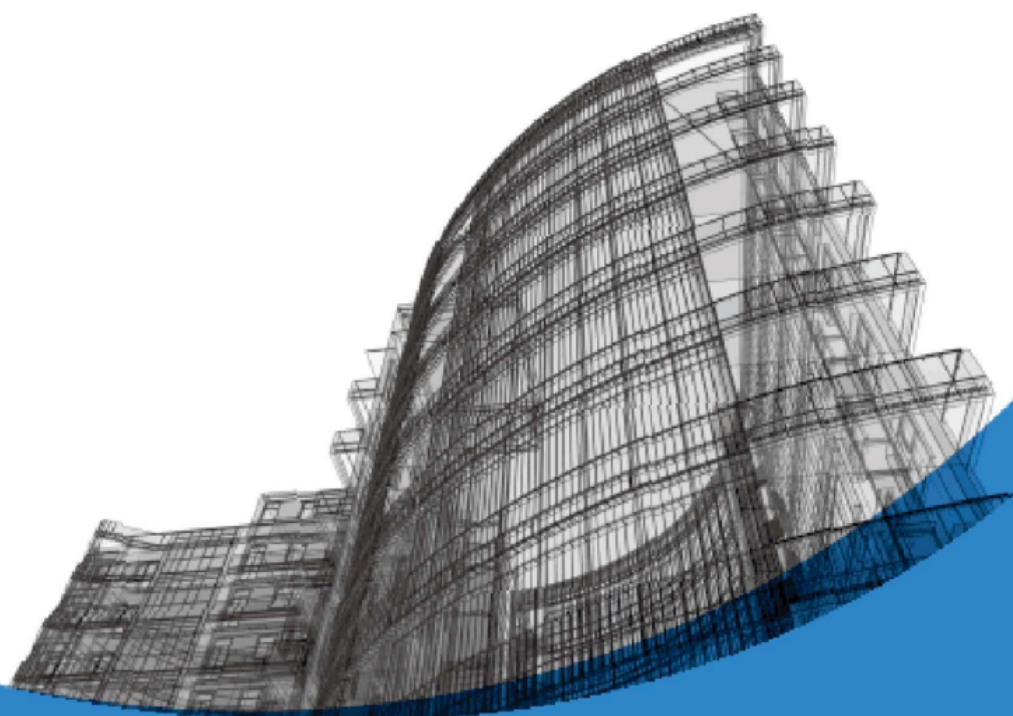




全国高等院校建筑工程专业“十三五”规划教材



JIANZHU CAILIAO

建筑材料

主编 张宿峰 姜封国 张照方



电子科技大学出版社

建筑材料

主 编：张宿峰 姜封国 张照方

副主编：赵 伟



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料/张宿峰, 姜封国, 张照方主编. -- 成都: 电子科技大学出版社, 2017.8

ISBN 978-7-5647-4949-1

I. ①建… II. ①张…②姜… ③张… III. ①建筑材料-教材
IV. ①TU5

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第194465号

建筑材料

张宿峰 姜封国 张照方 主编

策划编辑 谢应成 高小红

责任编辑 高小红

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 北京一鑫印务有限责任公司

成品尺寸 185mm × 260mm

印 张 21.25

字 数 470千字

版 次 2017年8月第一版

印 次 2017年8月第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-4949-1

定 价 50.00元

版权所有，侵权必究

PREFACE 前言

建筑材料是指在建筑工程中使用的各种材料的总称，是建筑工程的物质基础。改革开放以来，由于我国基础经济建设的需求，建筑材料在工程建设中的重要作用日益凸显。特别是我国现阶段正经历着大规模的交通设施建设，道路建筑材料种类大幅度增加，性能明显提高，各类新技术、新工艺更是层出不穷。

“建筑材料”是道路桥梁工程技术及其相关专业的一门实践性很强的技术基础课。本书根据新世纪土木工程和现代交通类专业对道路建筑材料基本知识和基本技能的教学需要，以及社会对应用型人才的需求，并结合编者多年的教学经验编写而成。本书采用了最新国家标准和行业规范，内容充实，知识精炼，行文深入浅出，阐述重点突出。本书注重与工程实践相结合和学生技能的培养，体现了加强实际应用、服务专业教学的宗旨，符合相关专业教学对学生能力的要求。

