

建筑结构基本知识丛书

钢筋混凝土结构构件计算

北京建筑工程学院

《钢筋混凝土结构构件计算》编写组

中国建筑工业出版社



建筑结构基本知识丛书

钢筋混凝土结构构件计算

北京建筑工程学院

《钢筋混凝土结构构件计算》编写组

中国建筑工业出版社

本书主要根据《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10—74),叙述钢筋混凝土基本构件的计算和构造的基本知识,同时简要地介绍了整体式钢筋混凝土楼盖的设计方法。

本书是《建筑结构基本知识丛书》中的一册。全丛书包括建筑力学、建筑结构和构件计算等方面的基本知识,按专题分册出版,每册力求重点突出,并有一定的独立性,以便读者根据需要选读。

本书可供具有初中以上文化水平的基本建设战线职工和初从事基本建设工作的读者自学建筑结构知识参考。

建筑结构基本知识丛书
钢筋混凝土结构构件计算

北京建筑工程学院
《钢筋混凝土结构构件计算》编写组

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 7³/₄ 字数: 173 千字

1980年12月第一版 1980年12月第一次印刷

印数: 1—44,120册 定价: 0.57元

统一书号: 15040·3695

目 录

第一章	绪论	1
1-1	关于钢筋混凝土的概念	1
1-2	钢筋混凝土的应用范围和优缺点	2
1-3	钢筋混凝土结构的发展简况和展望	3
第二章	材料	6
2-1	混凝土	6
2-2	钢筋	16
第三章	基本计算原理	32
3-1	钢筋混凝土结构的安全度	32
3-2	按总安全系数设计的基本原理	33
3-3	建筑结构荷载	38
第四章	受弯构件强度计算	39
4-1	受弯构件垂直截面强度的实验研究	40
4-2	单筋矩形梁的垂直截面强度计算	43
4-3	双筋矩形梁正截面强度计算	52
4-4	单筋T形截面梁正截面强度计算	57
4-5	钢筋混凝土受弯构件斜截面强度计算	68
4-6	梁内钢筋的构造要求	82
第五章	轴心受拉和偏心受拉构件	90
5-1	轴心受拉构件强度计算	91
5-2	矩形截面偏心受拉构件强度计算	91
第六章	钢筋混凝土受压构件强度计算	98
6-1	概述	98

6-2	轴心受压构件计算	99
6-3	偏心受压构件的计算	108
第七章 弯扭构件		122
7-1	受扭构件的应力状态	123
7-2	矩形截面受扭构件配筋计算	128
7-3	矩形截面弯扭构件的强度计算	130
7-4	受扭构件的构造要求	131
第八章 变形、抗裂度和裂缝宽度验算		136
8-1	钢筋混凝土构件的抗裂度计算	136
8-2	按刚度验算钢筋混凝土受弯构件	145
8-3	按裂缝宽度验算钢筋混凝土构件	155
第九章 整体式钢筋混凝土楼盖		165
9-1	概述	165
9-2	整体式肋形楼盖的受力分析	167
9-3	单向板的计算和构造	179
9-4	次梁的计算和构造	185
9-5	主梁的计算和构造	187
9-6	单向板楼盖计算实例	190
9-7	双向板楼盖设计	202
9-8	楼梯	215

第一章 绪 论

1-1 关于钢筋混凝土的概念

钢筋混凝土是应用很广泛的建筑材料。在混凝土构件里放置钢筋的主要目的，是加强构件受拉区的抗拉能力。除此之外，钢筋也可用来加强混凝土构件受压区的抗压能力。

混凝土是一种脆性材料，它具有较高的抗压性能，但抗拉能力很差，当浇筑混凝土时，如果在构件受拉力的部位放置适量的钢筋，待混凝土结硬后，两种材料便可靠地结合成一个整体，构件承受荷载时，拉力将主要或全部由钢筋来承担（图1-1）。钢筋和混凝土这两种材料共同工作的结果，就使钢筋混凝土具备了既能受压又能受拉的性能，从而大大地扩展了混凝土在建筑工程中的应用范围。

