



信陽師範大學
Xinyang Normal University

土木工程材料
实验指导书

建筑与土木工程学院

2023年6月

前 言

土木工程材料课程是土木工程及相关专业的一门专业基础课，它与公共基础课程及专业课程紧密衔接，起着承上启下的作用。为了使学生掌握土木工程材料的基本实验方法、手段和操作技能，学会正确使用各种仪器和实验设备，具有对常用土木工程材料独立进行质量检定的能力，按照高等学校土木工程本科指导性专业规范的要求，设计了系列试验，共计 16 学时。本指导书是为了配合土木工程材料的试验教学，采用了国家以及有关行业的最新规范和规程，并强调指导性和实用性。通过理论与实践的结合，培养学生运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力，树立实事求是的科学态度和严谨的工作作风，进一步巩固和加深学生对所学基本原理的理解，培养学生的工程实践能力和创新能力。本指导书共包含 6 个试验，包括工程材料的材料基本性质试验、水泥的技术性质试验、混凝土用骨料试验、混凝土拌合物性能、石油沥青基本性质试验、钢材性能试验。限于作者水平，书中可能会存在不当之处，恳请批评指正。

目 录

学生实验守则	3
试验一 土木工程材料的基本性质试验	4
1.1 黏土砖体积密度试验	4
1.2 混凝土试块体积密度试验	4
1.3 砂的堆积密度试验	5
1.4 砂的表观密度试验	6
1.5 碎石的堆积密度试验	7
1.6 碎石的表观密度试验	8
试验二 水泥的技术性质试验	10
2.1 水泥细度试验	10
2.2 水泥标准稠度用水量试验	11
2.3 水泥净浆凝结时间测定	11
2.4 水泥胶砂试块制作及强度检验试验	12
试验三 混凝土用骨料试验	15
3.1 砂的颗粒级配试验	15
3.2 砂的含水率试验	16
3.3 碎石的颗粒级配试验	17
试验四 混凝土拌合物性能试验	20
4.1 混凝土拌合物稠度试验	20
4.2 混凝土拌合物表观密度试验	22
4.3 混凝土基准配合比	23
4.4 硬化混凝土抗压强度试验	24
试验五 石油沥青基本性能试验	26

5.1 针入度试验	26
5.2 延度试验	27
试验六 钢材的性能试验	29
6.1 钢材的拉伸实验	29
6.2 钢材的冷弯实验	31

学生实验守则

1. 整个试验过程中，应特别注意安全问题，避免穿着可能产生安全问题的着装的同时应注意相应的防护措施，避免触电、烫伤、烧伤等事故，发现问题应及时报告指导教师。
2. 实验前必须做好预习工作，明确实验目的、基本原理及操作要点，并应对实验所用的仪器、材料有基本的了解。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。
3. 实验课不得迟到、早退和无故缺席，请假应事先由班长或学委通知教师，并出示必要证明。
4. 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、手机等。
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，并根据实验要求实事求是的记录试验数据和结果。实验结果需经指导教师初审方可拆去装置，仪器收拾整齐并归位。
7. 实验后配合指导老师对实验设备及实验室进行清理打扫。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。
8. 按照有关规定对实验结果进行分析，得出相应结论，做好实验报告。

试验一 土木工程材料的基本性质试验

1.1 黏土砖体积密度试验

一、试验目的

依据规范 GB/T 2542-2012《砌墙砖试验方法》进行实验，进行科学研究的基本训练，掌握黏土砖体积密度的测定方法和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

- 1.干燥箱：最高温度 200 °C；
- 2.台秤：分度值不应大于 5 g；
- 3.钢直尺：分度不应大于 1 mm；
- 4.砖用卡尺：分度值为 0.5 mm。

三、实验步骤

1. 抽样选取 5 块待测试样，所取试样应外观完整。
2. 清理试样表面，然后将试样置于 105±5 °C 鼓风干燥箱中干燥至恒质（在干燥过程中，前后两次称量相差不超过 0.2% ，前后两次称量时间间隔为 2 h ），称其质量 m ，并检查外观情况，不得有缺棱、掉角等破损。如有破损，须重新换取备用试样。
3. 采用砖用卡尺（可用游标卡尺或钢尺代替）在砖的两个大面的中间处分别测量两个尺寸；宽度应在砖的两个大面的中间处分别测量两个尺寸；高度应在两个条面的中间处分别测量两个尺寸。当被测处有缺损或凸出时，可在其旁边测量，但应选择不利的一侧。精确至 0.5 mm。每一方向尺寸以两个测量值的算术平均值表示并取其平均值计算体积 V ，单位为 m^3 ，应保留 4 位有效数字。

四、结果计算

1. 每块试样的体积密度 ρ 按式(1.1)计算

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (0.1)$$

2. 试验结果以各试样体积密度的算术平均值表示。

1.2 混凝土试块体积密度试验

一、试验目的

依据规范 GB/T 50081-2019《混凝土物理力学性能试验方法标准[附条文说明]》进行实验，掌握硬化混凝土试块原样体积密度的测定方法和处理实验数据

的科学方法,进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

- 1.干燥箱: 最高温度 200 °C, 最小分度值应小于 2 °C;
- 2.电子天平: 最大量程应大于 5 kg, 感量应小于 0.1 g ;
- 3.游标卡尺或钢直尺: 精度应小于 0.5 mm。

