

DOI: 10.7672/sgjs2025120052

某混凝土楼板缺陷检测与加固研究*

张少雄^{1,2}, 陈力莹^{1,2}, 崔文斌^{1,2}, 冯映雪^{1,2},马奔^{1,2}, 马昭^{1,2}, 肖枫^{1,2}

(1. 陕西省建筑科学研究院有限公司, 陕西 西安 710082;

2. 陕西建科建设特种工程有限公司, 陕西 西安 710082)

[摘要] 详细介绍了某混凝土楼板缺陷检测鉴定过程和方法。依据损伤调查、钢筋配置及保护层检测和混凝土强度检测结果,对缺陷混凝土楼板构件进行了安全性评级及损伤原因分析;对缺陷混凝土楼板进行了针对性加固设计及加固施工处理,解决了缺陷对混凝土楼板承载力及耐久性影响的问题。

[关键词] 混凝土;楼板;缺陷;检测;加固;设计

[中图分类号] TU755.7;TU375

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)12-0052-05

Defect Detection and Reinforcement of a Concrete Floor

ZHANG Shaoxiong^{1,2}, CHEN Liying^{1,2}, CUI Wenbin^{1,2}, FENG Yingxue^{1,2},MA Ben^{1,2}, MA Zhao^{1,2}, XIAO Feng^{1,2}

(1. Shaanxi Architecture Science Research Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710082, China;

2. Shaanxi Jianke Construction Special Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710082, China)

Abstract: This paper introduces the process of detection and identification of defects in a certain concrete floor, as well as the methods exploited. Through a comprehensive assessment involving damage inspection, reinforcement configuration analysis, cover layer thickness evaluation, and concrete strength measurement, the safety rating and underlying causes of floor defects were systematically investigated. Based on these findings, a targeted reinforcement design and remedial construction strategy were implemented to mitigate the impact of defects on structural integrity and durability.

Keywords: concrete; floors; defect; detection; reinforcement; design

0 引言

混凝土是由水泥作为胶凝材料,砂、石作为集料,然后与水(可含外加剂和掺合料)按一定比例配合搅拌得到^[1-2]。在生产和应用过程中,混凝土会因为各种原因出现蜂窝、麻面、开裂及强度不足等缺陷^[3-4]。

混凝土缺陷的形成是多重因素交织作用的结果。其中,集料含泥量高、级配失衡及外加剂掺配不当等因素会直接削弱混凝土强度与耐久性;施工过程中,搅拌不均、振捣不密实、浇筑分层不当或养护缺失(如温、湿度失控)易形成蜂窝、麻面及早期塑性裂缝;在后期使用中,冻融及氯离子等环境侵

蚀等可能会造成混凝土开裂并影响其耐久性^[5-6]。处理混凝土缺陷问题时,首先需对缺陷进行检测鉴定,然后根据检测鉴定结果分析缺陷产生的具体原因,评估缺陷对混凝土构件承载力的影响,最后对不同类型混凝土缺陷采取针对性处理措施。

本文以某住宅混凝土楼板缺陷为例,对该缺陷进行检测鉴定,并依据检测鉴定结果提出加固设计方案,以解决因混凝土缺陷导致混凝土楼板乃至结构出现的结构安全问题。

1 工程概况

某高层建筑主体结构为地下1层、地上31层剪力墙结构,该地区设计抗震设防烈度为8度(0.20g),设计地震分组为第2组。该建筑结构安全等级为二级,主楼地基基础设计等级为甲级,结构设计工作年限为50年。该建筑其中一户在装修时发现客厅及主卧顶板混凝土存在大面积离析、疏

* 陕西省科协青年人才托举计划项目(20240417);陕西省省级国有资本经营预算科技创新专项资金项目(ZXZJ-2024-015)

