



绪 论

【主要内容】

本部分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】

本部分的教学重点为土木工程材料的分类、应用及其发展趋势、技术标准及其表示方法等；难点在于如何使学生充分理解课程内容的工程意义，并正确认识材料在土木工程建设活动和建设科技发展中的重要作用。

各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，都是由各种材料按照设计要求构筑的集成体。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，也是体现土木工程建设质量指标的基础，在土木工程建设中具有重要地位。

0.1 土木工程材料在工程建设中的地位

土木工程建筑物和构筑物的各种性质只能通过其所用材料来体现，因此，材料作为土木工程的基本载体，对工程的各类性质具有决定性作用。土木工程建设过程就是通过建筑、结构、建造和经济工程师的努力和智慧，将工程材料进行有机结合而形成各类建(构)筑物的过程。在土木工程建设中，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工程材料的性质科学合理地结合起来，才能实现建筑艺术与使用功能的完美统一；结构工程师需要根据力学原理准确计算并确定工程构件的形状和尺寸，才能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实施正确的运输、存储、加工、安装等过程，才能建成质量合格的建筑(构)物。由于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，关系工程建设的安全、实用、美观和耐久性。因此，熟练掌握土木工程材料的有关知识成为土木工程技术人员的必备基础。

土木工程材料用量大的特点，使其成为决定土木工程造价诸多构成因素中的最主要因素，材料费用通常在工程总造价中占 50%~60% 的较大比重，直接关系工程建设的造价与成本。为提高工程建设的经济性，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，就需要基于土木工程材料相关知识，合理

选择和正确使用材料,充分利用材料的各种功能,并在各环节统筹考虑工程的技术经济效益。

土木工程技术的进步很大程度上取决于新型材料的应用,以及传统土木工程材料的性能改进与完善,因此,材料也是促进土木建筑工程结构设计和施工技术突破的主要因素。土木工程中许多技术问题的解决,往往依赖于工程材料性质的变革;新材料的出现,通常会促使建筑设计、结构设计和施工技术发生革命性的变化。比如,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应用对减轻建筑物的自重、提高建筑物的抗震能力、促进建筑节能、改善工作与居住环境条件等方面发挥着重要的作用。新型装饰材料的出现使得建筑物室内外装饰效果不断推陈出新。显然,工程材料的不断改进对各类土木工程技术进步的促进作用贯穿于工程建设活动的全过程,使得各类土木工程始终都是围绕着材料的科学应用开展建设活动。

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、瓷砖及其他装饰材料、功能材料等;②在工程使用功能方面发挥辅助作用的相关器材与材料,如给水排水设备、消防设备、网络通信设备与材料等;③在工程施工过程中发挥辅助作用的材料,比如构成脚手架、模板、围墙、板桩等设施设备材料。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,本书重点介绍狭义范畴的土木工程材料。

土木工程材料种类繁多,可以进行多种方法的分类。按照工程性质,土木工程材料可分为建筑工程材料、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理构成进行分类,并且多分为无机材料、有机材料和复合材料三大类(见表 0-1)。此外,按照使用功能和工程部位,还可分为结构材料、墙体材料和功能材料等(见表 0-2)。

表 0-1 土木工程材料分类(按化学成分和物理构成)

分 类			材 料 举 例
无机材料	金属材料	黑色金属	钢、铁、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
	无机纤维	玻璃纤维、玄武岩纤维、矿物棉等	
有机材料	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、胶粘剂、合成橡胶等
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(按部位和功能)

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(建筑物内外及隔墙墙体所用的材料)	砌墙砖、各类砌块、轻质墙板、复合墙体
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

随着社会生产力和科学技术水平的发展,土木工程材料处于不断发展的状态。例如,土木工程用结构材料大致经历了天然的土石和木材、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的发展,经过近 100 多年的发展,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(纤维增强材料、夹层材料等)等。

由于土木工程材料消耗的巨量性特点,有限的地球物质资源难以满足土木工程持续发展的需求,迫使在土木工程材料生产和应用方面必须适应材料来源可持续、建筑工业化、环境保护和多功能化等的要求。因此,未来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,可解除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。例如,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,以满足工业与民用建筑技术不断发展的需要。

