

土木

TUMU

GONGCHENG CAILIAO SHIYONG JISHU SHOUC

# 工程材料 实用技术手册

陈宝璠 编著

中国建筑工业出版社

# 土木工程材料实用技术手册

陈宝璠 编著

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程材料实用技术手册/陈宝璠编著. —北京:  
中国建筑工业出版社, 2011. 8  
ISBN 978-7-112-13254-6

I. ①土… II. ①陈… III. ①土木工程-建筑材料-  
技术手册 IV. ①TU5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 096902 号

本书是以土木工程材料现行国家最新标准、规范、工艺和新技术推广等内容为依据, 以土木工程材料的组成、性能和性能检测为重点编写而成的。全书内容包括两大部分, 共 22 章, 旨在提高广大从事土木工程的工程技术人员解决工程实际问题的能力和高等院校土木工程专业各专业方向教师的教学科研能力。

本书内容翔实, 实用性强, 技术先进, 使用方便, 可作为质监部门、建设部门、监理部门以及从事土木工程行业的工程技术人员、管理人员和施工人员的工具书和自学读本, 以及相关资格考试的理想参考书; 也可作为高等院校土木工程专业各专业方向的教材和理想参考书; 还可作为独立学院或有关土木工程培训部门培养应用型人才或培训应用型技术人员的教材和参考书。

\* \* \*

责任编辑: 张文胜 姚荣华

责任设计: 张 虹

责任校对: 肖 剑 王雪竹

## 土木工程材料实用技术手册

陈宝璠 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京画中画印刷有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 38 $\frac{1}{4}$  字数: 950 千字

2011 年 8 月第一版 2011 年 8 月第一次印刷

定价: 115.00 元

ISBN 978-7-112-13254-6

(20687)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 前 言

土木工程材料是土木工程的物质基础，其涉及面广，包括无机非金属材料、金属材料 and 有机高分子材料等，品种繁多，性能各异，检测要求严格，工程实践性强。编著者结合近几年土木工程中的“四新”技术和土木工程材料在具体工程项目的实际应用，依据国家已颁布的现行各项标准、规范和操作规程，围绕土木工程材料“组成→性能→检测”，编写了《土木工程材料实用技术手册》，旨在提高广大从事土木工程的工程技术人员和高等院校土木工程专业各专业方向的学生解决工程实际问题的能力。

本书共两大部分共 22 章，在编写过程中，力求体现土木工程的新技术、新标准和新规范，同时将理论与实践相联系，突出实用性，适用面广。可作为广大土木工程设计、施工、科研、工程管理、监理等单位的实用技术参考书；也可作为土木工程技术、工程监理、工程造价、工程管理等相关专业的教学用书和参考用书。

本书由陈宝璠编著。在编写过程中，承蒙教授、博士林松柏同志的大力支持和指导，也承蒙蔡振元、蔡小娟、陈璇祺、朱海平、陈玉庆、李志彬、戴汉良、陈乙江、陈金聪、庄碧蓉、李云龙、吴良友、陈卫华、连顺金、李晓耕、蔡益兴、陈青青、庄占龙、陈远宏、杨白菡、柯爱茹、郭华良和欧阳娜等同志的大力帮助，在此深表谢忱！

由于土木工程的新材料、新技术、新设备、新工艺的不断涌现，各行业的技术标准不统一，加之笔者水平有限，不妥与疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