本书主要介绍了砂石材料、石灰与水泥、无机结合料稳定材料、混凝土和砂浆、沥青材料、沥青混合料、工程高分子聚合物材料、建筑钢材及其他道路交通工程设施材料的基本组成、性能、技术标准及应用。通过对本书的学习，学生能够掌握道路桥梁相关专业建筑材料的基本知识，并能正确认识、合理选择常用材料。

本书是由张宿峰（黑龙江省高速公路建设局）、姜封国（黑龙江科技大学）、张照方（河南建筑职业技术学院）、赵伟（天津建滨工程咨询有限公司）共同编写。其中张宿峰为第一主编，负责第六章至第九章撰写，15万字左右；姜封国负责本书的第一章至第二章的撰写，10万字左右；张照方负责本书的第三章至第四章的撰写；10万字左右；赵伟负责本书的第五章的撰写，5万字左右。

在本书编写过程中，编者参考了有关专家、学者的论著、文献和教材，吸取了一些最新的研究成果，在此表示衷心的感谢！同时，由于时间及编者水平所限，本书难免存在疏漏与不足之处，在本书出版之际，我们真诚地欢迎各位专家、读者对本书提出宝贵的意见和建议。

编 者

绪论 / 001

第一章 砂石材料 / 004

第一节 石料及其技术性质 / 004

第二节 集料及其技术性质 / 014

第三节 矿质混合料的组成设计 / 025

第四节 石料与集料的工程应用 / 043

第二章 石灰与水泥 / 049

第一节 石灰 / 049

第二节 水泥 / 055

第三章 无机结合料稳定材料 / 080

第一节 无机结合料稳定材料的组成 / 080

第二节 无机结合料稳定材料的技术性质 / 084

第三节 无机结合料稳定材料的组成设计 / 089

第四章 混凝土和砂浆 / 096

第一节 混凝土概述 / 096

第二节 混凝土的主要技术性能 / 104

第三节 混凝土的外加材料 / 120

第四节 普通混凝土的质量控制 / 131

第五节 普通混凝土的配合比设计 / 135

第六节 其他功能混凝土 / 150

第七节 砂浆 / 172

第五章	沥青材料	/	179
第一节	石油沥青	/	179
第二节	煤沥青	/	198
第三节	乳化沥青	/	202
第四节	改性沥青	/	207
第六章	沥青混合料	/	211
第一节	沥青混合料概述	/	211
第二节	热拌沥青混合料	/	214
第三节	其他沥青混合料	/	246
第七章	工程高分子聚合物材料	/	260
第一节	工程高分子聚合物材料概述	/	260
第二节	土工布	/	266
第三节	高分子聚合物在路桥工程中的应用	/	269
第八章	建筑钢材	/	275
第一节	建筑钢材概述	/	275
第二节	建筑钢材的主要技术性能	/	280
第三节	建筑钢材的锈蚀及其防治	/	289
第四节	建筑钢材在路桥工程中的应用	/	291
第九章	其他道路交通工程设施材料	/	302
第一节	道路交通设施材料技术要求	/	302
第二节	道路交通设施防腐涂装材料	/	314
第三节	道路标线涂料	/	325
参考文献		/	332

绪 论

随着交通运输基础设施建设规模的迅速发展以及交通量和车辆荷载与日俱增，对道路路面工程与桥梁结构工程的使用性能要求也在不断提高。为了保证和提高路桥工程结构的使用质量，降低工程建设造价，使建筑材料的选择更趋合理、耐用和经济，从事相关专业的工程技术人员应该全面了解和掌握道路建筑材料的基本概念与理论、技术性能与质量要求、检测手段方面的系统知识。

一、“建筑材料”课程的任务和学习内容

“建筑材料”是公路与桥梁专业的一门技术基础课，是研究道路与桥梁建筑材料性能的一门科学。

工程实体是由建筑材料修筑而成的。在道路桥梁建筑中要使用大量的建筑材料，通常用于材料的费用要占工程总造价的 50% 以上，某些重要工程甚至可达 70% ~ 80%。材料质量的优劣、能否正确合理地使用建筑材料，直接关系到整个工程质量的好坏和造价的高低。作为土建工程技术人员，如缺乏建筑材料的知识，要做到工程设计和施工的安全、经济、合理是不可能的。因此，“建筑材料”是公路与桥梁专业的一门重要的技术基础课。该课程的任务是研究道路桥梁中各种材料的技术性能，掌握材料质量的检测方法，合理地选用和配制建筑材料。