2. 多功能化

为满足各类土木工程的功能需求,材料性能的多功能集成具有突出的优势。因此,发展多功能材料,使材料具有更多的功能,可以在节约材料的同时实现工程的多种功能;材料的多功能化不仅可减少材料用量,还可简化构造层次和施工工艺。借助现代材料复合加工与生产技术,不断出现的多功能材料、特殊性能材料及高性能材料,将显著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、材料本身具有自感知、自反馈、自调节、自诊断或自修复能力的功能材料,如建筑工程中开始应用的自调光玻璃、自愈合混凝土、相变储能建筑材料等。智能化材料作为现代土木工程智能化发展的基础,对于土木工程的发展具有不可替代的作用。现代材料技术的发展也为土木工程材料的智能化奠定了科学基础,并成为未来土木工程材料发展的主要方向。

4. 绿色化

土木工程材料消耗的巨量性和使用过程中与环境的相互适应性特点,使其对人类资源与环境的影响不可忽视。因此,力图使土木工程材料获得环境友好的效果,成为现代材料生产与使用者未来的重要任务。材料的绿色化(也称生态化)是指材料生产与使用过程中具有降低环境污染、节约资源、维护生态平衡等显著效果,绿色建筑材料将是未来节能型、环保型和健康型建筑工程实现的基础。

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体废物生产的无毒害、无污染、无放射性,达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。绿色建筑材料的另一特征就是材料在工程生命周期全过程各个阶段,以及在多因素、多属性等综合方面表现出良好的环境友好性。

5. 工业规模化

传统的土木工程技术多是基于大量手工操作与高强度劳动将材料集成为各类工程实体,随着科学技术的不断进步,各类自动化现代设备的使用成本不断降低,而劳动力的成本不断提高,迫使土木工程建设技术必须向机械化、自动化方向发展,为适应其发展的材料技术发展趋势就是工业规模化。土木工程材料的工业规模化的主要特征就是材料生产与应用的标准化、大型化、商品化等。土木工程材料的生产与使用工业化和规模化,将显著促进土木工程建设成本降低、质量提高和施工效率不断提高。

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、运输与储存等作了明确的规定。目前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。

国家标准是国家标准局发布的全国性指导技术文件,包括强制性标准(代号 GB)和推荐性标准(代号 GB/T);强制性标准是全国必须执行的技术文件,产品的技术指标不得低于标准的规定,推荐性标准执行时也可采用其他标准的规定。

行业标准是为了规范本行业产品质量而制定的技术标准,也是全国性的指导技术文件,一般由各行业协会或主管部分发布。通常,行业的技术要求或指标应该高于国家标准,比如建工行业标准(JG、JGJ)、建材行业标准(JC)、交通行业标准(JT、JTJ、JTG)、水利行业标准(SL)等。

地方标准(DB)是地方主管部门发布的地方性技术指导文件,仅适用于本地区;地方标准所制定的技术指标要求应高于国家标准要求。

企业标准(QB)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。企业标准的技术指标要求必须高于地方、行业或国家标准才能得到认可。没有制定国家标准和行业标准的產品,均应制定企业标准,且技术要求要高于类似或相关产品的国家标准。

