



2017 执业资格考试丛书

一级注册结构工程师 基础考试应试指南

(第九版)

(下册)

兰定筠 杨利容 主编

2017

中国建筑工业出版社

第十四章 钢筋混凝土结构

第一节 材料性能与基本设计原则

一、《考试大纲》的规定

材料性能：钢筋、混凝土、粘结。
基本设计原则：结构功能、极限状态及其设计表达式、可靠度。

二、重点内容

1. 钢筋

混凝土结构用的线材有钢筋、钢丝和钢绞线三类。钢筋可分为热轧钢筋、冷加工钢筋、热处理钢筋和预应力螺纹钢筋。钢丝是指直径较细并经过冷加工处理的线材，其按加工方法可分为中强度预应力钢丝和消除应力钢丝。钢绞线是指由多根高强钢丝扭结而成，再经过低温回火消除内应力。根据钢筋的力学性能可分为有明显屈服点和明显流幅的软钢、无明显屈服点和无明显流幅的硬钢。其中，热轧钢筋属于软钢。热处理钢筋及消除应力钢丝则为硬钢。

钢筋性能指标主要是屈服强度、极限强度、伸长率、冷弯试验、钢筋疲劳强度等。
屈服强度，该指标对于软钢是作为标准强度取值的依据；对于硬钢因无明显屈服点，一般常取残余应变为 0.2%时所对应的应力值作为假定的屈服强度，称为条件屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。对于热处理钢筋、消除应力钢丝和钢绞线，《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(2015 年版局部修订)(以下简称《混规》)统一取 0.85 倍极限抗拉强度作为 $\sigma_{0.2}$ 。

极限强度或抗拉强度，该指标对于硬钢是作为强度标准值取值的依据；对于软钢，对其有一个最低限值的要求。

伸长率，该指标衡量钢筋塑性性能，是钢筋标准试件拉断时的残余应变，用 δ 表示。国内取应变量测标距 L 为 $5d$ 或 $10d$ (d 为钢筋直径)，其相应的伸长率用 δ_5 和 δ_{10} 表示，标距不同其伸长率也不同，标距越短，平均残余变形越大。

总伸长率 δ_{gt} (也称均匀伸长率)，是指钢筋最大力下的总伸长率。 δ_{gt} 不受断口-颈缩区域局部变形的影响，反映了钢筋拉断前达到最大力(极限强度)时的均匀应变。根据我国钢筋标准，将 δ_{gt} 作为控制钢筋延性的指标。《混规》规定，普通钢筋、预应力筋在最大力下的总伸长率 δ_{gt} 不应小于表 14-1-1 规定的数值。

普通钢筋及预应力筋在最大力下的总伸长率限值 表 14-1-1

钢筋品种	普 通 钢 筋			预应力筋
	HPB300	HRB335、HRB400、HRBF400、HRB500、HRBF500	RRB400	
$\delta_{gt}(\%)$	10.0	7.5	5.0	3.5

冷弯试验，它是检验钢筋塑性性能的一种方法，也可以检查钢筋的脆性。冷弯试验的

两个主要参数是弯心直径 D 和冷弯角度 α 。对不同强度等级的钢筋，其对应的弯心直径 D 和冷弯角度 α 的规定值是不同的。如 HPB300 级和 HRB335 级钢筋， $\alpha=180^\circ$ ， $D=(1\sim 4)d$ ；对 HRB400 级和 HRB500 级钢筋， $\alpha=90^\circ$ ， $D=(3\sim 6)d$ 。

钢筋疲劳强度，影响钢筋疲劳强度的主要因素为钢筋疲劳应力幅，即 $\sigma_{\max}^f - \sigma_{\min}^f$ ，《混规》中根据钢筋的疲劳强度设计值，给出了考虑疲劳应力比值的钢筋疲劳应力幅限值。

混凝土结构对钢筋性能的要求有：具有足够的强度和适当的屈强比；足够的塑性；可焊性；低温性能；与混凝土要有良好的粘结力。

《混规》对钢筋的选用规定是：纵向受力普通钢筋可采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500、HRB335、RRB400、HPB300 钢筋；梁、柱和斜撑构件的纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋；箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HRB335、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋；预应力筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。此外，HRB335 钢筋的直径范围为 $6\sim 14\text{mm}$ 。

普通钢筋、预应力筋及横向钢筋的强度设计值，《混规》规定：

4.2.3 普通钢筋的抗拉强度设计值 f_y 、抗压强度设计值 f_y' 应按表 4.2.3-1 采用；
预应力筋的抗拉强度设计值 f_{py} 、抗压强度设计值 f_{py}' 应按表 4.2.3-2 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。

对轴心受压构件，当采用 HRB500、HRBF500 钢筋时，钢筋的抗压强度设计值 f_y' 应取 400N/mm^2 。横向钢筋的抗拉强度设计值 f_{yv} 应按表中 f_y 的数值采用；但用作受剪、受扭、受冲切承载力计算时，其数值大于 360N/mm^2 时应取 360N/mm^2 。

普通钢筋强度设计值 (N/mm^2) 表 4.2.3-1

牌 号	抗拉强度设计值 f_y	抗压强度设计值 f_y'
HPB300	270	270
HRB335	300	300
HRB400、HRBF400、RRB400	360	360
HRB500、HRBF500	435	435

预应力筋强度设计值 (N/mm^2) 表 4.2.3-2

种 类	极限强度标准值 f_{pk}	抗拉强度设计值 f_{py}	抗压强度设计值 f_{py}'
中强度预应力钢丝	800	510	410
	970	650	
	1270	810	
消除应力钢丝	1470	1040	410
	1570	1110	
	1860	1320	
钢绞线	1570	1110	390
	1720	1220	
	1860	1320	
	1960	1390	
预应力螺纹钢筋	980	650	410
	1080	770	
	1230	900	

