

绪 论

改革开放以来,我国公路交通事业得到了飞速发展,截止 2002 年底,公路通车总里程达到 175 万 km,居世界第二位。大量高新技术在公路交通领域得到应用,对公路交通专门人才的需求量也随之加大。为实现公路交通的现代化,迫切需要学习和研究用于公路交通建设的新材料和新技术。

一、道路和桥梁所用材料及本课程的研究内容

《道路建筑材料》是研究道路与桥梁建筑用各种材料的组成、性能和应用的一门课程。

本课程的研究内容如下。

(1) 砂石材料

砂石材料有的是由地壳上层的岩石经自然风化得到的(如天然砂砾),有的是经人工开采或再经轧制而得到的(如各种不同尺寸的碎石和石屑)。砂石材料可以直接用于铺筑路面或砌筑各种桥梁结构物,也可以作为配制水泥混凝土或沥青混合料的矿质集料。砂石材料在道路与桥梁建筑中的用量占有很大的比例。

(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。石灰和水泥也广泛应用于路面基层和面层,是路面工程的重要组成材料。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

有机结合料主要是指沥青类材料,如石油沥青、煤沥青等。这些材料与不同粒径的集料组配,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。

(4) 钢材

钢材是桥梁钢结构及钢筋混凝土结构或预应力钢筋混凝土结构的重要材料之一。

在学习本课程时,应了解一些上述道路与桥梁建筑常用材料的技术性能以及检验方法;各种材料的内部组成结构及其与技术性能之间的关系;产源(天然材料)或加工工艺(人造材料)对其性能的影响;各种材料的技术性能以及存在的问题和改善途径。

二、建筑材料在路桥工程中的作用及其应具备的性质

1. 建筑材料在路桥工程中的作用

材料是工程结构物的物质基础。材料质量的优劣、配制是否合理以及选用是否适当,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 70% ~ 80%。所以,要节约工程投资,降低工程造价,认真合理地选配和应用材料

是很重要的一个环节。

在道路与桥梁工程中要实现新设计、新技术、新工艺,新材料亦为其中重要一环。许多新型先进设计,由于材料一关未能突破,因而长期未能实现。某些新材料的出现,又推动新技术的发展,所以,道路建筑材料的研究,是道路与桥梁技术发展的重要基础。

2. 道路材料应具备的性质

道路与桥梁工程都是一种承受频繁交通荷载反复作用的结构物,同时又是一种无遮盖而裸露于大自然的结构物。它不仅受到车辆复杂的力系作用,同时又受到各种自然因素的恶劣影响。所以,用于修筑道路与桥梁结构用的材料,不仅需要具有抵抗复杂应力作用下的综合力学性能,同时,还要保证在各种自然因素的长时期影响下,综合力学性能不产生明显的衰降,即所谓持久稳定性。

为了保证道路与桥梁建筑用建筑材料的综合力学强度和稳定性,就要求建筑材料具备下列四个方面的性质。

(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,主要是测定各种静态的强度,如抗压、拉、弯、剪等强度,或者某些特殊设计的经验指标,如磨损、冲击等。

(2) 物理性质

材料的力学强度随其环境条件而改变。影响材料力学性质的物理因素主要是温度和湿度。材料的强度随着温度的升高或含水率的增加而显著降低,通常用热稳定性或水稳定性等来表征其强度变化的程度。对于优质材料,其强度随着环境条件的变化应当较小。

此外,通常还要测定一些物理常数,如密度、实积率、孔隙率和空隙率等。这些物理常数是材料内部组成结构的反映,并与力学性质之间存在一定的相依性,可以用于推断力学性质。

(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性能。道路与桥梁用材料除了受到周围介质或者其他物质侵蚀外,通常还受到大气因素的综合作用,引起材料的“老化”;特别是各种有机材料(如沥青材料等)对此表现更为显著。

(4) 工艺性质

工艺性质是材料适于按照一定工艺流程加工的性能。例如,水泥混凝土在成型以前要求有一定的流动性,以便制作成一定形状的构件。但是加工工艺不同,要求的流动性亦不同。

三、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

道路与桥梁建筑材料应具备的性能的检验必须通过适当的测试手段来进行。检定供道路与桥梁用材料在实际结构物中的性质,通常可采用试验室内原材料性能检定、试验室内模拟结构检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试验室内原材料性能的检定。对应上述道路材料应具备的性能,室内材料试验包括的内容有物理性质试验、力学性质试验、化学性质试验和工艺性质试验。

2. 道路材料质量的标准化和技术标准

应用于道路与桥梁的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与施工条件的要求。这些要求在国家标准或有关的技术规范中规定了一些技术指标,在道路设计与建筑过程中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技术要求,应当制定国家标准。国家标准由国务院标准化行政主管部门制定。

