

依据新规范

混凝土结构设计与 施工细部计算示例

第2版

周爱军 白建方 等编著

混凝土结构设计与施工 细部计算示例

周爱军 白建方 杨晓方 编著

第2版



机械工业出版社

第2版前言

本书第1版自问世以来,深受广大土木工程技术人员的欢迎。鉴于《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)已经颁布实施,为此,在保持第1版编写特点和整体框架不变的基础之上,参考最近颁布实施的一系列新规范,我们在第2版对该书内容进行了大幅度修订。主要修订内容包括:

1. 在设计方法部分,补充了“结构方案”和“结构抗倒塌设计”的原则;增加了既有结构设计的基本规定;增加了楼盖舒适度要求,完善了耐久性设计方法;对结构分析方法进行了扩展。

2. 在材料性能部分,淘汰了低强度钢筋,纳入高性能钢筋,补充了并筋的相关规定;修订了混凝土疲劳强度修正系数,增加了预应力钢筋的形式。

3. 在承载能力极限状态设计部分,修改了斜截面受剪承载力计算公式;修订了受冲切承载力计算公式;与抗震规范相协调,取消了房屋高度表,内力调整等具体规定。

4. 在正常使用极限状态验算部分,调整了裂缝宽度计算中的构件受力特征值系数。宽度大于0.2mm的开裂截面增加按应力限制钢筋间距的要求。挠度计算中增加按荷载效应准永久值组合时长期刚度的计算公式。

5. 与新规范相适应,调整了混凝土保护层厚度,钢筋锚固长度等一系列构造要求。

6. 依据上面调整后的内容,对书中例题以及书后附录中的表格进行了修订。为方便读者对新旧规范进行对比,在附录中特增加了附表9“《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的主要修订内容”。

本书在修订过程中,得到了石家庄铁道大学和机械工业出版社的鼎力支持,在此深表谢意。由于作者水平有限,加之时间仓促,错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

第1版前言

为使广大的土木工程技术人员在从业过程中能迅速掌握混凝土结构的设计理论和具体设计计算方法，熟悉计算内容、步骤以及构造要求，并在处理解决工程中的实际技术问题能得心应手地加以应用，特编写此书。

本书的特色是技术标准新颖，理论阐述简明扼要，示例计算类型全面，解题思路清晰，紧密联系实际，应用性很强。

全书内容共分十四章，分别介绍钢筋混凝土材料标准与计算规定，钢筋混凝土受弯、受扭、受压、受拉构件、受冲切、局部受压承载力计算和疲劳验算，钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算，剪力墙结构计算、叠合式受弯构件计算、柱牛腿计算、预埋件计算，框架结构构件抗震计算，预应力混凝土结构计算以及附录等。

本书在编写过程中参照了2002年开始发布实施的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)等一系列国家新实施的标准规范。

本书在编写过程中得到了许多同志的帮助，谨在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，缺点错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2004年于鲁东大学