陈宝璠  
2011 年 5 月

# 目 录

## 第 1 部分 基础知识篇

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>第 1 章 绪论</b> .....          | 3   |
| 1.1 土木工程材料的分类 .....            | 3   |
| 1.2 土木工程材料的标准化 .....           | 3   |
| 1.3 土木工程材料的发展趋势 .....          | 4   |
| <b>第 2 章 土木工程材料的基本性质</b> ..... | 7   |
| 2.1 材料的组成和结构以及构造 .....         | 7   |
| 2.2 土木工程材料的物理性质.....           | 11  |
| 2.3 土木工程材料与水有关的性质.....         | 13  |
| 2.4 土木工程材料的热工性质.....           | 17  |
| 2.5 土木工程材料的声学 and 光学性质.....    | 19  |
| 2.6 土木工程材料的力学性质.....           | 20  |
| 2.7 土木工程材料的装饰性.....            | 24  |
| 2.8 土木工程材料的耐久性.....            | 25  |
| <b>第 3 章 砂石材料</b> .....        | 27  |
| 3.1 岩石的组成与分类.....              | 27  |
| 3.2 岩石的主要技术性质.....             | 30  |
| 3.3 集料的技术性质和技术标准.....          | 37  |
| 3.4 工业废渣.....                  | 43  |
| 3.5 矿质混合料.....                 | 46  |
| <b>第 4 章 砌筑材料</b> .....        | 54  |
| 4.1 砌墙砖.....                   | 54  |
| 4.2 砌块.....                    | 62  |
| <b>第 5 章 无机胶凝材料</b> .....      | 70  |
| 5.1 石膏.....                    | 70  |
| 5.2 石灰.....                    | 73  |
| 5.3 水玻璃.....                   | 78  |
| 5.4 菱苦土.....                   | 79  |
| 5.5 水泥.....                    | 81  |
| <b>第 6 章 水泥混凝土和砂浆</b> .....    | 100 |
| 6.1 概述 .....                   | 100 |

|             |                       |            |
|-------------|-----------------------|------------|
| 6.2         | 水泥混凝土的组成材料 .....      | 103        |
| 6.3         | 水泥混凝土主要技术性能 .....     | 123        |
| 6.4         | 水泥混凝土的质量控制与强度评定 ..... | 142        |
| 6.5         | 水泥混凝土配合比设计 .....      | 146        |
| 6.6         | 路面水泥混凝土 .....         | 154        |
| 6.7         | 其他功能混凝土 .....         | 163        |
| 6.8         | 建筑砂浆 .....            | 168        |
| <b>第7章</b>  | <b>钢材</b> .....       | <b>177</b> |
| 7.1         | 概述 .....              | 177        |
| 7.2         | 土木工程用钢材的主要技术性能 .....  | 179        |
| 7.3         | 钢材的化学成分对钢材性能的影响 ..... | 184        |
| 7.4         | 钢材的冷加工及热加工 .....      | 185        |
| 7.5         | 钢材的标准和选用 .....        | 187        |
| 7.6         | 钢材的腐蚀与防护 .....        | 199        |
| <b>第8章</b>  | <b>沥青材料</b> .....     | <b>202</b> |
| 8.1         | 石油沥青 .....            | 202        |
| 8.2         | 煤沥青 .....             | 214        |
| 8.3         | 乳化沥青 .....            | 216        |
| 8.4         | 改性沥青 .....            | 221        |
| <b>第9章</b>  | <b>沥青混合料</b> .....    | <b>225</b> |
| 9.1         | 概述 .....              | 225        |
| 9.2         | 沥青混合料的组成材料 .....      | 228        |
| 9.3         | 沥青混合料的结构与强度理论 .....   | 233        |
| 9.4         | 沥青混合料的技术性质和技术要求 ..... | 238        |
| 9.5         | 沥青混合料的配合比设计 .....     | 244        |
| <b>第10章</b> | <b>合成高分子材料</b> .....  | <b>252</b> |
| 10.1        | 高分子材料的基本知识 .....      | 252        |
| 10.2        | 常用建筑高分子材料 .....       | 254        |
| 10.3        | 高分子材料在土木工程中的应用 .....  | 258        |
| <b>第11章</b> | <b>建筑功能材料</b> .....   | <b>276</b> |
| 11.1        | 建筑装饰材料 .....          | 276        |
| 11.2        | 保温隔热材料 .....          | 285        |
| 11.3        | 吸声材料 .....            | 287        |

