



高等职业教育规划教材配套教材

高职高专院校道路桥梁工程技术专业教学用书

道路材料技术

夏连学 张艳华 编著



人民交通出版社

China Communications Press

高等职业教育规划教材配套教材
高职高专院校道路桥梁工程技术专业教学用书

道路材料技术

Daolu Cailiao Jishu

夏连学 张艳华 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本教材共分为五章。第一章为总论,全面介绍道路桥梁工程结构中常用原材料(包括石料、集料、土、石灰、水泥、沥青、高聚物材料、钢材和木材等)的种类与用途,使学生对常用原材料获得初步的认识。其他四章依次为:矿质混合料、水泥混凝土与建筑砂浆、无机结合料稳定材料和沥青混合料,主要介绍各种原材料及其混合料的基本技术性能、影响因素及其试验检测方法和组成设计方法等。书后附有道路材料的其他常规试验项目和《道路材料技术》课程教学大纲。

本书为高职高专道路桥梁工程技术专业规划教材的配套教材,亦可供交通中等职业教育土建专业师生及各类干部培训学习,以及供从事桥梁施工、工程监理工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

道路材料技术 / 夏连学,张艳华编著. —北京:人民交通出版社, 2008. 1

高等职业教育规划教材配套教材

ISBN 978 - 7 - 114 - 06869 - 0

I. 道… II. ①夏…②张… III. 道路工程 - 建筑材料 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 005532 号

书 名: 道路材料技术

著 者: 夏连学 张艳华

责任编辑: 彭 敏

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) 85285838, 85285995

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: 廊坊市长虹印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 20.5

字 数: 494 千

版 次: 2008 年 1 月第 1 版

印 次: 2008 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 114 - 06869 - 0

印 数: 0001 ~ 3000 册

定 价: 38.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



Q I A N Y A N

告 辞

《道路材料技术》是道路桥梁工程技术专业及相关专业的一门基础课程,也是道路桥梁工程技术专业学生岗位能力培养的课程之一。根据对公路交通行业高技能人才职业能力培训需求调查分析得出,在生产一线应用《道路材料技术》的最终目的是:根据实际工程需要,能够检验各种原材料常规的技术性质,能够从事公路与桥梁工程所需的矿质混合料、水泥混凝土与建筑砂浆、无机结合料稳定材料、沥青混合料等的组成设计(配合比设计),能够检验各种混合料常规的技术性能。基于此,本课程应着重训练学生进行常规试验检测的技能和混合料组成设计的能力。

传统的教材往往先介绍各类原材料的来源、分类及其技术性质评价方法等内容,然后介绍各种混合料的路用性质、技术性能评价方法和组成设计方法等。鉴于各类混合料对同一原材料的技术性质要求具有差异性,有些技术性质的评价指标也不尽相同,传统的教材缺乏针对性和系统性。本教材打破了传统教材的结构体系,把道路桥梁工程中常用的混合料划分为相对独立的模块,对于某种路用混合料,将原材料技术性质评价、混合料技术性能评价和混合料组成设计方法融为一体,同时将教材中涉及的常规必做试验安排在每一节的后面,利于随讲随做,既是为了让学生加深理解和巩固所学的理论知识,更主要的是强调试验检测技能的训练。课程体系注重工程上的应用,具有较强的针对性和系统性,同时强调理论教学和实训教学一体化。

由于受总学时的限制,一些高等级公路施工中常用的试验项目不能一一进行教学,附录部分列出了这些试验项目的试验方法,可供学生自行学习。

本教材共分为五章。第一章为总论,全面介绍道路桥梁工程结构中常用原材料(包括石料、集料、土、石灰、水泥、沥青、高聚物材料、钢材和木材等)的种类与用途,使学生对常用原材料获得初步的认识。其他四章依次为矿质混合料、水泥混凝土与建筑砂浆、无机结合料稳定材料和沥青混合料,主要介绍各种原材料及其混合料的基本技术性能、影响因素及其试验检测方法和组成设计方法等。

本教材是河南省高等教育教学改革研究项目——《道路桥梁专业“道路材料”实践教学改革与实践》的一部分。课题组以发展为主题,以提高质量为核心,本着巩固成果、深化改革的原则,结合了最新的技术标准、规范以及公路科技进步等情况,在传统教材的内容、结构的基础上进行了调整、更新和充实,在阐述道路建筑材料基础理论知识的同时,力求融入近年

来国内外在道路建筑材料性能研究与实践方面的最新成果。

本教材由河南交通职业技术学院编著,其中第一章由夏连学编写;第二章由袁超编写;第三章由沙炳乾编写;第四章由宁金成编写;第五章由张艳华编写;试验部分由吴跟上编写,附录部分由曹学禹编写。全书由夏连学、张艳华统稿。

在教材的编写过程中,参考了有关院校和科研单位相关的科研和教学资料,郭朋朋、李旭丹、刘伟、周卫红老师协助校核书稿,在此一并表示衷心的感谢!

