

特别提醒：

1. 本书用 A4 纸打印，沿装订线装订。
2. 本书用于实验指导，可用于听课笔记，可记录实验数据。
3. 本书非上交实验室。

《土木工程材料 A》

实验指导书



第_____组

姓名：_____

天津城建大学

目 录

实验室安全制度及注意事项	1
实验 1 水泥实验	1
实验 2 混凝土用骨料实验	3
实验 3 普通混凝土实验	5
实验 4 石油沥青实验	7

实验室安全制度及注意事项

特别提醒：

1. 对试验采用的仪器和设备，其工作原理和调试方法都应有一定了解后才能使用，实验时不准动用与实验无关的仪器设备，
2. 试验实践是培养学生动手能力的一个重要环节，因此每个学生都必须亲自动手，分工协作，共同努力完成试验。
3. 试验过程中，要以科学态度仔细观察和分析试验现象，如有异常现象应及时报告指导教师设法排除。
4. 严格遵守实验室有关设备使用的操作规程。

实验 1 水泥实验

1. 水泥细度检验（选择性指标）

1.1 方法原理：采用 $80\mu\text{m}$ 方孔筛对水泥试样进行筛析试验，用筛上筛余物的质量百分数来表示水泥样品的细度。

负压筛析法：用负压筛析仪，通过负压源产生的恒定气流，在规定筛析时间内使试验筛内的水泥达到筛分。

1.2 仪器：试验筛、负压筛析仪、天平。

1.3 操作程序：

1.3.1 筛析试验前把负压筛放在筛座上，盖上筛盖，接通电源，检查控制系统，调节负压至 $4000\text{Pa}\sim 6000\text{Pa}$ 范围内。

1.3.2 称取试样 25g ，置于洁净的负压筛中，放在筛座上，盖上筛盖，接通电源，开动筛析仪连续筛析 2min ，在此期间如有试样附着在筛盖上，可轻轻地敲击筛盖使试样落下。筛毕，用天平称量全部筛余物。

1.4 结果计算及处理：

试验次数	水泥筛余物的质量 R_s (g)	水泥试样的质量 W (g)	水泥试样筛余百分数 $F = \frac{R_s}{W}$ (%)
1		25	
2		25	
水泥试样筛余百分数平均值（结果计算至 0.1%）			

1.5 结论：《通用硅酸盐水泥》（GB175-2007）第 7.3.4 规定：矿渣硅酸盐水泥的细度以筛余表示，其 $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于 10%。

2. 水泥标准稠度用水量检验

代用法之一：不变水量法

2.1 仪器：水泥净浆搅拌机、量水器、天平。

2.2 测定方法：

2.2.1 试验前必须做到维卡仪的金属棒能自由滑动，调整至试锥接触锥模顶面时指针对准零点，搅拌机运行正常。

2.2.2 不变水量法拌和用水量142.5mL，将拌和水倒入搅拌锅内然后再将称好的500g水泥试样倒入搅拌锅内，将锅放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，接着高速搅拌120s后停机。

2.2.3 拌和结束后，立即将拌好的净浆装放锥模内，用小刀插捣，振动数次，刮去多余净浆；抹平后迅速放到试锥下面固定位置上，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深度。整个操作应在搅拌后 1.5min 内完成。

2.2.4 不变水量方法测定时，根据测得的试锥下沉深度 S (mm) 按下式计算得到标准稠度用水量 P (%)： $P = 33.4 - 0.185 S$ 。

2.3 试验结果：

水泥试样质量 (g)	拌合用水量 (ml)	试验次数	试锥下沉深度 S (mm)	标准稠度用水量 $P=33.4-0.185 S$ (%)
500	142.5	1		
		2		
标准稠度用水量平均值				

3. 水泥胶砂强度检验

3.1 仪器与材料：行星式水泥胶砂搅拌机、试模、振实台、抗折强度试验机、抗压强度试验机、抗压强度试验机用夹具、ISO 基准砂。

3.2 检验方法：

3.2.1 胶砂的制备。水泥试样品种：强度等级 32.5 的矿渣硅酸盐水泥，水泥试样质量：450±2(g)，用水量：225±1(mL)，基准砂质量 1350±5(g)。

