

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

Road Construction Materials

道路建筑材料

| 第二版 |

黄维蓉 主 编
罗 晖 张兰芳 副主编
赵 可 主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

非
外
借

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

道路建筑材料

(第二版)

	黄维蓉	主 编
罗 晖	张兰芳	副主编
	赵 可	主 审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书共分两篇十二章。第一篇为道路建筑材料的基础理论部分,由八章组成,分别介绍了常用道路建筑材料(主要包括石料与集料、水泥和石灰、水泥混凝土和砂浆、沥青、沥青混合料、钢材、无机结合料稳定材料、土工合成材料等)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。第二篇为试验方法,由四章组成,叙述了道路建筑材料基本性能的常用测试评价方法,有助于读者理解基础理论知识,还方便试验课程使用。

本书可作为高等学校土木工程、交通运输工程、工程管理和工程造价等专业本科生的教学用书和教学参考书,也可作为从事土木工程专业及相关专业的科研、设计、施工、管理和工程监理等人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

道路建筑材料/黄维蓉主编.—2版.—北京:
人民交通出版社股份有限公司,2017.8
ISBN 978-7-114-13961-1

I. ①道… II. ①黄… III. ①道路工程—建筑材料
IV. ①U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 151103 号

高等学校交通运输与工程类专业规划教材

书 名:道路建筑材料(第二版)

著 作 者:黄维蓉

责任编辑:卢俊丽

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

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)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:24

字 数:607千

版 次:2011年8月 第1版 2017年8月 第2版

印 次:2017年11月 第2版 第2次印刷 总第7次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13961-1

定 价:49.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

高等学校交通运输与工程(道路、桥梁、隧道 与交通工程)教材建设委员会

主任委员:沙爱民 (长安大学)

副主任委员:梁乃兴 (重庆交通大学)

陈艾荣 (同济大学)

徐岳 (长安大学)

黄晓明 (东南大学)

韩敏 (人民交通出版社股份有限公司)

委员:(按姓氏笔画排序)

马松林 (哈尔滨工业大学)

王云鹏 (北京航空航天大学)

石京 (清华大学)

申爱琴 (长安大学)

朱合华 (同济大学)

任伟新 (合肥工业大学)

向中富 (重庆交通大学)

刘扬 (长沙理工大学)

刘朝晖 (长沙理工大学)

刘寒冰 (吉林大学)

关宏志 (北京工业大学)

李亚东 (西南交通大学)

杨晓光 (同济大学)

吴瑞麟 (华中科技大学)

何民 (昆明理工大学)

何东坡 (东北林业大学)

张顶立 (北京交通大学)

张金喜 (北京工业大学)

陈红 (长安大学)

陈峻 (东南大学)

陈宝春 (福州大学)

陈静云 (大连理工大学)

邵旭东 (湖南大学)

项贻强 (浙江大学)

胡志坚 (武汉理工大学)

郭忠印 (同济大学)

黄侨 (东南大学)

黄立葵 (湖南大学)

黄亚新 (解放军理工大学)

符铎砂 (华南理工大学)

葛耀君 (同济大学)

裴玉龙 (东北林业大学)

戴公连 (中南大学)

秘书长:孙玺 (人民交通出版社股份有限公司)

第二版前言

道路建筑材料泛指用于道路和桥梁工程及其附属构造物的各类建筑材料,主要包括砂石、沥青、水泥、石灰、工业废料、钢铁、工程聚合物、土工合成材料等材料及其复合材料。道路建筑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。系统学习道路建筑材料的基本性质、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,而且也是科学合理的选择、设计、评价、应用和研发道路建筑材料的理论基础。

为适应道路建筑材料课程的特点和道路工程科技发展的需要,本教材对常用道路建筑材料的技术性能和质量要求、性能影响因素、测试评价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。第一篇为道路建筑材料的基础理论部分,由八章组成,分别介绍了常用道路建筑材料(主要包括石料与集料、石灰和水泥、水泥混凝土和砂浆、沥青、沥青混合料、钢材、无机结合料稳定材料、土工合成材料等)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。第二篇为试验方法,由四章组成,叙述了道路建筑材料基本性能的常用测试评价方法,以方便试验课程教学。

