

# 建筑材料试验指导书

---

主 编 熊出华 何丽红

主 审 郭 鹏

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

---



建筑材料课程是土木工程及相关专业的专业基础课。作为课程实践的重要组成部分，建筑材料试验在培养学生掌握理论知识、提升试验操作水平和团队协作能力等方面发挥着不可替代的作用。随着高等学校土木工程及相关专业教学改革的持续推进，建筑材料试验教学改革不断深入，亟待从知识、能力和素质等方面全面加强对学生的培养。本教材立足试验知识，以提升能力和素质为目标，可作为高等学校土木工程及相关专业的试验指导用书。

本教材共分为三部分。第一部分为基础知识，奠定试验基本知识；第二部分为土木工程及相关专业中常见的建筑材料试验，包括集料和石料、水泥、混凝土、沥青和沥青混合料等，供学生掌握常用建筑材料的试验方法；第三部分为试验报告册，供学生撰写和提交教学资料。每章附有针对性的思考题，可帮助学生进一步巩固和提升。

本教材紧密结合课程教改趋势，针对建筑材料课程学时不断压缩的特点，对试验项目做了精简优化；密切追踪最新技术和标准，内容实时更新，具有较强的针对性和实用价值。

本教材由重庆交通大学熊出华副教授、何丽红教授编写，全书由熊出华统稿，郭鹏主审。重庆交大建设工程质量检测中心有限公司张云春、王碉、王冠等工程师参与了部分试验跟踪和编写工作，桑琦、袁欣怡、秦晨曦等研究生参与了规范收集、教材校对等工作，重庆交通大学材料实验中心全体教师对本书的编写大纲提出了宝贵意见。在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中不妥及疏漏之处在所难免，恳请广大师生和读者不吝赐教。

编者

2023年2月



1	基础知识	
1.1	数值修约	001
1.2	极限数值的表示和判定	002
1.3	测量误差	003
2	集料和石料试验	
2.1	粗集料筛分	005
2.2	粗集料密度及吸水率(网篮法)	011
2.3	粗集料针片状颗粒含量	014
2.4	粗集料含泥量及泥块含量	017
2.5	细集料筛分	019
2.6	细集料表观密度(容量瓶法)	021
2.7	细集料堆积密度及紧装密度	023
2.8	岩石密度及毛体积密度	025
2.9	岩石单轴抗压强度	030
3	水泥试验	
3.1	细度(筛析法)	034
3.2	标准稠度用水量、凝结时间、安定性	037
3.3	水泥胶砂强度(ISO法)	043
4	混凝土试验	
4.1	水泥混凝土拌合物的拌和与现场取样方法	050
4.2	水泥混凝土拌合物稠度(坍落度仪法)	051
4.3	水泥混凝土拌合物体积密度	053

4.4	水泥混凝土试件制作	055
4.5	水泥混凝土立方体抗压强度	059
4.6	水泥混凝土弯拉强度	061
5	沥青试验	
5.1	针入度	064
5.2	软化点 (环球法)	068
5.3	延度	070
6	沥青混合料试验	
6.1	沥青混合料试件制作 (击实法)	074
6.2	沥青混合料密度	078
6.3	沥青混合料马歇尔稳定度	085
	参考文献	090
	建筑材料实验报告册	091



# 1 基础知识

## 1.1 数值修约

测量值——试验或检测过程中直接获得的原始数据（又称原数值）。原数值一般包括若干位数字，其中最后一位是估读数，准确度不高。因此需要对原数值进行修约处理，以获得可靠的试验检测结果，从而确保工程质量评价效果。

修约值——原数值经过修约处理后得到的值。修约就是指通过省略原数值的最后若干位数字，同时对所保留的末位数字进行相应调整，使最后所得数值（修约值）最接近原数值的过程。比如，将 3.542 mm 修约为 3.5 mm，其过程不仅省略原数值的“42”数字，同时保留的末位数字“5”维持不变。

数值修约规则可概括为“四舍六入五看看，五后非零要进一，五后皆零尾变偶”，具体情形见表 1-1。

表 1-1 数值修约规则

情形	规则	示例	口诀
1	拟省略（舍弃）数字的最左一位数字小于 5，则保留的末位数字维持不变	如 3.542 修约为 3.5	四舍
2	拟省略（舍弃）数字的最左一位数字大于 5，则保留的末位数字进一	如 3.562 修约为 3.6	六入
3	拟省略（舍弃）数字的最左一位数字等于 5 且其后有非 0 数字，则保留的末位数字进一	如 3.552 修约为 3.6	五后非零要进一
4	拟省略（舍弃）数字的最左一位数字等于 5 且其后无数字或皆为 0，则保留的末位数字变成偶数（奇进偶不进）	如 3.550 修约为 3.6 如 3.650 修约为 3.6	五后皆零尾变偶

有效数字——从一个数的左边第一个非零数字起，直至末位数字为止的所有数字称为有效数字。比如，0.3542 的有效数字有 4 个，分别是 3、5、4、2。

有效数字运算规则如下：

（1）加减计算。以小数点后位数最少的数据为基准，其他数据和计算结果均修约到该基准的位数。比如， $20.1+4.12+0.583=20.1+4.1+0.6=24.8$ 。

(2) 乘除计算。以有效数字位数最少的数据为基准，其他数据和计算结果均修约到该基准的位数。比如， $0.0121 \times 20.48 \times 3.0568 = 0.0121 \times 20.5 \times 3.06 = 0.759$ 。

## 1.2 极限数值的表示和判定

极限数值——标准中规定考核的以数量形式给出且符合该标准要求的指标数值范围的界限值。比如，水泥实测抗折强度 $\geq 5$  MPa，其中“5 MPa”就是极限数值。为了判定测试结果及进行工程质量评定，有必要熟悉和理解极限数值的表达方法。标准中极限数值通常以最小极限值和（或）最大极限值，或基本数值与极限偏差值等方式表达。标准中极限数值的表示形式及书写位数应适当，其有效数字应全部写出。极限数值的主要表达方式见表 1-2。

表 1-2 极限数值的表示方式

情形	符号	基本用语	备注
1	$\geq A$	大于或等于 A	测量值或计算值等于 A 值时满足要求
2	$> A$	大于 A	测量值或计算值等于 A 值时不满足要求
3	$\leq A$	小于或等于 A	测量值或计算值等于 A 值时满足要求
4	$< A$	小于 A	测量值或计算值等于 A 值时不满足要求
5	$A \leq X \leq B$	大于或等于 A 且小于或等于 B (从 A 到 B)	测量值或计算值等于 A 值或 B 值时满足要求
6	$A < X \leq B$	大于 A 且小于或等于 B (超过 A 到 B)	测量值或计算值等于 A 值时不满足要求，等于 B 值时满足要求
7	$A \leq X < B$	大于或等于 A 且小于 B (至少 A 不足 B)	测量值或计算值等于 A 值时满足要求，等于 B 值时不满足要求
8	$A < X < B$	大于 A 且小于 B (超过 A 不足 B)	测量值或计算值等于 A 值或 B 值时均不满足要求

