



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
21世纪交通版高等学校教材

# 道路工程材料

*Road Engineering Materials*

(第五版)

李立寒 张南鹭 孙大权 杨 群 编 著  
申爱琴 张肖宁 主 审



人民交通出版社  
China Communications Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21世纪交通版高等学校教材

Road Engineering Materials

# 道路工程材料

(第五版)

李立寒 张南鹭 孙大权 杨群 编著

申爱琴 张肖宁 主审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书为高等学校教材《道路工程材料》第五版,阐述道路工程、桥梁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。

全书共由两篇十二章组成,主要介绍砂石材料、沥青材料、沥青混合料、水泥与石灰、水泥混凝土与砂浆、各类稳定混合料、钢材与聚合物等材料的技术性质及试验方法。

本书作为高等学校土木工程专业、道路、桥梁与渡河工程专业、交通工程专业本科生的教学用书和教学参考书,也可供从事相关专业的科研人员、设计人员、施工人员、管理人员及工程监理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

道路工程材料/李立寒等编著. —5版. —北京:人民交通出版社,2010.1

ISBN 978-7-114-08212-2

I. 道… II. 李… III. 道路工程-建筑材料-高等学校-教材 IV. U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 010545 号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21 世纪交通版高等学校教材

书 名:道路工程材料(第五版)

编 著 者:李立寒 等

责任编辑:沈鸿雁 丁润铎

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:24.25

字 数:594 千

版 次:1979年8月 第1版 1986年6月 第2版

1996年6月 第3版 2004年3月 第4版

2010年1月 第5版

印 次:2010年1月 第5版 第1次印刷 总第38次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08212-2

印 数:279501—284500 册

定 价:45.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

**21 世纪交通版**  
**高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会**

顾问:王秉纲 (长安大学)

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:(按姓氏笔画排序)

王 炜 (东南大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐 岳 (长安大学)

梁乃兴 (重庆交通大学)

韩 敏 (人民交通出版社)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王殿海 (吉林大学)

叶见曙 (东南大学)

石 京 (清华大学)

向中富 (重庆交通大学)

关宏志 (北京工业大学)

何东坡 (东北林业大学)

陈 红 (长安大学)

邵旭东 (湖南大学)

陈宝春 (福州大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

陈静云 (大连理工大学)

赵明华 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

郭忠印 (同济大学)

袁剑波 (长沙理工大学)

黄晓明 (东南大学)

符锌砂 (华南理工大学)

裴玉龙 (哈尔滨工业大学)

颜东煌 (长沙理工大学)

秘 书 长:沈鸿雁 (人民交通出版社)

# 总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中所处的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入WTO,中国经济已融入到世界经济的发展进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在1998年7月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养21世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套21世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000年6月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的12所高校的专家学者组成21世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约130种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近20所高校的百余名教授承担约130种教材的主编工作。2001年6月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

21世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能力的

培养,为学生知识、能力、素质的综合协调发展创造条件。基于这样的考虑,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的开展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

21世纪交通版  
高等学校教材(公路类)编审委员会  
人民交通出版社  
2001年12月

## 第五版前言

道路工程材料泛指用于道路和桥梁工程及其附属构造物所用的各类建筑材料,主要包括土、砂石、沥青、水泥、石灰、工业废料、钢铁、工程聚合物、木材等材料及它们组成的混合料。道路工程材料是道路工程建设与养护的物质基础,其性能直接决定了道路工程质量和使用寿命。系统学习道路工程材料的基本性质、技术指标、测试技术、组成设计以及应用技术等方面的知识,不仅是道路工程相关专业重要的知识结构组成,而且也是科学合理地选择、设计、评价、应用和研发道路工程材料的理论基础。