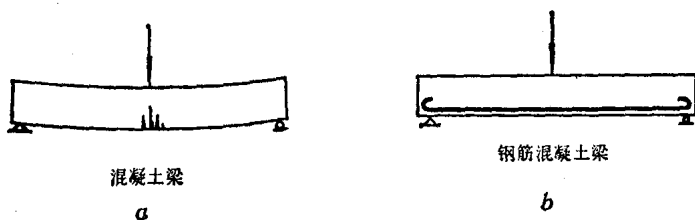


图 1-1

钢筋和混凝土，这两种性质截然不同的材料能够共同工作的原因是：

1. 混凝土结硬后，与钢筋牢固地粘结在一起，当构件承

受荷载时，能够共同工作。

2.混凝土包住钢筋，可以防锈、防火。

3.钢筋和混凝土的线膨胀系数很接近，因此，当外部温度发生变化时，将不会因为膨胀或收缩而破坏两种材料的结合。

在制作钢筋混凝土构件时，将钢筋端部弯钩并在钢筋外部留有一定的保护层，都是保证钢筋和混凝土可靠地共同工作的重要措施。

1-2 钢筋混凝土的应用范围和优缺点

钢筋混凝土的应用范围非常广泛，在大多数土建工程中都要用到它。钢筋混凝土除大量用来建造工业与民用建筑的构件（如屋面板、屋架、大梁、楼板、墙板、柱子和基础等）外，还大量用来建造烟囱、水塔、水池、涵管等特种结构物。

钢筋混凝土所以得到如此广泛的应用，是因为它具备下列主要优点：

1.强度高，耐久性好。钢筋混凝土的强度很高，适于做各类承重结构，近代有不少高层建筑，都是采用钢筋混凝土结构建造的。

钢筋混凝土对于遭受自然气候的干湿和冷热变化以及化学侵蚀等均有较强的抵抗力。

2.抗震性能好。钢筋混凝土结构因为整体性较好，具有一定的延性^①，故比砖石结构有较好的抗震性能。在地震烈

① 结构受力后允许塑性变形的能力叫延性。

度较高的地区，常采用钢筋混凝土结构建造层数较多的建筑物及烟囱、水塔等。

3. 防火钢筋混凝土结构是耐火结构。当构件遇到火灾时，一般只能损伤混凝土表面，由于钢筋被包在混凝土里，所以不致很快达到钢的危险温度而丧失承载能力。如使用耐热混凝土，则可以承受高温。

4. 具有可模性。便于制造各种形式的结构，如空心楼板、薄壳等。

5. 可以抵抗辐射。混凝土（特别是掺有能吸收放射线的骨料，如重晶石）具有较好的抵抗辐射能力，所以，在原子能工业、放射性医疗，人防及国防工程中应用均有特殊价值。

6. 耐久性好。混凝土耐自然侵蚀能力较强，又包住钢筋不使其生锈，故耐久性较砖木结构均好，并可不必象钢结构那样需经常涂漆防护。

钢筋混凝土除具有上述优点外，也还存在着一些缺点，如自重大（容重达 2500kg/m^3 ）、现浇时耗费模板较多、需要养护一定时间才能承重、质量不易控制等。

随着生产和科学技术的发展，上述一些缺点目前正逐步得到改善。例如：采用人工轻骨料（陶粒、膨珠）代替天然骨料；采用滑升模板代替固定模板；大力发展装配式结构和预应力结构；改进结构形式等，都能较有成效地克服上述缺点。