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。

此外,对没有国家标准和行业标准,又需在省、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。

根据《中国标准文献分类法》的规定,国家标准和行业标准表示方法如下。

(1) 国家标准的表示方法

国家标准由国家标准代号、编号、制定(修订)年份、标准名称等四个部分组成。

现以《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346—2001)为例说明如下。

GB 为国家标准代号,1346 为标准编号,2001 为制定或修订年代号。

国家标准修订时标准代号和编号一般不变,只改变制定、修订年代号。例如,上述标准原为 1989 年制定的 GB/T 1346—1989,只变更年号。

强制性国家标准代号为 GB,它表示任何技术(产品)不得低于此标准规定的技术指标。推荐性国家标准在 GB 后加“T”,它表示也可以执行其他标准,为非强制性。在国标后加“Z”表示国家标准化指导性技术文件。

(2) 行业标准表示方法

行业标准由行业标准代号、一级类目代号、二级类目代号、二级类目顺序号、制定(修订)年代号、标准名称等部分组成。例如:《公路工程集料试验规程》(JTJ 058—2000)。JT 为交通行业标准代号,058 为二级类目顺序号,2000 为修订年号。

与道路材料有关的国家标准及行业标准代号示例见表 0-1。

表 0-1 国家标准和行业标准代号

标准名称	代号(汉语拼音)	示 例
国家标准	国标 GB(Guo Biao)	GB/T 14685—2001 建筑用卵石、碎石
交通行业标准	交通 JT(Jiao Tong)	JTJ 052—2000 公路工程沥青与沥青混合料试验规程
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 681—1997 行星式水泥胶砂搅拌机
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材料的科学技术,现将国际标准和几个主要国家的标准代号列于

表 0-2。

表 0-2 国际标准和国外标准代号

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 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)

四、道路材料质量的变异和控制

1. 变异性参数

道路材料的质量,可以通过试验的数据来反映。但是,由于材料质量的变异,测定的数据有一定的波动。材料质量变异的程度,可采用下列方法表示。

(1) 平均差

每次测定值与平均值之差的绝对值的总和除以测定次数的商,是为平均值,可按下式求得:

$$\delta = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (0-1)$$

式中: δ ——平均差;

x_i ——某次测定值, $i = 1, 2, 3, \dots, n$;

$\bar{x}$ ——算术平均值,

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (0-1')$$

平均差是表达复演性的尺度方法之一。

(2) 均方差

每次测定值与平均值之差的均方根值,为均方差,亦称“均方根差”,可按下式求得:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (0-2)$$

但在有限样本容量条件下,采用标准差,并按照下式计算:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (0-2')$$

式中: σ ——均方差;

S ——标准差;

其余符号意义同前。

标准差是用于表达一组测试值复演性的尺度,其优点是较平均差更准确地反映复演性

的优劣。

(3) 变异系数

一组测定值的均方差(或标准差)与其算术平均值之比,为变异系数,亦称“离差系数”,可按式求得:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100(\%) \quad (0-3)$$

2. 正态分布

在对某一测试对象进行多次测试时,测得值在一定范围内波动,其中接近平均值的数值占多数,大于和小于平均值的频率近乎一样,远离平均值的占少数,这种分布规律称为“正态分布”,用图线表示称为正态分布曲线,如图 0-1。在路面材料试验中得到的数据分布规律多为正态分布。正态分布的概率密度函数为

$$y = f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^2} \quad (0-4)$$

式中: y ——测定值的概率密度;

x_i ——某测定值;

$\bar{x}$ ——测定值的平均值;

σ ——均方差;

e ——自然对数值;

π ——圆周率。

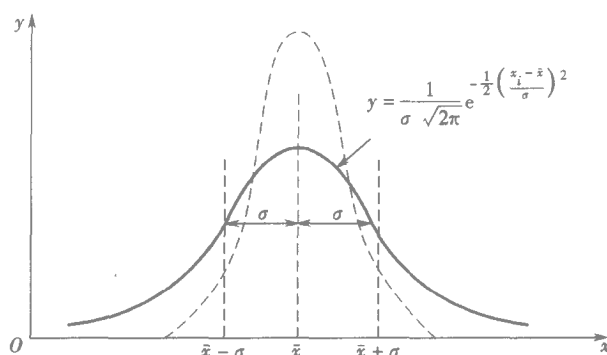


图 0-1 正态分布曲线

由以上可知,正态分布曲线由平均值 $\bar{x}$ 和均方差 σ 所决定。 $\bar{x}$ 决定了曲线峰值的位置, σ 决定了曲线峰值的大小和曲线陡度。 σ 越小则曲线范围越窄,表示测定值离散度小; σ 越大则曲线范围越宽,表示离散度大。

