

DOI: 10.7672/sgjs2025120057

空间置换再造防水层技术在地下室防渗治理中的应用研究*

易术春^{1,2}, 张少雄^{1,2}, 王庆^{1,2}, 李嘉俊^{1,2}, 王鑫娟^{1,2}, 陈力莹^{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] 伴随着混凝土开裂和防水卷材性能降低,地下室渗漏是建筑全生命周期中极易出现的病害问题。空间置换再造防水层具有施工简单、不破坏原结构的优点,且堵漏效果明显,耐久性好,被广泛应用于地下室防渗治理。结合工程实例,针对某一既有地下室渗漏问题进行了检测鉴定,分析了渗漏原因。基于空间置换再造防水层技术,防漏治理采用多道设防,恢复了结构的柔性和刚性防水能力,解决了混凝土底板抗浮问题,有效提高了地下室防渗效果,保障了结构安全和耐久性。

[关键词] 地下室;渗漏;空间置换;防水层;检测;治理

[中图分类号] TU354;TU761.1⁺1

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)12-0057-06

Application of Spatial Replacement and Waterproof Layer Reconstruction Technology in Basement Seepage Control

YI Shuchun^{1,2}, ZHANG Shaoxiong^{1,2}, WANG Qing^{1,2}, LI Jiajun^{1,2},
WANG Xinjuan^{1,2}, CHEN Liying^{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: Basement leakage is a prevalent issue throughout the entire life cycle of buildings, primarily due to concrete cracking and degradation of waterproofing membranes. The spatial replacement and waterproof layer reconstruction technology, characterized by its straightforward construction process, non-destructive nature to original structures, effective leakage sealing, and excellent durability, is widely adopted in basement seepage control. This study investigates leakage issues in an existing basement through a practical engineering case, conducting diagnostic evaluations and analyzing the root causes of seepage. By applying the spatial replacement and waterproof layer reconstruction technology, a multi-layered defense system is implemented in the seepage control. This approach successfully restores both flexible and rigid waterproofing capabilities of the structure, resolves buoyancy resistance challenges in the concrete slab, and significantly enhances the basement's seepage control effect, thereby ensuring structural safety and long-term durability.

Keywords: basement; seepage; spatial replacement; waterproof layer; detection; control

0 引言

建筑防水是建筑工程中至关重要的环节,旨在防止外界水渗入建筑结构或室内空间,避免因水分

侵蚀导致结构损坏、发霉、腐蚀等^[1]。然而,受自然因素、环境条件、管理水平及偶然因素等影响,防水施工质量经常难以保证,渗漏现象时有发生^[2]。

地下室作为现代建筑的重要组成部分,能有效拓展使用面积,满足汽车停放、消防通风设施设置、战时人防等需求^[3]。在使用过程中地下室易出现底板、侧墙、顶板渗漏等防水失效现象,引发墙体受

* 陕西省建筑科学研究院科研项目(2023-11-458, 2024-1-503);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] 易术春,博士,工程师, E-mail: 382544633@qq.com

[收稿日期] 2025-03-18

潮腐烂、混凝土内钢筋锈蚀等问题,从而严重影响地下室使用功能,降低建筑物安全性^[4]。为防止渗漏范围扩大、保障结构安全,需对地下室进行检测鉴定及加固处理。

空间置换再造防水层技术是一种微创修缮技术,核心思想是在不破坏原有结构的基础上,通过“置换”空间内的材料或结构,重新构建高效防水层。本文针对某既有工程地下室出现渗漏问题,通过资料查阅、现场检测和整体建模,分析地下室出现渗漏原因,并基于空间置换再造防水层技术制订了详细的修缮设计方案,旨在指导工程实践,减少类似事故发生。

