

控制钢筋混凝土结构构件 裂缝措施

云南省基本建设委员会

1983

云南省基本建设委员会

云基科(83) 7号

关于控制钢筋混凝土结构 裂缝的几点意见

近几年来,由于钢筋混凝土结构设计方法的改善,结构内力和安全度分析方法的逐步精确,加上不少地区在混凝土原材料改善不大的情况下,导致钢筋混凝土构件产生过大裂缝的具体因素是比较复杂的。所以,对钢筋混凝土裂缝的研究应引起足够重视。根据对实际工程的调查分析,表明产生过大裂缝的钢筋混凝土结构多具备这样一些特征:由于结构断面不当,受拉钢筋应力 σ_g 偏高、受拉钢筋配筋率 μ 偏低、受拉钢筋直径 d 选择不当、没有按要求进行养护等,曾出现过一些程度不同的质量问题。为避免这类问题继续发生,除要求各设计单位对钢筋混凝土结构必须根据不同要求按现行《钢筋混凝土设计规范》进行抗裂度和裂缝宽度验算,各施工单位必须严格执行现行《钢筋混凝土工程施工及验收规范》,使用单位不得随意改变使用条件外,特根据我省具体情况及已有的研究成果提出以下控制钢筋混凝土构件裂缝开展的几点意见:

一、在进行钢筋混凝土结构构件的断面设计时,必须按现行《钢筋混凝土结构设计规范》对两种极限状态进行验算,即承载力极限状态和正常使用的极限状态。有条件时应优先选用变形钢筋,对低配筋率的构件应尽量选用小直径钢筋。

二、使用材料上应注意混凝土强度与钢筋强度的协调关系,避免在低标号混凝土内配置高强度钢筋和使受拉钢筋应力过高。施工时应确保混凝土质量,未经设计单位同意不得随意更换钢筋种类和规格数量。

三、我省温差变化较大,湿度变化也较大,设计时应采取措施设置必要的温度缝、后浇缝。施工时,应认真进行混凝土级配设计,加强振捣,确保混凝土的密实度,并宜优先选用低热水泥,水泥用量不宜过高,还应严格控制混凝土的水灰比、骨料的含泥量、合理安排施工程序,认真加强对混凝土的养护,尽可能减少混凝土的收缩,以控制或减少混凝土构件的非结构裂缝。

四、钢筋混凝土预制构件的设计计算应考虑起吊、运输、安装方式、在施工图说明中说明有关注意事项。施工单位在起吊、运输、安装等过程中应严格按照设计及有关规定的

要求，制定相应的施工措施，认真改善施工操作工艺，尽力避免由于施工操作不善而引起的结构裂缝。

五、在施工和使用过程中，不得任意改变、提高荷载类别，造成人为的超载。使用单位应注意建筑结构的使用条件和认真维修。使用时，如需改变或提高荷载类别和荷载等级，均应通过计算、复核，并经主管部门批准后方可进行。

六、予应力混凝土梁板构件采取下列措施控制裂缝开展：

1.设计上应尽量减少予应力束在梁端的偏心程度。

2.降低予压应力。

3.增加抵抗横向拉力的能力。

七、钢筋混凝土结构构件裂缝宽度的限值：

1.钢筋混凝土结构构件计算最大裂缝宽度的允许值，应按现行钢筋混凝土结构设计规范及有关专业的专门规程的规定进行控制。

2.对于采用直径小于或等于 $\phi 5\text{mm}$ ，钢丝（包括冷拨低碳钢丝、炭素钢丝、刻痕钢丝）的构件按以下规定处理：

（1）当构件为予应力构件时，根据我省习惯和工程实践经验，应保证在使用阶段构件不出现裂缝；

（2）当构件为非予应力构件时，若构件是处于一般大气条件下的无直接间接水源的室内，其最大裂缝宽度的计算值应小于或等于 0.2mm 。若构件是处于一般大气条件下的室外，其最大裂缝宽度的计算值应小于或等于 0.1mm 。

3.对于水塔、水池、储液、储气等对裂缝有严格要求的钢筋混凝土结构，施工和使用单位均应制定严格的施工和管理维护措施。

一九八三年三月二日

抄送：城乡建设环境保护部、国家计委范规所

主送：本省各设计院、施工单位、学校、各县设计室、地、州、市建委（基建科）

钢筋混凝土构件设计中控制 裂缝的几点措施和建议

影响钢筋混凝土构件裂缝的因素是多方面的,而且有些因素是相关的,所以只有认识了各种因素对裂缝发生和发展的影响范围、程度和特征,才有可能根据结构构件的特点在设计、施工、使用等方面事先采取相应的措施及相应的手段来控制裂缝的发生和发展,使裂缝的发生和发展满足安全、使用方面的要求。对于各种不同的构件,或者在不同的条件下各种因素的影响是不同的,这就除从对裂缝的要求出发根据结构构件的具体情况进行必要的设计计算外,还要有一些合理的措施。现就在设计方面的问题提出一些控制钢筋混凝土构件裂缝的措施及建议和控制钢筋混凝土裂缝框图。

1.钢筋混凝土构件中钢筋是承受拉力的主要材料,钢筋的种类、数量、直径都是设计时酌情选定的,这就有可能在设计上根据钢筋种类、配筋量、直径这些因素对 δ_{fmax} 的影响情况合理的进行配筋设计,从配筋角度控制裂缝的发生和发展。

由于Ⅱ级螺纹钢筋的表面形状有关的系数 v_2 比Ⅰ级光面钢筋的表面形状有关的系数 v_1 小,而弹性模量相差不大,在配筋面积相同条件下采用Ⅱ级钢筋构件的 δ_{fmax} 比采用Ⅰ级钢筋的 δ_{fmax} 小,但在安全系数相同而又承受同样外荷载时,由于Ⅱ级钢筋设计强度比Ⅰ级钢筋设计强度高,而受拉钢筋应力 σ_g 对 δ_{fmax} 的影响比 v 对 δ_{fmax} 的影响大,这样采用Ⅱ级钢筋时的 δ_{fmax} 往往比采用Ⅰ级钢筋时的 δ_{fmax} 大,故当按强度设计用Ⅱ级钢筋代换Ⅰ级钢筋时, δ_{fmax} 应重新核算。