## 第2部分 性能检测篇

|             |                           |            |
|-------------|---------------------------|------------|
| <b>第12章</b> | <b>土木工程材料性能检测基础</b> ..... | <b>293</b> |
| 12.1        | 土木工程材料检测试验室的组成与设备布置 ..... | 293        |
| 12.2        | 检测试验室管理要求 .....           | 296        |

|             |                               |            |
|-------------|-------------------------------|------------|
| 12.3        | 土木工程材料的技术标准·····              | 297        |
| 12.4        | 土木工程材料检测基本技能·····             | 298        |
| 12.5        | 检测数据统计分析与处理·····              | 302        |
| 12.6        | 国家法定计量单位·····                 | 307        |
| <b>第13章</b> | <b>土木工程材料基本性质检测</b> ·····     | <b>312</b> |
| 13.1        | 土木工程材料基本性质检测的基本规定·····        | 312        |
| 13.2        | 土木工程材料（粗集料）密度及吸水率检测（网篮法）····· | 313        |
| 13.3        | 土木工程材料（粗集料）堆积密度及空隙率检测·····    | 318        |
| <b>第14章</b> | <b>砂石材料性能检测</b> ·····         | <b>321</b> |
| 14.1        | 砂石材料性能检测的基本规定·····            | 321        |
| 14.2        | 石料的磨耗和强度性能检测·····             | 323        |
| 14.3        | 天然饰面石材的外观性能检测·····            | 330        |
| 14.4        | 天然饰面石材的物理、力学性能检测·····         | 335        |
| 14.5        | 水泥混凝土用砂的性能检测·····             | 341        |
| 14.6        | 水泥混凝土用的碎（卵）石的性能检测·····        | 349        |
| <b>第15章</b> | <b>砌筑材料性能检测</b> ·····         | <b>356</b> |
| 15.1        | 砌筑材料检测的基本规定·····              | 356        |
| 15.2        | 砌墙砖性能检测·····                  | 357        |
| 15.3        | 混凝土小型空心砌块性能检测·····            | 369        |
| 15.4        | 加气混凝土砌块性能检测·····              | 372        |
| <b>第16章</b> | <b>无机胶凝材料性能检测</b> ·····       | <b>375</b> |
| 16.1        | 无机胶凝材料性能检测的基本规定·····          | 375        |
| 16.2        | 石灰性能检测·····                   | 376        |
| 16.3        | 水泥密度检测·····                   | 382        |
| 16.4        | 水泥比表面积检测·····                 | 384        |
| 16.5        | 水泥细度检测·····                   | 388        |
| 16.6        | 水泥标准稠度用水量、凝结时间和安定性检测·····     | 393        |
| 16.7        | 水泥胶砂强度检测（ISO法）·····           | 400        |
| 16.8        | 水泥强度的快速检测·····                | 406        |
| 16.9        | 水泥胶砂流动度检测·····                | 408        |
| <b>第17章</b> | <b>水泥混凝土及砂浆性能检测</b> ·····     | <b>411</b> |
| 17.1        | 水泥混凝土及砂浆性能检测的基本规定·····        | 411        |
| 17.2        | 水泥混凝土拌合物性能检测·····             | 413        |
| 17.3        | 水泥混凝土物理力学性能检测·····            | 424        |
| 17.4        | 水泥混凝土耐久性能检测·····              | 435        |
| 17.5        | 建筑砂浆性能检测·····                 | 446        |
| <b>第18章</b> | <b>钢材性能检测</b> ·····           | <b>459</b> |
| 18.1        | 钢材性能检测的基本规定·····              | 459        |
| 18.2        | 钢筋的力学、机械性能检测·····             | 461        |

