

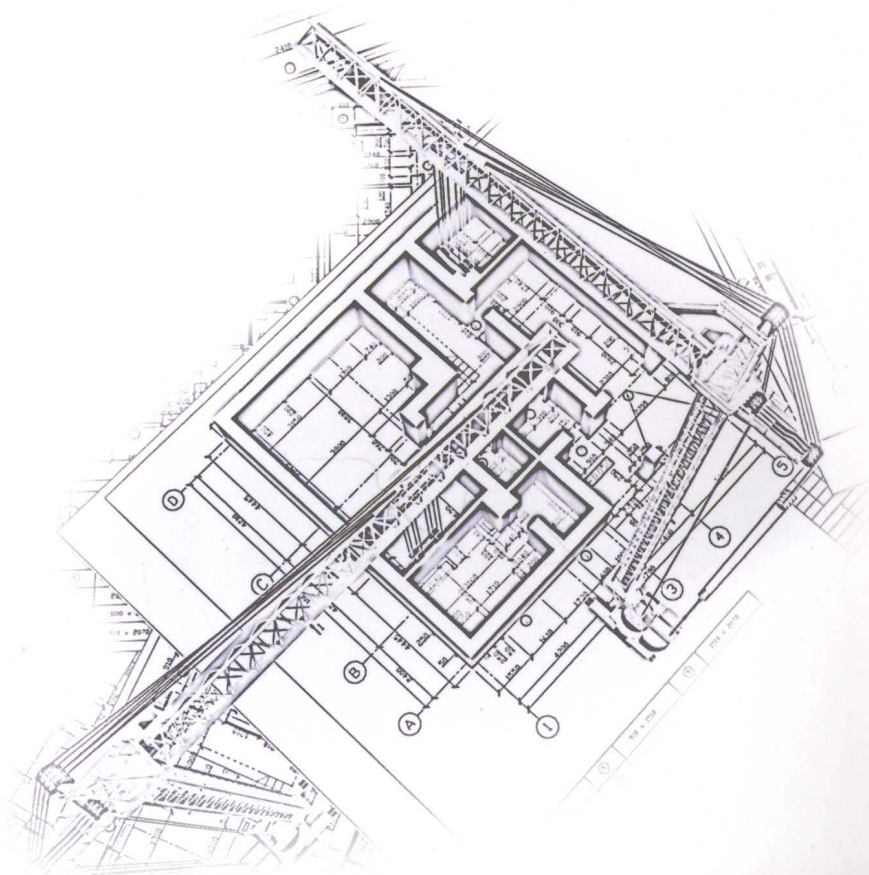


“十二五”高等教育规划教材

HUNNINGTU
JIEGOU SHIGONG

混凝土 结构施工

主编 陈引花



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十二五”高等教育规划教材

混凝土结构施工

主 编	陈引花	
副主编	孙曼莉	杜国安
参 编	柳红卫	李卫文
主 审	张泽平	

前 言

本书是根据高等教育混凝土结构施工课程标准和参照建筑类管理人员从业资格要求编写，适用于高等学校建筑工程技术专业和建筑施工一线工作人员使用。

本着结构立意要新、内容重技能实用、理论以够用为度的原则，根据《混凝土结构施工质量验收规范（2011年版）》（GB 50204—2002）、《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）、《建筑施工高处作业安全技术规范》（JGJ 80—1991）、《建筑施工安全检查标准》（JGJ 59—1999）、混凝土结构施工图制图规则等编写了本书。

本书以典型工作任务为载体来设计章节、组织教学，构建以提出“任务”、分析“任务”、完成“任务”为主线的能力培养进行学习内容安排，伴随完成工作任务来进行理论知识的学习。内容详实具体，便于在学习和实际工作应用时加以参考。

本书由陈引花担任主编，孙曼莉、杜国安任副主编，柳红卫、李卫文参加编写。全书由陈引花统稿，李卫文校对，张泽平教授主审。

在本书编写过程中，得到了袁辉和李仲教授的大力支持和帮助，在此一并感谢。本书参考了书后所附参考文献的部分资料，在此向所有参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编写时间较紧，编者水平有限，书中难免存在不妥和疏漏之处，恳请批评指正。

编 者

目 录

绪 论	(1)
学习情境 1 框架结构施工	(2)
学习单元 1.1 框架结构构件承载力计算	(2)
学习单元 1.2 框架结构施工图识读	(48)
学习单元 1.3 脚手架工程	(69)
学习单元 1.4 框架结构模板工程	(90)
学习单元 1.5 框架结构钢筋工程	(106)
学习单元 1.6 框架结构混凝土工程	(125)
学习情境 2 剪力墙结构施工	(146)
学习单元 2.1 剪力墙结构施工图识读	(146)
学习单元 2.2 剪力墙结构模板工程	(158)
学习单元 2.3 剪力墙结构钢筋工程	(171)
学习单元 2.4 剪力墙结构混凝土工程	(179)
学习情境 3 排架结构施工	(185)
学习单元 3.1 排架结构施工图识读	(185)
学习单元 3.2 装配式单层工业厂房排架结构施工	(198)
学习情境 4 预应力混凝土结构施工	(221)
学习单元 4.1 预应力混凝土结构施工图识读	(221)
学习单元 4.2 预应力混凝土结构施工	(233)
参考文献	(266)

绪 论

建筑产品生产过程的组织比一般工业产品生产过程的组织要复杂得多,这是建筑产品的固定性、多样性、综合性所决定的。建筑产品的生产过程属于多专业、多工种、平行交叉的综合性生产过程,建设周期长,受自然气候环境影响较大。因此,建筑产品生产必须合理确定其施工程序与施工进度,对施工的相互配合要预先做出周密的布置与安排,要充分利用建筑空间与时间,这是顺利实施建筑产品生产的关键。

建筑工程技术专业是建筑类专业中最基础、最核心的专业,对于将要在工程施工生产第一线从事施工工作的建筑类专业学生来说,掌握建筑产品生产规律,做到预先计划施工、事前设计施工、提前掌控施工凸显尤为必要。