若以保证率系数 $t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$ 代入式(0-4),则得

$$y = f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (0-5)$$

为了标准化,转化为 $N(0, 1^2)$ 的正态分布,如图 0-2,此时 y 轴已移到图形最高点的位置,左右两支曲线与 y 轴对称。

整个正态分布曲线与横轴之间所包含的总面积(即概率)应为 1,可按式求得:

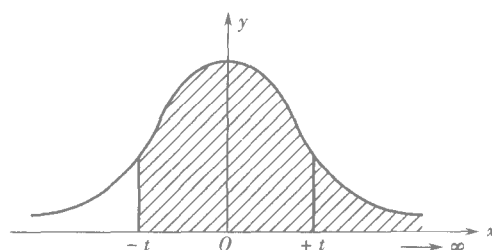


图 0-2 标准正态分布曲线

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 1 \quad (0-6)$$

则区间 $(0, t)$ 的面积可按下式求得：

$$P = \int_0^t f(t) dt = \int_{-t}^0 f(t) dt \quad (0-7)$$

区间 $(-t, +\infty)$ 的面积(即保证率)可按下二式求得：

$$P' = \int_0^{+\infty} f(t) dt + \int_{-t}^0 f(t) dt \quad (0-8)$$

或
$$P' = 0.5000 + \int_0^t f(t) dt \quad (0-9)$$

式中保证率 P' 值可根据保证率系数 t 值查表 0-3 求得。

表 0-3 保证率系数(t)与保证率(P)关系表

$-t$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9907	0.9909	0.9912	0.9914	0.9916
2.4	0.9918	0.9921	0.9923	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9933	0.9935	0.9937

注：1. 保证率大于 50% 时，保证率系数为负值；

2. 表中查出的保证率面积为自 $-t$ 至 $+\infty$ 的面积，参见图 0-2。

【例题】桥梁工地生产供桥梁上部结构用混凝土，按图纸设计强度 $f_{cu,k} = 40 \text{ MPa}$ 。由现场按规定方法取样，制成标准尺寸的试块，经标准条件养护 28 d 后，测试出各组混凝土强度代表值如下(单位 MPa)：

42.2, 45.3, 38.5, 44.0, 48.2, 47.5, 43.3, 44.0, 44.7, 43.4, 46.3, 39.3, 36.4, 45.8, 45.8, 43.8, 42.4, 37.5, 44.0, 38.0, 45.4, 44.0, 46.1, 38.2, 43.8, 47.3, 43.2, 45.7, 45.2, 43.2。

试求其变异参数和保证率。

【解】 (1) 计算变异性参数

由公式(0-1')、(0-2)和(0-3)得：

① 算术平均值 $\mu_{fcu} = 43.4 \text{ MPa}$;

② 标准差 $S = 3.1 \text{ MPa}$;

③ 变异系数 $C_v = 7.1\%$ 。

(2) 确定保证率

① 保证率系数 $t = \frac{f_{cu,k} - \mu_{fcu}}{\sigma} = \frac{40 - 43.4}{3.1} = -1.097$

② 保证率 根据表 0-3, 当 $t = -1.097$ 时, 保证率 $P = 86\%$ 。

习 题

某桥上部结构用水泥混凝土设计强度 $f_{cu,k} = 30 \text{ MPa}$ 。在施工过程中试验室抽取代表性混凝土试样, 按标准方法制取试件, 经 28 d 养护后测定各组抗压强度代表值 $f_{cu,i}$ 如下(单位 MPa)：

32.2, 33.3, 33.5, 34.0, 38.2, 33.8, 31.3, 33.0, 30.7, 29.8, 31.9, 32.3, 29.4, 32.8, 31.8, 29.8, 31.4, 30.5, 35.0, 32.1, 31.4, 29.0, 36.1, 28.2, 33.8, 31.3, 32.2, 34.7, 32.2, 31.2, 32.8, 32.0, 35.8。

试计算混凝土强度变异系数, 并求其保证率。

第一章 砂石材料

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（或经加工后）用作道路与桥梁的坛工结构；亦可加工成各种尺寸的集料，作为水泥（或沥青）混凝土的骨料。用作道路与桥梁建筑的石料或集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）混凝土用的集料，应按级配理论组成，因此，还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：天然砂石料、人工轧制的集料以及工业冶金矿渣集料等，本节将对这些材料的技术性质予以论述。

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来进行评价。

（一）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、饱水率等）和耐候性（如耐冻性、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联系。石料可由各种矿物形成不同排列的各种结构，但是从质量和体积的物理观点出发，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与外界不通的闭口孔隙）所组成，可示意如图 1-1(a)。各部分的质量与体积的关系可示意如图 1-1(b)。

