



普通高等教育土木工程专业  
“十三五”规划系列教材

# 土木工程实验教程

TUMU GONGCHENG SHIYANJIAOCHENG

高潮 周永 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

普通高等学校土木工程专业“十三五”规划系列教材

# 土木工程实验教程

主 编 高 潮 周 永

华中科技大学出版社  
中国·武汉

## 内 容 提 要

全书共分为 10 章,包括土木工程材料实验、工程测量实验、力学实验、土力学实验、水力学实验、建筑 CAD 实训、工程地质实验、水处理微生物实验、水质工程学实验和工程测量实习。

本书可作为高等院校土木工程等相关专业的教材,也可供建设系统工程施工、检测、科研和监理等专业技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

土木工程实验教程/高潮,周永主编. —武汉:华中科技大学出版社,2015.8

普通高等学校土木工程专业“十三五”规划系列教材

ISBN 978-7-5609-8291-5

I. ①土… II. ①高… ②周… III. ①土木工程-实验-高等学校-教材 IV. TU-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 218025 号

土木工程实验教程

高潮 周永 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:刘 飞

封面设计:原色设计

责任校对:张 琳

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:14.5

字 数:365 千字

版 次:2015 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:29.80 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# 前 言

土木工程类专业是一个应用性较强的理论型与实践型相结合的专业,随着科技的发展和教学改革的深入,社会对土木工程类专业学生的工程素质、实践能力和创新意识提出了更高、更严格的要求。高校作为人才培养的重要基地之一,应将培养学生的实践能力和创新精神作为其教学工作的出发点和立足点。土木工程类专业实验教学是培养高素质专业人才实践教学环节中的重要部分,是知识与能力、理论与实践相结合的必备的教学环节,有利于学生全面掌握所学理论知识、锻炼应用技能、培养科学态度、开发创新精神、塑造坚强品格。

土木工程类专业实验教学是一门综合的实验学科,具有涉及理论知识面广、实验过程复杂且耗时长、实用性较强等特点。该类实验所需要的理论知识除基本专业理论之外,还包含电工学、检测学、数学、数据分析与处理等方面的理论。同时,土木工程类专业实验课应突出其专业性,紧跟行业发展的步伐,不断进行改革与创新,以适应时代发展的要求。

本书根据最新的国标、部标来阐述实验要求与步骤,及时更新过去实验教材中过时的教学内容,既培养学生遵守标准、规范的意识,又有利于训练学生掌握新观点、新技能、新知识、新方法,为培养土木工程类专业高素质创新型人才服务。

本书由大连海洋大学的高潮、周永担任主编,高少霞、高玮、巩晓东、于海洋、宛立、吴立之、刘峰、王晶担任副主编,马广东、张殿光、刘晶茹、张琦、张宏伟、刘宪杰、周东旭参编。本书由高少霞编写第1章,巩晓东编写第2、7、9章,吴立之、高潮编写第3章,高潮、刘峰编写第4章,高玮编写第5章、于海洋编写第6章,宛立编写第8章,王晶编写第9章,周永对本书进行了认真的审阅。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请专家和读者给予批评指正。

编 者

2015年5月2日

# 目 录

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 第 1 章 土木工程材料实验 .....               | (1)  |
| 1.1 实验一 水泥技术性能实验 .....             | (1)  |
| 1.2 实验二 建筑用砂石实验 .....              | (8)  |
| 1.3 实验三 普通混凝土实验 .....              | (15) |
| 1.4 实验四 混凝土立方体抗压强度实验 .....         | (17) |
| 1.5 实验五 石油沥青实验 .....               | (20) |
| 1.6 综合设计实验一:普通混凝土配合比设计实验 .....     | (24) |
| 1.7 综合设计实验二:泵送混凝土配合比设计实验 .....     | (25) |
| 第 2 章 工程测量实验 .....                 | (28) |
| 2.1 测量常用的计量单位与换算 .....             | (28) |
| 2.2 测量实验与实习须知 .....                | (29) |
| 2.3 测量实验指导书 .....                  | (32) |
| 第 3 章 力学实验 .....                   | (51) |
| 3.1 拉伸实验 .....                     | (52) |
| 3.2 弹性模量 $E$ 与泊松比 $\mu$ 测定实验 ..... | (56) |
| 3.3 扭转实验 .....                     | (60) |
| 3.4 弯曲实验 .....                     | (62) |
| 3.5 压缩实验 .....                     | (66) |
| 3.6 弯扭组合实验 .....                   | (68) |
| 3.7 叠梁三点弯曲正应力测定实验 .....            | (71) |
| 3.8 压杆稳定实验 .....                   | (75) |
| 第 4 章 土力学实验 .....                  | (79) |
| 4.1 密度实验 .....                     | (79) |
| 4.2 含水率实验 .....                    | (81) |
| 4.3 界限含水率实验 .....                  | (82) |
| 4.4 固结实验 .....                     | (85) |
| 4.5 直接剪切实验 .....                   | (88) |
| 4.6 渗透实验 .....                     | (91) |
| 第 5 章 水力学实验 .....                  | (94) |
| 5.1 流体静力学实验 .....                  | (94) |

