



普通高等教育土建类规划教材

道路建筑 材料

●王修山 董晓明 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育土建类规划教材

道路建筑材料

主 编 王修山 董晓明

副主编 车 法 南爱强 施萍萍

参 编 陈 肯 王锋宪 李宝银

侯 毅 梅中梁

主 审 郝培文



机械工业出版社

本书主要阐述道路工程及其附属结构物中常用材料的技术性能和质量要求、性能影响因素及其评价方法、混合料的组成设计方法及其工程应用的综合知识,从整体上反映当代土木工程材料的新成果、新技术。本书主要介绍了砂石材料、无机胶凝材料、混凝土和砂浆、沥青材料、沥青混合料、工程高聚物材料、建筑钢材和木材、道路标线材料、其他道路交通工程设施材料等。附录为道路建筑材料试验,对常规砂石沥青材料及沥青混合料等材料的性能测试方法进行了介绍。

本书采用最新国家标准或行业标准,可作为高等院校土建类专业教学用书,也可作为从事土木勘察、设计、施工、科研和管理工作的专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

道路建筑材料/王修山,董晓明主编. —北京:机械工业出版社,2016.1
普通高等教育土建类规划教材
ISBN 978-7-111-52557-8

I. ①道… II. ①王…②董… III. ①道路工程—建筑材料—高等学校—教材 IV. ①U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 308071 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:马军平 责任编辑:马军平 于伟蓉 林 辉
版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉
责任印制:李 洋
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
2016 年 3 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm · 21.25 印张 · 526 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-52557-8
定价:43.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

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。如作为道路建筑材料主体之一的水泥基材料,尤其是混凝土,其理论和技术正在发生着革命性的变化,并已经迅速、广泛地应用到各类重要工程中。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对学生技能的培养,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、无机胶凝材料、混凝土和砂浆、沥青及沥青混合料、工程高聚物材料、建筑钢材和木材、道路标线材料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。附录为道路建筑材料试验,主要包括砂石材料试验、水泥和石灰试验、混凝土试验沥青及沥青混合料试验、建筑钢材性能试验等内容。通过对本书的学习,学生能够掌握道路建筑材料的基本知识,并能正确认识、合理选择常用材料。

本书由王修山和董晓明担任主编,由车法、南爱强和施萍萍担任副主编;由王修山统稿,承长安大学郝培文教授主审。本书具体编写分工是:第1~3章由浙江理工大学王修山、施萍萍编写;第4、5章由鲁东大学董晓明、侯毅编写;第6、7章由云南交通职业技术学院南爱强、王锋宪编写;第8、9章由陕西中霖集团工程设计研究有限公司李宝银编写;附录A~H由浙江沪杭甬高速公路股份有限公司试验检测中心陈肯编写;附录I~N由山东省淄博市公路管理局车法和滨州市公路管理局梅中梁编写。

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!