3.2.2 试件的制备。

3.2.3 试件的养护。标准养护条件：20℃±1℃水中养护、养护龄期：3d 及 28d。

3.3 试验程序及结果

龄期：3d

抗折强度					抗压强度			
试件 编号	支撑圆柱 之间的距 离 L (mm)	棱柱体正 方形截面 的边长 b (mm)	折断时施加 于棱柱体中 部的荷载 F_f (N)	抗折强度 $R_f = \frac{1.5F_f L}{b^3}$ (MPa)	试件 编号	受压 面积 A (mm ²)	破坏时 最大荷 载 F_c (N)	抗压强度 $R_c = \frac{F_c}{A}$ (MPa)
1	100	40			1	1600		
					2	1600		
2	100	40			3	1600		
					4	1600		
3	100	40			5	1600		
					6	1600		
R_f 平均值:					R_c 平均值:			

龄期：28d

抗折强度					抗压强度			
试件编号	支撑圆柱之间的距 离 L (mm)	棱柱体正 方形截面 的边长 b (mm)	折断时施加 于棱柱体中 部的荷载 F_f (N)	抗折强度 $R_f = \frac{1.5F_f L}{b^3}$ (MPa)	试件 编号	受压 面积A (mm ²)	破坏荷 载F _c (N)	抗压强度 $R_c = \frac{F_c}{A}$ (MPa)
1	100	40			1	1600		
					2	1600		
2	100	40			3	1600		
					4	1600		
3	100	40			5	1600		
					6	1600		
R_f 平均值:					R_c 平均值:			

3.4 结论：《通用硅酸盐水泥》(GB175-2007) 第 7.3.3 规定：

不同品种不同强度的等级的通用硅酸盐水泥，其不同龄期的强度应符合表 3 的规定。

表 3 (单位为 MPa)

品种	强度等级	抗压强度		抗折强度	
		3d	28d	3d	28d
矿渣硅酸盐水泥	32.5	≥ 10.0	≥ 32.5	≥ 2.5	≥ 5.5

4. 水泥凝结时间检验

凝结时间以试针沉入水泥标准稠度净浆至一定深度所需的时间表示。

5. 水泥安定性检验

雷氏法是观测由二个试针的相对位移所指示的水泥标准稠度净浆体积膨胀的程度。

试饼法是观测水泥标准稠度净浆试饼的外形变化程度。

6. 结论与报告

内容：水泥试样筛余百分数及达标判断；水泥标准稠度用水量；水泥胶砂 3d、28d 抗折、抗压强度及合格判断。

实验 2 混凝土用骨料实验

1. 实验目的

- 1.1 掌握用筛分的方法确定砂的粗细和颗粒级配。
- 1.2 掌握砂的表观密度、堆积密度的测定方法。
- 1.3 根据砂石的表观密度、堆积密度，计算砂石空隙率。

2. 主要仪器设备

- 2.1 实验标准筛：孔径为 5.00、2.50、1.25、0.63、0.315、0.16mm 及筛底和筛盖各一个。
- 2.2 摇筛机。
- 2.3 烘箱。
- 2.4 广口瓶。
- 2.5 托盘天平。
- 2.6 容量筒 1L、10L。
- 2.7 磅秤 100kg。

3. 实验内容

3.1 测定砂的表观密度：排水法

次数	干砂质量 m_0 (g)	瓶+水的质量 m_2 (g)	瓶+水+砂的质量 m_1 (g)	砂的表观密度 $\rho_{as} = m_0 / (m_0 + m_2 - m_1)$ (g / cm ³)	ρ_{as} 平均值 (g / cm ³)
1	150				
2	150				

3.2 测定砂的堆积密度：

次数	容积升体积 V (m ³)	容积升质量 m_1 (kg)	容积升+砂的质量 m_2 (kg)	砂的堆积密度 $\rho'_{os} = (m_2 - m_1) / V$ (kg / m ³)	ρ'_{os} 平均值 (kg / m ³)
1	0.001				
2	0.001				

3.3 测定石子的表观密度：排水法

次数	干石子质量 m_0 (g)	瓶+水的质量 m_2 (g)	瓶+水+石子的质量 m_1 (g)	石子的表观密度 $\rho_{ag} = m_0 / (m_0 + m_2 - m_1)$ (g / cm ³)	ρ_{ag} 平均值 (g / cm ³)
1	200				
2	200				

3.4 测定石子的堆积密度：

次数	容积升体积 V (m ³)	容积升质量 m_1 (kg)	容积升+石子的质量 m_2 (kg)	石子的堆积密度 $\rho'_{og} = (m_2 - m_1) / V$ (kg / m ³)	ρ'_{og} 平均值 (kg / m ³)
1	0.01				
2	0.01				