“建筑材料”课程的学习内容主要是道路与桥梁建筑工程常用材料的技术性能及检测方法、各种材料的内部组成结构及其与技术性能的关系、产源或加工工艺对材料品质的影响，以及各种材料在性能方面存在的问题和改善的途径。

本书讲述的主要内容有以下四个方面。

1. 砂石材料

砂石材料是经人工开采的岩石或轧制碎石以及地壳表层岩石经天然风化而得到的松散粒料。砂石材料可以直接应用于铺筑道路或砌筑各种桥梁结构物，也可以作为集料来配制水泥混凝土和沥青混合料。

2. 无机结合料及其制品

在道路与桥梁建筑中，最常用到的无机结合料主要是石灰和水泥。水泥是桥梁建筑中水泥混凝土和预应力混凝土结构的主要材料。随着高等级公路的发展，水泥混凝土路

面已成为主要的路面类型之一，而随着半刚性路面的发展，石灰、粉煤灰、水泥与土（或集料）拌制而成的无机结合料稳定材料广泛应用于路面基层，成为半刚性基层的重要组成部分。

此外，砂浆是各种桥梁圬工结构物砌筑的重要结合料。

3. 有机结合料及其混合料

有机结合料主要指沥青材料，它与不同粒径的集料组成沥青混合料，可以铺筑成各种类型的沥青路面。沥青混合料是现代公路建设中一种极为重要的筑路材料。

4. 高分子聚合物材料

近年来，随着我国化学工业的发展，多种高分子聚合物逐渐应用于道路和桥梁工程中，主要是用来改善沥青混合料或水泥混凝土的性能，是一种有发展前途的新材料。如用作水泥混凝土路面的填缝料，也可配制改性沥青等。

5. 建筑钢材

建筑钢材是桥梁钢结构及钢筋混凝土或预应力钢筋混凝土结构的重要材料。

本课程是一门技术基础课，它与物理、化学以及材料力学、工程地质等课程有着密切的联系，也是公路设计与施工、桥梁工程等课程的基础。

通过本课程的学习可以使从事相关专业的工程技术人员全面了解和掌握道路建筑材料的基本概念与理论、技术性能、质量要求方面的系统知识，并能够正确使用、准备和鉴定材料。

二、建筑材料在道路与桥梁工程中应具备的性质

道路与桥梁都是无遮盖而裸露于大自然的结构物，除了承受频繁的车辆荷载作用外，还要承受各种自然因素的综合作用。因此，对于修筑它的建筑材料，除了有良好的力学强度外，还应有抵抗各种自然因素破坏的能力，即在各种自然因素的长时期恶劣影响下，材料的综合力学性能不产生明显的衰减。因此，要求道路建筑材料必须具备以下几方面的技术性质。

1. 力学性质

力学性质是指材料抵抗车辆荷载综合作用的性能。这些综合作用主要是拉力、压力、弯曲、剪切、磨损、冲击等多种类型的受力状态。在这些受力状态中，对具体的某一构件来讲，通常只受一种或两种主要力的作用。而对于某一种建筑材料通常也是某一方面的力学性能较好。因此，应根据构件的受力状态，合理地选用建筑材料。如桥墩，其主要受力为压力，因此，应选用抗压强度较高的材料，如石料、水泥混凝土等。

2. 物理性质

物理性质是指材料在温度、湿度等自然因素的影响下，其力学性能的变化程度。对于一般的材料，当温度或湿度发生变化时，其力学性能也会发生相应的变化。如沥青材料在夏季气温升高时，其力学强度会明显下降；浸水的水泥混凝土，当气温在 0°C 以下时，会

因冰冻而胀裂等。因此，物理性能良好的建筑材料应是在各种自然因素变化的情况下，其力学强度变化不大的材料。

3. 化学性质

化学性质是材料抵抗各种周围环境对其化学作用的性能。道路与桥梁的结构物经常要受到周围环境的化学侵蚀，如浸在工业废水或海水中的桥墩等水泥混凝土结构物，由于水中含有 SO_4^{2-} 、碳酸、镁盐等有害物质，极易与水泥混凝土中的矿物成分起化学反应，使水泥混凝土的强度遭到破坏。又如沥青由于受日光紫外线的综合作用，引起化学成分的变化，使沥青材料逐渐“老化”，等等。因此，用于道路与桥梁的建筑材料应该具有抵抗自然界化学腐蚀的能力。

