



专业基础知识篇

第一章 安全员专业基础知识

第一节 建筑材料

一、混凝土

混凝土是由胶凝材料、骨料、水加适量的外加剂和掺合料按适当的比例配合，拌和均匀、密实成型及养护硬化而成的人造石材。

(一) 混凝土的概述

1. 分类

分类复杂、方法很多。

(1) 按干表观密度分：特重混凝土 $\rho_{0F} > 2700 \text{ kg/m}^3$ ；重混凝土 $\rho_0 = 1900 \sim 2500 \text{ kg/m}^3$ ；轻混凝土 $\rho_0 < 1900 \text{ kg/m}^3$ （轻骨料混凝土 $\rho = 800 \sim 1950 \text{ kg/m}^3$ ，多孔 $\rho_0 = 300 \sim 1200 \text{ kg/m}^3$ ）。

(2) 按性质和用途分：结构混凝土、耐热混凝土、耐火混凝土、不发火混凝土、防水混凝土、绝热混凝土、耐油混凝土、耐碱混凝土、耐酸混凝土、防护混凝土、补偿收缩混凝土等。

(3) 按胶结结构分：硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、沥青混凝土、树脂混凝土、聚合物水泥混凝土、石膏混凝土。

(4) 按流动性（稠度）分：干硬性混凝土（坍落度 $0 \sim 10 \text{ mm}$ ）、低塑性混凝土（ $10 \sim 40 \text{ mm}$ ）、塑性混凝土（ $50 \sim 90 \text{ mm}$ ）、流动性混凝土（ $100 \sim 150 \text{ mm}$ ）、大流动性混凝土（ $160 \sim 200 \text{ mm}$ ）、流态混凝土（坍落度 $\geq 200 \text{ mm}$ ）。

(5) 按施工方法分：泵送混凝土、喷射混凝土、离心混凝土、真空混凝土、振实挤压混凝土、升浆法混凝土。

2. 混凝土的特点

(1) 优点：混凝土具有好的可塑性；与钢筋等有牢固的黏结力，线膨胀系数相近；生产混凝土制品能源消耗较低；便于就地取材，可利用工业废料，生产成本低；能满足不同工程的需要。

(2) 缺点：抗拉强度低、自重大、比强度小、性脆易裂、受拉时抵抗变形小，施工质量受环境影响等。

(二) 普通混凝土的组成材料及要求

混凝土的组成：由水泥、砂、石、水等组成。

各组成材料的作用：水泥和水形成水泥浆在凝结前起润滑作用，在凝结后起胶结作用。砂石起骨架作用，砂填充石子的空隙。混凝土的技术性质在很大程度上取决于原材料的性质及其相对含量。

1. 水泥

(1) 水泥品种的选择。根据工程特点，所处环境条件，设计、施工要求选用。

(2) 水泥强度等级的选择。

一般混凝土水泥强度等级为混凝土强度等级的 1.5~2.0 倍，高强度等级的混凝土 ($\geq C60$) 水泥强度等级为混凝土强度等级的 0.9~1.5 倍。

2. 细集料

细集料是指粒径为 0.15~4.75 mm 的岩石颗粒。包括人工砂和天然砂。天然砂又包括山砂、河砂、海砂，工程中常用河砂。

《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ52—2006) 对砂的技术要求如下：

(1) 砂的颗粒级配及粗细程度：

①颗粒级配：是指砂大小颗粒相互搭配的情况。级配好的不仅砂空隙率小，可以节约水泥，而且混凝土结构密实，和易性、强度、耐久性都得以加强，还可以减少混凝土的干缩、徐变。

②粗细程度：是指不同粒径的砂混合在一起后的总体的粗细程度。同质量条件下，细砂的总表面积大，包裹所需水泥浆的数量多，粗砂的总表面积小，包裹所需水泥浆的数量少。砂的粗细程度会影响混凝土的和易性。砂的粗细程度用细度模数 (u_f) 表示，用 4.75 mm、2.36 mm、1.18 mm、0.60 mm、0.3 mm、0.15 mm 的方孔筛及筛底盘和盖各一只的标准套筛，算出各筛的累计筛余百分数 A_i ，经计算得出：

$$u_f = (A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 - 5A_1) / 100 - A_1$$

式中， A_i ——累计筛余率（精确至 0.1%）。

根据 u_f 将砂分为：粗砂 $u_f = 3.7 \sim 3.1$ ，中砂 $u_f = 3.0 \sim 2.3$ ，细砂 $u_f = 2.2 \sim 1.6$ ，特细砂 $u_f = 2.2 \sim 1.6$ 。3.7~1.6 称普通混凝土用砂。

根据 0.6mm 筛孔的累计筛余率分成三个配区并制成筛分曲线，区域中除 4.75 mm 和 6 mm 筛号外，允许有部分超出分界线，但其总量不应 $>5\%$ 。

(2) 砂中含泥量、泥块含量见表 1-1-1。

(3) 有害物质含量见表 1-1-2。砂中杂质包括草根、树枝、树叶、塑料、煤块，有含物质包括云母、轻物质、硫化物、硫酸盐及有机物，他们对混凝土的硬化，强度均有影响，其含量应控制在规定范围内。

表 1-1-1 天然砂的含泥量、泥块含量

混凝土强度等级	$\geq C60$	C30~C55	$\leq C25$
含泥量（按质量计）/%， $\leq$	2.0	3.0	5.0

混凝土强度等级	≥C60	C30~C55	≤C25
泥块含量 (按质量计)/%, ≤	0.5	1.0	2.0

表 1-1-2 有害物质含量

项目	质量指标
云母 (按质量计)/%, ≤	2.0
轻物质 (按质量计)/%, ≤	1.0
硫化物及硫酸盐 (按 SO ₃ 质量计)/%, ≤	1.0
有机物含量 (用比色法试验)	颜色不应深于标准色 ^注