---

|               |                    |     |
|---------------|--------------------|-----|
| 18.3          | 钢筋连接件性能检测          | 467 |
| <b>第 19 章</b> | <b>沥青胶结料性能检测</b>   | 469 |
| 19.1          | 沥青胶结料性能检测的基本规定     | 469 |
| 19.2          | 沥青及沥青胶结料性能检测       | 470 |
| 19.3          | 防水卷材性能检测           | 479 |
| <b>第 20 章</b> | <b>沥青混合料性能检测</b>   | 496 |
| 20.1          | 沥青混合料性能检测的基本规定     | 496 |
| 20.2          | 沥青混合料性能检测          | 497 |
| <b>第 21 章</b> | <b>合成高分子材料性能检测</b> | 503 |
| 21.1          | 合成高分子材料性能检测的基本规定   | 503 |
| 21.2          | 建筑塑料管材、管件性能检测      | 505 |
| 21.3          | 防水涂料性能检测           | 517 |
| 21.4          | 建筑密封材料性能检测         | 525 |
| 21.5          | 建筑涂料性能检测           | 538 |
| <b>第 22 章</b> | <b>建筑功能材料性能检测</b>  | 545 |
| 22.1          | 建筑功能材料性能检测的基本规定    | 545 |
| 22.2          | 建筑饰面陶瓷性能检测         | 549 |
| 22.3          | 建筑饰面玻璃性能检测         | 572 |
| 22.4          | 建筑用轻钢龙骨检测          | 584 |
| 22.5          | 建筑外门窗性能检测          | 591 |
| <b>参考文献</b>   |                    | 604 |

# 第 1 部分 基础知识篇



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 土木工程材料的分类

土木工程材料是土木工程结构物所用材料的总称，它包括地基基础、梁、板、柱、墙体、屋面、道路、桥梁、水坝和码头等所用到的各种材料。土木工程材料种类繁多，性能差别悬殊，使用量很大，正确选择和使用工程材料，不仅与构筑物的坚固、耐久和适用性有密切关系，而且直接影响到工程造价（因为材料费用一般要占工程总造价的 50%~60%）。因此，在选材时应充分考虑材料的技术性能和经济性，在使用中加强对材料的科学管理，无疑会对提高工程质量和降低工程造价起重要作用。

土木工程材料按一定的原则有各种不同的分类方法。根据材料来源，可分为天然材料和人工材料；根据材料在土木工程结构物中的使用部位，可分为饰面材料、承重材料、屋面材料、墙体材料和地面材料等；根据材料在土木工程中的功能又可分为承重结构材料和非承重结构材料、功能（防水、装饰、防火、声、光、电、热、磁等）材料等。

目前，土木工程材料最基本的分类方法是根据组成物质的种类和化学成分分类，可分为无机材料、有机材料和复合材料，各大类中又可细分，见表 1-1。

土木工程材料分类 表 1-1

|          |      |           |                            |
|----------|------|-----------|----------------------------|
| 土木工程材料分类 | 无机材料 | 金属材料      | 黑色金属:钢、铁                   |
|          |      |           | 有色金属:铝、铜等及其合金              |
|          |      | 非金属材料     | 天然石材:砂石及各种石材制品             |
|          |      |           | 烧土及熔融制品:陶瓷、玻璃等             |
|          |      |           | 胶凝材料:石膏、石灰、水泥、水玻璃等         |
|          |      |           | 混凝土及硅酸盐制品:水泥混凝土、砂浆及各种硅酸盐制品 |
|          | 有机材料 | 植物质材料     | 木材、竹材等                     |
|          |      | 沥青材料      | 石油沥青、煤沥青、沥青制品              |
|          |      | 高分子材料     | 塑料、涂料、胶粘剂                  |
|          | 复合材料 | 无机材料基复合材料 | 水泥刨花板、混凝土、砂浆、纤维混凝土         |
|          |      | 有机材料基复合材料 | 沥青混凝土、玻璃纤维增强塑料(玻璃钢)        |

## 1.2 土木工程材料的标准化

土木工程中使用的各种材料及其制品，应具有满足使用功能和所处环境要求的某些性能，而材料及其制品的性能或质量指标必须用科学方法所测得的确切数据来表示。为使测

得的数据能在有关研究、设计、生产、应用等各部门得到承认，有关测试方法和条件、产品质量评价标准等均由专门机构制定并颁发“技术标准”，并对包括产品规格、分类、技术要求、验收规则、代号与标志、运输与储存及抽样等做出详尽明确的规定作为共同遵循的依据。土木工程材料的技术标准是产品质量的技术依据。

