

道路建筑材料

张南鹭 编著

同济大学出版社

前 言

近年来我国交通运输事业发展迅速,高等级道路的数量大大增加,对道路建筑材料质量的要求不断提高,道路建筑材料的应用技术和理论以及技术规范都有了较大的进展和更新,为此编写本教材,以满足教学需要。编著者根据教学和科研实践,在教材中力求反映近年来道路建筑材料理论和技术的新成就。

本教材按照本科和函授教学大纲的要求,讲述了砂石材料、石灰和水泥、水泥混凝土和砂浆、沥青材料、沥青混合料、高分子合成材料以及建筑钢材和木材等材料的生产、组成结构、技术性质和技术规范及其主要的试验方法。考虑函授的特点,每章内容之前列有学习内容提要及重点,各章后列有复习思考题及作业计算题,教材后面附有二次测验作业题,便于检查学习效果。教材选编了11个基本试验。

本教材可供函授教学使用,也可作为日校本科教材。

限于水平和时间,书中的缺点和错误在所难免,敬希指正。

编 著 者

1992 年 5 月

(沪)204号

内 容 提 要

本教材按照本科和函授的《道路建筑材料》课程教学大纲的要求,讲述了砂石材料、石灰和水泥、水泥混凝土和砂浆、沥青材料、沥青混合料、高分子合成材料以及建筑钢材和木材等材料的生产、组成结构、技术性质和技术规范及其主要的试验方法。本教材还配有复习思考题、测验题,并选编了11个基本试验。

本教材可供函授教学使用,也可作为日校本科教材。

责任编辑 方 芳

封面设计 王肖生

道路建筑材料

张南鹭 编著

同济大学出版社出版

(上海四平路1289号)

新华书店上海发行所发行

常熟市文化印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 10.75 字数: 277千字

1992年11月第一版 1992年11月第一次印刷

印数: 1—3000 定价: 3.70元

ISBN 7-5608-1046-2/TU·116

目 录

绪 论.....	1
第一章 砂石材料.....	5
第一节 砂石材料的技术性质	5
一、石料的技术性质	5
二、集料的技术性质	12
三、石料的技术标准	22
四、道路与桥梁用石料制品	22
五、冶金矿渣集料	23
第二节 矿质混合料的级配理论	25
一、矿质混合料的级配理论	26
二、级配曲线范围的绘制	30
复习思考题	32
作业计算题	31
第二章 石灰和水泥.....	33
第一节 石灰	33
一、生石灰的熟化	34
二、石灰的硬化	34
第二节 硅酸盐水泥	37
一、概述	37
二、硅酸盐水泥矿物组成及特性	37
三、水泥的凝结硬化理论	38
四、硅酸盐水泥的技术性质和技术标准	43
五、硅酸盐水泥石的腐蚀与防止	46
第三节 掺混合材料水泥	49
一、混合材料的品种及性质	49
二、普通硅酸盐水泥(简称普通水泥)	50
三、矿渣硅酸盐水泥(简称矿渣水泥)	51

四、火山灰质硅酸盐水泥(简称火山灰水泥)	51
五、粉煤灰硅酸盐水泥(简称粉煤灰水泥)	51
第四节 其他品种水泥	54
一、道路硅酸盐水泥	54
二、快硬硅酸盐水泥	54
三、膨胀水泥及自应力水泥	55
四、高铝水泥(铝酸盐水泥)	56
五、白色硅酸盐水泥	57
复习思考题	58
第三章 水泥混凝土和砂浆	59
第一节 普通水泥混凝土	60
一、普通水泥混凝土的组成材料	60
二、普通水泥混凝土的技术性质	69
三、普通水泥混凝土的配合比设计	86
四、施工配合比	95
五、混凝土外加剂	101
第二节 其他品种混凝土	108
一、轻集料混凝土	108
二、高强混凝土	111
三、碾压混凝土	111
四、流态混凝土	112
五、纤维增强混凝土	113
六、喷射混凝土	113
七、聚合物混凝土	114
第三节 建筑砂浆	114
一、砌筑砂浆	115
二、抹面砂浆	119
复习思考题	119
作业计算题	120
第四章 沥青材料	122
第一节 石油沥青	123
一、石油沥青的化学组成和结构	123
二、石油沥青的技术性质	127