4. 工艺性质

工艺性质是指材料能够按照一定的工艺流程加工制造的特性。道路与桥梁的构件通常要做成各种各样的形状，因此建筑材料应有一定的加工性能。如水泥混凝土应有良好的可塑性，钢筋应便于弯曲、焊接等。

三、建筑材料的技术标准

为了保证建筑材料的质量，我国对各种建筑材料制定了专门的技术标准。目前我国建筑材料的标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准 4 个等级。对于需要在全国范围内统一的技术要求，应当制定国家标准。国家标准由国务院标准化行政主管部门制定。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。行业标准由国务院有关行政主管部门制定，并报国务院标准化行政主管部门备案。此外，对没有国家标准和行业标准，又需在省、自治区、直辖市范围内实行统一的技术要求，可以制定地方标准。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，以作为组织生产的依据。国家标准和行业标准的表示方法见表 0-1 所示。

表 0-1 国家标准及与道路材料有关的行业标准代号

标准名称	简称（代号）	示例
国家标准	国标（GB）	《通用硅酸盐水泥》（GB 175—2007）
交通行业标准	交通（JT）	《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20—2011）
建材行业标准	建材（JC）	《建筑生石灰》（JC/T 479—2013）
石油化工行业标准	石化（SH）	《道路石油沥青》（NB/SH/T 0522—2010）
黑色冶金行业标准	冶标（YB）	《煤沥青筑路油》（YB/T 030-92）

注：推荐性标准，在标准代号后加“T”。

第一章 砂石材料

通常将石料和集料（亦称“骨料”）统称为“砂石材料”，它们是道路与桥隧工程中使用量最大的一种材料。准确认识、合理选择以及正确使用石料和集料，对于保证建筑工程质量有着不可忽视的重要意义。

第一节 石料及其技术性质

在建筑结构工程中，所使用的石料通常指由天然岩石经机械加工制成的，或者由直接开采得到的具有一定形状和尺寸的石料制品。

一、石料岩石学特性

不同造岩矿物和成岩条件使得各类天然岩石具有不同的结构和构造特征。石料的物理力学性能在很大程度上取决于天然岩石的矿物成分及其在岩石中的构造分布。在工程实践中，为了更好地选用天然石料，需要了解和掌握关于石料岩石学特性的一些基本知识。

（一）造岩矿物

岩石是组成地壳的基本物质，是由造岩矿物在地质作用下按一定的规律聚集而成的自然体。造岩矿物是指具有一定化学成分和结构特征的天然化合物或单质，简称“矿物”。主要的造岩矿物有石英、长石、云母、角闪石、方解石、白云石、黄铁矿、石膏、菱镁矿、磁铁矿和赤铁矿等。岩石可由单种矿物组成，如纯质的大理石是方解石组成的；大多数岩石则是由两种以上的矿物组成，如花岗岩主要由石英、长石和云母等组成。

各种矿物由于化学成分和结构特征不同，具有各不相同的特性。石英为结晶的二氧化硅，常见的颜色有白色、乳白色和浅灰色，是最坚硬稳定的矿物之一。长石为结晶的铝硅酸盐，颜色为白、浅灰、桃红、红、青和暗灰色，其强度和稳定性较石英略低，且易风化成高岭土。云母为结晶的、片状的含水铝硅酸盐，颜色呈无色透明至黑色。白云母的耐久性较黑云母好。云母易于分裂成薄片，当岩石中含有大量云母时，会降低岩石的耐久性和强度。角闪石、辉石、橄榄石均为结晶的铁、镁硅酸盐，颜色为暗绿、棕色或黑色，又称为“暗色矿物”，这几种造岩矿物强度高、坚固、耐久、韧性大。方解石为结晶碳酸钙，

呈白色，强度中等，易被酸类物质分解，微溶于水，易溶于富含二氧化碳的水。白云石是结晶碳酸钙镁复盐，呈白色或黑色，物理性质与方解石相近，强度略高。黄铁矿是结晶的二硫化铁，呈金黄色，遇水及氧化作用后生成游离的硫酸，污染并破坏岩石，在结构工程中属于有害杂质。

