



# 绪 论

## 【主要内容】

本章主要介绍土木工程材料在工程建设中的重要地位、分类、未来发展趋势及技术标准等。

## 【重点难点】

本章教学重点是土木工程材料的分类及发展趋势、技术标准及表示方法等；难点在于如何使学生充分认识到课程的重要性，并理解土木工程材料在工程建设及土木工程科技发展中的重要作用。

每项建设项目无一例外都是从土木工程基本建设开始的，任何一种建筑物或构筑物，包括房屋、道路、桥梁、隧道、大坝、港口和矿井等土木工程设施，都是用各种材料按照一定要求建成的。通常把土木工程建设中所使用的各种材料及其制品统称为土木工程材料，它既是土木工程建设的物质基础，也是土木工程建设的物质基础与保证，在土木工程建设中具有重要作用。

## 0.1 土木工程材料在工程建设中的地位

土木工程材料是构成土木工程建筑物和构筑物的物质基础，也是土木工程建设的质量保证。土木工程建设是通过建筑、结构、建造和造价工程师的努力与智慧，将土木工程材料进行有机结合而形成各类建（构）筑物的过程。在工程建设中，土木工程材料的生产、选择使用、检验评定以及储存、保管等任何环节的失误都可能造成工程的质量缺陷，甚至导致重大质量事故。

优秀的建筑设计师需要将精美的空间环境艺术与土木工程材料科学合理地结合起来，实现建筑艺术和使用功能的完美统一；结构工程师需根据力学原理准确计算并确定工程构件的形状和尺寸，创造先进的工程结构形式；建造工程师需要按照设计要求对材料进行正确的运输、存储、加工、安装等，建成质量合格的建（构）筑物。土木工程材料种类繁多，用量巨大，合理选择和使用土木工程材料，关系到工程建设的安全、实用、美观和耐久。因此，合格的土木工程技术人员必须熟练掌握土木工程材料的相关知识。

土木工程材料由于用量大，成为工程造价诸多构成因素中的主要因素，材料费用通常在工程总造价中占 50%~60%，直接关系工程建设总造价与成本，影响工程建设的经济性。建筑经济师需要在满足材料各项性能的基础上最大限度地节约和合理使用材料，降低

工程造价和建设投资,这需要合理选择和正确使用土木工程材料,充分利用材料的各种性能,并结合运输、储存及管理过程统筹考虑。因此,为实现工程建设的技术经济性也需要掌握土木工程材料的相关知识。

土木工程技术的发展进步,很大程度上取决于新型土木工程材料的研发与应用以及传统土木工程材料的性能改进与完善,决定了土木建筑工程结构的设计形式和施工技术。土木工程中许多技术问题的突破,往往依赖于土木工程材料问题的解决,新材料的出现,将促使建筑设计、结构设计和施工技术发生革命性的变化。例如,水泥和钢筋的出现,产生了钢筋混凝土结构;轻质高强材料的出现,推动了现代建筑向高层和大跨度方向发展;轻质材料和保温材料的出现,对减轻建筑物的自重、提高建筑物的抗震能力、改善工作与居住环境条件等起到了显著作用,并推动了节能建筑的发展;新型装饰材料的出现,使得建筑物的造型及建筑物的内外装饰焕然一新、生机勃勃。新材料的出现远比通过结构设计、采用先进施工技术等对土木工程的影响大,土木工程归根到底是围绕着土木工程材料来开展的生产活动,是以土木工程材料为基础和核心的。

## 0.2 土木工程材料的分类

广义范畴的土木工程材料是指用于土木工程的所有材料,可包括三部分:①构成建(构)筑物实体的材料,比如水泥、石灰、混凝土、钢材、砖、砌块、石材、沥青及其他装饰材料、功能材料等;②辅助发挥作用的建筑器材,比如给水排水设备、消防设备、网络通信设备材料等;③施工过程中的辅助材料及临时设施,比如脚手架、模板、围墙、板桩等。狭义范畴的土木工程材料是指直接构成土木工程实体的材料,本书内容主要关注狭义范畴的土木工程材料。

