

新世纪土木工程系列教材

土木工程材料

黄政宇摇主编

高等教育出版社

郑重声明

摇摇高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》。行为人将承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

现公布举报电话及通讯地址:

电 话 (010) 60400800 60400700

传 真 (010) 60400700

耘 皂 葬 盗 岳 藻 藻 藻 皂 藻 皂

地 址 北京市东城区沙滩后街 缘号

邮 编 100022

责任编辑摇李摇澈
封面设计摇于摇涛
责任绘图摇朱摇静
版式设计摇张摇岚
责任校对摇康晓燕
责任印制摇

内容提要

本书根据土木工程专业培养要求,参照最新的国家标准、规范和规程,以加强基础、注重实用为原则编写。

本书共 15 章,包括:土木工程材料的基本性质;无机胶凝材料;砂石材料;混凝土与砂浆;砌筑材料;金属材料;沥青和沥青混合料;合成高分子材料;木材;建筑功能材料及附录——土木工程材料试验。为便于教学各章附有必要的思考题。

本书可作为高等学校土木工程专业及土建类其他专业的本科教材或参考书,也可供土木工程设计、施工、科研、管理和监理人员参考。

摇图书在版编目(CIP)数据

摇土木工程材料 钱政宇主编 北京:高等教育出版社, 2014

摇(新世纪土木工程系列教材)

摇ISBN 978-7-04-039110-1

摇 I 钱 II 钱 III 建筑材料—高等学校—教材 IV 钱

摇中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 123456 号

出版发行 高等教育出版社 购书热线 010-58581000
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号 免费咨询 010-58581000
邮政编码 100029 网 址 <http://www.hep.edu.cn>
传 真 010-58581000 邮 购 <http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷

开 本 787mm×1092mm 1/16 版 次 第 1 次 第 1 版
印 张 15 印 插 0 印 年 月 第 版
字 数 350 000 定 价 35.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

如需完整 PDF 请访问: www.ertongbook.com

教育部高等教育出版社土建类系列教材

编辑委员会委员名单

摇摇主任委员 沈蒲生(湖南大学)

摇摇副主任委员 (按姓氏笔画排序)

白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

周绪红(长安大学)

强士中(西南交通大学)

委摇摇摇员 (按姓氏笔画排序)

摇摇卫摇摇(华中科技大学)

王清湘(大连理工大学)

江见鲸(清华大学)

刘摇明(沈阳建筑工程学院)

张印阁(东北林业大学)

吴胜兴(河海大学)

尚守平(湖南大学)

胡长顺(长安大学)

梁兴文(西安建筑科技大学)

焦兆平(广州大学)

霍摇达(北京工业大学)

王摇健(北京建筑工程学院)

叶志明(上海大学)

关宝树(西南交通大学)

朱彦鹏(甘肃工业大学)

张家良(辽宁工学院)

杨和礼(武汉大学)

周摇云(广州大学)

赵明华(湖南大学)

黄醒春(上海交通大学)

廖红建(西安交通大学)

出版者的话

新世纪土木工程系统教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等10个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。

2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。

3. 各门课程教材要具有与本部门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。

4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单地以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。

5. 随着高新技术、特别是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。

6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识、服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审订教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想，我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会，由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基本内容与编审原则，并推荐作者。

我们出版本系列教材，旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系

统的专业系列教材,以期为我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材的编写大纲和初稿都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,请读者批评指正!

二〇〇五年 猿月

前 摇 摇 言

土木工程材料是土木工程的物质基础《土木工程材料》是土木工程专业的技术基础课程。作为土木工程专业系列教材之一,本书以高等学校土木工程专业指导委员会制定的《土木工程材料》教学大纲为基本依据,根据土木工程专业的基本要求,参考国家最新的规范和规程,系统地介绍了土木工程常用的无机胶凝材料、金属材料、砂石材料、混凝土和砂浆、沥青和沥青混合料、合成高分子材料和木材等材料的基本理论和基本知识,适合于土木工程专业的教学,也可供专业技术人员参考。

学习本课程的目的使学生掌握主要土木工程材料的性质、用途、生产和使用方法,了解土木工程材料的性质与组成、结构的关系,以及改善性能的途径。通过本课程的学习,学会根据工程特点合理选择和正确使用材料,并为其他专业基础课和专业课的学习提供相关的材料知识。本书在编写时力求理论联系实际,在内容上尽可能反映本学科国内外的新成就和我国有关的新标准、新规范,并以土木工程各行业的公共材料为重点介绍土木工程材料。