为适应道路工程材料课程的特点和道路工程科技发展的需要,本教材对常用道路工程材料的技术性能和质量要求、性能影响因素、评价测试技术和组成设计方法等基础理论知识进行了重点论述,同时编入了一批具有代表性的新材料、新技术和新测试方法,以培养和激发学生的科技创新能力。本书共分两篇十二章。第一篇为道路工程材料的基础理论部分,由八章组成。第一章到第六章主要论述了常用道路工程材料(主要包括石料与集料、沥青、沥青混合料、水泥与石灰、水泥混凝土以及无机结合料稳定材料等)的基本技术性质、测试方法和技术指标、组成设计方法等内容。第七章和第八章分别介绍了钢材和工程聚合物的基本技术性能、技术要求和工程应用。第二篇为试验方法,由四章组成,叙述了道路工程材料基本性能的常用测试评价方法,以方便试验课程使用。

本教材在编写过程中,对纷乱复杂的知识点进行整理凝练,对重要内容、次要与提高内容用不同字体加以区分,力求重点突出、层次分明。在各章节后对主要知识点进行归纳总结、列出复习题目,力求形成易教、易学的知识结构体系。本书坚持道路材料领域科研为先导、教材内容与时俱进的理念,在修订过程中吸纳了一些道路工程材料领域最新研究成果。本书篇幅较大,作为教材使用时,相关专业的任课教师可根据教学计划选择合适的内容。

本教材在《道路建筑材料》第四版的基础上进行修订和补充,其中绪论、第二章和第八章由孙大权修订,第五章由杨群修订,其余章节由李立寒修订。

本教材为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,编写工作得到同济大学教材、学术著作出版委员会资助,并同时列入同济大学“十一五”规划教材。在教材的编写过程中,孙艳娜、王飞、陈春羽、袁坤、吕天华等协助进行了绘图和校核工作;全书由长安大学申爱琴教授、华南理工大学张肖宁教授主审,在此一并表示衷心感谢!

限于编著者的学识水平和实践经验,书中不足之处,恳请读者批评指正。

编著者

2009年11月

# 目 录

绪论	1
----	---

## 第一篇 基础理论

<b>第一章 砂石材料</b>	5
第一节 砂石材料的基础知识	5
第二节 集料	14
第三节 矿质混合料的组成设计	22
本章小结	34
复习题	34
<b>第二章 沥青材料</b>	36
第一节 沥青基础知识	36
第二节 石油沥青的技术性质	44
第三节 改性沥青	67
第四节 乳化沥青	74
第五节 其他沥青材料	84
本章小结	91
复习题	91
<b>第三章 沥青混合料</b>	93
第一节 沥青混合料的类型与组成结构	93
第二节 沥青混合料的技术性能	104
第三节 热拌密级配沥青混合料的组成设计	115
第四节 骨架型沥青混合料的组成设计	131
第五节 其他类型的沥青混合料	142
本章小结	158
复习题	159
<b>第四章 水泥与石灰</b>	161
第一节 通用硅酸盐水泥的组成材料与生产工艺	161
第二节 硅酸盐水泥的水化硬化过程	168
第三节 通用硅酸盐水泥的技术性质	172
第四节 其他水泥	177
第五节 石灰	182
本章小结	185



复习题	185
<b>第五章 水泥混凝土与砂浆</b>	187
第一节 水泥混凝土的技术性质	187
第二节 普通水泥混凝土的组成设计	205
第三节 混凝土外加剂与掺和料	217
第四节 路面水泥混凝土的组成设计	229
第五节 再生混凝土	252
第六节 砂浆	255
本章小结	261
复习题	262
<b>第六章 无机结合料稳定类混合料</b>	263
第一节 无机结合料稳定类混合料分类和强度特征	263
第二节 水泥稳定类混合料	266
第三节 石灰稳定类混合料	273
第四节 石灰粉煤灰稳定土	277
第五节 土壤固化剂	279
本章小结	283
复习题	283
<b>第七章 建筑钢材</b>	285
第一节 建筑钢材的技术性质	285
第二节 道路桥梁结构工程中常用建筑钢材的技术要求	287
本章小结	298
复习题	298
<b>第八章 工程聚合物</b>	299
第一节 聚合物的基本概念	299
第二节 常用的工程聚合物材料	302
第三节 高分子聚合物在道路工程中的应用	306
本章小结	311
复习题	311