1. “混凝土结构施工”课程的性质

“混凝土结构施工”是高等院校建筑类专业的主要技术课程之一,是建设工程管理科学中一门技术性、专业性、实践性都很强的课程。对于掌握混凝土结构工程施工技术、指导施工人员操作、进行施工管理都具有十分重要的技术意义。

2. “混凝土结构施工”课程的研究对象与任务

“混凝土结构施工”是研究混凝土结构工程施工技术与施工管理的一门学科。混凝土结构施工必须遵循建筑施工的客观规律,采用现代科学技术和方法,对建筑施工过程合理组织与协调,以使建筑工程施工质量得到更好地保证。

“混凝土结构施工”课程的主要任务:全面理解国家制定的基本建设方针政策及各项具体的技术经济政策;以工程或项目为对象,掌握混凝土结构施工的一般原理及混凝土结构施工的内容、方法和质量标准;熟悉混凝土结构施工技术理论,并在学习过程中,通过混凝土结构施工图识读、填写混凝土结构工程施工技术交底记录并加以实践。

3. “混凝土结构施工”课程的学习方法与要点

本课程是一门综合性、实践性很强的课程,要学好本课程必须注意以下几点:

(1)学习本门课程,一定要坚持理论联系实际。从该工程的特点和施工条件出发,规划符合实际的施工方案,并在实践中进行检验、丰富和完善。除了加深对施工技术理论的理解和掌握以外,必须熟悉混凝土结构施工相关的规范、规程、技术标准、施工图标准图集。

(2)学习本门课程,重在实践,一定要边熟悉专业理论,边完成专业实训。在学习过程中,要求完成四至五套施工图识读,填写各种类型混凝土结构工程施工技术交底记录,完成混凝土结构小型工程施工的基本操作。

(3)作为一个合格的建筑施工技术人员,必须重视对国家颁布的有关建设方针、政策、规划的学习和领会,提高作为工程技术人员的基本职业素养。

(4)本课程是一门多学科交叉的边缘科学,与它相关的课程有建筑施工图识读与绘制、地基与基础工程施工、砌体结构工程施工、钢结构施工、建筑施工组织设计实务、施工和建筑功能性工程施工及建筑工程经济实务等,所以应注意综合运用相关课程的专业知识,更好地理解该门课程的专业理论与实践,同时为后续专业课程的学习打下良好的基础。

学习情境 1 框架结构施工

能力描述

会进行基本构件承载力计算;能够熟练识读框架结构施工图;会进行脚手架工程施工技术交底;会进行脚手架计算;能够进行脚手架支设与拆除的基本操作;能够熟练进行脚手架工程的施工质量检验;会进行模板工程施工技术交底;会进行模板设计;能够进行模板支设与拆除的基本操作;能够进行模板工程的施工质量检验;会进行钢筋工程施工技术交底;会进行钢筋下料计算与钢筋代换;能够进行钢筋加工与安装的基本操作;能够进行钢筋工程熟练质量检查与验收;会进行混凝土工程施工技术交底;会进行混凝土配合比计算;能够确定混凝土浇筑与养护方案;能够进行熟练混凝土工程质量检查与验收。

目标描述

熟悉框架结构材料力学性能;熟悉基本构件承载力计算方法;掌握框架结构施工图制图规则与标准构造详图识读方法;熟悉框架结构施工脚手架设计原则与方法;熟悉脚手架工程的施工工艺与安全要求;掌握脚手架工程施工质量验收标准与验收方法;熟悉框架结构构件模板设计原则与方法;熟悉模板工程的施工工艺与安全要求;掌握模板工程施工质量验收标准与验收方法;掌握钢筋下料长度计算方法;掌握钢筋代换原则与方法;熟悉钢筋加工与安装的施工工艺;掌握钢筋工程施工质量验收标准;熟悉混凝土配合比设计原则与步骤;熟悉混凝土搅拌设备与搅拌方法;熟悉混凝土运输设备与输送要求;掌握混凝土浇筑工艺;熟悉混凝土养护与拆模的要求;掌握混凝土施工质量验收标准。

学习单元 1.1 框架结构构件承载力计算

1.1.1 任务描述

工作任务 1: 现浇框架结构楼板承载力计算

某现浇框架结构楼板为单向板,板厚 $h = 100\text{ mm}$,承受弯矩设计值 $M = 5.78\text{ kN}\cdot\text{m}$,混凝土强度等级为 C30,采用 HPB300 级钢筋。

具体任务如下:

- (1) 计算跨中受拉钢筋截面面积 A_s 。
- (2) 依据计算结果和构造要求选用受拉钢筋和分布钢筋。

工作任务 2: 现浇框架结构框架梁承载力计算

某现浇框架结构框架梁,构件安全等级为二级,承受弯矩设计值 $M = 110\text{ kN}\cdot\text{m}$,剪力设计值 $V = 178.2\text{ kN}$,若采用 C25 混凝土、HRB335 级钢筋,梁计算截面 $b \times h = 250\text{ mm} \times 550\text{ mm}$ 。

具体任务如下:

- (1) 计算纵向受拉钢筋截面面积 A_s 。

(2) 计算所需受剪箍筋用量 A_{sv} 。

工作任务 3: 现浇框架结构框架柱承载力计算

某现浇多层钢筋混凝土框架结构,底层中柱按轴心受压构件计算,柱高 $H = 6.4$ m,柱截面面积 $b \times h = 400$ mm $\times$ 400 mm,承受轴向压力设计值 $N = 2450$ kN,采用 C30 级混凝土,HRB335 级钢筋,求纵向钢筋面积,并配置纵向钢筋和箍筋。

具体任务如下:

(1) 计算柱纵向钢筋的截面面积 A'_s 。

(2) 选配纵向钢筋和箍筋。

1.1.2 案例示范

一、案例描述

【工作任务 1】一现浇框架结构楼板为单向板,板厚 $h = 80$ mm,承受弯矩设计值 $M = 4.52$ kN $\cdot$ m,混凝土强度等级为 C25,采用 HPB300 级钢筋。

