

DOI: 10.7672/sgjs2025220084

高层钢筋混凝土剪力墙置换施工受力响应研究

郭伟

(山东省东营市东营区住房和城乡建设局, 山东 东营 257000)

[摘要] 为研究高层钢筋混凝土剪力墙置换施工加固技术,依托某小区高层住宅工程,采用数值模拟分析混凝土置换时剪力墙的竖向应力分布和平均竖向压应力变化,以及墙体置换后2批新筑剪力墙竖向压应力差变化。研究表明,剪力墙混凝土置换过程中,第1批新浇筑的混凝土受到的竖向压应力逐渐减小,第2批新浇筑的混凝土受到的竖向压应力逐渐增大;后续建筑建设中,楼层越高,新浇筑墙体受到的竖向压应力越大;随着建筑楼层的增高,除小部分墙体平均竖向压应力差逐渐增大外,其他墙体平均竖向压应力差逐渐减小,在此阶段,2批新筑混凝土墙段的应力值逐渐接近。在剪力墙混凝土置换工程中,置换时应考虑施工顺序,先从对结构整体稳定性影响较小的部位开始置换,然后逐步向核心区域推进,最终达到混凝土的置换目的。

[关键词] 混凝土剪力墙;置换;竖向应力差;数值模拟

[中图分类号] TU974

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)22-0084-06

Research on Stress Response of High-rise Reinforced Concrete Shear Wall Replacement Construction

GUO Wei

(Dongying District Housing and Urban-rural Development Bureau of Dongying City,
Dongying, Shandong 257000, China)

Abstract: To study the reinforcement technology of high-rise reinforced concrete shear wall replacement construction, based on a high-rise residential project in a certain community, numerical simulation was used to analyze the vertical stress distribution and average vertical compressive stress changes of shear walls during concrete replacement, as well as the vertical compressive stress difference changes of two batches of newly built shear walls after wall replacement. The research results indicate that during the concrete replacement process of shear walls, the vertical compressive stress on the first batch of newly poured concrete gradually decreases, while the vertical compressive stress on the second batch of newly poured concrete gradually increases; In the subsequent construction of buildings, the higher the floor, the greater the vertical compressive stress on the newly poured walls; As the building floors increase, except for a small portion of walls where the average vertical compressive stress difference gradually increases, the average vertical compressive stress difference of other walls gradually decreases. At this stage, the stress values of the two batches of newly constructed concrete wall sections gradually approach each other. In the concrete replacement project of shear walls, the construction sequence should be considered during the replacement. The replacement should start from the parts that have less impact on the overall stability of the structure, and then gradually move towards the core area, ultimately achieving the purpose of concrete replacement.

Keywords: concrete shear wall; replacement; vertical stress difference; simulation

0 引言

随着城市建设的快速发展,高层建筑的数量越

来越多,当建筑剪力墙混凝土强度远低于设计要求时,会导致建筑结构的承载力降低,需将低强度的混凝土置换为高强度混凝土,从而增加结构强度。为探求钢筋混凝土剪力墙置换施工技术,部分学者

进行了多方面研究,刘炜^[1]研究了高层混凝土剪力墙置换加固与施工技术,提出了合理的置换加固方案;詹长鹏^[2]研究了在建高层建筑混凝土剪力墙置换加固技术,阐述了置换加固的设计方法;董军锋等^[3]研究了混凝土剪力墙无支撑置换加固的受力特征,研究结果表明,墙段拆除施工会使梁板应变增加;张泽宁等^[4]研究了无支撑混凝土置换法在某高层住宅加固中的应用,研究结果表明,通过详细设置置换次序,加固效果符合要求;王树^[5]采用数值模拟的方法,对无支撑分批整层置换剪力墙混凝土加固法进行了研究。以上学者依托各类建筑工程,客观地研究了建筑混凝土剪力墙置换加固施工技术,但未涉及剪力墙平均竖向压应力变化。在建筑剪力墙混凝土置换工程中,许多学者对剪力墙混凝土置换后的抗震性能进行了研究,王坦等^[6]采用数值模拟的方法,对修复震损装配式剪力墙抗震性能试验进行了研究;李兆杰等^[7]研究了装配式混凝土剪力墙抗震性能,研究表明,薄壁钢管混凝土剪力墙相比普通混凝土墙承载力高;马利等^[8]研究了高延性混凝土局部置换加固剪力墙抗震性能,研究表明,加固后的剪力墙较加固前具有更好的抗震性能;更有学者采用室内试验的方法,研究了高延性混凝土局部置换加固剪力墙的抗震性能^[9-10]。然而,现有研究未涉及混凝土剪力墙置换后,新筑剪力墙置换前后的受力变化及加固效果。基于此,依托某小区高层住宅工程,采用数值模拟分析了混凝土置换时剪力墙的竖向应力分布、不同工序下剪力墙的平均竖向压应力变化以及墙体置换后2批新剪力墙的竖向压应力差变化。