## 第二篇 试验方法

<b>第九章 石料与集料试验</b>	312
第一节 砂石材料的力学试验	312
第二节 集料的密度和空隙率	318
第三节 集料的筛分试验	324
<b>第十章 沥青与沥青混合料试验</b>	327
第一节 石油沥青的针入度、延度和软化点试验	327
第二节 沥青混合料的拌制与试件成型	332

第三节	沥青混合料试件物理力学指标的测定·····	337
<b>第十一章</b>	<b>水泥与水泥混凝土试验·····</b>	<b>344</b>
第一节	水泥细度、标准稠度用水量、凝结时间和安定性测定·····	344
第二节	水泥胶砂强度试验(ISO法)·····	350
第三节	新拌混凝土的施工和易性试验·····	353
第四节	普通水泥混凝土强度试验·····	355
<b>第十二章</b>	<b>无机结合料稳定材料试验·····</b>	<b>360</b>
第一节	无机结合料稳定材料的击实试验·····	360
第二节	无机结合料稳定土的无侧限抗压强度试验·····	364
<b>参考文献</b>	·····	<b>368</b>

# 绪 论

道路工程材料是道路、桥梁等交通基础设施建设和养护的物质基础,其品质和类型直接决定了道路工程的使用性能、服务寿命和结构形式。纵览我国公路路面发展历程,从低等级的砂石路面、渣油路面到高等级的沥青混凝土路面、水泥混凝土路面,道路工程材料的进步与发展直接支撑了公路路面性能的提升与路面结构形式的革新。随着道路交通事业的蓬勃发展以及交通量和车辆荷载与日俱增,对道路工程材料的使用性能提出了更高的要求。科学合理地选择、设计和应用道路工程材料成为保障和提高路桥工程使用质量,提高路桥工程建养技术水平的基础和关键。

## 一、道路工程材料的主要类型

### 1. 道路桥梁工程结构对材料的要求

#### (1) 道路工程结构用材料

在道路工程的使用环境中,行车荷载和自然因素对道路路面结构的作用程度随着深度的增加而逐渐减弱,对材料的强度、承载能力和稳定性要求也随着深度的增加而逐渐降低。因此,通常在路基顶面以上分别采用不同质量、不同规格的材料,将路面结构由下而上铺筑成由垫层、基层和面层等结构层次组成的多层体系。

面层结构直接承受行车荷载作用,并受到自然环境中温度和湿度变化的直接影响,因此用于面层结构的材料应有足够的强度、稳定性、耐久性和良好的表面特性。道路面层结构中的常用材料主要是沥青混合料、水泥混凝土、粒料和块料等。

基层位于面层之下,主要承受面层传递下来的车辆荷载的竖向应力,并将这种应力向下扩散到垫层和路基中,为此基层材料应有足够的强度、刚度及扩散应力的能力。环境因素对基层的作用虽然小于面层,但基层材料仍应具有足够的水稳定性和耐冲刷性,以保证面层结构的稳定性。常用的基层材料有结合料稳定类混合料、碎石或砾石混合料、天然砂砾、碾压混凝土和贫混凝土、沥青稳定集料等。

垫层是介于基层和路基之间的结构层次,主要作用是改善路基的湿度和温度状况,扩散由基层传来的荷载应力,以减少路基变形,通常于季节性冰冻地区或土基水温状况不良的路段中设置,以保证面层和基层的强度、稳定性及抗冻能力。对垫层材料的强度要求虽然不高,但其应具备足够的水稳定性。常用的垫层材料有碎石或砾石混合料、结合料稳定类混合料等。

#### (2) 桥梁工程结构用材料

桥梁的墩、桩结构应具有足够的强度、承载能力,以支撑桥梁上部结构及其传递的荷载,并具有良好的抗渗透性、抗冻性和抗腐蚀能力,以抵抗环境介质的侵蚀作用。桥梁的上部结构将直接承受车辆荷载、自然环境因素的作用,应具有足够的强度、抗冲击性、耐久性等。用于桥梁结构的主要材料有钢材、水泥混凝土、钢筋混凝土,用于桥面铺装层的沥青混合料及各种防水材料等。

