



“十三五”普通高等教育本科规划教材

(附实验报告)

土木工程材料 实验教程

薛力梨 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



浙江省重点专业建设项目 - 土木工程 (41652002Z) 经费资助

“十三五”普通高等教育本科规划教材

土木工程材料 实验教程

主 编 薛力梨
编 写 蒋元海 刘红飞 黄发军



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。

本书主要包括实验指导书和实验报告两部分内容。全书重点介绍了土木工程材料性能试验的基本方法、试验设备的性能和操作规程,以帮助读者掌握各种主要材料的技术性能,以及基本的试验技能,培养综合设计试验的能力、创新能力和严谨的科学态度。书中引用了最新材料试验标准,并根据需要增加了实际工程中经常用到的试验方法。

本书主要作为普通高等院校土木工程、工程管理、工程造价、建筑学、城市规划等专业的实验用书,也可以供工程设计、施工、科研等人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料实验教程/薛力梨主编. —北京:中国电力出版社, 2016. 6

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-9370-7

I. ①土… II. ①薛… III. ①土木工程—建筑材料—实验—高等学校—教材 IV. ①TU502

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 111496 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http: //www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 6 月第一版 2016 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 5 印张 110 千字

定价 16.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

土木工程材料课程是一门实践性较强的课程。土木工程材料实验是这门课的一个重要实践教学环节。学习材料实验的目的在于熟悉、验证、巩固所学的理论知识,增加感性认识。通过实验,使学生熟悉土木工程材料性能实验的基本方法、实验设备的性能和操作规程,掌握各种主要土木工程材料的技术性能,培养学生的基本实验技能、综合设计实验的能力、创新能力和严谨的科学态度,可以进行科学研究的基本训练,提高分析问题和解决问题的能力。

本实验教程第一部分为实验指导书,引用了最新版材料实验标准,如 GB/T 1346—2011《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》等,并根据其中的材料实验大纲做了一定取舍,且不包括所有土木工程材料实验的内容。最后增加了一些实际工程中常用到但是一般实验教材没有体现的实验方法,以供感兴趣的学生课外学习,也可以为做科研项目

的学生提供实验方法参考。第二部分为实验报告,供学生记录及处理实验数据。

全书由嘉兴学院建筑工程实验室建筑材料室老师编写完成,书中不足之处请读者批评指正。

编者

2016年1月

目 录

前言

学生实验须知	1
试验一 水泥试验	3
1 水泥标准稠度用水量测定	3
2 水泥净浆凝结时间测定	4
3 水泥体积安定性的测定	5
4 水泥胶砂强度检验	6
试验二 混凝土用骨料试验	9
1 砂的筛分析试验	9
2 砂的表观密度试验	10
3 砂的堆积密度试验	10
4 石子筛分析试验	11
5 石子的表观密度试验（广口瓶法）	12
6 石子堆积密度试验	12
试验三 普通混凝土试验	14
1 混凝土拌合物试样制备	14
2 普通混凝土拌合物和易性测定	15
3 混凝土拌合物表观密度试验	16
4 普通混凝土立方体抗压强度试验	17
5 混凝土强度无损检测方法简介（超声回弹综合法）	19
6 混凝土立方体劈裂抗拉强度试验	20
试验四 材料基本性质试验	22
1 密度试验	22
2 表观密度试验	22
3 吸水率试验	23
试验五 砂浆试验	24
1 试样制备	24
2 砂浆稠度试验	24
3 砂浆分层度试验	25