注：当预应力筋的强度标准值不符合表 4.2.3-2 的规定时，其强度设计值应进行相应的比例换算。

普通钢筋的弹性模量 E_s 可取为：HPB300 的 $E_s = 2.10 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ；HRB335、HRB400、HRBF400、HRB500、HRBF500、RRB400 的 $E_s = 2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。预应力筋的弹性模量 E_s 可取为：消除应力钢丝、中强度预应力钢丝的 $E_s = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ；钢绞线的 $E_s = 1.95 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。

2. 混凝土

(1) 混凝土的强度

混凝土的强度包括立方体抗压强度、轴心抗压强度、轴心抗拉强度。

立方体抗压强度，《混规》规定混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值 ($f_{cu,k}$) 确定，它指按标准方法制作和养护的边长为 150mm 的立方体试件在 28d 龄期或设计规定龄期，用标准方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度。试件的养护环境定为温度在 20±3℃、相对湿度 ≥90%，试验时标准的加荷速度为 0.15~0.25N/mm²/s。当用边长为 200mm 和 100mm 的试块时，所得数值要分别乘以强度换算系数 1.05 和 0.95 加以校正。

《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，当采用强度等级 400MPa 及以上的钢筋时，混凝土强度等级不应低于 C25；承受重复荷载的钢筋混凝土构件，其混凝土强度等级不应低于 C30；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。

轴心抗压强度标准值 (f_{ck})，能更好地反映混凝土的实际抗压能力，其试件往往取 150mm×150mm×450mm、150mm×150mm×600mm 等尺寸。 f_{ck} 与 $f_{cu,k}$ 的关系表达式：

$$f_{ck} = 0.88\alpha_{c1}\alpha_{c2}f_{cu,k}$$

式中 α_{c1} ——当混凝土强度等级 ≤C50 时， $\alpha_{c1} = 0.76$ ；当为 C80 时， $\alpha_{c1} = 0.82$ ，中间按线性插入；

α_{c2} ——高强度混凝土脆性折减系数，当混凝土强度等级 ≤C40 时， $\alpha_{c2} = 1.0$ ；当为 C80 时， $\alpha_{c2} = 0.87$ ，中间按线性插入。

轴心抗拉强度标准值 (f_{tk})，其大小约为 1/17~1/8 的立方体抗压强度标准值。 f_{tk} 与 $f_{cu,k}$ 的关系表达式为：

$$f_{tk} = 0.88 \times 0.395 f_{cu,k}^{0.55} (1 - 1.645\delta)^{0.45} \times \alpha_{c2}$$

其中 δ 为变异系数。

混凝土的轴心抗压、抗拉强度标准值及设计值，《混规》规定：

4.1.3 混凝土轴心抗压强度的标准值 f_{ck} 应按表 4.1.3-1 采用；轴心抗拉强度的标准值 f_{tk} 应按表 4.1.3-2 采用。

混凝土轴心抗压强度标准值 (N/mm²)

表 4.1.3-1

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2

混凝土轴心抗拉强度标准值 (N/mm²)

表 4.1.3-2

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{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

4.1.4 混凝土轴心抗压强度的设计值 f_c 应按表 4.1.4-1 采用；轴心抗拉强度的设计值 f_t 应按表 4.1.4-2 采用。

混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm^2)

表 4.1.4-1

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_c	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9

混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm^2)

表 4.1.4-2

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_t	0.91	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89	1.96	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22

此外，混凝土的剪切变形模量 G_c 可按相应的弹性模量值 E_c 的 40% 采用。混凝土的泊松比 ν_c 可按 0.2 采用。

(2) 复合受力状态的混凝土强度

双向受力混凝土试件的试验结果，可知：当双向受压时，两个方向的抗压强度比单轴受压时有所提高，最大的抗压强度发生在两个方向的压应力比约为 0.5~2.0 之间时；当一个方向受压，另一个方向受拉时，其抗压或抗拉强度都比单轴抗压或抗拉时的强度低，当双向受拉时，其抗拉强度与单轴受拉时无明显差别。

受平面法向应力和剪应力的试验结果，可知：混凝土的抗压、抗拉强度都将有所降低。当压应力 $\sigma \leq 0.6f_{ck}$ 时，其抗剪强度将随 σ 的增大而提高；但 $\sigma > 0.6f_{ck}$ 时，其抗剪强度将随 σ 的加大而下降； σ 趋近于 f_{ck} 时，将降至小于纯剪强度。

三向受压强度，当试件三向受压，变形受到制约，形成约束混凝土，则强度有较大的增长。

$$f'_{cc} = f'_c + (4.5 \sim 7.0)\sigma$$

其中 f'_{cc} 为有侧向压力约束试件的轴心抗压强度； f'_c 为无侧向压力约束试件的轴心抗压强度； σ 为侧向约束压力应力。在工程实际中，可用间距较小的螺旋钢筋柱，或用于构件的节点区来提高承载力、延性和抗震性能。

(3) 混凝土的变形

混凝土的变形可分为在荷载下的受力变形和与受力无关的体积变形。

1) 混凝土在单调、短期加荷作用下的变形性能

通过试验可得到混凝土的应力应变曲线，该曲线是研究钢筋混凝土构件的强度、变形、延性和受力全过程分析的依据。在整个曲线中，最大应力值 f_{ck} 、与 f_{ck} 相应的应变值 ϵ_0 、破坏时的极限应变值 ϵ_u 是曲线的三个特征值。应变 ϵ_0 的平均值一般取为 0.002，对于非均匀受压的情况， ϵ_u 值约为 0.002~0.006，甚至更高。

混凝土受压时的横向应变与纵向应变的关系，即混凝土的泊松比 ν_c ，可采用 0.2。

混凝土的弹性模量，《混规》对弹性模量数值的规定：取棱柱试件，加荷至不超过适当的应力 $\sigma = 0.5f_{ck}$ 为止，重复 5~10 次，所得应力应变直线的斜率作为混凝土弹性模量的试验值。