|            |                                  |              |
|------------|----------------------------------|--------------|
| 5.2        | 不可压缩流体恒定流能量方程实验 .....            | (97)         |
| 5.3        | 局部水头损失实验 .....                   | (101)        |
| 5.4        | 沿程水头损失实验 .....                   | (106)        |
| 5.5        | 雷诺实验 .....                       | (110)        |
| 5.6        | 孔口与管嘴出流实验 .....                  | (113)        |
| 5.7        | 文丘里实验 .....                      | (118)        |
| 5.8        | 流线演示实验 .....                     | (122)        |
| 5.9        | 动量方程实验 .....                     | (124)        |
| 5.10       | 水头损失综合实验 .....                   | (128)        |
| <b>第6章</b> | <b>建筑 CAD 实训 .....</b>           | <b>(135)</b> |
| 6.1        | 实训一 AutoCAD 基本操作、图层及显示控制命令 ..... | (135)        |
| 6.2        | 实训二 辅助绘图工具及基本绘图、编辑命令的使用 .....    | (137)        |
| 6.3        | 实训三 精确绘图 .....                   | (139)        |
| 6.4        | 实训四 常用编辑命令操作 .....               | (142)        |
| 6.5        | 实训五 图块、图案填充、文字注释、工程标注 .....      | (144)        |
| 附录 6-1     | 常用命令的简化输入方式及各种输入法的特点 .....       | (147)        |
| 附录 6-2     | 构造选择集及建议 .....                   | (148)        |
| 附录 6-3     | 保存和加载图框样板文件 .....                | (149)        |
| 附录 6-4     | 多文档设置环境 .....                    | (150)        |
| 附录 6-5     | 图形块的使用技巧 .....                   | (151)        |
| <b>第7章</b> | <b>工程地质实验 .....</b>              | <b>(154)</b> |
| 7.1        | 实验一 主要造岩矿物的认识和鉴定 .....           | (154)        |
| 7.2        | 实验二 常见岩浆岩的认识和鉴定 .....            | (157)        |
| 7.3        | 实验三 常见沉积岩的认识和鉴定 .....            | (161)        |
| 7.4        | 实验四 常见变质岩的认识和鉴定 .....            | (164)        |
| 7.5        | 工程地质野外实习内容和要求 .....              | (166)        |
| <b>第8章</b> | <b>水处理微生物实验 .....</b>            | <b>(169)</b> |
| 8.1        | 实验一 培养基的灭菌 .....                 | (169)        |
| 8.2        | 实验二 培养基的制备 .....                 | (172)        |
| 8.3        | 实验三 显微镜的使用及微生物形态的观察 .....        | (174)        |
| 8.4        | 实验四 革兰氏染色法 .....                 | (176)        |
| 8.5        | 实验五 活性污泥性状的观察及微型动物的计数 .....      | (177)        |
| 8.6        | 实验六 饮用水中细菌总数测定 .....             | (179)        |
| 8.7        | 实验七 生活饮用水中的大肠菌群测定 .....          | (181)        |
| 8.8        | 实验八 微生物纯种分离、培养及接种技术 .....        | (184)        |
| 附录 8-1     | 不同稀释度的选择及报告方法 .....              | (186)        |
| 附录 8-2     | 大肠菌群检数表 .....                    | (187)        |

---

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| <b>第 9 章 水质工程学实验 .....</b>    | <b>(189)</b> |
| 9.1 混凝实验 .....                | (189)        |
| 9.2 颗粒自由沉淀实验 .....            | (192)        |
| 9.3 过滤及反冲洗实验 .....            | (195)        |
| 9.4 活性炭吸附实验 .....             | (199)        |
| 9.5 树脂总交换容量和工作交换容量的测定实验 ..... | (201)        |
| 9.6 污泥沉降比和污泥指数的测定与分析实验 .....  | (205)        |
| 9.7 鼓风曝气系统中的充氧实验 .....        | (207)        |
| 9.8 加压溶气气浮的运行与控制实验 .....      | (212)        |
| <b>第 10 章 工程测量实习 .....</b>    | <b>(215)</b> |
| 10.1 测量实习的组织 .....            | (215)        |
| 10.2 测量实习实施 .....             | (216)        |
| 10.3 地形图的应用 .....             | (218)        |
| <b>参考文献 .....</b>             | <b>(221)</b> |

# 第 1 章 土木工程材料实验

(1) 熟悉土木工程材料实验的基本方法,加深学生对土木工程材料性能的理解,培养学生的实验技能。

(2) 培养综合设计实验的能力和创新能力,为从事科技工作打好基础。学生可在教师指导下根据所学内容 and 专业方向做选择,也可以自己根据所学内容设计相关的综合设计实验。建议学生在了解所给出的工程和原材料条件要求后,认真思考相关的问题,自行设计相关的实验方法步骤。

## 1.1 实验一 水泥技术性能实验

### 1.1.1 实验目的及依据

测定水泥的细度、标准稠度用水量、凝结时间、安定性及胶砂强度等主要技术性质,作为评定水泥强度等级的主要依据。

本实验根据 GB/T 1346—2011《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》和 GB/T 17671—1999《水泥胶砂强度检验方法(ISO 法)》进行。

