

# 土木工程材料试验指导书

秦 鸿 根  庞 超 明 编

东南大学材料科学与工程实验中心

二〇一一年八月

# 目 录

学生实验守则.....	II
试验一 粉体材料密度和比表面积测定.....	2
试验二 水泥试验.....	7
试验三 集料性能试验.....	13
试验四 普通混凝土配合比的试配与调整.....	20
试验五 混凝土性能与非破损试验.....	24
试验六 钢筋力学性能试验.....	27
试验七 石油沥青试验.....	32
试验八 砖瓦与墙体材料.....	36
参考文献.....	38

## 学生实验守则

- 1 实验前必须做好预习工作，经考查预习不符合要求者，指导老师有权不准其参加本次实验，并定期补做。
- 2 实验课不得迟到、早退和无故缺席，请假应事先由班长通知教师，并出示必要证明。
- 3 实验时需保持整洁、安静、禁止乱扔纸片、杂物和随地吐痰，不得喧哗和随意走动，室内严禁吸烟。实验中不得阅读与实验无关的书、报、杂志等。
- 4 整个试验过程中，应特别注意安全问题，避免触电、烫伤、烧伤等事故，发现问题均应及时报告指导教师。
- 5 实验进行前，先检查仪器设备完整与否，非指定设备不得动用。按要求安装仪器，经指导教师检查合格后方可进行实验。
- 6 实验进行中应集中精力观察，以求得出正确的数据和结论，实验结果需经指导教师初审方可拆去装置，仪器收拾整齐，经指导教师检查，方可离开实验室。
- 7 注意节约用水、电、爱护室内一切财产，室内物品未经保管人员同意不得随意搬运或带出

# 试验一

## 试验一 粉体材料密度和比表面积测定

### 一、密度试验

#### (一) 概述

在工业中，钢铁冶炼、粉末冶金、电子材料、水泥、陶瓷、耐火材料、化工药品等，许多材料都采用粉状原料来制造，也有很多产品的最终形状就是粉体，而密度是粉体材料的基本物性指标，在粉体材料的粒度、空隙率、比表面积的测试中是不可缺少的基本物理参数，故测定粉体材料的密度具有非常重要的意义。

粉体材料密度测试的目的：

- ◇ 了解粉体真密度的概念及其在科研与生产中的作用
- ◇ 掌握粉体材料密度的测试原理与方法。

#### (二) 试验的基本原理

密度也叫比重，粉体材料的密度一般指材料的真密度(true density)，是指材料在密实状态下单位体积的质量，该体积不包含存在于材料颗粒内部的封闭孔，所以测定粉体材料的密度一般用于测试无孔材料，国际单位为  $\text{kg/m}^3$ 。根据测试适用的介质不同，其测定方法可分为浸液法和气体容积法两种。

浸液法是将粉体材料浸没在易润湿颗粒表面的溶液中，且该粉体材料不能与浸润材料发生化学反应，测定所排除液体的体积。浸液法主要有比重法和悬吊法，而其中比重法因为仪器简单，操作方便，结果可靠，已成为目前应用较多的测定粉体材料密度的方法之一。

比重瓶测试粉体材料密度是基于阿基米德原理，将待测粉末浸入对其润湿而不溶解的溶液中，排除气泡，其排除液体的体积就等于该粉末样品的体积，如果已知该液体的密度，则所排除的液体的体积就等于质量除以相应的密度。故待测粉

末样品密度  $\rho$  ( $\text{g/cm}^3$ ) 的计算公式为：
$$\rho = \frac{m_0}{m_l} \cdot \rho_l$$

式中： $m_0$  为粉末样品的质量，g； $m_l$  为排除的液体的质量，g； $\rho_l$  为浸润液的密度， $\text{g/cm}^3$ 。

气体容积法是以气体取代液体测定试样所排除的体积，此法排除了浸液法对试样溶解的可能性，具有不损坏试样的优点，但测定时易受温度的影响，还需注意漏气的问题。其方法又分为定容积法和不定容积法。

#### (三) 试验方法

以水泥试样为例，依据 GB/T208-1994 《水泥

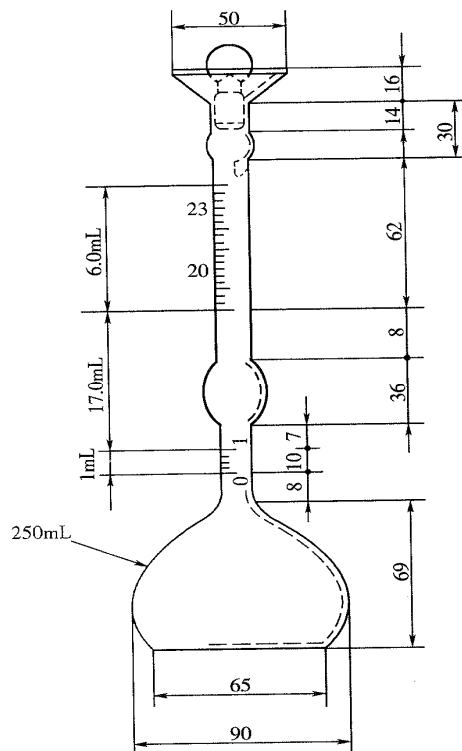


图 1-1 李氏比重瓶

密度测定方法》标准，测试粉末材料的密度。

### 1. 主要仪器

- (1) 李氏比重瓶(精度 0.1mL)。形状与尺寸如图 1-1 所示。
- (2) 天平(称量 1000g，感量 0.01g)。烘箱，筛子(孔径 0.90mm)，温度计等。

### 2. 试验步骤

(1) 将试样破碎、磨细后，全部通过 0.9mm 孔筛，再放入烘箱中，在不超过 110℃ 的温度下，烘至恒重，取出后置干燥器中冷却至室温备用。

(2) 将无水煤油注入李氏瓶至凸颈下 0~1mL 刻度线范围内。将注有煤油的李氏瓶放入恒温水槽内，使刻度线以下部分浸入水中，恒温 30min 后读出液面的初体积  $V_1$ (以弯液面下部切线为准)。从恒温水槽中取出李氏瓶，擦干外表面，用滤纸将瓶颈内液面上部内壁吸附的煤油仔细擦净。

(3) 称取 60.00g 烘干备用的水泥，用小匙将物料徐徐装入李氏瓶中，下料速度不得超过瓶内液体浸没物料的速度，以免阻塞，应将瓶微倾且摇动，使物料下沉后再继续添加。

(4) 排除瓶中气泡。以左手指捏住瓶颈上部，右手指托着瓶底，左右摆动或转动，使其中气泡上浮，每 3~5s 观察一次，直至无气泡上升为止。同时将瓶倾斜并缓缓转动，以便使瓶内煤油将粘附在瓶颈内壁上的物料洗入煤油中。

(5) 再将瓶放入恒温水槽中，在相同水温下恒温 30min，读出第二次体积读数  $V_2$ 。两次读数时恒温水槽温差应不大于 0.2℃。

*注：也可事先不称量水泥的质量，而称得天平加液体的初始重量  $W_1$ 。加入一定量的水泥，直至液面上升接近 20mL 的刻度时为止，用滤纸仔细擦干上口漏斗处干燥物料，排除气泡后，称出加入物料后的重量  $W_2$ ，通过  $W = W_2 - W_1$  求得水泥质量。*

### 3. 结果计算：试样密度 $\rho$ (精确至 $10\text{kg/m}^3$ )

$$\rho = \frac{W}{V_2 - V_1} \quad (\text{kg/m}^3)$$

以两次试验结果的平均值作为密度的测定结果。两次试验结果的差值不得大于  $20\text{kg/m}^3$ ，否则应重新取样进行试验。

## (四) 结果分析

浸液法中，所选浸润液应不溶解试样而易于润湿试样颗粒表面，且价廉物美，使用方便，易于得到。如对于陶瓷原料，如长石、石英和陶瓷制品一般可采用蒸馏水作为浸润液，对于水泥，因水泥易于与水产生反应，则可选用煤油或二甲苯等有机液体介质。此外，测定排除液体的体积时要求完全排除气泡，以免影响真实体积的测定。

浸液法也可采用其他装置，采用相似的原理测定粉末材料的密度，如采用真空脱气装置，更好的排除气泡，其操作方法大同小异。采用比重瓶法还可直接测定液体材料的密度。

Burt.M.W.G 在《Power technol》(1973) 指出，比重瓶法不适用于粒度小于  $5\mu\text{m}$  的超细粉体，因为超细粉体在其表面上会强烈的吸附气体，而要排除所吸附的气体，需要在高温下处理。同样对于表面粗糙的颗粒材料，其试样表面可能有空气进入表面裂缝或表面凹陷处，也不易排除。因此他提出可使用离心式比重瓶，将粉末样品制备成悬浮液放入比重瓶内，使悬浮液受离心作用后再按通常的方法测定密度。

## 二、比表面积测定

## (一) 概述

在生产中，一些化学反应需要较大的比表面积以提高化学反应速度，要有适当的比表面积来控制生产过程；许多粉体材料需要保证一定的粒度分布来保证化学质量或者满足一些特定的要求。

每单位质量的粉体所具有的表面积的总和，称为比表面积，比表面积也是粉末材料的基本物性参数之一，其国际单位为  $\text{m}^2/\text{kg}$ 。

粉体有非孔结构和多孔结构两种特征，因此粉体材料的比表面积有外表面积和内表面积两种，其测定方法有勃氏透气法、低压透气法和动态吸附法三种。理想的非孔结构的物料只有外表面积。对于多孔性结构材料，除外表面积外，还有内表面积，一般多用气体吸附法测定。

勃氏(Blaine)透气法在许多国家用于测定粉末试样比表面积的一种方法。在无机非金属材料中，水泥产品是粉末，测定水泥的比表面积可以检验水泥细度以保证水泥的强度。

采用勃氏法测定水泥的比表面积的目的主要有：

- ◇ 了解透气法测定粉末比表面积的基本原理
- ◇ 掌握勃氏法测定粉末比表面积的方法，能正确计算试样的比表面积。

## (二) 试验的基本原理

当流体(气体或液体)在  $t$  秒内透过含有一定空隙率的、截面积为  $A$ 、长度为  $L$  的粉体层时，其流量  $Q$  与压力降  $\Delta P$  成正比，这就是达西法则。即  $\frac{Q}{A \cdot t} = B \frac{\Delta P}{\eta \cdot L}$ 。

式中： $\eta$  为流体的粘度系数，与温度有关； $B$  为与构成粉体层的颗粒大小、形状、充填层的孔隙率等有关的常数，称为比透过度或透过度。

柯增尼(Kozeny)把粉体层当作毛细管的集合体来考虑，用(Poiseuille)法则将在粘性流动的透过度导入规定的理论公式，卡曼(Carman)研究了 Kozeny 公式，发现了关于各种粒状物质充填层的透过性的试验与理论一致，并导出了粉体的比表面积与透过度  $B$  的关系式：

$$B = \frac{g}{K \cdot S_v^2} \cdot \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2}$$

式中： $g$  为重力加速度； $\varepsilon$  为粉体层的孔隙率； $S_v$  为单位体积的表面积， $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ ； $K$  为常数，与粉体层中流体通路的“扭曲”有关，一般定为 5。

$$\text{结合上述两式可得： } S_v = \sqrt{\frac{g}{B \cdot K} \cdot \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)^2}} = \frac{\sqrt{\varepsilon^3}}{(1-\varepsilon)} \sqrt{\frac{g}{5} \cdot \frac{\Delta P \cdot A \cdot t}{Q \cdot \eta \cdot L}}$$

因此单位质量的表面积，即质量比表面积

$$S_w = \frac{S_v}{\rho} = \frac{\sqrt{\varepsilon^3}}{\rho \cdot (1-\varepsilon)} \sqrt{\frac{g}{5} \cdot \frac{\Delta P \cdot A \cdot t}{Q \cdot \eta \cdot L}} = \frac{\sqrt{\varepsilon^3}}{\rho \cdot (1-\varepsilon)} \sqrt{\frac{t}{\eta} \cdot \frac{g}{5} \cdot \frac{\Delta P \cdot A}{Q \cdot L}} = K \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon^3}}{\rho \cdot (1-\varepsilon)} \sqrt{\frac{t}{\eta}}$$

式中， $\rho$  为粉体材料的密度， $\text{g}/\text{cm}^3$ ；令  $K = \sqrt{\frac{g}{5} \cdot \frac{\Delta P \cdot A}{Q \cdot L}}$ ，对一定的比表面积透气

仪，是与仪器有关的常数。

根据透过介质的不同，透过法分为液体透过法和气体透过法，目前较常用的主要是气体透过法。该方法的种类很多，根据使用仪器的不同，可分为：前苏联的托瓦洛夫式

T-3 型透气仪、英国的 Lea-Nurse 透气仪、日本荒川-水渡的超微粉体测定仪、美国费歇尔式的平均粒度仪、美国勃莱恩式的勃氏透气仪。其中勃氏透气仪在国际中较为通用，该装置由于透过粉体层的空气容积是固定的，故也称为恒定容积式透气仪，硅酸盐水泥的细度一般用勃氏比表面积表示

水泥比表面积测定原理是以一定量的空气，透过具有一定空隙率和一定厚度的压实粉层时所受阻力不同而引起流速变化来进行测定的。测试时先使试样粉体形成孔隙率一定的粉体层，然后抽真空，使 U 型管的压力计右边的液柱上升到一定的高度。关闭活塞后，外部空气透过粉体层，使 U 型管压力计右边的液柱下降，测出液柱下降一定高度所需要的时间，并采用已知比表面积的标准物料对仪器进行校正，来求出粉体试样的比表面积。

### (三) 试验方法

依据 GB/T8074—1987《水泥比表面积测定方法（勃氏法）》标准，采用勃氏透气法测定水泥或其他粉体材料的比表面积。

**1. 主要仪器：**电动勃氏透气比表面仪，如图 1-2 所示；分析天平(精确至 0.001g)，计时秒表(精度 0.05s)等。

#### 2. 试验步骤

(1) 首先进行漏气检查。将透气圆筒上口用橡皮塞塞紧安装到 U 型压力计上，用抽气装置抽出部分气体，形成一定的压力差，然后关闭阀门，观察液柱是否下降，如果液柱高度保持不变，则表明不漏气，否则用活塞油脂加以密封。

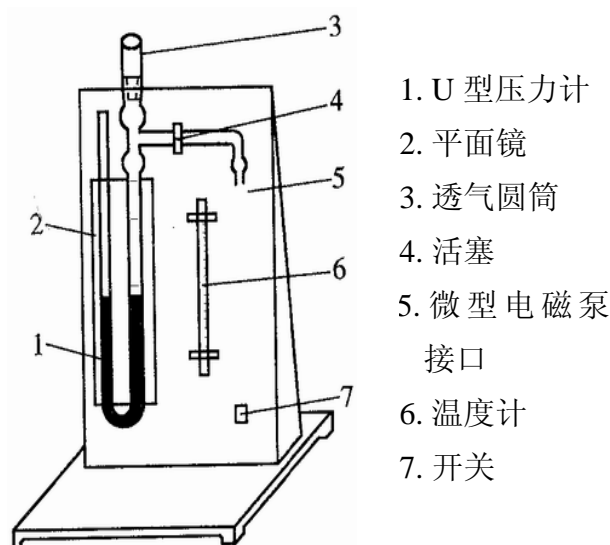


图 1-2 勃氏透气比表面仪

(2) 用已知密度、比表面积等参数的标准粉对仪器进行校正，用水银排代法测粉料层的体积  $V$ 。

(3) 将试样过 0.9mm 筛，在  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  下烘干后，在干燥器中冷却至室温备用，根据所测试样的密度和试料层体积等计算出试样量  $W = \rho V(1 - \varepsilon)$ ，其中孔隙率  $\varepsilon = 0.500 \pm 0.005$ 。