限于编著者的学识水平和实践经验,书中难免有疏漏和错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2007.4

目 录

—MULU

• 第一章 总论 •	1
第一节 概述	1
第二节 岩石制品与粒料	5
第三节 工程用土	8
第四节 石灰与水泥	13
第五节 沥青材料	23
第六节 工程高分子聚合物材料	33
第七节 建筑钢材和木材	36
习题	41
• 第二章 矿质混合料 •	43
第一节 概述	43
第二节 岩石的技术性质与检验	44
第三节 矿质集料的技术性质与检验	49
第四节 矿质混合料的组成设计	72
习题	83
• 第三章 水泥混凝土与建筑砂浆 •	85
第一节 概述	85
第二节 水泥的技术性质与检验	86
第三节 普通水泥混凝土的其他组成材料技术性质	100
第四节 线形钢材的技术性质与检验	107
第五节 普通水泥混凝土的技术性质与检验	115
第六节 普通水泥混凝土配合比设计	133
第七节 建筑砂浆的技术性质与配合比设计	143
习题	152
• 第四章 无机结合料稳定材料 •	154
第一节 概述	154
第二节 石灰与工业废渣的技术性质与检验	156
第三节 工程用土的技术性质与检验	161
第四节 稳定类材料的其他组成材料技术性质	186

第五节	无机结合料稳定材料的技术性质与检验	189
第六节	无机结合料稳定材料的配合比设计	199
	习题	213
•	第五章 沥青混合料	214
第一节	概述	214
第二节	石油沥青的技术性质与检验	216
第三节	其他品种沥青的技术性质	235
第四节	沥青混合料的其他组成材料技术性质	241
第五节	热拌沥青混合料的技术性质与检验	248
第六节	热拌沥青混合料的配合比设计	264
第七节	其他沥青混合料的技术性质	277
	习题	284
附录一	道路材料的其他常规试验项目	286
附录二	《道路材料技术》课程教学大纲	316
参考文献		320

第一章

总论

教学要点

1. 常用道路建筑材料的类型与应具备的技术性质；
2. 岩石制品与集料的种类、来源及用途；
3. 工程用土的组成、分类及用途；
4. 石灰和水泥的生产、化学成分、品种、特性及用途；
5. 道路沥青的生产、化学成分、品种、特性及用途；
6. 工程聚合物材料的品种、特性及用途；
7. 建筑钢材和木材的特性、品种及用途。

● 第一节 概 述 ●

一、道路建筑材料的重要性

道路建筑材料是指道路与桥梁建筑所用的各种材料，它是道路与桥梁工程的物质基础。一切物质产品都是生产者对材料进行劳动加工的成果，工程师和建筑工人所建筑的道路、桥梁、房屋及其附属构筑物也不例外。

道路与桥梁工程结构物裸露于大自然中，承受瞬时、反复的汽车动荷载作用，材料的性能和质量对结构物的使用性能影响极大。近年来由于交通量的迅速增长和渠化交通的形成，一些高等级公路的路面出现较严重的波浪、车辙等病害现象，这些现象均与材料的性质有密切的关系。材料质量的优劣、配制是否合理及选用是否适当等，均直接影响结构物的质量。

在道路与桥梁结构物的修筑费用中，用于材料的费用约占 30% ~ 50%，某些重要工程甚至可达 60% ~ 70%。所以，合理地选择和使用材料，对节约工程投资、降低工程造价十分重要。

工程建筑设计、工艺的更新换代，往往要依赖于新材料的发展；同时，新材料的出现和使用，必然导致工程建筑设计、工艺的新突破。对道路建筑材料的研究是道路与桥梁技术发展的重要基础。

《道路材料技术》是研究道路与桥梁所用材料组成、性能和应用的一门课程。

二、道路与桥梁工程常用的原材料

1. 砂石材料

砂石材料是指经人工开采的岩石或轧制得到的颗粒状碎石,以及地壳表层岩石经天然风化呈松散颗粒状的材料。

这类材料是道路与桥梁工程结构中使用量最大的一种材料。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;性能稳定的轧制碎石等可制成沥青混合料或水泥混凝土。