4 砂浆抗压强度试验	25
试验六 钢筋试验	28
1 一般规定	28
2 钢筋拉伸试验	28
试验七 石油沥青试验	31
1 沥青针入度试验	31
2 沥青延度试验	32
3 沥青软化点试验	34
试验八 综合设计型试验	36
1 普通混凝土配合比设计试验	36
2 掺外加剂或掺合料的混凝土配合比设计试验	36
3 沥青混合料的配合比设计试验	37
试验九 墙体材料试验	39
1 烧结普通砖抗压强度试验	39
2 蒸压加气混凝土砌块抗压强度试验	40
附录 A 砂浆保水率试验方法	41
A.1 滤纸法测保水率	41
A.2 真空抽滤法测保水率	41
附录 B 抹面砂浆抗裂性能试验方法	43
B.1 原理	43
B.2 试验仪器	43
B.3 试件	43
B.4 试验步骤	43
B.5 试验结果评定	44
附录 C 砂浆拉伸黏结强度试验方法	45
C.1 适用范围	45
C.2 试验条件	45
C.3 试验仪器	45
C.4 试件制备	45
C.5 拉伸黏结强度试验	46
C.6 试验结果评定	47
附录 D 保温材料导热系数试验方法	48
D.1 适用范围	48
D.2 试验环境	48
D.3 试验原理	48
D.4 试验仪器	48
D.5 试件制备	48

D.6 导热系数试验步骤 49

D.7 试验数据提取 49

附录 E 保温材料体积吸水率试验方法 50

E.1 试验仪器设备 50

E.2 试验步骤 50

E.3 试验结果计算 50

参考文献 51

学 生 实 验 须 知

一、学生进行实验前必须接受实验室安全文明和遵章守纪教育,认真学习有关实验室的规定和设备的操作规程。

二、学生必须按时上实验课,不无故缺席、迟到或早退。无故迟到者,指导人员有权停止其实验。未做实验者或实验考核不合格者不能参加该课程考试。

三、实验前应认真预习,明确实验目的、步骤,初步了解实验所用仪器的性能及使用方法。准备不合格者,必须重新预习,否则不能做实验。

四、进入实验室后,应严格遵守实验室各项规章制度。不高声喧嚷,不随便串走,不搬弄与本实验无关的仪器设备。

五、服从实验指导人员指导,严格按规程进行操作,认真地观察和分析实验现象,实事求是地记录实验数据,不得草率从事,不得抄袭他人实验结果,培养严谨的科学实验精神。

六、实验过程中要注意安全,如仪器设备发生故障,应立即报告指导人员并及时处理。发生事故应采取紧急措施(如切断电源、灭火),保护现场,及时上报。

七、实验中要节约水、电、药品、打印纸、元件、原材料等,并要保护仪器设备和实验室设施。

八、实验中不准将固体物品或有腐蚀性液体倒入水槽,废碱和废液应倒入指定的容器中。

九、实验完毕后,应主动整理好仪器设备和实验工具,关闭水、气、电源。实验室内任何物资不得擅自带出,并保持实验室整齐清洁。

十、认真分析实验结果,科学处理实验数据,按时完成实验报告和实验作业。

十一、凡违反实验操作规程或擅自动用其他仪器设备而导致仪器设备损坏等事故者,必须写出书面检查,并按《损坏、丢失仪器设备赔偿办法》的有关规定进行赔偿。

十二、学生拟利用业余时间重做实验,须事先与实验室预约,按实验规程操作。重做实验应根据学校的有关规定酌情付费。

试验一 水泥 试 验

水泥试验中对材料的一般要求如下：

- (1) 水泥试样应充分拌匀。
- (2) 试验用水必须是洁净的淡水。
- (3) 水泥试样、标准砂、拌和用水等的温度应与试验室温度相同。

1 水泥标准稠度用水量测定

1.1 主要仪器设备

- (1) 水泥净浆搅拌机：由搅拌锅、搅拌叶片、传动机构和控制系统组成，搅拌叶片以双转双速转动。
- (2) 测定水泥标准稠度与凝结时间的维卡仪（见图 1-1）：包括试杆和试模。锥体滑动