注: 当颜色深于标准色时, 应按水泥胶砂强度试验方法进行强度对比试验, 抗压强度比不低于 0.95。

- (4) 砂的牢固性: 用硫酸钠溶液检验, 5 次循环后, 质量损失应符合规定要求。即优等品<8%; 一等品、合格品<10%。
- (5) 碱的含量要求: 要求混凝土中碱的含量不超过 3 kg/m³。

3. 粗骨料

粗骨料是指粒径大于 4.75 mm 的岩石颗粒, 包括碎石和卵石。卵石按产源不同分为山卵石、河卵石、海卵石等。人工碎石价高, 宜于>C50 的混凝土, 山卵石含黏土等杂质多, 海卵石含有机杂质多, 河卵石坚固洁净, 故工程中常用。

《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ52—2006) 对粗骨料的技术要求如下:

- (1) 颗粒级配及最大粒径: 颗粒级配用筛分法测定。标准筛孔径为 90 mm、75 mm、63 mm、53 mm、37.5 mm、31.5 mm、26.5 mm、19 mm、16 mm、9.5 mm、4.75 mm、2.36 mm 方孔筛, 底盖各一。

按供应分连续粒级和单粒级。

最大粒径是用来表示粗骨料的粗细程度的, 公称粒级的上限称为该粒级的最大粒径。粗骨料的最大粒径应根据建筑物及构筑物的种类、尺寸、钢筋间距及施工机械等来确定, 一般不宜超过 40 mm, 配制高强度混凝土时粗骨料最大粒径不宜大于 20 mm。《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204—2002) 对构件的最大粒径做了规定: 最大粒径不得大于结构截面最小边长 1/4, 同时不得大于钢筋间最小净距的 3/4; 混凝土实心板, 允许用板厚 1/3 但不得超过 40 mm; 对泵送混凝土, 碎石的最大粒径与输送管内径比不宜大于 1/3, 卵石不宜大于 1/2.5。

- (2) 粗骨料的强度: 要求质地坚硬, 有足够的强度。岩石的抗压强度应比所配制的混凝土强度至少高 20%。当混凝土强度等级≥C60 时, 应进行岩石抗压强度检验。

- (3) 压碎指标: 压碎指标是测定粗骨料抵抗压碎的能力, 常用于推算粗骨料强度。按下式计算压碎指标。

$$Q_a = (G_1 - G_2) / G_1 \times 100\%$$

式中, G_2 ——石子压碎后过 2.5 mm 筛筛余量重, kg;

G_1 ——石子未筛前重, kg。

在选择采石场或对粗骨料强度有严格要求或对粗骨料质量有争议以及需要经常对生产质量控制的混凝土时宜检验岩石抗压强度。

- (4) 坚固性: 反映粗骨料在自然风化和其他外界物理化学因素作用下抵抗破裂的

能力。用硫酸钠溶液浸渍法检验，经 5 次循环后质量损失应符合表 1-1-3 的要求。

表 1-1-3 坚固性指标

混凝土所处的环境条件及性能要求	5 次循环后质量损失
在严寒及寒冷地区室外，并经常处于潮湿或干湿交替状态下的混凝土，对有腐蚀性介质作用，或经常处于水位变化区的地下结构，或有抗疲劳、耐磨、抗冲击等要求的混凝土	≤ 8
其他条件下使用的混凝土	≤ 12

(5) 颗粒形状：针状颗粒——颗粒长度大于骨料平均粒径 2.4 倍者。

片状颗粒——颗粒厚度小于骨料平均粒径 0.4 倍者。针、片状含量要求见表 1-1-4。

表 1-1-4 针、片状含量要求

混凝土强度等级	$\geq C60$	C35~C55	$\leq C25$
针、片状颗粒（按质量计）/%，<	5	15	25

4. 拌和用水

混凝土拌和用水应符合《混凝土用水标准》(JGJ63—2006) 的具体要求。

(三) 普通混凝土的主要技术性质

混凝土拌合物要有良好的和易性，硬化后有足够的强度和耐久性。

1. 混凝土拌合物的和易性

和易性是指混凝土拌合物施工操作的难易程度和抵抗离析作用（即保持质量均匀密实）的性质。和易性是一项综合性质，包括流动性、黏聚性、保水性。

对和易性的测定，目前尚没有能全面反映混凝土拌合物和易性的测定方法，在工地和实验室，通常是测定混凝土拌合物的流动性，并辅以直观经验评定粘聚性和保水性。

(1) 流动性的测定方法：骨料粒径不大于 40 mm、坍落度不小于 10 mm 的塑性和流动性混凝土拌合物用坍落度与坍落扩展度法测定，骨料粒径不大于 40 mm 维勃稠度为 5~30 s 的干硬性混凝土拌合物用维勃稠度法测定。

(2) 流动性的选用：坍落度应根据结构种类，钢的疏密程度及捣实方法来确定，正确地选择坍落度对保证工程质量、混凝土强度、耐久性、节约水泥都很重要。见表 1-1-5。

表 1-1-5 混凝土浇筑时（机械振捣）坍落度的选择

结构种类	坍落度/mm
垫层、无筋大体积混凝土或配筋稀疏的结构	10~30
板、梁或大型及中型截面的柱子等	30~50
配筋密列结构（薄壁、斗仓、筒仓、细柱）	50~70
配筋特密结构	70~90