目 录

第2版 前言

第1版 前言

第1章 钢筋混凝土材料标准与

计算规定 1

1.1 概述 1

1.1.1 混凝土结构 1

1.1.2 钢筋混凝土结构 1

1.2 混凝土 3

1.2.1 混凝土强度等级及其选用规定 ... 3

1.2.2 混凝土强度标准值、设计值 3

1.2.3 混凝土弹性模量及其他 计算规定 3

1.3 钢筋 4

1.3.1 钢筋的选用 4

1.3.2 钢筋强度的标准值、设计值 4

1.3.3 钢筋弹性模量及其他计算规定 ... 4

1.3.4 钢筋的锚固与连接 5

1.4 结构设计基本规定 8

1.4.1 结构的功能要求 8

1.4.2 极限状态的定义和分类 9

1.4.3 极限状态方程 10

1.4.4 极限状态设计表达式 11

1.4.5 耐久性设计规定 14

1.4.6 结构构件计算和验算规定 15

1.4.7 结构抗倒塌设计 16

1.4.8 既有结构设计 17

1.4.9 结构方案的设计 17

1.5 结构分析的一般规定 18

1.5.1 基本原则 18

1.5.2 分析模型 18

1.5.3 弹性分析方法 19

1.5.4 塑性内力重分布分析方法 19

1.5.5 弹塑性分析方法 20

1.5.6 塑性极限分析方法 20

1.5.7 间接作用分析方法 21

第2章 钢筋混凝土受弯构件正截面

承载力计算 22

2.1 受弯构件正截面破坏特征 22

2.2 受弯构件正截面承载力 计算一般规定 23

2.2.1 基本假定 23

2.2.2 受压区混凝土的等效应力图形 ... 23

2.2.3 相对界限受压区高度 ξ_b 24

2.2.4 最小配筋率 25

2.3 单筋矩形截面受弯构件正截面 承载力计算 25

2.3.1 基本计算公式及适用条件 25

2.3.2 计算方法 27

2.3.3 计算示例 27

2.4 双筋矩形截面受弯构件正截面 承载力计算 32

2.4.1 基本计算公式及适用条件 33

2.4.2 计算方法 34

2.4.3 计算示例 35

2.5 单筋T形截面受弯构件正截面 承载力计算 37

2.5.1 基本计算公式及适用条件 38

2.5.2 计算方法 41

2.5.3 计算示例 41

2.6 受弯构件一般构造规定 42

2.6.1 板 42

2.6.2 梁 43

第3章 钢筋混凝土受弯构件斜截面

承载力计算 45

3.1 受弯构件斜截面破坏形态 45

3.2 受弯构件斜截面承载力计算 46

3.2.1 基本计算公式 46

3.2.2 公式的适用范围 47

3.2.3 不进行斜截面受剪承载力 计算的条件	47	5.2 偏心受压构件正截面 承载力计算	78
3.2.4 弯起钢筋剪力设计值 V 的取用 ..	48	5.2.1 偏心受压构件正截面承载力计算 一般规定	78
3.2.5 计算截面的位置	48	5.2.2 矩形截面偏心受压构件正截面 承载力计算	80
3.2.6 计算方法	48	5.2.3 I 形截面偏心受压构件正截面 承载力计算	95
3.2.7 计算示例	49	5.3 偏心受压构件斜截面 承载力计算	101
3.3 梁内钢筋构造要求的 其他规定	51	5.3.1 受剪截面的符合条件	101
3.3.1 纵向钢筋的弯起	51	5.3.2 基本计算公式	101
3.3.2 纵向钢筋的截断	52	5.3.3 按构造配筋条件	102
3.3.3 纵向钢筋的锚固	53	5.3.4 计算示例	102
3.3.4 箍筋	54	5.4 受压构件一般构造规定	102
3.3.5 纵向构造钢筋	55	第 6 章 钢筋混凝土受拉构件 承载力计算	105
第 4 章 钢筋混凝土受扭构件 承载力计算	56	6.1 轴心受拉构件承载力计算	105
4.1 纯扭构件的承载力计算	56	6.2 偏心受拉构件正截面 承载力计算	105
4.1.1 基本计算公式	56	6.2.1 小偏心受拉构件	106
4.1.2 公式的适用范围	59	6.2.2 大偏心受拉构件	107
4.1.3 按构造配筋的条件	60	6.2.3 计算示例	108
4.1.4 计算示例	60	6.3 偏心受拉构件斜截面 承载力计算	111
4.2 剪扭构件的承载力计算	63	6.3.1 受剪截面符合条件	111
4.2.1 基本计算公式	63	6.3.2 基本计算公式	111
4.2.2 公式的适用范围	65	6.3.3 计算示例	112
4.2.3 按构造配筋的条件	65	第 7 章 钢筋混凝土受冲切、局部受压 承载力计算和疲劳验算	113
4.2.4 计算示例	65	7.1 受冲切承载力计算	113
4.3 弯剪扭构件的承载力计算	67	7.1.1 不配置箍筋或弯起钢筋时	113
4.3.1 计算规定	67	7.1.2 配置箍筋或弯起钢筋时	114
4.3.2 不考虑剪力影响的条件	67	7.1.3 阶形基础	115
4.3.3 不考虑扭矩影响的条件	67	7.1.4 计算示例	116
4.3.4 计算示例	67	7.2 局部受压承载力计算	120
4.4 受扭构件的构造要求	72	7.2.1 局部受压区的截面尺寸要求 ..	120
第 5 章 钢筋混凝土受压构件正截面 承载力计算	73	7.2.2 局部受压承载力计算	120
5.1 轴心受压构件正截面 承载力计算	73	7.2.3 计算示例	122
5.1.1 配有普通箍筋的轴心受压 构件计算	73		
5.1.2 配有螺旋箍筋的轴心受压 构件计算	75		

7.3 疲劳验算	123	10.3.1 计算规定	145
7.3.1 计算规定	123	10.3.2 计算方法	145
7.3.2 钢筋混凝土受弯构件正截面 疲劳验算	124	10.3.3 计算示例	148
7.3.3 钢筋混凝土受弯构件斜截面 疲劳验算	125	第11章 钢筋混凝土柱牛腿计算	154
7.3.4 计算示例	126	11.1 柱牛腿截面尺寸要求	154
第8章 钢筋混凝土构件正常使用 极限状态验算	129	11.1.1 在竖向力作用下	154
8.1 一般规定	129	11.1.2 在水平力和竖向力共同 作用下	154
8.2 钢筋混凝土受弯构件 挠度验算	129	11.1.3 局部压应力的要求	155
8.2.1 挠度验算规定	129	11.2 配筋计算	155
8.2.2 刚度计算	129	11.2.1 纵向受力钢筋	155
8.2.3 计算示例	130	11.2.2 水平箍筋	156
8.3 钢筋混凝土构件裂 缝宽度验算	132	11.2.3 弯起钢筋	156
8.3.1 计算公式	132	11.3 计算示例	156
8.3.2 计算示例	133	第12章 钢筋混凝土结构预埋件 计算	159
第9章 钢筋混凝土剪力墙 结构计算	137	12.1 由锚板和对称配置的直锚筋 组成的预埋件	159
9.1 一般要求	137	12.1.1 计算公式	159
9.1.1 概述	137	12.1.2 计算示例	161
9.1.2 结构布置	137	12.2 由锚板和对称配置的弯折锚筋 及直锚筋组成的预埋件	164
9.1.3 一般要求	137	12.2.1 计算公式	164
9.2 剪力墙结构计算	138	12.2.2 计算示例	164
9.2.1 正截面承载力计算	138	12.3 构造要求	165
9.2.2 斜截面受剪承载力计算	139	第13章 钢筋混凝土框架结构 构件抗震计算	167
9.2.3 计算示例	140	13.1 结构布置及抗震设计 一般规定	167
第10章 钢筋混凝土叠合式受弯 构件计算	143	13.1.1 结构抗震等级	167
10.1 叠合构件一般要求	143	13.1.2 材料性能与施工要求	168
10.2 施工阶段有可靠支撑的叠合式 受弯构件	143	13.2 框架结构构件抗震计算	169
10.2.1 计算规定	143	13.2.1 框架梁	169
10.2.2 计算方法	143	13.2.2 框架柱	170
10.2.3 计算示例	144	13.3 构造措施	171
10.3 施工阶段不加支撑的叠合式 受弯构件	145	13.3.1 框架梁	171
		13.3.2 框架柱	172
		第14章 预应力混凝土结构计算	175
		14.1 概述	175