三、实验步骤

- 1.选取 3 块待测试样, 所取试样应外观完整。
- 2.清理试样表面后, 直接称量试件在原样状态下的质量, 应精确至 0.1g, 用 m 表示。

3. 对于形状规则的试件, 可以按下列方法直接量取试件尺寸进行试件总体积计算。

(1) 对于立方体或棱柱体试件, 逐一量取试件长、宽、高三个方向的长度值, 每一方向的长度值应在其两端和中间各测量 1 次, 再在其相对的面上再各测量 1 次, 共测 6 次, 并应精确至 0.5mm, 6 次测量的平均值作为该方向的长度值。计算试件的体积 V , 单位为 m^3 , 应保留 4 位有效数字;

(2) 对于钻芯试件, 圆柱体上下两个底面的直径, 应各量取相互垂直方向长度 2 次, 共 4 次, 轴向方向高度在相互垂直的方向上分别量取 4 次, 应将 4 次测量结果取平均值作为直径和高度值。计算试件的体积 V , 单位为 m^3 , 应保留 4 位有效数字。

四、结果计算

1. 每块试样的体积密度 ρ 按式(1.1)计算;
2. 试验结果以各试样体积密度的算术平均值表示。

1.3 砂的堆积密度试验

一、试验目的

依据规范 JGJ52-2006 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》和 GB/T 14684-2022 《建筑用砂》进行实验, 掌握建筑用砂的堆积密度的测定方法和处理实验数据的科学方法, 进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 标准漏斗及标准容量筒。金属圆柱形, 容积 1 L, 内径 108 mm, 净高 109 mm 筒壁厚 2 mm;
- 2.电子天平: 最大量程应大于 5 kg, 感量应小于 0.1 g ;
3. 烘箱: 温度控制范围为(105±5) °C;

4. 直尺：精度应小于 0.5 mm；
5. 浅盘，料勺等。

三、实验步骤

1. 先用公称直径 5.00 mm（若为方框筛则选 4.75 mm）的筛子过筛，然后取经缩分后的样品不少于 3L，装入浅盘，在温度为(105±5)°C烘箱中烘干至恒重，取出并冷却至室温，分成大致相等的两份备用。试样烘干后若有结块，应在试验前先予捏碎；

2. 直接称量容量筒的质量，应精确至 0.1g，用 m_1 表示；

3. 取试样一份，用漏斗或铝制勺，将它徐徐装入容量筒(漏斗出料口或料勺距容量筒筒口不应超过 50 mm)直至试样装满并超出容量筒筒口。然后用直尺将多余的试样沿筒口中心线向相反方向刮平，称其质量 m_2 。

四、结果计算

1. 每份试样的堆积密度 ρ_{os} 按式(1.2)计算

$$\rho_{os} = \frac{m_2 - m_1}{V_0} \quad (0.2)$$

式中： V_0 为容量筒的容积。

2. 以两次试验结果的算术平均值作为测定值。

1.4 砂的表观密度试验

一、试验目的

依据规范 JGJ52-2006 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》和 GB/T 14684-2022 《建筑用砂》进行实验，掌握建筑用砂的表观密度的测定方法（标准法）和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 容量瓶：容量 500 mL；
2. 电子天平：最大量程应大于 1 kg，感量应小于 1 g ；
3. 烘箱：温度控制范围为(105±5)°C；
4. 干燥器，浅盘，料勺，温度计等。

三、实验步骤

1. 先用公称直径 5.00 mm（若为方框筛则选 4.75 mm）的筛子过筛，然后取经缩分后不少于 650 g 的样品装入浅盘，在温度为(105±5) °C的烘箱中烘干至恒重，并在干燥器内冷却至室温；

2. 称取烘干的试样 300 g 左右，质量记为 m_0 ，装入盛有半瓶冷开水的容量

瓶中；

3. 摇转容量瓶。使试样在水中充分搅动以排除气泡，塞紧瓶塞，静置 24 h；然后用滴管加水至瓶颈刻度线平齐，再塞紧瓶塞，擦干容量瓶外壁的水分，称其质量 m_1 ；

4. 倒出容量瓶中的水和试样，将瓶的内外壁洗净，再向瓶内加入与步骤 2 中水温相差不超过 2 °C 的冷开水至瓶颈刻度线。塞紧瓶塞，擦干容量瓶外壁水分，称质量 m_2 。

四、结果计算

1. 每份试样的表观密度 ρ' 按式(1.3)计算

$$\rho' = \frac{m_0}{m_0 + m_2 - m_1} \times \rho_{\text{水}} \quad (0.3)$$

2. 以两次试验结果的算术平均值作为测定值。

3. 结合 1.3 节的砂子的堆积密度实验结果计算砂子的空隙率 V_c ，砂子的空隙率按照(1.4)计算

$$V_c = \left(1 - \frac{\rho_{\text{os}}}{\rho'}\right) \times 100\% \quad (0.4)$$

1.5 碎石的堆积密度试验

一、试验目的

依据规范 JGJ52-2006 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》和 GB/T 14685-2022 《建设用卵石、碎石》进行实验，掌握碎石的堆积密度的测定方法和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 天平：分度值不大于试样质量的 0.1%；
2. 容量筒：金属制，选用规格见表 1；
3. 垫棒： $\phi 16\text{mm}$ ，长 600mm 的圆钢；
4. 烘箱：温度控制范围为 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$
5. 直尺，平口铁锹等。

表 1 容量筒的规格要求

最大粒径/mm	容量筒容积/L	容量筒规格		
		内径/mm	净高/mm	壁厚/mm
9.5,16.0,19.0,26.5	10	208	294	2

31.5,37.5	20	294	294	3
53.0,63.0,75.0	30	360	294	4

三、实验步骤

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. 直接称量容量筒的质量，应精确至 0.1g，用 m_1 表示；