备注：X——考察指标；A、B——极限值。

除了表 1-2 中极限数值的基本用语和组合表达外，还有含偏差值的极限数值表达方式。具体情形如下：

(1)  $A_{-b_2}^{+b_1}$ 。由基本数值 A 带有绝对极限上偏差值 $+b_1$ 和绝对极限下偏差值 $-b_2$ 组成，其含义是指从  $A-b_2 \leq X \leq A+b_1$ 。当  $b_1=b_2=b$  时， $A_{-b_2}^{+b_1}$  可简写为  $A \pm b$ 。比如， $40_{-1}^{+1}$  mm [或  $(40 \pm 1)$  mm] 是指从 39 mm 到 41 mm 满足要求。

(2)  $A_{-b_2\%}^{+b_1\%}$ 。由基本数值 A 带有相对极限上偏差值 $+b_1\%$ 和相对极限下偏差值 $-b_2\%$ 组成，其含义是指从  $A(1-b_2\%) \leq X \leq A(1+b_1\%)$ 。当  $b_1=b_2=b$  时， $A_{-b_2\%}^{+b_1\%}$  可简写为  $A(1 \pm b\%)$ 。比如，40 mm  $(1 \pm 2\%)$  是指从 39.2 mm 到 40.8 mm 满足要求。

(3)  $A_{-b_2}^{+b_1}$  (不含  $b_1$  和  $b_2$ ) 或  $A_{-b_2}^{+b_1}$  (不含  $b_1$ )、 $A_{-b_2}^{+b_1}$  (不含  $b_2$ )。在  $A_{-b_2}^{+b_1}$  的基础上附加括号, 括号中包含对极限上偏差值和极限下偏差值是否满足要求的描述, 其含义是指  $A-b_2 < X < A+b_1$  或  $A-b_2 \leq X < A+b_1$ 、 $A-b_2 < X \leq A+b_1$ 。比如  $40_{-1}^{+2}$  mm (不含 2) 是指至少 39 mm 不足 42 mm 满足要求。再比如,  $40 \text{ mm} (1 \pm 2\%)$  (不含 2%) 是指至少 39.2 mm 不足 40.8 mm 满足要求。

### 1.3 测量误差

由于环境条件、测量仪器、测量方法和操作人员水平等诸多因素影响, 试验测量结果都会与真实值之间存在一定的偏差。测量值  $X$  与真实值  $X_0$  之间的这一差值  $Y$  称为测量误差, 两者关系为:

$$X_0 = X + Y \quad (1-1)$$


大量实践表明, 一切试验测量结果都具有测量误差。了解和熟悉测量误差知识, 一方面能够帮助我们分析误差产生原因, 从而采取对应措施加以消除; 另一方面有助于我们科学地处理测量数据, 使测量结果最大限度地反映真实值。因此, 无论测量操作还是数据处理, 都是与误差概念分不开的。

测量误差一般可以分为三类: 系统误差、过失误差和随机误差。系统误差是指人机系统产生, 由一定原因引起的, 在相同条件下测量结果往往朝一个方向偏离的误差, 有时称之为恒定误差。随机误差是由不能预料、不能控制的原因造成的, 测量结果时大时小、时正时负, 带有偶然性, 有时称之为偶然误差。多次重复测定发现, 随机误差具有统计规律性, 即服从正态分布。过失误差也叫错误, 是一种与事实不符的显然误差。上述三种误差具体情况见表 1-3。

表 1-3 测量误差种类

类别	特点	影响因素
系统误差	有明显规律, 可消除或降低	仪器误差 (结构不完善、刻度不准、样品不符合要求等); 人为误差 (分辨力、固有习惯等); 环境误差 (温度、湿度等); 方法误差 (理论缺陷、引用公式、实验室条件达不到等); 试剂误差 (成分不纯等)
随机误差 (偶然误差)	无明显规律, 不可消除或降低	试验者 (最小分度值估读等); 测量仪器 (部件指示、使用年限等); 条件控制 (温度变动等)
过失误差	与事实不符, 不允许存在	试验者操作不对、仪器放置不稳、读错数据或计算错误等

误差的表示方法有三种：极差、绝对误差和相对误差。极差是指测量最大值和最小值之差。绝对误差是指测量值与真实值之间的差异。相对误差是指绝对误差与真实值之间的比值。其中，绝对误差和相对误差是误差理论的基础，在测量中应用广泛。由于数据的精确度与测量值本身也有很大的关系，因此采用相对误差更为合理。

 思考题

- (1) 为什么要对测试结果进行修约？简述数值修约规则。
- (2) 如何进行有效数字的加减和乘除运算？
- (3) 极限数值的常见表示方式有哪几种？ $50_{-1}^{+2} \text{ mm}$  的含义是什么？
- (4) 简述测量误差的定义、种类和区别。
- (5) 试验测试过程中的测量误差是怎样产生的？应如何消除或减少？

## 2 集料和石料试验

### 2.1 粗集料筛分

#### 2.1.1 目的与适用范围

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。

本方法也适用于同时含有粗集料、细集料、矿粉和集料的混合料的筛分试验，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。

#### 2.1.2 仪器与材料

- (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) 其他：盘子、铲子、毛刷等。

#### 2.1.3 试验准备

按规定将来料用分料器或四分法缩分至表 2-1 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 2-1 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	2.2	2	1	1	0.5

#### 2.1.4 试验步骤

##### 1. 干筛法（水泥混凝土用）

- (1) 取试样一份置于  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  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%。

注：恒重系指在相邻 2 次称量间隔时间大于 3 h（通常不少于 6 h）的情况下，前后 2 次称量之差小于该项试验所要求的称量精密度。下同。

（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%。

注：由于 0.075 mm 筛几乎不能把沾在粗集料表面的小于 0.075 mm 的石粉筛去，而且对水泥混凝土用粗集料而言，0.075 mm 通过率意义不大，所以也可以不筛，且把通过 0.15 mm 筛的筛下部分全部作为 0.075 mm 的分计筛余，将粗集料的 0.075 mm 通过率假设为 0。

（3）如果某个筛上的集料过多，影响筛分作业，则可以分两次筛分。当筛余颗粒的粒径大于 19 mm 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）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%。

## 2. 水洗法（沥青混合料及基层用）

（1）取一份试样，将试样置于  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  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%。

（2）将试样置于一洁净容器中，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。

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

（4）根据集料粒径大小选择组成一组套筛，其底部为 0.075 mm 标准筛，上部为 2.36 mm 或 4.75 mm 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。

（5）重复（2）~（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。

（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。

（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于  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  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 0.075 mm 的筛下部分。

（8）将回收的干燥集料按干筛方法筛分出 0.075 mm 筛以上各筛的筛余量，此时

0.075 mm 筛下部分应为 0；如果尚能筛出，则应将其并入水洗得到的 0.075 mm 筛下部分，且表示水洗得不干净。

### 2.1.5 干筛法结果计算

(1) 计算损耗和损耗率，记入筛分记录表中。若损耗率大于 0.3%，应重新进行试验。损耗是指各筛分计筛余量及筛底存量之和与筛分前试样干燥总质量  $m_0$  的差值，按式 (2-1) 计算；损耗率是指损耗占筛分前试样干燥总质量  $m_0$  的比例。

$$m_5 = m_0 - (\sum m_i + m_{\text{底}}) \quad (2-1)$$

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)；

$m_i$ ——各筛上的分计筛余 (g)；

$i$ ——依次为 0.075 mm、0.15 mm……至集料最大粒径的顺序；

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

(2) 分计筛余百分率。各筛上的分计筛余百分率按式 (2-2) 计算，记入筛分记录表中，精确至 0.1%。

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

式中： $P'_i$ ——各号筛上的分计筛分百分率 (%)；

$m_i$ ——各号筛上的分计筛余 (g)；

$i$ ——依次为 0.075 mm、0.15 mm……至集料最大粒径的顺序；

$m_0$ ——用于干筛的干燥集料总质量 (g)；

$m_5$ ——由于筛分造成的损耗 (g)。

(3) 累计筛余百分率。各号筛的累计筛余百分率为该筛以上各筛的分计筛余百分率之和，记入筛分记录表中，精确至 0.1%。

(4) 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，记入筛分记录表中，精确至 0.1%。

(5) 由筛底存量除以扣除损耗后的集料干燥总质量计算 0.075 mm 筛的通过率  $P_{0.075}$ 。

(6) 试验结果以两次试验的平均值表示，计入筛分记录表中，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。粗集料干筛法试验记录见表 2-2。