在低配筋率、大直径情况下,配筋率 μ 对 δ_{fmax} 影响较大, δ_{fmax} 近似与 $1/\mu^2$ 成正比,在外加弯矩大于抗裂弯矩后, δ_{fmax} 的计算值一般来说都比较大,并且 μ 与 δ_{fmax} 函数关系的斜率也较大,是一个不稳定区,往往少量的配筋变化会引起 δ_{fmax} 较大的变化:例如某梁,200*混凝土,Ⅱ级钢, $d=1.4\text{cm}$ 、 $d=1.2\text{cm}$, $A=6.2$ 时随 μ 而变化的 $\delta_{fmax} \sim \mu$ 图(图1)。

当 $d=1.4\text{cm}$, $A=6.2$, $\mu=0.275\%$ 时, $\delta_{fmax}=0.265\text{mm}$ (1点),而当 μ 变化到 $\mu=0.25\%$ 时, $\delta_{fmax}=0.326\text{mm}$ (2点)。 μ 减少了0.025%,相应 μ 降低了9.1%,而使 δ_{fmax} 增加了23%,并且造成了 $\delta_{fmax}>0.30\text{mm}$,超过了《规范》规定值,所以要特别注意配筋率较低时的裂缝变化情况,钢筋面积相同时,钢筋直径越小,钢筋与混凝土的接触面积就越多,钢筋对混凝土的约束也随之增加,在外界荷载作用下这对控制混凝土的变形是有利的,如上例改用 $d=1.2\text{cm}$, $\mu=0.275\%$ 时, $\delta_{fmax}=0.234\text{mm}$ (3点),而 $d=1.2\text{cm}$, $\mu=0.25\%$ 时, $\delta_{fmax}=0.278\text{mm}$ (4点),所以在对裂缝有控制要求的构件当可采用大直径钢筋又可采用小直径钢筋时,应尽量选用小直径钢筋。

2.钢筋混凝土构件裂缝的发生和发展是通过混凝土应变的变化而反映出来的,混凝

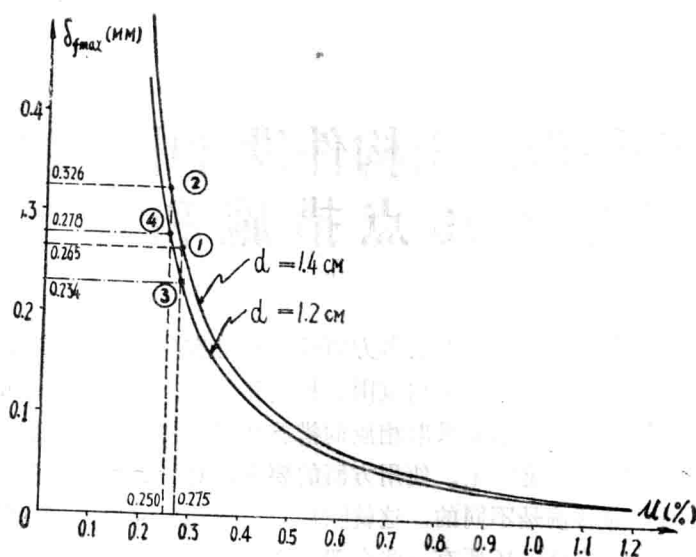


图 1 *200, II, $\delta_{fmax} \sim \mu$ ($A=6.2$)

土强度的高低, 不仅直接决定了混凝土的抗裂强度, 在某种程度上也影响裂缝的发展。例如某梁断面为 $20\text{cm} \times 50\text{cm}$, $\mu = 1\%$, 当采用 150# 混凝土, I 级钢筋时, 不允许出现裂缝的最大弯矩为 $1.866T\text{-M}$, 而当采用 300# 混凝土, I 级钢筋时, 不允许出现裂缝的最大弯矩为 $2.868T\text{-M}$ 。在承受同样的弯矩 $M = 7.0T\text{-M}$ 时, 采用 150# 混凝土, II 级钢筋时进行强度设计计算后采用 $1\Phi 16 + 1\Phi 18$ 则 $\delta_{fmax} = 0.349\text{mm}$ 。为了说明问题, 试采用 300# 混凝土, I 级钢筋时进行强度设计计算后采用 $2\Phi 18 + 2\Phi 16$, 则 $\delta_{fmax} = 0.231\text{mm}$ 。因此当对构件裂缝限值有要求时, 在设计上应尽量注意混凝土标号与钢材强度的关系, 避免低标号混凝土与受拉钢筋应力很高的钢筋共同作用。

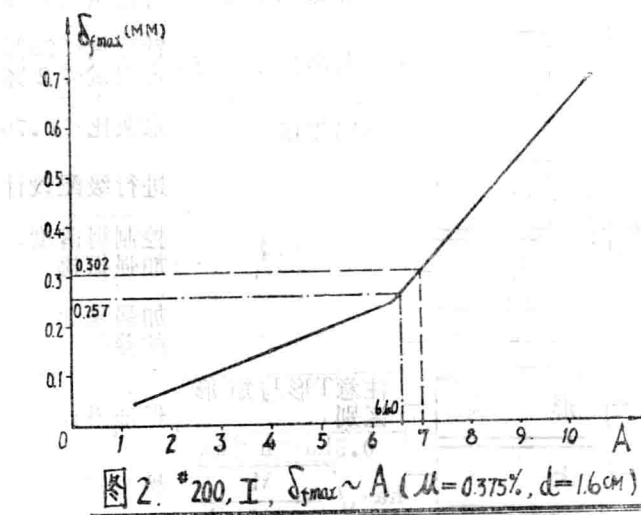
3. 构件截面形状、大小直接影响到配筋率, 影响到作用弯矩系数, 在一定范围内还会影响受拉钢筋应变的不均匀系数, 断面加大可以使裂缝宽度减小, 但有一定的限度, 一般来说断面尺寸的选择应在 $0.5h_a < h < h_a$; $h_a = \sqrt{\frac{M}{0.3525 \cdot b \cdot R_f \cdot \alpha}}$ 及 $0.401R_f \alpha < A < 1.604R_f \alpha$ 的范围内为合理, 在此范围内钢筋和混凝土都能得到充分的发挥。由于 T 形截面受压区宽度比矩形截面的大, 所以相应 T 形截面的抗裂弯矩比矩形截面的抗裂弯矩大, 也将使受拉钢筋应变不均匀系数变小, 但是 T 形截面裂缝间距比矩形截面裂缝间距大, 因而当弯矩作用系数在

$$\frac{0.2673R_f \alpha}{\left(1 + \frac{0.01d\alpha}{\mu}\right)} < A < 0.2673R_f \alpha \left[1 + \alpha + \frac{\mu}{0.01d}\right]$$

$$\left[1 - \frac{\mu}{3\left(1 + \frac{0.01d}{\mu}\right)}\right]$$

范围内时, 由于钢筋应变不均匀系数对 δ_{fmax} 的影响比裂缝间距 l_f 的影响大, 把 T 形截面梁视为同样高度的矩形梁就可使 δ_{fmax} 变大。当不在此范围内时会导致 T 形截面梁的 δ_{fmax} 反而比矩形截面梁的 δ_{fmax} 大, 因而 T 形截面梁照矩形截面梁来进行计算求得的 δ_{fmax} 不一定是偏安全的, T 形截面梁不能简单的照矩形截面梁来计算, 而应根据梁实际断面形状来计算, 同样在设计时梁的截面形状亦应根据外界作用大小来选定。