1 工程概况

陕西省宝鸡市某小区5号楼为高层住宅工程,该住宅楼为地下2层、地上25层,地下1,2层层高分别为4.3、4.1m,地上1层层高为4.45m,第2~25层层高均为2.85m,整栋建筑长19.2m、宽15.8m,总高度75.2m。建筑主体结构为全现浇剪力墙结构,采用钢筋混凝土桩-筏联合基础。墙体厚度主要为100,250,300mm,楼板厚度主要为100,120,200mm。建筑1~5层剪力墙、梁及楼板采用C40混凝土,6~15层剪力墙、梁及楼板采用C35混凝土,16层以上剪力墙、梁及楼板采用C30混凝土。

在建筑施工至第7层期间,建筑第1层剪力墙混凝土的实际强度等级为C20,远小于剪力墙的设计强度等级C40,对此设计人员要求对楼层剪力墙混凝土进行置换加固处理。为满足建筑结构的承载力,混凝土置换材料应比原设计强度等级高1~2

个等级,因此,在加固工程中,采用C45免振捣自密实混凝土作为置换材料。

2 数值模拟

2.1 模型建立

根据现场情况及建筑设计图纸,将整栋建筑作为研究对象,采用有限元软件建立模型。模型长×宽×高为19.2m×15.8m×75.2m。在网格划分中,为确保计算精度,将第1层混凝土剪力墙网格加密,楼板和梁网格稀疏,设置完成后,将模型分解为65246个单元,76428个结点,如图1所示。

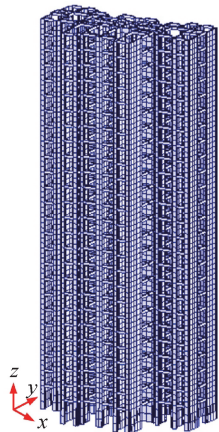


图1 有限元计算模型

Fig.1 Finite element calculation model

2.2 单元选取及荷载布设

模型建立过程中,剪力墙采用板单元模拟,梁和连梁采用梁单元模拟,板采用扩展单元建立。设置建筑结构为理想线弹性材料,建筑结构包括梁、楼面和混凝土剪力墙,建筑1~5层剪力墙、梁和楼板采用C40混凝土,6~15层剪力墙、梁和楼板采用C35混凝土,16层以上剪力墙、梁及楼板采用C30混凝土。材料物理力学参数如表1所示。

表1 材料物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of materials			
混凝土强度等级	密度/(kg·m ⁻³)	弹性模量/GPa	泊松比
C20	2 450	31.2	0.28
C30	2 470	31.5	0.27
C35	2 480	31.9	0.27
C40	2 510	32.3	0.26
C45	2 520	32.6	0.26

模拟计算过程中,仅考虑结构自重、施工荷载及风荷载,设置楼面施工活荷载为1.6kN/m²,基本风压为0.42kN/m²,地面粗糙度为B类,风荷载体型系数为1.45,采用分配楼面荷载方式对建筑加压,将楼面荷载转化为梁或墙体荷载,计算中考虑了混凝土材料的收缩、徐变和强度老化等时间依存性,不考虑新墙体和旧墙体结合处之间的黏结力。