表 2-2 粗集料干筛法试验记录

集料名称					试验编号				
试验依据					试验条件				
主要仪器设备									
干燥试样总量 $m_0/g$	第一组				第二组				平均
	3000				3000				
筛孔尺寸/mm	筛上质量 $m_i/g$	分计筛余百分率/%	累计筛余百分率/%	通过率/%	筛上质量 $m_i/g$	分计筛余百分率/%	累计筛余百分率/%	通过率/%	通过率/%
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
19									
16									
13.2									
9.5									
4.75									
2.36									
1.18									
0.6									
0.3									
0.15									
0.075									
筛底 $m_{底}$									
筛分后总量 $\sum m_i/g$									
损耗 $m_s/g$									
损耗率/%									

### 2.1.6 水洗法结果计算

(1) 按式 (2-3) 和式 (2-4) 计算 0.075 mm 筛下部分质量  $m_{0.075}$  和 0.075 mm 通过率  $P_{0.075}$ , 记入筛分记录表中, 精确至 0.1%。当两次试验结果  $P_{0.075}$  的差值超过 1% 时, 应重新进行试验。

$$m_{0.075} = m_3 - m_4 \quad (2-3)$$

$$P_{0.075} = \frac{m_3 - m_4}{m_3} \times 100 \quad (2-4)$$

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

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

$m_3$ ——用于水洗的干燥粗集料总质量 (g) ;



$m_4$ ——水洗后干燥粗集料总质量 (g)。

(2) 计算筛分时的损耗, 并计算损耗率, 记入筛分记录表中。若损耗率大于 0.3%, 应重新进行试验。损耗是指各筛分计筛余量及筛底存量之和与筛分前试样干燥总质量  $m_0$  的差值, 按式 (2-5) 计算; 损耗率是指损耗占筛分前试样干燥总质量  $m_0$  的比例。

$$m_5 = m_3 - (\sum m_i + m_{0.075}) \quad (2-5)$$

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 0.075 mm、0.15 mm……至集料最大粒径的顺序;

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

(3) 计算其他各筛的分计筛余百分率、累计筛余百分率和通过百分率, 计算方法与 2.1.5 干筛法相同。当采用干筛并有筛分损耗时, 应按 2.1.5 的方法从总质量中扣除损耗部分, 将计算结果记入筛分记录表中。

(4) 试验结果以两次试验的平均值表示, 记入筛分记录表中。粗集料水洗法试验记录见表 2-3。

表 2-3 粗集料水洗法试验记录

集料名称				试验编号						
试验依据				试验条件						
主要仪器设备										
集料干燥总量 $m_3/g$		第一组		第二组		平均				
		3000		3000						
水洗后筛上总量 $m_4/g$										
水洗后 0.075 mm 筛下质量 $m_{0.075}/g$										
0.075 mm 通过率 $P_{0.075}/\%$										
筛孔尺寸/mm		筛上质量 $m_i/g$	分计筛余百分率/%	累计筛余百分率/%	通过百分率/%	筛上质量 $m_i/g$	分计筛余百分率/%	累计筛余百分率/%	通过百分率/%	通过百分率/%
水洗后干筛法筛分	19									
	16									
	13.2									
	9.5									
	4.75									
	2.36									

续表

水洗 后干 筛法 筛分	1.18								
	0.6								
	0.3								
	0.15								
	0.075								
	筛底 $m_{底}^*/g$								
	干筛后总量 $\sum m_i/g$								
损耗 $m_s/g$									
损耗率/%									
扣除损耗后总量/g									

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

### 2.1.7 试验报告

(1) 筛分结果以各筛孔的质量通过百分率表示，宜记录为表 2-2 和表 2-3 的格式。

(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（表 2-4），纵坐标为普通坐标，如图 2-1 所示。

表 2-4 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	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	2.745	3.193	3.482	3.762	4.370	4.723	5.109

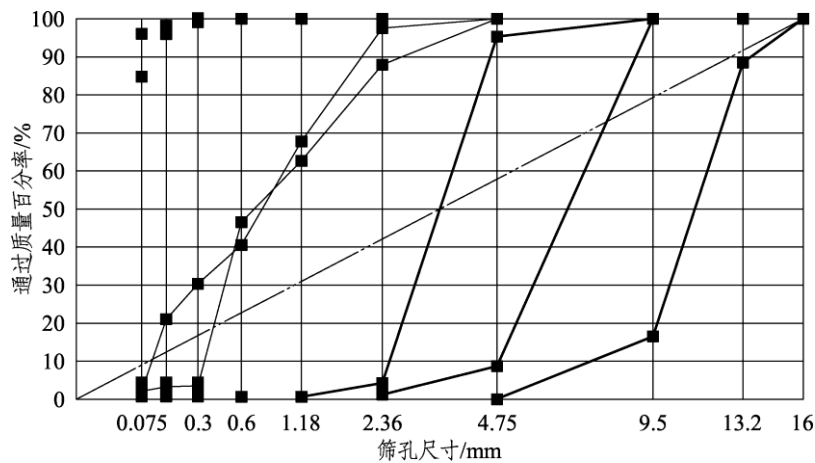


图 2-1 集料筛分曲线与矿料级配设计曲线

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

## 2.2 粗集料密度及吸水率(网篮法)

### 2.2.1 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。

### 2.2.2 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) 吊篮: 由耐锈蚀材料制成, 直径和高度为 150 mm 左右, 四周及底部用 1 mm~2 mm 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致。

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

(5) 毛巾: 纯棉制, 洁净, 也可用纯棉的汗衫代替。

(6) 其他: 温度计、标准筛、盛水容器(如搪瓷盘)、刷子等。

### 2.2.3 试验准备

(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 4.75 mm 筛过筛; 对 2.36 mm~4.75 mm 的集料, 或者混在 4.75 mm 以下石屑中的粗集料, 则用 2.36 mm 标准筛过筛。将试样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 2.36 mm~4.75 mm 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 2-5 的规定。

表 2-5 测定密度所需要的试样最小质量

公称最大粒径/mm	75	63	37.5	31.5	26.5	19	16	9.5	4.75
试样最小质量/kg	3	3	2	1.5	1.5	1	1	1	0.8

(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。

### 2.2.4 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, 水面至少高出试样 20 mm,

轻轻搅动石料，使附着在石料上的气泡完全逸出。在室温下保持浸水 24 h。

(2) 将吊篮挂在天平的吊钩上，浸入溢流水槽中，向溢流槽中注水，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 2.36 mm~4.75 mm 粗集料应更换小孔筛网，或在网篮中放一个浅盘。

