

GANGJIN GONGCHENGLIANG JISUAN

钢筋工程量计算

(含按计算器程序计算)

郭继武 郭 全 编著

中国建筑工业出版社

钢筋工程量计算

(含按计算器程序计算)

◆ 郭继武 郭 全 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢筋工程量计算 (含按计算器程序计算)/郭继武, 郭全编
著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 11
ISBN 978-7-112-19714-9

I. ①钢… II. ①郭…②郭… III. ①配筋工程-工程造价-计算方法-高等教育-教学参考资料 IV. ①TU723. 32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 198954 号

本书共分 7 章, 内容包括: 钢筋工程量计算的预备知识、基础钢筋工程量计算、框架梁的钢筋工程量计算、框架柱钢筋工程量计算、混凝土板钢筋工程量计算、板式楼梯钢筋工程量计算以及编程计算器简介和编程方法。

书中结合例题介绍了编程方法, 并列出了钢筋混凝土基本构件钢筋量计算的典型实例, 每个例题都采用了手算和按计算器程序计算两种方法完成, 以便读者学习过程中加以比较、对照, 以提高学习效果。

本书可作为高职、高专相关专业规划教材《钢筋工程量计算》的补充或课外参考书, 也可供建筑施工技术人员学习钢筋工程量计算的参考。

责任编辑: 郭 栋 辛海丽

责任校对: 陈晶晶 张 颖

钢筋工程量计算

(含按计算器程序计算)

郭继武 郭 全 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12 $\frac{3}{4}$ 字数: 314 千字

2016 年 12 月第一版 2016 年 12 月第一次印刷

定价: 38.00 元

ISBN 978-7-112-19714-9

(29264)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

采用手工计算钢筋工程量是一项烦琐的工作。“工欲善其事，必先利其器。”工程计算要准确、快捷地获得结果，必须有好的计算工具。

编写本书的目的在于，除介绍钢筋工程量普通算法外，特别重点向读者介绍如何应用编程计算器编程，以及如何应用编程计算器计算钢筋工程量。

采用编程计算器计算钢筋工程量尚有以下特点：

(1) 按编程计算器计算钢筋量，与手工计算步骤贴近。程序编写简单，计算方便。一般工程技术人员都能掌握。因此，可根据工程具体情况自己编写程序，或对已有程序加以改写和补充，做到计算心中有数，不会对计算结果有后顾之忧。

(2) 编程计算器计算速度快捷、准确。例如，计算《国家建筑标准设计图集》11G101-3 P27 所示的框架结构（3 跨，6 个开间，建筑占地面积 550m^2 ）的柱下十字交叉条形基础底板钢筋量，只需 40~50min 即可完成。

(3) 钢筋工程量计算公式十分简单，只不过是数字作 +、-、 $\times$ 、 $\div$ 运算，而计算困难在于，这些计算公式限制条件较多，例如，简单的独立基础底板钢筋量计算，就要区分基底尺寸 $\geq 2500\text{mm}$ 和 $< 2500\text{mm}$ 、结构所处环境类别、结构抗震等级、钢筋种类、混凝土强度等级等条件。为了计算方便，我们在程序中都编入了这些限定内容，读者在计算过程中，不需再查表确定这些计算参数。

(4) 编程计算器大小与普通计算器相差无几，携带方便，特别对老师授课、在校学生学习，以及工程技术人员培训等，尤为方便。

(5) 采用编程计算器计算钢筋工程量的结果，可作为手工计算或计算机计算的一种校核手段。

(6) 编程计算器性价比较好。

本书在编写过程中，内容力求简明扼要，言简意赅，重点突出。避免求多求全。只要将基本原理讲清楚，其他问题便可迎刃而解。例如在讲板的受力钢筋的根数时，关于起步钢筋的距离如何确定问题，书中并未罗列各种方法，而只讲了经常采用的 50mm 的规定。由于各种方法所规定的数值之间相差并不大，对计算结果影响十分有限。因此似无必要将其一一列出。但对有些问题则必须讲清楚，例如，梁内受力钢筋（如梁底纵向钢筋，受扭纵筋）和构造钢筋（如架立筋，腰筋）一定要加以区分，因为前者必须可靠地锚入支座内，以保证结构的承载力，而后者则只要求满足与其他钢筋绑扎条件即可。