土木工程材料种类繁多,可以进行多种分类。按照工程性质,土木工程材料可分为建筑材料、道路桥梁工程材料、岩土工程材料等;按照材料来源,可分为天然材料和人工材料。最为常用的分类方法是根据材料的化学成分和物质组成进行分类,据此可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类(表 0-1)。此外,按照使用功能和工程部位,可分为结构材料、墙体材料和功能材料等(表 0-2)。

表 0-1 土木工程材料分类(按化学成分和物质组成)

| 分 类  |         |          | 材 料 举 例            |
|------|---------|----------|--------------------|
| 无机材料 | 金属材料    | 黑色金属     | 生铁、碳素钢、不锈钢、合金钢等    |
|      |         | 有色金属     | 铜、铝及其合金等           |
|      | 非金属材料   | 天然石材     | 砂、石及石材制品等          |
|      |         | 烧土制品     | 砖、瓦、陶瓷制品等          |
|      |         | 胶凝材料及其制品 | 石灰、石膏及其制品,水泥及混凝土制品 |
|      |         | 玻璃       | 普通平板玻璃、特种玻璃等       |
| 有机材料 | 无机纤维    |          | 玻璃纤维、玄武岩纤维、矿物棉等    |
|      | 植物材料    |          | 木材、竹材、植物纤维及制品等     |
|      | 沥青材料    |          | 石油沥青、煤沥青及沥青制品等     |
|      | 合成高分子材料 |          | 塑料、涂料、胶黏剂、合成橡胶等    |

续表

| 分 类  |                | 材 料 举 例                  |
|------|----------------|--------------------------|
| 复合材料 | 无机非金属与有机材料复合   | 聚合物混凝土、沥青混合料、玻璃钢等        |
|      | 金属材料与无机非金属材料复合 | 钢筋混凝土、钢纤维混凝土、钢管混凝土等      |
|      | 金属材料与有机材料复合    | PVC 钢板、有机涂层铝合金板、轻质金属夹芯板等 |

表 0-2 土木工程材料分类(按使用功能和工程部位)

| 分 类                    | 材 料 举 例                                    |
|------------------------|--------------------------------------------|
| 结构材料(建筑物受力构件和结构所用的材料)  | 水泥、砂、石、普通混凝土、钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土、钢管混凝土、钢、轻钢、铝合金 |
| 墙体材料(建筑物内外墙及隔墙墙体所用的材料) | 砌墙砖、各类砌块、轻质墙板、复合墙板                         |
| 功能材料(发挥某些建筑功能的非承重材料)   | 防水材料、保温隔热材料、吸声隔声材料、装饰装修材料                  |

## 0.3 土木工程材料的发展趋势

土木工程材料是随着社会生产力和科学技术水平的发展而发展的,根据建筑物所用的结构材料,大致经历了天然材料、烧土制品和钢筋混凝土三个发展阶段。随着科学技术的进步和土木工程发展的需要,一大批新型土木工程材料应运而生,出现了塑料、涂料、新型建筑陶瓷与玻璃、新型复合材料(如纤维增强材料、夹层材料)等。

有限的地球物质资源和人类持续发展的需求,对土木工程材料提出了更高、更多的要求,以适应建筑工业化、环境保护和多功能化等需求。今后一段时间内,土木工程材料将向以下几个方向发展。

### 1. 轻质高强

发展轻质高强材料,以减轻建筑物自重,可突破自重对结构高度和宽度的限制;也可降低材料用量、运费和劳动强度,提高经济效益。当前世界各国都在大力发展高强混凝土、加气混凝土、轻骨料混凝土、空心砖、石膏板等材料,以满足土木工程发展的需要。

### 2. 多功能化

发展多功能材料,使材料具有两种或两种以上的功能,可以在节约材料的同时实现多种功能;也可减少材料用量,简化构造层次和施工工艺。当前可以利用复合技术生产多功能材料、特殊性能材料及高性能材料,提高建筑物的使用功能和经济性。

### 3. 智能化

所谓智能化材料,是指模仿生命系统,具有自感知、自反馈、自调节、自诊断或自修复能力的功能材料。智能化材料具有传统材料无法比拟的优越性,已逐渐成为全球研究和开发的热点。当前已有的自调光玻璃、自愈合混凝土、相变储能建筑材料等都已具备智能化的特点,智能化建筑材料、智能化建筑逐渐成为现代建筑的主要趋势。