1-3 钢筋混凝土结构的发展简况和展望

自从十九世纪中叶开始使用钢筋混凝土以来，钢筋混凝

土结构在建筑工程上的应用，已有一百余年历史。

我国自十九世纪末开始制造水泥，但在帝国主义垄断资本控制下，国产水泥得不到发展。解放前所建寥寥无几的钢筋混凝土工程，所用水泥和钢筋也多为进口。

解放后，我国钢筋混凝土的生产和钢筋混凝土结构的应用有了较大发展。在民用和工业建筑方面，先后设计和建造了许多新型的钢筋混凝土结构建筑。

在总结我国二十多年来钢筋混凝土结构设计、施工、科研和使用经验的基础上，经过比较广泛的调查研究和必要的科学试验，一九七四年修订出版了《钢筋混凝土结构设计规范》（TJ10—74）。本书主要根据该规范编写。

随着钢筋混凝土结构的应用日益广泛，国际上自六十年代以后，在钢筋混凝土结构设计方法和基本理论的研究等方面，都取得了较重大的发展。

在设计理论方面，近年来，钢筋混凝土结构的极限状态设计理论日趋完善，应用日益普遍，其改善动向是：把以往安全度定值的半概率^①分析向近似概率^②和全概率^③分析转变，用达到极限状态的概率大小来表征安全度，目前有的国家已经开始在规范中采用此法。

-
- ① 这个方法是把材料强度的取值和部分荷载的取值采用概率方法来处理，而不能用概率方法处理的其他影响结构安全的因素仍采用经验系数予以考虑。这样的准则称之为“半概率极限状态设计”。
 - ② 这个方法因为把荷载效应和承载能力作为一个随机变量来考虑，所以称为“概率法”，因其仅需平均值和均方差两个统计参数，而不考虑变量的实际分布，并在计算过程中进行了线性简化，故叫做二次矩-阶概率法，简称“近似概率法”，这个方法可以估算结构构件的失效概率。
 - ③ 这个方法是在掌握复合随机变量的实际分布基础上，从而求得失效概率的一种方法，是比近似概率法更进一步的设计准则。

在构件强度方面，开始从微裂探索混凝土的变形、裂缝和破坏机理，以期在试验基础上建立更为合理的混凝土计算理论。随着钢筋混凝土结构构件基本性能研究的深入，特别是在科学数据分析与计算上采用了电子计算机后，钢筋混凝土结构的弹塑性计算理论的研究有了较快发展。利用有限元法分析钢筋混凝土构件和结构的研究工作进展很快，这对于深入了解钢筋混凝土结构弹塑性破坏的全过程，以及作为其他简化近似计算方法的理论基础，都有重要的意义。

在改进混凝土性能方面，积极发展人造粗细骨料^①的结构用轻混凝土，这种轻骨料混凝土比普通混凝土自重轻、隔热和防火性能好，强度可达 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上；此外，还提出了按“均匀配筋”的概念制作“纤维混凝土”，即在混凝土中加入无规律分布的短钢丝，或玻璃、尼龙、聚丙烯纤维等，使混凝土具有更高的韧性和可塑性，同时使混凝土抵抗冲击碎裂的能力大大增加。另一方面的研究工作是改变水泥本身的基本化学成分和研制新的混凝土附加剂（促凝剂、缓凝剂、减水剂、加气剂等）。

在钢筋的研制方面，随着钢材加工工艺和冶炼技术的发展，在钢筋混凝土结构中愈来愈多地使用高强度低合金钢，热处理高强碳素钢和热处理合金钢，这些钢筋量有较高的强度和韧性，其屈服点为 $3500\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上，并具有较好的可焊和防锈性能。

① 指烧结生产膨胀页岩或粘土，或烧结粉煤灰所成的骨料，容重 $800\text{kg}/\text{m}^3$ 左右。

第二章 材 料

2-1 混 凝 土

1. 混凝土的强度

1) 混凝土的标号

以边长为 $20 \times 20 \times 20\text{cm}$ 的标准立方试块，在标准养护条件下^①，28天龄期时的平均抗压极限强度（以 kg/cm^2 计）叫标号，以 R 表示。