以上一些看法，乃笔者一孔之见，并不一定正确，尚请读者不吝指正。

本书第 1、2、3、4 章和第 7 章由郭继武编写，第 5、6 章由郭全编写。

由于笔者水平所限，书中可能存在疏漏之处，请广大读者批评指正。在编写本书过程中，参考了一些公开发表的文献和专著，谨向这些作者表示感谢。

目 录

第 1 章 钢筋工程量计算的预备知识	1
1.1 混凝土的力学性能	1
1.2 钢筋的力学性能	2
1.3 混凝土保护层	4
1.4 地震震级和地震烈度	6
1.5 现浇钢筋混凝土房屋的抗震等级	7
1.6 钢筋与混凝土的黏结与锚固	8
1.7 钢筋的连接	12
第 2 章 基础钢筋工程量计算	15
2.1 柱下独立基础钢筋量计算	15
2.2 柱下交叉条形基础钢筋量计算	33
2.3 计算程序	42
第 3 章 框架梁钢筋工程量的计算	50
3.1 框架梁纵向钢筋抗震构造措施	50
3.2 框架梁钢筋下料长度和根数计算公式	51
3.3 计算实例	53
3.4 计算程序	81
第 4 章 框架柱钢筋工程量的计算	94
4.1 框架柱纵向钢筋和箍筋抗震构造措施	94
4.2 框架柱纵向钢筋锚固、连接与长度计算	98
4.3 框架柱箍筋长度和根数计算	101
4.4 计算实例	105
4.5 计算程序	120
第 5 章 混凝土板钢筋工程量的计算	132
5.1 单跨双向板	132
5.2 双跨双向板	142
5.3 三跨双向板	146
第 6 章 板式楼梯钢筋工程量的计算	150
6.1 板式楼梯的构造	150
6.2 板式楼梯钢筋量的计算	151
6.3 计算实例	152
6.4 计算程序	155

第 7 章 fx -CG20 计算器介绍和编程方法	157
7.1 fx -CG20 计算器简介	157
7.2 fx -CG20 计算器基本操作	157
7.3 fx -CG20 计算器计算模式和基本设置	158
7.4 变量、运算符与表达式	160
7.5 计算器的编程语言	161
7.6 列表及其应用简介	176
7.7 矩阵及其应用简介	177
7.8 综合应用题	180
7.9 疑难问题解答	184
附录	187
附录 A 《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 材料力学指标	187
附录 B 钢筋公称直径和截面面积	190
附录 C 计算程序索引	194
参考文献	196

第 1 章 钢筋工程量计算的预备知识

1.1 混凝土的力学性能

1. 混凝土强度等级

《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010（以下简称《混规》）规定，混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值系指，按标准方法制作、养护的边长为 150mm 的立方体试块，在 28d 龄期，用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度值。用符号 $f_{cu,k}$ 表示。

立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 是混凝土基本代表值，混凝土各种力学指标可由它换算得到。

《混规》规定，混凝土强度等级分为 14 级：C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80。其中 C (Concrete) 表示混凝土，C 后面的数字表示混凝土立方体抗压强度标准值，单位为 N/mm^2 。

《混规》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 400MPa 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，混凝土强度等级不应低于 C30。

2. 混凝土轴心抗压强度

在工程中，钢筋混凝土轴心受压构件，如柱、屋架的受压腹杆等，它们的长度比其横截面边长尺寸大得多。因此，钢筋混凝土轴心受压构件中的混凝土强度，与混凝土棱柱体轴心抗压强度接近。所以，在计算这类构件时，混凝土强度应采用棱柱体轴心抗压强度，简称轴心抗压强度。

我国《普通混凝土力学性能试验方法》规定，混凝土轴心抗压强度应按标准方法制作、养护的截面为 150mm×150mm、高度为 300mm 的棱柱体，在 28d 龄期，用标准试验方法测得的破坏荷载除以其截面面积，即为棱柱体轴心抗压强度值。

(1) 混凝土轴心抗压强度标准值

由试验可知，混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 与立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 有下列关系：

$$f_{ck} = 0.67f_{cu,k} \quad (1-1)$$

式中 f_{ck} ——混凝土轴心抗压强度标准值；

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值。

例如，C30 的混凝土的轴心抗压强度标准值为

$$f_{ek} = 0.67f_{cu,k}0.67 \times 30 = 20.10\text{N/mm}^2$$

混凝土轴心抗压强度标准值见表 1-1。

混凝土轴心抗压强度标准值 (N/mm²) 表 1-1

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ek}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.5	50.5

(2) 混凝土轴心抗压强度设计值

《混规》规定，混凝土结构构件按承载能力计算时，混凝土强度应采用设计值。

混凝土强度设计值，等于混凝土强度标准值除以混凝土的材料分项系数 γ_c 。《混规》规定， $\gamma_c=1.40$ 。它是根据可靠指标及工程经验并经分析确定的。