混凝土的受拉变形，由于混凝土抗拉性能弱，对于 C15~C40 强度等级的混凝土，其

极限拉应变可取为 $(1\sim 1.5)\times 10^{-4}$ 。根据试验资料,混凝土受拉时应力应变曲线上切线的斜率与受压时基本一致(即两者的弹性模量相同),当拉应力为 f_{tk} 时,弹性系数 $\nu'=0.5$,所以相应于 f_{tk} 时的变形模量为 $0.5E_c$ 。

2) 混凝土在重复荷载下的变形性能

混凝土在重复荷载下的变形性能,即混凝土的疲劳性能。一般将试件承受200万次(或更多次数)重复荷载时发生破坏的压应力值,称为混凝土的疲劳强度(f_{ck}^f)。疲劳强度还与对试件所加重复作用应力的变化幅度有关,即按疲劳应力比值(ρ_c^f)对强度予以修正,当 $\rho_c^f\geq 0.5$ 时,可不修正;当 $\rho_c^f<0.5$ 时,比值愈小则修正得也愈多,即疲劳强度修正系数愈小。疲劳应力比值为构件作疲劳验算时,截面同一纤维上的混凝土最小应力与最大应力之比($\sigma_{min}^f/\sigma_{max}^f$)。疲劳强度要比棱柱体抗压强度低很多,大体上取为 $0.5f_c$ 。

《混规》规定,混凝土轴心抗压疲劳强度设计值 f_{ce}^f 、轴心抗拉疲劳强度设计值 f_t^f 应分别按其强度设计值乘以疲劳强度修正系数 γ_p 确定。当混凝土承受拉-压疲劳应力作用时,取 γ_p 为0.60。

3) 混凝土在荷载长期作用下的变形性能

在荷载的长期作用下,即使荷载大小维持不变,混凝土的变形随时间而增长的现象称为徐变。混凝土徐变的影响因素主要是混凝土中未晶体化的水泥胶凝体。混凝土的徐变对钢筋混凝土构件的内力分布及其受力性能有所影响。如钢筋混凝土柱的徐变,使混凝土的应力减小,使钢筋的应力增加,最后影响柱的承载力,但徐变对结构也有有利方面,如缓和应力集中现象、降低温度应力、减少支座不均匀沉降引起的结构内力等。

影响徐变的因素很多,如受力大小、外部环境、内在因素等。试验表明,长期荷载作用应力大小是影响徐变的一个主要因素,当应力 $\sigma\leq 0.5f_c$ 时,徐变与应力成正比,此时可称之为线性徐变,线性徐变在加荷初期增长很快,至半年徐变大部分完成,一年后趋于稳定。当应力较大时,即当 $\sigma=0.5\sim 0.8f_c$ 时,塑性变形剧增,徐变与应力不成正比,称为非线性徐变。当应力 $\sigma>0.8f_c$ 时,非线性徐变变形骤然增加,变形是不收敛的,将导致混凝土破坏,应用上取 $\sigma=0.8f_c$ 作为混凝土的长期抗压强度。荷载持续作用的时间愈长,徐变愈大。

混凝土龄期越短,徐变愈大;养护环境湿度越大、温度越高,徐变愈小,但在使用期处于高温、干燥条件下,构件的徐变将增大;构件的尺寸越大,则徐变越小;水灰比越大,徐变愈大,在常用的水灰比(0.4~0.6)情况下,徐变与水灰比呈线性关系;水泥用量越多,徐变愈大;此外,水泥品种、骨料的力学性质也影响徐变。

4) 混凝土的收缩和膨胀

收缩和膨胀是混凝土在结硬过程中本身体积的变形,与荷载无关。结硬初期收缩变形发展得很快,半个月大约可完成全部收缩的25%,一个月可完成约50%,两个月可完成约75%,一年左右即渐稳定。在钢筋混凝土构件中,钢筋混凝土收缩受到阻碍,其收缩值较素混凝土小一半,收缩值取为 1.5×10^{-4} 。

通常认为产生收缩变形的主要原因是混凝土结硬过程中,特别是结硬初期,水泥水化凝结作用引起体积的凝缩,以及混凝土内游离水分蒸发逸散引起的干缩。减少收缩变形的措施有:增大湿度、高温的养护环境;增大体表比;提高混凝土的密实度;减少水泥用量、水灰比取小值;避免用强度高的水泥;采用弹性模量高、粒径大的骨料等。

3. 粘结

(1) 粘结力的组成

粘结力是指钢筋和混凝土接触界面上沿钢筋纵向的抗剪能力,即分布在界面上的纵向剪应力。钢筋与混凝土的粘结作用:①混凝土凝结时,水泥胶的化学作用,使钢筋和混凝土在接触面上产生的胶结力;②由于混凝土凝结时收缩,握裹住钢筋,在发生相互滑动时产生的摩阻力;③钢筋表面粗糙不平或变形钢筋凸起的肋纹与混凝土的咬合力。

(2) 粘结力的破坏机理及影响粘结强度的因素

光圆钢筋的粘结破坏,由于光圆钢筋与混凝土之间的粘结力主要由胶结力形成,光圆钢筋粘结强度低、滑移量大,其破坏形态可认为是钢筋与混凝土相对滑移产生的,或钢筋从混凝土中被拔出的剪切破坏。

变形钢筋的粘结破坏,由于变形钢筋与混凝土之间的粘结力主要是机械咬合力,其大小往往占粘结力一半以上。根据试验,变形钢筋的粘结强度高出光圆钢筋的2~3倍。

影响粘结强度的因素:①混凝土的质量,如水泥性能好、骨料强度高、配比得当、振捣密实、养护良好的混凝土对粘结力非常有利;②钢筋的形式;③钢筋保护层厚度,一般应取保护层厚度 $c \geq$ 钢筋的直径 d ,以防止发生劈裂裂缝;④横向钢筋对粘结力起有利影响,如设置箍筋可将纵向钢筋的抗滑移能力提高25%;⑤钢筋锚固区有横向压力对粘结力起有利影响;⑥反复荷载对粘结力起不利影响。

