

粗集料、细集料

第一部分 粗集料试验

一、概念：

1.集料（骨料）

在混合料中起骨架和填充作用的粒料，包括碎石、砾石、机制砂、石屑、砂等。

2.粗集料

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 4.75mm 的碎石、砾石和破碎砾石。

3.表观密度（视密度）

单位体积（含材料的实体矿物成分及闭口孔隙体积）物质颗粒的干质量。

4.表观相对密度（视比重）

表观密度与同温度水的密度之比值。

5.表干密度（饱和面干毛体积密度）

单位体积（含材料的实体矿物成分及其闭口孔隙、开口孔隙等颗粒表面轮廓线所包围的全部毛体积）物质颗粒的饱和面干质量。

6.表干相对密度（饱和面干毛体积相对密度）

表干密度与同温度水的密度之比值。

7.毛体积密度

单位体积（含材料的实体矿物成分及其闭口孔隙、开口孔隙等颗粒表面轮廓线所包围的毛体积）物质颗粒的干质量。

8.毛体积相对密度

毛体积密度与同温度水的密度之比值。

9.石料磨耗值

按规定方法测得的石料抵抗磨耗作用的能力，其测定方法分别有洛杉矶法、道瑞法和狄法尔法。

10.石料压碎值

按规定方法测得的石料抵抗压碎的能力，以压碎试验后小于规定粒径的石料质量百分率表示。

11.集料空隙率（间隙率）

集料的颗粒之间空隙体积占集料总体积的百分比。

12.针片状颗粒

指粗集料中细长的针状颗粒与扁平的片状颗粒。当颗粒形状的诸方向中的最小厚度（或直径）与最大长度（或宽度）的尺寸之比小于规定比例时，属于针片状颗粒。

13.标准筛

对颗粒性材料进行筛分试验用的符合标准形状和尺寸规格要求的系列样品筛。标准筛筛孔为正方形（方孔筛），筛孔尺寸依次为 75mm、63mm、53mm、37.5mm、31.5mm、26.5mm、19mm、16mm、

13.2mm、9.5mm、4.75mm、2.36mm、1.18mm、0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm。

14.集料最大粒径

指集料的 100%都要求通过的最小的标准筛筛孔尺寸。

15.集料的公称最大粒径

指集料可能全部通过或允许有少量不通过（一般容许筛余不超过 10%）的最小标准筛筛孔尺寸。通常比集料最大粒径小一个粒级。

二、检测依据

- 1.《公路工程集料试验规程》JTG E42-2005
- 2.《城市道路工程施工与质量验收规范》CJJ1-2008；

三、粗集料取样法（T0301-2005）

1.适用范围

本方法适用于对粗集料的取样，也适用于含粗集料的集料混合料如级配碎石、天然砂砾等的取样方法。

2.取样方法和试样份数

2.1 通过皮带运输机的材料如采石场的生产线、沥青拌和楼的冷料输送带、无机结合料稳定集料、级配碎石混合料等，应从皮带运输机上采集样品。取样时，可在皮带运输机骤停的状态下取其中一截的全部材料（图 1-1），或在皮带运输机的端部连续接一定时间的料得到，将间隔 3 次以上所取的试样组成一组试样，作为代表性试样。



图 1-1 在皮带运输机上取样方法

2.2 在材料场同批来料的料堆上取样时，应先铲除堆脚等处无代表性的部分，再在料堆的顶部、中部和底部，各由均匀分布的几个不同部位，取得大致相等的若干份组成一组试样，务必使所取试样能代表本批来料的情况和品质。

2.3 从火车、汽车、货船上取样时，应从各不同部位和深度处，抽取大致相等的试样若干份，组成一组试样。抽取的具体份数，应视能够组成本批来料代表样的需要而定。

2.4 从沥青拌和楼的热料仓取样时。应在放料口的全断面上取样。通常宜将一开始按正式生产的配比投料拌和的几锅（至少 5 锅以上）废弃，然后分别将每个热料仓放出至装载机上，倒在水泥地上，适当拌和，从 3 处以上的位置取样，拌和均匀，取要求数量的试样。

3.取样数量

对每一单项试验，每组试样的取样数量宜不少于表 1-1 所规定的最少取样量。需做几项试验时，如确能保证试样经一项试验后不致影响另一项试验的结果时，可用同一组试样进行几项不同的试验。

表 1-1 试验项目所需粗集料的最小取样质量

试验项目	相对于下列公称最大粒径 (mm) 的最小取样量 (kg)										
	4.75	9.5	13.2	16	19	26.5	31.5	37.5	53	63	75
筛分	8	10	12.5	15	20	20	30	40	50	60	80
表观密度	6	8	8	8	8	8	12	16	20	24	24
含水率	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4	6
吸水率	2	2	2	2	4	4	4	6	6	6	8
堆积密度	40	40	40	40	40	40	80	80	100	120	120
含泥量	8	8	8	8	24	24	40	40	60	80	80
泥块含量	8	8	8	8	24	24	40	40	60	80	80
针片状含量	0.6	1.2	2.5	4	8	8	20	40	-	-	-
硫化物、硫酸盐	1.0										

注:①有机物含量, 坚固性及压碎指标值试验, 应按规定粒级要求取样, 其试验所需试样数量, 按本规程有关规定施行

②采用广口瓶法测定表观密度时, 集料最大粒径不大于 40mm 者, 其最少取样数量为 8kg。

4. 试样的缩分

4.1 分料器法: 将试样拌匀后如图 1-2 所示, 通过分料器分为大致相等的两份, 再取其中的一份分成两份, 缩分至需要的数量为止。

4.2 四分法: 如图 1-3 所示。将所取试样置于平板上, 在自然状态下拌和均匀, 大致摊平, 然后沿互相垂直的两个方向, 把试样由中向边摊开, 分成大致相等的四份, 取其对角的两份重新拌匀, 重复上述过程, 直至缩分后的材料量略多于进行试验所必需的量

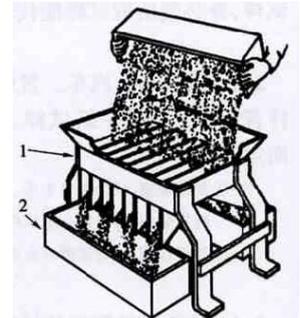


图 1-2 分料器
1-分料漏斗; 2-接料斗

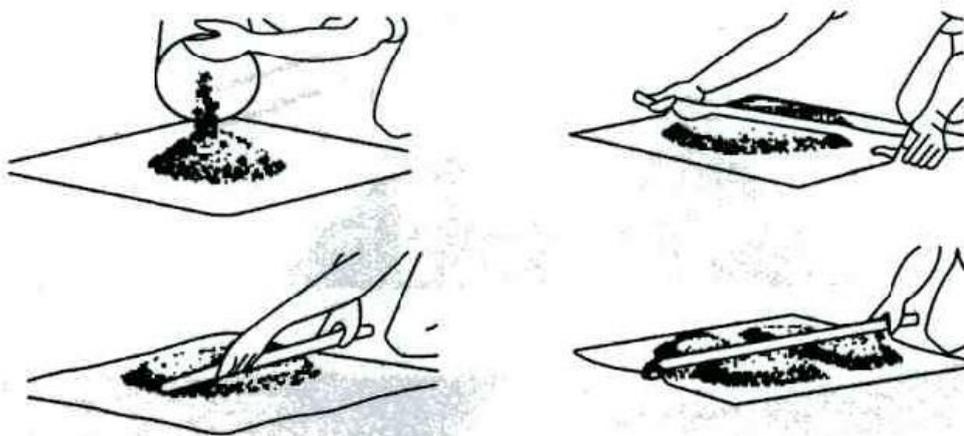


图 1-3 四分法示意图

4.3 缩分后的试样数量应符合各项试验规定数量的要求。

5. 试样的包装

每组试样应采用能避免细料散失及防止污染的容器包装, 并附卡片标明试样编号、取样时间、产地、规格、试样代表数量、试样品质、要求检验项目及取样方法等。

四、试验方法：

（一）粗集料及集料混合料的筛分试验（T0302-2005）

1.目的与适用范围

1.1 测定粗集料（碎石、砾石、矿渣等）的颗粒组成。对水泥混凝土用粗集料可采用干筛法筛分，对沥青混合料及基层用粗集料必须采用水洗法试验。

1.2 本方法也适用于同时含有粗集料、细集料、矿粉的集料混合料筛分试验，如未筛碎石、级配碎石、天然砂砾、级配砂砾、无机结合料稳定基层材料、沥青拌和楼的冷料混合料、热料仓材料、沥青混合料经溶剂抽提后的矿料等。

2.仪器设备：

- （1）试验筛：根据需要选用规定的标准筛。
- （2）摇筛机。
- （3）天平或台秤：感量不大于试样质量的 0.1%
- （4）其它：盘子、铲子、毛刷等。

3.试样准备

按规定将来料用分料器或四分法缩分至表 1-2 要求的试样所需量，风干后备用。根据需要可按要求的集料最大粒径的筛孔尺寸过筛，除去超粒径部分颗粒后，再进行筛分。

表 1-2 筛分用的试样质量

公称最大粒径（mm）	75	63	37.5	31.5	26.5	19	16	9.5	4.75
试样质量不小于（kg）	10	8	5	4	2.5	2	1	1	0.5

4.水泥混凝土用粗集料干筛法试验步骤

4.1 取试样一份置 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干至恒重，称取干燥集料试样的总质量（ m_0 ），准确至 0.1%。

4.2 用搪瓷盘作筛分容器，按筛孔大小排列顺序逐个将集料过筛。人工筛分时，需使集料在筛面上同时有水平方向及上下方向的不停顿的运动，使小于筛孔的集料通过筛孔，直至 1min 内通过筛孔的质量小于筛上残余量的 0.1% 为止；当采用摇筛机筛分时，应在摇筛机筛分后再逐个由人工补筛。将筛出通过的颗粒并入下一号筛，和下一号筛中的试样一起过筛，顺序进行，直至各号筛全部筛完为止。应确认 1min 内通过筛孔的质量确实小于筛上残余量的 0.1%。

4.3 如果某个筛上的集料过多，影响筛分作业时，可以分两次筛分。当筛余颗粒的粒径大于 19mm 时，筛分过程中允许用手指轻轻拨动颗粒，但不得逐颗塞过筛孔。

4.4 称取每个筛上的筛余量，准确至总质量的 0.1%。各筛分计筛余量及筛底存量的总和与筛分前试样的干燥总质量 m_0 相比，相差不得超过 m_0 的 0.5%。

5.沥青混合料及基层用粗集料水洗法试验步骤

5.1 取一份试样，将试样置 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干至恒重，称取干燥集料试样的总质量（ m_3 ），准确至 0.1%。

5.2 将试样置一个洁净容器中，加入足够数量的洁净水，将集料全部淹没，但不得使用任何洗涤

剂、分散剂或表面活性剂。

5.3 用搅棒充分搅动集料，使集料表面洗涤干净，使细粉悬浮在水中，但不得破碎集料或有集料从水中溅出。

5.4 根据集料粒径大小选择组成一组套筛，其底部为 0.075mm 标准筛，上部为 2.36mm 或 4.75mm 筛。仔细将容器中混有细粉的悬浮液倒出，经过套筛流入另一容器中，尽量不将粗集料倒出，以免损坏标准筛筛面。

注：无需将容器中的全部集料都倒出，只倒出悬浮液。且不可直接倒至 0.075mm 筛上，以免集料掉出损坏筛面。

5.5 重复 5.2~5.4 步骤，直至倒出的水洁净为止，必要时可采用水流缓慢冲洗。

5.6 将套筛每个筛子上的集料及容器中的集料全部回收在一个搪瓷盘中，容器上不得有沾附的集料颗粒。

注：沾在 0.075 mm 筛面上的细粉很难回收扣入搪瓷盘中，此时需将筛子倒扣在搪瓷盘上用少量的水并助以毛刷将细粉刷落入搪瓷盘中，并注意不要散失。

5.7 在确保细粉不散失的前提下，小心泌去搪瓷盘中的积水，将搪瓷盘连同集料一起置 105°C ± 5°C 烘箱中烘干至恒重，称取干燥集料试样的总质量 (m_4)，准确至 0.1%。以 m_3 与 m_4 之差作为 0.075mm 的筛下部分。

5.8 将回收的干燥集料按干筛方法筛分出 0.075mm 筛以上各筛的筛余量，此时 0.075mm 筛下部分应为 0，如果尚能筛出，则应将其并入水洗得到的 0.075mm 的筛下部分，且表示水洗得不干净。

6. 计算：

6.1 干筛法筛分结果的计算

(1) 计算各筛分计筛余量及筛底存量的总和与筛分前试样的干燥总质量 m_0 之差，作为筛分时的损耗，并计算损耗率，若损耗率大于 0.3%，应重新进行试验。

$$m_5 = m_0 - (\sum m_i + m_{\text{底}}) \quad (1-1)$$

式中： m_5 ——由于筛分造成的损耗 (g)；

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 0.075mm、0.15mm……至集料最大粒径的排序；

$m_{\text{底}}$ ——筛底 (0.075mm 以下部分) 集料总质量 (g)。

(2) 干筛分计筛余百分率

干筛后各号筛上的分计筛余百分率按式 (1-2) 计算，精确至 0.1%。

$$p'_i = \frac{m_i}{m_0 - m_5} \times 100 \quad (1-2)$$

式中： p'_i ——各号筛上的分计筛余百分率 (%)；

m_5 ——由于筛分造成的损耗 (g)；

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 0.075mm、0.15mm……至集料最大粒径的排序。

(3) 干筛累计筛余百分率

各号筛的累计筛余百分率为该号筛以上各号筛的分计筛余百分率之和，精确至 0.1%。

(4) 干筛各号筛的质量通过百分率

各号筛的质量通过百分率 P_i 等于 100 减去该号筛累计筛余百分率，精确至 0.1%。

(5) 由筛底存量除以扣除损耗后的干燥集料总质量计算 0.075mm 筛的通过率。

(6) 试验结果以两次试验的平均值表示，精确至 0.1%。当两次试验结果 $P_{0.075}$ 的差值超过 1% 时，试验应重新进行。

6.2 水筛法筛分结果的计算

(1) 按式 (1-3)、(1-4) 计算粗集料中 0.075mm 筛下部分质量 $m_{0.075}$ 和含量 $P_{0.075}$ ，精确至 0.1%。当两次试验结果 $P_{0.075}$ 的差值超过 1% 时，试验应重新进行。

$$m_{0.075} = m_3 - m_4 \quad (1-3)$$

$$P_{0.075} = \frac{m_{0.075}}{m_3} = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100 \quad (1-4)$$