注：人工振捣时可适当加大；轻骨料混凝土拌合物，坍落度按表中数值减 10~20 mm。

(3) 影响混凝土和易性的因素：

①水泥浆的数量。

②水泥浆的稠度（即水灰比）：水灰比为 0.4~0.8 时，根据粗集料品种、粒径及施工要求的混凝土稠度，用水量合理选用。

③砂率（ β_s ）：混凝土中砂的质量占砂、石质量的百分率。对拌合物的和易性影响很大。砂率（ β_s ）的计算：

$$\beta_s = M_s / (M_s + M_g) \times 100\%$$

式中： M_s ——砂的质量，kg；

M_g ——石的质量，kg；

用砂原则：砂填满石子间的空隙并略有富余（即合理砂率）。合理砂率是指在用水量和水泥用量一定的情况下，能使混凝土拌合物获得最大流动性，且能保持黏聚性及保水性良好的砂率；或者能使混凝土拌合物获得所要求的流动性及良好的黏聚性与保水性，而水泥用量为最小的砂率值。

改善混凝土和易性的措施有：

- A. 选择好的水泥品种。
- B. 采用合理的砂率。
- C. 选用级配良好的集料。
- D. 在 W/C 不变的情况下，适当增加水泥浆的数量。
- E. 控制施工搅拌时间。
- F. 掺适量的外加剂。

2. 混凝土硬化后的性质

混凝土硬化后应有足够的强度和耐久性。

（1）混凝土的强度：混凝土的强度有三种。

①立方体抗压强度（ f_{cu} ）：混凝土抗压强度是指按标准试验方法制作和养护的边长为 150 mm 的立方体试件，在标准养护条件下养护 28 d，用标准试验方法测得的抗压强度值。立方体抗压强度标准值是指按标准试验方法制作和养护的边长为 150 mm 的立方体试件，在标准养护条件下养护 28 d，用标准试验方法测得的抗压强度整体分布值中的一个值，具有 95% 以上的强度保证率。普通混凝土按立方体抗压强度 28d 龄期，用标准试验方法测得有 95% 保证率的抗压强度标准值分为 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80 共 14 个强度等级。

混凝土的强度等级是混凝土结构设计时强度计算取值的依据。

②轴心抗压强度（ f_{cp} ）：轴心受压构件计算时是以轴心抗压强度为设计取值依据的。轴心抗压强度是以 150 mm×150 mm×300 mm 的棱柱体为标准试件。

③抗拉强度：是确定混凝土抗裂的重要指标，我国采用立方体或圆柱体试件的劈裂抗拉试验来测定混凝土的抗拉强度，故称为劈裂抗拉强度（ f_{ts} ）。混凝土按劈裂试验所得的抗拉强度换算成轴拉试验所得的抗拉强度 f_t ，应乘以换算系数。

三者的关系： $f_{cp} = 0.7 \sim 0.8 f_{cu}$ ， $f_{ts} = (1/10 \sim 1/20) f_{cu}$ 。

（2）影响混凝土强度的主要因素：

①水泥强度等级和水灰比。这是影响混凝土强度的主要因素、决定性因素。

瑞士学者鲍罗米提出了 f_{cu} 和 W/C 之间的关系。

$$f_{cu} = \alpha_a \cdot f_{ce} (C/W - \alpha_b)$$

式中, f_{cu} ——混凝土 28 d 龄期抗压强度, MPa;

f_c ——水泥 28 d 龄期抗压强度实测值, MPa。在无法测得水泥抗压强度实测值时可按 $f_c = \gamma_c \times f_{ce} \cdot g$ 求的, γ_c 为水泥强度等级的富余系数, 可按统计资料确定, 无统计资料时 $\gamma_c = 1.13$;

α_a 、 α_b ——回归系数。一般为碎石 $\alpha_a = 0.46$, $\alpha_b = 0.07$; 卵石 $\alpha_a = 0.48$, $\alpha_b = 0.33$ 。

试验证明: 混凝土拌合物的水灰比为 1.2~2.5 时, f_{cu} 与 C/W 呈直接关系。

②骨料。级配好、杂质少的骨料配制的混凝土强度高。碎石表面粗糙富有棱角, 与水泥黏结好, 强度高, 当 $W/C < 0.4$ 时, 用碎石配制的混凝土强度比卵石配制的混凝土强度高 1/3。

③养护温、湿度的影响。当温度为 5~40 °C, 温度越高、水泥水化速度越快, f_{cu} 越高; 当温度 > 40 °C 时, 早期强度高, 后期强度增进率低, 对混凝土长期不利; 但温度 < 0 °C 时, 水化停止, 水冻成冰后, 体积增加 9% 左右, 会使混凝土早期强度遭受破坏, f_{cu} 降低。因此《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204—2002) 中规定: 在混凝土施工完毕后 12 h 内对混凝土加以覆盖并保湿养护; 混凝土浇水养护时间, 对硅酸盐水泥、普通水泥、矿渣水泥拌制的混凝土不得少于 7 d, 掺缓凝型外加剂或有抗渗要求的混凝土不得少于 14 d。