4. 建筑结构功能与可靠度

建筑结构必须满足安全性、适用性、耐久性的功能要求。

可靠性,是指结构在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的能力。

可靠度,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。所以,结构可靠度是结构可靠性的一种定量描述(概率度量)。

所谓规定的时间,是指设计时所规定的设计使用年限,具体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》确定。所谓规定的条件,是指结构正常的设计、施工、使用和维护条件,不考虑人为的过失。预定的功能是指强度、刚度、稳定性、抗裂性、耐久性能等。

5. 基本设计原则

混凝土结构设计应包括的内容:①结构方案设计;②作用及作用效应分析;③结构的极限状态设计;④结构及构件的构造与连接措施;⑤耐久性及施工的要求。

《混规》仍遵照国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》、《建筑结构可靠度设计统一标准》所确定的原则,对建筑物和构筑物进行结构设计时,采用以概率理论为基础的极限状态设计法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,并采用分项系数的设计表达式。

(1) 结构的极限状态

若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,则这个特定状态就称为该功能的极限状态,其可分为两类:承载能力极限状态和正常使用极限状态。

承载能力极限状态,是指对应于结构或结构构件达到最大承载力或不适于继续承载的变形的状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时,应认为超过了承载能力极限状态:

①结构构件或连接因超过材料强度而破坏,或因过度变形而不适于继续承载;

- ②整个结构或是一部分作为刚体失去平衡；
- ③结构转变为机动体系；
- ④结构或结构构件丧失稳定；
- ⑤结构因局部破坏而发生连续倒塌；
- ⑥地基丧失承载力而破坏；
- ⑦结构或结构构件的疲劳破坏。

正常使用极限状态，是指对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值的状态。当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认为超过了正常使用极限状态：

- ①影响正常使用或外观的变形；
- ②影响正常使用或耐久性能的局部损坏；
- ③影响正常使用的振动；
- ④影响正常使用的其他特定状态。

对于正常使用极限状态，在可靠度的保证程度上，它可以定得稍低些。

(2) 结构功能函数与极限状态方程

结构的极限状态可由下述极限状态方程描述：

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0$$

式中 $Z = g(\cdot)$ 为结构功能函数； $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为基本变量。

这些基本变量如结构上的各种作用、材料性能、几何参数等均为随机变量。当将基本变量综合为荷载效应 S 和结构抗力 R 两个基本变量时，则结构按极限状态设计应符合下式要求：

$$Z = g(S, R) = R - S \geq 0$$

当 $Z > 0$ 时，结构处于可靠状态；当 $Z < 0$ 时，结构处于失效状态；当 $Z = 0$ 时，结构处于极限状态。

(3) 可靠概率、失效概率与可靠指标

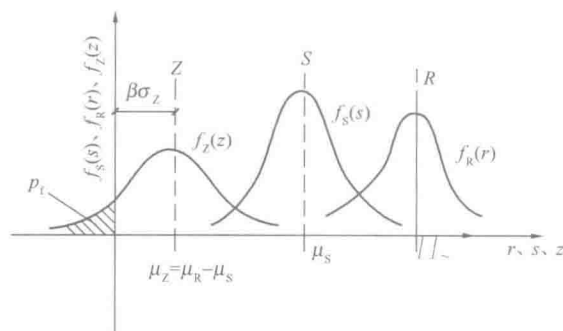


图 14-1-1

结构能够完成预定功能的概率称为可靠概率，用 p_s 表示；反之，结构不能完成预定功能的概率称为失效概率，用 p_f 表示。可靠概率与失效概率为互补的关系，即：

$$p_s + p_f = 1$$

结构构件的可靠指标应该根据基本变量的平均值、标准差及其概率分布类型进行计算。如果功能函数中的基本变量 R 、 S 均为正态分布，而且极限状态是线性的 R 、

S 、 Z 的概率密度函数图如图 14-1-1 所示，则：

$$p_f = P(Z = R - S \leq 0) = \int_{-\infty}^0 f_Z(z) dz$$

尽管用失效概率度量结构构件的可靠度，概念合理，意义明确，但在计算上较繁，可

以用与失效概率有相应关系的可靠指标 β 来度量：

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}$$

式中 μ_R 、 μ_S 为 R 、 S 的平均值； σ_R 、 σ_S 为 R 、 S 的标准值。

(4) 可靠指标 β 的确定与结构安全等级

可靠指标 β ，是指度量结构可靠度的数值指标。对于新建建筑结构，与可靠度相对应的可靠指标 β ，是指设计使用年限的 β 。我国对房屋建筑结构构件承载能力极限状态设计的可靠指标，不应小于表 14-1-2 的规定。

房屋建筑结构构件的可靠指标 β 表 14-1-2

破坏类型	安 全 等 级		
	一级	二级	三级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

房屋建筑结构构件正常使用极限状态设计的可靠指标，宜根据其可逆程度取 0~1.5。根据建筑结构破坏可能产生的后果的严重性，我国将建筑结构划分为三个安全等级：

一级：破坏后果很严重，重要的工业与民用建筑；

二级：破坏后果严重，一般的工业与民用建筑；

三级：破坏后果不严重，小型的或临时性贮存建筑等。

对有特殊要求的建筑物，其安全等级应根据具体情况而定。设计时，应针对建筑物的重要性选用安全等级。

(5) 四种设计状况

设计状况是指代表一定时段内实际情况的一组设计条件，设计应做到在该条件下结构不超越有关的极限状态。设计状况可分为下列四种：

- ①持久设计状况，是指在结构使用过程中一定出现，且持续期很长的设计状况，其持续期一般与设计使用年限为同一数量级。它适用于结构使用时的正常情况。
- ②短暂设计状况，是指在结构施工和使用过程中出现概率较大，而与设计使用年限相比，其持续期很短的设计状况。它适用于结构出现的临时情况，包括结构施工和维修时的情况等。
- ③偶然设计状况，是指在结构使用过程中出现概率很小，且持续期很短的设计状况。它适用于结构出现的异常情况，包括结构遭受火灾、爆炸、撞击时的情况等。
- ④地震设计状况，是指结构遭受地震时的设计状况。它适用于结构遭受地震时的情况，在抗震设防地区必须考虑地震设计状况。