14.2 一般规定	175	传递长度与锚固长度	201
14.3 张拉控制应力和预应力 损失计算	175	14.6.2 后张法构件端部局部 受压承载力计算	201
14.3.1 张拉控制应力	175	14.6.3 计算示例	202
14.3.2 预应力损失计算	176	14.7 预应力混凝土构件的 构造规定	203
14.4 预应力混凝土轴心受拉 构件的计算	180	附录	205
14.4.1 预应力混凝土轴心受拉构件 承载力计算	180	附录1 混凝土强度的标准值、设计值、 弹性模量、疲劳强度修正系数、 疲劳变形模量	205
14.4.2 预应力混凝土轴心受拉构件 裂缝控制验算	180	附录2 钢筋强度的标准值、设计值、 弹性模量、疲劳应力幅 限值	206
14.4.3 预应力混凝土轴心受拉构件 施工阶段应力验算	182	附录3 钢筋的公称截面面积、计算 截面面积及理论重量	208
14.4.4 计算示例	183	附录4 混凝土保护层最小厚度	209
14.5 预应力混凝土受弯构件的 计算	185	附录5 纵向受力钢筋的最小配 筋率	209
14.5.1 预应力混凝土受弯构件正截面 承载力计算	185	附录6 受弯构件正截面受弯承载力 计算系数表	210
14.5.2 预应力混凝土受弯构件斜截面 承载力计算	186	附录7 钢筋混凝土板每米宽的钢筋 截面面积	211
14.5.3 预应力混凝土受弯构件裂缝 控制验算	187	附录8 受弯构件的挠度限值、构件 抗裂、裂缝宽度限值	211
14.5.4 预应力混凝土受弯构件的 变形验算	191	附录9 《混凝土结构设计规范》 (GB50010—2010) 主要 修订内容	212
14.5.5 预应力混凝土受弯构件施工 阶段应力验算	192	参考文献	213
14.5.6 计算示例	193		
14.6 预应力钢筋锚固区计算	201		
14.6.1 先张法构件预应力钢筋的			

第 1 章 钢筋混凝土材料标准与计算规定

1.1 概述

混凝土结构出现于 19 世纪中期,距今已有约 160 年的历史。与钢结构、木结构相比,混凝土结构虽然出现得较晚,但由于其具有许多这些结构无法相比的优点,因而在建筑领域发展很快,钢筋混凝土和预应力混凝土在大跨度结构和高层建筑结构中的应用有了令人瞩目的发展。结构设计理论方面,先后经历了经验估算、容许应力法、按破坏阶段计算法以及随着概率统计理论的应用而提出的极限状态设计法。21 世纪以来,特别是最近 30 年来,在钢筋和混凝土材料的研制方面及结构设计计算理论方面得到了迅猛发展,极限状态设计方法向着更为完善、更为科学的方向进展。本书即采用以概率理论为基础的极限状态设计法进行设计计算。

1.1.1 混凝土结构

以混凝土为主制成的结构,称为混凝土结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。

素混凝土结构是指由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构。由于混凝土材料抗压强度较高,因此素混凝土结构主要用于以承受压力为主的结构或构件,如重力式混凝土挡土墙、混凝土大坝、柱墩等。

钢筋混凝土结构是指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。由于混凝土的抗压强度高,抗拉强度低,在结构中主要用于受压。而钢筋具有良好的抗拉和抗压强度,在结构中主要用于受拉。这样在钢筋混凝土结构中,能够充分发挥这两种材料的性能和优势,把两者有机地结合成一个整体,物尽其用,可以很好地满足结构的设计需要。