限于编者水平,书中难免存在不足之处和尚待探讨的问题,恳请有关专家、学者和广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言		标准	147
绪论	1	第四节 沥青混合料配合比设计	153
第一章 砂石材料	4	第五节 沥青玛蹄脂碎石沥青混合料	167
第一节 石料	4	第六节 其他沥青混合料	174
第二节 集料	12	思考题	177
第三节 矿质混合料的组成设计	21	第六章 工程高聚物材料	178
第四节 石料与集料的工程应用	35	第一节 概述	178
思考题	39	第二节 高聚物的力学性能	182
第二章 无机胶凝材料	41	第三节 常用的工程高聚物材料	186
第一节 概述	41	第四节 高聚物材料在土木工程中的 应用	196
第二节 硅酸盐水泥	42	思考题	202
第三节 通用硅酸盐水泥	51	第七章 建筑钢材和木材	204
第四节 其他水泥	55	第一节 建筑钢材	204
第五节 石灰	58	第二节 道桥工程常用钢材	214
思考题	61	第三节 钢材的选用、腐蚀与防护	228
第三章 混凝土和砂浆	63	第四节 建筑木材	229
第一节 概述	63	思考题	238
第二节 普通混凝土的基本组成材料	64	第八章 道路标线材料	239
第三节 普通混凝土的主要技术性质	69	第一节 概述	239
第四节 混凝土的外加材料	82	第二节 涂料的基本性质	239
第五节 普通混凝土的配合比设计	91	第三节 道路标线涂料	248
第六节 其他品种混凝土	103	思考题	253
第七节 砂浆	106	第九章 其他道路交通工程设施 材料	254
思考题	112	第一节 道路交通设施材料技术要求	254
第四章 沥青材料	114	第二节 道路交通设施防腐涂装材料	264
第一节 概述	114	思考题	272
第二节 石油沥青	114	附录 道路建筑材料试验	273
第三节 改性沥青	130	试验 A 石料的强度和磨耗试验	273
第四节 乳化沥青	133	试验 B 集料的密度和级配试验	275
第五节 煤沥青	137	试验 C 集料磨光值试验	285
思考题	140	试验 D 水泥性能试验	289
第五章 沥青混合料	141	试验 E 石灰有效氧化钙和氧化镁含量 试验	293
第一节 概述	141	试验 F 混凝土拌合物试验	298
第二节 沥青混合料的组成结构和强度 理论	142		
第三节 沥青混合料的技术性质和技术			

试验 G 混凝土的力学性能试验	301	试验 L 沥青混合料马歇尔稳定度	
试验 H 砂浆试验	303	试验	320
试验 I 石油沥青的针入度、延度和软化点		试验 M 沥青混合料车辙试验	322
试验	307	试验 N 建筑钢材性能试验	325
试验 J 沥青黏度试验	313	参考文献	333
试验 K 沥青混合料的制备和物理			
指标	315		

绪 论

一、道路建筑材料学习的内容

道路建筑材料是道路桥梁工程建筑的物质基础,其性能对建筑结构的使用性能、耐久性能起着至关重要的作用。路桥工程中许多技术问题的解决往往与材料有关,新材料的出现又推动了建筑设计及施工技术的革新。道路建筑材料与工程总造价密不可分,其费用在建筑工程总造价中占40%~70%。因此合理地选择和使用材料,充分发挥材料的性能,延长材料的使用期限,同时确保经济合理,具有重要的实用意义。

道路建筑材料课程是一门技术基础课程,课程设置的目的在于配合专业课程,为专业设计和施工管理提供合理选择以及使用材料的基础知识。

1. 主要道路建筑材料种类

道路建筑材料是道路与桥隧工程中所用各种建筑材料的总称,主要包括以下几大类:

(1) 砂石材料 砂石材料主要包括人工开采的岩石或轧制的碎石、天然砂砾石及各种性能稳定的工业冶金矿渣等。这类材料是道路桥隧工程中使用最多的一类材料。尺寸较大的块状石料经加工后,可用于砌筑道路、桥隧工程结构及其附属构造物等。性能稳定的松散岩石集料可应用于生产沥青混合料或水泥混凝土,用于铺筑沥青路面或水泥路面,或直接应用于铺筑道路基层、垫层等。一些具有活性的矿质材料或工业废渣,如粒化高炉矿渣、粉煤灰等,经加工后可作为水泥原料,同时也可作为沥青混合料和水泥混凝土的外掺料、混合料使用。

(2) 结合料类 水泥、石灰和沥青等是道路建筑材料中常用的结合料,它们用于将松散的集料颗粒胶结成具有一定强度和稳定性的整体材料。

(3) 水泥混凝土和砂浆 水泥混凝土是由水泥和砂石材料组成的复合材料,是道路桥隧工程结构中使用最多的材料,它具有较高的强度和刚度,能够承受较繁重的车辆荷载作用,因此主要用于桥隧结构及高等级道路面层结构。水泥砂浆主要由水泥和细集料组成,主要应用于砌筑和抹面结构物中。