式中： $P_{0.075}$ ——粗集料中小于 0.075mm 的含量（通过率）（%）；

$m_{0.075}$ ——粗集料中水洗得到的小于 0.075mm 部分的质量 (g)；

m_3 ——用于水洗的干燥粗集料总质量 (g)；

m_4 ——水洗后的干燥粗集料总质量 (g)。

(2) 计算各筛分计筛余量及筛底存量的总和与筛分前试样的干燥总质量 m_4 之差，作为筛分时的损耗。若损耗率大于 0.3%，应重新进行试验。

$$m_5 = m_3 - (\sum m_i + m_{0.075}) \quad (1-5)$$

式中： m_5 ——由于筛分造成的损耗 (g)；

m_3 ——用于水筛筛分的干燥集料总质量 (g)；

m_i ——各号筛上的分计筛余 (g)；

i ——依次为 0.075mm、0.15mm……至集料最大粒径的排序；

$m_{0.075}$ ——水洗后得到的 0.075mm 以下部分质量 (g)，即 $(m_3 - m_4)$ 。

(3) 计算其它各筛的分计筛余百分率、累计筛余百分率、质量通过百分率，计算方法与干筛法相同。当干筛筛分有损耗时，应按 6.1 的方法从总质量中扣除损耗部分。

(4) 试验结果以两次试验的平均值表示。

注：如筛底 $m_{底}$ 的值不是 0，应将其并入 $m_{0.075}$ 中重新计算 $P_{0.075}$ 。

6.3 报告

(1) 筛分结果以各筛孔的质量通过百分率表示，记录为表格形式。

(2) 对用于沥青混合料、基层材料配合比设计用的集料，宜绘制集料筛分曲线，其横坐标为筛

孔尺寸的 0.45 次方（见表 1-3），纵坐标为普通坐标，如图 1-4 所示。

表 1-3 级配曲线的横坐标（按 $x=d_i^{0.45}$ 计算）

筛孔 d_i (mm)	0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75
横坐标 x	0.312	0.426	0.582	0.795	1.077	1.472	2.016
筛孔 d_i (mm)	9.5	13.2	16	19	26.5	31.5	37.5
横坐标 x	2.745	3.193	3.482	3.762	4.370	4.723	5.109

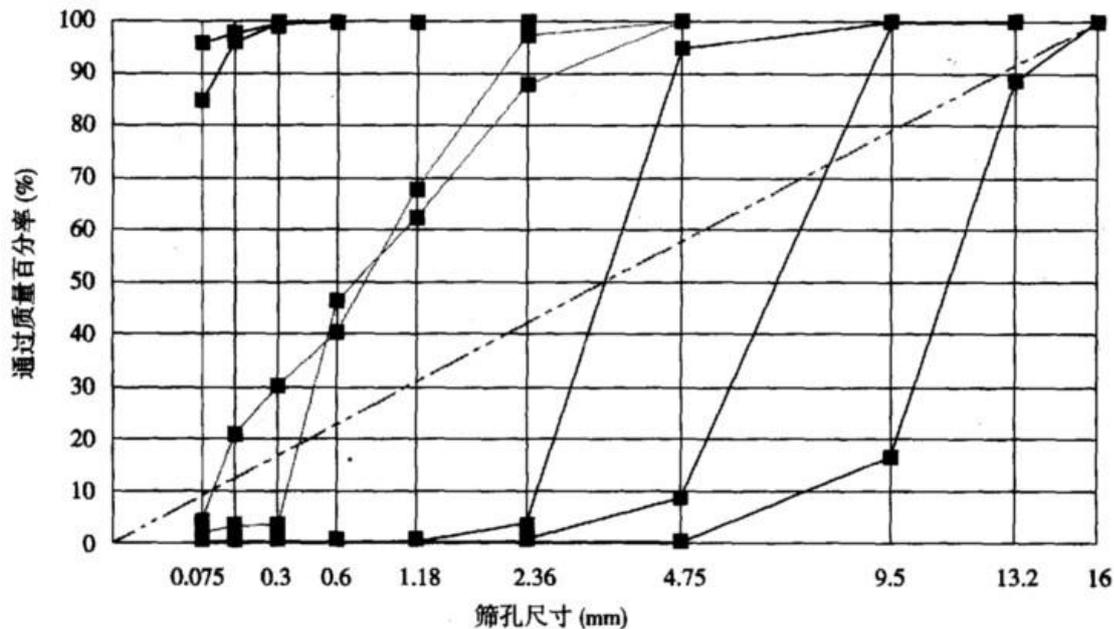


图 1-4 集料筛分曲线与矿料级配设计曲线

(3) 同一种集料至少取两个试样平行试验两次，取平均值作为每号筛上筛余量的试验结果，报告集料级配组成通过百分率及级配曲线。

(二) 粗集料密度及吸水率试验

1. 网篮法 (T0304-2005)

1.1 目的与适用范围

本方法适用于测定各种粗集料的表观相对密度、表干相对密度、毛体积相对密度、表观密度、表干密度、毛体积密度，以及粗集料的吸水率。

1.2 仪器设备：

- (1) 天平或浸水天平：可悬挂吊篮测定集料的水中质量，称量应满足试样数量称量要求，感量不大于最大称量的 0.05%。
- (2) 吊篮：耐锈蚀材料制成，直径和高度为 150mm 左右，四周及底部用 1mm~2mm 的筛网编制或具有密集的孔眼。
- (3) 溢流水槽：在称量水中质量时能保持水面高度一定。
- (4) 烘箱：能控温在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

- (5) 毛巾：纯棉制，洁净，也可用纯棉的汗衫布代替。
- (6) 温度计。
- (7) 标准筛。
- (8) 盛水容器（如搪瓷盘）。
- (9) 其它：刷子等。

1.3 试样准备及数量

(1) 将试样用标准筛过筛除去其中的细集料，对较粗的粗集料可用 4.75mm 筛过筛，对 2.36mm~4.75mm 集料，或者混在 4.75mm 以下石屑中的粗集料，则用 2.36mm 标准筛过筛，用四分法或分料器法缩分至要求的质量，分两份备用，对沥青路面用粗集料，应对不同规格的集料分别测定，不得混杂，所取的每一份集料试样应基本上保持原有的级配。在测定 2.36mm~4.75mm 的粗集料时，试验过程中应特别小心，不得丢失集料。

(2) 经缩分后供测定密度和吸水率的粗集料质量应符合表 1-4 的规定。

表 1-4 测定密度所需要的试样最小质量

公称最大粒径 (mm)	4.75	9.5	16	19	26.5	31.5	37.5	63	75
每一份试样的最小质量 (kg)	0.8	1	1	1	1.5	1.5	2	3	3

(3) 将每一份集料试样浸泡在水中，并适当搅动，仔细洗去附在集料表面的尘土和石粉，经多次漂洗干净至水完全清澈为止。清洗过程中不得散失集料颗粒。

1.4 试验步骤

(1) 取试样一份装入干净的搪瓷盘中，注入洁净的水，水面至少应高出试样 20mm，轻轻至搅动石料，使附着在石料上的气泡完全逸出。在室温下保持浸水 24h。

(2) 将吊篮挂在天平的吊钩上，浸入溢流水槽中，向溢流水槽中注水，水面高度至水槽的溢流孔，将天平调零，吊篮的筛网应保证集料不会通过筛孔流失，对 2.36mm~4.75mm 粗集料应更换小孔筛网，或在网篮中加放入一个浅盘。

(3) 调节水温在 15°C~25°C 范围内。将试样移入吊篮中。溢流水槽中的水面高度由水槽的溢流孔控制，维持不变称取集料的水中质量 (m_w)。

(4) 提起吊篮，稍稍滴水后，较粗的粗集料可以直接倒在拧干的湿毛巾上。将较细的粗集料 (2.36mm~4.75mm) 连同浅盘一起取出，稍稍倾斜搪瓷盘，仔细倒出余水，将粗集料倒在拧干的湿毛巾上，用毛巾吸走从集料中漏出的自由水。此步骤需特别注意不得有颗粒丢失，或有小颗粒附在吊篮上。再用拧干的湿毛巾轻轻擦干集料颗粒的表面水，至表面看不到发亮的水迹，即为饱和面干状态。当粗集料尺寸较大时，宜逐颗擦干，注意对较粗的粗集料，拧湿毛巾时不要太用力，防止拧得太干，对较细的含水较多的粗集料，毛巾可拧得稍干些，擦颗粒的表面水时，既要表面水擦掉，又千万不能将颗粒内部的水吸出，整个过程中不得有集料丢失，且已擦干的集料不得继续在空气中放置，以防止集料干燥。

注：对 2.36mm~4.75mm 集料，用毛巾擦拭时容易沾附细颗粒集料而造成集料损失，此时宜改用洁净的纯棉汗衫布擦拭至表干状态。

(5) 立即在保持表干状态下, 称取集料的表干质量 (m_f)。

(6) 将集料置于浅盘中, 放入 $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重。取出浅盘, 放在带盖的容器中冷却至室温, 称取集料的烘干质量 (m_a)。

(7) 对同一规格的集料应平行试验两次, 取平均值作为试验结果。

1.5 数据处理

(1) 表观相对密度 γ_a 、表干相对密度 γ_s 、毛体积相对密度 γ_b 按 (1-6)、(1-7)、(1-8) 计算至小数点后 3 位。

$$\gamma_a = \frac{m_a}{m_a - m_w} \quad (1-6)$$

$$\gamma_s = \frac{m_f}{m_f - m_w} \quad (1-7)$$

$$\gamma_b = \frac{m_a}{m_f - m_w} \quad (1-8)$$

式中: γ_a ——集料的表观相对密度, 无量纲;

γ_s ——集料的表干相对密度, 无量纲;

γ_b ——集料的毛体积相对密度, 无量纲;

m_a ——集料的烘干质量 (g);

m_f ——集料的表干质量 (g);

m_w ——集料的水中质量 (g)。

(2) 集料的吸水率以烘干试样为基准, 按式 (1-9) 计算, 精确至 0.01%。

$$w_x = \frac{m_f - m_a}{m_a} \times 100 \quad (1-9)$$

式中: w_x ——粗集料的吸水率 (%)。

(3) 粗集料的表观密度 (视密度) ρ_a 、表干密度 ρ_s 、毛体积密度 ρ_b , 按下式计算, 准确至小数点后 3 位。不同水温条件下测量的粗集料表观密度需进行水温修正, 不同试验温度下水的密度 ρ_T 及水的温度修正系数 α_T 见表 1-5。

$$\rho_a = \gamma_a \times \rho_T \text{ 或 } \rho_a = (\gamma_a - \alpha_T) \times \rho_w \quad (1-10)$$

$$\rho_s = \gamma_s \times \rho_T \text{ 或 } \rho_s = (\gamma_s - \alpha_T) \times \rho_w \quad (1-11)$$

$$\rho_b = \gamma_b \times \rho_T \text{ 或 } \rho_b = (\gamma_b - \alpha_T) \times \rho_w \quad (1-12)$$

式中： ρ_a ——粗集料的表观密度（ g/cm^3 ）；
 ρ_s ——粗集料的表干密度（ g/cm^3 ）；
 ρ_b ——粗集料的毛体积密度（ g/cm^3 ）；
 ρ_T ——试验温度 T 时水的密度（ g/cm^3 ）；
 α_T ——试验温度 T 时的水温修正系数；
 ρ_w ——水在 4°C 时的密度（ 1.000g/cm^3 ）。

表 1-5 不同水温时水的密度 ρ_T 及水温修正系数 α_T

水温（°C）	15	16	17	18	19	20
水的密度 ρ_T （ g/cm^3 ）	0.99913	0.99897	0.99880	0.99862	0.99843	0.99822
水温修正系数 α_T	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005
水温（°C）	21	22	23	24	25	
水的密度 ρ_T （ g/cm^3 ）	0.99802	0.99779	0.99756	0.99733	0.99702	
水温修正系数 α_T	0.005	0.006	0.006	0.007	0.007	

（4）精密度或允许差

重复试验的精密度，对表观相对密度、表干相对密度、毛体积相对密度，两次结果相差不超过 0.02，对吸水率不得超过 0.2%。

2、容量瓶法（T0308-2005）

2.1 目的与适用范围

（1）适用于测定碎石、砾石等各种粗集料的表观相对密度、表干相对密度、毛体积相对密度、表观密度、表干密度、毛体积密度，以及粗集料的吸水率。

（2）本方法测定的结果不适用于仲裁及沥青混合料配合比设计计算理论密度时使用。

2.2 仪器与材料

（1）天平或浸水天平：可悬挂吊篮测定集料的水中质量，称量应满足试样数量称量要求，感量不大于最大称量的 0.05%。

（2）容量瓶：1000mL，也可用磨口的广口玻璃瓶代替，并带玻璃片。

（3）烘箱：能控温在 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。

（4）标准筛：4.75mm、2.36mm。

（5）其它：刷子、毛巾等。

2.3 试样准备和数量

（1）将取来样过筛，对水泥混凝土的集料采用 4.75mm 筛，沥青混合料的集料用 2.36mm 筛，分别筛去筛孔以下的颗粒。然后用四分法或分料器法缩分至表 1-6 要求的质量，分两份备用。

表 1-6 测定密度所需要的试样最小质量

公称最大粒径（mm）	4.75	9.5	16	19	26.5	31.5	37.5	63	75
每一份试样的最小质量（kg）	0.8	1	1	1	1.5	1.5	2	3	3

(2) 将每一份集料试样浸泡在水中, 仔细洗去附在集料表面的尘土和石粉, 经多次漂洗干净至水清澈为止。清洗过程中不得散失集料颗粒。

2.4 试验步骤

(1) 取试样一份装入容量瓶(广口瓶)中, 注入洁净的水(可滴入数滴洗涤灵), 水面高出试样, 轻轻摇动容量瓶, 使附着在石料上的气泡逸出。盖上玻璃片, 在室温下浸水 24h。

注: 水温应在 15°C~25°C 范围内, 浸水最后 2h 内的水温相差不得超过 2°C。

(2) 向瓶中加入水至水面凸出瓶口, 然后盖上容量瓶塞, 或用玻璃片沿广口瓶瓶口迅速滑行, 使其紧贴瓶口水面、玻璃片与水面之间不得有空隙。

(3) 确认瓶中没有气泡, 擦干瓶外的水分后, 称取集料试样、水、瓶及玻璃片的总质量 (m_2)。

(4) 将试样倒入浅搪瓷盘中, 稍稍倾斜搪瓷盘倒掉流动的水, 再用毛巾吸干漏出的自由水, 必要时可称取带表面水的试样质量 (m_4)。

(5) 用拧干的湿毛巾轻轻擦干颗粒的表面水, 至表面看不到发亮的水迹, 即为饱和面干状态。当粗集料尺寸较大时, 可逐颗擦干。注意拧湿毛巾时不要太用力, 防止拧得太干。擦颗粒的表面水时, 既要表面水擦掉, 又不能将颗粒内部的水吸出。整个过程中不得有集料丢失。

(6) 立即称取饱和面干集料的表干质量 (m_3)。

(7) 将集料置于浅盘中, 放入 105°C±5°C 的烘箱中烘干至恒重。取出浅盘, 放在带盖的容器中冷却至室温, 称取集料的烘干质量 (m_0)。

(8) 将瓶洗净, 重新装入洁净水, 盖上容量瓶塞, 或用玻璃片紧贴广口瓶瓶口水面。玻璃片与水面之间不得有空隙。确认瓶中没有气泡, 擦干瓶外水分后称取水、瓶及玻璃片的总质量 (m_1)。

2.5 数据处理:

(1) 表观相对密度 γ_a 、表干相对密度 γ_s 、毛体积相对密度 γ_b 按式(1-13)、(1-14)、(1-15)计算至小数点后 3 位。

$$\gamma_a = \frac{m_0}{m_0 + m_1 - m_2} \quad (1-13)$$

$$\gamma_s = \frac{m_3}{m_3 + m_1 - m_2} \quad (1-14)$$

$$\gamma_b = \frac{m_0}{m_3 + m_1 - m_2} \quad (1-15)$$

式中: γ_a ——集料的表观相对密度, 无量纲;

γ_s ——集料的表干相对密度, 无量纲;

γ_b ——集料的毛体积相对密度, 无量纲;

m_0 ——集料的烘干质量 (g);

m_1 ——水、瓶及玻璃片的总质量 (g);

m_2 ——集料试样、水、瓶及玻璃片的总质量 (g);

m_3 ——集料的表干质量 (g)。

(2) 集料的吸水率 ω_x 、含水率 ω 以烘干试样为基准,按式(1-16)、(1-17)计算,精确至0.1%。

$$\omega_x = \frac{m_3 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1-16)$$

$$\omega = \frac{m_4 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1-17)$$

式中: m_4 ——集料饱和状态下含表面水的湿质量 (g);

ω_x ——集料的吸水率 (%);

ω ——集料的含水率 (%).