预应力混凝土结构是指由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立起预加应力的混凝土结构。在预应力混凝土结构中预先人为地施加压应力,可以抵消或部分抵消结构在外荷载作用下产生的拉应力,从而延缓了裂缝的出现、开展,克服了钢筋混凝土结构在荷载作用下混凝土易于开裂或裂缝过宽的缺点,提高了构件的刚度,减轻了结构自重。采用预应力混凝土结构,可以充分发挥高强度钢材和高强度等级混凝土材料的性能,使钢筋混凝土结构的应用范围进一步扩大。

1.1.2 钢筋混凝土结构

1. 钢筋和混凝土共同工作

钢筋混凝土是由两种物理、力学性能完全不同的材料——钢筋和混凝土结合成整体,共同发挥作用的一种合成建筑材料。它们之所以能相互结合共同工作,是因为:

1) 混凝土结硬后,能与钢筋牢固地粘结在一起,使两者能够共同承受荷载的作用,产生一致的变形,相互协调地工作。

2) 钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数接近。钢筋的线膨胀系数为 1.2×10^{-5} ,混凝土的线膨胀系数为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$,从而当温度变化时保证了两者之间不会产

生较大的相对变形和温度应力而使粘结遭到破坏。

3) 混凝土对钢筋具有良好的保护作用。由于混凝土保护层具有一定的厚度,从而使包裹在混凝土中的钢筋不易锈蚀,保证了钢筋混凝土结构良好的耐久性。

2. 钢筋混凝土结构的优缺点

(1) 钢筋混凝土结构与素混凝土结构相比有较高的承载能力和较好的受力性能,其主要优点是:

1) 可以就地取材。钢筋混凝土结构中,水泥和钢筋所占比例较小,砂、石料所占比例较大,这些材料大多可以就地或就近取材,节省运费,降低建筑成本。在工业废料较多的地区,还可充分利用工业废料(如矿渣、粉煤灰等)制成人工骨料,既能废物利用,有利于环保,又减轻了结构自重。

2) 耐久性好。在较长的时间内(通常达数十年),混凝土的强度随时间增长而增长,因而钢筋混凝土材料的使用寿命可以很长。相对于钢结构,无须经常性地维护 and 保养。而且钢筋埋放在混凝土中,受到混凝土保护而不易锈蚀,提高了钢筋混凝土结构的耐久性。

3) 耐火性好。与钢木结构相比,混凝土导热性差,发生火灾时对钢筋起着保护作用,使其不会很快达到软化温度而造成结构破坏,具有较好的耐火性。

4) 可模性好。钢筋混凝土结构可以根据设计需要浇制成任何几何形状和截面尺寸,因此特别适合建造外形复杂的大体积结构和空间薄壁结构。

5) 整体性好,刚度大。现浇式或装配整体式钢筋混凝土结构具有较好的整体性,刚度大,抗震能力强。

6) 节约钢材。钢筋混凝土结构具有较高的强度和承载能力,在某些情况下可以替代钢结构,因此能节约钢材,降低工程造价。

(2) 钢筋混凝土结构也存在如下缺点:

1) 自重。钢筋混凝土结构的自重比钢结构的大,不利于建造大跨度大空间和高层建筑。

2) 施工受季节性影响较大。钢筋混凝土结构施工建造期较长,且一般不宜在冬雨季施工。如需在雨天和冬季施工时,必须在混凝土浇筑、振捣和养护等方面采取相应的措施,以确保工程质量。

3) 抗裂性差。由于混凝土材料的抗拉强度甚低,普通钢筋混凝土结构常带裂缝工作,影响了结构的耐久性和美观效果,当裂缝数量多且开展较宽时,易给人以不安全感。

4) 其他。如现浇结构需要大量模板;隔热、隔声效果差;修补拆除较困难等。

综上所述,钢筋混凝土结构虽有一些缺点,但其独特的优点使其应用范围极为广泛,如在房屋建筑、桥梁、涵洞、挡土墙、隧道、水工结构物、海洋结构物等结构工程中得到了广泛的应用。随着钢筋混凝土结构的不断发展,上述缺点已经或正在得到逐步克服和改善,例如,为了克服普通钢筋混凝土易开裂的缺点,而对其施加预应力,采用预应力混凝土结构;为了克服钢筋混凝土自重大的缺点,而采用轻质高强的材料制作或在结构形式上加以改进等等。

3. 钢筋混凝土结构按照制作方法不同,可以分为三种类型

1) 现浇混凝土结构。这是在现场支模、绑扎钢筋并整体浇筑而成的混凝土结构。其特点是整体性好,刚度大,但施工速度慢、耗费模板多,难以实现工业化生产。

2) 装配式混凝土结构。由预制混凝土构件或部件通过焊接、螺栓连接等方式装配而成的混凝土结构。这种结构建筑工业化程度高,施工不受季节限制,但整体性较之现浇结构差,抗震性差。

3) 装配整体式混凝土结构。由预制混凝土构件或部件通过钢筋、连接件或施加预应力加以连接并现场浇筑混凝土而形成整体的结构。这种结构具有较好的整体性和较高的工业化程度。

1.2 混凝土

混凝土是由水泥、细集料、粗集料和水,必要时掺入外加剂,按一定比例拌和、成型,经一定时间凝结硬化而成的人工石材。混凝土组成材料的品种、质量、配合比以及搅拌、振捣、养护等因素都会影响混凝土的性能。