(1) 计算跨中受拉钢筋截面面积 A_s 。

(2) 依据计算结果和构造要求选配受拉钢筋和分布钢筋。

【工作任务 2】某现浇框架结构框架梁,支座截面负弯矩设计值 $M = 150$ kN $\cdot$ m,支座边缘处截面剪力设计值 $V = 180.2$ kN,计算截面尺寸 $b \times h = 250$ mm $\times$ 500 mm;环境类别为一级,混凝土强度等级为 C30,纵向受拉钢筋采用 HRB335 级钢筋,箍筋采用 HPB300 级钢筋。

(1) 计算纵向受拉钢筋截面面积 A_s 。

(2) 计算所需受剪箍筋用量 A_{sv} 。

【工作任务 3】某建筑安全等级为二级的无侧移现浇多层框架的中间柱如图 1-1 所示,采用 C25 级混凝土,HRB335 级钢筋,每层楼盖传至柱上的荷载设计值为 430.6 kN。

(1) 计算第一层柱纵向受压钢筋截面面积 A'_s 。

(2) 依据计算结果和构造要求选配纵向钢筋和箍筋。

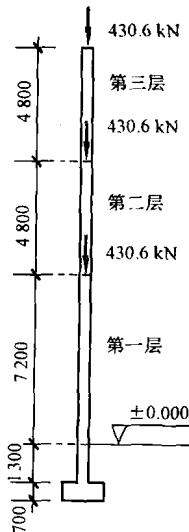


图 1-1 无侧移现浇多层
框架的中间柱

二、案例分析与实施

【工作任务 1 分析】

(1) 计算跨中受拉钢筋截面面积 A_s 。取计算单元宽度为 1 m, 即 $b = 1\,000\text{ mm}$ 。环境类别为一级, 混凝土强度等级为 C30 时, 查表 1-5 可知, 板的混凝土保护层最小厚度为 15 mm。

故设 $a_s = 20\text{ mm}$, 则 $h_0 = 80 - 20 = 60(\text{mm})$

查本单元附表 2 知 $f_c = 14.3\text{ N/mm}^2$, $f_t = 1.43\text{ N/mm}^2$,

查本单元附表 5 知 $f_y = 270\text{ N/mm}^2$

查本单元附表 6 知 $E_s = 2.1 \times 10^5\text{ N/mm}^2$

本例中混凝土强度等级为 C30, 由《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 可知 $\alpha_1 = 1.0$, $\beta_1 = 0.8$;

$\epsilon_{cu} = 0.003\,3 - (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} = 0.003\,5 > 0.003\,3$, 因此取 $\epsilon_{cu} = 0.003\,3$;

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \epsilon_{cu}}} = \frac{0.8}{1 + \frac{270}{2.1 \times 10^5 \times 0.003\,3}} = 0.576$$

通过公式计算:

$$x = h_0 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M}{\alpha_1 f_c b h_0^2}} \right) = 60 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4.52 \times 10^6}{1.0 \times 14.3 \times 1\,000 \times 60^2}} \right) = 5.52(\text{mm})$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = 0.092 < \xi_b = 0.576$$

则
$$A_s = \frac{\alpha_1 f_c b x}{f_y} = \frac{1.0 \times 14.3 \times 1\,000 \times 5.52}{270} = 292(\text{mm}^2)$$

(2) 选配钢筋。

选用 $\phi 8 @ 160$, $A_s = 314\text{ mm}^2$, 排列如图 1-2 所示, 依据构造要求, 分布筋选用 $\phi 6 @ 250$ 。

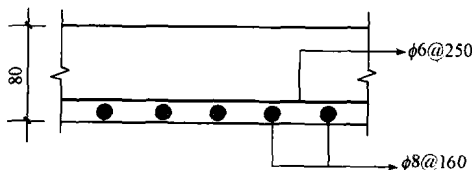


图 1-2 板配筋图

【工作任务 2 分析】

(1) 计算跨中受拉钢筋截面面积 A_s 。由表 1-5 可知, 环境类别为一级, C30 时梁的混凝土保护层最小厚度为 20 mm, 故设 $a_s = 30\text{ mm}$, 则 $h_0 = 500 - 30 = 470(\text{mm})$ 。

C30 混凝土: $f_c = 14.3\text{ N/mm}^2$, $f_t = 1.43\text{ N/mm}^2$ 。

查本单元附表 5 可知, HRB335 钢筋: $f_y = 300\text{ N/mm}^2$; HPB300 钢筋: $f_y = 270\text{ N/mm}^2$ 。

本例中混凝土强度等级为 C30, 由《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 可知: $\alpha_1 = 1.0$, $\beta_1 = 0.8$; $\epsilon_{cu} = 0.003\,3$;

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \epsilon_{cu}}} = \frac{0.8}{1 + \frac{300}{2.0 \times 10^5 \times 0.003\,3}} = 0.55$$

① 求受压区高度 x :

将已知各值代入下式得:

$$M_u = \alpha_1 f_c b x (h_0 - \frac{x}{2})$$

$$150 \times 10^6 = 1.0 \times 14.3 \times 250 \times (470 - \frac{x}{2})x$$

$$\text{解得: } x = h_0 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M}{\alpha_1 f_c b h_0^2}} \right) = 470 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 150 \times 10^6}{1.0 \times 14.3 \times 250 \times 470^2}} \right) = 100 (\text{mm})$$

$$x = 100 \text{ mm} < \xi_b h_0 = 0.55 \times 465 = 255.75 (\text{mm})$$

② 求所需钢筋量 A_s :

将已知值及 $x = 100 \text{ mm}$ 代入下式:

$$\alpha_1 f_c b x = A_s f_y$$

$$1.0 \times 14.3 \times 250 \times 100 = A_s \times 300$$

$$\text{解得 } A_s = 1\,192 \text{ mm}^2$$

选用 4 Φ 20, $A_s = 1\,256 \text{ mm}^2$, 如图 1-3 所示。

(2) 计算所需受剪箍筋用量 A_{sv} 。

① 验算截面尺寸。

$$h_w = h_0 = 470 \text{ mm}$$

$$h_w/b = 470/250 = 1.88 < 4,$$

由于混凝土强度等级为 C30, 所以取 $\beta_c = 1$

$$\begin{aligned} \text{则 } 0.25\beta_c f_c b h_0 &= 0.25 \times 1.0 \times 14.3 \times 250 \times 470 = 420\,063 (\text{N}) \\ &= 420.063 \text{ kN} > 180.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