目前，在混凝土和钢筋混凝土结构中，规定使用的混凝土标号有：

75、100、150、200、250、300、400、500、600号（“号”也可以用#表示，如200号可写为200#）。

从合理和经济性方面考虑，一般情形下现制混凝土常采用150号和200号；预制构件常采用200号~300号；高层框架的底部结构多用300号和400号；预应力混凝土构件常用400号及以上。100号及以下的混凝土，则只能用于混凝土结构。

应该说明：长期以来，钢筋混凝土设计和施工的有关规范中，一直沿袭采用边长为20cm的立方体为标准试块（图2-1a）近年来，随着生产的发展，混凝土强度逐渐提高，结

① 标准养护条件是指试块的养护环境为 $20^\circ\text{C} (\pm 3^\circ)$ ，相对湿度 $\geq 90\%$ ，有时为了了解正在施工中的构件将来的实际强度，也可以将试块与构件放在一起，这叫做同条件养护。

构截面尺寸日益减小，并较多地采用小粒径的骨料，所以大多数建筑单位，为试块制运方便及与试验机吨位相适应，多已采用边长为15cm和10cm的非标准立方试块来代替标准试块。

试块随尺寸的缩小而强度稍有增高。这已为长期来的生产实践和科学实验所证实。解释这种现象的原因，可归结为材料自身和试验方法两方面。前者包括缺陷分布、内摩擦角变化和骨料粒径的影响，后者包括试件承压面摩擦力的影响和试验机上下承压板刚性的影响，这种影响可以从试块的破坏特征反映出来（图2-1c）。

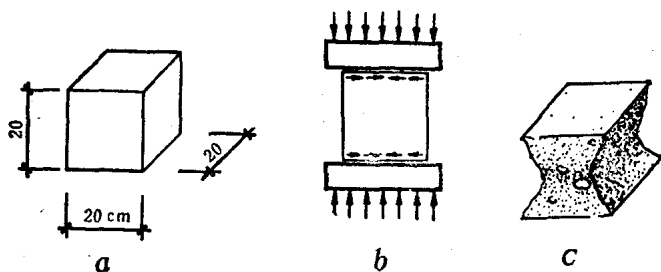


图 2-1

当试块受力后，纵向压缩，横向扩张，由于压力机垫板与试块上下表面之间的摩擦力影响，试块在横向不可能自由扩张，形成了“箍”的作用，因而提高了试块的抗压能力（图2-1b）。立方体试件尺寸愈小，这种影响就愈大。

综上所述，根据大量试验结果的统计规律，对于较小边长的非标准立方试块，其抗压极限强度，应乘以下列换算系数，换算成标准立方体强度：

15×15×15cm的立方体试块——0.95；

10×10×10cm的立方体试块——0.90。

2) 混凝土在不同受力情况下的标准强度

混凝土的立方强度是特定条件下的力学特征指标，不仅试块尺寸对试验结果有所影响，而且，立方试块的抗压强度也不能完全反映混凝土在其他应力状态下的破坏实质。为此，还要通过试验确定混凝土的其他力学指标，并求得其与立方强度（即标号）间的关系，以利应用：