(4) 沥青混合料 沥青混合料是以砂石材料和沥青材料组成的复合材料,如沥青混凝土、沥青碎石等。沥青混合料具有较高的强度、柔韧性和耐久性,所铺筑的沥青路面连续、平整、具有弹性,非常适合车辆的高速行驶,因此是高等级道路面层结构及桥梁结构铺装层的重要材料。

(5) 工程聚合物材料 工程聚合物材料主要指常用于道路与桥隧工程结构中的塑料(合成树脂)、橡胶和纤维等。这些材料可用作为胶结料、填料缝、土工格栅,也可用于改善道路建筑材料的技术性能,如聚合物水泥混凝土、改性沥青等。

(6) 钢材与木材 钢材主要应用于桥梁工程结构及钢筋混凝土结构或预应力钢筋混凝土结构中。木材在工程中主要作为模板或拱架使用。

(7) 道路标线材料 道路标线材料主要是指道路标线涂料、道钉、预成型标线带等,

其中道路标线涂料是最重要的组成部分。道路标线材料在道路与桥隧工程结构中的应用起到醒示作用。

2. 道路建筑材料研究的内容

(1) 道路建筑材料的基本组成与结构 材料的基本特性在一定程度上取决于材料的组成或化学成分(矿物成分)及其内部组成结构,如石料的矿物组成、水泥的矿物组成、沥青的化学组分等,它们对材料的技术指标有着显著的影响。充分地了解和认识材料的基本组成结构及其与材料性能的关系,是合理选择材料、正确使用材料及改善研发新材料的基础。现代测试技术手段的发展为深入了解材料组成结构与性能之间的关系起到了积极的推动作用。

(2) 道路建筑材料的基本技术性质 道路建筑材料的基本技术性质主要包括物理性质、力学性质、耐久性和工艺性等。因此只有全面了解和掌握这些基本性质才能合理地选择和使用材料,这也是保证工程结构中所用材料的综合力学强度和稳定性能够满足设计、施工和使用要求的关键。

1) 基本物理性质。道路建筑材料常用的物理性能指标为物理常数(密度、空隙率、孔隙率)及吸水率等。材料的物理常数可用于材料用量的计算、混合料的配合比设计等。材料的物理常数能反映材料的基本组成及构造,它与材料吸水性、抗冻性等有关,同时又与材料力学性质及耐久性有密切的关系。

2) 基本力学性质。在行车荷载作用下,道路材料将承受较大的竖向力、水平力、冲击力及车轮的磨耗作用。道路建筑材料课程将针对材料的强度、刚度、变形特征及柔韧性等力学性能,以及这些性能的影响因素及评价方法和指标进行研究,并进一步考虑这些力学性能指标随温度和时间变化规律。

3) 耐久性。裸露在自然环境中的道路桥梁工程结构物,将受到各种自然因素的侵蚀,如温度变化、冻融循环、氧化作用、酸碱腐蚀等。道路建筑材料课程中将根据材料所处的结构部位和环境条件,同时综合考虑引起材料性质衰变的外界条件和材料自身的内在原因,使读者能够全面地了解材料抵抗破坏的能力,以保证材料的使用性能。

4) 工艺性。工艺性是指材料适合于按一定工艺要求加工的性能。工程应用中选择材料和确定设计参数时必须考虑的因素是:所选择的材料能否在现行的施工条件下,通过必要的操作工序,使材料的技术性能达到预期的目标,并满足使用要求。

(3) 混合料的组成设计方法 混合料的组成设计主要是原材料的选择及其用量比例的确定。通过混合料的组成设计,从质量和数量两个方面保证混合料满足工程应用所需要的体积特征、力学性质和稳定性,从而满足结构的使用要求。

二、道路建筑材料的性能检测

道路建筑材料的基本技术性质往往通过适当的检测手段来确定。材料性能的检测方法应能够反映实际结构中材料的受力状态,这些方法包括实验室内原材料的性能检测、实验室内模拟结构物的性能检测和现场修筑试验性结构物的性能检测等。在道路建筑材料课程中仅介绍实验室内对原材料的性能检测。