技术标准，按照其适用范围，可分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准等。

国家标准，是指对全国经济、技术发展有重大意义，必须在全国范围内统一的标准，简称“国标”。国家标准由国务院有关主管部门（或专业标准化技术委员会）提出草案、报国家标准化管理委员会审批和发布。

行业标准，也是专业产品的技术标准，主要是指全国性各专业范围内统一的标准，简称“行标”。这种标准由国务院所属各部和总局组织制定、审批和发布，并报送国家标准化管理委员会备案。

企业标准，凡没有制定国家标准、行业标准的产品或工程，都要制定企业标准。这种标准是指仅限于企业范围内适用的技术标准，简称“企标”。为了不断提高产品或工程质量，企业可以制订比国家标准或行业标准更先进的产品质量标准。现将国家及部分行业标准代号列于表 1-2 中。

| 国家及部分行业标准代号 |      | 表 1-2  |      |
|-------------|------|--------|------|
| 标准名称        | 代 号  | 标准名称   | 代 号  |
| 国家标准        | GB   | 交通行业   | JT   |
| 建材行业        | JC   | 冶金行业   | YB   |
| 建工行业        | JG   | 石化行业   | SH   |
| 铁道部         | TB   | 林业行业   | LY   |
| 中国工程建设标准化协会 | CECS | 中国土木协会 | CCES |

随着国家经济技术的迅速发展和对外技术交流的增加，我国还引入了不少国际和外国技术标准，现将常见的标准列于表 1-3 中，以供参考。

| 国际组织及几个主要国家标准 |       | 表 1-3   |     |
|---------------|-------|---------|-----|
| 标准名称          | 代 号   | 标准名称    | 代 号 |
| 国际标准          | ISO   | 德国工业标准  | DIN |
| 国际材料与结构试验研究协会 | RILEM | 韩国国家标准  | KS  |
| 美国材料试验协会标准    | ASTM  | 日本工业标准  | JIS |
| 英国标准          | BS    | 加拿大标准协会 | CSA |
| 法国标准          | NF    | 瑞典标准    | SIS |

1.3 土木工程材料的发展趋势

1.3.1 土木工程材料的发展阶段

土木工程材料的生产和使用是随着社会生产力的发展和科学技术水平的提高而逐步发展起来的。根据建筑物或构筑物所用的结构材料，大致分为三个阶段：

1. 天然材料

远古时代人类只能依赖大自然的恩赐，“巢处穴居”。随着社会生产力的发展，人类进入石器、铁器时代，利用简单的生产工具能够挖土、凿石为洞，伐木搭竹为棚，从巢处穴

居进入了稍经加工的土、石、木、竹构成的棚屋，为简单地利用材料迈出了可喜的一步。

## 2. 烧土制品

以后人类学会用黏土烧制砖、瓦，用岩石烧制石灰、石膏。与此同时，木材的加工技术和金属的冶炼与应用，也有了相应的发展。此时，材料的利用才由天然材料进入到人工生产阶段，居住条件有了新的改善，砖石、砖木混合结构成了这一时期的主要特征。以后，人类社会进入漫长的封建社会阶段，生产力发展缓慢，工程材料的发展也缓慢，长期停留在“秦砖汉瓦”的水平上。人类社会活动范围的扩大、工商业的发展和资本主义的兴起，城市规模的扩大和交通运输的日益发达，都需要建造更多、更大、更好以及具有某些特殊性能的建筑物和附属设施，以满足生产、生活和工业等方面的需要。例如，大型公共建筑、大跨度的工业厂房、海港码头、铁路、公路、桥梁以及给水排水、水库电站等工程。