## 2. 道路工程材料的主要类型

常用道路工程材料可以归纳为以下几类：

### (1) 石料与集料

石料与集料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(如煤渣、高炉渣和钢渣等)，这类材料是道路桥梁工程结构中使用量最大的一宗材料。其中尺寸较大的块状石料经加工后，可以直接用于砌筑道路、桥梁工程结构及附属构造物；性能稳定的岩石集料可制成沥青混合料或水泥混凝土，用于铺筑沥青路面或水泥路面，也可直接用于铺筑道路基层、垫层或低级道路面层；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，也可以作为水泥混凝土和沥青混合料中的掺和料使用。

### (2) 结合料和聚合物类

沥青、水泥和石灰等是道路工程中常用的结合料，它们的作用是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。塑料(合成树脂)、橡胶和纤维等聚合物材料也可以作为结合料，除了可用做混凝土路面的填缝料外，还可用于改善道路工程材料的技术性能，如配制改性沥青、制作聚合物水泥混凝土等。

### (3) 沥青混合料

沥青混合料是由矿质集料和沥青材料组成的复合材料，具有较高的强度、柔韧性和耐久性。用其所铺筑的沥青路面连续、平整，具有弹性和柔韧性，适合于车辆高速行驶，是高等级道路，特别是高速公路和城市快速路面层结构及桥梁桥面铺装层的重要材料。

### (4) 水泥混凝土与砂浆

水泥混凝土是由水泥与矿质集料组成的复合材料，它具有较高的强度和刚度，能承受较繁重的车辆荷载作用，主要用于桥梁结构和高等级道路面层结构。水泥砂浆主要由水泥和细集料组成，用于砌筑和抹面结构物中。

### (5) 无机结合料稳定类混合料

无机结合料稳定类混合料是以石灰(粉煤灰)、少量水泥(石灰)或土固化剂作为稳定材料，将松散的土、碎砾石集料稳定、固化形成的复合材料，具有一定的强度、板体性和扩散应力的能力，但耐磨性和耐久性略差，通常用于高等级道路路面基层结构或低级道路面层结构。

### (6) 其他道路工程材料

在道路或桥梁工程结构中，其他常用材料包括钢材、填缝料等。钢材主要应用于桥梁结构及钢筋混凝土结构中，填缝料则主要应用于水泥混凝土路面接缝构造中。

## 二、道路工程材料的研究内容

### 1. 道路工程材料的基本组成与结构

材料的矿物组成或化学成分及其组成结构决定了材料的基本特性，如石料的矿物组成、水泥的矿物组成、沥青的化学组分等，对这些材料的技术性能有着显著的影响。在各类混合料中，其组成材料的质量与相对比例确定了材料的组成结构状态。这种组成结构状态直接影响着混合料的物理力学性能，如沥青混合料的组成结构对其强度、稳定性和耐久性有着显著影响。

充分地了解和认识材料的基本组成结构及其与材料技术性能的关系，是合理地选择材料、

正确地使用材料、改善材料性能、研发新材料的基础。

## 2. 道路工程材料的基本技术性能

材料的基本技术性能包括物理性能、力学性能、耐久性和工艺性等。只有全面地掌握这些性能的主要影响因素、变化规律,正确评价材料性能,才能合理地选择和使用材料,这也是保证工程中所用材料的综合力学强度和稳定性,满足设计、施工和使用要求的关键所在。

### (1) 基本物理性能

道路工程材料常用的物理性能指标有物理常数(密度、孔隙率、空隙率)及吸水率等。材料的物理常数可用于混合料配合比设计、材料体积与质量之间的换算等。材料的物理常数取决于材料的基本组成及其构造,既与材料的吸水性、抗冻性及抗渗性有关,又与材料的力学性质及耐久性之间有着显著的关系。

### (2) 基本力学性能

在行车荷载作用下,材料将承受较大的竖向力、水平力、冲击力以及车轮的磨损作用,所以道路工程材料应具备足够的强度、刚度、变形特征、抗冲击能力和柔韧性等力学性能。材料的各项力学性能指标也是选择材料、进行组成设计和结构分析的重要参数。