### 1.1.2 水泥实验的一般规定

(1) 同一实验用的水泥应在同一水泥厂出产的同品种、同强度等级、同编号的水泥中取样。

(2) 当实验水泥从取样至实验要保持 24 h 以上时,应把它在气密的容器里装满。容器应不与水泥发生反应。

(3) 水泥试样应充分拌匀,且用 0.9 mm 方孔筛过筛。

(4) 实验时温度应保持在  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度应不低于 50%。养护箱温度为  $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度不低于 90%。试体养护池水温度应在  $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$  范围内。

(5) 实验用水必须是洁净的淡水。水泥试样、标准砂、拌和用水及试模等的温度应与实验室温度相同。

### 1.1.3 水泥标准稠度用水量测定(标准法)

#### 1. 主要仪器设备

水泥净浆搅拌机,维卡仪(见图 1.1),量水器和天平等。

#### 2. 实验步骤

(1) 实验前必须做到:维卡仪的金属棒能自由滑动;调整维卡仪的金属棒至试杆接触玻

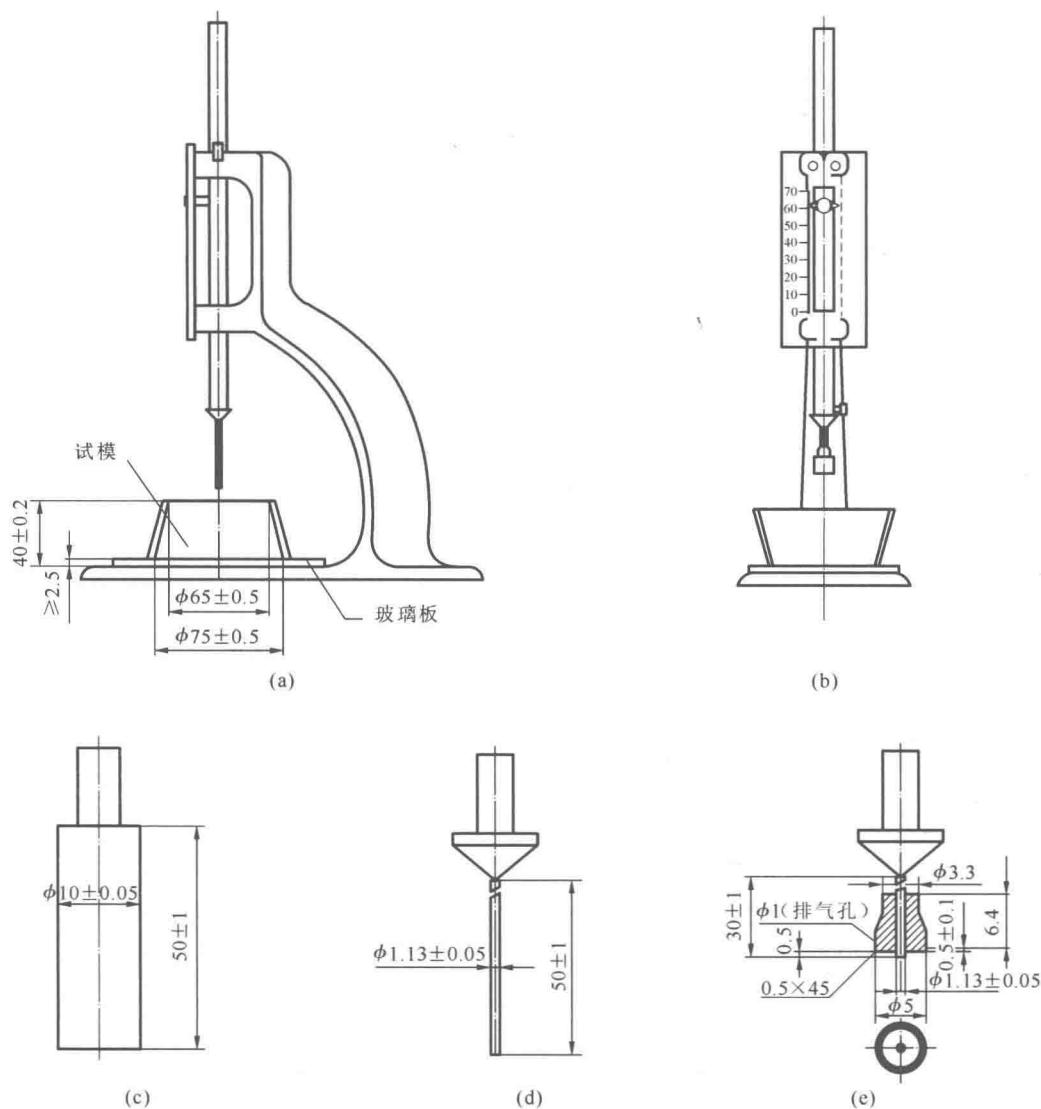


图 1.1 测定水泥标准稠度和凝结时间用的维卡仪

(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

璃板时指针对准零点;搅拌机运转正常等。

(2) 水泥浆的拌制。用水泥净浆搅拌机搅拌,搅拌锅和搅拌叶片先用湿布擦过。将拌和水倒入搅拌锅内,然后在  $5 \sim 10$  s 内将称好的  $500$  g 水泥小心加入水中,防止水和水泥溅出。拌和时,先将锅放到搅拌机锅座上,升至搅拌位置,启动搅拌机,低速搅拌  $120$  s,停拌  $15$  s,同时将叶片和锅壁上的水泥浆刮入锅中间,接着高速搅拌  $120$  s,停机。