(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 (2.36 mm~4.75 mm) 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，或有小颗粒沾附在吊篮上。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，既要将表面水擦掉，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 2.36 mm~4.75 mm 的集料，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 °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 ( $m_a$ )。

(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。

### 2.2.5 结果计算

(1) 表观相对密度  $\gamma_a$ 、表干相对密度  $\gamma_s$ 、毛体积相对密度  $\gamma_b$  按式 (2-6)~式 (2-8) 计算至小数点后 3 位。

$$\gamma_a = \frac{m_a}{m_a - m_w} \quad (2-6)$$

$$\gamma_s = \frac{m_f}{m_f - m_w} \quad (2-7)$$

$$\gamma_b = \frac{m_a}{m_f - m_w} \quad (2-8)$$

式中： $\gamma_a$ ——集料的表观相对密度，无量纲；

$\gamma_s$ ——集料的表干相对密度，无量纲；

$\gamma_b$ ——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 (2-9) 计算, 精确至 0.01%。

$$w_x = \frac{m_f - m_a}{m_a} \times 100 \quad (2-9)$$

式中:  $w_x$ ——集料的吸水率 (%)。

(3) 粗集料的表观密度 (视密度)  $\rho_a$ 、表干密度  $\rho_s$ 、毛体积密度  $\rho_b$  按式 (2-10) ~ 式 (2-12) 计算至小数点后 3 位。

$$\rho_a = \gamma_a \rho_T \quad \text{或} \quad \rho_a = (\gamma_a - a_T) \rho_w \quad (2-10)$$

$$\rho_s = \gamma_s \rho_T \quad \text{或} \quad \rho_s = (\gamma_s - a_T) \rho_w \quad (2-11)$$

$$\rho_b = \gamma_b \rho_T \quad \text{或} \quad \rho_b = (\gamma_b - a_T) \rho_w \quad (2-12)$$

式中:  $\rho_a$ ——集料的表观密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_s$ ——集料的表干密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_b$ ——集料的毛体积密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_T$ ——试验温度为  $T$  时水的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$a_T$ ——试验温度为  $T$  时的水温修正系数;

$\rho_w$ ——水在  $4\text{ }^\circ\text{C}$  时的密度 ( $1.000\text{ g}/\text{cm}^3$ )。

### 2.2.6 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, 两次结果相差不应超过 0.02, 对吸水率不得超过 0.2%。粗集料表观密度试验记录见表 2-6。

表 2-6 粗集料表观密度试验记录

集料名称		试验编号					
试验依据		试验条件					
主要仪器设备							
试样编号	粗集料烘干质量/g	粗集料表干质量/g	粗集料水中质量/g	表观相对密度	水温 / $^\circ\text{C}$	表观密度值 / ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	测定值 / ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
1							
2							

## 2.3 粗集料针片状颗粒含量

### 2.3.1 规准仪法

#### 1. 目的与适用范围

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

#### 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（图 2-2 和图 2-3），片状规准仪的钢板基板厚度为 3 mm，尺寸应符合表 2-7 的要求。

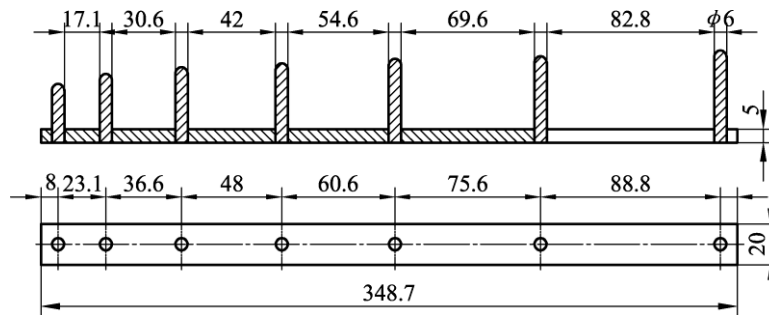


图 2-2 针状规准仪（尺寸单位：mm）

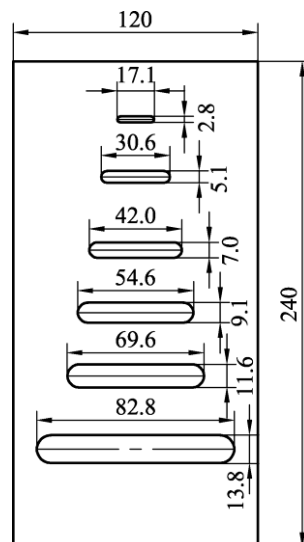


图 2-3 片状规准仪（尺寸单位：mm）

表 2-7 粒级划分及其相应的规准仪孔宽或间距 (水泥混凝土用粗集料)

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 <sub>1</sub> )	30.6 (B <sub>2</sub> )	42.0 (B <sub>3</sub> )	54.6 (B <sub>4</sub> )	69.6 (B <sub>5</sub> )	82.8 (B <sub>6</sub> )
片状规准仪上相对应的孔宽/mm	2.8 (A <sub>1</sub> )	5.1 (A <sub>2</sub> )	7.0 (A <sub>3</sub> )	9.1 (A <sub>4</sub> )	11.6 (A <sub>5</sub> )	13.8 (A <sub>6</sub> )

(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 4.75 mm、9.5 mm、16 mm、19 mm、26.5 mm、31.5 mm、37.5 mm, 试验时根据需要选用。

### 3. 试验准备

将试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 2-8 规定的质量, 称量 ( $m_0$ ), 然后筛分成表 2-7 所规定的粒级备用。

表 2-8 针片状颗粒试验所需的试样最小质量

公称最大粒径/mm	37.5	31.5	26.5	19	16	9.5
试样最小质量/kg	10	5	3	2	1	0.3

### 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 2-8 所规定的粒级用规准仪逐粒对试样进行针片状颗粒鉴定, 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者, 为片状颗粒。

(3) 称量由各级挑出的针状颗粒和片状颗粒的含量, 其总质量为  $m_1$ 。

### 5. 结果计算

碎石或砾石中针片状颗粒含量按式 (2-13) 计算, 精确至 0.1%。

$$Q_c = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (2-13)$$

式中:  $Q_c$ ——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)。

### 2.3.2 游标卡尺法

#### 1. 目的与适用范围

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。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。有特殊要求采用其他比例时，应在试验报告中注明。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. 仪器与材料

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

#### 3. 试验步骤

- (1) 按集料规程的相应方法，采集粗集料试样。
- (2) 按分料器法或四分法选取 1 kg 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 4.75 mm 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 1 g。试样数量应不少于 800 g，并不少于 100 颗。

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

- (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 2-4 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 1 g。

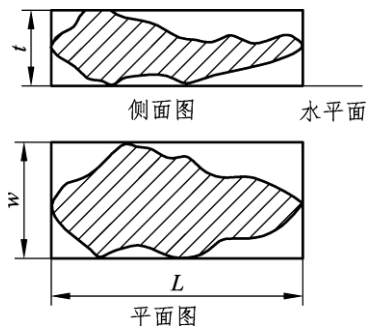


图 2-4 针片状颗粒稳定状态



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。

#### 4. 结果计算

按式 (2-14) 计算针片状颗粒含量。

$$Q_c = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (2-14)$$

式中： $Q_c$ ——针片状颗粒含量 (%)；  
 $m_1$ ——针片状颗粒的质量 (g)；  
 $m_0$ ——试验用的集料总质量 (g)。

#### 5. 试验报告

(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%，则取平均值为试验值；如大于或等于 20%，则应追加测定一次，取 3 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。