[作者简介] 张少雄,工程师, E-mail: 972480265@qq.com

[收稿日期] 2025-03-20

松、孔洞及麻面现象,局部存在露筋、裂缝情况(见图1~3)。



图1 混凝土裂缝及离析

Fig. 1 Cracks and segregation in concrete



图2 混凝土麻面、离析、钢筋漏筋

Fig. 2 Pitted surface, segregation and exposed steel bar in concrete



图3 混凝土孔洞及离析

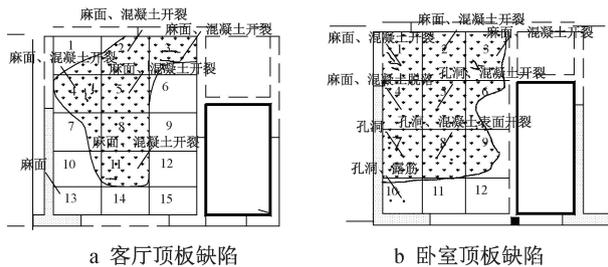
Fig. 3 Voids and segregation in concrete

2 检测鉴定

为了查找客厅及主卧顶板混凝土缺陷原因,确保后期使用安全,对缺陷混凝土楼板的混凝土强度、钢筋配置及损伤情况进行了检测鉴定,具体检测情况如下。

2.1 楼板现状调查

为了准确反映受检房屋客厅与主卧顶板混凝土损伤情况,将客厅与卧室顶板分别划分为15,12块检测区域,依据GB 50204—2015《混凝土结构工程施工质量验收规范》^[7]中现浇结构外观质量缺陷的要求,对该受检区域顶板损伤情况进行了调查,调查发现受检区域顶板存在的缺陷主要是混凝土存在大面积离析、疏松、孔洞及麻面现象,局部存在露筋、裂缝情况,缺陷位置如图4所示(其中阴影区域为缺陷较严重区域)。



a 客厅顶板缺陷

b 卧室顶板缺陷

图4 客厅与卧室顶板缺陷

Fig. 4 Defects in the living room and bedroom ceiling

为了确定混凝土缺陷的具体情况,采用锤击法对混凝土楼板存在缺陷的区域进行缺陷检测。锤击时,存在缺陷的区域声音发闷,正常混凝土区域则声音响亮。用小锤凿开存在缺陷区域后发现缺陷区域厚薄不均,最小缺陷厚度为8mm,最大缺陷厚度为40mm。具体缺陷厚度如下:客厅顶板区域2~5,11对应的最大缺陷厚度分别约为30,25,40,40,12mm,卧室顶板区域1,3~5,7,8对应的最大缺陷厚度分别约为13,15,8,20,30,16mm。

2.2 楼板钢筋配置及保护层检测

根据《混凝土结构工程施工质量验收规范》^[7]的有关要求,现场对该受检房屋客厅与主卧顶板的钢筋配置状况采用钢卷尺、混凝土钢筋检测仪进行了检测。检测结果如表1所示。

表1 楼板钢筋配置

Table 1 Steel bar configuration in the floor slabs mm			
检测位置	设计配筋	箍筋间距	检测结论
卧室顶板	x向: $\phi 8@180$	x向: 182	满足设计要求
	y向: $\phi 8@200$	y向: 199	
客厅顶板	x向: $\phi 8@200$	x向: 202	满足设计要求
	y向: $\phi 8@200$	y向: 198	

依据《混凝土结构工程施工质量验收规范》^[7]中对板类构件钢筋保护层厚度的要求(允许偏差为8, -5mm,且合格率均应 $\geq 90\%$)和GJ/T 152—2019《混凝土中钢筋检测技术标准》^[8]、GB/T 50344—2019《建筑结构检测技术标准》^[9]中对检测仪器、检测数量和检测技术的要求,采用钢筋位置测定仪检测受检区域钢筋保护层厚度。检测结果如表2所示。

该检测区域楼板钢筋设计保护层厚度为15mm。由上述检测结果可知,客厅与卧室混凝土楼板的钢筋保护层厚度检测结果偏差最大为 ± 4 mm且合格率均 $> 90\%$,满足《混凝土结构工程施工质量验收规范》^[7]的相关要求。

2.3 混凝土强度检测

为了全面准确反映受检房屋客厅与主卧顶板

表2 楼板钢筋保护层厚度检测结果

Table 2 Protective layer thickness of steel bars

检测位置	in floor slabs							mm
	测区	钢筋保护层厚度实测值						
主卧顶板	测区 1	13	12	11	13	14	15	14
	测区 2	13	13	15	14	15	14	
	测区 3	13	15	16	17	19	16	
客厅顶板	测区 1	14	15	17	17	18	13	16
	测区 2	15	15	16	19	18	17	
	测区 3	17	14	13	16	11	14	

混凝土现有的实际强度,依据《建筑结构检测技术标准》^[9]和 JGJ/T 23—2011《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》^[10]的要求进行了非破损的回弹法抽样检测,同时根据需要对受检构件的碳化深度进行检测,其现龄期混凝土抗压强度测试结果如表3所示。

表3 楼板现龄期抗压强度检测结果

Table 3 Test results of compressive strength of floor slabs at their current service age

检测位置	抗压强度换算值			现龄期混凝土抗压强度推定值
	平均值	标准差	最小值	
客厅区域 1	33.8	1.15	30.8	31.9
客厅区域 2	—	—	<10.0	<10.0
客厅区域 3	20.2	1.11	18.4	18.3
客厅区域 4	—	—	<10.0	<10.0
客厅区域 5	—	—	<10.0	<10.0
客厅区域 6	38	2.63	33.1	33.7
客厅区域 7	37.5	1.38	34.6	35.3
客厅区域 8	16.6	1.35	15.1	14.4
客厅区域 9	34.6	2.55	30.9	30.4
客厅区域 10	38.1	2.08	34.6	34.6
客厅区域 11	—	—	<10.0	<10.0
客厅区域 12	38	2.37	35	34.1
客厅区域 13	38.8	2.34	35.3	34.9
客厅区域 14	35.5	2.61	33.3	31.2
客厅区域 15	38.2	2.23	34.8	34.5
主卧区域 1	13.6	1.32	11.9	11.4
主卧区域 2	17	1.6	15.2	14.3
主卧区域 3	17.6	1.61	16.1	15
主卧区域 4	12.9	1.09	11.5	11.1
主卧区域 5	—	—	<10.0	<10.0
主卧区域 6	18.6	1.75	16.1	15.7
主卧区域 7	16.7	1.15	15.1	14.8
主卧区域 8	—	—	<10.0	<10.0
主卧区域 9	15.7	1.63	13.3	13
主卧区域 10	37.6	2.39	34.6	33.6
主卧区域 11	22.9	1.64	20.2	20.2
主卧区域 12	22.2	0.84	21	20.8

回弹前需对回弹位置混凝土进行打磨处理,确保检测面平整,并应避免混凝土存在蜂窝、麻面、露筋及浮浆区域。同时,因该户楼上住户已入住,为避免对楼上住户生活产生影响,本次回弹法检测混凝土抗压强度未进行取芯修正。

本工程楼板混凝土设计强度等级为 C30,检测结果表明,该受检房屋客厅顶板区域 2~5、区域 8、区域 11 及主卧顶板区域 1~9、区域 11~12 混凝土现龄期抗压强度显著<30MPa,因此判定受检客厅与卧室顶板混凝土强度已不能满足相应的设计强度等级要求。

2.4 安全性评级及损伤原因分析

依据 GB 50292—2015《民用建筑可靠性鉴定标准》^[11]中第 5.2.1 条的相关规定,混凝土结构构件的安全性鉴定,应按承载力、构造、不适于承载的位移或变形、裂缝或其他损伤 4 个检查项目,分别评定每个项目的等级,并应取其中最低一级作为该构件的安全性等级。综合分析可知,混凝土构件连接构造及周边未发生明显的位移变形,但受检楼板混凝土面层存在大面积离析、疏松、孔洞及麻面现象,且板底存在露筋、开裂等损伤现象,对混凝土构件的承载力造成不利影响,同时,麻面、露筋会削弱构件耐久性。因此,判定受检客厅与卧室顶板构件安全性等级为 d_u 级。

根据现场调查和施工资料核查情况来看,受检混凝土楼板浇筑区域混凝土标准养护及同条件养护试块强度均达到设计要求,且其他施工过程资料也满足养护和拆模时间要求,因此排除了混凝土原材和配合比不满足要求的情况。结合混凝土板面的离析、麻面、疏松及孔洞等现象,可判定造成混凝土结构缺陷的为混凝土浇筑时未振捣密实,导致混凝土表面存在多余空气,使得混凝土在硬化后出现诸多外观缺陷及强度不足情况。

2.5 检测鉴定结论

根据评级结果,受检客厅与卧室顶板构件安全性鉴定等级为 d_u 级,即已严重影响承载力,必须及时采取措施以保证构件及结构承载力。

3 楼板加固设计及处理

针对检测结果中楼板混凝土损伤情况及强度不满足设计要求情况,本次加固方案采用混凝土置换法进行处理。

3.1 加固设计

混凝土置换法是一种针对存在混凝土局部缺陷或强度不足的承重构件加固技术,适用于因施工及外部环境等导致混凝土严重损坏的修复^[12-13]。其原理是通过剔除受损混凝土并替换为高强度或满足特定性能的新材料,恢复构件承载力和耐久性^[14]。根据检测情况,受检混凝土顶板缺陷如图 5,6 所示(图中阴影区域为缺陷位置)。顶板凿除厚度及置换如图 7,8 所示。

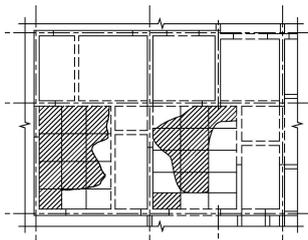


图5 顶板缺陷平面示意

Fig. 5 Plan of ceiling slab defects

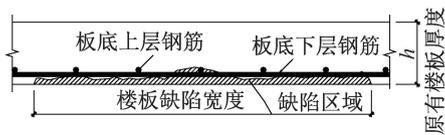


图6 顶板缺陷厚度示意

Fig. 6 Thickness of ceiling slab defects

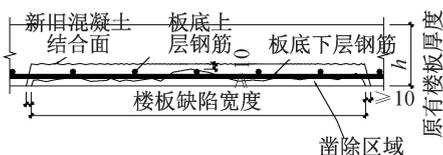


图7 顶板凿除厚度示意

Fig. 7 Chipping thickness in ceiling slab

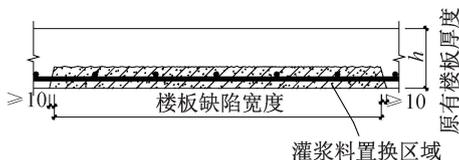


图8 顶板置换示意

Fig. 8 Replacement in ceiling slab

该工程在实施时需注意以下要点:①在施工前需先将顶板上活荷载全部移除并做好支撑及防护措施;②清理、凿除缺陷混凝土至正常混凝土,且每边外扩 $\geq 100\text{mm}$;③置换混凝土材料采用微膨胀无收缩高强灌浆料,其材料参数需满足国家规范中相关要求。

3.2 加固施工

为保证本次施工采用灌浆料满足相应规范要求,施工前将灌浆料原材送至检测单位进行原材检验,检验结果如表4所示。由表4可看出,本次采用灌浆料原材各项性能指标满足规范相关要求。

本工程施工工艺为:钢管支撑 \rightarrow 受损混凝土剔凿 \rightarrow 钢筋修复 \rightarrow 涂刷界面剂 \rightarrow 模板支设 \rightarrow 灌浆料浇筑 \rightarrow 养护。