混凝土轴心抗压强度设计值，参见表 1-2。

混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm²) 表 1-2

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_c	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.14	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9

3. 混凝土轴心抗拉强度

计算钢筋混凝土和预应力混凝土构件钢筋锚固长度、抗裂或裂缝宽度时，要应用混凝土轴心抗拉强度。

(1) 混凝土轴心抗拉强度标准值

混凝土轴心抗拉强度标准值见表 1-3。

混凝土轴心抗拉强度标准值 (N/mm²) 表 1-3

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.93	2.99	3.05	3.11

(2) 混凝土轴心抗拉强度设计值

混凝土轴心抗拉强度设计值，参见表 1-4。

混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm²) 表 1-4

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_t	0.91	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89	1.06	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22

1.2 钢筋的力学性能

1.2.1 钢筋的分类

建筑工程所用的钢筋按其加工工艺不同，分以下两大类：

1. 普通钢筋

用于混凝土结构构件中的各种非预应力钢筋，统称为普通钢筋。这种钢筋为热轧钢筋，是由低碳钢或普通合金钢在高温下轧制而成。按其强度不同分为：HPB300、HRB335、(HRB335F)、HRB400、(HRBF400、RRB400)、HRB500、(HRBF500)四级。其中，第一个字母表示生产工艺，如H表示热轧(Hot-Rolled)，R表示余热处理(Remained heat treatment ribbed)；第二个字母表示钢筋表面形状，如P表示光面(Plain round)，R表示带肋(Ribbed)；第三个字母B(Bar)表示钢筋。在HRB后面加字母F(Fine)的，为细精粒热轧钢筋。英文字母后面的数字表示钢筋屈服强度标准值，如400，表示该级钢筋的屈服强度标准值为 400N/mm^2 。

细精粒热轧钢筋是《混规》为了节约合金资源，新列入的具有一定延性的控轧HRBF系列热轧带肋钢筋。

考虑到各种类型钢筋的使用条件和便于在外观上加以区别。国家标准《钢筋混凝土用钢第1部分：热轧光圆钢筋》GB 1499.1—2008规定，HPB300级钢筋外形轧成光面，故又称光圆钢筋。国家标准《钢筋混凝土用钢第2部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2—2007规定，HRB335、HRB400、RRB400级钢筋外形轧成肋形(横肋和纵肋)。横肋的纵截面为月牙形，故又称月牙肋钢筋。月牙肋钢筋(带纵肋)表面及截面形状如图1-1所示。

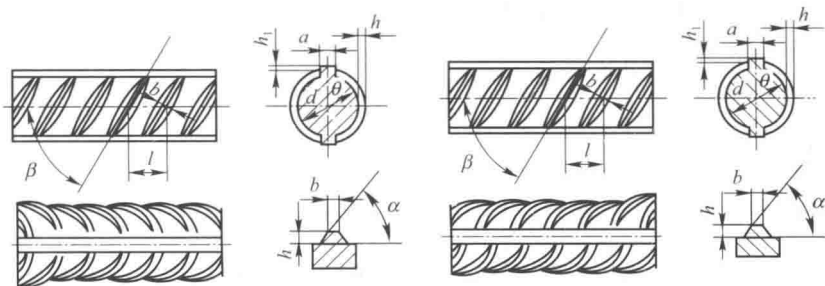


图1-1 月牙肋钢筋(带纵肋)表面及截面形状

余热处理钢筋是在钢筋热轧后经淬火，再利用芯部余热回火处理而形成的。经这样处理后，不仅提高了钢筋的强度，还保持了一定延性。

2. 预应力钢筋

用于预应力混凝土构件中的中强度预应力钢丝、预应力螺纹钢筋、消除应力钢丝和钢绞线统称为预应力钢筋。

《混规》规定，混凝土结构的钢筋应按下列规定采用：

(1) 纵向普通受力钢筋宜采用HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500，也可采用HPB300、HRB335、HRBF335、RRB400钢筋；

(2) 梁、柱纵向普通受力钢筋应采用HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500钢筋；

(3) 箍筋宜采用HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500、HRBF500钢筋，也可采用HRB335、HRBF335钢筋；

(4) 预应力钢筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。

1.2.2 钢筋强度标准值和设计值

1. 钢筋强度标准值

钢筋强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。

普通钢筋的屈服强度标准值 f_{yk} 、极限强度标准值 f_{stk} 应按表 1-5 采用。其中极限强度标准值 f_{stk} （即钢筋拉断前相应于最大拉力下的强度）是《混规》新增加的钢筋标准值。以供结构抗倒塌设计之需。