本教材在编写过程中,对庞杂的知识点进行整理凝练,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、列出复习思考题,力求形成易教、易学的知识结构体系。本书坚持以道路材料领域的科研及创新性成果为先导、教材内容与时俱进的理念,在修订过程中吸纳了该领域最新研究成果。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》第一版的基础上进行修改和补充。基础理论篇第一章由重庆交通大学朱建勇编写和修订,第二章由重庆交通大学张兰芳编写和修订,第三章由重庆交通大学罗晖、杨德斌编写和修订,第四章由重庆交通大学黄维蓉编写和修订,第五章由重庆交通大学刘燕燕编写和修订,第六章由重庆交通大学王念编写和修订,第七章和第八章由重庆交通大学何丽红编写和修订。试验方法篇由何丽红、王念、刘大超、张祖棠、李德军编写和修订。全书由黄维蓉统稿、定稿,重庆交通大学赵可教授主审。编写和修订工作得到重庆交通大学相关部门的大力支持,在教材的编写和修订过程中,李力、王瑞燕、熊出华、周超、黄德明等老师提出了宝贵意见和建议,在此一并表示衷心感谢!

限于编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。

主 编

2017 年 1 月

目录

绪论..... 1

第一篇 基础理论

第一章 石料与集料..... 7

 第一节 石料..... 7

 第二节 集料 16

 第三节 矿质混合料的组成设计 24

 第四节 集料的工程应用 38

 本章小结 39

 复习思考题 39

第二章 石灰和水泥 41

 第一节 石灰 41

 第二节 硅酸盐水泥 45

 第三节 掺混合材料的硅酸盐水泥 54

 ※第四节 其他品种水泥 59

 本章小结 64

 复习思考题 64

第三章 水泥混凝土和砂浆 66

 第一节 概述 66

 第二节 普通混凝土的组成材料 68

 第三节 普通混凝土的技术性质 78

 第四节 普通混凝土配合比设计 98

第五节 路面水泥混凝土的配合比(按抗弯拉强度设计)	105
※第六节 高强高性能混凝土	107
※第七节 其他品种混凝土简介	113
第八节 建筑砂浆	132
本章小结	137
复习思考题	138
第四章 沥青材料	141
第一节 石油沥青	142
第二节 改性沥青	168
第三节 乳化沥青	175
第四节 其他沥青简介	181
本章小结	185
复习思考题	185
第五章 沥青混合料	187
第一节 概述	187
第二节 热拌沥青混合料	189
第三节 新型沥青混合料	223
第四节 其他沥青混合料简介	233
本章小结	237
复习思考题	238
第六章 建筑钢材	241
第一节 钢材的分类	241
第二节 钢材的技术性能	243
第三节 路桥结构工程常用建筑钢材的技术要求	247
第四节 钢材的腐蚀与防腐	258
本章小结	259
复习思考题	259
第七章 无机结合料稳定材料	260
第一节 无机结合料稳定材料的技术性质	261
第二节 无机结合料稳定材料的组成设计	263
第三节 无机结合料稳定材料强度形成机理及影响因素	269
本章小结	274
复习思考题	274

第八章 土工合成材料	276
第一节 土工合成材料的种类	276
第二节 土工合成材料的性质	281
第三节 土工合成材料的应用	288
本章小结	295
复习思考题	295

第二篇 试验方法

第九章 砂、石材料试验	299
第一节 岩石的密度试验、毛体积密度试验	299
第二节 岩石单轴抗压强度试验	302
第三节 集料的筛分试验	304
第四节 集料的密度和空隙率	307
第五节 集料的力学性能试验	313
第十章 水泥与水泥混凝土试验	323
第一节 水泥细度、标准稠度用水量、凝结时间和安定性试验	323
第二节 水泥强度试验	327
第三节 新拌混凝土施工和易性试验	329
第四节 水泥混凝土力学试验	332
第十一章 沥青与沥青混合料试验	338
第一节 沥青针入度、延度和软化点试验	338
第二节 沥青混合料的拌制与试件制作	344
第三节 沥青混合料试件物理力学指标的测定	349
第十二章 无机结合料稳定材料试验	360
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	365
参考文献	368



绪论

道路建筑材料是道路、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,道路建筑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。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,对道路建筑材料的使用性能提出了更高要求。科学合理地选择和应用道路建筑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、道路建筑材料的主要类型

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、沥青稳定碎石等。

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,以减小路基变形,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和承载能力,以支撑桥梁上部结构及其传递的荷载,兼具良好的抗渗透性、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,还应具有足够的强度、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,用于桥面铺装层的材料有沥青混合料及各种防水材料等。