本书由黄政宇主编,尚建丽为副主编。绪论、第 1 章、第 2 章、第 3 章由黄政宇(湖南大学)编写;第 4 章、第 5 章、第 6 章、附录的试验员缘远由尚建丽(西安建筑科技大学)编写;第 7 章、试验圆猿源苑愿由龚建清(湖南大学)编写;第 8 章、第 9 章、第 10 章由伍勇华(西安建筑科技大学)编写。中南大学周士琼教授在百忙中审阅了本教材,并提出宝贵意见,在此表示诚挚谢意。本书在编写过程中得到高等教育出版社、湖南大学的大力帮助,在此一并表示感谢。

由于土木工程材料的品种繁多,新材料的发展很快,且各行业的技术标准不一致,加上时间仓促,水平有限,书中的疏漏、不妥甚至错误之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编者
2022年 6月

目 录

绪论	员	异缘瑶砌块	员缘
第 1 章 土木工程材料的基本性质	源	异缘瑶砌筑用石材	员怨
异缘瑶材料的组成、结构及构造	源	复习思考题	员源
异缘瑶材料的物理性质	远	第 6 章 金属材料	员缘
异缘瑶材料的力学性质	怨	异缘瑶钢材的生产和分类	员缘
异缘瑶材料与水有关的性质	员	异缘瑶钢材的力学性能	员远
异缘瑶材料的热物理性质	员远	异缘瑶钢的晶体组织及化学成分	员园
异缘瑶材料的耐久性	员苑	异缘瑶钢材的加工与焊接	员猿
异缘瑶材料的安全性	员愿	异缘瑶建筑钢材的品种与选用	员缘
复习思考题	员愿	异缘瑶钢材的腐蚀与防止	员猿
第 2 章 无机胶凝材料	圆	复习思考题	员源
异缘瑶气硬性胶凝材料	圆	第 7 章 沥青和沥青混合料	员远
异缘瑶硅酸盐水泥	圆	异缘瑶沥青	员远
异缘瑶掺混合材料的硅酸盐水泥	猿	异缘瑶沥青混合料	员远
异缘瑶其他品种水泥	源	复习思考题	员怨
复习思考题	源	第 8 章 合成高分子材料	员园
第 3 章 砂石材料	源	异缘瑶高分子化合物概述	员园
异缘瑶砂石材料的技术性质	源	异缘瑶土木工程常用的合成高分子	
异缘瑶砂石材料的级配和组成设计	缘	材料	员苑
复习思考题	远	复习思考题	员缘
第 4 章 混凝土与砂浆	远	第 9 章 木材	员远
异缘瑶普通混凝土的组成材料	远	异缘瑶木材的分类与构造	员远
异缘瑶普通混凝土的主要技术性质	苑	异缘瑶木材的主要性能	员愿
异缘瑶普通混凝土的配合比设计和		异缘瑶木材的防腐及防火	员猿
质量控制	怨	异缘瑶木材的应用	员源
异缘瑶其他品种混凝土	员园	复习思考题	员缘
异缘瑶砂浆	员苑	第 10 章 建筑功能材料	员远
复习思考题	员缘	异缘瑶防水材料	员远
第 5 章 砌筑材料	员苑	异缘瑶绝热材料	员源
异缘瑶砌墙砖	员苑	异缘瑶吸声材料和隔声材料	员远

异质材料装饰材料..... 圆苑

复习思考题 圆缘

附录土木工程材料试验 圆苑

摇试验一摇土木工程材料基本性质试验 圆苑

摇试验二摇水泥试验 圆愿

摇试验三摇砂石试验 圆苑

摇试验四摇普通混凝土试验 圆园

摇试验五摇烧结多孔砖试验 圆愿

摇试验六摇钢筋试验 圆愿

摇试验七摇沥青试验 圆愿

摇试验八摇沥青混合料试验 圆缘

参考文献 圆苑

绪摇摇论

一、土木工程材料的分类

土木工程材料是指土木工程中使用的各种材料和制品,它是土木工程的物质基础。土木工程材料的品种繁多、作用和功能各异,为方便应用,常按不同原则分类。按材料来源,可分为天然材料和人造材料;按使用功能,可分为结构材料和功能材料。按组成材料的物质和化学成分,土木工程材料分为无机材料、有机材料和复合材料三大类,每大类又有更细的类别,如下所示:

无机材料摇摇金属材料摇摇黑色金属——钢、铁、不锈钢等

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

烧土制品——砖、瓦、玻璃、陶瓷等

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

有机材料摇摇天然高分子材料——木材、竹材、石油沥青、煤沥青等

合成高分子材料——塑料、涂料、胶粘剂、合成橡胶等

复合材料摇摇有机材料基复合材料——玻璃纤维增强塑料、沥青混合料等

无机材料基复合材料——钢纤维增强混凝土、聚合物水泥混凝土等

二、土木工程材料的作用和发展

土木工程材料作为土木工程的物质基础,对土木工程的发展起着关键作用。一类新的优良的材料出现往往带来工程技术的变革,甚至出现大的飞跃。

人类最早是穴居巢处,进入石器时代后,才开始利用土、石、木等天然材料从事营造活动,挖土凿石为洞,伐木塔竹为棚。随着社会生产力的发展,人类进而利用天然材料进行简单加工,砖、瓦等人造土木工程材料相继出现,使人类第一次冲破天然材料的束缚,开始大量修建房屋和防御工程等,从而使土木工程出现第一次飞跃。18世纪70年代在土木工程中开始使用生铁,18世纪初开始使用熟铁建造桥梁和房屋,出现了钢结构的雏形。从18世纪中叶开始,出现了延性好、抗压和抗拉强度高、质量均匀的建筑钢材,使钢结构得到迅速发展,结构物的跨度从砖、石结构和木结构的几十米发展到百米、几百米,直到现代的千米以上,随着设计理论和施工技术的进一步完善,土木工程又产生了一次飞跃。19世纪40年代,波特兰水泥发明不久,出现了混凝土材料,并很快与钢筋复合制成钢筋混凝土结构,19世纪70年代,又出现了预应力混凝土材料,使土木工程又出现了新的经济、美观的工程结构形式,其结构设计理论和施工技术也得到了蓬勃发展,这

是土木工程的又一次飞跃发展。纵观历史,土木工程 猿次飞跃都与新的优良的材料出现和应用有关。

土木工程材料的发展与土木工程技术的进步密切相关,它们相互制约、相互依赖和相互推动。新型土木工程材料的诞生推动土木工程设计理论和施工技术的变化,而新的设计理论和施工技术又对土木工程材料提出了更高的要求,常常会促进新材料的诞生和发展。

随着人类社会的进步和发展,更有效地利用地球上有限资源和能源,全面改善人类工作与生存的环境,迅速扩大人类的生存空间,满足愈来愈高的安全、舒适、美观、耐久的要求,实现土木工程可持续发展,是土木工程面临的新挑战,也对土木工程材料提出了更多和更高的要求。今后,在原材料方面要最大限度地节约有限的资源,充分利用可再生资源和工农业废料;在生产工艺方面,要尽量降低原材料及能源消耗,大力减少环境污染;在性能方面,除要力求轻质、高强、耐久和多功能外,还要考虑材料的安全性和可再生性。在产品型式方面应积极发展预制技术,提高产品的构件化、单元化的水平。总之,人类进入 圆世纪后,土木工程材料正向高性能、多功能、安全和环境友好的方向发展。

三、土木工程材料的选择和使用

土木工程材料的品种门类繁多、性能各异、用量巨大、价格悬殊,因此,正确选择和合理使用土木工程材料,对土木工程的安全性、适用性、耐久性和经济性有着重大的意义。对于从事土木工程设计、施工、科研和管理的专业人员,掌握各种土木工程材料的性能及其适用范围,在种类繁多的土木工程材料中选择最合适的加以应用,十分重要。

