

绪 论

《道路建筑材料》是道路与桥梁工程等专业的一门专业技术基础课，是研究道路与桥梁用材料组成、性能和应用的一门课程。

一、《道路建筑材料》课的研究内容与任务

1. 砂石材料

砂石材料是经人工开采的岩石或轧制碎石以及地壳表层岩石经天然风化而得到的松散粒料。砂石材料可以直接应用于铺筑道路或砌筑各种桥梁结构物，也可以作为集料来配制水泥混凝土和沥青混合料。

2. 无机结合料及其制品

在道路与桥梁工程中最常用到的无机结合料主要是石灰和水泥。水泥与集料配制的水泥混凝土是桥梁建筑中钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土结构的主要材料。随着高等级公路的发展，水泥混凝土路面已成为主要的路面类型之一，石灰、粉煤灰、水泥与土（或集料）拌制而成的稳定土广泛应用于路面基层，成为半刚性基层的重要组成部分。

此外，水泥砂浆是各种桥梁圬工结构物砌筑的重要结合料。

3. 有机结合料及其混合料

有机结合料主要指沥青材料，它与不同粒径的集料组成的沥青混合料，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. 高分子聚合物材料

近年来随着我国化学工业的发展，多种高分子聚合物逐渐应用于道路和桥梁工程中，主要是用来改善沥青混合料或水泥混凝土的性能，是一种有发展前途的新材料。

5. 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。

木材较少直接用于修筑桥梁，目前主要用作混凝土工程的拱架和模板。

本课程的任务是论述材料组成、结构、技术性质及其它它们之间的关系，论述材料的检验方法，利用试验评定其技术性质。通过学习本课程可以使学生们掌握材料的性能，选择和鉴定材料，并能够正确使用材料。

本课程是一门专业基础课程，它与物理、化学、材料力学以及工程地质等基础课有着密切的联系，它也是《桥梁工程》、《路基路面工程》、《公路工程检测技术》等课程的基础。

二、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的复杂力系作用，而且又受到各种复杂的恶劣环境的影响，所以用于公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条件下，综合力学性能不会下降。

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。目前除通过测定各种材料的静态强度（如抗压、拉、弯、剪等强度）来反映材料的力学性质外，还可通过磨耗、磨光、冲击等经验指标来反映。

2. 物理性质

材料在使用过程中，其力学强度随温度和湿度等物理因素影响而改变。一般材料随温度的升高、湿度的加大，强度会降低。因此材料的温度稳定性、水稳定性是材料性能的主要指标之一。

通常通过测定材料的物理常数，如密度、实积率、孔隙率、含水量等来了解材料的内部组成结构，并且根据物理常数与力学性能之间的一定相关性，用来推断材料的力学性能。

3. 化学性质

在公路与桥梁建筑中，材料自身的化学成分将影响材料及混合材料的性质，由此也影响结构物的受力或使用性能。

化学性质是材料抵抗周围环境对其化学作用的性能。道路与桥梁材料在周围介质（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，空气中的氧气、水等）的综合作用，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。例如水泥混凝土拌和物需要一定的和易性，以便浇筑。材料工艺性质是通过一定的试验方法和指标进行控制。

三、建筑材料与路桥工程的关系

1. 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、车辙等病害现象，这些均与材料的性质有一定的关系。

2. 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%~70%，因此合理地选择和使用材料，对节约工程投资、降低工程造价十分必要。

3. 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。

四、道路材料的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，必须通过适当的测试手段来进行。检验测定道路与桥梁结构物中所用材料的性质，通常可采用试验室内原材料性能测定、试验室内模拟结构检验测定以及现场修筑试验性结构物检定等方法。而本课程主要着重于介绍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 测定道路桥梁用材料的物理常数, 可以提供材料组成设计时用的一些原始资料, 因为物理常数是材料内部组成结构的反映, 所以, 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, 主要是采用各种试验机测定其静态力学性能 (如抗压、拉、弯、剪等强度) 来反映。

随着基础科学的发展, 使得测定材料真实性能有了可能。考虑到道路建筑材料在不同温度、不同荷载作用及不同时间条件下动态的弹一粘一塑性能, 用以描述材料的真实性能。例如, 沥青混合料在不同温度与不同作用时间下的动态劲度, 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路上的实际受力状态较为接近, 也为粘一塑性路面的设计提供一定的参数。

(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。目前, 还可作某些材料 (如沥青) 的“组分”分析, 这样可初步地了解材料的组成与性能的关系。随着近代测试技术发展, 例如核磁共振波谱、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应用, 促进了沥青化学结构与路用性能的相依性的研究, 有可能从化学结构上来设计要求性能的沥青材料。

(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, 但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一断裂学理论来进行分析, 并提出不同的方法。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。关于这方面的发展可说是日新月异。