由材料试验得到的数据和技术参数能够表达材料的特性,决定材料的适用范围,因此,在进行材料性能检测时应当按照当前技术标准中规定的程序进行,以保证试验结果的科学

性、公正性以及权威性。

三、道路建筑材料的技术标准

道路建筑材料的技术标准是有关部门根据材料固有特性,结合研究条件和工程特点,对材料的规格、质量标准、技术指标及相关的试验方法所作出的详尽而明确的规定。从事科研、设计和施工的单位,在进行道路建筑材料的性能研究、生产、设计和施工的过程中应严格按照这些标准进行。

目前我国的技术标准等级根据发布单位和适用范围分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四级。

国家标准是由国家标准主管部门委托有关部门起草,或有关部委提出报批,经国家技术监督局会同各有关部委审批,并由国家技术监督局发布的全国性指导技术文件,简称“国标”,代号 GB。

行业标准是由中央部委标准机构制定,有关科研院所、大专院校、工厂等单位提出或联合提出,报请中央部委主管部门审批后发布,并报国家技术监督局备案的全国性的某行业范围的技术标准。在公布国家标准之后,该行业标准即行作废。行业标准的代号没有统一,往往按各部门名称而定,如建材标准为 JC、建工标准为 JG、交通标准为 JT。

地方标准是地方主管部门发布的地方性指导技术文件,代号 DB。企业标准仅适用于本企业,凡企业生产的产品没有国家标准和行业标准的,均应制定企业标准以作为组织生产的依据。企业标准代号 QB。

建筑材料技术标准按其特性分为基础标准、方法标准、原材料标准、能源标准、包装标准和产品标准等。国际上有影响的技术标准包括:国际标准 ISO、美国材料与试验学会标准 ASTM、日本工业标准 JIS 和英国标准 BS、德国标准 DIN 等。

随着材料检测手段和检测设备功能的不断提高,基础理论研究和试验工作的深入,工程实践和应用技术的成熟,人们对各种道路建筑材料的认识将不断完善,各种技术标准中的具体条款和技术参数将会被不断地修订和补充。

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，对于保证建筑结构工程质量有着不可忽视的重要意义。

第一节 石 料

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。

1. 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。

2. 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,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。

3. 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,既可用于作承重材料,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 $25\% \sim 60\%$ 的称为“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（120~250MPa），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。

4. 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	0.0065	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

1. 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、结构状态和特征的参数。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。

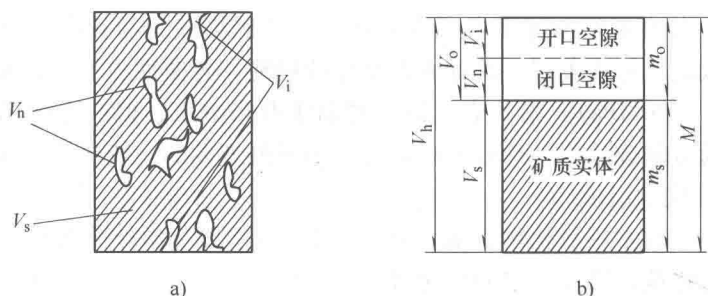


图 1-1 石料组成部分的质量与体积关系示意图

a) 石料结构剖面 b) 石料的体积与质量的关系

(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, g/cm^3 ;

m_s ——石料矿质实体的质量, g ;

V_s ——石料矿质实体的体积, 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 $1\text{g}/\text{cm}^3$) 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, g/cm^3 ;

m_s ——石料矿质实体的质量, g ;

V_s ——石料矿质实体的体积, cm^3 ;

V_n ——石料矿质实体中闭口孔隙的体积, 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, g/cm^3 ;

m_s ——石料矿质实体的质量, g ;

V_s ——石料矿质实体的体积, cm^3 ;

V_n ——石料矿质实体中闭口孔隙的体积, cm^3 ;

