

高职高专规划教材

道路建筑材料

主 编 孙 凌

副主编 于文勇

参 编 杨 青 王 颖

宫旭黎 王 莉

刘海霞

主 审 武 鹤

机械工业出版社

前 言

高职高专教育应面向生产第一线，体现新知识、新技术、新工艺、新方法及知识面宽、可操作性强以及注重应用等特点。为了培养道路与桥梁专业生产第一线的技术应用型人才，满足道路与桥梁专业高职高专教育的需要，由机械工业出版社组织有关院校编写了道路与桥梁专业高职高专系列教材，《道路建筑材料》是其中之一。

由于我国近年来道路建设发展很快，并且与道路建筑材料有关的技术规范和技术标准也多已修订，因此在教材编写过程中采用了新颁布的技术标准和技术规范，力求使教材反映道路建筑材料的新理论、新技术和新标准，并紧密结合工程实际，突出学生应用能力的培养。

为适应当前高等级公路建设的需要，更好地培养学生的专业技术应用能力，本教材较大幅度地改变了试验教学的内容和结构，即联系高等级公路建设的实际，根据新颁布的国家标准和行业试验规程等，增选了一些新的试验项目，并将试验分成三大部分：第一部分（第七章）石灰、水泥及钢材试验；第二部分（第八章）水泥混凝土试验；第三部分（第九章）沥青及沥青混合料试验。根据水泥混凝土和沥青混合料对不同材料和集料的不同要求，分别在这两部分里安排了石料和集料的试验，这样就使每项试验都各自独立又相互联系。因此，建议试验课采用集中强化训练的方式进行。

为便于学生自学，每章内容之前列有重点内容和学习要求，各章均列有复习题和计算题。

本书由黑龙江工程学院孙凌任主编，并编写绪论、第三章、第六章；于文勇任副主编，并编写第五章；山西交通职业技术学院杨青编写第一章；黑龙江工程学院王颖编写第四章，宫旭黎编写第二章、第七章，王莉编写第八章，刘海霞编写第九章。全书由黑龙江工程学院武鹤主审。

限于编者水平，书中缺点和错误在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

编者

2002 年 5 月

目 录

前言

绪论	1
一、建筑材料与路桥工程的关系	1
二、建筑材料应具备的工程性质	1
三、道路建筑材料检验方法及 技术标准	2
四、本课程研究的内容、任务、目的及与 其他课程的关系	2

第一篇 道路建筑材料

第一章 砂石材料	3
第一节 石料的技术性质和 技术标准	3
一、石料的技术性质	3
二、石料的技术标准	8
三、道路与桥梁建筑用石料制品	9
第二节 集料的技术性质	10
一、粗集料的技术性质	11
二、细集料的技术性质	15
第三节 工业废渣	18
一、粉煤灰	18
二、冶金矿渣集料	19
第四节 矿质混合料的组成设计	20
一、矿质混合料的级配理论和 级配曲线范围	20
二、矿质混合料组成设计	24
复习题	31
习题	31
第二章 石灰和水泥	33
第一节 石灰	33
一、石灰的生产工艺	33
二、石灰的消化和硬化	33
三、石灰的技术要求和技术标准	34
第二节 水泥	37
一、硅酸盐水泥及普通硅酸 盐水泥	37
二、掺混合材料水泥	47

三、其他品种的水泥	48
复习题	52
第三章 水泥混凝土和砂浆	53
第一节 普通水泥混凝土	53
一、普通水泥混凝土的技术性质	54
二、普通水泥混凝土组成材料 的技术要求	65
三、普通水泥混凝土的组成设计	71
四、普通水泥混凝土的质量控制	85
五、混凝土外加剂	87
第二节 其他功能混凝土	91
一、高强混凝土	91
二、轻集料混凝土	91
三、碾压混凝土	93
四、流态混凝土	93
五、纤维增强混凝土	94
第三节 建筑砂浆	94
一、砌筑砂浆	94
二、抹面砂浆	98
复习题	98
习题	98
第四章 沥青材料	100
第一节 石油沥青	100
一、石油沥青的生产工艺	100
二、石油沥青的组成和结构	101
三、石油沥青的技术性质	104
四、石油沥青的改性措施	112
五、石油沥青的技术标准	112
第二节 煤沥青	115
一、煤沥青的化学组成和 结构特点	115
二、煤沥青的技术性质和 技术标准	116
第三节 乳化沥青	117
一、概述	117
二、乳化沥青的组成材料	118

三、乳化沥青的形成机理	120
四、乳化沥青的制备	121
五、乳化沥青的分裂	123
六、乳化沥青的应用	124
复习题	125
第五章 沥青混合料	126
第一节 沥青混合料的定义、分类 及基本性质	126
一、沥青混合料的定义及分类	126
二、沥青混合料的基本性质	127
第二节 热拌沥青混合料	128
一、沥青混合料的组成结构和 强度理论	128
二、沥青混合料的技术性质	131
三、沥青混合料的技术标准	132
四、沥青混合料的组成材料	136
五、沥青混合料配合比设计	140
第三节 其他沥青混合料	147
一、冷铺沥青混合料	147
二、煤沥青混合料	147
三、改性沥青混合料	148
四、桥面铺装材料	149
五、水泥混凝土路面填料	149
复习题	150
习题	151
第六章 建筑钢材	152
第一节 钢材的分类及其技术性质	152
一、钢的分类	152
二、钢材的技术性质	153
第二节 化学成分对钢材性能的影响	156
一、有益元素	156
二、有害元素	156
第三节 桥梁建筑用钢的技术标准	157
一、桥梁建筑用钢的技术要求	157
二、桥梁建筑用主要钢材	157
三、钢筋混凝土和预应力混凝土 结构用钢材	158
复习题	162

