

加固技术在提高建筑承载力中的应用研究

——以某多层厂房项目为例

刘伟惠

上海张江(集团)有限公司, 上海

收稿日期: 2026年2月26日; 录用日期: 2026年3月18日; 发布日期: 2026年3月30日

摘要

如何有效提高既有建筑承载力及抗震性能是工程界重点关注的问题。本文以某多层厂房加固改造项目为例, 详细介绍了该厂房的结构现状鉴定及技术可行性, 提出了基础加固和上部结构加固的具体方案。通过沉降变形分析和抗震性能验算, 验证了加固方案的有效性, 为类似工程提供了参考和借鉴, 具有重要的实践意义。

关键词

加固技术, 提升承载力, 抗震性能, 既有建筑

Research on the Application of Reinforcement Technology in Enhancing the Load-Bearing Capacity of Buildings

—A Case Study of a Multi-Story Factory Project

Weihui Liu

Shanghai Zhangjiang (Group) Co., Ltd., Shanghai

Received: February 26, 2026; accepted: March 18, 2026; published: March 30, 2026

Abstract

How to effectively enhance the load-bearing capacity and seismic performance of existing buildings is a key concern in the engineering field. Taking a reinforced and renovated multi-story factory project as an example, this paper provides a detailed analysis of the structural condition assessment

and technical feasibility of the factory. Specific reinforcement solutions for the foundation and superstructure are proposed. Through settlement deformation analysis and seismic performance verification, the effectiveness of the reinforcement measures is validated, offering valuable references for similar projects and holding significant practical implications.

Keywords

Strengthening Technology, Enhancing Load-Bearing Capacity, Seismic Performance, Existing Buildings

Copyright © 2026 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

随着经济、社会和科学技术的不断发展,许多既有建筑面临结构老化、抗震能力不足、功能需求改变、承载力不足等问题,如何有效提高建筑承载力、提升安全性成为工程界重点关注的问题[1]-[4]。本文以某多层厂房加固改造项目为实践案例,深入分析既有建筑安全性能及选择适宜改造加固方案,最终通过加固技术提高建筑承载力及抗震性能,为类似工程提供参考和借鉴。

2. 既有厂房建筑工程概述

以某厂房项目为例,该项目位于上海市浦东新区康桥镇某园区西侧,东西向 49.75 m,南北向 253.4 m,主体包括 1 栋主楼、一栋裙房及地下车库,裙房与主楼相互独立。主楼地上 14 F,框架-剪力墙结构,建筑总高度 56.9 m,裙房地上 4 F,框架结构,建筑高度 23.9 m。厂房(主楼与裙房)下为单层地库,地下一层层高为 4.7 m。楼面均为主次梁现浇板。原厂房主要构件尺寸如下:

- ① 框架柱: 1400 × 800、1200 × 800、1000 × 800、800 × 800、800 × 650;
- ② 框架梁: 500 × 1500、400 × 1500、600 × 1000、400 × 1000、400 × 800、400 × 600;
- ③ 楼板: 地下室顶板 180 mm (室内)/250mm (覆土区),标准层 110~150 mm;
- ④ 基础为桩筏基础,基础底板厚度为 500 mm。混凝土强度等级:基础 C35,地下室 C35,地上 C30;
- ⑤ 基础形式为桩筏基础,主要工程桩型见表 1 所示:

Table 1. Original factory building pile type parameter table

表 1. 原厂房工程桩型参数表

类型	桩型	规格	桩长(m)	承载力设计值(kN)	主要承台类型	厚度(mm)
主楼承压桩	混凝土钻孔灌注桩	Ø700	35	2500	三~五桩承台 多桩承台	1300~1500
裙房承压桩	先张法预应力管桩	PHC500 AB100-1 4, 14	28	1320	两桩~十桩承台	1200~1500
地库抗拔桩	预制方桩	JAZHb-2 35-12 12B	24	660	四~五桩承台	500

3. 改造方案及鉴定结论

3.1. 改造方案

原厂房设计用途为服装加工类生产厂房，楼面均布活荷载为 2.5 kN/m^2 (办公)，生产区域为 4 kN/m^2 。现规划 14F 主楼用途为研发 + 办公楼，规划 4F 裙房用途为 AI + 医械生产，拟将裙房生产区域部分楼面使用荷载提升至 $7\sim 10 \text{ kN/m}^2$ 不等，建筑使用荷载增量超过 5%，根据国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB55021-2021 及沪住建规范〔2020〕3 号文《上海市建筑装饰装修工程管理实施办法》管理规定，应出具房屋安全检测鉴定报告。各层荷载增量方案见表 2 所示：