(3) 当水泥混凝土集料需要以饱和和面干试样作为基准求取集料的吸水率 ω_x 时,按式(1-18)计算,精确至0.1%,但需在报告中予以说明。

$$\omega_x = \frac{m_3 - m_0}{m_3} \times 100\% \quad (1-18)$$

式中: ω_x ——集料的吸水率 (%).

(4) 粗集料的表观密度 ρ_a 、表干密度 ρ_s 、毛体积密度 ρ_b 按式(1-19)、(1-20)、(1-21)计算至小数点后3位。

$$\rho_a = \gamma_a \times \rho_T \text{ 或 } \rho_a = (\gamma_a - \alpha_T) \times \rho_w \quad (1-19)$$

$$\rho_s = \gamma_s \times \rho_T \text{ 或 } \rho_s = (\gamma_s - \alpha_T) \times \rho_w \quad (1-20)$$

$$\rho_b = \gamma_b \times \rho_T \text{ 或 } \rho_b = (\gamma_b - \alpha_T) \times \rho_w \quad (1-21)$$

式中: ρ_a ——集料的表观密度 (g/cm^3);

ρ_s ——集料的表干密度 (g/cm^3);

ρ_b ——集料的毛体积密度 (g/cm^3);

ρ_T ——试验温度 T 时水的密度 (g/cm^3),按表 1-5 取用;

α_T ——试验温度 T 时的水温修正系数,按表 1-5 取用;

ρ_w ——水在 4°C 时的密度 ($1.000\text{g}/\text{cm}^3$).

(5) 精密度或允许差

重复试验的精密度,两次结果之差对相对密度不得超过 0.02,对吸水率不得超过 0.2%。

(三) 粗集料含泥量及泥块含量试验 (T0310-2005)

1. 目的与适用范围

测定碎石或砾石中小于 0.075mm 的尘屑、淤泥和粘土的总含量及 4.75mm 以上泥块颗粒含量。

2. 仪器与材料

- (1) 台秤：感量不大于称量的 0.1%。
- (2) 烘箱：能控温 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 标准筛：测泥含量时用孔径为 1.18mm、0.075mm 的方孔筛各 1 只；测泥块含量时，则用 2.36mm 及 4.75mm 的方孔筛各 1 只。
- (4) 容器：容积约 10L 的桶或搪瓷盘。
- (5) 浅盘、毛刷等。

3. 试验准备

将来样用四分法或分料器法缩分至表 1-7 所规定的量（注意防止细粉丢失并防止所含粘土块被压碎），置于温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱内烘干至恒重，冷却至室温后分成两份备用。

表 1-7 含泥量及泥块含量试验所需试样最小质量

公称最大粒径 (mm)	4.75	9.5	16	19	26.5	31.5	37.5	63	75
试样的最小质量 (kg)	1.5	2	2	6	6	10	10	20	20

4 试验步骤

4.1 含泥量试验步骤

(1) 称取试样 1 份 (m_0) 装入容器内，加水，浸泡 24h，用手在水中淘洗颗粒（或用毛刷刷刷），使尘屑、粘土与较粗颗粒分开，并使之悬浮于水中；缓缓地将浑浊液倒入 1.18mm 及 0.075mm 的套筛上，滤去小于 0.075mm 的颗粒。试验前筛子的两面应先用水湿润，在整个试验过程中，应注意避免大于 0.075mm 的颗粒丢失。

(2) 再次加水于容器中，重复上述步骤，直到洗出的水清澈为止。

(3) 用水冲洗余留在筛上的细粒，并将 0.075mm 筛放在水中（使水面略高于筛内颗粒）来回摇动，以充分洗除小于 0.075mm 的颗粒。而后将两只筛上余留的颗粒和容器中已经洗净的试样一并装入浅盘，置于温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，取出冷却至室温后，称取试样的质量 (m_1)

4.2 泥块含量试验步骤

(1) 取试样 1 份。

(2) 用 4.75mm 筛将试样过筛，称出筛去 4.75mm 以下颗粒后的试样质量 (m_2)

(3) 将试样在容器中摊平，加水使水面高出试样表面，24h 后将水放掉，用手捻压泥块，然后将试样放在 2.36mm 筛上用水冲洗，直至洗出的水清澈为止。

(4) 小心地取出 2.36mm 筛上试样，置于温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，取出冷却至室温后称量 (m_3)。

5 数据处理：

(1) 碎石或砾石的含泥量按下式计算，精确至 0.1%。

$$Q_n = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (1-22)$$

式中： Q_n ——碎石或砾石的含泥量 (%)；

m_0 ——试验前烘干试样质量 (g)；

m_1 ——试验后烘干试样质量 (g)。

以两次试验的算术平均值作为测定值, 两次结果的差值超过 0.2% 时, 应重新取样进行试验, 对沥青路面用集料, 此含泥量记为小于 0.075mm 颗粒含量。

(2) 碎石或砾石中粘土泥块含量按式 (1-23) 计算, 精确至 0.1%。

$$Q_k = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \quad (1-23)$$

式中: Q_k ——碎石或砾石中粘土泥块含量 (%) ;

m_2 ——4.75mm 筛筛余量 (g) ;

m_3 ——试验后烘干试样质量 (g)。

以两个试样两次试验结果的算术平均值为测定值, 两次结果的差值超过 0.1% 时, 应重新取样进行试验。

(四) 针片状颗粒含量试验

1. 水泥混凝土用粗集料针片状颗粒含量试验 (规范仪法) (T0311-2005)

1.1 目的与适用范围

(1) 本方法适用于测定水泥混凝土使用的 4.75mm 以上的粗集料的针状及片状颗粒含量, 以百分率计。

(2) 本方法测定的针片状颗粒, 是指使用专用规准仪测定的粗集料颗粒的最小厚度 (或直径) 方向与最大长度 (或宽度) 方向的尺寸之比小于一定比例的颗粒。

(3) 本方法测定的粗集料中针片状颗粒的含量, 可用于评价集料的形状及其在工程中的适用性。

1.2 仪器与材料

(1) 水泥混凝土集料针状规准仪和片状规准仪见图 1-5 和图 1-6, 片状规准仪的钢板基板厚度 3mm, 尺寸应符合表 1-8 的要求。

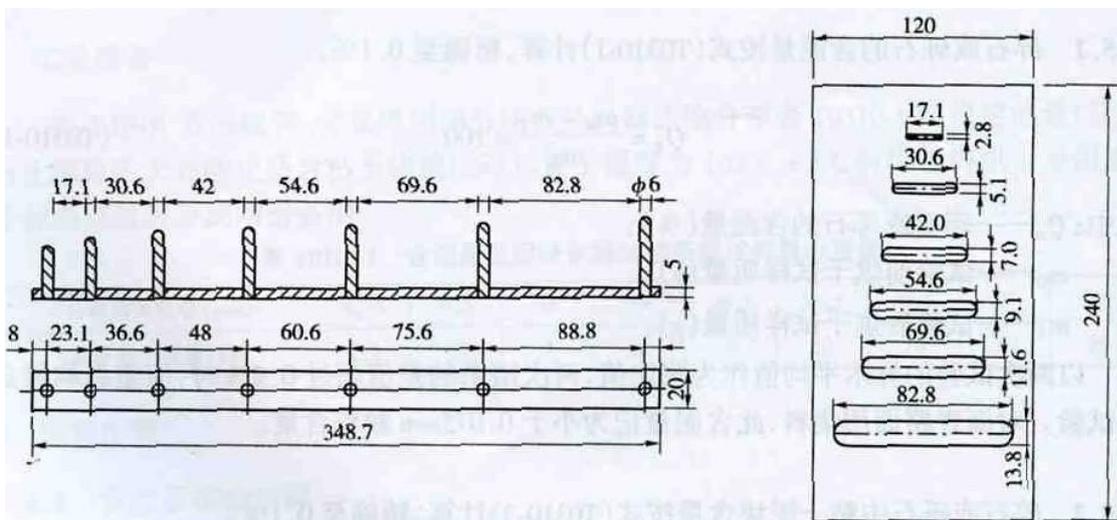


图 1-5 针状规准仪 (尺寸单位: mm)

图 1-6 片状规准仪 (尺寸单位: mm)

表 1-8 水泥混凝土集料针片状颗粒试验的粒级划分及其相应的规准仪孔宽或间距

粒级（方孔筛）（mm）	4.75~9.5	9.5~16	16~19	19~26.5	26.5~31.5	31.5~37.5
针状规准仪上相对应的立柱之间的间距宽（mm）	17.1 (B ₁)	30.6 (B ₂)	42.0 (B ₃)	54.6 (B ₄)	69.6 (B ₅)	82.8 (B ₆)
片状规准仪上相时的孔宽（mm）	2.8 (A ₁)	5.1 (A ₂)	7.0 (A ₃)	9.1 (A ₄)	11.6 (A ₅)	13.8 (A ₆)

(2) 天平或台秤：感量不大于称量值的 0.1%。

(3) 标准筛：孔径分别为 4.75mm、9.5mm、16mm、19mm、26.5mm、31.5mm、37.5mm，试验时根据需要选用。

1.3 试验准备

将来样在室内风干至表面干燥，并用四分法或分料器法缩分至满足表 1-4-2 规定的质量，称量（m），然后筛分成表 1-9 所规定的粒级备用。

表 1-9 针片状颗粒试验所需的试样最小质量

公称最大粒径（mm）	9.5	16	19	26.5	31.5	37.5	37.5	37.5
试样的最小质量（kg）	0.3	1	2	3	5	10	10	10

1.4 试验步骤

(1) 目测挑出接近立方体形状的规则颗粒，将目测有可能属于针片状颗粒的集料按表 1-9 所规定的粒级用规准仪逐粒对试样进行针状颗粒鉴定，挑出颗粒长度大于针状规准仪上相应间距而不能通过者，为针状颗粒。

(2) 将通过针状规准仪上相应间距的非针状颗粒逐粒对试样进行片状颗粒鉴定，挑出厚度小于片状规准仪上相应孔宽能通过者，为片状颗粒。

(3) 称量由各粒级挑出的针状颗粒和片状颗粒的质量，其总质量为 m_1 。

1.5 数据处理

碎石或砾石中针片状颗粒含量按式（1-24）计算，精确至 0.1%。

$$Q_e = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (1-24)$$

式中： Q_e ——试样的针片状颗粒含量（%）；

m_1 ——试样中所含针状颗粒与片状颗粒的总质量（g）；

m_0 ——试样总质量（g）。

注：如果需要可以分别计算针状颗粒和片状颗粒的含量百分数。

2.粗集料针片状颗粒含量试验（游标卡尺法）（T0312-2005）

2.1 目的与适用范围

(1) 本方法适用于测定粗集料的针状及片状颗粒含量，以百分率计。

(2) 本方法测定的针片状颗粒，是指用游标卡尺测定的粗集料颗粒的最大长度（或宽度）方向与最小厚度（或直径）方向的尺寸之比大于 3 倍的颗粒。有特殊要求采用其它比例时，应在试验报告中注明。

(3) 本方法测定的粗集料中针片状颗粒的含量，可用于评价集料的形状和抗压碎能力，以评定

石料生产厂的生产水平及该材料在工程中的适用性。

2.2 仪器与材料

- (1) 标准筛：方孔筛 4.75mm。
- (2) 游标卡尺：精密度为 0.1mm。
- (3) 天平：感量不大于 1g。

2.3 试验步骤

- (1) 按粗集料取样法，采集粗集料试样。
- (2) 按分料器法或四分法选取 1kg 左右的试样。对每一种规格的粗集料，应按照不同的公称粒径，分别取样检验。
- (3) 用 4.75mm 标准筛将试样过筛，取筛上部分供试验用，称取试样的总质量 m_0 ，准确至 1g，试样数量应不少于 800g，并不少于 100 颗。

注：对 2.36mm~4.75mm 级粗集料，由于卡尺量取有困难，故一般不作测定。

(4) 将试样平摊于桌面上，首先用目测挑出接近立方体的颗粒，剩下可能属于针状（细长）和片状（扁平）的颗粒。

(5) 按图 1-7 所示的方法将欲测量的颗粒放在桌面上成一稳定的状态，图中颗粒平面方向的最大长度为 L ，侧面厚度的最大尺寸为 t ，颗粒最大宽度为 w ($t < w < L$)，用卡尺逐颗测量石料的 L 及 t ，将 $L/t \geq 3$ 的颗粒（即最大长度方向与最大厚度方向的尺寸之比大于 3 的颗粒）分别挑出作为针片状颗粒。称取针片状颗粒的质量 m_1 ，准确至 1g。