2. 道路材料质量的标准化和技术标准

道路与桥梁所用材料及其制品必须具备一定的技术性质, 以适应道路结构物不同建筑结构及施工条件的要求。这些要求体现为由国家标准或有关的技术规范规定的一些技术指标。在道路设计与建筑过程中我们应按这些指标来评价道路材料的质量。

为了保证建筑材料的质量, 我国对各种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, 还要注明编号, 制定修订年份、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, 可以制订行业标准。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。推荐性行业标准, 在行业标准后加“T”, 在标准后加“J”, 表示“基本建设方面”。

我国国家标准及与道路材料有关的几个行业标准代号示例如表 0-1。

国家标准和行业标准代号

表 0-1

标准名称	代号 (汉语拼音)	示 例
国家标准	国标 GB (Guo Biao)	GB 175—92 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥
交通行业标准	交通 JT (Jiao Tong)	JTJ 052—2000 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
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

为研究国外有关道路建筑材料的科学技术，现将国际及国外几个主要国家的标准代号列于表 0-2 中。

国际标准 and 国外国家标准代号

表 0-2

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)
原苏联国家标准	ГОСТ (Государственный Общеюзный Стандарт)
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，要求学生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。

砂石材料是道路与桥梁建筑中用量最大的一种建筑材料，它可以直接用于道路或桥梁的圬工结构，亦可以作为水泥混凝土、沥青混合料的集料。用作道路与桥梁建筑的砂石材料都应具备一定的技术性质，以适应不同工程建筑的技术要求。特别是作为水泥（或沥青）混凝土用集料，应严格按级配理论组成一定要求的矿质混合料。因此，必须掌握其组成设计的方法。

第一节 砂石材料的技术性质

砂石材料包括天然石料、人工轧制的集料以及工业冶金矿渣等。下面将对这些材料的技术性质予以论述。

一、石料的技术性质和技术要求

（一）石料的技术性质

石料的技术性质，主要从物理性质、力学性质和化学性质三方面进行评价。

1. 物理性质

石料的物理性质包括物理常数（如真实密度、毛体积密度和孔隙率等）、吸水性（如吸水率、饱水率）和耐候性（耐冻性、坚固性等）。

1) 物理常数

石料的物理常数是石料矿物组成结构状态的反映，它与石料的技术性质有着密切的关系。石料的内部组成结构主要是由矿物实体和孔隙（包括与外界连通的开口孔隙和不与外界连通的闭口孔隙）所组成，如图 1-1a）。各部分质量与体积的关系如图 1-1b）。

为了反映石料的组成结构以及它与物理—力学性质间的关系，通常采用物理常数来表征它。在路桥工程用块状石料中，常用的物理常数主要是真实密度、毛体积密度和孔隙率。通过这些指标可以间接预测石料有关物理性质和力学性质。

（1）真实密度 是石料在规定条件（ $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重，温度 20°C ）下，烘干石料矿质单位体积（不包括开口与闭口孔隙）的质量。用 ρ_t 表示。由图 1-1b）知，石料真

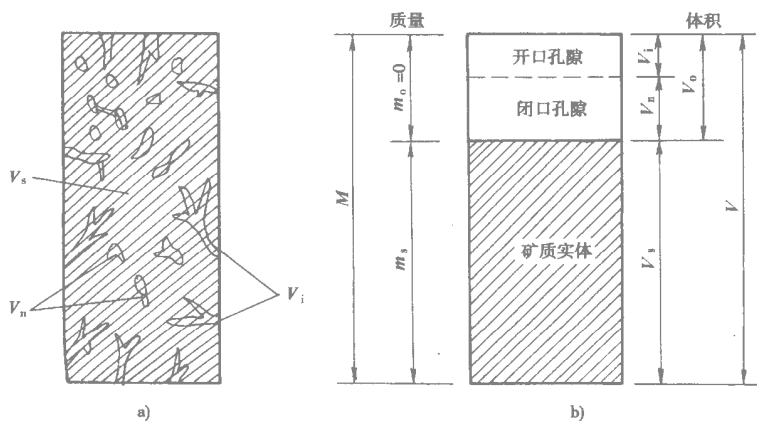


图 1-1 石料组成结构示意图

a) 石料组成结构外观示意图； b) 石料结构的质量与体积关系示意图

实密度可用式 (1-1) 表示。

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

式中： ρ_t ——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)。

因试验是在空气中称量石料质量的，而石料中空气质量 $m_0 = 0$ ，所以矿质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： ρ_t ， V_s ——意义同前；

M ——石料的质量 (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》(JTJ 054—94) 中采用的“李氏比重瓶法”。要获得矿质实体的体积，必须将石料粉碎磨细，通过试验测定出来。

