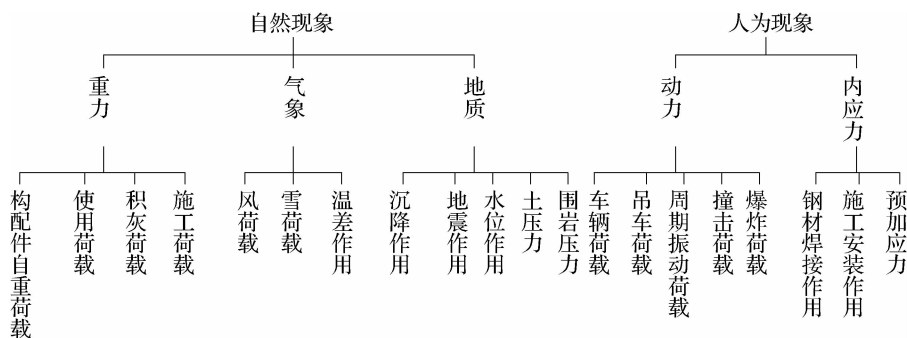


图 3-14 荷载和作用分类

3.4 结构和结构失效

土木工程设施中的结构,是一个在空间和通道中用各种基本构件组合建成的机体,为土木工程设施的持久使用和文化美观的需求服务,为人民生命财产提供安全保障。

3.4.1 结构的构件和类型

承受由荷载和作用在结构中产生的内力的是结构的构件。一般说来结构的基本构件有以下几种。

(1)板。板是有较大平面尺寸但厚度较小的平面构件,通常水平方向设置,承受垂直于板面的荷载,以受弯矩为主,如图 3-15(a)所示。

(2)梁。梁是承受垂直于其纵轴方向荷载的线形构件,其截面尺寸小于其长向跨度,以受弯矩和剪力为主,如图 3-15(b)所示。

(3)柱。柱是承受平行于其纵轴方向荷载的直线形构件,其截面尺寸小于其高度,以受压力和弯矩为主,如图 3-15(c)所示。

(4)墙。墙是受平行或垂直于墙面方向荷载的竖向平面构件,其厚度小于墙面尺寸。前者以受压力为主,如图 3-15(d)所示,后者以受弯矩和剪力为主,如图 3-15(e)所示。

(5)杆。杆是承受轴向力(拉力或压力)的直线形构件,如图 3-15(h)所示,其截面尺寸比长度小得多,多用于组成桁架或网架结构,如图 3-15(g)、(i)所示。

