

对现行规范中有关粘钢加固受弯构件设计方法的探讨

胡楚衡 邱剑余 宏

(中信建筑设计研究总院有限公司 武汉 430014)

摘要: 本文结合交通银行湖北省分行加固工程实例,对现行规范有关粘钢加固钢筋混凝土受弯构件的设计方法进行推导分析,使规范条文的具体结论可以通过图表、表格查询得到,简化工程设计流程。本文通过假定相关的参数,计算分析相对受压区高度,得出变化规律。原受拉纵筋配筋率较大时,应变滞后对计算结果有明显的影响;粘钢加固时,对计算配筋值与原配筋值的差值需要等强度换算后再乘以放大系数,才能作为实际粘贴钢板面积。

关键词: 受弯构件 粘钢加固 滞后应变 折减系数

引言

粘钢加固钢筋混凝土受弯构件由于二次受力的影响,后粘钢板应变滞后于原钢筋混凝土受弯构件的应变。在实际工程中,很多情况下必须考虑二次受力的滞后应变影响,在《混凝土结构加固设计规范》(GB 50367-2006)(以下简称《加固规范》)中考虑二次受力影响的公式比较复杂,应用起来比较繁琐,当整层楼或整栋建筑物需要加固时,按规范中的公式,对所有构件逐一进行计算复核几乎不可能实现,本文就其中的设计方法与规律进行探讨,并给出了简化设计方法建议。

1 设计方法分析

《加固规范》对粘贴钢板加固钢筋混凝土受弯构件是考虑作用效应分两个阶段计算的,即考虑二次受力影响,新粘贴的受拉钢板存在滞后应变,新增钢板的滞后应变主要由系数 Ψ_{sp} 予以考虑,而 Ψ_{sp} 指受拉钢板抗拉强度有可能达不到设计值而引用的折减系数,当 $\Psi_{sp} \geq 1$ 时,取 $\Psi_{sp}=1.0$;计算 Ψ_{sp} 值的公式中对于一个

已知材料参数的受弯构件来说,存在两个未知数受压区高度 x 和受拉钢板的滞后应变 $\varepsilon_{sp,0}$,通过假定相关参数值,可以得出 $\Psi_{sp}=1.0$ 时受压区高度 x 的数值。矩形截面受弯构件粘钢进行加固时,对原有受拉钢筋一侧混凝土与新粘钢板界面取矩^[1]得计算公式如下:

$$M \leq \alpha_1 f_{c0} b x (h - \frac{x}{2}) + f_{y0}' A_{s0}' (h - a') + f_{sp}' A_{sp}' h - f_{y0} A_{s0} (h - h_0) \quad (1)$$

取受弯截面水平力平衡得计算公式如下^[1]:

$$\alpha_1 f_{c0} b x = \Psi_{sp} f_{sp} A_{sp} + f_{y0} A_{s0} - f_{y0}' A_{s0}' - f_{sp}' A_{sp}' \quad (2)$$

公式中的折减参数 Ψ_{sp} 由下式(3)计算,

$$\Psi_{sp} = \frac{(0.8\varepsilon_{cu} h/x) - \varepsilon_{cu} - \varepsilon_{sp,0}}{f_{sp}/E_{sp}} \quad (3)$$

各参数意义详见《加固规范》,未知数可以通过式(1)来求解。对于多数工程而言,由于受压钢筋和受压钢板对中 A_{s0}' 和 A_{sp}' 轴的高度影响较小,和都可以不考虑,把式(1)不等号化为等号,求解一元二次方程,即可以解出未知数 x ,通过(1)和(2)求解出来的解尚应满足: $2a' \leq x \leq \zeta_b h_0$ 。

作者简介:胡楚衡 硕士、助理工程师

收稿日期:2012年2月

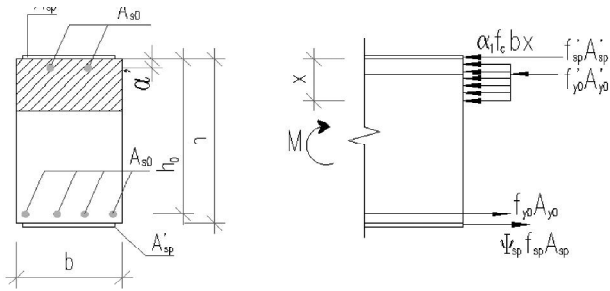


图1 矩形截面正截面受弯承载力计算示意

上式(3)中的 $\epsilon_{sp,0}$ 则根据下式确定:

$$\epsilon_{sp,0} = \frac{\alpha_{sp} M_{0k}}{E_s A_{s0} h_0} \quad (4)$$

式(4)中 α_{sp} 通过计算原有混凝土有效受拉截面的纵向受拉钢筋配筋率 ρ_{te} ,查《加固规范》得出,在钢筋材质已知的情况下,只要找出 M_{0k} 和 A_{s0} 之间的关系,就能把式(4)简化,对于一般的受弯构件,配筋面积通常由受弯承载力控制,式(4)中的 A_{s0} 由下式解出:

$$A_{s0} = \frac{M_0}{\gamma_s f_y h_0} \quad (5)$$

将(5)代入式(4)得到 $\epsilon_{sp,0} = \frac{\alpha_{sp} \gamma_s f_y M_{0k}}{E_s M_0}$, 将 $\epsilon_{sp,0}$ 的表达式代入式(3)得到下式:

$$\Psi_{sp} = \frac{(0.8h/x-1)\epsilon_{cu} - \alpha_{sp} \gamma_s f_y M_{0k}}{f_{sp}/E_{sp} - f_y M_0} \quad (6)$$

其中 $\epsilon_{cu}=0.0033$ 钢筋和钢板的弹性模量 $E_{sp} \approx E_s, h_0 \approx 0.90h, \gamma_s = 1 - \zeta/2, \zeta = x/h, M_0 = M_{0k} \approx 1.25$ 上述关系代入式(6)得到:

$$\Psi_{sp} = \frac{(0.8h/x-1)\epsilon_{cu} - \alpha_{sp}(1.8-x/h)f_y}{f_{sp}/E_{sp} - 2.25f_y} \quad (7)$$

f_y, γ_s, p, E_{sp} 是与受拉钢筋、粘钢钢板有关参数,通过确定 α_{sp} 即可解出 x/h 值,上述公式中的 M_{0k} 和 M_0 分别为加固前受弯构件验算截面上原作用的初始弯矩标准值和初始弯矩设计值,仅与荷载作用状况有关。

假定原设计受弯构件受拉纵筋采用 HRB335, 现采用 Q345B 钢板加固混凝土结构受弯构件时。求得 $\Psi_{sp}=1$ 的 x/h 值如表 1。根据参考文献^[4], $\zeta_s = \rho_{te} f_y / \alpha_1 f_c$, 其中在 C50 及以下强度等级时,取 $\alpha_1=1$,根据式(7)求得的 x/h 值代入 $\rho_{te}=0.90(x/h)f_c/f_y$ 验算假定的配筋率是否

合理,经验算全部结果符合要求,验算过程略,式中符号意义同《加固规范》和《混凝土结构设计规范》。

表1 $\Psi_{sp}=1$ 的计算值(HRB335)

混凝土等级	C40	C30	C20
ρ_{te}	0.025	0.019	0.013
α_{sp}	1.276	1.225	1.077
x/h	0.440	0.443	0.454

假定原设计受弯构件受拉纵筋采 HRB400, 现采用 Q345B 钢板加固混凝土结构受弯构件时。求得 $\Psi_{sp}=1$ 的值如表 2。同样采用上述方法验算配筋率是否合理,经验算全部结果符合要求,验算过程略。

表2 $\Psi_{sp}=1$ 的计算值(HRB400)

混凝土等级	C40	C30	C20
ρ_{te}	0.020	0.015	0.011
α_{sp}	1.251	1.137	1.016
x/h	0.424	0.433	0.443

对表 1 和表 2 分析可以得出: 在受弯构件中使用同一种受拉纵筋, 采用同一种加固钢板情况下, 当 $\Psi_{sp}=1.0$ 时,混凝土强度等级越高,计算系数 α_{sp} 越大,受拉钢筋配筋率越大,相对受压区高度 x/h 值越小;在受弯构件中使用同一种混凝土材料,采用同一种加固钢板情况下,当 $\Psi_{sp}=1.0$ 时,钢筋强度等级越高,计算系数 α_{sp} 越小,受拉钢筋配筋率越小,相对受压区高度值越小。当抗震设防等级为一、二、三级时,在满足《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)(以下简称《抗震规范》)强制条文情况下, ζ 值最大只能取 0.35,求得 $x/h=0.315$,由表 1 和表 2 知 $x/h < [x/h]$,可推出 $\Psi_{sp}=1.0$;对于四级抗震设防和非抗震设防时,由于可能会出现 $[x/h] \leq x/h \leq \zeta_b h_0/h$ 情况, Ψ_{sp} 值需要计算确认, $[x/h]$ 为表 1 或表 2 中第四行的 x/h 计算值。

在工程常用的混凝土强度等级下,即通常的 C50 及以下强度等级,抗震设防时,在满足不超过相对界限受压区高度 $\zeta_b=0.550$ (HRB335)、0.518(HRB400)的情况下, $h_0 \approx 0.90h$,假定 $M_0/M_{0k}=1.25$,利用式(7),推