截面尺寸满足要求。

② 验算是否需计算配置箍筋。

$$0.7f_t b h_0 = 0.7 \times 1.43 \times 250 \times 470 = 117\,618 (\text{N}) = 117.618 \text{ kN} < 180.2 \text{ kN}$$

应进行配箍筋计算。

③ 配置箍筋。

由 $V \leq V_{cs} = \alpha_{cv} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$, $\alpha_{cv} = 0.7$ 得:

$$180\,200 = 0.7 \times 1.43 \times 250 \times 470 + 270 \times \frac{n \cdot A_{svl}}{s} \times 470$$

$$\text{则 } \frac{n A_{svl}}{s} \geq \frac{180\,200 - 117\,618}{270 \times 470} = 0.493 (\text{mm}^2/\text{mm})$$

若选用 $\Phi 8 @ 2\,000$ 双肢箍筋。

$$\text{则 } \frac{n A_{svl}}{s} = \frac{2 \times 50.3}{200} = 0.503 > 0.493 (\text{可以})$$

$$\rho_{sv} = \frac{A_{sv}}{b s} = \frac{2 \times 50.3}{250 \times 200} = 0.201 \%$$

$$> \rho_{sv, \min} = 0.24 \frac{f_t}{f_{yv}} = 0.24 \times \frac{1.43}{270} = 0.127 \%$$

满足最小配箍率要求。

【工作任务 3 分析】

(1) 计算第一层柱纵向受压钢筋截面面积 A'_s 。

已知 $f_c = 11.9 \text{ N/mm}^2$, HRB335 级钢筋, 每层楼盖传至柱上的荷载设计值为 430.6 kN, 试设计第一层柱。

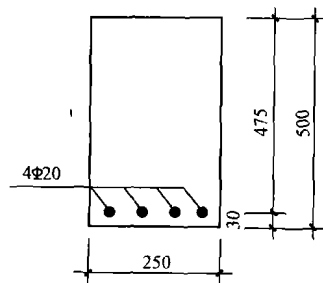


图 1-3 截面配筋图

① 初选柱截面尺寸。假定各层柱截面尺寸均为 $350\text{ mm} \times 350\text{ mm}$ 。

② 计算轴向力设计值。

柱自重标准值为：

$$(2 \times 4.8 + 7.2 + 1.3) \times 0.35 \times 0.35 \times 25 = 55.43(\text{kN})$$

则柱自重设计值为： $1.2 \times 55.43 = 66.52(\text{kN})$

第一层柱底的轴向力设计值 N 为：

$$N = 3 \times 430.6 + 66.52 = 1358.3(\text{kN})$$

由表 1-8 得 $\varphi = 1.0$ 。

$$\lambda_0 = \varphi H = 1.0 \times (7.2 + 1.3) = 8.5(\text{m})$$

$\lambda_0/b = 24.28$, 查表 1-8 得 $\varphi = 0.64$ 。

③ 计算纵筋用量。

将已知数据代入 $N \leq 0.9\varphi(f'_y A'_s + f_c A)$ 得：

$$1358.3 \times 10^3 \leq 0.9 \times 0.64 \times (300A'_s + 11.9 \times 350 \times 350) \text{ 得: } A'_s \geq 3001.4\text{ mm}^2$$

选配 $8\Phi 22 (A'_s = 3041\text{ mm}^2)$ 。

实际配筋率为：

$$\rho' = A'_s/bh = 2.48\% > \rho'_{\min} = 0.6\%$$

也小于 3%。故假定的杆件截面尺寸是可以的。

(2) 依据计算结果和构造要求选配纵向钢筋和箍筋。纵筋选配 $8\Phi 22$, 箍筋选配 $\Phi 6@200$, 与基础钢筋搭接处箍筋选配 $\Phi 6@150$ 。配筋图如图 1-4 所示。

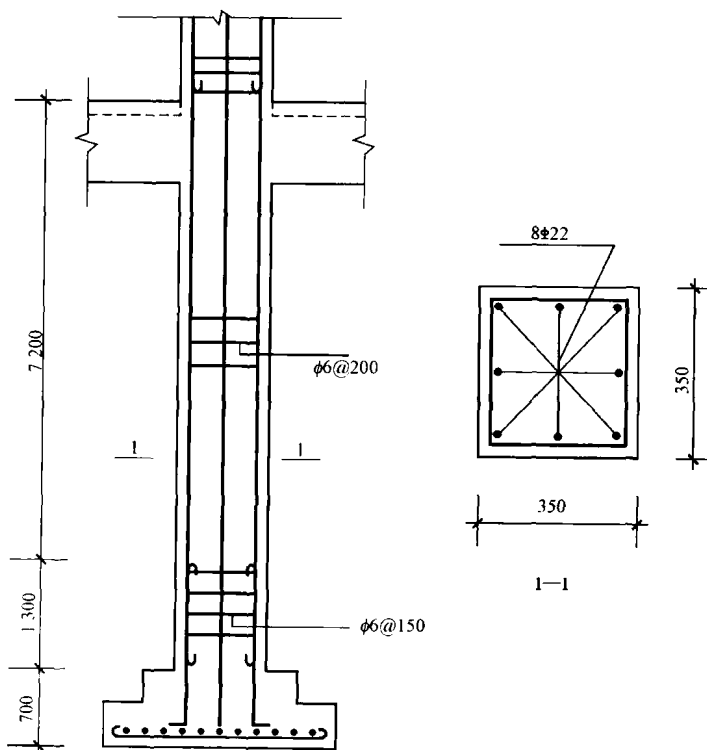


图 1-4 首层柱配筋图

1.1.3 知识链接

一、混凝土结构的一般概念

1. 混凝土结构定义

混凝土是由胶凝材料、水和粗细骨料，必要时加入化学外加剂、矿物掺合料，按适当比例配合拌制成拌合物，经一定时间硬化而成的人造石材。在混凝土中，砂、石起骨架作用，称为骨料；水泥与水形成水泥浆，水泥浆包裹在骨料表面并填充其空隙。在硬化前，水泥浆起润滑作用，赋予拌合物一定和易性，便于施工。水泥浆硬化后，则将骨料胶结成一个坚实的整体。混凝土的结构如图 1-5 所示。