### (3) 耐久性

裸露于自然环境中的路桥工程结构物,将受到各种自然因素的侵蚀作用,如温度变化、冻融循环、氧化作用、酸碱腐蚀等。为此应根据材料所处的结构部位及环境条件,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,从而全面了解材料抵抗破坏的能力,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。能否在现行的施工条件下,通过必要操作工序,使所选择材料或混合料的技术性能达到预期的目标,并满足使用要求,也是选择材料和确定设计参数时必须考虑的重要因素。

## 3. 混合料的组成设计方法

混合料的组成设计包括选择原材料并确定原材料用量比例。首先应根据工程要求、使用条件、当地材料供应情况、材料的质量规格和技术要求,选择并确定出混合料中各种组成材料品种;然后根据工程的结构特征与技术要求,确定各种材料在混合料中的比例。通过组成设计,从质量与数量两个方面保证混合料具备所要求的体积特征、力学性质和稳定性,从而满足结构的使用要求。

## 三、道路工程材料的性能检验与技术标准

### 1. 材料的性能检测

道路工程材料的基本技术性质需要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,所得到的试验数据和技术参数应能够表达材料的技术特性,并具有重复性与可比性。为此,材料性能检测应按照当前技术标准中规定的标准程序进行,以保证试验结果的科学性、公正性和权威性。

根据工程重要性与材料试验规模,材料的检测层次分为:

实验室原材料与混合料的性能测定;

实验室模拟结构物的性能测定;

现场足尺寸结构物的性能测定。

## 2. 技术标准

材料的技术标准是有关部门根据材料自身固有特性,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做出的详尽而明确的规定。科研、生产、设计与施工单位,应以这些标准为依据进行道路材料的性能评价、生产、设计和施工。

目前,我国的建筑材料标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四类。国家标准是由国家标准局颁布的全国性指导技术文件,简称“国标”,代号“GB”。行业标准由国务院有关行政主管部门制订和颁布,也为全国性指导技术文件,在国家标准颁布之后,相关的行业标准即行作废。企业标准适用于本企业,凡没有制订国家标准或行业标准的材料或制品,均应制订企业标准。

国际上较有影响的技术标准有国际标准(ISO)、美国材料试验学会标准(ASTM)、日本工业标准(JIS)和英国标准(BS)等。

随着材料测试手段和测试设备功能的提高、基础理论与试验工作的不断深入,工程实践与应用技术的成熟,对各种道路工程材料的认识将不断完善,有关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。

# 第一篇 基础理论

## 第一章 砂石材料

**内容提要:**本章阐述砂石材料的岩石学特征,砂石材料的主要物理性能、力学性能和耐久性的评价方法与评价指标;介绍集料的级配组成及其表示方法;研究矿质混合料级配组成的意义、级配理论以及矿质混合料的配合比设计方法。

砂石材料是石料和集料的统称,这类材料是道路工程与桥梁工程中使用量最大的一宗材料。在土木建筑工程中,石料通常指天然岩石经机械加工制成的或直接开采得到的具有一定形状和尺寸的石料制品。这些石料可以直接用于建筑结构,也可以将其破碎加工得到各种规格的碎石料、人工砂和石粉。石料作为一种坚固耐用的建筑材料,自古以来就广泛应用于各类土木建筑工程中。将所开采的岩石经加工制成的各类块石、条石等石料制品曾经是建筑房屋、铺筑道路、修筑桥梁堤坝的重要材料。近几十年来,随着沥青混合料和水泥混凝土生产技术的飞速发展,开采的原岩或天然卵石被破碎、筛分成不同规格的碎石集料,以沥青或水泥为胶结料制成沥青混合料或水泥混凝土,取代石料制品成为土建工程中的主要材料。正确地认识、合理地选择和科学地使用砂石材料,对于保证工程质量、降低生产成本有着不可忽视的重要意义。