土木工程材料的选择和使用,应该根据工程的特点和使用环境,遵照有关的技术标准进行。在我国,作为材料生产、设计、施工、管理和研究等部门应共同遵循的依据,绝大多数常用的土木工程材料,均由专门的机构制定并发布了相应的技术标准,对其质量、规格、检验方法和验收规则均作了详尽而明确的规定。目前,我国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级。国家标准是由国家有关的主管部门发布的全国性的指导性技术文件,其代号为 圆。行业标准也是全国性的指导性技术文件,但它由各主管生产部(局)或行业协会发布,其代号按部门或行业协会名而定,如建材行业标准的代号为 圆,建设部行业标准的代号为 圆,中国工程建设标准化协会标准的代号为 圆。地方标准是地方主管部门发布的地方性指导性技术文件,其代号为 圆。企业标准则仅适用于本企业,其代号为 圆。凡没有国家标准、行业标准和地方标准的产品,均应制定企业标准。国家标准、行业标准和地方标准按照要求执行的程度分为强制标准和推荐标准(以 圆表示)。当涉及国际间的土木工程项目时,有时还需要遵照国际标准或外国标准选择和使用材料,其中,主要有国际标准(代号 圆)、美国材料试验学会标准(代号 圆)、日本工业标准(代号 圆)、德国工业标准(代号 圆)和英国标准(代号 圆)等。土木工程材料不仅要求必须符合产品标准,更重要的是要遵照有关设计、施工和应用的规范、规程选择和使用。由于现行的规范、规程是以往工程实践经验的总结,在从事土木工程活动时,应熟悉有关的技术标准。

在科学技术突飞猛进的今天,土木工程的新材料、新品种层出不穷,许多新材料、新品种的应用往往很难找到现行有关的技术标准,在这种情况下,熟悉相关类似材料的技术标准,特别是制

定标准的科学依据十分重要。这就要求掌握土木工程材料的基础理论或基本规律,特别是土木工程材料的性质和影响材料性质的因素,才能根据工程特点,正确选择和合理使用材料。

四、学习土木工程材料的目的是和方法

土木工程材料课程是土木工程类专业的技术基础课,课程的学习目的是使学生获得有关土木工程材料的基本理论、基本知识和基本技能,为学习后续的专业课程提供材料的基础知识,并为今后从事设计、施工、管理和科研工作能够合理选择和正确使用土木工程材料奠定基础。

土木工程材料的内容杂、品种多、涉及面广,在学习的过程中,应始终以土木工程材料的性能和合理使用为中心,了解事物的本质和内在联系。例如,在学习材料的性质时,不能只满足于知道某材料具有哪些性质、哪些表象,更重要的是要掌握材料的组成、结构与性质的关系,以及材料各性质之间的相互关系。对于同一类属不同品种的材料,要善于运用对比的方法分析比较,不但要掌握材料的共性,更重要的是要了解它们各自的特性和具备这些特性的原因。材料的性质不仅与其组成结构有关,还受外界条件的影响,了解外界条件对材料性能的影响,对于合理使用土木工程材料十分重要。

土木工程材料课程是一门实践性很强的课程,试验是本课程重要的教学环节,其任务是验证基础理论,学习检验材料的试验方法,培养科学研究能力和严谨的科学态度。在试验时,要严肃认真、一丝不苟、注意观察,并应了解试验条件对试验结果的影响,能根据所学习的基本理论对试验结果做出正确的分析和判断。

第1章

土木工程材料的基本性质

在土木工程中,由于工程性质、结构部位及环境条件的不同,对材料有不同的要求。例如,各种(构)筑物的主体结构,要承受各种荷载的作用,材料必须具有一定的强度。工业建筑或基础设施会受外界介质或环境的化学作用和物理作用,材料必须具有抵抗这些物理和化学作用的耐久性。民用建筑和住宅应外形美观、功能完善、使用方便、环境舒适,材料还必须具有防水防潮、隔声吸声、保温隔热和装饰等功能。由此可见,土木工程对材料性能的要求是复杂和多方面的。土木工程建设是人类的大规模生产活动,需消耗大量的自然资源和能源,并产生一定量的废气、废渣和粉尘等对自然环境有害的物质,所以,土木工程材料的选择和使用,还应考虑材料的人居环境及人类可持续发展的影响。因此,只有掌握材料的基本性质,才能正确选择、合理使用土木工程材料。

异题题题材料的组成、结构及构造

不同的材料,由于组成不同而呈现不同的性质,同一种材料由于结构及构造的差异也会表现不同的性质。所以,材料的组成、结构及构造决定着材料的各种性质。只有了解材料的组成、结构及构造,才能更好地掌握材料的基本性质。

异题题题材料的组成

一、化学组成

化学组成是指材料的化学成分。无机非金属材料的化学成分常用各氧化物的含量来反映,如石灰的化学成分是 CaO 。金属材料则常以化学元素的含量来表示,如碳素钢以碳元素含量来划分。合成高分子材料常以其链节表示,如聚乙烯的链节是 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ 等。土木工程材料的诸多性质都与其化学成分有关,如耐火性、力学性能、耐腐蚀性、老化性能等。

