

钢筋焊接网混凝土板裂缝验算

刘秀火 林振伦 刘永先 张云

星联钢网（深圳）有限公司

[摘要] 本文为几个实际工程的钢筋焊接网混凝土板裂缝的验算的小结。验算结果表明，常用的 HPB235 配筋换算为 CRB550 配筋的板构件的最大裂缝宽度 w_{\max} ，由于 HPB235 配筋板的 w_{\max} 有余度，换算为 CRB550 配筋的板构件的裂缝宽度可满足要求。对光面钢筋焊接网的裂缝宽度验算提出了一点建议。

[关键词] 焊接网混凝土板 裂缝 验算

1 裂缝宽度验算

由于使用了较高强度钢筋，用户提出验算构件最大裂缝宽度 w_{\max} 的要求，因此对一些实际工程楼板 I 级钢（HPB235）配筋换算为较高强度钢筋 CRB550，CPB550，HRB335 等配筋的最大裂缝宽度进行了验算。这是其中之一。裂缝最大宽度验算公式用《钢筋焊接网混凝土结构技术规程》J276-2003（简称《规程》J276-2003）公式（4.4.2-1）。为进行比较，部分项目也用《混凝土结构设计规范》GB50010-2002（简称《规范》GB50010-2002）公式（8.1.2-1）进行验算。

1.1 《规程》J276-2003 裂缝验算

原设计：板厚 $h=100\text{mm}$ ，钢筋为 HRB235， $f_{yk}=235\text{N/mm}^2$ ，配筋 $\Phi 10@200$ ，混凝土为 C25， $f_{tk}=1.78\text{N/mm}^2$ ，混凝土保护层 $c=15\text{mm}$ 。无设计弯矩资料，取钢筋应力为 210N/mm^2 时的弯矩值 $5.7368\text{MN}\cdot\text{m}$ 作为 M_{\max} 计算 w_{\max} 。《规程》J276-2003）最大裂缝宽度的计算公式为

$$w_{\max} = \alpha_{CT} \psi \frac{\sigma_{sk}}{E_s} \left(1.9c + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_{te}} \right) \quad 4.4.2-1$$

式中 α_{CT} ——构件受力特征系数，对带肋钢筋焊接网配筋的混凝土板，取 $\alpha_{CT}=1.9$ ，对光面钢筋焊接网配筋的混凝土板，取 $\alpha_{CT}=2.1$ ；

ψ ——裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数，当 $\psi < 0.1$ 时，取 $\psi=0.1$ ， $\psi > 1$ 时，取 $\psi=1$ ；

ρ_{te} ——按有效受拉混凝土截面面积计算的纵向受拉钢筋配筋率， $\rho_{te}=A_s/(0.5hb)$ ，当 $\rho_{te} < 0.01$ 时，取 $\rho_{te}=0.01$ ；

d_{eq} ——受拉区纵向钢筋的等效直径（mm）；

c ——最外层纵向钢筋外边缘至受拉区底边的距离，（mm）。

还计算了焊接网钢筋强度设计值时的 w_{\max} 。为进行比较，还进行了 $\Phi 10@200$ ，及由此换算成 $\Phi 8@125$ ， $\Phi^R 7@150$ ， $\Phi^R 7@160$ ， $\Phi^R 6@125$ ， $\Phi^{CP} 7@150$ ， $\Phi^{CP} 6@125$ ， $\Phi 10@285$ 等多种钢筋配筋的 w_{\max} 计算。还计算了 HRB235 最小配筋率 $\rho=0.272\%$ 时的 w_{\max} 。 $\Phi^R 6@125$ 较为接近 $\Phi 10@200$ 的配筋，其他配筋均略大。由于 HRB335 无 $\Phi 8$ 规格，选用 $\Phi 10@285$ ，钢筋间距过大，但不影响 w_{\max} 。同时部分内容还使用了《规范》（GB50010-2002）的验算公式（8.1.2-1），以及各计算参数进行对比计算。不同钢筋和配筋率板最大混凝土裂缝宽度 w_{\max} 如表 1。 w_{\max} 与 M_k 的关系如图 1。配筋为 $\Phi 10@200$ （原设计）与 $\Phi^R 6@125$ （与原设计最接近的换算配筋）的钢筋应力、材料性能参数、计算参数和 w_{\max} 的比例如表 2。

表 1 不同钢筋和配筋率板的 w_{max} 比较

序号	计算资料					按弯矩设计值计算				按应力设计值计算	
	焊接网配筋	钢筋截面积 A_s mm ²	钢筋用量比 R %	配筋率 ρ %	容许最小配筋率 ρ_{min}	设计弯矩 MN-mm	应力值 N/mm ²	计算最大裂缝宽度 w_{max} mm		应力设计值 N/mm ²	计算最大裂缝宽度《规程》 α_{CT}, ψ w_{max} mm
								《规程》 α_{CT}, ψ	《规范》 α_{CT}, ψ		
1	$\Phi 10@200$	392.50	100.00	0.3925	0.272	5.7368	210.00	0.1646	0.1646	210	0.1646
2	$\Phi 8@180$	279.11	71.11	0.2791	0.272	4.1303	210.00	0.1509	0.1509	210	0.1509
3	$\Phi 8@125$	401.92	102.40	0.4019	0.272	5.7368	202.55	0.1285	0.1285	210	0.1383
4	$\Phi^R 7@150$	256.43	65.33	0.2564	0.20	5.7368	315.52	0.1822	0.2154	360	0.2217
5	$\Phi^R 7@160$	240.41	61.25	0.2404	0.20	5.7368	336.54	0.2009	0.2375	360	0.2217
6	$\Phi^R 6@125$	226.08	57.60	0.2261	0.20	5.7368	355.69	0.1972	0.2331	360	0.2007
7	$\Phi^{CP} 7@150$	256.43	65.33	0.2564	0.20	5.7368	315.52	0.2510	0.2510	360	0.3041
8	$\Phi^{CP} 6@125$	226.08	57.60	0.2261	0.20	5.7368	355.69	0.2675	0.2675	360	0.2721
9	$\Phi 10@285$	275.44	70.18	0.2754	0.20	5.7368	299.25	0.2100	0.2482	300	0.2109

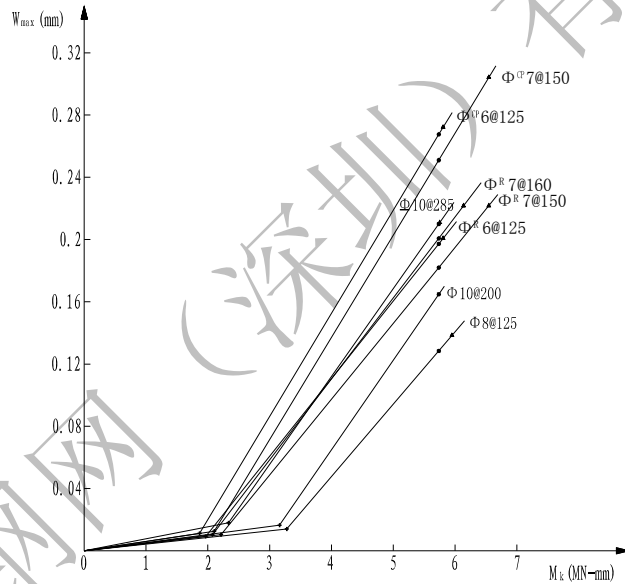


图 1 各种配筋 w_{max} 与 M_k 的关系

●—按 M_k 计算；▲—按应力设计值计算；

表 2

序号	配筋	σ_{sk} N/mm ²	材料性能参数			计算参数				w_{max} mm	
			σ	E	σ, E	α_{CT}	ψ	ν	α_{CT}, ψ, ν	比例	w_{max}
1	$\Phi 10@200$	210.04	1.714	1.116	1.895	0.905	0.905	0.536	0.453	0.858	0.165
2	$\Phi^R 6@125$	357.88									0.197

1.2 验算结果

验算的板属室内板，各种钢筋换算的配筋均可满足《规程》J276-2003 的 $w_{max} \leq 0.3mm$ 的要求。实际工程使用的配筋率较大，大于所要求的最小配筋率 $\rho_{min}=0.272\%$ ， w_{max} 较小，选用强度较高的钢

筋, 钢筋应力较大, 会使 w_{\max} 大些。带肋钢筋焊接网虽有一些计算系数的提高, 使 w_{\max} 降低一些, 但利用 HPB235 富余的 w_{\max} , 是高强度钢筋的 w_{\max} 满足要求的原因之一。

1.3 计算结果分析

从以上的验算和相应的补充验算结果可以看出, 钢筋性能、钢筋尺寸和布置、计算系数等对 w_{\max} 的影响是很大的。

1.3.1 钢筋性能

钢筋强度和弹模等材料性能, 钢筋应力 σ_{sk} 和弹模 E_s 的比值 σ_{sk}/E_s 是 w_{\max} 计算的基础, 决定着 w_{\max} 的数值, 对 w_{\max} 的影响很大。 $\Phi^R6@125$ 配筋的 w_{\max} 较 $\Phi10@200$ 大 1.894 倍, 即用冷加工钢筋时的 w_{\max} 的增加近两倍。在图 1 中反映 w_{\max} 随 M_k 变化的 3 种类型: ①低钢筋强度高弹模类, 如 HPB235 配筋, w_{\max} 较小, 总是可满足 w_{\max} 要求, 且有一定的余度; ②较高钢筋强度较低弹模带肋类, 如 CRB550、HRB335 等配筋, w_{\max} 在容许 w_{\max} 上下, 采取措施后可满足 w_{\max} 的要求; ③较高钢筋强度低弹模光面钢筋类, 如 CPB550 配筋, w_{\max} 在容许 w_{\max} 以上, 只有用很大的配筋率, 才能满足 w_{\max} 的要求。

1.3.2 计算系数的取值

《规程》(J276-2003) α_{CT} 和 α 的取值与《规范》(GB50010-2002) 略有不同。 α_{CT} 中和 ψ (即 α) 取值的差别, 使 CRB550 配筋的 w_{\max} 为《规范》(GB50010-2000) 的 0.846 (即 0.905×0.935) 倍, 有利于 CRB550 配筋的使用。但 α_{CT} 和 α 的取值的根据是钢筋的带肋与否, 与《规范》(GB50010-2002) 的取值有所不同。

1.3.3 钢筋等效直径 d_{eq}

ν 为钢筋相对粘结特征系数, 反映了不同钢筋表面 (带肋和光面) 的特性, 对 w_{\max} 的影响是通过 d_{eq} 体现的 ($d_{eq} = d/\nu$)。钢筋的带肋与否, ν 的取值差别很大, 对 w_{\max} 的影响很大, 为 0.536 (按 $1.9c + d_{eq}/\rho_{te}$ 计算), 使带肋钢筋的 w_{\max} 较光面钢筋减少约 54%。

1.3.4 《规程》(J276-2003) 与《规范》(GB50010-2002) 的比较

《规程》(J276-2003) 与《规范》(GB50010-2002) 计算 w_{\max} 的不同点仅在于 α_{CT} 、 ψ 的取值上。《规程》(JGJ114-2003) 中 α_{CT} 、 ψ 的取值是与钢筋的表面 (带肋与否) 有关。

2 一些具体问题

2.1 配筋率

钢筋强度和弹模等材料性能, 钢筋应力 σ_{sk} 和弹模 E_s 的比值 σ_{sk}/E_s 是 w_{\max} 计算的基础, 决定着 w_{\max} 的数值。验算时取 $\sigma_{sk} = f_y$, w_{\max} 是较大的。不论按实际的配筋率或按最小配筋率计算, HPB235 配筋的 w_{\max} 是较小的。HPB235 换算成 CRB550、CPB550 配筋时是按强度设计值等强度换算的, 从强度角度出发, 它们是等效的。但从 σ_{sk}/E_s 比值的角度出发, 由于 HPB235 配筋时钢筋应力低而 E_s 大, w_{\max} 相对较小, 存在较大的余度。通常 CRB550 配筋的 w_{\max} 较 HPB235 配筋时为大, 由于 HPB235 配筋时 w_{\max} 有较大的余度, CRB550 配筋亦可满足要求。

HPB235 配筋板在强度和裂缝宽度之间的不一致 (即在钢筋强度设计值时, 板的裂缝有较大的余度), 是 HPB235 配筋的特点, 也是用 CRB550 配筋换算和使用提供了条件。

2.2 纵向钢筋的相对粘结特征系数 ν

《规程》(J276-2003) w_{\max} 公式中, ν 是反映不同钢筋表面特性对 w_{\max} 的影响, 并以 d_{eq} 的较为直观和简单的形式反映于 w_{\max} 的计算公式中。其实 ν 为钢筋的相对粘结特征系数, 是钢筋表面粘结力的体现。但 w_{\max} 的计算公式中没有反映钢筋焊接网焊点抗剪力对 ν 的贡献, 使 w_{\max} 计算公式同样适用于带肋钢筋和光面钢筋, 也适用于光面钢筋焊接网和带肋钢筋焊接网, 绑扎钢筋网和焊接钢筋网没有区别。因此绑扎带肋钢筋和带肋钢筋焊接网有相同的 w_{\max} , 绑扎光面钢筋和光面钢筋焊接网有相同的 w_{\max} 。

焊接网焊点的粘结特性是客观存在的。《混凝土结构设计规范》GB50010-2002 (简称《规范

GB50010-2002》)规定端部带焊接横筋锚固措施的钢筋锚固长度可乘以 0.7 折减,焊有横筋的带肋钢筋也用了相应的锚固长度。

《规程》(J276-2003)中, d_{eq} 反映了带肋和光面的特性,光面和带肋钢筋的 ν 值分别为 0.7 和 1.0。假定焊点可提供等同于钢筋凸肋的粘结力,为表达焊点在 ν 中的贡献, ν 的取值似可为:对光面钢筋取为 0.7~1.0, 0.7 相对于无焊点, 1.0 相对于有焊点时的最大值,其间之值按横筋间距取值;对光面钢筋取为 1.0~1.4, 1.0 相对于无焊点, 1.4 相对于有焊点时的最大值,其间之值按横筋间距取值。横筋间距大于某值时,不再考虑焊点的作用。 ν 的如此取值,即可反映《规程》对钢筋表面特性的规定,也反映一定横筋间距焊点抗剪力对粘结特征的贡献。同时,小直径、小间距的钢筋配筋方法的减少裂缝效果也在 ν 中反映了。

2.3 α_{CT} 、 ψ 参数

在 w_{max} 计算中,《规程》J 276-2003 与《规范》(GB50010-2002)的 α_{CT} 、 ψ 参数取值不同。《规程》J 276-2003 对 α_{CT} 、 ψ 值的降低可能是考虑带肋钢筋对构件受力特征和裂缝间钢筋应变不均匀性的影响。按《规程》J 276-2003 与《规范》(GB50010-2002)不同的 α_{CT} 、 ψ 参数取值的 w_{max} (按钢筋强度设计值计算)如表 3。不同的 α_{CT} 、 ψ 参数取值对 w_{max} 的影响并不很大。

表 3

序号	焊接网配筋	《规程》 ν 值			建议 ν 值					
		应力设计值 N/mm ²	计算最大裂缝宽度 w_{max} mm		应力设计值 N/mm ²	计算最大裂缝宽度 w_{max} mm		应力设计值 N/mm ²	计算最大裂缝宽度 w_{max} mm	
			《规程》 α_{CT}, ψ	《规范》 α_{CT}, ψ		《规程》 α_{CT}, ψ	《规范》 α_{CT}, ψ		《规程》 α_{CT}, ψ	《规范》 α_{CT}, ψ
1	$\Phi 10@200$	210	0.1646	0.1646	210	0.1251	0.1251	210	0.1251	0.1251
2	$\Phi 8@125$	210	0.1383	0.1383	210	0.1129	0.1129	210	0.1129	0.1129
3	$\Phi^R 7@150$	360	0.2217	0.2621	360	0.1797	0.2124	400	0.2085	0.2465
4	$\Phi^R 7@160$	360	0.2217	0.2621	360	0.1797	0.2124	400	0.2085	0.2465
5	$\Phi^R 6@125$	360	0.2007	0.2372	360	0.1647	0.1947	400	0.1911	0.2259
6	$\Phi^{CP} 7@150$	360	0.3041	0.3041	360	0.2369	0.2369	400	0.2740	0.2740
7	$\Phi^{CP} 6@125$	360	0.2721	0.2721	360	0.2144	0.2144	400	0.2481	0.2481
8	$\Phi 10@285$	300	0.2109	0.2393	300	0.1664	0.1967	300	0.1664	0.1967

2.4 CPB550 配筋焊接网

CPB550 配筋焊接网就会遇到 w_{max} 可能会出现不满足要求的现象。这与实际情况不符的。目前抗裂网还用 CPB550 小直径配筋的焊接网。有些国家还在使用 CPB550 焊接网,箍筋格网是使用 CPB550 焊接网例子之一。CPB550 钢筋表面无突肋,较易加工,强度和伸长率较高,其焊接网的焊点抗剪力较高,这可能是 CPB550 钢筋焊接网还在使用的原因。对 ν 取值若考虑焊接网焊点抗剪力,或许会解决 CPB550 配筋焊接网遇到 w_{max} 较小的问题。

3 结语

(1) 以上计算的板配筋的钢筋直径较小,计算得的 w_{max} 是较小的。HPB235 钢筋配筋的 w_{max} 较小,有较大的余度,换算为 CRB550 配筋, w_{max} 略大一些。HPB235 配筋的 w_{max} 的余度的存在,加之按板的最小配筋率要求使用的板配筋率总大于计算的配筋率等条件,使实际工程中换算成 CRB550 配筋的 w_{max} 总可以满用足《规程》J276-2003 的要求。

(2) 板配筋按钢筋强度设计值设计时,用《规程》J276-2003 公式计算的 w_{max} 略大于 0.2mm (CRB550、HRB335)和约为 0.3mm(CPB550);用《规范》GB50010 公式 w_{max} 约为 0.25mm(CRB550、HRB335)和约为 0.3mm(CPB550),说明在不考虑焊接网焊点抗剪力条件下 w_{max} 是较大的。焊接网焊点抗剪力是客观存在的,应以某种形式表达。