## 3. 钢筋混凝土

显然，原有的工程材料在数量、质量和性能方面均不能满足上述的新要求。供求矛盾推动工程材料的发展进入了新的阶段。水泥、混凝土的出现，钢铁工业的发展，钢结构、钢筋混凝土结构也就应运而生。这是 18 世纪、19 世纪结构和材料的主要特征。进入 20 世纪以后，随着社会生产力的更大发展和科学技术水平的迅速提高，以及材料科学的形成和发展，工程材料的品种增加、性能改善、质量提高，一些具有特殊功能的材料也相继发展了。在工业建筑上，根据生产工艺、质量要求和耐久性的需要，研制和生产了各种耐热、耐磨、抗腐蚀、抗渗透、防爆或防辐射材料；在民用建筑上，为了室内温度的稳定并尽量节约能源，制造了多种有机和无机的保温绝热材料；为了减少室内噪声并改善建筑物的音质，也制成了相应的吸声、隔声材料。

随着社会的进步、环境保护和节能降耗的需要，对土木工程材料提出了更高、更多的要求。因而，今后一段时间内，土木工程材料将向以下几个方向发展。

### 1.3.2 土木工程材料的发展方向

#### 1. 轻质高强

现今钢筋混凝土结构材料自重大，限制了建筑物向高层、大跨度方向进一步发展。通过减轻材料自重，以尽量减轻结构物自重，可提高经济效益。目前，世界各国都在大力发展高强混凝土、加气混凝土、轻集料混凝土、空心砖、石膏板等材料，以适应土木工程发展的需要。

#### 2. 节约能源

土木工程材料的生产能耗和建筑物使用能耗，在国家总能耗中一般占 20%~35%。研制和生产低能耗的新型节能釉面工程材料，是构建节约型社会的需要。

#### 3. 利用废渣

充分利用工业废渣、生活废渣、建筑垃圾生产土木工程材料，将各种废渣尽可能资源化，以保护环境、节约自然资源，使人类社会可持续发展。

#### 4. 智能化

所谓智能化材料，是指材料本身具有自我诊断和预告破坏、自我修复的功能，以及可重复利用性。土木工程材料向智能化方向发展，是人类社会向智能化社会发展过程中降低成本的需要。

### 5. 多功能化

利用复合技术生产多功能材料、特殊性材料及高性能材料，这对提高建筑物的使用功能、经济性及加快施工速度等有着十分重要的作用。

### 6. 绿色化

产品的设计是以改善生产环境，提高生活质量为宗旨，产品具有多功能，不仅无损而且有益于人的健康；产品可循环或回收再利用，或形成无污染环境的废弃物。因此，生产材料所用的原料尽可能少用天然资源，大量使用废渣、垃圾、废液等废弃物；采用低能耗制造工艺和对环境无污染的生产技术；生产配制和生产过程中，不使用对人体和环境有害的污染物质。

## 第 2 章 土木工程材料的基本性质

一切土木工程都是由土木工程材料组成的，不同的土木工程材料在土木工程中起着不同的作用。例如，用于桥梁的材料主要受到各种外力的作用；结构材料除了承受结构物上部荷载的作用外，还可能受到地下水及冰冻的作用；道路工程材料经常受到风吹、日晒、雨淋、紫外线照射等大气因素的作用；地面、机场跑道和路面遭受磨损作用；有些土木工程项目还受到光、热的影响；某些土木工程如给水排水、管道工程等还可能受到酸、碱、盐等介质的侵蚀作用等。为了保证土木工程的使用功能、安全性和耐久性，土木工程材料应具有抵御上述各种作用的性质。这些性质是多种多样的，又是互相影响的，归纳起来包括材料的物理性质、力学性质、热工性质、声学性质、光学性质和耐久性质等。

掌握土木工程材料的基本性质是掌握土木工程材料知识、正确选择与合理使用土木工程材料的基础。

### 2.1 材料的组成和结构以及构造

土木工程材料的各种性质与其化学组成成分、组织结构和构造等内部因素有密切的关系。为了保证结构物的质量，必须正确选择和使用土木工程材料，为此就要了解和掌握土木工程材料的基本性质及其与材料组成、结构和构造的关系。