3. 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 。

四、结果计算

1. 每份试样的堆积密度 ρ_{os} 按式(1.2)计算

2. 以两次试验结果的算术平均值作为测定值。

1.6 碎石的表现密度试验

一、试验目的

依据规范 JGJ52-2006 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》和 GB/T 14685-2022 《建设用卵石、碎石》进行实验，掌握碎石、卵石的表现密度的测定方法（广口瓶法）和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 广口瓶：容量 1000ml，磨口，并带玻璃片；

2. 电子天平：量程 5 kg，感量 1 g ；

3. 烘箱：温度控制范围为(105±5) °C；

4. 5mm（若为方框筛则选 4.75mm）试验筛，毛巾，浅盘，料勺，刷子等。

三、实验步骤

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动并盖好，擦干瓶外水分，称出试样、水、瓶和玻璃盖板的总重量 m_1 ；

4. 将瓶中的试样倒入浅盘中，放在 105±5 °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 m_0 ；

5. 倒出广口瓶中的水和试样，将瓶的内壁洗净，再向瓶内加入与步骤 2 中水温相差不超过 2°C 的冷开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，称出水、瓶和玻璃盖板的总重量质量 m_2 。

四、结果计算

1. 每份试样的表观密度 ρ' 按式(1.3)计算；
2. 以两次试验结果的算术平均值作为测定值；
3. 结合 1.5 节的碎石的堆积密度实验结果计算碎石的空隙率 V_c ，砂子的空隙率按照(1.4)计算。

试验二 水泥的技术性质试验

2.1 水泥细度试验

一、试验目的

依据规范 GB/T1345-2005《水泥细度检验方法 筛析法》进行实验，进行科学研究的基本训练，掌握水泥细度测定方法（负压筛法和手工筛析法）和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 试验筛：筛孔 80 μm ，符合 GB/T6005、GB/T6003.1 等规范要求；
2. 负压筛析仪：分度值不应大于 5 g；
3. 天平：量程 100g 感量 0.01g。

三、实验步骤

（一）负压筛法

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 (m_c)，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 m_s (g)，精确至 0.01g。

（二）手工筛析法

1. 称取试样质量 25g 左右记为 m_c 精度至 0.01g，倒入手工筛内。
2. 用一只手持筛往复摇动，另一只手轻轻拍打，往复摇动和拍打过程应保持近于水平。拍打速度每分钟约 120 次，每 40 次向同一方向转动 60°，使试样均匀分布在筛网上，直至每分钟通过的试样量不超过 0.03g 为止。称量全部筛余物的重量 m_s 。

四、结果计算

1. 按下式计算水泥试样的筛余百分率，计算结果精确至 0.1%

$$F = \frac{m_s}{m_c} \times 100\% \quad (0.5)$$

注：水泥细度检验分手工筛析法、水筛法和负压筛法三种，如三种方法检验结果有争议时，以负压筛法为准。

2.2 水泥标准稠度用水量试验

一、试验目的

依据规范 GB/T1345-2005《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》进行实验，进行科学研究的基本训练，掌握标准稠度用水量测定方法和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 水泥净浆搅拌机；
2. 标准稠度测定维卡仪及配套的试杆和锥模；
3. 天平、刮平铲、小刀、量筒等。

三、实验步骤

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 1.5min 内完成。

四、结果计算

本实验无需计算。

2.3 水泥净浆凝结时间测定

一、试验目的

依据规范 GB/T1345-2005《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》进行实验，进行科学研究的基本训练，掌握水泥净浆凝结时间测定方法和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 水泥净浆搅拌机；
2. 标准稠度测定维卡仪及配套的试针和锥模；
3. 水泥标准养护箱；
4. 天平、刮平铲、小刀、量筒等。

三、实验步骤

1. 拌和时称取水泥试样 500g，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 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 s 时记录指针刻度数。

注：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 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 min 测一次；临近终凝时每隔 15 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。

四、结果说明

1. 自加水时刻起，至试针插入净浆中距底板 4 ± 1 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 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-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 C_3A （铝酸三钙）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 C_3A 含量高，石膏含量少，拌合后 C_3A 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。

2.4 水泥胶砂试块制作及强度检验试验

一、试验目的

依据规范 GB/T17671-2021《水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）》进行实验，

进行科学研究的基本训练,掌握水泥胶砂试块的制作及胶砂试块强度的测定方法和处理实验数据的科学方法,熟悉水泥胶砂搅拌机的操作及使用,进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 水泥胶砂搅拌机;
2. 胶砂试件成型振实台或胶砂振动台;
3. 胶砂成型模具:可拆卸的三联模尺寸为,40mm×40mm×160mm,
4. 水泥电动抗折试验机及压力试验机、抗压夹具。

三、实验步骤

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 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±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°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。

6. 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±1℃,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)。

7. 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。

8. 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±1℃,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。

9. 按照相应的龄期进行抗折试验。(各龄期的试件, 必须在规定的时间 $24\text{h}\pm 15\text{min}$, $48\text{h}\pm 30\text{min}$, $72\text{h}\pm 45\text{min}$, $7\text{d}\pm 2\text{h}$, $28\text{d}\pm 8\text{h}$ 内进行强度测试)

注: 于破型前 15min 从水中取出三条试件先做抗折强度。

10. 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。

11. 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)。

12. 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。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)。