1 工程概况

某工程位于陕西省西安市,建造于2000年,总建筑面积898.78m²,为地下1层框架-剪力墙结构,层高4.85m。该工程地基土为中软场地土,采用天然地基(含300mm厚砂卵石换填垫层),土层地基承载力标准值为90kPa。基础形式为筏板基础,厚度900mm,框架柱截面尺寸为600mm×600mm,混凝土梁截面尺寸为500mm×850mm,外墙厚300mm,顶板厚200mm。结构平面布置如图1所示(Q1表示剪力墙厚度300mm,Q2表示楼梯间外墙厚度250mm,L1表示框架梁尺寸500mm(宽)×800mm(高))。基础、柱、梁、板混凝土设计强度等级均为C30,钢筋牌号为HPB235,HRB335。该地区抗震设防烈度为8度,设计地震基本加速度为0.20g,建筑抗震设防分类为丙类,设计使用年限为50年,场地类别III类,框架-剪力墙结构抗震等级三级。

防水处理:地下室外墙、底板、顶板均采用自防水混凝土,抗渗等级为S6。外墙外侧抹20厚1:2.5水泥砂浆,后铺SBC120防水卷材,再抹20mm

厚1:2.5水泥砂浆。底板混凝土下铺SBC120防水卷材,上抹20mm厚1:2.5水泥砂浆。

2 历史资料查阅

2.1 修缮历史查询

2000年,地下室开始建设;2004年,地下室出现渗漏水情况,仅通过日常维修及人工清理尚能满足使用;2014年和2017年均采取重新浇筑混凝土地面进行防渗治理;2020年起渗水现象明显加剧,对地下管网进行了整修排查,但渗漏水现象依然存在,且根据每日统计数据分析有严重之势,地下室内多处积水,无法满足正常使用需求,严重影响结构本体及周围建筑物安全。现场积水如图2所示。



图2 现场积水

Fig. 2 Water accumulation on site

2.2 场地资料查阅

根据原建造时地质勘察资料,场地内地下水属潜水类型,稳定水位埋深为4.82~5.04m。场地内地下水对混凝土结构和钢筋混凝土结构中钢筋均无腐蚀性。地基土的渗透系数取(2.5~4.5)×10⁻⁵cm/s。该场地属于I级非自重湿陷性黄土场地,场地土层情况如表1所示。