2. 工业废渣

工业废渣是用作筑路材料的铁渣、钢渣和炉渣的总称。它主要包括火力发电厂排放的废渣——粉煤灰,冶金生产过程中由矿石、燃料和助溶剂中易熔硅酸盐化合而成的副产品——冶金矿渣和煤炭工业精选煤后剩余的废渣——煤矸石等。粉煤灰和冶金矿渣经加工后,既可作为水泥原料,又可以直接作为路面基层材料,也可作为水泥混凝土和沥青混合料中的掺和料。

3. 无机结合料

道路与桥梁工程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、预应力混凝土结构 and 水泥混凝土路面的主要材料。无机结合料稳定材料(包括稳定碎石、砂砾、土等)广泛用于道路路面基层结构,水泥(或水泥、石灰)砂浆是各种桥梁圬工结构物砌筑的重要结合料。

4. 有机结合料

有机结合料主要是指沥青类材料,如石油沥青、煤沥青等。这类材料与不同颗粒粒径(大小)的碎石、石屑、砂等组成沥青混合料,可以修筑成各种类型的沥青路面。沥青混合料是现代路面建筑中极为重要的一种材料。

5. 土

土是地壳表层的物质,是在长期风化、搬运、磨蚀、沉积作用的过程中形成的颗粒大小不等、未经胶结的一切松散物质。土既可作为路基材料,又可作为无机结合料稳定类基层的主要材料。

6. 高分子聚合物

高分子聚合物是指由一种或几种低分子化合物(单体)聚合而成的高分子有机物质。道路和桥梁工程中常用的高分子聚合物包括塑料、橡胶和纤维三类。随着我国化学工业和高等级公路的发展,越来越多的高分子聚合物用于道路和桥梁工程中。工程高分子聚合物在道路和桥梁工程中主要用来改善沥青混合料或水泥混凝土的性能、路基或路面的结构性能等。

7. 钢材和木材

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。本课程着重介绍线形钢材的技术性能和应用。由于木材资源短缺,除了抢修工程和林区临时性工程外,木材较少用于修筑桥涵,主要用作水泥混凝土工程的模板和支架等。

本课程主要介绍道路与桥梁工程常用材料的产源(天然材料)或生产方法(人造材料)、内部组成结构、原材料的技术性质及评价方法、混合料的技术性质及评价方法、混合料的组成设计方法等内容。

本课程与物理、化学等学科以及材料力学、工程地质等技术基础课程有着密切的联系,是学习公路工程、桥涵工程等专业课程的基础。

三、建筑材料应具备的工程性质

道路与桥梁建筑物,不仅要受到车辆荷载复杂力系的作用,而且要受到各种复杂的自然因素的恶劣影响。用于道路与桥梁建筑的材料,既要具备一定的力学性能,又要保证在各种自然因素影响下,综合力学性能不会明显地下降。

为了保证道路与桥梁用建筑材料的综合力学性能和稳定性,要求建筑材料应具备下列性质。

1. 力学性质

力学性质是材料抵抗车辆荷载复杂力系综合作用的性能。目前对建筑材料力学性质的测定,主要是测定各种材料静态的强度,如用抗压、抗拉、抗弯、抗剪等强度来反映材料的力学性质。某些特殊需要还采用磨耗、冲击等经验指标来反映其力学性质。

2. 物理性质

材料的物理常数(如密度、实积率、孔隙率等)是材料内部组成结构的反映,与力学性质之间有一定的相关性,可以用来推断材料的力学性质。

材料在使用过程中,其力学强度随温度和湿度等环境因素影响而改变。一般情况下,材料的强度随温度的升高或含水率的增加而降低。通常用材料的温度稳定性、水稳定性来表示其强度变化的程度。

3. 化学性质

化学性质主要是指材料抵抗周围各种环境因素对其化学作用的性能。道路与桥梁建筑材料除了受到周围介质(如桥墩在工业污水中)侵蚀外,还受到大气因素(如气温的交替变化、日光中紫外线、空气中的氧等)的综合作用,引起材料力学性质的衰变。材料自身的化学成分将影响材料及混合材料的性质,也影响结构物的使用性能。

4. 工艺性质

工艺性质是指材料适合于一定工艺要求加工的性能。例如水泥混凝土在成型之前需要一定的流动性,以便浇筑成一定形状的构件。

四、道路材料的一般检验方法和技术标准

1. 道路材料的一般检验方法

道路建筑材料应具有的技术性能,通过适当的测试手段来进行。检验测定道路与桥梁用材料在实际结构物中的性质,通常采用试验室内原材料性能测定、试验室内模拟结构物检验测定,以及现场修筑试验性足尺结构物检验测定等方法。本课程着重于试验室内原材料性能检验测定。室内材料试验包括下列内容。