4. 外界作用是钢筋混凝土构件裂缝发生和发展的外因, 外界作用越大其受拉钢筋应力越大, δ_{fmax} 会随着外界作用的增加而增加, 荷载仅仅是外界作用中的一种, 在设计计算时应充分考虑可能出现的各种作用, 特别当 $M \approx 0.401 R_f \alpha \cdot b \cdot h_0^2$, $A = 0.401 R_f \alpha$ 时, A 的微小增加都会引起 δ_{fmax} 急剧的增加。例如, 200#混凝土、I 级钢, 当 $d = 1.6\text{cm}$ 、 $\mu = 0.375\%$, $A = 6.60$ 时, $\delta_{fmax} = 0.257\text{mm}$, 而 A 只增加 0.40 就使 δ_{fmax} 变为 0.302mm, A 只增加 6.06%, 而 δ_{fmax} 却增加了 17.5% (图 2)。荷载是外界作用中



的一种主要形式, 从广义来说温度变化产生的热胀冷缩作用, 湿度变化引起的干缩, 以及混凝土本身产生的徐变收缩作用都可理解为外界作用, 还有振动、冲击、相邻构件约束等作用都可能对裂缝产生不同程度的影响, 因此在设计时应尽量考虑在各种条件下可能发生的各种影响。对可以进行计算的一切外界作用均可利用我们根据《钢筋混凝土结构设计规范》TJ10—74给出的计算公式推导出计算 δ_{fmax} 的直接公式及图表进行设计计算。如有些作用目前尚难于进行计算, 但确有可能对裂缝的发展带来不利影响, 则应在裂缝的限值及开展方面予以注意。

5. 混凝土结构的边界条件在一定程度上也影响裂缝的发展, 构件的外界约束则主要取决于相邻结构的刚度。例如柱子越粗对梁的约束就越大, 在结构有突变的地方约束也将增大。总之, 约束越大则由于冷缩、干缩等原因产生的混凝土收缩的自由变形条件就越差, 因此就有可能导致混凝土开裂, 或使已经出现的裂缝进一步扩大。为减少相邻构件约束对裂缝的影响, 可以合理选择梁柱的断面, 避免构件的突变, 在某些部位配置适当的构造筋 (如在梁的中部适当增配一定的腰筋)*, 以及根据环境设置温度伸缩缝, 或采取“后浇缝”等措施。

控制钢筋混凝土裂缝框图

影响钢筋混凝土裂缝宽度 δ_{fmax} 的因素		设计	施工	使用
混凝土	钢筋	种类 E_g, ν	优选用螺纹钢筋	注意钢筋代换后的变化
		配筋 $A_g, (\mu)$	由 $[\delta_{fmax}]$ 计	实际配筋大于计算配筋
		直径 d	算而定 μ 及 d	实际直径小于计算值
	收缩	水泥	避免低标号混凝土与高强度钢筋共同作用	合理的采用水泥
		砂		含泥量 $< 5\%$
		石料		针片量 $< 25\%$ 含泥量 $< 2\%$
		水灰比		水灰比 < 0.70
		级配		进行级配设计
		密实度		控制坍落度, 加强振捣
		养护		加强硬化前后的养护
断面	形状大小	形状	注意T形与矩形区别	保证设计要求
		大小	$0.5ha < h < ha$ $ha = \sqrt{\frac{M}{0.3525bR_f\alpha}}$	按图施工
		有效高度 h/h_0	注意 $A = 0.401R_f\alpha$ 对 δ_{fmax} 变化	
作用	大小 $M, (A)$	大小 $M, (A)$	由 $M, (A)$ 核算 $\delta_{fmax} < [\delta_{fmax}]$	施工荷载不得超过设计荷载
		形式	考虑各种作用状态	避免冲击荷载
环境	温度湿度	温度	考虑温度变化而引起冷缩	降低混凝土硬化时的温度
		湿度	考虑干燥而引起干缩	避免干燥而引起干缩
构造	保护层厚度 a 箍筋间距 构件约束	保护层厚度 a	$a > 2.5cm$	保证设计要求
		箍筋间距	视情况适当加密	
		构件约束	设温度缝, 后浇缝配置构造筋	合理安排施工程序

钢 筋 混 凝 土 最大裂缝宽度计算图

院GH821

云南省设计院编
1982

院 长

总 工 程 师

室 主 任

主任工程师

设计总负责人

李书胜
陈自励
周玉卿

目 录

一、使用说明	(1)
(一) 受弯构件	(1)
(二) 轴心受拉构件	(2)
(三) 举例	(3)
二、受弯构件	(9)
1. 不允许出现裂缝的最大弯矩值M	(9)
2. 150°混凝土、I级钢筋	(10)
3. 200°混凝土、I级钢筋	(11)
4. 200°混凝土、II级钢筋	(12)
5. 300°混凝土、II级钢筋	(13)
三、轴心受拉构件	(14)
1. 150°混凝土、I级钢筋	(14)
2. 200°混凝土、I级钢筋	(15)
3. 200°混凝土、II级钢筋	(16)
4. 300°混凝土、II级钢筋	(17)

使用 说明

本计算图表根据《钢筋混凝土结构设计规范》TJ10—74编制而成。以 μ , h 值查表1可得到不允许出现裂缝的最大弯矩值 M 。图(1~8)适用于钢筋混凝土受弯构件和钢筋混凝土轴心受拉构件最大裂缝宽度值的计算(详例1、6)。而且也可以进行钢筋混凝土构件的截面选择;已知混凝土标号,钢筋种类、弯矩 M 、构件断面尺寸 b 及 h 而进行配筋设计,根据本图可求得满足 $\delta_{fmax} \leq [\delta_{fmax}]$ 时很多组 μ 、 d ——相对应的值(详例2、3、4、5),得到合理的配筋设计。