(4) 称取烘干的水泥试样(精确至 0.001g)，制备粉料层。将穿孔板放入透气圆筒的边缘上，用一根直径比圆筒略小的细棒把一片滤纸送至穿孔板上，边缘压紧，将称取的试样导入圆筒，轻敲圆筒边，使试样层表面平坦，再放入一片滤纸，用捣棒均匀捣实试料，直至捣棒支持环紧紧接触圆筒顶边并旋转二周，慢慢取出捣棒。

(5) 把装有粉料层的透气圆筒连接到 U 型压力计上, 进行透气试验。开动抽气泵, 使比表面仪压力计中液面上升到一定高度(扩大部下端的刻度线), 关闭旋塞和气泵, 用秒表记录压力计中液面由指定高度下降至一定距离时的时间, 同时记录试验温度。

3. 结果计算: 计算比表面积(精确至  $1\text{m}^2/\text{kg}$ ):

$$S = \frac{s_s \rho_s \sqrt{T} (1 - \varepsilon_s) \sqrt{\varepsilon_s^3} \sqrt{\eta_s}}{\rho \sqrt{T_s} (1 - \varepsilon) \sqrt{\varepsilon_s^3} \sqrt{\eta}} \quad (\text{m}^2 / \text{kg})$$

式中: S 为试样的比表面积,  $\text{m}^2/\text{kg}$ ; 有 s 下标为标准试样的数据, 如  $S_s$  为标准粉的比表面积( $\text{m}^2/\text{g}$ );  $\rho$  为试样密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ; T 为下落时间, s;  $\varepsilon$  试样的空隙率,  $\eta$  为与温度有关的空气粘度。表 1-1 表示不同温度下的空气粘度和水泥密度值。

表 1-1 不同温度下的空气粘度和水泥密度

温度/ $^{\circ}\text{C}$	空气粘度 $\eta$ / $\times 10^{-4}\text{Pa} \cdot \text{s}$	水银密度 $\rho$ / $\times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	空气粘度 $\eta$ / $\times 10^{-4}\text{Pa} \cdot \text{s}$	水银密度 $\rho$ / $\times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$
8	1.749	13.58	22	1.818	13.54
10	1.759	13.57	24	1.828	13.54
12	1.768	13.57	26	1.837	13.53
14	1.778	13.56	28	1.847	13.53
16	1.788	13.56	30	1.857	13.52
18	1.798	13.55	32	1.867	13.52
20	1.808	13.55	34	1.876	13.51

当测定标准试样和被测试样的实验温差  $\leq 3^{\circ}\text{C}$ , 且试样与标准粉具有相同的孔隙率时, 水泥比表面积 S 可按下式计算:

$$S = \frac{S_s \rho_s \sqrt{T}}{\rho \sqrt{T_s}} \quad (\text{cm}^2 / \text{g})$$

水泥比表面积应由二次试验结果的平均值确定, 如两次试验结果相差 2% 以上时, 应重新试验。并将结果换算成  $\text{m}^2/\text{kg}$  为单位。

#### (四) 结果分析

试验所用滤纸, 应与圆筒内径相同、边缘光滑的圆片。如滤纸太小, 会有部分试样粘于圆筒内壁高出圆板上部, 而滤纸太大时, 滤纸会占有材料的部分体积, 引起测定结果的偏离。每次测定时均最好使用新的滤纸。

试料层的空隙率, 对于一般硅酸盐水泥为 0.5, 但对多孔材料或过细的水泥时, 需要进行适当调整。如其他品种粉料按  $W = \rho V(1 - \varepsilon)$  算出的试样量在圆筒的有效体积中容纳不下或经捣实后未能充满圆筒的有效体积, 允许适当的改变孔隙率。

用透气法测定比表面积的主要缺点在于计算公式中引用了一些试验常数和假设。在一定孔隙率的水泥层中, 孔隙的大小和数量是颗粒尺寸的函数。空气透过粉末层对粉末颗粒做相对运动、粉末的表面形状、颗粒的排列、空气在颗粒孔壁之间的滑动、空隙分布均匀程度等均会影响测试结果, 但这些计算公式中均没有考虑。对于低分散度、比表面积相对较小的粉末试样层, 气体通道孔隙较大, 上述影响因素较小, 测定结果比较准确; 但对于高分散度、比表面积很大的粉末样品, 空气通道的孔径较小, 上述影响因素较大, 测定结果偏低, 粉末越细, 其偏低程度越多。因此对于高分散度的粉末材料, 特别是多孔性粉体材料, 可采用低压透气法或吸附法。



## 思考题

1. 测定粉体材料密度的原理是什么？
2. 影响密度测定的主要因素有哪些？
3. 测定粉体材料比表面积的基本原理是什么？
4. 透气法测试粉体材料的比表面积有何局限性，影响测试结果的主要因素有哪些？
5. 如何进行漏气检查，如有漏气应如何处理？试料层如何正确制备？如何计算试样的比表面积？

## 试验数据记录表

### 一、 密度

样品名称、规格： \_\_\_\_\_

试验日期： \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 \_\_\_\_\_ 时

浸液名称： \_\_\_\_\_

试验温度、湿度： T \_\_\_\_\_ °C， RH \_\_\_\_\_ %

浸液密度： \_\_\_\_\_

设备名称、型号： \_\_\_\_\_

试样 编号	质量/g			体积/cm <sup>3</sup>			密度 $\rho = \frac{W}{V} / \text{kg/m}^3$	平均值 /kg/m <sup>3</sup>
	加粉末前 W <sub>1</sub>	加粉末后 W <sub>2</sub>	W=W <sub>2</sub> -W <sub>1</sub>	加粉末前 V <sub>1</sub>	加粉末后 V <sub>2</sub>	V=V <sub>2</sub> -V <sub>1</sub>		
1								
2								

### 二、 比表面积

样品名称、规格： \_\_\_\_\_

设备名称、型号： \_\_\_\_\_

标准数据

密度  $\rho_s$  \_\_\_\_\_ kg/m<sup>3</sup>

孔隙率  $\epsilon_s$  \_\_\_\_\_

标定温度 \_\_\_\_\_ °C

时间 T<sub>s</sub> \_\_\_\_\_ s

比表面积 S<sub>s</sub> \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>/kg

编号	密度 kg/m <sup>3</sup>	温度/°C	孔隙率	下落时间/s	比表面积 m <sup>2</sup> /kg	评定值

## 试验二 水泥试验

依据 GB1346—2005 与 GB/T17671—1999 进行水泥的物理性能和胶砂强度试验。水泥的试验结果必须满足 GB175—2008 或 GB1344—1999 中规定的质量指标。

### 一、水泥试验的一般规定

1. 取样方法，以同一水泥厂、同品种、同标号、同期到达的水泥进行取样和编号。一般以不超过 100t 为一个取样单位。取样应具有代表性，可连续取、也可在 20 个以上不同部位抽取等量的样品，总量不少于 12kg。

2. 取得的试样应充分拌匀，分成两份，其中一份密封保存 3 个月，试验前，将水泥通过 0.9mm 的方孔筛，并记录筛余百分率及筛余物情况。

3. 试验用水必须是洁净的淡水。

4. 试验室温度应为  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应不低于 50%；养护箱温度为  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度应大于 90%；养护池水温为  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

5. 水泥试样、标准砂、拌和水及仪器用具的温度应与试验室温度相同。

### 二、水泥细度检验

水泥细度检验分水筛法和负压筛法两种，如对两种方法检验结果有争议时，以负压筛法为准。硅酸盐水泥细度用比表面积表示。

#### (一) 水筛法

##### 1. 主要仪器设备

(1) 水筛及筛座，水筛采用边长为 0.080mm 的方孔铜丝筛网制成，筛框内径 125mm，高 80mm。

(2) 喷头，直径 55mm，面上均匀分布 90 个孔，孔径 0.5~0.7mm，喷头安装高度离筛网 35~75mm 为宜。

(3) 天平（称量为 100g，感量为 0.05g），烘箱等。

##### 2. 试验步骤

(1) 称取已通过 0.9mm 方孔筛的试样 50g，倒入水筛内，立即用洁净的自来水冲至大部分细粉通过，再将筛子置于筛座上，用水压 0.03~0.07MPa 的喷头连续冲洗 3min。

(2) 将筛余物冲到筛的一边，用少量的水将其全部冲移至蒸发皿内，沉淀后将水倒出。

(3) 将蒸发皿在烘箱中烘至恒重，称量试样的筛余量，精确至 0.1g。

##### 3. 结果计算

将筛余量的重量克数乘以 2 即得筛余百分数，并以一次试验结果作为检验结果。

#### (二) 负压筛法

##### 1. 主要仪器设备

(1) 负压筛。同样采用边长为 0.080mm 的方孔铜丝筛网制成，并附有透明的筛盖，筛盖与筛口应有良好的密封性。筛使用 10 次后应清洗，应用专门清洗剂，不可用弱酸浸泡，必要时需要进行筛网的校正。

标定时，先标样放入密闭广口瓶，摇 2min，消除结块，搅拌均匀，按相应方法称量并试验，平行试验两次，中间不得进行其他样品的试验，取平均值。当结果相差大于 0.3% 时，再进行第三次试验，取接近的两次试验的平均值  $F_t$ 。修正系数计算： $C = F_s/F_t$ （计算至 0.01），修正系数  $C = 0.80 \sim 1.20$  时，筛可用但应修正，否则该负压筛不可用

(2) 负压筛析仪。由筛座、负压源及收尘器组成。

## 2. 试验步骤

(1) 检查负压筛析仪系统，调压至 4000~6000Pa 范围内。

(2) 称取过筛的水泥试样 25.00g，置于洁净的负压筛中，盖上筛盖并放在筛座上。

(3) 启动并连续筛析 2min，在此期间如有试样粘附于筛盖，可轻轻敲击使试样落下。

(4) 筛毕取下，用天平称量筛余物的重量 (g)，精确至 0.01g。

## 3. 结果计算

以筛余量的重量克数乘以 4，即得筛余百分数，取两次检验结果平均值。当  $F \leq 5\%$  时，绝对误差应小于 0.5%；当  $F > 5\%$  时，绝对误差应小于 1.0%。

### (三) 水泥比表面积测定

水泥比表面积测定原理是以一定量的空气，透过具有一定空隙率和一定厚度的压实粉层时所受阻力不同而进行测定的。并采用已知比表面积的标准物料对仪器进行校正，见试验一。

## 三、水泥标准稠度用水量测定

水泥标准稠度用水量可用试杆法和试锥法两种，其中试锥法又分为调整水量和固定水量两种方法，如有争议时以试杆法为准。其试验目的是为测定水泥凝结时间和安定性试验提供标准稠度用水量。

### (一) 主要仪器设备

1. 水泥净浆搅拌机，见图 2-1。由主机、搅拌叶 搅拌锅组成。搅拌叶片以双转双速转动。

2. 标准稠度测定维卡仪，如图 2-2。包括试杆与锥模。滑动部分（滑杆、指针及试杆）的总重量为  $300 \pm 2g$ 。

3. 天平、铲子、小刀、量筒等。



图 2-1 水泥净浆搅拌机



图 2-2 维卡仪

### (二) 试验步骤

1. 拌和时称取水泥试样 500g，拌和用水量，按经验找水，多数水泥在 120~150ml。

2. 用湿布将搅拌锅和搅拌叶片擦湿，将称好的水泥倒入锅内，将搅拌锅固定在搅拌机的锅座上，升至搅拌位置。

3. 启动搅拌机进行搅拌，徐徐加入拌和水，慢拌 120s，停 15s，再快拌 120s 后自动停机。

4. 搅拌完毕后，立即将净浆一次装入锥模内，用小刀插捣并用手将其振动数次，使气泡排出并刮平，再放到试杆下面的固定位置上。将试杆降至净浆表面，拧紧螺丝，指针调至零点，然后 1~2s 内突然放松螺丝，让试杆自由沉入浆体中，到试杆停止下沉时，或释放试杆 30s 时记录试杆距底板之间的距离。

当试杆下沉深度  $S$  距底板  $6 \pm 1\text{mm}$  范围内的净浆作为标准稠度的水泥浆，若  $S$  不在此范围内，应再减少或增加水量，直至测出满足要求为止。此时的用水量即为标准稠度用水量  $P$  (%)，以拌和水量占水泥用量的百分比表示。

整个操作应在  $1.5\text{min}$  内完成。

#### 四、水泥净浆凝结时间测定

##### (一) 主要仪器设备

1. 凝结时间测定仪同标准稠度测定仪，但试杆换成试针（见图 2-2）。
2. 其他仪器设备同标准稠度测定。

##### (二) 试验步骤

1. 称取水泥试样  $500\text{g}$ ，按标准稠度用水量制备标准稠度的水泥净浆，并立即一次装入圆模，用手振动数次后刮平，然后放入标准养护箱内，同时记录开始加水的时刻。

2. 初凝时刻测定。先调整测定仪，使试针接触圆模底面，将指针调至标尺最下面的刻度线作为零点。测定时从养护箱中取出试件放到试针下，调至试针正好与浆体表面接触，拧紧螺丝再突然放松，让  $300\text{g}$  重的试针自由插入浆体中，到试针停止下沉时或释放试杆  $30\text{s}$  时记录指针刻度数。

为防止撞弯试针，在最初测定时，应轻扶试针滑杆，使之徐徐下降。但当测定初凝时刻时，仍须以自由下落的读数为准。

3. 终凝时刻测定。每次将试针调至浆体表面，同时将指针调至标尺最上面的刻度线作为零点。同样突然放松，试针自由插入浆体中，观察指针读数。

4. 从加水时起  $30\text{min}$  后进行第一次测定，以后每隔一定时间测一次，临近初凝时，每隔  $5\text{min}$  测一次；临近终凝时每隔  $15\text{min}$  测一次，到达初凝和终凝时应立即重复测一次。每次测定不得让试针落入原孔内，每次测定后，均须将圆模放回养护箱内，并将试针擦净，圆模试件不得受振动。

##### (三) 试验结果

1. 自加水时刻起，至试针插入净浆中距底板  $4 \pm 1\text{mm}$  时所经过的时间为初凝时间；至试针插入净浆中不超过  $0.5\text{mm}$  时所经过的时间为终凝时间。

2. 初凝时间与终凝时间均用  $h\text{-min}$ （小时-分）表示。

凝结时间测试中，要注意区辨别急凝或假凝现象。由于半水石膏或无水石膏先于  $\text{C}_3\text{A}$  反应，溶解生成二水石膏，拌合后浆体很快失去流动性，但是没有伴随放热的发生，没有温度升高，再次拌合后又能恢复流动性，这种现象为假凝。由于  $\text{C}_3\text{A}$  含量高，石膏含量少，拌合后  $\text{C}_3\text{A}$  很快发生反应，浆体很快失去流动性，伴随放热的发生，温度升高，再次拌合不能恢复流动性的现象称之为急凝。