(3) 标准稠度用水量的测定。拌和结束后,立即将拌好的净浆装入锥模内,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为止。拧紧螺丝  $1 \sim 2$  s 后,突然放松,使试杆垂直自由地沉入净浆中。在试杆停止沉入或释放试杆  $30$  s 时记录试杆距底板之间的距

离。升起试杆后,立即擦净;整个操作应在搅拌后 1.5 min 内完成。

(4) 实验结果判定。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。其拌和水量为该水泥的标准稠度用水量( $P$ ),按水泥质量的质量分数计。

### 1.1.4 水泥凝结时间测定

#### 1. 主要仪器设备

水泥净浆搅拌机,维卡仪,试针和圆模,量水器,天平。

#### 2. 实验步骤

(1) 测定前准备工作:调整凝结时间测定仪的试针接触玻璃板时,刻度指针对准零点。

(2) 试件的制备:以标准稠度用水量按标准稠度用水量实验相同的方法制成标准稠度净浆,并立即一次装满试模,振动数次后刮平,立即放入湿气养护箱内,记录水泥全部加入水的时间为凝结时间的起始时间。

(3) 初凝时间的测定。试件在湿气养护箱中养护至加水后 30 min 时进行第一次测定。测定时,从湿气养护箱中取出试模放到维卡仪的试针下,降低试针与水泥净浆面接触。拧紧螺丝 1~2 s 后,突然放松,试针垂直自由沉入净浆,观察试针停止下沉或释放试杆 30 s 时指针的读数。当试针沉至距底板  $4\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$  时,为水泥达到初凝状态。由水泥全部加入水至初凝状态的时间为水泥的初凝时间,用“min”表示。

(4) 终凝时间的测定。为了准确观测试针沉入的状况,在终凝针上安装了一个环形附件(见图 1.1)。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  $180^\circ$ ,试模大端向上,小端向下放在玻璃板上,再放入湿气养护箱中继续养护。临近终凝时间时每隔 15 min 测定一次,当试针沉入试体 0.5 mm 时,即环形附件开始不能在试件上留下痕迹时,为水泥达到终凝状态。由水泥全部加入水至终凝状态的时间为水泥的终凝时间,用“min”表示。

(5) 测定时应注意的事项。

① 在最初测定操作时应轻轻扶持金属棒,使其徐徐下降,以防试针撞弯,但测定结果以自由下落为准。

② 在整个测试过程中,试针沉入的位置至少要距试模内壁 10 mm。

③ 临近初凝时,每隔 5 min 测定一次,到达初凝或终凝状态时应立即重复一次,当两次结论相同时,才能定为到达初凝或终凝状态。

④ 每次测定不得让试针落入原针孔,每次测试完毕须将试针擦净,并将试模放回湿气养护箱内,整个测定过程中要防止圆模受振。

### 1.1.5 安定性实验

安定性实验可以用标准法(雷氏法)和代用法(试饼法),有争议时以标准法为准。标准法可以测定水泥净浆在雷氏夹中沸煮后的膨胀值。代用法通过观察水泥净浆试饼沸煮后的外形变化来检验水泥的体积安定性。