(一) 受弯构件:

长期作用影响后的最大裂缝宽度:

$$\delta_{fmax} = \frac{16.55 \cdot \nu \cdot A}{E_g} \left[1 - \frac{0.235(1+2\gamma_1+0.4\gamma'_1)R_f h^2}{A h_0^2} \right] \frac{1}{\mu} \left[1 + \frac{0.01(1+2\gamma_1+0.4\gamma'_1)d}{\mu} \right]$$

$$= f(E_g, \nu, \gamma_1, \gamma'_1, R_f, A, \mu, d)$$

式中: $\mu = \frac{A_g}{bh_0}$; $A = \frac{M}{bh_0^2}$; $\gamma_1 = \frac{h_i(b_i-b)}{bh}$; $\gamma'_1 = \frac{h'_i(b'_i-b)}{bh}$

M : 全部标准荷载所产生的弯矩 (kg-cm); b_i : 受拉区的翼缘宽度 (cm);

A_g : 实际配置的纵向受拉钢筋面积 (cm²); b'_i : 受压区的翼缘宽度 (cm);

d : 纵向受拉钢筋直径 (cm); h_i : 受拉区的翼缘高度 (cm);

μ : 纵向受拉钢筋配筋率; h'_i : 受压区的翼缘高度 (cm);

A : 作用弯矩系数。

1. 适用范围 (图1~图4)

图1 适用矩形截面, 150号混凝土、I级钢筋。

图2 适用矩形截面, 200号混凝土、I级钢筋。

图3 适用矩形截面, 200号混凝土、II级钢筋。

图4 适用矩形截面, 300号混凝土、II级钢筋。

2. 按TJ10—74规范第82条注①对直接承受轻、中级工作制吊车的受弯构件 δ_{fmax} (在图表上查得后) 应乘以0.85。

3. 图1~图4因未作疲劳强度计算不适用于设计直接承受吊车荷载的受弯构件。

4. 当采用不同直径的钢筋时, 钢筋直径 d 按 $d' = \frac{\sum nd_i^2}{\sum nd_i}$, 或 $d' = \frac{4A_g}{S}$, (S : 钢筋总周长)。

5. 当截面为T形、倒T形、工字形时按下列方法修正后再计算:

(1) 求截面特征值 α : $\alpha = 1 + 2r_1 + 0.4r'_1$

(2) 求换算作用弯矩系数 A' : $A' = \frac{A}{\alpha}$

(3) 求换算作用配筋率 μ' : $\mu' = \frac{\mu}{\alpha}$

(4) 根据换算后的 A' 、 μ' 及 d' 可在图表上查得 δ_{fmax} , 也可根据 A' 、 μ' 、 $[\delta_{fmax}]$ 求得相应的 d' 。

6. 本图表是根据 $h = 1.0667h_0$ 制订的, 当不符合此条件时, 可根据 R_f 、 A 、 h/h_0 的具体数值查表一求得 ΔA 值, 然后再根据 $A = A' + \Delta A$ 的值来查表计算。(当 $A < A_{min}$ 时, $\Delta A = 0$)

表一

$\begin{matrix} R^* \\ h/h_0 \end{matrix}$	150*		200*		300*	
	A_{min}	ΔA	A_{min}	ΔA	A_{min}	ΔA
1.30	7.74	-1.69	9.53	-2.08	12.50	-2.73
1.28	7.51	-1.53	9.24	-1.88	12.13	-2.47
1.26	7.28	-1.37	8.40	-1.32	11.76	-2.21
1.24	7.05	-1.22	8.67	-1.50	11.39	-1.97
1.22	6.82	-1.07	8.40	-1.32	11.02	-1.73
1.20	6.60	-0.92	8.12	-1.13	10.66	-1.49
1.18	6.38	-0.78	7.85	-0.96	10.31	-1.26
1.16	6.17	-0.63	7.59	-0.78	9.97	-1.02
1.14	5.96	-0.49	7.33	-0.60	9.63	-0.79
1.12	5.75	-0.36	7.08	-0.44	9.29	-0.58
1.10	5.55	-0.22	6.82	-0.27	8.97	-0.36
1.09	5.44	-0.15	6.70	-0.19	8.79	-0.24
1.08	5.35	-0.09	6.58	-0.11	8.64	-0.15
1.07	5.25	-0.02	6.46	-0.03	8.48	-0.03
1.0677	5.21	0	6.42	0	8.42	0
1.06	5.15	0.04	6.34	0.05	8.32	0.07
1.05	5.05	0.11	6.22	0.14	8.10	0.18
1.04	4.96	0.17	6.10	0.21	8.01	0.28
1.03	4.86	0.24	5.98	0.29	7.85	0.39

(二) 轴心受拉构件:

考虑裂缝宽度分布不均匀性及荷载长期作用影响后裂缝最大宽度

$$\delta_{fmax} = \frac{1.54\nu B}{E_g} \left(1 - \frac{0.56R_f}{B}\right) \cdot \frac{1}{\mu} \cdot \left(10 + 0.2286 \frac{d}{\mu}\right) = \varphi(E_g, \nu, R_f, B, \mu, d)$$

式中 $B = \frac{N}{bh}$, $\mu = \frac{A_g}{bh}$, 其它符号与受弯构件相同。

图 5 适用任意截面, 150 号混凝土、I 级钢筋。

图 6 适用任意截面, 200 号混凝土、I 级钢筋。

图 7 适用任意截面, 200 号混凝土、II 级钢筋。

图 8 适用任意截面, 300 号混凝土、II 级钢筋。

2. 图 5 ~ 图 8 不适用直接承受重复荷载的构件。

3. 轴心受拉的水池墙壁由图表求得的数值乘以 0.818。

4. 当采用不同直径的钢筋时, 同受弯构件一样应求钢筋的平均直径 d' 再进行查表计算。

(三) 举例:

例 1 梁截面 $20 \times 50 \text{ cm}$, 200 号混凝土, II 级钢, $4 \Phi 16$, 弯矩 $M = 8.0 \text{ T-M}$

求: δ_{fmax}

解: 求作用弯矩系数 A , 配筋率 μ

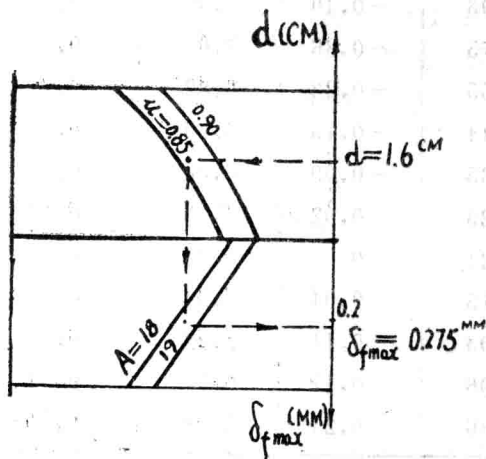
$$\mu = \frac{A_g}{bh_0} = \frac{8.04}{20 \times 46.5} = 0.865\%, h = 50 \text{ cm} \text{ 查表 1 得 } 1.085^{T-M}/10^{Cm}, \text{ 由于宽度 } b = 20 \text{ cm}$$

故不出现裂缝的弯矩为

$$1.085^{T-M}/10^{Cm} \times 2 = 2.17^{T-M} < 8.0^{T-M}, A = \frac{M}{b \times h_0^2} = \frac{800000}{20 \times 46.5^2} = 18.5$$

再由 $A = 18.5, \mu = 0.865\%, d = 1.6 \text{ Cm}$ 查图 3 得

$$\delta_{fmax} = 0.275 \text{ mm} < 0.3 \text{ mm}$$



例 1 图 1

验证:

$$\phi = 1.2 \left(1 - \frac{0.235 \times 20 \times 50^2 \times 16}{800000} \right) = 0.918$$

$$l_f = (6 + 0.06 \times \frac{1.6}{0.00865}) \times 0.7 = 12.0 \text{ cm}$$

$$\sigma_g = \frac{800000}{0.87 \times 8.04 \times 46.5} = 2460 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_{fmax} = 2.0 \phi \frac{\sigma_g}{E_g} l_f = 2.0 \times 0.918 \times \frac{2460}{2 \times 10^8} \times 12 = 0.0271 \text{ cm} = 0.271 \text{ mm}$$

例2 梁截面 $20 \times 60 \text{ cm}$ 、200#混凝土、Ⅱ级钢、 $M = 5.20 \text{ T-M}$

求：(1) 钢筋面积满足强度计算、 $\delta_{fmax} < 0.3 \text{ mm}$ 的允许弯矩；

(2) $\delta_{fmax} < 0.2 \text{ mm}$ 的配筋设计。

解：(1) 以 $M = 5.20 \text{ T-M}$ 查手册、200#混凝土、Ⅱ级钢、 $20 \times 60 \text{ cm}$ 、断面单筋矩

形截面梁弯矩配筋表 $A_g = 3.95 \text{ cm}^2$ ，配 $2\Phi 16$ ， $A_g = 4.02 \text{ cm}^2$ 由 $\mu = \frac{4.02}{20 \times 56.5} = 0.356\%$ ，

$h = 60 \text{ cm}$ 查表1得 $1.44 \times 2 = 2.88 \text{ T-M} < 5.20 \text{ T-M}$ ，

由 $A = \frac{520000}{20 \times 56.5^2} = 8.15$ ， $\mu = 0.356\%$ ，

$d = 1.6 \text{ cm}$ 查图3得 $\delta_{fmax} = 0.350 \text{ mm}$

由 $[\delta_{fmax}] = 0.3 \text{ mm}$ 、 $d = 1.6 \text{ cm}$ 、 $\mu = 0.356\%$ 查图3得 $A = 7.55$ 则允许弯矩

$M = 7.55 \times 20 \times 56.5^2 = 4.82 \text{ T-M}$

(2) 由 $[\delta_{fmax}] = 0.2 \text{ mm}$ ， $A = 8.15$ ，查图3得很多组——相应的 μ 、 d 值，用 $\mu = 0.475\%$ ，选用 $2\Phi 16 + 1\Phi 14$ ，（根据梁宽假定 d 求得 μ ）。

验算：(1) $M = 4.82 \text{ T-M}$ 时的 δ_{fmax} 值

$$\phi = 1.2 \left[1 - \frac{0.235 \times 20 \times 60^2 \times 16}{482000} \right] = 0.5260$$

$$l_f = \left[6 + 0.06 \times \frac{1.6}{0.00356} \right] 0.7 = 23.08 \text{ cm}$$

$$\sigma_g = \frac{482000}{0.87 \times 56.5 \times 4.02} = 2439 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \delta_{fmax} &= 2.0 \times \frac{2439}{2.0 \times 10^8} \times 0.5260 \times 23.08 = 0.0296 \text{ cm} \\ &= 0.296 \text{ mm} = 0.300 \text{ mm} \end{aligned}$$

(2) $2\Phi 16 + 1\Phi 14$ 的 δ_{fmax}

由 $A = 8.15$ $d' = \frac{2 \times 1.6^2 + 1 \times 1.4^2}{2 \times 1.6 + 1 \times 1.4} = 1.54 \text{ cm}$ ， $\mu = \frac{5.56}{20 \times 56.5} = 0.492\%$

查图3得 $\delta_{fmax} = 0.188 \text{ mm}$ 。

$$\phi = 1.2 \left[1 - \frac{0.235 \times 20 \times 60^2 \times 16}{520000} \right] = 0.5753$$

$$l_f = \left(6 + 0.06 \times \frac{1.54}{0.00492} \right) 0.7 = 17.35 \text{ cm}$$

$$\sigma_g = \frac{520000}{0.87 \times 56.5 \times 5.56} = 1903 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\delta_{fmax} = 2.0 \times \frac{1903}{2 \times 10^6} \times 0.5753 \times 17.35 = 0.01899 \text{ cm}$$

例3 工字形钢筋混凝土梁、截面尺寸如右图，

200*号混凝土、Ⅱ级钢、 $M = 38.60 \text{ t-m}$

求（1）在配置 $2\Phi 20 + 4\Phi 18$ 时的 δ_{fmax} ；

（2）满足 $[\delta_{fmax}] = 0.2 \text{ mm}$ 时应配置多少钢筋？

解：（1） $\gamma_1 = \frac{(20-8) \times 10}{8 \times 116.4} = 0.129$

$$\gamma'_1 = \frac{(30-8) \times 14}{8 \times 116.4} = 0.331$$

$$\alpha = 1 + 2\gamma_1 + 0.4\gamma'_1 = 1 + 2 \times 0.129 + 0.4 \times 0.331 = 1.3904$$

$$A = \frac{3860000}{8 \times 110.4^2} = 39.59$$

$$A' = \frac{A}{\alpha} = \frac{39.59}{1.3909} = 28.47$$

$$\mu' = \frac{\mu}{\alpha} = \frac{16.45}{8 \times 110.4} \times \frac{1}{1.3904} = 1.86\% / 1.3904 = 1.338\%$$

$$d' = \frac{2 \times 2.0^2 + 4 \times 1.80^2}{2 \times 2.0 + 4 \times 1.80} = 1.87 \text{ cm}$$

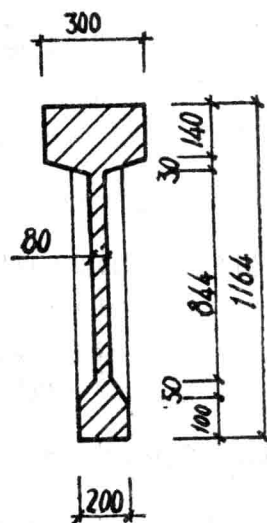
由 A' 、 μ' 、 d' 查图3得 $\delta_{fmax} = 0.247 \text{ mm}$ （见图2）

（2）要使裂缝宽度控制在 0.2 mm 则可以 $\delta_{fmax} = 0.2 \text{ mm}$ ， $A' = 28.47$ 查图3得 μ 、 d ——对应很多组配筋都满足 $\delta_{fmax} = 0.2 \text{ mm}$ 的要求。如又规定钢筋直径为 $\Phi 20$ 则以 $A = 28.47$ ， $\delta_{fmax} = 0.2 \text{ mm}$ 查图得 $\mu' = 1.57\%$ （见图3），相应

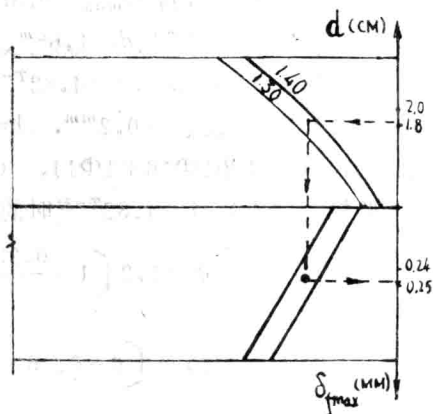
$$A_g = 1.57\% \times 8 \times 110.4 \times 1.3904 = 19.28 \text{ cm}^2$$

验算：（1）在配 $2\Phi 20 + 4\Phi 18$ 时 δ_{fmax}

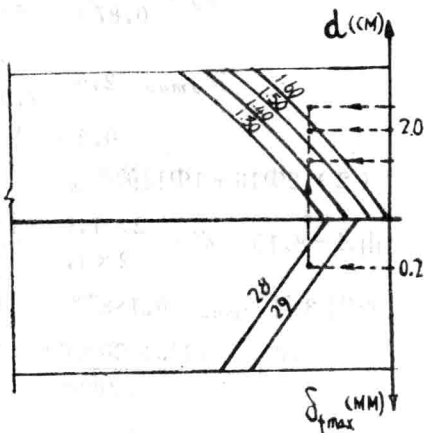
$$d' = 1.87 \text{ cm}$$



例3 图1



例3 图2



例3 图3

$$\phi = 1.2 \left[1 - \frac{0.235 \times 8 \times 116.4^2 \times 16 \times 1.3904}{3860000} \right] = 1.042 \quad \text{取 } \phi = 1.0$$

$$l_f = \left[6 - 0.06 \times 1.3904 \times \frac{1.87}{1.86\%} \right] 0.7 = 10.07 \text{ cm}$$

$$\sigma_g = \frac{3860000}{0.87 \times 116.4 \times 16.45} = 2440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_{fmax} = 2.0 \times \frac{2440}{2 \times 10^6} \times 10.07 = 0.0246 \text{ cm} = 0.246 \text{ mm}$$

(2) 配置 $A_g = 19.28 \text{ cm}^2$ 直径为 $\Phi 20$ 时的 δ_{fmax}

$\phi = 1.042$ 取 $\phi = 1.0$

$$l_f = \left[6 + 0.06 \times 1.3904 \times \frac{2.0 \times 8 \times 110.4}{19.28} \right] 0.7 = 9.5503 \text{ cm}$$

$$\sigma_g = \frac{3860000}{0.87 \times 110.4 \times 19.28} = 2084.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_{fmax} = 2 \times \frac{2084.5}{2 \times 10^6} \times 9.5503 = 0.0199 \text{ cm} = 0.199 \text{ mm}$$

例 4 T形截面梁, 200#号混凝土, II级钢, $b \times h = 30 \times 70 \text{ cm}$

$$b'_i \times h'_i = 60 \times 12 \text{ cm} \quad M = 48 \text{ T-M}$$

试进行 $\delta_{fmax} = 0.2 \text{ mm}$ 时的配筋设计。

$$\text{解: } r'_1 = \frac{(b'_i - b) h'_i}{bh} = \frac{(60 - 30) \times 12}{30 \times 70} = 0.1714$$

$$\alpha = 1 + 0.4 r'_1 = 1.0686$$

$$A = \frac{4800000}{30 \times 64^2} = 39.06$$

$$A' = \frac{A}{\alpha} = \frac{39.06}{1.0686} = 36.55$$

由 $\delta_{fmax} = 0.2 \text{ mm}$, $A' = 36.55$ 查图 3 可得很多组 μ 、 d ——相对应的值, 如果 $d = 2.5 \text{ cm}$, 则相应 $\mu_{d=2.5} = 2.00\%$, $A_g = 2.00\% \times 30 \times 64 \times 1.0686 = 41.03 \text{ cm}^2$

$$\text{验算: } l_f = \left[6 + 0.06 \times \frac{2.5}{2.00\%} \right] 0.7 = 9.45 \text{ cm}$$

$$\phi = 1.2 \left[1 - \frac{0.235 \times 30 \times 70^2 \times 16 \times 1.0686}{4800000} \right] = 1.052 > 1.0$$

$$\text{取 } \phi = 1.0, \sigma_g = \frac{4800000}{0.87 \times 64 \times 41.03} = 2101 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_{fmax} = 2.0 \times \frac{2101}{2.0 \times 10^6} \times 1 \times 9.45 = 0.01985 \text{ cm} = 0.1985 \text{ mm}$$

例5. 混凝土150*, 钢筋 I, $b \times h = 18 \times 30 \text{ cm}$, $b_i = 200 \text{ cm}$, $h_i = 6 \text{ cm}$, $M = 2.9 \text{ T-M}$

配筋 $2\phi 16 + 1\phi 18$, $A_g = 6.57 \text{ cm}^2$

求 $\delta_{fmax} = ?$

$$\text{解: } \alpha = 1 + 0.4 \times \frac{(200 - 18)6}{18 \times 30} = 1.808$$

$$d' = \frac{2 \times 1.6^2 + 1 \times 1.8^2}{2 \times 1.6 + 1 \times 1.8} = 1.67 \text{ cm}$$

$$\mu' = \frac{\mu}{\alpha} = \frac{6.57}{18 \times 26.5 \times 1.808} = 0.762\%$$

$$A' = \frac{290000}{18 \times 26.5^2} \times \frac{1}{1.808} = 12.68$$

$$\text{由 } \frac{h}{h_0} = \frac{30}{26.5} = 1.132 \text{ 查表一得 } \Delta A = -0.438$$

根据 $d' = 1.67 \text{ cm}$, $\mu' = 0.762\%$

$$A = A' + \Delta A = 12.68 - 0.438 = 12.242$$

查图一得 $\delta_{fmax} = 0.290 \text{ mm}$

验证:

$$\phi = 1.2 \left[1 - \frac{0.235 \times 1.808 \times 18 \times 30^2 \times 13}{290000} \right] = 0.837$$

$$l_f = \left[6 + 0.06 \times 1.808 \times \frac{1.67}{1.38\%} \right] \times 1 = 19.13 \text{ cm}$$

$$\sigma_g = \frac{290000}{0.87 \times 6.57 \times 26.5} = 1915 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta_{fmax} = 2 \times 0.837 \times \frac{1915}{2.1 \times 10^6} \times 19.13 = 0.02895 \text{ cm} = 0.290 \text{ mm}.$$

例6. 园形储液池作用有环向拉力 $N = 26 \text{ T/M}$, 壁厚 14 cm , 用200号混凝土, II级钢筋,

每米配 $10\phi 14$, $A_g = 15.4 \text{ cm}^2$.

求: 验算最大裂缝宽度 δ_{fmax}

$$\text{解: } \mu = \frac{15.4}{100 \times 14} = 1.1\%$$

$$B = \frac{26000}{100 \times 14} = 18.57$$

由 $\mu = 1.1\%$, $B = 18.57$, $d = 1.4cm$ 查图 7 可得

$$\delta_{fmax} = 0.185^{mm} \text{ 最后得 } \delta_{fmax} = 0.818 \times 0.185 = 0.1513^{mm}$$

验证:

$$\phi = 1 - 0.56 \times \frac{14 \times 100 \times 16}{26000} = 0.518$$

$$l_f = \left[7 + 0.16 \times \frac{1.4}{0.011} \right] 0.7 = 19.15^{cm}$$

$$\sigma_g = \frac{26000}{15.4} = 1686 kg/cm^2$$

$$\delta_{fmax} = 2.2 \times 0.518 \times \frac{1688}{2.0 \times 10^6} \times 19.15 \times 0.818 = 0.0184^{cm} \times 0.818 = 0.1505^{mm}$$

表 1
钢筋混凝土构件不允许出现裂缝的最大弯矩 M_c (kg-cm)
混凝土: 200°, 钢筋: ϕ , $\eta = 1.25$
混凝土: 300°, 钢筋: ϕ , $\eta = 1.25$