混凝土结构是以混凝土为主要材料的结构，它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。

(1) 素混凝土结构。由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构称为素混凝土结构；

(2) 钢筋混凝土结构。由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构称为钢筋混凝土结构；

(3) 预应力混凝土结构。由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构称为预应力混凝土结构。

2. 钢筋混凝土的工作原理

图 1-6(a)、(b) 分别表示素混凝土简支梁和钢筋混凝土简支梁的破坏和受力情况。

(1) 素混凝土简支梁。图 1-6(a) 所示的素混凝土梁在外加集中力和梁的自身重力作用下，梁截面的上部受压，下部受拉。由于混凝土的抗拉性能很差，只要梁的跨中附近截面的受拉边缘混凝土一开裂，梁就突然断裂，破坏前变形很小，没有预兆，属于脆性破坏类型。

(2) 钢筋混凝土简支梁。为了改变素混凝土简支梁发生脆性破坏的情况，在截面受拉区域的外侧配置适量的钢筋构成钢筋混凝土梁，如图 1-6(b) 所示。钢筋主要承受梁中和轴以下受拉区的拉力，混凝土主要承受中和轴以上受压区的压力。由于钢筋的抗拉能力和混凝土的抗压能力都很大，即使受拉区的混凝土开裂后梁还能继续承受相当大的荷载，直到受拉钢筋达到屈服强度，此后荷载还可略有增加，当受压区混凝土被压碎，梁才破坏。梁破坏前变形较大，有明显预兆，属于延性破坏类型。

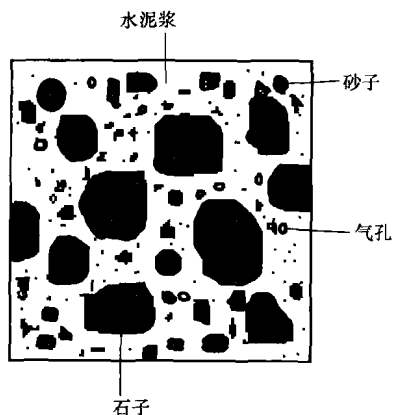


图 1-5 混凝土的结构

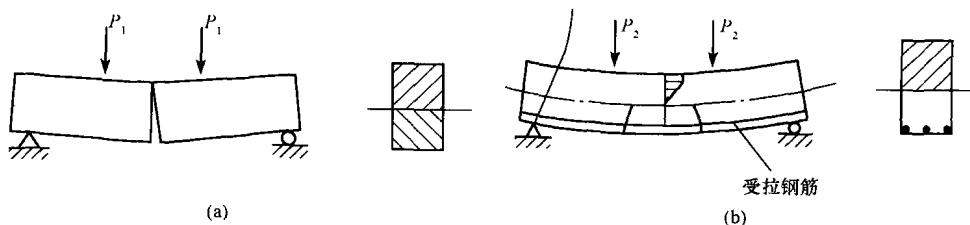


图 1-6 简支梁受力破坏示意图

可见，与素混凝土梁相比，钢筋混凝土梁的承载能力和变形能力都有很大提高，并且钢筋与混凝土两种材料的强度都能得到较充分的利用。

二、混凝土材料的物理力学性能

1. 混凝土的基本组成材料

(1) 水泥。目前常用的建筑工程水泥主要有硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥及复合硅酸盐水泥。水泥强度等级按规定龄期的抗压强度和抗折强度划分,各类水泥的强度龄期统一为 3 d、28 d。强度的检验方法按《水泥胶砂强度检验方法》(GB/T 17671—1999) 进行。

硅酸盐水泥的强度等级分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R 六个等级。

普通硅酸盐水泥的强度等级分为 42.5、42.5R、52.5、52.5R 四个等级。

矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥的强度等级分为 32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R 六个等级。

(2) 骨料(粗骨料、细骨料)。

① 细骨料(粒径为 $0.16\text{ mm} < d \leq 5\text{ mm}$ 的砂) 其作用是填充粗骨料空隙,减少水泥浆干缩。

a. 种类。

(a) 天然砂(河砂、海砂)。

(b) 人工砂。是经除土处理的机制砂(由机械破碎、筛分制成,但不包括软质岩、风化岩的颗粒)。

b. 有害杂质。砂中有害杂质主要有云母片、淤泥、有机物等。

② 粗骨料。粒径大于 5 mm 的岩石颗粒,起骨架作用,坚固耐久,空隙率大,比表面积小。

a. 种类。普通混凝土常用粗骨料有卵石和碎石两种。在自然条件作用下形成,粒径大于 5 mm 的岩石颗粒,称为卵石;由天然岩石和卵石经破碎、筛分得到的粒径大于 5 mm 的颗粒,称为碎石或碎卵石。

b. 有害杂质。粗骨料中的有害杂质主要有:黏土、细屑、硫化物、硫酸盐及有机物等。

(3) 拌和及养护用水。混凝土拌合用水可分为饮用水、地表水、地下水、海水以及经适当处理或处置后的工业废水。对混凝土拌和及养护用水的质量要求是:不得影响混凝土的和易性及凝结;不得有损于混凝土强度发展;不得降低混凝土的耐久性、加快钢筋腐蚀及导致预应力钢筋脆断;不得污染混凝土表面。

2. 混凝土的强度

(1) 单轴向应力状态下的混凝土强度。

① 混凝土的立方体抗压强度 $f_{cu,k}$ 。立方体试件的强度比较稳定,所以我国把立方体强度值作为混凝土强度的基本指标,并把立方体抗压强度作为评定混凝土强度等级的标准。

a. 测定的方法。《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002) 规定以边长为 150 mm 的立方体为标准试件,标准立方体试件在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的温度和相对湿度 95 % 以上的潮湿空气中养护 28 d,按照标准试验方法测得的抗压强度作为混凝土的立方体抗压强度,单位为 N/mm^2 。混凝土立方体试块的破坏情况如图 1-7 所示。

