

Evaluation and Strengthening of Steel and Masonry Composite Beam Based on Underpinning Technique for Large Door Opening at the Ground Floor in Masonry Structure

Shiwen Jia

Design Management Institute, China Construction Eighth Engineering Division CORP., LTD., Shanghai
Email: shiwen08@163.com

Received: Feb. 19th, 2020; accepted: Mar. 5th, 2020; published: Mar. 12th, 2020

Abstract

A lot of old masonry structures, for functional change such as large door opening at the ground floor, need to be remoulded and strengthened. For most of the bearing wall removed at the ground floor, which caused the load transfer route changed, the load-bearing structure of masonry structure was transformed to masonry structure with bottom story frame. The underpinned technology of steel and masonry composite beam can be recommended for stiffness, entirety, and construction used in the reinforced structure of beam-supported wall. At present, for the detailed research is rare in the point of steel and masonry composite beam, mechanical property of the beam was studied deeply with finite element method and project example. Based on the research, Finite Element Method was used to study the mechanical property of stress and strain for the steel and masonry composite beam, and the difficulties of the underpinned technology were explored for design and construction.

Keywords

Masonry Structure, Large Hole of Wall, Steel and Masonry Composite Beam, Underpinned Technology, Reinforcement and Transformation Design

砖混结构大开洞改造中型钢砌体组合梁的研究与应用

贾世文

中国建筑第八工程局有限公司设计管理总院, 上海
Email: shiwen08@163.com

收稿日期: 2020年2月19日; 录用日期: 2020年3月5日; 发布日期: 2020年3月12日

摘要

既有砖混砌体结构房屋, 由于使用功能的改变, 通常进行开大门(窗)洞改造。对部分承重墙体进行拆除, 导致了原结构荷载传递路线发生变化, 使得局部砖墙承重体系转化为梁托砌体墙的底部框架砌体结构。型钢-砌体组合梁托换法以其具有刚度大、整体性好、施工便捷等优点在梁托墙承重结构加固改造中推荐优先选用。鉴于目前型钢-砌体组合梁精细化分析研究尚少, 本文结合工程实例, 采用有限单元法深入研究了型钢托换组合梁的力学应力和应变特性, 探究了型钢组合梁托换法应用在砖混房屋大空间改造中的设计和施工技术要点。

关键词

砖混结构, 开大门(窗)洞口, 型钢-砌体组合梁, 托换技术, 加固改造设计

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着社会经济的发展, 在改革开放前后一段时期内大量建造的砖混或内框架砌体房屋, 因当前发展需要, 建筑功能发生改变, 特别是旧房改造为商业用房时, 一般底层需拆除部分结构承重墙进行开大门(窗)洞改造。这样必然会引起结构荷载传力路径的变化, 因而需要在检测鉴定的基础上进行合理有效的加固设计。加固设计的目标是拆除结构承重墙并进行结构加固改造后, 建筑物的承载力和正常使用要求能满足, 因此须按现有规范和计算分析成果进行安全方便的加固和托换处理。加固托换结构设计的原则是保证在拆除墙体前后, 施工便利, 新旧结构有效协同工作, 确保结构和构件加固前后安全有效。以往类似改造项目中, 上部承重墙的托换多采用结构体外新增现浇钢筋混凝土梁法加固处理[1] [2] [3] [4], 大部分选用以下三种方法[4]: 单梁底部托换法、双梁夹心托换法、框架托换法。从现场应用来看, 外加混凝土梁托换加固法一般存在如下弊端: 1) 新增现浇梁、柱一般构件尺寸较大且凸出结构, 容易引起建筑功能和外观的不利影响; 2) 施工现场存在混凝土湿作业, 同时混凝土自身需要较长养护周期, 从而造成施工便利性差、工期延长等问题; 3) 施工中需大量的模板工程, 造成施工措施费的增加, 不够经济。因此, 相比较而言, 钢结构优势明显, 加固设计人员在对比研究各类方法利弊的基础上, 进而提出选用钢结构和砖砌体(或含部分混凝土过梁)形成的组合梁托换原结构上部承重墙的改造方法, 并已应用于类似加固改造项目中[5]-[10]。

2. 结构概述

本文研究的工程实例位于浙江省杭州市, 原为某工业园区多层砖混厂房, 始建于上世纪七、八十年代, 现因区域功能改造需要, 业主方拟将其改造为商业街休闲娱乐建筑, 因而需要将底层多数承重砖墙

