



国家骨干高等职业院校建设成果  
中央财政支持重点建设专业教材

# 工程材料 与试验检测

冉 晋 李美玲 主编

GONGCHENGCAILIAO  
YU SHIYAN JIANCE

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

国家骨干高等职业院校建设成果  
中央财政支持重点建设专业教材

# 工程材料与试验检测

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 冉 晋 | 李美玲 | 主 编 |
| 步文萍 | 张 琳 | 副主编 |
|     | 张金喜 | 主 审 |

中国铁道出版社

2014年·北 京

## 内 容 简 介

本书为国家骨干高等职业院校建设成果、中央财政支持重点建设专业教材。依据与工程材料相关的最新国家或行业标准、规范编写而成。全书紧紧围绕工程材料基础知识和试验检测操作技能两大模块,满足高职高专培养高技能人才和全面推进素质教育的需要,突出了高等职业技术教育的特色。全书内容包括课程导入和九个学习情境,分别是工程材料的基本性质、气硬性胶凝材料、水泥、混凝土、砂浆、砌筑材料、钢材、沥青,以及沥青混合料。

本书为高职高专及各类成人教育铁道工程技术、道路桥梁工程技术、高速铁路工程技术等交通土建类专业的教学用书,也可作为土木工程类专业的教学用书,亦可供相关专业的工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料与试验检测/冉晋,李美玲主编. —北京:

中国铁道出版社,2014. 3

国家骨干高等职业院校建设成果 中央财政支持重点建设专业教材

ISBN 978-7-113-18212-0

I. ①工… II. ①冉…②李… III. ①工程材料—材料试验—高等教育—职业教育—教材②工程材料—检测—高等教育—职业教育—教材  
IV. ①TB302

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 065131 号

书 名:工程材料与试验检测

作 者:冉 晋 李美玲 主编

责任编辑:刘红梅

编辑部电话:010-51873133

电子信箱:mm2005td@126.com

封面设计:郑春鹏

责任校对:龚长江

责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:三河市航远印刷有限公司

版 次:2014年3月第1版 2014年3月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:15.75 字数:389千

书 号:ISBN 978-7-113-18212-0

定 价:32.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

# 前言



本书为国家骨干高等职业院校建设成果、中央财政支持重点建设专业教材,以满足高职高专培养高技能人才和全面推进素质教育的需要为编写目标,结合相关专业对工程材料的实际技能需求,依据最新的国家或行业标准、规范编写而成。

本书主要阐述了在工程建设中经常使用的工程材料,如石灰、建筑石膏、水泥、混凝土、砂浆、砌筑材料、钢材、沥青,以及沥青混合料等的基本组成、技术性质、应用、质量标准,以及试验检测方法等知识。在内容编写上,更加突出常用工程材料及其基本理论知识,删除或缩减了已过时的或不常用的部分传统材料,并对部分新型材料作了概括性介绍。本书内容力求概念准确、条理清晰、层次分明、图文并茂,并注重理论联系实际,深入浅出。此外,本书对每一学习情境下的学习任务进行了精心编排,不同专业可根据自身实际的教学要求选择不同的授课内容。

考虑到培养对象的职业性,本书在编写时,坚持以职业技能培养为本位,注重工程材料基础知识与试验检测操作技能的融合,力求理论知识浅显易懂,内容以实用为准、够用为度;突出试验检测操作能力的培养,主要工程材料都安排了相应的试验检测项目,以加强实践操作技能的训练。

本书所列出的知识目标、能力目标、素质目标、任务描述等内容是按照高等职业教育的要求、相关专业的培养目标,以及相关课程的教学大纲或课程标准,并结合编者所在学校或企业自身课时安排、教学或工作特点、试验条件等实际情况总结出来的。可能不一定适合所有学校的实际情况,但各校的教学目标一定都是一样的,那就是使学生掌握实用的理论知识和扎实的试验检测技能,培养学生科学严谨的学习方法、工作态度、良好的团队合作精神和职业道德,为后续课程的学习打下良好的基础,因此,也可供其他同类院校参考。

本书在编写过程中学习了很多版本的《土木工程材料》《道路建筑材料》《工程材料》《建筑材料与检测》等教材及其他相关专业资料,如果使用本书的教师和学生能够从中有所收获,那是因为本书的编写站在了巨人的肩膀上,在此,向所有本书的参考教材和各类书籍的作者或编者致敬。