三、石油的基属和沥青生产工艺与沥青路用性能的关系	142
四、石油沥青的改性措施	146
五、石油沥青的技术标准	149
第二节 煤沥青	153
一、煤沥青的化学组成和结构特点	153
二、煤沥青的技术性质与技术标准	155
第三节 乳化沥青	159
一、乳化沥青的组成材料	159
二、乳化沥青的形成机理	164
三、乳化沥青的制备	166
四、乳化沥青的分裂	167
五、阳离子沥青乳液的分类和质量检验标准	168
复习思考题	169
第五章 沥青混合料	171
第一节 热拌沥青混合料	172
一、沥青混合料的组成结构和强度理论	172
二、沥青混合料应具备的技术性质及其评价方法	177
三、沥青混合料组成材料	183
四、沥青混合料的技术标准	186
五、沥青混合料配合比设计	190
第二节 其他沥青混合料	203
一、冷铺沥青混合料	203
二、煤沥青混合料	204
三、桥面铺装材料	205
四、水泥混凝土路面填缝料	205
复习思考题	206
作业计算题	207
第六章 高分子合成材料	209
第一节 概述	209
一、基本概念	209
二、人工合成	211
三、高聚物的分类	212
第二节 塑料	213

一、塑料的组成	213
二、通用塑料	214
三、工程塑料	214
四、树脂在改善沥青路用性能中的作用	215
第三节 合成橡胶	216
一、合成橡胶的基本原料	217
二、合成橡胶的品种	218
三、合成橡胶在道路工程中的应用	219
第四节 合成树脂	220
一、合成树脂的品种	220
二、合成树脂粘结剂	222
三、合成树脂混凝土和砂浆	223
复习思考题	224
第七章 建筑钢材和木材	225
第一节 建筑钢材	225
一、钢材的分类及其技术性能	225
二、化学成分对钢材性能的影响	231
三、建筑钢材的技术标准	233
第二节 建筑木材	240
一、建筑木材的性质	241
二、木材的腐朽与防腐	247
复习思考题	248
第一次测验作业	250
第二次测验作业	253
试验一 石料的力学性能试验	256
试验二 石料磨耗试验	261
试验三 粗、细集料试验	264
试验四 水泥试验	274
试验五 水泥砂浆强度试验	280
试验六 水泥混凝土拌合物的拌制和和易性试验	286
试验七 水泥混凝土力学强度试验	291
试验八 沥青的针入度、延度和软化点试验	297
试验九 石油沥青化学组分测定试验	310

试验十 石油沥青蜡含量测定试验318

试验十一 马歇尔稳定度试验322

参考文献331

绪 论

一、建筑材料在工程中的重要性

建筑材料是一切工程建筑的物质基础,道路建筑材料是道路、桥梁、隧道等工程结构物的物质基础,材料的性质对结构物的使用性能、坚固性和耐久性起着决定性的作用,材料的使用与工程造价有密切的关系,材料的发展则可促进结构形式和施工工艺的发展。

道路工程结构物裸露于大自然,承受瞬时、反复荷载的作用,材料的性能和质量对结构物的使用性能和工程寿命有着极为密切的关系。如赵州桥所以能成为世界著名的古老桥梁,除了其设计合理和施工精湛外,还与所用石材的坚固密切相关。近年来由于交通量的迅速增长和车辆行驶的渠化,一些高等级路面出现较严重的波浪、拥包、车辙现象,也与材料的性质有关。

道路材料费用在道路工程总造价中约占60%,因此,合理地选择和使用材料,尽量就地取材,充分发挥材料的性能,尽力降低工程造价,并延长其使用寿命是非常重要的。

材料科学的进步,可以给工程提供优质的材料,而工程建设的发展必将促进材料科学的发展。随着国民经济的发展,道路交通事业蓬勃发展,高等级道路建设的速度不断加快,这对道路、桥梁、隧道等结构物提出了更高的要求,也对道路建筑材料提出更高的要求。近代新型大跨度的桥梁和承受重交通量的路面相应地要求高强、优质的材料,必然促进道路材料科学的发展,例如,高分子聚合物、纤维材料的采用,以及复合材料的发展。

二、道路材料研究对象和内容

材料科学是由基础科学相互渗透的学科,材料科学不仅要认

识材料的本质,也就是了解材料性能与组成结构之间的关系,而且还要进一步完善、改进材料的性质,使之满足建设发展的需要。由于近代测试手段的发展,对材料组成结构的认识已由宏观认识深入到微观的认识,因此,对材料的组成与性能之间的关系就有了较深刻的认识,可以更为合理地使用材料,并可以进一步改进并完善材料的性质,发展新型的材料。