得 Ψ_{sp} 的理论最小值如表3和表4。

表3 Ψ_{sp} 的理论最小值(受拉纵筋为 HRB335)

混凝土等级	C40	C30	C20
ρ_{te}	0.028	0.021	0.014
α_{sp}	1.290	1.256	1.100
Ψ_{sp}	0.587	0.607	0.691

表4 Ψ_{sp} 的理论最小值(受拉纵筋为 HRB400)

混凝土等级	C40	C30	C20
ρ_{te}	0.022	0.017	0.011
α_{sp}	1.260	1.167	1.030
Ψ_{sp}	0.656	0.721	0.821

从上面的推导分析得出,只有在荷载比较大,受拉纵筋配筋率大于 $[\rho_{te}]$ 的情况下, Ψ_{sp} 才可能小于1, $[\rho_{te}]$ 为表1或表2中第二行的受拉纵筋配筋率 ρ_{te} ;钢筋强度等级越高,求得 Ψ_{sp} 理论最小值越大。总之,当 $\rho_{te} \leq [\rho_{te}]$ 时,推出 $\Psi_{sp}=1.0$,公式(2)可简化为:

$$\alpha_1 f_{c0} b x = f_{sp} A_{sp} + f_{y0} A_{s0} - f'_{y0} A'_{s0} - f'_{sp} A'_{sp} \quad (8)$$

在忽略 A'_{s0} 和 A'_{sp} 对中和轴的贡献时,为使计算变简单,公式(2)还可进一步简化为: $\alpha_1 f_{c0} b x = f_{sp} A_{sp} + f_{y0} A_{s0}$ 。

对于 $[\Psi_{sp}] \leq \Psi_{sp} \leq 1$ 的情况,对 satwe 中的计算配筋与原配筋的差值换算成等强度钢板时,需要乘以放大系数(Ψ_{sp})¹,原受拉纵筋配筋率与粘钢放大系数的关系见图2和图3。 $[\Psi_{sp}]$ 为表3或表4中第四行的 Ψ_{sp} 理论最小值,但加固后尚需考虑相对受压区高度是否超过相对界限受压区高度,如超过,粘钢加固不再适用。

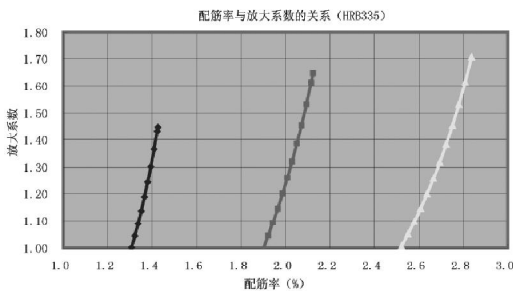


图2 配筋率与放大系数的关系(HRB335)

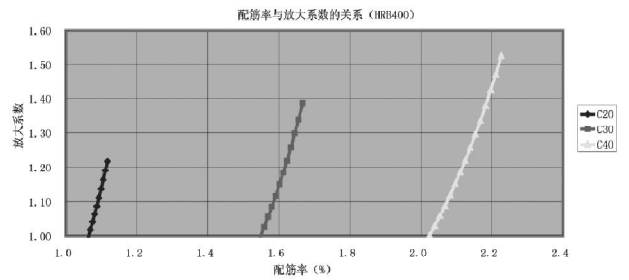


图3 配筋率与放大系数的关系(HRB400)

2 结论

本文通过对粘钢加固设计方法进行分析,得出下列结论:

- (1) 当原来荷载较大,原有受拉纵筋配筋率大于 $[\rho_{te}]$ 时, Ψ_{sp} 会出现小于1的情况。
- (2) 一、二、三级抗震设防时,在满足《抗震规范》6.3.3条之一情况下,值较小,可推出 $\Psi_{sp}=1$;四级抗震设防和非抗震设防时, Ψ_{sp} 值需要计算判断。
- (3) 在换算等强度钢板时,对于原受拉纵筋配筋率大于 $[\rho_{te}]$ 时,计算配筋值与实际配筋值的差值需要乘以(Ψ_{sp})-1的放大系数;原受拉纵筋配筋率小于等于 $[\rho_{te}]$ 时,放大系数取1.0。

(4) 《加固规范》计算滞后应变的公式(10.2.6)为避免与规范前面有关符号的说明发生误解,建议改成下

$$\text{式 } \varepsilon_{sp,0} = \frac{\alpha_{sp} M_{0k}}{E_s A_{s0} h_0} \circ$$

参考文献

- [1] GB50367-2006 混凝土结构加固设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2006
- [2] GB50011-2010 建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [3] GB50010-2010 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [4] 东南大学、天津大学、同济大学合编 混凝土结构设计原理[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.