(2) 毛体积密度 在规定条件下，烘干石料 (包括孔隙在内) 的单位体积的质量，用字母 ρ_h 表示，由图 1-1b) 体积与质量的关系可表示为：

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

式中： ρ_h ——石料的毛体积密度 (g/cm^3)；

m_s ， V_s ——意义同前；

V_i ， V_n ——石料开口孔隙和闭口孔隙的体积 (cm^3)。

由于 $M = m_s$ ， $V = V_s + V_i + V_n$ ，故式 (1-2) 可写为：

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

式中： ρ_h ——石料的毛体积密度 (g/cm^3)；

M ——石料的质量 (g)；

V ——石料的总体积 (cm^3)。

石料毛体积密度的测定方法，按我国现行《公路工程试验规程》（JTJ 054—94）规定，利用“静水称量法”。该方法是，将规则石料在 105 ± 5 烘干至恒重，测得其质量，然后将石料吸水 24h，使其饱水后用湿毛巾揩去表面水，即可称得饱和面干时的石料质量。最后用静水天平法测得饱和面干石料的水中质量，由此可计算出石料的毛体积，按式（1-2'）即可求得毛体积密度。此外，现行试验规程亦允许用“封蜡法”来测定毛体积密度。

（3）孔隙率 石料的孔隙率是指孔隙体积占石料总体积的百分率。由图 1-1b）可知，石料孔隙率表示为：

$$n = \frac{V_0}{V} \times 100 \quad (1-3)$$

式中： n ——石料的孔隙率（%）；

V_0 ——石料的孔隙（包括开口和闭口孔隙）的体积（ cm^3 ）；

V ——石料的总体积（ cm^3 ）。

孔隙率亦可用密度和毛体积密度计算求得，由式（1-3）得：

$n = [1 - (V_s/V)] \times 100$ ，又由式（1-1'）和式（1-2'）得 $V_s = M/\rho_t$ ， $V = M/\rho_h$ ，故式（1-3）可表达为：

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

式中： n ——石料的孔隙率（%）；

ρ_t ——石料的真实密度（ g/cm^3 ）；

ρ_h ——石料的毛体积密度（ g/cm^3 ）。

2) 吸水性

石料的吸水性是石料在规定条件下吸水的能力。石料与水作用后，水很快湿润石料的表层并填充了石料的孔隙，因此水对石料破坏作用的大小，主要取决于石料造岩矿物性质及其组成结构状态（即孔隙分布情况和孔隙率大小）。为此，我国现行《公路工程石料试验规程》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

石料吸水率是指在室内常温（ $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ）和大气压条件下，石料试件最大的吸水质占烘干石料试件质量的百分率。石料吸水率按下式计算：

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

式中： W_x ——石料的吸水率（%）；

m_1 ——石料试件烘干至恒重时的质量（g）；

m_2 ——石料试件吸水至恒重时的质量（g）。

（2）饱水率

石料饱水率是指在室内常温（ $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ）和真空抽气（抽至真空度为残压 2.67kPa 后的条件下，石料最大吸水的质量占烘干石料试件质量的百分率。我国现行《公路工程试验规程》（JTJ 054T0209—94）采用真空抽气法，石料开口孔隙内部空气被排出，当恢复常压时，水很快进入石料孔隙中，此时水分几乎充满开口孔隙的全部体积，所以饱水率大于吸水率，其计算方法与吸水率相同。

饱水率的计算方法与吸水率相同，只是因为饱水率是在石料抽至真空的条件下测定的，

此时水分几乎充满开口孔隙的全部体积，所以饱水率大于吸水率。

吸水率、饱水率能有效地反映岩石微裂隙的发育程度，可用来判断岩石的抗冻性和抗风化等性能。吸水率、饱水率的大小主要取决于石料本身的矿物成分、组织构造、孔隙特征及其孔隙率的大小，通常酸性岩石比碱性岩石吸水性较强，致密的石料吸水率小，而细小连通多孔的石料吸水率大。石料吸水率、饱水率的大小直接影响石料的耐水性及其抗冻性。

3) 耐候性

道路与桥梁都是暴露于大自然中无遮盖的建筑物，经常受到各种自然因素的影响，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。目前对道路与桥梁用石料，在某些气候条件下，必须考虑其抗冻融耐久性（简称抗冻性）。

石料抗冻性是指石料在吸水饱和状态下，抵抗多次冻结和融化作用而不发生显著破坏，同时也不严重降低强度的性质。

通常以石料在饱水状态下，能经受冻融循环的次数（质量损失不超过 5%，抗压强度降低不超过 25%）来表示。根据冻融循环次数，可将石料分为 5、10、15、25、50 等标号（在温度下降至 -15°C 冻结 4h 后，放入 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 水中融解 4h 为冻融循环一次）。