本书由山东职业学院冉晋、山东建筑大学李美玲任主编,山东职业学院步文萍、山东济铁设计咨询有限公司青岛设计分公司张琳、山东职业学院郭兆军任副主编。参加编写的人员还有:山东建筑大学牟振华、山东建筑大学道路与交通工程实验室时柏营以及中铁十四局海外工程分公司冉超。具体编写分工如下:冉晋(课程导入、学习情境八)、李美玲(学习情境一、学习情境二)、步文萍(学习情境三)、张琳(学习情境四的学习任务一至学习任务四、学习情境五)、郭兆军(学习情境四的学习任务五至学习任务七、技能训练)、牟振华(学习情境六)、时柏营(学

习情境七)、冉超(学习情境九)。全书由冉晋和李美玲负责统稿、定稿。

本书由北京工业大学张金喜教授主审,感谢张教授为本书的编写提出了许多宝贵的修改建议,在此表示衷心的感谢!

如果本书有幸得到了您的使用,那么在使用过程中,若您发现书中有错误或不妥之处,或者有好的建议请及时与编者联系,联系邮箱为 [ranjin1978@sohu.com](mailto:ranjin1978@sohu.com)(冉晋),以使本书可以日臻完善。

编 者

2014 年 1 月

# 目 录

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 课程导入 绪论              | 1   |
| 思考与练习                | 6   |
| 学习情境一 工程材料的基本性质      | 7   |
| 学习任务一 工程材料的基本物理性质    | 7   |
| 学习任务二 工程材料的力学性质      | 15  |
| 学习任务三 工程材料的耐久性       | 17  |
| 技能训练 工程材料的基本物理性质试验检测 | 17  |
| 思考与练习                | 24  |
| 学习情境二 气硬性胶凝材料        | 26  |
| 学习任务一 石灰             | 27  |
| 学习任务二 建筑石膏           | 33  |
| 学习任务三 水玻璃            | 36  |
| 思考与练习                | 38  |
| 学习情境三 水泥             | 40  |
| 学习任务一 硅酸盐水泥          | 41  |
| 学习任务二 掺混合材料的硅酸盐水泥    | 48  |
| 学习任务三 水泥石的腐蚀与防治      | 52  |
| 学习任务四 水泥的验收与储存       | 54  |
| 学习任务五 其他品种水泥         | 56  |
| 技能训练 水泥性能试验检测        | 58  |
| 思考与练习                | 65  |
| 学习情境四 混凝土            | 67  |
| 学习任务一 混凝土的主要组成材料     | 69  |
| 学习任务二 混凝土的外加剂和掺和料    | 79  |
| 学习任务三 混凝土拌和物的主要技术性质  | 83  |
| 学习任务四 硬化混凝土的主要技术性质   | 86  |
| 学习任务五 普通混凝土配合比设计     | 95  |
| 学习任务六 普通混凝土的质量控制     | 107 |
| 学习任务七 其他品种混凝土        | 111 |
| 技能训练 混凝土性能试验检测       | 114 |
| 思考与练习                | 120 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>学习情境五 砂浆</b> .....      | 122 |
| 学习任务一 砂浆的组成材料.....         | 123 |
| 学习任务二 砌筑砂浆.....            | 125 |
| 学习任务三 抹面砂浆.....            | 131 |
| 学习任务四 预拌砂浆和特种砂浆.....       | 133 |
| 技能训练 砂浆性能试验检测.....         | 135 |
| 思考与练习.....                 | 138 |
| <b>学习情境六 砌筑材料</b> .....    | 140 |
| 学习任务一 砖.....               | 141 |
| 学习任务二 墙用砌块.....            | 151 |
| 学习任务三 墙用板材.....            | 156 |
| 学习任务四 砌筑用石材.....           | 160 |
| 技能训练 砌筑材料性能试验检测.....       | 161 |
| 思考与练习.....                 | 164 |
| <b>学习情境七 钢材</b> .....      | 165 |
| 学习任务一 钢的冶炼及分类.....         | 166 |
| 学习任务二 钢材的主要技术性能.....       | 168 |
| 学习任务三 钢材的标准与选用.....        | 174 |
| 学习任务四 钢材的锈蚀与防护.....        | 183 |
| 技能训练 钢材性能试验检测.....         | 185 |
| 思考与练习.....                 | 190 |
| <b>学习情境八 沥青</b> .....      | 191 |
| 学习任务一 石油沥青.....            | 193 |
| 学习任务二 其他沥青材料.....          | 200 |
| 学习任务三 沥青防水材料.....          | 204 |
| 技能训练 沥青性能试验检测.....         | 207 |
| 思考与练习.....                 | 212 |
| <b>学习情境九 沥青混合料</b> .....   | 213 |
| 学习任务一 沥青混合料的组成材料.....      | 216 |
| 学习任务二 沥青混合料的组成结构与技术性质..... | 220 |
| 学习任务三 矿质混合料组成设计.....       | 223 |
| 学习任务四 沥青混合料配合比设计.....      | 226 |
| 技能训练 沥青混合料性能试验检测.....      | 235 |
| 思考与练习.....                 | 241 |
| <b>参考文献</b> .....          | 242 |

