

Research and Engineering Application of Reinforced Concrete Frame Structure Column Extraction and Beam Support Reinforcement Technology

Yuan Zhang Lipeng Hao Ming Gao

Western Architectural Seismic Investigation and Design Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710054, China

Abstract

With the acceleration of urban renewal, the demand for functional upgrades and spatial reconstruction of existing buildings has been growing. This study focuses on a commercial building reinforcement project in Shaanxi Province, addressing the design requirements for open spaces on the first and second floors. It analyzes core issues including insufficient overall seismic performance after column extraction, inadequate structural capacity, and construction disturbance control. A comprehensive design approach combining "overall seismic reinforcement + local truss replacement" was adopted, innovatively utilizing temporary-free column extraction and replacement technology. Through theoretical calculations and field measurements, the safety and reliability of the solution were validated. The research demonstrates that increasing cross-sectional reinforcement of frame columns and adding shear walls combined with steel truss replacement effectively resolve structural load path interruption and capacity insufficiency after column extraction. The temporary-free construction technique, which uses demolition columns as temporary supports alongside static cutting methods, significantly reduces construction disturbances, shortens project duration, and lowers costs. 72-hour deformation monitoring revealed a cumulative maximum deformation of only 4.56mm, far below design tolerance and meeting current regulatory requirements. This study provides technical references and practical insights for similar projects.

Keywords

existing building; frame structure; column extraction and beam support; reinforcement and renovation; no temporary support; seismic performance

既有钢筋混凝土框架结构抽柱托梁加固改造技术研究与工程应用

张源 郝李鹏 高明

西部建筑抗震勘察设计研究院有限公司，中国·陕西 西安 710054

摘 要

随着城市更新进程加快，既有建筑功能升级与空间重构需求日益增长。本文以陕西省某商业楼加固改造工程为研究对象，针对1~2层大空间挑空设计需求，分析框架结构抽柱后整体抗震性能不足、构件承载力不足及施工扰动控制等核心问题，采用“整体抗震加固+局部桁架托换”综合设计方案，创新性使用无临时支撑抽柱托换施工技术。通过理论计算与现场实测数据对比，验证方案安全性与可靠性。研究结果表明，增大截面加固框架柱、增设剪力墙结合钢桁架托换的设计方案，可有效解决抽柱后结构传力路径中断、承载力不足问题；无临时支撑施工技术利用待拆除柱作为临时支撑，配合静力切割工艺，显著降低施工扰动、缩短工期、节约造价。工程72小时变形监测显示，累计最大变形量仅4.56mm，远小于设计容许值，满足现行规范要求，可以为类似项目提供技术参考与工程借鉴。

关键词

既有建筑；框架结构；抽柱托梁；加固改造；无临时支撑；抗震性能

1 引言

1.1 研究背景与工程意义

当前，我国城镇化进入存量更新阶段，既有建筑功能升级与空间改造需求持续攀升。商业建筑因业态调整常需进

行大空间重构，业主方时有需进行抽柱托梁需求出现。而对于钢筋混凝土框架结构来说，抽柱后传力路径打破、梁跨度增加，易引发构件承载力不足、整体抗震性能下降等问题。在施工过程中，既有建筑加固改造也需兼顾上部结构安全与周边环境影响，而传统施工的满堂架支撑、增设临时柱、斜撑，交叉支撑等措施往往存在工期长、造价高、施工复杂、对周围业态扰动过大等等弊端，在城市商业建筑改造项目中

【作者简介】张源（1992-），男，中国四川绵阳人，本科，工程师，从事土木工程研究。

时常没有应用条件。因此,开展既有框架结构抽柱托梁加固改造技术研究,优化设计方案与施工工艺,具有一定程度上的理论价值与工程意义。本文依托陕西省某商业楼改造工程,探讨设计优化、施工创新及效果验证方法,为同类工程提供技术参考。

1.2 国内外研究现状

国外对抽柱托梁技术研究起步早,广泛采用钢桁架、型钢混凝土梁等托换结构,结合精细化建模与抗震性能设计,技术体系成熟。相较而言,国内对此类技术研究较少;

本工程采用基于整体模型与局部模型结合的计算方法进行设计,采用增大截面法、粘钢加固法方式进行构件加固,“托换结构+抗震墙”组合方案有效提升了抽柱后结构的整体抗震能力,采用在抽柱所在托梁下增设桁架的方式解决了抽柱之后托梁强度、变形方面可能出现的问题。