四、结果计算

1. 按照下式计算胶砂试件的抗折强度

$$R_f = \frac{1.5F_f L}{2bh^2} \quad (0.6)$$

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 。

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 $\pm 10\%$ 时, 应予剔除, 取其余两块的平均值作为抗折强度试验结果。

2. 按照下式计算胶砂试件的抗压强度

$$f_c = \frac{F_c}{A} \quad (0.7)$$

式中, A 为试件的受压面积, 即 $40\text{mm}\times 40\text{mm}=1600\text{mm}^2$ 。

六个抗压强度试验结果中, 有一个超过六个算术平均值的 $\pm 10\%$ 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 $\pm 10\%$ 时, 则此组结果作废。

思考题:

1. 水泥细度对水泥其他性能有什么影响?
2. 测定水泥的凝结时间时, 为何采用标准稠度的水泥净浆?
3. 水泥胶砂强度试件如何养护?
4. 如何确定水泥强度等级? 影响水泥强度变化的主要因素有哪些?

实验三 混凝土用骨料试验

3.1 砂的颗粒级配试验

一、试验目的

依据规范 JGJ52-2006 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》和 GB/T 14684-2022 《建筑用砂》进行实验，掌握建筑用砂的颗粒级配的测定方法和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 实验用砂筛：JGJ52 标准筛孔径为 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；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；试验筛产品质量要求应符合现行国家标准《金属丝编织网试验筛》GB/T6003.1 和《金属穿孔板试验筛》GB/T6003.2 的要求；

2. 天平：量程 1kg，感量 1g；

3. 摇筛机：电动振动筛，振幅 $0.5\pm 0.1\text{mm}$ ，频率 $50\pm 3\text{Hz}$ ；

4. 烘箱，浅盘，毛刷等。

三、实验步骤

1. 试样先用孔径为 10.0 mm(9.5 mm，对水泥混凝土)筛或 4.75 mm(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 $105\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ 烘至恒重，冷却至室温。

2. 准确称取试样 500 g；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 10 min；也可用手筛，但时间不少于 10 min。

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 200 g，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 0.08 mm 方孔筛一只或采用水洗法。

四、结果计算

1. 计算分计筛余（各筛上的筛余量除以试样总重量），精确至 0.1%；
2. 计算累计筛余（该筛的分计筛余与筛孔大于该筛的各筛的分计筛余之和），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。

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
5.0	10~0	10~0	10~0
2.5	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

4. 按下式计算砂的细度模数 M_x (精确至 0.1)

$$M_x = \frac{(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1}{100 - A_1} \quad (0.8)$$

式中： A_1 、 A_2 …… A_6 分别为 5.00mm、2.50mm……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。

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%。

3.2 砂的含水率试验

一、试验目的

依据规范 JGJ52-2006 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》和 GB/T

14684-2022《建筑用砂》进行实验，掌握建筑用砂的含水率的测定方法和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 天平：量程 1kg，感量 1g；
2. 烘箱，浅盘，毛刷等。

三、实验步骤

1. 将取回的砂试样拌匀后摊成厚度约 20mm 的圆饼，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。

2. 取缩分后的试样一份约 500g，装入已称重量为 m_1 (g) 的浅盘中，称出试样连同浅盘的总重量 m_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。

3. 称量烘干后的砂试样与浅盘的总重量 m_3 (g)。

四、结果计算

1. 按下式计算砂含水率（精确至 0.1%）

$$\omega_{wc} = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100\% \quad (0.9)$$

2. 以两次试验结果的算术平均值作为测定结果。

注：通常也可采用炒干法代替烘干法测定砂的含水率。

3.3 碎石的颗粒级配试验

一、试验目的

依据规范 JGJ52-2006《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》和 GB/T 14685-2022《建设用卵石、碎石》进行实验，掌握建筑用碎石的颗粒级配的测定方法和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 实验用砂筛：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) 的圆孔筛；GB/T14685 标准筛孔径为 2.36、4.75、9.50、16.0、19.0、26.5、31.5、37.5、53.0、90.0 (mm) 的方孔筛；并附有筛底和筛盖；试验筛产品质量要求应符合现行国家标准《金属丝编织网试验筛》GB/T6003.1 和《金属穿孔板试验筛》GB/T6003.2 的要求；

2. 天平：量程随试样重量而定；

3. 摇筛机：电动振动筛，振幅 $0.5\pm 0.1\text{mm}$ ，频率 $50\pm 3\text{Hz}$ 。

三、实验步骤

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 3-2(或表 3-3)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 3-2 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 3-3 不同粒径的石子筛分时的试样量 (GB/T14685)

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

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%。

四、结果计算

1. 计算碎石的分计筛余 (各筛上的筛余量除以试样总重量)，精确至 0.1%；

2. 计算累计筛余 (该筛的分计筛余与筛孔大于该筛的各筛的分计筛余之和)，精确至 0.1%。

3. 根据各筛的累计筛余百分率，按照表 3-4 规定的级配区范围，评定该石子试样的颗粒级配是否合格。

表 3-4 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

4. 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。

实验四 混凝土拌合物性能试验

4.1 混凝土拌合物稠度试验

一、实验目的

依据国标 GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》进行实验，掌握混凝土拌合物坍落度与维勃稠度测定方法和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

坍落度测定：1.坍落度筒；2.振捣棒 3.小铲、直尺、拌板、镩刀。

维勃稠度测定：1.维勃稠度仪；2.秒表、小铲、拌板、镩刀等。

三、实验步骤

(1) 混凝土坍落度测定

1.首先润湿坍落度筒及其用具，并把筒放在不吸水的刚性水平底板上，然后用脚踩主两边的脚踏板，使其在装料时保持固定位置。

2.把混凝土拌合物试样用小铲分三层均匀装入坍落度筒内，使捣实后每层高度为筒的三分之一左右。用捣棒对每层试样沿螺旋方向由外向中心插捣 25 次，且在截面上均 1 分布。插捣底层时，捣棒应贯穿整个深度，插捣第二层和顶层时，应插透本层至下一层的表面，清除筒边底板上的混凝土拌合物。顶层捣实后，刮去多余的混凝土拌合物，并用抹刀抹平。浇灌顶层时，应使混凝土拌合物高出筒口，在插捣过程中，当混凝土拌合物沉落到低于筒口时，应随时添加混凝土拌合物。

3.清除筒边和底板上的混凝土拌合物后，垂直平稳地提起坍落度筒，提离过程应在 3~7 s 内完成。从开始装料到提筒的整个过程应不间断进行，并在 150 s 内完成。提起筒后，量测筒高与坍落后混凝土拌合物试体最高点之间的差值，即为坍落度。混凝土拌合物坍落度值测量应精确至 1 mm，结果应修约至 5 mm。坍落度筒提离后，如果发现混凝土拌合物试体崩塌或一边出现剪切破坏现象，应重新取样进行测试。若第二次仍出现上述现象，应予记录说明。当混凝土拌合物的坍落度大于 220 mm 时，用钢尺测量混凝土扩展后最终的最大直径和最小直径，

在这两个直径之差小于 50 mm 条件下，用算术平均值作为坍落扩展度值，否则此次实验无效。对坍落度值不大于 50 mm 或干硬性混凝土，应采用维勃稠度法进行实验。

4.观察并评价混凝土拌合物试体的黏聚性和保水性。

①用捣棒轻轻敲打已坍落的混凝土拌合物，如果锥体逐渐整体性下沉，则表示混凝土拌合物黏聚性良好；如果锥体倒坍、部分崩裂或出现离析等现象，则表示混凝土拌合物黏聚性不好。②保水性用混凝土拌合物中稀浆的析出程度来评定，坍落度筒提起后如有较多的浆液从底部析出，锥体也因浆液流失而局部骨料外露，则表明此混凝土拌合物的保水性能不好。如坍落度筒提起后无稀浆或仅有少量稀浆自底部析出，则表示此混凝土拌合物保水性良好。

(2) 混凝土拌合物维勃稠度测定

当混凝土拌合物的坍落度值较小时，由于测量工具和测量方法的局限性，用坍落度法测量混凝土拌合物的稠度会有较大的测量误差，因此需要用维勃稠度法进行测量。本方法适用于骨料最大粒径不大于 40 mm，维勃稠度在 5~30 s 之间的混凝土拌合物稠度测定。坍落度值小于 50 mm 的混凝土拌合物、干硬性混凝土拌合物和维勃稠度大于 30 s 的特干硬性混凝土拌合物的稠度可采用增实因数法来测定其稠度。

1.把维勃稠度仪放置在坚实的水平面上，用湿布把容器、坍落度筒、喂料斗内壁及其他用具润湿无明水。

2.将喂料斗提到坍落度筒上方扣紧，校正容器位置，使其中心与喂料中心重合，然后拧紧固定螺栓。

3.把混凝土拌合物试样用小铲分三层均匀装入筒内，使捣实后每层高度为筒高的三分之一左右。每层用捣棒插捣 25 次，插捣应沿螺旋方向由外向中心进行，各次插捣应在截面上均匀分布。插捣筒边混凝土拌合物时，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，捣棒应插透本层并至下一层表面。浇灌顶层时，混凝土拌合物应灌至高出筒口。在插捣过程中，如混凝土拌合物沉落到低于筒口时，应随时添加试样。顶层插捣完成后，刮去多余的混凝土拌合物，并用抹刀抹平。

4.转离喂料斗，垂直提起坍落度筒。此时应注意不能使混凝土拌合物试体产

生横向扭动。

5.把透明圆盘转到混凝土拌合物圆台体顶面，放松测杆螺钉，降下圆盘，使其轻轻接触到混凝土拌合物顶面。

6.拧紧定位螺栓，检查测杆螺栓是否已经完全放松。

7.在开启振动台的同时用秒表计时，当振动到透明圆盘的底面被水泥浆布满的瞬间停止计时，并关闭振动台。由秒表读出的时间即为该混凝土拌合物的勃稠度值，精确至 1s。混凝土拌合物流动性按维勃稠度大小，可分为超干硬性($\geq 31s$)、特干硬性(30~21s)、干硬性(20~11s)和半干硬性(10~5s)四级。

四、结果计算

本实验结果无需计算

4.2 混凝土拌合物表观密度试验

一、实验目的

依据国标 GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》进行实验，掌握混凝土拌合物表观密度测定方法和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1.容量筒:对骨料最大粒径不大于 40 mm 的混凝土拌合物采用容积为 5 L 的容量筒；对骨料最大粒径大于 40 mm 的混凝土拌合物，容量筒的内径与筒高均应大于骨料最大粒径的 4 倍。