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，通常采用一些物理常数来表征它。在路桥工程用块状石料中，最常用的物理常数主要是真实密度、毛体积密度和孔隙率。这些物理常数在确定程度上表征材料的内部组织结构，可以间接预测石料的有关物理性质和力学性质。此外，在混合料组成设计计算时，这些物理常数也是重要的原始资料。

（1）真实密度

石料的真实密度（简称密度）是石料在规定条件（ $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 烘干至恒重，温度 20°C ）下，单位真实体积（不含孔隙的矿质实体的体积）的质量。真实密度用 ρ_i 表示，由图 1-1(b) 所示体积与质量的关系可表示为

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

式中： ρ_i ——石料的真实密度（ g/cm^3 ）；

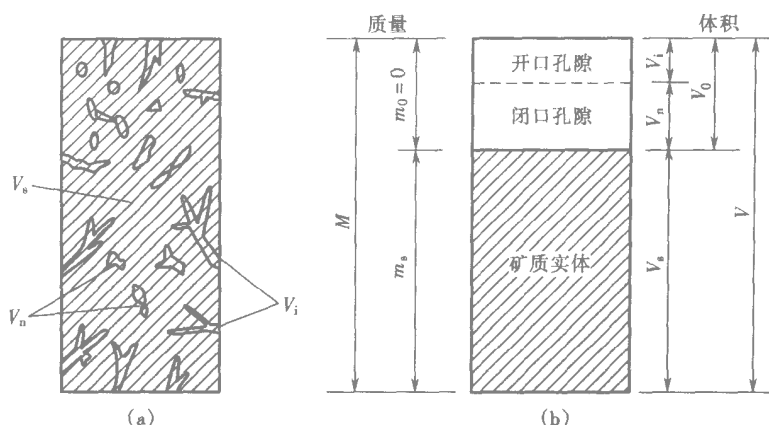


图 1-1 石料组成结构示意图

(a) 石料组成结构外观示意图; (b) 石料的质量与体积关系图

 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)。矿质实体的质量等于石料的质量, 即 $m_s = M$, 故式(1-1)可改写为

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

式中: M ——石料的质量(g)。

石料真实密度的测定方法, 按我国现行《公路工程石料试验规程》(JTJ 054 T 0203—94)规定, 是将石料样品粉碎磨细后, 在 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 条件下烘至恒重, 称得其质量。然后在密度瓶中加水经煮沸后, 使水充分进入闭口孔隙中, 通过‘置换法’测定其真实体积。已知真实体积和质量即可按式(1-1')求得真实密度。现行试验法也允许采用‘李氏密度瓶法’近似测定石料的真实密度。

(2) 毛体积密度

石料的毛体积密度是石料在规定条件下, 单位毛体积(包括矿质实体和孔隙的体积)的质量。毛体积密度用 ρ_h 表示, 由图 1-1(b) 所示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/m^3); V_i 、 V_n ——石料开口孔隙和闭口孔隙的体积(cm^3)。由于 $m_s = M$, 石料的矿质实体体积和孔隙体积之和即石料的毛体积, 故式(1-2)可写为

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

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《公路工程石料试验规程》(JTJ 054—94) (T 0205—94) 规定, 采用‘静水称量法’。该方法是, 将规则石料在 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 烘干至恒重, 测得其质量, 然后将石料吸水 24 h, 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，现行试验法亦允许用‘封蜡法’来测定毛体积密度。这两种方法各有优缺点。

(3) 孔隙率

石料的孔隙率是石料的孔隙体积占其总体积的百分率，由图 1-1 可表示为

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

式中： P ——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)。

孔隙率亦可由真实密度和毛体积密度计算求得：

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

式中： P ——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)。

石料的物理常数(真实密度、毛体积密度和孔隙率)不仅反映石料的内部组成结构状态，而且能间接地反映石料的力学性质(例如相同矿物组成的岩石，孔隙率愈低，其强度愈高)。尤其是石料的孔结构，会影响其所轧制成的集料在水泥(或沥青)混凝土中，对水泥浆(或沥青)的吸收、吸附等化学交互作用的程度。

2. 吸水性

石料吸水性是石料在规定的条件下吸水的能力。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，我国现行行业标准(JTJ 054—94)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量占烘干($105 \pm 5^\circ\text{C}$ 干燥至恒重)石料试件质量的百分率。石料吸水率公式为