1) 钢管支撑:为保证施工过程中不会出现楼板坍塌等现象,剔凿前需对未受损顶板区域进行钢管支撑。

表4 灌浆料检验结果

Table 4 Test results of grouting material

序号	检验项目		规范要求		实测值
			1d	≥ 20	
1	抗压强度/MPa	试件尺寸 40mm \times 40mm \times 160mm	3d	≥ 40	42.6
			28d	≥ 60	63.4
			2	截锥流动度/mm	初始值
			30min	≥ 310	331
			3h	0.1~3.5	0.18
3	竖向膨胀率/%	24,3h 膨胀率之差		0.02~0.50	0.06

2) 受损混凝土剔凿:清理、凿除缺陷混凝土至正常混凝土,且每边外扩 $\geq 100\text{mm}$ 。剔凿时需注意不得损伤钢筋,并做好临边防护工作,防止混凝土块落下伤人。

3) 钢筋修复:剔凿完毕后需对顶板底部钢筋进行修复,包括除锈、调直,若有断裂钢筋则需对断裂钢筋进行搭接焊接。

4) 涂刷界面剂:为保证新旧混凝土间的黏结力,需对剔凿清理完后的混凝土进行界面剂涂刷。

5) 模板支设:采用木模板将受损部位进行封闭,模板长度比受损修复区域多出100mm,并在模板底部预留注浆口。

6) 灌浆料浇筑:将灌浆料按生产厂家比例进行配制并使用手持电锤搅拌均匀,采用注浆机将灌浆料注入模板。灌浆料为自密实材料,在灌注过程中无须进行振捣。灌注时注意观察模板内灌浆料走向,待灌浆料灌注到模板边缘溢出时停止灌注,静置5min后观察模板内浆料是否有回落现象,若有则继续补灌至满(浇筑时同时留存灌浆料试块3组)。

7) 养护:灌浆料浇筑完毕后,应在12h内对灌浆料浇水养护,浇水次数以保持高强度灌浆料有足够的润湿状态为准,养护期一般 $\geq 7\text{d}$ 。

3.3 置换混凝土构件强度检测

待灌浆料达到龄期拆除模板后,依据T/CECS 801—2021《回弹法检测水泥基灌浆材料抗压强度技术规程》^[15]的要求,对置换混凝土楼板强度进行了非破损回弹法检测。检测结果如表5所示。

表5 置换混凝土楼板强度检测结果

Table 5 Test results of compressive strength of floor slabs with replacement concrete MPa

检测位置	抗压强度换算值			现龄期混凝土抗压强度推定值
	平均值	标准差	最小值	
客厅顶板	64.7	1.28	60.8	62.8
主卧顶板	65.4	1.36	61.5	63.2

由表5可看出,客厅与卧室顶板置换灌浆料强

度满足规范及设计相关要求。

4 结语

1)通过对缺陷混凝土楼板进行结构损伤调查、钢筋配置与保护层检测及混凝土强度检测,对缺陷混凝土楼板构件进行了安全性评级及损伤原因分析。

2)根据缺陷混凝土的损伤情况针对性地提出了混凝土置换加固方案,并给出了施工要点。

3)依据加固设计方案对缺陷混凝土进行了加固施工处理,并对缺陷混凝土的置换施工工艺进行了详细阐述,研究结果可供类似工程参考。

参考文献:

- [1] 李克非,廉慧珍,邸小坛. 混凝土结构耐久性设计原则、方法与标准[J]. 土木工程学报,2021,54(10):64-71,96.
LI K F, LIAN H Z, DI X T. Durability design of concrete structures: principle, method and standard [J]. China civil engineering journal, 2021, 54(10): 64-71, 96.
- [2] LUO Q J, GE B Z, TIAN Q G. A fast adaptive crack detection algorithm based on a double-edge extraction operator of FSM[J]. Construction and building materials, 2019, 204: 244-254.
- [3] 李琛,骆汉宾,魏威,等. 基于图像的混凝土表面裂缝和孔洞检测[J]. 土木工程与管理学报,2020,37(6):118-123.
LI C, LUO H B, WEI W, et al. Detection of concrete surface cracks and bugholes based on image [J]. Journal of civil engineering and management, 2020, 37(6): 118-123.
- [4] 白伟亮. 某现浇混凝土楼板裂缝检测评定与加固[J]. 建筑结构,2020,50(13):24-29.
BAI W L. Detection assessment and reinforcement of cast-in-place concrete floor cracks [J]. Building structure, 2020, 50 (13): 24-29.
- [5] DORAFSHAN S, THOMAS R J, MAGUIRE M. Comparison of deep convolutional neural networks and edge detectors for image-based crack detection in concrete[J]. Construction and building materials, 2018, 186: 1031-1045.
- [6] 李鲁源,侯菊平,赵江民. 钢筋混凝土缺陷危害评估方法与顶升挤浆修复技术[J]. 施工技术,2015,44(18):13-15,55.
LI L Y, HOU J P, ZHAO J M. Hazard assessment method of reinforced concrete defects and lift-up crowded pulp repair technology [J]. Construction technology, 2015, 44 (18): 13-15, 55.
- [7] 中国建筑科学研究院. 混凝土结构工程施工质量验收规范: GB 50204—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
China Academy of Building Research. Code for quality acceptance of concrete structure construction: GB 50204—2015[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.

- [8] 中国建筑科学研究院,福州市一建建设股份有限公司. 混凝土中钢筋检测技术标准:JGJ/T 152—2019[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.
China Academy of Building Research, Fuzhou Yijian Construction Co., Ltd. Technical standard for test of reinforcing steel bar in concrete: JGJ/T 152—2019[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
- [9] 中国建筑科学研究院有限公司. 建筑结构检测技术标准: GB/T 50344—2019[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2020.
China Academy of Building Research. Technical standard for inspection of building structure: GB/T 50344—2019 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020.
- [10] 陕西省建筑科学研究院,浙江海天建设集团有限公司. 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程: JGJ/T 23—2011[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
Shaanxi Architecture Science Research Institute, Zhejiang Haitian Construction Group Co., Ltd. Technical specification for inspecting of concrete compressive strength by rebound method: JGJ/T 23—2011 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.
- [11] 四川省建筑科学研究院,四川省第六建筑有限公司. 民用建筑可靠性鉴定标准: GB 50292—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
Sichuan Institute of Building Research, Sichuan No.6 Construction Co., Ltd. Standard for appraisal of reliability of civil buildings: GB 50292—2015 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.
- [12] 秦焕朝. 混凝土结构加固方案比较[J]. 建筑技术,2016,47(7):600-601.
QIN H C. Reinforced concrete structure scheme comparison [J]. Architecture technology, 2016, 47(7): 600-601.
- [13] ZHANG Y M, ZHAO Q S, ZHAO K Z, et al. Experimental study on seismic performance of shear wall with insufficient concrete strength strengthened by partial concrete replacement [J]. Structures, 2024, 69: 107537.
- [14] 李春涛,张力,栗增欣,等. 分段置换混凝土在某高层住宅加固中的应用[J]. 建筑科学,2018,34(3):111-117.
LI C T, ZHANG L, LI Z X, et al. Application of concrete-replacing method in reinforcement of a high rise residential building [J]. Building science, 2018, 34(3): 111-117.
- [15] 陕西省建筑科学研究院有限公司. 回弹法检测水泥基灌浆材料抗压强度技术规程: T/CECS 801—2021[S]. 北京:中国计划出版社,2021.
Shaanxi Architecture Science Research Institute Co., Ltd. Technical specification for inspecting of cementitious grout compressive strength by rebound method: T/CECS 801—2021 [S]. Beijing: China Planning Press, 2021.