

## 既有框架结构局部加层改造 抗震性能分析

叶阳<sup>1</sup> 刘洋<sup>1</sup> 占慧鸣<sup>2</sup>

1. 武汉中合众建筑科学工程有限公司, 武汉;

2. 武汉怡恒工程技术有限公司, 武汉

**摘要** | 以七度区四层框架结构建筑(首层架空)局部加层改造为例,采用盈建科设计计算软件分析了架空层局部增设钢筋混凝土楼盖前后的房屋抗震性能,对比了改造前后房屋结构的自振周期、侧向位移、柱剪跨比、柱顶柱底剪力变化以及结构竖向不规则等主要抗震性能计算结果。计算分析表明,改造后结构整体抗震性能变化不大,但个别构件抗震性能弱化。分析结果对建筑结构局部改造工程的安全鉴定改造设计、加固施工具有参考意义。

**关键词** | 框架结构; 结构改造; 局部加层; 抗震分析

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



### 1 引言

建筑结构的使用功能自工程竣工之时就已被赋予,然而在建筑结构的整个生命周期过程中,固定不变的建筑使用功能难以满足人们不断变化的生产生活需要。随着建设水平的提高和生产生活的需要,建筑结构的建设标准在逐步提高,使用功能也面临改变的挑战,而建筑结构改造以其投资较少,经济效益较高的

通讯作者: 叶阳, 武昌理工学院, 本科, 研究方向: 土木工程。

文章引用: 叶阳, 刘洋, 占慧鸣. 既有框架结构局部加层改造抗震性能分析 [J]. 土木工程进展, 2021, 3(3): 41-49.

<https://doi.org/10.35534/ace.0303011>

特点，在工程实践中的应用越来越频繁。

然而，建筑结构改造所引发的安全问题随着改造项目的增多日益凸显，建筑结构改造过程中的安全性也越来越受到土木工程行业和社会关注。现代建筑设计理论遵循安全，经济，适用，美观的原则，既有建筑改造也应遵循这四项基本原则，其中“安全”应放在首位，故对拟改造的建筑结构进行计算分析是很有必要的。

在建筑结构改造及加固分析方面已有许多人进行了有价值的研究工作<sup>[1-8]</sup>，主要集中在提高抗震设防要求，顶部增层以及整体加层等方面的研究。在参考这些研究的基础上，对框架结构底层局部增设混凝土隔层的情况进行了分析，对比了加层前后层间位移角、楼层剪重比、柱轴压比及剪跨比等抗震参数，为存在结构改造的既有建筑的房屋安全鉴定及相应的加固设计提供参考。

## 2 工程概况

本工程为湖北省十堰市房县某公司办公楼，地上四层，局部为三层，建筑横向轴线长 56.35 米，纵向轴线长 22.35 米；首层架空作为仓库使用，其余作为办公区域使用；结构形式为钢筋混凝土框架结构，一层层高 4.8 米、二层层高 4.5 米、三层层高 4.5 米、四层层高 4.2 米（见图 1）。根据 GB 50011-2010（2016 年版），该工程所在地区抗震设防烈度为 7 度（0.10 g），地震分组为第一组，特征周期取 0.45s。建筑改造情况为：一层 4-5 轴交 D-F 轴区域 1/2 层高处增设钢筋混凝土隔层，隔层所在区域的架空层增设钢筋混凝土楼板，改造区域作为档案室使用。

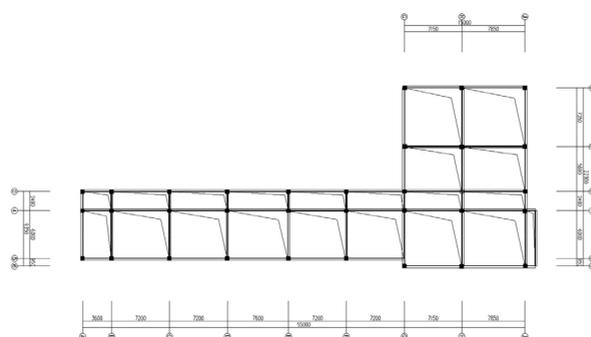


图 1 首层平面布置图

Figure 1 First floor layout

## 2.1 材料强度及荷载取值

根据现场检测数据及竣工图纸,各层梁柱混凝土强度按 C30 取值,楼板厚度为 100 mm,楼板恒载取  $2.5 \text{ kN/m}^2$ ;根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2012),办公区域楼面活载取  $2.0 \text{ kN/m}^2$ ,档案室楼面活载取  $5.0 \text{ kN/m}^2$ ,上人屋面取  $2.0 \text{ kN/m}^2$ ,非上人屋面取  $0.5 \text{ kN/m}^2$ 。