#### 4. 绿色化

土木工程材料的绿色化,又可称为生态化,是为了减少环境污染、节约资源、维护生态平衡,生产节能型、环保型和保健型的土木工程材料,即通常所谓的绿色建筑材料。

绿色建筑材料是指采用清洁生产技术,不用或少用天然资源和能源,大量使用工农业或城市固态废物生产的无毒害、无污染、无放射性,达到使用周期后可回收利用,有利于环境保护和人体健康的建筑材料。绿色建筑材料的界定不能仅限于某个阶段,而必须采用涉及多因素、多属性和多维度的系统方法,必须综合考虑建筑材料的生命周期全过程各个阶段。

#### 5. 工业规模化

为适应社会经济现代化和土木工程建设的發展,土木工程材料的生产应实现工业化和规模化,这样便于降低成本、控制质量、实现机械化施工。土木工程材料的工业规模化可通过生产标准化、大型化、商品化等途径实现。

### 0.4 土木工程材料的技术标准

土木工程材料技术标准是有关材料研究、生产、使用和管理等部门应该共同遵循的工作依据。目前我国绝大多数土木工程材料都有相应的技术标准(有产品标准和实验标准之分),对其产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、运输与储存等进行了明确规定。目前我国的技术标准包括国家标准、行业标准、地方标准和团体标准、企业标准。

国家标准由国家标准化管理委员会会同国务院有关行政主管部门发布,是全国性技术文件,包括强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(代号 GB/T)。强制性标准为全国必须执行的技术文件,产品相关技术指标应当符合标准规定;国家鼓励采用推荐性标准。

行业标准是为了规范本行业产品质量而制定的技术标准,也是全国性技术指导文件,一般由国务院有关行政主管部门制定,比如建工行业标准(代号 JG、JGJ)、建材行业标准(代号 JC)、交通行业标准(代号 JT、JTJ、JTG)、水利行业标准(代号 SL)等。

地方标准(代号 DB)是地方主管部门发布的地方性技术指导文件,由省、自治区、直辖市人民政府标准化行政主管部门制定,仅适用于本地区。

团体标准是学会、协会、商会、联合会、产业技术联盟等社会团体协调相关市场主体共同制定的满足市场和创新需要的标准,由本团体成员约定采用或者按照本团体的规定供社会自愿采用。

企业标准是由企业制定发布的指导本企业生产的技术文件,仅适用于本企业。没有制定国家标准和行业标准的產品,均应制定企业标准。

推荐性国家标准、行业标准、地方标准、团体标准、企业标准的技术要求不得低于强制性国家标准的相关技术要求。

必须指出,工程中使用的土木工程材料除必须满足产品标准外,有时还必须满足有关设计规范、施工及验收规范或规程等的规定。这些规范或规程对土木工程材料的选择、使用、质量要求及验收等还有专门的规定(其中有些规范或规程的规定与土木工程材料产品标准的要求相同)。无论是国家标准还是部门行业标准,都是全国通用标准,推荐性国家标准、行业标准是非指令性文件,不应强制执行。对于强制性标准,在学习时应注意黑体字标志的条

文为强制性条文。

世界各国政府及非政府组织非常重视土木工程材料的标准化,制定了各自的标准。随着涉外土建工程及国际合作项目的逐渐增多,工程技术人员和土建类大学生也应对国内外的有关技术标准有所了解,如国际标准化组织制定的国际通用标准(ISO)、美国材料与试验协会标准(ASTM)、德国标准(DIN)、英国标准(BS)、日本工业标准(JIS)和法国标准(NF)等。

技术标准的表示方法由标准名称、部门代号、编号和批准年份四部分组成。例如,《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2023),部门代号为 GB(表明是国家标准),编号为 175,批准年份为 2023 年,属于强制性标准。我国常用的土木工程材料标准和检验标准见表 0-3。