#### 1. 主要仪器设备

水泥净浆搅拌机,沸煮箱,雷氏夹(见图 1.2a),雷氏夹膨胀值测定仪(标尺最小刻度为 1 mm,见图 1.2b),量水器,天平。

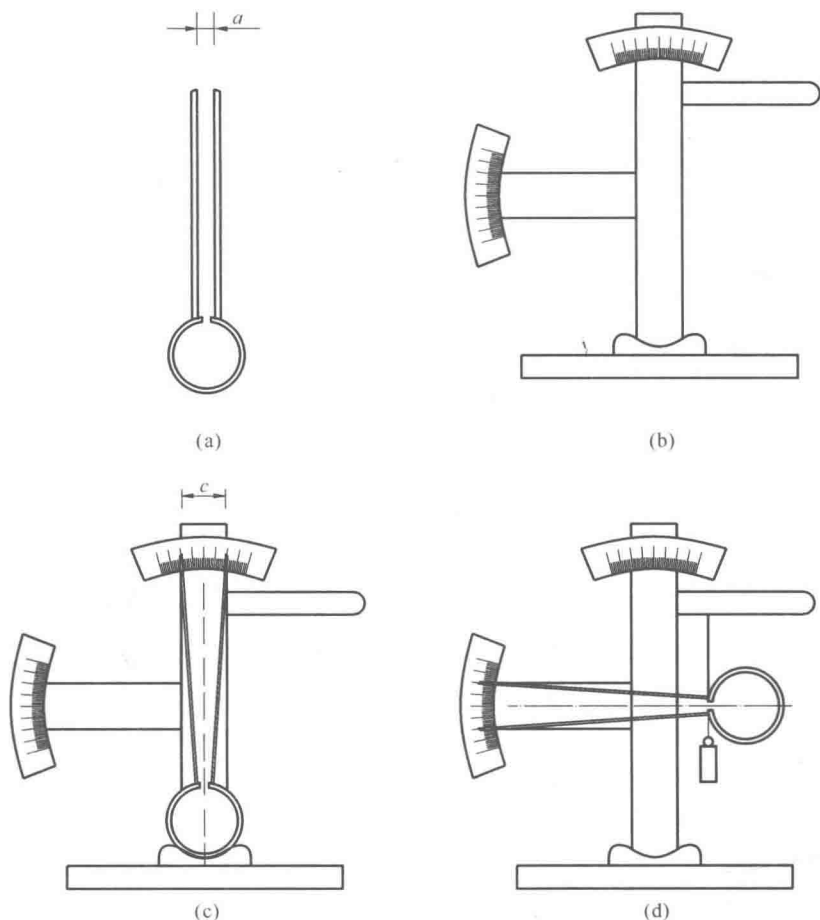


图 1.2 雷氏夹膨胀值测定

(a) 雷氏夹 (b) 雷氏夹膨胀测定仪 (c) 膨胀值测定 (d) 雷氏夹校准

## 2. 标准法(雷氏法)实验步骤

### 1) 测定前的准备工作

实验前按图 1.2d 所示方法检查雷氏夹的质量是否符合要求。

每个试样需成形两个试件,每个雷氏夹需配备两个边长或直径约 80 mm、厚度 4~5 mm 的玻璃板两块,凡与水泥净浆接触的玻璃板和雷氏夹内表面都要稍稍涂上一层油。

### 2) 水泥标准稠度净浆的制备

与凝结时间实验的相同。

### 3) 雷氏夹试件的成形

将预先准备好的雷氏夹放在已稍擦油的玻璃板上,并立刻将已制好的标准稠度净浆装满雷氏夹;装浆时一只手轻轻扶持雷氏夹,另一只手用宽约 25 mm 的直边刀插捣 3 次,然后抹平,盖上稍涂油的玻璃板,立即将试模移至养护箱内养护  $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$ 。

### 4) 煮沸

调整好沸煮箱内的水位,使水位在整个沸煮过程中都能超过试件,不需要中途添补实验用水,同时能保证在  $30 \text{ min} \pm 5 \text{ min}$  内加热至恒沸。

去除玻璃板取下试件,先测量雷氏夹指针尖端间的距离  $a$ ,精确到 0.5 mm(见图 1.2a)。

接着将试件放入沸煮箱的试件架上,指针朝上,然后在  $30\text{ min} \pm 5\text{ min}$  内加热至沸,并恒温  $180\text{ min} \pm 5\text{ min}$ 。

### 5) 结果判别

沸煮结束后,放掉沸煮箱中的热水,打开箱盖,待箱体冷却至室温后,取出试件进行判别(见图 1.2c)。测量雷氏夹指针尖端距离  $c$ ,准确至  $0.5\text{ mm}$ ,当两个试件沸煮后增加距离  $c-a$  的平均值不大于  $5.0\text{ mm}$  时,即认为该水泥安定性合格,当两个试件的  $c-a$  值超过  $5.0\text{ mm}$  时,应用同一水泥立即重做一次实验。再如此,则认为该水泥为安定性不合格。

## 3. 代用法(试饼法)实验步骤

### 1) 测定前的准备工作

每个样品需准备两块约  $100\text{ mm}$  玻璃板,凡与水泥净浆接触的玻璃板都要稍稍涂上一层油。

### 2) 试饼的成形方法

(1) 将制好的标准稠度净浆取出一部分分成两等份,使之成球形,放在预先准备好的玻璃板上。

(2) 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  $70 \sim 80\text{ mm}$ 、中心厚约  $10\text{ mm}$ 、边缘渐薄、表面光滑的试饼。

(3) 接着将试饼放入湿气养护箱内养护  $24\text{ h} \pm 2\text{ h}$ 。

### 3) 沸煮

(1) 调整好沸煮箱内的水位,使水位在整个沸煮过程中都能超过试件,不需要中途添补实验用水,同时以能保证在  $30\text{ min} \pm 5\text{ min}$  内加热至恒沸。

(2) 去除玻璃板取下试饼,在试饼无缺陷的情况下,将试饼放在沸煮箱的篦板上,然后在  $30\text{ min} \pm 5\text{ min}$  内加热至沸,并恒沸  $180\text{ min} \pm 5\text{ min}$ 。

### 4) 结果判别

沸煮结束后,放掉沸煮箱中的热水,打开箱盖,待箱体冷却至室温,取出试件进行判别。目测试饼未发现裂缝,用直尺检查也没有弯曲(使钢直尺和试饼底部紧靠,以两者间不透光为不弯曲)的试饼为安定性合格的试饼,反之为不合格。当两个试饼判别结果有矛盾时,该水泥的安定性也为不合格。

