

《土木工程材料 B》实验指导书

实验一 判断水泥样品是否为合格品

本试验根据国家标准《水泥细度检验方法筛析法》(GB1345-2005),《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T1346-2011),《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》(GB/T17671-1999)及《通用硅酸盐水泥》(GB 175-2007)测定水泥的相关性质,以判定水泥样品是否合格。

一、实验目的

根据国家相关标准进行水泥的细度、水泥标准稠度用水量、水泥凝结时间、体积安定性和水泥胶砂强度试验,掌握相应的测试方法。

二、实验内容

(一) 水泥细度检验

水泥细度检验有比表面积法和筛析法。比表面法适合于硅酸盐水泥,筛析法适合于其他水泥。筛析法又分负压筛法、水筛法和干筛法,在检验中,当其他方法与负压筛法发生争议时,以负压筛法为准。下面分别介绍负压筛法、干筛法、水筛法。

1. 负压筛法

(1) 主要仪器设备:

负压筛(由圆形筛框和筛网组成,筛孔为 0.080mm);负压筛析仪(由筛座、负压筛、负压源及收尘器组成)。

(2) 试验方法

① 筛析前,把负压筛放在筛座上,盖上筛盖,接通电源,调节负压为 4000~6000Pa 的范围;

② 称取试样 25g,放进负压筛中,盖上筛盖,放在筛座上。

③ 开动筛析仪连续筛析 2min,轻轻地敲打盖上附着的试样,停机后,用天平称量筛余物。

④ 水泥试样筛余百分数按下式计算(准确至 0.1%)

$$F = \frac{R}{W} \times 100\%$$

式中 F——水泥试样的筛余百分数;

R——水泥筛余物的质量, g;

W——水泥试样的质量, g。

2. 水筛法

(1) 主要仪器设备

标准筛、筛支座、喷头、天平

(2) 检验方法

① 称取水泥试样 50g，倒入水筛内，立即用洁净的自来水冲洗至大部分细粉通过，再将筛子置于筛座上用 0.030~0.080Mpa 水压连续冲洗 3min。

② 筛毕取下，将筛余物用水冲到一边，把筛余物全部移动到蒸发皿上将水倒出。

③ 烘干，称量（精确至 0.1g），以其读数乘以 2，即得筛余百分数。

④ 结果评定以一次检验所得的结果作最后的结果。

3. 干筛法

(1) 主要仪器设备

标准筛 筛布同湿筛法，筛框有效直径 150mm，高 50mm。

(2) 检验方法

称取试样 50g 倒入筛内，并加盖，用手执筛往复摇动，另一只手轻轻拍打，拍打速度 120 次/min，每 40 次向同一方向转动 60°，使试样均匀落在筛网上，直到通过的试样量不超过 0.050g/min 为止，称筛余量。

试验结果按下式计算（准确至 0.1%）

$$F = \frac{R}{W} \times 100\%$$

式中符号的意义同负压筛法。

(3) 试验结论

根据国家标准评定水泥细度是否合格。

(二) 水泥标准稠度用水量测定

1. 试验目的

本试验的目的是测定水泥净浆达到标准稠度时的用水量，为测定水泥的凝结时间和体积安定性做好准备。试验方法分代用法和标准法。

2. 试验材料

水泥、水，其要求见水泥检验的一般规定。

3. 仪器及设备

标准稠度测定仪、(代用法维卡仪、标准法维卡仪)、水泥净浆搅拌机、量水器

4. 试验步骤

(1) 代用法

① 调整用水量法

a. 试验前须检查：仪器金属棒应能自由滑动，试锥降至顶面位置时，指针应对准标尺零点，搅拌机运转正常。

b. 泥净浆的拌制：用湿布将水泥净浆搅拌机的搅拌锅及叶片擦湿，将称好的 500g 水泥试样倒入锅内。将锅固定在搅拌机的锅座上，升至搅拌位置。

c. 开动机器：同时慢慢地加水，慢速搅拌 120s，停拌 5s，接着快速搅拌 120s 停机。

d. 拌和结束后，立即将拌好的净浆装入锥模内，用小刀插捣，插捣数次刮去多余净浆；抹平后迅速放到试锥下面固定的位置上，将试锥降至净浆表面拧紧螺丝，然后突然放松，让试锥自由沉入净浆中，到试锥停止下沉时记录试锥下沉的深度。全部操作应在 1.5min 内完成。