④龄期的影响。早期发展快、后期 f_{cu} 发展慢, 在适宜的温、湿度条件下增长过程可达数 10 年之久。混凝土的强度发展与龄期的对数关系如下:

$$f_n / f_{28} = \lg n / \lg 28$$

式中: f_n —— n 天龄期时的混凝土抗压强度, MPa;

f_{28} ——28 d 龄期时的混凝土抗压强度, MPa;

n ——养护龄期, $n > 3$ d。

⑤施工方法的影响。机械拌和比人工拌和的好, 强制式搅拌机比自由落体式搅拌机拌和的好。实践证明: 在相同配合比和成型密实条件下, 机械拌和比人工拌和的混凝土强度高 10%。

⑥试验条件的影响。混凝土的强度还与试验过程中试件的形状、尺寸、表面状况、含水程度及加荷速度等有关。

(3) 提高混凝土强度的措施:

①采用高强度等级或快硬早强水泥。

②采用低 W/C 的干硬性混凝土。

③机拌机振。

④采用湿热处理养护混凝土: 蒸汽养护、蒸压养护。

⑤掺外加剂和掺合料。

3. 混凝土的耐久性

混凝土的耐久性是一项综合性质, 包括抗冻性、抗渗性、抗蚀性、抗碳化性能、碱-骨料反应、抗风化性能。

(1) 混凝土的抗冻性: 混凝土的抗冻性用抗冻等级 FN 表示, 分为 F10、F15、F25、F50、F100、F150、F200、F250、F300 等, 混凝土的密实度和孔隙特征是决定

抗冻性的重要因素。

(2) 抗渗性：是指混凝土抵抗水、油等压力液体渗透作用的性能。用抗渗等级表示，分为 P4、P6、P8、P10、P12 五个等级。混凝土的 W/C 对抗渗性起决定性作用。

(3) 混凝土的碳化：混凝土的碳化过程是 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ，是混凝土碱度降低的过程。

实践证明：碳化 D 深度与碳化时间 t 的平方根成正比： $D = \alpha \sqrt{t}$ ， α 是碳化速度系数。

(4) 碱-骨料反应：水泥中的碱与骨料中的活性物质发生反应，生成吸水膨胀的物质，使水泥石胀裂。

提高混凝土耐久性的措施有：

- (1) 根据工程所处环境，选择合适的水泥品种。
- (2) 选用品质良好、级配良好的骨料。
- (3) 掺外加剂，改善混凝土性能。
- (4) 适当控制水灰比和水泥用量。
- (5) 加强浇捣和养护，提高密实度和混凝土的抗压强度。
- (6) 将混凝土表面做处理。

(四) 普通混凝土的质量控制

1. 混凝土生产质量控制的必要性

质量波动的原因：原材料的影响；施工操作的影响；试验条件的影响。

2. 混凝土质量的波动规律

在一定的施工条件下，对同一种混凝土进行随机取样，制作 n 组试件 ($n \geq 25$) 测其 28 d 龄期的抗压强度。

3. 混凝土拌合物的质量检查与控制

① 原材料计量，允许偏差：水泥、水、掺合料、外加剂 ($\pm 2\%$)、粗、细骨料 ($\pm 3\%$)。

② 混凝土搅拌时间控制为 1~2.5 min。

③ 坍落度检查 ≥ 2 次/工作班。

二、砂浆

建筑砂浆由胶凝材料、细集料、掺加剂、水按适当的比例配制而成。

建筑砂浆的应用范围很广。主要用于组砌块体材料形成砌体，做结构、墙体等表面涂层，起修饰、保护作用，用做墙体勾缝、墙板接缝，镶贴大理石、面砖等。

建筑砂浆的种类很多，按用途分为砌筑砂浆、防水砂浆、装饰砂浆、抹面砂浆、隔热砂浆、保温砂浆、防腐砂浆。按胶凝材料分为水泥砂浆、石灰砂浆、石膏砂浆、混合砂浆。

(一) 砌筑砂浆

将块状材料黏结成砌体的砂浆，起胶结和传递荷载作用。

1. 砌筑砂浆的组成材料

(1) 水泥：根据所有部位、环境条件及砂浆强度等级选择合适的水泥品种、强度等级。水泥的强度等级为砂浆强度等级的 4.0~5.0 倍，用于配制水泥砂浆的水泥其强度等级不宜大于 32.5 级，用于配制水泥混合砂浆的水泥其强度等级不宜大于 42.5 级。

(2) 掺加料（外掺料）：为改善砂浆的和易性，节约水泥而掺入。外掺料的品种有石灰膏、黏土膏、细生石灰粉等。石灰、黏土均应调制成稠度为 12 cm 膏状体掺入砂中。

(3) 砂：主要为天然砂，且符合混凝土用砂的技术要求。使用时要过筛、用不含杂质的中砂。对砂的最大粒径限制：毛石砌体 $\Phi_{\max} \geq (1/5 - 1/4)$ 砂浆层厚，砖砌体 $\Phi_{\max} \geq 2.5$ mm，抹面和勾缝用细砂。对砂中杂质含量要求 $\geq M5$ 的含泥量 $\geq 5\%$ ， $< M5$ 的含泥量 $\geq 10\%$ 。

(4) 水：符合混凝土用水标准。

2. 砌筑砂浆的性质

与混凝土性质相近，如和易性、强度理论等，但又不完全相同。

(1) 和易性：新拌砂浆要求有良好的和易性。砂浆的和易性包括流动性和保水性。

①流动性是砂浆在自重或外力作用下是否易于流动的性质。流动性用砂浆稠度仪器测定，用“沉入度”(cm)计量，标准圆锥沉入 10 s 后的下沉深度。沉入度大，砂浆流动性大，但过大会影响砂浆强度。砂浆流动性的大小与砌体材料种类、施工气候条件、胶凝材料用量、用水量、砂的粗细、搅拌时间等有关。