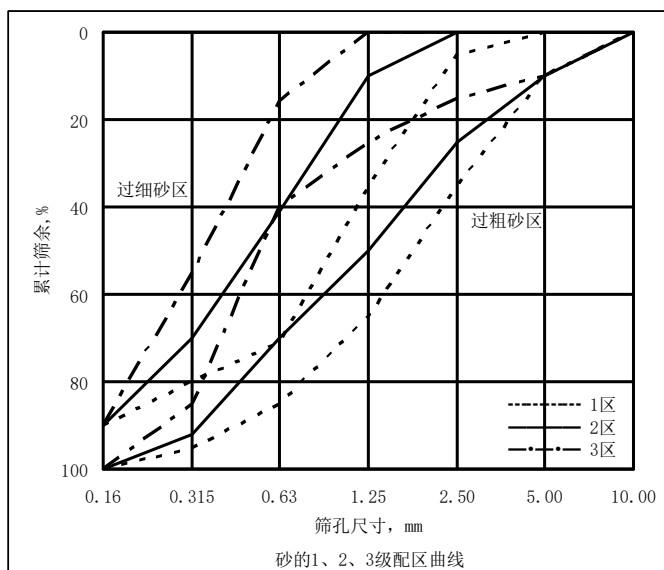
3.5 计算砂、石空隙率：

$$\text{砂子空隙率 } P = \left(1 - \frac{\rho'_{os}}{\rho_{as}}\right) \times 100\%$$

$$\text{石子空隙率 } P = \left(1 - \frac{\rho'_{og}}{\rho_{ag}}\right) \times 100\%$$

3.6 砂的筛分析试验

干砂试样总量：500(g)			
筛孔尺寸(mm)	分计筛余质量(g)	分计筛余(%)	累计筛余(%)
5.00	m_1 ()	$a_1 = m_1 / 500$	$A_1 = a_1$
2.50	m_2 ()	$a_2 = m_2 / 500$	$A_2 = a_1 + a_2$
1.25	m_3 ()	$a_3 = m_3 / 500$	$A_3 = a_1 + a_2 + a_3$
0.63	m_4 ()	$a_4 = m_4 / 500$	$A_4 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$
0.315	m_5 ()	$a_5 = m_5 / 500$	$A_5 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5$
0.16	m_6 ()	$a_6 = m_6 / 500$	$A_6 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6$
筛底	$m_{底}$ ()	—————	—————
筛余总量	$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_{底}$ ()	—————	—————



筛分曲线：

3.7 细度模数

$$\mu_f = \frac{(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1}{100 - A_1}, \quad A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6 \text{ 分别为孔径}$$

5.00、2.50、1.25、0.63、0.315、0.16mm 筛的累计筛余百分率。

3.8 结论：《建设用砂》(GB / T 14684-2011) 第 4.2 规定：砂按细度模数分为粗、中、细三种规格，其细度模数分别为：——粗：3.7~3.1；——中：3.0~2.3；——细：2.2~1.6。

4. 结论与报告：

内容：砂的表观密度、堆积密度；石子的表观密度、堆积密度；砂、石子的空隙率；筛分曲线；细度模数及规格判断。

实验 3 普通混凝土实验

1. 实验目的

- 1.1 掌握普通混凝土计算配合比的试拌方法。
- 1.2 掌握和易性的测定、调整技能并测出混凝土的实际表观密度，据此计算出基准配合比。
- 1.3 掌握混凝土抗压强度的测定方法。

2. 主要仪器设备

搅拌机。磅秤。拌铲、拌板、钹刀、直尺、量筒、捣棒、坍落度筒。试模：内壁边长为 150×150×150mm 或 100×100×100mm 的立方体金属试模或塑料试模。

3. 实验内容

3.1 设计要求：

混凝土设计强度等级：_____；设计坍落度 (mm)：_____；

计算水胶比：_____；砂率 (%)：_____。

3.2 试验方法及结果

计算配合比 (每 1m ³ 混凝土材料用量)	水泥 (kg)	砂子 (kg)	石子 (kg)	水 (kg)

7 升 (0.007m ³) 拌合物材料用量	C _拌 (kg)	S _拌 (kg)	G _拌 (kg)	W _拌 (kg)

坍落度量测：用脚踩住筒两边的脚踏板，使坍落度筒在装料时保持位置固定。将混凝土拌和物用铁锹分三次装入筒内，使捣实后每层高度约为筒高的 1/3。每层用捣棒振捣 25 次。顶层振捣后，刮去多余的混凝土，并用抹刀抹平。提起坍落度筒后，量测筒高与坍落后混凝土试体最高点之间的高度差，即为该混凝土拌合物的坍落度值，坍落度值以 mm 为单位。从开始装料到提起坍落度筒的整个过程应不间断地进行，并应在 150s 内完成。