② 固定用水量法

水泥用理为 500g，拌和用水量为 142.5cm³。测定方法与调整用水量法相同。

(2) 标准法

拌和结束后，立即将拌制好的水泥净浆装入已放在玻璃片上的试模中，用小刀插捣，轻轻捣数次，刮去多余的净浆；抹平后，将试模放到维卡仪上，并将中心定在试杆下，降低试杆与水泥接触，拧紧螺丝 1~2s 后，突然放松，使试杆自由地沉入水泥浆中。在试杆停止沉入或释放试杆 30s 时记录试杆与底板的距离，升起试杆后，将试杆擦净，整个过程在 1.5min 内完成。

5. 试验结果

(1) 代用法

① 调整用水量法

试锥下沉的深度为 (28±2) mm 时的拌和用水量为水泥的标准稠度用水量 P，以水泥质量的百分数，按下式计算：

$$P = \frac{W}{500} \times 100\%$$

式中 W——拌和用水量，mL。

如试锥下沉的深度超出上述范围，试验须重做至达到 (28±2) mm 时为止。

② 固定用水量法

根据测得试锥下沉的深度 S (mm) 按下式 (或仪器上对应标尺) 计算得到标准稠度用

水量 P (%) :

$$P = 33.4 - 0.185 S$$

式中 S ——试锥下沉的深度, mm。

当试锥深度 S 小于 13mm 时, 应用调整用水量法。

(2) 标准法

试杆沉入净浆与底板距离为 (6 ± 1) mm 的水泥净浆称标准稠度净浆。其拌和用水量为该水泥标准稠度用水量 P , 按水泥质量的百分比计。

(三) 水泥凝结时间的测定

1. 试验目的

测定水泥的凝结时间, 判断水泥的质量。

2. 试验材料

水泥、水, 其要求同水泥检验的一般规定。

3. 仪器及设备

凝结时间测定仪、水泥净浆搅拌机、标准养护箱。

4. 试验步骤

(1) 将圆模放在玻璃板上, 在内侧涂上一层机油, 调整凝结时间测定仪的试针接触玻璃板时, 指针应对准标尺零点。

(2) 称取水泥试样 500g, 按标准稠度用水量加水制备标准稠度的水泥净浆, 方法同前。立即一次装入圆模, 用手振动数次, 刮平, 放入湿气养护箱内。记录开始加水的时间作为凝结时间的起始时间。

(3) 凝结时间的测定。试样在湿气养护箱中养护至加水后 30min 时进行第一次测定。

(4) 测定时, 从湿气养护箱中取出圆模放到试针下, 使试针与圆模接触, 拧紧螺 1~2s 后放松, 试针垂直自由沉入净浆, 观察试针停止下沉的指针读数。当试针沉至距底板 (4 ± 1) mm 时, 即为水泥达到初凝状态; 由水泥全部加入水中至初凝状态的时间为水泥的初凝时间。

(5) 终凝时间测定时, 为了观察试针沉入的情况, 在终凝试针上安装一个环形附件, 在完成初凝时间测定后, 将试模连同浆体以平移的方式从玻璃板取下, 翻转 180° , 直径大端朝上, 小端朝下, 放在玻璃板上, 再放入湿气养护箱内继续养护, 至试针沉入试体 0.5mm 时, 即环形附件开始不能在试体上留下痕迹时, 水泥达到终凝状态, 由水泥全部加入水中至终凝状态为水泥的终凝时间。

5. 试验结论

国家标准《普通硅酸盐水泥》(GB175-2007)规定:硅酸盐水泥的初凝时间不得小于45min,终凝时间不得大于6.5h。根据国家标准评定水泥凝结时间是否合格。

注:在最初测定的操作时,应轻轻地扶持金属棒,使其徐徐下降以防试针撞弯,但应以自由下落为准;在整个操作过程中试针插入的位置至少要距圆模10mm。临近初凝时,每隔15min测定一次,到达初凝或终凝时立即重复测一次,当两次结果相同时才能定为初凝或终凝时间。每次测定不得让试针落入原针孔,每次测定完毕须将试针擦净并将圆模放回湿气养护箱内。初凝时间用分(min)表示,终凝时间用小时(h)表示。