二、物相组成

物相是具有相同物理、化学性质,以及一定化学成分和结构特征的物质。对于无机非金属材料,通常用矿物成分表示;对于金属材料,通常用金相组织来表示。许多材料单从化学组成还不能判断其性质,还必须了解其物相组成。例如,水泥中熟料矿物的组成比例发生变化时,水泥的性质会随之改变。钢材的金相组织发生变化时,钢材的性质也会发生变化。

因此,材料的组成对材料性质的影响十分复杂,需结合具体材料的特性进行研究和分析。

异质材料的结构和构造

材料的性质除与材料组成有关外,还与其结构和构造有密切关系。材料的结构和构造是泛指材料各组成部分之间的结合方式及其在空间排列分布的规律。目前,材料不同层次的结构和构造的名称和划分,在不同学科间尚未统一。通常,按材料的结构和构造的尺度范围,可分为宏观结构、介观结构和微观结构。

一、宏观结构

材料的宏观结构是指用肉眼或放大镜可分辨出的结构和构造状况,其尺度范围在 $10^3 \mu\text{m}$ 以上。按宏观结构的特征,材料有致密、多孔、粒状、层状等结构,宏观结构不同的材料具有不同的特性。例如,玻璃与泡沫玻璃的组成相同,但宏观结构不同,前者为致密结构,后者为多孔结构,其性质截然不同,玻璃用作采光材料,泡沫玻璃用作绝热材料。

材料宏观结构和构造的分类及特征见表 1-1

表 1-1 异质材料的宏观结构和构造及特征

宏观结构		结构特征	常用的土木工程材料举例
按孔隙特征	致密结构	无宏观尺度的孔隙 主要具有微细孔隙 具有较多粗大孔隙	钢铁、玻璃、塑料等 石膏制品、烧土制品等 加气混凝土、泡沫玻璃、泡沫塑料等
	微孔结构		
	多孔结构		
按构造特征	纤维结构	主要由纤维状材料构成 由多层材料叠合构成 由松散颗粒状材料构成 由骨料和胶结材料构成	木材、玻璃钢、岩棉、矿棉等 复合墙板、胶合板、纸面石膏板等 砂石材料、膨胀蛭石、膨胀珍珠岩等 各种混凝土、砂浆、陶瓷等
	层状结构		
	散粒结构		
	聚集结构		

二、介观结构

材料的介观结构(又称亚微观结构)是指用光学显微镜和一般扫描透射电子显微镜所能观察到的结构,是介于宏观和微观之间的结构。其尺度范围在 $10^2 \mu\text{m} \sim 10^4 \mu\text{m}$ 。材料的介观结构根据其尺度范围,还可分为显微结构和纳米结构。其中,显微结构是指用光学显微镜所能观察到的结构,其尺度范围在 $10^2 \mu\text{m} \sim 10^3 \mu\text{m}$ 。土木工程材料的显微结构,应根据具体材料分类研究。对于水泥混凝土,通常是研究水泥石的孔隙结构及界面特性等结构;对于金属材料,通常是研究其金相组织、晶界及晶粒尺寸等。对于木材,通常是研究木纤维、管胞、髓线等组织的结构。材料在显微结构层次上的差异对材料的性能有显著的影响。例如,钢材的晶粒尺寸越小,钢材的强度越高。又如混凝土中毛细孔的数量减少、孔径减小,将使混凝土的强度和抗渗性等提高。因此,对于土木工程材料而言,从显微结构层次上研究并改善材料的性能十分重要。

材料的纳米结构是指一般扫描透射电子显微镜所能观察到的结构。其尺度范围在 $10^1 \mu\text{m} \sim 10^2 \mu\text{m}$ 。材料的纳米结构是 20 世纪 80 年代末期引起人们广泛关注的尺度。其基本结构单元有团簇、纳米微粒、人造原子等。由于纳米微粒和纳米固体有小尺寸效应、表面界面效应等基本特性,使由纳米微粒组成的纳米材料具有许多奇异的物理和化学性能,因而得到了迅速发展,在土木工程中也得到了应用,例如,磁性液体、纳米涂料等。通常胶体中的颗粒直径为 $10^1 \sim 10^2 \mu\text{m}$,其结构是典型的纳米结构。