V_i ——石料矿质实体中开口孔隙的体积, 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, cm^3 ;

V_i ——石料矿质实体中开口孔隙的体积, 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, g/cm^3 ;

ρ_t ——石料的真实密度, 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,连通较粗大的孔隙对石料性能影响显著。

2. 吸水性

石料吸入水分的能力称为“吸水性”,其大小可以用吸水率或饱水率来表示。吸收率是石料在常温常压条件下最大吸收质量占干燥试样质量的百分率。吸水率或饱水率按式(1-6)计算。

$$w_x = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 w_x ——石料试样的吸水率或饱水率;

m_1 ——烘至恒重时的试样质量, g;

m_2 ——吸水(或饱水)至恒重时的试样质量, g。

石料吸水性与其孔隙率及孔隙构造特征有关。石料内部独立且封闭的孔隙是不吸水的,只有开口且以毛细管连通的孔隙才能吸水。孔隙构造相同的石料,孔隙越大,吸水率越大。表观密度大的石料,孔隙率小,吸水率也小,如花岗岩石料的吸水率通常小于0.5%,而多孔贝类石灰岩石料的吸水率可高达15%。表1-3为几种岩石的密度和吸水率的测试值。石料的吸水性能够有效反映岩石裂隙的发育程度,并用于判断岩石的抗冻性和抗风化能力。

表 1-3 常用岩石密度和吸水率

岩石名称		密度/(g/cm ³)	吸水率(%)	岩石名称		密度/(g/cm ³)	吸水率(%)
岩浆岩	花岗岩	2.30~2.80	0.10~4.0	沉积岩	砂岩	2.20~2.71	0.20~12.19
	辉长岩	2.55~2.98	—		石灰岩	2.30~2.77	0.10~4.55
	辉绿岩	2.53~2.97	0.22~5.00	变质岩	片麻岩	2.30~3.05	0.10~3.15
	安山岩	2.30~2.70	0.3~4.5		石英岩	2.40~2.80	0.10~1.45
	玄武岩	2.50~3.10	0.30~2.69				

3. 抗冻性

抗冻性是指石料在饱水状态下,能够经受反复冻结和融化而不破坏,并不严重降低强度的能力。石料抗冻能力的室内测定方法有直接冻融法和硫酸钠坚固性试验。两种方法均需要将石料制成直径和高均为 50mm 的圆柱体试件,或边长为 50mm 的立方体试件,在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘至恒重,并称其质量。

(1) 直接冻融法 直接冻融法是测定石料在饱水状态下,抵抗反复冻融性能的直接方法。试验时首先使试件吸水达到饱和状态,然后置于 -15°C 的烘箱中,冻结 4h 后取出试件,再放入 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的水中融解 4h,此为一个冻融循环过程。经历规定的冻融循环次数(如 10 次、15 次、25 次及 50 次)后,详细检查石料试件有无剥落、裂隙、分层及掉角现象,并记录检查情况。将冻融试验后的试件再烘干至恒重,称其质量,然后测量石料的抗压强度,并按式 (1-7) 和式 (1-8) 分别计算石料的冻融质量损失率和耐冻系数。

$$Q_d = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-7)$$

$$K = \frac{R_2}{R_1} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 Q_d 、 K ——石料的质量损失率和冻融系数;

m_1 ——试验前烘干石料试件的质量, g;

m_2 ——经历若干次冻融循环作用后,烘干石料试件的质量, g;

R_1 ——试验前石料试件的饱水抗压强度, MPa;