3 结构安全状况检测鉴定

3.1 建筑物现状调查与检测

根据GB 50292—2015《民用建筑可靠性鉴定标

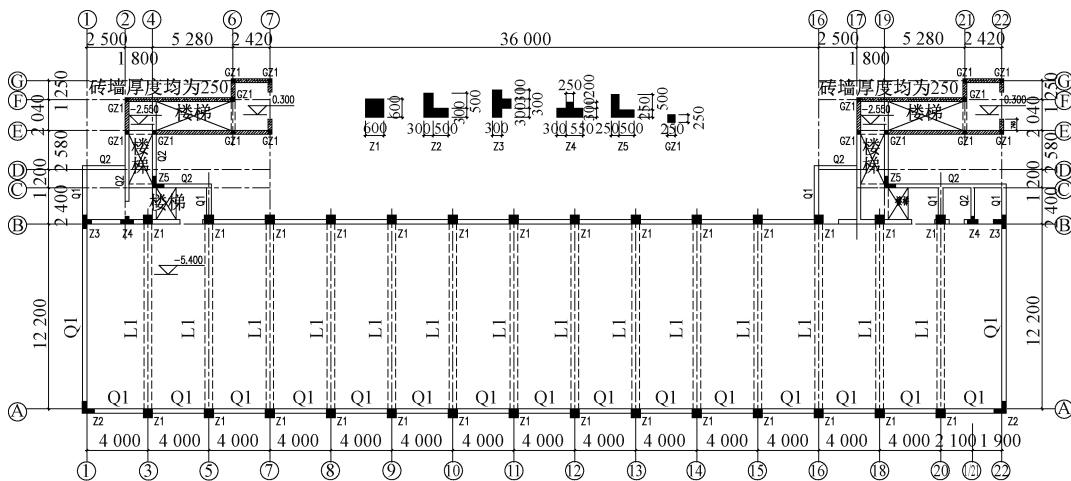


图1 地下室结构平面布置

Fig. 1 Plan layout of basement structure

表 1 场地土层情况

Table 1 Site soil layer conditions

层号	名称	时代成因代号	层底标高/m	厚度/m	土层描述
①	杂填土	Q_4^{ml}	98.330~98.460	1.30~1.40	以黏性土为主,含有较多砖瓦块、石子、炉渣及建筑垃圾,土质松散
②	黄土	Q_3^{2eol}	94.760~95.130	3.20~3.70	黄褐色,以可塑为主,个别土样呈软塑状态,大孔及针状空隙发育,含有少量蜗牛壳,土质均匀,成分为粉质黏土,具有高压缩性
③	黄土	Q_3^{2eol}	86.560~86.830	8.20~8.30	黄褐色,软质流塑状态,以流塑为主,大孔及针状空隙发育,含有少量蜗牛壳,土质均匀,成分为粉质黏土,属高压缩性饱和黄土层,钻探过程中缩孔现象严重
④	古土壤	Q_3^{1el}	14m 钻孔未 穿透此层	最大揭露厚 度 1.10	棕红色,可塑~软塑,以可塑为主,大孔及针状空隙发育,含有较多的白色钙质条纹和少量钙质结核,土质均匀,成分为粉质黏土,属中压缩性土层

准》第 4.3.1 条,现状调查和检测主要包括地基基础、围护结构和上部承重结构 3 个部分^[5]。结果表明:①地基基础,未见主体承重结构存在因地基不均匀沉降产生的开裂、变形或损伤等现象。②上部承重结构,未见混凝土构件存在明显施工缺陷及施工偏差等情况;未见主要承重构件存在明显倾斜、下挠等变形情况;多处承重构件存在开裂和渗漏水现象,室内积水最深处约 400mm。③围护结构,地下室顶板防水层及保护层破损,混凝土墙面粉刷层鼓包、起皮、脱落,抹灰层大面积开裂(见图 3~6),详细残损分布如图 7 所示。



图 3 混凝土侧墙渗水

Fig. 3 Seepage of concrete side wall



图 4 混凝土底板渗水

Fig. 4 Seepage of concrete floor

3.2 建筑物建筑和结构情况检测

根据委托方提供的竣工图,采用钢卷尺、激光测距仪、钢筋扫描仪等仪器对该工程建筑布置和结构情况进行了复核,结果表明:该工程建筑布置和结构情况均符合设计要求和 GB 50204—2015《混凝土结构工程施工质量验收规范》的要求^[6]。

3.3 建筑物底板与侧墙钢筋锈蚀情况检测



图 5 楼梯间外墙渗水

Fig. 5 Seepage of stairwell exterior wall



图 6 楼梯踏步渗水

Fig. 6 Seepage of stair tread

依据 JGJ/T 152—2008《混凝土中钢筋检测技术规程》,采用 SW-3D 型钢筋锈蚀检测仪对混凝土中钢筋锈蚀情况进行了检测,并采用局部剔凿进行了实测验证^[7]。结果表明:该工程墙体除已外露钢筋和预埋件锈蚀明显外,底板和侧墙混凝土中钢筋不发生锈蚀的概率>90%。

3.4 建筑物底板与侧墙外土体密实情况检测

采用 MALA X3M 地质雷达对混凝土底板和侧墙外土体密实情况进行了普查,因长期受水浸泡,底板和侧墙外土体均存在不同程度的不密实现象,其中①~⑫/①~③轴区域底板外和①~⑫/①轴、⑩~⑪/①轴、⑫~⑬/②轴侧墙外土体不密实情况较明显,如表 2 和图 8 所示。