混凝土立方体抗压强度应按下式计算:

$$f_{cc} = \frac{F}{A} \quad (1-1)$$

式中 f_{cc} ——混凝土立方体试件抗压强度(MPa);

F ——试件破坏荷载(N);

A ——试件承压面积(mm^2)

混凝土立方体抗压强度计算结果应精确至 0.1 MPa。

b. 立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 规定用上述标准试验方

法测得的具有 95% 保证率的立方体抗压强度作为混凝土的立方体抗压强度标准值,用符号 $f_{cu,k}$ 表示。

c. 强度等级的划分及有关规定。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 规定混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。混凝土强度等级划分有 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75 和 C80, 共 14 个等级。例如, C30 表示立方体抗压强度标准值为 30 N/mm^2 。其中, C50 ~ C80 属高强度混凝土范畴。

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 规定, 素混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C15; 钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C20; 采用强度等级 400 MPa 及以上的钢筋时, 混凝土强度等级不应低于 C25; 预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40, 且不应低于 C30; 承受重复荷载的钢筋混凝土构件的混凝土强度等级不应低于 C30。

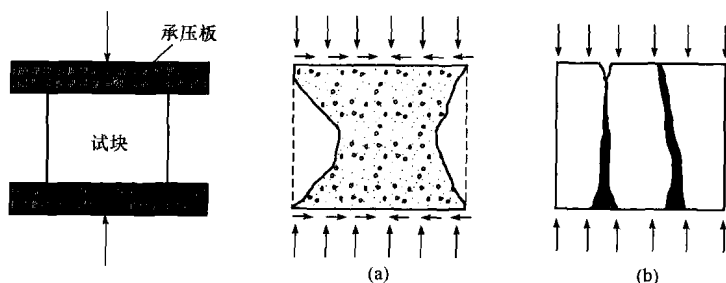


图 1-7 混凝土立方体试块的破坏情况

(a) 不涂润滑剂; (b) 涂润滑剂

② 混凝土的轴心抗压强度 f_{ck} 。混凝土的抗压强度与试件的形状有关, 采用棱柱体比立方体能更好地反映混凝土结构的实际抗压能力。用混凝土棱柱体试件测得的抗压强度称轴心抗压强度。

a. 测定的方法。《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002) 规定以 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ 的棱柱体作为混凝土轴心抗压强度试验的标准试件。棱柱体试件与立方体试件的制作条件相同, 试件上下表面不涂润滑剂。棱柱体试件的抗压强度都比立方体的强度值小, 并且棱柱体试件高宽比越大, 强度越小。混凝土棱柱体抗压试验和破坏情况如图 1-8 所示。

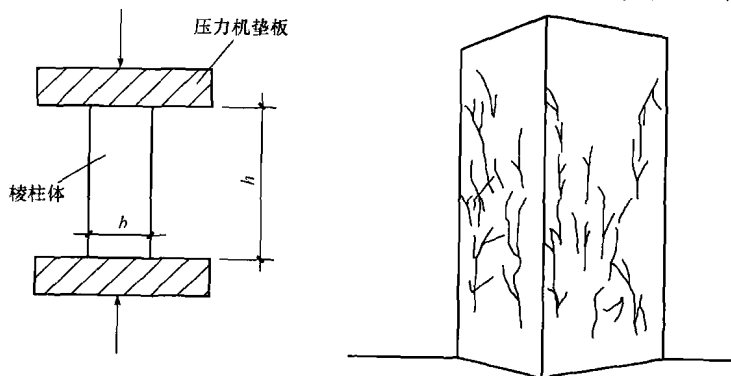


图 1-8 混凝土棱柱体抗压试验和破坏情况

混凝土试件轴心抗压强度应按下式计算:

$$f_{cp} = \frac{F}{A} \quad (1-2)$$

式中 f_{cp} ——混凝土轴心抗压强度(MPa)。

式中其他符号意义同前。

b. 轴心抗压强度标准值 f_{ck} 。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 规定以 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$

× 300 mm 的棱柱体试件试验测得的具有 95% 保证率的抗压强度为混凝土轴心抗压强度标准值, 用符号 f_{ck} 表示。混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 按《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 中表 4.1.3-1 采用。

③ 混凝土的轴心抗拉强度 f_{tk} 。抗拉强度是混凝土的基本力学指标之一, 也可用它间接地衡量混凝土的冲切强度等其他力学性能。

a. 测定的方法。边长为 150 mm 的立方体试件是劈裂抗拉强度试验的标准试件, 边长为 100 mm 和 150 mm 的立方体试件是非标准试件, 在特殊情况下可采用 $\phi 150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ 的圆柱体标准试件, 或 $\phi 100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 和 $\phi 200 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$ 的圆柱体非标准试件。图 1-9 所示立方体试件的劈裂试验来间接测试混凝土的轴心抗拉强度。

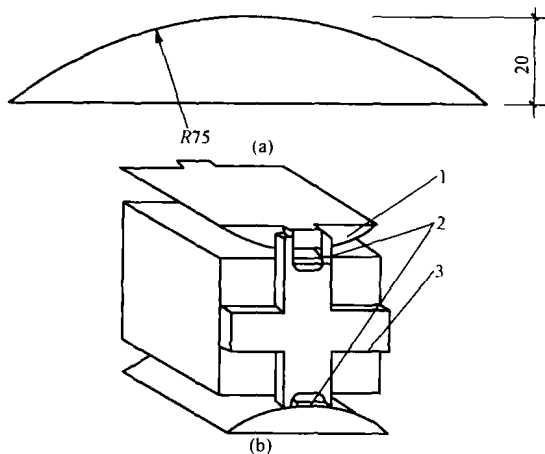


图 1-9 混凝土劈裂试验示意图

(a) 垫块; (b) 支架示意

1—垫块; 2—垫条; 3—支架

混凝土劈裂抗拉强度按下式计算:

$$f_{\text{ts}} = \frac{2F}{A} = 0.637 \frac{F}{A} \quad (1-3)$$

式中 f_{ts} ——混凝土立方体试件抗压强度实测值(MPa), 即混凝土轴心抗拉强度实测值;

F ——试件破坏荷载(N);