(6)拱。拱是承受沿其纵轴平面内荷载的曲线形或折线形构件,其截面尺寸小于其弧长或折线总长,以受压力和弯矩、剪力为主,如图 3-15(j)所示。

(7)壳。壳是一种曲面形具有很好空间传力性能的构件,能以极小厚度覆盖大跨度空间,以受压力为主,如图 3-15(k)所示。

(8)索。索是以柔性受拉钢索组成的构件,直线或曲线形,如图 3-15(f)所示。

(9)膜。膜是以薄膜材料(如玻璃纤维布)制成的构件,只能承受拉力,如图 3-15(l)所示。

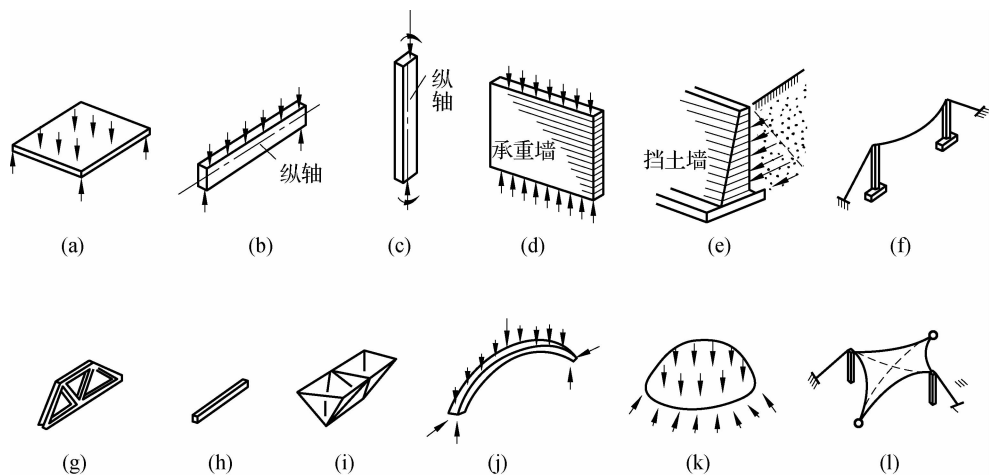


图 3-15 结构的基本构件

由上述基本构件组成的结构在土木工程中是丰富多彩的,如在建筑工程中就有如图 3-16 所示的典型结构。其中,以墙为主体的称为墙体或筒体结构,如图 3-16(a)、(d) 所示;以梁、柱组成的构架为主体的,称为框架结构,如图 3-16(b) 所示;以杆组成的桁架或网架为主体的,称为桁架结构或网架结构,如图 3-16(c)、(f) 所示;以拱、壳或索分别为主体的,称为拱结构、壳体结构或钢索结构,如图 3-16(e)、(g)、(h) 所示;以多块平板折叠或空间折板为主体的,称为空间折板结构,如图 3-16(i) 所示。

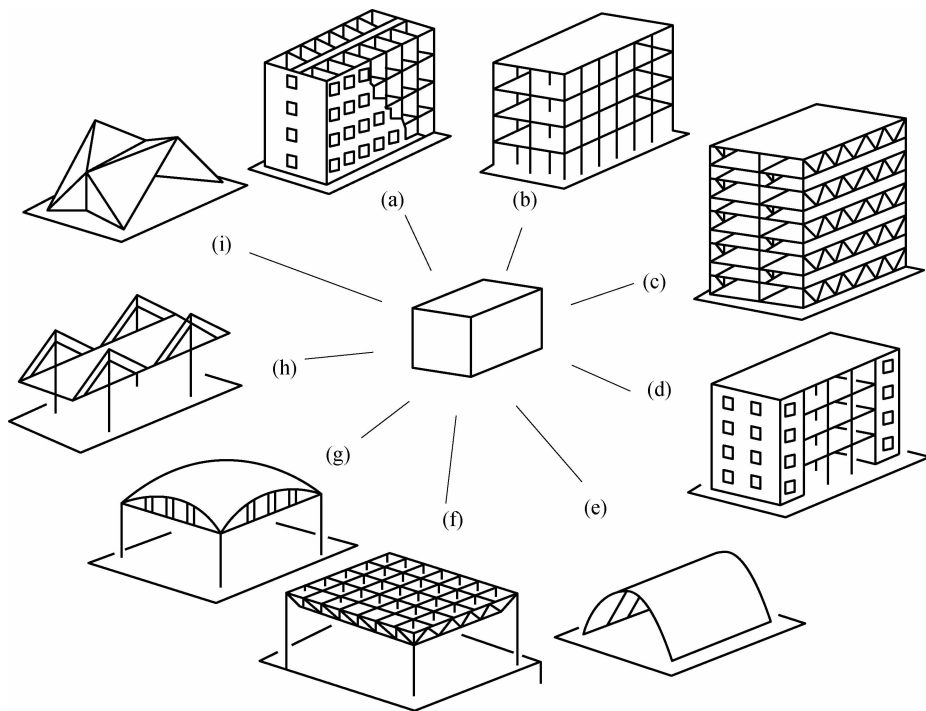


图 3-16 房屋结构示意

(a) 墙体结构; (b) 框架结构; (c) 错列桁架结构; (d) 筒体结构(也是框架-筒体结构);
(e) 拱结构; (f) 网架结构; (g) 壳体结构; (h) 钢索结构; (i) 空间折板结构