坍落度量测结果	第 1 次量测 (mm)	第 2 次量测 (mm)	平均值 (mm)

粘聚性检查：用捣棒在已坍落的混凝土锥体侧面轻轻敲打，此时若锥体逐渐下沉，则表明粘聚性良好；若锥体倒塌、部分崩裂或出现离析现象，则表明粘聚性不好。

保水性检查：将坍落度筒提起后，如拌合物底部无稀水泥浆或仅有少量稀浆析出，则表明保水性良好；如底部有较多的稀水泥浆析出，锥体部分也因失浆而骨料外露，则表明保水性能不好。

检查项目	现象描述与结果
粘聚性检查	
保水性检查	

配合比调整原则：按计算的配合比首先应按上述步骤进行试拌以检查拌合物的性能，当试拌得出的拌合物坍落度不能满足要求或粘聚性和保水性能不好时，应进行调整。计算水胶比宜保持不变，通过调整配合比其他参数，使混凝土拌合物性能符合设计和施工要求，然后修正计算配合比，提出试拌配合比。

混凝土拌合物不良状态	调整方法
坍落度小于设计要求，粘聚性和保水性良好	保持水胶比不变，增加水泥浆用量，相应减少砂石用量（砂率不变）
坍落度大于设计要求，粘聚性和保水性良好	保持水胶比不变，减少水泥浆用量，相应增加砂石用量（砂率不变）
坍落度符合设计要求，粘聚性和保水性不好	保持砂石的总量不变，增加砂率； 或保持水胶比不变，调整胶凝材料用量，相应调整砂石用量
砂浆含量过多	减少砂率（保持砂石总量不变，提高石子用量，减少砂用量）

3.3 试件成型(三块)，试件尺寸为 150×150×150mm³ 或 100×100×100mm³。

用试模法测出混凝土实际表观密度 $\rho_{\text{oh实}}$

试模质量 G ₁ (kg)	试模+砼质量 G ₂ (kg)	试模体积 V (m ³)	$\rho_{\text{oh实}} = \frac{G_2 - G_1}{V}$ (kg / m ³)

3.4 基准配合比计算：

$$C_{\text{基}} = \frac{C_{\text{拌}}}{C_{\text{拌}} + S_{\text{拌}} + G_{\text{拌}} + W_{\text{拌}}} \times \rho_{\text{oh实}}$$

$$S_{\text{基}} = \frac{S_{\text{拌}}}{C_{\text{拌}} + S_{\text{拌}} + G_{\text{拌}} + W_{\text{拌}}} \times \rho_{\text{oh实}}$$

$$G_{\text{基}} = \frac{G_{\text{拌}}}{C_{\text{拌}} + S_{\text{拌}} + G_{\text{拌}} + W_{\text{拌}}} \times \rho_{\text{oh实}}$$

$$W_{\text{基}} = \frac{W_{\text{拌}}}{C_{\text{拌}} + S_{\text{拌}} + G_{\text{拌}} + W_{\text{拌}}} \times \rho_{\text{oh实}}$$

∴基准配合比为：

3.5 抗压强度测定：

试件标准养护温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度 95%以上；实际龄期 n 天；
标准龄期 28 天；加荷速度 连续均匀加荷。

（计算说明：混凝土强度等级 $< \text{C60}$ 时，用非标准试件测得的强度值均应乘以尺寸换算系数，其值为对 $200\text{mm} \times 200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 试件为 1.05；对 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 试件为 0.95。标准试件 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的尺寸换算系数为 1。

三个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值（精确至 0.1MPa）；三个测值中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，则把最大及最小值一并舍除，取中间值作为该组试件的抗压强度值；如最大值和最小值与中间值的差均超过中间值的 15%，则该组试件的试验结果无效。

参照 JGJ / T 15-2008 《早期推定混凝土强度试验方法标准》： $\frac{f_{28}}{f_n} = \frac{\lg 28}{\lg n}$ ，则

$f_{28} = f_n \times \frac{\lg 28}{\lg n}$ ，式中 f_{28} 为 28 天龄期时混凝土抗压强度， f_n 为 n 天龄期时混凝土抗压强度， $n \geq 3$ ）。

编号	受压面积 A (mm^2)	最大破坏荷载 (n 天龄期) P (N)	尺寸换算 系数	单块抗压强度 $f = \frac{P}{A} \times \text{系数}$ (MPa)
1				
2				
3				
该组混凝土实际 n 天龄期抗压强度				