## 课程导入

# 绪论



### 教学目标

#### 知识目标:

1. 了解工程材料的发展及其在工程建设中的作用;
2. 理解工程材料的定义及基本要求;
3. 掌握工程材料的分类和技术标准。

#### 能力目标:

1. 观察实体工程设施,能初步判断其所用工程材料的名称和类别;
2. 根据工程设施所属行业、工程性质等特点,合理选择相关工程材料适用的技术标准。

#### 素质目标:

1. 通过自我学习和教师讲授,总结知识要点,培养辩证思维的能力和严谨细致的学习方法;
2. 通过小组分工,共同完成学习任务,在教师指导下掌握知识要点,培养科学的工作态度和良好的团队合作精神。



### 任务描述

以小组为单位,收集并展示国内外古代、现代的著名工程设施(如建筑、桥梁、道路、古迹等)图片,在教师指导下讨论、学习工程材料的定义、基本要求、分类、发展、作用及技术标准等知识。

## 一、工程材料的定义及基本要求

土木工程中所使用的各种材料及其制品,统称为工程材料,包括使用的各种原材料、半成品和成品等。例如砂、石、石灰、石膏、砖、水泥、钢材、混凝土等。

作为工程材料,必须同时满足以下两个基本要求:

- (1) 工程材料必须满足工程设施本身的技术性质要求,保证能正常使用。
- (2) 在工程材料的使用过程中,必须能抵御周围环境的影响与有害介质的侵蚀,保证工程设施的合理使用寿命,同时也不能对周围环境产生危害。

## 二、工程材料的发展

古代劳动人民在工程材料的生产和使用方面取得了令人瞩目的成就。上古时期,人类聚居于天然山洞或树巢中,随后逐步采用黏土、石、木材等天然材料建造房屋,如图 0-1 所示。