②保水性是指砂浆保持水分的能力。用砂浆分层度测定仪测定，用“分层度”(cm)表示。测法：试锥沉入砂浆深度静置 30 min，去掉上面 20 mm 厚，将余下的 10 cm 重拌好后测沉入度，两次之差。1~2 cm 保水性好。 >2 cm 易离析，不便施工。 $\rightarrow 0$ cm 时，易裂，不宜做拌和砂浆。保水性与材料组成有关。

(2) 砂浆硬化后的性质：

①强度等级 以边长 70.7 mm 的立方体试块、标养 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$ ，一定湿度) 28 d，由标准试验方法测得的抗压强度值确定，划分为 M20、M15、M10、M7.5、M5、M2.5 六个强度等级。

②影响强度等级的因素 与砂浆本身的组成材料和配合比有关，还与基层材料的吸水性有关。

不吸水底面材料 $f_{m,o}$ 主要取决于水泥的强度等级（标号）和水灰比。

$$f_{m,o} = 0.29f_c (W/C - 0.4)$$

吸水底面材料 $f_{m,o}$ 主要取决于水泥强度等级和水泥用量，而与 W/C 无关。

$$f_{m,o} = \alpha \cdot M_c \cdot f_c / 1000 + \beta$$

式中： $f_{m,o}$ ——砂浆的试配强度，MPa；

M_c ——水泥用量，kg；

f_c ——水泥 28 d 实测强度，MPa；

α 、 β ——砂浆特征系数， $\alpha = 3.03$ 、 $\beta = -15.09$ 。

3. 黏结力

砂浆要求有一定的黏结力。它与块状材料表面状态、清洁程度、湿润情况、养护、施工条件、砂浆强度等有关。砌砖时其含水率保持 10%~15%。

4. 砂浆的变形

在受荷和温度变化时易变形，其变形过大或不均匀，会降低砌体质量，引起裂缝或裂隙。

5. 砂浆配合比设计

设计步骤：

1) 计算配制强度 $f_{m,o}$ ：

$$f_{m,o} = f_2 + 0.645\delta$$

式中， f_2 ——指设计强度等级；

δ ——砂浆现场强度标准差（按统计计算或查表 1-1-6）。

2) 计算水泥用量 M_C ：

$$M_c = \frac{1000(f_{m,o} - \beta)}{\alpha \cdot f_\sigma}$$

3) 计算掺加料（石灰膏或黏土膏）用量：

$$M_D = M_A - M_C$$

式中， M_D ——掺合料用量；

M_A ——水泥和掺合料的总量；一般应为 300~350 kg/m³。

4) 确定砂用量：砂含水<0.5%时，1 m³ 砂浆需 1 m³ 砂。

5) 确定用水量：根据砂浆的稠度等级可选用 240~310 kg。

6) 试配与调整：按配合比测其拌合物的和易性，通过调整用水量或掺加料确保稠度和分层度满足要求，得基准配合比。

在基准配合比基础上增、减 10% 的水泥用量，做三组不同配合比试块（确保和易性良好），测砂浆 28 d 的强度，选择合适的强度且水泥用量较小的砂浆配合比。

表 1-1-6 砂浆现场强度标准差

砂浆强度等级 施工水平	M2.5	M5	M7.5	M10	M15	M20
优良	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00
一般	0.62	1.25	1.88	2.50	3.75	5.00
较差	0.75	1.50	2.25	3.00	4.50	6.00

（二）抹面砂浆

抹涂在建筑物或构筑物表面的砂浆。对建筑物、构筑物起保护、装饰作用，提高其耐久性。要求有良好的和易性，便于施工，较高的黏结力。

1. 一般抹面砂浆

底层抹灰：起黏结牢固（与基层）作用。稠度 10~12 cm，砂粒径 3 mm 以下。

中层抹灰：起找平作用。稠度 7~9 cm，砂粒径 2.6 mm，用混合、石灰砂浆。

面层抹灰：起装饰作用。稠度 7~8 cm，砂粒径 1.21 mm，用混合、麻刀、石灰砂浆。

砖墙底层常用石灰砂浆，有防水、防潮的用水泥砂浆。

板条顶棚用混合或石灰砂浆。

混凝土墙、梁、柱用混合砂浆。

2. 装饰砂浆

涂在建筑物内外表面起美观装饰效果的抹面砂浆。底中层与普通抹面砂浆同，面层主要是装饰作用。常用胶凝材料：普通水泥、矿渣水泥、火山灰水泥、白水泥、彩色水泥。外墙面装饰砂浆的常用工艺做法：拉毛、水刷石、水磨石、干黏石、斩假石。

3. 防水砂浆

有防水作用的砂浆，又叫刚性防水层。宜于受振动和具有一定刚度的混凝土或砖石砌体工程，可在普通水泥砂浆中掺防水剂。防水砂浆的施工对操作要求高，先将水泥、砂干拌均匀，再将调好的防水剂（水溶液）与水泥砂拌制好，即可使用，涂抹时每层涂 5 mm 厚，共涂 4~5 层，抹前清洁底层再抹一层纯水泥浆，每层在初凝前用木抹子压实一遍，最后一层要压光，确保其密实。

三、建筑钢材

钢材是建筑工程中三大主材之一，有型钢、钢筋、管材、板材、小五金、装饰材料等。

（一）钢筋冶炼与分类

1. 炼铁

在高炉中 铁矿石+焦炭+石灰石→生铁+炉渣

特点： $C > 2\%$ ，呈脆性，熔点低（ $1\ 100 \sim 1\ 250^\circ\text{C}$ ），亦称铸铁或灰口生铁（铸造用），断口呈灰色。