置换施工前,约束首层所有墙体的位移,在每批新浇筑的混凝土达到设计强度后,约束该批墙体的位移。

2.3 工况模拟

建筑第 1 层剪力墙混凝土采用 2 批置换方案,置换方案如图 2 所示,其中未填充墙体为第 1 批置换墙段,填充蓝色的墙段为第 2 批置换墙段。为方便研究,将第 1 层分为 4 个区,编号为 R1~R4,并将各区域墙体进行编号,分别设置为 T1~T26。

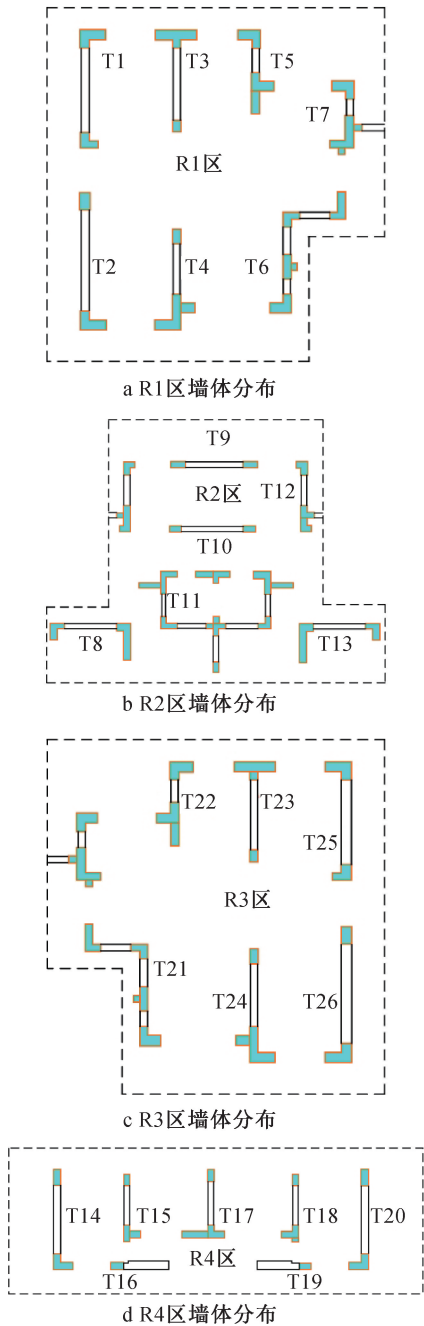


图 2 剪力墙混凝土置换方案

Fig. 2 Shear wall concrete replacement plan

行置换,每个置换墙段长度应在 0.4~1m,置换时先中间后两边,确保每批墙段置换时剩余墙段在总截面范围内均匀分布。在置换过程中,先凿除剪力墙体第 1 批低强度混凝土,将钢筋整理和补强后,采用 C45 免振捣自密实混凝土浇筑,然后对混凝土进行定期养护,待混凝土达到工程要求的强度后,凿除第 2 批低强度混凝土,钢筋整理和补强后,采用 C45 免振捣自密实混凝土进行浇筑。在第 1 层剪力墙混凝土置换完成后进行后续施工,直至第 25 层施工完成。在模拟计算过程中,将整个施工工况分为 11 道工序,序号为 A1~A11,施工阶段依次为 A1 置换前第 1~7 层层结构→A2 凿除第 1 批低强度混凝土→A3 浇筑第 1 批 C45 高强度混凝土→A4 凿除第 2 批低强度混凝土→A5 浇筑第 2 批 C45 高强度混凝土→A6 建设 8~10 层→A7 建设 11~13 层→A8 建设 14~16 层→A9 建设 17~19 层→A10 建设 20~22 层→A11 建设 23~25 层。

3 置换层剪力墙应力分析

3.1 混凝土置换时剪力墙竖向应力分布

在混凝土置换过程中,墙体初始应力被破坏,在混凝土凿除和浇筑过程中,墙体截面应力不断发生变化。置换结束后,墙体截面应力重新分布。剪力墙混凝土置换过程中,第 1 层墙体竖向应力分布如图 3 所示。

由图 3 可知,在剪力墙混凝土置换前,墙体受到的竖向应力总体呈均匀分布,局部墙体最大应力为 2.156MPa。当第 1 批低强度混凝土凿除后,剩余墙体受到的竖向应力发生变化,最大竖向应力表现为压应力,主要集中在 T14~T20 墙体底部,最大压应力为 4.482MPa。当第 1 批 C45 混凝土浇筑后,墙体受到的最大竖向应力表现为压应力,主要集中在 T14~T20 旧墙体底部,最大压应力为 4.477MPa,因此,在低强度混凝土凿除后,新墙体所受的竖向应力重新分布。

当第 2 批低强度混凝土凿除后,相比第 1 批混凝土浇筑后,墙体受到竖向应力增大,受到的最大竖向应力主要集中在 T5,T22 墙体底部,最大竖向应力为 5.623MPa。当第 2 批 C45 混凝土浇筑后,相比低强度混凝土凿除后,墙体受到的竖向应力逐渐减小,除局部墙体顶部区域出现拉应力外,整个第 1 层墙体受到的竖向压力总体呈均匀分布,大部分墙体竖向压力在 0.539~2.208MPa 范围内,小于第 1 批 C45 混凝土浇筑后的最大应力。综上所述,当第 1 批低强度混凝土凿除后,剩余墙体受到的竖向应力增大,当第 1 批 C45 混凝土浇筑后,墙体受到的竖

采用分段分批的方法对整层剪力墙混凝土进

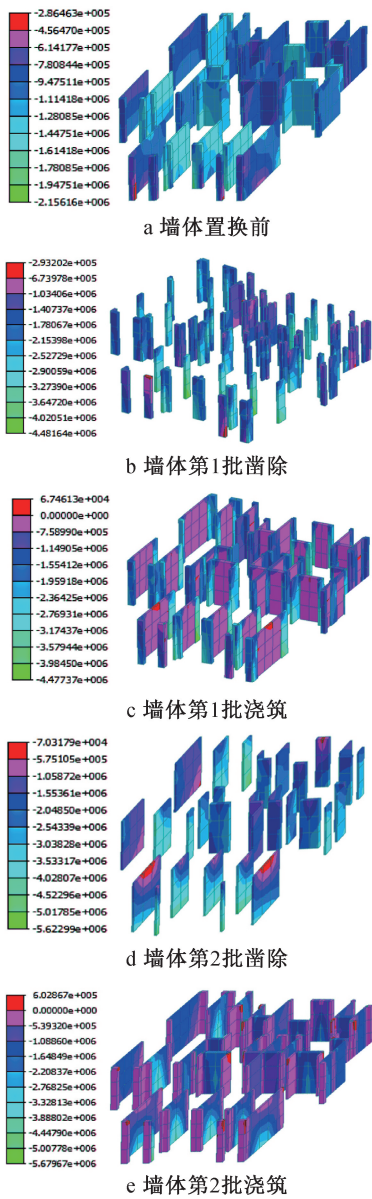


图3 剪力墙混凝土置换过程中的竖向应力分布(单位:Pa)

Fig.3 Vertical stress distribution during shear wall concrete replacement process(unit:Pa)

向应力减小;当第2批C45混凝土浇筑后,整个第1层墙体受到的竖向压力总体呈均匀分布。

3.2 不同工序下剪力墙平均竖向压应力变化

选取第1层各区典型墙体T3,T10,T17,T24作为研究对象,在不同工序下,第1,2批置换墙体受到的平均竖向压应力变化如图4所示。

由图4可知,剪力墙混凝土未进行置换前,第1,2批墙体受到的平均竖向压应力基本接近,第1,2批低强度混凝土墙凿除后,剩余混凝土墙受到的平均竖向压应力均快速增大,第1,2批C45混凝土墙浇筑后,新浇筑墙体受到的平均竖向压应力逐渐增大,剩余墙体受到的平均竖向压应力逐渐减小。当