#### 2.1.1 材料的组成

材料的组成为化学组成与矿物组成。前者是通过化学分析获得的，表明组成材料的化学成分及其含量；后者是通过测试手段获得的，表明材料所含矿物的种类和含量。

##### 1. 化学组成

材料的化学组成是决定化学性质（耐蚀、燃烧等）、物理性质（耐水、耐热等）和力学性质的重要因素。不同的化学成分构成了不同的材料，因而也表现出不同的性质。例如，木材轻质高强，但易于燃烧和腐朽；钢材密度较大，强度较高，但易于锈蚀；砖、石材料，抗压强度较高，但抗拉和抗弯强度较低，且容易遭受侵蚀等。所有这些特点说明材料的化学组成是决定材料化学性质、物理性质和力学性质的主要因素之一。

##### 2. 矿物组成

化学组成不同，其材料性质不同；化学组成相同的材料，也可以表现出不同的性质，这是由于其矿物组成不同的缘故。这类材料矿物组成是影响性能的主要因素。如天然石料，由于其矿物组成不同，所以构成了不同的岩石品种。各种水泥也因其具有不同的熟料矿物组成而表现出不同的性能。

#### 2.1.2 材料的结构和构造

材料的性能除与其组成成分有关外，还与其组织结构有着密切关系。因此，研究材料的结构和构造以及它们与性能的关系，无疑是材料科学的主要任务之一。

从广义上说,结构与构造是指从原子结构到肉眼能观察到的宏观结构各个层次的构造状态的通称。影响材料性能的结构层次及类别是十分丰富及多样的,大体上可以分为宏观结构、亚微观结构和微观结构三个层次。

### 1. 宏观结构

宏观结构又称粗通结构。材料的宏观结构通常是指用肉眼或低倍放大镜能够分辨的粗大组织,其尺寸在  $10^{-3}\text{m}$  以上,是比毫米级还大的尺寸范围内的结构状况。

土木工程材料的宏观结构,按其孔隙尺度可分为以下几种:

#### (1) 致密结构

致密结构是指在外观上和结构上都是致密而无孔隙存在(或孔隙极少)的结构,在使用时均为单一的板材、方料、棒材和其他各种形状的材料,如金属材料、致密岩石和玻璃等。

#### (2) 多孔结构

多孔结构是指在材料中存在均匀分布的孤立或适当连通的粗大孔隙,如加气混凝土、泡沫混凝土及泡沫塑料等。

#### (3) 微孔结构

微孔结构是指在材料中存在均匀分布的微孔隙。某些材料在生产时,由于掺入可燃性物质或增加拌合用水量,在生产过程中水分蒸发或可燃性物质燃烧后都可形成微孔结构。如石膏制品、黏土砖瓦等均为微孔结构。

土木工程材料的宏观结构,按构成形态可分为以下几种:

#### (1) 复合聚集结构

复合聚集结构是指由集料和胶凝材料结合而成的结构,按照需要还可以用纤维等材料加以补强。水泥混凝土、砂浆、沥青混凝土、石棉水泥制品以及烧土制品等均属此类。

#### (2) 纤维结构

纤维结构是指植物纤维、矿物棉和人工纤维(主要是玻璃纤维)等纤维材料所具有的结构。纤维结构的性质既受纤维的成分、性质(无机、有机、天然、人工)的影响,也根据纤维配置情况及密实度等而变化。如平行纤维方向与垂直纤维方向的强度与导热性就有明显的差异。使用时可以制成毯子、垫子、纺织品以及各种纤维板等。

#### (3) 层状结构

层状结构是将材料叠合成层状,以粘结或其他方法结合成为整体的结构,使具有层状结构的材料获得了单一材料不能得到的性质,如胶合板、纸面石膏板、层状填料塑料板等。

#### (4) 散粒结构

散粒结构是指松散颗粒状结构,如砂子、卵石、碎石和珍珠岩等。

### 2. 亚微观结构

亚微观结构又称显微结构,一般是指用光学显微镜所能观察到的结构,其尺寸范围为  $10^{-3}\sim 10^{-6}\text{m}$ 。在此结构范围内可以充分显示出天然岩石的矿物组织、金属材料的晶粒大小与金相组织、木材的纤维、导管、髓线等显微组织,也可显示出水泥混凝土的孔隙与裂缝等。

### 3. 微观结构

微观结构又称微细结构,是指材料的原子和分子结构,其尺寸范围为  $10^{-6} \sim 10^{-10}\text{m}$ 。微观结构是由原子的种类及其排列状态决定的。近年来,由于电子显微镜、扫描电子显微镜以及 X 射线衍射仪的出现和使用,对材料的微观结构已能进行观察与研究。

通常所谓材料的内部结构是指亚微观和微观两级结构。不同层次的结构在不同深度和不同方面影响着材料的宏观物理、力学性质,如强度、硬度、熔点、导热性等都受到材料内部结构的制约。

在微观结构中,材料可分为晶体、玻璃体和胶体。

### (1) 晶体

质点(离子、原子、分子)在空间上按特定的规则呈周期性排列所形成的结构称为晶体结构,如图 2-1 所示。晶体具有如下特点:

- 1) 特定的几何外形。这是晶体内部质点按特定规则排列的外部表现。
- 2) 各向异性。这是晶体的结构特征在性能上的反映。
- 3) 固定的熔点和化学稳定性。这是由晶体键能和质点所处最低的能量状态所决定的。
- 4) 结晶接触点和晶面是晶体破坏或变形的薄弱部分。

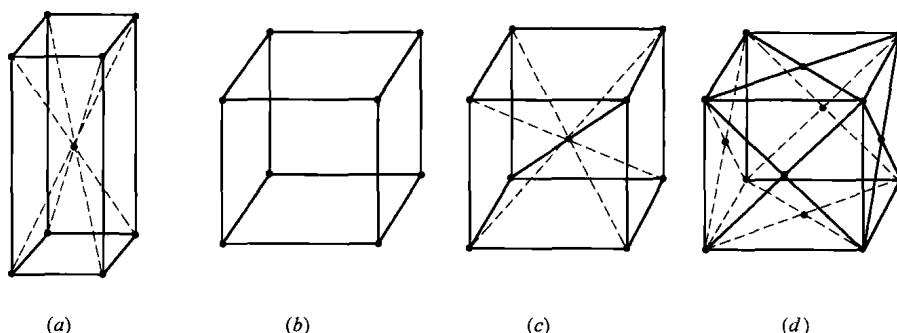


图 2-1 晶体几何外形示意图

(a) 体心四方; (b) 简单立方; (c) 体心立方; (d) 面心立方

根据组成晶体的质点及化学键的不同,晶体可分为:

- ① 原子晶体,中性原子以共价键而结合成的晶体,如  $\text{SiO}_2$  等;
- ② 离子晶体,正、负离子以离子键而结合成的晶体,如  $\text{CaCl}_2$  等;
- ③ 分子晶体,以分子间的范德华力即分子键结合而成的晶体,如有机化合物;
- ④ 金属晶体,以金属阳离子为晶格,由自由电子与金属阳离子间的金属键结合而成的晶体,如钢铁材料。

由于各种材料在微观结构上的差异,它们的强度、变形、硬度、熔点、导热性等各不相同。可见,微观结构对材料的物理、力学性质影响巨大。

在复杂的晶体结构中,其键结合的情况也是相当复杂的。在土木工程材料中占有重要地位的硅酸盐类材料,其结构是由硅氧四面体单元  $\text{SiO}_4$  (见图 2-2) 与其他金属离子结合而成,其结构就是由共价键与离子键交互构成的。 $\text{SiO}_4$  四面体可以形成链状结构,如石棉。石棉中纤维与纤维之间的键合力要比链状结构方向上的共价键弱得多,所以容易分散成纤维状。黏土、云母、滑石等则是由  $\text{SiO}_4$  四面体单元互相连接成片状结构,许多片状结构再叠合成层状结构。层与层之间是由范德华力结合的,故其键合力很弱,此种结构容