Table 2. Load increase per floor

表 2. 各层荷载增加方量

楼层	面积(m ²)	增荷面积(m ²)	提升荷载(kN/m ²)
1F	12,430 (包含主楼)	6000	10
2F	10,362 (包含主楼)	3950	10
3F	11,413	2140	8
4F	9105	不作调整	不作调整
顶面	-	-	7

3.2. 结构现状鉴定

本次改造不涉及房屋主体结构与高度改造，仅增加房屋使用荷载。根据国家标准《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB55021-2021 及 GB 50023-2019《建筑抗震鉴定标准》，按后续使用年限 50 年，房屋为 C 类建筑；根据上海市工程建设规范《建设抗震设计规程》DGJ08-9-2013，依据 7 度抗震设防、乙类建筑，框架抗震等级及抗震构造措施均为二级，按改造后方案进行抗震性能鉴定。

抗震鉴定结果：① 房屋建筑结构布局、轴网、层高、梁柱的截面尺寸及梁、柱、板、基础底板配筋等与设计图纸基本一致，个别梁、柱钢筋保护层厚度偏薄；② 房屋目前的结构性损伤为：个别混凝土梁箍筋锈胀、保护层剥落；部分混凝土板面龟裂，局部有修补痕迹。非结构性损伤为：填充墙局部开裂；③ 变形测量结果表明：房屋目前无明显不均匀沉降；④ 各检验批柱、梁混凝土抗压强度分别达到设计值 C40、C35、C30 的要求，基础底板混凝土强度达到设计强度等级 C35；⑤ 抗震措施鉴定结果和抗震承载力验算结果表明，房屋抗震构造措施、承载力和地基承载力存在一定的不足：房屋楼板局部不连续、混凝土柱轴压比不满足要求，拟改造区域部分柱、梁、楼板承载力不满足要求，桩基承载力不满足要求。因此，原厂房需采取抗震加固及补强措施。

3.3. 技术可行性分析

目前增加使用荷载的加固改造方案技术路线相对成熟，建筑装饰过程中主要影响到的房屋结构安全因素包括。

3.3.1. 基础安全性能评估

裙房范围内地库在高水位作用下不存在抗力减少的不利情况，地库抗浮工况整体安全。

经初步计算，现使用荷载较原设计总增量约为 $130,000 \text{ kN}$ ，影响面积近 9000 m^2 ，相当于基底每平方米荷载增量 14.4 kN/m^2 ，根据抗震鉴定报告结论，部分桩基承载力不满足要求，需要采取基础加固措施。

根据抗震鉴定报告，房屋无明显不均匀沉降，具备基础加固的前提条件。依据上海软土地区既有建筑基础加固实践经验，锚杆静压桩加固方法具有受力明确、施工质量易控制、加固成本低、桩基施工无污染、适用室内低净空施工环境等优点，适合本工程基础加固。

3.3.2. 承重构件安全性能评估

根据抗震鉴定报告，部分构件存在结构性损伤包括：个别混凝土存在梁箍筋锈胀、保护层剥落；部分混凝土板面龟裂等，应采取对应的结构加固措施进行处理，以满足构件的正常使用要求。

现有混凝土结构加固技术已相对较为成熟，且有实践应用的改造工程案例，造价与工期均处于可控范围，风险总体安全可控。

3.3.3. 抗震性能评估

抗震鉴定报告结论中存在的体系不规则项，根据上海市《建筑抗震设计标准》DG/TJ08-9-2023 第 3.4.1 条条文明确释义，属于一般不规则体系；因荷载增量引起的轴压比不满足抗震构造措施要求等条款，可以通过构件增大截面的方法，增大受力截面满足轴压比的抗震构造措施要求。

本次装修改造主要为预留使用荷载提升，无加层、插层或扩建行为，不改变结构体系的受力形态与传力路径，不会引起建筑楼层刚度的变化，个别构件采取截面增大法也不会对整体刚度产生很大影响，不会引起建筑抗震性能的变化，方案总体可行。