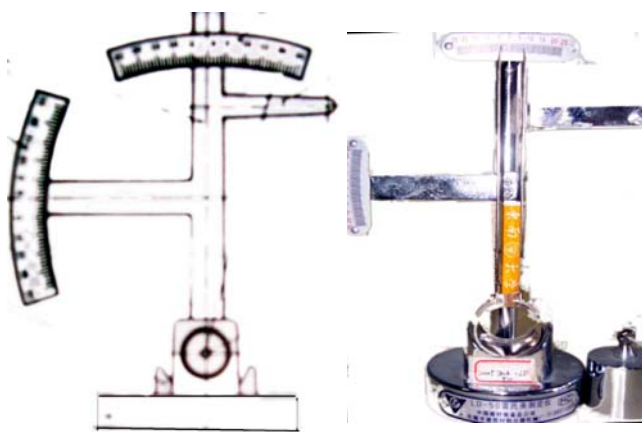
#### 五、水泥安定性试验

用沸煮法鉴定游离氧化钙对水泥安定性的影响。安定性试验分试饼法和雷氏法两种，有争议时以雷氏法为准。

##### (一) 主要仪器设备

1. 沸煮箱。有效容积为  $410\text{mm} \times 240\text{mm} \times 310\text{mm}$ ，内设篦板及加热器两组。能在  $30 \pm 5\text{min}$  内将一定量的水由  $20^\circ\text{C}$  升至沸腾，并保持恒沸  $3\text{h}$ 。

2. 雷氏夹膨胀测定仪，如图 2-3 所示。标尺最小刻度为  $0.5\text{mm}$ 。



3. 雷氏夹。由不锈钢或铜质材料制成，当用 300g 砝码校正时，二根针的针尖距离增加应在  $17.5 \pm 2.5\text{mm}$  范围内。

4. 净浆搅拌机、天平、标准养护箱、小刀等。

## (二) 试验步骤

### 1. 试饼法

(1) 将制备好的标准稠度的水泥净浆取出约 150g，分成两等份，使之呈球形，放在已涂油的玻璃板上，用手轻振玻璃板使水泥浆摊开，并用小刀由边缘向中央抹动，做成直径 70~80mm、中心厚约 10mm 边缘渐薄、表面光滑的试饼，放入标准养护箱内标养  $24 \pm 2\text{h}$ 。

(2) 除去玻璃板并编号，先检查试饼，在无缺陷的情况下放于沸煮箱的篦板上，调好水位与水温，接通电源，在  $30 \pm 5\text{min}$  内加热至沸并恒沸  $3\text{h} \pm 5\text{min}$ 。

(3) 沸煮结束后放掉热水、冷却至室温，用目测未发现裂纹，用直尺检查平面也无弯曲现象时为安定性合格，反之为不合格。当两个试饼判别结果有矛盾时，也判为不合格。

### 2. 雷氏法

(1) 每个雷氏夹应配备重量为 75~80g 玻璃板两块，一垫一盖，每组成型两个试件，先将雷氏夹与玻璃板表面涂上一薄层机油。

(2) 将制备好的标准稠度的水泥浆装满雷氏夹圆模，并轻扶雷氏夹，用小刀插捣 15 次左右后抹平，并盖上涂油的玻璃板。随即将成型好的试模移至标养箱内，养护  $24 \pm 2\text{h}$ 。

(3) 除去玻璃板，测量雷氏夹指针尖端间的距离 (A)，精确至 0.5mm，接着将试件放在沸煮箱内水中篦板上，针尖朝上，与试饼法相同的方法沸煮。

(4) 取出沸煮后冷却到室温的试件，用膨胀值测定仪测量试件雷氏夹指针两针尖之间的距离 (C)，计算膨胀值 (C-A)，取 2 个试件膨胀值的算术平均值，若不大于 5mm 时，则判定该水泥安定性合格。若 2 块膨胀值相差超过 4mm 时，应用同种水泥重做试验。

## 六、水泥胶砂强度试验

### (一) 主要仪器设备

1. 行星式胶砂搅拌机 (ISO679)，由胶砂搅拌锅和搅拌叶片相应的机构组成，搅拌叶片成扇形，工作时搅拌叶片既绕自身轴线转又沿搅拌锅周边公转，并且具有高低两种速度，自转低速时为  $140 \pm 5\text{r/min}$ ，高速时为  $285 \pm 10\text{r/min}$ ；公转低速时为  $62 \pm 5\text{r/min}$ ，高速时为  $125 \pm 10\text{r/min}$ 。叶片与锅底、锅壁的工作间隙为  $3 \pm 1\text{mm}$ 。

2. 胶砂试体成型振实台 (ISO679)。由可以跳动的台盘和使其跳动的凸轮等组成。振实台振幅  $15 \pm 0.3\text{mm}$ ，振动频率 60 次/60s  $\pm 2\text{s}$ 。

3. 胶砂振动台。可作为振实台的代用设备，其振幅为  $0.75 \pm 0.02\text{mm}$ ，频率 2800~3000 次/分。台面装有卡具。

4. 试模。可装拆的三联模，模内腔尺寸为  $40\text{mm} \times 40\text{mm} \times 160\text{mm}$ ，如图 10。

5. 下料漏斗。下料口宽为 4~5mm；二个播料器和一个刮平直尺。

6. 水泥电动抗折试验机及压力试验机、抗压夹具。误差不大于  $\pm 1\%$ ，并有按  $2.4 \pm 0.5\text{kN/s}$  速率加荷功能；抗压夹具由硬钢制成，加压板受压面积为  $40 \times 40\text{mm}$ ，加压面必须磨平。





图 2-4 水泥抗折抗压强度试验机

## (二) 胶砂试件成型

1. 将试模擦净、模板四周与底座的接触面上应涂黄油、紧密装配、防止漏浆。内壁均匀刷一薄层机油。

2. 标准砂应符合 GB/T17671—1999 中国 ISO 标准砂的质量要求。试验采用灰砂比 1: 3, 水灰比 0.50。

3. 每成型 3 条试件需称量: 水泥 450g, 标准砂 1350g, 水 225mL。

4. 胶砂搅拌。用 ISO 胶砂搅拌机进行, 先把水加入锅内, 再加入水泥, 把锅放在固定器上, 上升至固定位置后立即开动机器, 低速搅拌 30s 后, 在第二个 30s 开始的同时均匀地将砂子加入 (一般是先粗后细), 再高速搅拌 30s。停拌 90s, 在第一个 15s 内用一胶皮刮具将叶片和锅壁上的胶砂刮入锅中间。在高速下继续搅拌 60s。各个搅拌阶段, 时间误差应在  $\pm 1s$  以内。

5. 试件用振实台成型时, 将空试模和套模固定在振实台上, 用勺子直接从搅拌锅内将胶砂分二层装模。装第一层时, 每个槽里放入 300g 胶砂, 并用大播料器刮平, 接着振动 60 次。再装入第二层胶砂, 用小播料器刮平, 再振动 60 次。移走套模, 从振实台上取下试模, 用一金属尺以近似  $90^\circ$  的角度架在试模模顶的一端, 沿试模长度方向以横向锯割动作慢慢向另一端移动, 一次将超过试模部分的胶砂刮去, 并用同一直尺以近乎水平的情况下将试体表面抹平。

## (三) 试件养护

1. 将成型好的试件连模放入标准养护箱 (室) 内养护, 在温度为  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 相对湿度大于 90% 的条件下养护 20~24h 之间脱模 (对于龄期为 24h 的应在破型试验前 20min 内脱模)。

2. 将试件从养护箱 (室) 中取出, 用墨笔编号, 编号时应将每只模中三条试件编在两个龄期内, 同时编上成型与测试日期, 然后脱膜, 脱模时应防止损伤试件。硬化较慢的水泥允许 24h 以后脱模, 但须记录脱模时间。

3. 试件脱膜后立即水平或竖直放入水槽中养护, 养护水温为  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 水平放置时刮平面应朝上, 试件之间留有间隙, 水面至少高出试件 5mm, 最后用自来水装满水池, 并随时加水以保持恒定水位。

## (四) 水泥抗折强度试验

1. 各龄期的试件, 必须在规定的时间  $24h \pm 15\text{min}$ ,  $48h \pm 30\text{min}$ ,  $72h \pm 45\text{min}$ , 7d

±2h, 28d±8h 内进行强度测试, 于破型前 15min 从水中取出三条试件先做抗折强度。

2. 测试前须先擦去试件表面的水分和砂粒, 清除夹具上圆柱表面粘着的杂物。将试件安放到抗折夹具内, 使试件侧面与圆柱接触。

3. 调节抗折仪零点与平衡, 开动电机以  $50 \pm 10 \text{N/s}$  速度加荷, 直至试件折断, 记录破坏荷载  $F_f$  (N)。

4. 按下式计算抗折强度  $f_f$  (精确至 0.01MPa):  $R_f = (3F_f L) / (2bh^2)$

式中,  $L$  为抗折支撑圆柱中心距,  $L = 100 \text{mm}$ ;  $b$ 、 $h$  分别为试件的宽度和高度, 均为 40mm。

5. 抗折强度结果取三块试件的平均值; 当三块试件中有一个超过平均值的 ±10% 时, 应予剔除, 取其余两块的平均值作为抗折强度试验结果。

### (五) 水泥抗压强度试验

1. 抗折试验后的六个断块应保持潮湿状态并立即进行抗压试验, 抗压试验须用抗压夹具进行。清除试件受压面与加压板间的砂粒杂物, 以试件侧面作受压面, 并将夹具置于压力机承压板中央。

2. 开动试验机, 以  $2.4 \pm 0.2 \text{kN/s}$  的速度进行加荷, 在接近破坏时应严格控制。记录破坏荷载  $F_c$  (N)。

3. 按下式计算抗压强度  $f_c$  (精确至 0.1MPa):  $f_c = F_c / A$   
式中,  $A$  为试件的受压面积, 即  $40 \text{mm} \times 40 \text{mm} = 1600 \text{mm}^2$ 。

4. 六个抗压强度试验结果中, 有一个超过六个算术平均值的 ±10% 时, 应剔除最大超过值, 以其余五个的算术平均值作为抗压强度试验结果, 如五个测定值中再有超过他们平均数 ±10% 时, 则此组结果作废。

## 七、水泥试验结果评定

### (一) 水泥的物理性能评定

按照 GB175—1999、GB1344—1999 与 GB12958—1991 中所规定的通用水泥 (即六大水泥) 的质量指标, 水泥的细度  $80 \mu \text{m}$  方孔筛筛余不大于 10%, (硅酸盐水泥用比表面积表示, 应大于  $300 \text{m}^2/\text{kg}$ ); 初凝不早于 45min, 终凝不迟于 10h (硅酸盐水泥终凝不迟于 6.5h); 安定性用沸煮法检验必须合格。检查试验结果是否满足这些质量指标。

### (二) 水泥强度等级评定

各类型、各强度等级水泥的各龄期强度不得低于表中数值。根据试验结果评定出所试验水泥的强度等级。

凡是  $\text{MgO}$  含量,  $\text{SO}_3$  含量, 初凝时间、安定性中任何一项不符合标准, 均为废品;

对于硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥: 凡是细度、终凝时间、不溶物和烧失量中的任何一项不符合本标准规定, 或混合材掺量超标, 强度等级低于商品等级指标时为不合格品, 水泥包装标志中水泥品种、强度等级、生产者名称和出厂编号不全的也属于不合格品;

对于粉煤灰水泥、矿渣水泥和火山灰水泥, 如果细度、终凝时间中的任何一项不符合本标准规定, 或混合材掺量超标, 强度等级低于商品等级指标时为不合格品, 水泥包装标志中水泥品种、强度等级、生产者名称和出厂编号不全的也属于不合格品。

## 试验三 集料性能试验

### 一、概述

砂、石材料是制造水泥混凝土或沥青混凝土的原材料，其用量约占水泥混凝土总体积的 3/4 左右，称为集料或骨料。在水泥混凝土等建筑行业中，一般 4.75mm(或 5.00mm)为粗细集料的分界，而对沥青路面和基层均以 2.36 为界。集料的价格便宜，来源丰富，且可以提高混凝土的体积稳定性和耐久性。

集料的质量对混凝土的性能有较大的影响，其中集料的颗粒级配、表观密度、空(孔)隙率、含泥量等指标是混凝土配合比设计的主要依据，通过测试，掌握砂石材料的这些指标，可分析混凝土拌合物的工作性及硬化后混凝土的性能的影响，并确定其在混凝土的最佳用量。

根据 GB/T14684—2001《建筑用砂》、GB/T14685—2001《建筑用碎石、卵石》、JGJ52~53—92、JTG E42-2005 标准对混凝土用砂、石进行试验，评定其质量，并为混凝土配合比设计提供原材料参数。

### 二、取样方法与检验规则

#### (一)砂、石的取样

同一品种、同一规格的石子(或砂)，日产量 $\leq 600t$  为一批、日产量超过 2000t、以 1000t 为一批，不足 1000t 亦为一批，日产量超过 5000t、按 2000t 为一批。取样部位应不少于 8 处，其总试样量应多于试验用量的一倍。在皮带运输机抽样时，可在通往料仓或料堆的皮带运输机的整个宽度上，在一定的时间间隔内抽取，在料堆抽样时，可从料堆自上而下、不同方向均匀选取 8 点抽取试样，组成一组样品。

#### (二)四分法缩取试样

将取回的砂(或石子)试样拌匀后摊成厚度约 20mm 的圆饼(砂)或圆锥体(石子)，在其上划十字线，分成大致相等的四份，除去其对角线的两份，将其余两份按同样的方法再持续进行，直至缩分后的材料量略多于试验所需的数量为止。

#### (三)检验规则

砂石检验项目主要有颗粒级配、表观密度、堆积密度与空隙率、泥含量及泥块含量、有害物质含量、坚固性和砂的云母含量、石子的压碎值、针片状颗粒含量等。

经检验后，其结果符合标准规定相应类别规定时，可判为该产品合格，若其中一项不符合，则应再次从同一批样品中加倍抽样并对该项进行复检，复验仍不符合本标准技术指标，则该批产品为不合格。

### 三、砂的性能测试

#### (一) 砂的筛分析试验

##### 1. 主要仪器设备

(1) 砂筛：JGJ52 标准筛孔径为 0.160、0.315、0.630、1.25mm

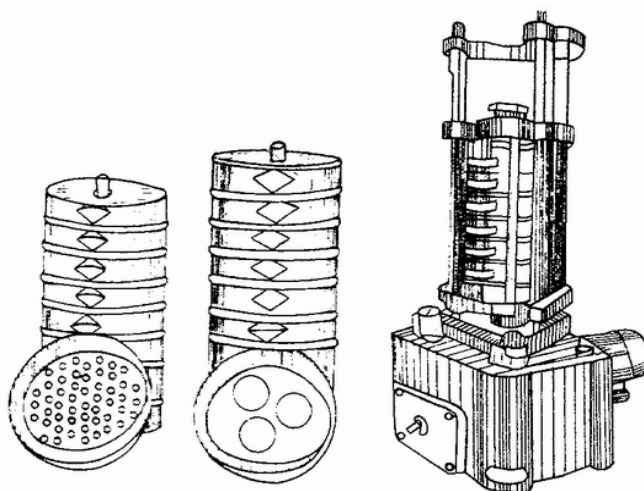


图 3-1 砂、石套筛及摇筛机



的方孔筛和孔径为 2.50、5.00、10.00mm 的圆孔筛；GB/T14684 标准筛孔径为 0.150、0.300、0.600、1.18、2.36、4.75、9.50mm 的方孔筛；并附有筛底和筛盖。

(2) 摇筛机：电动振动筛，振幅  $0.5 \pm 0.1\text{mm}$ ，频率  $50 \pm 3\text{Hz}$ 。如图 3-1 所示。

(3) 物理天平(称量 1kg，感量 1g)、烘箱、浅盘、毛刷等。

## 2. 试验步骤

(1) 试样先用孔径为 10.0mm(9.5mm，对水泥混凝土)筛或 4.75mm(对沥青路面及基层)筛除超粒径的颗粒(算出其筛余百分率)，然后用四分法缩分至每份不少于 550g 的试样两份，放在烘箱中于  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  烘至恒重，冷却至室温。