3.5 鉴定结论及建议

通过盈建科软件对该工程进行了整体建模计算,结构验算按原建造时的荷载规范和设计规范进行,结构模型如图 9 所示。结果表明:该工程主要混

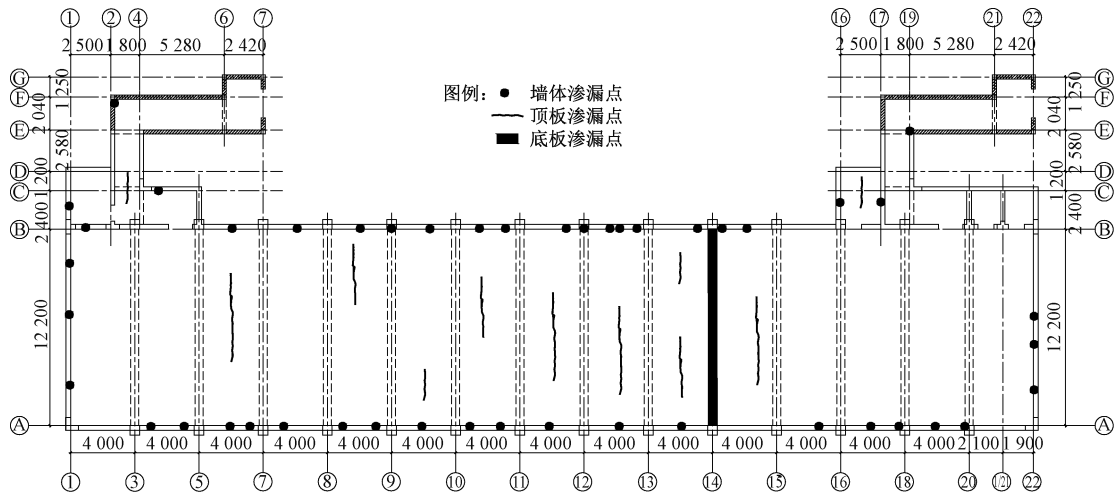


图7 地下室渗水位置分布

Fig. 7 Distribution of seepage location in basement

表2 混凝土底板和侧墙与土体不密实情况检测

Table 2 Compaction integrity inspection between concrete floor/sidewall and surrounding soils

构件编号	缺陷类型	缺陷位置	测线位置	起始深度/m	终止深度/m	缺陷大小(纵向×厚度)/m
混凝土墙 ⑪~⑫/①轴	不密实	位于⑫轴向西0.9m, 距地面1.2m	上→下	0.31	0.51	0.43×0.20
混凝土墙 ⑩~⑪/①轴	不密实	位于⑩轴向东0.1m, 距地面1.6m	上→下	0.35	0.60	0.50×0.25
混凝土墙 ⑫~⑬/③轴	不密实	位于⑫轴向东0.5m, 距地面1.5m	上→下	0.41	0.56	0.37×0.15
混凝土底板 ⑪~⑫/①~③轴	不密实	位于⑪轴向东1.3m, 距①轴向北3.1m	南→北	0.96	1.10	1.28×0.14

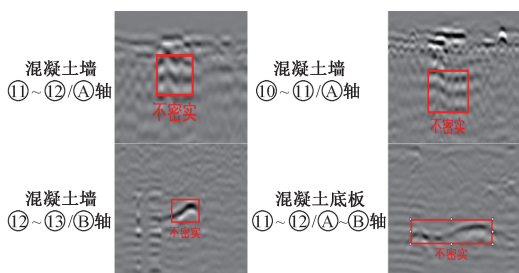


图8 混凝土底板和侧墙外土体不密实缺陷波形
Fig. 8 Waveform signature of compaction deficiency in surrounding soils adjacent to concrete floor and sidewall

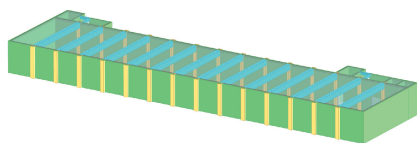


图9 结构验算模型
Fig. 9 Structural verification model

凝土构件(混凝土侧墙、柱和梁)及一般混凝土构件(混凝土顶板)承载力均满足规范要求。综合考虑混凝土构件渗水状况和开裂程度,现状下该工程鉴定系统的安全性等级为 C_{su} 级。抗震鉴定满足GB 55021—2021《既有建筑鉴定与加固通用规范》中A类建筑(后续工作年限为25年)的相关要求^[8]。

由于近年来该工程周边地区地下水位上涨,本次在邻近建筑物外墙40m处进行了水位勘察,稳定水位埋深为2.02~3.15m。为确保地下室后续安全使

用,本次混凝土底板抗浮验算时,抗浮水位取埋深1.00m。验算结果表明:该工程地基承载力、底板冲切受剪承载力和底板局部受压满足规范要求,而混凝土底板抗浮稳定性和底板配筋不满足规范要求。