(1) 混凝土轴心抗压标准强度 R_0^b

混凝土轴心抗压标准强度，系利用高宽比 $\frac{h}{a}=3\sim4$ 的

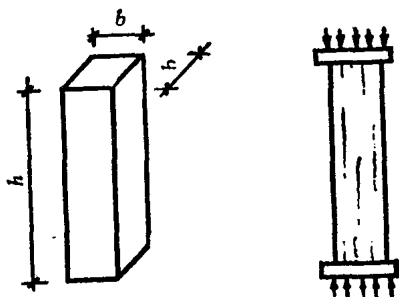


图 2-2

试件^①进行试验得出的。采用这种短柱试件来确定强度，可以不受试验机压板与试件承压面间摩擦力的影响，使在试件的中间区段形成纯压状态^②（图2-2）。

目前，轴心抗压标准强度指标，是以截面尺寸为15×15cm棱柱体试件的试验结果为基础来确定的（图2-3），其统计所得的经验公式为：

$$R_0^b = 0.84R - 16.2$$

考虑到试验误差等因素，实际应用时取

① 一般为15×15×60cm或10×10×30，20×20×60cm。

② $h/a > 4$ 的过高试件在破坏前由于产生较大的附加偏心，又会降低混凝土轴心抗压的试验强度。

$$R_g^b = 0.7R \quad (2-1)$$

(2) 弯曲抗压标准强度 R_w^b

钢筋混凝土梁在破坏时，其混凝土受压区的强度称弯曲抗压标准强度，由于试验技术的困难，弯曲抗压强度的数值，一般是根据一定的试验结果为基础，并加以简化和假定，求出其与轴心抗压强度之间的关系如下：

$$R_w^b = 1.25R_g^b \quad (2-2)$$

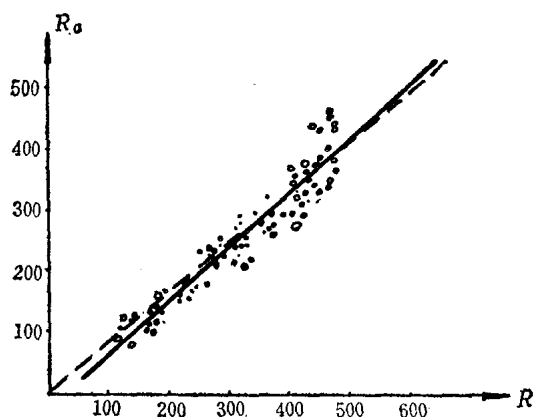


图 2-3

根据实验，弯曲抗压标准强度总是高于轴心抗压标准强度，这是由于梁破坏时，梁截面内离中和轴距离不同的各点变形不同，因而产生牵制作用的缘故。

(3) 轴心抗拉标准强度 R_t^b

混凝土试件在轴心拉伸作用下的极限强度叫做轴心抗拉标准强度。

目前，轴心抗拉强度的试验方法较多，我国规范所定轴心抗拉强度，是以图2-4所示试件的试验结果为基础，所得

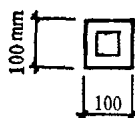
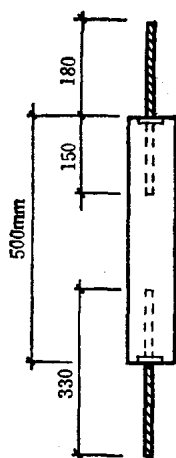


图 2-4

经验公式为:

$$R_t^b = 0.5 R^{\frac{2}{3}} (1 - C_v)^{\frac{1}{3}} \quad (2-3)$$

式中 C_v ——强度变异系数, 参见式 (2-4)。

根据实验表明, 混凝土的抗拉强度比抗压强度小得多, 仅为抗压强度的 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{17}$, 所以混凝土受拉时极易出现裂缝。混凝土抗拉强度低, 这是混凝土的一个主要缺点。

3) 混凝土的设计强度

设计强度是在标准强度的基础上考虑了一定的安全储备后的材料强度, 它相当于我国现行《钢筋混凝土工程施工及验收规范》(GBJ10—65修订本)规定的材料检验强度的最低值, 也是进行钢筋混凝土结构构件计算时的设计依据。

根据统计结果, 并考虑以往规范的取值经验, 混凝土的设计强度和标准强度之间的关系如下:

$$R_a = K_a R^b \quad (2-4)$$

式中 K_a ——强度系数, 按下列规定取用:

$$\begin{aligned} R \leq 200 \text{号} \quad C_v &= 0.167 & K_a &= 0.8; \\ 250 \text{号} < R \leq 400 \text{号} \quad C_v &= 0.145 & K_a &= 0.83; \\ R \geq 500 \text{号} \quad C_v &= 0.123 & K_a &= 0.86. \end{aligned}$$