(四) 水泥安定性的测定

1. 试验目的

检验水泥浆体在硬化时体积变化的均匀性,以决定水泥的品质。试验方法为沸煮法,用以检验游离氧化钙造成的体积安定性不良。沸煮法又分试饼法和雷氏法,当两者发生争议时,以雷氏法为准。

2. 试验材料

水泥、水,其要求同水泥检验的一般规定。

3. 仪器及设备

雷氏夹膨胀值测定仪,标尺最小刻度为0.5mm;雷氏夹、沸煮箱、水泥净浆搅拌机、标准养护箱、天平、量水器。

4. 试验步骤

(1) 测定前的准备工作

若采用雷氏法时每个雷氏夹需配备质量75~80g的玻璃板两块,若采用试饼法时一个样品需准备两块100mm×100mm的玻璃板,每种方法每个试样需成型两个试件。凡与水泥净浆接触的玻璃板和雷氏夹表面都要涂上一层油。

(2) 水泥标准稠度净浆的制备

称取500g(精确至1g)水泥,以标准稠度用水量,用水泥净浆搅拌机搅拌水泥净浆,方法同前面一样。

(3) 试饼的成型方法

将制好的净浆取出一部分后分成两等份,使之成球形,放在准备好的玻璃上,将其做成直径70~80mm、中心厚约10mm、边缘渐薄、表面光滑的试饼,接着将试饼放入养护箱内养护(24±2)h。

(4) 雷氏夹试件的制备方法

将雷氏夹放在已擦油的玻璃上，并将已制好的标准稠度净浆装满试模，装模时一只手轻轻地扶持试模，另一只手用宽约 10mm 的小刀插捣 15 次左右然后抹平，盖上涂油的玻璃板，移到养护箱内养护（ 24 ± 2 ）h。

（5）沸煮

调整好沸煮箱内的水位，保证在整个沸煮过程中都漫过试件，中途不需加水，同时又能在（ 30 ± 5 ）min 内升至沸腾。

（6）试件的检验

脱去玻璃板取下试件。当用试饼法时先检查试饼是否完整（如已开裂翘曲要检查原因，确证无外因时，试饼已属不合格产品不必沸煮），在试饼无缺陷的情况下，将试件放在沸煮箱的水中篦板上，然后在（ 30 ± 5 ）min 内加热至沸腾，并恒沸 $3\text{h} \pm 5\text{min}$ 。

当用雷氏法时，先测量指针之间的距离（A），精确至 0.5min，接着将试件放到水中篦板上，然后在（ 30 ± 5 ）min 内加热至沸腾，并恒沸 $3\text{h} \pm 5\text{min}$ 。沸煮结束，放掉箱中热水，打开箱盖，待箱体冷却至室温，取出试件进行判定。

5. 试验结果

（1）试饼法

目测未发现裂缝，用直尺检查也没有弯曲的试饼，即为安定性合格，反之为不合格。当两个试饼判定有矛盾时，该水泥的安定性为不合格。

（2）雷氏夹

测量试件指针尖端间的距离（C），准确至 0.5min。当两个试件煮后增加的距离（C-A）的平均值不大于 5.0mm 时，即认为该水泥安定性合格，当两个试件的（C-A）值相差超过 4mm 时，应用同一样品立即重做一次试验。

6. 试验结论

根据国家标准《普通硅酸盐水泥》（GB175-2007）评定水泥安定性是否合格。

（五）水泥胶砂强度试验

1. 试验目的

检验水泥的强度，确定水泥的强度等级。

2. 试验材料

水泥、标准砂、水，其要求同水泥检验的一般规定。

3. 仪器及设备

水泥胶砂搅拌机、胶砂振实台（胶砂振实台应符合 JC/T682-2005 的要求）、试模及下料

漏斗、抗折试验机、抗压试验机及抗压夹具、三角刮刀、天平等。

4. 试验方法

(1) 试件成型

a. 成型前将试模擦净，四周的模板与底座的接触面上应涂黄油，紧密装配，防止漏浆，内壁均匀涂一薄层机油。

b. 水泥与标准砂的质量比为 1:3。硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合硅酸盐水泥、石灰石硅酸盐水泥的水灰比均为 0.5。

c. 每成型 3 条试件需称量水泥 (450 ± 2) g，标准砂 (1350 ± 5) g，硅酸盐水泥、矿渣水泥、普通硅酸盐水泥、火山灰水泥、粉煤灰水泥、复合硅酸盐水泥、石灰石硅酸盐水泥用水量为 225mL。

d. 使搅拌机处于待工作状态，将水加入锅里，再加入水泥，把锅放在固定架上，上升至固定位置，开动搅拌机。低速搅拌 30s 后，在第二个 30s 开始时，均匀地将砂子加入。当各级砂是分装时，从最粗粒级开始，依次将所需要的每级砂量加完，把机器调至高速再拌 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，在高速下继续搅拌 60s。各个搅拌阶段，时间误差应在 ± 1 s 内。

e. 成型。用振实台成型。用勺子将搅拌好的胶砂分两层装入试模。装第一层时，每个槽里约放 300g 胶砂，用大播料器垂直架上模套顶部，沿每个模槽来回一次将料层播平，振实 60 次。再装入第二层胶砂，再振实 60 次。移走模套，从振实台上取下试模，将试体抹平，接着在试体上作标记。

用振动台成型。当使用代用的振动台时，在搅拌胶砂的同时将试模和下料漏斗卡紧在振动台的中心。将搅拌好的胶砂全部均匀地装入下料漏斗中，开动振动台，胶砂通过漏斗流入试模。振动 (120 ± 5) s 停车，振动完毕，取下试模，将试模刮平并编号。

f. 试验前或更换水泥品种时，搅拌锅、叶片和下料漏斗等须擦净。

(2) 试件的脱模及养护

将作好标记的试模放入雾室或湿箱的水平架上养护，到规定的养护龄期时取出脱模。脱模前，用墨汁对试体编号。对 24h 龄期的，在破型实验前 20min 内脱模。龄期 24h 以上的，在成型后 20~24h 之间脱模。试体脱模后立即放入恒温[即 (20 ± 1) °C 水槽中养护。

5. 强度试验

(1) 龄期

根据各龄期的抗折强度和抗压强度试验结果评定水泥的强度等级。

(2) 抗折试验

每龄期取出 3 条试体先做抗折强度试验。试验前擦去试体表面的水分和砂粒，清除夹具上的杂物，试体放入抗折夹具内，应使侧面与圆柱接触。试体放入前应使杠杆成平衡状态。试体放入后调整夹具，使杠杆在试体折断时尽可能地接近平衡位置。抗折试验加荷速度为(50±5) N/s。

(3) 抗折强度计算

抗折强度计算：
$$R_f = \frac{3F_f L}{2bh^2}$$

式中 R_f ——抗折强度，MPa（精确至 0.1MPa）；

F_f ——破坏荷载，N；

L ——支撑圆柱中心距，（即 10mm）；

b ——棱柱体正方形截面的边长，mm。

根据上式计算出的抗折强度，以 3 块试体的平均值为实验结果。当 3 个强度值中有一个超过平均值±10%时，应剔除将余下的两块计算平均值，并作为抗折强度试验结果。

(4) 抗压强度试验

抗折强度试验后的 6 个断块应立即进行抗压强度试验。抗压试验须用抗压夹具做。试验前应清除试体受压面与加压板间的砂粒或杂物。试验时试体的侧面作为受压面，试体的底面靠紧夹具，并使夹具对准压力机压板中心。

压力机加荷速度应控制在（2400±200）N/s 的范围内，在接近破坏时更应严格控制。

抗压强度按下式计算：
$$R_c = F_c / A$$

式中 R_c ——抗压强度，MPa（精确至 0.1MPa）；

F_c ——破坏荷载，N；

A ——受压面积，mm²。

6. 试验结果

抗压强度 6 个测定值的算术平均值作为抗压强度试验结果。如 6 个测定值中有一个超出 6 个平均值的±10%，就应剔除这个结果，用剩下的 5 个值进行算术平均，如果 5 个测定值中再有超出它们平均数±10%的，则此组结果作废。

7. 试验结论

根据各龄期的抗压强度和抗压强度试验结果，评定水泥强度等级。

实验二 判断砂、石骨料样品能否用于配制混凝土

根据《建筑用砂》(GB/T 14684-2011)、《建筑用碎石、卵石》(GB/T 14685-2011)和《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准(附条文说明)》(JGJ 52-2006)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。

一、砂的表观密度测定

(一) 实验目的

测定砂的表观密度,为空隙率计算和混凝土配合比设计提供原材料的基本数据。

(二) 主要仪器

天平、烘箱、干燥箱、料勺、烧杯、温度计等。

(三) 试验步骤

1. 称取烘干试样 300g(m_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,称其质量 m_1 (g)

3. 倒出瓶中的水和试样,清洗瓶内外,再装入与上顶水温相差不超过 2℃的冷开水至瓶颈 500mL 刻度线。塞紧瓶塞,擦干瓶外水分,称其质量 m_2 (g)。

(四) 结果计算

1. 按下式计算砂的表观密度 ρ_0 (精确至 0.01g/cm³):

$$\rho_0 = \frac{m_0}{m_0 + m_2 - m_1} \times \rho_w$$

式中 ρ_w ——为水的密度,取 1g/cm³。

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 0.02g/cm³ 时,应重新取样进行试验。

二、砂的堆积密度测定

(一) 实验目的

测定砂的堆积密度,为空隙率计算和混凝土配合比设计提供原材料的基本数据。

(二) 主要仪器

1. 案秤(称量 5kg,感量 5g)、烘箱、漏斗或料勺、直尺、浅盘等

2. 容量筒。金属圆柱形，容积 1L，内径 108mm，净高 109mm，筒壁厚 2mm。

（三）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. 先称容量筒质量 m_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。

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质量 m_2 (kg)。

（四）结果计算与评定

1. 砂的堆积密度 ρ_0' 按下式计算（精确至 10kg/m^3 ）；

$$\rho_0' = \frac{m_2 - m_1}{V_0'} \times 1000 \quad (\text{kg/m}^3)$$

2. 取两次试验的算术平均值作为试验结果，并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。

三、砂的筛分析试验

（一）实验目的

测定砂的颗粒级配，计算细度模数，评定砂的粗细程度，为普通混凝土配合比设计提供原材料参数。

（二）主要仪器设备

砂筛。孔径为 0.160, 0.315, 0.630, 1.25mm 的方孔筛和孔径为 2.50, 5.00, 10.00mm 的圆孔筛，并附有筛底和筛盖。

物理天平（称量 1kg，感量 1g）、烘箱、浅盘、毛刷等。

摇筛机。电动振动筛，振幅 (0.5 ± 0.1) mm，频率 (50 ± 3) Hz。

（三）试验步骤

1. 试样先用孔径为 10.0mm 筛筛除大于 10mm 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 ± 5) °C 烘至恒重，冷却至室温待用。

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（孔径为 5mm）筛中。

3. 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。

4. 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。

5. 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。

（四）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质量（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，按照标准规定的级配区范围，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 筛孔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、细和特细四种规格，由所测细度模数按规定评定该砂样的粗细程度。

四、石子的表观密度试验（简易方法）

（一）实验目的

测定石子的表观密度，为空隙率计算和混凝土配合比设计提供原材料的基本数据。

（二）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。

（三）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、瓶和玻璃盖板的总质量 m_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，再称其质量 m_0 (g)。

5. 将瓶洗净注入饮用水，用玻璃板贴紧瓶口滑盖盖好，擦干瓶外水分后称量 m_2 (g)。

(四) 结果计算

1. 按下式计算出石子的表观密度 ρ_0 (精确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$)；

$$\rho_0 = \frac{m_0}{m_0 + m_2 - m_1} \times \rho_w \quad (\text{g}/\text{cm}^3)$$

2. 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 $0.02\text{g}/\text{cm}^3$ ，否则应重新取样进行试验。

五、石子堆积密度试验

(一) 实验目的

测定石子的堆积密度，为空隙率计算和混凝土配合比设计提供原材料的基本数据。

(二) 主要仪器

1. 台秤 (称量 50kg，感量 50g)、烘箱、平口铁锹等。

2. 容量筒。容积为 10L ($d_{\text{max}} \leq 25\text{mm}$) 或 20L (d_{max} 为 31.5mm 或 40.0mm) 或 30L (d_{max} 为 63.0mm 或 80.0mm)

(三) 试验步骤

1. 用四分法缩取石子试样，视不同最大粒径称取 40kg、80kg 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，使之自然落入容量筒内。此时锹口距筒口的距离应为 50mm 左右。装满容量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质量 m_2 (kg)。

3. 称出容量筒质量 m_1 (g)。
4. 容量筒容积校正。将容量筒装满 $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的饮用水, 称水与筒的总质量 m_2 (kg),

则容量筒容积:
$$V_0' = (m_2' - m_1) / \rho_w \quad (\text{L})$$

(四) 结果计算与评定

1. 按下式计算出石子的堆积密度 ρ_0' (精确至 $10\text{kg}/\text{cm}^3$):

$$\rho_0' = \frac{m_2 - m_1}{V_0'} \times 1000 \quad (\text{kg}/\text{cm}^3)$$

2. 取两次试验的算术平均值作为试验结果, 并评定该石子试样的表面密度、堆积密度与空隙率是否满足标准规定值。

六、石子筛分析试验

(一) 实验目的

测定碎石或卵石的颗粒级配及粒级规格, 为普通混凝土配合比设计提供原材料参数。

(二) 主要仪器设备

1. 石子套筛。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
2. 天平及案秤。称量随试样质量而定, 精确至试样重量的 0.1%。
3. 摇筛机, 电动振动筛, 振幅 (0.5 ± 0.1) mm 频率 (50 ± 3) Hz。

(三) 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. 按规定的试样量称取经缩分并烘干或风干的石子试样一份, 倒入最上层筛中并加盖, 然后进行筛分。
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. 称取各筛筛余的质量, 精确至试样总质量的 0.1%。

(四) 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, 按照标准规定的级配范围, 评定该石子的颗粒级配是

否合格。

3. 根据公称粒级确定石子的最大粒径。

实验三 混凝土配合比实验

本试验根据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55-2011)、《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080-2016)、《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081-2002)进行,主要包括:混凝土拌合物和易性试验、混凝土拌合物表观密度试验、混凝土立方体抗压强度试验。

一、混凝土拌合物和易性试验

本方法适用于测定集料最大粒径大于 40mm、坍落度不小于 10mm 的混凝土拌合物稠度测定。

(一) 试验目的

通过测定拌合物流动性,观察其粘聚性和保水性,综合评定混凝土的和易性,作为调整配合比和控制混凝土质量的依据。

(二) 主要仪器设备

台秤(称量 50kg,感量 50g);天平(称量 5kg,感量 1g);拌板(1.5m×2.0m 左右)、量筒(200mL、1000mL)、拌铲等;标准坍落度筒(金属制圆锥体形,底部内径 200mm,顶部内径 100mm,高 300mm,壁厚大于或等于 1.5mm);弹头形捣棒($\phi 16 \times 600$ mm);装料漏斗(与坍落度筒配套);直尺、抹刀、小铲等。

(三) 试件制备

称量精度要求:砂石为 $\pm 1\%$,水泥、水为 $\pm 0.5\%$ 。配制用料与工程实际用料相符,同时满足技术标准。拌和时,环境温度宜处于 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。根据所设计的计算配合比,称以 15L 混凝土拌合物所需各材料用量。

(四) 测定步骤

1. 用湿布将拌板、拌铲等搅拌工具、坍落度筒擦净并润湿,置于适当的位置,按砂、水泥、石子、水的投放顺序,先把砂和水泥在拌板上干拌均匀(用铲在拌板一端均匀翻拌至另一端,再从另一端又均匀翻拌回来,如此重复)。再加石子干拌成均匀的干混合物。
2. 将干混合物堆成堆,其中间做一凹槽,将已称量好的水倒入一半左右于凹槽内(不能让水流淌掉),仔细翻拌、铲切,并徐徐加入另一半剩余的水,继续翻拌、铲切,直至拌和均匀。从加水至搅拌均匀的时间控制参考值:拌合物体积在 30L 以下时为 4~5min;拌合物体积在 30~50L 时为 5~9min;拌合物体积在 50~70L 时为 9~12min。

3. 将润湿后的坍落度筒放在不吸水的刚性水平底板上，然后用脚踩住两边的脚踏板，使坍落度筒在装料时保持位置固定。

4. 将已拌匀的混凝土试样用小铲装入筒内，数量控制在经插捣后层厚为筒高的 1/3 左右。每层用捣棒插捣 25 次，插捣应沿螺旋方向由外向中心进行，各次插捣点在截面上均匀分布。插捣筒边混凝土时，捣棒可以稍稍倾斜；插捣底层时，捣棒应贯穿整个深度；插捣第二层和顶层时，捣棒应插透本层至下一层的表面以下。

插捣顶层前，应将混凝土灌满高出坍落度筒，如果插捣使拌合物沉落到低于筒口，应随时添加使之高于坍落度筒顶，插捣完毕，用捣棒将筒顶搓平，刮去多余的混凝土。

5. 清理筒周边的散落物，小心地垂直提起坍落度筒，特别注意平稳，不让混凝土试体受到碰撞或震动，筒体的提离过程应在 5~10s 内完成。从开始装料于筒内到提起坍落度筒的操作不得间断，并应在 150s 内完成。

将筒安放在拌合物试体一侧（注意整个操作基面要保持同一水平面），立即测量筒顶与坍落后拌合物试体最高点之间的高度差，以 mm 表示，即为该混凝土拌合物的坍落度值。

6. 保水性目测。坍落度筒提起后，如有较多稀浆从底部析出，试体则因失浆使集料外露，表示该混凝土拌合物保水性能不好。若无此现象，或仅只少量稀浆自底部析出，而锥体部分混凝土试体含浆饱满，则表示保水性良好，并作记录。

7. 粘聚性目测。用捣棒在已坍落的混凝土锥体一侧轻轻敲打，锥体渐渐下沉表示粘聚性良好；反之，锥体突然倒塌，部分崩裂或发生石子离析，表示粘聚性不好，并作记录。

8. 和易性调整。按计算备料的同时，另外还需要备好两份为调整坍落度所需的材料量，该数量应是计算试拌材料用量的 5% 或 10%。若测得的坍落度小于施工要求的坍落度值，可在保持水灰比 W/C 不变的同时，增加 5% 或 10% 的水泥、水的用量。若测得的坍落度大于施工要求坍落度值，可在保持砂率 S_p 不变的同时，增加 5% 或 10%（或更多）的砂、石用量。若粘聚性保水性不好，则需要适当调整砂率，并尽快拌和均匀，重新测定，直到和易性符合要求为止。

注意：

(1) 若采用机械搅拌，应备用搅拌机（容量 75~100L，转速 18~22r/min），一次拌和量应不小于搅拌机额定搅拌量的 1/4。使用前，先用同一配合比的少量水泥砂浆搅拌一次，倒出水泥砂浆，再按石子、砂、水泥、水的投料顺序，倒入石子、砂和水泥在机内干拌匀 1min，再徐徐倒入水搅拌约 2min。

(2) 当坍落度筒提起后，若发现拌合物崩塌或一边剪切破坏，应立即重新拌合并重新

试验测定,第二次试验又出现上述现象,则表示该混凝土拌合物和易性不好,应予记录备查。

(五) 测定结果

1. 混凝土拌合物坍落度以毫米为单位,测量精确至 1mm。

2. 混凝土拌合物和易性评定,应按试验测定值和试验目测情况综合评议。其中坍落度至少要测定两次,并以两次测定值之差不大于 20mm 的测定值为依据,求算术平均值作为本次试验的测定结果。

3. 记录下调整前后拌合物的坍落度、保水性、粘聚性以及各材料实际用量,并以和易性符合要求后的各材料用量为依据,对混凝土配合比进行调整,求基准配合比。

二、混凝土拌合物表观密度(湿)试验

(一) 试验目的

测定拌合物捣实后单位体积的质量,作为调整混凝土配合比的依据。

(二) 主要仪器设备

容量筒、台秤(称量 50kg,感量 50g)、振动台、弹头形捣棒 $\phi 16 \times 600\text{mm}$ 、小铲、抹刀、金属直尺等。

(三) 试件制备

从满足混凝土和易性要求的拌合物中取样,及时连续试验。

(四) 测定步骤

1. 用湿布将容量筒内外擦净,称其质量 m_1 (kg)。

2. 将拌合物一次装入容量筒,稍加插捣,并稍高于筒口,再移至振动台上振实至拌合物表面出现水泥浆为止。

3. 用金属直尺沿筒口将捣实后多余的拌合物刮去,仔细擦净筒外壁。再称出容量筒和筒内拌合物的总质量 m_2 (kg)。

(五) 测定结果

混凝土拌合物的实测表观密度 $\rho_{b,c}$ 按下式计算(精确至 10kg/m^3),即

$$\rho_{b,c} = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \times 1000$$

式中 V_0 ——容量筒的容积, L。

三、混凝土立方体抗压强度试验

(一) 试验目的

测定混凝土立方体抗压强度，作为确定混凝土强度等级和调整配合比的依据。

(二) 主要仪器设备

压力试验机或万能试验机：其测量精度为 $\pm 1\%$ ，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%~80% 范围以内。

钢垫板、试模、标准养护室、振动台、捣棒、小铁铲、金属直尺、镩刀等。

(三) 试件制备

1. 选择同规格的试模 3 只组成一组。将试模拧紧螺栓并清刷干净，内壁涂薄层矿物油，编号待用。

2. 试模内装的混凝土应是同一次拌和的拌合物；坍落度不大于 70mm 的混凝土，试件成型宜采用振动台振实；坍落度大于 70mm 的混凝土，试件成型宜采用捣棒人工捣实。

(1) 振动台成型试件 将拌合物一次装入试模并稍高出模口，用镩刀沿试模内壁略加插捣后，移至振动台上，开动振动台，振动至表面呈现水泥浆为止，刮去多余拌合物并用镩刀沿模口抹平。

(2) 人工捣棒捣实成型试件 将拌合物分两层装入试模，每层厚度大致相等。沿螺旋方向从边缘向中心均匀进行插捣。插捣底层时，捣棒应贯穿整个深度；插捣上层时，捣棒应插入下层深度 20-30mm。插捣时捣棒应保持垂直不得倾斜，并用抹刀沿试模内壁插入数次，以防止试件产生麻面。每层插捣次数在 10000mm^2 截面积内不得少于 12 次，然后刮去多余拌合物，并用镩刀抹平。混凝土拌合物拌制后宜在 15min 内成型。

(3) 成型后的试件应覆盖，防止水分蒸发，并在室温(20 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ 环境中静置 1~2 昼夜(不得超过两昼夜)，拆模编号。

(4) 拆模后的试件立即放在标准养护室内养护。试件在养护室内置于架上，试件间距离应保持 10~20mm，并避免用水直接冲刷。

注意：当缺乏标准养护室时，混凝土试件允许在温度为(20 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 不流动的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 饱和溶液中养护；同条件养护的混凝土试样，拆模时间应与实际构件相同，拆模后也应放置在该构件附近与构件同条件养护。

(四) 测定步骤

试件从养护地点取出后，应尽快进行试验；以免试件内部的温湿度发生显著变化。

1. 将试件擦拭干净，测量尺寸，并检查外观。试件尺寸测量精确至 1mm，据此计算试

件的承压面积。如实测尺寸与公称尺寸之差不超过 1mm，可按公称尺寸进行计算。

试件承压面的不平度应为每 100mm 长不超过 0.05mm，承压面与相邻面的不垂直度不应超过± 0.5°。

2. 将试件安放在试验机的下压板上，试件的承压面应与成型时的顶面垂直。试件的中心应与试验机下压板中心对准。

3. 在强度等级不小于 C60 的抗压强度试验时，试件周围应设防裂网罩。如压力试验机上下压板不符合钢垫板要求，必须使用钢垫板。

4. 开动试验机，当上压板与试件接近时，调整球座，使接触均衡。

5. 应连续而均匀地加荷，预计混凝土强度等级<C30 时，加荷速度每秒 0.3~0.5MPa；混凝土强度等级≥C30 且<C60 时，加荷速度每秒 0.5-0.8MPa；混凝土强度等级≥C60 时，加荷速度每秒 0.8~1.0MPa。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，然后记录破坏荷载。

（五）测定结果

试件的抗压强度 f_{cu} (MPa) 按下式计算，即

$$f_{cu} = \frac{P}{A}$$

式中 P——破坏荷载，N；

A——试件承压面积，mm²。

取 3 个试件测值的算术平均值作为该组试件的立方体强度代表值(精确至 0.1MPa)。如果 3 个测值中的最大值或最小值中有一个与中间值的差异超过中间值的 15%，则把最大值和最小值一并舍去，取中间值作为该组试件的抗压强度代表值；如果最大值和最小值与中间值的差异均超过 15%，则该组试验结果无效。

抗压强度试验的标准立方体尺寸为 150mm×150mm×150mm，用其他尺寸试件测得的抗压强度值均应乘以相应换算系数。