2.台秤:称量 100 kg，感量 50 g。

3.振动台:频率为 50 ± 3 Hz。

4.捣棒:直径 16 mm，长 600mm。

三、实验步骤

1.测试前，用湿布把容量筒擦净，称出筒重 m_1 ，精确至 10 g。

2.根据混凝土拌合物的稠度确定混凝土拌合物的装料及捣实方法。坍落度不大于 90 mm 的混凝土拌合物用振动台振实；坍落度大于 90 mm 的混凝土拌合物用捣棒捣实。

①当使用 5 L 容量筒并采用捣棒捣实时，混凝土拌合物应分两次装入，每层插捣次数 25 次。当使用大于 5L 容量筒时，每层拌合物的高度应不大于 100 mm，每次插捣次数按每 100 cm² 截面上不少于 12 次计算。每一层捣完后，用橡皮锤轻轻沿容器外壁敲打 5~10 次，进行振实，直至混凝土拌合物表面插孔消失并不见大气泡为止。

②当采用振动台振实时，应一次将混凝土拌合物装到高出容量筒口，在振动过程中随时添加混凝土拌合物，振至表面出浆为止。

3.用刮尺刮去多余的混凝土拌合物并将容量筒外壁擦净，称出混凝土拌合物与筒的质量 m_2 ，精确至 10 g。

四、结果计算

混凝土拌合物的表观密度按下式计算，精确至 10kg/m³：

$$\rho_{0c} = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000$$

式中： ρ_{0c} —混凝土拌合物表观密度(kg/m³)；

m_1 --容量筒质量(kg)；

m_2 --容量筒及试样总重(kg)；

V —容量筒容积(L)。

4.3 混凝土基准配合比

一、实验目的

依据国标 GB/T 50080-2016 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》、JGJ55-2011 《普通混凝土配合比设计规程》、GB 50164-2011 《混凝土质量控制标准》进行实验，掌握混凝土基准配合比设计的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1.坍落度筒

三、实验步骤

1.确定计算配合比

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。本实验按 $m_{c0}:m_{s0}:m_{g0}:m_{w0}=1:1.33:3.10:0.48$ 进行试拌。

2. 确定试拌配合比

①按照事先确定的混凝土配合比，计算各组成材料的用量，称量后备用。

②将面积为 $1.5\text{m}\times 2\text{m}$ 的拌板和拌铲润湿，先把砂倒在拌板上，后加入水泥，用拌铲将其从拌板的一端翻拌到另一端。如此重复，直至砂和水泥充分混合（从外观上看颜色均匀）。然后再加入粗骨料，同样翻拌到均匀为止。

③将以上混合均匀的干料堆成中间留有凹槽的锅形状，把称量好的拌合水先倒入凹槽中一半，然后仔细翻拌，再缓慢加入另一半拌合水，继续翻拌，直至拌合均匀。根据拌合量的大小，从加水开始计算，全部拌合完成在 30min 以内。

以 4.1 章节方法测定混凝土坍落度，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；当坍落度过大时，可保持砂率不变，酌情增加砂和石子；当黏聚性、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。

四、结果计算

根据添加砂、石或者水泥浆用量确定基准配合比。

4.4 硬化混凝土抗压强度试验

一、实验目的

依据国标 GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》进行实验，掌握混凝土拌合物坍落度与维勃稠度测定方法和处理实验数据的科学方法，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

压力实验机

三、实验步骤

1. 先将试件擦拭干净，测量其尺寸并检查外观。试件尺寸测量精确至 1mm ，并据此计算试件的承压面积。如果实测尺寸与试件的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 100 mm 不超过 0.05 mm，承压面与相邻面的不垂直度不超过±1%

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

3.选定、调整压力机加荷速度。当混凝土强度等级低于 C30 时，加荷速度取每秒 0.3~0.5 MPa;当混凝土强度等级高于或等于 C30 且小于 C60 时，加荷速度取每秒 0.5~0.8 MPa.

4. 开动压力实验机施荷。当上压板与试件接近时，调整球座使接触均衡，连续均匀地加荷。当试件接近破坏而开始迅速变形时，停止调整实验机油门，直至试件破坏，记录破坏荷载。

注意：试件从养护地点取出后，应尽快进行实验，以避免试件内部的温湿度发生显著

变化而影响实验结果的准确性。

四、结果计算

混凝土立方体抗压强度：

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

式中： f_{cu} —混凝土立方体试件抗压强度（MPa）；

P—破坏荷载(N)；

A—试件受压面积（mm²）。

实验五 石油沥青基本性能试验

5.1 针入度试验

一、实验目的

依据规范 GB/T 494-2010《建筑石油沥青的技术标准》和 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青料试验规程》进行试验，掌握建筑石油针入度的测定方法以及实验数据处理方法，确定石油沥青的黏滞性，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1. 沥青针入度仪
2. 标准针
3. 试样皿：针入度小于 200 时，内径 55 mm，内部深度 35 mm；针入度 200~350 时，内径 70 mm，内部深度 45 mm；对针入度大于 350 的试样需使用特殊盛样皿，深度不小于 60 mm，容积不小于 125 mL。
4. 恒温水槽：容量不小于 10 L，控温准确度 0.1℃。
5. 平底玻璃皿
6. 温度计或温度传感器
7. 计时器：精度 0.1s
8. 位移计或位移传感器：精度 0.1 mm
9. 盛样皿盖
10. 溶剂：三氯乙烯等
11. 电炉或砂浴、石棉网、金属锅或瓷把坩埚等。

三、实验步骤

1. 按规定方法制样。
2. 将恒温水槽调节至实验温度 25℃。
3. 将试样注入盛样皿，试样高度超过预计针入度值 10 mm，并盖上盖，于常温下（15~30℃）冷却 1~2 h，检查针入度仪，调节使其水平，检查针连杆与导轨是否无水或有外来物。
4. 去除达到恒温的盛样皿，并移入水温控制在 25℃±0.1 的平底玻璃皿的三