(2) 准确称取试样 500g；将筛子按筛孔由大到小叠合起来，附上筛底；将砂样倒入最上层筛中；将整套砂筛置于摇筛机上并固紧，摇筛 10min；也可用手筛，但时间不少于 10min。

(3) 将整套筛自摇筛机上取下，逐个在清洁的浅盘中进行手筛，筛至每分钟通过量小于试样总量的 0.1% 为止。通过的砂粒并入下一号筛中，并和下一号筛中的试样一起过筛，按此顺序进行，直至各号筛全部筛完为止。

(4) 称取各号筛上的筛余量。试样在各号筛上的筛余量不得超过 200g，超过时应将该筛余试样分成两份，再进行筛分，并以两次筛余量之和作为该号筛的筛余量。

注：恒重指相邻两次称量时间(1~3)h 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。

若砂样特细或含泥量大于 5% 时，应增加 0.08mm 方孔筛一只或采用水洗法。

## 3. 结果计算与评定

(1) 计算分计筛余百分率。各号筛上筛余量除以试样总重量(精确至 0.1%)。

(2) 计算累计筛余百分率。每号筛上孔径大于和等于该筛孔径的各筛上的分计筛余百分率之和(精确至 0.1%)，并绘制砂的筛分曲线。

(3) 根据各筛的累计筛余百分率，按照表 3-1 规定的级配区范围，评定该砂试样的颗粒级配是否合格。

(4) 按下式计算砂的细度模数  $M_x$ (精确至 0.1)：
$$M_x = \frac{(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1}{100 - A_1}$$

式中， $A_1$ 、 $A_2$ …… $A_6$  分别为 5.00、2.50……0.160mm 孔筛上的累计筛余百分率。

(5) 取两次试验测定值的算术平均值作为试验结果。筛分后如每号筛上的筛余量与底盘上的筛余量之和，同原试样量相差超过 1% 时，须重做试验。

(6) 砂按细度模数( $M_x$ )分为粗、中、细三种规格，由所测细度模数按规定评定该砂样的粗细程度。

表 3-1 混凝土用砂颗粒级配

筛孔,mm	级配区		
	1	2	3
10.0	0	0	0
5.00	10~0	10~0	10~0
2.50	35~5	25~0	15~0
1.25	65~35	50~10	25~0
0.630	85~71	70~41	40~16
0.315	95~80	92~70	85~55
0.160	100~90	100~90	100~90

注：砂的实际颗粒级配与表中所列数字相比，除 5.00mm 和 0.630mm 筛档外，可以允许略有超出分界线，但总量应小于 5%。

## (二) 砂的表观密度测定

表观密度又称体积密度，是指材料包含自身内部封闭孔在内的单位体积的质量。其测试原理为“阿基米德”原理，即排开水的体积等于样品的体积。

### 1. 主要仪器

天平(称量 1000g，感量 1g)。容量瓶(500mL)。烘箱、干燥器、料勺、烧杯、温度计等。

### 2. 试验步骤

(1) 称取烘干试样 300g( $W_0$ )、装入盛有半瓶冷开水的容量瓶中，摇动容量瓶，使试样充分搅动以排除气泡。塞紧瓶塞，静置 24h。

(2) 打开瓶塞，用滴管添水使水面与瓶颈 500mL 刻线平齐。塞紧瓶塞，擦干瓶外水分，称其重量  $W_1$ (g)。

(3) 倒出瓶中的水和试样，清洗瓶内外，再装入与上述水温相差不超过 2℃ 的冷开水至瓶颈 500mL 刻度线。塞紧瓶塞，擦干瓶外水分，称其重量  $W_2$ (g)。

3. 结果计算：表观密度  $\rho_0 = \left( \frac{W_0}{W_0 + W_2 - W_1} - \alpha_t \right) \times 1000$ ，精确至  $10\text{kg/m}^3$ 。

式中， $\alpha_t$  为考虑水温对水相对密度影响的修正系数，见表 3-2。

砂的表观密度以两次试验结果的算术平均值作为测定值，如两次结果之差大于  $20\text{kg/m}^3$  时，应重新取样进行试验。

表 3-2 不同水温下的表观密度的温度修正系数

水温℃	15	16~17	18~19	20~21	22~23	24	25
$\alpha$	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008

## (三) 砂的堆积密度与空隙率测定

### 1. 主要仪器

(1) 标准漏斗及标准容量筒。金属圆柱形，容积 1L，内径 108mm，净高 109mm 筒壁厚 2mm。

(2) 案秤(称量 10kg，感量 1g)。烘箱、漏斗或料勺、直尺、浅盘等。

### 2. 试验步骤

(1) 将经过缩分烘干后的砂试样用 5mm 孔径的筛子过筛，然后分成大致相等的两份，每份约 1.5L。

(2) 先称容量筒重量  $W_1$ (kg)，将容量筒置于浅盘内的下料斗下面，使下料斗正对中心，下料斗口距筒口 50mm(如图 3-2)。

(3) 用料勺将试样装入下料斗，并徐徐落入容量筒中直至试样装满并超出筒口为止。用直尺沿筒口中心线向两个相反方向将筒上部多余的砂样刮去。称出容量筒连同砂样的总重量  $W_2$ (kg)。

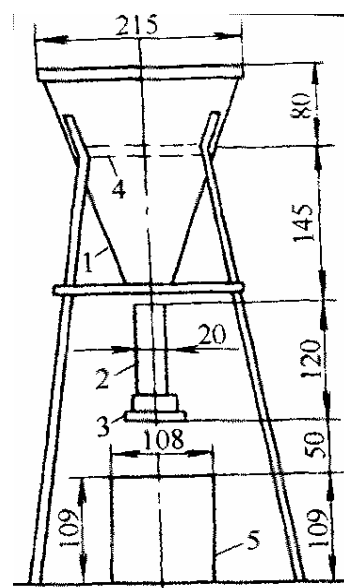


图 3-2 砂堆积密度用标准漏斗

(4) 容量筒容积校正。以  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  饮用水装满容量筒，用玻璃板沿筒口滑移，使其紧贴水面盖住容量筒，擦干筒外壁水分，然后称重  $W_2'$  (kg)，倒出水并称出擦干后，称容量筒和玻璃板总重量  $W_1'$  (kg)，计算其容积  $V$  (L)：

$$V = W_2' - W_1'$$

### 3. 结果计算与评定

(1) 计算堆积密度(精确至  $10\text{kg/m}^3$ )： $\rho_0' = \frac{W_2' - W_1'}{V} \times 1000$

取两次试验的算术平均值作为试验结果。

(2) 砂的空隙率  $P_0'$  按下式计算(精确至 1%(GB14684)或 0.1%(JTG E42-2005))：

$$P_0' = \left( 1 - \frac{\rho_0'}{\rho_0 \times 1000} \right) \times 100$$

(3) 评定该试样的表观密度、堆积密度与空隙率是否满足标准规定值。

## (四) 砂的含水率测定

### 1. 主要仪器设备

天平(称量 1kg，感量 1g)。烘箱，浅盘等。

### 2. 试验步骤

(1) 取缩分后的试样一份约 500g，装入已称重量为  $W_1$  的浅盘中，称出试样连同浅盘的总重量  $W_2$  (g)。然后摊开试样置于温度为  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘至恒重。

(2) 称量烘干后的砂试样与浅盘的总重量  $W_3$  (g)。

3. 结果计算：砂含水率  $W$  (精确至 0.1%)： $W = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100$  (%)

以两次试验结果的算术平均值作为测定结果。通常也可采用炒干法代替烘干法测定砂的含水率。

## 四、 石子性能试验

### (一) 石子筛分析试验

1. 主要仪器设备：石子套筛 GB/T14684 标准筛孔径为 2.36、4.75、9.50、16.0、19.0、26.5、31.5、37.5、53.0、63.0、90mm 的方孔筛；JGJ52 标准筛孔径为 2.50、5.00、10.0、16.0、20.0、25.0、31.5、40.0、50.0、63.0、80.0(mm)，并附有筛底和筛盖。天平，称量随试样重量而定，精确至试样重量的 0.1%。摇筛机，电动振动筛，振幅  $0.5 \pm 0.1\text{mm}$ ，频率  $50 \pm 3\text{Hz}$ 。

### 2. 试验步骤

(1) 按试样粒级要求选取不同孔径的石子筛，按孔径从大到小叠合，并附上筛底。

(2) 按表 3-3(或表 3-4)规定的试样量称取经缩分并烘干或风干的石试样一份，倒入最上层筛中并加盖，然后进行筛分。

表 3-3 不同粒径的石子筛分时的试样量(JGJ52)

石子最大粒径(mm)	10	16	20	25	31.5	40	63	80
每份试样量(kg)	2	4	4	10	10	15	20	30

表 3-4 不同粒径的石子筛分时的试样量(GB14685-2001)

石子最大粒径(mm)	9.5	16	19.0	26.5	31.5	37.5	63	75.0
每份试样量(kg)	1.9	3.2	3.8	5.0	6.3	7.5	12.6	16.0

(3) 将套筛置于摇筛机紧固并筛分，摇筛 10min，取下套筛，按孔径大小顺序逐个再用手筛，筛至每分钟通过量小于试样总量的 1% 为止。通过的颗粒并入下一号筛中，并和下一号筛中的试样一起过筛，如此顺序进行，直至各号筛全部筛完为止。

(4) 称取各筛筛余的重量，精确至试样总重量的 0.1%。

### 3. 结果计算与评定

(1) 计算石子分计筛余百分率和累计筛余百分率，方法同砂筛分析。

(2) 根据各筛的累计筛余百分率，按照表 3-5 规定的级配范围，评定该石子的颗粒级配是否合格。

(3) 确定石子的公称最大粒径：指保留在最大尺寸的标准筛上的颗粒含量不超过 10% 的标准筛尺寸。

表 3-5 混凝土用石子颗粒级配

筛孔尺寸 mm 公称粒径		累计筛余, %											
		2.50	5.00	10.0	16.0	20.0	25.0	31.5	40.0	50.0	63.0	80.0	100
连续 粒级	5~10	95~100	80~100	0~15	0								
	5~16	95~100	90~100	30~60	0~10	0							
	5~20	95~100	90~100	40~70		0~10	0						
	5~25	95~100	90~100		30~70		0~5	0					
	5~31.5	95~100	90~100	70~90		15~45		0~5	0				
	5~40	95~100	95~100	75~90		30~60			0~5	0			
单粒 级	10~20		95~100	85~100		0~15	0						
	16~31.5		95~100		80~100			0~10	0				
	20~40			95~100		85~100			0~10	0			
	31.5~63				95~100			75~100	45~75		0~10	0	
	40~80					95~100			70~80		30~60	0~10	0

## (二) 石子的表观密度试验(液体天平法)

测定粗集料包含内部封闭空隙在内的单位体积的烘干质量，其测试的基本原理时基于浮力原理。

1. 主要仪器：天平(称量 5kg，感量 5g)。烘箱、吊篮、方孔筛、温度计等

### 2. 试验步骤

(1) 按规定将石子筛分至略大于表 3-6 规定的用量，风干，将石子试样筛去 4.75mm 以下颗粒，洗净，分为大致相等的两份备用。

表 3-6 表观密度所需试样质量

石子最大粒径(mm)	<26.5/25	31.5	37.5/40	63/75/80
每份最少试样质量(kg)	2.0	3.0	4.0	6.0

(2) 取试样一份装入吊篮,并浸润盛水的容器中,液面至少高出试样表面 50mm,浸水 24h 后,并采用升降吊篮的方式排除气泡,吊篮每升降一次约 1s,升降高度为 30mm~50 mm,测定水温后,由溢流孔控制盛水容器的水面高度,称试样、吊篮在水中的重量  $W_1$ (g)。

(3) 称出吊篮在同样温度、同样水面高度的水中的重量  $W_2$ (g)。

(4) 取出试样,在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘至恒重,称烘干试样  $W_0$ (g)。

### 3. 结果计算

$$\text{计算表观密度 } \rho_0(10\text{kg}/\text{m}^3): \rho_0 = \left( \frac{W_0}{W_0 + W_2 - W_1} - \alpha_t \right) \times \rho_w (kg/m^3)$$

以两次试验结果的算术平均值作为测定值,两次结果之差应小于  $20\text{kg}/\text{m}^3$ ,否则应重新取样进行试验。

### (三) 石子的表观密度试验(广口瓶法)

1. **主要仪器:**天平(称量 5kg,感量 1g)。广口瓶(1000mL,磨口,并带玻璃片)。试验筛(孔径为 5mm)、烘箱、毛巾、刷子等。

#### 2. 试验步骤

(1) 将石子试样筛去 5mm 以下颗粒,用四分法缩分至不少于 2kg,然后洗净后分成两份备用。

(2) 取石子试样一份,浸水饱和后装入广口瓶中,装试样时广口瓶应倾斜放置。注入饮用水,用玻璃片覆盖瓶口,以上下左右摇晃、排尽气泡。

(3) 气泡排尽后,再向瓶中注入饮用水至水面凸出瓶口边缘,然后用玻璃盖板沿瓶口紧贴水面迅速滑移并盖好,擦干瓶外水分,称出试样、水、瓶和玻璃盖板的总重量  $G_1$ (g)。

(4) 将瓶中的试样倒入浅盘中,放在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  的烘箱中烘至恒重,取出后放在带盖的容器中冷却至室温,再称重  $G_0$ (g)。

(5) 将瓶洗净注入饮用水,用玻璃板贴紧瓶口滑盖盖好,擦干瓶外水分后称重  $G_2$ (g)。

### 3. 结果计算

$$\text{按表观密度 } \rho_0(\text{精确至 } 10\text{kg}/\text{m}^3): \rho_0 = \frac{G_0}{G_0 + G_2 - G_1} \times \rho_w (kg/m^3)$$

以两次试验结果的算术平均值作为测定值,两次结果之差应小于  $20\text{kg}/\text{m}^3$ ,否则应重新取样进行试验。

### (四) 石子堆积密度与空隙率试验

1. **主要仪器设备:**台秤(称量 50kg,感量 50g)、烘箱、平口铁锹等;容量筒。容积为 10L( $d_{\max} \leq 25\text{mm}$ )或 20L( $d_{\max}$  为 31.5 或 40.0mm)或 30L( $d_{\max}$  为 63.0 或 80.0mm)。

#### 2. 试验步骤

(1) 用四分法缩取石子试样,视不同最大粒径称取 40、80 或 120kg 试样摊在清洁的地面上风干或烘干,拌匀后备用。

(2) 取试样一份,用平口铁锹铲起石子试样,使之自由落入容量筒内。此时锹口距

筒口的距离应为 50mm 左右。装满容重筒后除去高出筒口表面的颗粒，并以合适的颗粒填入凹陷部分，使表面凸起部分和凹陷部分的体积大致相等，称出试样与容量筒的总重量  $m_2(\text{kg})$ 。

(3) 称出容量重量  $m_1(\text{kg})$ 。

(4) 容量筒容积校正。将容量筒装满  $20\pm 5^\circ\text{C}$  的饮用水，称水与筒的总重量  $m_2'$  (kg)，

则容量筒容积： $V = (m_2' - m_1) / \rho_w$  (L)

### 3. 结果计算与评定

堆积密度按下  $\rho_0'$  式计算(精确至  $10\text{kg}/\text{m}^3$ ):  $\rho_0' = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000$  (kg/m<sup>3</sup>)

取两次试验的算术平均值作为试验结果。按下式计算石子的空隙率  $P_0'$  按下式计算

(精确至 1%):  $P_0' = \left(1 - \frac{\rho_0'}{\rho_0 \times 1000}\right) \times 100$  (%)

### 思考题

1. 砂的细度模数、级配、表观密度、孔隙率对混凝土配合比设计中有何影响？
2. 石子的级配、表观密度、孔隙率等对混凝土配合比设计有何影响？
3. 砂、石表观密度的测试原理如何，影响测试结果的主要因素有哪些？

## 试验四 普通混凝土配合比的试配与调整

### 一、混凝土实验室拌和方法

#### (一) 一般规定

1. 拌制混凝土的原材料应符合技术要求，并与实际施工材料相同，在拌和前材料的温度应与室温相同（宜保持  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ），水泥如有结块，应用  $64\text{孔}/\text{cm}^2$  筛过筛后方可使用。

2. 配料时以重量计，称量精度要求：砂、石为  $\pm 0.5\%$ ，水、水泥及外加剂为  $\pm 0.3\%$ 。

3. 砂、石骨料重量以干燥状态为基准。

4. 从取样完毕后到开始做各项性能试验不宜超过  $5\text{min}$

5. 规定了取样的位置应为  $1/4$  处， $1/2$  处、 $3/4$  处和取样时间从第一次取样到最后一次取样不宜超过  $15\text{min}$

#### (二) 主要仪器设备

1. 混凝土搅拌机。容量  $50\sim 100\text{L}$ ，转速  $18\sim 22\text{r}/\text{min}$ 。

2. 台秤。称量  $50\text{kg}$ ，感量  $50\text{g}$ 。

3. 其他用具。量筒（ $500\text{mL}$ 、 $1000\text{mL}$ ）、天平、拌铲与拌板等。

#### (三) 拌和步骤

##### 1. 人工拌和

(1) 按所定配合比称取各材料用量。

(2) 将拌板和拌铲用湿布润湿后，把称好的砂倒在铁拌板上，然后加水泥，用铲自拌板一端翻拌至另一端，如此重复，拌至颜色均匀，再加入石子翻拌混合均匀。

(3) 将干混合料堆成堆，在中间作一凹槽，将已称量好的水倒一半左右在凹槽中，仔细翻拌，注意勿使水流出。然后再加入剩余的水，继续翻拌，其间每翻拌一次，用拌铲在拌和物上铲切一次，直至拌和均匀为止。

(4) 拌和时力求动作敏捷，拌和时间自加水时算起，应符合标准规定：拌和物体积为  $30\text{L}$  时拌  $4\sim 5\text{min}$ ， $30\sim 50\text{L}$  时拌  $5\sim 9\text{min}$ ， $51\sim 75$  时拌  $9\sim 12\text{min}$ 。

##### 2. 机械搅拌

(1) 按给定的配合比称取各材料用量。

(2) 用按配合比称量的水泥、砂、水及少量石子在搅拌机中预拌一次，使水泥砂浆部分粘附搅拌机的内壁及叶片上，并刮去多余砂浆，以避免影响正式搅拌时的配合比。

(3) 依次向搅拌机内加入石子、砂和水泥，开动搅拌机干拌均匀后，再将水徐徐加入，全部加料时间不超过  $2\text{min}$ ，加完水后再继续搅拌  $2\text{min}$ 。

(4) 将拌合物自搅拌机卸出，倾倒在铁板上，再经人工拌和  $2\sim 3$  次，即可做拌合物的各项性能试验或成型试件。从开始加水起，全部操作必须在  $30\text{min}$  内完成。

### 二、混凝土拌合物稠度试验

该试验分坍落度法和维勃稠度法两种，前者适用于坍落度值不小于  $10\text{mm}$  的塑性和流动性混凝土拌合物的稠度测定，后者适用于维勃稠度在  $5\sim 30\text{s}$  之间的干硬性混凝土拌合物的稠度测定。要求骨料最大粒径均不得大于  $40\text{mm}$ 。

## （一）坍落度测定

### 1. 主要仪器设备

- （1）坍落度筒。截头圆锥形，由薄钢或其它金属板制成。
- （2）捣棒（端部应磨圆）。装料漏斗、小铁铲、钢直尺、镩刀等。

### 2. 试验步骤

（1）首先用湿布润湿坍落度筒及其它用具，将坍落度筒置于铁板上，漏斗置于坍落度筒顶部并用双脚踩紧踏板。

（2）用铁铲将拌好的混凝土拌合物分三层装入筒内，每层高度约为筒高的 1/3。每层用捣棒沿螺旋方向由边缘向中心插捣 25 次。插捣底层时应贯穿整个深度，插捣其它两层时捣棒应插至下一层的表面。

（3）插捣完毕后，除去漏斗，用镩刀括去多余拌合物并抹平，清除筒四周拌合物，在 5~10s 内垂直平稳地提起坍落度筒。随即量测筒高与坍落后的混凝土试体最高点之间的高度差，即为混凝土拌合物的坍落度值。

（4）从开始装料到坍落度筒提起整个过程应在 150s 内完成。当坍落度筒提起后，混凝土试体发生崩坍或一边剪坏现象，则应重新取样测定坍落度，如第二次仍出现这种现象，则表示该拌合物和易性不好。

坍落扩展度试验，反映了砼的抗离析性能，是在做坍落度试验的基础上，当坍落度大于 220mm 时，测量砼扩展后的最大直径和最小直径。在最大直径和最小直径的差值小于 50mm 时，用其算术平均值作为坍落扩展度值。如果最大和最小之间的差值大于 50mm，应在查明原因后重新试验。可能的原因有：振捣不均匀；提筒时歪斜；底板干湿不匀引起的对砼扩展的阻力不同；底板倾斜等原因。坍落扩展度的表现形状可以反映混凝土的抗离析性能，如拌合物中粗骨料在中央堆积或边缘有水泥浆析出，则说明该混凝土的抗离析性能不好。

（5）在测定坍落度过程中，应注意观察粘聚性与保水性。

### 3. 试验结果

- （1）稠度。以坍落度表示，测量精度至 1mm，结果表达修约至 5mm。
- （2）粘聚性。以捣棒轻敲混凝土锥体侧面，如锥体逐渐下沉，表示粘聚性良好；如锥体倒坍、崩裂或离析，表示粘聚性不好。
- （3）保水性。提起坍落度筒后如底部有较多稀浆析出，骨料外露，表示保水性不好；如无稀浆或少量稀浆析出，表示保水性良好。

## （二）维勃稠度测定

### 1. 主要仪器设备

- （1）维勃稠度仪。其振动频率为  $50 \pm 3\text{Hz}$ ，装有空容器时台面振幅应为  $0.5 \pm 0.1\text{mm}$ 。
- （2）秒表，其它仪器同坍落度试验。

### 2. 试验步骤

（1）将维勃稠度仪放置在坚实水平的基面上。用湿布将容器、坍落度筒、喂料斗内壁及其它用具擦湿。就位后将测杆、喂料斗和容器调整在同一轴线上，然后拧紧固定螺丝。

（2）将混凝土拌合物经喂料斗分三层装入坍落度筒，装料与捣实方法同坍落度试验。

（3）将喂料斗转离，垂直平稳地提起坍落度筒，应注意不使混凝土试体产生横向扭动。

（4）将圆盘转到混凝土试体上方，放松测杆螺丝，降下透明圆盘，使其轻轻接触到混凝土试体顶面，拧紧定位螺丝。



(5) 开启振动台，同时用秒表计时，当振至透明圆盘的底面被水泥浆布满的瞬间关闭振动台，并停表计时。

### 3. 试验结果

由秒表读出的时间 (s) 即为该混凝土拌合物的维勃稠度值。

## 三、混凝土拌合物表观密度试验

### (一) 主要仪器设备

1. 容量筒。对骨料最大粒径不大于 40mm，容量筒为 5L；当粒径大于 40mm 时，容量筒内径与高均应大于骨料最大粒径 4 倍。

2. 台秤。称量 50kg，感量 50g。

3. 振动台。频率为  $3000 \pm 200$  次/min，空载振幅为  $0.5 \pm 0.1$ mm。

### (二) 试验步骤

1. 润湿容量筒，称其重量  $m_1$  (kg)，精确至 50g。

2. 将配制好的混凝土拌合料装入容量筒并使其密实。当拌合料坍落度不大于 70mm，可用振动台振实，大于 70mm 用捣棒捣实。

3. 用振动台振实时，将拌和料一次装满，振动时随时准备添料，振至表面出现水泥浆，没有气泡向上冒为止。用捣棒捣实时，混凝土分两层装入，每层插捣 25 次（对 5L 容量筒），每一层插捣完后可把捣棒垫在筒底，用双手扶筒左右交替颠击 15 次，使拌合料布满插孔。

4. 用镏刀将多余料浆刮去并抹平，擦净筒外壁，称出拌合料与筒的总重量  $m_2$  (kg)。

### (三) 结果计算

按下式计算混凝土拌合物的表观密度  $\rho_{oc测}$  (精确至  $10\text{kg/m}^3$ ):

$$\rho_{oc测} = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000 \quad (\text{kg/m}^3)$$

式中，V 为容量筒体积 (L)，可按试验四中的方法校正。

## 四、混凝土配合比的试配与确定

### (一) 混凝土配合比试配

1. 按混凝土计算配合比确定的各材料用量  $C_0$ 、 $S_0$ 、 $G_0$  及  $W_0$  等进行称量，然后进行拌和及稠度试验，以检定拌合物的性能。

2. 和易性调整。若配制的混凝土拌合物坍落度（或维勃稠度）不能满足要求，或粘聚性和保水性不好时，应进行和易性调整。

当坍落度过小时，须在 W/C 不变的前提下分次掺入备用的 5% 或 10% 的水泥浆，至符合要求为止；当坍落度筒过大时，可保持砂率不变，酌情增加砂和石子；当粘聚性、保水性不好时，可适当改变砂率。调整中应尽快拌和均匀后重做稠度试验，直到符合要求为止。从而得出检验混凝土用的基准配合比。

3. 以混凝土基准配合比中的基准 W/C 和基准  $W/C \pm 0.05$ ，配制三组不同的配合比，其用水量不变，砂率可增加或减少 1%。制备好拌合物，应先检验混凝土的稠度、粘聚性、保水性及拌合物的表观密度，然后每种配合比制作一组（3 块）试件，标养 28d 试压。

## (二) 混凝土配合比设计值的确定

1. 根据试验所得到的不同 W/C 的混凝土强度，用作图或计算求出与配制强度相对应的灰水比值，并初步求出每立方米混凝土的材料用量：

用水量 (W) —— 取基准配合比中的用水量值，并根据制作强度试件时测得的坍落度 (或维勃稠度) 值，加以适当调整。

水泥用量 (C) —— 取用水量乘以经试验定出的、为达到配制强度所必须的 C/W。

粗、细骨料用量 (G 与 S) —— 取基准配合比中粗、细骨料用量，并作适当调整。

2. 配合比表观密度校正。混凝土计算表观密度为  $\rho_{oc计}$  ( $\rho_{oc计} = W + C + S + G$ )，实测表观密度为  $\rho_{oc测}$ ，则校正系数  $\delta$  为：

$$\delta = \rho_{oc测} / \rho_{oc计}$$

当表观密度的实测值与计算值之差不超过计算值的 2% 时，不必校正，则上述确定的配合比即为配合比的设计值。当二者差值超过 2% 时，则须将配合比中每项材料用量均乘以校正系数  $\delta$ ，即为最终定出的混凝土配合比设计值。

## 试验五 混凝土性能与非破损试验

### 一、混凝土抗压强度试验

#### (一) 主要仪器设备

1. 压力试验机。精度不低于 $\pm 1\%$ ，试验时由试件最大荷载选择压力机量程，使试件破坏时的荷载位于全量程的 $20\% \sim 80\%$ 范围以内。

2. 振动台。振动频率为 $50 \pm 3\text{Hz}$ ，空载振幅约 $0.5\text{mm}$ 。

3. 搅拌机、试模、捣棒、镩刀等。

#### (二) 试件制作

1. 抗压强度试验系采用立方体试件，以龄期分组，每组3个试件，混凝土试件尺寸按骨料最大粒径选定（见表6-1）。

2. 制作试件前，应将试模擦干净并在试模内表面涂一薄层脱模剂，再将配制好的混凝土拌合物装模成型。

3. 对于坍落度不大于 $70\text{mm}$ 的混凝土拌合物，将其一次装入试模并高出模口，将试件移至振动台上，开动振动台振至混凝土表面出现水泥浆并无气泡向上冒时为止，振动时应防止试模在振动台上自由跳动。刮去多余的混凝土并用镩刀抹平。记录振动时间。



图6-1 抗压试验机

表6-1 混凝土试件尺寸

精骨料最大料 (mm)	试件尺寸 (mm)
31.5	100×100×100
40	150×150×150
63	200×200×200

对于坍落度大于 $70\text{mm}$ 的混凝土拌合物，将其分两层装入试模，每层厚度大致相等，用捣棒按螺旋方向从边缘向中心均匀插捣，插捣次数一般每 $100\text{cm}^2$ 应不少于12次，同时用镩刀沿试模内壁插入数次。最后刮去多余混凝土并拌平表面。

#### (三) 试件养护

标准养护的试件成型后表面应覆盖，以防止水分蒸分，并在 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 的条件下静置1~2昼夜，然后编号拆模。拆模后的试件随即放入温度为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $95\%$ 以上的标准养护室养护，或在 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 的不流动的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液中养护。直至试验龄期（7d、28d）。在标准养护室内试件应放在架上，彼此间隔为 $10 \sim 20\text{mm}$ ，试件表面应保持潮湿，并应避免用水直接冲淋试件。

#### (四) 抗压强度测试

1. 试件自养护室取出后随即擦干并测量其尺寸（精确至 $1\text{mm}$ ），据此计算试件的受压面积 $A$ （ $\text{mm}^2$ ）。

2. 将试件安放在试验机承压板中心，试件的承压面与成型面垂直。开动试验机，当上压板与试件接近时，调整球座，使接触均衡。

3. 加荷时应连续而均匀, 加荷速度为: 混凝土强度等级低于 C30 时, 取 0.3~0.5MPa/s; 高于或等于 C30 时, 取 0.5~0.8MPa/s。高于或等于 C60 时, 取 0.8~1.0MPa/s。当试件接近破坏而开始迅速变形时, 停止调整试验机油门, 直至试件破坏。记录破坏荷载 P (N)。

#### (五) 结果计算

1. 按下式计算混凝土立方体抗压强度  $f_{cu}$  (MPa):  $f_{cu} = \frac{P}{A}$  (MPa)

2. 以三个试件测定值的算术平均值作为该组试件的抗压强度值 (精确至 0.1MPa)。三个测值的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的 15% 时, 则取中间值作为该组试件的抗压强度值, 若上下两个测定值均超过中间值的 15%, 则该组试件的试验结果无效。

3. 取 150mm×150mm×150mm 试件的抗压强度为标准值, 其它尺寸的试件测得的强度值均应乘以尺寸换算系数, <C60 的混凝土试件尺寸换算系数 100mm×100mm×100mm 为 0.95, 200mm×200mm×200mm 为 1.05, 换算成标准值。

#### (六) 混凝土强度等级评定

##### 1. 混凝土强度等级

混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值划分。分为 C7.5、C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60 各级, 混凝土立方体抗压强度标准值系指对标准方法制作和养护的边长为 150mm 的立方体试件, 在 28d 龄期用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的混凝土抗压强度值。

##### 2. 混凝土强度等级评定方法

根据 GB/T 50107—2010 标准规定, 混凝土强度应分批进行检验评定, 一个验收批的混凝土强度应有强度等级相同、配合比与生产工艺基本相同的混凝土组成。混凝土强度等级评定, 可采用统计方法或非统计方法进行评定。详见表 6-2。

## 二、混凝土劈裂抗拉强度试验

### (一) 主要仪器设备

1. 压力机。量程 200~300kN。
2. 垫条。采用直径为 150mm 的钢制弧形垫条, 其长度不短于试件的边长。
3. 垫层。加放于试件与垫条之间, 为木质三合板, 宽 15~20mm, 厚 3~4mm, 长度不短于试件的边长。垫层不得重复使用。混凝土劈裂抗拉试验装置。
4. 试件成型用试模及其它需用器具同混凝土抗压强度试验。

### (二) 试验步骤

1. 按制作抗压强度试件的方法成型试件, 每组 3 块。
2. 从养护室取出试件后, 应及时进行试验。将表面擦干净, 在试件成型面与底面中部划线定出劈裂面的位置, 劈裂面应与试件的成型面垂直。
3. 测量劈裂面的边长 (精确至 1mm), 计算出劈裂面积 A (mm<sup>2</sup>)。
4. 将试件放在试验机下压板的中心位置, 降低上压板, 分别在上、下压板与试件之间加垫条与垫层, 使垫条的接触母线与试件上的荷载作用线准确对正。
5. 开动试验机, 命名试件与压板接触均衡后, 连续均匀地加荷, 加荷速度为: 混

混凝土强度等级低于 C30 时, 取 0.02~0.05MPa/s; 强度等级高于或等于 C30 时, 取 0.05~0.08MPa/s。加荷至破坏, 记录破坏荷载 P (N)。

表 6-2 混凝土强度质量合格评定方法

合格评定方法	合格判定条件	备注												
统计方法 (一)	$1. mf_{cu} \geq f_{cu,k} + 0.7\sigma$ $2. f_{cu,\min} \geq f_{cu,k} - 0.7\sigma$ 且当 $f_{cu,k} \leq 20MPa$ $f_{cu,\min} \geq 0.85f_{cu,k}$ 当 $f_{cu,k} > 20MPa$ $f_{cu,\min} > 0.9f_{cu,k}$ 式中 $mf_{cu}$ —— 同批三组试件抗压强度平均值 (MPa) $f_{cu,\min}$ —— 同批三组试件抗压强度中最小值; (MPa) $f_{cu,k}$ —— 混凝土强度等级值; $\sigma$ —— 验收批的混凝土强度标准差, 可依据前一个检验期同类混凝土数据确定。	验收批混凝土强度标准差按下式确定 $\sigma = \frac{0.59}{m} \sum_{i=1}^m \Delta f_{cu,i}$ 其中: $\Delta f_{cu,i}$ —— 以三组试件为一批, 第 I 批混凝土强度的最大值与最小值之差; $m$ —— 用以确定该验收批混凝土强度标准差 $\sigma$ 的数据总批数 [注]在确定混凝土强度标准差( $\sigma$ )时, 其检验期限不应超过三个月, 且在该期间内验收批总数不应少于 15 批。												
统计方法 (二)	$1. mf_{cu} - K_1 S_n \geq 0.9f_{cu,k}$ $2. f_{cu,\min} \geq K_2 f_{cu,k}$ 式中 $mf_{cu}$ —— n 组混凝土试件强度的平均值 (MPa); $f_{cu,\min}$ —— n 组混凝土试件强度的最小值 (MPa); $K_1, K_2$ —— 合格判定系数, 按右表取用; $S_n$ —— n 组混凝土试件强度标准差 (MPa); 当 $S_n < 0.06f_{cu,k}$ 时, 取 $S_n = 0.06f_{cu,k}$	一个验收批混凝土试件组数 $n \geq 10$ 组, n 组混凝土试件强度标准差 ( $S_n$ ) 按下式计算: $S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - nm^2 f_{cu}^2}{n-1}}$ 式中: $f_{cu,i}$ —— 第 i 组混凝土试件强度 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>试件组数</td> <td>10~14</td> <td>15~24</td> <td><math>\geq 25</math></td> </tr> <tr> <td>K1</td> <td>1.70</td> <td>1.65</td> <td>1.60</td> </tr> <tr> <td>K2</td> <td>0.9</td> <td>0.85</td> <td></td> </tr> </table>	试件组数	10~14	15~24	$\geq 25$	K1	1.70	1.65	1.60	K2	0.9	0.85	
试件组数	10~14	15~24	$\geq 25$											
K1	1.70	1.65	1.60											
K2	0.9	0.85												
非统计方法	$1. mf_{cu} \geq 1.15f_{cu,k}$ $2. f_{cu,\min} \geq 0.95f_{cu,k}$	一个验收批的试件组数 $n=2\sim 9$ 组; 当一个验收批的混凝土试件仅有一组时, 则该组试件强度应不低于强度等级值的 115%。												

(三) 结果计算

1. 按下式计算混凝土的劈裂抗拉强度  $f_{st}$ : 
$$f_{st} = \frac{2P}{\pi A} = 0.637 \frac{P}{A} \quad (MPa)$$

2. 以 3 个试件测值的算术平均值作为该组试件的劈裂抗拉强度值 (精确到 0.01MPa)。其异常数据的取舍与混凝土抗压试验同。

3. 采用 150mm×150mm×150mm 的立方体试件作为标准试件, 如采用 100mm×100mm×100mm 立方试件时, 试验所得的劈裂抗拉强度值, 应乘以尺寸换算系数 0.85。

## 试验六 钢筋力学性能试验

依据 GB228—2010 及 GB232—2010 标准，对钢筋进行拉伸与冷弯试验，并测试经冷拉和时效处理后钢筋的力学性能，并了解不同品种的钢材和焊接钢筋的测试方法。

### 一、钢筋取样与验收规则

1. 钢筋混凝土用热轧钢筋，同一截面尺寸和同一炉罐号组成的钢筋应分批检查和验收，每批重量不大于 60t。

2. 钢筋应有出厂证明或试验报告单。验收时应抽样检验，其检验项目主要有拉伸试验与冷弯试验两项；钢筋在使用中如有脆断、焊接性能不良或机械性能显著不正常时，尚应进行化学成分分析；验收时还包括尺寸、表面及重量偏差等检验。

3. 钢筋拉伸与冷弯试验用的试样不允许进行车削加工；试验应在  $20 \pm 10^\circ\text{C}$  的温度下进行，否则应在报告中注明。

4. 验收取样时，自每批钢筋中任取 2 根截取拉伸试样，任取 2 根截取冷弯试样。在拉伸试验的 2 根试件中，若其中有 1 根试件的屈服点、抗拉强度和伸长率等 3 个指标中有 1 个达不到标准中的规定值，或冷弯试验的 2 根试件中有 1 根不符合标准要求，则在同 1 批中再抽取双倍数量的试样进行该不合格项目的复验，复验结果中只要有 1 个指标不合格，则该试验项目判为不合格，整批不得交货。

### 二、钢筋拉伸试验

#### (一) 主要仪器设备

1. 材料拉力试验机。其示值误差不大于 1%。试验时所用荷载的范围应在最大荷载的 20%~80% 范围内。

2. 钢筋划线机、游标卡尺（精度为 0.1mm）、天平等。

#### (二) 试验步骤

1. 钢筋试样不经车削加工，其长度要求见图 7-1。

2. 在试样  $l_0$  范围内按 10 等分划线（或打点）、分格、定标距。测量标距长度  $l_0$ （精确至 0.1mm）。

3. 测量试件长并称重（精确到 1mm），并称量（精确至 0.1g）。

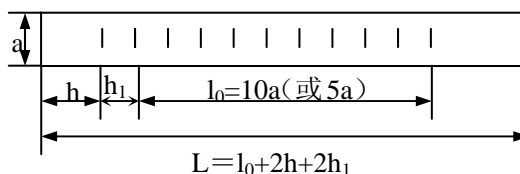
4. 不经车削试件按重量法计算截面面积  $A_0$  ( $\text{mm}^2$ ):

$$A_0 = \frac{m}{7.85L}$$

式中， $m$  为试件重量 (g)； $L$  为试件长度 (cm)；7.85 为钢材密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。

根据标准 GB13013—1991 和 GB1499—1998 规定，计算钢筋强度用截面面积采用公称横截面积，故计算出钢筋受力面积后，应据此取靠近的公称受力面积  $A$ （保留 4 位有效数字）。

5. 将试件上端固定在试验机上夹具内、调整试验机零点、装好描绘器、纸、笔等，



a—计算直径； $l_0$ —标距长度； $h$ —夹具长度； $h_1$ — $0.5 \sim 1 a$

图 7-1 钢筋试样要求

再用下夹具固定试件下端。

6. 开动试验机进行拉伸，拉伸速度为屈服前应力增加速度为 6~60MPa/s；屈服后应变速率为 0.008/s（不经车削试件  $l_c=l_0+2h_1$ ），直至试件拉断。

7. 拉伸中，描绘器自动绘出荷载—变形曲线，由刻度盘指针及荷载变形曲线读出屈服荷载  $P_s$ （指针停止转动或第 1 次回转时的最小荷载）与最大极限荷载  $P_b$ （N）。

8. 测量拉伸后的标距长度  $l_1$ 。将已拉断的试件在断裂处对齐，尽量使其轴线位于一条直线上。如断裂处到邻近标距端点的距离大于  $l_0/3$  时，可用卡尺直接量出  $l_1$ ；在断裂处到邻近标距端点的距离小于或等于  $l_0/3$  时，可按下述移位法确定  $l_1$ ：在长段上自断点起，取等于短段格数得 B 点，再取等于长段所余格数（偶数如图 7-2a）之半是 C 点，或者取所余格数（奇数如图 7-2b）减 1 与加 1 之半得 C 与  $C_1$  点。则移位后的  $l_1$  分别为  $AB+2BC$  或  $AB+BC+BC_1$ 。如用直接量测所得的伸长率能达到标准值，则可不采用移位法。

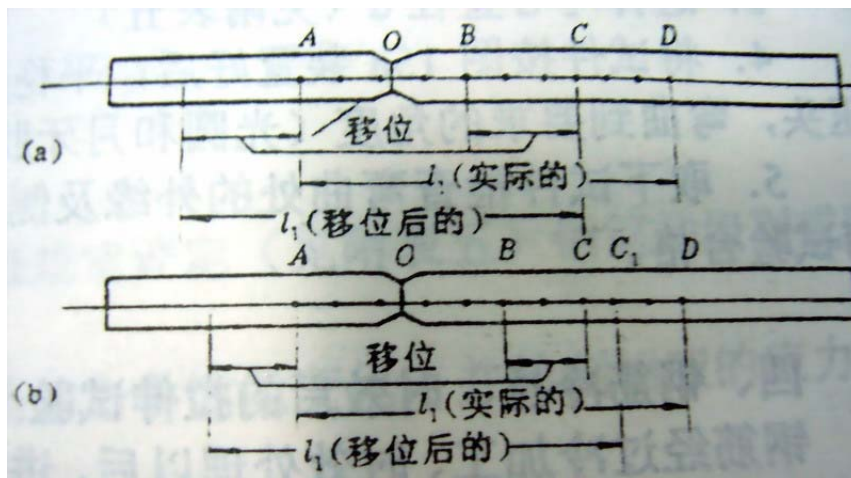


图 7-2 移位法测量钢筋断后长度

### （三）结果计算

1. 屈服强度  $\sigma_s$ ：
$$\sigma_s = \frac{P}{A} \quad (\text{MPa})$$

2. 极限抗拉强度  $\sigma_b$ ：
$$\sigma_b = \frac{P}{A} \quad (\text{MPa})$$

当强度值  $\sigma < 200\text{MPa}$  时，结果修约至 1MPa，当  $200 \leq \sigma \leq 1000\text{MPa}$  时，结果修约至 5MPa， $\sigma > 1000\text{MPa}$  时，结果修约至 10MPa。

3. 断后伸长率 A：
$$A = \frac{(L_1 - L_0)}{L_0} \times 100 \quad (\%)$$

式中， $A_5$ 、 $A_{11.3}$  分别表示  $L_0=5a$  和  $L_0=10a$  时的断后伸长率。当断后伸长率  $\delta < 5\%$  时，结果修约至 0.5%，当断后伸长率  $\delta > 10\%$  时，结果修约至 1%。如拉断处位于标距之外，则断后伸长率无效，应重作试验。

测试值的修约方法：当修约精确至尾数 1 时，按前述四舍六入五单双方法修约；当修约精确至尾数为 5 时，按二五进位法修约（即精确至 5 时， $\leq 2.5$  时尾数取 0； $> 2.5$  且  $< 7.5$  时尾数取 5； $\geq 7.5$  时尾数取 0 并向左进 1）。



### 三、钢筋冷弯试验

#### (一) 主要仪器设备

万能试验机及具有一定弯心直径的一组冷弯压头。

#### (二) 试验步骤

1. 试件长  $L=5a+150\text{mm}$ ， $a$  为试件直径。
2. 按图 7-3a 调整两支辊间的距离为  $x$ ，使  $x=d+(2\sim3)a$ 。
3. 依据表 7-1 选择弯心直径  $d$

表 7-1 钢筋的力学性能与工艺性能指标

表面形状	钢筋级别	牌号 (强度等级 代号)	公称直径 mm	屈服点 $\sigma_s$ (MPa)	抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa)	伸长率 A(%)	冷弯	
				不小于			$d$ —弯芯直径	$a$ —钢筋公称直径
光圆	I	HPB235	6~22	235	370	25	180°	$d = a$
热轧带肋	—	HRB335	6~25	335	490	17	180°	$d = 3a$
			28~40				180°	$d = 4a$
	—	HRB400	6~25	400	570	16	180°	$d = 4a$
			28~40				180°	$d = 5a$
	—	HRB500	6~25	500	630	15	180°	$d = 6a$
			28~32				180°	$d = 7a$

4. 将试件按图 7-3a 装置好后，平稳地加荷，在荷载作用下，钢筋绕着冷弯压头，弯曲到要求的角度（光圆和月牙肋钢筋均为 180°），见图 7-3b。

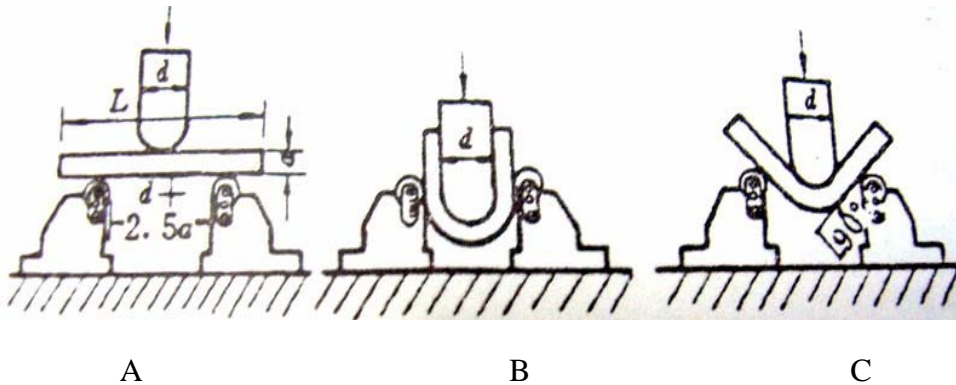


图 7-3 钢筋冷弯试验

5. 取下试件检查弯曲处的外缘及侧面，如无裂缝、断裂或起层，即判为冷弯试验合格。

### 四、钢筋冷拉、时效后的拉伸试验

钢筋经过冷加工、时效处理以后，进行拉伸试验，确定此时钢筋的力学性能，并与未经冷加工及时效处理的钢筋性能进行比较。

#### (一) 试件制备

按标准方法取样，取 1 根长钢筋，截取 6 段，制备与钢筋拉伸试验相同的试件 6 根并分组编号，共 3 组试件。

#### (二) 试验步骤

1. 第 1 组试件用作一般拉伸试验，并绘制荷载—变形曲线，方法同钢筋拉伸试验。以 2 根试件试验结果的算术平均值计算钢筋的屈服点  $\sigma_s$ ，抗拉强度  $\sigma_b$  和伸长率  $\delta$ 。



2. 将第 2 组试件进行拉伸至伸长率达 10%（约为高出上屈服点 3kN）时，以拉伸时的同样速度进行卸荷，使指针回至零，随即又以相同速度再行拉伸，直至断裂为止。并绘制荷载—变形曲线。第 2 次拉伸后以 2 根试件试验结果的算术平均值计算冷拉后钢筋的屈服点  $\sigma_{SL}$ 、抗拉强度  $\sigma_{bL}$  和伸长率  $\delta_L$ 。

3. 将第 3 组试件进行拉伸至伸长率达 10% 时，卸荷并取下试件，置于烘箱中加热 110℃ 恒温 4h，或置于电炉中加热 250℃ 恒温 1h，冷却后再做拉伸试验，并同样绘制荷载—变形曲线。这次拉伸试验后所得性能指标（取 2 根试件算术平均值）即为冷拉时效后钢筋的屈服点  $\sigma_{SL}$ 、抗拉强度  $\sigma_{bL}$  和伸长率  $\delta_L$ 。

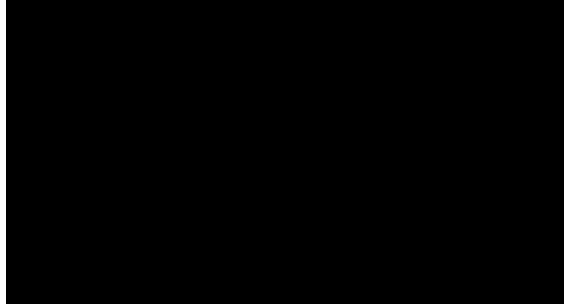


图 7-4 钢筋拉伸性能的应力应变曲线

### （三）结果计算

1. 比较冷拉后与未经冷拉的两组钢筋的应力—应变曲线，计算冷拉后钢筋的屈服点、抗拉强度及伸长率的变化率： $B_s = \frac{\sigma_{SL} - \sigma_s}{\sigma_s} \times 100$  (%)

$$B_b = \frac{\sigma_{bL} - \sigma_b}{\sigma_b} \times 100 \quad (\%)$$

$$B_\delta = \frac{\delta_L - \delta}{\delta} \times 100 \quad (\%)$$

2. 比较冷拉时效后与未冷拉的 2 组钢筋的应力—应变曲线，计算冷拉时效处理后，钢筋屈服点、抗拉强度及伸长率的变化率： $B_{SL} = \frac{\sigma_{SL}' - \sigma_s}{\sigma_s} \times 100$  (%)

$$B_{bL} = \frac{\sigma_{bL}' - \sigma_b}{\sigma_b} \times 100 \quad (\%)$$

$$B_{\delta L} = \frac{\delta_L' - \delta}{\delta} \times 100 \quad (\%)$$

## 五、试验结果评定

1. 根据拉伸与冷弯试验结果按标准规定评定，钢筋的级别或牌号。
2. 比较一般拉伸与冷拉时效后钢筋的力学性能变化，并绘制相应的应力—应变曲

线。

## 六、不同品种钢材试验简介

建筑钢材除上述钢筋砼用热轧光圆钢筋和钢筋砼用热轧带肋钢筋（GB1499—2008）外，还有下列品种：

1. 低碳钢热轧圆盘条（GB701—2008），1 根做拉伸试验、2 根做冷弯，测定其屈服点、抗拉强度、伸长率和冷弯性能（弯心直径为 0.5a）。
2. 碳素结构钢（GB700—2006），1 根做拉伸试验，1 根做冷弯试验，3 根做冲击试验。
3. 预应力砼用钢丝（GB5223—2002），测定其屈服强度（ $\sigma_{0.2}$ ），抗拉强度、伸长率、反复弯曲次数和做松弛试验。

此外，还有冷拉钢筋、冷拔低碳钢丝、冷轧带肋钢筋、预应力砼用热处理钢筋、冷轧扭钢筋等。

钢材力学性能试验取样位置及试样制备按 GB/T2975 标准进行，拉伸试验按 GB228 标准进行，冷弯试验按 GB232 标准进行。

## 七、钢筋的焊接接头试验简介

钢筋焊接方法有电阻点焊、闪光对焊、电弧焊、电渣压力焊、气压焊以及预埋件钢筋 T 型接头等，其试验按照 JGJ 18—2010 标准进行，主要试验内容有拉伸试验、抗剪试验和弯曲试验，特殊性能试验包括冲击试验、疲劳试验、硬度试验和金相试验等。如闪光对焊 3 根做拉伸试验，3 根做冷弯试验；电弧焊和电渣压力焊只做 3 根拉伸试验；电弧点焊 3 根做拉伸试验，3 根做抗剪试验。试验结果须满足有关标准要求。

此外还有钢筋机械连接接头（JGJ107—2010）按其性能分为 I、II、III 三级。其检验分型式检验、工艺检验及现场验收检验。现场验收检验、每批取 3 个接头和相应的 3 根母材作单向拉伸试验，测其抗拉强度、破坏型式（套筒破坏、滑脱、母材断三种）和断裂位置。

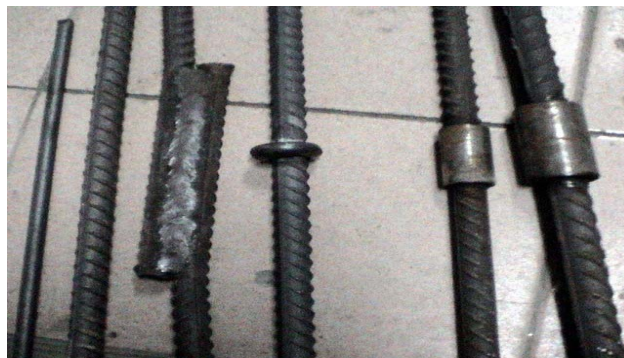


图 7-5 钢筋接头形式

## 试验七 石油沥青试验

### 一、概述

沥青是由高分子碳氢化合物及其衍生物组成的一种非晶态高分子材料，呈黑色或褐色，不溶于水而几乎全溶于二硫化碳，在煤油中的溶解度也很大。沥青其主要组分为油份、胶质和沥青质；其中油份为无色液体，在大多数溶剂中能溶解，使沥青易于流动；胶质在室温时呈固态或半固态，受热软化，遇冷变脆；而沥青质是沥青中大而不连续的固态内含物，呈黑色，是沥青中高粘度成份。

沥青通常可分为地沥青和煤焦油沥青两大类，其中地沥青是天然沥青和石油沥青的总称，焦油沥青俗称柏油，一般是焦炭(煤)生产的副产品。石油沥青，一般是石油蒸馏过程的副产品，一般在石油产品中可溶，通常又分成道路石油沥青、建筑石油沥青和普通石油沥青三种，目前主要是道路石油沥青应用最为广泛，建筑上主要使用建筑石油沥青制成各种防水材料制品或现场作为防水材料而使用。

沥青的针入度、软化点及延度为沥青的主要技术性质，通常称为三大指标。本试验依据 GB/T4507(软化点)~4508(延度)-1999 和 GB/T4509-1998(针入度)或 JTJ 052-2000 标准，测定石油沥青的针入度、软化点及延度，以评定其牌号与类别。

### 二、取样方法

取样方法和数量依据 GB/T11147 取由代表性样品。同一批出厂，并且类别、牌号相同的沥青，从桶(或袋、箱)中取样，应在样品表面以下及距容器内壁至少 5cm 处采取。当沥青为可敲碎的块体，则用干净的工具将其打碎后取样；当沥青为半固体，则用干净的工具切割取样。取样数量粘稠或固体沥青不少于 1.5kg，液体沥青不少于 1L，沥青乳液不少于 4L。

### 三、针入度

针入度是沥青材料在规定温度条件下，规定质量的标准针在规定的时间内依靠自重荷载作用贯入沥青试样的深度，以 1/10mm 为单位计。试验条件以  $P_{T, m, t}$  表示，其中 P 为针入度，T 为试验温度，m 为标准针质量(包括滑动连杆和砝码)，t 为规定的贯入时间。我国现行标准规定的试验条件为  $P_{25^{\circ}\text{C}, 100\text{g}, 5\text{s}}$ ，即标准针入度的温度为 25℃，荷重 100g，贯入时间 5s，以 0.1mm 计。针入度是评价粘稠沥青稠度的一种间接指标，沥青稠度越大，表示沥青的粘度越大，则测得的针入度越小，鉴于此，我国沥青在划分粘稠沥青标号时，主要以针入度为主要指标，将沥青划分为不同的标号。

(一)主要仪器设备：针入度计(附标准针)；恒温水浴(控温的准确度达 0.1℃)、试样皿、温度计(0.1℃)、秒表(0.1s)、溶剂(三氯乙烯或甲苯或松节油)、电炉、石棉网等。

#### (二)试验步骤

1. 试样制备。将沥青加热至 120~180℃(石油沥青不超过软化点以上 110℃，煤焦油沥青不超过 55℃)温度下脱水(石油沥青加热时间不超过 2h，煤焦油沥青加热时间不超过 30min，用筛过滤，注入盛样皿内，注入深度应比预计针入度大 10mm，置于 15~30℃的空气中冷却 1~2h，冷却时应防止灰尘落入。然后将盛样皿移入规定温度±0.1℃的恒温水浴中，恒温 1~2h。浴中水面应高出试样表面 25mm 以上。

2. 从恒温水浴中取出试样皿，放入水温为 25±0.1℃的平底保温皿中，试样表面以上的水层高度应不小于 10mm。将平底保温皿置于针入度计的平台。

3. 使针尖刚好与试样表面接触，置零，让标准针自由下落穿入沥青试样，经 5s 后，

使指针停止下沉，读出试样的针入度。

4. 同一试样重复测定至少 3 次，每次测定前都应检查并调节保温皿内水温使保持在  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ，每次测定后都应将标准针取下，用浸有溶剂(三氯乙烯、甲苯或松节油等)的布或棉花擦净，再用干布或棉花擦干。各测点之间及测点与试样皿内壁的距离不应小于 10mm。

### (三)结果评定

取 3 次针入度测定值的平均值作为该试样的针入度，结果取整数值，3 次针入度测定值相差不应大于表 4-1 中数值。

**表 4-1 石油沥青针入度测定值的最大允许差值**

针入度	0~49	50~149	150~249	250~350
最大差值	2	4	6/12(JTJ 052-2000)	8/20(JTJ 052-2000)

一般认为，针入度指标大于 50 较好，当小于 45 时，容易导致沥青的开裂，但是在热拌和过程中，沥青的针入度降低较多，在使用的最初两年内也损失较多。

同样的样品，在不同单位进行测量，得到的针入度结果差别有时会很大，有时试验的极差甚至能超过一个针入度等级(20)。影响针入度试验的因素很多，如制模时混入气泡，制模时未过筛，会导致试样不均匀，使测试结果的离散性偏大；试样的保温时间不够，会导致内部未完全硬化，使试验结果偏大，如保温时间过长，会使沥青的油份散失，使测试结果偏小；标准针的形状不标准，会导致针尖的剪切力不同，相对下降速度也不一致；其他试验温度的控制不准确，试验人员的观察力不同等均会引起针入度的误差。

## 四、 延度测定

延度是标准沥青材料塑性的指标，延度值越大，表明沥青在所进行的试验温度下塑性变形能力越大，同时也可间接说明在相邻区间的沥青变形能力。延度的测定，是在规定的温度( $5^\circ\text{C}$ 、 $10^\circ\text{C}$ 、 $15^\circ\text{C}$ 、 $25^\circ\text{C}$ 等)和规定的加荷速度( $50 \pm 2.5\text{mm}/\text{min}$ ) (低温时可采用  $10 \pm 0.5\text{mm}/\text{min}$ )条件下，拉伸“8”字型标准试件的两端直至断裂的长度，以 cm 表示。

### (一) 主要仪器设备

1. 延度仪。由长方形水槽和传动装置组成，由丝杆带动滑板以每分钟  $50 \pm 5\text{mm}$  的速度拉伸试样，滑板上的指针在标尺上显示移动距离；“8”字模。由两个端模和两个侧模组成。

2. 甘油滑石粉隔离剂(甘油和滑石粉的质量比为 2:1)，其它仪器同针入度试验。

### (二)试验步骤

1. 制备试样。将隔离剂均匀地涂于金属(或玻璃)底板和两侧模的内侧面(端模勿涂)，将模具组装在底板上。将加热熔化并脱水的沥青经过滤后，以细流状缓慢自试模一端至另一端注入，经往返几次而注满，并略高出试模。然后在  $15 \sim 30^\circ\text{C}$  环境中冷却 30min 后，放入  $15 \pm 0.1^\circ\text{C}$  的水浴中，保持 30min 再取出，用热刀将高出模具的沥青刮去，试样表面应平整光滑，最后移入  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$  的水浴中恒温 1~1.5h。

2. 检查延度仪滑板移动速度是否符合要求，调节水槽中水位(水面高于试样表面不小于 25mm)及水温( $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ )。

3. 从恒温水浴中取出试件，去掉底板与侧模，将其两端模孔分别套在水槽内滑板及横端板的金属小柱上，再检查水温，并保持在  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

4. 将滑板指针对零，开动延度仪，观察沥青拉伸情况。试验过程中，应注意保持试验温度，仪器和水面均不得有晃动。测定时，若发现沥青细丝浮于水面或沉入槽底时，则应分别向水中加乙醇或食盐水，以调整水的密度与试样密度相近为止，重新试验。

5. 当试件拉断时，立即读出指针所指标尺上的读数，即为试样的延度，以 cm 表示。

### (三)试验结果

取平行测定的 3 个试件延度的平均值作为该试样的延度值。若 3 个试验结果均大于 100cm, 则记为 >100cm。

GB/T4508-1999 规定: 3 个测定值与其平均值之差不都在其平均值的 5% 以内, 但其中两个较高值在平均值 5% 以内, 则弃去最低值, 取 2 个较高值的算术平均值作为测定结果, 否则重新测定。

JTJ 052-2000 中规定, 若 3 个测定值中, 有一个小于 100cm, 而最大值或最小值与平均值之差小于 20%, 则取 3 个试验结果的平均值的整数作为试验结果, 若平均值大于 100cm, 则记为 >100cm。若最大值或最小值与平均值之差大于 20%, 试验应重新进行。

## 五、 软化点测定

沥青是多种碳水化合物的混合物, 是无定形物质, 由液态凝结为固态或由固态粘熔化为液态时, 没有敏锐的固化点或液化点, 随着测试温度的升高, 沥青逐渐软化。软化点只是表示在特定的条件下, 沥青软硬程度的一个条件温度。环与球法软化点是将沥青浇注于内径为 18.9mm 的铜环中制备试件, 在试件上置有一 3.50g 的钢球, 在加热介质中以一定速度( $5 \pm 0.5^\circ\text{C}/\text{min}$ )加热, 在钢球的荷重作用下, 沥青受热软化下落到 25.4mm 时的温度的平均值, 即为以 T 表示。

软化点与针入度一样, 常常为控制制造工艺、检验产品质量、评定沥青性质及选择使用条件所应用。对同一种原油和炼制工艺来说, 沥青硬、针入度小的软化点就高, 控制住软化点则针入度的变化也不会太大。

### (一)主要仪器设备

1. 软化点测定仪(环与球法), 包括 800~1000mL 烧杯、测定架、试样环、钢球、温度计( $0.5^\circ\text{C}$ )、电炉或其他可调温的加热器、金属板或玻璃板、筛等。

2. 甘油滑石粉隔离剂(甘油和滑石粉的质量比为 2:1)等。

### (二)试验步骤

1. 试样制备。将试样环置于涂有隔离剂的金属板或玻璃板上, 将已加热熔化、脱水且过滤后的沥青试样注入试样环内至略高出环面为止。(若估计软化点在  $120^\circ\text{C}$  以上时, 应将试样环与金属板预热至  $80 \sim 100^\circ\text{C}$ )。将试样在低于软化点  $10^\circ\text{C}$  以上的空气中冷却 30min 后, 用热刀刮去高出环面的沥青, 使与环面齐平。

2. 烧杯内注入新煮沸并冷却至约  $5^\circ\text{C}$  的蒸馏水(估计软化点不高于  $80^\circ\text{C}$ )或注入预热至  $32^\circ\text{C}$  的甘油(估计软化点高于  $80^\circ\text{C}$  的试样), 使液面略低于连接杆上的深度标记。

3. 将装有试样的金属环置于环架上层板的圆孔中, 放上套环, 把整个环架放入烧杯内, 调整液面至深度标记, 环架上任何部分均不得有气泡。将温度计由上层板中心孔垂直插入, 使水银球与铜环下面齐平, 恒温 15min。水温保持  $5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ (甘油温度保持  $32 \pm 1^\circ\text{C}$ )。

4. 将烧杯移至放有石棉网的电炉上, 然后将钢球放在试样上(须使环的平面在全部加热时间内完全处于水平状态), 立即加热, 使烧杯内水或甘油温度在 3min 后保持每分钟上升  $5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 否则重做。

5. 观察试样受热软化情况, 当其软化下坠至与环架下层板面接触(即 25.4mm)时, 记下此时的温度, 即为试样的软化点, 当软化点  $< 80^\circ\text{C}$ , 精确至  $0.5^\circ\text{C}$ ; 当软化点  $> 80^\circ\text{C}$ , 精确至  $1^\circ\text{C}$ 。

所有石油沥青试样的准备和测试必须在 6h 内完成, 煤焦油沥青必须在 4.5h 内完成。

### (三)试验结果

取平行测定的两个试样软化点的算术平均值作为测定结果。当软化点  $< 80^\circ\text{C}$ , 时, 允许误差为  $1^\circ\text{C}$ ; 当软化点  $80 \sim 100^\circ\text{C}$  时, 允许误差为  $2^\circ\text{C}$ , 当软化点  $> 100^\circ\text{C}$  时, 允许

误差为 3℃。

道路沥青大多在 40~60℃之间，它与制造工艺密切相关。但多蜡沥青(W 型)的软化点一般偏高。软化点的测定与试样的预处理方法、时间、水浴的搅拌与否、测温方法、升温速度等均密切相关。如试杯内水不搅拌，则传热的时间延长，会产生稳定梯度。有研究表明，当升温速度分别 4.5℃/min 和 5.5℃/min 时，其软化点可相差 1.6℃，即使在 5℃/min 的升温速度下，试样内部的温度也要比水温低 2℃左右。沥青中蜡含量会很大的影响沥青的性能，一般沥青的软化点一般在 40~55℃之间，而沥青中的蜡融点在 30~100℃之间，故蜡会吸收部分溶解热，从而使试样的升温速率滞后于水温的升高。当蜡含量太高时，试样不是通过软化了的沥青中间而下垂，而是试样与钢球同时沿环壁下滑。

## 六、 试验结果评定

1. 石油沥青按针入度来划分其牌号，而每个牌号还应保证相应的延度和软化点。若后者某个指标不满足要求，应予以注明。

2. 石油沥青按其牌号，可分为道路石油沥青、建筑石油沥青、防水防潮石油沥青和普通石油沥青。由上述试验结果按照标准规定的各技术要求的指标确定该石油沥青的牌号与类别。

建筑石油沥青 GB/T494-1998 按针入度不同将沥青分为 10 号、30 号和 40 号三个牌号，道路石油沥青依据 SH0522-92 标准可将沥青分为 200, 180, 140, 100 甲, 100 乙, 60 甲, 60 乙等 7 个牌号，石油沥青的技术指标如表 4-2 所示，

表 4-2 石油沥青技术指标

质量指标	试验方法	道路石油沥青 (SH0522-92)							建筑石油沥青 (GB494-1998)		
		200	180	140	100 甲	100 乙	60 甲	60 乙	10	30	40
针入度(25℃,100g,5s), 1/10mm	GB/T 4509	201~300	161~200	121~160	91~120	81~120	51~80	41~80	10~25	25~35	36~50
延度(25℃,5cm/min),cm, ≧	GB/T 4508	—	100	100	90	60	70	40	1.5	2.5	3.5
软化点(环球法)(℃)	GB/T 4507	30~45	35~45	38~48	42~52	42~52	45~55	45~55	≧95	≧75	≧60
溶解度(三氯乙烯, 三氯甲烷或笨), %, ≧	GB/T 11148	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.5		
蒸发损失(163℃,5h), %, ≧	GB/T11964	1	1	1	1	1	1	1	1		
蒸发后针入度比, %, ≧	GB/T 4509	50	60	60	65	65	70	70	65		
闪点 (开口), ℃, ≧	GB/T 267	180	200	230	230	230	230	230	230		

## 思考题

1. 试验温度对沥青三大指标有何影响？
2. 延度测定时如何保证沥青细丝平行于水面而不产生弯曲？

## 试验八 砖瓦与墙体材料

根据《烧结普通砖》(GB5101—2003)标准规定,烧结普通砖检验项目分出厂检验(包括尺寸偏差、外观质量和强度等级)和型式检验(包括出厂检验项目、抗风化性能、石灰爆裂和泛霜)两种。本试验主要做出厂检验项目。

### 一、取样方法

烧结普通砖以 3.5~15 万块为一检验批,不足 3.5 万块也按一批计;采用随机抽样法取样,外观质量检验的砖样在每一检验批的产品堆垛中抽取,数量为 50 块;尺寸偏差检验的砖样从外观质量检验后的样品中抽取,数量为 20 块;其它项目的砖样从外观质量和尺寸偏差检验后的样品中抽取。抽样数量为强度等级 10 块;泛霜、石灰爆裂、冻融及吸水率与饱和系数各 5 块。当只进行单项检验时,可直接从检验批中随机抽取。

### 二、抗压强度试验

#### (一) 主要仪器设备

压力试验机(300~500kN)。锯砖机或切砖器、钢直尺等。

#### (二) 试验步骤

1. 试件制备。将砖样切断或锯成两个半截砖,断开的半截砖边长不得小于 100mm,否则,应另取备用砖样补足。将已切断的半截砖放入净水中浸 10~20min 后取出,并以断口相反方向叠放,两者中间用不超过 32.5 级水泥调制成稠度适宜的水泥净浆粘结,其厚度不得超过 5mm,上下两表面用厚度不超过 3mm 的同种水泥浆抹平,制成的试件上下两个面需相互平行,并垂直于侧面(见图 3)。

2. 制成的试件置于不通风的室内养护 3d,室温不低于 10℃。

3. 测量每个试件连接面长(a)、宽(b)尺寸各两上,精确至 1mm,取其平均值计算受力面积。

4. 将试件平放在压力试验机加压板中央,以 5±0.5kN/s 的速度均匀加荷,直至试件破坏,记录破坏荷载 P(N)。

#### (三) 结果计算

烧结普通砖抗压强度试验结果按下列公式计算(精确至 0.1MPa):

$$\text{单块砖样抗压强度测定值 } f_{ci} = \frac{P}{a \cdot b} \quad (\text{MPa})$$

$$\text{10 块砖样抗压强度平均值 } \bar{f} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} f_{ci} \quad (\text{MPa})$$

$$\text{砖抗压强度标准值 } f_k = \bar{f} - 1.8S \quad (\text{MPa})$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{i=1}^{10} (f_{ci} - \bar{f})^2} \quad (MPa)$$

### 三、尺寸偏差与外观质量检验

#### (一) 主要仪器

砖用卡尺（如图 4），分度值为 0.5mm。钢直尺，分度值为 1mm。

#### (二) 尺寸偏差检验

1. 用砖用卡尺测量砖的长度、宽度和高度。长、宽、高均应在砖的各相应面的中间处测量，每方向以两个测量尺寸的算术平均值表示，精确至 0.5mm。

2. 计算样本平均偏差和样本极差。样本平均偏差是 20 块砖样规格尺寸的算术平均值减去其公称尺寸的差值；样本极差是抽检的 20 块砖样中最大测定值与最小测定值之差值。

#### (三) 外观质量检验

国家标准 GB5101—1998 规定，烧结普通砖的外观质量检验取砖样 50 块，其检验内容包括缺损、裂纹、弯曲、杂质凸出高度、两条面高度差以及颜色等。

##### 1. 缺损检验

缺棱掉角在砖上造成的破损程度，以破损部分对长、宽、高三个棱边的投影尺寸来度量，称为破损尺寸。用钢直尺进行测量。缺棱掉角的三个破损尺寸不得同时大于 15mm（优等品）或 30mm（合格品）。

##### 2. 裂纹检验

裂纹分为长度方向、宽度方向和水平方向三种，以被测方向的投影长度表示。如果裂纹从一个面延伸至其它面上时，则累计其延伸的投影长度。用钢直尺测量，精确至 1mm。裂纹以在三个方向上分别测得的最长裂纹作为测量结果。规定大面上宽度方向及其延伸至条面的长度不大于 70mm（优等品）或 110mm（合格品）；大面上长度方向及其延伸至顶面的长度或条顶面上水平裂纹的长度不大于 100mm（优等品）或 150mm（合格品）。

##### 3. 弯曲检验

弯曲分别在大面和条面上测量，将砖用卡尺的两支脚沿棱边两端放置，择其弯曲最大处将垂直尺推至砖面，测出弯曲值，规定弯曲不大于 2mm（优等品）或 5mm（合格品）。

##### 4. 杂质凸出高度检验

杂质在砖面上造成的凸出高度，以杂质距砖面的最大距离表示。测量时将砖用卡尺的两支脚置于凸出两边的砖平面上，以垂直尺测量出杂质凸出高度。规定砖的杂质凸出高度不大于 2mm（优等品）或 5mm（合格品）。

##### 5. 两条面高度差检验

用砖用卡尺在两个条面中间处分别测量两个尺寸，求其差值。规定两条面高度增长不大于 2mm（优等品）或 5mm（合格品）。

##### 6. 颜色检验

抽砖样 20 块，条面朝上随机分两排并列，在自然光下距离砖面 2m 处目测外露的条顶面。规定优等品砖颜色应基本一致，而合格品无要求。



#### 四、结果评定

根据 GB5101—2003 判定规则，尺寸偏差符合上述试验要求者，判尺寸偏差为优等品或合格品；强度等级符合本书附表一的规定，判为强度等级合格，否则判不合格，或者根据其抗压强度的平均值与标准值  $f_k$  ( $\delta \leq 0.21$ ) 或最小值  $f_{\min}$  ( $\delta > 0.21$ ) 确定其相应的强度等级。

根据 JC466—92 外观质量抽样方案与判定，抽取的 50 块样，检查出不合格品数  $d_1 \leq 7$  时，外观质量合格； $d_1 \geq 11$  时，外观质量不合格；若  $d_1 > 7$  且  $< 11$  时，需复检。再抽 50 块砖，检查出不合格品数为  $d_2$ ，若  $(d_1 + d_2) \leq 18$  时，外观质量合格若  $(d_1 + d_2) \geq 19$  时，外观质量判为不合格。

#### 五、烧结瓦与混凝土瓦试验简介

烧结瓦根据表面状态分为有釉和无釉两类；根据形状分为平瓦、脊瓦、三曲瓦、双筒瓦、鱼鳞瓦、牛舌瓦、筒瓦、滴水瓦、勾头瓦、丁形瓦和 S 形瓦等。检测方法依据 JC709—1998《烧结瓦》标准进行。出厂检验项目包括尺寸偏差、外观质量、抗弯曲性能、吸水率；型式检验项目除出厂检验项目外，另加抗冻性、急冷急热、抗渗性等。物理性能合格的产品，根据尺寸偏差和外观质量分为优等品、一等品和合格品三个等级。

混凝土瓦是由水泥、集料、水为主要材料经拌和、挤压成型和其他成型方法制成的，分为屋面瓦和配件瓦。检测方法和评定依据 JC746—1999《混凝土瓦》进行。其出厂检验的项目包括尺寸偏差、外观质量、承载力、吸水率和抗渗性能。型式检验，除出厂检验项目外还包括质量偏差、抗冻性等。尺寸偏差和外观质量合格的产品，按物理力学性能分为优等品、一等品和合格品三个等级。

#### 六、砌块、墙板试验简介

砌块主要有：普通砼小型空心砌块（GB8239—1997）、轻集料砼小型空心砌块（GB15229—94）、石膏空心砌块、粉煤灰砌块（JC238—91）、加气砼砌块等。

混凝土小型空心砌块试验按照 GB/T11969—1997 进行，主要试验内容有体积密度、含水率、吸水率、力学性能（抗压、抗拉、抗折、轴心抗压静压弹性模量）、干燥收缩、抗冻性、碳化和干湿循环试验等。

非承重内隔墙用轻质条板（面密度  $\geq 60\text{kg/m}^2$ ）在建筑中也得到了大量的应用。按其断面分为空心条板、实心条板和夹心条板三类。住宅内隔墙轻质条板试验按照 JG/T3029—1995 标准进行，其试验内容有外观质量、尺寸偏差、面密度、干燥收缩值、空气声隔声量、耐火极限、燃烧性、抗弯破坏荷载、抗冲击和单占吊挂力等。

## 参考文献

1. 秦鸿根编，建筑材料试验指导书，东南大学材料科学与工程学院内部教材[Z]，2003.10；
2. 伍洪标主编，无机非金属材料试验[M]，北京：化学工业出版社，2002.6；
3. 中华人民共和国交通部 JTG E30-2005 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程[S]，北京：人民交通出版社，2005
4. 国家质量监督检验检疫总局 GB/T14684-2010 建筑用砂[S]，北京：中国标准出版社，2002
5. 国家质量监督检验检疫总局 GB/T14685-2010 建筑用卵石、碎石[S]，北京：中国标准出版社，

2002

6. 中华人民共和国交通部 JTG E42-2005 公路工程集料试验规程[S], 北京: 人民交通出版社, 2005
7. 沈金安主编, 沥青和沥青混合料路用性能[M], 北京: 人民交通出版社, 2003.5
8. 梁乃兴, 韩森, 屠书荣编著, 现代路面与材料[M], 人民交通出版社, 2003.8
9. 江苏省建设工程质量监督总站主编, 建设工程质量检测技术[M], 中国建筑工业出版社, 2006.6
10. 中华人民共和国交通部, JTJ052-2000 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S], 2000.10
11. 国家质量技术监督局, GB/T 4507-1999 沥青软化点测定法 (环球法)[S], 北京: 中国标准出版社, 2000.6
12. 国家质量技术监督局, GB/T 4508-1999 沥青延度测定法[S], 北京: 中国标准出版社, 2000.6
13. 国家质量技术监督局, GB/T 4509-1998 沥青针入度测定法[S], 北京: 中国标准出版社, 1999