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

式中： W ——石料吸水率(%)；

m_1 ——石料试件烘干至恒量时的质量(g)；

m_2 ——石料试件吸水至恒量时的质量(g)。

石料吸水率测定的方法(JTJ 054 T 0208—94)是将石料加工为规则试件，经 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 烘干称量后，在铺有薄砂的盛水容器中，用分层逐渐加水的方法使石料中的空气逐渐逸出，最后完全浸于水中任其自由吸水 48 h 后，取出称量。测得烘干至恒重的质量和吸水至恒重的质量，即可按式(1-4)求得吸水率。

(2) 饱水率

石料饱水率是在室内常温($20 \pm 5^\circ\text{C}$)和真空抽气(抽至真空度为残压 2.67 kPa)后的条件下，石料试件最大吸水的质量占烘干石料试件质量的百分率。其测定方法(JTJ 054 T 0209—94)采用真空抽气法。因为当真空抽气后占据石料孔隙内部的空气被排出，当恢复常

压时,则水即进入具有稀薄残压的石料孔隙中,此时水分几乎充满开口孔隙的全部体积,因此,饱水率较吸水率为大。饱水率的计算方法与吸水率相似。

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等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何者为主要,需根据气候条件决定。在大多数地区,后者占有主导地位。

目前已列入我国试验规程(JTJ 054—94)的方法有抗冻性和坚固性。抗冻性试验石料由于在潮湿状态受正负温度交替循环而产生破坏的机理是基于石料经自然饱水后,它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,水分集聚于部分孔隙中,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,小部分水迁移至其他无水的孔隙中。但是当达到 0°C 以后,由于固态水的移动困难,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。

我国现行抗冻性的试验方法是采用直接冻融法。该方法是将石料加工为规则的块状试样,在常温条件下($20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$),采用逐渐浸水的方法,使开口孔隙吸饱水分,然后置于负温(通常采用 -15°C)的冰箱中冻结 4 h,最后在常温条件下融解,如此为一冻融循环。经过 10、15、25 次或 50 次循环后,观察其外观破坏情况并加以记录。采用经过规定冻融循环后的质量损失百分率表征其抗冻性。此外,抗冻性亦可采用未经冻融的石料试件抗压强度与冻融循环后的石料试件抗压强度比值(称为耐冻系数)表示。

关于桥梁建筑用石料,对一月份平均气温低于 -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。抗冻性指标是指块状试件经饱水状态在 -15°C 的条件下,按表 1-1 中所列要求冻融循环次数后,无明显的缺损(裂缝、缺角、掉边、表面松散等),同时耐冻系数大于 0.75 者,则认为抗冻性合格。根据以往实践经验证明具有足够抗冻性的石料可不作抗冻性试验。

表 1-1 桥涵用石料抗冻性指标

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

(二)力学性质

路桥工程所用石料在力学性质方面的要求,除了一般材料力学中所述及的抗压、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、抗冲击和抗磨耗等性能将在集料力学性质中讨论。在石料的力学性质中,主要是讨论确定石料等级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,按我国现行行业标准(JTJ 054—94),是将石料(岩块)制备成 50 mm × 50 mm × 50 mm 的正方体(或直径和高度均为 50 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。

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、裂隙的分布等),同时也取决于试验的条件(如试件几何外形、加载速度、温度和湿度等)。

2. 磨耗性

磨耗性是石料抵抗撞击、剪切和摩擦等综合作用的性能。按我国现行试验规程(JTJ 054—94 和 JTJ 058—2000)规定,石料的磨耗试验采用洛杉矶式磨耗试验,又称搁板式磨耗试验。试验机是由一个直径为 710 mm、长为 510 mm 的圆鼓和鼓中搁板所组成。试验用的试样是按一定规格组成的级配石料。在试样加入磨耗鼓的同时,加入直径为 46.8 mm 的钢球(对于水泥混凝土用粗集料总质量为 5 000 g, 12 个钢球,钢球总质量为 5 000 g 对于沥青混合料用集料见第六章试验)。磨耗鼓以 30 ~ 33 r/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(水泥混凝土用粗集料)后,将石料试样取出,用 1.7 mm 方孔筛筛去石屑,并洗净烘干称其质量。石料磨耗率为其质量损失百分率。石料磨耗率按下式计算:

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

式中: Q_{ab} ——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)。

(三) 化学性质

1. 石料化学性质对其路用性能的影响

在道路与桥梁的建筑中,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的。随着近代物化—力学研究的发展,认为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—力学性质。