工程中使用的土木工程材料除了必须满足产品标准技术要求外,有时还必须与有关的

设计规范、施工及验收规范或规程等规定的技术要求相一致。这些规范或规程对土木工程材料的选用、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)。无论是国家标准或部门行业标准,都是全国通用标准,属国家指令性技术文件,均必须严格遵照执行,尤其是强制性标准。在学习有关标准时应注意到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)、美国材料试验协会标准(ASTM)、德国工业标准(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—2007),部门代号为 GB(表明是国家标准),编号为 175,批准年份为 2007 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	《石油沥青玻璃布胎油毡》	JC/T 84—1996
《建筑消石灰》	JC/T 481—2013	《塑性体改性沥青防水卷材》	GB 18243—2008
《天然石膏》	GB/T 5483—2008	《铝箔面石油沥青防水卷材》	JC/T 504—2007
《建筑石膏》	GB 9776—2008	《弹性体改性沥青防水卷材》	GB 18242—2008
《通用硅酸盐水泥》	GB 175—2007	《聚氯乙烯(PVC)防水卷材》	GB 12952—2011
《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检测方法》	GB/T 1346—2011	《石油沥青玻璃纤维胎防水卷材》	GB/T 14686—2008
《水泥压蒸安定性试验方法》	GB/T 750—1992	《硅酮建筑密封胶》	GB/T 14683—2003
《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》	GB/T 17671—1999	《高层民用建筑设计防火规范(2005 年版)》	GB 50045—1995
《水泥胶砂流动度测定方法》	GB/T 2419—2005	《建筑设计防火规范》	GB 50016—2006
《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥》	GB 200—2003	《建筑材料及制品燃烧性能分级》	GB 8624—2012
《铝酸盐水泥》	GB 201—2000	《碳素结构钢》	GB/T 700—2006
《硫铝酸盐水泥》	GB 20472—2006	《低合金高强度结构钢》	GB/T 1591—2008
《混凝土拌合用水标准》	JGJ 63—2006	《优质碳素结构钢》	GB/T 699—1999
《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》	GB/T 1596—2005	《金属洛氏硬度试验 第 1 部分: 试验方法》	GB/T 230.1—2004
《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》	GB/T 18046—2008	《钢筋混凝土用钢筋 第 1 部分: 热轧光圆钢筋》	GB 1499.1—2008
《普通混凝土力学性能试验方法标准》	GB/T 50081—2002	《钢筋混凝土用钢筋 第 2 部分: 热轧带肋钢筋》	GB 1499.2—2007
《建设用砂》	GB/T 14684—2011	《冷轧带肋钢筋》	GB 13788—2008
《海砂混凝土应用技术规范》	JGJ 206—2010	《预应力混凝土用热处理钢筋》	GB 4463—1984
《混凝土试验用搅拌机》	JG 244—2009	《预应力混凝土用螺纹钢筋》	GB/T 20065—2006
《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》	GB/T 50082—2009	《预应力混凝土用钢丝》	GB/T 5223—2002

续表

标准名称	标准号	标准名称	标准号
《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》	GB/T 50080—2002	《预应力混凝土用钢绞线》	GB/T 5224—2003
《普通混凝土配合比设计规程》	JGJ 55—2011	《高耐候性结构钢》	GB/T 4171—2008
《混凝土外加剂》	GB 8076—2008	《砌体结构设计规范》	GB 50003—2011
《混凝土外加剂应用技术规范》	GB 50119—2013	《墙体材料术语》	GB/T 18968—2003
《建筑用卵石、碎石》	GB/T 14685—2011	《烧结普通砖》	GB 5101—2003
《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》	JGJ 52—2006	《烧结多孔砖和多孔砌块》	GB 13544—2011
《混凝土质量控制标准》	GB 50164—2011	《蒸压灰砂砖》	GB 11945—1999
《砌体结构工程施工质量验收规范》	GB 50203—2011	《粉煤灰砖》	JC 239—2001
《自密实混凝土应用技术规程》	JGJ/T 283—2012	《炉渣砖》	GB/T 525—2007
《混凝土泵送施工技术规程》	JGJ/T 10—2011	《普通混凝土小型空心砌块》	GB 8239—1997
《轻集料混凝土技术规程》	JGJ 51—2002	《轻集料混凝土小型空心砌块》	GB/T 15229—2011
《砌筑砂浆配合比设计规程》	JGJ 98—2010	《蒸压加气混凝土砌块》	GB 11968—2006
《预拌砂浆》	GB/T 25181—2010	《混凝土平瓦》	GB 8001—1987
《建筑砂浆基本性能试验方法标准》	JGJ/T 70—2009	《公路土工合成材料应用技术规范》	JTG/T D32—2012
《防水沥青与防水卷材术语》	GB/T 18378—2001	《公路路基设计规范》	JTG D30—2004
《建筑石油沥青》	GB/T 494—2010	《木材物理力学试验方法总则》	GB/T 1928—2009
《煤沥青》	GB/T 2290—2012	《木材顺纹抗压强度试验方法》	GB/T 1935—2009
《公路沥青路面设计规范》	JTG D50—2006	《木材抗弯强度试验方法》	GB/T 1936.1—2009
《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》	JTG E20—2011	《陶瓷砖》	GB/T 4100—2006
《公路沥青路面施工技术规范》	JTG F40—2004	《卫生陶瓷》	GB 6952—2005
《石油沥青纸胎油毡》	GB 326—2007	《陶瓷马赛克》	JC/T 456—2005