拆除,开较大门(窗)洞以满足餐饮娱乐活动的需要。本文从该改造项目中选取一个具有代表性的单体进行分析。该房屋层数为四层,底层层高为5 m,上部各层为4.5 m,内房屋为内框架砖砌体结构,转角及纵、横墙交接处均无构造柱,楼面板采用预制空心楼板结构。改造前后的现场外立面效果如图 1(a)所示,首层结构平面布置如图 1(b)所示,改造中底层开大门窗洞口需要拆除的砖墙详见布置图 1 中云线圈出的部位,周边承重砖墙拆除后仅剩砖柱承重,因此需要增加托墙梁以承担二层及以上墙体的荷载,对砖柱做适当加固处理以满足受力需要。

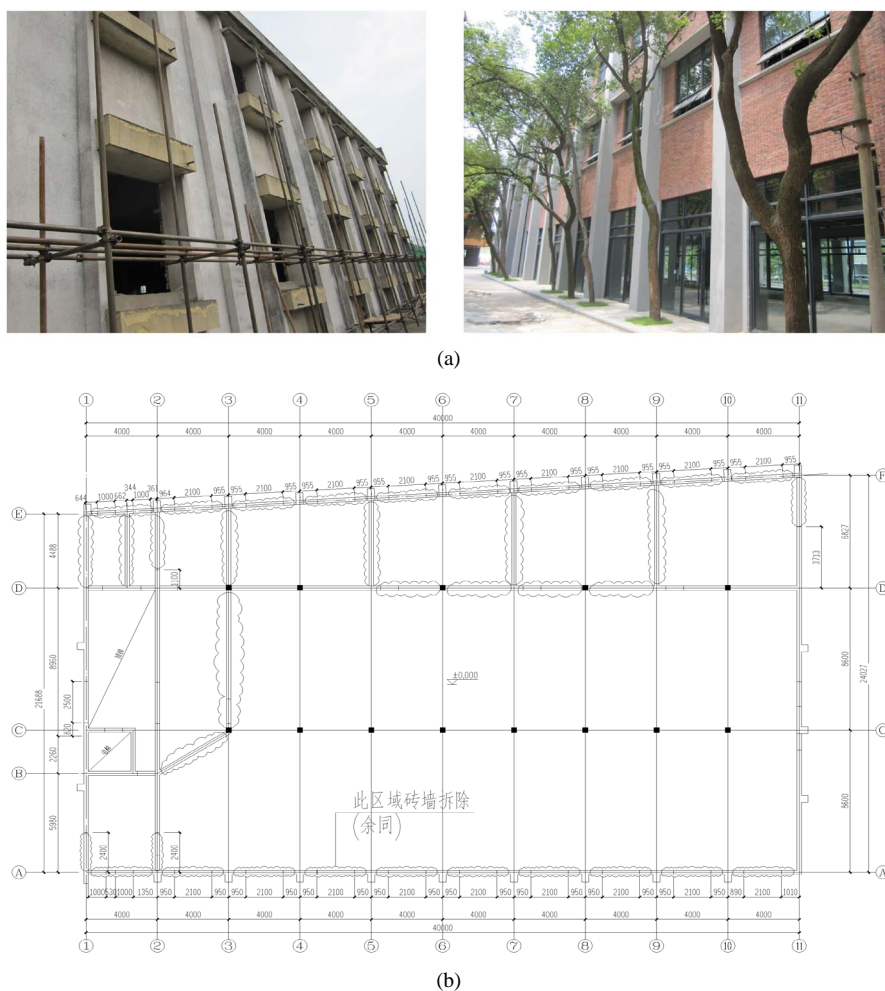


Figure 1. (a) Photos for reconstruction before and after; (b) Structural layout of ground floor
图 1. (a) 改造前后的现场照片; (b) 底层结构布置图

3. 结构改造方法选用

工程改造的原则是既要采取必要措施保证加固施工过程中的结构安全,又要保证不因加固施工对结构造成新的损伤,要使得改造后结构在设计有效期内安全使用,不留隐患。因而,本项目底部开大洞之前,应该先把上部承载砌体墙的荷载通过托换方法直接传到地基基础,下部砌体结构拆除工作应安排在托换结构加固改造完成后,注意拆除过程中的现场监测工作。鉴于本工程因委托方要求减少湿作业,减少工期等要求,选用型钢组合托梁及外加型钢柱(砖柱两侧布置)的加固方案,如图 2~4 所示。