2. 钢筋强度设计值

《混规》规定，混凝土结构构件按承载力计算时，钢筋强度应采用设计值。

钢筋强度设计值，等于钢筋强度标准值除以钢筋的材料分项系数 γ_s 。《混规》规定，对于延性较好的热轧钢筋 γ_s 取 1.10。但对于新列入的高强度 500MPa 级钢筋为适当提高安全储备，取 1.15。对于预应力钢筋，由于延性稍差，一般取不小于 1.20。

普通钢筋的强度标准值 (N/mm²) 表 1-5

牌号	符号	公称直径 d (mm)	屈服强度标准 f_{yk}	极限强度标准值 f_{stk}
HPB300		6~14	300	420
HRB335		6~14	335	455
HRB400 HRBF400 RRB400		6~50	400	540
HRB500 HRBF500		6~50	500	830

普通钢筋的抗拉强度设计值 f_y 、抗压强度设计值 f'_y 参见表 1-6。

普通钢筋的强度设计值 (N/mm²) 表 1-6

牌号	符号	公称直径 d (mm)	屈服强度标准 f_y	极限强度标准值 f'_y
HPB300		6~14	270	420
HRB335		6~14	300	300
HRB400 HRBF400 RRB400		6~50	360	360
HRB500 HRBF500		6~50	435	435

1.3 混凝土保护层

1.3.1 混凝土结构的环境类别

《混规》规定，混凝土结构的环境类别应按表 1-7 划分。

混凝土结构的环境类别 表 1-7

项次	环境类别	条 件
1	—	室内干燥环境； 无侵蚀性静水浸没环境
2	二 a	室内潮湿环境； 非严寒和非寒冷地区的露天环境； 非严寒和非寒冷地区与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境； 严寒和寒冷地区的冰冻线以下与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
3	二 b	干湿交替环境； 水位频繁变动的环境； 严寒和寒冷地区的露天环境； 严寒和寒冷地区的冰冻线以上与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
4	三 a	严寒和寒冷地区冬季水位变动区环境； 受除冰盐影响环境； 海风环境
5	三 b	盐渍土环境； 受除冰盐作用环境； 海岸环境
6	四	海水环境
7	五	受人为或自然的侵蚀性物质影响的环境

注：1. 室内潮湿环境是指构件表面经常处于结露或潮湿环境；
2. 严寒和寒冷地区的划分应符合现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176 的有关规定；
3. 海岸环境和海风环境宜根据当地，考虑主导风向及结构所处迎风、背风部位等因素的影响，由调查研究和工程经验确定；
4. 受除冰盐影响环境是指到除冰盐盐雾影响的环境；受除冰盐作用环境是指被除冰盐溶液溅射的环境以及使用除冰盐地区的洗车房、停车楼等建筑；
5. 暴露的环境是指混凝土结构表面所处的环境。

1.3.2 混凝土保护层最小厚度

混凝土构件中普通钢筋及预应力筋的混凝土保护层厚度应满足下列要求：

- 1. 构件中受力钢筋的混凝土保护层厚度不应小于钢筋的公称直径 d ；
- 2. 设计使用年限为 50 年的混凝土结构，最外层钢筋的保护层厚度应符合表 1-8 的规定；设计使用年限为 100 年的混凝土结构，最外层钢筋的保护层厚度不应小于表 1-8 中数值的 1.4 倍。

混凝土最小保护层厚度 c (mm) 表 1-8

环境类别	板、墙、壳	梁、柱、杆
—	15	20
二 a	20	25
二 b	25	35
三 a	30	40
三 b	40	50

注：1. 混凝土强度等级不大于 C25 时，表中保护层厚度数值应增加 25mm；
2. 钢筋混凝土基础宜设置混凝土垫层，基础中钢筋的混凝土保护层厚度应从垫层顶层算起，且不应小于 40mm。