角支架，试样表面以上水层不小于 10 mm。

5.将平底玻璃皿置于针入度仪的平台上，慢慢放下针连杆，用适当位置的反光镜或灯光反射观察，使针尖恰好与试样表面接触，将位移计或刻度盘指针复位为 0。

6.开始实验，按下释放键，计时，与标准针落下贯入试样同时开始，至 5s 时，自动停止。

读取位移计或刻度盘指针读书，准确至 0.1 mm。

7.同一试样平行试验 3 次，各测试点之间及与盛样皿边缘距离不小于 10 mm，每次实验后应将平底玻璃皿放入恒温水槽，使水温保持试验温度，每次实验应换一根干净标准针，或利用三氯乙烯酒精棉擦净，测定针入度大于 200 的沥青试样时，至少使用三根标准针，每次实验后将针留在试样中，三组平行实验完成才能取出。

四、结果计算

1.将 3 个或 3 个以上不同温度条件下测试的针入度值取对数，令 $y = \lg P, x = T$ ，求取针入度温度指数 $A_{\lg Pen}$ 。计算公式为：

$$\lg P = K + A_{\lg Pen} \times T$$

式中 $\lg P$ —不同温度条件下测得的针入度值的对数；

T —实验温度 (°C)；

K —回归方程常数项；

$A_{\lg Pen}$ —回归方程系数。

2.按下式确定沥青的针入度指数，记为 PI。

$$PI = \frac{20 - 500A_{\lg Pen}}{1 + 50A_{\lg Pen}}$$

5.2 延度试验

一、实验目的

依据规范 GB/T 494-2010《建筑石油沥青的技术标准》和 JTGE20-2011《公路工程沥青及沥青料试验规程》进行试验，掌握建筑石油延度的测定方法以及实

验数据处理方法，确定石油沥青的塑性性，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

1.延度仪；

2.试件模具；

3.试模底板；

4.恒温水浴：容量 $\geq 10\text{L}$ ，能保持温度在实验温度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 范围内，水中应备有带孔支架，位于水面下不小于 100 mm ，支架距水槽底不小于 50 mm ；

5.温度计；

6.金属皿。

三、实验步骤

1.将甘油滑石粉隔离剂拌合俊宇，涂于磨光的金属板上。

2.把除去水分的试样在砂浴上加热，加热温度不要超过沥青软化点 100°C 。用筛过滤，充分搅拌，避免试样混入空气。然后将试样呈细流状，自试模至另一端往返倒入，使试样略高于模具。

3.将试样在 $15\sim 30^\circ\text{C}$ 空气中冷却 30 min ，然后放入 $25\pm 0.1^\circ\text{C}$ 水浴中，保持 30 min 后取出，用热刀将高出模具沥青刮去，使沥青面与模具面平齐。再将试件连同金属板浸入 $25\pm 0.1^\circ\text{C}$ 的水浴中恒温 $1\sim 1.5\text{ h}$ 。

4.检查确定延度仪拉伸速度，然后移动滑板使其指针正对标尺零点，保持水槽水温 $25\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

5.将试件移动至延伸仪的水槽中，把模具两端的孔分别套在滑板及槽端的金属柱上，水面距试件表面不小于 25 mm ，然后去掉侧模。

6.确认延度仪水槽水温为 $25\pm 0.1^\circ\text{C}$ 时，开动延度仪。

7.试件拉断时指针标尺上的读数即为试样的延度，以“ cm ”表示。

四、结果计算

1.以三次测试平均值为测定结果，若三次测定值不在平均值的 5% 以内，但两个较高值在 5% 以内，则舍去最低测定值，取较高值平均值为结果。

实验六 钢材的性能试验

6.1 钢材的拉伸实验

一、实验目的

依据国标 GB/T 228.1-2010《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》,以及 GB/T 42901-2023《钢筋机械连接件试验方法》进行试验。在常温下对钢筋进行拉伸实验,测量钢筋的屈服点,抗拉强度和伸长率等主要力学性能指标,据此可以对钢筋质量进行评价与测定,进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

- 1.液压万能实验机;
- 2.游标卡尺与螺旋千分尺;
- 3.钢筋打点机。

三、实验步骤

- 1.根据被测钢筋的品种与直径,确定钢筋试样的原标距 L_0 , $L_0=5a$ 、 $10a$ 、 $100a$ (a 为钢筋直径);
- 2.用钢筋打点机在被测钢筋的表面打刻标点。打刻标点时,能使标点准确清晰即可,不要用力过大和破坏试件的原况;否则,会影响钢筋试件的测试结果。
- 3.接通实验机电源,启动实验机油泵,使实验机油缸升起,度盘指针调零。根据钢筋直径的大小选定实验机的合适量程,控制好回油阀。
- 4.夹紧被测钢筋,使上下夹持点在同一直线上,保证试样轴向受力。不得将试件标距部位夹入实验机的钳口中,试样被夹持部分不小于钳口的三分之二。
- 5.启动油泵,按要求控制实验机的拉伸速度,测力度盘的指针停止转动时的恒定负荷或不计初始瞬时效应时最小负荷,即为钢筋的屈服点荷载,记录屈服点荷载。
- 6.屈服点荷载测出并记录后,继续对试样施荷直至拉断,从测力度盘读出最大荷载,记录最大破坏荷载。
- 7.卸去试样,关闭实验机油泵和电源。
- 8.测量试件断后标距。将试样拉断后的两段在拉断处紧密对接起来,尽量使