对于 500 号和 600 号的高标号混凝土, 由于极限变形较小, 脆性破坏的性质明显, 而这种影响在目前的计算理论中

又未作充分估计，因此，在设计强度取值时，应分别再乘以折减系数0.95及0.9，以策安全。

另外，为了验算构件抗裂性能的需要，在混凝土的设计强度中，还引用了一个抗裂设计强度 R_t ，其取值与轴心抗拉标准强度相同^①。当混凝土标号为500号和600号时，应引入抗裂设计强度的折减系数0.95及0.90。

混凝土标号及其各项设计强度详表2-1。

混凝土的设计强度（公斤/厘米²）

表 2-1

项次	强度种类	符号	混 凝 土 标 号								
			75	100	150	200	250	300	400	500	600
1	轴心抗压	R_a	42	55	85	110	145	175	230	285	325
2	弯曲抗压	R_w	52	70	105	140	180	220	290	355	405
3	抗 拉	R_t	6.8	8	10.5	13	15.5	17.5	21.5	24.5	26.5
4	抗 裂	R_f	8.5	10	13	16	19	21	25.5	28.5	30.5

注：1. 离心混凝土的设计强度应按专门规定取用。

2. 计算现浇钢筋混凝土轴心受压及偏心受压构件时，如截面的长边或直径小于30厘米，则表中混凝土的设计强度应乘以系数0.8。当构件质量（如混凝土成型、截面和轴线尺寸等）确有保证时，可不受此限。

例 2-1 试确定200号混凝土的设计强度 R_a 、 R_w 、 R_t 、 R_f 值。

解 $K_A=0.8$

$$R_a = K_A \cdot 0.7R = 0.8 \times 0.7 \times 200 = 112 \approx 110 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_w = 1.25R_a = 1.25 \times 110 = 138 \approx 140 \text{ kg/cm}^2$$

① 因抗裂验算属于正常使用极限状态，所以其安全储备取低于强度的安全储备。

$$R_f = R_i^b = 0.5R^{2/3} (1 - C_v)^{-1/3} = 0.5 \sqrt[3]{200^2} \sqrt[3]{1 - 0.167} \\ = 16.1 \approx 16 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_i = K_h R_i^b = 0.8 \times 16 = 12.8 \text{ kg/cm}^2 \approx 13 \text{ kg/cm}^2$$

2. 混凝土的变形

1) 混凝土的收缩

混凝土在空气中结硬时水泥胶膜内和混凝土孔隙内水分不断减少，造成混凝土体积减小的现象叫收缩。

混凝土的收缩过程很长，但在结硬初期和前六个月，可以完成全部收缩量的80~90%，在浇筑后的几天内收缩变形最为激烈。

造成混凝土收缩的原因很多，但主要的是振捣、养护和用灰量几项，在浇注混凝土时认真振捣，混凝土密度愈大，空隙率愈小，收缩也愈小；在混凝土浇注后的最初几天里，注意浇水养护（或蒸汽养护），避免混凝土中的水分过快地蒸发，可以比较有效地减少收缩和收缩裂缝；在满足设计标号的前提下，尽量减少用灰量^①，也可以减少混凝土的收缩。

另外，使用矾土水泥和浇筑水泥配制混凝土，可以避免收缩。但是使用上述水泥要注意工程条件和技术经济指标。

混凝土收缩的结果，会使混凝土和钢筋混凝土结构产生裂缝，应当尽量设法减少。减少收缩的措施除上述说明外，还可以用增设伸缩缝来解决，对于较厚的和体积较大的板，在靠近上下表面的部位应配置防止收缩裂缝开展的构造钢筋（常用 $\phi 6 \sim 10$ 、间距20~30cm）。

① 即每立方米混凝土中的水泥用量。