R_2 ——经历若干次冻融循环作用后,石料试件的饱水抗压强度, MPa。

(2) 坚固性试验 坚固性试验是评定石料试样经饱和硫酸钠溶液多次浸泡与烘干循环后,不发生显著破坏或强度降低的性能。由于硫酸钠结晶后体积膨胀,产生与水结冰相似的效果,使石料孔隙壁受到压力,因此硫酸钠坚固性试验也是测定石料抗冻性的方法。试验时将烘干石料试件置入饱和硫酸钠溶液中浸泡 20h,然后将试件取出置于 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘烤 4h,至此完成第 1 个循环。待试样冷却至 $20 \sim 25^\circ\text{C}$ 后,即开始第 2 个循环。从第 2 个循环起,浸泡和烘烤时间均为 4h。完成 5 次循环后,仔细观察试件有无破坏现象,将试件洗净烘至恒重,准确称出其质量,按式 (1-7) 计算坚固性试验质量损失率。

当水在石料孔隙内结冰时,体积膨胀约 9%。如果孔隙处于吸水饱和状态下,水的结冰就给孔隙壁以很大的内压力,严重时导致石料的边角崩裂。石料的抗冻性与其孔隙构造、吸水性密切相关,当石料的吸水率大于 0.5% 时,其抗冻性通常较差。

三、石料的力学性质

在结构工程中，石料应具备一定的抗压、抗剪、抗弯拉强度，以及抵抗荷载冲击、剪切和摩擦作用。本节中主要介绍石料的抗压强度和磨耗率这两项用于评价石料技术等级的指标。

1. 石料的抗压强度

(1) 测试方法 我国现行《公路工程岩石试验规程》(JTG E41—2005)中，采用单轴加荷的方法对规则形状的石料试样进行抗压强度试验。试件为边长 (50 ± 0.5) mm 的立方体或直径与高均为 (50 ± 0.5) mm 的圆柱体。按标准方法对试件进行饱水处理后，施加荷载直至破坏，石料的抗压强度按式(1-9)计算。

$$R = \frac{P}{A}$$

(1-9)

式中 R ——石料的抗压强度，MPa；
 P ——试验时石料试件破坏时的极限荷载，N；
 A ——石料试件的受力截面积，mm²。

(2) 影响抗压强度的因素 石料抗压强度主要取决于其矿物组成、结构及其孔隙构造。结构疏松及孔隙率较大的石料，其质点间的联系较弱，有效面积小，故强度值较低。

石料试件的尺寸和形状对抗压强度试验结果有显著影响。当试件尺寸较小时，由于高度小，承压板与试件端面之间的摩擦力较大，使得试件内应力分布极不均匀，试验结果的真实性受到影响。为了取得真实稳定的抗压强度测试值，应避免承压板附近局部应力集中的影响，试件的尺寸直径应不小于10倍的岩石矿物及岩屑颗粒直径，且不小于5cm。为了减少试件端面的摩擦造成的影响，试件上下端面应平整光滑，并与承压板严格平行，以保证受力均匀。

石料的吸水率对其强度有很大影响，特别是当岩石的裂隙孔隙较大、含较多亲水矿物或较多可溶矿物时，影响更为显著。表1-4为几种岩石石料在饱水状态强度 R_w 与干燥状态强度 R_d 的比值 K_R 。

表 1-4 常用岩石吸水前后强度比值

岩石名称		$K_R = R_w/R_d$	岩石名称		$K_R = R_w/R_d$
岩浆岩	花岗岩	0.72 ~ 0.97	沉积岩	砂岩	0.65 ~ 0.97
	辉绿岩	0.33 ~ 0.90		石灰岩	0.70 ~ 0.94
	安山岩	0.81 ~ 0.91	变质岩	片麻岩	0.75 ~ 0.97
	玄武岩	0.30 ~ 0.95		石英岩	0.94 ~ 0.96

2. 磨耗率

砂石材料磨耗率是指其抵抗撞击、边缘剪切和摩擦联合作用的能力。石料的磨耗率可采用洛杉矶磨耗试验进行测定。

洛杉矶磨耗试验又称“隔板试验”。试验时，将一定质量且有一定级配的石料试样和钢球置于隔板式试验机中，以30~33r/min的转速转动至要求次数后停止，取出试样过筛并称量，石料的磨耗率 Q_m 采用式(1-10)计算。在磨耗试验中用于水泥混凝土的石料与用于沥青混合