评价混凝土品质的主要指标是强度和耐久性。在设计和施工中常用的混凝土强度可分为立方体强度、轴心抗压强度、轴心抗拉强度等。为了使制作的混凝土有一个统一的评定标准,必须对混凝土的强度规定统一的级别,这就是混凝土的强度等级。

1.2.1 混凝土强度等级及其选用规定

1. 混凝土强度等级

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(以下简称《规范》)规定:

混凝土强度等级应按照立方体抗压强度标准值来确定。立方体抗压强度标准值($f_{cu,k}$)是指按照标准方法制作和养护的边长为150mm的立方体试件,在28d龄期,采用标准试验方法测得的具有95%保证率的抗压强度。

混凝土强度等级采用符号C和立方体抗压强度标准值表示,共划分为十四个强度等级,即C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80。如C20表示立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}=20\text{ N/mm}^2$ 的混凝土强度等级。

2. 混凝土强度等级的选用

素混凝土结构的强度等级不应低于C15;钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于C20;采用400MPa级钢筋时混凝土强度等级不应低于C25;采用500MPa级钢筋时混凝土强度等级不应低于C30。

承受重复荷载的钢筋混凝土构件,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。

当采用山砂混凝土及高炉矿渣混凝土时,尚应符合专门标准的规定。

1.2.2 混凝土强度标准值、设计值

混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度标准值 f_{ck} 、 f_{tk} 应按附录1中附表1-1的规定采用。

混凝土轴心抗压、轴心抗拉强度设计值 f_c 、 f_t 应按附录1中附表1-2的规定采用。

1.2.3 混凝土弹性模量及其他计算规定

1) 混凝土受压或受拉的弹性模量 E_c 应按附录1中附表1-3的规定采用。

2) 混凝土轴心抗压、轴心抗拉疲劳强度设计值 f_c^f 、 f_t^f 应按附录1中附表1-2的混凝土强度设计值乘以相应的疲劳强度修正系数 γ_f 确定。修正系数 γ_f 应根据不同的疲劳应力比值 ρ_c^f 按附录1中附表1-4a、1-4b的规定采用。

疲劳应力比值 ρ_c^f 应按式计算:

$$\rho_c^f = \frac{\sigma_{c,\min}^f}{\sigma_{c,\max}^f} \quad (1-1)$$

式中 $\sigma_{c,\min}^f$ 、 $\sigma_{c,\max}^f$ ——构件疲劳验算时，截面同一纤维上的混凝土最小应力、最大应力。

当采用蒸汽养护时，养护温度不宜超过 60℃；超过时，计算需要的混凝土强度设计值应提高 20%。

3) 混凝土疲劳变形模量 E_c^f 应按附录 1 中附表 1-5 的规定采用。

4) 当温度在 0 ~ 100℃ 范围内时，混凝土的线膨胀系数 α_c 可采用 $1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 。

混凝土的泊松比 ν_c 可采用 0.2。

混凝土的剪变模量 G_c 可按附录 1 附表 1-3 中混凝土弹性模量 E_c 的 0.4 倍采用。

1.3 钢筋

钢筋混凝土结构中所用钢筋，主要有热轧钢筋、热处理钢筋、钢丝、钢绞线等。

钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求主要有：强度高，具有良好的塑性和焊接性，与混凝土有较好的粘结锚固性能。

1.3.1 钢筋的选用

钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构的钢筋，应按下列规定进行选用：

1) 普通纵向受力钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋；也可采用 HRB335、HRBF335、HPB300 和 RRB400 钢筋。

2) 预应力筋宜采用钢丝、钢绞线和精轧螺纹钢。

3) 普通箍筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋；也可采用 HRB335、HRBF335、HPB300 钢筋。

1.3.2 钢筋强度的标准值、设计值

1) 钢筋的强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。

热轧钢筋的强度标准值系根据屈服强度确定，用 f_{yk} 表示。预应力钢绞线、钢丝和热处理钢筋的强度标准值系根据极限抗拉强度确定，用 f_{pk} 表示。

普通钢筋的强度标准值应按附录 2 中附表 2-1 的规定采用。预应力钢筋的强度标准值应按附录 2 中附表 2-2 的规定采用。

各种直径钢筋、钢绞线和钢丝的公称截面面积、计算截面面积及理论重量应按附录 3 采用。

2) 普通钢筋的抗拉强度设计值 f_y 及抗压强度设计值 f'_y 应按附录 2 中附表 2-3 的规定采用。预应力钢筋的抗拉强度设计值 f_{py} 及抗压强度设计值 f'_{py} 应按附录 2 中附表 2-4 的规定采用。

当构件中配有不同种类的钢筋时，每种钢筋应采用各自的强度设计值。

1.3.3 钢筋弹性模量及其他计算规定

1) 钢筋弹性模量 E_s 应按附录 2 中附表 2-5 的规定采用。

2) 普通钢筋和预应力钢筋疲劳应力增幅值 Δf_y^f 、 $\Delta f'_{py}^f$ 应由钢筋疲劳应力比值 ρ_s^f 、 ρ_p^f 分别按附录 2 中附表 2-6 和附表 2-7 的规定采用。