本课程主要讲述以下材料:

1. 砂石材料 砂石材料是人工开采的岩石或轧制的碎石以及地壳表层岩石经风化而得到的天然砂砾。可以应用于砌筑道路、桥梁工程结构物或铺筑隧道基础,也可以作为集料应用于配制水泥混凝土和沥青混合料。

2. 无机结合料和水泥混凝土 路桥工程中最多采用的无机结合料为水泥、石灰,水泥混凝土是应用最广泛的工程材料。

水泥砂、浆作为挡土墙、桥梁、砌体结构物的砌筑材料。

3. 有机结合料及其混合料 有机结合料主要是指石油沥青、煤沥青和乳化沥青,它们与集料可以配制成沥青混合料、修筑成不同类型的沥青路面。

4. 高分子合成材料 为改善路桥工程材料的性能,加固土壤,改善沥青性能和增强水泥混凝土强度等方面已运用了高分子合成材料。

5. 钢材和木材 钢材是桥梁钢结构及钢筋混凝土结构的重要材料。木材在路桥工程中仅用作模板及拱架。

三、道路材料应具备的技术性质

道路材料在路桥工程中承受着复杂的荷载作用和自然因素的影响,因此,道路材料必须具有抵抗复杂外力作用的综合力学性能,同时还必须具有抵抗日光、温度变化、雨淋、冻融等自然因素作用的稳定性,这就要求道路材料具有以下几方面的技术性质:

1. 物理性质

材料的化学组成和结构应保证材料具有一定的密度和孔隙

率,并具有对水的作用的稳定和抗冻融的能力。

通常通过测定一些物理常数来反映材料的内部组成和构造,并可与材料力学性质进行关联。

2. 力学性质

力学性质是材料的重要性质,目前除了通过静态的拉、压、弯、剪等试验来反映材料的力学性能外,还根据材料的作用采用磨光、磨耗、冲击等试验方法来反映其性能。随着科技的发展,将进一步考虑材料在不同温度和时间条件下的力学性能的变化。研究材料粘弹塑性,目前已采用一些动态试验方法,测定材料的动态模量、疲劳强度等。

3. 化学性质

材料应该具有抵抗化学作用的能力,道路材料可能受到化学侵蚀作用和自然因素综合作用,引起性质变化,即材料的老化。近代测试手段可通过红外光谱、核磁共振波谱、X射线衍射及扫描电镜等来研究材料的微观结构,揭示材料化学性质变化的实质。

4. 工艺性质

工艺性质是指材料适合于按一定工艺要求加工的性能,例如,水泥混凝土拌合物需要一定的和易性,以便浇筑。材料工艺性质通过一定的试验方法和指标进行控制。

四、道路材料质量评价和技术标准

建筑材料及其制品必须具备一定的技术性质,以满足工程的需要,而各种材料由于化学组成、结构及构造的差异而带来性质的差异,或因试验方法的不同而影响测定的数值结果。因此,必须有统一的技术质量要求和统一的试验方法进行评价。这些要求或方法体现在由国家标准或有关的技术规范、规定的各项技术指标。在道路设计、施工和验收过程中应以这些标准的方法和指标为基准,共同遵守。根据1990年4月6日国务院发布的《中华人民共和国标准化实施条例》,我国分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准等四类。对需要在全国范围内统一的需制定“国家标

准”，国家标准由国务院标准化行政主管部门编制计划、组织草拟、统一审批、编号、发布。我国国家标准以符号“GB”代表，对没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术要求，可以制定“行业标准”。

根据国际技术和经济交流与合作的需要，我国参加了 ISO 和 IEC 两个国际标准化组织的活动。在国际上较有影响的技术标准有：美国材料试验协会标准 (ASTM) 和日本工业标准 (JIS) 等。

五、本课程的地位及其学习方法

“道路建筑材料”是一门技术基础课程。它与物理学、化学、理论力学、材料力学以及工程地质等学科有密切的联系。同时，它也为后继的“桥梁工程”、“路基路面工程”、以及“土壤稳定”等专业课程提供材料方面的基础知识。

通过学习本课程了解各种材料的原料、生产工艺、组成结构和技术性质，目的是掌握材料的加工工艺及其组构与材料技术性质的关系，了解技术规范规定的技术指标，以便更好地选择和应用材料，并进一步改善材料的性能，发展材料科学。在学习教材理论内容的同时，应认真进行试验，通过试验验证理论并掌握实验技术，增强动手能力。试验课是本课程的重要环节。学习本课程应注意理论联系实际，注意观察道路工程材料在应用过程中的现象，加深对教学内容的理解。