4. 加固设计方案

4.1. 基础加固设计方案

4.1.1. 补桩加固方案

根据计算，大部分工程桩在承压工况下基本能满足荷载增量后的装修改造要求，但不满足承载力的工程桩主要位于临近主楼侧联合承台及地库柱下承台。考虑均匀、对称以及荷载匹配等补桩原则，补桩位置选择贴近承载力不足的桩基承台一侧，布置在筏板柱上板带，按整体性筏基共同作用分担上部荷载。见图 1。



Figure 1. Diagram of the footing positioning that does not meet requirements before reinforcement

图 1. 加固前不满足要求的承台定位示意图

根据所需补桩的承台性质不同，选用两种桩径钢管桩：承压工况控制的框架柱下承台，采用 $\text{O}377 \times 10$ 钢管桩；抗浮兼承压控制的框架柱下承台，采用 $\text{O}273 \times 10$ 钢管桩以便于在承台上开孔。

4.1.2. 基础补强措施

依据《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008，按最不利条件验算基桩对筏板的冲桩公式计算，原有基础底

板可满足桩冲切要求，但考虑后开孔施工对原有底板可能造成损伤，为增强桩头抗冲切能力，拟在补桩处设置不高于 100 mm 厚度的桩帽，确保补桩后满足构造冲切要求并提高桩与底板的可靠连接。具体措施如下：

- ① 压桩孔的开设：采用薄壁钻机开孔，有效直径 $\text{O}480$ ，一次成孔或套钻成孔。
- ② 压桩反力系统：基础底板上后植 M32 锚杆(孔径 60)，借助上部结构自重作为压桩反力。见图 2。