2. 炼钢

将生铁中的 C 降低到 2% 以下，采用氧化→造渣（渣比重小，浮于其表面，被淘汰）→脱氧而成。

钢的特点：含 $C < 2\%$ ，韧性好、熔点高（ $1\ 400 \sim 1\ 500^\circ\text{C}$ ）。

3. 钢的分类

（1）按冶炼方法分：转炉钢炼钢、平炉钢（炼优质钢）、电炉炼钢。转炉钢炼钢有空气转炉炼钢和氧气转炉炼钢（炼优质碳素合金钢）。

（2）按脱氧程度分：沸腾钢、镇静钢、半镇静钢。

（3）按化学成分分：①碳素钢，包括低碳钢 $C \leq 0.25\%$ ，中碳钢 $C \in (0.25\% \sim 0.6\%)$ ，高碳钢 $C > 0.6\%$ 。②合金钢，包括低合金钢（合金元素总含量 $< 5.0\%$ ），中合金钢（合金元素总含量在 $5.0\% \sim 10\%$ ），高合金钢（合金元素总含量 $> 10\%$ ）。

（4）按质量分：普通碳素钢、优质碳素钢、高级优质钢。

（5）按用途分：结构钢、工具钢、特殊钢。

（二）钢材的主要性能

1. 拉伸性能

（1）试验材料：从一批（60 t）钢材中任取 2 根，长度：长（ $10d + 200\text{ mm}$ ）、短（ $5d + 200\text{ mm}$ ）。

（2）拉伸图，见图 1-1-1。

①弹性阶段（OB 段） 该阶段的主要指标有 σ_p 弹性极限（比例极限）和弹性模量 $E = \text{tg } \alpha = \sigma / \epsilon$ 。E 是反映钢材抵抗弹性变形的能力，是钢材变形计算的重要指标。

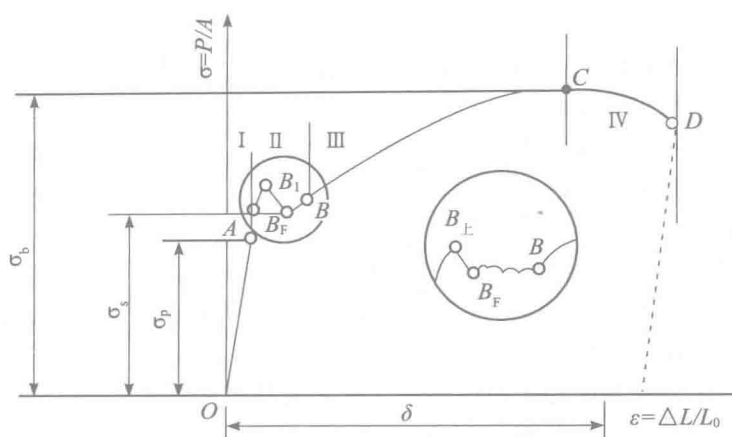


图 1-1-1 低碳钢受拉的应力—应变图

②屈服阶段（BC 段）有明显的塑性变形。该阶段的主要指标有屈服点 σ_s （ C_F 对应点）。屈服点是确定钢材容许应力的主要依据，是设计计算取值的依据。

I 级钢筋： $\sigma_s=235$ MPa；II 级钢筋： $\sigma_s=335$ MPa。

③强化阶段（CD 段）内部晶格重新组织，防止晶格继续滑移，重新有了抵抗变形的能力。该阶段的主要指标有抗拉强度 σ_b 。

抗拉强度 σ_b 值：I 级 $\sigma_b=370$ MPa；II 级 $\sigma_b=455$ MPa。

屈强度比（ σ_s/σ_b ）：是衡量钢筋利用率和安全可靠程度的指标。

Q235： $\sigma_s/\sigma_b \in (0.58 \sim 0.63)$ ，低合金钢： $\sigma_s/\sigma_b \in (0.65 \sim 0.75)$ ，常用 $0.6 \sim 0.75$ 。

④颈缩阶段（DE 段）变形迅速发展，断面急剧缩小，直至断裂。该阶段的主要指标有伸长度和断面收缩率。

伸长度 $\delta = (L_1 - L_0)/L_0 \times 100\%$ 衡量钢材塑性的指标。

$L_0=10d$ 称 δ_{10} ， $L_0=5d$ 称 δ_5 ，同种钢材 δ_5 应大于 δ_{10} 。

断面收缩率 $\Psi = (A_0 - A_1)/A_0 \times 100\%$ 。

式中， L_1 ——试件拉断后标距间的长度，mm；

L_0 ——试件原标距间长度，mm。

2. 冲击韧性

冲击韧性是指钢材抵抗冲击荷载而不破坏的能力。冲击韧性值越大，说明冲击韧性越好。钢材存有“低温脆性”，脆性临界温度 $-40 \sim -20$ °C。

钢材存在时效影响，故重级工作制和起重量 ≥ 50 t 的中级工作制吊车的焊接吊车梁、吊车桁架，低温下工作的重要结构须有冲击韧性合格保证。

3. 硬度

硬度是指钢材抵抗硬物压入产生局部变形的能力。硬度的测定方法常采用布氏法和洛氏法。建筑钢材常用硬度指标为布氏硬度值，其代号为 HB。利用硬度和抗拉强度间的关系，可以通过测定硬度值来推知钢材的抗拉强度。各类钢材的布氏强度 HB 与抗拉强度之间有如下近似关系：当 $HB < 175$ 时， $\sigma_b \approx 0.36HB$ ；当 $175 < HB < 450$ 时， $\sigma_b \approx 0.35HB$ 。