1.4 地震震级和地震烈度

1.4.1 地震震级

衡量一次地震释放能量大小的等级称为震级，用 M 表示。

由于人们所能观测到的只是地震波传到地面的振动，这也正是对我们有直接影响的那一部分地震能量所引起地面振动。因此，也就自然地用地面振动的振幅大小来度量地震的震级。

1935 年，里克特 (C. R. Richter) 首先提出了震级的定义：震级系利用标准地震仪（指周期为 0.8s，阻尼系数为 0.8，放大倍数为 2800 的地震仪）距震中 100km 处记录到的以微米 ($1\mu\text{m}=1\times 10^{-3}\text{mm}$) 为单位的最大水平位移（振幅） A 的常用对数值：

$$M = \lg A \quad (1-2)$$

式中 M ——地震震级，一般称为里氏震级；

A ——由地震曲线图上量得的最大振幅。

例如，距震中 100km 处，利用标准地震仪记录到的地震曲线图上量得的最大振幅 $A=10\text{mm}$ ，即 $10^4\mu\text{m}$ ，于是该次地震的震级为：

$$M = \lg A = \lg 10^4 = 4$$

实际上，地震时距震中 100km 处不一定恰好有地震台站，而且地震台站也不一定有上述的标准地震仪。因此，对于震中距不是 100km 的地震台站和采用非标准地震仪时，需按修正后的震级计算公式确定震级。

震级与地震释放的能量有下列关系：

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1-3)$$

式中 E ——地震释放的能量。

由式 (1-2) 和式 (1-3) 计算可知，当震级增大一级时，地面振动振幅增加 10 倍，而能量增加近 32 倍。

一般说来， $M < 2$ 的地震，人们感觉不到，称为微震； $M = 2 \sim 4$ 的地震，为有感地震； $M > 5$ 的地震，对建筑物就要引起不同程度的破坏，统称为破坏性地震； $M > 7$ 的地震称为强烈地震或大地震； $M > 8$ 的地震称为特大地震。

1.4.2 地震烈度和基本烈度

1. 地震烈度

地震烈度是指地震时，在一定地点引起的地面震动及其引起的强烈程度。相对震中而言，地震烈度也可以把它理解为地震场的强度。

我国 2008 年公布实施的《中国地震烈度表》GB/T 17742—2008，将地震烈度由小到大划分为 12 度。

2. 基本烈度

强烈地震是一种破坏性很大的自然灾害，它的发生具有很大的随机性。采用概率方法

预测某地区未来一定时间内可能发生的最大烈度是有实际意义的。国家有关部门提出了基本烈度的概念。

一个地区的基本烈度是指该地区在今后 50 年期限内，在一般场地条件下可能遭遇超越概率为 10% 的地震烈度。

国家地震局和建设部于 1992 年联合发布了新的《中国地震烈度区划图》。该图给出了全国各地地震基本烈度的分布，可供国家经济建设和国土利用规划、一般工业与民用建筑的抗震设防及制定减轻和防御地震灾害对策之用。

1.5 现浇钢筋混凝土房屋的抗震等级

为了体现对不同设防烈度、不同场地、不同高度、不同结构体系的房屋有不同的抗震要求，《抗震规范》根据结构类型、设防烈度、房屋高度和场地类别，将钢筋混凝土结构房屋划分为不同的抗震等级，参见表 1-9。

现浇钢筋混凝土房屋的抗震等级 表 1-9

结构类型			设 防 烈 度									
			6		7			8		9		
框架结构	高度 (m)		≤24	>24	≤24	>24	≤24	>24	≤24			
	框 架		四	三	三	二	二	一	一			
	大跨度公共建筑		三		二			一		一		
框架-抗震墙结构	高度 (m)		≤60	>60	≤24	>24~60	>60	≤24	>24~60	>60	≤24	>24~60
	框 架		四	三	四	三	二	三	二	一	二	一
	抗震墙		三		三	二		二	一		一	
抗震墙结构	高度 (m)		≤80	>80	≤24	>24~80	>80	≤24	>24~80	>80	≤24	>24~60
	抗震墙		四	三	四	三	二	三	二	一	二	一
部分框支抗震墙结构	高度 (m)		≤80	>80	≤24	>24~80	>80	≤24	>24~80			
	抗震墙	一般部位	四	三	四	三	二	三	二			
		加强部位	三	二	三	二	二	二	一			
	框支层框架		二		二			一	一			
筒体结构	框架核心筒	框架	三		二			一		一		
		核心筒	二		二			一		一		
	筒中筒	外筒	三		二			一		一		
		内筒	三		二			一		一		
板柱-抗震墙结构	高度 (m)		≤35	>35	≤35	>35		≤35		>35		
	框架、板柱的柱		三	二	二	一		一				
	抗震墙		二	二	二	一		二		一		

注：1. 接近或等于高度分界线时，应允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级；
2. 大跨度框架指跨度不小于 18m 的框架；
3. 高度不超过 60m 的框架-核心筒结构按框架-抗震墙的要求设计时，应按表中框架-抗震墙结构的规定确定其抗震等级。