如无条件进行冻融试验，也可采用坚固性简易快速测定法，这种方法通过饱和硫酸钠溶液进行多次浸泡与烘干循环后来测定。

石料经多次冻融交替作用后，表面将出现剥落、裂纹，产生质量损失，强度降低。冰冻破坏机理是由材料孔隙内水结冰所引起的。水在结冰时，体积约增大 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 90% 以下时，石料不因冻结而产生破坏。因此对石料抗冻性要求，要根据石料本身吸水率大小及所处的环境和气候条件来考虑。一般要求在寒冷地区，冬季月平均气温低于 -15°C 的重要工程，石料吸水率大于 0.5% 时，都需要对石料进行抗冻性试验（因石料本身毛细孔中的水，在此温度下才结冰）。

判断岩石抗冻性能好坏有两个指标：

(1) 质量损失：要求冻融后石料的质量损失不大于 5%，按下式计算：

$$Q_{\text{冻}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1-5)$$

式中： $Q_{\text{冻}}$ ——冻融后的质量损失率（%）；

m_1 ——试验前烘干试件的质量（g）；

m_2 ——试验后烘干试件的质量（g）。

(2) 冻融后强度变化：一般要求抗压强度降低不大于 25%，按下式计算：

$$K_{\text{fr}} = \frac{R - R_{(\text{fr})}}{R} \times 100 \quad (1-6)$$

式中： K_{fr} ——抗冻强度降低系数（%）；

R ——未经冻融试验的试件饱水抗压强度（MPa）；

$R_{(\text{fr})}$ ——经若干次冻融后的试件饱水抗压强度（MPa）。

2. 力学性质

公路与桥梁工程结构物中用石料，除受上述物理性质影响外，还受到外力的作用，所以石料还应具备一定的力学性质。除了一般材料力学所述及的抗压、抗拉、抗剪、抗弯、弹性模量等纯粹力学性质外，还有一些为路用性能特殊要求的一些力学指标，如抗磨光、抗冲击

和抗磨耗等。由于道路建筑用石料多轧制成集料使用，故抗磨光、抗冲击和抗磨耗等性能将在集料力学性质中讨论。在石料力学性质中，主要讨论确定石料的抗压强度和磨耗两项性质。

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《公路工程石料试验规程》（JTJ 054T0213—94），是将石料制备成（ 50 ± 0.5 ）mm 的正立方体（或直径与高均为 $50\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 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，按式（1-7）计算：

$$R = \frac{P}{A} \quad (1-7)$$

式中：R——岩石的抗压强度（MPa）；

P——极限破坏时的荷载（N）；

A——试件的截面积（ mm^2 ）。

石料的抗压强度是石料力学性质中最重要的一项指标，它是划分石料等级的主要依据。石料抗压强度值，取决于石料的组成结构（如矿物组成，岩石的结构和构造、裂隙的分布等），同时也取决于试验的条件（如试件尺寸和形状、加载速度、试验状态等）。

2 磨耗性

磨耗性是石料抵抗撞击、边缘剪力和摩擦等联合作用的性质。按我国现行试验规程（JTJ 054—94）规定，石料的磨耗试验有下列两种方法：

（1）洛杉矶式磨耗试验（又称搁板式磨耗试验）

试验机是由一个直径为 711mm，长为 508mm 的圆鼓和鼓中的一个搁板所组成。试验用的试样是按一定规格组成的级配石料，总质量为（ $5\,000 \pm 50$ ）g。当试样加入磨耗鼓的同时，加入 12 个钢球，钢球总质量为（ $5\,000 \pm 50$ ）g，磨耗鼓以 30~33r/min 的转速旋转，在旋转时，由于搁板的作用，可将石料和钢球带到高处落下。经旋转 500 次后，将石料试样取出，用 2mm 圆孔筛或边长 1.6mm 的方孔筛筛去试样中的石屑，用水洗净留在筛上的试样，烘至恒重并称其质量。石料磨耗率按式（1-8）计算：

$$Q_{\text{磨}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1-8)$$

式中： $Q_{\text{磨}}$ ——石料磨耗率（%）；

m_1 ——装入圆筒中的试样质量（g）；

m_2 ——试验后洗净烘干的试样质量（g）。

（2）狄法尔式磨耗试验（也称双筒式磨耗试验）

将石料加工为一定块数（100 块）的单粒级（50~70mm）试样 2 份，分别放在磨耗机的两个筒中，以 30~33r/min 转速旋转 10 000 次，由于石料相互摩擦冲击，使石料试样产生磨耗。与前述洛杉矶式磨耗试验的计算方法相同。

比较上述两种试验方法，我们可以看出，洛杉矶式磨耗试验比狄法尔式磨耗试验具有以下优点：

旋转 500 次，就能明显得到石料抗磨性优劣，而且省时、省工。

②选用石料为按一定规格组成的级配。而狄法尔磨耗试验为单粒级的，与实际使用不一致。

能全面反映磨耗性、抵抗撞击摩擦和剪切的综合性能，而狄法尔磨耗试验只反映了摩擦和剪切。

石料磨耗性是石料力学性质的另一个重要指标，也是评定石料等级的依据之一。我国现行试验规程规定，石料磨耗试验以洛杉矶式（搁板式）磨耗试验法为标准方法，只有在不具备该磨耗试验条件时，方允许采用狄法尔式（双筒式）磨耗试验法代替。