1) 物理性质试验

测定道路与桥梁常用材料的物理常数,除了为混合料组成设计提供原始资料外,通过物理常数测定可以间接推断材料的力学性能。

2) 力学性质试验

目前建筑材料的力学性质试验主要采用各种试验机测定其静态的抗压、拉、弯、剪等强度。随着科学技术的发展,建筑材料的力学性质试验方法不断完善,对道路建筑材料在不同温度与不同荷载作用时间条件下动态的弹—黏—塑性性能试验已成为可能。例如,沥青混合料在不同温度与不同荷载作用时间条件下的动态劲度,以及采用特殊设备或动态三轴仪来测定在复杂应力作用下,不同频率和间歇时间的沥青混合料的疲劳强度等,使材料的力学性质与其在公路上的实际受力状态较为接近,也对现代考虑黏—塑性的路面设计方法提供一定的参数。

3) 化学性质试验

对于材料化学性质的试验,通常只作材料简单化合物(如 CaO、MgO)含量或有害物质含量的分析。也可作某些材料(如沥青)的“组分”分析,初步地了解材料的组成与性能的关系。随着近代测试技术的发展,核磁共振波谱、红外光谱、X 射线衍射和扫描电子显微镜等在沥青材料分析中得到应用,促进了对沥青化学结构与路用性能相依性的研究,有可能从化学结构上来设计要求沥青材料的性能。

4) 工艺性质试验

现代工艺试验主要是将一些经验的指标与工艺要求联系起来,尚缺乏科学理论的分析。随着流变力学、断裂力学等的发展,许多材料工艺性质的试验按照流变—断裂学理论来进行分析,并提出不同的试验方法。例如,沥青混合料的摊铺性质采用流动性系数等指标来控制。

2. 道路材料的技术标准

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四个等级。

对需要在全国范围内统一的技术要求,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、发布。我国的国家标准由代号、编号、制定或修订年份、标准名称等四部分组成。“GB”为强制性国家标准的代号,推荐性国家标准在 GB 后加“T”。

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,制定行业标准。行业标准由国务院有关行政主管部门制定、发布,并报国务院标准化行政主管部门备案。行业标准由行业标准代号、一级类目代号、二级类目代号、二级类目序号、制定或修订年份、标准名称等部分组成。

对没有国家标准和行业标准又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的技术要求,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,作为组织生产的依据。

与道路材料有关的国家标准和行业标准代号示例见表 1-1。

国家标准和行业标准代号

表 1-1

标准名称	代号(汉语拼音)	示例
国家标准	国标 GB(Guo Biao)	GB / T 14658—2001 建筑用卵石、碎石
交通行业标准	交通 JT(Jiao Tong)	JTG B01—2003 公路工程技术标准
建筑工程行业标准	建工 JG(Jian Gong)	JGJ 55—2000 普通混凝土配合比设计规程
建材行业标准	建材 JC(Jian Cai)	JC/T 479—92 建筑生石灰
石油化工行业标准	石化 SH(Shi Hua)	SH 0522—92 道路石油沥青
黑色冶金行业标准	冶标 YB(Ye Biao)	YB/T 030—92 煤沥青筑路油

为学习和应用国外有关道路建筑材料的科学技术,将国际及国外几个主要国家的标准代号列于表 1-2 中。

国际标准和国外国家标准代号 表 1-2

标准名称	缩写(全名)
国际标准	ISO(International Standard Organization)
美国国家标准	ANS(American National Standard)
美国材料与试验学会标准	ASTM(American Society for Testing and Materials)
英国标准	BS(British Standard)
德国工业标准	DIN(Deutsche Industrie Normen)
日本工业标准	JIS(Japanese Industrial Standard)
法国标准	NF(Normes Francaises)

● 第二节 岩石制品与粒料 ●

岩石是组成地壳的主要物质成分,是地壳发展过程中各种地质作用的自然产物。呈颗粒状松散的材料统称为粒料,它包括集料(骨料)和工业废渣等材料。

一、岩石制品

1. 岩石的分类

自然界岩石的种类很多,按形成原因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。

岩浆岩中的各种氧化物之间有明显的变化规律,岩石内 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 等化学成分对其路用性能有一定的影响。根据岩石中 SiO_2 的含量一般将岩浆岩分为酸性岩石、中性岩石和碱性岩石三类,如表 1-3 所列。道路工程常用的酸性岩石有花岗岩、石英岩等,碱性岩石有石灰岩、玄武岩等,中性岩石有闪长岩、辉绿岩等。