表 0-3 常用土木工程材料标准和检验标准(现行)

| 标准名称                     | 标准号             | 标准名称                    | 标准号             |
|--------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| 《建筑生石灰》                  | JC/T 479—2013   | 《弹性体/塑性体改性沥青防水卷材》       | GB/T 18242—2025 |
| 《建筑消石灰》                  | JC/T 481—2013   | 《铝箔面石油沥青防水卷材》           | JC/T 504—2007   |
| 《天然石膏》                   | GB/T 5483—2024  | 《聚氯乙烯(PVC)防水卷材》         | GB 12952—2011   |
| 《建筑石膏》                   | GB/T 9776—2022  | 《石油沥青玻璃纤维胎防水卷材》         | GB/T 14686—2008 |
| 《通用硅酸盐水泥》                | GB 175—2023     | 《硅酮和改性硅酮建筑密封胶》          | GB/T 14683—2017 |
| 《水泥标准稠度用水量、凝结时间与安定性检验方法》 | GB/T 1346—2024  | 《建筑设计防火规范》(2018年版)      | GB 50016—2014   |
| 《水泥压蒸安定性试验方法》            | GB/T 750—2024   | 《建筑材料及制品燃烧性能分级》         | GB 8624—2012    |
| 《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》       | GB/T 17671—2021 | 《碳素结构钢》                 | GB/T 700—2006   |
| 《水泥胶砂流动度测定方法》            | GB/T 2419—2005  | 《低合金高强度结构钢》             | GB/T 1591—2018  |
| 《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》        | GB/T 200—2017   | 《优质碳素结构钢》               | GB/T 699—2015   |
| 《铝酸盐水泥》                  | GB/T 201—2015   | 《金属材料 洛氏硬度试验 第1部分:试验方法》 | GB/T 230.1—2018 |
| 《硫铝酸盐水泥》                 | GB/T 20472—2006 | 《钢筋混凝土用钢 第1部分:热轧光圆钢筋》   | GB 1499.1—2024  |
| 《混凝土用水标准》                | JGJ 63—2006     | 《钢筋混凝土用钢 第2部分:热轧带肋钢筋》   | GB 1499.2—2024  |
| 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》          | GB/T 1596—2017  | 《冷轧带肋钢筋》                | GB 13788—2024   |
| 《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》   | GB/T 18046—2017 | 《预应力混凝土用螺纹钢筋》           | GB/T 20065—2025 |
| 《混凝土物理力学性能试验方法标准》        | GB/T 50081—2019 | 《预应力混凝土用钢丝》             | GB/T 5223—2025  |
| 《建设用砂》                   | GB/T 14684—2022 | 《预应力混凝土用钢绞线》            | GB/T 5224—2023  |
| 《海砂混凝土应用技术规范》            | JGJ 206—2010    | 《耐候结构钢》                 | GB/T 4171—2008  |
| 《混凝土试验用搅拌机》              | JG/T 244—2009   | 《砌体结构设计规范》              | GB 50003—2011   |