## 2.2 结构分析模型

采用盈建科建筑结构计算软件(YJK-A)建立两个结构模型进行对比:模型一为改造前结构模型,模型二为局部加层改造后结构模型(见图2、图3)。

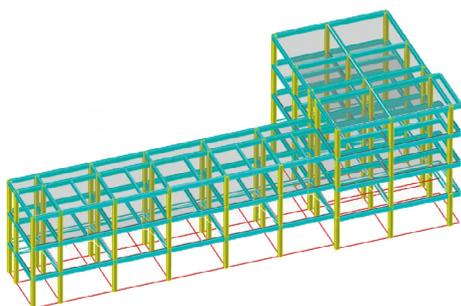


图2 结构模型一

Figure 2 Structural model 1

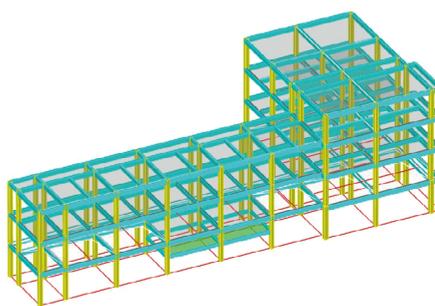


图3 结构模型二

Figure 3 Structural model 2

## 3 抗震性能分析

根据建立的结构计算模型,通过输出盈建科建筑结构计算软件的图形计算结果文件,取前9个振型进行静力法计算分析。

### 3.1 结构振型比较

振型是结构的固有属性,与结构的质量、刚度、阻尼均有关系。本次取结构前三阶振型,分别比较整楼模型和一层模型在水平地震作用下的动力响应况。模型一全楼前三阶振型(见图4)周期分别为:  $T=1.031 \text{ s}$ ,  $T=0.979$ ,  $T=0.827$ ;模型二全楼前三阶振型(见图5)周期分别为:  $T=1.026 \text{ s}$ ,  $T=0.967 \text{ s}$ ,  $T=0.818 \text{ s}$ ;

模型一—层前三阶振型（见图6）周期分别为： $T=0.307\text{ s}$ ， $T=0.302\text{ s}$ ， $T=0.277\text{ s}$ ；  
模型二—层前三阶振型（见图7）周期分别为： $T=0.298\text{ s}$ ， $T=0.294\text{ s}$ ， $T=0.251\text{ s}$ 。

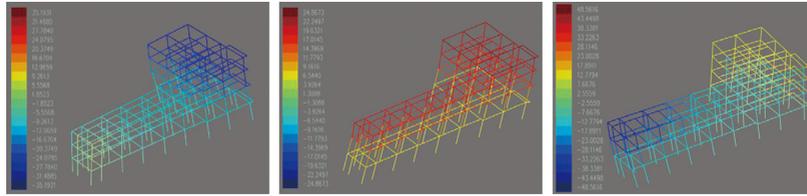


图4 模型一全楼前三阶振型

Figure 4 The first three modes of model 1 whole building

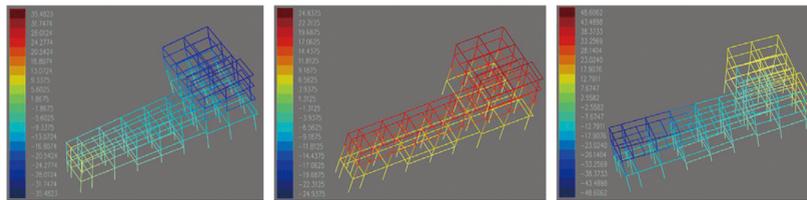


图5 模型二全楼前三阶振型

Figure 5 The first three modes of model 2 whole building

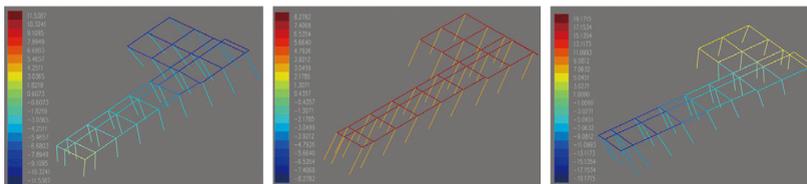


图6 模型一—层前三阶振型

Figure 6 The first three modes of model 1 first floor

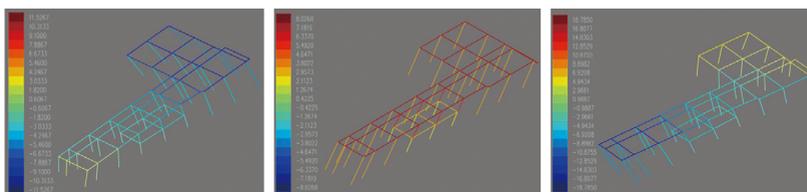


图7 模型二—层前三阶振型

Figure 7 The first three modes of model 2 first floor

### 3.2 楼层剪重比

剪重比即剪力系数，为对应于水平地震作用标准值下的楼层剪力与重力荷载代表值的比值，GB 50011-2010（2016年版）中提出了对楼层最小地震剪力的强制性要求。剪重比不宜过小，过小则结构刚度不足，稳定性差。