第二篇 道路建筑材料试验

第七章 石灰、水泥及钢材试验	163
试验一 石灰中有效氧化钙和 氧化镁含量	163
试验二 水泥细度、标准稠度用水量、凝结 时间和体积安定性	168
试验三 水泥胶砂强度(ISO)	174
试验四 钢筋的拉伸	180
试验五 钢筋的冷弯	184
第八章 水泥混凝土试验	187
试验六 集料的表观密度、装填密度 和空隙率	187
试验七 粗集料针、片状颗粒含量	193
试验八 水泥混凝土粗集料压碎值	195
试验九 集料含水率	195
试验十 集料含泥量	197
试验十一 混凝土配合比设计	200
试验十二 水泥混凝土拌和物的拌制 和工作性	200
试验十三 水泥混凝土力学强度	205
试验十四 混凝土拌和物实测密度	207
第九章 沥青及沥青混合料试验	209
试验十五 石油沥青的针入度、延度和 软化点	209
试验十六 沥青的脆点(选做)	217
试验十七 石料的抗压强度和磨耗	218
试验十八 沥青的粘附性	223
试验十九 粗、细集料的筛析	225
试验二十 沥青混合料的组成设计	230
试验二十一 沥青混合料的制备	231
试验二十二 沥青混合料物理指标 的测定	234
试验二十三 沥青混合料马歇尔 稳定度	236
试验二十四 沥青混合料车辙(选做)	238
参考文献	242

绪 论

《道路建筑材料》是道路与桥梁专业的一门技术基础课，是研究道路与桥梁用材料性能的一门科学。

一、建筑材料与路桥工程的关系

材料是工程结构物的物质基础，道路建筑材料是道路、桥梁等工程结构物的物质基础。材料质量的好坏、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。道路工程结构物裸露于大自然中，承受瞬时、反复动荷载的作用，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车辆行驶的渠化，一些高等级路面出现较严重的波浪、车辙等现象，与材料的性质都有一定的关系。

材料的使用与工程造价密切相关，在道路与桥梁结构的修建费用中，道路材料费用通常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，对节约工程投资、降低工程造价十分必要。

材料科学的进步，可以给工程提供优质的材料。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。在道路与桥梁工程建设中，材料同样是促进道路与桥梁工程技术发展的重要基础。

二、建筑材料应具备的工程性质

道路与桥梁建筑物，既受到车辆荷载的复杂力系作用，又受到各种复杂的自然因素的恶劣影响，所以，用于修建道路与桥梁的材料，不仅要具备有一定的力学性能，同时，还要有在恶劣的自然因素的作用下，不产生明显强度下降的耐久性。这就要求道路材料应具备以下几方面性质。

1. 力学性质 力学性质是指材料抵抗车辆荷载复杂力系综合作用的能力。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质外，还采用磨损、磨光、冲击等试验来反映其性能等。

2. 物理性质 通常通过测定材料的物理常数，如密度、毛体积密度、孔隙率、含水量等来了解材料的内部组成结构，并且由于物理常数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。

影响材料性质的主要因素是温度和湿度。一般材料随温度的升高、湿度的加大而强度降低。因此，测定材料的温度稳定性、水稳定性是某些材料性能的主要指标之一。

3. 化学性质 化学性质是材料抵抗各种周围环境对其化学作用的能力，道路与桥梁用材料在受到周围介质（如桥墩在工业污水中）的侵蚀下，会导致强度降低；在受到大气因素（如气温的交替变化，日光中的紫外线，空气中的氧、水等）的综合作用下，会引起材料的老化，特别是各种有机材料（如沥青材料等）更为显著。

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，以便浇注。材料工艺性质通过一定的试验方法和指标进行控制。

三、道路建筑材料检验方法及技术标准

道路建筑材料试验是本课程的一个重要组成部分。材料应具有一定的技术性能，而对这些性能的检验，必须通过适当测试手段来进行。材料性质的检验分为实验室室内检验和施工现场的实地检验，本课程主要研究在实验室内对原材料性质及复合材料性能的检验，学习道路与桥梁建筑中常用材料的常规试验方法。

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。由于材料自身固有的特性，以及试验方法的不同导致试验结果的差异，必须由统一的技术质量要求和统一的试验方法进行评价。这些方法体现在国家标准或有关的技术规范、规定的各项技术指标中，在选用材料及施工中都应按技术标准、技术规范执行。

我国技术标准分为国家标准、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，此外还要注明编号、制定机构，修订年份及标准名称等。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，可以制定行业标准，行业标准由国务院有关行政主管部门制定，并报国务院标准化行政主管部门备案，在公布国家标准之后，该项行业标准即行废止。

四、本课程研究的内容、任务、目的及与其他课程的关系

随着道路与桥梁建筑技术的发展，用于道路与桥梁建筑的材料不仅在品种上日益增多，而且对其质量也提出更新的要求。现就本教材主要讲述的内容分述如下。

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天然风化而得到的。砂石材料可以直接应用于砌筑道路、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. 无机结合料及其制品 在道路与桥梁建筑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和预应力混凝土结构的主要材料。水泥混凝土作为无机结合料的主要制品成为最广泛的工程材料。另外，随着半刚性路面的发展，石灰和水泥广泛应用于路面基层，成为半刚性基层的重要组成材料。

3. 有机结合料及其混合料 有机结合料主要指沥青材料，这种材料与不同粒径和级配的集料组成沥青混合料，可以铺筑成各种类型的沥青路面，成为现代公路建设中一种极为重要的筑路材料。