在沥青混合料中,由于矿质集料的化学性质变化,对沥青混合料的物理—力学性质起着极为重要的作用。

2. 石料与沥青粘附性测定方法

沥青与石料的粘附性测定,按我国现行行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052 T 0616—93)规定,采用水煮法和水浸法。水煮法是将 13.2 ~ 19 mm 的碎石用线缚好烘干后浸于规定温度的沥青中,使沥青包裹在石料表面,冷却 15 min 后挂于煮沸的蒸馏水中 3 min,根据沥青膜的剥落程度,分为 5 个等级来评价石料的粘附性,等级愈高表示粘附性愈好。当然,石料与沥青的粘附性不仅决定于石料的性质,同时也决定于沥青的性质。当沥青性质相同时,不同矿物成分的石料具有不同的粘附性。例如,选取石灰石、花岗石和石英石三种典型石料,试验结果列于表 1-2 中。小于 13.2 mm 的石料可采用水浸法。

表 1-2 不同矿物组成石料的粘附性比较

岩石名称	石灰岩	花岗岩	石英岩
水煮法粘附性(按剥落面积的等级)	Ⅴ级	Ⅱ级	Ⅰ级

二、集料的技术性质

集料包括岩石天然风化而成的砾石（卵石）和砂等以及岩石经人工轧制的各种尺寸的碎石。

不同粒径的集料在水泥（或沥青）混合物中所起的作用不同，因此对它们的技术要求不同。为此将集料分为两种：凡粒径小于 4.75 mm（方孔筛）者称为细集料，大于 4.75 mm 者称为粗集料。由于产状和轧制工艺的不同，它们之间粒径界限允许有些交叉。现将这两类集料的技术性质分述于后。

（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。根据它们的用途不同，将分别在本书第三章和第四章提出不同的要求。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

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

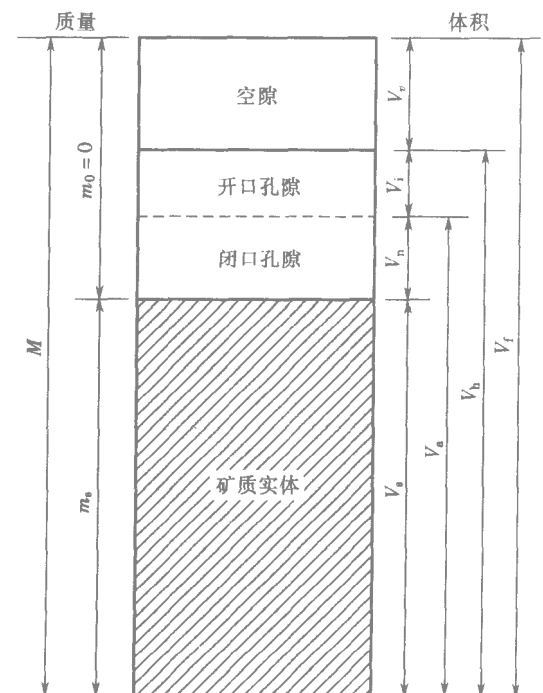


图 1-2 粗集料的体积与质量关系图

集料除了由矿质实体和孔隙（包括开口孔隙和闭口孔隙）组成外，还有集料之间空隙。

因此集料堆积体积包括矿质实体、开口孔隙、闭口孔隙和空隙四部分图中 V_a 为表观体积, V_h 为毛体积, V_f 为堆积体积。

①表观密度 粗集料的表观密度(简称视密度)是在规定条件($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重)下,单位表观体积的质量。

集料表观密度,由图 1-2 体积与质量的关系,可表示为

$$\rho_a = \frac{m_s}{m_s - m_w} \times \rho_T \quad (1-6)$$

式中: ρ_a ——集料的表观密度(g/cm^3);

m_s ——矿质集料烘干质量(g);

m_w ——集料的水中质量(g);

ρ_T ——试验温度 T 时水的密度,见第六章试验一。

粗集料表观密度测定按《公路工程集料试验规程》(JTJ 058—2000)规定,采用静水天平法。其具体做法是:将已知质量的干燥粗集料装在金属吊篮中浸水 24 h,使开口孔隙吸饱水,然后在静水天平上称出饱水后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,根据粗集料的质量和表观体积即可计算出表观密度。

②毛体积密度 粗集料的毛体积密度是在规定的条件下,单位毛体积(包括矿质实体、闭口孔隙和开口孔隙)的质量。

③堆积密度 粗集料的堆积密度是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。

粗集料的堆积密度由于颗粒排列的松紧程度不同,又可分为自然堆积密度与振实堆积密度。

粗集料的堆积密度是将干燥的粗集料装入规定容积的容量筒来测定的。自然堆积密度是按自然下落方式装样而求得的单位体积的质量;振实堆积密度是用振摇方式装样而求得的单位体积的质量。

④空隙率 粗集料空隙率是集料试样在自然堆积(或紧密堆积)时的空隙占总体积的百分率。

粗集料空隙率可按下式计算:

$$n = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_a} \right) \times 100\% \quad (1-7)$$

式中: n ——粗集料的空隙率(%);