型钢-砖砌体组合托梁通常采用型钢或钢板等强对接焊接成 U 形截面,U 形钢板包住砖砌体,采用

对穿螺杆将两种结构材料连成一体并灌注结构胶，从而形成组合托梁；型钢-砖砌体组合柱采用钢板等强对接焊接成封闭箱形截面构件，箱型截面构件内部包住砖砌体，二者通过后锚固进行拉结，间隙内灌注结构胶以达到协调变形共同受力。相对于其它加固改造的承重墙托换方法，型钢-砖砌体组合结构改造方法具有明显优势：1) 现场无需模板，无湿作业，工期短，施工方便，避免现场施工措施费的增加；2) 相对于原结构墙体，加固后构件尺寸基本不变，对建筑使用功能和外观基本不影响。目前上述加固方法在实际工程中已有少数尝试和应用[8] [9] [10]，在保证安全的前提下，方便了施工，提升了加固品质，可作为类似工程的首选加固方法。

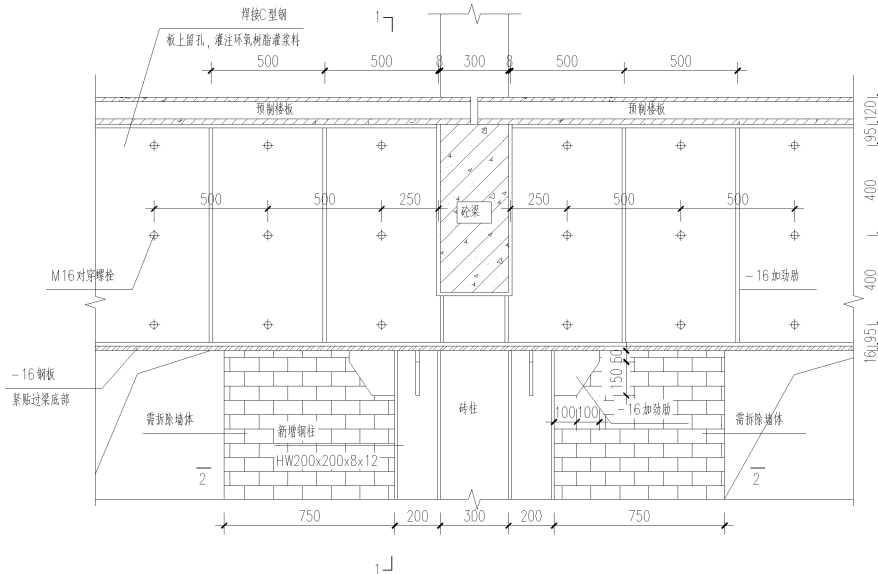


Figure 2. Underpinning scheme of steel and masonry composite beam
图 2. 型钢组合托梁加固方案

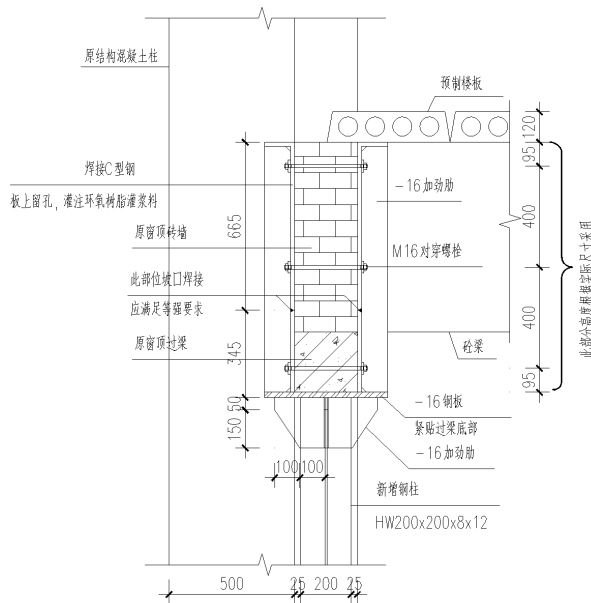


Figure 3. Section 1-1
图 3. 1-1 剖面图

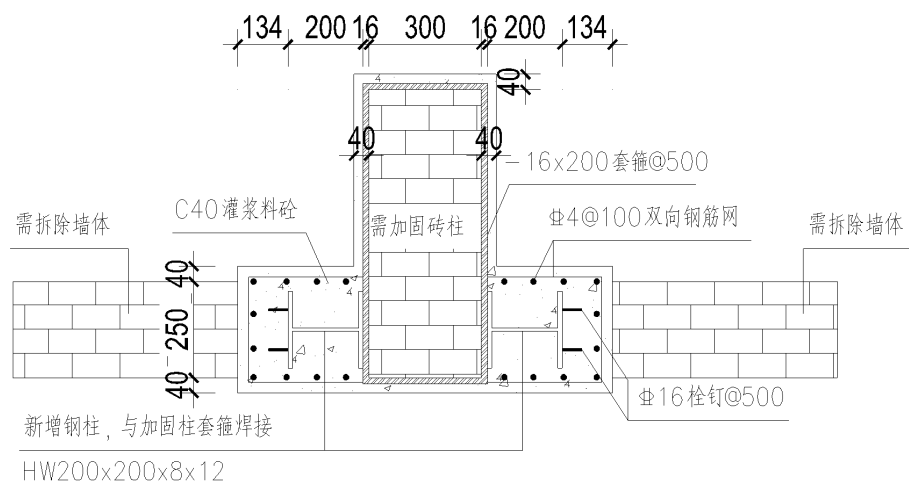


Figure 4. Section 2-2
图 4. 2-2 剖面图

4. 型钢组合托梁有限元计算分析

4.1. 计算原理和分析模型

型钢组合梁是由钢板拼接等强焊接的 U 型截面，外包在砖砌体(或含部分混凝土过梁)表面，钢板和砖砌体之间采用对拉螺栓预紧力和结构胶使得两种结构材料形成整体，达到变形协调共同受力的目标。砖砌体作为脆性材料虽然具有抗压强度，但抗拉强度很低。虽然组合梁内灌注了结构胶能一定程度上对砖砌体的力学性能有所改善，但相对外包钢板材料强度来说几乎可以忽略。钢板材料具有很高的拉压强度，其截面板厚等尺寸通常较小，但面外稳定性较差。砖砌体外包钢板形成的组合梁，梁内砖砌体可以防止外包钢板发生失稳，同时有利于提高组合梁刚度；外包钢板不但提供较高的拉压承载力，还可以对砖砌体形成抱箍效应提高受力性能。

结合工程实际情况，为分析验证砖砌体外包型钢组合梁加固的可靠性，选择一个开间的开大洞墙进行包钢加固的有限元分析。本工程开大洞墙加固采用墙内外两侧同时外包焊接 C 型钢加固，钢板采用对穿螺栓进行连接，过梁底部同时外包钢板进行加固处理。

分析模型原有砌体结构部分尺寸为 $250 \times 990 \times 4000$ (mm)，其中下部混凝土过梁截面尺寸为 240×240 (mm)。外包钢板厚度均为 16 mm，具体钢构件尺寸见图 2。

1) 有限元模型如图 5 所示。

2) 原有砌体和混凝土过梁部分采用实体单元建模，外包钢板材采用壳体单元建模，对穿螺栓采用杆单元建模。

3) 材料强度确定。

a) 砌体材料

砌体结构材料，按照现场材料实测报告和《砌体结构设计规范》(GB50003-2011) (以下简称砌体规范) 烧结普通砖强度设计值(MPa)取值：砂浆和普通砖强度等级分别为 M5 和 MU10。按照砌体规范，当砂浆强度等级为 M5 时，烧结普通砖砌体的弹性模量为 $1600f$ (MPa)。

b) 混凝土材料

混凝土结构材料，按照现场实测取值，取 C20 混凝土力学参数，强度取值 $f_c = 9.6$ MPa, $f_t = 1.1$ MPa。

c) 钢板材料

钢板材料,按照规范取值,取Q235钢材力学参数,板厚 $\leq 16\text{mm}$ 时,强度取值 $f = 215\text{ MPa}$, $f_y = 125\text{ MPa}$ 。

d) 高强螺栓

对穿螺栓的高强螺栓采用规范取值。取8.8级高强螺栓力学参数,预紧力 80 kN ,螺栓抗拉强度 830 MPa 。

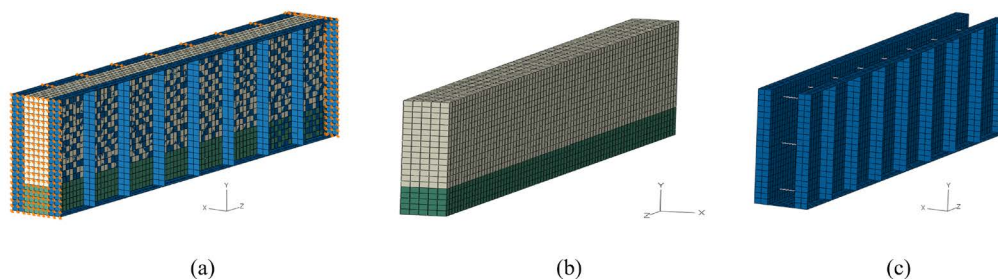


Figure 5. Finite element modal
图 5. 有限元模型图

4.2. 计算荷载

1) 构件荷载

根据结构整体有限元分析软件中计算导出的墙体恒载、活载、风载、地震等各工况荷载,按不同组合进行包络设计,提取构件产生最不利内力时的工况组合进行构件分析。墙体内力包络值等效为组合梁上线荷载,取为 106.47 kN/m ,按照均布压力施加于组合梁顶面,范围为组合梁托换的原砌体结构部分。

2) 构件自重

结构自重直接在分析过程中定义重力加速度。

3) 对穿螺栓预紧力

对穿螺栓预紧力,按照规范给出的M16(8.8级)高强螺栓预紧力 80 kN 考虑。

4.3. 模型接触关系

外包钢板材与原有结构砌体之间的相互作用在软件中采用接触单元模拟,接触单元的力学参数均依据现行砌体规范。按砌体规范要求,钢板沿砌体滑动时:干燥接触摩擦系数为 0.45 ;潮湿接触摩擦系数为 0.35 。模型分析中对穿螺栓采用杆单元模拟,未考虑对穿螺栓端头局部垫板的应力扩散效应。未考虑对穿螺栓与原砌体结构之间的相互受力作用关系。最终分析结果中,竖向位移在 mm 量级,因此可以认为不考虑对穿螺栓与原砌体之间的相互关系,对计算结果的影响可以忽略。

4.4. 边界条件

考虑到分析模型在结构中的受力状态,分析模型两端采用固端边界。模型两端面首先约束竖向位移,之后约束模型端面沿长度方向的位移。由于是等效静力分析且模型无平面外荷载作用,因此模型无 x 向位移约束。坐标系见前述模型图5中所示。

4.5. 型钢组合托梁模型的分析结果

- 1) 组合梁整体计算分析数值云图如图6~8所示。
- 2) 组合梁内部砌体+混凝土过梁二者组合部分计算分析数值云图如图9~11所示。
- 3) 外包钢板材部分计算分析数值云图如图12~14。
- 4) 对穿螺栓部分计算分析数值云图如图15~16。

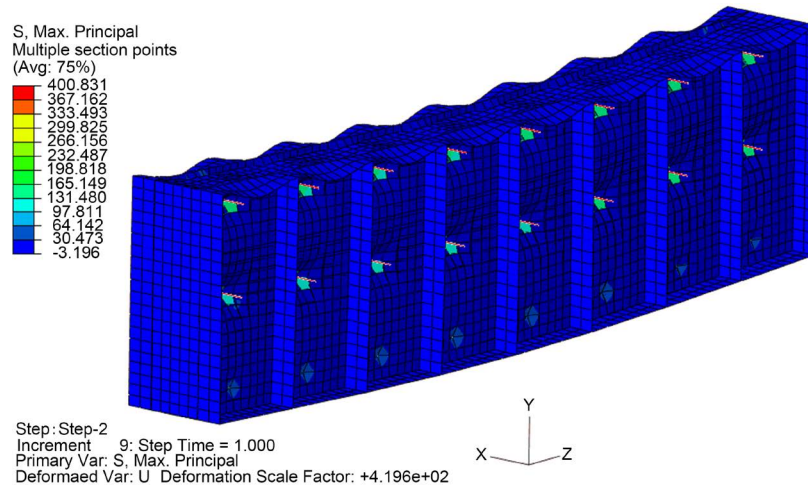


Figure 6. Max. principal stress of the whole model
图 6. 整体模型最大主应力

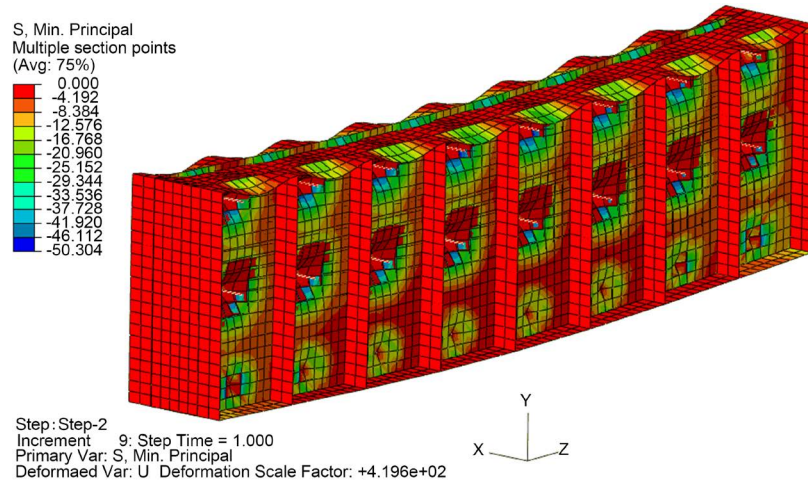


Figure 7. Min. principal stress of the whole model
图 7. 整体模型最小主应力

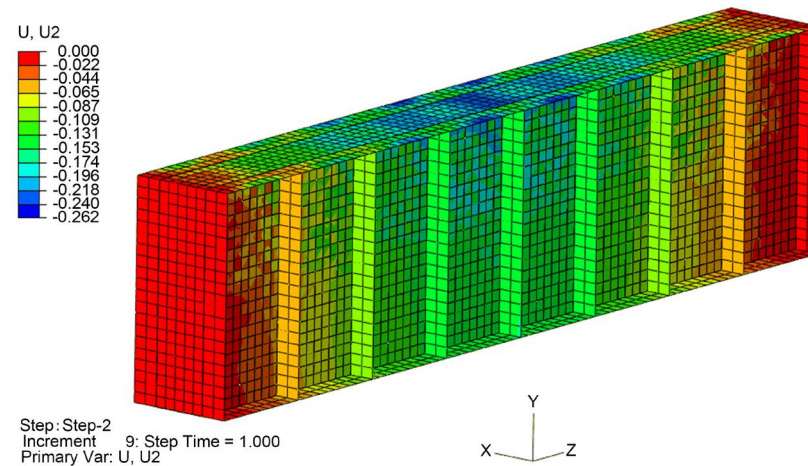


Figure 8. Vertical deformation of the whole model
图 8. 整体模型竖向位移云图

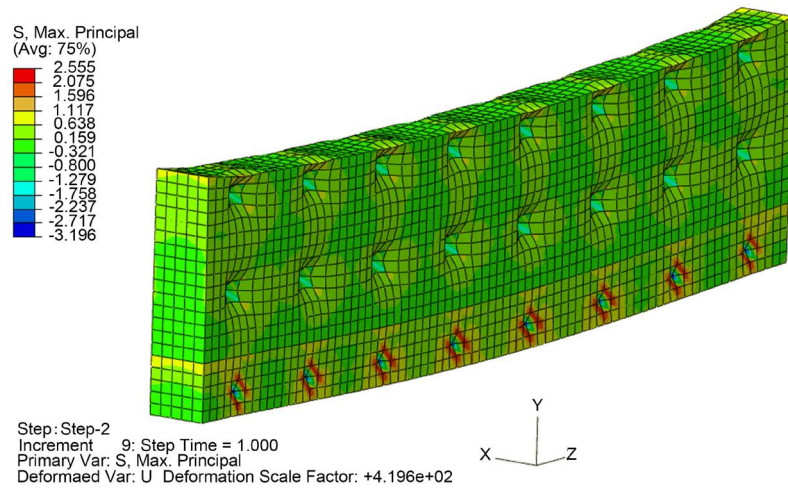


Figure 9. Max. principal stress of masonry and concrete
图 9. 砌体和混凝土整体的最大主应力云图

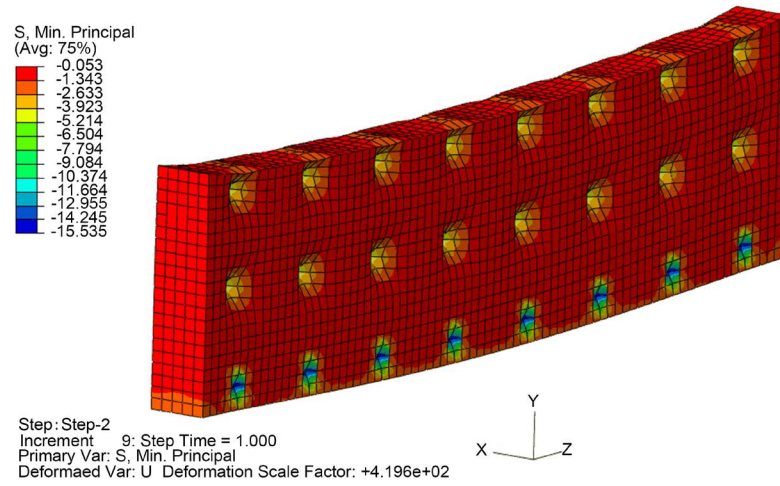


Figure 10. Min. principal stress of masonry and concrete
图 10. 砌体和混凝土部分的最小主应力

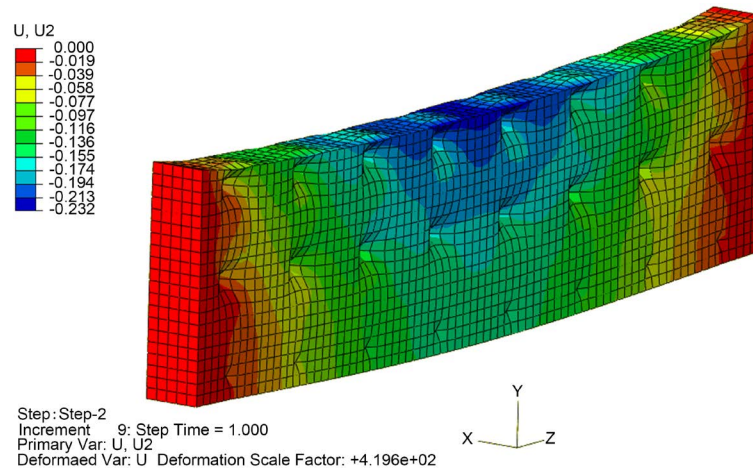


Figure 11. Vertical deformation of masonry and concrete
图 11. 砌体和混凝土部分的竖向位移

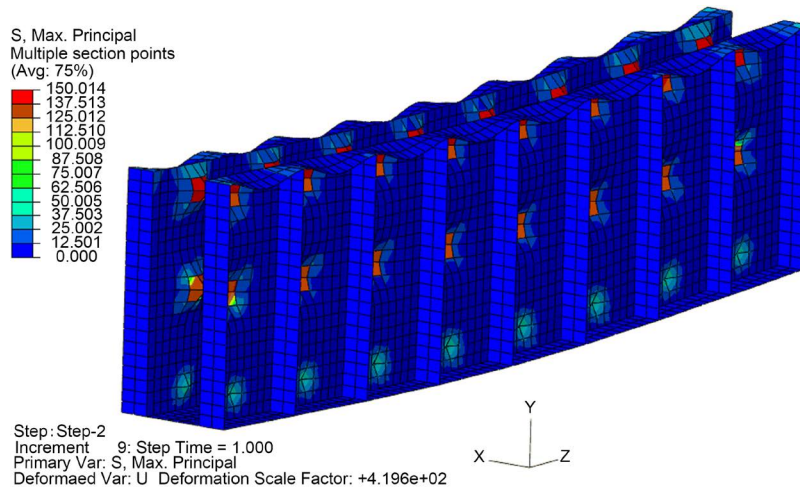


Figure 12. Max. principal stress of epiboly profiled steel
图 12. 外包钢部分最大主应力

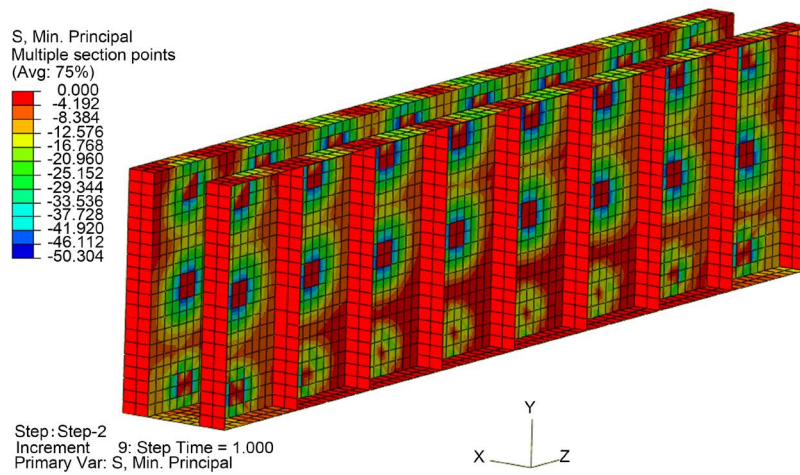


Figure 13. Min. principal stress of epiboly profiled steel
图 13. 外包钢部分最小主应力云图

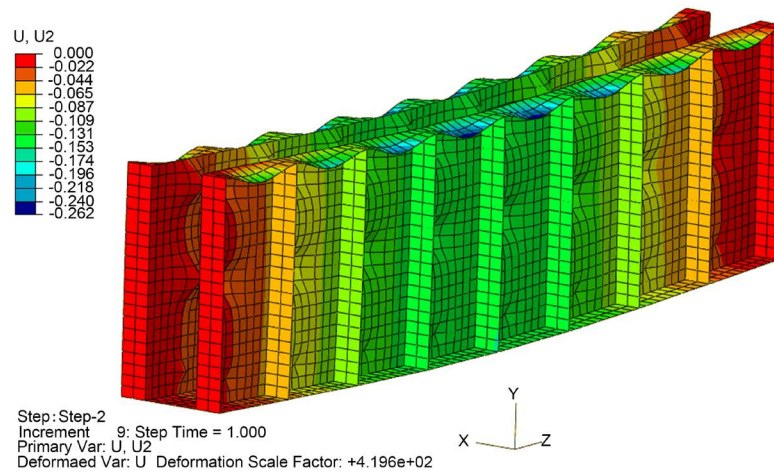


Figure 14. Vertical deformation of epiboly profiled steel
图 14. 外包钢部分竖向位移图

基于上述研究与理论分析,组合梁计算模拟结果应力云图显示,构件整体应力应变呈现线性分布,基本符合平截面假定。整个组合构件原有的砌体或混凝土部分在对穿锚栓附近出现局部传力应力集中现象,可通过垫板、结构胶等措施实现应力重新分布满足安全要求,外包钢板和对拉锚栓在包络设计组合工况下均处于弹性状态,钢板应力比小于 0.7,对拉锚栓应力比小于 0.5,砖砌体或混凝土过梁部分的应力除与锚栓接触位置外均小于材料抗压强度,整体挠度 0.26 mm,结构构件整体工作处于弹性状态,变形微小,刚度好,从而验证了计算分析模型和加固设计的安全合理性。此工程已于 2013 年完成竣工使用,上部墙体和楼板未发现任何变形裂缝等问题,进一步验证此加固托换方法的可靠性。

需要特别说明的是,针对此加固方法,目前国内外鲜有相关文献论述,国外类似研究有英国 Hardy S. J. 教授对型钢过梁承托砖墙的协同工作进行了计算模拟[11],研究结果表明:由于型钢过梁比混凝土梁的刚度小,其与砖墙共同工作的机理不同于混凝土梁与砖墙形成的墙梁,主要体现在钢梁与砖砌体协同工作时其有效接触长度发生了变化。因此,上述型钢组合梁不应按砌体规范中所述共同受力的墙梁考虑,按独立组合梁托换构件进行模拟计算相对更安全也更符合实际情况。

5. 结语

在砖混房屋的开大门(窗)洞等加固改造中,相对以往类似结构的加固改造方法,型钢组合梁托换法具有刚度大、整体性好、施工便捷等明显优势。构件外包加固型钢或钢板厚度仅 16 mm,板材尺寸常规易采购且基本不占用建筑使用空间,整体构件应力比较小,变形为基本可忽略的 0.26 mm,强度和刚度均处于弹性阶段,安全余量大;整个现场施工均不涉及湿作业,选用结构胶、对穿螺栓等锚固成一体,整体性和安全性均满足要求,实现施工方便快捷。

依据本文分析研究和设计成果,在已有结构改造项目中,型钢组合梁托换加固方法已经历多次实践检验。因该托换方案较好的实现了原有砖混砌体结构的使用功能变更需求,达到了预期目标,得到越来越多的工程应用。文中结合工程实例的分析设计、构造及施工技术要点,可为类似改造加固工程上提供参考。建议国内相关规范对此种类型的改造加固方法做进一步的科学试验和研究探讨,形成系统性的规范条文,方便后续工程应用。