注：稳定状态是指平放的状态，不是直立状态，侧面厚度的最大尺寸 t 为图中状态的颗粒顶部至平台的厚度是在最薄的一个面上测量的，但并非颗粒中最薄部位的厚度。

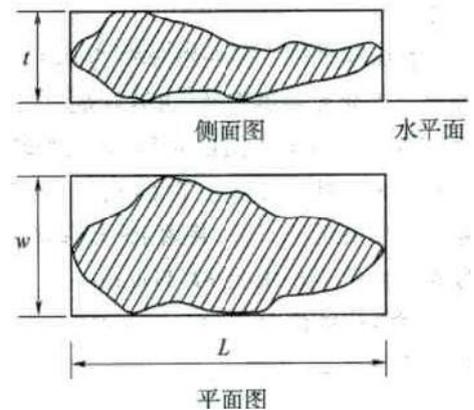


图 1-7 针片状颗粒稳定状态

2.4 数据处理

按公式 (1-25) 计算针片状颗粒含量。

$$Q_e = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (1-25)$$

式中： Q_e ——针片状颗粒含量（%）；

m_1 ——试验用的集料总质量（g）；

m_0 ——针片状颗粒的质量（g）。

2.5 报告

(1) 试验要平行测定两次，计算两次结果的平均值，如两次结果之差小于平均值的 20%，取平均值为试验值；如大于或等于 20%，应追加测定一次，取三次结果的平均值为测定值。

(2) 试验报告应报告集料的种类、产地、岩石名称、用途。

(五) 坚固性试验 (T0314-2000)

1.目的与适用范围

本方法是确定碎石或砾石经饱和硫酸钠溶液多次浸泡与烘干循环，承受硫酸钠结晶压而不发生显著破坏或强度降低的性能，是测定石料坚固性能（也称安定性）的方法。

2 仪器与材料

- (1) 烘箱：能使温度控制在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 天平：称量 5kg ，感量不大于 1g 。
- (3) 标准筛：根据试样的粒径，按表 1-10 选用。

表 1-10 坚固性试验所需的各粒级试样质量

公称粒级 (mm)	2.36~4.75	4.75~9.5	9.5~19	19~37.5	37.5~63	63~75
试样质量 (g)	500	500	1000	1500	3000	5000

注：①粒级为 $9.5\text{mm} \sim 19\text{mm}$ 的试样中，应含有 $9.5\text{mm} \sim 16\text{mm}$ 粒级颗粒 40%， $16\text{mm} \sim 19\text{mm}$ 粒级颗粒 60%。

②①粒级为 $19\text{mm} \sim 37.5\text{mm}$ 的试样中，应含有 $19\text{mm} \sim 31.5\text{mm}$ 粒级颗粒 40%， $31.5\text{mm} \sim 37.5\text{mm}$ 粒级颗粒 60%。

- (4) 容器：搪瓷盆或瓷缸，容积不小于 50L 。

(5) 三角网篮：网篮的外径为 100mm ，高为 150mm ，采用孔径不大于 2.36mm 的铜网或不锈钢丝制成；检验 $37.5\text{mm} \sim 75\text{mm}$ 的颗粒时，应采用外径和高均为 250mm 的网篮。

- (6) 试剂：无水硫酸钠和 10 水结晶硫酸钠（工业用）。

3 试验准备

3.1 硫酸钠溶液的配制

取一定数量的蒸馏水（多少取决于试样及容器大小），加温至 $30^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，每 1000mL 蒸馏水加入无水硫酸钠 (Na_2SO_4) $300\text{g} \sim 350\text{g}$ 或 10 水硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) $700\text{g} \sim 1000\text{g}$ ，用玻璃棒搅拌，使其溶解并饱和。然后冷却至 $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ ；在此温度下静置 48h ，其相对密度应保持在 $1.151 \sim 1.174$ （波美度为 $18.9 \sim 21.4$ ）范围内。试验时容器底部应无结晶存在。

3.2 试样的制备

将试样按表 1-10 的规定分级，洗净，放入 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱内烘干 4h ，取出并冷却至室温，然后按表 1-10 规定的质量称取各粒级试样质量 m_i 。

4 试验步骤

4.1 将所称取的不同粒级的试样分别装入三角网篮并浸入盛有硫酸钠溶液的容器中，溶液体积应不小于试样总体积的 5 倍，温度应保持在 $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 的范围内，三角网篮浸入溶液时应先上下升降 25 次以排除试样中的气泡，然后静置于该容器中；此时，网篮底面应距容器底面约 30mm （由网篮脚高控制），网篮之间的间距应不小于 30mm ，试样表面至少应在液面以下 30mm 。

4.2 浸泡 20h 后，从溶液中提出网篮，放在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘烤 4h ，至此，完成了第一个试验循环。待试样冷却至 $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 后，即开始第二次循环。从第二次循环起，浸泡及烘烤时间均可为 4h 。

4.3 完成五次循环后，将试样置于 $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 的清水中洗净硫酸钠，再放入 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，待冷却至室温后，用试样粒级下限筛孔过筛，并称量各粒级试样试验后的筛余量 m_i' 。

注：试样中硫酸钠是否洗净，可按下法检测：取洗试样的水数毫升，滴入少量氯化钡（BaCl₂）溶液，如无白色沉淀，及说明硫酸钡已被洗净。

4.4 对粒径大于 19mm 的试样部分，应在试验前后分别记录其颗粒数量，并作外观检查，描述颗粒的裂缝、剥落、掉边和掉角等情况及其所占的颗粒数量，以作为分析其坚固性时的补充依据。

5、数据处理

5.1 试样中各粒级颗粒的分计质量损失百分率按式（1-26）计算。

$$Q_i = \frac{m_i - m_i'}{m_i} \times 100 \quad (1-26)$$

式中：Q_i——各粒级颗粒的分计质量损失百分率（%）；

m_i——各粒级试样试验前的烘干质量（g）；

m_i'——经硫酸钠溶液法试验后各粒级筛余颗粒的烘干质量（g）

5.2 试样总质量损失百分率按式（1-27）计算，精确至 1%。

$$Q = \frac{\sum m_i Q_i}{\sum m_i} \quad (1-27)$$

式中：Q——试样总质量损失百分率（%）；

m_i——试样中各粒级的分计质量，g；

Q_i——各粒级的分计质量损失百分率（%）。

（六）压碎值试验（T0316-2005）

1.目的与适用范围

集料压碎值用于衡量石料在逐渐增加的荷载下抵抗压碎的能力，是衡量石料力学性质的指标，以评定其在公路工程中的适用性。

2.仪器与材料

（1）石料压碎值试验仪：由内径 150mm、两端开口的钢制圆形试筒、压柱和底板组成，其形状和尺寸见图 1-8 和表 1-11。试筒内壁、压柱的底面及底板的上面等与石料接触的表面都应进行热处理，使表面硬化，达到维氏硬度 65° 并保持光滑状态。

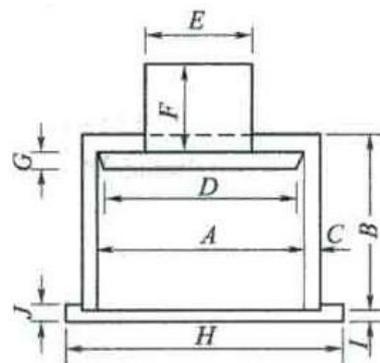


图 1-8 压碎指标值测定仪
(尺寸单位 mm)

表 1-11 试筒、压柱和底板尺寸

部 位	符 号	名 称	尺 寸 (mm)
试筒	A	内径	150±0.3
	B	高度	125~128
	C	壁厚	≥12
压柱	D	压头直径	149±0.2
	E	压杆直径	100~149
	F	压柱总长	100~110
	G	压头厚度	≥25
底板	H	直径	200~220
	I	厚度 (中间部分)	6.4±0.2
	J	边缘厚度	10±0.2

(2) 金属棒：直径 10mm，长 450mm~600mm，一端加工成半球形。

(3) 天平：称量 2kg~3kg，感量不大于 1g。

(4) 标准筛：筛孔尺寸 13.2mm、9.5mm、2.36mm 方孔筛各一个。

(5) 压力机：500kN，应能在 10min 内达到 400kN。

(6) 金属筒：圆柱形，内径 112.0mm，高 179.4mm，容积 1767cm³。

3. 试验准备

3.1 采用风干石料用 13.2mm 和 9.5mm 标准筛过筛，取 9.5mm~13.2mm 的试样 3 组各 3000g，供试验用。如过于潮湿需加热烘干时，烘箱温度不得超过 100℃，烘干时间不超过 4h。试验前，石料应冷却至室温。

3.2 每次试验的石料数量应满足按下述方法夯击后石料在试筒内的深度为 100mm。

在金属筒中确定石料数量的方法如下：

将试样分 3 次（每次数量大体相同）均匀装入试模中，每次均将试样表面整平，用金属棒的半球面端从石料表面上均匀捣实 25 次。最后用金属棒作为直刮刀将表面仔细整平。称取量筒中试样质量 (m_0)。以相同质量的试样进行压碎值的平行试验。

4. 试验步骤

4.1 将试筒安放在底板上。

4.2 将要求质量的试样分 3 次（每次数量大体相同）均匀装入试模中，每次均将试样表面整平，用金属棒的半球面端从石料表面上均匀捣实 25 次。最后用金属棒作为直刮刀将表面仔细整平。

4.3 将装有试样的试模放到压力机上，同时加压头放入试筒内石料面上，注意使压头摆平，勿楔挤试模侧壁。

4.4 开动压力机，均匀地施加荷载，在 10min 左右的时间内达到总荷载 400kN，稳压 5s，然后卸荷。

4.5 将试模从压力机上取下，取出试样。

4.6 用 2.36mm 标准筛筛分经压碎的全部试样，可分几次筛分，均需筛到在 1min 内无明显的筛出物为止。

4.7 称取通过 2.36mm 筛孔的全部细料质量 (m_1)，准确至 1g。

5. 数据处理

5.1 石料压碎值按式 (1-28) 计算，精确至 0.1%。

$$Q'_a = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (1-28)$$

式中： Q'_a ——石料压碎值 (%)；

m_1 ——试验前试样质量 (g)；

m_0 ——试验后通过 2.36mm 筛孔的细料质量 (g)。

5.2 报告

以 3 个试样平行试验结果的算术平均值作为压碎值的测定值。

(七) 磨耗试验 (洛杉矶法) (T0317-2005)

1. 目的与适用范围

1.1 测定标准条件下粗集料抵抗摩擦、撞击的能力，以磨耗损失 (%) 表示。

1.2 本方法适用于各种等级规格集料的磨耗试验。

2 仪器与材料

(1) 洛杉矶磨耗试验机：圆筒内径 710mm±5mm，内侧长 510mm±5mm，两端封闭，投料口的钢盖通过紧固螺栓和橡胶垫与钢筒紧闭密封。钢筒的回转速率为 30r/min~33r/min。

(2) 钢球：直径约 46.8mm，质量为 390g~445g，大小稍有不同，以便按要求组合成符合要求的总质量。

(3) 台秤：感量 5g。

(4) 标准筛：符合要求的标准筛系列，以及筛孔为 1.7mm 的方孔筛一个。

(5) 烘箱：能使温度控制在 105℃±5℃ 范围内。

(6) 容器：搪瓷盘等。

3 试验步骤

3.1 将不同规格的集料用水冲洗干净，置烘箱中烘干至恒重。

3.2 对所使用的集料，根据实际情况按表 1-12 选择最接近的粒级类别，确定相应的试验条件，按规定的粒级组成备料、筛分。其中水泥混凝土用集料宜采用 A 级粒度；沥青路面及各种基层、底基层的粗集料，表中的 16mm 筛孔也可用 13.2mm 筛孔代替。对非规格材料，应根据材料的实际粒度，从表 1-12 中选择最接近的粒级类别及试验条件。

表 1-12 粗集料洛杉矶试验条件

粒级类别	粒级组成 (mm)	试样质量 (g)	试样总质量 (g)	钢球数量 (个)	钢球总质量 (g)	转动次数 (转)	适用的粗集料

							规格	公称粒径 (mm)
A	26.5~37.5 19.0~26.5 16.0~19.0 9.5~16.0	1250±25 1250±25 1250±10 1250±10	5000±10	12	5000±25	500		
B	19.0~26.5 16.0~19.0	2500±10 2500±10	5000±10	11	4850±25	500	S6 S7 S8	15~30 10~30 10~25
C	9.5~16.0 4.75~9.5	2500±10 2500±10	5000±10	8	3320±20	500	S9 S10 S11 S12	10~20 10~15 5~15 5~10
D	2.36~4.75	5000±10	5000±10	6	2500±15	500	S13 S14	3~10 3~5
E	63~75 53~63 37.5~53	2500±50 2500±50 5000±50	10000±100	12	5000±25	1000	S1 S2	40~75 40~60
F	37.5~53 26.5~37.5	5000±50 5000±25	10000±75	12	5000±25	1000	S3 S4	30~60 25~50
G	26.5~37.5 19~26.5	5000±25 5000±25	10000±50	12	5000±25	1000	S5	20~40

注：①表中 16mm 也可用 13.2mm 代替。

②A 级适用于未筛碎石混合料及水泥混凝土用集料。

③C 级中 S12 可全部采用 4.75mm~9.5mm 颗粒 5000g；S9 及 S10 可全部采用 9.5mm~16mm 颗粒 5000g。

④E 级中 S2 中缺 63mm~75mm 颗粒可用 53mm~63mm 颗粒代替。

3.3 分级称量（准确至 5g），称取总质量（ m_1 ），装入磨耗机圆筒中。

3.4 选择钢球，使钢球的数量及总质量符合表 1-12 中规定，将钢球加入钢筒中，盖好筒盖，紧固密封。

3.5 将计数器调整到零位，设定要求的回转次数，对水泥混凝土集料，回转次数为 500 转，对沥青混合料集料，回转次数应符合表 1-12 的要求。开动磨耗机，以 30r/min~33r/min 转速转动至要求的回转次数为止。

3.6 取出钢球，将经过磨耗后的试样从投料口倒入接受容器（搪瓷盘）中。

3.7 将试样用 1.7mm 的方孔筛过筛，筛去试样中被撞击磨碎的细屑。

3.8 用水冲干净留在筛上的碎石，置 105℃±5℃烘箱中烘干至恒重（通常不少于 4h），准确称量（ m_2 ）。

4 数据处理

4.1 按下式计算粗集料洛杉矶磨耗损失，精确至 0.1%。

$$Q = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (1-29)$$

式中：Q——洛杉矶磨耗损失（%）；

m_1 ——装入圆筒中试样质量（g）；

m_2 ——试验后在 1.7mm 筛上洗净烘干的试样质量（g）。

4.2 试验报告应记录所使用的粒级类别和试验条件。

4.3 粗集料的磨耗损失取两次平行试验结果的算术平均值为测定值，两次试验的差值应不大于 2%，否则须重做试验。

（八）软弱颗粒试验（T0320-2000）

1.目的与适用范围

测定碎石、砾石及破碎砾石中软弱颗粒含量。

2.仪器与材料

（1）天平或台秤：称量 5g，感量不大于 5g。

（2）标准筛：孔径为 4.75mm、9.5mm、16mm 方孔筛。

（3）压力机。

（4）其它：浅盘、毛刷等。

3.试验步骤

称风干试样 2kg(m_1)，如颗粒粒径大于 31.5mm，则称 4kg，过筛分成 4.75mm~9.5mm，9.5mm~16mm、16mm 以上各 1 份；将每份中每一个颗粒大面朝下稳定平放在压力机平台中心，按颗粒大小分别加以 0.15kN、0.25kN、0.34kN 荷载，破裂之颗粒即属于软弱颗粒，将其弃去，称出未破裂颗粒的质量 (m_2)。