4. 建筑钢材 钢材是桥梁钢结构及钢筋混凝土结构的重要材料。

本课程的主要任务是论述材料的组成、结构、技术性能及它们之间的关系，论述某些材料的强度理论及其影响因素；介绍材料的检验方法，进行试验并评定其技术性能；论述材料的优缺点和可能改善的途径。

本课程的目的是通过上述基本内容的讲述和试验操作，使学生掌握材料的基本理论和性能，能够正确地使用材料、准确地鉴定材料、科学地改善材料和创造性地研制材料。本课程是一门技术基础课程，它与物理学、化学、数学、力学和工程地质学等学科有着密切的联系。同时，它也为后继学科“桥梁工程”、“路基路面工程”等专业课程提供材料方面的基础知识。

第一篇 道路建筑材料

第一章 砂 石 材 料

【重点内容和学习要求】

本章重点讲述砂石材料的技术性质和技术要求、矿质混合料的级配理论和组成设计方法。

通过学习，要求必须了解评价砂石材料技术性质的主要指标，学会检验砂石材料技术性质的方法；学会应用级配理论设计矿质混合料配合组成的方法。

在道路与桥梁建筑中，砂石材料是一种重要的建筑材料，应用极为广泛。它可以直接（或经加工后）用作道路与桥梁建筑的圬工结构，亦可加工成各种尺寸的集料，作为水泥混凝土、沥青混合料的骨料。

砂石材料来源于地壳的组成物质——岩石，包括天然石料、人工轧制的集料以及工业冶金矿渣集料等。

第一节 石料的技术性质和技术标准

将地壳上的岩石用机械或人工方法加工，或不经加工而获得的各种块状或粒状石料，统称为天然石料。

天然石料的主要特点是：有较高的抗压强度，有很好的耐久性，分布广泛，便于就地取材；但脆性较大，硬度较高，开采加工比较困难。

由于石料的生成条件不同，使其在矿物成分、组成结构上有所变化。即使是同一类石料，它们的性质也有很大差别。为了保证工程质量，在使用时必须对石料进行性质检验。

一、石料的技术性质

石料的技术性质分为物理性质、力学性质和化学性质。

（一）石料的物理性质

石料的物理性质包括物理常数（密度、毛体积密度和孔隙率等），与水有关的性质（吸水性、耐水性），耐候性（抗冻性、坚固性等）。

1. 物理常数 石料的物理常数主要取决于石料的矿物成分与组成结构。石料内部的组成与结构，主要由矿物实体、闭口孔隙（不与外界连通的）和开口孔隙（与外界连通的）三部分组成，如图 1-1a 所示。各部分所占的质量和体积，如图 1-1b 所示。

（1）密度（真密度） 在规定的条件〔 $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重、温度 20°C 〕下，石料矿单位体积（不包含孔隙的矿物实体的体积）的质量。

由图 1-1b 可知，石料的密度可用下式表示：
www.ertongbook.com

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

式中 ρ_t ——石料的密度 (g/cm^3);
 m_s ——石料矿物实体质量 (g);
 V_s ——石料矿物实体体积 (cm^3)。

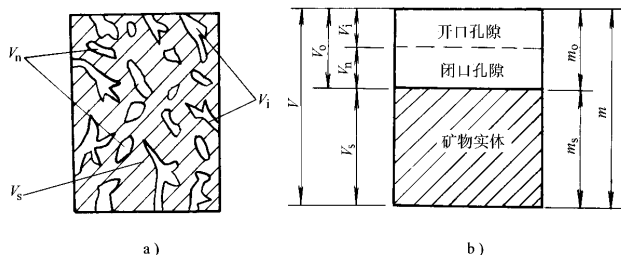


图 1-1 石料组成结构示意图

a) 石料组成结构外观示意图 b) 石料的质量与体积关系示意图

因试验条件为在空气中称量,所以石料中的空气质量 $m_o=0$,矿物实体的质量就等于石料的质量,即 $m_s=m$,故式 (1-1) 可改写为

$$\rho_t = \frac{m}{V_s} \quad (1-1')$$

式中 m ——石料试样的质量 (g)。

石料密度的测定方法,按我国现行《公路工程石料试验规程》(JTJ054—1994)规定,用比重瓶法测定。将石料样品粉碎磨细后,在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的条件下烘至恒重,称得其质量;然后在密度瓶中加水煮沸,使水充分进入闭口孔隙中,通过“置换法”测定其真实体积。现行试验法也允许采用“李氏比重瓶法”近似测定石料的密度。

(2) 毛体积密度 在规定条件下,石料单位体积(包括石料矿质实体和孔隙体积)的质量。

由图 1-1b 可知,石料的毛体积密度可用下式表示

$$\rho_h = \frac{m_s}{V_s + V_n + V_i} \quad (1-2)$$

式中 ρ_h ——石料的毛体积密度 (g/cm^3);

V_n 、 V_i ——石料闭口孔隙体积和开口孔隙体积 (cm^3)。

由于 $m_s=m$,石料的矿物实体体积和孔隙体积之和即石料的毛体积,即 $V_s + V_n + V_i = V$,故式 (1-2) 可改写为

$$\rho_h = \frac{m}{V} \quad (1-2')$$

式中 m ——石料的质量 (g);

V ——石料的毛体积 (cm^3)。

石料毛体积密度的测定方法,按我国现行标准 (JTJ054—1994) 的规定,用“静水称量法”。该方法是将规则石料在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重,测定其质量;然后将石料吸