### 2.4 粗集料含泥量及泥块含量

#### 2.4.1 目的与适用范围

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

#### 2.4.2 仪器与材料

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

#### 2.4.3 试验准备

按集料规程的相应方法取样，将来样用四分法或分料器法缩分至表 2-9 所规定的量（注意防止细粉丢失并防止所含黏土块被压碎），置于温度为  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  的烘箱内烘干至恒重，冷却至室温后分成两份备用。

表 2-9 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	75	63	37.5	31.5	26.5	19	16	9.5	4.75
试样最小质量/kg	20	20	10	10	6	6	2	2	1.5

#### 2.4.4 试验步骤

##### 1. 含泥量

(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 (或用毛刷洗刷), 使尘屑、黏土与较粗颗粒分开, 并使之悬浮于水中; 缓缓地将浑浊液倒入 1.18 mm 及 0.075 mm 的套筛上, 滤去小于 0.075 mm 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 0.075 mm 的颗粒丢失。

(2) 再次加水于容器中, 重复以上步骤, 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 0.075 mm 筛放于水中 (使水面略高于筛内颗粒) 来回摇动, 以充分洗除小于 0.075 mm 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  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重, 取出冷却至室温后, 称取试样的质量 ( $m_1$ )。

##### 2. 泥块含量

(1) 取试样 1 份。

(2) 用 4.75 mm 筛将试样过筛, 称出筛去 4.75 mm 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 2.36 mm 筛上用水冲洗, 直至洗出的水清澈为止。

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

#### 2.4.5 结果计算

(1) 碎石或砾石的含泥量按式 (2-15) 计算, 精确至 0.1%。

$$Q_n = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (2-15)$$

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 0.075 mm 颗粒含量。

(2) 碎石或砾石中黏土泥块含量按式(2-16)计算,精确至0.1%。

$$Q_k = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \quad (2-16)$$

式中:  $Q_k$ ——碎石或砾石中黏土泥块含量(%) ;

$m_2$ ——4.75 mm 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作为测定值,两次结果的差值超过0.1%时,应重新取样进行试验。

## 2.5 细集料筛分

### 2.5.1 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,如有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。

### 2.5.2 仪器与材料

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

### 2.5.3 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9.5 mm 筛(水泥混凝土用天然砂)或4.75 mm 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不少于550 g的试样两份,在 $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重,冷却至室温后备用。

### 2.5.4 试验步骤

#### 1. 干筛法

(1) 准确称取烘干试样约500 g ( $m_1$ ),准确至0.5 g,置于套筛的最上面一只,即4.75 mm 筛上;将套筛装入摇筛机,摇筛约10 min;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 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。

注：① 试样如为特细砂时，试样质量可减少到 100 g。

② 如试样含泥量超过 5%，则不宜采用干筛法。

③ 无摇筛机时，可直接用手筛。

(2) 称量各筛筛余试样的质量，精确至 0.5 g。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，相差不得过后者的 1%。

## 2. 水洗法

(1) 准确称取烘干试样约 500 g ( $m_1$ )，准确至 0.5 g。

(2) 将试样置于一洁净容器中，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 1.18 mm 筛及 0.075 mm 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。

注：不可直接倒至 0.075 mm 筛上，以免集料掉出损坏筛面。

(5) 重复 (2) ~ (4) 步骤，直至倒出的水洁净且小于 0.075 mm 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，用少量的水将筛上的集料冲入搪瓷盘中。操作过程中不得有集料散失。

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

(8) 将全部要求筛孔组成套筛（但不需 0.075 mm 筛），将已经洗去小于 0.075 mm 部分的干燥集料置于套筛上（通常为 4.75 mm 筛），将套筛装入摇筛机，摇筛约 10 min；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，按这样顺序进行，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，套筛筛孔应根据需要选择。

(9) 称量各筛筛余试样的质量，精确至 0.5 g。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  $m_2$  的差值不得过后者的 1%。

### 2.5.5 结果计算

(1) 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, 0.15 mm 筛下部分即为 0.075 mm 的分计筛余, 由水洗法步骤 (7) 测得的  $m_1$  与  $m_2$  之差即为小于 0.075 mm 的筛底部分。

(2) 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%。

(3) 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%。

(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) 天然砂的细度模数按式 (2-17) 计算, 精确至 0.01。

$$M_x = \frac{(A_{0.15} + A_{0.3} + A_{0.6} + A_{1.18} + A_{2.36}) - 5A_{4.75}}{100 - A_{4.75}} \quad (2-17)$$

式中:  $M_x$ ——砂的细度模数;

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

(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, 则应重新进行试验。

## 2.6 细集料表观密度 (容量瓶法)

### 2.6.1 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 2.36 mm 部分的细集料。

### 2.6.2 仪器与材料

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

### 2.6.3 试验准备

将缩分至 650 g 左右的试样在温度为 105 °C  $\pm$  5 °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。

### 2.6.4 试验步骤

- (1) 称取烘干的试样约 300 g ( $m_0$ ), 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  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  的水中充分搅动以排除气泡,塞紧瓶塞,在恒温条件下静置 24 h 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,将瓶的内外表面洗净,再向瓶内注入同样温度的洁净水(温差不超过  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ )至瓶颈刻度线,塞紧瓶塞,擦干瓶外水分,称其总质量 ( $m_1$ )。

注: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  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### 2.6.5 结果计算

(1) 细集料的表观相对密度按式 (2-18) 计算至小数点后 3 位。

$$\gamma_a = \frac{m_0}{m_0 + m_1 - m_2} \quad (2-18)$$

式中:  $\gamma_a$ ——细集料的表观相对密度,无量纲;

$m_0$ ——试样的烘干质量 (g);

$m_1$ ——水及容量瓶总质量 (g);

$m_2$ ——试样、水及容量瓶总质量 (g)。

(2) 表观密度  $\rho_a$  按式 (2-19) 计算,精确至小数点后 3 位。

$$\rho_a = \gamma_a \rho_T \quad \text{或} \quad \rho_a = (\gamma_a - \alpha_T) \rho_w \quad (2-19)$$

式中:  $\rho_a$ ——细集料的表观密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\rho_w$ ——水在  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  时的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$\alpha_T$ ——试验时的水温对水密度影响的修正系数,按表 2-10 取值;

$\rho_T$ ——试验温度时水的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),按表 2-10 取值。

表 2-10 不同水温时水的密度  $\rho_T$  及水温修正系数  $\alpha_T$

水温/ $^{\circ}\text{C}$	15	16	17	18	19	20
水的密度 $\rho_T$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0.999 13	0.998 97	0.998 80	0.998 62	0.998 43	0.998 22
水温修正系数 $\alpha_T$	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005
水温/ $^{\circ}\text{C}$	21	22	23	24	25	
水的密度 $\rho_T$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0.998 02	0.997 79	0.997 56	0.997 33	0.997 02	
水温修正系数 $\alpha_T$	0.005	0.006	0.006	0.007	0.007	

(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  $0.01\text{ g}/\text{cm}^3$ ,则应重新取样进行试验。细集料表观密度试验记录见表 2-11。

表 2-11 细集料表观密度试验记录

集料名称				试验编号			
试验依据				试验条件			
主要仪器设备							
试样编号	细集料烘干质量/g	水、容量瓶的合质量/g	细集料、水、容量瓶总质量/g	表观相对密度	水温 /°C	表观密度值 / (g/cm <sup>3</sup> )	测定值 / (g/cm <sup>3</sup> )
1							
2							