在桥梁工程中常见的则是梁式桥、拱式桥、刚构桥、悬索桥和斜拉桥,它们分别是由梁、拱、框架(梁和柱)、索作为主体形成的桥梁结构。

在隧道工程中可以见到各种衬砌结构,它们是由一些连续延伸的圆形、椭圆形、曲墙形、矩形的拱体或墙体组成的结构。

3.4.2 结构和材料的关系

无论什么结构都是由材料做成的。结构的受力、变形状态和它们所采用材料的力学性质密不可分。当一个结构构件受力后,它所采用材料的每个单位面积上也将相应受力,称为应力,以 σ 表示。同时该构件还会发生变形,其材料每个单元发生的相应变形,称为应变,以 ϵ 表示。以均匀承受压力 F 、截面面积为 A 、长度为 l 的轴向受压构件为例,其截面压应力 $\sigma=F/A$ 。产生压应力的同时,该构件有 Δl 的压缩变形,将 Δl 被 l 相除所得到的压缩率称为压应变 $\epsilon=\Delta l/l$ 。

结构承受外荷载的能力,直接与所采用材料能够承受的应力相关。结构承受外荷载时的变形,也直接与所采用材料发生应变引起的结构总体变形相关。

3.4.3 结构和地基的关系

1. 土的分类

无论什么结构都必须坐落在基础上,由基础将结构承受的全部荷载传给地基。受结构传来荷载影响的土层或岩层称为地基。地基内通常不是均一的土,而是若干层各类土。常见的土可分为以下几种。

- (1) 岩石:颗粒间牢固联结的、整体的或有裂隙的岩体。
- (2) 碎石土:多数粒径大于2 mm的土,按粗细又分块(漂)石、卵(碎)石、圆(角)砾。
- (3) 砂土:多数粒径为0.075~2 mm的土,按粗细又分砾砂、粗砂、中砂、细砂、粉砂。
- (4) 粉土:颗粒粒径更细,黏性介于黏性土和上述非黏性土之间的土。
- (5) 黏性土:粒径比粉土更细,具有明显黏性的土。
- (6) 人工填土:回填土、垃圾、工业废料等。

各类土的承载力大体为100~400 kN/m²。

2. 地基

地基的土由固体矿物颗粒、水和空气三部分组成,称为土的三相,即固相、液相、气相。

结构搁置在地基上,土体颗粒间的空气和水被挤出,颗粒间的距离变小,称为地基压缩,同时结构发生沉陷。由于土的透水性不同,土体完成压缩过程的时间也很不一样,这就是结构搁置在地基上会在一段时间内发生沉陷的原因。一般砂土完成沉陷的过程较短,而黏土则很长,有时需几年甚至十几年。

上述各类土的地基承载力是指在保证地基稳定的条件下,地基压缩变形控制在建筑物或构筑物容许范围内时,地基单位面积上所能承受的最大荷载,单位是kN/m²或kPa。为了弄清地基的实际承载力和预计建(构)筑物沉陷的状态,就要掌握该建(构)筑物下各土层

的基本物理力学性能,如土的天然松散密度、天然含水量以及反映土松密程度和压缩性能的指标——孔隙比、密实度、塑性性能等。

3. 基础

基础既是结构和地基的连接件,又是结构的一部分,也称为下部结构,它的设置既要考虑上部结构的形式、规模、用途、荷载大小与性质,又要考虑下部地质条件、土层分布、土的性质和地下水情况。

基础应搁置在坚实土层上,因搁置深度不同,可分为浅基础和深基础两类。浅基础有独立基础、条形基础、筏形基础和箱形基础,如图 3-17 所示。深基础有桩基础和沉井基础、沉箱基础。不论浅基础还是深基础,它们都是由厚板、深梁、粗柱、厚墙作为基本构件组成的,这是因为土的承载力远低于结构构件所用材料的强度。