普通钢筋疲劳应力比值 ρ_s^f 应按下式计算：

$$\rho_s^f = \frac{\sigma_{s,\min}^f}{\sigma_{s,\max}^f} \quad (1-2)$$

式中 $\sigma_{s,\min}^f$ 、 $\sigma_{s,\max}^f$ ——构件疲劳验算时，同一层钢筋的最小应力、最大应力。

预应力钢筋疲劳应力比值 ρ_p^f 应按下式计算：

$$\rho_p^f = \frac{\sigma_{p,\min}^f}{\sigma_{p,\max}^f} \quad (1-3)$$

式中 $\sigma_{p,\min}^f$ 、 $\sigma_{p,\max}^f$ ——构件疲劳验算时，同一层预应力钢筋的最小应力、最大应力。

3) 当采用并筋(钢筋束)的形式配筋时，并筋的数量不应超过 3 根，其等效直径可按截面面积相等的原则换算确定。

4) 当因工程实际条件而必须作不同牌号或规格直径钢筋的代换时，应按钢筋承载力设计值相等的原则进行等强代换，还应满足配筋间距、保护层厚度、裂缝控制、挠度限值、锚固连接、构造要求以及抗震构造措施等的要求。

1.3.4 钢筋的锚固与连接

1. 钢筋的锚固

当计算中充分利用钢筋的抗拉强度时，受拉钢筋的锚固应符合下列要求：

(1) 基本锚固长度应按下式计算：

钢筋

$$l_{a0} = \alpha \frac{f_y}{f_t} d \quad (1-4)$$

预应力筋

$$l_{a0} = \alpha \frac{f_{py}}{f_t} d \quad (1-5)$$

(2) 当采用不同的埋置方式和构造措施时，锚固长度应按下式计算：

$$l_a = \xi_a l_{a0} \quad (1-6)$$

式中 l_a ——受拉钢筋的锚固长度，不应小于 $15d$ ，且不小于 200mm；

l_{a0} ——受拉钢筋的基本锚固长度；

f_y 、 f_{py} ——普通钢筋、预应力钢筋的抗拉强度设计值，按附录 2 中附表 2-3、附表 2-4 采用；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值，按附录 1 中附表 1-2 采用；当混凝土强度等级高于 C60 时，按 C60 取值；

d ——钢筋的公称直径；

ξ_a ——锚固长度修正系数，按下面的规定取用，锚固长度修正系数可以连乘计算；

α ——钢筋的外形系数，按表 1-1 取用。

表 1-1 钢筋的外形系数

钢筋类型	光面钢筋	带肋钢筋	螺旋肋钢丝	三股钢绞线	七股钢绞线
α	0.16	0.14	0.13	0.16	0.17

注：光面钢筋末端应做 180°弯钩，弯后平直段长度不应小于 $3d$ ，但作受压钢筋时可不作弯钩；带肋钢筋系指 HRB335 级、HRB400 级钢筋及 RRB400 级余热处理钢筋。

受拉钢筋的锚固长度修正系数 ξ_a 按下列规定取用:

- 1) 当钢筋的公称直径大于 25mm 时, 修正系数取 1.1。
- 2) 对环氧树脂涂层钢筋, 修正系数取 1.25。
- 3) 施工过程中易受扰动的钢筋, 修正系数取 1.1。
- 4) 当 HRB335、HRB400 和 RRB400 级钢筋在锚固区的混凝土保护层厚度大于钢筋直径的 3 倍且配有箍筋时, 钢筋的锚固长度可乘以修正系数 0.8。
- 5) 除构造需要的锚固长度外, 当纵向受力钢筋的实际配筋面积大于其设计计算值时, 如有充分依据和可靠措施, 其锚固长度修正系数可取设计计算面积与实际配筋面积的比值。但结构构件如有抗震设防要求或直接承受动力荷载时, 不得考虑此项修正。

(3) 纵向受拉钢筋的机械锚固措施

对于 HRB335 级、HRB400 级和 RRB400 级纵向受拉钢筋, 当其末端采用机械锚固措施时, 包括附加锚固端头在内的锚固长度可取为按式(1-6)计算的锚固长度的 0.7 倍。

钢筋机械锚固的形式及构造要求如图 1-1 所示。

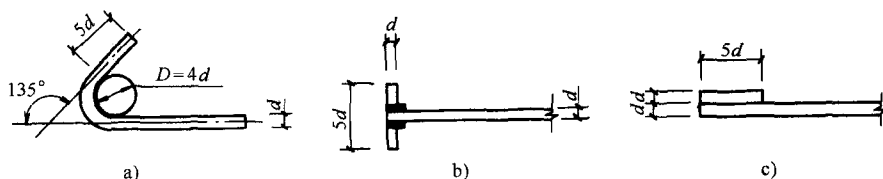


图 1-1 钢筋机械锚固的形式及构造要求

a) 末端带 135°弯钩 b) 末端与钢板穿孔塞焊 c) 末端与短钢筋双面贴焊

当采用机械锚固措施时, 锚固长度范围内的箍筋不应少于 3 个, 其直径不应小于纵向钢筋直径的 0.25 倍, 其间距不应大于纵向钢筋直径的 5 倍。当纵向钢筋的混凝土保护层厚度不小于钢筋公称直径的 5 倍时, 可不配置上述箍筋。

(4) 纵向受压钢筋的锚固长度

当计算中充分利用纵向钢筋的抗压强度时, 其锚固长度不应小于式(1-6)规定的受拉锚固长度的 0.7 倍。

机械锚固措施不得用于受压钢筋的锚固。

(5) 其他规定

对承受重复荷载的预制构件, 应将纵向非预应力受拉钢筋末端焊接在钢板或角钢上, 钢板和角钢应可靠地锚固在混凝土中。钢板或角钢的尺寸应按计算确定, 其厚度不宜小于 10mm。

2. 钢筋的连接

(1) 钢筋的连接可分为两种类型: 绑扎连接、机械连接或焊接。

1) 受力钢筋的接头宜设置在受力较小处, 在同一根钢筋上宜少设接头。

2) 绑扎搭接宜用于受拉钢筋直径不大于 25mm 以及受压钢筋直径不大于 28mm 的连接; 轴心受拉及小偏心受拉杆件的纵向受力钢筋不应采用绑扎搭接。

3) 机械连接宜用于直径不小于 16mm 受力钢筋的连接。

4) 焊接宜用于直径不大于 28mm 受力钢筋的连接。

5) 机械连接接头及焊接接头的类型及质量应符合国家现行有关标准的规定。

(2) 绑扎搭接接头

1) 位置。同一构件中相邻纵向受力钢筋的绑扎搭接接头宜相互错开。钢筋绑扎搭接接头连接区段的长度为 1.3 倍搭接长度, 凡搭接接头中点位于该连接区段长度内的搭接接头均属于同一连接区段, 如图 1-2 所示, 图中搭接接头同一连接区段的搭接钢筋为两根。

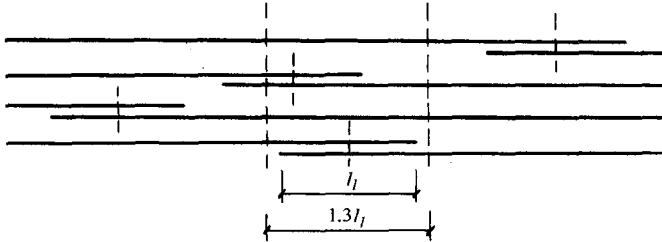


图 1-2 同一连接区段内的钢筋绑扎搭接接头

2) 钢筋搭接接头面积百分率。同一连接区段内纵向钢筋搭接接头面积百分率取为该区内有搭接接头的纵向受力钢筋截面面积与全部纵向受力钢筋截面面积之比。例如, 在图 1-2 中, 当钢筋直径相同时, 钢筋搭接接头面积百分率为 50%。

位于同一连接区段内的受拉钢筋搭接接头面积百分率: 对梁类、板类及墙类构件, 不宜超过 25%; 对柱类构件, 不宜超过 50%。当工程中确有必要增大受拉钢筋搭接接头面积百分率时, 对梁类构件, 不应大于 50%; 对板类、墙类及柱类构件, 可根据实际情况放宽。

3) 搭接长度。纵向受拉钢筋绑扎搭接接头的搭接长度应根据位于同一连接区段内的钢筋搭接接头面积百分率按式(1-7)计算, 且不应小于 300mm。

$$l_l = \zeta_l l_a \quad (1-7)$$

式中 l_l ——纵向受拉钢筋的搭接长度;

l_a ——纵向受拉钢筋的锚固长度, 按式(1-6)计算;

ζ_l ——纵向受拉钢筋搭接长度修正系数, 按表 1-2 的规定取用。

表 1-2 纵向受拉钢筋搭接长度修正系数

纵向钢筋搭接接头面积百分率(%)	≤25	50	100
ζ_l	1.2	1.4	1.6

构件中的纵向受压钢筋, 当采用搭接连接时, 其受压搭接长度不应小于 $0.7l_l$, 且在任何情况下不应小于 200mm。

在纵向受力钢筋搭接长度范围内应配置箍筋, 箍筋直径不应小于搭接钢筋中直径较大钢筋的 0.25 倍。当为受拉钢筋时, 箍筋间距不应大于搭接钢筋中直径较小钢筋的 5 倍, 且不应大于 100mm; 当为受压钢筋时, 箍筋间距不应大于搭接钢筋中直径较小钢筋的 10 倍, 且不应大于 200mm。当受压钢筋直径 $d > 25\text{mm}$ 时, 还须在搭接接头两个端面外 100mm 范围内各设置两道箍筋。

(3) 机械连接接头

1) 位置。纵向受力钢筋机械连接接头宜相互错开。钢筋机械连接接头连接区段的长度

为 $35d$ (d 为连接钢筋的较小直径)。凡接头中点位于该连接区段长度内的机械连接接头均属于同一连接区段。

2) 钢筋机械连接接头面积百分率。位于同一连接区段内的纵向受拉钢筋接头面积百分率不宜大于 50%。直接承受动力荷载的结构构件中的机械连接接头,除应满足设计要求的抗疲劳性能外,位于同一连接区段内的纵向受力钢筋接头面积百分率不应超过 50%。