三、微观结构

材料的微观结构是指原子或分子层次的结构。材料按微观结构可分为晶体和玻璃体。

(一) 晶体结构

晶体是质点(原子、分子、离子)按一定规律在空间重复排列的固体,具有一定的几何形状和物理性质。晶体质点间键能的大小以及结合键的特性决定晶体材料的特性,如表 1-10。

表 1-10 晶体结构结合键及其特性

材料的微观结构	常见材料	主要特性
原子晶体(以共价键结合)	金刚石、石英、刚玉	强度、硬度、熔点均高,密度较小
离子晶体(以离子键结合)	氧化钠、石膏、石灰岩	强度、硬度、熔点较高,但波动大,部分可溶,密度中等
分子晶体(以分子键结合)	蜡及有机化合物晶体	强度、硬度、熔点较低,大部分可溶,密度小
金属晶体(以金属键结合)	铁、钢、铜、铝及其合金	强度、硬度变化大,密度大

无机非金属材料中的晶体,通常不是单一的结合键,而是既存在共价键又存在离子键。硅酸盐材料在土木工程材料中占有重要地位,它广泛应用在水泥、陶瓷、砖瓦、玻璃等材料中,硅酸盐晶体的基本结构单元是 SiO_4 四面体,硅在四个氧形成的四面体的正中(如图 1-11)。硅酸盐的结构比较复杂,是由基本单元 SiO_4 与其他金属离子结合而成,可以组成链状结构、层状结构等硅酸盐晶体。

(二) 玻璃体

玻璃体是熔融物在急冷时,质点来不及按一定规律排列而形成的内部质点无序排列的固体或固态液体。玻璃体结构的材料没有固定的熔点和几何形状,且各向同性。由于内部质点未达到能量最低位置,大量化学能储存在材料结构中,因此,其化学稳定性差,易与其他物质发生化学反应。如某些活性混合材料的活性特点,正是这种玻璃体结构材料的表现。

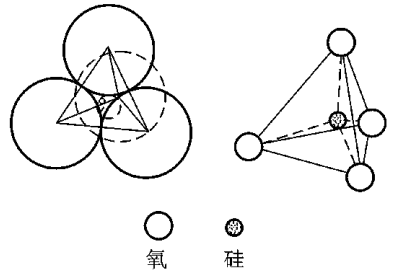


图 1-11 硅氧四面体示意图

1.1.2 材料的物理性质

一、密度、表观密度、毛体积密度和堆积密度

(一) 密度

密度是材料在绝对密实状态下单位体积的质量。按下式计算:

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

式中 ρ ——密度, kg/m^3 ;

m ——干燥材料的质量, kg ;

V ——材料在绝对密实状态下的体积, m^3 。

材料在绝对密实状态下的体积是指不包括材料内部孔隙的体积。在土木工程材料中除钢

材、玻璃等少数材料外,大多数材料内部均存在孔隙。

为测定有孔材料的绝对密实体积,常把材料磨细,干燥后用李氏瓶测定其体积,材料磨得越细,测得的数值越接近材料的真实体积。

材料的密度与蒸馏水密度之比称为相对密度。

(二) 表观密度

表观密度是材料在包含闭口孔隙条件下单位体积的质量。按下式计算:

$$\rho_{\text{表}} = \frac{m}{V_{\text{表}}} \quad (1-10)$$

式中 $\rho_{\text{表}}$ ——表观密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

$V_{\text{表}}$ ——材料在包含闭口孔隙条件下的体积, m^3 。

通常,材料在包含闭口孔隙条件下的体积是采用排液置换法或水中称重法测量。对于某些密实材料(如天然砂、石等)表观密度与密度十分接近,因此,也称为视密度,又称近似密度。

(三) 毛体积密度(容重)

毛体积密度是材料在自然状态下单位体积的质量。按下式计算:

$$\rho_{\text{毛}} = \frac{m}{V_{\text{毛}}} \quad (1-11)$$

式中 $\rho_{\text{毛}}$ ——毛体积密度, kg/m^3 。

m ——材料的质量, kg ;