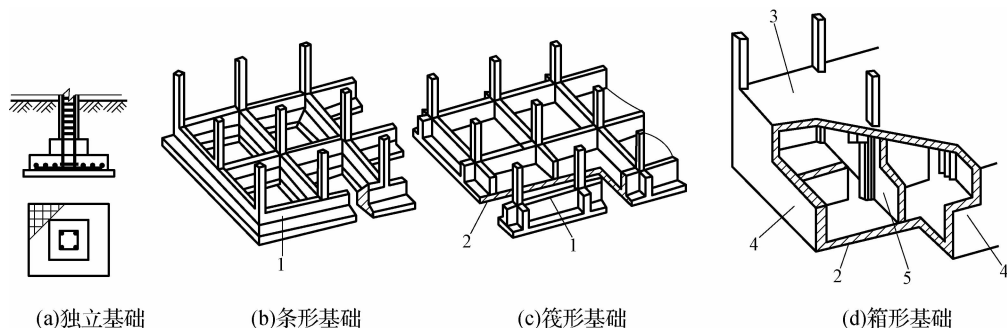


图 3-17 房屋结构的浅基础

1—基础梁;2—底板;3—顶板;4—外壁;5—内壁

3.4.4 结构的预定功能和失效

1. 结构的预定功能

土木工程的任何结构都应该具有以下四项预定功能。

- (1)能承受正常施工和使用时可能出现的各种内力,如拉力、压力、弯矩、剪力、扭矩等。
- (2)在正常使用时具有良好的工作性能,如不发生过大的挠度和侧向位移,不发生过大的不均匀沉陷,不使人感到晃动等。

(3)在正常维护下具有足够的耐久性能,如有抵抗酸类或盐类物质侵蚀的能力。

(4)在偶然事件发生时能保持必需的稳定性,如有很好的抗地震能力。

在这四项预定功能中,(1)和(4)是安全性,(2)是适用性,(3)是耐久性。“安全、适用、耐久”三者缺一不可,但安全第一。

2. 结构的失效

结构的失效,意味着结构或者属于它的构件不能满足上述某一预定功能的要求。结构的失效有下列几种现象。

- (1)破坏:结构或构件截面抵抗作用力的能力不足以承受作用效应的现象,如拉断、压碎、弯折等。



(2)失稳:结构或构件因长细比(如构件长度和截面边长之比)过大而在不大的作用力下突然发生作用力平面外的极大变形的现象,如柱子压屈、梁在平面外扭曲等。

(3)发生影响正常使用的变形:板、梁的过大挠度或过宽裂缝,柱、墙的过大侧移,结构有过大的倾斜或过大的沉陷,人在室内有摇晃的感觉等。

(4)倾覆或滑移:整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡而倾倒或移动的现象。

(5)结构所用材料丧失耐久性:钢材生锈、混凝土受腐蚀、砖遭冻融、木材被虫蛀蚀等化学、物理、生物现象。

3.4.5 对土木工程结构的要求

一个优质的土木工程结构要求做到以下几点。

(1)在应用上,要充分满足空间和通道的多项使用要求。

(2)在安全上,要完全符合承载、变形、稳定的持久需要。

(3)在造型上,要能够与环境、规划和建筑艺术融为一体。

(4)在技术上,要力争体现科学、技术和工程的新发展。

(5)在建造上,要合理用材、节约能源、与施工实际紧密结合。

其中为了安全可靠的目的,在结构设计中必须做到:①结构承受荷载后的内力 $\leq$ 结构的承载力;②结构承受荷载后的变形 $\leq$ 变形的允许值。



思考与练习

1. 试述并区别下列基本概念:①内力、外力、反力和应力,拉力、压力、弯矩、剪切和扭矩;②恒载、活载,重力荷载、使用荷载,风载、地震作用,竖向荷载、水平荷载,静载、动载;③材料的强度、结构的承载力、结构的失效;④材料的应变、变形、弹性模量;⑤结构的受力变形、温差变形和不均匀沉降。

2. 试述结构和结构构件的异同。区别下列结构构件:板、梁、柱、墙、杆、拱、壳、索、膜。

3. 在土木工程中,结构所起的作用是什么?

4. 区别下列基本概念:土、土层、岩石、岩层、土基、岩基、地基;基础、下部结构、上部结构。

5. 同一横截面、同一长度的钢拉杆和木拉杆,在受拉破坏以前哪一个能够承受的拉力更大一些?在同样的拉力作用下,哪一个被拉伸的长度更长一些?试用本章所述的力学原理加以分析说明。

6. 为什么不能将房屋、桥梁的墙、柱直接搁置在地面上或土层上而必须通过基础?

7. 试区别结构失效的五种现象:破坏、失稳、过大变形、倾覆和滑移、丧失耐久性。

8. 试述一个优秀结构的基本要求。

9. 观察你所住的住宅楼、所在的教室楼、经常经过的桥梁,试分析它们是由哪些结构构件组成的,它们属于什么结构(按材料分和按结构类型分)。