(6) 承载能力极限状态计算

混凝土结构的承载能力极限状态计算的内容如下：

- ①结构构件应进行承载力（包括失稳）计算；
- ②直接承受重荷载的构件，应进行疲劳验算；
- ③有抗震设防要求时，应进行抗震承载力计算；

- ④必要时还应进行结构的倾覆、滑移、漂移验算；
- ⑤对于可能遭受偶然作用，且倒塌可能引起严重后果的重要结构，宜进行防连续倒塌设计。

承载力极限状态设计表达式，《混规》规定：

3.3.2 对持久设计状况、短暂设计状况和地震设计状况，当用内力的形式表达时，结构构件应采用下列承载力极限状态设计表达式：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (3.3.2-1)$$

$$R = R(f_c, f_s, a_k, \dots) / \gamma_{Rd} \quad (3.3.2-2)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数：在持久设计状况和短暂设计状况下，对安全等级为一级的结构构件不应小于 1.1，对安全等级为二级的结构构件不应小于 1.0，对安全等级为三级的结构构件不应小于 0.9；对地震设计状况下应取 1.0；

S ——承载力极限状态下作用组合的效应设计值：对持久设计状况和短暂设计状况应按作用的基本组合计算；对地震设计状况应按作用的地震组合计算；

R ——结构构件的抗力设计值；

$R(\cdot)$ ——结构构件的抗力函数；

γ_{Rd} ——结构构件的抗力模型不定性系数：静力设计取 1.0，对不确定性较大的结构构件根据具体情况取大于 1.0 的数值；抗震设计应用承载力抗震调整系数 γ_{RE} 代替 γ_{Rd} ；

f_c 、 f_s ——混凝土、钢筋的强度设计值，应根据本规范第 4.1.4 条及第 4.2.3 条的规定取值；

a_k ——几何参数的标准值，当几何参数的变异性对结构性能有明显的不利影响时，应增减一个附加值。

注：公式 (3.3.2-1) 中的 $\gamma_0 S$ 为内力设计值，在本规范各章中用 N 、 M 、 V 、 T 等表达。

3.3.4 对偶然作用下的结构进行承载力极限状态设计时，公式 (3.3.2-1) 中的作用效应设计值 S 按偶然组合计算，结构重要性系数 γ_0 取不小于 1.0 的数值；公式 (3.3.2-2) 中混凝土、钢筋的强度设计值 f_c 、 f_s 改用强度标准值 f_{ck} 、 f_{yk} (或 f_{pyk})。

当进行结构防连续倒塌验算时，结构构件的承载力函数应按本规范第 3.6 节的原则确定。

3.6.3 当进行偶然作用下结构防连续倒塌的验算时，作用宜考虑结构相应部位倒塌冲击引起的动力系数。在抗力函数的计算中，混凝土强度取强度标准值 f_{ck} ；普通钢筋强度取极限强度标准值 f_{stk} ，预应力筋强度取极限强度标准值 f_{ptk} 并考虑锚具的影响。宜考虑偶然作用下结构倒塌对结构几何参数的影响。必要时尚应考虑材料性能在动力作用下的强化和脆性，并取相应的强度特征值。

对于持久设计状况和短暂设计状况下的基本组合的效应设计值 S ，《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012) 规定：

3.2.3 荷载基本组合的效应设计值 S_d ，应从下列荷载组合值中取用最不利的效应设计值确定：

1 由可变荷载控制的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_j,k} + \gamma_{Q_1} \gamma_{L_1} S_{Q_1,k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} \psi_{c_i} S_{Q_i,k} \quad (3.2.3-1)$$

式中： γ_{G_j} ——第 j 个永久荷载的分项系数，应按本规范第 3.2.4 条采用；

γ_{Q_i} ——第 i 个可变荷载的分项系数，其中 γ_{Q_1} 为主导可变荷载 Q_1 的分项系数，应按本规范第 3.2.4 条采用；

γ_{L_i} ——第 i 个可变荷载考虑设计使用年限的调整系数，其中 γ_{L_1} 为主导可变荷载 Q_1 考虑设计使用年限的调整系数；

$S_{G_j,k}$ ——按第 j 个永久荷载标准值 $G_{j,k}$ 计算的荷载效应值；

$S_{Q_i,k}$ ——按第 i 个可变荷载标准值 $Q_{i,k}$ 计算的荷载效应值，其中 $S_{Q_1,k}$ 为诸可变荷载效应中起控制作用者；

ψ_{c_i} ——第 i 个可变荷载 Q_i 的组合值系数；

m ——参与组合的永久荷载数；

n ——参与组合的可变荷载数。

2 由永久荷载控制的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_j,k} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} \psi_{c_i} S_{Q_i,k} \quad (3.2.3-2)$$