其轴线位于一条线上，拉断处若形成缝隙时，此缝隙应计入试样拉断后的标距部分长度内。

①当拉断处到邻近标距端点的距离大于 $L_0/3$ 时，可用游标卡尺直接量出断后标距 L_1 。

②当拉断处到邻近标距端点的距离小于或等于 $L_0/3$ 时，可按移位法确定断后标距 L_1 ，即在长段上，从拉断处 O 点取等于短段格数，得 B 点，再取等于长段所余格数(偶数，见图)的一半，得 C 点；或者取所余格数(奇数，见图)减 1 与加 1 的一半，得 C 与 C_1 点。移位后的 $L_1=AB+2BC$ 或 $L_1=AB+BC+BC$ 。当直接测量所求得的伸长率能够达到技术条件要求的规定值时，则可不必要采用移位法。

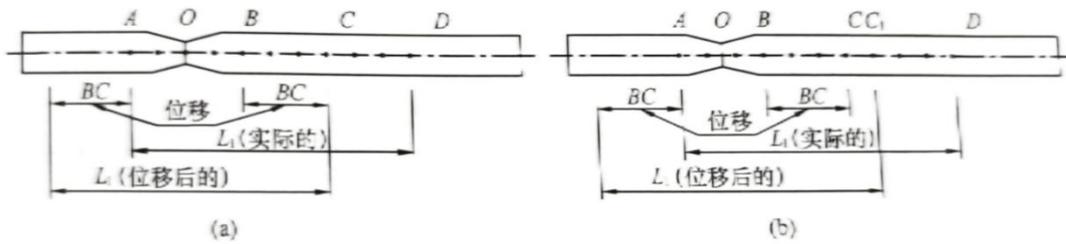


图 移位法测量钢筋断后标距示意图

(a) 长段所余格数为偶数；(b) 长段所余格数为奇数

四、结果计算

1.钢筋的服点 δ_s 和抗拉强度 δ_b 分别按下式计算：

$$\delta_s = \frac{F_s}{A}, \delta_b = \frac{F_b}{A}$$

式中 δ_s 、 δ_b ——钢筋屈服点和抗拉强度(MPa)；

F_s 、 F_b ——钢筋屈服荷载和最大荷载(N)；

A ——钢筋试件横截面积(mm^2)。

钢筋的屈服点和抗拉强度计算精度按下述要求确定。当 δ_s 、 δ_b 均大于 1000MPa 精确至 10MPa；当 δ_s 、 δ_b 在 200~1000MPa 时，精确至 5MPa；当 δ_s 、 δ_b 小于 200MPa 精确至 1MPa。

2.钢筋短、长试样的伸长率分别以 δ_5 、 δ_{10} 表示，定标距试样的伸长率应附该标度数值的角注。钢筋伸长率 δ_5 (或 δ_{10})按下式计算，精确至 1%；

$$\delta_5 \text{ (或 } \delta_{10}) = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中： δ_5 、 δ_{10} ——分别为 $L_0=5a$ 、 $L_0=10a$ 时钢筋的伸长率(%)；

L_1 —钢筋原标距长度(mm);

L_0 —试件拉断后直接量出或按移位法确定的标距长度(mm)

6.2 钢材的冷弯实验

一、实验目的

依据国标 GB/T 232-2010《钢筋冷弯性能试验方法》试验，在常温下对钢筋进行冷弯实验，对钢筋塑性进行定性检验，同时间接判定钢筋内部缺陷与可焊性，进而培养学生动手实际操作实验的能力和运用所学理论进行科学研究、分析问题和解决问题的能力。

二、主要仪器

- 1.液压万能实验机
- 2.钢筋弯曲机

三、实验步骤

1.钢筋冷弯试件不得进行车削加工，根据钢筋的型号和直径，确定弯心直径，钢筋土用热轧带肋钢筋的弯心直径按表 2-11 确定。将弯心头套入实验机，按图 2-6(a)实验机平台上的支辊距离 L_1 ：

$$L_1=(d+3a)\pm 0.5a$$

式中： d ——弯曲压头或弯心直径(mm)；

a ——试件厚度或直径或多边形截面内切直径(mm)。

2.放入钢筋试样，将钢筋面贴紧弯心棒，旋紧挡板，使挡板面贴紧钢筋面或调整两支辊距离到规定要求。

3.调整所需要弯曲的角度(180°或 90°)。

4.盖好防护罩，启动实验机，平稳加荷，使钢筋弯曲到所需要的角度。当被测钢筋弯曲至规定角度(180°或 90°)后，停止冷弯。

5.揭开防护罩，拉开挡板，取出钢筋试样。

6.检查、记录试样弯曲处外表面变形情况。

四、结果判定

根据钢筋弯曲变形程度进行定性判定。

1.完好：试件弯曲处无肉眼可见的因弯曲变形产生的缺陷。

- 2.微裂纹: 试件弯曲处细小裂纹,长度大于等于 2 mm,宽度小于等于 0.2 mm。
- 3.裂纹: 试件弯曲处开裂,长度大于 2 mm 且不大于 5 mm,宽度大于 0.2 mm。
- 4.裂缝: 试件明显开裂,长度大于 5 mm,宽度大于 0.5 mm。
- 5.裂断: 试件出现沿宽度贯裂的开裂,深度超过试样厚度的三分之一。