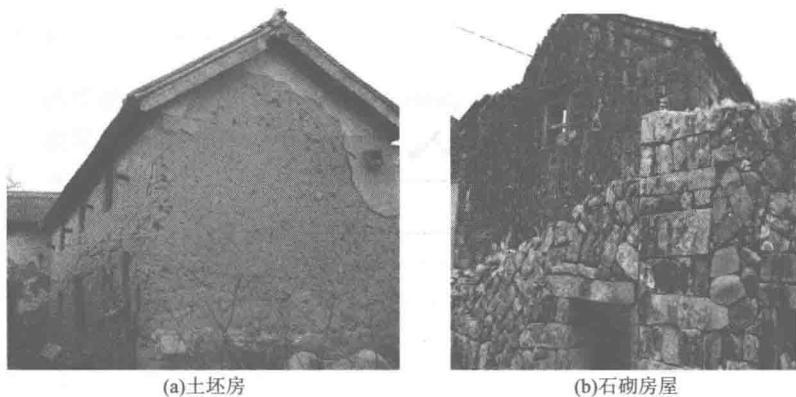


图 0-1 利用天然材料建造的房屋

在使用黏土烧制砖、瓦,用岩石烧制石灰、石膏之后,大量较大规模的坚固耐用的工程设施得以建造,使得工程材料由天然材料进入了人工生产阶段,当时建筑如图 0-2 所示。

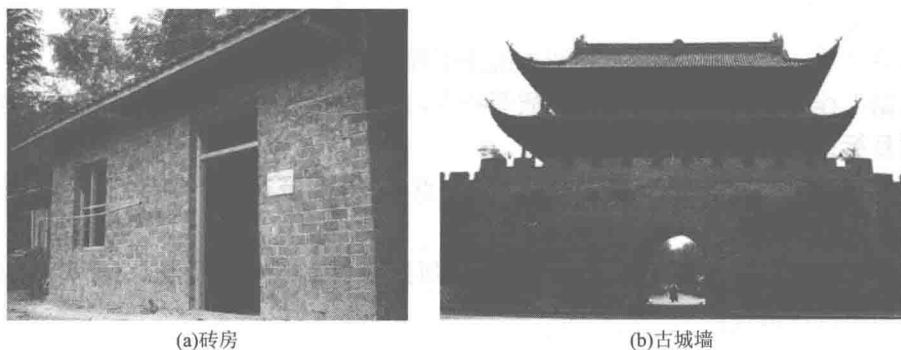


图 0-2 利用人工材料建造的工程设施

18、19 世纪,资本主义的兴起促进了工商业及交通运输业的蓬勃发展,水泥、钢材、混凝土及其他材料相继问世,使得工程设施的结构形式和规模都有了巨大发展,工程材料进入了一个新的发展阶段,当时建筑如图 0-3 和图 0-4 所示。



图 0-3 上海卢浦大桥



图 0-4 钢结构厂房

进入 20 世纪后,随着社会生产力的突飞猛进和科学技术水平的日益提高,各种人工合成材料如防水材料、吸声隔声材料、装饰材料、耐热防火材料、各种外加剂和其他环保材料等应运而生,如图 0-5 和图 0-6 所示。



图 0-5 防水材料



图 0-6 装饰材料

随着工程材料生产和应用的发展,工程材料已成为一门重要的学科。为适应经济建设的发展需要,未来工程材料的发展趋势将是研制和开发高性能工程材料、绿色工程材料等新型工程材料。高性能工程材料是指比现有工程材料的性能更为优异的工程材料,如轻质、高强、高耐久性和多功能的工程材料。绿色工程材料又称生态工程材料或健康工程材料,是指生产工程材料的原料尽可能少用天然资源,大量利用工业废弃物,采用低能耗制造工艺和不污染环境的生产技术,产品配制和生产过程中不使用有害或有毒物质,同时产品废弃后可再生利用,且使用过程无有毒、有害物质释放。绿色工程材料既能满足可持续发展之需,又做到了发展与环保的统一,是 21 世纪工程材料发展的战略重点。

### 三、工程材料的分类

#### 1. 按使用功能分类

##### (1) 结构材料

结构材料主要是指构成工程设施受力构件和结构所用的材料,例如梁、板、柱、基础、框架及其他受力构件和结构等所用的材料。常用的有砖、石、水泥混凝土、钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土等,钢筋混凝土梁、板、柱如图 0-7 所示。

##### (2) 墙体材料

墙体材料主要是指工程设施内、外分隔墙体所用的材料,有承重和非承重两类。常用的有烧结砖、墙用砌块、混凝土墙板、复合墙板等,砖墙如图 0-8 所示。

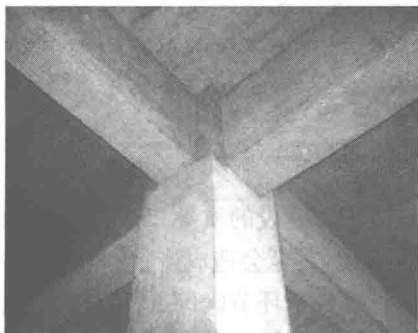


图 0-7 钢筋混凝土梁、板、柱



图 0-8 砖墙

##### (3) 功能材料

功能材料主要是指在工程设施中发挥某些功能的非承重用材料。常用的有保温材料(如

聚苯乙烯泡沫保温板)、绝热材料(如中空玻璃)、吸声和隔声材料(如夹层玻璃)、防水材料(如沥青)、装饰材料(如釉面砖)等,如图 0-9 所示。

一般来说,工程设施的可靠性与安全性主要由工程材料组成的构件和结构体系所决定,而工程设施的使用功能与使用品质主要取决于工程材料的功能。对某一种具体的工程材料来说,它可能兼有多种功能。