水 24h 使其饱水,再用湿毛巾揩去表面水,即可称得饱和面干时的质量;最后用静水天平法测定饱和面干石料的水中质量,由此计算出石料的毛体积,从而可算出石料的毛体积密度。此外,现行试验法也允许采用“蜡封法”来测定石料的毛体积密度。

(3) 孔隙率 石料的孔隙体积占石料总体积的百分率称为孔隙率。

由图 1-1b 可知,石料的孔隙率可表示为

$$n = \frac{V_o}{V} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 n ——石料的孔隙率 (%) ;

V_o ——石料的孔隙体积 (包括开口孔隙体积和闭口孔隙体积) (cm^3) ;

V ——石料的总体积 (cm^3)。

孔隙率亦可由密度和毛体积密度计算求得。因密度 $\rho_t = m/V_s$ 、毛体积密度 $\rho_h = m/V$, 得 $V_s = m/\rho_t$ 、 $V = m/\rho_h$ 代入式 (1-3), 即得

$$n = \left(1 - \frac{\rho_h}{\rho_t} \right) \times 100\% \quad (1-3')$$

孔隙率对石料的性质影响很大,同一种石料的强度、吸水率、耐冻性等的大小,主要决定于石料本身的孔隙率及孔隙特征。

2. 与水有关的性质 石料与水作用后,水很快润湿石料的表面并填充石料的孔隙。因此,水对石料破坏作用的大小,主要决定于石料的矿物组成及石料孔隙的结构、尺寸大小和分布情况等。

(1) 吸水性 石料的吸水性是石料在规定条件下的吸水能力。由于石料的孔结构 (孔隙尺寸和分布状态) 的差异,在不同试验条件下吸水能力不同。为此,现行标准 (JTJ054—1994) 规定,采用吸水率和饱水率两项指标来表征石料的吸水性。

1) 吸水率 在常温 (20 ± 2)°C、常压 (大气压) 条件下,石料试件最大的吸水质量占烘干 [(105 ± 5)°C 干燥至恒重] 石料试件质量的百分率。

石料吸水率为

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 W ——石料吸水率 (%) ;

m_1 ——石料烘干至恒重时的质量 (g) ;

m_2 ——石料吸水至恒重时的质量 (g)。

石料吸水率主要决定于石料孔隙率的大小及孔隙特征。一般说来,吸水率越大,吸水性越强;闭口孔隙,水分不易渗入;粗大孔隙,水分又不易存留。所以有些石料,尽管孔隙率较大,而吸水率却仍然较小。当石料具有很多微小而开口的孔隙时,其吸水率较大。

石料吸水率测定的方法按我国现行标准 (JTJ054—1994) 的规定进行。

2) 饱水率 在常温 (20 ± 2)°C 和真空抽气 (抽至真空度为 20mmHg 即残压 2.67kPa) 条件下,石料试件最大的吸水质量占烘干 [(105 ± 5)°C 干燥至恒重] 石料试件质量的百分率。

石料饱水率的计算同式 (1-4)。

石料饱水率的测定方法采用“真空抽气法”,按我国现行标准 (JTJ054—1994) 的规定进行。

当真空抽气后, 占据石料孔隙内部的空气被排出, 在恢复常压时, 水分很快进入空气稀薄的石料孔隙, 这时水分几乎充满开口孔隙的全部体积。因此, 饱水率总比吸水率大。通常认为吸水率为水分充满石料开口孔隙的部分体积, 而饱水率则为水分充满开口孔隙的全部体积。

(2) 耐水性 耐水性是指石料长期在饱水状态下不破坏, 其强度也不显著降低的性质。石料的耐水性用软化系数表示。

软化系数 K_R 是指石料在饱水状态下的抗压强度 f_{YB} 与石料在干燥状态下的抗压强度 f_{YG} 的比值, 即

$$K_R = \frac{f_{YB}}{f_{YG}} \quad (1-5)$$

式中 K_R ——石料的软化系数;

f_{YB} ——石料饱水后的抗压强度 (MPa);

f_{YG} ——石料干燥状态下的抗压强度 (MPa)。

用于潮湿环境或严重受水侵蚀的材料, 其软化系数应在 0.85 以上。通常认为软化系数大于 0.8 的材料是耐水的, 软化系数小于 0.6 的材料不允许用于重要建筑物中。

3. 耐候性 用于道路与桥梁建筑的石料抵抗大气自然因素作用的性能称为耐候性。

天然石料在道路和桥梁结构物中, 长期受到各种自然因素的综合作用, 力学强度逐渐衰减。在工程使用中引起石料组织结构的破坏而导致力学强度降低的因素, 首先是温度的升降 (由于温度应力的作用, 引起石料内部的破坏), 其次是石料在潮湿条件下, 受到正负气温的交替冻融作用, 引起石料内部组织结构的破坏。在这两种因素中究竟以谁为主, 需根据气候条件决定。在大多数地区, 后者占主导地位。

目前已列入我国现行标准 (JTJ054—1994) 的方法有:

(1) 抗冻性试验方法 石料在吸水饱和状态下, 抵抗多次反复冻结与融化的性能称为抗冻性。

石料在自然环境中, 往往是夏秋季节被水浸湿, 石料中与外界连通的开口孔隙大部分被水充满。当温度降低时水分体积缩小, 直至 4°C 时体积达到最小; 当温度再继续下降时, 水的体积又逐渐胀大; 达到 0°C 以后, 随着温度的下降, 冰的体积继续胀大, 而对石料孔壁周围施加张应力。如此多次冻融循环后, 石料逐渐产生裂缝、掉边、缺角或表面松散等破坏现象。