4 渗漏原因分析

1)混凝土开裂:现场排查中地下室多处混凝土底板、侧墙和楼梯间外墙开裂,混凝土自防水失效,加之该建筑已服役25年,防水卷材防水性能降低,在裂缝处形成渗漏通道。

2)地下水位上升:近年来建筑所处地区地下水位上涨,较设计初期水位上升1.89~2.80m。抗浮水位下,混凝土底板抗浮稳定性和底板配筋已不满足规范要求。

5 结构防渗治理

依据 JGJ/T 212—2010《地下工程渗漏治理技术规程》^[9],结合本工程实际,采用以下防漏治理方法。

5.1 第1道防渗:空间置换再造防水层

地下室底板、楼梯间地面及与土体接触的踏步梯段、地下室侧墙、楼梯间侧墙沿底板或侧墙布置间距 1 000mm×1 000mm 的孔位(施工前采用钢筋扫描仪对钢筋进行定位,避免伤及钢筋),孔深以仅穿透混凝土结构层最佳,不得穿透卷材。埋设直径 14mm 注浆杆,出水即可,布孔方式如图 10, 11 所示。采用双液灌浆设备,通过注浆杆注入不扩散水泥注浆料,灌注方式采取由底板中央向四周扩散、由墙面下部向上部扩散的原则,保持浆料由注浆孔蔓延至相邻灌注点位有浆液流出,堵住灌注点位后进行相邻灌注点位灌注,如此往复扩大灌注范围,将混凝土背后水空间置换成不扩散水泥注浆料帷幕。对于底板下或墙背土体存在局部不密实区域,将注浆嘴穿透结构层后深入土体不密实区进行水泥注浆料注浆处理,与注浆料帷幕共同形成空间置换再造防水层。

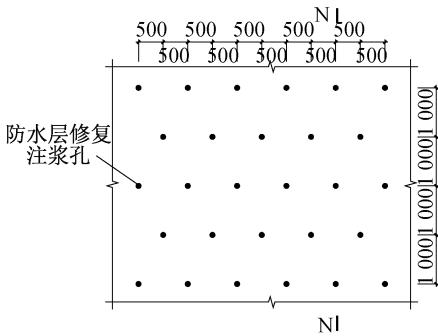


图 10 底板(侧墙)注浆孔布置示意

Fig. 10 Grouting holes layout for the floor (sidewall)

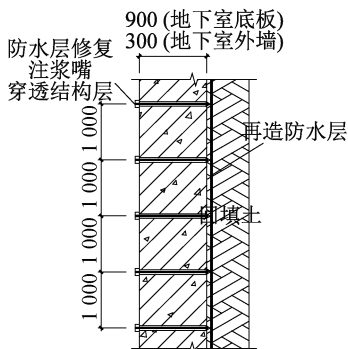


图 11 N—N 断面

Fig. 11 N—N cross section

5.2 第2道防渗:结构本体刚性自防水

地下室底板、楼梯间地面及与土体接触的踏步梯段、地下室侧墙、楼梯间侧墙沿底板或侧墙裂缝间隔 150~200mm 交错布置孔位,沿裂缝分布两侧

用电钻斜向 45° 打孔,孔深宜为 1/2 板厚或墙厚,高压注入高强化学堵漏剂,还原混凝土结构本体刚性自防水性能,布孔方式如图 12, 13 所示。

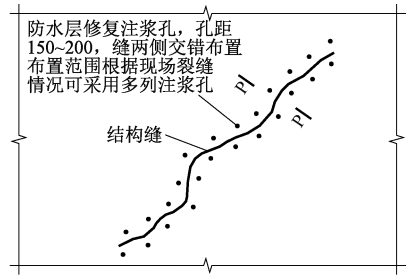


图 12 底板(侧墙)裂缝注浆孔布置示意

Fig. 12 Grouting holes layout for cracks in the floor (sidewall)