复习思考题

1. 试述道路建筑材料在道路工程结构物中的重要性。
2. 试述“道路建筑材料”课程所研究的内容和任务。
3. 道路建筑材料应具备哪些性质？

第一章 砂 石 材 料

重点内容和学习要求

本章重点讲述了砂石材料(包括石料和集料)的物理性质和力学性质及道路工程结构物对它们的技术要求,还着重讲述了矿质混合料的级配理论及计算方法。

通过学习,应了解砂石材料的技术性质与其物理性质的关联,道路工程对砂石材料的技术要求,掌握砂石材料的技术性质的测定方法。了解各种矿质混合料级配理论的意义并掌握其应用。

砂石材料是道路和桥梁工程中应用最广泛的建筑材料,其中包括加工成不同形状和尺寸的块状石料作为铺砌材料,以及轧制的碎石或采用自然风化的卵石、砾石及砂的集料作为水泥混凝土或沥青混合料的骨料,它们具有较高的抗压强度和耐久性,但抗拉、抗弯强度低,因此应充分研究它们的性质,使之得到更好的利用。

第一节 砂石材料的技术性质

路桥工程所用石料为采自地壳表面的岩石。由于岩石在形成过程中环境条件的不同,而构成了组织构造与性质不同的岩浆岩、沉积岩与变质岩三大岩类。各种石料的性质与岩石的成分与构造有着密切的关系。在研究其技术性质时必须注意到它与工程地质学之间的关系。

一、石料的技术性质

主要包括物理性质、化学性质及力学性质。

(一) 物理性质

指石料的密度、有关水的性质及气候稳定性等。

1. 密度

指块状石料单位体积的质量。一块石料，不论其矿物成分及构造如何，而从其体积与质量的关系来探讨，其内部构造可视为由矿物实体与孔隙(包括与外界相连通的开口孔隙，及与外界隔绝的闭口孔隙)构成。如图 1-1。

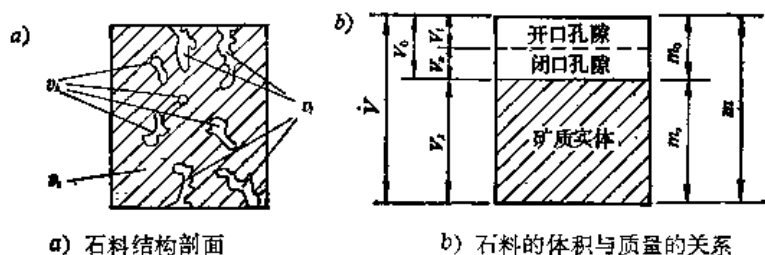


图 1-1 石料结构示意图

根据石料的内部构造特征，其质量与体积的关系可分为真实密度、表观密度及密度。

① **真实密度** 指石料在规定条件下(干至恒重, 温度 20°C)的矿质实体(不含孔隙)真实单位体积的质量。简称真实密度。以式(1-1)表示:

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

式中 ρ_s ——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)。

由于在空气中称量石料的质量, 故 $m_0 = 0$, $m_s = m$, 式(1-1)可写成:

$$\rho_s = \frac{m}{V_s} \quad (1-1a)$$

② **表观密度(即视密度)** 在实际工作中往往将石料饱水后采取排水法测得石料矿质实体的体积, 故所测得的体积包括了闭口孔隙的体积, 称为“表观体积”。按表观体积计算的密度为表观密

度。以式(1-2)表示,

$$\rho'_i = \frac{m}{V_s + V_n} \quad (1-2)$$

式中 ρ'_i ——石料的表观密度(g/cm³);

V_n ——闭口孔隙的体积(cm³);

m, V_s ——意义同前。

③ 密度 即块状石料外观单位体积(包括开口、闭口孔隙)的质量。

按图 1-1 的关系可以式(1-3)表示,

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

式中 ρ ——石料的密度(g/cm³);

V_i ——开口孔隙体积(cm³);

m, V_s, V_n ——意义同前。

因: $V_s + V_i + V_n = V$, 故式(1-3)可写为,

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-3a)$$

④ 孔隙率 即为石料的孔隙体积占其总体积的百分率, 由图 1-1 可知, 石料孔隙率可以式(1-4)表示:

$$P_v = \frac{V - V_s}{V} \times 100 \quad (1-4)$$

式中 P_v ——孔隙率(%);