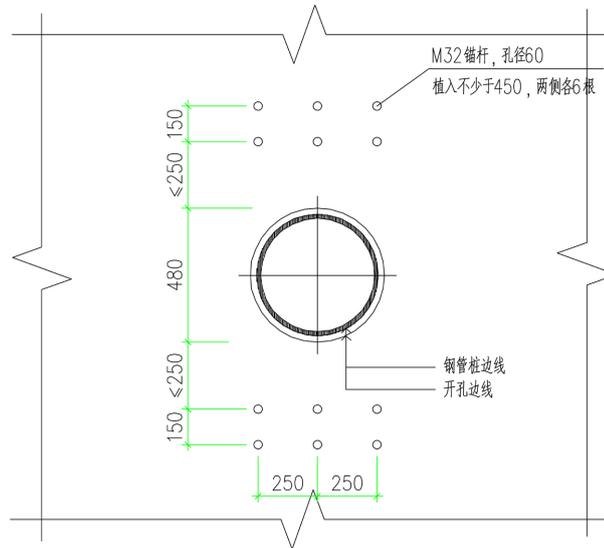


Figure 2. Schematic of anchor rod and pile pressing hole
图 2. 锚杆及压桩孔示意图

③ 桩帽设置：焊接锚杆交叉钢筋并采用 C40 微膨胀细石混凝土浇筑，桩帽高度不大于 100 mm。见图 3。

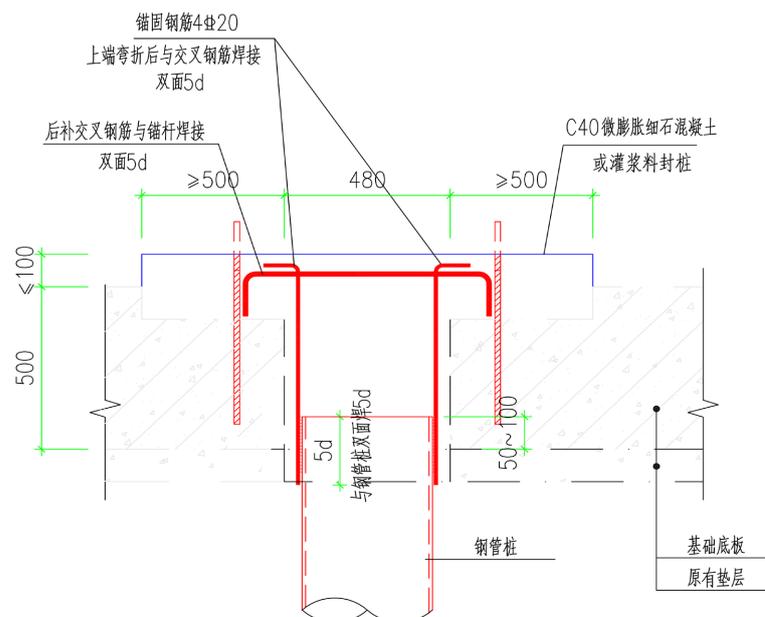


Figure 3. Schematic diagram of pile cap node
图 3. 封桩节点示意图

④ 防水措施：考虑地下室防水抗渗，桩头部分设两道遇水膨胀橡胶止水条。见图 4。

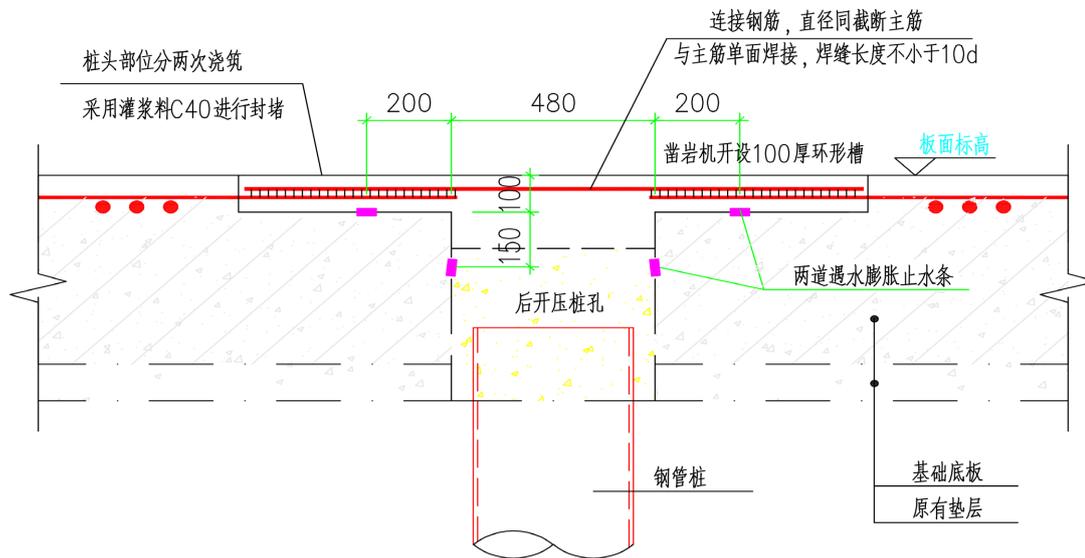


Figure 4. Schematic diagram of back-drilled waterstop measures
图 4. 后开孔止水措施示意图

4.2. 上部结构加固设计方案

材料方面，按高于原设计强度一级的标准，选用 C40/C45 微膨胀细石混凝土、HRB400 钢筋。保护层厚度不足或有局部露筋现象时，采用专业高强结构砂浆进行混凝土缺陷修补，粘结强度不小于 2.5 MPa。混凝土构件裂缝宽度不大于 0.5 mm 时处理采用环氧树脂灌注胶，大于 0.5 mm 时应采用灌浆料沿裂缝剔槽局部置换，植筋选用 A 级植筋胶。

典型构件加固方式

既有建筑在实际工程中常用的改造加固方法一般分为两类：直接加固法和间接加固法。直接加固法采用增大截面法、粘钢加固法、外包角钢加固法和碳纤维增强复合材料加固法等直接加固修复的方法对既有建筑进行改造加固；间接加固法主要采用增设构件法、增设支点法等来提高建筑的整体性能和刚度性质[5] [6] (见表 3)。

Table 3. Reinforcement status of superstructure components

表 3. 上部结构构件加固情况表

采用方法	适用条件	加固节点
增大截面法加固柱	柱轴压比不满足抗震构造措施要求，一级抗震为 0.65，二级抗震为 0.75	主要采取柱双边加固的形式 (考虑地下室不占用车位或避让过道等)
增大截面法加固梁	梁受弯及受剪承载力不满足计算要求(即超筋)	梁单侧、双侧加宽或三侧加大
外粘钢板法加固梁	梁支座顶面配筋或梁底配筋有所不足($\leq 40\%$ 计算值)	梁顶或梁底粘贴钢板加固
叠合面层加固楼板	支座配筋不满足设计要求或挠度变形较大	板面新增一定厚度的现浇混凝土配筋面层与楼板整浇
粘钢加固楼板	楼板支座或板底计算配筋有所不足($\leq 40\%$ 计算值)	板面或板底粘帖单向或双向钢板 (根据板跨受力形式确定)

5. 加固后沉降变形分析及抗震性能验算

5.1. 沉降变形分析

基础沉降变形分析采用上海规范 Mindlin 法、对不同桩型共同作用依照承载力极限值进行刚度分配，经计算，补桩桩顶沉降计算沉降量均不大于 10 mm，可满足正常使用要求。补桩后的桩顶沉降计算云图见图 5。

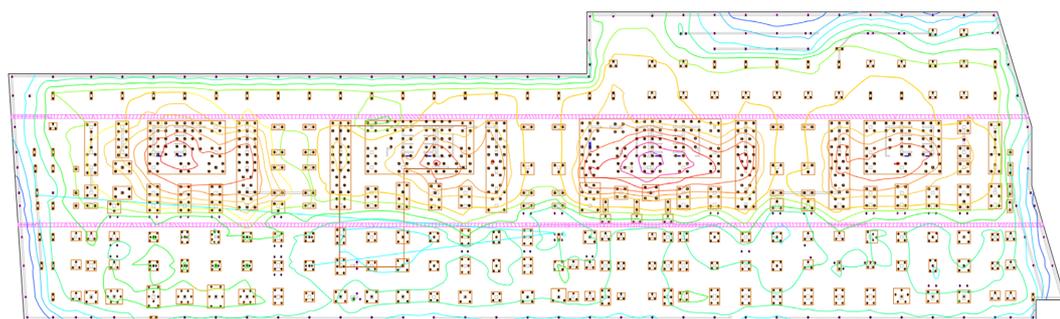


Figure 5. Calculation of basement settlement after pile reinforcement
图 5. 补桩后的地库沉降计算

5.2. 加固后抗震性能验算

本项目采用北京盈建科软件股份有限公司的 YJK 建筑结构设计软件系统 V7.0 对建筑物抗震性能进行分析计算。

厂房主楼结构形式为框架-剪力墙，裙房结构形式为框架结构，根据抗震缝分为南楼、北楼、中楼进行计算，均视为按嵌固在地下室顶板，属于多层超限结构。

1) 南楼

加固前地下室有 3 处柱轴压比在 0.76~0.82 之间，超过 0.75 的限值(见图 6)，采用四周增大截面法加固。加固后柱轴压比均能满足二级抗震轴压比不大于 0.75 的限值要求。

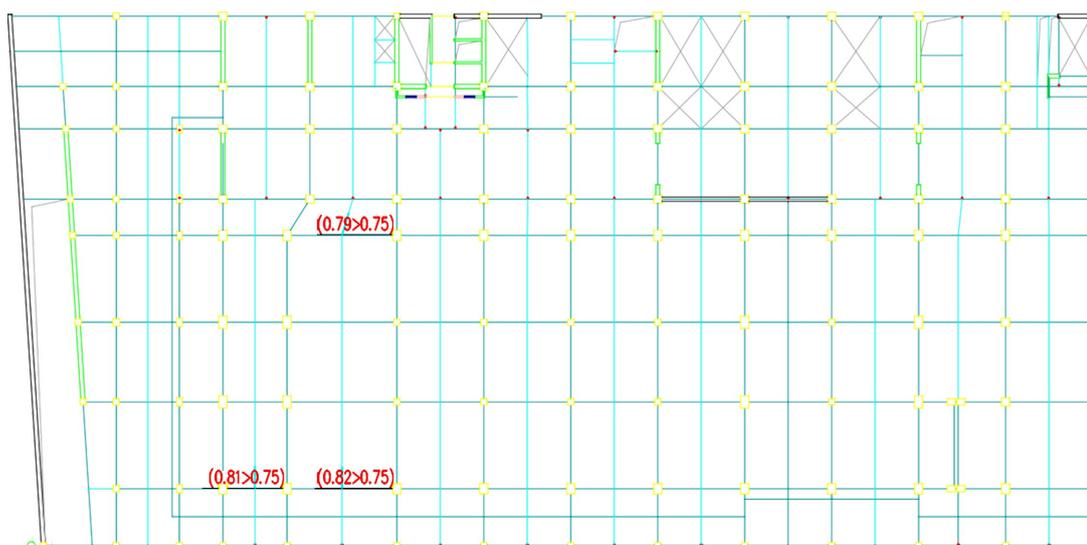


Figure 6. Column axial compression ratio exceeding limit on basement level 1-before reinforcement of south building
图 6. 南楼地下一层柱轴压比超限 - 加固前

a) 多遇地震下的结构变形验算, 见表 4:

Table 4. Summary of structural deformation verification results for the south building
表 4. 南楼结构变形验算结果汇总

指标项		汇总信息
最小刚度比	X 向	1.00 > [1.0] (5 层 1 塔)
	Y 向	1.00 > [1.0] (5 层 1 塔)
楼层受剪承载力	X 向	0.94 > [0.80] (3 层 1 塔)
	Y 向	1.00 > [0.80] (5 层 1 塔)
结构自振周期(s)	X	1.0939
	Y	1.0586
	T	0.9000
有效质量系数	X 向	99.97% > [90%]
	Y 向	98.84% > [90%]
最小剪重比	X 向	7.27% > [1.60%] (2 层 1 塔)
	Y 向	7.10% > [1.60%] (2 层 1 塔)
最大位移角(地震)	X 向	1/572 < [1/550] (3 层 1 塔)
	Y 向	1/582 < [1/550] (3 层 1 塔)
最大位移角(风)	X 向	1/8337 < [1/550] (3 层 1 塔)
	Y 向	1/3339 < [1/550] (3 层 1 塔)
最大位移比	X 向	1.02 < [1.50] (5 层 1 塔)
	Y 向	1.24 < [1.50] (2 层 1 塔)
最大层间位移比	X 向	1.03 < [1.50] (5 层 1 塔)
	Y 向	1.26 < [1.50] (5 层 1 塔)
刚重比	X 向	34.18 > [10.00] (3 层 1 塔)
	Y 向	37.29 > [10.00] (3 层 1 塔)

b) 罕遇地震作用下的结构变形验算见表 5:

Table 5. Summary of structural deformation verification results for the south building
表 5. 南楼结构变形验算结果汇总

指标项		汇总信息
罕遇地震作用下弹性平均层位移	X 向	1/57 < [1/55] (2 层 1 塔)
	Y 向	1/65 < [1/55] (2 层 1 塔)

2) 中楼

加固前地下室有 5 处柱轴压比在 0.82~0.90 之间, 一层有 2 处柱轴压比在 0.76~0.78, 超过 0.75 的限值(见图 7 和图 8)。加固后柱轴压比均能满足二级抗震轴压比不大于 0.75 的限值要求。

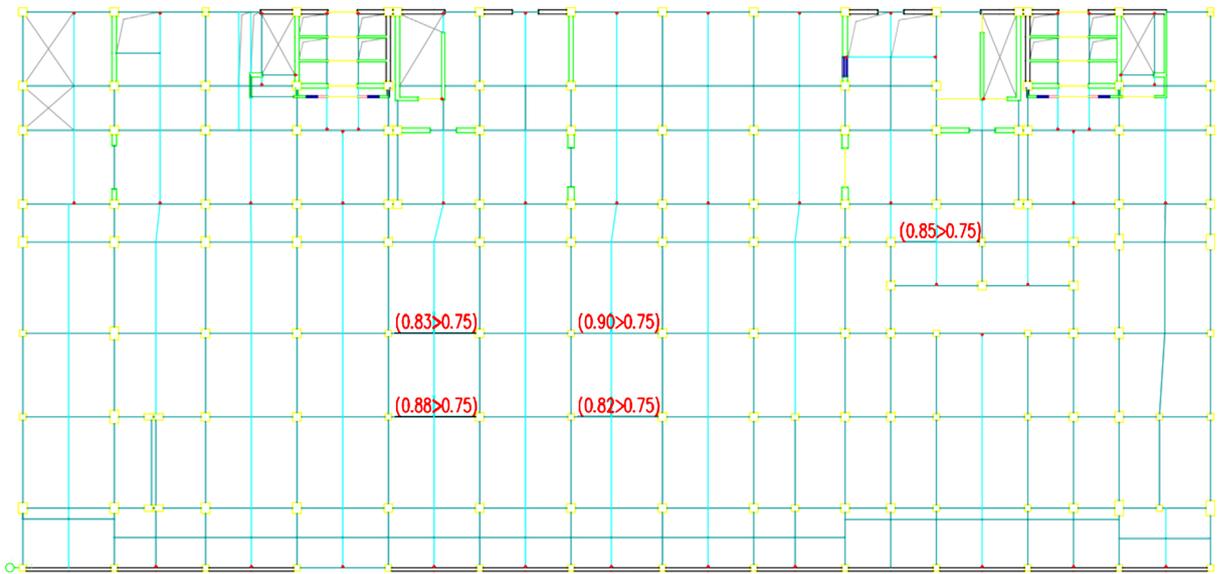


Figure 7. Column axial compression ratio exceeding limit on basement level 1-before reinforcement

图 7. 地下一层柱轴压比超限 - 加固前

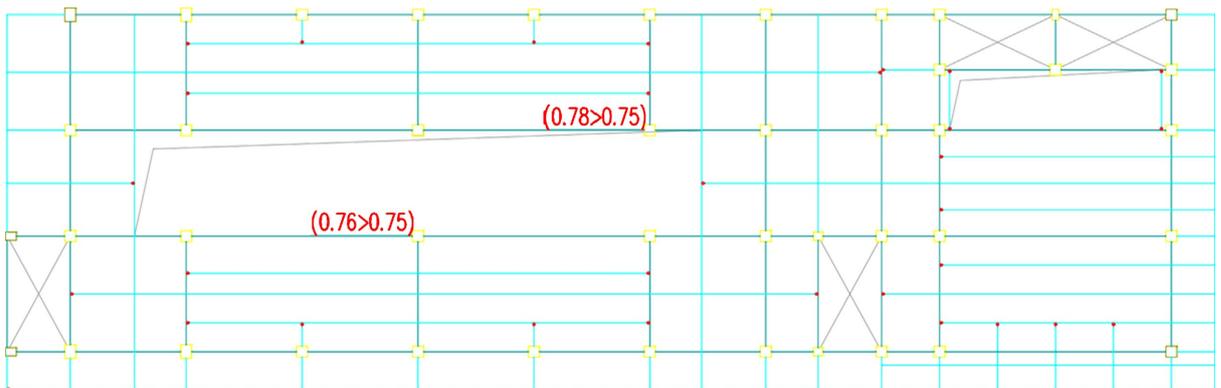


Figure 8. Axial compression ratio of first-floor columns exceeding limit-before reinforcement

图 8. 一层柱轴压比超限 - 加固前

a) 多遇地震下的结构变形验算，见表 6:

Table 6. Summary of deformation verification results for mid-rise building structures

表 6. 中楼结构变形验算结果汇总

指标项		汇总信息
最小刚度比	X 向	1.00 > [1.0] (5 层 1 塔)
	Y 向	1.00 > [1.0] (5 层 1 塔)
楼层受剪承载力	X 向	1.00 > [0.80] (5 层 1 塔)
	Y 向	1.00 > [0.80] (5 层 1 塔)
结构自振周期(s)	X	1.0164
	Y	1.0682
	T	0.9585

续表

有效质量系数	X 向	100.00% > [90%]
	Y 向	100.00% > [90%]
最小剪重比	X 向	6.87% > [1.60%] (2 层 1 塔)
	Y 向	6.72% > [1.60%] (2 层 1 塔)
最大位移角(地震)	X 向	1/647 < [1/550] (3 层 1 塔)
	Y 向	1/552 > [1/550] (3 层 1 塔)
最大位移角(风)	X 向	1/9999 < [1/550] (3 层 1 塔)
	Y 向	1/3239 < [1/550] (3 层 1 塔)
最大位移比	X 向	1.03 < [1.50] (2 层 1 塔)
	Y 向	1.28 < [1.50] (2 层 1 塔)
最大层间位移比	X 向	1.03 < [1.50] (2 层 1 塔)
	Y 向	1.28 < [1.50] (2 层 1 塔)
刚重比	X 向	39.02 > [10.00] (2 层 1 塔)
	Y 向	36.96 > [10.00] (3 层 1 塔)

b) 罕遇地震作用下的结构变形验算, 见表 7:

Table 7. Summary of deformation verification results for mid-rise building structures