## 2.7 细集料堆积密度及紧装密度

### 2.7.1 目的与适用范围

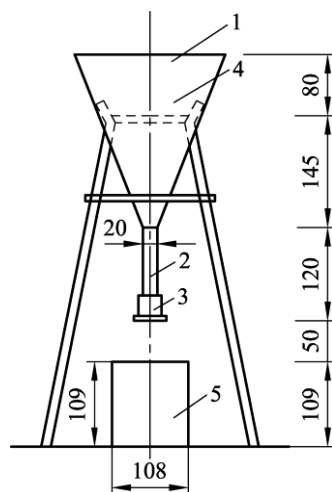
测定砂自然状态下的堆积密度、紧装密度及空隙率。

### 2.7.2 仪器与材料

(1) 台秤：称量 5 kg，感量 5 g。

(2) 容量筒：金属制，圆筒形，内径 108 mm，净高 109 mm，筒壁厚 2 mm，筒底厚 5 mm，容积约为 1 L。

(3) 标准漏斗：如图 2-5 所示。



1—漏斗；2— $\phi 20$  mm 管子；3—活动门；4—筛；5—金属量筒。

图 2-5 标准漏斗 (尺寸单位: mm)

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

(5) 其他：小勺、直尺、浅盘等。

### 2.7.3 试验准备

(1) 试样制备：用浅盘装来样约  $5\text{ kg}$ ，在温度为  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重，取出并冷却至室温，分成大致相等的两份备用。

注：试样烘干后如有结块，应在试验前先予捏碎。

(2) 容量筒容积的校正方法：以温度为  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  的洁净水装满容量筒，用玻璃板沿筒口滑移，使其紧贴水面，玻璃板与水面之间不得有空隙。擦干筒外壁水分，然后称量，用式 (2-20) 计算筒的容积：

$$V = m'_2 - m'_1 \quad (2-20)$$

式中： $V$ ——容量筒的体积 (mL)；

$m'_2$ ——容量筒、玻璃板和水总质量 (g)；

$m'_1$ ——容量筒和玻璃板总质量 (g)。

### 2.7.4 试验步骤

(1) 堆积密度：将试样装入漏斗中，打开底部的活动门，使砂流入容量筒中，也可直接用小勺向容量筒中装试样，但漏斗出料口或料勺距容量筒筒口均应为  $50\text{ mm}$  左右，试样装满并超出容量筒筒口后，用直尺将多余的试样沿筒口中心线向两个相反方向刮平，称取质量 ( $m_1$ )。

(2) 紧装密度：取试样 1 份，分两层装入容量筒。装完一层后，在筒底垫放一根直径为  $10\text{ mm}$  的钢筋，将筒按住，左右交替颠击地面各 25 下，然后再装入第二层。

第二层装满后用同样方法颠实（但筒底所垫钢筋的方向应与第一层放置方向垂直）。两层装完并颠实后，添加试样超出容量筒筒口，然后用直尺将多余的试样沿筒口中心线向两个相反方向刮平，称其质量 ( $m_2$ )。

### 2.7.5 结果计算

(1) 堆积密度及紧装密度分别按式 (2-21) 和式 (2-22) 计算至小数点后 3 位。

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{V} \quad (2-21)$$

$$\rho' = \frac{m_2 - m_0}{V} \quad (2-22)$$

式中： $\rho$ ——砂的堆积密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )；



$\rho'$ ——砂的紧装密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  
 $m_0$ ——容量筒的质量 ( $\text{g}$ );  
 $m_1$ ——容量筒和堆积砂的总质量 ( $\text{g}$ );  
 $m_2$ ——容量筒和紧装砂的总质量 ( $\text{g}$ );  
 $V$ ——容量筒容积 ( $\text{mL}$ )。

(2) 砂的空隙率按式 (2-23) 计算, 精确至 0.1%。

$$n = \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_a} \right) \quad (2-23)$$

式中:  $n$ ——砂的空隙率 (%);  
 $\rho$ ——砂的堆积或紧装密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  
 $\rho_a$ ——砂的表观密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

(3) 以两次试验结果的算术平均值作为测定值。细集料堆积密度试验记录见表 2-12。

表 2-12 细集料堆积密度试验记录

集料名称							试验编号	
试验依据							试验条件	
主要仪器设备								
试样编号	容量筒 质量/g	容量筒、玻璃 板的质量/g	容量筒、玻璃板 和水总质量/g	容量筒体 积/mL	容量筒、 砂总质量/g	堆积密度值 /( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	测定值 /( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	
1								
2								

## 2.8 岩石密度及毛体积密度

### 2.8.1 密度

#### 1. 目的与适用范围

岩石的密度 (颗粒密度) 是选择建筑材料、研究岩石风化、评价地基基础工程岩体稳定性及确定围岩压力等必需的计算指标。

本方法用洁净水作试液时适用于不含水溶性矿物成分的岩石的密度测定, 对含水溶性矿物成分的岩石应使用中性液体如煤油作试液。

## 2. 仪器与材料

- (1) 密度瓶：短颈量瓶，容积 100 mL。
- (2) 天平：感量 0.001 g。
- (3) 轧石机、球磨机、瓷研钵、玛瑙研钵、磁铁块和孔径为 0.315 mm (0.3 mm) 的筛子。
- (4) 砂浴、恒温水槽 (灵敏度  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 及真空抽气设备。
- (5) 烘箱：能使温度控制在  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- (6) 干燥箱：内装氯化钙或硅胶等干燥剂。
- (7) 锥形玻璃漏斗和瓷皿、滴管、中骨匙和温度计等。

## 3. 试验准备

取代表性岩石试样在小型轧石机上初碎 (或手工用钢锤捣碎)，再置于球磨机中进一步磨碎，然后用研钵研细，使之全部粉碎成能通过 0.315 mm 筛孔的岩粉。

## 4. 试验步骤

(1) 将制备好的岩粉放在瓷皿中，置于温度为  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 110\text{ }^{\circ}\text{C}$  的烘箱中烘至恒量，烘干时间一般为 6 h ~ 12 h，然后再置于干燥器中冷却至室温 ( $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 备用。

(2) 用四分法取两份岩粉，每份试样从中称取 15 g ( $m_1$ )，精确至 0.001 g (本试验称量精度皆同)，用漏斗灌入洗净烘干的密度瓶中，并注入试液至瓶的一半处，摇动密度瓶使岩粉分散。

(3) 当使用洁净水作试液时，可采用煮沸法或真空抽气法排除气体。当使用煤油作试液时，应采用真空抽气法排除气体。采用煮沸法排除气体时，煮沸时间自悬液沸腾时算起不得少于 1 h；采用真空抽气法排除气体时，真空压力表读数宜为 100 kPa，抽气时间维持 1 h ~ 2 h，直至无气泡逸出为止。

(4) 将经过排除气体的密度瓶取出擦干，冷却至室温，再向密度瓶中注入排除气体且同温条件的试液，使其接近满瓶，然后置于恒温水槽 ( $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 内。待密度瓶内温度稳定，上部悬液澄清后，塞好瓶塞，使多余试液溢出。从恒温水槽内取出密度瓶，擦干瓶外水分，立即称其质量 ( $m_3$ )。

(5) 倾出悬液，洗净密度瓶，注入经排除气体并与试验同温度的试液至密度瓶，再置于恒温水槽内。待瓶内试液的温度稳定后，塞好瓶塞，将逸出瓶外的试液擦干，立即称其质量 ( $m_2$ )。