A ——试件劈裂面面积(mm^2)。

b. 轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 规定以 150 mm × 150 mm × 150 mm 的立方体试件试验测得的具有 95% 保证率的抗拉强度为混凝土轴心抗拉强度标准值, 用符号 f_{tk} 表示。混凝土轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 按《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 中表 4.1.3-2 采用。

(2) 复合应力状态下的混凝土强度。在钢筋混凝土结构中, 构件很少处于理想的单轴应力状态, 通常多受到轴心力、弯矩、剪力和扭矩的共同作用, 处于双向应力状态或三向应力状态。双向受压时, 混凝土抗压强度大于单向; 双向受拉时, 混凝土抗拉强度接近于单向; 一向受压和一向受拉时, 其抗拉(抗压)强度均低于相应的单向强度; 由于剪应力的存在, 混凝土抗压强度低于单向; 由于压应力的存在, 混凝土抗剪强度有限增加。

4. 混凝土的变形

(1) 一次短期加载下混凝土的变形性能。混凝土受压时的应力 - 应变关系($\sigma - \epsilon$ 关系曲线), 如

图 1-10 所示。

一次短期加载是指荷载从零开始单调增加至试件破坏,也称单调加载。

我国采用棱柱体试件测定一次短期加载下混凝土受压应力 - 应变全曲线。这条曲线包括上升段和下降段两个部分。

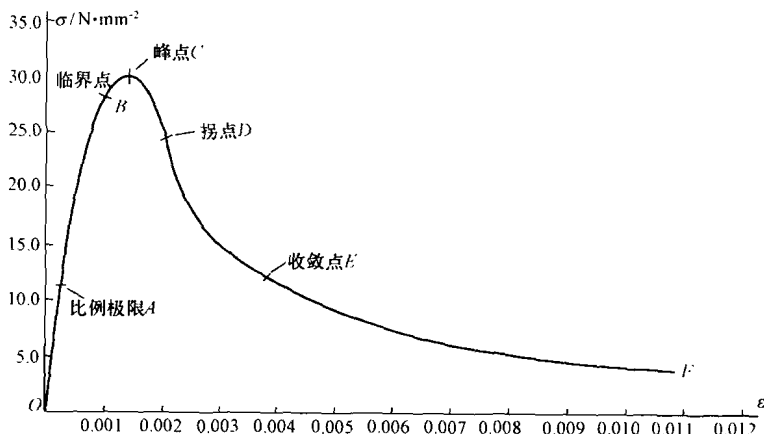


图 1-10 混凝土棱柱体受压应力 - 应变曲线

(2) 混凝土的弹性模量。在应力 - 应变曲线的原点(图 1-11 中的 O 点)作一切线,其斜率为混凝土的原点模量,称为弹性模量,以 E_c 表示。

$$E_c = \tan \alpha_0 \quad (1-4)$$

式中 α_0 ——混凝土应力 - 应变曲线在原点处的切线与横坐标的夹角。

而对应图 1-11 中 α 、 α_1 的 $\tan \alpha$ 、 $\tan \alpha_1$ 分别为混凝土的切线模量与变形模量,这里不再详述。

混凝土的弹性模量可按下式计算:

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu,k}}} \quad (1-5)$$

(3) 荷载长期作用下混凝土的变形性能(徐变)。结构或材料承受的荷载或应力不变,而应变或变形随时间增长的现象称为徐变。

① 产生徐变的主要原因。产生徐变的主要原因有:水泥凝胶体在外力作用下产生黏性流动,混凝土内部微裂缝在长期荷载作用下不断发展和增加的结果。

② 影响徐变的因素。

a. 内在因素。混凝土中水泥用量越多,徐变越大;水胶比越大,徐变也越大。骨料弹性性质也明显地影响徐变值,一般,骨料越坚硬,弹性模量越高,对水泥石徐变的约束作用越大,混凝土的徐变越小。

b. 环境因素养护及使用时的温度、湿度大,水泥水化作用充分,徐变越小;而使用时受到荷载作用后所处的环境温度越高、湿度越低,则徐变越大。

c. 应力条件。混凝土的应力越大徐变也越大。

③ 徐变对混凝土结构和构件的工作性能的影响。由于混凝土的徐变,会使构件的变形增加,在钢筋混凝土截面中引起应力重分布。在预应力混凝土结构中会造成预应力损失。

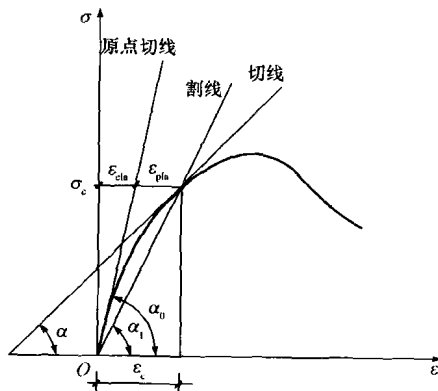


图 1-11 混凝土变形模量的表示方法

(4) 混凝土的收缩与膨胀。混凝土凝结硬化时,在空气中体积收缩,在水中体积膨胀。通常,收缩值比膨胀值大很多。混凝土的收缩值随着时间而增长,蒸汽养护混凝土的收缩值要小于常温养护下的收缩值。养护不好以及混凝土构件的四周受约束从而阻止混凝土收缩时,会使混凝土构件表面出现收缩裂缝。

影响混凝土收缩的因素:

- ① 水泥的品种。水泥强度等级越高制成的混凝土收缩越大。
- ② 水泥的用量。水泥越多,收缩越大;水胶比越大,收缩也越大。
- ③ 骨料的性质。骨料的弹性模量大,收缩小。
- ④ 养护条件。在结硬过程中周围温、湿度越大,收缩越小。
- ⑤ 混凝土制作方法。混凝土越密实,收缩越小。
- ⑥ 使用环境。使用环境温度、湿度大时,收缩小。
- ⑦ 构件的体积与表面积比值。比值大时,收缩小。