一般认为, 水在结冰时, 体积增大 9% 左右, 对孔壁产生可达 100MPa 的压力, 在压力的反复作用下, 使孔壁开裂。所以, 当石料吸收水分体积占开口孔隙体积的 90% 以下, 石料不会因冻结而产生破坏。

我国现行抗冻性的试验方法是采用“直接冻融法”, 根据现行标准 (JTJ054—1994) 进行试验。该方法是将石料加工成规则的块状试样, 在常温条件下 ($20 \pm 5^{\circ}\text{C}$), 使开口孔隙吸水饱和, 然后置于负温 (通常采用 -15°C) 的冰箱中冻结 4h, 最后在常温条件下融解, 如此为一冻融循环。经 10 次、15 次、25 次或 50 次循环后, 观察其外观破坏情况并加以记录。

石料在经受一定的冻融循环后, 可从外观、抗压强度及质量损失的指标来衡量石料的抗冻性, 即石料能经受规定的冻融循环次数后, 检验其有无明显的缺陷 (包括裂缝、掉边、缺角或表面松散等破坏现象), 同时强度降低值不超过 25%, 质量损失值不大于 5% 者为合格。然后, 以此检验合格的冻融循环次数来划分石料的抗冻标号, 有 M_{15} 、 M_{25} 、 M_{50} 等。

抗冻质量损失百分率为

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

式中 Δm ——抗冻质量损失百分率（%）；

m_1 ——试验前烘干试件的质量（g）；

m_2 ——冻融循环后烘干试件的质量（g）。

强度损失百分率为

$$\Delta f = \frac{f_1 - f_2}{f_1} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 Δf ——强度损失百分率（%）；

f_1 ——试验前烘干试件的强度（MPa）；

f_2 ——冻融循环后试件的强度（MPa）。

对石料抗冻性要求，必须根据建筑物的等级，石料所处的环境和气候条件等来决定。对寒冷地区，冬季月平均气温低于 -15°C 的重要工程所用覆面石料，石料吸水率大于0.5%时，必须进行抗冻性试验。关于桥梁建筑用石料，对1月份平均气温低于 -10°C 的地区（除气候干旱地区的不受冰冻部位外），应符合抗冻性要求。桥涵用石料抗冻性指标见表1-1。

表 1-1 桥涵用石料抗冻性指标

结构物部位	大、中桥	小桥及涵洞
	冻融循环次数	
镶面的或表面层的石料	50	25

（2）坚固性试验方法 石料的坚固性是按我国现行标准（JTJ054—1994）的规定，采用“硫酸钠浸蚀法”来测定。方法是將石料浸入饱和的硫酸钠溶液中浸泡20h，使其饱和，然后取出置于 $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘4h，使其结晶膨胀，从烘箱中取出后冷却至室温，这样作为一次循环。如此重复若干个循环后，用蒸馏水煮沸洗净，烘干称重，计算其质量损失率。

（二）石料的力学性质

公路与桥梁用的石料，除受到各种自然因素的影响外，还受到车辆荷载的作用。因此，石料除应具备上述的物理性质外，还必须具备各种力学性质，如抗压、抗剪、抗弯等纯力学性质以及一些为路用性能特殊设计的力学指标，如抗磨光性、抗冲击、抗磨耗等。由于道路建筑用石料多轧制成集料使用，故抗磨光性、抗冲击、抗磨耗等性能将在集料力学性质中讨论。本节仅讨论确定石料等级的抗压强度和磨耗率两项性质。

1.（单轴）抗压强度 道路建筑用石料的（单轴）抗压强度，按我国现行标准（JTJ054—1994），是将石料（岩块）制备成 $(50 \pm 0.5)\text{mm}$ 的正方体〔或直径和高度均为 $(50 \pm 0.5)\text{mm}$ 的圆柱体〕试件，经吸水饱和后在单轴受压并按规定的加载条件下，达到极限破坏时，单位承压面积的强度。单轴极限抗压强度为

$$f = \frac{F}{A} \quad (1-8)$$

式中 f ——石料的单轴极限抗压强度（MPa）；

F ——破坏荷载（N）；

A ——试件受力面积（ mm^2 ）。

石料的单轴抗压强度值，取决于石料的组成结构，如矿物组成，岩石的结构和构造，裂缝的分布等。构造与组织越均匀，组成矿物越细小，矿物间的联系（胶结物的质量、数量和分布情况）越好，组织越致密，则石料强度越高。同时也取决于试验的条件，如试件几何外形、加荷速度、温度和湿度等。一般试件横截面越大，抗压强度越低；加荷速度越快，抗压强度越高。

2. 磨耗率 磨耗率是石料抵抗摩擦、撞击、剪切等综合作用的能力。

按我国现行标准（JTJ054—1994）的规定，石料的磨耗试验有洛杉矶式（搁板式）和狄法尔式（双筒式）两种，并以洛杉矶式（搁板式）磨耗试验法为标准方法。

试验方法是称取一定质量的石料置于磨耗机中，使磨耗机按照一定的速度旋转，石料在旋转的过程中经受摩擦、撞击、剪切等综合作用后，将石料取出，用 2mm 圆孔筛或 1.6mm 方孔筛筛去试样中的石屑，用水洗净留在筛上的试样，烘干至恒重后称其质量。