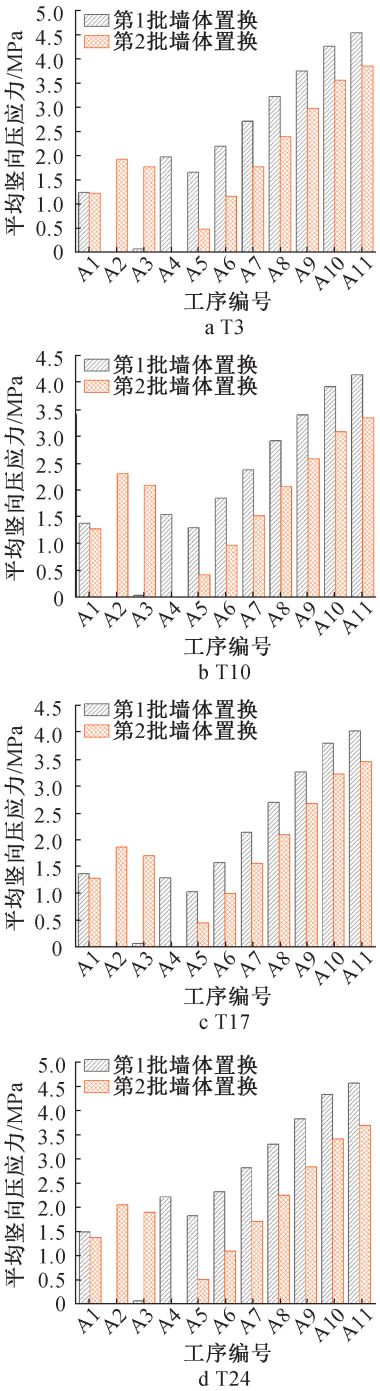


图4 不同工序下墙体平均压应力变化

Fig.4 Changes in average compressive stress of the wall under different processes

混凝土置换完成后,置换后新浇筑混凝土墙受到的平均竖向压应力比置换前小,当进入工序A6~A11后,随着楼层的增高,置换后新浇筑混凝土墙受到的平均竖向压应力逐渐增大。在墙体未置换时,第1,2批低强度混凝土墙作为整体承重截面,共同承担上部1~7层的荷载,因此两者平均竖向压应力基本接近。剪力墙置换过程中,当凿除第1批低强度混凝土时,原有的整体承重截面被削弱,但上部荷

载(1~7 层结构质量)未减少,因此荷载会全部转移到剩余的 第 2 批墙体上,相同荷载由更小的截面承担,导致剩余墙体的平均竖向压应力快速增大。新浇筑的 C45 免振捣自密实混凝土需达到设计强度后,才能参与承重,在此阶段,新增的混凝土墙成为承重截面的一部分,荷载会重新分配到旧剩余墙体和新墙体的组合截面上,原剩余墙体(剩余的低强度墙体)的荷载被新墙体分担,因此其竖向压应力减小,新墙体(C45 混凝土)开始承担荷载,其竖向压应力逐渐增大。

3.3 墙体置换后 2 批新剪力墙竖向压应力差变化

第 1,2 批新浇筑 C45 混凝土的时间不同,产生应力、应变的起点也不同,由于第 2 批新浇筑混凝土的应力应变滞后第 1 批新浇筑混凝土,2 批新浇筑混凝土将产生应力差。在后续楼层建设中,不同工序下,第 1,2 批各墙体平均竖向压应力差变化如图 5 所示。

由图 5 可知,从工序 A5 到 A11,随着建筑楼层的增高,除 T2,T25,T26 墙体外,其他墙体平均竖向压应力差均逐渐减小。在混凝土徐变特性下,第 1,2 批新筑混凝土墙段竖向应力差逐渐减小,新筑混凝土墙段的应力值逐渐接近。工序 A5(第 2 批 C45 混凝土浇筑完成)后,2 批新筑墙虽共同承重,但因浇筑顺序与初始受力时机不同,存在初始应力差异,第 1 批墙先浇筑,先达到强度并承担荷载,初始应力高于后浇筑的第 2 批墙,此时 2 批墙的竖向变形尚未完全协调(第 1 批墙已产生一定变形,第 2 批墙刚开始受力),形成初始应力差,随着时间的推移,混凝土徐变会打破初始应力平衡,通过变形协调实现应力重分布,初始应力相对较高的墙段(第 1 批新墙)因徐变特性,在相同荷载下会产生较大的徐变变形,初始应力相对较低的墙段(第 2 批新墙),徐变变形相对较小,为满足变形协调,初始应力高的墙段会释放部分荷载,在此阶段墙体所受应力降低,初始应力低的墙段会承受这部分荷载,同时墙体所受应力升高,最终 2 批墙的应力通过徐变持续调整,差值逐渐减小,数值趋近一致。

4 施工建议

在建筑剪力墙混凝土置换前,应对需要置换混凝土的剪力墙进行全面、细致的检测,确定混凝土强度不足或损坏的范围,并精确检测钢筋的实际情况,包括钢筋的锈蚀程度、实际位置与设计位置偏差等。当确定混凝土置换范围后,在置换过程中应尽量减小置换区域对整体结构稳定性的影响,对于大面积的混凝土置换,可以考虑分区分段进行,避

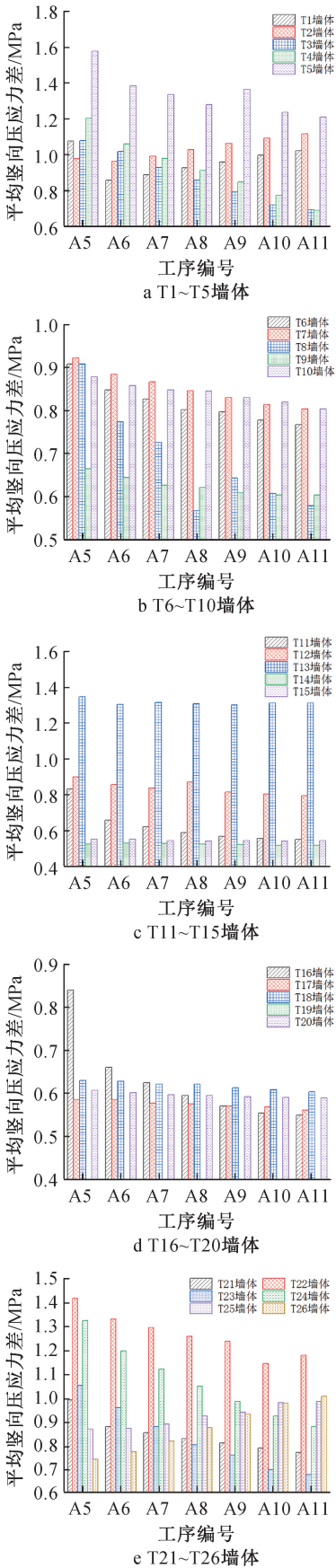


图 5 不同工序下各墙体平均压应力差变化
Fig. 5 Variation in the average compressive stress difference of walls under different processes

免一次性大面积拆除导致结构出现失稳现象。置换时应考虑施工顺序,应先从对结构整体稳定性影响较小的部位开始置换,然后逐步向核心区域推进,最终达到置换目的。

剪力墙混凝土拆除时,应采用合适的拆除方法和设备,防止对周围混凝土和钢筋造成过度破坏,避免对原结构受到损伤。拆除后外露的钢筋,在除锈后要及时进行防锈处理,在钢筋连接和加固过程中,要严格按照设计要求和规范进行操作。在混凝土浇筑时,应确保浇筑的连续性,对于自密实混凝土,应注意控制浇筑速度和高度,避免混凝土产生离析,可使用溜槽或导管等辅助工具,将混凝土引导至置换区域的各个角落。振捣混凝土时,应根据混凝土的性质和浇筑厚度选择合适的振捣方式,避免振捣过度使混凝土出现泌水和离析等现象。

5 结语

1)当混凝土置换工序完成后,相比置换前,置换后新筑混凝土墙受到的平均竖向压应力相对较小。在后续第7层以上建筑施工过程中,随着建筑楼层的增高,置换后新筑混凝土墙受到的平均竖向压应力逐渐增大,且楼层越高,墙体受到的平均竖向压应力越大。