ρ_a ——粗集料的表观密度(g/cm^3);

ρ ——粗集料的自然(或紧密)堆积密度(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分计筛余百分率;②累计筛余百分率;③通过百分率。粗集料的这些参数计算方法与细集料相同。

2. 路用粗集料的力学性质

道路路面建筑用粗集料的力学性质,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。现将压碎值、磨光值、道瑞磨耗值和冲击值分述于后。

(1) 集料压碎值

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,用以评价公路沥青路面面层和基层用集料的质量。按现行试验规程(JTJ 058 T 0316—2000)的规定,该方法是将 13.2 ~ 16 mm 的集料试样,用一个容积为 1 767 cm³ 的标准量筒,用标准夯实法分三层装入压碎值测定仪(如图 1-3)的钢质圆筒内,每层用夯棒夯 25 次,最后在碎石上再加一压头。将试模移于压力机上,于 10 min 内加荷至 400 kN,使压头匀速压入筒内,然后立即卸载,部分集料即被压为碎屑,测定通过 2.36 mm(方孔)筛孔的碎屑的质量占原集料总质量的百分率,即为压碎值 Q'_a 。此值可按下式求得:

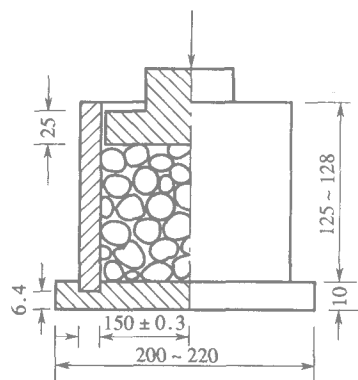


图 1-3 碎石压碎值测定仪(单位:mm)

$$Q'_a = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中: m_0 ——试验前试样质量(g);

m_1 ——试验后通过 2.36 mm 筛孔细料质量(g)。

(2) 集料压碎指标值

压碎指标值用于测定碎石或砾石抗压碎能力,以鉴定水泥混凝土粗集料品质。按照国标《建筑用卵石、碎石》(GB/T 14685—2001),该方法是将 9.5 ~ 19.0 mm(方孔筛)的集料试样 3 000 g,分二层装入圆模(内径 152 mm,装料高度 100 mm 左右)内,每装完一层试样后,在底盘下面垫放一直径为 10 mm 的圆钢,将筒按住,左右交替颠击地面各 25 次。将试模移于压力机上,按 1 kN/s 的速度均匀加荷至 200 kN,并稳定 5 s,然后卸荷,测定通过 2.36 mm(方孔)筛孔的碎屑的质量占原集料总质量的百分率,即为压碎性指标值。

(3) 集料磨光值

现代高速交通的行车条件对路面的抗滑性提出了更高的要求。作为路面用的集料,在车辆轮胎的作用下,不仅要求具有高的抗磨耗性,而且要求具有高的抗磨光性。集料的抗磨光性,按我国现行试验规程(JTJ 058 T 0321—94)规定,是采用石料磨光值(Polished Stone Value 简称 PSV)来表示。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。

集料磨光值的试验方法是选取(圆孔筛)10 ~ 15 mm(相当于方孔筛 9.5 ~ 13.2 mm)集料试样,密排于试模中,先用砂填密集料间空隙,然后再用环氧树脂砂浆固结,经养护 24 h 后,即制成试件。每种集料要制备 4 块试件。将制备好的试件安装于加速磨光机的道路轮上(如图 1-4)当电机开动时,模拟汽车轮胎即以 640 r/min ± 10 r/min 的转速旋转,道路轮在轮胎带动下随之旋转,在两轮之间加入水和金刚砂,使试件受到磨料金刚砂的磨耗。先用 30 号金刚砂磨 3 h,然后用 280 号金刚砂磨 3 h。共经磨耗 6 h 后取下试件,冲洗去金刚砂,用摆式仪测定试件的摩擦系数值,乘以折算系数及按标准试件磨光平均值换算后,即可得到石料磨光值。