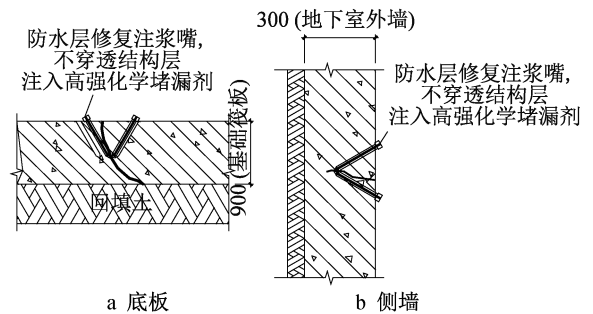


图 13 底板与侧墙 P—P 断面

Fig. 13 P—P cross section of the floor and sidewall

5.3 第3道防渗:混凝土底板抗浮加固

在原混凝土底板板面进行新增钢筋混凝土叠合层施工,叠合层厚 300mm。新增混凝土强度等级为 C35;钢筋为 HRB400,配筋为双层双向 $\phi 12@200$ mm。施工前,清除现有地面饰面层、凿毛结构面并清除浮灰,垂直于地面植入拉结钢筋,拉结钢筋采用 $\phi 12@600$ mm×600mm,呈梅花形布置。叠合层节点大样如图 14 所示。采用 A 级结构植筋胶,其性能指标须满足 GB 50367—2013《混凝土结构加固设计规范》中表 4.4.5 要求^[10];钢筋焊接焊条的选用及焊接质量应满足 JGJ 18—2012《钢筋焊接及验收规程》的要求^[11]。施工时,按底板和侧墙面积分 3 段进行施工,减少单次浇筑体积,并浇水养护 15d,避免温度作用产生裂缝。叠合板的设置有效形成了第 3 道底板渗漏防护,最终底板和侧墙大样如图 15 所示。

增设叠合板后,混凝土底板抗浮稳定性得到有效提高,抗浮稳定系数由加固前的 0.88 提高到 1.06,满足设计要求,抗浮稳定系数提高 20.5%,计算结果如图 16 所示。加固后,地下室净高为 3.70m,仍能满足使用需求。