各种矿物所具有的特定化学组成与特有结构构造，对石料的物理力学特性有着不同的影响。如石英与长石是比较坚硬的矿物，抗磨光性能好，含石英或长石的花岗岩和砂岩具有优良的抗磨光性能，而方解石、白云石等软质矿物含量较高的石灰岩则很容易被磨光。

（二）岩石的分类

岩石的性能除决定于岩石所含矿物成分外，还取决于成岩条件。按岩石的形成条件可将岩石分为岩浆岩、沉积岩、变质岩三大类，它们具有显著不同的矿物结构与构造。

1. 岩浆岩

岩浆岩是岩浆冷凝而形成的岩石。根据冷却条件不同又分为深成岩、喷出岩及火山岩三类。

（1）深成岩。深成岩是岩浆在地表深处受上部覆盖层的压力作用缓慢冷却而形成的岩石。深成岩大多形成粗颗粒的结晶和块状构造，构造致密，在近地表处，由于冷却较快，晶粒较细。深成岩的共同特性是密度大、抗压强度高、吸水性弱和抗冻性好。工程上常用的深成岩有花岗岩、正长岩、辉长岩等。

（2）喷出岩。喷出岩是岩浆喷出地表时，在压力急剧降低和迅速冷却条件下形成的岩石，多呈隐晶质或玻璃质结构。当喷出岩形成较厚的岩层时，其矿物结构与构造接近深成岩。当形成较薄的岩层时，常呈多孔构造，接近火山岩。工程上常用的喷出岩有玄武岩、安山岩、辉绿岩等。

（3）火山岩。火山岩是火山爆发时，岩浆被喷到空中急速冷却后形成的岩石，如火山灰、火山砂、浮石等，为玻璃体结构且呈多孔构造。火山灰、火山砂可作为混合材料，浮石可作为轻混凝土集料。火山灰、火山砂在覆盖层压力作用下胶结而成的岩石，称为“火山凝灰岩”。火山凝灰岩多孔、质轻、易于加工，可作为保温建筑材料，磨细后可作为水泥的混合材料。

2. 沉积岩

沉积岩是由母岩（岩浆岩、变质岩和早已形成的沉积岩）在地表经风化剥蚀而产生的物质以及经过搬运、沉积和硬结成岩作用而形成的岩石，因其多数是经水流搬运、沉积而成，又称“水成石”。沉积岩由颗粒物质和胶结物质组成。颗粒物质是指不同形状及大小的岩屑及某些矿物；胶结物质的主要成分为碳酸钙、氧化硅、氧化铁及黏土等。沉积岩的物理力学性质不仅与矿物和岩屑的成分有关，而且与胶结物质的性能有很大的关系，以碳酸钙、氧化硅胶结的沉积岩强度较大，而以黏土胶结的沉积岩强度较小。

与岩浆岩相比，沉积岩的成岩过程压力不大，温度不高，大都呈层理构造。沉积岩各

层的成分、结构、颜色和厚度都有差异，这就使得沉积岩沿不同方向表现出不同的力学性能。与深成岩相比，沉积岩的密度小，孔隙率和吸水率大，强度较低，耐久性略差。常见沉积岩有石灰岩、页岩、砂岩、砾岩、石膏、白垩和硅藻土等，散粒状的有黏土、砂和卵石等。

3. 变质岩

变质岩是原生的岩浆岩或沉积岩经过地质上的变质作用而形成的岩石。变质作用是指在地壳内部高温、高压、炽热气体和渗入岩石的水溶液的综合作用下，岩石矿物重新再结晶的过程，有时还可能生成新矿物，使原生岩石的矿物成分和构造发生显著变化而成为一种新的岩石。变质岩在矿物成分与结构构造上既有变质过程中所产生的特征，也会残留部分原岩的某些特点，因此，变质岩的物理力学性能不仅与原岩的性质有关，而且与变质作用条件及变质程度有关。

在变质过程中受到高压和重结晶的作用，由沉积岩得到的变质岩更为紧密，如由石灰岩或白云岩变质而成的大理石岩，由砂岩变质而成的石英岩，它们均较原来的岩石坚固耐久。而原为深成岩的岩石，经过变质作用后，常因产生了片状构造，使岩石的性能变差，如由花岗岩变质而成的片麻岩，较原花岗岩易于分层剥落，耐久性降低。