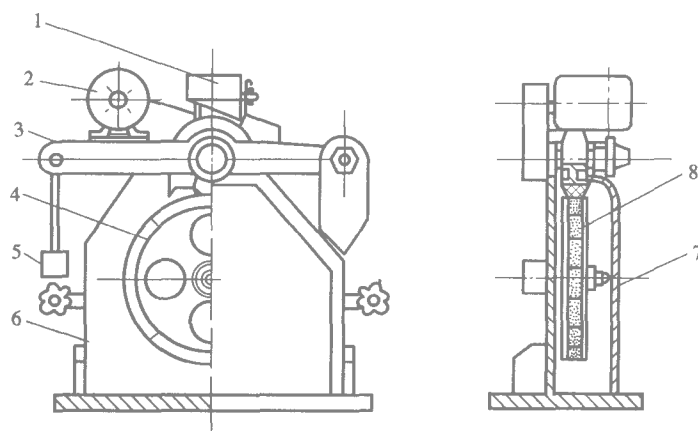


图 1-4 加速磨光机

1—金刚砂箱；2—电动机；3—模拟汽车轮胎；4—道路轮；
5—配重锤；6—底座；7—罩壳；8—试件

(4) 集料冲击值

集料抵抗多次连续重复冲击荷载作用的性能，称为抗冲击性。按照现行试验规程（JTJ 058 T 0322—2000）规定，集料抗冲击能力采用‘集料冲击值’表示。

集料冲击值的试验方法是，选取粒径为 9.5 ~ 13.2 mm（方孔筛）的集料试样，用金属量筒分三次捣实的方法确定试验用集料数量。将集料装于冲击值试验仪的盛样器中，用捣实杆捣实 25 次，使其初步压实。然后用质量 $13.75 \text{ kg} \pm 0.05 \text{ kg}$ 的冲击锤，沿捣杆自 $380 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ 处自由落下锤击集料，并连续锤击 15 次，每次锤击间隔时间不少于 1 s。

将试验后的集料在 2.36 mm 的筛上筛分并称量。冲击值按下式计算：

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

式中：LSV——集料的冲击值；

m_1 ——试验后通过 2.36 mm 的试样质量(g)；

m ——原试样质量(g)。

(5) 集料磨耗值(道瑞试验)

集料磨耗值用于评定抗滑表层所用粗集料抵抗车轮撞击及磨耗的能力。按现行试验规程（JTJ 058 T 0323—2000）规定，采用道瑞磨耗试验机（Dorry abrasion testing machine）来测定集料磨耗值（简称 AAV）。其方法是选取粒径为 9.5 ~ 13.2 mm（方孔筛）、洗净、烘干的集料试样，单层紧排于两个试模内（不少于 24 粒），然后排砂并用环氧树脂砂浆填充密实。经 24 h 养护后，拆模取出试件，刷清残砂，准确称出试样质量，然后将试件安装在试验机附的托盘上。为保证试件受磨时的压力固定，应使试件、托盘和配重的总质量为 $2000 \text{ g} \pm 10 \text{ g}$ 。将试件安装于道瑞磨耗机上，道瑞磨耗机的磨盘以 28 ~ 30 r/min 的转速旋转，与此同时，料斗上的石英砂、磨料可均匀地撒于磨盘上，石英砂磨料流速应保证为 700 ~ 900 g/min。可预磨 100 圈，以调整流速，然后再磨 400 圈，共磨 500 圈，取出试件，刷净残砂，准确称取试件质量。每块试件的集料磨耗值按下式计算：

$$AAV = \frac{3(m_1 - m_2)}{\rho_s} \quad (1-10)$$

式中: AAV——集料磨耗值;

m_1 ——磨耗前试件的质量 (g);

m_2 ——磨耗后试件的质量 (g);

ρ_s ——集料饱和面干密度 (g/cm^3)。

集料磨耗值愈高, 表明集料的耐磨性愈差。高速公路、一级公路抗滑层用集料的 AAV 应不大于 14。

(二) 细集料的技术性质

细集料的技术性质与粗集料的技术性质基本相同, 但是由于细度的特点, 亦有不同之处。

1. 物理常数

细集料的表观密度、堆积密度和空隙率等物理常数的含义与粗集料完全相同, 但是由于它的粒径较小, 所需试样数量可以减少, 测定精度亦可提高, 因之测定与计算的方法稍有不同。

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。砂的筛分试验, 是取试样 500 g, 在一整套标准筛上进行筛分, 分别求出试样存留在各筛上质量。然后按下述方法计算其级配有关参数。

(1) 分计筛余百分率

在某号筛上的筛余质量占试样总质量的百分率, 可按下式求得:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \times 100\% \quad (1-11)$$

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 ——试样总质量 (g)。

(2) 累计筛余百分率

某号筛的分计筛余百分率和大于某号筛的各筛分计筛余百分率之总和按下式求得:

$$A_i = a_1 + a_2 + \cdots + a_i \quad (1-12)$$

式中: A_i ——累计筛余 (%);

$a_1, a_2, \cdots, a_i$ ——从 4.75 mm, 2.36 mm……至计算的某号筛的分计筛余 (方孔筛) (%)。

(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, 按下式求得:

$$P_i = 100 - A_i \quad (1-13)$$

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 (或称细度模量) 表示。它是各号筛的累计筛余百分率之和除以 100 之商。细度模数按下式计算: