

文章编号:1673-9469(2010)03-0021-05

钢板加固混凝土空心砌块墙偏心受压分析

李振宇,张玥,汪涛,喻春林

(天津城市建设学院 土木工程系,天津 300384)

摘要:在总结已有研究成果的基础上,推导并提出外贴钢板加固混凝土空心砌块墙偏心受压承载力公式;通过大型通用有限元软件 ANSYS,对结构偏心受压时的受力状态进行分析,并对公式精度进行校核,为工程设计及施工提供参考意见。

关键词:混凝土砌块;钢板加固;偏心受压承载力;ANSYS;数值模拟

中图分类号: TU364

文献标识码: A

The eccentric compressive bearing capacity analysis of concrete hollow block walls reinforced by bonding steel plate

LI Zhen-yu, ZHANG Yue, WANG Tao, YU Chun-lin

(Department of Civil Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

Abstract: The construction technology of masonry structure reinforced with externally bonded steel was described. Based on summarizing the existed research results, the eccentric compressive bearing capacity formula of concrete hollow block walls reinforced by bonding steel plate was proposed. The structural eccentric compressive stress state was analyzed by using ANSYS software, and then the accuracy of the formula was checked. The results put forward to some references in engineering design and construction.

Key words: concrete block; plate reinforcement; eccentric compression capacity; ANSYS; numerical simulation

混凝土空心砌块因其易于取材,造价低廉,具有良好的抗压性和耐久性,在我国部分地区被广泛使用。但是从这次玉树震害的现场来看,砌块和砂浆之间较弱的粘结力,使其抗震性能低下的问题暴露无疑。在地震造成巨大人员伤亡和经济损失的同时也留下了一个急需解决的工程问题,那就是怎样加固砌块结构。在一般的砌体工程中,常用的加固方法包括钢筋混凝土外加固法、钢筋水泥砂浆外加固法、增设扶壁柱加固法、无粘结外包型钢加固法、预应力撑杆加固法等。粘钢加固法是最近十几年发展起来的一种可以在保持原有结构体系不变的情况下,增大构件承载力、控制挠度的一种方法,这种加固方法在汶川 5.12 特大地震后得到了进一步的研究^[1]。

至今相关规范上仍然没有专门针对钢板加固砌块墙的技术指导。本文叙述了外贴钢板加固的施工工艺;在总结、分析规范研究成果的基础上,

提出这类墙体的偏心受压承载力公式;通过大型通用有限元软件 ANSYS 对结构偏心受压承载力进行研究,为工程设计及施工提供参考。

1 外贴钢板砌体结构施工工艺

在砌体的受拉一侧粘贴 6~12mm 的钢板,钢板通过锚固技术与内部砌体结构进行连接,一般主要是采用对拉锚杆对外贴钢板进行固定^[2],再向钢板和墙体之间的缝隙灌注结构胶或其它有效粘结材料。这样保证钢板与砌体的受拉侧同步变形,没有相对滑移。

2 偏心受压承载力计算公式

关于外贴钢板加固砌块墙的偏心受压性能,目前国内外的试验资料并不是很多,工程案例也比较少。本文从基本力学入手对其进行受力分

析,如图1所示。

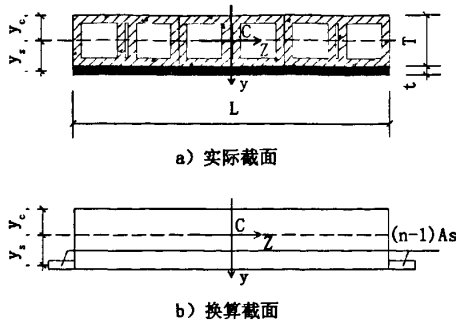


图1 加固墙横截面示意图

Fig.1 Transversal surface of reinforced wall

根据材料力学,可以将加固板横截面面积转化为等效砌块面积。转化后的面积为

$$\overline{A_m} = nA_s \quad (1)$$

式中 n —弹性模量比,其值等于 E_s/E_m , E_s 为加固板弹性模量, E_m 为砌块弹性模量。

当将加固板在原位置改换成砌块截面得到一个完整的矩形后,如图 2b 所示,在矩形两边原加固板位置的中心线上,只需要外增加 $(n-1)A_s$ 面积,就得到上图所示加固墙截面的换算截面。计算换算截面的形心 C 的位置。

$$\begin{cases} y_c = \frac{0.5H(A_m + A_s) + (n-1)A_s(T + 0.5t)}{A_m + nA_s} \\ y_s = T + 0.5t - y_c \end{cases} \quad (2)$$

式中 H —墙总厚度,其值为 $(T + t)$; T —砌块厚度; t —加固板厚度; A_m —砌块部分毛截面面积; A_s —加固板横截面面积。

计算换算截面对图中 z 轴的惯性距

$$I_z = \frac{LH^3}{12} + LH(y_c - \frac{h}{2})^2 + (n-1)A_s y_s^2 \quad (3)$$

常见的偏心受压形式主要有以下几种,如图 2 所示。

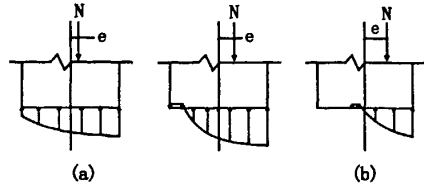


图2 砌体偏压构件截面应力分布

Fig.2 Stress distribution on the section of masonry structures under eccentric compression

根据相关的破坏准则,有

$$\frac{N}{A_m} + \frac{Ney_c}{I_z} = f_m \quad (4)$$

式中 N —偏心压力; e —偏心距; f_m —砌块抗压强度。

整理后得到外贴钢板加固混凝土空心砌块墙偏心受压承载力公式

$$N = \frac{f_m A_m I}{I + ey A_m} \quad (5)$$

关于砌体截面是否应该考虑空心率的问题,国内外的试验表明,取毛截面面积往往更能接近真实结果,而我国现行的规范中,包括抗剪在内,其一律规定按砌体毛截面面积计算,为了与规范保持一致,本文也采用毛截面算法。

注意到当偏心距 $e = 0$ 时,式(5)即退化为(GB 50003—2001)规范中的式 5.1.1^[3],说明加固措施对墙体的轴心受压能力没有提高,这与以往的工程经验是相符的。当加固板厚度 $t = 0$,也即没有加固时,按式(5)得出的结果较试验值和规范值都偏低,说明按材料力学公式得出的结论在估算无加固砌块墙时倾向于保守^[4],此时应按现行规范的相关算式对结构承载力进行计算。

表 1 试件参数设定

Tab.1 Parameters of the specimens

构件	组成成分	材料型号	单元类型	E_0 /GPa	本构关系/MPa	ν	屈服准则	网格划分
墙体	混凝土	MU10	Solid 65	3.3	$\epsilon = -0.001 \ln(1 - \frac{\sigma}{4.93})$	0.2	William Wamke 五参数破坏曲面	八结点六面体
	砌块砂浆	M5						
加固板	热轧钢	HRB335		200	$\sigma = \begin{cases} 2 \times 10^5 \epsilon & \epsilon \leq 0.0015 \\ 300 & \epsilon \geq 0.0015 \end{cases}$	0.3	Mises 屈服准则	八结点六面体
垫层	混凝土	C30		25.5	$\sigma = E_0 \epsilon$	0.2	理想弹性材料	四结点四面体

3 砌块结构 ANSYS 建模

3.1 ANSYS 建模基本数据

根据对加钢板砌体结构各个部分进行分析,从而得到墙体、加固板、垫层的 ANSYS 建模相关数据如表 1 所示。

3.2 加载垫层

从以往数值分析的经验上看,将边界条件直接施加在一个或几个节点上,容易造成应力集中^[5]。所以,为了使边界条件带来的应力扰动不影响中间的墙体试件,本文设定加载垫层为理想混凝土刚性材料,并采用哈尔滨建筑工程学院建议的砌体偏心受压加载形式^[6]。模型对照及几何尺寸如图 3 所示。

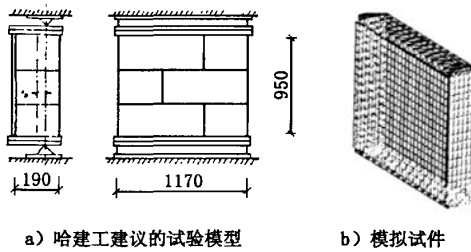


图 3 实际试件与虚拟试件

Fig. 4 Actual and virtual specimens

4 数值模拟及结果分析

4.1 模型验证

本文采用砌块墙偏心受压承载力计算值与 ANSYS 数值模拟值进行对比,验证模型的正确性。通过改变砌体墙的偏心距得到的计算值($F_{规范}$)与模拟值(F_{FEM}),再对两数值进行比较得到表 2。砌块墙偏心受压承载力计算公式为(GB 50003—2001)规范中的式 5.1.1^[3]。

根据统计计算,有限元分析结果与规范计算值之比的平均值 $M = 1.11$, 变异系数 $C_v = 0.016$ 。由于规范计算要求采用设计值,因此相比较而言,有限元的分析结果会略微偏大。实际上,由于工程中对安全储备的要求,构件的真实值通常要比规范值大一倍左右,从这个角度上看,即使是有限元分析值也是趋于保守的。但考虑到目前加固砌块墙试验的匮乏以及保持和规范的一致性,该结