（三）常用岩石类型

1. 花岗岩

花岗岩是岩浆岩中分布最广的一种岩石，其主要矿物成分为石英、长石、少量暗色矿物和云母。花岗岩的颜色由造岩矿物决定，通常有深青、浅灰、黄和紫红等。优质花岗岩晶粒细，构造密实，没有风化迹象。花岗岩的技术特性是：密度大（ $1.5 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ ），抗压强度高（ $120 \sim 250 \text{ MPa}$ ），孔隙率小，吸水率低，耐磨性强，耐久性好。

2. 玄武岩

玄武岩属于喷出岩，主要造岩矿物是暗色矿物，呈玻璃质或隐晶质斑状结构，气孔状或杏仁状构造。玄武岩的抗压强度随其结构和构造的不同而变化较大（ $100 \sim 500 \text{ MPa}$ ），表观密度为 $2.9 \sim 3.5 \text{ g/cm}^3$ ，硬度高，脆性大，耐久性好。

3. 辉长岩

辉长岩的主要矿物为斜长石、辉石及少量橄榄石，为等粒结晶质结构和块状构造，常呈墨绿色。辉长岩表观密度大（ $2.9 \sim 3.3 \text{ g/cm}^3$ ），抗压强度高（ $200 \sim 350 \text{ MPa}$ ），韧性及抗风化性好，易于琢磨抛光，既可用作承重材料，也可用作饰面材料。

4. 石灰岩

石灰岩的主要矿物组成为方解石，常含有少量黏土、白云石、氧化铁、氧化硅、碳酸镁及有机物质等。石灰岩的颜色随所含杂质的不同而不同，含黏土或氧化铁等杂质的石灰岩呈灰色、浅黄或浅红色，当有机质含量多时呈深灰或黑色。

石灰岩的构造有散粒、多孔和致密等类型。松散土状的称为“白垩”，其组成几乎完

全是碳酸钙，是制造玻璃、石灰、水泥的原料。多孔构造的如贝壳石灰岩可作为保温建筑的墙体。致密构造的为普通石灰岩，各种致密石灰岩表观密度为 $2.0 \sim 2.6 \text{ g/cm}^3$ ，抗压强度为 $20 \sim 120 \text{ Mpa}$ ，质地细密、坚硬、抗风化能力较强。硅质石灰岩强度高、硬度大、耐久性好。当石灰岩中黏土等杂质的含量超过 $3\% \sim 4\%$ 时，石灰岩的抗冻性和耐水性显著降低。当杂质含量高时，则成为其他岩石，如黏土含量为 $25\% \sim 60\%$ 时称为“泥灰岩”，碳酸镁含量为 $40\% \sim 60\%$ 时称为“白云岩”。

石灰岩分布极广，开采加工容易，常作为地方材料，广泛用于基础、墙体、桥墩、台阶及一般砌石工程。石灰岩加工成碎石，可用作水泥混凝土、沥青混合料集料或道路基层用集料。由于方解石易被溶解侵蚀，因此石灰岩不能用于酸性或含游离二氧化碳较多的水中。

5. 砂岩

砂岩属于沉积岩，为碎屑结构，层状构造，主要矿物为石英、少量长石、方解石、白云石及云母等。根据胶结物的不同，砂岩可分为由氧化硅胶结而成的硅质砂岩，常呈淡灰色；由碳酸钙胶结而成的钙质砂岩，呈白色或灰色；由氧化铁胶结而成的铁质砂岩，常呈红色；由黏土胶结而成的黏土质砂岩，呈灰黄色。

砂岩的性能与其中的胶结物种类及胶结的密实程度有关。硅质砂岩密实，坚硬耐久，耐酸，性能接近于花岗岩；钙质砂岩有一定的强度，容易加工，是砂岩中最常用的一种，但质地较软，不耐酸；铁质砂岩的性能稍差，其中密实铁质砂岩仍可用于一般建筑工程；黏土质砂岩的性能较差，易风化，长期受水作用会软化，甚至松散，在建筑工程中一般不用。

由于砂岩的胶结物和构造的不同，其性能波动很大，即使是同一产地的砂岩，性能也有很大差异。砂岩的抗压强度为 $5 \sim 200 \text{ Mpa}$ ，表观密度为 $1.5 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$ 。