参考文献

- [1] 刘成庆,曾欣,等. 型钢框式托换法在砖混房屋改造中的优点及应用[J]. 工程抗震与加固改造, 2010, 32(6): 67-72.
- [2] 张富春,林志伸. 建筑物的鉴定加固与改造[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992: 27-32.
- [3] 向波,张圣华,文双玲. 某砖砌体结构办公楼大空间门厅改造施工[J]. 工业建筑, 2007, 37(6): 95-97.
- [4] 陈静华,陈思清,邵新法. 改建工程中的托换技术[J]. 建筑施工, 1993, 15(1): 8-9.
- [5] 程远兵,王三会. 两种简易可行的砖墙托换梁[J]. 四川建筑科学研究, 2005, 31(4): 44-47.
- [6] 赵考重,王莉,夏凤敏. 钢-混组合结构在砖混建筑拆墙改造中的应用[J]. 建筑结构, 2003, 33(4): 28-29+35.
- [7] 史铁花,薛彦涛,钟聪明. 托承重砖墙换组合截面梁柱改造法[J]. 工程抗震与加固改造, 2004(5): 40-42.
- [8] 熊鹭,胡松. 一种用钢结构加固砖混结构的新方法[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2006, 25(2): 88-89+93.
- [9] 童敏,彭少民. 钢-砌体组合结构在砖混建筑改造中的应用[J]. 武汉理工大学学报, 2007, 29(s2): 152-156.
- [10] 张京街,林文修,张国彬. 钢结构在砖混房屋抽墙加固中的应用[J]. 工业建筑, 2006, 36(s1): 1069-1070.
- [11] Hardy, S.J. (2000) Design of Steel Lintels Supporting Masonry Walls. *Engineering Structures*, 22, 597-604. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(99\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(99)00004-8)