注：1 基本组合中的效应设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况；

2 当对 $S_{Q_1,k}$ 无法明显判断时，应轮流以各可变荷载效应作为 $S_{Q_1,k}$ ，并选取其中最不利的荷载组合的效应设计值。

3.2.4 基本组合的荷载分项系数，应按下列规定采用：

1 永久荷载的分项系数应符合下列规定：

1) 当永久荷载效应对结构不利时，对由可变荷载效应控制的组合应取 1.2，对由永久荷载效应控制的组合应取 1.35；

2) 当永久荷载效应对结构有利时，不应大于 1.0。

2 可变荷载的分项系数应符合下列规定：

1) 对标准值大于 4kN/m^2 的工业房屋楼面结构的活荷载，应取 1.3；

2) 其他情况，应取 1.4。

3 对结构的倾覆、滑移或漂浮验算，荷载的分项系数应满足有关的建筑结构设计规范的规定。

3.2.5 可变荷载考虑设计使用年限的调整系数 γ_L 应按下列规定采用：

1 楼面和屋面活荷载考虑设计使用年限的调整系数 γ_L 应按表 3.2.5 采用。

表 3.2.5 楼面和屋面活荷载考虑设计使用年限的调整系数 γ_L

结构设计使用年限（年）	5	50	100
γ_L	0.9	1.0	1.1

注：1 当设计使用年限不为表中数值时，调整系数 γ_L 可按线性内插确定；

2 对于荷载标准值可控制的活荷载，设计使用年限调整系数 γ_L 取 1.0。

2 对雪荷载和风荷载,应取重现期为设计使用年限,按本规范第 E.3.3 条的规定确定基本雪压和基本风压,或按有关规范的规定采用。

荷载的偶然组合的效应设计值 S ,《建筑结构荷载规范》规定:

3.2.6 荷载偶然组合的效应设计值 S_d 可按下列规定采用:

1 用于承载能力极限状态计算的效应设计值,应按下式进行计算:

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_j,k} + S_{A_d} + \psi_{1_i} S_{Q_{1,k}} + \sum_{i=2}^n \psi_{i_i} S_{Q_{i,k}} \quad (3.2.6-1)$$

式中: S_{A_d} ——按偶然荷载标准值 A_d 计算的荷载效应值;

ψ_{1_i} ——第 1 个可变荷载的频遇值系数;

ψ_{i_i} ——第 i 个可变荷载的准永久值系数。

2 用于偶然事件发生后受损结构整体稳固性验算的效应设计值,应按下式进行计算:

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_j,k} + \psi_{1_i} S_{Q_{1,k}} + \sum_{i=2}^n \psi_{i_i} S_{Q_{i,k}} \quad (3.2.6-2)$$

注:组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

(7) 正常使用极限状态验算

混凝土结构构件应根据其使用功能及外观要求进行正常使用极限状况验算,具体如下:

① 对需要控制变形的构件,应进行变形验算;

② 对不允许出现裂缝的构件,应进行混凝土(拉)应力验算;

③ 对允许出现裂缝的构件,应进行受力裂缝宽度验算;

④ 对舒适度有要求的楼盖结构,应进行竖向自振频率验算。如:住宅和公寓的楼盖结构不宜低于 5Hz,办公楼和旅馆的楼盖结构不宜低于 4Hz,大跨度公共建筑的楼盖结构不宜低于 3Hz。

正常使用极限状态设计表达式,《混规》规定:

3.4.2 对于正常使用极限状态,钢筋混凝土构件、预应力混凝土构件应分别按荷载的准永久组合并考虑长期作用的影响或标准组合并考虑长期作用的影响,采用下列极限状态设计表达式进行验算:

$$S \leq C \quad (3.4.2)$$

式中: S ——正常使用极限状态荷载组合的效应设计值;

C ——结构构件达到正常使用要求所规定的变形、应力、裂缝宽度和自振频率等的限值。

正常使用极限状态荷载组合的效应设计值 S ,《建筑结构荷载规范》规定:

3.2.8 荷载标准组合的效应设计值 S_d 应按下式进行计算:

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_j,k} + S_{Q_{1,k}} + \sum_{i=2}^n \psi_{c_i} S_{Q_{i,k}} \quad (3.2.8)$$

注:组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

3.2.9 荷载频遇组合的效应设计值 S_d 应按下式进行计算:

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_j,k} + \psi_{f_1} S_{Q_1,k} + \sum_{i=2}^n \psi_{q_i} S_{Q_i,k} \quad (3.2.9)$$

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

3.2.10 荷载准永久组合的效应设计值 S_d 应按下列式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G_j,k} + \sum_{i=1}^n \psi_{q_i} S_{Q_i,k} \quad (3.2.10)$$

注：组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

应注意的是， $\psi_{f_1} S_{Q_{1k}}$ 为在频遇组合中起控制作用的一个可变荷载频遇值效应值。

(8) 耐久性设计内容

混凝土结构应根据设计使用年限和环境类别进行耐久性设计，其设计内容包括：确定结构所处的环境类别；提出对混凝土材料的耐久性基本要求；确定构件中钢筋的混凝土保护层厚度；不同环境条件下的耐久性技术措施；提出结构使用阶段的检测与维护要求。

(9) 防连续倒塌设计原则

混凝土结构防连续倒塌设计应符合下列要求：

第一，采取减小偶然作用效应的措施；

第二，采取使重要构件及关键传力部位避免直接遭受偶然作用的措施；

第三，在结构容易遭受偶然作用影响的区域增加冗余约束，布置备用的传力途径；

第四，增强疏散通道、避难空间等重要结构构件及关键传力部位的承载力和变形性能；

第五，配置贯通水平、竖向构件的钢筋，并与周边构件可靠性锚固；

第六，设置结构缝，控制可能发生连续倒塌的范围。

重要结构的防连续倒塌设计方法可采用：局部加强法；拉结构件法（如按梁-拉结模型、悬索-拉结模型、悬臂-拉结模型进行承载力验算）；拆除构件法等。

三、解题指导

钢筋混凝土结构的考核内容包括：材料性能；基本概念、基本原理、基本假定条件与计算公式；构造要求；该门学科的知识点范围较广，给复习备考带来一定难度，正确解答每一道题需要有扎实的基础知识，系统地复习，考试是以单项选择题的形式命题，加之考试时间有限，复杂的计算型题目一般不会出现，所以应注重对本学科的基本概念、基本材料性能、基本原理、一般构造要求进行掌握，对复杂的计算公式关键是弄清其假定条件、适用条件，有关参数的取值规定。因为结构设计涉及安全性，所以每个计算公式的参数取值一般都会有上限或下限，当计算结果“超限”时，其取值都会取限定值，故重视对计算结果的复核。如梁的纵向钢筋配筋率有最大配筋率、最小配筋率。