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、工程管理等土建类相关专业的一门重要的技术基础课,其本身既是一门应用技术,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。由于土木工程材料各类性质的复杂性和多变性特点,必须将其置于相应的工程背景中才能充分体现其各种性质,因此,土木工程材料课程学习具有显著

的实践性,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,构建与大土木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,并为后续课程的学习打下坚实基础。

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、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、合成高分子材料等。对于以教学(应用)为主的大学,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4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。比如,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,即应包括防水材料、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的基础,也是土木工程技术性质与功能的基本载体,从而成为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. 随着社会和建设科学技术的发展,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发展。

5. 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,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. 土木工程材料是土木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。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。

土木工程材料的基本性质

【主要内容】

本章主要介绍材料在土木工程及其建设过程中所表现的物理性质、力学性质和耐久性的概念、指标或计算等。

【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、孔隙率计算过程中的影响，与水有关的各项性能指标容易混淆，表征材料的各项技术指标、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、应用、分析和评价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试用过程中材料所表现出来的性质，通常也是必须考虑的最基本和共有的性质。材料在工程中所表现的性质有很多，根据不同的环境或使用要求，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，以便在实际使用中基于对这些性质含义的正确理解，以及对不同性质之间的相互关联的科学推理，掌握这些性质的影响因素与改进方法，在土木工程中充分利用材料的各项潜在功能。

1.1 材料的基本物理性质

1.1.1 材料的体积

体积是物体所占有的空间尺寸大小，其度量单位通常以 cm^3 或 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

它是指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

材料的表观体积指整体材料(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,可直接以尺子度量后计算求得;外形不规则材料(见图 1-1(a))的表观体积,常用排水法(或排油法)来测定。

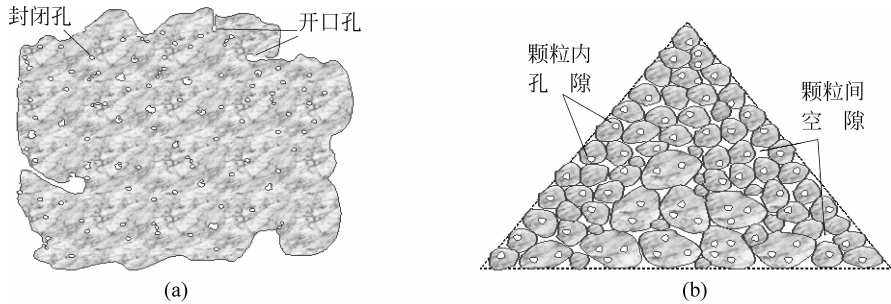


图 1-1 材料的孔隙与空隙结构示意图
(a) 整体材料; (b) 颗粒堆积材料

3. 材料的堆积体积

材料的堆积体积是指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,也包含颗粒间的间隙体积(见图 1-1 (b))。堆积体积的大小用其所占有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,而与其宏观结构无关;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(m)与其密实体积(V)之比,通常以 ρ 表示,其计算公式为

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

式中, ρ 为材料的密度, g/cm^3 ; m 为材料的质量, g ; V 为材料的绝对密实体积, 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。值得注意的是,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。

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(m)与其表观体积(V_0)之

比,通常以 ρ_0 表示,其计算公式为

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

式中, ρ_0 为材料的表观密度, kg/m^3 ; m 为材料的质量, kg ; V_0 为材料的表观体积, m^3 。

表观密度是反映整体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,其值通常小于密度值。

材料中的孔隙又可有封闭孔和开口孔之分(参见图 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用以确定体积密度时,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(m)与其堆积体积(V')之比,通常以 ρ' 表示,其计算公式为

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

式中, ρ' 为材料的堆积密度, kg/m^3 ; m 为材料的质量, kg ; V' 为材料的堆积体积, m^3 。

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间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。

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^3)	表观密度/(kg/m^3)	堆积密度/(kg/m^3)
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	—
普通水泥混凝土	—	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	—

1.1.3 材料的孔隙率与空隙率

1. 孔隙率与密实度

材料中所含孔隙的多少常以孔隙率表示,它是指材料所含孔隙的体积占材料自然状态下总体积的百分率,以 P 表示,其计算公式为