应当指出,划分房屋抗震等级的目的在于,对房屋采取不同的抗震措施(包括:内力调整、轴压比的控制和抗震构造措施)。因此,表 1-9 中的设防烈度应按《抗震规范》3.1.3 条各抗震设防类别建筑的抗震设防标准中抗震措施的要求的设防烈度确定:

甲类建筑,当抗震设防烈度为 6~8 度时,应按本地区抗震设防烈度提高一度采用,当为 9 度时,应比 9 度抗震设防更高的烈度采用;

乙类建筑,一般情况下,当设防烈度为 6~8 度时,应按本地区抗震设防烈度提高一度采用,当为 9 度时,应按比 9 度更高的烈度采用。对较小的乙类建筑,当其结构改用抗震性能较好的结构类型时,可按本地区抗震设防烈度采用。

丙类建筑,按本地区抗震设防烈度采用。

丁类建筑,应按本地区抗震设防烈度适当降低的烈度采用,但抗震设防烈度为 6 度时不应降低。

此外,当建筑场地为 I 类时,甲、乙类建筑应允许仍按本地区抗震设防烈度采用;丙类建筑应允许按本地区抗震设防烈度降低一度采用,但抗震设防烈度为 6 度时,仍按本地区抗震设防烈度采用。

《抗震规范》对建造在 I 类场地上的丁类建筑的抗震设防烈度取值未予提及,一般认为,可按丙类建筑规定采用。

综上所述,可将用于确定房屋抗震等级的抗震设防烈度汇总于表 1-10。

按建筑类别及场地调整后用于确定抗震等级的烈度

表 1-10

建筑类别	场 地	设 防 烈 度			
		6	7	8	9
甲、乙类	I	6	7	8	9
	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ	7	8	9	9*
丙 类	I	6	6	7	8
	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ	6	7	8	9
丁 类	I	6	6	7	8
	Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ	6	7 ⁻	8 ⁻	9 ⁻

注:1. I 类场地时,按调整后的抗震烈度由表 1-9 确定的抗震等级采取抗震构造措施,但内力调整的抗震等级仍与Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类场地相同;

2. 9* 表示比 9 度一级更有效的抗震措施,主要考虑合理的建筑平面及体型、有利的结构体系和更严格的抗震措施,具体要求应进行专门研究;

3. 7⁻、8⁻、9⁻ 表示该抗震等级的抗震构造措施可以适当降低。

1.6 钢筋与混凝土的黏结与锚固

1.6.1 钢筋与混凝土的黏结强度

钢筋混凝土构件在外力作用下,在钢筋与混凝土接触面上将产生剪应力。当剪应力超过钢筋与混凝土之间的黏结强度时,钢筋与混凝土之间将发生相对滑动,而使构件早期破坏。

钢筋与混凝土之间的黏结强度,实质上,是钢筋与混凝土处于极限平衡状态时两者之

间产生的极限剪应力,即抗剪强度。黏结强度的大小和分布规律,可通过钢筋抗拔试验确定,试件如图 1-2 所示。钢筋在拉力作用下,在钢筋与混凝土接触面上产生剪应力 τ ,当它不超过黏结强度 τ_f 时,钢筋就不会拔出。

现来分析钢筋与混凝土之间的黏结强度及其分布规律。设钢筋在拉力作用下,钢筋与混凝土处于极限平衡状态。从距试件端部 x 处,切取一钢筋微分体来加以分析,由平衡条件可得:

$$\sum X=0,$$

$$(\sigma_s - d\sigma_s - \sigma_s) \frac{1}{4} \pi d^2 + \tau_f \pi d \cdot dx = 0$$

式中 d ——钢筋直径;

σ_s ——钢筋应力。

经整理后,得 x 点处黏结强度

$$\tau_f = \frac{d}{4} \cdot \frac{d\sigma_s}{dx} \quad (1-4)$$

在抗拔试验中,只要测得钢筋应力 σ_s 分布规律(图 1-2b),即可按式(1-4)求得各点的黏结强度 τ_f 值,从而绘出 τ_f 的分布图(图 1-2c)。

当钢筋处于极限平衡状态时,作用在钢筋上的外力,应等于钢筋与混凝土之间在长度 l 范围内的黏结强度总和,即:

$$N = \pi d \int_0^l \tau_f dx = \bar{\tau}_f \pi d l$$

式中 $\bar{\tau}_f$ ——平均黏结强度。

因为

$$N = \sigma_{s, \max} \cdot \frac{1}{4} \pi d^2$$

所以

$$\bar{\tau}_f = \frac{1}{4l} d \sigma_{s, \max} \quad (1-5)$$

式中 $\sigma_{s, \max}$ ——拔出时钢筋最大拉应力。

试验表明,钢筋与混凝土之间的黏结强度与混凝土立方体抗压强度和钢筋的表面特征有关,参见图 1-3。对于光面钢筋, $\bar{\tau}_f = 1.5 \sim 3.5 \text{ N/mm}^2$; 变形钢筋 $\bar{\tau}_f = 2.5 \sim 6.5 \text{ N/mm}^2$ 。