## 1.1.6 水泥胶砂强度实验

### 1. 适用范围和主要仪器设备

实验标准适用于硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥以及石灰石硅酸盐水泥的抗折与抗压强度的检验。其他水泥采用本标准时必须探讨该标准规定的适用性。

主要仪器设备包括试验筛(金属丝网试验筛应符合 GB/T 6003.1—2012 要求),水泥胶砂搅拌机,水泥胶振实台,抗折强度试验机,抗压试验机,试模等。

### 2. 水泥胶砂的制备

#### 1) 配料

水泥胶砂实验用材料的质量配合比应为

$$\text{水泥} : \text{标准砂} : \text{水} = 1 : 3 : 0.5$$

一锅胶砂成形三条试体,每锅用料量为:水泥  $450\text{ g}\pm 2\text{ g}$ ,标准砂  $1350\text{ g}\pm 5\text{ g}$ ,拌和用水量  $225\text{ g}\pm 1\text{ g}$ 。按每锅用料量称好各材料。

## 2) 搅拌

使搅拌机处于待工作状态,然后按以下的程序进行操作。

(1) 将水加入搅拌锅里,再加入水泥,把锅放在固定架上,上升至固定位置。

(2) 立即开动机器,低速搅拌 30 s 后,在第二个 30 s 开始的同时均匀地将砂子加入。各级砂是按粒级分装的,从最粗粒级开始,依次将所需的每级砂加完。把机器转至高速再搅拌 30 s。

(3) 停拌 90 s,在停拌的第一个 15 s 内用一胶皮刮具将叶片锅壁上的胶砂刮入锅中间,然后在高速下搅拌 60 s。各个搅拌阶段的时间误差应在 1 s 以内。

## 3. 试件的制备

试件尺寸应是  $40\text{ mm}\times 40\text{ mm}\times 160\text{ mm}$  的棱柱体。试件可用振实台成形或用振动台成形。

### 1) 振实台成形

(1) 胶砂制备后立即进行成形。

(2) 将空试模和模套固定在振实台上,用一个适当勺子直接从搅拌锅里将胶砂分两层装入试模。

(3) 装第一层时,每个槽里约放 300 g 胶砂,用大播料器竖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。

(4) 装第二层胶砂,用小播料器播平,再振实 60 次。

(5) 移走模套,从振实台上取下试模,用一金属刮平尺以近乎  $90^\circ$  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。

(6) 用同一直尺以近乎水平移动将试体表面抹平。

(7) 在试模上做标记或加字条标明试件编号和试件相对于实物的位置。

### 2) 振动台成形

当使用振动台成形时,操作如下。

(1) 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。

(2) 将搅拌好的全部胶砂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。

(3) 振动 120 s 停止。振动完毕,取下试模,以振实台成形同样的方法将试件表面刮平。

(4) 在试模上作标记或用字条表明试件编号。

## 4. 试件养护

### 1) 脱模前的处理和养护

去掉留在模子四周的胶砂。立即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。养护时不应将试模放在其他试模上。一直养护到规定的脱模时间,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三个试体分在两个以上龄期内。

### 2) 脱模

脱模可用塑料锤或橡胶榔头或专门的脱模器来完成。对于 24 h 龄期的,应在破型实验前 20 min 内脱模,对于 24 h 以上龄期的,应在成形后 20~24 h 之间脱模。如经 24 h 养护,会因脱模对强度造成损害时,可以延迟至 24 h 以后脱模,但需注明。已确定作为 24 h 龄期实验(或其他不下水直接做实验)的已脱模试件,应用湿布覆盖至做实验时为止。

### 3) 水中养护

将做好标记的试件立即水平或竖直放在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的水中养护,水平放置时刮平面应朝上。试件放在不易腐烂的篦子上,彼此间保持一定间距,以让水与试件的六个面接触。养护期间,试件之间的间隔以及试体上表面的水深不得小于5 mm。除24 h龄期或延迟至48 h脱模的试体外,任何到龄期的试体应在实验(破型)前15 min从水中取出。擦去试体表面沉积物,并用湿布覆盖至实验结束为止。

### 4) 强度实验试体的龄期

试体龄期是从水泥加水搅拌开始时算起的。不同龄期强度实验时间应符合表1.1的规定。

表 1.1 水泥胶砂强度实验时间

| 龄期   | 24 h              | 48 h              | 3 d               | 7 d           | >28 d           |
|------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| 实验时间 | 24 h $\pm$ 15 min | 48 h $\pm$ 30 min | 72 h $\pm$ 45 min | 7 d $\pm$ 2 h | >28 d $\pm$ 8 h |

## 5. 强度实验

### 1) 一般规定

用规定的设备以中心加荷法测定抗折强度。

在折断后的棱柱体上进行抗压实验,受压面是试体成形时的两个侧面,面积为40 mm $\times$ 40 mm。

当不需要抗折强度数值时,抗折强度实验可以省去。但抗压强度实验应在不使试件受有害应力情况下折断的两截棱柱体上进行。

### 2) 抗折强度实验

将试体的一个侧面放在实验机支撑圆柱上,试体长轴垂直于支撑圆柱,通过加荷圆柱以 $(50 \pm 10)\text{N/s}$ 的速率均匀地将荷载垂直地加在棱柱体相对侧面上,直至折断为止。

保持两个半截棱柱体处于潮湿状态直至抗压实验开始。

抗折强度( $R_f$ )以兆帕(MPa)表示,按下式进行计算(精确至0.1 MPa):

$$R_f = \frac{1.5F_f L}{b^3} \quad (1.1)$$

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,mm;

$b$ ——棱柱体正方形截面的边长,mm。

本实验以一组三个棱柱体抗折结果的平均值作为实验结果。当三个强度值中有超出平均值 $\pm 10\%$ 的值时,应将其剔除后再取平均值作为抗折强度实验结果。

### 3) 抗压强度测定

抗压强度实验以规定的仪器,在半截棱柱体的侧面进行。

半截棱柱体中心与压力机压板受压中心差应在0.5 mm内,棱柱体露在压板外的部分约有10 mm。

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,直至试件破坏为止。

抗压强度 $R_c$ 以兆帕(MPa)为单位,按下式计算(精确至0.1 MPa):

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (1.2)$$

式中:  $F_c$ ——破坏荷载, N;

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

以一组三个棱柱体上得到的 6 个抗压强度测定值的算术平均值为实验结果。如 6 个测定值中有一个值超出平均值 $\pm 10\%$ 时, 就应剔除这个结果, 而以剩下的 5 个值的平均值为结果。如果 5 个测定值中再有数值超过它们平均值 $\pm 10\%$ 时, 则此组结果作废。

### 问题与讨论

(1) 水泥技术指标中并没有标准稠度用水量, 为什么在水泥性能实验中要求测其标准稠度用水量?

提示: 用水量会影响安定性和凝结时间的实验结果。

(2) 进行凝结时间测定时, 制备好的试件没有放入湿气养护箱中养护, 而是暴露在相对湿度为 50% 的室内, 试分析其对实验结果的影响?

提示: 在相对湿度较低的环境中, 试件易失水。

(3) 某工程所用水泥经上述安定性检验(雷氏法)合格, 但一年后构件出现开裂, 试分析这是不是由水泥安定性不良引起的?

提示: 安定性实验(雷氏法)只可检验出因游离  $\text{CaO}$  过量引起的安定性不良。

(4) 判定水泥强度等级时, 为何用水泥胶砂强度判定, 而不用水泥净浆强度判定?

提示: 水泥为胶凝材料。

(5) 测定水泥胶砂强度时, 为何不用普通砂, 而用标准砂? 所用标准砂必须有一定的级配要求, 为什么?

提示: 使实验结果具有可比性; 级配好坏会影响实验结果。

## 1.2 实验二 建筑用砂石实验

### 1.2.1 实验目的与依据

对建筑用砂、石进行实验, 评定其质量, 为水泥混凝土配合比设计提供原材料参数。

建筑用砂实验的依据为国家标准 GB/T 14684—2011《建筑用砂》, 建筑用石实验的依据为国家标准 GB/T 14685—2011《建筑用卵石、碎石》。

### 1.2.2 取样与处理

#### 1. 取样

在料堆上取样时, 取样部位应均匀分布。取样前, 先将取样部位表层除去, 然后从不同部位抽取大致等量的砂 8 份或石子 15 份。在皮带运输机或车船上取样需按照标准的有关规定。

砂石单项实验的最少取样数量应按 GB/T 14684—2011《建筑用砂》和 GB/T 14685—2011《建筑用卵石、碎石》规定进行, 部分单项实验的最少取样数量见表 1.2 和表 1.3。

表 1.2 部分单项砂实验的最少取样量

| 实验项目     | 颗粒级配 | 表观密度 | 堆积密度与空隙率 | 含泥量 |
|----------|------|------|----------|-----|
| 最少取样量/kg | 4.4  | 2.6  | 5.0      | 4.4 |

表 1.3 部分单项石子实验的最少取样量

| 实 验 项 目 | 最大粒径/mm |      |      |      |      |      |       |       |
|---------|---------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|         | 9.5     | 16.0 | 19.0 | 26.5 | 31.5 | 37.5 | 63.0  | 75.0  |
| 颗粒级配    | 9.5     | 16.0 | 19.0 | 25.0 | 31.5 | 37.5 | 63.0  | 80.0  |
| 含泥量     | 8.0     | 8.0  | 24.0 | 24.0 | 40.0 | 40.0 | 80.0  | 80.0  |
| 泥块含量    | 8.0     | 8.0  | 24.0 | 24.0 | 40.0 | 40.0 | 80.0  | 80.0  |
| 针片状颗粒含量 | 1.2     | 4.0  | 8.0  | 12.0 | 20.0 | 40.0 | 40.0  | 40.0  |
| 表观密度    | 8.0     | 8.0  | 8.0  | 8.0  | 12.0 | 16.0 | 24.0  | 24.0  |
| 堆积密度    | 40.0    | 40.0 | 40.0 | 40.0 | 80.0 | 80.0 | 120.0 | 120.0 |

## 2. 处理

### 1) 砂试样处理

#### (1) 分料器法。

将样品在潮湿状态下拌和均匀,然后通过分料器,取接料斗中的其中一份再次通过分料器。重复上述过程,直至把样品缩分到实验所需量为止。

#### (2) 人工四分法。

将所取样品放在平整洁净的平板上,在潮湿状态下拌和均匀,并摊成厚度约 20 mm 的圆饼,然后沿相互垂直的两条直径把圆饼分成大致相等的 4 份,取其对角的两份重新搅匀,再摊成圆饼。重复上述过程,直至把样品缩分到实验所需量为止。

#### (3) 堆积密度、人工砂坚固性检验所用试样可不经缩分,在搅匀后直接进行实验。

### 2) 石试样处理

将样品置于平板上,在自然状态下拌和均匀,并堆成堆体,然后沿相互垂直的两条直径把圆饼分成大致相等的 4 份,取其对角的两份重新搅匀,再摊成堆体。重复上述过程,直至把样品缩分到实验所需量为止。

堆积密度检验所用试样可不经缩分,在拌匀后直接进行实验。

## 1.2.3 砂的筛分实验

### 1. 主要仪器设备

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

天平:称量 1000 g,感量 1 g。

方孔筛:孔边长为 150  $\mu\text{m}$ 、300  $\mu\text{m}$ 、600  $\mu\text{m}$ 、1.18 mm、2.36 mm、4.75 mm 及 9.50 mm 的筛各一只,并附有筛底和筛盖。

摇筛机。

搪瓷盘,毛刷等。

### 2. 试样制备

按规定取样,并将试样缩分至约 1100 g,放在烘箱中于 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下烘干至恒量,待冷却至室温后,筛除大于 9.50 mm 的颗粒(并算出筛余百分数),分为大致相等的两份备用。

### 3. 实验步骤

(1) 称取试样 500 g,精确到 1 g。将试样倒入按孔径大小从上到下组合的套筛(附筛底)上,然后进行筛分。

(2) 将套筛置于摇筛机上,摇 10 min;取下套筛,按筛孔大小顺序再逐个用手筛,筛至每分钟通过量小于试样总量 0.1% 为止。通过的试样并入下一号筛中,并和下一号筛中的试样一起过筛,这样顺序进行,直至各号筛全部筛完为止。

(3) 称出各号筛的筛余量,精确至 1 g,试样在各号筛上的筛余量不得超过按下式计算的量,超过时应用下列方法之一处理。

$$G = \frac{A \times d^{1/2}}{200} \quad (1.3)$$

式中:  $G$ ——在一个筛上的筛余量, g;

$A$ ——筛面面积,  $\text{mm}^2$ ;

$d$ ——筛孔尺寸, mm。

① 将该粒级试样分成少于按上式计算出的量,分别筛分,并以筛余量之和作为该号筛的筛余量。

② 将该粒级及以下各粒级的筛余混合均匀,称出其质量,精确至 1 g,再用四分法缩分为大致相等的两份,取其中一份,称出其质量,精确至 1 g,继续筛分。计算该粒级及以下各粒级的分计筛余量时应根据缩分比例进行修正。

#### 4. 实验结果评定

筛分实验结果按下列步骤计算。

(1) 计算分计筛余百分数:各号筛上的筛余量与试样总质量之比,计算精确至 0.1%。

(2) 计算累计筛余百分数:该号筛的筛余百分数加上该号筛以上各筛余百分数之和,计算精确至 0.1%。筛分后,如每号筛的筛余量与筛底的剩余量之和同原试样质量之差超过 1%,须重新实验。

(3) 砂的细度模数  $M_x$  可按下式计算,精确至 0.01:

$$\text{细度模数}(M_x) = \frac{(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1}{100 - A_1} \quad (1.4)$$

式中:  $M_x$ ——细度模数;

$A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ ——4.75 mm、2.36 mm、1.18 mm、600  $\mu\text{m}$ 、300  $\mu\text{m}$ 、150  $\mu\text{m}$  筛的累积筛余量。

(4) 累计筛余百分数取两次实验结果的算术平均值,精确至 1%。细度模数取两次实验结果的算术平均值,精确至 0.1;如两次实验的细度模数之差大于 0.20 时,须重新实验。

根据累计筛余百分数对照表,确定该砂所属的级配区。

### 1.2.4 碎石或卵石的筛分析实验

#### 1. 主要仪器设备

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

台秤:称量 10 kg,分辨率为 1 g。

方孔筛:孔边长为 2.36 mm、4.75 mm、9.50 mm、16.0 mm、19.0 mm、26.5 mm、31.5 mm、37.5 mm、53.0 mm、63.0 mm、75.0 mm 及 90 mm 的筛各一只,并附有筛底和筛盖(筛框内径为 300 mm)。

摇筛机。

搪瓷盘,毛刷等。