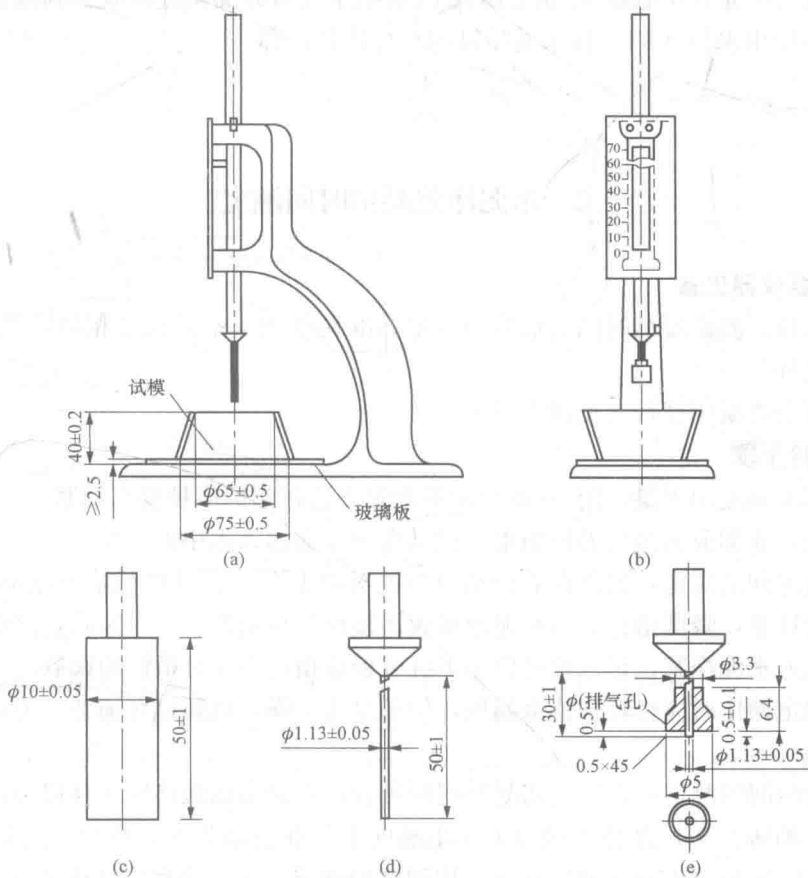


图 1-1 测定水泥标准稠度和凝结时间用的维卡仪及试杆、试针

- (a) 初凝时间测定用立式试模的侧视图；(b) 终凝时间测定用反转试模的前视图；
- (c) 标准稠度试杆；(d) 初凝用试针；(e) 终凝用试针

部分的总质量为 $300\text{g} \pm 2\text{g}$ 。

1.2 试验步骤

标准稠度用水量以试杆法为准, GB/T 1346—2011 中规定的试锥法可作为代用法。

(1) 试验前须检查: 仪器金属棒能否自由滑动; 试杆降至模顶面位置时, 指针是否对准标尺零点; 搅拌机是否运转正常等。

(2) 水泥净浆的拌制: 拌和前, 搅拌锅和搅拌叶片需用湿布擦过, 将拌合水 (W) 倒入搅拌锅内, 用 5~10s 时间将称好的 500g 水泥试样倒入搅拌锅内水中。拌和时, 先将搅拌锅固定在搅拌机的锅座上, 升至搅拌位置。启动搅拌机, 低速搅拌 120s, 停 15s, 同时将叶片和锅壁上的水泥浆刮至锅中间, 接着高速搅拌 120s 后停机。

(3) 标准稠度测定: 拌和结束后, 立即将拌好的水泥净浆装入已置于玻璃底板上的试模中, 用小刀插捣, 轻轻振动数次, 刮去多余的净浆。抹平后迅速将试模和底板移到维卡仪上, 并将其中心定在试杆下, 降低试杆直至与水泥净浆表面接触, 拧紧螺丝 1~2s 后, 突然放开, 使试杆垂直自由地沉入水泥净浆中。在试杆停止沉入或释放试杆 30s 时, 记录试杆与底板之间的距离。升起试杆后立即擦净。整个操作应在搅拌后 1.5min 内完成。

1.3 试验结果

以试杆沉入净浆并距底板 $6\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 的水泥净浆为标准稠度净浆。其拌和用水量为该水泥的标准稠度用水量 (P), 按水泥质量的百分比计, 即

$$P = \frac{W}{500} \times 100\% \quad (1-1)$$

2 水泥净浆凝结时间测定

2.1 主要仪器设备

(1) 维卡仪: 测定凝结时间的仪器与测定标准稠度用水量的仪器相同, 只是取下试杆, 用试针代替试杆。

(2) 初凝和终凝用试针 (见图 1-1)。

2.2 试验步骤

(1) 以标准稠度用水量, 用 500g 水泥按规定方法拌制标准稠度水泥浆, 一次装满试模, 振动数次刮平, 立即放入湿气养护箱中。记录水泥全部加入水中的时间。

(2) 初凝时间的测定: 试件在养护箱中养护至加水 30min 时进行第一次测定。测定时, 将试模放到指针下, 降低指针, 与水泥净浆表面接触, 拧紧螺丝 1~2s 后, 突然放开, 试针垂直自由地沉入水泥净浆, 记录指针停止下沉或释放指针 30s 时指针的读数。

在最初测定操作时应轻轻扶持金属柱, 使其徐徐下降, 以防试针撞弯, 但结果以自由下落为准。

(3) 终凝时间的测定: 在完成初凝时间测定后, 立即将试模连同浆体以平移的方式从玻璃板上取下, 翻转 180° , 直径大端向上、小端向下放在玻璃板上, 再放入养护箱中继续养护, 临近凝结时间每隔 15min 测定一次。用同样的测定方法, 观察指针读数。

2.3 试验结果

从水泥全部加入水中的时间起, 至试针沉至距底板 $4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 时所经过的时间为初凝

时间；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所经过的时间为终凝时间。

3 水泥体积安定性的测定

用沸煮法检验水泥浆体硬化后体积变化是否均匀。检验分雷氏法和试饼法，当两种方法有争议时，以雷氏法为准。

3.1 主要仪器设备

(1) 沸煮箱：有效容积为 410mm×240mm×310mm。算板结构应不影响试验结果，算板与加热器之间的距离大于 50mm，箱的内层由不易锈蚀的金属材料制成。能在 30min±5min 内将箱内的试验用水由室温升至沸腾，并可保持沸腾状态 3h 以上，整个试验过程中不需补充水量。

(2) 雷氏夹：由铜质材料制成，其结构如图 1-2 所示。当一根指针的根部先悬挂在一根金属丝或尼龙丝上，另一根指针的根部再挂上 300g 的砝码时，两根指针的针尖距离增加应在 17.5mm±2.5mm 范围内，当去掉砝码后针尖的距离能恢复到挂砝码前的状态。

(3) 雷氏夹膨胀值测量仪（见图 1-3）：标尺最小刻度为 1mm。

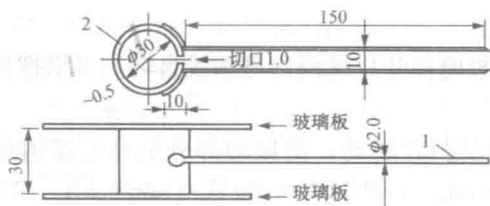


图 1-2 雷氏夹
1—指针；2—环模

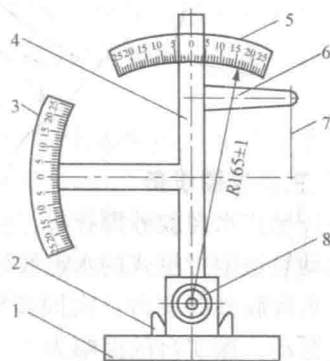


图 1-3 雷氏夹膨胀值测量仪
1—底座；2—模子座；3—测弹性标尺；
4—立柱；5—测膨胀值标尺；6—悬臂；
7—悬丝；8—弹簧顶扭

(4) 水泥净浆搅拌机。

3.2 试验步骤

测定方法可以用试饼法，也可用雷氏法，有争议时以雷氏法为准。

(1) 雷氏法是测定水泥净浆在雷氏夹中沸煮后的膨胀值。

1) 每个试样需两个成型试件，每个雷氏夹需配置质量为 75~85g 的玻璃板两块，一垫一盖，将玻璃板和雷氏夹内表面稍涂一层油。

2) 以标准稠度用水量拌制水泥净浆。将预先准备好的雷氏夹放在已稍涂油的玻璃板上，并立刻将已制好的标准稠度净浆一次装满雷氏夹，装浆时一只手轻扶雷氏夹，另一只手用宽约 10mm 的小刀插捣数次，然后抹平，盖上稍涂油的玻璃板，立即将试件移至养护箱内养护 24h±2h。

3) 脱去玻璃板取下试件,用膨胀值测定仪测量雷氏夹指针尖端的距离(A),精确到0.5mm。接着将试件放入沸煮箱水中的算板上,指针朝上,试件之间互不交叉,然后在 $30\text{min}\pm 5\text{min}$ 内加热至沸腾,并恒沸 $180\text{min}\pm 5\text{min}$ 。

4) 取出沸煮后冷却至室温的试件,测量雷氏夹指针尖端的距离(C),结果保留至小数点后1位。当两个试件煮后增加距离(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5mm时,应用同一样品立即重做一次试验,以复检结果为准。

(2) 试饼法是观察水泥净浆试饼沸煮后的外形变化。

1) 将制好的标准稠度净浆一部分分成两等份,使其成球形,放在已涂过油、尺寸约 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 的玻璃板上,轻轻振动玻璃板,并用湿布擦过的小刀由边缘向中央抹,做成直径70~80mm、中心厚约10mm、边缘渐薄、表面光滑的试饼,将试饼放入湿气养护箱内养护 $24\text{h}\pm 2\text{h}$ 。

2) 脱去玻璃板取下试饼,在试饼无缺陷的情况下,将试饼放在沸煮箱水中的算板上,沸煮方法同雷氏法。

3) 沸煮结束后,取出冷却至室温的试件,目测试饼未发现裂缝,用钢尺检查也没有弯曲的试饼为安定性合格,反之不合格。当两个试饼判别结果有矛盾时,该水泥的安定性为不合格。

4 水泥胶砂强度检验

4.1 主要仪器设备

(1) 行星式水泥胶砂搅拌机:一种工作时搅拌叶片既绕自身轴线自转,又沿搅拌锅周边公转,运动轨迹似行星式的水泥胶砂搅拌机。

(2) 水泥胶砂振实台:由同步电动机带动凸轮转动,使振动部分上升至定值后自由落下,产生振动。振实台的振幅为 $15\text{mm}\pm 0.3\text{mm}$,振动频率为60次/($60\text{s}\pm 2\text{s}$)。

(3) 试模和套模:可卸的三联模,由隔板、端板、底座等组成。模槽内腔尺寸为 $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 160\text{mm}$ 。套模为壁厚20mm的金属模套,当从上向下看时,模套壁与试模内壁应该重叠。

(4) 抗折试验机:抗折夹具的加荷圆柱与支撑圆柱直径应为 $10\text{mm}\pm 0.1\text{mm}$,两个支撑圆柱中心距离为 $100\text{mm}\pm 0.2\text{mm}$ 。

(5) 抗压试验机:以200~300kN为宜,在接近4/5量程范围内使用时,记录的荷载应有 $1\pm 1\%$ 精度,并具有按 $2400\text{N/s}\pm 200\text{N/s}$ 速率的加荷能力。

(6) 抗压夹具:由硬质钢材制成,上、下压板长 $40\text{mm}\pm 0.1\text{mm}$,宽度不小于40mm,加压面必须磨平。

(7) 两个播料器和金属刮平直尺。

4.2 试件成型

(1) 成型前将试模擦净,四周的模板与底座的接触面上应涂干黄油,紧密装配,防止漏浆,内壁均匀刷一薄层机油。

(2) 水泥与ISO标准砂的质量比为1:3,水灰比为0.5。每成型3条试件需要称量水泥

450g±2g, ISO 标准砂 1350g±5g, 拌和用水量 225g±1g。

(3) 搅拌时先将水加入锅中, 再加入水泥, 把锅放在固定架上, 上升至固定位置, 然后立即开动机器, 低速搅拌 30s 后, 在第二个 30s 开始的同时均匀地将砂子加入 (当各级砂是分装时, 从最粗粒级开始, 依次将所需的每级砂量加完)。把搅拌机转至高速再拌 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至锅中间, 在高速下继续搅拌 60s。各个搅拌阶段, 时间误差应在±1s 以内。

(4) 在搅拌胶砂的同时, 将试模和模套固定在振实台上。用一个适当的勺子直接从搅拌锅里将胶砂分两层装入试模, 装第一层时, 每个槽里约放 300g 胶砂, 将大播料器垂直架在模套顶部, 沿每个模槽来回一次将料层播平, 接着振实 60 次。再装入第二层胶砂, 用小播料器播平, 再振实 60 次。移走模套, 从振实台上取下试模, 将金属直尺以近似 90°的角度架在试模模顶的一端, 然后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, 并用同一直尺在近乎水平的情况下将试体表面抹平。

(5) 在试模上做标记或加字条标明试件编号和试件相对于振实台的位置。

4.3 试件养护

(1) 将做好标记的试模放入雾室或湿箱的水平架子上养护, 湿空气应能与试模各边接触。一直养护到规定的脱模时间 (对于 24h 龄期的, 应在破型试验前 20min 内脱模, 对于 24h 以上龄期的应在成型后 20~24h 之间脱模) 时取出脱模。脱模前用防水墨汁或颜料笔对试体进行编号和做其他标记, 两个龄期以上的试体, 在编号时应将同一试模中的 3 条试体分在两个以上龄期内。

(2) 将做好标记的试件立即水平或竖直放在 20℃±1℃水中养护, 水平放置时刮平面应朝上。养护期间试件之间间隔或试体表面的水深不得小于 5mm。每个养护池只养护同类型的水泥试件, 试件在水中养护期间不允许全部换水。除 24h 龄期或延迟至 48h 脱模的试件以外, 任何到龄期的试件均应在试验前 15min 从水中取出。揩去试件表面沉积物, 并用湿布覆盖直至试验。

4.4 强度试验

不同龄期强度试验必须在以下规定时间内进行强度试验: 24h±15min; 48h±30min; 72h±45min; 7d±2h; >28d±8h。

(1) 抗折强度试验。将试件一个侧面放在试验机支撑圆柱上, 试体长轴垂直于支撑圆柱, 通过加荷圆柱以 50N/s±10N/s 的速率均匀地将荷载垂直地加在棱柱体相对侧面上, 直至折断, 记录抗折破坏荷载 F_f (N)。

保持两个半截棱柱体处于潮湿状态直至抗压试验。

抗折强度 R_f 按式 (1-2) 计算 (精确至 0.1MPa), 即

$$R_f = \frac{1.5F_f L}{b^3} \quad (1-2)$$

式中 F_f ——折断时施加于棱柱体中部的荷载, N;

L ——支撑圆柱之间的距离, 为 100mm。

b ——棱柱体正方形截面的边长, 为 40mm。

以一组 3 个试件测定值的算术平均值为抗折强度的测定结果, 计算精确至 0.1MPa。当 3 个强度值中有一个超出平均值±10%时, 应剔除该结果后再取平均值作为抗折强度试验

结果。

(2) 抗压强度试验。抗折强度试验后的两个断块应立即进行抗压试验。将折断的半截棱柱体置于抗压夹具中,以试件的侧面作为受压面。半截棱柱体中心与压力机压板中心差应在 $\pm 0.5\text{mm}$ 内,试件露在压板外的部分约有 10mm 。在整个加荷过程中以 $2400\text{N/s} \pm 200\text{N/s}$ 的速率均匀地加荷直至试件破坏,并记录破坏荷载 F_c (N)。

抗压强度 R_c 按式(1-3)计算(精确至 0.1MPa),即

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (1-3)$$

式中 F_c ——破坏时的最大荷载, N;

A ——受压部分面积, $(40 \times 40 = 1600) \text{mm}^2$ 。

以一组3个棱柱体上得到的6个抗压强度测定值的算术平均值为试验结果。如6个测定值中有一个超出6个平均值的 $\pm 10\%$,应剔除这个结果,以剩下5个的平均数为结果。如果5个测定值中再有超过它们平均数 $\pm 10\%$ 的,则此组结果作废。

试验二 混凝土用骨料试验

1 砂的筛分析试验

1.1 主要仪器设备

- (1) 试验筛：孔径为 9.5、4.75、2.36、1.18、0.6、0.3、0.15、0.075mm 的方孔筛，以及筛的底盘和盖各一个。
- (2) 天平：称盘 1000g，感量 1g。
- (3) 振筛机。
- (4) 烘箱：能使温度控制在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- (5) 浅盘和硬、软毛刷等。

1.2 试验步骤

用于筛分析的试样应先筛除直径大于 9.5mm 的颗粒，并记录其筛余百分率，然后用四分法缩分至每份不少于 550g 的试样两份，在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重，冷却至室温备用。

(1) 准确称取烘干试样 500g，置于按筛孔大小顺序排列的套筛上。将套筛装入摇筛机内固定好，摇筛 10min 左右，取下套筛，按筛孔大小顺序，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试样总量的 0.1% 时为止，通过的颗粒并入下一个筛中，按此顺序进行，直到每个筛全部筛完为止。如无摇筛机，也可用手筛。如试样为特细砂，在筛分时增加 0.075mm 的方孔筛一只。

(2) 称量各筛筛余试样（精确至 1g），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。所有各筛的分计筛余量和底盘中剩余量的总和与筛分前的试样总量相比，其差值不得超过试样总量的 1%，否则须重做试验。

1.3 试验结果计算

- (1) 分计筛余百分率：各号筛的筛余量除以试样总量的百分率，精确至 0.1%。
- (2) 累计筛余百分率：各号筛的分计筛余百分率加上该号筛以上各分计筛余百分率之和（精确至 0.1%）。
- (3) 根据各筛的累计筛余百分率评定该试样的颗粒级配分布情况。
- (4) 砂的细度模数 M_x 按式 (2-1) 计算（精确至 0.1），即

$$M_x = \frac{(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1}{100 - A_1} \quad (2-1)$$

式中 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 、 A_6 ——4.75、2.36、1.18、0.6、0.3、0.15mm 筛上的累计筛余百分率。

累计筛余百分率取两次试验结果的算术平均值（精确至 1%）。细度模数取两次试验结果的算术平均值（精确至 0.1），两次所得的细度模数之差大于 0.2 时，应重新开始试验。

2 砂的表观密度试验

砂的表观密度试验原理类似于采用排水法测不规则物体体积的原理。

2.1 主要仪器设备

- (1) 天平：称量 1kg，感量 1g。
- (2) 容量瓶：500mL。
- (3) 烘箱：能使温度控制在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- (4) 烧杯：500mL。
- (5) 干燥器、浅盘、铝制料勺、温度计等。

2.2 试验步骤

将缩分至约 650g 的试样在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干至恒重，并在干燥器内冷却至室温备用。试验室温度应为 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 。

(1) 称取烘干试样 300g (m_0)，装入盛有半瓶冷开水的容量瓶中，摇转容量瓶使试样在水中充分搅动以排除气泡，塞紧瓶塞。

(2) 静置 24h 后打开瓶塞，用滴管加水使水面与瓶颈刻度线平齐，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，洗净瓶内外，再向瓶内注水（与试样装入容量瓶中的水温相差不超过 2°C ）至瓶颈刻度线，塞紧瓶塞，擦干瓶外水分，称其质量 m_2 (g)。

2.3 试验结果与评定

按式 (2-2) 计算砂的表观密度 ρ_0 (精确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$)，即

$$\rho_0 = \frac{m_0}{m_0 + m_2 - m_1} \times \rho_{\text{水}} \quad (2-2)$$

砂表观密度取两次试验测定值的算术平均值作为试验结果，如两次测定结果之差大于 $0.02\text{g}/\text{cm}^3$ ，应重新取样进行试验。

3 砂的堆积密度试验

3.1 主要仪器设备

- (1) 台秤：称量 10kg，感量 1g。
- (2) 容量筒：圆柱形金属筒，容积 0.99L，内径 108mm，净高 109mm，壁厚 2mm。
- (3) 烘箱、漏斗、料勺、直尺、浅盘等。

3.2 试验步骤

取缩分试样约 3kg，在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重，取出冷却至室温，用 5mm 孔径的筛子过筛，分成大致相等的两份备用。

- (1) 称容量筒质量 m_1 (kg)。
- (2) 用料勺或漏斗将试样徐徐装入容量筒中心上方漏斗，出料口距容量筒口不应超过 5cm，直到试样装满超出筒口成锥形为止。
- (3) 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 (kg)。