## 5. 结果计算

(1) 按式 (2-24) 计算岩石密度值 (精确至  $0.01\text{ g/cm}^3$ ):

$$\rho_t = \frac{m_1}{m_1 + m_2 - m_3} \times \rho_{wt} \quad (2-24)$$

式中： $\rho_t$ ——岩石的密度 ( $\text{g/cm}^3$ )；  
 $m_1$ ——岩粉的质量 ( $\text{g}$ )；  
 $m_2$ ——密度瓶与试液的合质量 ( $\text{g}$ )；  
 $m_3$ ——密度瓶、试液与岩粉的总质量 ( $\text{g}$ )；  
 $\rho_{wt}$ ——与试验同温度试液的密度 ( $\text{g/cm}^3$ )，洁净水的密度由《公路工程岩石试验规程》(JTG E41) 附录 (以下同) 查得，煤油的密度按式 (2-25) 计算：

$$\rho_{wt} = \frac{m_5 - m_4}{m_6 - m_4} \times \rho_w \quad (2-25)$$

式中： $m_4$ ——密度瓶的质量 ( $\text{g}$ )；  
 $m_5$ ——密度瓶与煤油的合质量 ( $\text{g}$ )；  
 $m_6$ ——密度瓶与经排除气体的洁净水的合质量 ( $\text{g}$ )；  
 $\rho_w$ ——经排除气体的洁净水的密度 (由附录查得) ( $\text{g/cm}^3$ )。

(2) 以两次试验结果的算术平均值作为测定值，如两次试验结果之差大于  $0.02 \text{ g/cm}^3$  时，应重新取样进行试验。

(3) 密度试验记录应包括岩石名称、试验编号、试样编号、试液温度、试液密度、烘干岩粉试样质量、瓶和试液合质量以及瓶和试液和岩粉试样总质量、密度瓶质量。岩石密度试验记录见表 2-13。

表 2-13 岩石密度试验记录

岩石名称				试验编号			
试验依据				试验条件			
主要仪器设备							
试样编号	石粉质量/g	密度瓶与试液合质量/g	密度瓶、试液与石粉总质量/g	试液温度/°C	水的密度 / ( $\text{g/cm}^3$ )	石料密度值 / ( $\text{g/cm}^3$ )	测定值 / ( $\text{g/cm}^3$ )
1							
2							

## 2.8.2 毛体积密度

### 1. 目的与适用范围

岩石的毛体积密度 (块体密度) 是一个间接反映岩石致密程度、孔隙发育程度的参数，也是评价工程岩体稳定性及确定围岩压力等必需的计算指标。根据岩石含水状态，毛体积密度可分为干密度、饱和密度和天然密度。

岩石毛体积密度试验可分为量积法、水中称量法和蜡封法（略）。量积法适用于能制备成规则试件各类岩石；水中称量法适用于除遇水崩解、溶解和干缩湿胀外的其他各类岩石。

## 2. 仪器与材料

- (1) 切石机、钻石机、磨石机等岩石试件加工设备。
- (2) 天平：感量 0.01 g，称量大于 500 g。
- (3) 烘箱：能使温度控制在 105 ℃ ~ 110 ℃。
- (4) 石蜡及熔蜡设备。
- (5) 水中称量装置。
- (6) 游标卡尺。

## 3. 试验准备

- (1) 量积法试件制备。采用圆柱体作为标准试件，直径为 50 mm ± 2 mm、高径比为 2 : 1。
- (2) 水中称量法试件制备。试件尺寸应符合下列规定：试件可采用规则或不规则形状，试件尺寸应大于组成岩石最大颗粒粒径的 10 倍，每个试件质量不宜小于 150g。
- (3) 试件数量，同一含水状态，每组不得少于 3 个。

## 4. 量积法试验步骤

- (1) 量测试件的直径或边长：用游标卡尺量测试件两端和中间 3 个断面上互相垂直两个方向的直径或边长，按截面积计算平均值。
- (2) 量测试件的高度：用游标卡尺量测试件断面周边对称的 4 个点（圆柱体试件为互相垂直的直径与圆周交点处，立方体试件为边长的中点）和中心点的 5 个高度，计算平均值。
- (3) 测定天然密度：应在岩样开封后，在保持天然湿度的条件下，立即加工试件和称量。测定后的试件，可作为天然状态的单轴抗压强度试验用的试件。
- (4) 测定饱和密度：试件的饱和过程和称量应符合《公路工程岩石试验规程》（JTG E41）中吸水性试验（T 0205）相关条款的规定。测定后的试件，可作为饱和状态的单轴抗压强度试验用的试件。
- (5) 测定干密度：将试件放入烘箱内，控制在 105 ℃ ~ 110 ℃ 温度下烘 12 h ~ 24 h，取出放入干燥器内冷却至室温，称干试件质量。测定后的试件，可作为干燥状态单轴抗压强度试验用的试件。
- (6) 本试验称量精确至 0.01 g，量测精确至 0.01 mm。

## 5. 水中称量法试验步骤

- (1) 测天然密度时，应取有代表性的岩石制备试件并称量；测干密度时，将试件

放入烘箱，在 105 °C ~ 110 °C 下烘至恒量，烘干时间一般为 12 h ~ 24 h。取出试件置于干燥器内冷却至室温后，称干试件质量。

(2) 将干试样浸入水中进行饱和，饱和方法可依岩石性质选用煮沸法或真空抽气法。试件的饱和过程和称量，应符合岩石吸水性试验 (T 0205) 相关条款的规定。

(3) 取出饱和浸水试件，用湿纱布擦去试件表面水分，立即称其质量。

(4) 将试样放在水中称量装置的丝网上，称取试样在水中的质量 (丝网在水中质量可事先用砝码平衡)。在称量过程中，称量装置的液面应始终保持同一高度，并记下水温。

(5) 本试验称量精确至 0.01 g。

## 6. 结果计算

(1) 量积法岩石毛体积密度按式 (2-26) ~ 式 (2-28) 计算：

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V} \quad (2-26)$$

$$\rho_s = \frac{m_s}{V} \quad (2-27)$$

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \quad (2-28)$$

式中： $\rho_0$ ——天然密度 (g/cm<sup>3</sup>)；

$\rho_s$ ——饱和密度 (g/cm<sup>3</sup>)；

$\rho_d$ ——干密度 (g/cm<sup>3</sup>)；

$m_0$ ——试件烘干前的质量 (g)；

$m_s$ ——试件强制饱和后的质量 (g)；

$m_d$ ——试件烘干后的质量 (g)；

$V$ ——岩石的体积 (cm<sup>3</sup>)。

(2) 水中称量法岩石毛体积密度按式 (2-29) ~ 式 (2-31) 计算：

$$\rho_0 = \frac{m_0}{m_s - m_w} \times \rho_w \quad (2-29)$$

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_s - m_w} \times \rho_w \quad (2-30)$$

$$\rho_d = \frac{m_d}{m_s - m_w} \times \rho_w \quad (2-31)$$

式中： $m_w$ ——试件强制饱和后在洁净水中的质量 (g)；

$\rho_w$ ——洁净水的密度 (g/cm<sup>3</sup>)，由附录查得。

(3) 毛体积密度试验结果精确至 0.01 g/cm<sup>3</sup>，3 个试件平行试验。组织均匀的岩石，

毛体积密度应为 3 个试件测得结果之平均值；组织不均匀的岩石，毛体积密度应列出每个试件的试验结果。

(4) 孔隙率计算。

求得岩石的毛体积密度及密度后，用式 (2-32) 计算总孔隙率  $n$ ，试验结果精确至 0.1%：

$$n = \left( 1 - \frac{\rho_d}{\rho_t} \right) \times 100 \quad (2-32)$$

式中： $n$ ——岩石总孔隙率 (%)；

$\rho_t$ ——岩石的密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

(5) 毛体积密度试验记录应包括岩石名称、试验编号、试样编号、试件描述、试验方法、试件在各种含水状态下的质量、试件水中质量、试件尺寸、洁净水的密度等。岩石毛体积密度试验记录见表 2-14。