石料磨耗率为

$$Q_M = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中 Q_M ——石料的磨耗率（%）；

m_1 ——试验前烘干石料试样的质量（g）；

m_2 ——试验后洗净烘干石料试样的质量（g）。

利用石料的抗压强度和磨耗率，可将路用石料分级。

（三）石料的化学性质

在路桥建筑中，各种矿质集料是与结合料（水泥或沥青）组成混合料而使用于结构物中。矿质集料在混合料中与结合料起着复杂的物理-化学作用，矿质集料的化学性质很大程度地影响着混合料的物理-力学性能。特别是在沥青混合料中，在其他条件完全相同的情况下，石料的酸碱性不同将直接影响其与沥青的粘附性。所以在沥青混合料中，选择与沥青结合的石料时，因碱性石料与沥青的粘附性较酸性石料好，故应尽量选择碱性石料，当地缺乏碱性石料必须采用酸性石料时，可掺加各种抗剥剂以提高沥青与石料的粘附性。

根据试验研究，按 SiO_2 质量分数 $w(\text{SiO}_2)$ 的多少将石料分成酸性、中性及碱性：

$w(\text{SiO}_2) > 65\%$ 酸性石料

$w(\text{SiO}_2)$ 为 $52\% \sim 65\%$ 中性石料

$w(\text{SiO}_2) < 52\%$ 碱性石料

石料化学成分确定较麻烦，在道路工程中通常采用一些简便的方法来确定石料与沥青的粘附性。工程中常用的方法是“水煮（或水浸）法”，按我国现行《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》（JTJ052—2000）进行试验。

二、石料的技术标准

（一）路用石料的技术分级

按我国现行标准（JTJ054—1994）的规定，道路建筑用天然石料按其技术性质分为 4 个等级。石料分级方法首先根据造岩矿物的成分、含量以及组织结构来确定岩石的名称，然后将不同名称的岩石，按路用要求划分为 4 类。各类按其石料在饱水状态下的抗压强度和磨耗率将石料划分为 4 个等级。

1 级——最坚硬的岩石（抗压强度大，磨耗率低的岩石）

- 2 级——坚硬的岩石（抗压强度较大，磨耗率较低的岩石）
- 3 级——中等强度的岩石（抗压强度较低，磨耗率较大的岩石）
- 4 级——较软的岩石（抗压强度低，磨耗率高的岩石）

（二）路用石料的技术标准

路用石料的技术标准见表 1-2。

表 1-2 路用石料技术标准

岩石类别	主要岩石 名 称	石料 等级	技 术 标 准		
			饱水极限抗压强度 /MPa	磨耗率（%）	
				洛杉矶式	狄法尔式
1	2	3	4	5	6
岩浆岩类	花岗岩	1	>120	<25	<4
	玄武岩	2	100~120	25~30	4~5
	安山岩	3	80~100	30~45	5~7
	辉绿岩	4	—	45~60	7~10
石灰岩类	石灰岩	1	>100	<30	<5
		2	80~100	30~35	5~6
		3	60~80	35~50	6~12
	白云岩	4	30~60	50~60	12~20
砂岩与片岩类	石英岩	1	>100	<30	<5
	砂岩	2	80~100	30~35	5~7
	片麻岩	3	50~80	35~45	7~10
	石英片麻岩	4	30~50	45~60	10~15
砾岩		1		<20	<5
		2		20~30	5~7
		3		30~50	7~12
		4		50~60	12~20
试验方法			JTJ054—1994 T0212—1994	JTJ054—1994 T0220—1994	JTJ054—1994 T0221—1994

注：1. 磨耗率按 JTJ054—1994 和 T0221—1994 规定的试验方法测定，无洛杉矶磨耗机时可用狄法尔磨耗机测定。
2. 饱水极限抗压强度按 JTJ054—1994 和 T0212—1994 规定的试验方法进行。

三、道路与桥梁建筑用石料制品

（一）道路路面建筑用石料制品

道路路面建筑用石料制品，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等 3 类；用作路面基层用的锥形块石、片石等。各种石料制品的技术要求和规格简要介绍如下。

1. 高级铺砌用整齐块石 整齐块石由高强、硬质、耐磨的岩石，经精凿加工而成。这种块石铺筑的路面，需以水泥混凝土为底层，并且用水泥砂浆灌缝找平。因其造价较高，只用于有特殊要求的路面，如特重交通以及履带车辆行驶的路面。

整齐块石的尺寸一般可按设计要求确定，大方块石为 300mm×300mm×(120~150)mm；

小方块石为 $120\text{mm} \times 120\text{mm} \times 250\text{mm}$ 。抗压强度不低于 100MPa ，洛杉矶磨耗率不大于 5% 。

2. 路面铺砌用半整齐块石 半整齐块石是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 $40\% \sim 75\%$ 。半整齐块石通常顶面不进行加工，因此顶面平整性较差。一般只在特殊地段，如土基尚未沉实稳定的桥头引道及干道，铁轮履带车辆经常通过的地段等使用。

3. 铺砌用不整齐块石 不整齐块石又称拳石、大块石，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 $40\% \sim 60\%$ 。其优点是造价不高，经久耐用，缺点是不平整，行车振动大，故目前应用较少。

大块石用于路面底基层，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。锥形块石的高度一般为 $(160 \pm 20)\text{mm}$ 、 $(200 \pm 20)\text{mm}$ 和 $(250 \pm 20)\text{mm}$ 等，通常底基层厚度应为石块高的 $1.1 \sim 1.4$ 倍。除特殊情况外，一般不采用大块石基层。

(二) 桥梁建筑用主要石料制品

桥梁建筑用主要石料制品有：片石、块石、方块石、粗料石、细料石及镶面石等。

1. 片石 由打眼放炮采得的石料，其形状不受限制，但薄片者不得使用。片石中部最小尺寸应不小于 15cm ，体积不小于 0.01m^3 ，每块质量一般在 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，其极限抗压强度应不小于 20MPa 。