续表

| 标准名称                 | 标准号             | 标准名称               | 标准号             |
|----------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| 《混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》 | GB/T 50082—2024 | 《墙体材料术语》           | GB/T 18968—2019 |
| 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》   | GB/T 50080—2016 | 《烧结普通砖》            | GB/T 5101—2017  |
| 《普通混凝土配合比设计规程》       | JGJ 55—2011     | 《烧结多孔砖和多孔砌块》       | GB/T 13544—2011 |
| 《混凝土外加剂》             | GB/T 8076—2025  | 《蒸压粉煤灰砖》           | JC/T 239—2014   |
| 《建设用卵石、碎石》           | GB/T 14685—2022 | 《炉渣砖》              | JC/T 525—2007   |
| 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》 | JGJ 52—2006     | 《普通混凝土小型砌块》        | GB/T 8239—2014  |
| 《混凝土质量控制标准》          | GB 50164—2011   | 《轻集料混凝土小型空心砌块》     | GB/T 15229—2011 |
| 《砌体结构工程施工质量验收规范》     | GB 50203—2011   | 《蒸压加气混凝土砌块》        | GB/T 11968—2020 |
| 《自密实混凝土应用技术规程》       | JGJ/T 283—2012  | 《土工合成材料应用技术规范》     | GB/T 50290—2014 |
| 《混凝土泵送施工技术规程》        | JGJ/T 10—2011   | 《公路路基设计规范》         | JTG D30—2015    |
| 《砌筑砂浆配合比设计规程》        | JGJ/T 98—2010   | 《陶瓷砖》              | GB/T 4100—2015  |
| 《预拌砂浆》               | GB/T 25181—2019 | 《卫生陶瓷》             | GB/T 6952—2015  |
| 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》     | JGJ/T 70—2009   | 《陶瓷马赛克》            | JC/T 456—2015   |
| 《防水沥青与防水卷材术语》        | GB/T 18378—2008 | 《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》 | JTG 3410—2025   |
| 《建筑石油沥青》             | GB/T 494—2010   | 《公路沥青路面施工技术规范》     | JTG F40—2004    |
| 《煤沥青》                | GB/T 2290—2012  | 《石油沥青纸胎油毡》         | GB/T 326—2007   |
| 《公路沥青路面设计规范》         | JTG D50—2017    | 《水泥包装袋》            | GB/T 9774—2020  |
| 《混凝土外加剂应用技术规范》       | GB 50119—2013   |                    |                 |

## 0.5 土木工程材料课程的性质与任务

土木工程材料课程是土木工程、建筑学、道路桥梁和工程管理等大土建类专业的一门重要的技术基础课,其本身既是一门应用技术课,又是学习建筑构造、房屋建筑学、建筑结构、土木工程施工等课程的基础。土木工程材料是一门实践性很强的课程,学习时应注意理论联系实际,并利用一切机会观察周围已经建成的或正在施工的土木工程,在实践中理解和掌握相关知识。

本课程的教学任务主要是使学生获得有关土木工程材料的基本知识、基本理论和基本技能,掌握土木工程材料的技术性能、用途和选用原则,熟悉土木工程材料的生产过程、试验测试方法和质量控制方法,了解土木工程材料的发展趋势、工程材料性质与结构的关系,构建与土建类学科专业相适应的土木工程材料知识体系,培养严谨认真的科学态度和综合分析解决问题的能力,并为学习后续课程打下坚实基础。

本课程内容涉及土木工程材料的基本性质、天然石材、无机气硬性胶凝材料、水泥、混凝

土、建筑砂浆、建筑金属材料、木材、沥青及沥青混合料、土工合成材料等。对于教学(应用)型大学和部分教学研究型大学,教学重点在于材料技术性质及其选用,建议按照教学内容的“4+X”模式进行讲授,能够满足多专业的教学需要。所谓的教学内容“4+X”模式中,“4”为各专业都需要掌握的四方面主要内容,即“材料基本性质”“水泥”“混凝土”“建筑钢材”;“X”为可变化因素,可根据具体专业合理选择某些方面内容作为重点讲授内容。例如,对于“土木工程专业建筑工程方向”应增加选择砌体材料、砂浆作为重点内容( $X=2$ ),“道路桥梁方向”则应增加土工材料、沥青及沥青混合料作为重点内容( $X=2$ );对于工程管理专业,其 $X$ 可取为3,即包括防水材料、建筑装饰材料和建筑功能材料等内容,且重在材料性能测试方法、性能评价、检验批质量控制等内容;对于建筑学专业, $X$ 可取为2,分别代表将装饰材料及功能材料(主要是保温、隔声等)作为重点内容;其他专业该课程的教学,亦可根据需要选择合适的内容进行讲授或学习。

## 知识归纳

1. 通常把土木工程建设中所使用的各种材料及其制品统称为土木工程材料,它既是土木工程建设物质基础,也是土木工程建设的质量基础与保证。
2. 土木工程材料种类繁多,用量巨大,合理选择和使用土木工程材料,关系到工程建设的安全、实用、美观和耐久性。合格的土木工程技术人员必须熟练掌握土木工程材料的有关知识。
3. 狭义范畴的土木工程材料是指直接构成土木工程实体的材料,根据材料的化学成分和物质组成可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类。
4. 随着社会和科学技术的发展,土木工程材料将朝着轻质高强、多功能化、智能化、绿色化和工业规模化方向发展。
5. 土木工程材料技术标准是材料研究、生产、使用和管理等有关部门应该共同遵循的工作依据,我国的技术标准分为四级,即国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。
6. 土木工程材料是土建类专业的重要专业技术基础课,是学习多门后续专业课程的基础。本课程使学生获得有关土木工程材料的基本知识、基本理论和基本技能,掌握土木工程材料的技术性能、用途和选用原则等,这是课程教学的主要任务。