6. 石英岩

石英岩由硅质砂岩变质而成，结构均匀致密，矿物成分主要是结晶氧化硅。在几种主要岩石中，石英岩的强度较高（ $250 \sim 400 \text{ Mpa}$ ），十分耐久，但由于硬度较大，加工困难。

7. 片麻岩

片麻岩是由花岗岩变质而成的，其矿物成分与花岗岩类似。片麻岩结晶大多是等粒或斑状的，外表美观。片麻岩因呈片状构造，各向性质不同，垂直于片理方向的抗压强度大（ $120 \sim 250 \text{ Mpa}$ ），沿片麻岩的片理易于开采加工，但在冻融循环作用下，易成层剥落。片麻岩通常制成碎石、片石及料石等，用于地方性的一般建筑工程。

（四）矿物的主要化学组成

石料的化学组成通常用氧化物表示，见表 1-1，其主要化学成分为氧化硅、氧化钙、氧化铁、氧化铝、氧化镁，以及少量的氧化锰、三氧化硫等。

表 1-1 三种岩石的化学成分含量（单位：%）

岩石名称	氧化硅 SiO ₂	氧化钙 CaO	氧化铁 Fe ₂ O ₃	氧化铝 Al ₂ O ₃	氧化镁 MgO	氧化锰 MnO	三氧化硫 SO ₃	磷酸酐 P ₂ O ₅
石灰石	1.01	56.27	0.27	0.27	0.057	0.0 065	0.009	痕量
花岗石	69.62	1.81	2.60	15.69	0.022	0.022	0.14	0.02
石英石	98.43	0.21	1.23	0.09	痕量	0.006	0.21	0

在大多数情况下，这些氧化物的化学稳定性较好，所以石料就本身来说是一种惰性材料。然而，当与水接触时，石料的化学成分比例将直接影响集料的亲水性以及集料与沥青的黏附性。在道路工程中，通常按照氧化硅含量大于 65%、52% ~ 65% 和小于 52% 将石料分为酸性集料（硅质石料）、中性集料和碱性集料（钙质石料）。大部分硅质石料，如花岗岩、石英岩等水中带负电荷，亲水性较大，而石灰岩等钙质石料在水中带正电荷，亲水性较弱（见表 1-2）。

由于石料对水的亲和力大于对沥青结合料的亲和力，水可能将集料上的沥青膜剥落，导致沥青混合料强度的降低。石料的亲水系数越大，水对沥青混合料水稳定性的影响就越大。

表 1-2 不同岩石的化学组成比例与亲水系数

岩石名称	氧化硅含量范围（%）	亲水系数
石英岩	80 ~ 100	1.06
花岗岩	64 ~ 80	0.98
石灰岩	0 ~ 50	0.79

此外，人们在道路路面和机场道面工程实践中发现，当石料以集料的形式应用于水泥混凝土中时，某些含有活性二氧化硅或活性碳酸盐成分的集料会与水泥中的碱性氧化物发生化学反应，这对混凝土结构强度和稳定性产生非常不利的影响。

二、石料的物理性质

（一）物理常数

石料最常用的物理常数是密度和孔隙率。这些物理常数与石料的物理、力学性质有着密切的关系，在选用石料、进行混凝土配合比计算时，这些物理常数也是重要的设计参数。

石料的物理常数是反映材料矿物组成、结构状态和特征参数。虽然石料中不同矿物以不同的排列方式形成各种结构，但从质量和体积上说，组成其结构的主要是矿物质实体和空隙（包括与外界连通的开口空隙和内部的闭口空隙），如图 1-1 所示。