3. 化学性质

早年的研究认为矿质集料是一种惰性材料，它在混合料（各种矿质集料与水泥和沥青组成）中起着物理作用。随着科学发展，科学家们根据理化—力学的研究，认为矿质集料在混合料中与结合料起着物理—化学作用。石料的化学性质将影响着混合料的物理—力学性质。根据试验研究的结果，按 SiO_2 的含量多少将石料划分为酸性、碱性及中性。按克罗斯的分类法，岩石化学组成中 SiO_2 含量大于 65% 的石料称为酸性石料； SiO_2 含量在 52%~65% 的石料称为中性石料； SiO_2 含量小于 52% 的石料称为碱性石料。所以在选择与沥青结合的石料时，应考虑石料的酸碱性对沥青与石料粘结的影响。

（二）石料的技术要求

1. 路用石料的技术分级

石料分级方法首先根据造岩矿物成分含量以及组织结构来确定岩石名称，然后将不同名称的岩石按其物理—力学性质（主要为饱水状态的抗压强度和磨耗率）分为下列 4 个等级：

- 1 级——最坚强的岩石；
- 2 级——坚强的岩石；
- 3 级——中等坚强的岩石；
- 4 级——较软的岩石。

2. 路用石料的技术标准

路用天然石料根据上述分级方法，技术指标要求列于表 1-1。

道路建筑用天然石料等级和技术标准

表 1-1

岩石类别	主要岩石名称	石料等级	技 术 标 准		
			极限抗压强度 (饱水状态) (MPa)	磨耗率 (%)	
				洛杉矶式 磨耗试验法	狄法尔式 磨耗试验法
I 岩浆岩类	花岗岩 玄武岩 安山岩 辉绿岩等	1	>120	<25	<4
		2	100~200	25~30	4~5
		3	80~100	30~45	5~7
		4	—	45~60	7~10
II 石灰岩类	石灰岩 白云岩等	1	>100	<30	<5
		2	80~100	30~35	5~6
		3	60~80	35~50	6~12
		4	30~60	50~60	12~20
III 砂岩与 片岩等	石英岩 片麻岩 石英片麻岩 砂岩等	1	>100	<30	<5
		2	80~100	30~35	5~7
		3	50~80	35~45	7~10
		4	30~50	45~60	10~15

续上表

岩石类别	主要岩石名称	石料等级	· 技 术 标 准		
			极限抗压强度 (饱水状态) (MPa)	磨耗率 (%)	
				洛杉矶式 磨耗试验法	狄法尔式 磨耗试验法
IV 砾石	——	1	——	<20	<5
		2	——	20~30	5~7
		3	——	30~50	7~12
		4	——	50~60	12~20
试验方法			JTJ 054 T0212—94	JTJ 054 T0220—94	JTJ 054 T0221—94

注：本表摘自《公路工程试验规程》(JTJ 054—94)；

抗压强度试件饱水状态应按 (JTJ 054 T0207—94) 的方法进行；

磨耗率应以洛杉矶磨耗机测定的结果为准；在无该机时，方可用狄法尔磨耗机测定。

二、道路和桥涵用石料制品

(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三类；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，其加工费用昂贵，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，所以这种路面造价很高，只有在特殊要求路面，如特重交通以及履带车等行驶的路面使用。尺寸一般可按设计要求确定，大方块石为 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times (120 \sim 150)\text{mm}$ ，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

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%。

半整齐块石用硬质石料制成，为修琢方便，常采用花岗岩。顶面不进行加工，因此顶面平整性较差，一般只在特殊地段，如土基尚未沉实稳定的桥头引道及干道，铁轮履带车经常通过的地段等使用。

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，行车震动大，故目前应用较少。

4. 锥形块石

又称“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。高度一般有 $(160 \pm 20)\text{mm}$ 、 $(200 \pm 20)\text{mm}$ 、 $(250 \pm 20)\text{mm}$ 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。

（二）桥梁建筑用主要石料制品

桥梁建筑所用石料主要制品有：片石、块石、方块石、粗料石、镶面石等。

1. 片石

由打眼放炮采得石料，其形状不受限制，但薄片者不得使用。一般片石其中最小边长应不小于 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，其极限抗压强度不小于 20MPa。

2. 块石

由成层岩中打眼放炮开采获得，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 1.5~2.0 倍，长度为厚度的 1.5~3 倍。砌缝宽度一般不大于 20cm，个别边角砌缝宽度可达 30~35mm。石料极限抗压强度应符合设计文件的规定。