## 课后习题

1. 土木工程材料与土木工程建设的关系如何?
2. 土木工程材料可以分为哪些种类?
3. 土木工程材料将有什么样的发展趋势?
4. 结合自己的专业,谈谈本课程的重点内容有哪些?



# 第1章

## 土木工程材料的基本性质

### 【主要内容】

本章主要介绍材料的物理性质、力学性质和耐久性的概念、指标和计算方法等。

### 【重点难点】

本章教学重点是材料密度、孔隙率、材料热工性质、材料性能的影响因素等；难点在于开口孔隙在表观密度、孔隙率计算时的影响，与水有关的各项性能指标容易混淆，表征材料各项技术性质的技术指标、测试方法及其原理等。

材料作为工程性质的载体，在一定程度上决定了工程结构的可靠性、耐久性和使用性能。因此，在工程建设中选择、分析、评价和应用材料，通常以其性质为依据。

土木工程材料的基本性质是在实际使用过程中材料所表现出来的，通常也是必须考虑的最基本的、共有的性质。材料在工程中所表现的性质有很多，根据不同的使用环境或要求，对其性质的要求会有所不同，在材料选择与使用中应考虑的性质也不尽相同。为在工程中科学合理地利用材料，必须掌握有关材料的基本性质以及决定或影响这些性质的因素与规律，进而在实际使用中理解这些性质的含义以及不同性质之间的相互联系，掌握这些性质的影响因素与改进方法，改善材料在各种土木工程中的实际性能表现。



基本物理  
性质

## 1.1 材料的基本物理性质

### 1.1.1 材料的体积

体积是物体所占空间的大小，其度量单位通常以  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$  表示。依据不同的结构状态，材料的体积可以采用不同的参数来表示。

#### 1. 材料的密实体积

材料的密实体积是材料在绝对致密状态下的体积，或材料内不包括孔隙时的体积，并以  $V$  表示。自然状态下，除玻璃等少数材料外，绝大多数材料并非绝对密实，其密实体积也难以直接测定。测定有孔隙材料的密度时，通常将材料磨成一定细度的粉末，干燥后用李氏瓶

测定其体积。

2. 材料的表观体积

材料的表观体积是整体材料(包括内部孔隙)的外观体积,并以  $V_0$  表示。外形规则且表面密实材料的表观体积,可直接以尺寸丈量后计算求得;外形不规则材料(图 1-1(a))的表观体积,常用排水法(或排油法)来测定。

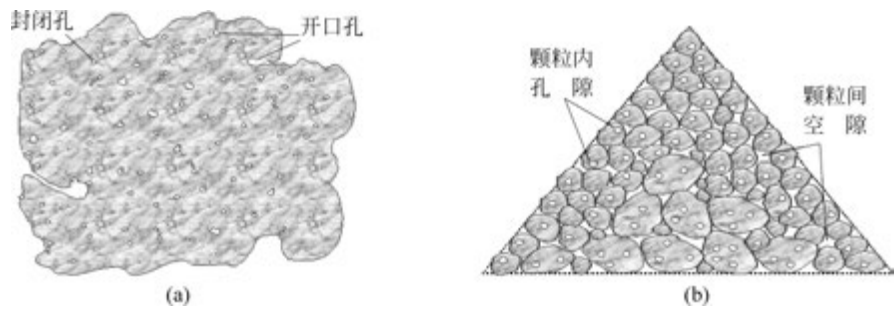


图 1-1 材料的孔隙与空隙结构示意图  
(a) 整体材料; (b) 颗粒堆积材料

3. 材料的堆积体积

材料的堆积体积是颗粒材料堆积状态下的总体外观体积,并以  $V'$  表示。颗粒材料的堆积体积中既包含颗粒内部的开口孔隙,也包含颗粒间的空隙体积(图 1-1(b))。堆积体积的大小可以通过其所占容器中的容积大小来测量,或通过测量其规则堆积形状的几何尺寸计算求得。