4. 疲劳强度

疲劳强度是指钢材在交变应力作用下应力远低于抗拉强度的情况下突然破坏，一般钢筋的疲劳强度交变次数 1.0×10^7 次。

一般由拉应力引起，从局部开始形成细小裂纹，由裂纹尖角处的应力集中再使其逐渐扩大，直到疲劳破坏为止。

5. 冷弯性能

常温下承受弯曲变形的能力，是钢材重要的工艺性能。

表示方法：弯曲角度（ 90° 或 180° ），弯心直径 d 与试件直径（钢材厚度）的比值 $d/a=M$ 。 M 越小则冷弯性能越好。

检查按规定的弯曲角度和直径试验后，弯曲处外面和侧面不发生裂缝、裂纹、断裂情况即冷弯合格。冷弯能暴露钢材内部组织不均匀，存在内应力和夹杂物、裂纹、偏析及焊接时的局部脆性和焊接头质量缺陷。

冷弯性能也是评定塑性和焊接质量的重要指标之一，对弯曲成型和重要结构用钢，其冷弯性能必须合格。

（三）钢的主要化学成分及其对性能的影响

碳 决定钢性的重要元素，以渗碳体存在于钢中。

硅 大部分溶于铁素体中，能提高 σ_s 和 σ_b 。

锰 溶于铁素体中，起脱氧去硫作用，消除热脆性，降低冷脆性，改善热加工性质，强度和硬度提高，但锰含量过高钢的焊接性能会显著降低。

磷 原料中带入，能溶于铁素体中，使钢的强度提高，但塑性和韧性显著降低，低温下更甚。属于有害杂质，增大冷脆性，降低焊接性，但可提高耐磨性和耐蚀性。

硫 原料中带入，在钢中以硫化铁夹杂物存在，有害杂质，产生热脆性，大大降低钢的热加工性和可焊性。

氧 以 FeO 形式存在于钢中，能降低钢的机械性能和强度，增加热脆性，冷弯性变坏，焊接性下降，属有害杂质。

氮 加剧钢材的时效敏感性和冷脆性，降低钢材的焊接性和冷弯性。

钛 较强的脱氧剂，钛可提高可焊性和抗大气腐蚀性，显著提高钢的强度，但塑性降低，能细化晶体。

钒 弱脱氧剂，能细化晶体，它可减弱碳和氧的不利影响，提高强度，改善韧性，减少冷脆性，降低可焊性。

（四）钢材的冷加工强化时效及其作用

将钢常温下冷拉、冷拔、冷轧，使其产生塑性变形，提高 σ_s ，而塑性、韧性下降的过程称为冷加工强化处理。

1. 冷拉时效

钢筋冷拉于常温下存放 15~20 d，或加热到 $100 \sim 200^\circ\text{C}$ ，保持 2 h，称为人工时效，其强度提高，弹性模量基本恢复。

冷拉可使 σ_s 提高 20%~30%，冷拔可使 σ_s 提高 40%~60%。

2. 冷拔

冷拔是将外形为光圆的盘条从拔丝模孔（钨合金模具）中强力拔出。分为甲级和乙级。甲级作预应力筋，乙级作焊接网、焊接骨架、箍筋和构造钢筋。

3. 热处理

将钢材按一定规则加热、保温和冷却，以获得需要性能的一种工艺。其工艺包括退火、正火、淬火、回火、化学热处理等。

（五）钢材的锈蚀与防止

锈蚀：是指其表面与周围介质发生化学反应而遭到的破坏。

按作用机理分为：化学锈蚀（温、湿度提高会加快锈蚀）和电化学锈蚀（在存放、使用中发生锈蚀的主要形式）。

锈蚀防锈措施：在钢材表面做保护层或做电化学保护层或制成合金钢。

（六）钢材的防火

裸钢耐火极限仅 15 min 左右，在 500 ℃ 环境下，强度迅速降低，用防火涂料作表面处理。常用：STI-A 型钢结构防火涂料和 LG 钢结构防火隔热涂料。

（七）建筑钢材的常用钢种的技术标准与选用

建筑中常用钢种有碳素结构钢和优质碳素结构钢。

1. 碳素结构钢

产量最大，用途最广，多轧制成热轧板、钢管、钢带、型钢、棒材等。现行标准《碳素结构》（GB/T700—2006）规定了牌号表示方法、技术要求、试验方法、检验规则等。

（1）牌号表示方法：

屈服强度字母 σ_s 数值 质量等级 脱氧程度
Q 195、215、235、275 （A、B、C、D 好） F、b、z、Tz
例 Q235AF——屈服强度为 235MPaA 级沸腾钢。

（2）技术要求：

有化学成分（表 1-1-7）、力学性质（表 1-1-8）、冷弯性能（表 1-1-9）、交货状态、冶炼方法、表面质量等要求。

表 1-1-7 碳素结构钢化学成分

牌号	统一数字 代号 ^①	等级	厚度（或 直径）/mm	脱氧方法	化学成分/%，不大于				
					C	Si	Mn	P	S
Q195	U11952	—	—	F、Z	0.12	0.30	0.50	0.035	0.040
Q215	U12152	A	—	F、Z	0.15	0.35	1.20	0.045	0.050
	U12155	B							0.045
Q235	U12352	A	—	F、Z	0.22	0.35	1.40	0.045	0.050
	U12355	B			0.20 ^②				0.045
	U12358	C		Z	0.17			0.040	0.040
	U12359	D		TZ				0.035	0.035

牌号	统一数字 代号 ^①	等级	厚度（或 直径）/mm	脱氧方法	化学成分/%，不大于				
					C	Si	Mn	P	S
Q275	U12752	A	—	F、Z	0.24	0.35	1.50	0.045	0.050
	U12755	B	≤40	Z	0.21			0.045	0.045
			>40		0.22			0.045	
	U12758	C	—	Z	0.20			0.040	0.040
	U12759	D		TZ				0.035	0.035

注：①表中为镇静钢、特殊镇静钢牌号的统一数字，沸腾钢牌号的统一代号如下：
Q195F—U11950； Q215AF—U12150， Q215BF—U12153； Q235AF—U12350， Q235BF—U12353；
Q275AF—U12750。
②经需方同意，Q235B的碳含量可不大于0.22%。

表 1-1-8 碳素结构钢力学性质

牌号	质量等级	拉 伸 试 验											冲击试验 (V形缺口)		
		屈服强度 ^① σ _s /MPa，不小于 钢材厚度（或直径）/mm						抗拉强度 ^② σ _b /MPa	断后伸长率δ/%，不小于					温度	冲击吸收功（纵向）(J)， 不小于
									钢材厚度（或直径）/mm						
		≤16	16 ~40	40 ~60	60 ~100	100 ~150	150 ~200		≤40	40 ~60	60 ~100	100 ~150	150 ~200		
Q195	—	195	185	—	—	—	—	315~430	33	—	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335~450	31	30	29	27	26	—	—
	B													+20	27
Q235	A	235	225	215	215	195	185	370~500	26	25	24	22	21	—	—
	B													+20	27 ^③
	C													0	
	D													-20	
Q275	A	275	265	255	245	225	215	410~540	22	21	20	18	17	—	—
	B													+20	27
	C													0	
	D													-20	

注：①Q195的屈服强度值仅供参考，不作交货条件。
②厚度大于100 mm的钢材，抗拉强度下限允许降低20 MPa。宽带钢（包括剪切钢板）抗拉强度上限不作交货条件。
③厚度小于25 mm的Q235B级钢材，如供方能保证冲击吸收功值合格，经需方同意，可不作检验。

表 1-1-9 碳素结构钢冷弯性能

牌 号	试样方向	冷弯试验 180° B=2a ^①	
		钢材厚度（或直径） ^② /mm	
		≤60	>60~100
		弯心直径 d	
Q195	纵	0	
	横	0.5a	
Q215	纵	0.5a	
	横	a	
Q235	纵	a	
	横	1.5a	

牌 号	试样方向	冷弯试验 180° $B=2a^{①}$	
		钢材厚度（或直径） ^② /mm	
		≤60	>60~100
		弯心直径 d	
Q275	纵	1.5a	2.5a
	横	2a	3a

注：① B 为试样宽度， a 为试样厚度（直径）。
 ②钢材厚度（或直径大于100 mm）时，弯曲试验由双方协商确定。

（3）性能分析与用途：碳素结构钢随着牌号的增加，含C量增加、 σ_s 增加、 σ_b 增加，但伸长率降低，塑性、韧性和冷弯性能降低。

Q195 Q215：强度较低， δ 值较大（26%~33%），韧性好、冷弯性能好，易于冷加工，常用于轧制薄板和盘条，制作钢钉、铆钉、螺栓、铁丝。

Q235：除A级外，B~D级均有较高的冲击韧性和强度，良好的塑性和可加工性，能满足一般结构的要求，可轧制各种型钢、钢板、钢管、钢筋。是建筑工程中主要应用品牌，A级用于静荷载作用的结构，C级和D级可用做重要的焊接结构，D级尤其适用于低温下工作的结构。

Q275：强度较高，韧性、塑性差，冷加工难，焊接性能差，可用于钢筋混凝土结构，钢结构中的构件与螺栓。Q275含C>0.28%时，硬脆、耐磨性好，用做机械零件、工具等。

选用原则：用做承重结构的钢材，应根据重要性（结构）、荷载特征、连接方式（焊、铆等）、工作温度等选择钢号和材质。下列情况不宜用沸腾钢（承重结构）：

①焊接结构：重级工作制吊车梁，吊车架或类似结构；计算温度低于-20℃时的轻、中级工作制吊车梁、吊车架或类似结构；计算温度低于-30℃时的其他承重结构。

②非焊结构：计算气温低于-20℃的重级工作制吊车梁、吊车架等。

2. 低合金高强度结构钢

在碳素结构钢中掺入少量的合金元素，使钢材强度、耐腐蚀性、耐磨性、低温冲击韧性显著提高和改善。

（1）牌号：国家标准《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591—2008）规定按力学性能和化学成分分为Q295、Q345、Q390、Q420、Q460；按P、S含量分A、B、C、D、E五个质量等级，E级最好。

（2）技术要求：化学成分见表1-1-10，力学性质、冷弯性能见表1-1-11。

表 1-1-10 低合金高强度结构钢化学成分

牌号	质量等级	化学成分/%										
		C≤	Mn	Si	P≤	S≤	V	Nb	Ti	Al≤	Cr≤	Ni≤
Q295	A	0.16	0.80~1.50	0.55	0.045	0.045	0.02~0.15	0.015~0.060	0.020~0.020	—		
	B	0.16	0.80~1.50	0.55	0.040	0.040	0.02~0.15	0.015~0.060	0.020~0.020	—		