无论是记忆类型、比较类型、因果类型、组合类型、计算类型等单项选择题，解题时都应具备相应的专业知识才能找到正确答案。本学科知识点来源于科学试验与工程实践，复习或解题时，应多思考，分析其因果关系，这样记忆、理解、解题就会良性循环。

本节知识点是材料性能、基本设计原则，较容易掌握。

【例 14-1-1】 在复杂应力状态下，混凝土强度降低的是（ ）。

A. 三向受压

B. 两向受压

C. 双向受拉

D. 一拉一压

【解】 根据本节复杂应力下混凝土强度变化情况分析，应选 D 项。

思考：本题命题变为混凝土强度提高的是哪些？三向受压、两向受压时，其强度均会提高。

【例 14-1-2】 对于混凝土的收缩变形的叙述，正确的是（ ）。

- ①水灰比愈大，收缩愈小；
- ②水泥用量愈多，收缩愈小；
- ③养护环境湿度大，温度高，收缩愈小；
- ④骨料的弹性模量愈高，收缩愈小；
- ⑤强度高的水泥，收缩愈小。

A. ①③④ B. ①③⑤ C. ③④ D. ③④⑤

【解】 本节重点内容对混凝土的减少收缩的措施进行了讲述，所以应选 C 项。

【例 14-1-3】 非抗震设计，普通钢筋 HPB300 钢筋在最大力下的总伸长率不应小于（ ）。

A. 3.5% B. 5.0% C. 7.5% D. 10.0%

【解】 根据本节重点内容中钢筋总伸长率的规定，应选 D 项。

【例 14-1-4】 混凝土结构中的梁、柱纵向受力普通钢筋不宜选用（ ）。

A. HRB400 B. HRBF400
C. HRB500 D. RRB400

【解】 根据《混规》规定，梁、柱纵向受力普通钢筋应采用 HRB400、HRBF400、HRB500、HRBF500，故应选 D 项。

【例 14-1-5】 混凝土结构中，当采用 400MPa 及以上的钢筋时，其混凝土强度等级不应低于（ ）。

A. C20 B. C25 C. C30 D. C40

【解】 根据《混规》对混凝土强度等级的选用规定，应选 B 项。

【例 14-1-6】 当进行偶然作用下结构连续倒塌的验算时，在抗力函数计算中，普通钢筋强度应取（ ）。

A. 强度设计值 B. 极限强度设计值
C. 强度标准值 D. 极限强度标准值

【解】 根据偶然作用下结构连续倒塌的计算规定，应选 D 项。

四、应试题解

1. 下列关于有屈服点钢筋与无屈服点钢筋的叙述中，正确的是（ ）。

- A. 热轧钢筋和热处理钢筋为有屈服点钢筋
- B. 热轧钢筋和消除应力钢丝为有屈服点钢筋
- C. 热轧钢筋和钢绞线为有屈服点钢筋
- D. 热处理钢筋和钢绞线为无屈服点钢筋

2. （ ）是有明显屈服点钢筋。

A. 热轧钢筋 B. 热处理钢筋
C. 碳素钢丝 D. 钢绞线

3. 对于无明显屈服点的钢筋，其强度标准值取值的依据是（ ）。

- A. 最大应变对应的应力
B. 极限抗拉强度
C. 0.9 倍极限强度
D. 条件屈服强度
4. 《混凝土结构设计规范》中,混凝土各种强度指标的基本代表值是()。
A. 立方体抗压强度标准值
B. 轴心抗压强度标准值
C. 轴心抗压强度设计值
D. 钢绞线
5. 同一强度等级的混凝土,其各种力学指标之间的大小关系是()。
A. $f_{cu} < f_c < f_t$
B. $f_c > f_{cu} > f_t$
C. $f_{cu} > f_t > f_c$
D. $f_{cu} > f_c > f_t$
6. 边长分别为 100mm 和 200mm 的立方体试块,换算为边长为 150mm 立方体的抗压强度时,考虑尺寸效应影响应分别乘以()。
A. 0.9 和 1.05
B. 0.95 和 1.05
C. 0.9 和 1.1
D. 0.95 和 1.1
7. 混凝土在复杂应力状态下,混凝土强度降低的是()。
A. 三向受压
B. 两向受压
C. 双向受拉
D. 一拉一压
8. 混凝土的线性徐变是指()。
A. 徐变与荷载持续时间为非线性关系
B. 徐变系数与初应变成线性关系
C. 瞬时变形与徐变变形之和与初应力成线性关系
D. 长期荷载作用应力 $\sigma \leq 0.5f_c$ 时,徐变与应力成线性关系
9. 钢筋混凝土轴心受压构件在恒定不变荷载的长期作用下,会因混凝土的徐变使构件产生随时间而增长的塑性变形(压缩)。随时间的增长,混凝土与钢筋的压应力变化,下列说法正确的是()。
A. 钢筋的压应力增大,混凝土的压应力减小
B. 钢筋的压应力增大,混凝土的压应力增大
C. 钢筋的压应力减小,混凝土的压应力减小
D. 钢筋的压应力减小,混凝土的压应力增大
10. 变形钢筋比光圆钢筋的粘结力提高很多的主要原因是()。
A. 提高了混凝土中水泥凝胶体与钢筋表面的化学胶结力
B. 提高了混凝土与钢筋之间的机械咬合力
C. 提高了钢筋与混凝土触面的摩擦力
D. 提高了 A、B、C 中的三种力
11. 影响钢筋与混凝土之间的粘结力的因素是()。
①混凝土的质量; ②钢筋的形式; ③钢筋的强度; ④钢筋保护层厚度;
⑤横向钢筋的作用; ⑥反复荷载的作用。
A. ①②③④
B. ①②④⑤⑥
C. ①③④⑤
D. ①③④⑤⑥
12. 对于钢筋混凝土梁来说,当钢筋和混凝土之间的粘结力不足时,如果不改变截面大小而使它们之间的粘结力达到要求,以下这些方法中最为适当的是()。