根据上述定义可知,材料的密实体积仅取决于其微观或细观结构,而与宏观结构无关;材料的表观体积则与其宏观组成结构有关;堆积体积不仅与材料内部的微观结构、细观结构、宏观结构有关,而且还与其颗粒间相互填充与接触的程度有关。

1.1.2 材料的密度、表观密度与堆积密度

1. 密度

密度是材料在绝对密实状态下单位体积的质量,即材料质量与其密实体积之比,其计算公式为

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1-1}$$

式中,  $\rho$  为材料的密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;  $m$  为材料的质量,  $\text{g}$ ;  $V$  为材料的绝对密实体积,  $\text{cm}^3$ 。

其中,质量是指材料所含物质的多少,通常以重量的大小来近似衡量材料的质量。值得指出的是,重量是指材料所受重力的大小,它与质量的概念有本质的区别。

工程中可通过查表了解材料的密度值,几种土木工程材料的密度见表 1-1。

表 1-1 常用土木工程材料的密度、表观密度、堆积密度

| 材料名称    | 密度/(g/cm <sup>3</sup> ) | 表观密度/(kg/m <sup>3</sup> ) | 堆积密度/(kg/m <sup>3</sup> ) |
|---------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 钢材      | 7.85                    | 7800~7850                 | —                         |
| 石灰石(碎石) | 2.48~2.76               | 2300~2700                 | 1400~1700                 |
| 砂       | 2.5~2.6                 | —                         | 1500~1700                 |
| 水泥      | 2.8~3.1                 | —                         | 1600~1800                 |
| 粉煤灰(气干) | 1.95~2.40               | —                         | 550~800                   |
| 烧结普通砖   | 2.6~2.7                 | 1600~1900                 | —                         |
| 普通混凝土   | —                       | 2000~2800                 | —                         |
| 红松木     | 1.55~1.60               | 400~600                   | —                         |
| 普通玻璃    | 2.45~2.55               | 2450~2550                 | —                         |
| 铝合金     | 2.7~2.9                 | 2700~2900                 | —                         |

## 2. 表观密度

表观密度是材料在自然状态下单位体积的质量,即材料质量与其表观体积之比,其计算公式为

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-2)$$

式中, $\rho_0$  为材料的表观密度,kg/m<sup>3</sup>;  $m$  为材料的质量,kg;  $V_0$  为材料的表观体积,m<sup>3</sup>。

表观密度是反映材料在自然状态下的物理参数,材料在不同的环境状态下,其表观密度的大小可能不同,通常测定材料表观密度时首先将材料在规定条件下干燥至恒重。由于表观体积中包含了材料内部孔隙的体积,同种材料的表观密度通常小于密度。

材料中的孔隙又有封闭孔和开口孔之分(图 1-1(a)),通常又将材料质量与包括所有孔隙体积在内的体积之比称为体积密度,材料质量与其不含开口孔隙的体积之比则称为材料的视密度。显然,在用排水法或排油法测定材料表观体积确定体积密度时,应将材料表面封蜡后再测量。

几种常见土木工程材料的表观密度见表 1-1。

## 3. 堆积密度

堆积密度是指散粒材料单位堆积体积的质量,即材料质量与其堆积体积之比,其计算公式为

$$\rho' = \frac{m}{V'} \quad (1-3)$$

式中, $\rho'$  为材料的堆积密度,kg/m<sup>3</sup>;  $m$  为材料的质量,kg;  $V'$  为材料的堆积体积,m<sup>3</sup>。

材料的堆积密度不仅与其颗粒的宏观结构、含水状态等有关,而且还与其颗粒间空隙或颗粒被挤压实的程度等因素有关,因此有干堆积密度及湿堆积密度之分,亦有紧密堆积密度和松散堆积密度之别。常用土木工程材料的堆积密度见表 1-1。