

地下车库结构开裂与渗漏水协同治理的施工技术探讨

潘春锋

上海市浦东新区建设(集团)有限公司 上海 200137

【摘要】：针对地下车库柱顶横向贯穿裂缝、顶板渗水、砌体粉刷层破损的协同劣化问题，经现场检测，理清裂缝形态、超限等级及内部缺陷，混凝土强度合格但裂缝持续发展，据此构建结构补强与防水阻断一体化治理体系。采用改性环氧树脂注浆封堵贯穿裂缝，搭配水溶性聚氨酯注浆及复合防水层处理顶板渗漏，依托挂网抹灰修复砌体，并辅以变形监测防范二次损坏。施工中落实荷载管控、二次高压注浆、蓄水试验等举措，结合前后检测数据核验成效，该方案可有效封缝止水、修复砌体病害，可为同类地下结构整治提供技术借鉴。

【关键词】：框架柱横向裂缝；顶板渗漏；协同治理；注浆封闭；变形监测

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.078

引言

地下车库柱顶横向贯穿裂缝常与顶板渗漏并存，形成结构损伤与防水失效的协同劣化，裂缝渗水会进一步加剧病害发展，单一修复方式无法根治。现场检测显示，柱顶裂缝宽度严重超限，混凝土强度符合设计标准，局部构件波形异常，体现出应力集中损伤特点。覆土仅能让裂缝临时闭合，易受环境影响再次出现病害。为此构建结构补强与防水阻断协同治理体系，综合运用裂缝注浆、渗漏处理、砌体加固及施工动态管控等手段，可有效破解病害循环问题，也能为同类地下车库病害整治提供可行技术方案。

1 地下车库结构开裂与渗漏水现状及问题提出

1.1 混凝土柱顶横向贯穿裂缝分布特征

以上海市浦东新区唐镇新市镇 D-03-05b 地块租赁住宅项目为例，该项目在进入装饰阶段且顶板覆土完成后发现地下一层框架柱顶区域集中出现横向贯穿裂缝，裂缝基本沿柱身横向延伸，环绕多个侧面形成闭合或连通形态^[1]。检测范围内，1至13号框架柱顶部均存在此类裂缝，分布位置集中于柱顶与梁底交接区域。裂缝在不同柱体上的发育程度存在差异，部分柱体单侧面裂缝数量较少，而部分柱体裂缝分布于多个侧面。2至6号、9号、11号及13号框架柱的裂缝宽度超过规范限值0.2毫米，其中6号框架柱裂缝最大宽度达1.21毫米。裂缝延伸长度多在140毫米至600毫米之间，部分裂缝贯穿整个柱截面。裂缝在柱体南侧、东侧、西侧及北侧均有分布，以南侧面和西侧面的出现频率较高。横向裂缝与柱顶距离较近，裂缝走向基本与柱轴线垂直，反映出柱顶区域承受了较大的横向拉应力或约束作用。

1.2 顶板开裂渗水与砌体粉刷层破损情况

同样以唐镇新市镇 03-05b 地块租赁住宅项目为例，装饰阶段期间发现地下一层局部顶板存在明显的横向开裂现象，裂缝贯穿混凝土保护层并伴随渗水痕迹，渗水区域主要集中在27-29/BM-BN轴范围的顶板部位。顶板裂缝的出现为地下水或

上层滞水提供了渗透通道，水分沿裂缝渗入结构内部，导致顶板局部长期处于潮湿状态。同时，相邻区域的砌体结构粉刷层出现大范围脱落与开裂，具体分布于22/BQ-BN轴、BP/26-27轴及26/BQ-BP轴等位置的砌体墙面。粉刷层开裂形态同样以横向为主，裂缝长度不等，局部粉刷层已呈片状剥落，露出内部砌体。渗水与砌体破损相互关联：顶板裂缝渗漏的水分沿墙面下渗，加剧了砌体粉刷层的受潮与老化，粉刷层材料因含水率变化产生体积收缩与膨胀，最终导致粘结力下降、开裂甚至脱落。两者形成协同劣化效应，增加了单一治理措施的难度。