岩浆岩的分类 表 1-3

类 别	酸性岩石	中性岩石	碱性岩石
SiO_2 含量(%)	65 ~ 75	55 ~ 65	< 55

2. 道路和桥涵用岩石制品

1) 道路路面铺筑用岩石制品

道路路面建筑用岩石制品包括直接铺砌路面面层用的整齐块石、半整齐块石和不整齐块石三类;作路面基层用的锥形块石、片石等。各种岩石制品的规格和技术要求简要分述如下:

(1) 高级铺砌用整齐块石。由高强、硬质、耐磨的岩石经精凿加工而成。用整齐块石铺筑路面时,需以水泥混凝土为底层,并且用水泥砂浆灌缝找平,所以这种路面造价很高,在有特殊要求的道路上才考虑使用,如水泥混凝土路面与沥青混凝土路面的过渡路段或供履带车等行驶的路段可铺筑整齐块石路面。整齐块石的尺寸一般可按设计要求确定。大方块石的尺寸为 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times (120 \sim 150)\text{mm}$,小方块石的尺寸为 $120\text{mm} \times 120\text{mm} \times 250\text{mm}$ 。石料的抗压

强度不低于 100MPa,洛衫矶磨耗率不大于 5%。

(2)路面铺砌用半整齐块石。经粗凿而成立方体的方块石或长方体的条石。顶面与底面平行,顶面积与底面积之比不小于 40%~75%。半整齐块石用硬质岩石制成,为修凿方便,常采用花岗岩。顶面不进行加工,因此顶面平整性较差,一般只在特殊路段使用,如路基尚未沉降稳定的桥头引道及铁轮履带车经常通过的路段。

(3)铺砌用不整齐块石。又称拳石,它是由粗打加工而得到的块石,要求顶面为一平面,底面与顶面基本平行,顶面积与底面积之比大于 40%~60%。其优点是造价不高,经久耐用,其缺点是不平整,行车振动大,故目前应用较少。

(4)锥形块石。又称大块石(或手摆块石),用于路面底基层。锥形块石是由片石进一步加工而得的粗打集料,要求上小下大,接近截锥形。其底面积不宜小于 100cm^2 ,以便砌摆稳定。高度一般分为 $160 \pm 20\text{mm}$ 、 $200 \pm 20\text{mm}$ 、 $250 \pm 20\text{mm}$ 等,通常底基层厚度应为石块高的 1.1~1.4 倍。除特殊情况外,一般不采用大块石基层。

2)桥涵及路基砌筑用主要岩石制品

桥涵及路基砌筑使用的主要岩石制品有:片石、块石、料石、镶面石等。

(1)片石。片石是由打眼放炮后经选择所得的形状不规则的、最小边长一般不小于 15cm 的石块。每块片石的体积一般不小于 0.01m^3 ,质量在 30kg 以上。用于圬工工程主体的片石,其极限抗压强度应不小于 30MPa;用于附属圬工工程的片石,其极限抗压强度不小于 20 MPa。

(2)块石。块石是由成层岩石中打眼放炮或用楔子打入成层岩石的明缝(或暗缝)中劈出后进行加工而成的形状大致方正的石块。块石无尖角,有两个较大的平行面,边角可不加工。其厚度应不小于 20cm,宽度为厚度的 1.5~2.0 倍,长度为厚度的 1.5~3 倍。砌缝宽度一般不大于 20mm,个别边角砌缝宽度可达 30~35 mm。石料极限抗压强度应符合相关设计文件的规定。

(3)料石。料石是按规定要求经凿琢加工而成的形状规则的石块。根据料石加工的程度不同将其分为粗料石和细料石。料石的形状、尺寸和极限抗压强度应符合设计文件规定。粗料石表面凹凸不大于 10mm,砌缝宽度小于 20mm;细料石表面凹凸不大于 5 mm,砌缝宽度小于 15mm。

(4)镶面石。镶面石是有美化要求的桥梁结构物的装饰材料。岩石的外露面可沿四周琢成 2cm 宽的边,中间部分仍保持原来的天然石面。岩石上、下和两侧均加工粗琢成刹口,刹口宽度不得小于 10cm,琢面应垂直于外露面。镶面石受气候因素——晴、雨、冻融的影响损坏较快,一般应选用较好的、较坚硬的岩石。

二、集料(骨料)