表 7. 中楼结构变形验算结果汇总

指标项	汇总信息	
罕遇地震作用下弹性平均层位移	X 向	1/61 < [1/55] (2 层 1 塔)
	Y 向	1/63 < [1/55] (2 层 1 塔)

3) 北楼

柱轴压比经计算均满足二级抗震轴压比不大于 0.75 的限值要求。

a) 多遇地震下的结构变形验算, 见表 8:

Table 8. Summary of structural deformation verification results for the north building

表 8. 北楼结构变形验算结果汇总

指标项	汇总信息	
最小刚度比	X 向	1.00 > [1.0] (5 层 1 塔)
	Y 向	1.00 > [1.0] (5 层 1 塔)
楼层受剪承载力	X 向	0.97 > [0.80] (4 层 1 塔)
	Y 向	0.96 > [0.80] (4 层 1 塔)
结构自振周期(s)	X	1.0403
	Y	1.0489
	T	0.8700

续表

有效质量系数	X 向	100.00% > [90%]
	Y 向	99.95% > [90%]
最小剪重比	X 向	6.05% > [1.60%] (2 层 1 塔)
	Y 向	5.76% > [1.60%] (2 层 1 塔)
最大位移角(地震)	X 向	1/565 < [1/550] (4 层 1 塔)
	Y 向	1/563 < [1/550] (5 层 1 塔)
最大位移角(风)	X 向	1/8416 < [1/550] (4 层 1 塔)
	Y 向	1/3617 < [1/550] (4 层 1 塔)
最大位移比	X 向	1.02 < [1.50] (5 层 1 塔)
	Y 向	1.28 < [1.50] (5 层 1 塔)
最大层间位移比	X 向	1.03 < [1.50] (5 层 1 塔)
	Y 向	1.29 < [1.50] (3 层 1 塔)
刚重比	X 向	38.80 > [10.00] (5 层 1 塔)
	Y 向	37.33 > [10.00] (5 层 1 塔)

b) 罕遇地震作用下的结构变形验算见表 9:

Table 9. Summary of structural deformation verification results for the north building

表 9. 北楼结构变形验算结果汇总

指标项	汇总信息	
罕遇地震作用下弹性平均层位移	X 向	1/56 < [1/55] (4 层 1 塔)
	Y 向	1/80 < [1/55] (4 层 1 塔)

6. 结论

1) 根据房屋抗震鉴定与重建模型分析计算, 本次装修改造方案总体可行, 但由于荷载提高导致部分承重构件如梁、板、柱等承载力不满足要求、柱轴压比超过对应抗震措施容许值、部分承压桩基不满足要求等, 需要采取对应加固措施。

2) 原厂房为多层建筑, 按建筑类型划分应为丙类建筑, 但考虑到平面体型不规则, 所以按照乙类建筑进行抗震性能加强。对柱轴压比不满足的构件采取增大截面法和外粘钢板法进行加固, 能够满足不降低原抗震性能的设防目标。

3) 根据类似工程经验, 对部分承台存在竖向承载力不满足要求, 采用锚杆静压钢管桩加固, 沿承台承载力不足一侧的柱上板带布置, 桩型分别选用桩径为 $\varnothing 273 \times 10$ 、 $\varnothing 377 \times 10$ 钢管桩(Q355B), 经计算可满足承载力、沉降及抗震需求。

参考文献

- [1] 佟旋, 胡利, 张兴富. 城市更新中结构改造与加固技术及应用[J]. 工程抗震与加固改造, 2021, 43(2): 125-129.
- [2] 卞克俭, 谭骞, 叶永毅. 某建筑的加固改造流程和植筋注意事项[J]. 建筑结构, 2021, 51(S1): 1669-1672.

- [3] 李东伟. 既有建筑结构加固改造原则及技术分析[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(8): 77-79.
- [4] 沈彦丞. 抗震加固设计在建筑结构中的应用研究[J]. 居舍, 2023(31): 98-101.
- [5] 杨明月. 多层砼框架结构改造加固的方法及应用[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛理工大学, 2017.
- [6] 孟梓帆, 殷明凯, 张惟宁. 城市更新视野下既有建筑改造加固研究——以江苏园博园改造工程为例[J]. 南京: 金陵科技学院建筑工程学院, 2024(2): 04-06.