4.数据处理

按式（1-30）计算软弱颗粒含量，精确至 0.1%。

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1-30)$$

式中：P——粗集料的软弱颗粒含量（%）；

m_1 ——各粒级颗粒总质量（g）；

m_2 ——试验后各粒级完好颗粒总质量（g）。

五、其他问题

1.取样问题

①如经观察，认为各节车皮、汽车或货船的碎石或砾石的品质差异不大时，允许只抽取一节车皮、一部汽车、一艘货船的试样（即一组试样），作为该批集料的代表样品。

②如经观察，认为该批碎石或砾石的品质相差甚远时，则应对品质有怀疑的该批集料，分别取样和验收。

2.关于 0.075mm 通过率

粗集料及集料混合料筛分试验中，由于 0.075mm 筛干筛几乎小能把沾在粗集料表面的小于 0.075mm 部分的石粉筛过去，而且对水泥混凝土用粗集料而言，0.075mm 通过率的意义不大，所以也可以不筛，且把通过 0.15mm 筛的筛下部分全部作为 0.075mm 的分计筛余，将粗集料的 0.075mm 通过率假设为 0。

3.恒重

指相邻两次称量间隔时间大于 3h（通常不少于 6h）的情况下，前后两次称量之差小于该项试验所要求的称量精密度，即 0.1%，一般在烘箱中烘烤的时间不得少于 4h~6h。

六、例题

1.做粗集料筛分试验，用干筛法，已知各筛筛上质量完成下表。

粗集料干筛分记录

干燥试样总量 m_0 (g)	第 1 组				第 2 组				平均
	3000				3000				
筛孔尺寸 (mm)	筛上重 m_i (g)	分计筛余 (%)	累计筛余 (%)	通过百分率 (%)	筛上重 m_i (g)	分计筛余 (%)	累计筛余 (%)	通过百分率 (%)	通过百分率 (%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
19	0	0	0	100	0	0	0	100	100
16	696.3	23.2	23.2	76.8	699.4	23.3	23.3	76.7	76.7
13.2	431.9	14.4	37.6	62.4	434.6	14.5	37.8	62.2	62.3
9.5	801.0	26.7	64.4	35.6	802.3	26.8	64.6	35.4	35.5
4.75	989.8	33.0	97.4	2.6	985.3	32.9	97.4	2.6	2.6
2.36	70.1	2.	99.7	0.3	68.5	2.3	99.7	0.3	0.3
1.18	8.2	0.3	100.0	0.0	7.9	0.3	100.0	0.0	0.0
0.6	0.5	0.0	100.0	0.0	0.2	0.0	100.0	0.0	0.0
0.3	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
0.15	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
0.075	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
筛底 $m_{底}$	0.0	0.0	100.0		0.0	0.0	100.0	0.0	
筛分后总量 $\sum m_i$ (g)	2997.8	100.0			2998.2	100.0			
损耗 m_s (g)	2.2				1.8				
损耗率 (%)	0.1				0.1				

2.做粗集料筛分试验，水筛法筛分，完成下表。

干燥试样总量	第 1 组	第 2 组	平均
--------	-------	-------	----

m_3 (g)		3000				3000				
水洗后筛上总量 m_4 (g)		2879				2868				
水洗后 0.075mm 筛下量 $m_{0.075}$ (g)		121				132				
0.075mm 通过率 $P_{0.075}$ (%)		4				4.4				
筛孔尺寸 (mm)	筛上重	分计筛余 (%)	累计筛余 (%)	通过百分率 (%)	筛上重	分计筛余 (%)	累计筛余 (%)	通过百分率 (%)	通过百分率 (%)	
	m_i (g)	余 (%)	余 (%)	率 (%)	m_i (g)	余 (%)	余 (%)	率 (%)	率 (%)	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
水洗后干筛法筛分	19	5	0.2	0.2	99.8	0	0	0	100	99.9
	16	696.3	23.2	23.4	76.6	680.3	22.7	22.7	77.3	76.9
	13.2	882.3	29.4	52.8	47.2	839.2	28	50.7	49.3	48.2
	9.5	713.2	23.8	76.6	23.4	778.5	26	76.7	23.3	23.4
	4.75	343.4	11.5	88.1	11.9	348.7	11.6	88.3	11.7	11.8
	2.36	70.1	2.3	90.4	9.6	68.3	2.3	90.6	9.4	9.5
	1.18	87.5	2.9	93.3	6.7	79.1	2.6	93.2	6.8	6.7
	0.6	67.8	2.3	95.6	4.4	59.3	2	95.2	4.8	4.6
	0.3	4.6	0.2	95.7	4.3	4.3	0.1	95.3	4.7	4.5
	0.15	5.6	0.2	95.9	4.1	3.8	0.1	95.5	4.5	4.3
	0.075	2.3	0.1	96	4	4	0.1	95.6	4.4	4.2
	筛底 $m_{底}^{[注]}$	0				0				
干筛后总量 $\sum m_i$ (g)	2878.1	96			2865.5	95.6				
损耗 m_5 (g)	0.9				2.5					
损耗率 (%)	0.03				0.09					
扣除损耗后总量 (g)	2999.1				2997.5					

七、思考题：

1.粗集料定义？

- 2.四分法指什么？
- 3.沥青混合料及基层用粗集料筛分试验用哪种筛分法，以及试验步骤？
- 4.粗集料密度网篮法试验步骤？
- 5.针片状用游标卡尺法试验步骤？
- 6.坚固性试验用什么溶液？如何配置？
- 7.压碎值试验样品制备要求？
- 8.磨耗试验洛杉矶法试验过程？

第二部分 细集料试验

一、概念：

1.细集料

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（包括机制砂）及石屑；在水泥混凝土中，细集料是指粒径小于 4.75mm 的天然砂、人工砂。

2.天然砂

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，按生存环境分河砂、海砂、山砂等。

3.人工砂

经人为加工处理得到的符合规格要求的细集料，通常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、矿渣砂和煅烧砂都属于人工砂。

4.机制砂

由碎石及砾石经制砂机反复破碎加工至粒径小于 2.36mm 的人工砂，亦称破碎砂。

5.石屑

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，也称筛屑。

6.混合砂

由天然砂、人工砂、机制砂或石屑等按一定比例混合形成的细集料的统称。

7.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。通常是石灰岩等碱性料加工磨细得到的矿粉，水泥、消石灰、粉煤灰等矿物质有时也可作为填料使用。

8.砂率

水泥混凝土混合料中砂的质量与砂、石总质量之比，以百分率表示。

9.细度模数

表征天然砂粒径的粗细程度及类别的指标。

二、检测依据：

- 1.《公路工程集料试验规程》JTG E42-2005

2.《城市道路工程施工与质量验收规范》CJJ1-2008;

三、取样方法:

同粗集料。

四、试验方法:

(一) 筛分试验 (T0327-2005)

1.目的与适用范围

测定细集料(天然砂、人工砂、石屑)的颗粒级配及粗细程度。对水泥混凝土用细集料可采用干筛法,如果需要也可采用水洗法筛分;对沥青混合料及基层用细集料必须用水洗法筛分。

2.仪器与材料

- (1) 标准筛。
- (2) 天平:称量 1000g,感量不大于 0.5g。
- (3) 摇筛机
- (4) 烘箱:能控温在 $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- (5) 其它:浅盘和硬、软毛刷等。

3.试验准备

根据样品中最大粒径的大小,选用适宜的标准筛.通常为 9.5mm 筛(水泥混凝土用天然砂)或 4.75mm 筛(沥青路面及基层用天然砂、石屑、机制砂等)筛除其中的超粒径材料然后将样品在潮湿状态下充分拌匀,用分料器法或四分法缩分至每份小少于 550g 的试样两份,在 $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重,冷却至室温后备用。

4.试验步骤

4.1 干筛法试验步骤

(1) 准确称取烘干试样约 500g (m_1),准确至 0.5g,置于套筛的最上面一只,即 4.75mm 筛上,将套筛装入摇筛机,摇筛约 10min,然后取出套筛,再按筛孔大小顺序,从最大的筛号开始,在清洁的浅盘上逐个进行手筛,直到每分钟的筛出量不超过筛上剩余量的 0.1%时为止,将筛出通过的颗粒并入下一号筛,和下一号筛中的试样一起过筛,以此顺序进行至各号筛全部筛完为止。

(2) 称量各筛筛余试样的质量,精确至 0.5g。所有各筛的分计筛余量和底盘中剩余量的总量与筛分前的试样总量,相差不得超过后者的 1%。

4.2 水洗法试验步骤

- (1) 准确称取烘干试样约 500g (m_1),准确至 0.5g。
- (2) 将试样置一洁净容器中,加入足够数量的洁净水,将集料全部淹没。
- (3) 用搅棒充分搅动集料,将集料表面洗涤干净,使细粉悬浮在水中,但不得有集料从水中溅出。
- (4) 用 1.18mm 筛及 0.075mm 筛组成套筛,仔细将容器中混有细粉的悬浮液徐徐倒出,经过套筛流入另一容器中,但不得将集料倒出。不可直接倒至 0.075mm 筛上,以免集料掉出损坏筛面。

(5) 重复 (2) - (4) 步骤, 直至倒出的水洁净切小于 0.075mm 的颗粒全部倒出。

(6) 将容器中的集料倒入搪瓷盘中, 用少量水冲洗, 使容器上沾附的集料颗粒全部进入搪瓷盘中, 将筛子反扣过来, 用少量的水将筛上集料冲入搪瓷盘中。操作过程中不得有集料散失。

(7) 将搪瓷盘连同集料一起置 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干至恒重, 称取干燥集料试样的总质量 (m_2)。准确至 0.1%。 m_1 与 m_2 之差即为通过 0.075mm 筛部分。

(8) 将全部要求筛孔组成套筛 (但不需 0.075mm 筛), 将已经洗去小于 0.075mm 部分的干燥集料置于套筛上 (通常为 4.75mm 筛), 将套筛装入摇筛机, 摇筛约 10min, 然后取出套筛, 再按筛孔大小顺序, 从最大的筛号开始, 在清洁的浅盘上逐个进行手筛, 直至每分钟的筛出量不超过筛上剩余量的 0.1% 时为止, 将筛出通过的颗粒并入下一号筛, 和下一号筛中的试样一起过筛, 这样顺序进行, 直至各号筛全部筛完为止。

注: 如为含有粗集料的集料混合料, 套筛筛孔根据需要选择。

(9) 称量各筛筛余试样的质量, 精确至 0.5g。所有各筛的分计筛余量和底盘中剩余量的总质量与筛分前后试样总量 m_2 的差值不得超过后者的 1%。

5. 数据处理

5.1 计算分计筛余百分率

各号筛的分计筛余百分率为各号筛上的筛余量除以试样总量 (m_1) 的百分率, 精确至 0.1%。对沥青路面细集料而言, 0.15mm 筛下部分即为 0.075mm 的分计筛余, m_1 与 m_2 之差即为小于 0.075mm 的筛底部分。

5.2 计算累计筛余百分率

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, 准确至 0.1%。

5.3 计算质量通过百分率

各号筛的质量通过百分率等于 100 减去该号筛的累计筛余百分率, 准确至 0.1%。

5.4 根据各筛的累计筛余百分率或通过百分率, 绘制级配曲线。

5.5 天然砂的细度模数按式 (2-1) 计算, 精确至 0.01。

$$M_x = \frac{(A_{0.15} + A_{0.3} + A_{0.6} + A_{1.18} + A_{2.36}) - 5A_{4.75}}{100 - A_{4.75}} \quad (2-1)$$

式中: M_x ——砂的细度模数;

$A_{0.15}$ 、 $A_{0.3}$ 、 \dots 、 $A_{4.75}$ ——分别为 0.15mm、0.3mm、 \dots 、4.75mm 各筛上的累计筛余百分率 (%)。

5.6 应进行两次平行试验, 以试验结果的算术平均值作为测定值。如两次试验所得的细度模数之差大于 0.2, 应重新进行试验。

(二) 表观密度试验 (容量瓶法) (T0328-2005)

1. 目的与适用范围

用容量瓶法测定细集料 (天然砂、石屑、机制砂) 在 23°C 时对水的表观相对密度和表观密度。

本方法适用于含有少量大于 2.36mm 部分的细集料。

2. 仪器与材料

- (1) 天平：称量 1kg，感量不大于 1g。
- (2) 容量瓶：500mL。
- (3) 烘箱：能控温在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- (4) 烧杯：500mL。
- (5) 洁净水。
- (6) 其它：干燥器、浅盘、铝制料勺、温度计等。

3. 试验准备

将缩分至 650g 左右的试样在温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，并在干燥器内冷却至室温，分成两份备用。

4. 试验步骤

- (1) 称取烘干的试样约 300g (m_0)，装入盛有半瓶洁净水的容量瓶中。
- (2) 摇转容量瓶，使试样在已保温至 $23^{\circ}\text{C} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ 的水中充分搅动以排除气泡，塞紧瓶塞，在恒温条件下静置 24h 左右，然后用滴管添水，使水面与瓶颈刻度线平齐，再塞紧瓶塞，擦干瓶外水分。称其总质量 (m_2)。
- (3) 倒出瓶中的水和试样，将瓶的内外面洗净，再向瓶内注入同样温度的洁净水（温差不超过 2°C ）至瓶颈刻度线，塞紧瓶塞，擦干瓶外水分，称其总质量 (m_1)。

5. 数据处理：

- (1) 细集料的表观相对密度按式 (2-2) 计算至小数点后 3 位。

$$\gamma_a = \frac{m_0}{m_0 + m_1 - m_2} \quad (2-2)$$

式中： γ_a ——细集料的表观相对密度，无量纲；

m_0 ——试样的烘干质量 (g)；

m_1 ——水及容量瓶的总质量 (g)；

m_2 ——试样、水、瓶及容量瓶的总质量 (g)。

- (2) 表观密度 (2-3) 计算，精确至小数点后 3 位。

$$\rho_a = \gamma_a \times \rho_T \text{ 或 } \rho_a = (\gamma_a - \alpha_T) \times \rho_w \quad (2-3)$$

式中： ρ_a ——细集料的表观密度 (g/cm^3)；

ρ_w ——水在 4°C 时的密度 (g/cm^3)；

α_T ——试验时的水温对水密度影响的修正系数，按表 1-5 取用；

ρ_T ——试验温度 T 时水的密度 (g/cm^3)，按表 1-5 取用。

(3) 以两次平行试验结果的算术平均值作为测定值，如两次结果之差值大于 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ 时，应重新取样进行试验。