机械连接接头连接件的混凝土保护层厚度宜满足纵向受力钢筋最小保护层厚度的要求。连接件之间的横向净间距不宜小于 25mm。接头连接件处箍筋间距不应加大。

(4) 焊接接头

1) 位置。纵向受力钢筋的焊接接头应相互错开。钢筋焊接接头连接区段的长度为 $35d$ (d 为纵向受力钢筋的较小直径)且不小于 500mm。凡接头中点位于该连接区段长度内的焊接接头均属于同一连接区段。

2) 焊接接头面积百分率。位于同一连接区段内纵向受力钢筋的焊接接头面积百分率应满足下列要求:对纵向受拉钢筋接头,不应大于 50%;纵向受压钢筋的接头面积百分率可不进行限制。

注:承受均布荷载作用的屋面板、楼板、檩条等简支受弯构件,如在受拉区内配置的纵向受力钢筋不足 3 根时,可在跨度两端各四分之一的跨度范围内设置一个焊接接头。

(5) 其他规定

需进行疲劳验算的构件,其纵向受拉钢筋不得采用绑扎搭接接头,也不宜采用焊接接头,且严禁在钢筋上焊有任何附件(端部锚固除外)。

当钢筋长度不足,直接承受起重机荷载的钢筋混凝土起重梁、屋面梁及屋架下弦的纵向受拉钢筋必须采用焊接接头时,尚应符合下列规定:

1) 必须采用闪光接触对焊,并去掉接头的毛刺及卷边。

2) 同一连接区段内纵向受拉钢筋的焊接接头面积百分率不应大于 25%,此时,焊接接头连接区段的长度应取为 $45d$ (d 为纵向受力钢筋的较大直径)。

3) 在进行疲劳验算时,应按照有关规定,对焊接接头处的疲劳应力幅限值进行折减。

1.4 结构设计基本规定

1.4.1 结构的功能要求

1. 结构必须满足的各项功能

建筑结构在预定的使用期限内必须满足安全性、适用性、耐久性、整体稳定性的要求。

1) 结构在规定的使用年限内,能承受正常施工和正常使用过程中出现的各种作用(如各种荷载、温度变化、地震等),即为安全性。

2) 结构在正常使用时能满足预定的使用要求,具有良好的工作性(如不出现影响正常使用的过大变形,不发生过宽的裂缝等),即为适用性。

3) 结构在正常的维护条件下,在规定的年限内仍能满足预定的功能要求,即具有足够的耐久性。

4) 在设计规定的偶然事件发生时及发生后,仍能保持必需的整体稳定性。

2. 结构的可靠性、可靠度

结构的安全性、适用性、耐久性、整体稳定性统称为结构的可靠性。

结构的可靠性是指结构在规定的时间内(设计基准期,一般为 50 年),在规定的条件下(正常设计、正常施工、正常使用、正常维护条件),完成预定功能(满足结构功能的需要)的能力。

可靠度是可靠性的概率度量。它是指结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。

3. 设计基准期

可靠度是有时间限制的,计算结构的可靠度时,必须确定结构的使用期,即设计基准期。满足结构功能要求的时间为设计基准期。我国的设计基准期为 50 年。当然,当结构的使用年限达到或超过设计基准期后,并不意味着立即报废,而是意味着结构的可靠度将逐渐降低。

4. 设计使用年限

在设计使用年限内,结构和结构构件在正常维护条件下,应不需进行大修加固即可按预定设计目的保持其使用功能。结构的设计使用年限应按现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001 的规定采用,见表 1-3。若建设单位提出更高要求,也可按建设单位的要求确定。

表 1-3 设计使用年限分类

类 别	设计使用年限/年	示 例
1	1~5	临时性建筑
2	25	易于替换的结构构件
3	50	普通房屋和构筑物
4	100 及以上	纪念性建筑和特别重要的建筑结构

5. 建筑结构的安全等级

根据建筑结构破坏后果的严重程度,建筑结构划分为三个安全等级。设计时应根据具体情况,按照表 1-4 的规定选用相应的安全等级。

表 1-4 建筑结构的安全等级

安 全 等 级	破 坏 后 果	建筑物类型
一级	很严重	重要的建筑物
二级	严重	一般的建筑物
三级	不严重	次要的建筑物

注: 1. 对有特殊要求的建筑物,其安全等级应根据具体情况另行确定。

2. 建筑物中各类结构构件的安全等级,宜与整个结构的安全等级相同,对其中部分结构构件的安全等级,可根据其重要程度进行适当调整,但不得低于三级。

1.4.2 极限状态的定义和分类

1. 极限状态

在使用中当整个结构或结构的一部分,超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求时,此特定状态就称为该功能的极限状态。极限状态是区分结构工作状态的可靠或者失效的标志。

2. 极限状态可分为以下两类

(1) 承载能力极限状态:当结构或结构构件达到最大承载能力、出现疲劳破坏或不适