$V_{\text{毛}}$ ——材料在自然状态下体积, m^3 。

材料在自然状态下的体积是指包括内部孔隙(开口孔隙和闭口孔隙)在内的体积,如图 1-10

对于规则形状材料的体积,可用量具测得;对于不规则形状材料的体积,可采用排液法或封蜡排液法或用体积仪测得。

材料的毛体积密度按含水状态的不同,有干毛体积密度、气干毛体积密度、饱和面干毛体积密度、湿毛体积密度等。对于大多数无机非金属材料,干毛体积密度和气干毛体积密度的数值较接近,这些材料吸湿或吸水后体积变化较小,一般可忽略不计。对于木材等轻质材料,由于吸湿和吸水性强,体积变化大,不同含水状态的毛体积密度差别较大,应精确测定。

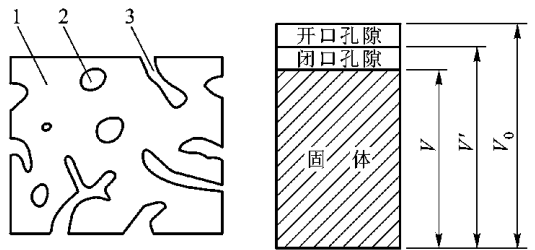


图 1-10 自然状态下体积示意图
 1—固体 2—闭口孔隙 3—开口孔隙

(四) 堆积密度

堆积密度是指散粒状或纤维状材料在堆积状态下单位体积的质量。按下式计算:

$$\rho_{\text{堆}} = \frac{m}{V_{\text{堆}}} \quad (1-12)$$

式中 $\rho_{\text{堆}}$ ——堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

灾—材料堆积体积 愿。

材料的堆积体积包括固体体积、孔隙体积和空隙体积。因此,堆积密度与材料堆积的紧密程度有关。根据材料堆积的紧密程度,堆积密度有松堆密度和紧堆密度。松堆密度是指自然堆积状态下单位体积的质量。紧堆密度是指振实或捣实的紧密堆积状态下单位体积的质量。

散粒材料的颗粒内部或多或少存在孔隙,颗粒与颗粒间又存在间隙,所以对散粒材料而言,有密度、表观密度、毛体积密度和堆积密度四个物理量,应加以区别(如图 员-猿)。

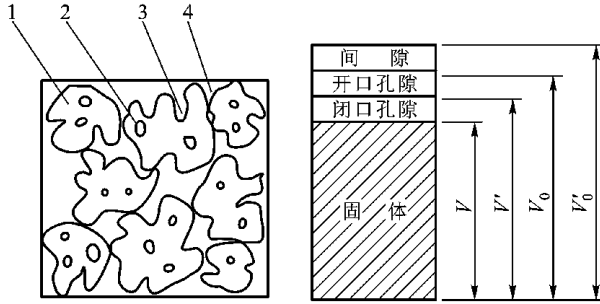


图 员-猿 散粒材料体积示意图

员—固体 圆—闭口孔隙 猿—开口孔隙 源—间隙

二、密实度与孔隙率

(一) 密实度

材料体积(自然状态)内固体物质的充实程度,称为材料的密实度,按下式计算:

$$\text{密实度} = \frac{V_{\text{固}}}{V_0} \quad (1-2)$$

密实度反映材料的密实程度,密实度越大,材料越密实,含有孔隙的材料,密实度均小于 1。

(二) 孔隙率

孔隙率是指材料内部孔隙体积占材料在自然状态下体积的百分率,分为总孔隙率(简称孔隙率)、开口孔隙率和闭口孔隙率(如图 员-圆)。

总孔隙率

材料内部孔隙体积占材料在自然状态下体积的百分率称为材料的孔隙率(孕)。按下式计算:

$$\text{孔隙率} = \left(\frac{V_{\text{孔}}}{V_0} \right) \times 100\% = \left(1 - \frac{V_{\text{固}}}{V_0} \right) \times 100\% \quad (1-3)$$

开口孔隙率

材料内部开口孔隙的体积占材料在自然状态下体积的百分率,称为材料的开口孔隙率。

由于水可进入开口孔隙,工程中常将材料在吸水饱和状态下所吸水的体积,视为开口孔隙的体积(灾),开口孔隙率(孕)按下式计算:

$$\text{开口孔隙率} = \left(\frac{V_{\text{开}}}{V_0} \right) \times 100\% = \left(\frac{V_{\text{水}}}{V_0} \right) \times 100\% \quad (1-4)$$

闭口孔隙率

材料内部闭口孔隙的体积(灾)占材料在自然状态下体积的百分率,称为材料的闭口孔隙