(三) 含泥量试验（筛洗法）（T0333-2000）

1. 目的与适用范围

1.1 本方法仅用于测定天然砂中粒径小于 0.075mm 的尘屑、淤泥和粘土的含量。

1.2 本方法不适用于人工砂、石屑等矿粉成分较多的细集料。

2. 仪器与材料

(1) 天平：称量 1kg ，感量不大于 1g 。

(2) 烘箱：能控温在 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。

(3) 标准筛：孔径 0.075mm 及 1.18mm 的方孔筛。

(4) 其它：筒、浅盘等。

3. 试验准备

将来样用四分法缩分至每份约 1000g ，置于温度为 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，冷却至室温后，称取约 400g (m_0) 的试样两份备用。

4. 试验步骤

4.1 取烘干的试样一份置于筒中，并注入洁净的水，使水面高出砂面约 200mm ，充分拌和均匀后，浸泡 24h ，然后用手在水中淘洗试样，使尘屑、淤泥和粘土与砂粒分离，并使之悬浮水中，缓缓地将浑浊液倒入 1.18mm 至 0.075mm 的套筛上，滤去小于 0.075mm 的颗粒，试验前筛子的两面应先用水湿润，在整个试验过程中应注意避免砂粒丢失。

4.2 再次加水于筒中，重复上述过程，直至筒内砂样洗出的水清澈为止。

4.3 用水冲洗剩留在筛上的细粒，并将 0.075mm 筛放在水中（使水面略高出筛中砂粒的上表面）来回摇动，以充分洗除小于 0.075mm 的颗粒；然后将两筛上筛余的颗粒和筒中已经洗净的试样一并装入浅盘，置于温度为 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，冷却至室温，称取试样的质量 (m_1)。

5. 数据处理

5.1 砂的含泥量按式 (2-4) 计算至 0.1% 。

$$Q_n = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (2-4)$$

式中： Q_n ——砂的含泥量 (%)；

m_0 ——试验前的烘干试样质量 (g)；

m_1 ——试验后的烘干试样质量 (g)。

5.2 以两个试样试验结果的算术平均值作为测定值。两次结果的差渣超过 0.5% 时，应重新取样进行试验。

(四) 砂当量试验（T0334-2005）

1. 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定天然砂、人工砂、石屑等各种细集料中所含的粘性土或杂质的含量，以评

定集料的洁净程度。砂当量用 SE 表示。

1.2 本方法适用于公称最大粒径不超过 4.75mm 的集料。

2. 仪器与材料

(1) 透明圆柱形试筒：如图 2-1，透明塑料制，外径 $40\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，内径 $32\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$ 。高度 $420\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$ 。在距试筒底部 100mm、380mm 处刻划刻度线，试筒口配有橡胶瓶口塞。

(2) 冲洗管：如图 2-2，由一根弯曲的硬管组成，不锈钢或冷锻钢制，其外径为 $6\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，内径为 $4\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 。管的上部有一个开关，下部有一个不锈钢两侧带孔尖头，孔径为 $1\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。

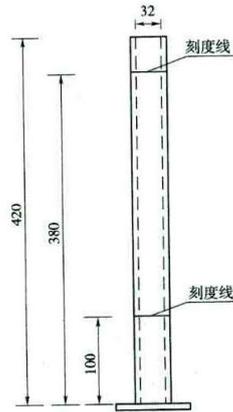


图 2-1 透明圆柱试筒 (尺寸单位: mm)

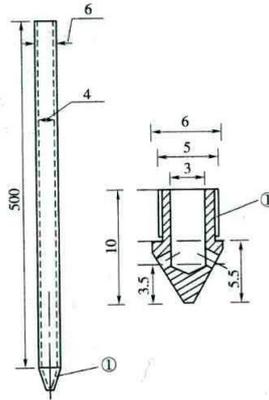


图 2-2 冲洗管 (尺寸单位: mm)

(3) 透明玻璃或塑料桶：容积 5L，有一根虹吸管放置桶中，桶底面高出工作台约 1m。

(4) 橡胶管（或塑料管）：长约 1.5m，内径约 5mm，同冲洗管联在一起吸液用，配有金属夹，以控制冲洗液流量。

(5) 配重活塞：如图 2-3，由长 $440\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$ 的杆、直径 $25\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 的底座（下面平坦、光滑，垂直杆轴）、套筒和配重组成。且在活塞上有三个横向螺丝可保持活塞在试筒中间，并使活塞与试筒之间有一条小缝隙。

套筒为黄铜或不锈钢制，厚 $10\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ ，大小适合试筒并且引导活塞杆，能标记筒中活塞下沉的位置。套筒上有一个螺钉用以固定活塞杆。配重为 $1\text{kg} \pm 5\text{g}$ 。

(6) 机械振荡器：可以使试筒产生横向的直线运动振荡，振幅 $203\text{mm} \pm 1.0\text{mm}$ ，频率 $180\text{次}/\text{min} \pm 2\text{次}/\text{min}$ 。

(7) 天平：称量 1kg，感量不大于 0.1g。

(8) 烘箱：能使温度控制在 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。

(9) 秒表。

(10) 标准筛：筛孔为 4.75mm。

(11) 温度计。

(12) 广口漏斗：玻璃或塑料制，口的直径 100mm 左右。

(13) 钢板尺：长 50cm，刻度 1mm。

(14) 其它：量筒（500mL），烧杯（1L），塑料桶（5L）、烧杯、刷子、盘子、刮刀、勺子

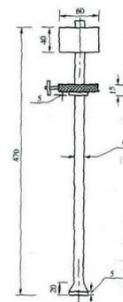


图 2-3 配重活塞
(尺寸单位: mm)

等。

(15) 试剂

①无水氯化钙 (CaCl_2)：分析纯，含量 96%以上，分子量 110.99，纯品为无色立方结晶，在水中溶解度大，溶解时放出大量热，它的水溶液呈微酸性，具有一定的腐蚀性。

②丙三醇 ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$)：又称甘油，分析纯，含量 98%以上.分子量 92.09。

③甲醛 (HCHO)：分析纯.含量 36%以上，分子量 30.03。

④洁净水或纯净水。

3. 试验准备

3.1 试样制备

3.1.1 将样品通过孔径 4.75mm 筛，去掉筛上的粗颗粒部分，试样数量不少于 1000g。如样品过分干燥，可在筛分之前加少量水分润湿（含水率约为 3%左右），用包橡胶的小锤打碎土块，然后再过筛，以防止将土块作为粗颗粒筛除。当粗颗粒部分被在筛分时不能分离的杂质裹覆时，应将筛上部分的粗集料进行清洗，并回收其中的细粒放入试样中。

3.1.2 按细集料含水率试验的方法测定试样含水率，试验用的样品，在测定含水率和取样试验期间不要丢失水分。

由于试样是加水湿润过的，对试样含水率应接现行含水率测定方法进行，含水率以两次测定的平均值计，准确至 0.1%。经过含水率测定的试样不得用于试验。

3.1.3 称取试样的湿重

根据测定的含水率按式 (2-5) 计算相当于 120g 干燥试样的样品湿重.准确至 0.1g。

$$m_1 = \frac{120 \times (100 + \omega)}{100} \quad (2-5)$$

式中： ω ——集料试样的含水率 (%)；

m_1 ——相当于干燥试样 120g 时的潮湿试样的质量 (g)。

3.2 配制冲洗液

3.2.1 根据需要确定冲洗液的数量，通常一次配制 5L，约可进行 10 次试验。如试验次数较少，可以按比例减少，但不宜少于 2L，以减小试验误差。冲洗液的浓度以每升冲洗液中的氯化钙、甘油、甲醛含量分别为 2.79g、12.12g、0.34g 控制。称取配制 5L 冲洗液的各种试剂的用量：氯化钙 14.0g；甘油 60.6g；甲醛 1.7g。

3.2.2 称取无水氯化钙 14.0g 放入烧杯中，加洁净水 30mL，充分溶解，此时溶液温度会升高，待溶液冷却至室温，观察是否有不溶的杂质，若有杂质必须用滤纸将溶液过滤，以除去不溶的杂质。

3.2.3 然后倒入适量洁净水稀释，加入甘油 60.6g，用玻璃棒搅拌均匀后再加入甲醛 1.7g，用玻璃棒搅拌均匀后全部倒入 1L 量筒中，并用少量洁净水分别对盛过 3 种试剂的器皿洗涤 3 次，每次洗涤的水均放入量筒中，最后加入洁净水至 1L 刻度线。

3.2.4 将配制的 1L 溶液倒入塑料桶或其它容器中，再加入 4L 洁净水或纯净水稀释至 $5L \pm 0.005L$ 。该冲洗液的使用期限不得超过 2 周，超过 2 周后必须废弃，其工作温度为 $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

注：有条件时，可向专门机构购买高浓度的冲洗液，按照要求稀释后使用。

4. 试验步骤

4.1 用冲洗管将冲洗液加入试筒，直到最下面的 100mm 刻度处（约需 80mL 试验用冲洗液）。

4.2 把相当于 $120\text{g} \pm 1\text{g}$ 干料重的湿样用漏斗仔细地倒入竖立的试筒中。

4.3 用手掌反复敲打试筒下部，以除去气泡，并使试样尽快润湿，然后放置 10min。

4.4 在试样静止 $10\text{min} \pm 1\text{min}$ 后，在试筒上塞上橡胶塞堵住试筒，用手将试筒横向水平放置，或将试筒水平固定在振荡机上。

4.5 开动机械振荡器，在 $30\text{s} \pm 1\text{s}$ 的时间内振荡 90 次。用手振荡时，仅需手腕振荡，不必晃动手臂，以维持振幅 $230\text{mm} \pm 25\text{mm}$ ，振荡时间和次数与机械振荡器同。然后将试筒取下竖直放回试验台上，拧下橡胶塞。

4.6 将冲洗管插入试筒中，用冲洗液冲洗附在试筒壁上的集料，然后迅速将冲洗管插到试筒底部，不断转动冲洗管，使附着在集料表面的土粒杂质浮游上来。

4.7 缓慢匀速向上拔出冲洗管，当冲洗管抽出液面，且保持液面位于 380mm 刻度线时，切断冲洗管的液流，使液面保持在 380mm 刻度线处，然后开动秒表在没有扰动的情况下静置 $20\text{min} \pm 15\text{s}$ 。

4.8 如图 2-4 所示，在静置 20min 后，用尺量测从试筒底部到絮状凝结物上液面的高度 (h_1) 。

4.9 将配重活塞徐徐插入试筒里，直至碰到沉淀物时，立即拧紧套筒上的固定螺丝。将活塞取出，用直尺插入套筒开口中，量取套筒顶面至活塞底面的高度 h_2 ，准确至 1mm，同时记录试筒内的温度，准确至 1°C 。

4.10 按上述步骤进行 2 个试样的平行试验。

5. 数据处理

5.1 试样的砂当量值按式 (2-6) 计算。

$$SE = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (2-6)$$

式中：SE——试样的砂当量（%）；

h_2 ——试筒中用活塞测定的集料沉淀物的高度（mm）；

h_1 ——试筒中絮凝物和沉淀物的总高度（mm）。

5.2 一种集料应平行测定两次，取两个试样的平均值，并以活塞测得砂当量为准，并以整数表示。

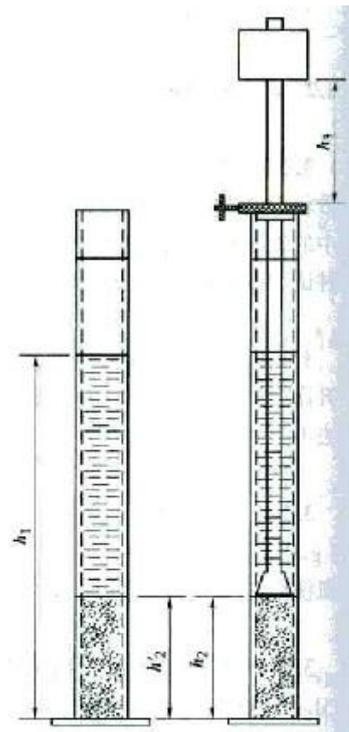


图 2-4 读数示意图

（五）坚固性试验（T00340-2005）

1.目的与适用范围

本方法用以确定砂试样经饱和硫酸钠溶液多次浸泡与烘干循环，承受硫酸钠结晶压而不发生显著破坏或强度降低的性能，以评定砂的坚固性能（也称安定性）。

2.仪器与材料

（1）烘箱：能控温在 $105^{\circ}\text{C} \pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 。

（2）天平：称量 200g，感量不大于 0.2g。

（3）标准筛：孔径为 0.3mm、0.6mm、1.18mm、2.36mm、4.75mm。

（4）容器：搪瓷盆或瓷缸，容量不小于 10L。

（5）三角网篮：内径及高均为 70mm，由铜丝或镀锌铁丝制成，网孔的孔径不应大于所盛试样粒级下限尺寸的一半。

（6）试剂：无水硫酸钠或 10 水结晶硫酸钠（工业用）。

（7）波美比重计。

3.试验准备

取一定数量的洁净水（多少取决于试样及容器大小），加温至 $30^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，每 1000mL 洁净水加入无水硫酸钠（ Na_2SO_4 ）300g~350g 或 10 水硫酸钠（ $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ）700g~1000g，用玻璃棒搅拌，使其溶解并饱和，然后冷却至 $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ ，在此温度下静置 48h，其相对密度应保持在 1.151~1.174（波美度为 18.9~21.4）范围内，试验时容器底部应无结晶存在。

4.试验步骤

4.1 将试样烘干，称取粒级分别为 0.3mm~0.6mm、0.6mm~1.18mm、1.18mm~2.36mm 和 2.36mm~4.75mm 的试样各约 100g， m_i ，分别装入网篮并浸入盛有硫酸钠溶液的容器中。溶液体积应不小于试样总体积的 5 倍，其温度应保持在 $20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 范围内。三角网篮浸入溶液时应先上下升降 25 次以排除试样中的气泡，然后静置于该容器中。此时网篮底面应距容器底面约 30mm（由网篮脚高控制），网篮之间的间距应不小于 30mm。试样表面至少应在液面以下 30mm。

4.2 浸泡 20h 后，从溶液中提出网篮，放在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘烤 4h，至此完成了第一个试验循环，待试样冷却至 $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 后，即开始第二次循环。

从第二次循环开始，浸泡及烘烤时间均为 4h。共循环 5 次。

4.3 最后一次循环完毕后，将试样置于 $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 的清水中洗净硫酸钠，再在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，取出冷却至室温后，用筛孔孔径为试样粒级下限的筛，过筛并称量各粒级试样试验后的筛余量 m'_i 。