施工方面,传统临时支撑方式存在诸多弊端,本工程创新性采用的无临时支撑施工技术,通过利用待拆除构件承载能力,避免临时支撑设置,在国内高烈度区、大跨度框架结构中应用案例较少,具备参考借鉴意义。

1.3 研究内容与技术路线

主要研究内容:

(1) 抽柱后结构整体抗震性能与构件承载力分析,明确设计难点;

(2) 制定整体加固与局部托换结合的设计方案;

(3) 无临时支撑施工技术创新与实践;

(4) 通过现场变形监测验证方案有效性。

技术路线:

(1) 基于工程概况与设计目标,建模计算识别设计难点;

(2) 制定综合加固方案;创新施工工艺;

(3) 对比监测数据与设计值,评估加固效果。

2 工程概况

2.1 工程基本信息

本工程为陕西省某商业楼,建成于2018年,总建筑面积约12000 m²,系钢筋混凝土框架结构。本工程地上6层、地下2层,地下1~2层为设备机房与停车场,地上为商业用途。基础采用筏板形式,整体与贴临建筑防震缝脱开,结构可独立计算。

2.2 结构设计参数

抗震设防烈度8度(0.2g),第二组;场地类别Ⅱ类,特征周期 $T_g=0.40s$;框架结构抗震等级一级;设防分类丙类,设计使用年限50年;基本风压 $\omega_0=0.35kN/m^2$,地面粗糙度C类;计算时楼面活荷载按现行《通用规范》取值。

2.3 改造需求与设计目标

业主需将1~2层部分区域改造为挑空大空间,拆除1~2层2根框架柱及周边部分梁板,原框架梁跨度由6.5m增至13m。设计目标:

(1) 改造后结构整体抗震性能,关键指标均应满足规范要求;

(2) 托换结构及原有构件承载力满足荷载要求,挠度及变形情况满足规范要求;

(3) 施工最大限度减少对原有结构扰动,避免结构损伤。

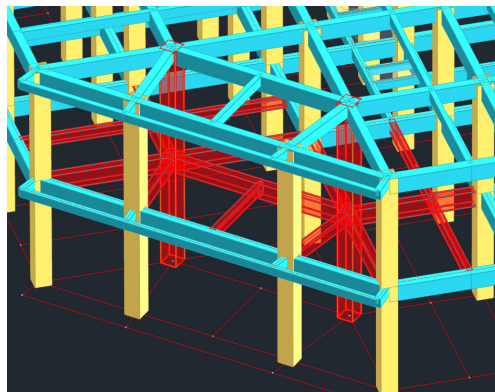


图1 改造部分示意图

3 设计难点与技术分析

3.1 整体抗震性能优化难点

原结构满足8度设防要求,抽柱后受力体系显著变化:

(1) 因拆除底层部分框架梁柱,导致整体结构抗震性能(如楼层位移角等大指标)及部分构件截面及配筋不满足规范要求;

(2) 周边框架柱轴压比增大,原设计值0.65,抽柱后增至0.82,接近一级框架柱轴压比限值0.85,安全储备不足。

3.2 构件承载力与变形控制难点

拆除框架柱后,原结构跨度6.5m的框架梁变为跨度13m的托梁,面临承载力不足与变形过大的双重问题:

(1) 承载力方面,抽柱所在上方原框架梁按6.5m跨度设计,根据抽柱后模型计算,承载力及现有配筋均无法满足13m跨度下的荷载要求。需通过加固措施提升构件承载力;

(2) 变形方面,大跨度托梁在恒载与活载作用下易产生过大挠度,影响正常使用。整体计算后原梁在13m跨度下的计算挠度略超过规范限值,但考虑到上部结构的约束作用,实际挠度需控制在更严格范围内,为安全起见,本工程在进行托梁加固时采用原结构模型中需拆除柱二层顶部轴力(基本组合1.3恒+1.5活)作为集中力,不考虑结构上部刚度进行计算。

3.3 施工扰动控制难点

既有商业建筑改造施工常存在以下控制难点:

(1) 传统施工措施往往采用满堂架支撑,增设临时柱,八字形或交叉斜撑作为临时支撑,占用大量室内空间,影响出入及商业运营,且工期长、造价高,对商业建筑物已完成的装修面产生破坏情况;

(2) 待拆除柱与周边构件连接紧密, 拆除过程中若采用风镐、机械破碎等方式, 易产生振动, 导致原有结构混凝土开裂、影响钢筋与砼的可靠连接, 影响结构耐久性;

(3) 施工过程中支撑增设和拆卸都会导致结构受力状态变化, 增设支撑过多时需分批拆除临时支撑, 避免荷载突变引发内力重分布过大。

4 加固设计方案

4.1 整体抗震加固方案

针对抽柱后整体抗震性能不足, 采用“增大截面加固+增设剪力墙”综合方案:

(1) 框架柱采用增大截面法进行加固: 对抽柱区域周边框架柱采用增大截面法, 增强抗侧刚度与承载力;

(2) 增设部分剪力墙(翼墙): 在原结构外墙拐角及纵横墙交接处, 自地下室~2层增设钢筋混凝土剪力墙, 增

强抗侧刚度、优化刚度分布。设计时, 从调整结构布局方面确保底层框架承担地震倾覆力矩大于总倾覆力矩的 50%, 此时结构类型为少墙框架结构, 计算结果可以满足规范位移比及位移角限值;

(3) 构件粘钢加固: 对部分受力增大的框架梁、柱采用粘钢加固法提升承载力。

4.2 局部托换结构设计

拆除部分周围托梁下方采用增设桁架方式替代原有柱对上部结构的承载能力; 整体计算时, 发现若考虑上部结构整体刚度设计, 因上部结构存在约束, 产生向上拉力, 对拆除框架柱点位梁挠度有降低作用; 所以为安全考虑, 本工程增设桁架采用原结构模型中需拆除柱二层顶部轴力(基本组合 1.3 恒 +1.5 活) 作为集中力, 不考虑结构上部刚度进行计算。

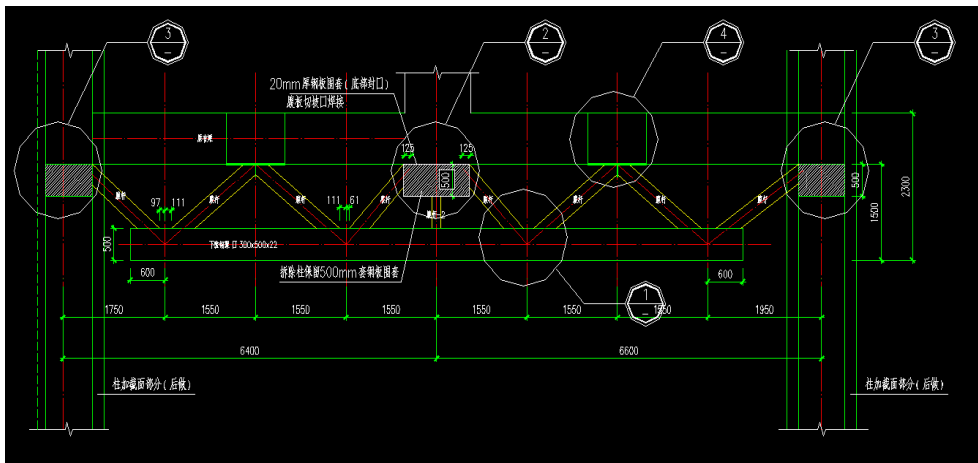


图 2 梁下增设桁架设计图

5 创新施工技术与施工方案

5.1 施工技术创新点

与传统施工方式不同, 本工程创新性采用无临时支撑抽柱托换改造技术: 不增设临时支撑卸荷, 桁架施工时仍由预拆除柱承担荷载; 拆除前在预拆除柱中开洞, 使桁架下弦穿过, 不影响桁架安装焊接; 待托换桁架及其他加固工序完成后, 采用静力切割拆除预拆除柱。施工全过程对桁架变形、上部结构位移实时监测, 及时调整参数, 保障安全。

5.2 施工流程设计

5.2.1 施工准备阶段

技术准备: 组织技术交底, 熟悉图纸与方案;

现场准备: 清理施工区域, 搭建防护设施, 准备 H 型钢、钢板、结构胶、绳锯切割机机械材料;

测量放线: 采用全站仪定位待拆除柱, 标记桁架安装控制线、开洞位置线等关键点位。

5.2.2 桁架安装与连接阶段

安装 H 型钢柱, 底部用千斤顶顶紧框架梁底部, 确保

传力顺畅;

采用水钻在待拆除柱中开设对穿孔, 孔径略大于桁架下弦;

现场拼装焊接钢桁架, 将桁架下弦穿过柱体开洞处与腹杆焊接, 并对焊缝进行无损检测。

5.2.3 待拆除柱拆除阶段

采用绳锯切割机分段切割待拆除柱, 从下至上, 每段长度 $\leq 1.5\text{m}$; 切割后柱段用起重机吊离, 清理现场; 待拆除柱完全断开, 托换桁架开始工作; 切除柱体剩余部分, 确保完全断开, 同步进行变形检测