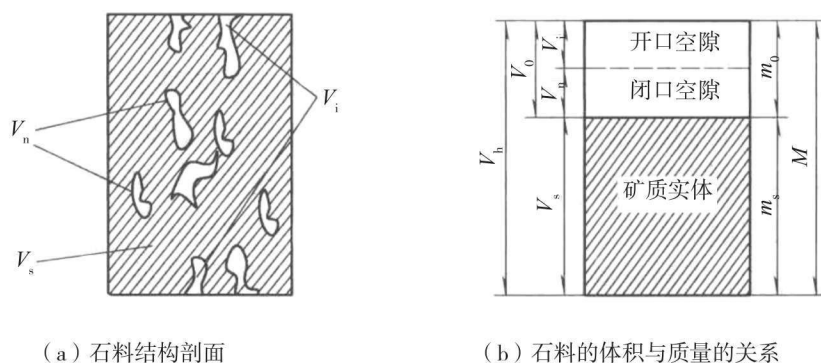


图 1-1 石料组成部分的质量与体积关系示意图

1. 密度

密度是指在规定条件下，石料矿质实体单位体积的质量。根据体积定义的不同，石料的密度包括真实密度、表观密度和毛体积密度等。

(1) 真实密度

真实密度是指在规定条件下，烘干的石料矿质实体单位真实体积的质量，按照式 (1-1) 计算。计算石料的真实密度，需要测定石料矿质实体的真实体积。试验时，将已知质量的干燥石料磨成细粉，全部通过 0.25mm 筛孔后，用比重瓶法或李氏密度瓶法测定其真实体积 V_s 。

$$\rho_t = \frac{m_s}{V_s} \quad (1-1)$$

式中： ρ_t ——石料的真实密度，单位 g/cm^3 ；

m_s ——石料矿质实体的质量，单位 g ；

V_s ——石料矿质实体的体积，单位 cm^3 。

(2) 表观密度

表观密度是指在规定条件下，烘干石料矿质实体包括闭口孔隙在内的单位表观体积的质量，由式 (1-2) 计算。测定石料表观体积时，需将已知质量的干燥石料浸水，使其开口孔隙吸饱水，然后称出饱水后石料在水中的质量，两者之差除以水的密度（通常取水的密度为 1 g/cm^3 ）即为石料的包括闭口孔隙在内的石料表观体积 ($V_s + V_n$)。

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_s + V_n} \quad (1-2)$$

式中： ρ_a ——石料的表观密度，单位 g/cm^3 ；

m_s ——石料矿质实体的质量, 单位 g;

V_s ——石料矿质实体的体积, 单位 cm^3 ;

V_n ——石料矿质实体中闭口孔隙的体积, 单位 cm^3 。

(3) 毛体积密度

毛体积密度是指在规定条件下, 烘干石料矿质实体包括孔隙 (闭口和开口孔隙) 在内的单位毛体积的质量, 由式 (1-3) 计算。砂石材料毛体积密度的测定方法是将已知质量的干燥试样, 经饱水后, 将试样表面擦干求得饱和面干质量, 再用排水法求得试样在水中的质量, 两者之差除以水的密度即为试样的毛体积 $V_h (V_s + V_n + V_i)$ 。

$$\rho_h = \frac{m_s}{V_s + V_n + V_i} \quad (1-3)$$

式中: ρ_h ——石料的毛体积密度, 单位 g/cm^3 ;

m_s ——石料矿质实体的质量, 单位 g;

V_s ——石料矿质实体的体积, 单位 cm^3 ;

V_n ——石料矿质实体中闭口孔隙的体积, 单位 cm^3 ;

V_i ——石料矿质实体中开口孔隙的体积, 单位 cm^3 。

2. 孔隙率

孔隙率是指石料孔隙体积占石料总体积 (包括闭口孔隙体积和开口孔隙体积) 的百分率, 由式 (1-4) 计算。

$$n = \frac{V_n + V_i}{V_h} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中: n ——石料的孔隙率;

V_n ——石料矿质实体中闭口孔隙的体积, 单位 cm^3 ;

V_i ——石料矿质实体中开口孔隙的体积, 单位 cm^3 ;

V_h ——石料的毛体积 (含矿质实体、开口孔隙和闭口孔隙体积), cm^3 。

将式 (1-1) 和式 (1-3) 代入式 (1-4) 得式 (1-5), 即采用石料的真实密度和毛体积密度计算的孔隙率。

$$n = \left(1 - \frac{\rho_h}{\rho_t} \right) \times 100\% \quad (1-5)$$

式中: n ——石料的孔隙率;

ρ_h ——石料的毛体积密度, 单位 g/cm^3 ;

ρ_t ——石料的真实密度, 单位 g/cm^3 。

石料技术性能不仅受孔隙率总量的影响, 还取决于孔隙的构造。孔隙构造有连通与封闭两种类型, 前者彼此贯通且与外界相通, 后者相互独立且与外界隔绝。孔隙按尺寸大小又分为极细微孔隙、细小孔隙和较粗大孔隙。在孔隙率相同的条件下, 连通较粗大的孔隙