5.数据处理

5.1 试样中各粒级颗粒的分计损失百分率按式（2-7）计算。

$$Q_i = \frac{m_i - m'_i}{m_i} \times 100 \quad (2-7)$$

式中： Q_i ——试样中各粒级颗粒的分计损失百分率（%）；

m_i ——每一粒级试样试验前烘干质量（g）；

m'_i ——经硫酸钠溶液试验后，每一粒级筛余颗粒的烘干质量（g）。

5.2 试样的坚固性损失总百分率按式（2-8）计算，精确至 1%。

$$Q = \frac{\sum m_i Q_i}{\sum m_i} \quad (2-8)$$

式中： Q ——试样的坚固性损失（%）；

m_i ——不同粒级的颗粒在原试样总量中的分计质量（g）；

Q_i ——不同粒级的分计质量损失百分率（%）。

（六）棱角性试验（流动时间法）（T0345-2005）

1. 目的与适用范围

1.1 本方法测定一定体积的细集料（机制砂、石屑、天然砂）全部通过标准漏斗所需要的流动时间，称为细集料的棱角性，以 s 表示。

1.2 本方法测定的细集料棱角性，适用于评定细集料颗粒的表面构造和粗糙度，预测细集料对沥青混合料的内摩擦角和抗流动变形性能的影响。

1.3 当工程上同时使用不同品种的细集料，如将天然砂和机制砂、石屑混用时，应以实际配合比例组成的细集料混合料进行试验，并满足相应规范的要求。

2. 仪器与材料

（1）细集料流动时间测定仪：如图 2-5 所示，上部为直径 90mm，高 125mm 的金属圆筒，下部为可更换的开口 60°的金属或硬质塑料漏斗，漏斗内部应光滑，其流出孔直径有两种可更换的规格 12mm 或 16mm，上部由螺纹与圆筒连接成一整体，漏斗下方有一个可以左右转动的开启挡板。测定仪下方放置一个足以存下 3kg 细集料的容器，如铝盆、搪瓷盆等。

（2）标准筛：孔径为 4.75mm、2.36mm，0.075mm 的方孔筛。

（3）天平：感量不大于 0.1g。

（4）烘箱：能控温在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

（5）秒表：准确至 0.1s。

（6）其它：搪瓷盘、毛刷等。

3. 试验步骤

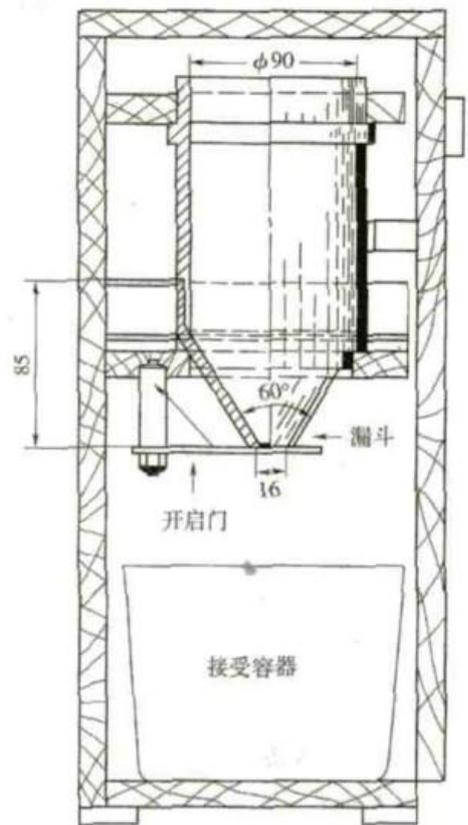


图 2-5 细集料流动时间测定仪
(流出孔径可更换，尺寸单位：mm)

3.1 将从现场取来的细集料试样，按照最大粒径的不同选择 2.36mm 或 4.75mm 的标准筛过筛，除去大于最大粒径的部分。但当工程上同时使用不同品种的细集料，如将天然砂和机制砂、石屑混用时，应分别进行单一细集料品种的棱角性质量评定，同时以实际配合比例组成的细集料混合料进行试验，以评定其使用性能。

3.2 按细集料筛分试验的方法以水洗法除去小于 0.075mm 的粉尘部分，取 0.075mm~2.36mm 或 0.075mm~4.75mm 的试样约 6kg 放入 105°C±5°C 烘箱中烘干至恒重，在室温下冷却。

3.3 按细集料表观密度试验的方法测定试样的表观相对密度 γ_a ，用分料器法或四分法将试样分成不少于 5 份，按式 (2-9) 计算每份试样所需的质量，称量准确至 0.1g。

$$m = 1.0 \times \gamma_a / 2.70 \quad (2-9)$$

式中： m ——每份试样的质量 (kg)；

γ_a ——该试样的表观相对密度，无量纲。

3.4 根据试验的细集料规格选择漏斗，对规格 0.075mm~2.36mm 的细集料选用漏出孔径为 12mm 的漏斗，对规格 0.075mm~4.75mm 的细集料选用孔径为 16mm 的漏斗，将漏斗与圆筒连接安装成一体。关闭漏斗下方的开启门，在漏斗下方置接受容器。

3.5 将试样从圆筒中央开口处（高度与筒顶齐平）徐徐倒入漏斗，表面尽量倒平，但倒完后不得以任何工具扰动或刮平试样。

3.6 在打开漏斗开启门的同时开动秒表。漏斗中的细集料随即从漏斗开口处流出，进入接受容器中。在细集料全部流完的同时停止秒表，读取细集料流出的时间，准确至 0.1s，即为该细集料试样的流动时间。

3.7 一种试样需平行试验 5 次，以流动时间的平均值作为细集料棱角性的试验结果。

(七) 亚甲蓝试验 (T0349-2005)

1. 目的与适用范围

1.1 本方法适用于确定细集料中是否存在膨胀性粘土矿物，并测定其含量，以评定集料的洁净程度，以亚甲蓝值 MBV 表示。

1.2 本方法适用于小于 2.36mm 或小于 0.15mm 的细集料，也可用于矿粉的质量检验。

1.3 当细集料中的 0.075mm 通过率小于 3% 时，可不进行此项试验即作为合格看待。

2. 试剂、材料与仪器设备

(1) 亚甲蓝 ($C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$)：纯度不小于 98.5%；

(2) 移液管：5mL、2mL 移液管各一个；

(3) 叶轮搅拌机：转速可调，并能满足 600 转/min±60 转/min 的转速要求，叶轮个数 3 或 4 个，叶轮直径 75mm±10mm；其它类型的搅拌器也可使用，但试验结果必须与使用上述搅拌器时基本一致。

(4) 鼓风烘箱：能使温度控制在 105°C±5°C；

- (5) 天平：称量 1000g，感量 0.1g 及称量 100g，感量 0.01g 各一台；
- (6) 标准筛：孔径为 0.075mm、0.15mm、2.36mm 的方孔筛各一只；
- (7) 容器：深度大于 250mm，要求淘洗试样时，保持试样不溅出；
- (8) 其它玻璃容量瓶：1L；定时装置：精度 1s；玻璃棒：直径 8mm，长 300mm，2 支；温度计：精度 1℃；烧杯：1000mL；定量滤纸、搪瓷盘、毛刷、洁净水等。

3. 试验步骤

3.1 标准亚甲蓝溶液（10.0g/L±0.1g/L 标准浓度）配制

3.1.1 测定亚甲蓝中的水分含量 ω 。称取 5g 左右的亚甲蓝粉末，记录质量 m_h ，精确到 0.01g。在 100℃±5℃ 的温度下烘干至恒重（若烘干温度超过 105℃，亚甲蓝粉末会变质），在干燥器中冷却，然后称重，记录质量 m_g ，精确到 0.01g。按式（2-10）计算亚甲蓝的含水率 ω ：

$$\omega = (m_h - m_g) / m_g \times 100 \quad (2-10)$$

式中： m_h ——亚甲蓝粉末的质量（g）；

m_g ——干燥后亚甲蓝的质量（g）。

注：每次配制亚甲蓝溶液前，都必须首先确定亚甲蓝的含水率。

3.1.2 取亚甲蓝粉末 $(100+\omega)(10g\pm 0.01g)/100$ （即亚甲蓝干粉末质量 10g），精确至 0.01g。

3.1.3 加热盛有约 600mL 洁净水的烧杯，水温不超过 40℃。

3.1.4 边搅动边加入亚甲蓝粉末，持续搅动 45min，直至亚甲蓝粉末全部溶解为止，然后冷却至 20℃。

3.1.5 将溶液倒入 1L 容量瓶中，用洁净水淋洗烧杯等，使所有亚甲蓝溶液全部移入容量瓶，容量瓶和溶液的温度应保持在 20℃±1℃，加洁净水至容量瓶 1L 刻度。

3.1.6 摇晃容量瓶以保证亚甲蓝粉末完全溶解。将标准液移入深色储藏瓶中，亚甲蓝标准溶液保质期应不超过 28d；配制好的溶液应标明制备日期、失效日期，并避光保存。

3.2 制备细集料悬浊液

3.2.1 取代表性试样，缩分至约 400g，置烘箱中在 105℃±5℃ 条件下烘干至恒重，待冷却至室温后，筛除大于 2.36mm 颗粒，分两份备用。

3.2.2 称取试样 200g，精确至 0.1g。将试样倒入盛有 500mL±5mL 洁净水的烧杯中，将搅拌器速度调整到 600r/min，搅拌器叶轮离烧杯底部约 10mm。搅拌 5min，形成悬浊液，用移液管准确加入 5mL 亚甲蓝溶液，然后保持 400r/min±40r/min 转速不断搅拌，直到试验结束。

3.3 亚甲蓝吸附量的测定

3.3.1 将滤纸架空放置在敞口烧杯的顶部，使其不与任何其它物品接触。

3.3.2 细集料悬浊液在加入亚甲蓝溶液并经 400r/min±40r/min 转速搅拌 1min 起，在滤纸上进行第一次色晕检验。即用玻璃棒沾取一滴悬浊液滴于滤纸上，液滴在滤纸上形成环状，中间是集料沉淀物，液滴的数量应使沉淀物直径在 8mm~12mm 之间。外围环绕一圈无色的水环，当在沉淀物周围边缘放射出一个宽度约 1mm 左右的浅蓝色色晕时（如图 2-6），试验结果称为阳性。

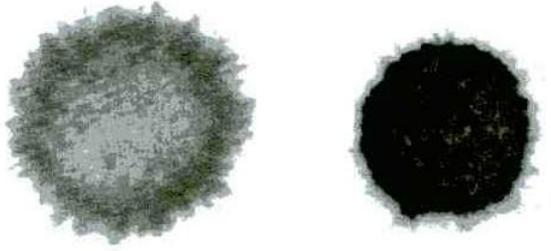


图 2-6 亚甲蓝试验得到的色晕图像
(左图符合要求, 右图不符合要求)

3.3.3 如果第一次的 5mL 亚甲蓝没有使沉淀物周围出现色晕, 再向悬浊液中加入 5mL 亚甲蓝溶液, 继续搅拌 1min, 再用玻璃棒沾取一滴悬浊液, 滴于滤纸上, 进行第二次色晕试验, 若沉淀物周围仍未出现色晕, 重复上述步骤, 直到沉淀物周围放射出约 1mm 的稳定浅蓝色色晕。

3.3.4 停止滴加亚甲蓝溶液, 但继续搅拌悬浊液, 每 1min 进行一次色晕试验。若色晕在最初的 4min 内消失, 再加入 5mL 亚甲蓝溶液; 若色晕在第 5min 消失, 再加入 2mL 亚甲蓝溶液。两种情况下, 均应继续搅拌并进行色晕试验, 直至色晕可持续 5min 为止。

3.3.5 记录色晕持续 5min 时所加入的亚甲蓝溶液总体积, 精确至 1mL。

3.4 亚甲蓝的快速评价试验

3.4.1 按 3.2.1 及 3.2.2 要求制样及搅拌。

3.4.2 一次性向烧杯中加入 30mL 亚甲蓝溶液, 以 400r/min ± 40r/min 转速持续搅拌 8min, 然后用玻璃棒粘取一滴悬浊液, 滴于滤纸上, 观察沉淀物周围是否出现明显色晕。

3.5 小于 0.15mm 粒径部分的亚甲蓝值 MBV_F 的测定

按 3.1~3.3 的规定准备试样, 进行亚甲蓝试验测试, 但试样为 0~0.15mm 部分, 取 30g ± 0.1g。

3.6 按细集料含泥量的筛洗法测定细集料中含泥量或石粉含量。

4. 数据处理:

4.1 细集料亚甲蓝值 MBV 按式 (2-11) 计算, 精确至 0.1。

$$MBV = \frac{V}{m} \times 10 \quad (2-11)$$

式中: MBV ——亚甲蓝值 (g/kg), 表示每千克 0~2.36mm 粒级试样所消耗的亚甲蓝克数;

m ——试样质量 (g);

V ——所加入的亚甲蓝溶液的总量 (mL)。

注: 公式中的系数 10 用于将每千克试样消耗的亚甲蓝溶液体积换算成亚甲蓝质量。

4.2 亚甲蓝快速试验结果评定

若沉淀物周围出现明显色晕, 则判定亚甲蓝快速试验为合格, 若沉淀物周围未出现明显色晕, 则判定亚甲蓝快速试验为不合格。

4.3 小于 0.15mm 部分或矿粉的亚甲蓝值 MBV_F 按式 (2-12) 计算, 精确至 0.1。

$$MBV_F = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \quad (2-12)$$

式中： MBV_F ——亚甲蓝值（g/kg），表示每千克 0~0.15mm 粒级或矿粉试样所消耗的亚甲蓝克数；

m_1 ——试样质量（g）；

V_1 ——加入的亚甲蓝溶液的总量（mL）。

4.4 细集料中含泥量或石粉含量计算和评定按本文细集料含泥量试验的方法进行。

五、注意问题

1. 筛分试验

当细集料中含有粗集料时，可参照本文方法用水洗法筛分，但需特别注意保护标准筛筛面不遭损坏。

2. 干筛法时

①试样如为特细砂时，试样质量可减少到 100g。②如试样含泥量超过 5%，不宜采用干筛法。

③无摇筛机时，可直接用手筛。

3. 在砂的表观密度试验过程中应测量并控制水的温度，试验期间的温差不得超过 1℃。

4. 含泥量试验不得直接将试样放在 0.075mm 筛上用水冲洗，或者将试样放在 0.075mm 筛上后在水中淘洗，以免误将小于 0.075mm 的砂颗粒当作泥冲走。

5. 砂当量试验

在配制稀浆封层及微表处混合料时，4.75mm 部分经常是由两种以上的集料混合而成，如由 3mm~5mm 和 3mm 以下石屑混合，或由石屑与天然砂混合组成时，可分别对每种集料按本节方法测定其砂当量，然后按组成比例计算合成的砂当量。为减少工作量，通常做法是将样品按配比混合组成后用 4.75mm 过筛，测定集料混合料的砂当量，以鉴定材料是否合格。