1.3 裂缝宽度严重超限及内部缺陷检测结果

在对该项目地下一层1至13号框架柱现场排查工作中，发现受损构件普遍出现横向贯通裂缝。参照《混凝土结构设计规范》GB50010-2010中0.2毫米的裂缝宽度控制标准，2至6号、9号、11号及13号柱体裂缝宽度超出合规区间，6号框架柱最大裂缝宽度达1.21毫米，大幅超出合规标准，该区域混凝土结构呈现带裂缝受力工作状态。针对受损柱周边外扩一跨范围内23根框架柱开展超声内部缺陷筛查，声速与波形数据研判结果表明，31号柱的3至4号、7号、9至12号测点及32号柱的1至5号、12号测点声速指标达标但波形畸形(见图1)，判定柱体内部存在质量缺陷，其余被测柱体内部结构状态完好。表层裂缝超标与局部内部结构异常的检测结论，可为结构注浆修补及专项整治工作提供详实的数据支撑。

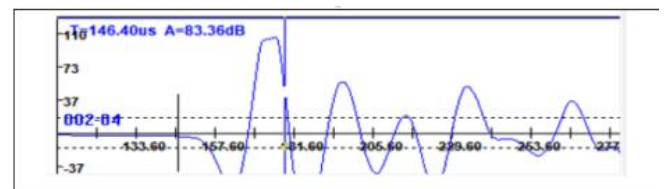


图1:31#框架柱3-4、7、9-12·点异常(典型波形图)

2 结构损伤与渗漏协同成因分析

2.1 框架柱倾斜及截面尺寸复核结果

该项目地下一层检测区域内框架柱的截面尺寸复核工作采用钢卷尺进行抽样测量，结果显示各构件的实际尺寸与设计

图纸基本吻合,最大偏差控制在正8毫米以内,表明施工阶段对模板安装与混凝土浇筑过程的精度控制较为严格,未出现显著的截面缩颈或胀模现象^[2]。针对框架柱的倾斜检测,运用全站仪基于投点法原理进行观测,实测数据表明所有受检立柱的顶点位移量均未超过依据相关标准计算的控制限值。其中,最大倾斜量出现在特定编号的框架柱上,其向北侧的水平位移值为9毫米,而根据建筑层高推导出的允许变形阈值为9.75毫米,实际检测值处于该限值范围之内。这一结果反映出当前结构整体侧向刚度满足要求,柱身不存在因地基差异沉降或外部水平荷载作用而产生的有害倾斜,结构竖向承重体系的稳定性处于可控状态。

2.2 混凝土强度达标但裂缝持续发展的异常性

现场检测数据表明,地下一层框架柱混凝土抗压强度推定区间为36.0MPa至47.3MPa,符合C35结构设计的强度标准,1至13#框架柱顶部却存在贯通性横向裂缝,部分裂缝最大宽度突破《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010设定的0.2mm控制限值,6#框架柱裂缝宽度超标幅度较大,达1.21mm。结构强度达标却伴随裂缝发育的现状,体现地下结构破损机理的特殊属性。混凝土抗压参数仅能体现材料承压性能,柱顶区域集中的局部拉应力与剪应力是产生贯通横缝的主要诱因,地下一层柱顶梁柱节点受力状态复杂,覆土自重、地下水浮托力及温度变动产生的附加内力在此处叠加,节点配筋构造无法有效制约裂缝扩张,优质的混凝土基材强度依旧难以规避结构裂缝的延伸贯通。31#、32#框架柱超声检测波形异常,也佐证了应力集中引发的局部结构损伤无法单凭材料强度指标界定。

2.3 覆土措施对裂缝闭合的影响及环境变化风险

覆土作用于地下室顶板与柱顶,改变了受损构件的受力边界,垂直压力使部分横向裂缝被动挤压闭合。经检测,1#至13#框架柱均出现贯穿性横向裂缝,多处裂缝宽度超出《混凝土结构设计规范》GB50010-2010规定的0.2mm限值,其中6#柱最大裂缝宽度达1.21mm。前期实施的覆土措施缩小了裂缝实测宽度,致使检测结果无法反映构件原始开裂情况,掩盖了结构真实损伤程度。此类覆土促成的裂缝闭合不具备永久稳定性,环境温湿度波动、地下水位升降、地基不均匀沉降及季节性冻胀等外界因素,都会造成裂缝反复开合。地下空间湿度的周期性变化会扰动混凝土内部应力状态,原本闭合的裂缝易受荷载、温湿度循环影响再次扩展。裂缝反复开合会加快内部钢筋锈蚀,持续降低结构承载性能与耐久性能,给地下室整体结构安全埋下隐患。

3 结构开裂与渗漏水协同治理施工技术

3.1 损伤构件修复与裂缝封闭处理方法

针对地库顶板横向开裂及渗水痕迹,协同治理需将结构补强与防水阻断同步实施。对于1~13#框架柱中宽度超0.2mm的

贯穿裂缝,尤其是6#柱宽度达1.21mm的严重裂缝,采用低压慢注改性环氧树脂注浆工艺,注浆压力控制在0.2~0.5MPa,确保浆液渗透至裂缝全深度。注浆孔沿裂缝走向交替布置,孔距约200mm,注浆顺序自下而上,待相邻孔出浆后封闭。注浆完成后,对柱顶区域涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料,利用其二次结晶特性封闭毛细孔道^[3]。对于顶板渗水部位,先剔除松动混凝土与粉刷层,埋设注浆针头注入水溶性聚氨酯浆料,遇水发泡形成柔性堵塞层;待渗漏止住后,采用聚合物改性水泥砂浆修复表面,并整体涂刷两遍聚氨酯防水涂料,形成刚柔复合防水层。砌体粉刷层脱落处,清除后挂镀锌钢丝网,重新抹掺有抗裂纤维的防水砂浆,厚度不小于20mm,压实收光。

3.2 顶板渗漏点注浆及防水层修复技术

针对地下一层27-29/BM-BN轴区域顶板开裂并伴随渗水痕迹的病害,采取注浆止水与面层防水修复相结合的工艺。在顶板渗漏明显部位钻孔埋设专用注浆针头,孔距沿裂缝走向按300mm至400mm交替布置,钻孔深度为顶板厚度的1/2至2/3,避免钻穿底板。采用水溶性聚氨酯注浆材料,该材料遇水后发生发泡反应,体积膨胀数倍,能够有效填充裂缝通道并形成柔性止水层。注浆压力控制在0.4MPa至0.6MPa之间,自低处向高处逐孔压注,当相邻孔口冒出纯浆液后停止注浆并封闭针头。注浆完成48小时后观察渗漏情况,对仍有湿渍的部位进行二次补注。待渗漏完全消除后,清除顶板表面松动混凝土与浮灰,涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料,用量不低于1.5kg/m²,利用其渗透结晶特性封闭毛细孔。表面再施工两层聚合物改性水泥防水涂料,每层厚度控制在1.0mm至1.2mm,上下层涂刷方向垂直,形成完整的复合防水层,确保顶板修复后不再渗漏。

3.3 砌体结构粉刷层修复与变形监测配合

针对22/BQ-BN轴、BP/26-27轴及26/BQ-BP轴等部位砌体结构粉刷层破损脱落的问题,修复前先清除松动空鼓的粉刷层,剔除宽度不小于50mm,露出坚实基层并清理浮灰。在砌体与混凝土柱交接处铺设300mm宽镀锌钢丝网,网孔20mm×20mm,用射钉固定于两侧基体,钉距250mm,以增强抗裂能力。重新抹防水砂浆,厚度分两层施工,每层厚度12mm至15mm,底层刮毛后覆盖上层,压实收光。变形监测配合方面,在地库顶板27-29/BM-BN轴开裂渗水区域及1~13#框架柱布设监测点,柱顶设位移观测标尺,顶板裂缝骑缝粘贴石膏饼及玻璃测微条。监测频率在修复初期每7天采集一次数据,后期调整为30天一次,持续监测不少于3个月,记录倾斜量、裂缝宽度变化及顶板沉降数据。若发现2#框架柱向北倾斜量超过9mm或裂缝宽度扩展超过0.05mm,立即启动预警并加密监测,动态评估修复效果。

4 施工过程控制及治理效果动态评估

4.1 修复过程中荷载变化对裂缝的影响控制

地库修复施工期间,施工荷载、材料堆载及机具振动可能引发裂缝宽度扩展或新增开裂,需严格控制加载速率与分布位置^[4]。损伤区域1~13#框架柱周边2m范围内禁止集中堆载,顶板修复区上方限载不超过5kN/m²,混凝土罐车等重型设备不得驶入该区域。注浆及防水层施工时,采用轻型施工平台替代满堂脚手架,减少对顶板的局部压力。砌体粉刷层修复过程中,分层抹灰厚度控制在12mm~15mm,待底层强度达到70%后再进行上层施工,避免一次性抹灰过厚产生的收缩应力牵拉裂缝。梁底附近的横向贯穿裂缝在注浆完成后,沿柱身环向粘贴碳纤维布进行约束加固,防止后期使用阶段荷载变化导致裂缝重新张开。施工期间在2#、6#、9#柱及27-29/BM-BN轴顶板裂缝处安装位移计和裂缝计,实时监测宽度变化数据,一旦发现裂缝宽度增大大于0.1mm,立即暂停施工并调整作业方案。

4.2 裂缝闭合后渗漏路径再封堵技术措施

检测报告指出地库顶板27-29/BM-BN轴存在开裂渗水痕迹,部分裂缝在覆土压力下有所闭合,但闭合后内部仍可能保留隐性渗水通道。针对这一情况,在裂缝表面注浆封闭完成后,采用高压注浆工艺对闭合裂缝进行二次加固处理。沿裂缝两侧按200mm间距交错布置注浆孔,孔径12mm,孔深控制在板厚的1/2至2/3之间,避免贯穿底板。选用亲水性环氧树脂注浆材料,该材料粘度低、渗透性好,能沿残余缝隙扩散填充^[5]。注浆压力逐步提升至0.6MPa,保持压力3至5分钟,确保浆液充满闭合裂缝内部的所有空隙。注浆结束后,在顶板表面涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料,利用其渗透结晶特性封闭毛细

孔道。对于顶板渗水修复区域,蓄水试验保持水深50mm,持续观察72小时,确认无渗漏后再进行下一道工序施工。

4.3 基于现场检测数据的施工效果验证方法

施工完成后,将修复前检测数据作为基准值进行对比验证。对1~13#框架柱修复前后裂缝宽度变化采用裂缝观测仪复测,原宽度超0.2mm的2~6#、9#、11#、13#柱,注浆后裂缝封闭率应达到100%,表面无可见裂纹。采用超声波检测仪对31#、32#柱原异常点位进行复检,测点布置与原检测保持一致,若声速值回升至3.80km/s以上且波形恢复正常,说明内部缺陷已有效填充。对2#框架柱倾斜量进行全站仪复测,向北倾斜值控制在9mm以内且无明显增量,倾斜率不超过H/400即3.75%。顶板27-29/BM-BN轴渗水区域注浆后,连续观察72小时无湿渍出现,涂刷防水层后进行24小时淋水试验,渗漏量为零视为合格。砌体粉刷层修复后,用空鼓锤敲击检查,空鼓面积不大于0.1m²。所有复测数据与原报告对应点位逐一比对,偏差值在允许范围内方可认定治理效果达标。

5 结语

地下车库结构开裂与渗漏水治理需突破单一补强或堵漏的局限,建立修复与防水协同的技术体系。横向贯穿裂缝、顶板渗水与粉刷层破损相互关联,单纯封闭表面无法阻断劣化链条。裂缝注浆与防水层施工须同步实施,砌体修复应配合变形监测,才能遏制渗漏路径复通与二次开裂。覆土措施虽使部分裂缝闭合,但环境变化仍可能引发损伤反复,加固与监测不可脱离现场检测数据的动态验证。实践表明,结构补强与防水阻断协同作业、修复效果与实测数据闭环校核,是提升地下工程耐久性的有效路径。

参考文献:

- [1] 苗青.某地下车库结构柱开裂原因的分析及防治[J].散装水泥,2021,(3):83-85.
- [2] 韩旭,张靖,李建民,等.某地下车库构件开裂检测与原因分析[J].工程质量,2023,41(S1):173-177.
- [3] 季海峰.某小区地下车库结构检测及裂缝原因分析[J].安徽建筑,2022,29(12):173-175.
- [4] 陈兀煜.浅谈地下车库渗漏水原因及防治对策[J].铁路采购与物流,2022,17(4):58-59.
- [5] 牟强,吕鹏飞,孔淑臻.某单层大型地下车库裂缝和渗漏鉴定分析与处理[J].工程质量,2021,39(4):33-36.