1.6.2 钢筋的锚固长度

1. 基本锚固长度

当钢筋最大应力 $\sigma_{s, \max}$ 与屈服强度 f_y 相等

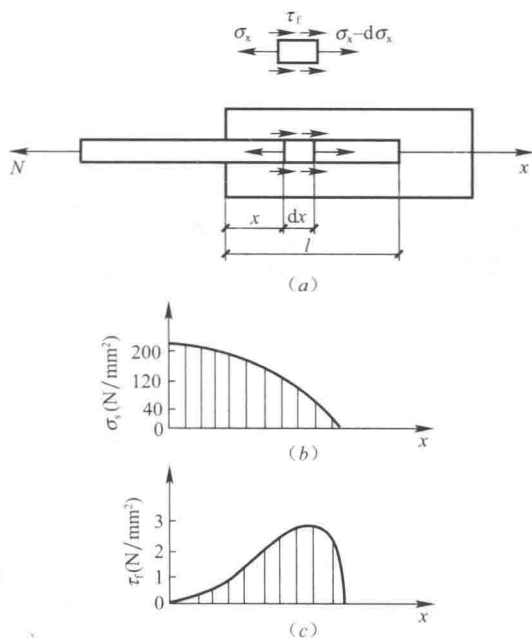


图 1-2 钢筋与混凝土之间的黏结强度

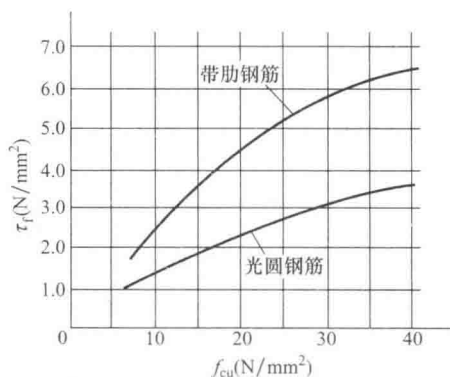


图 1-3 黏结强度与混凝土立方体抗压强度之间的关系

时，按式（1-5）可算得钢筋埋入混凝土中的长度，把它称为钢筋基本锚固长度，用 l_{ab} 表示

$$l_{ab} = \frac{df_y}{4\bar{\tau}_f}$$

(1-6)

将不同种类的钢筋屈服强度 f_y 和不同强度等级的黏结强度 $\bar{\tau}_f$ ，代入式（1-6）中，可求得钢筋锚固长度理论值。《混规》将式（1-6）中的 $\bar{\tau}_f$ 换算成混凝土抗拉强度 f_t 和与钢筋外形有关的系数 α ，经可靠度分析并考虑我国经验，便可得到受拉钢筋的基本锚固长度公式：

$$l_{ab} = \alpha \frac{df_y}{f_t}$$

(1-7)

式中 l_{ab} ——普通钢筋受拉时基本锚固长度；
 d ——钢筋直径；
 f_y ——普通钢筋抗拉强度设计值；
 f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值，当混凝土强度等级高于 C60 时，按 C60 采用；
 α ——锚固钢筋外形系数，光面钢筋 $\alpha=0.16$ ；带肋钢筋 $\alpha=0.14$ 。光面钢筋末端应做成 180° 弯钩。弯后平直段长度不应小于 $3d$ ，但做受压钢筋时可不弯钩。

2. 钢筋锚固长度

受拉钢筋的锚固长度应根据锚固条件按下列公式进行计算，且不应小于 200mm：

$$l_a = \zeta_a l_{ab}$$

(1-8)

式中 ζ_a ——锚固长度修正系数，对普通钢筋应按下列规定采用，当多于一项时，可按连乘计算，但不应小于 0.60：

- (1) 当带肋钢筋的公称直径大于 25mm 时取 1.10；
- (2) 环氧树脂涂层带肋钢筋取 1.25；
- (3) 施工过程中易受扰动的钢筋取 1.10；