采取该 3 道防渗治理措施后,截止到目前该工程已正常使用>2 年,防渗治理效果显著,有效保障

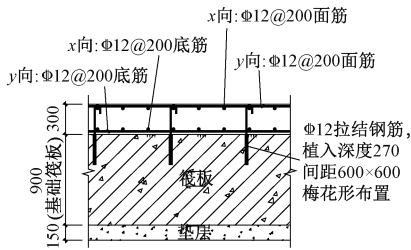


图 14 叠合层节点大样

Fig. 14 Typical connection detail of composite layer

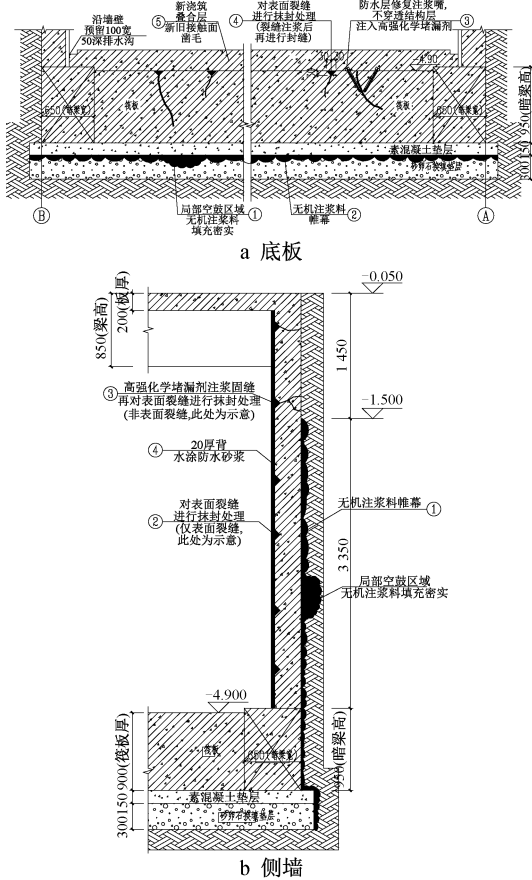


图 15 底板与侧墙防渗治理大样

Fig. 15 Seepage control detail for the floor and sidewall

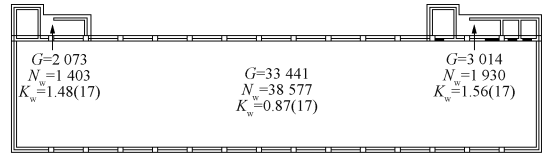
了结构安全性和耐久性。

6 结语

1)地下室在长期使用过程中,混凝土开裂和防水卷材性能降低是结构渗漏的主要原因,地下水位不断上升进一步加剧渗漏现象。

2)空间置换再造防水层是一种微创防漏治理技术,施工时不破坏原结构,可在结构渗漏表面形成新的防水屏障,解决传统方法难以处理的隐蔽渗漏问题。

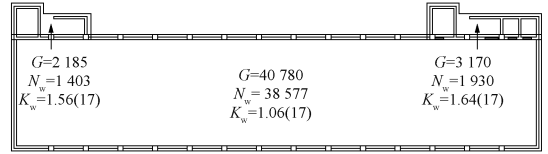
3)采取多道设防的防渗治理措施,恢复了迎水面柔性防水效果,提高了混凝土本体刚性防水能力,解决了混凝土底板抗浮问题,有效提高了地下



抗浮稳定系数 K_w (整体抗浮验算)

输出数值自上而下分别为:压重及自重之和 G (kN),水浮力 N_w (kN), K_w 最不利值及对应组号, $K_w = G/N_w$, G 向下为正, N_w 向上为正, $K_w < [K_w]$ 显红色, $[K_w] = 1.05$

a 加固前



抗浮稳定系数 K_w (整体抗浮验算)

输出数值自上而下分别为:压重及自重之和 G (kN),水浮力 N_w (kN), K_w 最不利值及对应组号, $K_w = G/N_w$, G 向下为正, N_w 向上为正, $K_w < [K_w]$ 显红色, $[K_w] = 1.05$

b 加固后

图 16 加固前后底板抗浮承载力

Fig. 16 Anti-floating bearing capacity of the floor before and after reinforcement

室防渗效果,保障了结构安全性和耐久性。

参考文献:

[1] 胡威旺. 建筑防水节点构造标准化在地下防水工程中的应用 [D]. 武汉: 湖北工业大学, 2015.
HU W W. Application of construction standard for building waterproof joints in underground waterproof engineering [D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2015.

[2] 梁正彪. 住宅工程质量通病控制研究 [D]. 苏州: 苏州科技大学, 2018.
LIANG Z B. Residential construction quality common fault control research [D]. Suzhou: Suzhou University of Science and Technology, 2018.

[3] 陈国庆, 陈研, 刘之渊. 某富水地区住宅地下室外墙渗漏原因分析及处理 [J]. 工程质量, 2024, 42(11): 88-91.
CHEN G Q, CHEN Y, LIU Z Y. Analysis and treatment of leakage of exterior wall about residential basement on a rich water area [J]. Construction quality, 2024, 42(11): 88-91.

[4] 程小春, 傅军, 徐煜佳, 等. 基于敏感性分析方法的地下室外墙渗漏风险判别 [J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2022, 47(3): 452-457.
CHENG X C, FU J, XU Y J, et al. Identification of basement exterior wall leakage risks based on sensitivity analysis method [J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University (natural sciences edition), 2022, 47(3): 452-457.

[5] 四川省建筑科学研究院, 四川省第六建筑有限公司. 的: 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.

验证。

结合案例分析研究结果,对于既有房屋结构损伤的检测鉴定,可基于多维度、多物理量的综合检测并结合数字孪生技术对既有房屋结构损伤进行虚拟映射,按实际结构受力机理和现状损坏原因分析结果,从缺陷、损伤变形等不同角度分别进行模拟等效并统一建模,并对模型计算结果进行多维度分析验证及调整,获得最终数字孪生模型并对损伤程度进行定量判断鉴定。

参考文献:

- [1] 四川省建筑科学研究院有限公司,中国建筑科学研究院有限公司,中冶建筑研究总院有限公司,等.既有建筑鉴定与加固通用规范:GB 55021—2021[S].北京:中国建筑工业出版社,2022.
- Sichuan Institute of Building Research, China Academy of Building Research, Central Research Institute of Building and Construction Co., Ltd., et al. General code for assessment and rehabilitation of existing buildings: GB 55021—2021 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2022.
- [2] 上海市房屋安全监察所,上海市房地产科学研究院.房屋质量检测鉴定标准:DG/TJ 08—79—2024[S].上海:同济大学出版社,2024.
- Shanghai Housing Safety Supervision Institute, Shanghai Real-estate Science Research Institute. Standard for inspection and appraisal of buildings: DG/TJ 08—79—2024 [S]. Shanghai: Tongji University Press, 2024.
- [3] 北京市房屋安全管理事务中心,北京三茂建筑工程检测鉴定有限公司.房屋结构检测与鉴定操作规程:DB11/T 849—

2021[S].2021.

Beijing Housing Safety Management Center, Beijing Sanmao Test & Appraisal of Construction Engineering Co., Ltd. Operating specification for structure testing and appraisal of building: DB11/T 849—2021 [S]. 2021.

- [4] 赵鸿,何涛,赵鸣,等.房屋建筑结构无损检测方法的分析与展望[J].住宅科技,2004,24(1):25-27,42.
- ZHAO H, HE T, ZHAO M, et al. Analysis and prospect of non-destructive examination of civil building structures [J]. Housing science, 2004, 24 (1): 25-27, 42.
- [5] 同济大学,上海市房屋检测中心.既有建筑物结构检测与评定标准:DG/TJ 08—804—2005[S].上海:同济大学出版社,2005.
- Tongji University, Shanghai Housing Inspection Center. Standard of structural inspection and assessment for existing buildings: DG/TJ 08—804—2005 [S]. Shanghai: Tongji University Press, 2005.
- [6] HUANG L, XU Z Y, GAO T H, et al. Digital twin-based non-destructive testing method for ultimate load-carrying capacity prediction [J]. Thin-walled structures, 2024, 204: 112223.
- [7] 聂建国,沈聚敏.钢筋砼梁的斜裂缝宽度[J].建筑结构,1994,24(6):37-40,32.
- NIE J G, SHEN J M. Oblique crack width of reinforced concrete beam [J]. Building structure, 1994, 24 (6): 37-40, 32.
- [8] 中国建筑科学研究院.混凝土结构设计规范:GB 50010—2010(2015年版)[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- China Academy of Building Research. Code for design of concrete structures: GB 50010—2010 (2015 edition) [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.

(上接第62页)

- [6] 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.
- [7] 中国建筑科学研究院.混凝土中钢筋检测技术规程:JGJ/T 152—2008[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- China Academy of Building Research. Technical specification for test of reinforcing steel bar in concrete: JGJ/T 152—2008 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.
- [8] 四川省建筑科学研究院有限公司,中国建筑科学研究院有限公司,中冶建筑研究总院有限公司,等.既有建筑鉴定与加固通用规范:GB 55021—2021[S].北京:中国建筑工业出版社,2022.
- Sichuan Institute of Building Research, China Academy of Building Research, Central Research Institute of Building and Construction of MCC Group, et al. General code for assessment and rehabilitation of existing buildings: GB 55021—2021 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2022.

- [9] 中国建筑科学研究院,浙江国泰建设集团有限公司.地下工程渗漏治理技术规程:JGJ/T 212—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- China Academy of Building Research, Zhejiang Guotai Construction Group Co., Ltd. Technical specification for remedial waterproofing of the underground works: JGJ/T 212—2010 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.
- [10] 四川省建筑科学研究院,山西八建集团有限公司.混凝土结构加固设计规范:GB 50367—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- Sichuan Institute of Building Research, Shanxi Eighth Construction Group Co., Ltd. Code for design of strengthening concrete structure: GB 50367—2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [11] 陕西省建筑科学研究院.钢筋焊接及验收规程:JGJ 18—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- Shaanxi Architecture Science Research Institute. Specification for welding and acceptance of reinforcing steel bars: JGJ 18—2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.