2. 按化学成分分类

根据工程材料的化学成分可分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,如表 0-1 所示。



图 0-9 内墙釉面砖

表 0-1 工程材料按化学成分分类

|      |              |          |                            |
|------|--------------|----------|----------------------------|
| 无机材料 | 金属材料         | 黑色金属     | 钢、铁及其合金等                   |
|      |              | 有色金属     | 铝、铜及其合金等                   |
|      | 非金属材料        | 天然石材     | 砂、石及石材制品等                  |
|      |              | 烧土及其熔融制品 | 砖、瓦、陶瓷、玻璃等                 |
|      |              | 胶凝材料及其制品 | 石灰、石膏、水玻璃、水泥、混凝土、砂浆及硅酸盐制品等 |
| 有机材料 | 植物材料         |          | 木材、竹材、植物纤维及其制品等            |
|      | 沥青材料         |          | 石油沥青、煤沥青及其制品等              |
|      | 高分子材料        |          | 塑料、涂料、胶黏剂、合成橡胶等            |
| 复合材料 | 非金属材料与金属材料复合 |          | 钢筋混凝土、钢纤维混凝土等              |
|      | 非金属材料与有机材料复合 |          | 聚合物混凝土、沥青混凝土等              |
|      | 金属与有机材料复合    |          | PVC 钢板、轻质金属夹芯板、有机涂层铝合金板等   |

四、工程材料在工程建设中的作用

1. 工程材料是一切工程设施的物质基础

任何工程设施都是由各种散体的工程材料经过合理设计和精心施工最终构建而成的,工程材料是一切工程设施的物质基础。工程材料的物质性还体现在其使用的巨量性,例如,三峡水电工程中的大坝、船闸及电站厂房等主体工程的混凝土浇筑总量约为 2 800 万 m<sup>3</sup>,是世界上混凝土浇筑量最大的水电工程;修建一条Ⅰ级铁路干线,在平原地区每公里约需要各种材料 6 000 余吨,在山岳地区则需要 15 000 余吨。在工程建设中,要及时提供数量充足、质量良好、品种齐全的各种材料,才能保证工程建设的顺利进行。

2. 工程材料的质量直接影响工程质量

工程材料不仅使用量大,而且其质量好坏将直接影响着工程建设的质量。将劣质材料使用到工程中,必然会危害工程质量,影响工程的使用效果和耐久性能,甚至会造成严重事故。因此,必须从材料的生产、选择、使用和检测评定以及材料的储存、保管等各个环节确保工程材料的质量。对于新材料和代用材料的应用,要采取积极而又慎重的态度,使用前必须经过严格检验和技术鉴定。

3. 工程材料决定工程的造价和经济效益

在工程建设中,材料费用在工程总造价中占有较大比重,一般约占 50%~60%,有的甚至高达 70%。因此,要节约工程投资,降低工程造价,认真合理地选配和应用工程材料是很重要的一个环节。

#### 4. 新材料的研制和发展将促进工程结构和施工技术的进步

在工程建设中,要实现新设计、新技术、新工艺,新材料亦为其中重要一环。工程中许多技术问题的突破,往往是新材料产生的结果,而新材料的出现,又推动了新技术的发展。

因此,对工程材料的认识、选择、使用和评价进行深入学习,最大限度地发挥其效能,达到最大的经济效益,将对我国的工程建设起着十分重要的作用。

### 五、工程材料的技术标准

产品标准化是现代工业发展的产物,是组织现代化大生产的重要手段,也是科学管理的重要组成部分。世界各国对材料的标准化都很重视,均制定了各自的标准。

目前,我国绝大多数工程材料都制定有产品的技术标准,这些标准一般包括:产品规格、分类、技术要求、检验方法,验收规则、标志、运输和储存等方面的内容。

工程材料的技术标准是产品质量的技术依据。对于生产企业,必须按标准生产合格的产品,同时,技术标准还可以促进企业改善管理,提高生产率,实现生产过程的合理化。对于使用部门,则应当按标准选用材料,这样可以使设计和施工标准化,从而加速施工进度,降低工程造价。同时,技术标准也是供需双方对产品质量进行验收的依据。