2. 块石 是由成层岩中打眼放炮开采而得，或用楔子打入成层岩的明缝或暗缝中劈出的石料。块石形状大致方正，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 $1.5 \sim 2.0$ 倍，长度为厚度的 $1.5 \sim 3$ 倍，砌缝宽度不大于 20mm 。极限抗压强度应符合设计文件规定。

3. 方块石 在块石中选择形状比较整齐者稍加修整，使石料大致方正，厚度应不小于 20cm ，宽度为厚度的 $1.5 \sim 2.0$ 倍，长度为厚度的 $1.5 \sim 4$ 倍，砌缝宽度不大于 20mm 。极限抗压强度应符合设计文件的规定。

4. 粗料石 形状尺寸和极限抗压强度应符合设计文件的规定，其表面凹凸相差不大于 10mm ，砌缝宽度小于 20mm 。

5. 细料石 形状尺寸和极限抗压强度应符合设计文件的规定，其表面凹凸相差不大于 5mm ，砌缝宽度小于 15mm 。

6. 镶面石 镶面石受气候因素影响较大，损坏较快，一般应选用较好的、较硬的岩石。石料的外露面可沿四周琢成 2cm 的边，中间部分仍保持原来的天然石面。石料上下和两侧均粗琢成剝口，剝口的宽度不得小于 10cm ，琢面应垂直于外露面。

第二节 集料的技术性质

集料包括岩石天然风化而成的砾石（卵石）和砂等，以及岩石经机械和人工轧制的各种尺寸的碎石、石屑等。在公路和桥梁建筑中集料可作为水泥（或沥青）混合料的骨料。

不同粒径的集料在水泥（或沥青）混合料中所起的作用不同，因此对它们的技术要求不同。为此，工程上一般将集料分为粗集料和细集料两种：

水泥混凝土用集料，粒径大于 5mm 者为粗集料，粒径小于 5mm 者为细集料。

沥青路面用集料，粒径大于 2.36mm 者称为粗集料，粒径小于 2.36mm 者称为细集料。现将这两种集料的技术性质分述如下。

一、粗集料的技术性质

粗集料包括人工轧制的碎石和天然风化而成的卵石。粗集料的技术性质分为物理性质、力学性质。

(一) 物理性质

1. 物理常数 在计算集料的物理常数时，不仅要考虑到集料的孔隙（开口孔隙或闭口孔隙），还要考虑颗粒之间的空隙。集料的体积与质量的关系如图 1-2 所示。

(1) 表观密度（视密度） 在规定条件〔(105±5)°C 烘干至恒重〕下，集料单位表观体积（包括矿质实体和闭口孔隙的体积）的质量。

由图 1-2 可知，集料的表观密度为

$$\rho'_t = \frac{m_s}{V_s + V_n} \quad (1-10)$$

式中 ρ'_t ——集料的表观密度 (g/cm³)；

m_s ——集料矿质实体质量 (g)；

V_s ——集料矿质实体体积 (cm³)；

V_n ——集料实体中闭口孔隙体积 (cm³)。

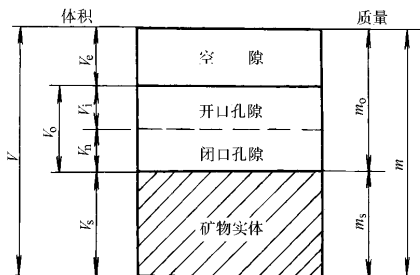


图 1-2 集料的体积与质量的关系示意图

矿物实体质量即为集料质量（即 $m_s = m$ ），故式（1-10）可改写为

$$\rho'_t = \frac{m}{V_s + V_n} \quad (1-10')$$

粗集料表观密度的测定方法，按我国现行《公路工程集料试验规程》(JTJ058—2000) 规定，采用网篮法。方法是已知质量的干燥粗集料装在金属吊篮中浸水 24h，使开口孔隙吸水饱和，然后在静水天平上称出饱水后的粗集料在水中的质量，按排水法可计算出包括闭口孔隙在内的体积，从而可计算出表观密度。

(2) 毛体积密度 在规定条件下，集料单位毛体积（包括矿物实体，闭口孔隙和开口孔隙体积）的质量。

由图 1-2 可知，集料的毛体积密度为

$$\rho'_h = \frac{m_s}{V_s + V_n + V_i} \quad (1-11)$$

式中 ρ'_h ——集料的毛体积密度 (g/cm³)；

V_n 、 V_i ——集料闭口孔隙体积和开口孔隙体积 (cm³)。

集料毛体积密度的测定方法，按我国现行标准 (JTJ058—2000) 的规定，采用网篮法。方法是将已知质量的干燥粗集料浸水 24h 后，用湿毛巾揩去试样表面水分，称出试样的饱和面干质量，放入静水天平中，称出饱水后的粗集料在水中的质量，按排水法可计算出包括闭口孔隙和开口孔隙在内的体积，从而可计算出毛体积密度。

(3) 松方密度 集料装填于容器中包括集料空隙（颗粒之间的）和孔隙（颗粒内部的）在内的单位体积的质量。

集料的松方密度为

$$\rho = \frac{m_s}{V_s + V_n + V_i + V_e} \quad (1-12)$$

式中 ρ ——集料的松方密度 (g/cm^3);

V_e ——集料空隙体积 (g/cm^3)。

由于 $m_s = m$, 令 $V_s + V_n + V_i + V_e = V$, 故式 (1-12) 可改写为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-12')$$

式中 m ——粗集料的质量 (g);

V ——粗集料的体积 (cm^3)。

粗集料的松方密度由于颗粒排列的松紧程度不同, 又可分为堆积状态、振实状态和捣实状态下的松方密度。

松方密度的测定方法按我国现行标准 (JTJ058—2000) 的规定测定。

(4) 空隙率 粗集料颗粒之间的空隙体积 V_e 占集料总体积的百分率。

粗集料空隙率为

$$n = \frac{V_e}{V} \times 100\% \quad (1-13)$$

空隙率亦可由表观密度和松方密度计算求得。因表观密度 $\rho'_t = m/(V_s + V_n)$, 松方密度 $\rho = m/V$, 代入式 (1-13), 即得

$$n = \left(1 - \frac{\rho}{\rho'_t} \right) \times 100\% \quad (1-13')$$

式中 n ——粗集料的空隙率 ($\%$);

ρ'_t ——粗集料的表观密度 (g/cm^3);

ρ ——粗集料的松方密度 (g/cm^3)。

2. 级配 粗集料中各组成颗粒的分级和搭配称为级配。

一个良好的级配, 要求空隙率最小, 总表面积也不大。前者的目的是要使骨料本身最为紧密; 后者的目的是要使掺加料最为节约。所以要正确选用粗集料各级尺寸的含量, 以达到上述的两个目的。

级配是通过筛析试验确定的。筛析试验按我国现行标准 (JTJ058—2000) 的规定测定, 将粗集料通过一系列规定筛孔尺寸的标准筛, 测定出存留在各个筛上的集料质量, 根据集料试样的总质量与存留在各筛孔上的集料质量, 就可求得一系列与级配有关的参数。

(1) 通过 0.075mm 筛孔的集料的含量为

$$P_{0.075} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1-14)$$

式中 $P_{0.075}$ ——集料中粒径小于 0.075mm 的含量 (通过率);

m_1 ——用于水洗的干燥集料总质量 (g);

m_2 ——集料水洗后的干燥质量 (g)。

(2) 分计筛余百分率 各号筛上的分计筛余百分率 (0.075mm 筛不计算分计筛余) 为

$$a_i = \frac{m_i}{m_0} \times \frac{100 - P_{0.075}}{100} \quad (1-15)$$

式中 a_i ——各号筛上的分计筛余百分率 (%)；

m_0 ——用于干筛的干燥集料总质量 (g)；

m_i ——各号筛上的分计筛余 (g)；

i ——依次为 0.15mm、0.3mm、0.6mm、…至集料最大粒径。

(3) 累计筛余百分率 各号筛的累计筛余百分率为该号筛及大于该号筛的各号筛的分计筛余百分率之和，但 0.075mm 筛不计算累计筛余。

(4) 通过百分率 各号筛的质量通过百分率等于 100 减去该号筛累计筛余百分率，但 0.075mm 筛的质量通过百分率即为 $P_{0.075}$ 。

3. 针、片状颗粒含量

1) 水泥混凝土用粗集料的针、片状颗粒，是指长度大于该颗粒所属粒级的平均粒径的 2.4 倍者为针状颗粒。厚度小于该颗粒所属粒级的平均粒径的 0.4 倍者为片状颗粒。平均粒径是指该粒级上下粒径的平均值。

水泥混凝土用粗集料针、片状颗粒含量的测定可采用规准仪法，按我国现行标准 (JTJ058—2000) 的要求进行测定。

实践表明，粗集料的颗粒形状最好近似立方体，但由于石料本身的结构特点或因轧制工艺的影响，集料中总会有扁片状或针状的颗粒。这种颗粒的存在，会增加集料的空隙率，影响混凝土的强度和流动性。因此，在集料中应限制其含量。

2) 沥青路面用粗集料针、片状颗粒，是指用游标卡尺测定的粗集料的最小厚度（或直径）方向与最大长度（或宽度）方向的尺寸之比小于 1:3 的颗粒。

沥青路面用粗集料针、片状颗粒含量的测定，按我国现行标准 (JTJ058—2000) 的规定，可采用游标卡尺进行测定。

4. 坚固性 前面已经介绍了岩石加工成规则试块进行坚固性试验，对已轧制成的碎石或天然卵石，也可采用规定级配的各粒级集料，按现行标准 (JTJ058—2000) 选取规定数量，分别装在金属网篮中浸入饱和硫酸钠溶液中进行干湿循环试验。经一定的循环次数后，观察其表面破坏情况，并用质量损失百分率来计算其坚固性。

试验表明，同一种岩石轧制成碎石后的坚固性要比块状试件低得多，这可能是由于轧制工艺对岩石结构的影响以及表面状况的不同所造成的结果。

(二) 力学性质

粗集料的力学性质，主要采用磨耗度和压碎值来表示，其次是用新近发展起来的抗滑表层用集料的三项试验值，即磨光值，道瑞磨耗值和冲击值来表示。

1. 磨耗率 用洛杉矶式和狄法尔式磨耗试验测定，见石料部分。

2. 压碎值 集料在连续增加的荷载下，抵抗压碎的能力。

(1) 沥青路面用粗集料压碎值 沥青路面用粗集料压碎值的测定，按现行标准 (JTJ058—2000) 进行。该方法是将 13.2~16mm 集料试样 3kg 装入压碎值测定仪的钢制圆筒内，放在压力机上，在 10min 内均匀加荷至 400kN，立即卸载，称其通过 2.36mm 筛的筛余量。压碎值为

$$Q_Y = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1-16)$$

式中 Q_Y ——压碎值 (%)；