### 第一节 砂石材料的基础知识

砂石材料的岩石学特征、岩石的物理力学性能是选用质量符合工程要求的砂石材料的依据。

#### 一、砂石材料的岩石学特性

不同造岩矿物和成岩条件使得各类岩石具有不同的结构和构造特征。砂石材料的物理力学性质在很大程度上取决于天然岩石的矿物成分,以及这些矿物在岩石中的结构与构造。在工程实践中,为了更好地使用天然砂石材料,需要了解和掌握有关砂石材料岩石学特性的基本知识。

##### 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,例如纯质的大理石是由方解石组成的。而大多数岩石则是由两种以

上的矿物组成,例如花岗岩的主要矿物为石英、长石和云母等。

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类,颜色为白色、浅灰色、桃红色、红色、青色和暗灰色,其强度和稳定性较石英高,且易风化成高岭土。

云母为结晶的、片状的含水铝硅酸盐,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。

由于各种矿物具有确定的化学组成与特有的结构构造,对岩石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**是由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。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,吸水性小,抗冻性好。工程上常用的深成岩有花岗岩、正长岩、辉长岩等。

**喷出岩**是当岩浆喷出地表时,在压力急剧降低和迅速冷却的条件下形成的岩石,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。

**火山岩**是在火山爆发时,岩浆被喷到空中急速冷却后形成的岩石,为玻璃体结构且呈多孔构造,如火山灰、火山砂、浮石等。火山灰、火山砂可作为混合材料,浮石可做轻混凝土集料。火山灰、火山砂经覆盖层压力作用胶结而成的岩石,称为火山凝灰岩。火山凝灰岩多孔、质轻、易于加工,可做保温建筑材料,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,又称水成岩。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、氧化铁及黏土质等。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、氧化硅质胶结的沉积岩强度较大,而以黏土质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;而且各层的成分、结构、颜色、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、硅藻土等,散粒状的有黏土、砂、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、赤热气体和渗入岩石中水溶液的综合作用下,岩石矿物重新再结晶,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。

将上述三大岩石的主要区别汇总于表 1-1。

三大岩石的主要区别

表 1-1

特 征	岩 浆 岩	沉 积 岩	变 质 岩
矿物成分及其特征	组成岩浆岩的矿物以硅酸盐矿物为主,其中最多的是长石、石英、黑云母、角闪石、辉石和橄榄石等。其中以二氧化硅和钾、钠的铝硅酸盐类为主的矿物(硅铝矿物)颜色较浅,称为浅色矿物,如石英、长石等;以含铁、镁为主的硅酸盐为主的矿物(铁镁矿物)颜色较深,称为暗色矿物,如云母、角闪石、辉石和橄榄石等	组成沉积岩的矿物成分约有 160 余种,但比较重要的仅有 20 余种,如石英、长石、云母、黏土矿物、碳酸盐矿物、卤化物及含水氧化铁、锰、铝矿物等。 在一般沉积岩中,矿物成分不过 1~3 种,很少超过 5~6 种	组成变质岩的矿物成分按其成因分为: ①新生矿物(变晶矿物):在变质作用过程中新生成的矿物,如黏土岩经过变质后生成的红柱石; ②原生矿物:在变质的过程中保留下来的原岩中的稳定矿物,如云英岩中的部分石英就是花岗岩在云英岩化过程中保留下来的原生矿物; ③残余矿物:在变质过程中残留下来的原岩中的不稳定矿物,如花岗岩在云英岩化过程中残留有不稳定长石
结构和构造	①具粒状、玻璃、斑状结构,气孔、杏仁、块状等构造; ②除喷出岩外,没有层状、片状等构造	①结构复杂,因形成环境而异; ②具层理,在层面上有波痕	①具有片理; ②板状、片状、片麻状构造,结晶质结构; ③砾石及晶体因受力可能变形

## 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、长石及少量暗色矿物和云母。花岗岩的颜色由造岩矿物决定,通常有深青色、浅灰色、黄色、紫红色等颜色。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(1.5~2.8g/cm<sup>3</sup>),抗压强度高(120~250MPa),孔隙率小,吸水率低,耐磨性好,耐久性高。

### (2)玄武岩

玄武岩属于喷出岩,主要造岩矿物是暗色矿物,属玻璃质或隐晶质斑状结构,气孔状或杏