V_s, V ——意义同前。

将 $\rho_i = \frac{m}{V_s}$, $\rho = \frac{m}{V}$ 代入式(1-4),

$$P_v = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_i}\right) \times 100 \quad (1-4a)$$

石料的孔隙率对石材的强度及吸水性、抗冻性都有一定影响, 如孔隙率大则石料的强度低, 吸水性强。

2. 吸水性

石料的吸水性即为石料的吸水性能, 可用吸水率与饱水率来表征。

① 吸水率 石料在常温($20 \pm 2^\circ\text{C}$)常压(101.325 kPa)的条件下,吸收最大量水的质量占干燥石料质量的百分率。按式(1-5)表示:

$$W_{abs} = \frac{m_a - m_d}{m_d} \times 100 \quad (1-5)$$

式中 W_{abs} ——石料的含水率(%);

m_c ——石料干燥至恒重时的质量(g);

m_d ——石料在常温、常压下吸水至恒重时的质量(g)。

② 饱水率 石料在常温及真空抽气(抽至残压 2.67 kPa)的条件下,吸收最大量水的质量占干燥石料质量的百分率,计算公式与式(1-5)相同。饱水率大于吸水率时,因真空抽气使石料孔隙中的空气被排除,当恢复常压时,水分即充满了开口孔隙。

3. 抗冻性

当石料的孔隙中充满水遇冷结冰时,水的体积增大约 9%,因而对孔壁产生极大的压力(约 100 MPa),致使孔壁遭到破坏,冰在融化时会产生明显的温度差与应力差,对石料亦有破坏作用或降低强度,因而对于寒冷地区(冬季平均气温低于 -10°C)的重要工程所用覆面石料要求达到规定的抗冻性指标。

石料抗冻性指标是以石料的饱水状态在 -15°C 的条件下,经受规定的冻融循环次数后,检查无明显缺损(裂缝、缺角、掉边、表面松散等现象),同时强度降低不超过 25% 为合格。按《公路砖石混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)规定桥涵用石料抗冻性指标如表 1-1。

桥涵用石料抗冻性指标

表 1-1

结 构 部 位	冻 融 循 环 次 数	
	大、中桥	小桥、涵洞
镶面的或表层的石料	50	25

在试验室中对石料进行抗冻性试验,有直接冻融法及硫酸钠

坚固性法两种试验方法。

直接冻融法是将石料制成规则的块状试件，使其在常温下吸饱水分，而后置于 -18°C 冰箱中4h，取出常温下融化，如此为一次冻融循环，经若干次冻融循环之后，检查其外观，记录破坏程度，再测试其强度。

硫酸钠坚固性法是以硫酸钠饱和溶液代替水，待试件在常温下吸饱硫酸钠溶液后，置于 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 的干燥箱中烘干，由于硫酸钠结晶后体积膨胀，产生与水结冰时同样的作用，使石料孔壁受到压力，然后在常温中融解，如此为一次循环，经若干次循环之后，检查记录石料试件被破坏的程度，并测试其强度。

(二) 力学性质

道路与桥梁工程结构中所用的石料，除了受到各种自然因素的影响之外，更主要经常承受车辆荷载的作用力。为提高道路的质量，特别是高速公路对路面的要求更高，路面要具有较高的强度、抗滑性和耐久性。因此对所采用石料的力学性能提出了要求，包括石料的抗压、抗拉性能、抗冲击性能及耐磨性能等。

1. 抗压强度

石料的抗压强度是通过对石料试件进行压力试验经计算取得的。对于道路用的石料是将块状石料制成 $50\text{mm}\times 50\text{mm}\times 50\text{mm}$ 的立方体或直径与高度均为 50mm 的圆柱体，经吸水饱和后，在单轴受压下，达到破坏极限时，单位面积所承受的荷载，按式(1-6)计算

$$R_{sc} = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (1-6)$$

式中 R_{sc} ——石料抗压强度(MPa)；

$F_{\max}$ ——破坏荷载(N)；

A_0 ——试件承压的截面积(mm^2)。

桥梁用的石料在测定抗压强度时以 $20\text{cm}\times 20\text{cm}\times 20\text{cm}$ 为标准试件。并根据测定的抗压强度(MPa)划分标号，共分为30，40，50，60，80和100六个等级，同质的石料由于试件的尺寸不