果是可以接受的。另外,二者从趋势上看也比较吻合,故认为模拟试件可信,可以作为进一步研究的依据。

表 2 有限元分析及规范值对比结果

Tab. 2 Comparative results of finite element analysis and specifications

e/mm	F_{FEM}/kN	$F_{规范}/kN$	$F_{FEM}/F_{规范}$
0	550	494	1.11
0.01	480	432	1.11
0.02	420	376	1.12
0.03	360	319	1.13
0.04	300	267	1.12
0.05	240	222	1.08
0.06	210	186	1.13

4.2 模型数值分析

为明确偏心受压状态下加固工艺对墙体承载力的影响,建立一组采用不同厚度钢板加固砌体墙,其具体信息如表 3 所示。

表 3 试件信息

Tab. 3 Information of the specimens

试件编号	e/mm	加固板厚度/mm
W0	0.047 5	0
W1	0.047 5	2
W2	0.047 5	4
W3	0.047 5	6
W4	0.047 5	8
W5	0.047 5	10

模拟得出采用钢板加固的墙体与无钢板加固墙体,在相同偏心荷载作用下,其竖向位移略有降低,说明加固工艺对构件的抗压刚度影响很小。但是,尽管二者的刚度相近,试件的变形形态却并不完全相同。无加固墙中,相对受拉区的部分节点在加载过程中主要表现为初期受压,后期压力逐渐减小并过渡为受拉,在达到极限状态后,发生正向的刚体位移,其破坏过程表现为拉屈,而加固墙中各点则表现为压屈(如图 4)。

由于砌体的抗拉强度要远小于其抗压强度,理论上,如果能将砌体中的抗力转化为压力,就能达到提高结构承载力的目的。由此可知,加固墙

中的应力分布要比无加固墙更有利,如图4是210kN荷载作用下二者的主拉应力分布图。从图中可以看出,加固墙的拉应力在数值上更低,分布也更均匀。

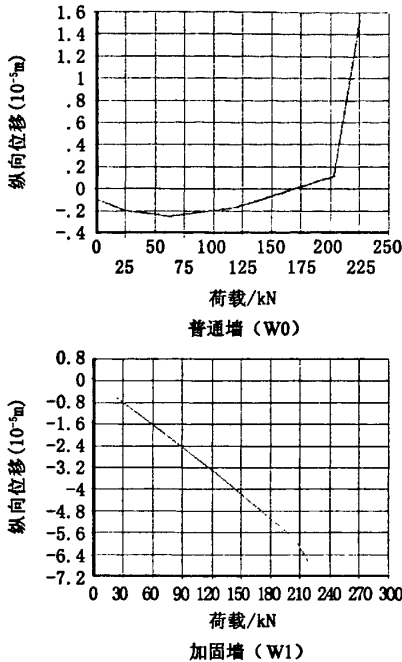


图4 远荷载边缘点荷载—位移曲线

Fig.4 P-d graph of the edge point away from loads

由于本文采用的屈服准则在受拉分区下,破坏曲面主要受 Rankine 主拉应力控制,因此同样可以得到试件的裂缝开展云图,如图5所示。

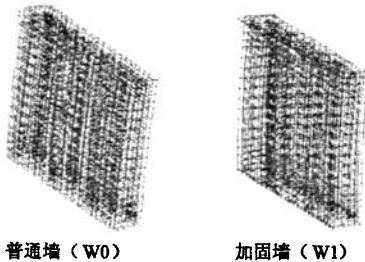


图5 裂缝开展云图(210kN)

Fig.5 The crack nephogram (210kN)

从图中可以看出,没有加固措施的墙片在210kN加载条件下开裂严重,多条呈劈裂状的大裂缝从墙身贯通,该结构已基本失效,而配有钢板的试件则多为细小开裂,且贯通态不明显,其承载力仍有很大的提升空间。但是,加固钢板对裂缝的抑制作用并没有导致砌体墙拥有更高的开裂荷

载。模拟发现,加固后的墙体与没有加固的墙体相比,其出现裂缝的时间基本相同,这说明加固板在墙体开裂前,几乎不参与工作。

从图6中可以看出,加固钢板的内力在试件开裂前(小于 $0.4F_{u0}$)都较小,基本呈线性变化,说明加固钢板在弹性阶段的作用并不大。直到墙体开裂后,其等效应力才呈类似指数规律式的增加。表明加固钢板的作用更多表现在对已开裂截面被进一步破坏的抑制上。因此,加固钢板不能提高墙体的开裂荷载,但能大幅提高墙体的极限承载力,如图7所示,这在工程上仍有很强的实际意义。