4. 结论与报告：

内容：实际 n 天龄期混凝土抗压强度：_____ (MPa)。

推定 28 天龄期混凝土抗压强度：_____ (MPa)。

推定 28 天龄期强度达到设计强度等级标准值：_____ (%)。

实验 4 石油沥青实验

1. 沥青针入度实验

1.1 原理：沥青的针入度以标准针在一定的载荷、时间及温度条件下垂直穿入沥青试样的深度表示，单位为 $1/10\text{mm}$ 。除非另行规定，标准针、针连杆与附加砝码的总质量为 $(100 \pm 0.05)\text{g}$ ，温度为 $(25 \pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ ，时间为 5s。

1.2 仪器：针入度仪、标准针、试样皿、恒温水浴、平底玻璃皿等。

1.3 实验步骤：

1.3.1 将已恒温到试验温度的试样皿放在平底玻璃皿中的三角支架上，用与水浴相同温度的水完全覆盖样品，将平底玻璃皿放置在针入度仪的平台上。慢慢放下针连杆，使针尖刚刚接触到试样的表面，调节针入度仪上的表盘读数归零。

1.3.2 启动计时装置,使标准针自由下落穿入沥青试样中,到规定时间标准针自动停止移动,此时表盘指针的读数即为试样的针入度,用 $1/10\text{mm}$ 表示。

1.3.3 同一试样至少重复测定三次,每一试验点的距离和试验点与试样皿边缘的距离都不得小于 10mm 。

1.4 试验结果: 表 1

试验项目	针入度试验结果			针入度平均值 ($1/10\text{mm}$)
	第 1 次($1/10\text{mm}$)	第 2 次($1/10\text{mm}$)	第 3 次($1/10\text{mm}$)	
针入度				

2 沥青延度试验

2.1 原理: 沥青试件在 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、拉伸速度 $5\text{cm}/\text{min} \pm 0.25\text{cm}/\text{min}$ 时,拉伸至断裂时的长度,以 cm 表示。

2.2 仪器: 延度仪、模具、水浴、隔离剂、支撑板等。

2.3 实验步骤:

2.3.1 将试件按规定方法成型,放入水浴。

2.3.2 将模具两端的孔分别套在实验仪器的柱上,然后以一定的速度拉伸,直到试件拉伸断裂,测量试件从拉伸到断裂所经过的距离。

2.3.3 正常的试验应将试样拉成锥形或线形或柱形,直至在断裂时实际横断面面积接近于零或一均匀断面,取平行测定三个结果的平均值作为测定结果。

2.4 试验结果: 表 2

试验项目	延度试验结果			延度平均值 (cm)
	第 1 个试件(cm)	第 2 个试件(cm)	第 3 个试件(cm)	
延度				

3. 沥青软化点试验(环球法)

3.1 原理: 沥青的软化点是试样在测定条件下因受热而下坠达 25mm 时的温度,以 $^{\circ}\text{C}$ 表示。

3.2 仪器: 铜肩环、钢球、钢球定位器、浴槽、环支撑架和支架、温度计等。

3.3 实验步骤:

3.3.1 试件按规定方法成型,将钢球夹住并置于定位器中,并将各仪器及温度计放于规定位置。

3.3.2 从浴槽底部加热使温度以 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 恒定的速率上升,当两个试环的球刚触及下支撑板时分别记录温度计所显示的温度,取两个温度的平均值作为沥青的软化点。

3.4 试验结果: 表 3

试验项目	软化点试验结果		软化点平均值 ($^{\circ}\text{C}$)
	第 1 环($^{\circ}\text{C}$)	第 2 环($^{\circ}\text{C}$)	
软化点			

4. 沥青牌号评定

《建筑石油沥青》(GB/T 494-2010)规定: 建筑石油沥青按针入度不同分为 10 号、30 号和 40 号三个牌号,技术要求见表 4。

表 4 建筑石油沥青技术要求

项目	质量指标			试验方法
	10 号	30 号	40 号	
针入度(25°C , 100g , 5s) / ($1/10\text{mm}$)	10~25	26~35	36~50	GB/T 4509
延度(25°C , $5\text{cm}/\text{min}$) / cm 不小于	1.5	2.5	3.5	GB/T 4508
软化点(环球法) / $^{\circ}\text{C}$ 不低于	95	75	60	GB/T 4507

5. 结论与报告:

内容: 沥青针入度; 延度; 软化点; 牌号。