5.2.4 监测与验收阶段

变形监测: 桁架安装后、柱拆除过程及拆除后 72 小时内持续监测, 监测频率为拆除后 2、4、12、24、72 小时各 1 次;

质量验收: 检查加固构件、桁架施工质量, 包括焊缝、植筋拉拔强度、混凝土强度等;

竣工验收: 整理施工资料, 组织各方验收。

6 工程加固效果验证

6.1 变形监测结果分析

拆除完成后 72 小时持续变形监测显示：拆除后 2 小时结构出现初始下沉，Z1 柱累计变形 3.69mm，Z2 柱 4.70mm；

4~12 小时变形速率减缓，部分位置轻微回弹，结构趋于稳定；24~72 小时变形趋于平缓，无突变。最终 Z1 柱累计最大变形 4.56mm，Z2 柱 4.45mm，均远小于设计容许值，满足规范要求，表明无临时支撑施工技术安全可靠，托换桁架承载效果良好。

表 1

监测时间	柱号	单次变形量（- 下沉）	累计变形量	备注
拆除后 2 小时	Z1	-4.04	-3.69	桁架开始承担荷载，结构出现初始下沉
	Z2	-2.27	-4.70	
拆除后 4 小时	Z1	-1.30	-3.82	变形速率减缓，结构趋于稳定
	Z2	1.80	-4.52	部分回弹，属正常受力调整
拆除后 12 小时	Z1	-0.66	-3.16	变形量持续减小，结构稳定性提升
	Z2	1.24	-3.28	
拆除后 24 小时	Z1	-1.09	-4.25	变形趋于平缓，无突变现象
	Z2	1.06	-4.34	
拆除后 72 小时	Z1	-0.31	-4.56	累计变形稳定，满足设计要求
	Z2	0.11	-4.45	

6.2 整体抗震性能验证

加固后采用 YJK 结构计算软件建模计算，对比加固前后关键抗震指标，结果显示楼层位移角、周期比、剪重比指标等均能满足现行规范要求，整体抗震性能达标。

6.3 构件承载力验证

框架梁经变形检测，承载力及挠度均满足设计与规范要求；

框架柱增大截面加固后，轴压比满足要求、抗震性能及承载力显著提升，安全储备充足；

钢桁架焊缝超声波探伤合格率 100%，应力测试实测最大应力 180MPa，远小于 Q355B 钢材屈服强度 355MPa，承载力满足设计要求。

7 结论与展望

7.1 结论

（1）采用增大截面加固框架柱 + 增设剪力墙”的整体抗震加固方案，有效解决抽柱后结构整体抗震能力下降问题，各项抗震指标均能够满足规范；

（2）钢桁架托换结构设计合理，连接节点可靠，能有效承担上部荷载，加固后结构累计最大变形 4.56mm，远小于砼框架梁挠度限值（ $1/400$ ）= $13.5\text{m}/400=33.5\text{mm}$ ，变形控制效果良好；

（3）无临时支撑抽柱托换施工技术创新实用，利用待拆除柱作为临时支撑，配合开洞避让、静力切割工艺，显著降低施工扰动、缩短工期、节约造价，解决传统施工弊端；

（4）施工全过程监测与质量检测表明，设计方案与施

工技术安全可靠，满足业主大空间改造需求，可以为类似项目提供完整技术方案与工程借鉴。

7.2 展望

随着城市更新推进，既有建筑加固改造工程将增多，抽柱托梁技术仍有优化空间：

（1）设计方面，结合 BIM 技术与有限元分析软件精细化建模，优化加固方案；

（2）材料方面，探索碳纤维复合材料、超高强钢材等新型加固材料应用；

（3）施工技术方面，优化无临时支撑工艺，结合智能化监测设备实现实时预警与动态调整；

（4）标准规范方面，建议制定专门技术规程，明确设计、施工、验收要求，促进技术规范应用。未来需持续总结经验、创新技术，为城市更新提供更可靠、高效、经济的技术支撑。

参考文献

[1] GB 50011-2010,建筑抗震设计规范（2016年版）[S].
[2] GB 50367-2013,混凝土结构加固设计规范[S].
[3] JGJ 145-2013,混凝土结构后锚固技术规程[S].
[4] 程绍革,任卫教.钢筋混凝土框架结构抗震加固方法综述[J].建筑科学,2001,(03):4-7.2001.03.002.
[5] 李视令,梁发云.钢筋混凝土框架梁柱节点的抗震加固[J].建筑技术,2001,(06):375-377.
[6] 田飞.钢筋混凝土结构改造施工中加固方法优选研究[D].西安建筑科技大学,2015.