计算分析考虑扭转耦联时，模型一各振型的振动周期介于 0.178 s ~ 1.031 s，模型二各振型的振动周期介于 0.175 s ~ 1.026 s。抗震设防烈度为 7 度（0.10 g）时模型一和模型二各楼层的剪重比，见表 1。

表 1 楼层剪重比（n=9）

Table 1 Floor shear-weight ratio (n=9)

楼层	X 向剪重比		最小限值	Y 向剪重比		最小限值
	模型一	模型二		模型一	模型二	
1	4.712%	4.662%	1.6%	5.775%	5.776%	1.6%
2	5.283%	5.252%	1.6%	6.475%	6.513%	1.6%
3	6.148%	6.117%	1.6%	7.464%	7.530%	1.6%
4	8.581%	8.544%	1.6%	9.592%	9.723%	1.6%

注：n 为选取的振型数，下同。

### 3.3 最大层间位移角

最大层间位移角反映了结构在正常使用条件下的水平位移以及结构各层的刚度，是抗震性能的重要体现参数之一。分析比较四种工况下模型一和模型二的最大层间位移角（工况一：X 方向地震作用，工况二：X 双向地震作用，工况三：Y 方向地震作用，工况四：Y 双向地震作用），见表 2。

表 2 最大层间位移角

Table 2 Maximum inter-storey drift angle

	工况一		工况二		工况三		工况四	
	最大层间位移角	所在楼层	最大层间位移角	所在楼层	最大层间位移角	所在楼层	最大层间位移角	所在楼层
模型一	1/551	2	1/554	2	1/665	2	1/625	2
模型二	1/554	2	1/559	2	1/668	2	1/626	2

### 3.4 柱剪跨比及轴压比

剪跨比 ( $\lambda$ ) 是影响钢筋混凝土柱破坏形态的重要因素, 剪跨比较小的柱子一般破坏形式为斜裂缝剪切破坏, 对抗震不利; GB 50011-2010 (2016年版) 中提出了对轴压比 ( $\mu$ ) 的限制, 主要是为了保证柱的延性, 轴压比较小时, 柱的延性相对较好, 对抗震有利。比较模型一和模型二, 剪跨比及轴压比存在较大差异的区域为一层 4-5 轴交 D-F 轴的柱构件, 见表 3。

表 3 柱剪跨比及轴压比

Table 3 Column shear span ratio and axial compression ratio

	4×D 轴柱		5×D 轴柱		4×E 轴柱		5×E 轴柱		4×F 轴柱		5×F 轴柱		
	$\lambda$	$\mu$											
模型一	5.92	0.45	6.41	0.39	5.94	0.39	5.89	0.42	5.93	0.43	6.18	0.38	
模型二	隔层上柱	3.35	0.57	3.36	0.52	3.70	0.74	3.30	0.67	3.20	0.55	3.21	0.50
	隔层下柱	2.73		3.12		2.86		3.50		3.13		2.71	

## 4 讨论

目前, 既有建筑结构改造工程分为大体量改造和零星的局部改造, 由于局部改造工程量相对较小, 在设计、加固施工等阶段的重视程度不足, 对此类改造的研究相对较少。近年来, 酒店、厂房、民房等因局部改造导致的垮塌时有发生, 局部改造涉及的安全问题日益凸显<sup>[9-11]</sup>。对于局部改造工程的重视和研究不足是当前房屋安全鉴定、结构改造设计、加固施工等行业面临的主要问题, 因此深入开展局部改造研究是当前的迫切任务。

本次通过对框架结构办公楼首层加层改造进行分析, 探讨了改造前后结构主要抗震性能的变化情况: 改造前后整体结构振型变化不大, 结构改造后整楼自振周期略有减小, 首层改造处柱构件第二振型的变形结果明显增大; 改造前后楼层剪重比均未低于 GB 50011-2010 (2016年版) 中的最小限值; 改造后结构各层最大层间位移角略有减小; 首层改造区域柱剪跨比和轴压比变化明显, 改造后剪跨比为改造前剪跨比的 43.82% ~ 59.42%, 改造后轴压比为改造前轴压比的 126.67% ~ 189.74%, 柱延性显著减小。

由上述分析可知,该框架结构建筑首层局部加层后整体抗震性能虽无较大变化,但改造处部分构件抗震性能严重衰减,构件安全富余量明显减少。

结构改造本身是延性建筑生命力的一项系统性工程,在结构改造过程中牺牲结构的可靠性和安全性有违结构改造的初衷。因此,在结构局部改造前做好结构构件的性能分析,提前做好改造构件的安全性保障设计和可靠度补偿加固是很有必要的,也是减少改造类工程事故发生的重要手段。

## 5 结论

(1)改造前后整体结构振型变化不大,结构改造后整楼自振周期略有减小,首层改造处柱构件第二振型的变形结果明显增大。

(2)改造前后楼层剪重比均未低于GB 50011-2010(2016年版)中的最小限值。

(3)改造后结构各层最大层间位移角略有减小。

(4)首层改造区域柱剪跨比和轴压比变化明显,改造后剪跨比为改造前剪跨比的43.82%~59.42%,改造后轴压比为改造前轴压比的126.67%~189.74%。

(5)该工程整体结构抗震性能在改造前后未发生较大变化,改造区域柱构件剪跨比显著减小、轴压比显著增大、水平地震作用下部分振型变形量增大。

## 参考文献

- [1] 田慧,张海,孟亚翠,等. 框架结构加固后的动力弹塑性分析研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2020, 42(1): 18-27.
- [2] 马肖彤,包超,陆华,等. 既有钢筋混凝土框架结构加层改造抗震性能研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2019(6): 88-93.
- [3] 张祎萌. 整体式钢筋混凝土结构加层抗震性能分析研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(13): 1658-1659.
- [4] 郑海深. 钢筋混凝土结构加层技术及其抗震性能研究进展[J]. 建筑工

- 程技术与设计, 2014 (10): 988-988.
- [5] 刘廷滨, 张瑜都, 刘生纬, 等. 某框架结构加固改造与加层抗震性能分析 [J]. 抗震鉴定与加固改造, 2015, 45 (9): 39-42.
- [6] 王立争. 浅谈剪跨比对框架柱抗震性能的影响 [J]. 建筑设计管理, 2010, 27 (2): 46-49.
- [7] 张晖, 王庆春, 周德源. 某框架结构楼板开洞对整体抗震性能影响的研究 [J]. 结构工程师, 2016 (4): 104-109.
- [8] 郑七振, 王欣, 魏林, 等. 三层框架工业厂房的加层改造与抗震加固 [J]. 建筑结构, 2007 (3): 8-10.
- [9] 丁成章. 结构设计概念与结构安全——欣佳酒店垮塌事故简析 [J]. 住宅与房地产, 2020 (11): 55-64.
- [10] 范惟, 杜树平. 浅析既有建筑改造加固过程中的安全问题 [J]. 建筑安全, 2020, 35 (4): 56-58.
- [11] 夏群. 某轻钢结构厂房坍塌质量事故原因分析 [J]. 建筑工程技术与设计, 2018 (31): 1931.
- [12] GB 50223-2008. 建筑工程抗震设防分类标准 [S]. 中国建筑工业出版社, 2008.
- [13] GB 50011-2010. 建筑抗震设计规范 (2016年版) [S]. 中国建筑工业出版社, 2016.

## Analysis of Seismic Performance of Existing Frame Structure with Local Additions

Ye Yang<sup>1</sup> Liu Yang<sup>1</sup> Zhan Huiming<sup>2</sup>

1. Wu Han Zhong He Zhong Building Science Engineering Co., LTD, Wu Han;
2. Wu Han Yi Heng Engineering Technology Co., LTD, Wu Han

**Abstract:** Taking the reconstruction of four-storey frame structure building (first floor overhead) in the 7th degree area as an example, the seismic performance of buildings before and after partial addition of reinforced concrete floor in the overhead layer was analyzed by using the design and calculation software of Yingjianke. The main seismic performance of the building structure before and after the reconstruction were compared, such as the natural vibration period, lateral displacement, shear to span ratio of column, shear force change of column top and bottom and vertical irregularity of the structure. The calculation and analysis show that the seismic performance of the whole structure does not change much after the reconstruction, but the seismic performance of some components is weakened. The analysis results are of reference significance to the safety appraisal, renovation design and reinforcement construction of local reconstruction engineering of building structures.

**Key words:** Frame construction; Structure transformation; The seismic identification; Performance calculation