目前,我国工程材料的技术标准分为四级:国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。国家标准是由国务院标准化行政主管部门编制计划,组织草拟,统一审批、编号、发布的全国性指导技术文件,其代号为 GB(表示任何技术不得低于此标准,为强制性国家标准)或 GB/T(表示可以执行其他标准,为推荐性国家标准),如图 0-10 所示。对没有国家标准而又需要在全国某行业范围内统一的技术要求,可以制定行业标准。行业标准也是全国性的指导文件,但它由有关主管部门制定,报国务院标准化行政主管部门备案,其代号依行业而定,如铁路行业标准为 TB,交通行业标准为 JT,建材行业标准为 JC,如图 0-11 所示。地方标准是在没有国家标准、行业标准,又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的技术文件,由地方主管部门进行发布,其代号为 DB(或 DB/T)。企业生产的产品没有国家标准和行业标准的,应当制定企业标准,以指导本企业的生产,其代号为 QB。

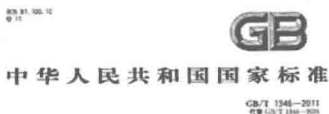


图 0-10 国家标准

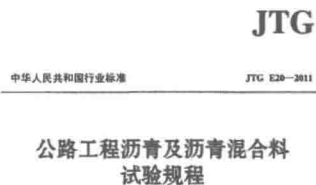


图 0-11 交通行业标准

技术标准的表示方法由标准名称、标准代号、标准编号及发布年份四部分组成,如图 0-12 所示。

工程材料的技术标准内容大致包括材料的质量要求和检验两大方面。由于有些标准的分工细,且相互渗透、联系,有时一种材料的检验要涉及多个标准和规范。

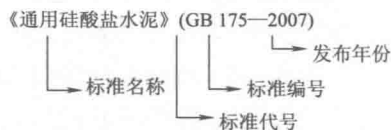


图 0-12 技术标准的表示方法



## 单元小结

土木工程中所使用的各种材料及其制品,统称为工程材料,包括使用的各种原材料、半成品、成品等。工程材料按使用功能分为结构材料、墙体材料、功能材料等;按化学成分分为无机材料、有机材料和复合材料等。

工程材料在工程建设中具有非常重要的作用,它是一切工程设施的物质基础,直接影响工程质量、工程造价和经济效益,而且新材料的研制和发展也将促进工程结构和施工技术的进步。

目前,我国工程材料的技术标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四类。



## 思考与练习

1. 简述工程材料的定义及基本要求。
2. 工程材料如何分类? 每类包括哪些主要材料?
3. 简述工程材料在工程建设中的作用。
4. 为什么要制定工程材料的技术标准? 其技术标准分哪几类,分别采用什么代号表示?

## 学习情境一

# 工程材料的基本性质



### 教学目标

#### 知识目标:

1. 了解影响工程材料基本性质的相关因素;
2. 理解工程材料各项基本性质的概念;
3. 掌握工程材料各项基本性质指标的计算方法。

#### 能力目标:

1. 能够区分与工程材料基本性质相关的专业术语;
2. 能够熟练进行工程材料基本性质指标的计算;
3. 能够熟练对具体工程材料的基本性质指标进行试验检测,并对其质量进行正确评定。

#### 素质目标:

1. 通过自我学习和教师讲授,总结知识要点,培养辩证思维的能力和严谨细致的学习方法;
2. 通过小组分工,共同完成学习任务,在教师指导下掌握知识要点,培养科学的工作态度和良好的团队合作精神;
3. 通过相关试验检测项目的实践操作,培养工程材料基本性质的试验检测职业技能。



### 任务描述

1. 通过学习工程材料的基本物理性质,在教师指导下,根据各基本性质指标计算公式计算具体工程材料,如石子、集料、砖等的基本性质指标;
2. 通过学习工程材料的力学性质、热工性质、耐久性,讨论具有上述典型性质的工程材料种类;
3. 在教师指导下,分组进行公路工程用集料基本性质指标的试验检测操作,掌握试验方法,正确处理试验数据,并对其质量进行正确评定。

## 学习任务一 工程材料的基本物理性质

### 一、密度

密度是材料的基本属性,是反映材料组成结构状态的重要参数之一。虽然材料中不同的矿物以不同的排列方式形成各种结构,但从质量和体积的物理观点出发,绝大多数固体材料内部组成结构主要是由材料实体部分和孔隙(包括与外界连通的开口孔隙和不与外界连通的闭

口孔隙)所组成。而对于散状颗粒材料,其体积组成除了包括材料实体部分和孔隙外,还包括散状颗粒材料之间的空隙部分,如图 1-1 所示。

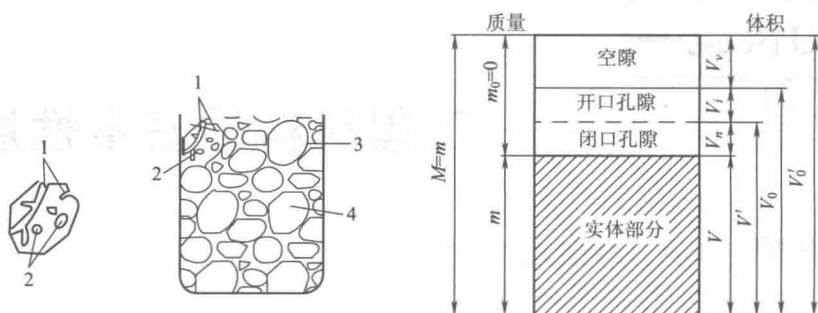


图 1-1 材料体积与质量关系示意图

1—开口孔隙;2—闭口孔隙;3—空隙;4—实体部分; $V$ —实体部分体积; $V_n$ —闭口孔隙体积;  
 $V_i$ —开口孔隙体积; $V_v$ —空隙体积; $V'$ —表观体积(实体部分+闭口孔隙); $V_0$ —毛体积  
 (实体部分+闭口孔隙+开口孔隙); $V'_0$ —堆积体积(实体部分+开口孔隙+闭口孔隙+空隙)

通常,工程材料的密度是指材料在干燥状态下的密度(即干密度),在自然状态下的工程材料常含有一定水分,会影响密度的测定,这时应标明其含水状态(即湿密度)。

根据体积定义的不同,材料的密度包括真实密度、表观密度、毛体积密度和堆积密度等。

### 1. 真实密度

真实密度是指材料在绝对密实状态下单位体积的质量,也称密度。可按下式计算:

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

式中  $\rho$ ——材料的真实密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——材料的质量,  $\text{g}$  或  $\text{kg}$ ;

$V$ ——材料在绝对密实状态下的体积(或实体部分体积),  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ 。

材料在绝对密实状态下的体积是指不包括孔隙在内的固体物质部分的体积。在自然界中,绝大多数固体材料内部都存在孔隙。测定有孔隙材料(如砖)的真实密度时,应将材料磨成细粉,经干燥后,用李氏密度瓶测定其体积,然后按式(1-1)进行计算。

### 2. 表观密度

表观密度是指材料单位表观体积(包括材料实体部分体积和闭口孔隙的体积)的质量,也称视密度。可按下式计算:

$$\rho' = \frac{m}{V'} \quad (1-2)$$

式中  $\rho'$ ——材料的表观密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——材料的质量,  $\text{g}$  或  $\text{kg}$ ;

$V'$ ——材料的表观体积,  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ 。

表观体积一般采用排水法测定,其封闭孔隙的多少,孔隙中是否含有水及含水的多少,均可能影响其总质量或体积。

### 3. 毛体积密度

毛体积密度是指材料单位毛体积(包括材料实体部分体积、闭口孔隙和开口孔隙的体积)的质量。可按下式计算:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad (1-3)$$

式中  $\rho_0$ ——材料的毛体积密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——材料的质量,  $\text{g}$  或  $\text{kg}$ ;

$V_0$ ——材料的毛体积,  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ 。

对于外形规则的材料,其毛体积的测定可用量具测得其外形尺寸。如加气混凝土砌块的体积是逐块量取长、宽、高三个方向的轴线尺寸,计算其毛体积。对于外形不规则材料的毛体积,可用静水称量法或封蜡排液法测得。

#### 4. 堆积密度

堆积密度是指粉状或粒状等散状颗粒材料装填于容器中,包括材料实体部分体积、孔隙(颗粒内部的)和空隙(颗粒之间的)在内的单位体积的质量。可按下式计算:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0} \quad (1-4)$$

式中  $\rho'_0$ ——材料的堆积密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m$ ——材料的质量,  $\text{g}$  或  $\text{kg}$ ;

$V'_0$ ——材料的堆积体积,  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ 。

材料的堆积体积是将散状颗粒材料试样装入规定尺寸的容器来测定的,堆积密度的大小取决于颗粒排列的松紧程度,即取决于装样方式。

根据装样方法的不同,材料的堆积密度可分为自然堆积密度、振实堆积密度和捣实堆积密度。自然堆积密度是指以自由落入方式装填集料,所测的密度又称松装密度;振实密度是将集料分三层装入容器筒中,在容器筒底部放置一根直径  $\phi 25 \text{ mm}$  的圆钢筋,每装一层集料后,将容器筒左右交替颠击地面 25 次;捣实密度是将集料分三层装入容器中,每层用捣棒捣实 25 次。振实密度和捣实密度又可称为紧装密度。

## 二、孔隙率和密实度

### 1. 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率。可按下式计算:

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-5)$$

式中  $P$ ——材料的孔隙率, %;

$V$ ——材料在绝对密实状态下的体积(或实体部分体积),  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ ;

$V_0$ ——材料的毛体积,  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ ;

$\rho_0$ ——材料的毛体积密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$\rho$ ——材料的真实密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

在实际工程应用中,例如用砂、石拌制混凝土时,因其内部的开口孔隙被水或水泥浆占据,因此材料的体积可认为只包括材料实体及闭口孔隙体积。在计算砂、石孔隙率时,可按下式计算:

$$P = \frac{V'_0 - V}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-6)$$

式中  $P$ ——材料的孔隙率, %;

$V$ ——材料在绝对密实状态下的体积(或实体部分体积),  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ ;

$V'$ ——材料的表观体积,  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ ;  
 $\rho'$ ——材料的表观密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  
 $\rho$ ——材料的真实密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

## 2. 密实度

密实度是指材料内部固体物质填充的程度, 即材料实体部分的体积占材料总体积的百分率。可按下式计算:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中  $D$ ——材料的密实度, %;

$V$ ——材料在绝对密实状态下的体积(或实体部分体积),  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ ;

$V_0$ ——材料的毛体积,  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ ;

$\rho_0$ ——材料的毛体积密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$\rho$ ——材料的真实密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

材料的孔隙率与密实度的关系为:

$$P + D = 1$$

材料的孔隙率与密实度是相互关联的两个性质, 孔隙率的大小反映了材料的密实程度。孔隙率越大, 则密实度越小。

材料内部孔隙按构造可分为开口孔隙(与外界连通)和闭口孔隙(与外界隔绝)两种; 按孔隙大小可分为粗大孔隙、细小孔隙(毛细孔)、微小孔隙三种。材料的孔隙率大小、孔隙特征对材料的许多性能影响较大。一般情况下, 材料内部的孔隙越多, 即孔隙率越大, 则材料的表观密度、堆积密度、强度均越小, 耐磨性、抗冻性、抗渗性、耐腐蚀性、耐水性及其他耐久性越差; 而保温性、吸声性、吸水性与吸湿性等越强。孔隙特征(形状和形态等)对材料的性质也有不同程度的影响, 如相对于闭口孔隙而言, 开口孔隙往往对材料的强度、抗渗性、抗冻性、耐腐蚀性、耐水性等更为不利, 对保温性稍有不, 而对吸声性、吸水性与吸湿性等有利, 并且孔隙尺寸越大, 上述影响也越大。

对于绝对密实材料, 因  $\rho_0 = \rho$ , 故密实度  $D = 1$  或  $100\%$ 。对于大多数土木工程材料, 因  $\rho_0 < \rho$ , 故密实度  $D < 1$  或  $D < 100\%$ 。

## 三、空隙率和填充率

### 1. 空隙率

空隙率是指散粒材料在堆积体积内颗粒之间的空隙体积占总体积的百分率。当散粒材料以堆积状态存在时, 其材料内部的开口孔隙将转变为空隙, 如图 1-2 所示。

材料的空隙率可按下式计算:

$$P' = \frac{V_0' - V'}{V_0'} \times 100\% = \left(1 - \frac{V'}{V_0'}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0'}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-8)$$

式中  $P'$ ——材料的空隙率, %;

$V_0'$ ——材料的堆积体积,  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ ;

$V'$ ——材料的表观体积,  $\text{cm}^3$  或  $\text{m}^3$ ;

$\rho'$ ——材料的表观密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$  或  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

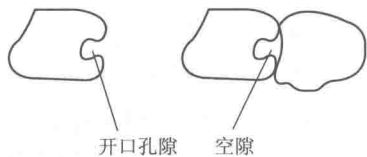


图 1-2 空隙体积示意图