2. 道路建筑材料的主要类型

常用道路建筑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,其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,除了可用作混凝土路面的填缝料外,还可用于改善道路建筑材料的技术性能,如配制改性沥青、制作聚合物水泥混凝土等。

(3) 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,能承受较大的车辆荷载作用,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。

(4) 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、城市快速路面层结构及桥梁桥面铺装层的重要材料。

(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) 其他道路建筑材料

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、道路建筑材料的研究内容

1. 道路建筑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,是合理选择材料、正确使用材料、改善材料性能、研发新材料的基础。

2. 道路建筑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

道路建筑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有显著关系。

(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,道路建筑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,会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、道路建筑材料的性能检验与技术标准

1. 材料的性能检测

道路建筑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:

- (1) 试验室原材料与混合料的性能测定;
- (2) 试验室模拟结构物的性能测定;
- (3) 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化主管机构批准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,基础理论研究与试验工作的不断深入,工程实践与应用技术的成熟,对各种道路建筑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。

PART 1 | 第一篇
基础理论

第一章

石料与集料

【本章提要】

本章阐述石料与集料的岩石学特性、物理力学性能、耐久性的评价方法和评价指标;介绍集料的级配原理及表示方法、矿质混合料组成设计方法和集料的工程应用。

通常将石料和集料统称为砂石材料,是道路与桥梁工程及其他建筑工程中使用量最大的一宗材料。正确认识、合理选择和科学使用石料和集料,对于保证土木建筑工程质量、降低生产成本、促进可持续发展具有重要的意义。

第一节 石 料

在土木建筑工程中,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、石料的岩石学特性

岩石是由各种不同的地质作用所形成的天然矿物的集合体。组成岩石的矿物称为造岩矿物。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,为了更好地选用天然石料,需要了解和掌握一些石料岩石学特性的基本知识。

1. 造岩矿物

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。各种造岩矿物由于化学成分和结构特征不同,具有不同的颜色和特性,工程中常用岩石的主要造岩矿物及特性见表 1-1。

常用岩石的主要造岩矿物及其特性 表 1-1

矿物名称	化 学 成 分	性 质
石英	SiO ₂	无色透明至乳白色;硬度、强度及耐腐蚀性高,但受热(573℃以上)时,因晶型转变会产生裂缝,甚至崩裂;相对密度 2.65,熔点 1 600℃,硬度 7
长石类 正长石 斜长石	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ $m(Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2) +$ $n(CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2)$	白色,因含微量铁,也有灰、红、青等多种颜色;其硬度、强度、耐久性也较高,但低于石英,是岩浆岩中最多的矿物,约占总量的 2/3;相对密度 2.6~2.7,硬度 6
云母类 白云母 黑云母	$(Na,K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ $m[(Na,K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2] +$ $n[2(Fe,Mg)O \cdot 2SiO_2]$	片状,有黑、白两种;硬度低,解理完全,易裂成薄片,呈玻璃光泽;白云母稳定性好,黑云母稳定性差;相对密度:白云母 2.8、黑云母 2.9;硬度 2.5
角闪石 和辉石类	Fe、Mg、Al、Ca 等的 硅酸盐化合物	在化学成分上两者有同种情况,结晶类型相同;有多种颜色,但均为深色,有暗色矿物之称;耐久性好;相对密度为:角闪石 2.9~3.6,辉石 3~3.6;硬度 5~6
橄榄石	$2(Mg,Fe)O \cdot SiO_2$	暗绿色,硬度和强度较高,韧性和耐久性好。相对密度 3.2~3.5,硬度 7
方解石	CaCO ₃	白色,但多数颜色淡。硬度、强度、耐久性次于上述矿物。易溶于酸,相对密度 2.7,硬度 3
白云石	CaCO ₃ · MgCO ₃	白色,其硬度、强度、耐久性略高于方解石,遇酸后分解
黄铁矿	FeS ₂	耐久性差,遇水和氧生成游离硫酸,且体积膨胀,并产生锈迹;是岩石中的有害矿物

注:矿物在外力等作用下沿一定的结晶方向易裂成光滑平面的性质称为解理,裂成的平面称为解理面。

岩石可以由单种矿物组成,如纯质的大理石由方解石组成,而大多数岩石则由两种或者两种以上的矿物组成,如花岗岩的主要矿物为石英、长石和云母等。

2. 岩石的分类

岩石的性能除取决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,它们具有明显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。

②喷出岩是岩浆喷出地表时,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