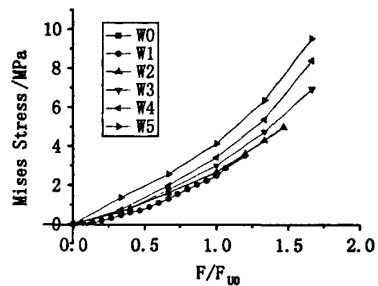


图6 等效应力—荷载关系曲线图

Fig.6 Equivalent stress—loads graph

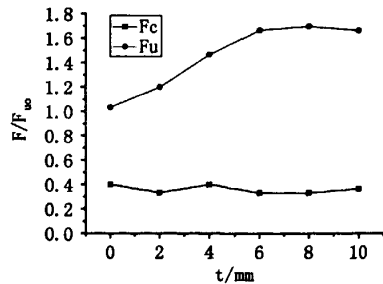


图7 钢板厚度对墙片承载力的影响

Fig.7 Effect of different plate thicknesses on bearing capacity of the wall

从极限承载力的变化趋势上看(图7),墙体的极限承载力并不随加固板厚度的增加而无限增大,而是在达到一个幅值后(大概是无加固墙承载力的165%)便趋于平稳。这主要是因为当荷载达到一定的水平后,受压区的压应力已经接近砌体的抗压极限,由于此时墙体的破坏曲面已不再是由拉力控制,故此时再对加固板进行任何性质上的加强,其意义都已经不大。将所各试件的承载力及变形特征汇总,如表4所示。

表4 试件承载力及变形特征

Tab.4 Bearing capacity and deformation of the specimens

试件编号	钢板厚度 /mm	开裂荷载 /kN	极限荷载 /kN	σ_1, \max /MPa	σ_3, \max /MPa	σ_e, \max /MPa	开裂位移 /mm	极限位移 /mm
W0	0	60	210	0.053	3.42	-	0.258	0.637
W1	2	50	240	-0.017	3.68	3.51	0.258	0.782
W2	4	60	280	-0.061	4.39	4.96	0.184	1.027
W3	6	50	310	-0.059	4.92	6.94	0.183	1.276
W4	8	50	315	-0.068	4.97	8.40	0.184	1.289
W5	10	55	310	-0.061	4.97	9.54	0.182	1.278

从表中可以看出,加固后的墙片能够进一步发挥砌体抗压能力高的特点。钢板的厚度对构件偏心受压承载力是有影响的,但其存在一个最优布置。按本文的计算结果,该加固厚度大概为墙厚的1%~3%。

5 偏心受压承载力比较

利用式(5),与有限元分析结果相比较,如表5所示。有限元分析值与理论值之比的平均值 $M = 1.076$, 变异系数 $C_v = 0.067$, 可见式(5)与有限元分析结果不论是在绝对值还是在变化规律上,都是比较一致的。

表5 试件承载力比较结果

Tab.5 Comparative results of bearing capacity of the specimens

试件编号	t/mm	F_{FEM}/kN	$F_{理论}/kN$	$F_{FEM}/F_{理论}$
W0	0	210	197	1.06
W1	2	240	253	0.95
W2	4	280	266	1.05
W3	6	310	272	1.14
W4	8	315	276	1.14
W5	10	310	280	1.11

6 结论

1) 采用加固措施后的混凝土砌块墙与普通墙比较,极限偏心受压承载力有较大提高;其承载力值可由式(5)获得,但其初裂荷载无明显变化。

2) 加固墙与普通墙的抗压刚度相差不大,工程中在对加固结构进行竖向挠度验算时可以直接采用和普通墙相同的计算准则。

3) 随着加固厚度的增加,加固墙的承载力总体上呈上升趋势,但在达到普通墙承载力的1.5倍后,收效会大幅降低。工程中在使用时推荐加固厚度为墙厚的2%。

4) 对于普通强度的加固混凝土砌块墙,加固板在试件失效时的内力远低于其屈服强度,因此工程中没有必要追求高强度的加固板。一般情况下,生产中常用的一、二级钢强度便已足够。

5) 由于偏心受压造成结构失效的原因实际上是轴向力引起的弯矩,因此加固墙除抵抗偏心弯矩外,同样应该具备抵抗水平力弯矩的能力,但具体的承载能力及其提升幅度还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 董莉,张博一.外贴钢板加固砌体墙计算方法分析[J].低温建筑技术,2009,133(7):33-34.
- [2] 郭华忠,敬登虎.钢板-砖砌体组合结构在砖混房屋大空间改造中的应用[J].工程抗震与加固改造,2009,31(5):130-133.
- [3] GB 5003-2001,砌体结构设计规范[S].
- [4] 东南大学,同济大学.砌体结构[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [5] 张前进.碳纤维加固钢筋混凝土梁抗弯性能的非线性有限元分析[D].天津:天津城市建设学院,2008.
- [6] 唐岱新,王广才.浮石小型空心砌块砌体偏心受压时偏心影响系数[J].哈尔滨建筑工程学院学报,1985(1):38-43.

(责任编辑 刘存英)