表 2-14 岩石毛体积密度试验记录 (量积法)

岩石名称				试验编号			
试验依据				试验条件			
主要仪器设备							
试样编号	试件尺寸/cm			试件体积 / $\text{cm}^3$	试件质量 /g	石料毛体积密度 值 / ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	测定值 / ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
	长	宽	高				
1							
2							
3							

## 2.9 岩石单轴抗压强度

### 2.9.1 目的与适用范围

单轴抗压强度试验是测定规则形状岩石试件单轴抗压强度的方法，主要用于岩石的强度分级和岩性描述。本方法采用饱和状态下的岩石立方体 (或圆柱体) 试件的抗压强度来评定岩石强度 (包括碎石或卵石的原始岩石强度)。在某些情况下，试件含水状态还可根据需要选择天然状态、烘干状态或冻融循环后状态。试件的含水状态要在试验报告中注明。

### 2.9.2 仪器与材料

- (1) 压力试验机或万能试验机。
- (2) 钻石机、切石机、磨石机等岩石试件加工设备。
- (3) 烘箱、干燥器、游标卡尺、角尺及水池等。

### 2.9.3 试验准备

(1) 建筑地基的岩石试验, 采用圆柱体作为标准试件, 直径为  $50\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ 、高径比为  $2:1$ 。每组试件共 6 个。

(2) 桥梁工程用的石料试验, 采用立方体试件, 边长为  $70\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ 。每组试件共 6 个。

(3) 路面工程用的石料试验, 采用圆柱体或立方体试件, 其直径或边长和高均为  $50\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ 。每组试件共 6 个。

有显著层理的岩石, 分别沿平行和垂直层理方向各取试件 6 个。试件上、下端面应平行和磨平, 试件端面的平面度公差应小于  $0.05\text{ mm}$ , 端面对于试件轴线垂直度偏差不应超过  $0.25^\circ$ 。对于非标准圆柱体试件, 试验后抗压强度试验值按公式  $R_e = \frac{8R}{7+2D/H}$  进行换算, 其中  $R$  为非标准圆柱体试件的抗压强度值,  $D$  和  $H$  为非标准圆柱体试件的直径和高。

### 2.9.4 试验步骤

(1) 用游标卡尺量取试件尺寸 (精确至  $0.1\text{ mm}$ ), 对立方体试件在顶面和底面上各量取其边长, 以各个面上相互平行的两个边长的算术平均值计算其承压面积; 对于圆柱体试件在顶面和底面分别测量两个相互正交的直径, 并以其各自的算术平均值分别计算底面和顶面的面积, 取其顶面和底面面积的算术平均值作为计算抗压强度所用的截面积。

(2) 试件的含水状态可根据需要选择烘干状态、天然状态、饱和状态、冻融循环后状态。试件烘干和饱和状态应符合吸水率试验相关条款的规定, 试件冻融循环后状态应符合抗冻性试验相关条款的规定。

(3) 按岩石强度性质, 选定合适的压力机。将试件置于压力机的承压板中央, 对正上、下承压板, 不得偏心。

(4) 以  $0.5\text{ MPa/s} \sim 1.0\text{ MPa/s}$  的速率进行加荷直至破坏, 记录破坏荷载及加载过程中出现的现象。抗压试件试验的最大荷载记录以牛 (N) 为单位, 精度为 1%。

### 2.9.5 结果计算

- (1) 岩石的抗压强度和软化系数分别按式 (2-33)、式 (2-34) 计算。

$$R = \frac{P}{A} \quad (2-33)$$

式中： $R$ ——岩石的抗压强度（MPa）；  
 $P$ ——试件极限破坏时的荷载（N）；  
 $A$ ——试件的截面积（mm<sup>2</sup>）。

$$K_p = \frac{R_w}{R_d} \quad (2-34)$$

式中： $K_p$ ——软化系数；  
 $R_w$ ——岩石饱和状态下的单轴抗压强度（MPa）；  
 $R_d$ ——岩石烘干状态下的单轴抗压强度（MPa）。

（2）单轴抗压强度试验结果应同时列出每个试件的试验值及同组岩石单轴抗压强度的平均值；有显著层理的岩石，分别报告垂直与平行层理方向的试件强度和平均值。计算值精确至 0.1 MPa。

软化系数计算值精确至 0.01，3 个试件平行测定，取算术平均值；3 个值中最大与最小之差不应超过平均值的 20%，否则，应另取第 4 个试件，并在 4 个试件中取最接近的 3 个值的平均值作为试验结果，同时在报告中将 4 个值全部给出。

（3）单轴抗压强度试验记录应包括岩石名称、试验编号、试样编号、试件描述、试件尺寸、破坏荷载等。岩石单轴抗压强度试验记录见表 2-15。

表 2-15 岩石单轴抗压强度试验记录

岩石名称			试验编号			
试验依据			试验条件			
主要仪器设备						
试样编号	试件边长或直径/mm		试件截面积/mm <sup>2</sup>	破坏荷载/N	单轴抗压强度/MPa	测定值/MPa
	顶面	底面				
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						



 思考题

- (1) 测试粗集料的颗粒组成的试验方法是什么？简述该方法的种类和各自适用范围。
- (2) 什么是分计筛余百分率和累计筛余百分率？粗集料筛分时如果产生少量损耗，分计筛余百分率和累计筛余百分率该如何计算？
- (3) 什么是粗集料的级配曲线？简述级配曲线的工程意义。
- (4) 简述表观密度、表干密度和毛体积密度的区别和联系。
- (5) 什么是饱和面干状态？使用网篮法进行测试时，粗集料的饱和面干状态应如何获得？
- (6) 测试粗集料针片状颗粒的试验方法有哪几种？它们之间的结果能否混用？
- (7) 什么是粗集料的含泥量？在测试含泥量过程中，如果不小心损失部分 0.075 mm~1.18 mm 的颗粒，则含泥量如何变化？
- (8) 测定细集料的颗粒级配的方法是什么？简述该方法的种类和各自适用范围。
- (9) 细集料粗细程度的评价指标是什么？简述该指标的计算公式和评价方法。
- (10) 简述利用容量瓶法测试细集料表观密度的注意事项。
- (11) 测试细集料的堆积密度时，应如何校正容量筒的容积？
- (12) 简述测试细集料的堆积密度和紧装密度时的试验步骤区别。
- (13) 在岩石密度试验过程中，试样制备如何处理？并解释其中原因。
- (14) 简述岩石密度测试过程中的注意事项。
- (15) 测试石料毛体积密度有哪几种方法？简述不同测试方法的适用范围。
- (16) 简述影响岩石单轴抗压强度测试结果的试验因素。