2)在后续第7层以上建筑建设中,随着建筑楼层的增高,墙体平均竖向压应力差均逐渐减小。随着楼层荷载的增大,在混凝土的徐变特性下,第1,2批新筑混凝土墙段竖向应力差逐渐减小,2批新筑混凝土墙段的竖向应力值逐渐接近。

3)建筑剪力墙混凝土置换工程中,在置换过程中,应尽量减小置换区域对整体结构稳定性的影响,对于大面积的混凝土置换,可以考虑分区、分段进行。在混凝土浇筑时,应确保浇筑的连续性,注意控制浇筑速度和高度,同时避免振捣过度,导致混凝土出现泌水和离析等现象。

参考文献:

[1] 刘炜. 高层混凝土剪力墙置换加固与施工控制[J]. 建材发展导向,2023,21(20):55-57.

LIU W. Replacement reinforcement and construction control of high-rise concrete shear wall[J]. Development guide to building materials,2023,21(20):55-57.

[2] 詹长鹏. 在建高层建筑混凝土剪力墙置换加固设计与施工分析[J]. 江西建材,2023(5):296-298.

ZHAN C P. Design and construction analysis of replacement and reinforcement of concrete shear walls in high-rise buildings under construction[J]. Jiangxi building materials,2023(5):296-298.

[3] 董军锋,雷拓,刘宜. 混凝土剪力墙无支撑置换加固受力分析及施工优化设计[J]. 建筑结构,2023,53(11):122-129,109.

DONG J F, LEI T, LIU Y. Stress analysis and construction optimization design of unsupported replacement reinforcement of concrete shear wall[J]. Building structure,2023,53(11):122-129,109.

[4] 张泽宁,曾学悠. 无支撑混凝土置换法在某高层住宅加固中的应用[J]. 施工技术(中英文),2021,50(18):129-133.

ZHANG Z N, ZENG X Y. Application of concrete replacement method without support in reinforcement of some high-rise building[J]. Construction technology,2021,50(18):129-133.

[5] 王树. 无支撑分批整层置换剪力墙混凝土加固法研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2020.

WANG S. Research on the unsupported batch full-story replacement method for shear wall concrete strengthening [D]. Lanzhou:Lanzhou Jiatong University,2020.

[6] 王坦,马先前,李立巍,等. 修复震损装配式剪力墙抗震性能试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版),2023,55(2):227-234.

WANG T,MA X Q,LI L W,et al. Experimental study on seismic performance of prefabricated shear wall for repairing earthquake damage [J]. Journal of Xi ' an University of Architecture & Technology (natural science edition),2023,55(2):227-234.

[7] 李兆杰,孟凡林,战美秋,等. 基于薄壁钢管的装配式混凝土剪力墙抗震性能研究[J]. 施工技术(中英文),2023,52(20):122-128.

LI Z J, MENG F L, ZHAN M Q, et al. Seismic performance research of prefabricated concrete shear wall based on thin-walled steel tube[J]. Construction technology,2023,52(20):122-128.

[8] 马利,董鸿杰. 高延性混凝土局部置换加固剪力墙抗震性能试验分析[J]. 中国水泥,2024(8):91-93.

MA L,DONG H J. Experimental analysis on seismic performance of shear wall strengthened by local replacement of high ductility concrete[J]. China cement,2024(8):91-93.

[9] 王欣,黎杰,胡圣兴,等. 剪力墙局部混凝土置换抗震性能试验研究[J]. 建筑结构,2023,53(19):55-62.

WANG X,LI J, HU S X, et al. Experimental study on seismic performance of partial displacement concrete of shear wall[J]. Building structure,2023,53(19):55-62.

[10] 赵艳梅. 高延性混凝土局部置换加固剪力墙抗震性能试验分析[J]. 江西建材,2024(3):71-72,79.

ZHAO Y M. Analysis of seismic performance of shear wall with high ductility concrete[J]. Jiangxi building materials,2024(3):71-72,79.