集料(骨料)是指在混合料中起骨架或填充作用的颗粒材料,包括岩石经天然风化而成的砾石和砂等,以及由岩石经轧制而成的各种尺寸的碎石、机制砂、石屑等。

1. 集料的分类

在公路工程中,集料颗粒尺寸的大小通过筛分方法确定,目前使用的标准筛为方孔筛,筛孔尺寸用来表示集料颗粒尺寸的大小,通常称为粒径。不同粒径的集料在沥青混合料和水泥混凝土中所起的作用不同,一般将集料分为粗集料和细集料两种。

在沥青混合料中,粗集料是指粒径大于 2.36mm 的碎石、破碎砾石、筛选砾石和矿渣等,细集料是指粒径小于 2.36mm 的天然砂、人工砂、机制砂及石屑;在水泥混凝土中,粗集料是指粒径大于 4.75mm 的碎石、砾石和破碎砾石,细集料是指粒径小于 4.75mm 的天然砂、人工砂。

2. 粗集料

碎石是指符合工程要求的岩石,经开采并按一定尺寸加工而成的有棱角的粒料。

3. 细集料

天然砂是由自然风化、水流冲刷、堆积形成的粒径小于 4.75mm 的岩石颗粒。根据产源的不同可分为河砂、山砂和海砂。河砂颗粒表面光滑,比较洁净,质地较好,产源广;山砂颗粒表面粗糙有棱角,含泥量和含有机杂质较多;海砂具有河砂的特点,但常混有贝壳碎片和盐分等有害杂质。工程上多使用河砂。在缺乏河砂的地区,也可使用山砂或海砂,在使用时应按规定作技术检验。

人工砂通常是指石料加工过程中采取真空抽吸等方法除去大部分土和细粉,或将石屑水洗得到的洁净的细集料。从广义上分类,机制砂、矿渣砂、煅烧砂都属于人工砂。

机制砂是由碎石及砾石经制砂机反复破碎加工至粒径小于 2.36mm 的细集料。亦称破碎砂。石屑由是采石场加工碎石时通过最小筛孔(通常为 2.36mm 或 4.75mm)的筛下部分。机制砂和石屑表面多棱角,较洁净。机制砂造价较高,如无特殊情况,一般不使用机制砂。

三、填 料

在沥青混合料中起填充作用的粒径小于 0.075mm 的矿物质粉末统称为填料。通常是指石灰岩等碱性石料加工磨细得到的矿粉,水泥、消石灰粉、粉煤灰等矿物质有时也可作为填料使用。

由石灰岩等碱性石料经磨细加工得到的,在沥青混合料中起填充作用的以碳酸钙为主要成分的矿物质粉末称为矿粉。

四、工业废渣

1. 粉煤灰

粉煤灰是火力发电厂由煤粉经高温煅烧后排放的火山灰质废渣。通过对粉煤灰的化学分析,其中除含有少量的未燃尽的煤粉外,主要化学成分为氧化硅(SiO_2)、氧化铝(Al_2O_3)和少量的氧化铁(Fe_2O_3)、氧化钙(CaO)、氧化镁(MgO)与氧化硫(SO_3)等氧化物。

粉煤灰系球形熔粉,颗粒呈玻璃状,在光学显微镜下观察,其颗粒主要由两类矿物组成,一类是玻璃体,约占 70%~80%,另一类是结晶体,约占 15%~20%。

道路与桥梁工程利用粉煤灰,既能变废为宝、减少污染,又能就地取材,解决路用材料缺乏问题,还能提高公路工程的质量。粉煤灰在公路工程中主要用途有:

- (1) 粉煤灰与水泥或石灰稳定土、稳定集料作为路面基层材料。
- (2) 作沥青混合料或水泥混凝土的掺和料,改善其路用性能或工艺性能。
- (3) 作路基填料或与水泥、石灰一起处理湿软地基。

在硅酸盐水泥中掺入适量的粉煤灰可以制成粉煤灰质硅酸盐水泥。

2. 冶金矿渣

冶金矿渣分为黑色金属冶金矿渣与有色金属冶金矿渣两大类。黑色金属冶金矿渣又分为高炉重矿渣和钢渣两类。冶金矿渣从熔炉排出后,在空气中自然冷却,形成坚硬的材料,是一种很好的路用材料。

矿渣的化学成分随着冶炼的矿物成分、燃料、助溶剂及熔化金属的化学成分的不同而变化。其主要的化学成分为氧化硅(SiO_2)、氧化铝(Al_2O_3)、氧化钙(CaO)和少量的氧化铁(Fe_2O_3)、氧化镁(MgO)、氧化锰(MnO)等氧化物。一般根据化学成分采用碱度(或酸度)作为矿渣的分类基础。