- A. 增加受压钢筋的截面 B. 增加受压钢筋的周长
C. 加大箍筋的密度 D. 采用高强度钢筋
13. 结构在规定的时间内,规定的条件下完成预定功能的概率为结构的()指标。
A. 安全度 B. 可靠度
C. 可靠性 D. 可靠指标
14. 对于一般的工业与民用建筑钢筋混凝土构件,延性破坏时的可靠指标 β 为()。
A. 2.7 B. 3.7 C. 3.2 D. 4.2
15. 规范对混凝土结构的目标可靠指标要求为 3.7 (脆性破坏) 和 3.2 (延性破坏) 时,该建筑结构的安全等级属于()。
A. 一级,重要建筑 B. 二级,重要建筑
C. 二级,一般建筑 D. 三级,次要建筑
16. 下列叙述中,不正确的是()。
A. 我国规范规定的钢筋混凝土结构房屋的设计基准期为 50 年
B. 根据结构的重要性,将结构安全等级划分为 3 级
C. 结构安全等级划为二级时其重要性系数为 1.0
D. 结构安全等级划为三级时其重要性系数为 1.0
17. 下列叙述中不正确的是()。
A. 荷载的标准值是该荷载在结构设计基准期内可能达到的最大值
B. 可变荷载的准永久值是可变荷载在设计基准期内被超越一段时间 (一般超越时间为 50 年) 的荷载值
C. 一般情况下,可变荷载的分项系数是 1.4
D. 在永久荷载控制的组合中,永久荷载的分项系数是 1.35
18. 混凝土强度等级 f_{cu} 是由立方体抗压强度试验值按()项原则确定的,其中, μ_f 为平均值。
A. 取 μ_f , 超值保证率 50% B. 取 $\mu_f - 1.645\sigma_f$, 超值保证率 95%
C. 取 $\mu_f - 2\sigma_f$, 超值保证率 97.72% D. 取 $\mu_f - \sigma_f$, 超值保证率 84.13%
19. 某计算跨度为 6m 的简支梁,梁上作用有恒载标准值 (包括自重) 5kN/m,活荷载标准值 5kN/m,设计使用年限为 50 年,则基本组合下其跨中最大弯矩设计值为() kN·m。
A. 52.4 B. 58.5 C. 68.4 D. 86.2

第二节 承载能力极限状态计算

一、《考试大纲》的规定

受弯构件、受扭构件、受压构件、受拉构件、冲切、局压、疲劳。

二、重点内容

1. 受弯构件

(1) 正截面受弯承载力

《混规》规定:

6.2.1 正截面承载力应按下列基本假定进行计算:

- 1 截面应变保持平面。
- 2 不考虑混凝土的抗拉强度。
- 3 混凝土受压的应力与应变关系按下列规定取用:

当 $\epsilon_c \leq \epsilon_0$ 时

$$\sigma_c = f_c \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^n \right] \quad (6.2.1-1)$$

当 $\epsilon_0 < \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}$ 时

$$\sigma_c = f_c \quad (6.2.1-2)$$

$$n = 2 - \frac{1}{60}(f_{cu,k} - 50) \quad (6.2.1-3)$$

$$\epsilon_0 = 0.002 + 0.5(f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \quad (6.2.1-4)$$

$$\epsilon_{cu} = 0.0033 - (f_{cu,k} - 50) \times 10^{-5} \quad (6.2.1-5)$$

式中: σ_c ——混凝土压应变为 ϵ_c 时的混凝土压应力;

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值,按本规范表 4.1.4-1 采用;

ϵ_0 ——混凝土压应力达到 f_c 时的混凝土压应变,当计算的 ϵ_0 值小于 0.002 时,取为 0.002;

ϵ_{cu} ——正截面的混凝土极限压应变,当处于非均匀受压且按公式 (6.2.1-5) 计算的值大于 0.0033 时,取为 0.0033;当处于轴心受压时取为 ϵ_0 ;

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值,按本规范第 4.1.1 条确定;

n ——系数,当计算的 n 值大于 2.0 时,取为 2.0。

4 纵向受拉钢筋的极限拉应变取为 0.01。

5 纵向钢筋的应力取钢筋应变与其弹性模量的乘积,但其值应符合下列要求:

$$-f'_y \leq \sigma_{si} \leq f_y \quad (6.2.1-6)$$

$$\sigma_{pi} - f'_{py} \leq \sigma_{pi} \leq f_{py} \quad (6.2.1-7)$$

式中: σ_{si} 、 σ_{pi} ——第 i 层纵向普通钢筋、预应力筋的应力,正值代表拉应力,负值代表压应力;

σ_{pi} ——第 i 层纵向预应力筋截面重心处混凝土法向应力等于零时的预应力筋应力,按本规范公式 (10.1.6-3) 或公式 (10.1.6-6) 计算;

f_y 、 f_{py} ——普通钢筋、预应力筋抗拉强度设计值,按本规范表 4.2.3-1、表 4.2.3-2 采用;

f'_y 、 f'_{py} ——普通钢筋、预应力筋抗压强度设计值,按本规范表 4.2.3-1、表 4.2.3-2 采用。

等效矩形应力图,其等效代换的原则是:两图形压应力合力的大小和作用点位置不变。《混规》规定: