

钢筋混凝土井字梁和蜂窝式梁 设计强度折减分析

李天 刘红霞 王冠月
(郑州工业大学土建系) (河南省建筑设计院, 郑州, 450003)

吴炳华
(河南省第一建筑公司, 郑州, 450003)

摘 要 在楼层结构体系中, 钢筋混凝土井字梁和蜂窝式交叉梁是经常采用的结构体系。一般钢筋混凝土井字梁和蜂窝式型交叉梁在设计时都设计为等高梁, 由于梁的交叉节点处钢筋交错, 使得梁的实际有效截面高度减少。通过分析计算表明, 当梁的高度小于一定数值时, 这种减少对于梁的强度有较大的影响, 在工程设计中就不能忽视。

关键词 井字梁; 蜂窝式交叉梁; 极限抗弯强度

中图分类号 TU375.2

0 前言

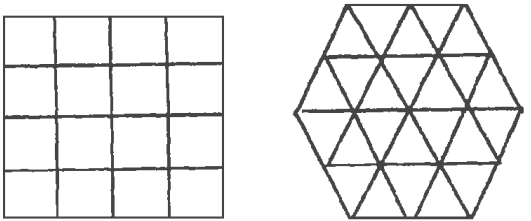
在开间或跨度较大的工业与民用建筑中, 钢筋混凝土楼盖或楼层体系常采用井字梁或蜂窝式交叉梁。这种楼盖体系由于双向受力, 可以减少梁的高度, 因而可以减少层高, 节省材料, 降低造价, 同时建筑表现美观大方。井字梁或蜂窝式梁的结构平面一般如图 1 所示。

对于井字梁或蜂窝式梁楼盖的设计, 一般均采用电子计算机程序计算, 从杆件内力到截面配筋一次完成, 或根据井字梁的形式, 首先根据有关的静力计算手册^[1]查出梁控制截面的内力, 然后进行截面配筋计算并设计钢筋。

我们在实际工作中注意到, 在上述的计算过程中往往忽略在实际施工中钢筋的布置。如果不注意这个问题, 就有可能造成在一些截面的实际设计强度的不足。

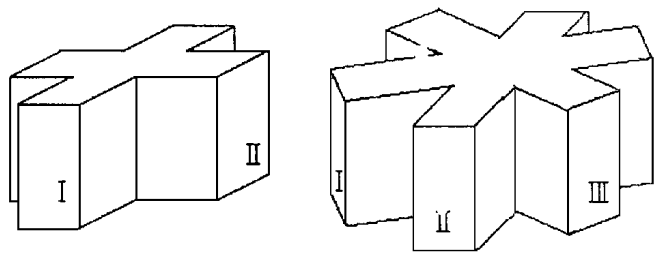
1 井字梁或蜂窝式交叉梁楼盖的钢筋配置

无论是井字梁或者是蜂窝式交叉梁楼盖, 一般在建筑上均要求在各个方向上梁底和梁面是平齐的(如图 2 所示节点)。对于井字梁楼盖钢筋的布置, 纵向主筋为单排时(如图 3 所示), 对于截面Ⅰ(这里仅画出负弯矩区的钢筋, 对于正弯矩区道理一样)来说, 受拉钢筋的保护层厚度是 c , 而对于截面Ⅱ受拉钢筋的保护层厚度则变成了 $c + d_1$ (d_1 是截面Ⅰ的纵向主



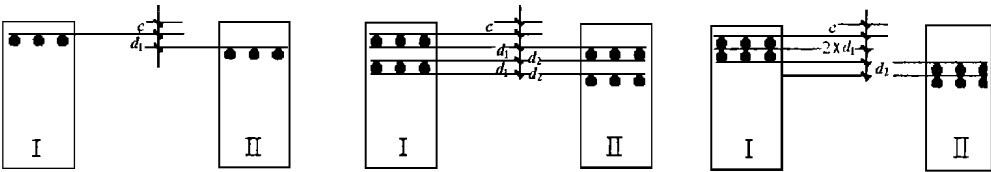
(a) 井字梁楼面 (b) 蜂窝式交叉梁楼面
图 1 一般楼层平面图

筋的直径)。当截面Ⅰ内的钢筋为双排时,则受力钢筋的实际布置有可能为图 4(a)或图 4(b)两种可能性。当钢筋布置为图 4(a)互相交错时截面Ⅰ的钢筋保护层厚度为 c ,而截面Ⅱ的保护层厚度则为 $c+d_1$,但当钢筋的布置为图 4(b)时,截面Ⅱ的钢筋保护层厚度则达到 $c+2\times d_1$ 。



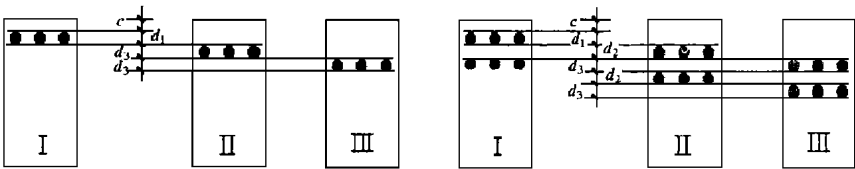
(a) 井字梁交叉节点 (b) 蜂窝式梁交叉节点

图 2 节点大样



(a) 钢筋交错 (b) 钢筋不交错

图 3 井字梁单排钢筋 图 4 井字梁两排钢筋布置



(a) 单层钢筋 (b) 双层钢筋

图 5 蜂窝式交叉梁节点钢筋布置

对于蜂窝式交叉梁的受力钢筋配制,由于在节点是 3 根梁相交,如图 5 所示,这时截面内钢筋布置为 3 层相交。当截面为单排钢筋时(如图 5(a)),截面Ⅰ的钢筋保护层厚度是 c ,截面Ⅱ的保护层厚度为 $c+d_1$,而截面Ⅲ保护层厚度为 $c+d_1+d_2$ (d_2 是截面Ⅱ的受力主筋的直径)。当梁截面内的钢筋为双排时(如图 5(b)),钢筋为互相交错布置,这时截面Ⅲ的钢筋保护层厚度为 $c+2\times d_1+2\times d_2$ 。而钢筋若像图 4(b)那样布置,则是非常不合理的。

表 1 梁截面有效高度的选取(单位 mm)

纵向主筋排数	$h\leq 1000$	$h\geq 1000$
一排	$h_0=h-35$	$h_0=h-40$
二排	$h_0=h-60$	$h_0=h-70$

以上这些对于实际梁节点的纵向受力主筋布置分析表明:对于井字梁和蜂窝式交叉梁,不同的配筋方式,不同的梁断面,有不同的保护层厚度。而我们在进行内力分析和配筋设计时,一般不考虑在梁交叉节点的实际钢筋位置,而是按有关要求^[2]将梁的计算高度 h_0 统一按表 1 选取,这将影响梁的实际计算高度,从而使梁的实际强度降低,也使梁的裂缝宽度过大。

2 保护层的变化对梁截面抗弯强度的影响

钢筋混凝土梁钢筋保护层的变化对于梁抗弯强度的影响,实际上反应了梁计算高度的变化对梁抗弯强度的影响。由梁的受弯极限状态,我们可以知道梁的极限抗弯强度的设计表达式为^[3]

$$M_u = f_y A_s (h_0 - 0.5x) \tag{1}$$

式中: f_y , A_s 分别是受拉钢筋的设计强度和截面面积; x 是梁截面的受压区高度; h_0 是钢筋混凝土梁截面的有效高度, $h_0 = h - a$; a 是受拉钢筋截面形心到梁截面受拉区边的距离。

由梁截面受压区高度的计算方法及钢筋混凝土梁的有效高度,可以得到梁的极限抗弯强度 M_u 为

的
$$M_u = f_y A_s \left[h - a - 0.5 \times \frac{f_y A_s}{f_{cm} b} \right] \quad \text{非常} \tag{2}$$

可见梁的极限抗弯强度与受压区高度成线性关系。

为了讨论在图 3~5 不同钢筋布置时梁的极限抗弯强度的变化,经简单推导,可以得到梁极限抵抗弯矩随受拉钢筋截面形心到梁截面受拉区边的距离 Δa 的变化关系

$$\Delta M_u = - f_y A_s \Delta a \tag{3}$$

ΔM_u 随 Δa 大小变化的钢筋混凝土梁极限抵抗弯矩的变化率

$$\frac{\Delta M_u}{M_u} = \frac{1}{1 - \frac{f_y}{2f_{cm}} \rho} \frac{\Delta a}{h_0} \tag{4}$$

这里 ρ 是梁截面的配筋率 ($\rho = \frac{A_s}{bh_0}$)。

在适筋梁范围,对于 C35 以下的钢筋混凝土受弯构件,最小配筋率 $\rho_{\min} = 0.15$,而对于 C40~C60 的受弯构件,最小配筋率 $\rho_{\min} = 0.2$ 。适筋梁范围的最大配筋率为 $\rho_{\max} = \xi_b \frac{f_{cm}}{f_y}$,即最大配筋率与界限配筋率 ξ_b 、混凝土的弯压强度和钢筋的极限抗拉强度有关。考虑到一般用在梁内钢筋均采用 II 级钢筋,因此可以得到钢筋混凝土梁截面的极限抵抗弯矩的变化率为:

对于 C20 级混凝土
$$\frac{\Delta M_u}{M_u} = (1.0216 \sim 1.3789) \frac{\Delta a}{h_0} \tag{5}$$

对于 C30 级混凝土
$$\frac{\Delta M_u}{M_u} = (1.0143 \sim 1.3798) \frac{\Delta a}{h_0} \tag{6}$$

对于 C40 级混凝土
$$\frac{\Delta M_u}{M_u} = (1.0297 \sim 1.3773) \frac{\Delta a}{h_0} \tag{7}$$

由式(5)~(7)可以看出,不同等级混凝土的梁,极限抵抗弯矩的变化率的变化范围是差不多

的。如果考虑在一般的配筋范围,以及为了分析简单,这里对混凝土的强度等级的影响可以暂时不予考虑。下面以 C20 级混凝土的梁为对象进行讨论。

2.1 井字梁

考虑到对于井字梁内受力钢筋,一般为直径 d 在 20~25mm 的 II 级钢筋,而目前的 II 级钢筋常为月牙纹钢筋。当钢筋交迭在一起时,钢筋上的横肋也会有一定的影响。为了简便,在分析中不考虑钢筋上的横肋,而统一将在交叉部分的钢筋直径取一定值讨论,这里取 $d=25\text{mm}$ 。计算中取常用的梁高范围, $h=500\sim900\text{mm}$ 。因此对于井字梁节点,图 3 和图 4(a),截面 II 的计算高度的变化数值为 $\Delta a=d$ 。当截面钢筋分别为单排和双排相互交错排列时,梁截面 II 的极限抗弯强度下降的百分率如表 2 所示。

表 2 在井字梁节点考虑实际钢筋分布时梁极限抗弯强度下降的百分率

$h(\text{mm})$	$h_0(\text{单筋截面})^*$	$\frac{\Delta M_u}{M_u}(\%)$	$h_0(\text{双筋截面})^{**}$	$\frac{\Delta M_u}{M_u}(\%)$
500	465	5.49~7.41	440	5.80~7.83
600	565	4.52~6.10	540	4.73~6.38
700	665	3.84~5.18	640	3.99~5.39
800	765	3.34~5.18	740	3.45~4.66
900	860	3.34~4.01	830	3.08~4.15

注: * h_0 按表 1 取值; ** 交错重迭部分钢筋直径统一取 25mm。

从表 2 中可以看出,在常用配筋率范围,不论是单排截面梁还是双排截面梁,当梁的截面高度小于 700mm 时,由于梁交叉使梁截面极限抗弯强度下降的影响就需要加以考虑。当梁截面高度较大时,这个影响相对较小。但如果双排钢筋如图 4(b)所示方式的交叉,这时由于 Δa 的数值很大(除钢筋本身的直径外,还须考虑钢筋间的间距),对于梁的极限抗弯强度的影响也非常大,所以,一般应在施工中避免图 4(b)方式的钢筋交叉。

2.2 蜂窝式交叉梁

对于蜂窝式交叉梁,由于是 3 根梁相交于一点,必然有 1 个截面需要考虑另两个方向梁内钢筋的影响。这时最不利截面的极限抗弯强度下降较大。当梁截面为双排钢筋时,从图 5(b)可以看出,即使是截面 I,实际梁截面的计算高度也比一般设计中所采用的数值(表 1)要小。而对于截面 III,则需考虑另两根梁内钢筋布置的影响。为了分析简单,与井字梁一样,取梁节点处钢筋交叉重迭部分的直径 d_1 和 d_2 均为 25mm。因此可以得到蜂窝式交叉梁最不利截面 III 在单排和双排钢筋情况下极限抗弯强度下降的百分率,如表 3 所示。

表 3 在蜂窝式交叉梁节点最不利截面考虑
实际钢筋分布时梁极限抗弯强度下降的百分率

$h(\text{mm})$	$h_0(\text{单筋截面})^*$	$\frac{\Delta M_u}{M_u}(\%)$	$h_0(\text{双筋截面})^{**}$	$\frac{\Delta M_u}{M_u}(\%)$
500	465	10.98~14.83	427	11.96~16.15
600	565	9.04~12.20	527	9.69~13.08
700	665	7.68~10.37	627	8.15~11.00
800	765	6.88~9.01	727	7.03~9.48
900	860	5.94~8.02	827	6.18~8.34

注: * h_0 按表 1 取值; ** 按截面 I 的实际有效高度取值。

从表 3 中可以看出,蜂窝式交叉梁最不利截面的极限抗弯强度下降率很大,在设计中一般均不应忽视由于钢筋交叉重迭的实际影响。

以上讨论是对于 C20 级钢筋混凝土梁的,对于其他等级混凝土梁,结果与 C20 级混凝土梁的情况基本相同,这里不再进一步讨论。

3 结 语

通过对于钢筋混凝土井字梁和蜂窝式交叉梁在不同钢筋布置情况下的最不利截面的极限抗弯强度的分析讨论,可以看到,对于井字梁,当截面高度较小时,如截面高度小于 700mm,就需要考虑由于钢筋交叉重迭使梁的极限抗弯强度的下降。实际上,这种情况不仅仅对于井字梁需要考虑,对于实际工程中一般的交叉梁,当梁的截面高度相等,且在同一标高上,都有类似问题。对于蜂窝式交叉梁由于钢筋的交叉重迭使梁的极限抵抗弯矩的下降的问题更需要加以注意,在设计中不能忽略。同时也需注意,当有梁交叉时,当梁的钢筋为双排布置时,应尽可能使各个梁的钢筋相互交错放置。

参考文献

1 简明建筑结构设计手册·北京:中国建筑工业出版社,1980.118~120
2 混凝土结构设计手册·北京:中国建筑工业出版社,1991.8~20
3 丁大均主编.钢筋混凝土结构(上册)·北京:中国铁道出版社,1988.83

Analysis of Strength Decrease of Two-way
and Three-way Beams

Li Tian Liu Hongxia

(Zhengzhou University of Technology)

Wang Guanyue

(The Architectural Design and Research Institute of Henan Province)

Wu Binghua

(First Construction Company of Henan Province)

Abstract This paper discusses the strength decreases problem of the reinforced concrete two-way and three-way beams in floor structure. Generally, the heights of reinforced concrete beams in the floor are equal and at the same level. The effective depths of section need to be decreased because of the steel bar interlace. The results of analysis show that the strength decreases of the beams have to be considered in the design when the depths of beams reach a certain value.

Keywords two-way beam; three-way beam; ultimate strength floor beams