(4) 当纵向受力钢筋的实际配筋面积大于其设计计算面积时，修正系数取设计计算面积与实际配筋面积的比值，但对有抗震设防要求及直接承受动力荷载的结构构件，不应考虑此项修正；

(5) 锚固钢筋的保护层厚度为 $3d$ 时修正系数可取 0.80，保护层厚度为 $5d$ 时修正系数可取 0.70，中间按内插取值，此处 d 为锚固钢筋的直径。

当纵向受拉普通钢筋末端采用弯钩或机械锚固措施时，包括弯钩或锚固端头在内的锚固长度（投影长度）可取为基本长度 l_{ab} 的 60%。弯钩和机械锚固形式（图 1-4）和技术要求应符合表 1-11 的要求。

钢筋弯钩和机械锚固的形式和技术要求

表 1-11

锚固形式	技 术 要 求
90°弯钩	末端 90°弯钩，弯钩内径 4d，弯钩直段长度 12d
135°弯钩	末端 135°弯钩，弯钩内径 4d，弯钩直段长度 5d
一侧贴焊锚筋	末端一侧贴焊长 5d 同直径钢筋
两侧贴焊锚筋	末端两侧贴焊长 3d 同直径钢筋

续表

锚固形式	技 术 要 求
焊端锚板	末端与厚度 d 的锚板穿塞焊
螺栓锚头	末端旋入螺栓锚头

注：1. 焊缝和螺纹长度应满足承载力要求；
2. 螺栓锚头和接端锚板的承压净面积不应小于锚固钢筋截面积的4倍；
3. 螺栓锚头的规格应符合相关标准；
4. 螺栓锚头和焊接锚板的钢筋净间距不宜小于 $4d$ ，否则应考虑群锚效应的不利影响；
5. 截面角部的弯钩和一侧贴焊锚筋的布筋方向宜向截面内侧偏斜。

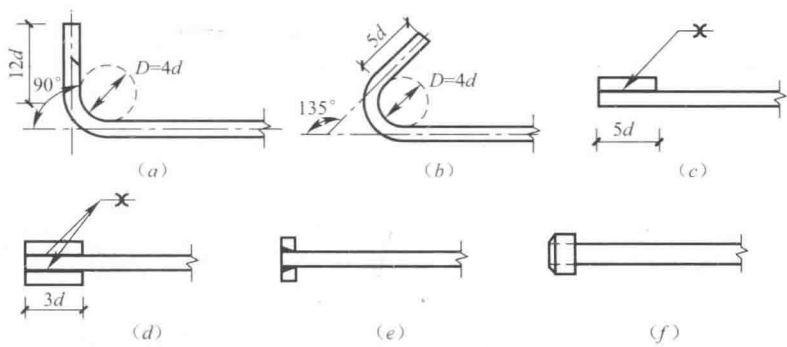


图 1-4 弯钩和机械锚固的形式和技术要求

(a) 90°弯钩；(b) 135°弯钩；(c) 一侧贴焊锚筋；(d) 两侧贴焊锚筋；
(e) 穿孔塞焊锚板；(f) 螺栓锚头

混凝土结构中的纵向受压钢筋，当计算中充分利用其抗压强度时，锚固长度不应小于相应受拉锚固长度的70%。

3. 受拉钢筋抗震锚固长度

纵向受拉钢筋抗震锚固长度 l_{aE} 应按下式计算：

$$l_{aE} = \zeta_{aE} l_a \tag{1-9}$$

式中 ζ_{aE} ——纵向受拉钢筋抗震锚固长度修正系数，对一、二级抗震等级取1.15，对三级抗震等级取1.05，对四级抗震等级取1.00；

l_a ——纵向受拉钢筋锚固长度。

为了便于应用，表1-12列出了纵向受拉钢筋的基本锚固长度值。

受拉钢筋的基本锚固长度值 l_{ab} 、 l_{aE} 表 1-12

钢筋种类	抗震等级	混凝土强度等级							
		C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	≥C60
HPB300	一、二级 (l_{aE})	45d	39d	35d	32d	29d	28d	26d	24d
	三级 (l_{aE})	41d	36d	32d	29d	26d	25d	24d	22d
	四级 (l_{aE}) 非抗震 (l_{ab})	39d	34d	30d	28d	25d	24d	23d	21d
HRB335 HRBF335	一、二级 (l_{aE})	44d	38d	33d	31d	29d	26d	25d	24d
	三级 (l_{aE})	40d	35d	31d	28d	26d	24d	23d	22d
	四级 (l_{aE}) 非抗震 (l_{ab})	38d	33d	29d	27d	25d	23d	22d	21d