碱性氧化物包括 CaO 、 MgO 、 FeO 、 MnO 等;酸性氧化物包括 SiO_2 、 P_2O_5 等;中性氧化物包括 FeS 、 MnS 等;两性氧化物为 Al_2O_3 ,遇碱时起弱酸作用,而遇酸则起弱碱作用。

矿渣的酸性和碱性可用下列模数表示:

$$\text{碱性矿渣: } M_{bc} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} > 1$$

$$\text{酸性矿渣: } M_{ac} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} < 1$$

$$\text{中性矿渣: } M_{bc} < 1 \text{ 且 } M_{ac} > 1$$

矿渣的密度与矿物成分有关,大约在 $2.97 \sim 3.32\text{g}/\text{cm}^3$ 之间。矿渣的堆积密度约在 $1900\text{kg}/\text{m}^3$ 以上,空隙率大多在 35% 以下,耐冻性(或坚固性)一般均能符合路用要求。

矿渣的力学强度一般均较高,其强度与空隙率有关。通常极限抗压强度在 50MPa 以上,高者可达 150MPa,相当于石灰岩至花岗岩的强度。其他性能如压碎值、冲击值、磨光值等均能符合路用石料的要求。稳定的冶金矿渣集料可作为路面基层材料,也可作为修筑水泥混凝土路面或沥青混凝土路面用的集料。

• 第三节 工程用土 •

土是一种天然的地质材料,广泛分布于地壳表面。在自然界中,土的物理风化和化学风化时刻都在进行,由于土的形成过程和自然环境的不同,其成分、结构和性质千变万化,工程性质也千差万别。同一场地,不同深度处土的性质也不相同,甚至同一位置的土,其性质往往随方向而有差异。因此,土是自然界漫长的地质年代内所形成的性质复杂、不均匀、各向异性,且随时间不断变化的材料。

一、土的三相组成

土体是由固体土粒、液体水和气体三部分组成。土中的固体矿物颗粒构成土的主体部分,它是土的“骨架”,也称为“土粒”。骨架之间贯穿着大量孔隙,孔隙中充填着液体水和气体。随着环境的变化,土的三相比例也发生相应的变化,土体三相比例不同,土的状态和工程性质

也随之各异。

当土体骨架之间的孔隙全部被气体所充斥(土体由固相和气相组成,液相为0)称为干土,此时黏土呈干硬状态,砂土呈松散状态。当土体骨架之间的孔隙全部被水体所充满(即土体由固相和液相组成,气相为0)称为饱和土,此时黏土多为流塑状态,砂土仍呈松散状态,但遇强烈地震时可能产生液化,使工程结构物遭到破坏。当土体骨架之间的孔隙中既有液态相的水,又有气态相的空气(即土体由固相、液相、气相组成)称为湿土,此时黏土多为可塑状态,砂土具有一定的黏结性。

由此可见,分析土的各项工程性质,首先需从组成土的三相(固相、液相、气相)开始分析。

1. 土中固体颗粒

1) 土的矿物类型

土是地壳母岩经强烈风化作用的产物,因此土是由矿物组成的。土中矿物的特性不同,土的物理力学性质也不同。组成土的矿物质主要有原生矿物和次生矿物。

(1)原生矿物。原生矿物是指直接由岩石经物理风化作用而来的、性质未发生改变的矿物。最主要的是石英,其次是长石、云母等。这类矿物的化学性质稳定,具有较强的抗水性和抗风化能力,亲水性差。由这类矿物组成的土粒一般较粗大。

(2)次生矿物。次生矿物主要是在通常温度和压力条件下,矿物经受风化变异,或被分解而形成的新矿物。这类矿物比较复杂,对土的物理力学性质影响较大。次生矿物可分为可溶性次生矿物和不溶性次生矿物。可溶性次生矿物是由原生矿物遭受化学风化,可溶性物质被水溶走,在别的地方又重新沉淀而成的。根据其溶解的难易程度又可分为易溶的、中溶的和难溶的三类。不溶性次生矿物多系风化残余物及新生成的黏土矿物质,一般颗粒非常细小,成为黏性土的主要组成部分。