6. 砂当量试验

①为了不影响沉淀的过程，试验必须在无振动的水平台上进行。随时检查试验的冲洗管口，防止堵塞。②由于塑料在太阳光下容易变成不透明，应尽量避免将塑料试筒等直接暴露太阳光下，盛试验溶液的塑料桶用毕要清洗干净。

7. 坚固性试验

试样中硫酸钠是否干净，可按下法检验：取洗试样的水数毫升，滴入少量氯化钡（ $BaCl_2$ ）溶液，如无白色沉淀，即说明硫酸钠已被洗净。

8. 亚甲蓝试验：每次配制亚甲蓝溶液前，都必须首先确定亚甲蓝的含水率。

9. 亚甲蓝试验：由于集料吸附亚甲蓝需要一定的时间才能完成，在色晕试验过程中，色晕可能在出现后又消失了。为此，需每隔 1min 进行一次色晕检验，连续 5 次出现色晕方为有效。试验结束后应立即用水彻底清洗试验用容器。清洗后的容器不得含有清洁剂成分，建议将这些容器作为亚甲蓝试验的专门容器。

六、例题

1. 某细集料试样按行标进行筛分析试验，每份砂样重 500g，试验数据如下表：

筛孔尺寸 (mm)	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	底
(1) 筛余量 (g)	19	38	46	55	292	32	18
(2) 筛余量 (g)	18	39	42	54	290	38	19

试评定该砂的颗粒级配。

答：分别计算分计筛余和累计筛余如下：

次数	1			2		
	筛余量 (g)	分计筛余 (%)	累计筛余 (%)	筛余量 (g)	分计筛余 (%)	累计筛余 (%)
4.75	19	3.8	3.8	18	3.6	3.6
2.36	38	7.6	11.4	39	7.8	11.4
1.18	46	9.2	20.6	42	8.4	20.2
0.6	55	11.0	31.6	54	10.8	31.1
0.3	292	58.4	90.0	290	58.0	89.3
0.15	32	6.4	96.4	38	7.6	96.3
筛底	18	3.6	100.0	19	3.8	100.0
合计	500			500		

计算两次筛分的细度模数：

$$M_x = \frac{(A_{0.15} + A_{0.3} + A_{0.6} + A_{1.18} + A_{2.36}) - 5A_{4.75}}{100 - A_{4.75}} = \frac{(11.4 + 20.6 + 31.6 + 90 + 96.4) - 5 \times 3.8}{100 - 3.8} = 2.40$$

$$M_x = \frac{(A_{0.15} + A_{0.3} + A_{0.6} + A_{1.18} + A_{2.36}) - 5A_{4.75}}{100 - A_{4.75}} = \frac{(11.4 + 20.2 + 31.1 + 89.3 + 96.3) - 5 \times 3.6}{100 - 3.6} = 2.37$$

计算细度模数：

$$M_x = \frac{2.40 + 2.37}{2} = 2.4, \text{ 最后结果为 } 2.4$$

2. 某人工砂按行标进行亚甲蓝值，石粉含量检测，其检测结果如下：

亚甲蓝试验		洗前干质量 (g)	洗后干质量 (g)
试样质量 (g)	亚甲蓝溶液 (mL)	400	374
200	25	400	372

试计算该砂样的亚甲蓝值，石粉含量。

答：①MBV 值：

$$MBV = \frac{V}{m} \times 10 = \frac{25}{200} \times 10 = 1.25 \text{ g/kg}$$

②石粉含量：

$$\omega_{c1} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% = \frac{400 - 374}{400} \times 100\% = 6.5\% ; \omega_{c2} = 7.0\%$$

$$\omega_c = \frac{\omega_{c1} + \omega_{c2}}{2} = \frac{6.5\% + 7.0\%}{2} = 6.8\%$$

七、思考题

1. 细集料定义？
2. 人工砂定义？
3. 筛分试验步骤及计算？
4. 表观密度试验方法？
5. 砂当量试验目的以及仪器设备要求？
6. 砂当量试验步骤？
7. 坚固性试验目的？
8. 棱角性试验步骤？
9. 标准亚甲蓝溶液配制？

第三部分 矿粉试验

一、概念：

1. 矿粉：由石灰岩等碱性石料经磨细加工得到的，在沥青混合物中起填料作用的以碳酸钙为主要成分的矿物质粉末。

二、检测依据：

1. 《公路工程集料试验规程》JTG E42-2005；
2. 《城市道路工程施工与质量验收规范》CJJ1-2008；

三、试验方法：

（一）矿粉筛分试验（水洗法）（T0351-2000）

1. 目的与适用范围

测定矿粉的颗粒级配。同时适用于测定供拌制沥青混合物用的其它填料如水泥、石灰、粉煤灰的颗粒级配。

2. 仪器与材料

- （1）标准筛：孔径为 0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm。
- （2）天平：感量不大于 0.1g。
- （3）烘箱：能控温在 105℃±5℃。
- （4）搪瓷盘。
- （5）橡皮头研杵。

3 试验步骤

3.1 将矿粉试样放入 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干至恒重，冷却，称取 100g，准确至 0.1g。如有矿粉团粒存在，可用橡皮头研杵轻轻研磨粉碎。

3.2 将 0.075mm 筛装在筛底上，仔细倒入矿粉，盖上筛盖。手工轻轻筛分，至大体上筛不下去为止。存留在筛底上的小于 0.075mm 部分可弃去。

3.3 除去筛盖和筛底，按筛孔大小顺序套成套筛。将存留在 0.075mm 筛上的矿粉倒回 0.6mm 筛上，在自来水龙头下方接一胶管，打开自来水，用胶管的水轻轻冲洗矿粉过筛，0.075mm 筛下部分任其流失，直至流出的水色清澈为止。水洗过程中，可以适当用手扰动试样，加速矿粉过筛，待上层筛冲干净后，取去 0.6mm 筛，接着从 0.3mm 筛或 0.15mm 筛上冲洗，但不得直接冲洗 0.075mm 筛。

3.4 分别将各筛上的筛余反过来用小水流仔细冲洗入各个搪瓷盘中，待筛余沉淀后，稍稍倾斜搪瓷盘。仔细除去清水，放入 105°C 烘箱中烘干至恒重。称取各号筛上的筛余量，准确至 0.1g。

4. 数据处理：

4.1 各号筛上的筛余量除以试样总量的百分率，即为各号筛的分计筛余百分率，精确至 0.1%。用 100 减去 0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm 各筛的分计筛余百分率，即为通过 0.075mm 筛的通过百分率，加上 0.075mm 筛的分计筛余百分率即为 0.15mm 筛的通过百分率，依次类推，计算出各号筛的通过百分率，精确至 0.1%。

4.2 以两次平行试验结果的平均值作为试验结果。各号筛的通过率相差不得大于 2%。

(二) 矿粉密度试验

1. 目的与适用范围

用于检验矿粉的质量，供沥青混合料配合比设计计算使用，同时适用于测定供拌制沥青混合料用的其它填料如水泥、石灰、粉煤灰的相对密度。

2. 仪器与材料

- (1) 李氏比重瓶：容量为 250mL 或 300mL，如图 3-1 所示。
- (2) 天平：感量不大于 0.01g。
- (3) 烘箱：能控温在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- (4) 恒温水槽：能控温在 $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。
- (5) 其它：瓷皿、小牛角匙、干燥器、漏斗等。



图 3-1 李氏比重瓶

3. 试验步骤

3.1 将代表性矿粉试样置瓷皿中，在 105°C 烘箱中烘干至恒重（一般不少于 6h），放入干燥器中冷却后，连同小牛角匙、漏斗一起准确称量 (m_1)，准确至 0.01g，矿粉质量应不少于 200g。

3.2 向比重瓶中注入蒸馏水，至刻度 0~1mL 之间，将比重瓶放入 20°C 的恒温水槽中，静放至比重瓶中的水温不再变化为止（一般不少于 2h），读取比重瓶中水面的刻度 (V_1)，准确至 0.02mL。

3.3 用小牛角匙将矿粉试样通过漏斗徐徐加入比重瓶中，待比重瓶中水的液面上升至接近比重瓶的最大读数时为止，轻轻摇晃比重瓶，使瓶中的空气充分逸出。再次将比重瓶放入恒温水槽中，待温度不再变化时，读取比重瓶的读数（ V_2 ），准确至 0.02mL。整个试验过程中，比重瓶中的水温变化不得超过 1°C。

3.4 准确称取牛角匙、瓷皿、漏斗及剩余矿粉的质量（ m_2 ），准确至 0.01g。

4. 数据处理

4.1 按式（3-1）及式（3-2）计算矿粉的密度和相对密度，精确至小数点后 3 位。

$$\rho_f = \frac{m_1 - m_2}{V_2 - V_1} \quad (3-1)$$

$$\gamma_f = \frac{\rho_f}{\rho_w} \quad (3-2)$$

式中： ρ_f ——矿粉的密度（g/cm³）；

γ_f ——矿粉对水的相对密度，无量纲；

m_1 ——牛角匙、瓷皿、漏斗及试验前瓷器中矿粉的干燥质量（g）；

m_2 ——牛角匙、瓷皿、漏斗及试验后瓷器中矿粉的干燥质量（g）；

V_1 ——加矿粉以前比重瓶的初读数（mL）；

V_2 ——加矿粉以后比重瓶的终读数（mL）；

ρ_w ——试验温度时水的密度，按表 1-5 取用。

4.2 同一试样应平行试验两次，取平均值作为试验结果。两次试验结果的差值不得大于 0.01g/cm³。

（三）亲水系数试验（T0353-2000）

1. 目的与适用范围

矿粉的亲水系数即矿粉试样在水（极性介质）中膨胀的体积与同一试样在煤油（非极性介质）中膨胀的体积之比，用于评价矿粉与沥青结合料的粘附性能。本方法也适用于测定供拌制沥青混合料用的其它填料如水泥、石灰、粉煤灰的亲水系数。

2. 仪器与材料

（1）量筒：50mL 两个，刻度至 0.5mL。

（2）研钵及有橡皮头的研杵。

（3）天平，感量不大于 0.01g。

（4）煤油：在温度 270°C 分馏得到的煤油，并经杂粘土过滤而得到者（过滤用杂粘土应先经加热至 250°C 3h，俟其冷却后使用）。

（5）烘箱。

3. 试验步骤

3.1 称取烘干至恒重的矿粉 5g（准确至 0.01g），将其放在研钵中，加入 15mL~30mL。蒸馏水，用橡皮研杵仔细磨 5min，然后用洗瓶把研钵中的悬浮液洗入量筒中，使量筒中的液面恰为 50mL。然后用玻璃棒搅和悬浮液。

3.2 同上法将另一份同样重量的矿粉，用煤油仔细研磨后将悬浮液冲洗移入另一量筒中，液面亦为 50mL。

3.3 将上两量筒静置，使量筒内液体中的颗粒沉淀。

3.4 每天两次记录沉淀物的体积，直至体积不变为止。

4.数据处理

4.1 亲水系数按式（3-3）计算。

$$\eta = \frac{V_B}{V_H} \quad (3-3)$$

式中： η ——亲水系数，无量纲；

V_B ——水中沉淀物体积（mL）；

V_H ——煤油中沉淀物体积（mL）。

4.2 平行测定两次，以两次测定值的平均值作为试验结果。

5.矿粉的亲水系数即矿粉试样在水（极性介质）中膨胀的体积与同一试样在煤油（非极性介质）中膨胀的体积之比。亲水系数大于 1 的矿粉，表示矿粉对水的亲和力大于对沥青的亲和力，亲水系数小于 1 的矿粉，则表示对沥青有大于水的亲和力。

（四）塑性指数试验（T0354-2000）

1.目的与适用范围

1.1 矿粉的塑性指数是矿粉液限含水量与塑限含水量之差，以百分率表示。

1.2 矿粉的塑性指数用于评价矿粉中粘性土成分的含量。

1.3 本方法也适用于检验作为沥青混合料填料使用的粉煤灰、拌和机回收粉尘的塑性指数。

2.试验步骤

2.1 将矿粉等填料用 0.6mm 筛过筛，去除筛上部分。

2.2 按《公路土工试验规程》（JTGE40-2007）规定的方法测定塑性指数。有两个试验用于测定塑性指数，一个是 T 0118“液限塑限联合测定法”，另一个是按 T 0119 用搓条法测定塑限，用 T 0120 干燥收缩法测定液限，计算塑性指数。工程上可根据习惯和条件采用任何一个方法进行测定。

（五）加热安定性试验（T0355-2000）

1.目的与适用范围

1.1 矿粉的加热安定性是矿粉在热拌过程中受热而不产生变质的性能。

1.2 矿粉的加热安定性用于评价矿粉（除石灰石粉、磨细生石灰粉、水泥外）易受热变质的成分的含量。

2. 仪器与材料

- (1) 蒸发皿或坩埚：可存放 100g 矿粉。
- (2) 加热装置：煤气炉或电炉。
- (3) 温度计：最小刻度为 1℃。

3. 试验步骤

- 3.1 称取矿粉 100g，装入蒸发皿或坩埚中，摊开。
- 3.2 将盛有矿粉的蒸发皿或坩埚置于煤气炉或电炉火源上加热，将温度计插入矿粉中，一边搅拌石粉，一边测量温度，加热到 200℃，关闭火源。
- 3.3 将矿粉在室温中放置冷却，观察石粉颜色的变化。

4. 报告

石粉在受热后的颜色变化，判断石粉的变质情况。

四、注意问题：

1. 筛分试验：

① 自来水的水量不可太大太急，防止损坏筛面或将矿粉冲出，水不得从两层筛之间流出，自来水龙头宜装有防溅水龙头。当现场缺乏自来水时，也可由人工浇水冲洗。

② 如直接在 0.075mm 筛上冲洗，将可能使筛面变形，筛孔堵塞，或者造成矿粉与筛面发生共振，不能通过筛孔。

2. 密度试验：对亲水性矿粉应采用煤油作介质测定，方法同矿粉密度试验。

五、例题

1. 某矿粉密度试验结果为，牛角匙、瓷皿、漏斗及试验前瓷器中矿粉的干燥质量为 293.41g；牛角匙、瓷皿、漏斗及试验后瓷器中矿粉的干燥质量为 235.11g；加矿粉以前比重瓶的初读数为 0.4mL；加矿粉以后比重瓶的初读数为 22.2mL，计算其密度。

$$\text{解： } \rho_f = \frac{m_1 - m_2}{V_2 - V_1} = (293.41 - 235.11) / (22.2 - 0.4) = 2.674 \text{ g/cm}^3$$

其密度为 = 2.674 g/cm³。

六、思考题

1. 矿粉的定义？
2. 筛分试验步骤？
3. 密度试验步骤？
4. 亲水系数定义？
5. 亲水系数试验步骤以及结果意义？
6. 加热安定性试验步骤？