

JIANZHU CAILIAO XUE

建筑材料学

(第三版)

王立久 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

TU5/86

2008

要 點 客 內

JIANZHU CAILIAO XUE

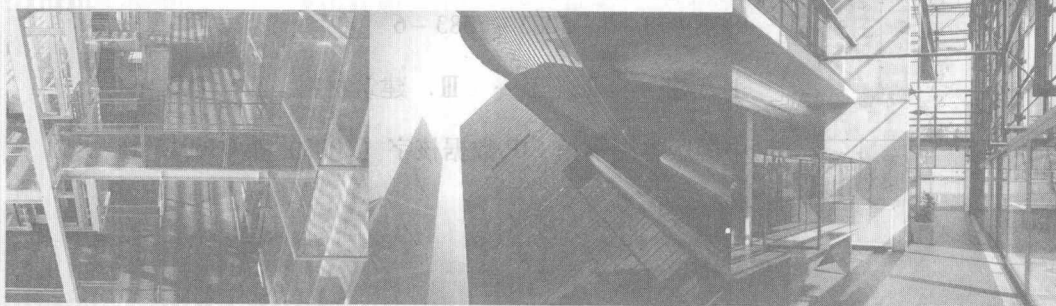
建筑材料学

(第三版)

王立久 编著

目录 (CONTENTS)

前言 王立久 编著



前言 王立久 编著

前言 王立久 编著

前言 王立久 编著

前言 王立久 编著

前言 王立久 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书分三篇共十九章,第一篇建筑材料科学基础主要介绍固体建筑材料结构、建筑材料凝聚系统相平衡与相图、建筑材料的物理化学性质;第二篇基础材料包括基体材料、增强材料和复合材料,主要介绍水泥胶凝材料、非水泥无机胶凝材料、沥青有机胶凝材料、高分子材料、细粒增强材料、石材及粗粒增强材料、结构钢材、纤维增强材料、普通混凝土、沥青混合料、砌墙砖、建筑砌块、墙用板材;第三篇材料选用与评价主要介绍正交实验设计、基础材料检测与评价、材料选用方法等基本知识。

本书除用作高等院校工业与民用建筑、建筑结构工程、地下建筑工程、建筑学专业本科教材外,还可供土木类其他专业师生和建筑科研、施工、监理、实验、质量监督、材料生产单位技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑材料学 / 王立久编著. —3 版. —北京: 中国电力出版社, 2008

ISBN 978 - 7 - 5083 - 7383 - 6

I. 建… II. 王… III. 建筑材料 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 086915 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

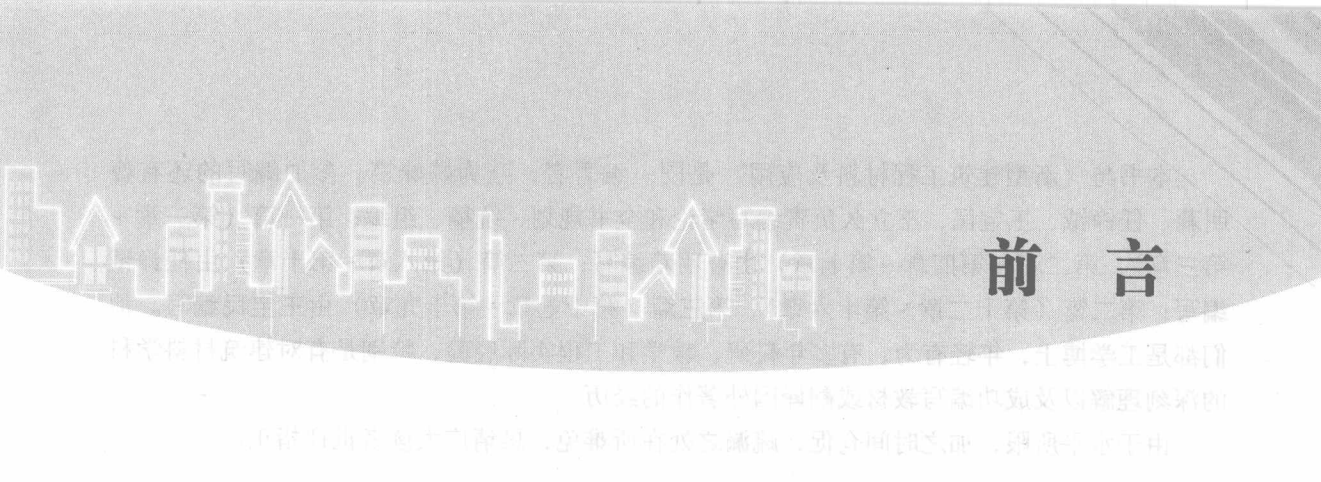
*

2008 年 8 月第三版 2008 年 8 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 32.75 印张 806 千字
印数 0001—3000 册 定价 60.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

建筑材料学是一门传统材料学科。目前,在我国相当多所大学“建筑材料学”是必修之课,它实用于建筑结构、水工、港工、海工、市政、建筑学、施工管理等专业。除此以外,建筑商、施工企业、项目经理、材料经销商、建筑师、结构师、监理工程师、经济师、建筑工程质量监督站、检测实验室、生产企业,甚至行政主管部门等领域也都把《建筑材料学》作为工具书、参考书。

然而,当前大学或市场流行的《建筑材料学》版本已根本不能适应 21 世纪大学教育、市场经济和科学技术发展的需要。这是因为现行的《建筑材料学》大都千篇一律先叙述材料基本性质,然后讲述砂/石、灰/水泥、混凝土、沥青、钢筋、砌体/砖、木材共七大类材料。从 20 世纪 50 年代开始至今,已有 50 多年的历史,仍然如初,丝毫没有任何改变。这主要因为两点,其一是当时全盘学前苏联,完全生搬硬套。当时唐尔卓老师翻译第一本《建筑材料》以来一直沿用至今,现在所出版的《建筑材料学》无论如何变化都可以说基本没有摆脱原有体系;其二就是解放初期国家还很贫穷,百废待兴,强调因陋就简,就地取材,也就把一些最基本材料列入其中。

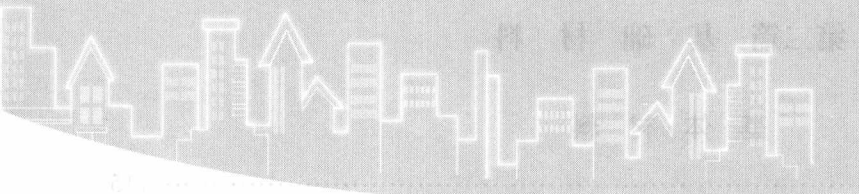
如此做法也就造成一系列弊病:整个书本或教学讲授完全采用“中药铺式”或称“炒菜式”,给人一种《建筑材料学》本身基础理论不强的印象,只是各种材料的罗列而已,就好像建筑材料只有这七大类,除此以外的材料就不得不称其为新型建筑材料,进而又引发对新型建筑材料的定义、种类、分类等的争论。其实新型建筑材料不在于品种而是与时代的发展、当时国家经济新政策、科学技术的进步引发的新工艺、新技术有关。按照现行《建筑材料学》学后的学生有种“土”的感觉,并没有认识到建筑材料在土木建筑中的真正作用,特别是对建筑学、结构体系、使用功能、结构耐久性和环境可协调性等。另外,这种《建筑材料学》体系又限制了人们的创新思维,所培养的大学生同样只会生搬硬套和死记硬背,且只局限于这七大类材料,对其他材料不甚了了,缺乏开发创新能力,使得我国在新型建筑材料开发研究方面远远落后于世界发达国家。

综上所述,很有必要按照新体系编写一套真正适合 21 世纪的建筑材料学科本科生教材。本书第一篇为建筑材料科学基础;第二篇基础材料分别讲授基体材料、增强材料和复合材料;第三篇材料选用与评价,介绍了十一个常用的建筑材料学实验。

本书除参考前人大量的文献资料外,还融汇了作者多年的原创性成果,也是由本书编著者所主编的《建筑材料学》2000 年版本的修订和以往教学经验的总结。

本书与《新型建筑工程材料及应用》是同一编著者,互为姊妹篇。参加编写的还有曹明莉、任铮钺、王宝民,王立久负责编写绪论和全书规划、统稿、组编;第一篇(第一章~第三章)、第二篇(第四章~第七章)由曹明莉编写;第二篇(第八章~第十章)由任铮钺编写;第二篇(第十二章~第十六章)、第三篇(第十七章~第十九章)由王宝民编写。他们都是工学博士,年轻有为,有多年科研、教学和工程实际经验,特别是有对建筑材料学科的深刻理解以及成功编写教材或翻译国外著作的经历。

由于水平所限，加之时间仓促，疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。



目 录

前言

绪论	1
第一节 建筑材料的概念和意义	1
第二节 材料的环境作用	3
第三节 环境协调性	14
第四节 建筑材料发展趋势	17

第一篇 建筑材料科学基础

第一章 固体建筑材料结构	23
第一节 晶体学基础	23
第二节 金属与合金结构	33
第三节 离子化合物晶体结构	39
第四节 晶体中的缺陷	48
第二章 建筑材料凝聚系统相平衡与相图	53
第一节 硅酸盐系统相平衡特点	53
第二节 单元系统	56
第三节 二元系统	59
第四节 三元系统相图	65
第三章 建筑材料的物理、化学性质	77
第一节 建筑材料的电性质	77
第二节 建筑材料的磁性质	86
第三节 建筑材料的热性质	92
第四节 建筑材料的光学性质	97
第五节 建筑材料的化学性质	104
第六节 建筑材料的声学性质	109

第二篇 基础材料

基体材料

第四章 水泥胶凝材料	115
第一节 硅酸盐水泥	116
第二节 通用硅酸盐水泥	131
第三节 其他系列水泥	136
第四节 特性水泥和专用水泥	142
第五节 水泥外加剂	148
第五章 非水泥无机胶凝材料	170
第一节 石灰	170
第二节 石膏	173
第三节 水玻璃	177
第四节 镁质胶凝材料	180
第六章 沥青有机胶凝材料	182
第一节 石油沥青	182
第二节 其他沥青	196
第七章 高分子材料	207
第一节 工程塑料	210
第二节 胶粘剂	217
第三节 合成橡胶	220
增强材料	
第八章 细粒增强材料	223
第一节 概述	223
第二节 普通混凝土用砂	226
第九章 石材及粗粒增强材料	232
第一节 天然石材成因与分类	232
第二节 天然石材基本性质	240
第三节 天然装饰石板材	244
第四节 工程砌筑石材及其应用	247
第五节 粗粒增强材料	248
第十章 结构钢材	254
第一节 钢材的生产、组成与结构	254
第二节 建筑钢材的性质与加工	264

第三节 钢结构用钢	271
第四节 混凝土结构用钢	280
第十一章 纤维增强材料	284
第一节 纤维增强材料概论	284
第二节 钢纤维	286
第三节 碳纤维	290
第四节 玻璃纤维及其制品	292
第五节 其他种类纤维简介	297

复 合 材 料

第十二章 普通混凝土	300
第一节 定义与分类	300
第二节 混凝土基本工艺	303
第三节 普通混凝土的主要技术性质	309
第四节 混凝土配合比设计	330
第五节 特殊混凝土	339
第六节 建筑砂浆	345
第十三章 沥青混合料	353
第一节 定义、分类与组成	353
第二节 矿质混合料的组成设计	357
第三节 沥青混合料的生产	366
第四节 沥青混合料的结构与性能	371
第五节 沥青混合料配合比设计	382
第十四章 砌墙砖	386
第一节 烧结普通砖	386
第二节 烧结多孔砖	393
第三节 烧结空心砖和空心砌块	396
第十五章 建筑砌块	400
第一节 砌块分类及定义	400
第二节 普通混凝土小型空心砌块	402
第三节 轻集料混凝土小型空心砌块	405
第十六章 墙用板材	409
第一节 定义及分类	409
第二节 石膏类墙板	410
第三节 玻璃纤维增强水泥轻质多孔隔墙条板	414

第三篇 材料选用与评价

第十七章 正交实验设计	419
第一节 试验设计	419
第二节 正交试验设计的方差分析	437
第十八章 基础材料检测与评价	452
试验一 石粉密度试验	453
试验二 水泥试验	454
试验三 混凝土用骨料试验	464
试验四 混凝土拌和物试验	472
试验五 混凝土的力学性能实验	476
试验六 建筑砂浆试验	479
试验七 烧结普通砖抗压强度试验	483
试验八 普通混凝土小型空心砌块试验	485
试验九 石油沥青针入度、延度、软化点的测定试验	487
试验十 建筑装饰材料性能试验	491
试验十一 建筑防水材料性能试验	493
第十九章 材料选用	497
第一节 建筑材料选用的一般原则	497
第二节 建筑结构与选材	498
第三节 建筑功能与选材	501
第四节 建筑经济和选材	512
参考文献	514

绪 论

第一节 建筑材料的概念和意义

一、概念

材料一般是指人类用以制造生活和生产中物品、器件、构件、机器和其他产品的物质。尽管材料是物质,但并不是所有物质都可成为材料,比如燃料、化工原料、食品、药物等。因此材料和物质是既有联系又含义不同的两个概念。材料总是和一定应用场合相联系的,并且可由一种或多种物质构成。即使是同种物质也会因制造方法的不同,表现出截然不同的性质。一般来说,用于建筑领域的材料才能称为建筑材料 (Building materials),也就是说它是满足人居环境某些要素而建造构筑物所用材料的总称,从这个角度还应称为人居环境工程材料。材料是人与自然之间的媒介,材料赋予构筑物某种性质,也赋予空间环境某种氛围。

二、意义

1. 材料是人类发展的物质基础

根据建筑材料的定义,可以看出它是人居环境所需构筑物的物质基础,也就是说,没有建筑材料也就没有人类的理想居住环境。各类构筑物不仅在结构形式上或者施工方法方面都制约于建筑材料的品种、质量及其组合,而且还影响着构筑物的使用、坚固、美观、经济、耐用和节能。可以想象,如果没有现代水泥及其演化的钢筋混凝土和建筑钢材,就不可能铸就现代化的建筑。人类可能还会停留在“穴居巢处”、“凿石成洞”、“伐木为棚”的原始社会。自然界存在的木、草、土和石等天然材料为人类提供了早期居住物的建筑材料,如陕西出土的半坡遗址。两千年前的古罗马城大部分是用石材建造的;秦汉时期修筑的万里长城部分使用土、砂和苇柳,部分使用粘土砖和石块;世界上最宏伟的建筑群北京故宫所用的材料主要是木材、汉白玉、琉璃瓦和青砖;法国巴黎埃菲尔铁塔是钢铁材料的代表作;加拿大多伦多的 CN 电视塔(高 553m)是由高强混凝土塔身、特殊密实混凝土结构的发射塔基座和钢结构塔顶构成的;马来西亚吉隆坡的佩重纳斯大厦(高 452m)是使用高性能混凝土建造的。

建筑材料为人类提供新的居住场所,既改善了人类生存环境,也直接影响着构筑物的安全性、耐久性、实用性、舒适性、健康性和美观性。我国著名建筑大师梁思成说:“凡一座建筑物皆因其材料而产生其结构法,更因此结构而产生其形式上之特征。”18 世纪以前,由于当时主要是手工业生产方式,因此人类一直是利用天然材料。这时的建筑材料只有石材、木材、砖瓦、石灰、石膏等,因此,难以建造大跨度的桥梁和大空间的房屋,也难以实现防水防潮、保温隔热的适度湿热环境,就更无法谈及美化装修和舒适的生活环境。19 世纪前叶,钢铁、水泥、混凝土和钢筋混凝土等材料的出现,是建筑材料史上的一大贡献。特别是 20 世纪以来,塑料等新材料的问世及其在质量和数量上的发展,使生活、生产、信息、能源等基础设施的快速建设,极大地改善了人类的生存条件。尽管现代材料的大量应用,但传

统的建筑材料并没有失去应有的魅力。因为构筑物的风格总是与其结构形式和构成材料有关。石材给人以庄重、大方、永久；砖瓦给人以稳重和信赖感；玻璃给人以轻快、通透、豪华、大空间；木材朴实使人亲近、回归自然、有生命力；钢材让人感觉坚固、华美、轻快；混凝土更感雄厚、稳重和坚实。

可以说，新材料研究与应用反映着一个国家的科技和工业水平，同时也为提高人民生活水平、增加国家安全、提高工业生产率和经济增长奠定了物质基础。人类生产活动中的科学技术作用主要表现在三个方面，即提供新的物质和材料、开发新能源、发明灵巧机器，其中材料占有十分重要的作用，没有新材料就没有现代科学技术的发展。

城市是商业、行政、金融及信息的中心，为此建设的非居住型区域的构筑物的主体结构材料仍然是钢（S）结构、钢筋混凝土（RC）结构、钢骨混凝土（SRC）结构和钢管混凝土（SP）结构，同时为实现其美观、现代化等外观效果，幕墙、塑钢、彩板、涂料、合金陶瓷等装饰材料日异剧增。而居民住宅不仅要具有多种生活功能，也需要家庭信息化、住宅办公化，为此功能材料、网络基础设施材料必不可少。

2. 材料是人类文明的里程碑

综观人类利用建筑材料的历史，可以充分看到每一材料的发现和使用，都会把人类适应自然的能力提高到一个新的水平，并为人类生活和社会生产力带来巨大变化，进而推动人类历史的进步。

仅就建筑材料发展历史而言，人类敢于使用天然材料构筑自己的“房屋”，如搭建简易木屋和开凿窑洞，这是建筑材料史上的第一个里程碑，从某种意义上说这一种重大变革才使人类真正进入古文明的发展阶段。正像《易·系辞》中说，“上古穴居而野处，后世圣人易人之之以宫室，上栋下宇，以蔽风雨。”

第二个里程碑也是人类史上一大创举，就是烧土制品。烧土制品包括陶器、砖瓦、烧制石灰和玻璃。陶器是人类从天然材料到人工材料的第一次飞跃。恩格斯认为，陶器是人类从蒙昧时代到野蛮时代的标志。粘土砖是以粘土类物质为原料，经高温烧制而成的。土坯最早于公元前 8000 年左右中东到埃及一带使用。而在公元前 5000 年左右，粘土砖被苏美尔用于建造宫殿。我国是在西周时期（公元前 1060 年 ~ 711 年）开始使用粘土砖的，到秦汉时盛行，因此有“秦砖汉瓦”之说。烧制石灰是最早的胶凝材料，在西周时期陕西凤雏遗址中就发现有石灰、黄砂和粘土混合的三合土抹面。玻璃作为装饰品或祭祀品使用，最早在公元前 2000 年左右的埃及古墓中有所发现。到中世纪欧洲，公元 1000 年左右，俄国圣索非亚寺院才将玻璃用于建筑和美术品。可以说，烧土制品是伴随人类的文化和历史同步发展的。

第三个里程碑就是 1824 年以来的水泥、混凝土和钢筋混凝土的使用。当时，英国人将石灰石与粘土混合制成料浆，在石灰窑中煅烧，再粉磨得到水泥，其硬化后与英国波特兰岛蛋黄色石材的颜色相似而被命名为波特兰水泥，也因其主要矿物是硅酸盐类所以也惯称硅酸盐水泥。随后，法国在 1848 年、德国在 1850 年、美国在 1871 年、日本在 1875 年相继开始生产这种水泥。我国最早水泥厂是澳门青洲英泥厂，始建于 1886 年，采用立窑技术，国内是 1889 年在河北唐山建立第一家“启新洋灰”水泥厂。由此翻开了世界建筑史新的一页，可以说 1824 年是古老建筑材料和现代建筑材料的分界年。19 世纪的产业革命是人类开发和获取能源的革命，它促进了钢铁和有色金属的发展，造就了现代文明。进入 20 世纪，1908 年由 C. R. Steiner 提出预应力钢筋混凝土的概念并在 1928 年实用化，特别是 1934 年美国发

明减水剂,使这种材料在现代建筑中起着十分重要的作用。因为它打破了传统建筑材料建造构筑物的形状和尺寸限制,使建筑向高层大跨度成为可能,而且还能保证建筑的安全可靠和耐久,既能追求传统建筑材料的自然特色,又能体现现代建筑材料的可塑性、简洁与艺术。

20 世纪,石油工业突飞猛进地发展。1909 年,贝克蓝德(L. H. Backland)用苯酚和甲醛经缩合反应合成酚醛树脂(也叫电木),这是人类最早的合成材料。后来 1918 年的脲醛塑料,1930 年的聚乙烯,1939 年工业化的尼龙 66 等,使有机高分子聚合物材料逐渐成为建筑材料领域的第四个里程碑。从此,人类开始进入合成材料时代并开始使用合成有机高分子材料,揭开了材料科学的新纪元。特别是塑料材料以其质轻、比强度、比刚度等的一些特性,遍及国民经济各个部门和人们生活的各个领域。但是,将塑料用作建筑材料还是近 40 年的事情,1963 年工程塑料主要品种的聚苯硫醚、聚苯醚(1964 年)、聚砜(1965 年)等以及 70 年代的聚醚醚酮和聚苯酯等,使其发展成为建筑材料一个重要分支——化学建材,它是以高分子树脂为主要成分的工程塑料制品。塑料基本成分是树脂,它是由低分子单体化合物通过价键结合的一种高分子化合物,又称聚合物。以树脂为基材,按需要加入适当助剂、配料,借助成型工具,在一定温度和压力下塑制成一定形状和尺寸并冷却变硬,或在成型的温度下交联固化变硬形成制品,这就是塑料。化学建材包括塑料门窗、塑料管材、涂料、粘结剂、外加剂等,或其他高分子材料(如橡胶、纤维)与无机材料杂化或复合获得的材料。化学建材已成功赋予人居环境以时代特色,也才使建筑材料真正进入了建筑复合材料时代。

第二节 材料的环境作用

满足人居环境要素的构筑物与其所处环境是相互作用和相辅相成的。这种构筑物的出现打破了原有自然生态的平衡,两者的耦合作用将对各自产生影响,只有两者的融合,才能构成“天人合一”的人居环境。这种环境对构筑物的作用显现的是材料耐久性,而反过来构筑物对环境的作用则表现的是环境协调性。

材料在构筑物的使用过程中,除受到各种外力作用外,还长期受到环境各种因素的破坏作用,如物理作用、机械作用、化学作用和生物作用等。这就是材料的耐久性。

物理作用包括温度和干湿的交替变化,循环冻融等,温度和干湿的交替变化引起材料的膨胀和收缩,长期、反复的交替作用,会使材料逐渐破坏,在寒冷地区,循环的冻融对材料的破坏尤为明显。机械作用包括荷载的持续作用、反复荷载引起材料的疲劳、冲击疲劳、磨损等。化学作用包括酸、碱、盐等液体或气体对材料的侵蚀作用。生物作用包括昆虫、菌类等的的作用而使材料蛀蚀或腐朽。

一般矿物质材料,如石材、砖瓦、陶瓷、混凝土、砂浆等,暴露在大气中时,主要受到大气的物理作用;当材料处于水位变化区或水中时,还受到环境水的化学侵蚀作用。金属材料在大气中易遭锈蚀。木材及植物纤维材料常因蛀蚀、腐朽而遭到破坏。沥青及高分子材料在阳光、空气及热的作用下会逐渐老化、变质而破坏。

因此,所谓材料的耐久性就是指在使用条件下,由于各种环境因素的作用,在规定使用期限内不破坏,也不失去原有性能的性质。实际上耐久性是材料的一种综合性质,诸如抗冻

性、抗风化性、抗老化性、耐化学侵蚀性等均属于耐久性范围。

所有这些环境因素作用都与材料内部的抗渗透性以及置于水中或空气中的性态有关，也就是与材料周围所处的环境有关。当然，材料自身抵御力学环境对其劣化的能力尤为重要，因为它关系到结构的安全可靠性。

1. 力学环境

所有构筑物的设计都要考虑力学环境。这里所涉及的力学环境主要是各种荷载的作用体系。而这一体系是指来自自然界的多种因素，主要有静荷载、动荷载，甚至灾害带来的致命荷载。静荷载是由构筑物自重以及静止物件带给构筑物的荷载；动荷载如风以及流动的物件带给构筑物的荷载。灾害可以定义为那些由于自然的、人为的或人与自然的原因，对人类的生存和社会发展造成损害的各种现象。这里所说的灾害主要是说自然灾害，是指那些会给人类生存和发展带来各种祸害的自然现象。从过程看，自然灾害大致分为四种类型。第一种是突变型，如地震、泥石流、火灾等；第二种是发展型，如暴雨、台风、洪水等；第三种是持续型，如干旱、涝灾、传染病、生物病等；第四种是环境演变型，如沙漠化、水土流失、冻土、海水入侵、地面下沉、海面上升以及区域干旱化等。对构筑物来说，主要的自然灾害是第一种类型和第二种类型的作用。

力学环境中，构筑物能否被破坏取决于结构安全性和建筑材料的力学性质及强度。

材料受到外力作用时，内部就产生应力，同时也产生应变。材料的力学性质即应力和应变的关系可用图 0-1 所示的应力—应变曲线表示。

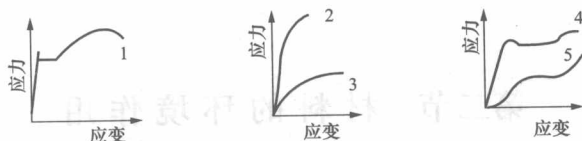


图 0-1 应力—应变曲线

1—低碳钢；2—PC 钢丝、硬石、玻璃等；3—软石、木材、硬质脆性塑料等；

4—硬质韧性塑料；5—软质韧性塑料

材料的力学性质本质上是指材料的应力和应变关系，根据应力—应变曲线可以掌握材料的弹性、塑性等性能。当材料受到外力作用时产生变形，外力解除时变形能完全消失的性质称为弹性，这种变形称为弹性变形；若还存在永久变形的性质称为塑性，这种永久变形称为塑性变形。实际上，具有绝对的弹性或塑性的材料是不存在的。各种材料在不同的应力下，表现出不同的变形性能。即使同一种材料也会兼有这两种性质，应力低时是弹性变形，而应力越过某一限度时就成为塑性变形。

材料在外力作用下，破坏时不产生塑性变形，即使产生其数量也很小，这种性质称为脆性，具有这种性质的材料称为脆性材料，如岩石、混凝土、玻璃、铸铁等。然而，材料在破坏前就产生很大的塑性变形，这种性质叫延性，具有这种性质的材料称为延性材料，如软钢、橡胶、塑料等。

材料的韧性是以材料在冲击或振动荷载作用破坏时所需要的能量表示，相当于应力—应变曲线与应变轴所围成的面积。当设计路面、桥梁、吊车梁、船闸以及有抗震要求的结构时，都要考虑材料的韧性。材料的韧性用冲击试验来检测。

材料的应力—应变关系随时间的推移有着显著的变化，如当材料长时间承受一定荷载

(即荷载值不变)时变形却随时间而增长,这种现象称为徐变或称蠕变。固体的徐变现象可以从固体中潜在的“液体”的性质来说明。流变学为这一现象的研究提供了理论基础。

材料的强度是材料的力学性能指标,表示在外力作用下,抵抗破坏的能力。各种建筑材料都具有非常高的理论强度,但实际强度总要比理论强度低得多,约为: $E/1000 \sim E/100$ 。

根据作用方式的不同,材料的强度分为抗压强度、抗拉强度、抗弯强度(或抗折强度)及抗剪强度等,如图0-2所示。

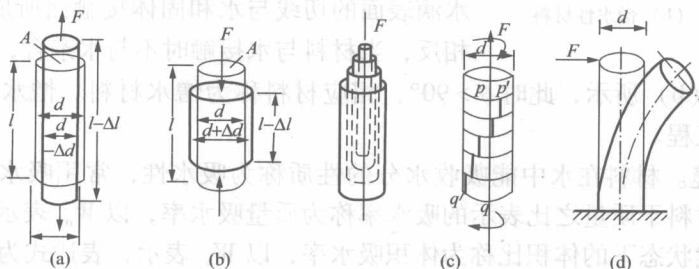


图0-2 材料受力示意图

(a) 拉应力; (b) 压应力; (c) 剪应力(扭应力); (d) 剪(折)应力

抗拉、抗压、抗剪(扭)强度均按式(0-1)计算,即

$$f = \frac{F}{A} \quad (0-1)$$

式中 f ——材料强度, MPa;

F ——材料破坏时的最大荷载, N;

A ——材料受力截面积, mm^2 。

材料的抗弯强度与试验方法有关,当采用集中荷载时,抗弯强度按式(0-2)计算;当采用对称荷载时,则按式(0-3)计算,即

$$f_{lm} = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (0-2)$$

$$f_{lm} = \frac{Fl}{bh^2} \quad (0-3)$$

材料的强度除与材料的组成和结构有关外,其强度值还与试件的形状、尺寸、表面状态、湿度、温度及试验条件(如加荷速度、仪器精度、试验操作)等因素有关,试验时应严格遵守国家标准规范的有关规定进行。

2. 水环境

材料经常处于水环境中。

洪水是暴雨、急剧融化冰雪、风暴潮等自然因素引起的江河湖海水量迅速增加或水位猛涨的自然现象。洪水泛滥是人类经常遭受的一种灾害。洪灾是指超过人类抗洪能力或未采取有效预防措施的洪水对人类生命和财产造成的损失。因此人们必然要修筑一些防洪工程。即使没有洪灾人们也会在一些河流适当地段修筑一些水利工程以满足生活生产的需要,比如水利枢纽工程、河道疏浚工程、泥石流工程、挡土墙工程、农田闸渠水利工程等。再有海上运输和海上养殖以及军事战备需要都要修建相应的海港构筑物;还有市政方面的给排水和水处理工程、排污工程等;道路工程的涵洞;冶金部门的选矿池和尾矿库建筑物等。所有这些都

说明, 建筑材料与水的必然联系和给其带来的影响, 比如软化、腐蚀、溶渗和冻害材料等。

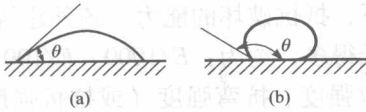


图 0-3 材料润湿边角

(a) 亲水性材料; (b) 憎水性材料

(1) 表面水环境。不同的材料与水接触后, 其表象不同。若材料遇水后表面能降低, 则水在材料表面易于扩展, 这种与水的亲合性称为亲水性, 相应材料亦称亲水材料。亲水性材料遇水后呈图 0-3 (a) 所表示的现象, 润湿边角 $\theta \leq 90^\circ$ (固、气、液三态交点处, 沿水滴表面的切线与水与固体接触面所成的夹角)。与此相反, 当材料与水接触时不与水亲合, 这种性质称为憎水性, 如图 0-3 (b) 所示, 此时 $\theta > 90^\circ$, 相应材料称为憎水材料。憎水性材料常用作防潮、防水及防腐工程。

(2) 水中环境。材料在水中能吸收水分的性质称为吸水性, 常用吸水率表示。用材料吸入水的质量与材料干质量之比表示的吸水率称为质量吸水率, 以 W_m 表示。而材料吸入水的体积与材料自然状态下的体积比称为体积吸水率, 以 W_v 表示, 表达式为

$$W_m = \frac{m_1 - m}{m} \times 100\% \quad (0-4)$$

$$W_v = \frac{m_1 - m}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} \times 100\%$$

式中 m_1 ——材料吸水饱和后的质量, g 或 kg;

m ——材料干燥状态下的质量, g 或 kg;

ρ_w ——水的密度, g/cm^3 , 常温下取 $\rho_w = 1.0 g/cm^3$ 。

当材料吸水饱和时, 质量吸水率与体积吸水率间的关系为

$$W_v = W_m \times \frac{m}{V_0} \times \frac{1}{\rho_w} = W_m \times \frac{\rho_0}{\rho_w} \quad (0-5)$$

式中 ρ_0 ——材料干表观密度。

材料的吸水性取决于材料的孔隙率及孔隙特征。密实材料和具有闭口孔的材料是不吸水的。粗大孔隙的材料, 水分虽然容易渗入, 但仅能润湿孔壁表面而不易在孔内存留, 所以吸水率也低。

材料体积吸水率与材料孔隙率的比值称为孔隙饱和系数, 此值越小, 说明抗冻性能越高, 也说明材料的开口孔隙较少。

各种材料的吸水率相差很大, 如花岗岩等致密材料的吸水率仅为 0.5% ~ 0.7%, 粘土砖的吸水率为 8% ~ 20%, 而木材或其他轻质材料的吸水率则常大于 100%。

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性, 常用含水率表示, 即吸入水量与干燥材料的质量之比。一般来说, 开口孔隙率较大的亲水性材料具有较强的吸湿性。如果材料的含水率与环境湿度达到平衡状态, 此时的含水率称为平衡含水率。

(3) 压力水环境。材料长期处于水的作用下而不破坏, 强度也不显著降低的性质称为耐水性, 常用软化系数表示, 即材料在饱和水状态和干燥状态下的力学指标比值, 见式 (0-6)。软化系数越小的材料, 表明耐水性越差, 软化系数大于 0.85 的材料, 可以认为是耐水的。

$$K_p = \frac{R_w}{R} \quad (0-6)$$

式中 K_p ——软化系数;

R_w ——材料饱和水状态下的抗压强度, MPa;

R ——材料干燥状态下的抗压强度, MPa。

材料抵抗压力水渗透的性质称为抗渗性(或称不渗水性), 常用渗透系数表示, 式(0-7)根据达西定律推导而来(可参考有关水力学书籍)。渗透系数越小, 表明材料的抗渗性越好, 即具有较大孔隙率, 且为较大孔径, 开口连通孔的亲水性材料往往抗渗性较差。

$$K = \frac{Q}{Ft} \cdot \frac{d}{H} \quad (0-7)$$

式中 K ——渗透系数, $\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ 或 cm/h ;

Q ——渗水量, cm^3 ;

F ——渗水面积, cm^2 ;

d ——试件厚度, cm ;

H ——水头差, cm ;

t ——渗水时间, h 。

工程上常用抗渗标号表征材料抵抗最大静水压力作用下水的渗透能力, 分为 P1、P2、P3、P4、P5、P6 六个标号, 分别表示能抵抗 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2MPa 的静水压力而不渗透。

(4) 介质水环境。介质水主要指工业废水和生活污水以及生活垃圾或固体废弃物的渗滤液。

工业废水和生活污水中一般杂质含量高但种类少。能够对构筑物构成危害的主要是离子态污水, 无机物中尤以盐类为主。离子的化学形态除简单离子如 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 SiO_3^{2-} 外, 还有复杂的配位离子如 $\text{Al}(\text{OH})^+$ 、 $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ 、 $\text{Si}(\text{OH})_3^-$ 、 $\text{SiO}(\text{OH})_2^-$ 等, 粒径一般为 0.1~1.0nm。这些污水中含有大量的有害物质将对建筑材料造成严重腐蚀, 其腐蚀主要是氯离子渗透造成混凝土钢筋锈蚀以及硫酸根离子形成的膨胀物引起混凝土开裂。混凝土中的钢筋属增强材料, 是结构设计的重要组成部分, 又是氯离子侵蚀环境中混凝土结构耐久性不良的最薄弱环节。但缺乏足够保护层时, 钢筋钝化膜将受到从环境中透过混凝土迁移过来的自由氯离子的侵蚀, 使钢筋锈蚀, 并迅速导致混凝土膨胀开裂, 从而造成混凝土结构劣化加速。这也是海洋工程中混凝土抗氯离子迁移能力被列入耐久性主要因素的原因。氯离子的迁移机制有扩散、毛细管吸附和渗透三种。扩散是氯离子在空体系内不移动的水中, 由于浓度梯度作用下的运动结果。吸附是氯离子随着水一起迁移进入开口体系的现象。渗透是氯离子和水在压力下迁移进入混凝土的作用。这三种机制是不同的, 常采用扩散理论得到的有效扩散系数 D_{eff} 作为指标。

城市固体废弃物一般包括工业垃圾、商业垃圾和生活垃圾。垃圾渗滤液是指垃圾在填埋和堆放过程中由于垃圾中有机物质分解产生的水和垃圾中的游离水、降水以及渗入的地下水, 通过淋溶作用形成的污水。它是一种有机废水, 特征是: 有机污染物浓度高。研究表明, 渗滤液中含有主要有机物 77 种, 其中芳烃 29 种, 烷烃、烯烃 18 种, 酸类 8 种, 酯类 5 种, 醇酸 6 种等, 77 种有机物中有一种致癌, 两种辅助致癌; 氨氮含量高, 占总氮量的 85%~90%; 磷含量低, 尤其磷酸盐含量更低; 金属离子含量较高, 特别是重金属; 总溶解性固体含量较高, 在 0.5~2.5 年达到高峰值, 同时含有高含量的 Na、K、Cl、 SO_4 等无机

溶解性盐和铁、镁等。

自 1958 年以来,我国先后在中碱性土壤地区、酸性土壤地区、内陆盐土地区和滨海盐土地地区建立了混凝土抗腐蚀试验站。图 0-4 所示为王立久教授根据林宝玉、马孝轩、郝挺宇和封孝信学者提供的 35 年试验资料整理的结果,从图中可以看出土壤对混凝土的腐蚀。试件分别采用硅酸盐水泥 (P)、普通硅酸盐水泥 (P.O)、粉煤灰水泥 (P.F)、矿渣水泥 (P.S) 制作。混凝土抗压强度为 9.2~42MPa,为中碱性土壤。

3. 空气环境

空气环境主要包括大气环境和室内环境。

(1) 大气环境。影响我国大气环境质量的物质主要是粉尘和有害气体。这主要和我国能源结构、沙漠化、工业污染有关。

我国是主要燃煤国家,从而使大气呈煤烟型污染,表现为烟尘和酸雨两大问题。目前,全国煤炭消耗量超过 20 亿 t,烟尘排放超过 1500 万 t,三氧化硫超过 2000 万 t。全国 600 多座城市的粉尘达不到世界卫生组织规定的标准。年平均降水 pH 值低于 5.6 的地区占全国面积的 30% 以上。1995 年,酸雨和烟尘造成农作物、森林和人体健康等损失约 1100 亿元。二氧化碳和三氧化硫等影响全球气候的温室效应占世界第二。

自然状态下,二氧化碳浓度为 0.03%,但在 1990 年已经超过 0.035%,预计 2090 年将达到 0.1%。这给人类带来的影响除温室效应外,还会造成建筑材料中性化,破坏建筑结构的耐久性。所谓中性化就是碳化,也就是使混凝土中的水化产物氢氧化钙变为碳酸盐,使其 pH 值由原来的 12~13 降为 8.5~10,这就会使钢筋混凝土中的钢筋失去保护层,引起钢筋锈蚀,致使混凝土开裂,威胁构筑物的安全。

正常雨水的 pH 值为 5.6,主要原因是雨水溶解了大气中的二氧化碳。但如果 pH 值小于 5.6 就会对生物造成影响,对建筑物的影响主要是大理石类建筑和雕刻品。大理石主要矿物成分是碳酸钙,在硫酸根作用下生成石膏,造成建筑物表面粉化。酸雨中的硫酸根还会对混凝土中的石灰石骨料和水泥凝胶造成腐蚀。

(2) 室内环境。室内空气质量是评价家居环境的重要指标,直接影响居住者的身体健康。室内通常受到物理、化学、生物三方面的污染。现在人们最关心的是化学污染。室内甲醛浓度为 0.1mg/m³ 时有异味和不舒适感,刺激眼睛流泪;浓度高于 0.1mg/m³ 时引起咽喉不适、恶心、呕吐、咳嗽和肺气肿;达到 30mg/m³ 时能致人死亡。室内主要污染物是甲醛、苯类、总挥发性有机化合物 (TVOC)、氨、放射性物质 [镭 (Ra)、钍 (Th)、钾 (K) 三种放射性元素在衰变中产生的放射性物质,如可衰变物质含量过大即比活度过高就会对人体产生危害。氡是自然界唯一的天然放射性气体,它作用于人体很快衰变成人体能吸收的核素,诱发肺癌]、颗粒物 (粒径大于 10μm 的称降尘;小于 10μm 的称飘尘,也称可吸入颗粒物;粒径为 0.25~10μm 的又称云尘;小于 0.25μm 的称浮尘) 和重金属 (铅、铬、镉、汞)。室内空气污染程度取决于所用建筑材料中有害物质的含量和散发特性。材料的散

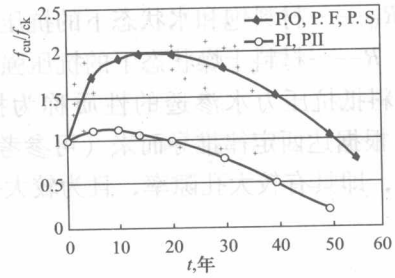


图 0-4 中碱性土壤中混凝土受腐蚀历时

f_{cu} —混凝土相应年限实测混凝土强度;

f_{ck} —混凝土设计强度;

◆, ○—计算值; +—试验值