除上述矿物质外,土中还常含有生物形成的腐殖质、泥炭和生物残骸,统称为有机质。其颗粒很细小,具有很大的比表面积,对土的工程性质影响也很大。

2) 土颗粒的形状与粒径

土颗粒的形状对土体的密度和稳定性有着显著的影响。岩石遭到风化剥蚀可裂成碎屑,有些矿物无论粗细,都仍然保持各自晶体形状,有块状、球状、片状、柱状等形状。大部分粉砂粒及砂粒是浑圆的或棱角状的;云母颗粒往往是片状的;黏土颗粒则往往是薄片状的。土颗粒的形状取决于土的矿物成分,它反映土的来源和地质历史。

土的颗粒有粗有细,尽管土颗粒粗细悬殊,却都属于土质学研究的范围。为了便于分析土的粗细程度,通常把土颗粒视为球体,以其直径尺寸表示土颗粒的大小,通常称为粒径。工程上以 mm 作为土颗粒粒径的计量单位。

自然界中的土是由大小不同的颗粒组成,土粒的大小称为粒度。土颗粒大小相差很大,为便于分析,工程上把大小相近的土粒合并为组,称为粒组。粒组间的分界线是人为划定的,主要考虑粒组界线应与粒组性质的变化相适应,并按一定的比例递减关系划分粒组的界限值。每个粒组的区间内,常以其粒径的上、下限给粒组命名,如砾粒、砂粒、粉粒、黏粒等。各粒组内还可以细分为若干亚组。我国《土的工程分类标准》(GBJ 145—90)和《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)中的粒组划分类型见表 1-4 所列。

粒组划分表

表 1-4

粒组统称	《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)		《土的工程分类标准》(GBJ 145—90)			
	粒组名称	粒组粒径范围 (mm)	粒组名称	粒组粒径范围 (mm)		
巨粒	漂石(块石)	>200	漂石(块石)	>200		
	卵石(小块石)	200~60	卵石(碎石)	200~60		
粗粒	砾(角砾)	粗砾	60~20	砾粒	粗砾	60~20
		中砾	20~5		细砾	20~2
		细砾	5~2			
	砂	粗砂	2~0.5	砂粒	砂砾	2~0.075
		中砂	0.5~0.25			
		细砂	0.25~0.075			
细粒	粉粒	0.075~0.002	粉粒	0.075~0.005		
	黏粒	<0.002	黏粒	<0.005		

在土质学中,对于细粒土,也常以比表面积来表示土的粗细程度。比表面积可以用两种方法表征:其一是单位质量的土体中土颗粒的总表面积;其二是单位体积的土体中土颗粒的总表面积。比表面积越大表明土中颗粒越细。

2. 土中的水

土颗粒孔隙中的水以不同的形式和不同的状态存在,它们对土的工程性质起着不同的作用和影响。土中的水按其工程地质性质可分为结构水、自由水、气态水和固态水四种形式。

1) 结构水

土颗粒的表面通常是带负电荷的,在土粒周围产生一个电场,它吸附水溶液中的水化阳离子和一些水分子,吸附力极强。土粒表面吸附的水化阳离子和水分子构成了吸附水层,也称强结合水或吸附水。

在土粒表面,阳离子浓度最大,随着距土粒表面距离的增大,阳离子浓度逐渐降低,直至达到孔隙中水溶液的正常浓度为止。从土粒表面至阳离子浓度正常为止,这个范围称为扩散层。阴离子由于与土粒表面负电荷相排斥,土粒表面阴离子的浓度较低,随着距土粒表面距离的增大,阴离子浓度逐渐增大,最后也达到水溶液中的正常浓度。土粒表面的负电荷和扩散层合称为双电层。土粒表面的负电荷为双电层的内层,扩散层为双电层的外层。扩散层是由水分子、水化阳离子和阴离子所组成,形成土粒表面的弱结合水或称薄膜水。

强结合水紧靠土粒表面,厚度小于 $0.03\mu\text{m}$ ($1\mu\text{m}=0.001\text{mm}$),只有几个水分子厚,受到约 1000MPa (1万个大气压)的静电引力,使水分子紧密而整齐地排列在土粒表面不能自由移动。强结合水的性质与普通水不同,其性质接近于固体,不传递静水压力, 100°C 不蒸发, -78°C 低温才冻结成冰,具有很大的黏滞性、弹性和抗剪强度。当黏土只含强结合水时呈固体坚硬状态;砂土只含强结合水时呈散粒状态。

弱结合水在强结合水外侧,呈薄膜状,也是由黏土表面的电分子力吸引的水分子,水分子排列也较紧密,密度大于普通水。弱结合水也不传递静水压力,呈黏滞体状态,也具有较高的黏滞性和抗剪强度,冰点在 $-30\sim-20^\circ\text{C}$ 。其厚度变化较大,水分子有从厚膜处向较薄处缓慢