h ₀ 截面 mm	R MPa	混凝土 150°, 钢筋 I 号, $\eta = 1.25$																混凝土 200°, 钢筋 I 号, $\eta = 1.25$																混凝土 300°, 钢筋 II 号, $\eta = 1.25$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
6	111	112	114	116	117	121	125	129	136	140	141	143	152	158	160	161	162	164	167	170	174	177	181	183	185	187	189	191	193	195	197	200	202	204	206	208	210	212	214	216	218	220	222	224	226	228	230	232	234	236	238	240	242	244	246	248	250	252	254	256	258	260	262	264	266	268	270	272	274	276	278	280	282	284	286	288	290	292	294	296	298	300	302	304	306	308	310	312	314	316	318	320	322	324	326	328	330	332	334	336	338	340	342	344	346	348	350	352	354	356	358	360	362	364	366	368	370	372	374	376	378	380	382	384	386	388	390	392	394	396	398	400	402	404	406	408	410	412	414	416	418	420	422	424	426	428	430	432	434	436	438	440	442	444	446	448	450	452	454	456	458	460	462	464	466	468	470	472	474	476	478	480	482	484	486	488	490	492	494	496	498	500	502	504	506	508	510	512	514	516	518	520	522	524	526	528	530	532	534	536	538	540	542	544	546	548	550	552	554	556	558	560	562	564	566	568	570	572	574	576	578	580	582	584	586	588	590	592	594	596	598	600	602	604	606	608	610	612	614	616	618	620	622	624	626	628	630	632	634	636	638	640	642	644	646	648	650	652	654	656	658	660	662	664	666	668	670	672	674	676	678	680	682	684	686	688	690	692	694	696	698	700	702	704	706	708	710	712	714	716	718	720	722	724	726	728	730	732	734	736	738	740	742	744	746	748	750	752	754	756	758	760	762	764	766	768	770	772	774	776	778	780	782	784	786	788	790	792	794	796	798	800	802	804	806	808	810	812	814	816	818	820	822	824	826	828	830	832	834	836	838	840	842	844	846	848	850	852	854	856	858	860	862	864	866	868	870	872	874	876	878	880	882	884	886	888	890	892	894	896	898	900	902	904	906	908	910	912	914	916	918	920	922	924	926	928	930	932	934	936	938	940	942	944	946	948	950	952	954	956	958	960	962	964	966	968	970	972	974	976	978	980	982	984	986	988	990	992	994	996	998	1000	1002	1004	1006	1008	1010	1012	1014	1016	1018	1020	1022	1024	1026	1028	1030	1032	1034	1036	1038	1040	1042	1044	1046	1048	1050	1052	1054	1056	1058	1060	1062	1064	1066	1068	1070	1072	1074	1076	1078	1080	1082	1084	1086	1088	1090	1092	1094	1096	1098	1100	1102	1104	1106	1108	1110	1112	1114	1116	1118	1120	1122	1124	1126	1128	1130	1132	1134	1136	1138	1140	1142	1144	1146	1148	1150	1152	1154	1156	1158	1160	1162	1164	1166	1168	1170	1172	1174	1176	1178	1180	1182	1184	1186	1188	1190	1192	1194	1196	1198	1200	1202	1204	1206	1208	1210	1212	1214	1216	1218	1220	1222	1224	1226	1228	1230	1232	1234	1236	1238	1240	1242	1244	1246	1248	1250	1252	1254	1256	1258	1260	1262	1264	1266	1268	1270	1272	1274	1276	1278	1280	1282	1284	1286	1288	1290	1292	1294	1296	1298	1300	1302	1304	1306	1308	1310	1312	1314	1316	1318	1320	1322	1324	1326	1328	1330	1332	1334	1336	1338	1340	1342	1344	1346	1348	1350	1352	1354	1356	1358	1360	1362	1364	1366	1368	1370	1372	1374	1376	1378	1380	1382	1384	1386	1388	1390	1392	1394	1396	1398	1400	1402	1404	1406	1408	1410	1412	1414	1416	1418	1420	1422	1424	1426	1428	1430	1432	1434	1436	1438	1440	1442	1444	1446	1448	1450	1452	1454	1456	1458	1460	1462	1464	1466	1468	1470	1472	1474	1476	1478	1480	1482	1484	1486	1488	1490	1492	1494	1496	1498	1500	1502	1504	1506	1508	1510	1512	1514	1516	1518	1520	1522	1524	1526	1528	1530	1532	1534	1536	1538	1540	1542	1544	1546	1548	1550	1552	1554	1556	1558	1560	1562	1564	1566	1568	1570	1572	1574	1576	1578	1580	1582	1584	1586	1588	1590	1592	1594	1596	1598	1600	1602	1604	1606	1608	1610	1612	1614	1616	1618	1620	1622	1624	1626	1628	1630	1632	1634	1636	1638	1640	1642	1644	1646	1648	1650	1652	1654	1656	1658	1660	1662	1664	1666	1668	1670	1672	1674	1676	1678	1680	1682	1684	1686	1688	1690	1692	1694	1696	1698	1700	1702	1704	1706	1708	1710	1712	1714	1716	1718	1720	1722	1724	1726	1728	1730	1732	1734	1736	1738	1740	1742	1744	1746	1748	1750	1752	1754	1756	1758	1760	1762	1764	1766	1768	1770	1772	1774	1776	1778	1780	1782	1784	1786	1788	1790	1792	1794	1796	1798	1800	1802	1804	1806	1808	1810	1812	1814	1816	1818	1820	1822	1824	1826	1828	1830	1832	1834	1836	1838	1840	1842	1844	1846	1848	1850	1852	1854	1856	1858	1860	1862	1864	1866	1868	1870	1872	1874	1876	1878	1880	1882	1884	1886	1888	1890	1892	1894	1896	1898	1900	1902	1904	1906	1908	1910	1912	1914	1916	1918	1920	1922	1924	1926	1928	1930	1932	1934	1936	1938	1940	1942	1944	1946	1948	1950	1952	1954	1956	1958	1960	1962	1964	1966	1968	1970	1972	1974	1976	1978	1980	1982	1984	1986	1988	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034	2036	2038	2040	2042	2044	2046	2048	2050	2052	2054	2056	2058	2060	2062	2064	2066	2068	2070	2072	2074	2076	2078	2080	2082	2084	2086	2088	2090	2092	2094	2096	2098	2100	2102	2104	2106	2108	2110	2112	2114	2116	2118	2120	2122	2124	2126	2128	2130	2132	2134	2136	2138	2140	2142	2144	2146	2148	2150	2152	2154	2156	2158	2160	2162	2164	2166	2168	2170	2172	2174	2176	2178	2180	2182	2184	2186	2188	2190	2192	2194	2196	2198	2200	2202	2204	2206	2208	2210	2212	2214	2216	2218	2220	2222	2224	2226	2228	2230	2232	2234	2236	2238	2240	2242	2244	2246	2248	2250	2252	2254	2256	2258	2260	2262	2264	2266	2268	2270	2272	2274	2276	2278	2280	2282	2284	2286	2288	2290	2292	2294	2296	2298	2300	2302	2304	2306	2308	2310	2312	2314	2316	2318	2320	2322	2324	2326	2328	2330	2332	2334	2336	2338	2340	2342	2344	2346	2348	2350	2352	2354	2356	2358	2360	2362	2364	2366	2368	2370	2372	2374	2376	2378	2380	2382	2384	2386	2388	2390	2392	2394	2396	2398	2400	2402	2404	2406	2408	2410	2412	2414	2416	2418	2420	2422	2424	2426	2428	2430	2432	2434	2436	2438	2440	2442	2444	2446	2448	2450	2452	2454	2456	2458	2460	2462	2464	2466	2468	2470	2472	2474	2476	2478	2480	2482	2484	2486	2488	2490	2492	2494	2496	2498	2500	2502	2504	2506	2508	2510	2512	2514	2516	2518	2520	2522	2524	2526	2528	2530	2532	2534	2536	2538	2540	2542	2544	2546	2548	2550	2552	2554	2556	2558	2560	2562	2564	2566	2568	2570	2572	2574	2576	2578	2580	2582	2584	2586	2588	2590	2592	2594	2596	2598	2600	2602	2604	2606	2608	2610	2612	2614	2616	2618	2620	2622	2624	2626	2628	2630	2632	2634	2636	2638	2640	2642	2644	2646	2648	2650	2652	2654	2656	2658	2660	2662	2664	2666	2668	2670	2672	2674	2676	2678	2680	2682	2684	2686	2688	2690	2692	2694	2696	2698	2700	2702	2704	2706	2708	2710	2712	2714	2716	2718	2720	2722	2724	2726	2728	2730	2732	2734	2736	2738	2740	2742	2744	2746	2748	2750	2752	2754	2756	2758	2760	2762	2764	2766	2768	2770	2772	2774	2776	2778	2780	2782	2784	2786	2788	2790	2792	2794	2796	2798	2800	2802	2804	2806	2808	2810	2812	2814	2816	2818	2820	2822	2824	2826	2828	2830	2832	2834	2836	2838	2840	2842	2844	2846	2848	2850	2852	2854	2856	2858	2860	2862	2864

说明:
1. 本表是根据《钢筋混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)第9.1.2条及《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)第9.1.3条编制的。
2. 表中 M_c 为钢筋混凝土构件在受弯时截面受拉区混凝土的弹性模量。
3. 表中 M_c 为钢筋混凝土构件在受弯时截面受拉区混凝土的弹性模量。
4. 表中 M_c 为钢筋混凝土构件在受弯时截面受拉区混凝土的弹性模量。