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，厚度不小于 20cm，宽度为厚度的 1.5~2 倍，长度为厚度的 1.5~4 倍。砌缝宽度不大于 20mm，石料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规定，其表面凹凸不大于 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规定，其表面凹凸不大于 5mm，砌缝宽度小于 15mm。

6. 镶面石

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。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。石料上下和两侧均加工粗琢成斜口，斜口宽度不得小于 10cm，琢面应垂直于外露面。

三、集料的技术性质

集料是指在混合料中起骨架或填充作用的粒料，包括岩石天然风化而成的砾石（卵石）和砂等，以及由岩石经人工轧制的各种尺寸的碎石、石屑等。

工程上一般将集料分为细集料和粗集料两类。

（一）细集料的技术性质

在沥青混合料中，细集料是指粒径小于 2.36mm 的天然砂、人工砂及石屑；在水泥混凝土中，细集料是指粒径小于 5mm 的天然砂、人工砂。在工程中应用较多的细集料是砂。

砂按来源分为两类。一类为天然砂，它是岩石在自然条件下风化形成的。因产源不同可分为河砂、山砂和海砂。河砂颗粒表面圆滑，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多；海砂虽然具有河砂的特点，但因在海中所以常混有贝壳碎片和盐分等有害杂质。一般工程上多使用河砂。在缺乏河砂地区，可采用山砂或海砂，但在使用时必须按规定作技术检验。另一类为人工砂，它是将岩石轧碎而成的颗粒，表面多棱角，较洁净。因为是由人工轧制而成，所以造价较高，如无特殊情况，多不采用这种砂。

细集料技术性质主要包括物理性质、颗粒级配和粗度。

1. 物理常数

细集料的物理常数主要有表观密度、堆积密度和空隙率等，其含义与粗集料完全相同，具体数值可通过试验测定。细集料的物理常数计算方法与粗集料相同，详见“粗集料技术性质”。

2. 级配

级配是集料各级粒径颗粒的分配情况。砂的级配可通过砂的筛分试验确定。筛分试验是将预先通过 10mm 孔径的干砂，称取 500g 置于一套孔径为 5、2.5、1.25、0.63、0.315、0.16mm（圆孔筛）或筛孔分别为 4.75、2.36、1.18、0.6、0.3、0.15mm（方孔筛）的标准筛上，分别求出试样存留在各筛上的质量，然后按下述方式计算其级配有关参数：

(1) 分计筛余百分率

某号筛上的筛余质量占试样总质量的百分率，可按式（1-9）求得

$$a_i = \frac{m_i}{M} \times 100 \quad (1-9)$$

式中： a_i ——某号筛的分计筛余（%）；

m_i ——存留在某号筛上的质量（g）；

M ——试样的总质量（g）。

(2) 累计筛余百分率

某号筛上分计筛余百分率与大于某号筛的各筛的分计筛余百分率总和，按式（1-10）计算：

$$A_i = a_1 + a_2 + \dots + a_i \quad (1-10)$$

式中： A_i ——累计筛余（%）；

$a_1, a_2, \dots, a_i$ ——从 5mm, 2.5mm……（或 4.75mm, 2.36mm……）至计算的某号筛的分计筛余（%）。

(3) 通过百分率

通过某筛的质量占试样总质量的百分率，亦即 100% 与累计筛余百分率之差，按式（1-11）计算：

$$P_i = 100 - A_i \quad (1-11)$$

式中： P_i ——通过百分率（%）；

A_i ——累计筛余（%）。

3. 粗度

粗度是评价砂粗细程度的一种指标，通常用细度模数表示。细度模数亦称细度模量。

对水泥混凝土用砂，可按式（1-12）计算细度模数，准确至 0.01。

$$M_x = \frac{(A_{2.5} + A_{1.25} + A_{0.63} + A_{0.315} + A_{0.16}) - 5A_5}{100 - A_5} \quad (1-12)$$

式中： M_x ——细度模数；

$A_5, A_{2.5}, \dots, A_{0.16}$ ——5mm, 2.5mm, …, 0.16mm 各筛的累计筛余百分率（%）。

对沥青路面及各种路面的基层、底基层用砂，按式（1-13）计算细度模数，准确至 0.01。

$$M_X = \frac{A_{4.75} + A_{2.36} + A_{1.2} + A_{0.6} + A_{0.3} + A_{0.15}}{100} \quad (1-13)$$

式中： M_X ——细度模数；

$A_{4.75}, A_{2.36}, \dots, A_{0.15}$ ——4.75mm, 2.36mm, $\dots$, 0.15mm 各筛的累计筛余百分率 (%)

细度模数愈大，表示细集料愈粗。我国现行标准 (JGJ 52—92) 规定砂的粗度按细度模数可分为下列三级：

$M_X = 3.7 \sim 3.1$ 为粗砂；

$M_X = 3.0 \sim 2.3$ 为中砂；

$M_X = 2.2 \sim 1.6$ 为细砂。

[例 1-1] 工地现有水泥混凝土用砂取 500g 做筛分试验，筛分结果如表 1-2 所示。计算该砂试样的细度模数，并评价其粗细程度。

表 1-2

筛孔尺寸 (mm)	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	底盘
存留量 (g)	10	20	45	100	135	155	35

筛孔尺寸 (mm)	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	底盘
存留量 (g)	10	20	45	100	135	155	35
分计筛余 (%)	2	4	9	20	27	31	7
累计筛余 (%)	2	6	15	35	62	93	100
通过百分率 (%)	98	94	85	65	38	7	0

计算细度模数：

$$\begin{aligned}
 M_X &= \frac{(A_{2.5} + A_{1.25} + A_{0.63} + A_{0.315} + A_{0.16}) - 5A_5}{100 - A_5} \\
 &= [(6 + 15 + 35 + 62 + 93) - 5 \times 2] / (100 - 2) = 2.05
 \end{aligned}$$

所以，此砂为细砂。

细度模数虽能表示砂的粗细程度，但不能完全反映出砂的颗粒级配情况，因为相同细度模数的砂可有不同的颗粒级配。因此，要全面表征砂的颗粒性质，必须同时使用细度模数和级配两个指标。

(二) 粗集料的技术性质

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；在水泥混凝土中，粗集料是指粒径大于 5mm 的碎石、砾石和破碎砾石等。根据它们的用途不同，将分别在第三章和第五章提出不同的要求。本节仅对粗集料的一般技术性质进行阐述。

1. 物理性质

1) 物理常数

在计算粗集料的物理常数时，不仅要考虑到粗集料颗粒中的孔隙（开口孔隙或闭口孔隙）还要考虑颗粒间的空隙。粗集料的体积和质量的关系如图 1-2 表示。

(1) 表观密度

粗集料的表观密度（简称视密度）是在规定条件（ $105^{\circ}\text{C} \pm 5$ 烘干至恒重）下，单位表观体积（包括集料矿质实体和闭口孔隙的体积）的质量。

粗集料表观密度以 ρ_a 表示。由图 1-2 体积与质量的关系可表示为：

$$\rho_a = \frac{m_s}{V_s + V_n} \quad (1-14)$$

式中： ρ_a ——集料表观密度（ g/cm^3 ）；

m_s ——矿质实体质量（g）；

V_s ——矿质实体体积（ cm^3 ）；

V_n ——矿质实体中闭口孔隙体积（ cm^3 ）。

矿质实体质量即为粗集料质量（即 $m_s = m$ ）。令 V_a 为表观体积，式（1-14）亦可写成：

$$\rho_a = \frac{m}{V_a} \quad (1-14')$$

式中： m ——粗集料的质量（g）；

V_a ——粗集料表观体积（ cm^3 ）。

粗集料表观密度测定方法按《公路工程集料试验规程》（JTJ 058—2000）规定采用静水天平法。具体方法见第二篇第一章的砂石材料试验。

（2）毛体积密度

粗集料的毛体积密度是在规定条件下，单位毛体积（包括矿质实体、闭口孔隙和开口孔隙）的质量。粗集料毛体积密度按图 1-2，可由下式求得。

$$\rho_h = \frac{m_s}{V_s + V_n + V_i} \quad (1-15)$$

式中： ρ_h ——粗集料毛体积密度（ g/cm^3 ）；

V_s 、 V_n 和 V_i ——分别为粗集料实体、闭口孔隙和开口孔隙体积（ cm^3 ）；

m_s ——矿质实体质量（g）。

已知： $m_s = m$ ，令 $V_s + V_n + V_i = V_h$ 得：

$$\rho_h = \frac{m}{V_h} \quad (1-15')$$

式中： V_h ——粗集料毛体积（ cm^3 ）；

m ——粗集料质量（g）。

粗集料毛体积密度的测定方法是将已知质量的干燥粗集料经 24h 饱水后，用湿毛巾擦干而求得饱和面干质量。然后用排水法求得水中的质量，按式（1-15'）即求得集料毛体积密度。

（3）松方密度

粗集料的松方密度是粗集料装填于容器中包括集料空隙（颗粒间的）和孔隙（颗粒内部的）在内的单位体积的质量，可按下式求得：

$$\rho = \frac{m_s}{V_s + V_o + V_v} \quad (1-16)$$

式中： ρ ——粗集料的堆积密度（ g/cm^3 ）；

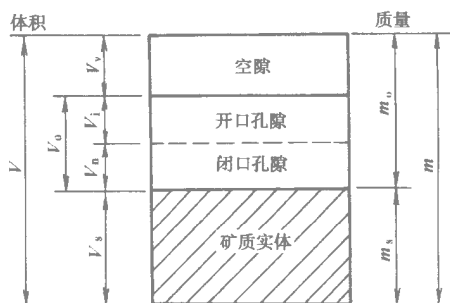


图 1-2 集料体积与质量关系示意图

V_s, V_u, V_v ——分别为矿质实体、孔隙和空隙的体积 (cm^3);

m_s ——矿质实体的质量 (g)。

已知: $m_s = m$ 令 $V_s + V_p + V_v = V$ 代入式 (1-16) 得:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-16)$$

式中: m ——粗集料的质量 (g);

V ——堆积体积 (cm^3)。

粗集料的松方密度包括堆积状态、振实状态和捣实状态下的松方密度, 计算同式 (1-16)。

(4) 空隙率

空隙率是指粗集料颗粒之间空隙体积占粗集料总体积的百分率。

粗集料空隙率可按式 (1-17) 计算:

$$n = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_a} \right) \times 100 \quad (1-17)$$

式中: n ——粗集料空隙率 (%) ;

ρ ——按振实法测定的粗集料的松方密度 (g/cm^3);

ρ_a ——粗集料的表观密度 (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, 级配是通过筛析试验确定的。筛析试验就是将粗集料经过一系列筛孔尺寸的标准筛, 测定出存留在各个筛上的集料质量, 根据集料试样的质量与存留在各筛孔上的集料质量, 就可求得一系列与集料级配有关的参数:

(1) 通过 0.075mm 筛孔的集料的含量按式 (1-18) 计算, 准确至 0.1%。

$$P_{0.075} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1-18)$$

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按式 (1-19) 计算, 但 0.075mm 筛不计算分计筛余, 准确至 0.1%。

$$a_i = \frac{m_i}{m_0} \times \frac{100 - P_{0.075}}{100} \quad (1-19)$$

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, 准确至 0.1%。

(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 $P_{0.075}$, 准确至 0.1%。

3) 坚固性

除前述的将原石料加工成规则试块进行抗冻性和坚固性试验外, 对已轧制成的碎石或天然卵石亦可采用规定级配的各粒级集料, 按现行试验规程《公路工程集料试验规程》(JTJ 058—2000) 选取规定数量, 分别装在金属网篮浸入饱和硫酸钠溶液中进行干湿循环试验。

经 5 次循环后, 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 (也称安定性)。

2. 力学性质

粗集料力学性质主要是压碎值和磨耗度; 其次是新近发展起来的抗滑表层用集料的三项试验, 即磨光值、道瑞磨耗值和冲击值。磨耗试验 (洛杉矶式和狄法尔式磨耗) 已在石料力学性质中讲过, 现将压碎值、磨光值、道瑞磨耗值和冲击值分述于下。

1) 粗集料压碎值

粗集料压碎值是集料在连续增加的荷载下, 抵抗压碎的能力。它作为相对衡量石料强度的一个指标, 用以评价水泥混凝土、路面基层、底基层及沥青面层的粗集料品质。

按《公路工程集料试验规程》(JTJ 058—2000) 的规定, 沥青路面用粗集料压碎值试验是将 13.2~16mm 集料试样 3kg 装入压碎值测定仪的钢质圆筒内, 放在压力机上, 在一定时间内均匀地加荷至 400kN, 立即卸载, 称其通过 2.36mm 的筛余质量, 按式 (1-20) 计算:

$$Q_a = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (1-20)$$

式中: Q_a ——石料压碎值 (%);

m_0 ——试验前试样质量 (g);

m_1 ——试验后通过 2.36mm 筛孔的细料质量 (g)。

按《公路工程集料试验规程》(JTJ 058—2000) 的规定, 水泥混凝土用粗集料压碎值试验是将 10~20mm 集料试样 3kg 装入压碎值测定仪的钢质圆筒内, 放在压力机上, 在 3~5min 内均匀地加荷至 200kN, 立即卸载, 称其通过 2.5mm 的筛余质量, 按式 (1-21) 计算:

$$Q_a = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (1-21)$$

式中: Q_a ——石料压碎值 (%);

m_0 ——试样的质量 (g);

m_1 ——试验后筛余的试样质量 (g)。

2) 粗集料磨光值 (PSV)

在现代高速行车条件下, 要求路面石料既不要产生较大的磨损, 也不要被磨光, 也就是说, 对路面粗糙度提出了更高的要求。集料磨光值是利用加速磨光机磨光集料并以摆式摩擦系数测定仪测得的磨光后集料的摩擦系数值来确定。

石料磨光值愈高, 表示其抗滑性愈好。通常路面抗滑表层用粗集料磨光值应符合规范规定: 对高速公路、一级公路, 磨光值不小于 42, 对其它公路不小于 35。

3) 集料冲击值 (LSV)

集料抵抗多次连续重复冲击荷载作用的性能, 可采用冲击试验仪测定。