三、钢筋的物理力学性能

1. 钢筋的品种和级别

(1) 钢筋的品种和级别。

① 热轧钢筋。热轧钢筋是低碳钢、普通低合金钢在高温状态下轧制而成。热轧钢筋为软钢,其应力-应变曲线有明显的屈服点和流幅,断裂时有“颈缩”现象,伸长率比较大。

热轧钢筋根据其力学指标的高低,分为:热轧光圆钢筋 HPB300,热轧带肋钢筋 HRB335、HRB400、HRB500,余热处理钢筋 RRB400,控温轧制工艺生产的 HRBF335、HRBF400、HRBF500 细晶粒带肋钢筋。

纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400、HRBF400、HRB500、HRBF500 级钢筋,也可采用 HPB300、HRB335、HRBF335、RRB400。

推广具有较好延性、可焊性、机械连接性能及施工适应性的 HRB 系列普通热轧带肋钢筋。其中,HRB400、HRB500 级钢筋将作为纵向受力的主导钢筋,HRB335 级钢筋的应用将限制并逐步淘汰。RRB 系列余热处理钢筋由轧制钢筋经高温淬水,余热处理后提高强度,其延性、可焊性、机械连接性能及施工适应性降低,一般可用于对变形性能及加工性能要求不高的构件中,如基础、大体积混凝土、楼板、墙体以及次要的中小结构构件等。

梁、柱纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400、HRBF400、HRB500、HRBF500。

箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500 级钢筋,也可采用 HRB335、HRBF335。

② 预应力筋。预应力筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。

a. 消除应力钢丝。消除应力钢丝是将钢筋拉拔后,校直,经中温回火消除应力并稳定化处理的

光面钢丝和带螺旋肋钢丝。

b. 钢绞线。钢绞线是由多根高强钢丝捻制在一起经过低温回火处理清除内应力后面制成,分为 3 股和 7 股三种。

c. 预应力螺纹钢筋主要有精轧大直径螺纹钢筋。

(2) 钢筋冷加工。钢筋的冷加工方法主要有冷拉和冷拔,钢筋冷加工可以提高热轧钢筋的强度,但同时钢筋塑性和韧性性能有所下降。

(3) 钢筋的形式(图 1-12)。钢筋的形式有光圆和带肋两类,带肋钢筋又分等高肋和月牙肋两种。钢丝的外形一般为光圆。

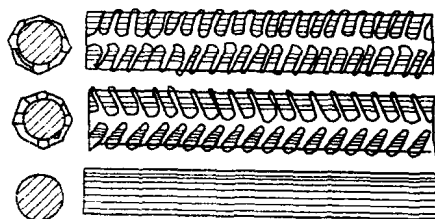


图 1-12 钢筋的形式

2. 钢筋的强度和变形

钢筋的强度和变形性能可以用拉伸试验得到的应力-应变曲线来说明。

钢筋的应力-应变曲线,有的有明显的流幅(例如热轧低碳钢筋 HPB300 级和热轧低合金钢筋 HRB335 级、HRB400 级、RRB400 级);有的则没有明显的流幅(例如预应力钢丝、钢绞线和热处理钢筋)。

(1)有明显流幅的钢筋的强度和变形。

①应力-应变曲线(σ - ϵ 曲线),如图 1-13 所示。

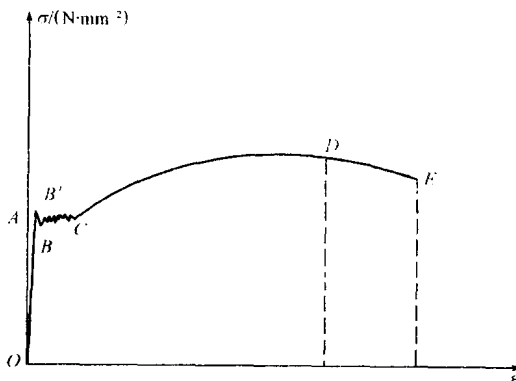


图 1-13 有明显流幅钢筋的应力 - 应变曲线

a. QA 段——弹性阶段:应力与应变成比例变化,与 A 点对应的应力称为比例极限或弹性极限。

b. AC 段——屈服阶段:过 A 点后,应力基本不增加而应变急剧增长,曲线接近水平线。B 点到 C 点的水平距离的大小称为流幅或屈服台阶。B' 点称为屈服上限,B 点称为屈服下限(钢筋的屈服强度),有明显流幅的热轧钢筋屈服强度是按屈服下限确定的。

c. CD 段——强化阶段:过 C 点以后,应力又继续上升,说明钢筋的抗拉能力又有所提高。随着曲线上升到最高点 D,相应的应力称为钢筋的极限强度。

d. DE 段——颈缩阶段:过了 D 点,试件薄弱处的截面将会突然显著缩小,发生局部颈缩,变形迅速增加,应力随之下降,达到 E 点时试件被拉断。

② 强度指标。

a. 屈服强度 f_y :有明显流幅的钢筋的应力到达屈服点后,会产生很大的塑性变形,使钢筋混凝土构件出现很大的变形和过宽的裂缝,以致不能使用,所以对有明显流幅的钢筋,在计算承载力时以屈服强度作为钢筋强度限值。

b. 极限强度 f_u :在抗震结构设计中,要求结构在罕遇地震下“裂而不倒”,钢筋应力可考虑进入强化段,要求极限强度 ≥ 1.25 屈服强度。

③ 塑性指标。钢筋除了要有足够的强度外,还应具有一定的塑性变形能力。通常用伸长率和冷弯性能两个指标衡量钢筋的塑性。

a. 伸长率。钢筋拉断后(如图 1-13 中的 E 点)的伸长值与原长的比率称为伸长率。伸长率越大塑性越好。相关国家标准规定了各种钢筋所必须达到的伸长率的最小值(如 δ_{100} 、 δ_{10} 和 δ_5 分别表示标距 $L = 100d$ 、 $L = 10d$ 和 $L = 5d$ 时伸长率的最小值),有关参数可参照相应的国家标准。

b. 冷弯性能。冷弯是将直径为 d 的钢筋绕直径为 D 的弯芯弯曲到规定的角度后无裂纹断裂及起层现象,则表示合格。弯芯的直径 D 越小,弯转角越大,说明钢筋的塑性越好。相关国家标准规定