

城市道路检查井周边路面早期破损原因分析与结构优化

王 华

重庆弘钢建设工程监理咨询有限公司 重庆 400000

【摘 要】：城市道路检查井周边路面早期破损是影响道路使用寿命与通行安全的突出问题，其根源在于检查井与周边路面的结构协同性不足及施工质量管控不严。常见破损表现为沉降、裂缝、检查井井盖松动等，不仅增加养护成本，还威胁行车安全。通过分析荷载传递失衡、材料性能差异、施工工艺缺陷等关键诱因，针对性提出结构优化方案，如改进井筒与路面的连接构造、采用梯度刚度过渡设计、强化施工过程质量控制等，可有效提升检查井周边路面的结构稳定性，延长其使用寿命，为城市道路养护提供技术支持。

【关键词】：检查井；路面破损；结构优化；城市道路；早期病害

DOI:10.12417/2811-0536.25.11.080

引言

城市道路检查井作为地下管网系统的重要节点，其周边路面的完好程度直接关系到道路的整体性能。然而，检查井周边往往是路面早期破损的高发区域，破损后的路面不仅影响车辆通行的平稳性，还可能引发检查井结构的连锁损坏，增加后期维修的复杂性。深入探究这一问题的成因，通过科学的结构优化打破“破损-维修-再破损”的恶性循环，既能提升道路的耐久性，又能降低长期养护成本，对保障城市交通顺畅与基础设施安全具有重要意义。

1 城市道路检查井周边路面早期破损的主要原因

1.1 设计环节的结构性缺陷

检查井与路面结构的刚度差异是导致早期破损的核心设计问题。检查井井周路面受荷时，井筒与周边路基的沉降变形不协调，形成刚度突变界面。常规设计中，井圈与井筒的连接多采用刚性锚固，未设置柔性过渡层，车辆荷载反复作用下，界面处易产生应力集中。井周基层结构设计未充分考虑荷载扩散范围，当车轮碾过井边时，荷载通过路面结构传递至井周基层，若基层厚度不足或未采用加筋处理，会加速基层的剪切破坏。此外，检查井井筒顶部高程与路面设计标高的匹配精度不足，施工预留误差超过规范允许范围时，导致后期找平层厚度不均，易在薄层区域形成局部应力集中点。井周路基压实度不足是施工阶段的主要隐患。检查井基坑开挖后，基底原状土受扰动形成松散层，若未进行分层回填或压实机械选型不当，会导致路基压实度低于设计标准。井周路面基层与面层施工时，常因井筒阻碍而采用人工摊铺，振捣密实度难以控制，形成蜂窝麻面等构造缺陷。井筒与路面结构的结合部位未采用嵌锁式施工工艺，界面处存在缝隙，雨水通过缝隙渗入路基，引发冻融循环或唧泥

现象。此外，检查井井盖安装时，井圈与井盖的咬合精度不足，车辆碾压时产生弹跳冲击，加剧井周路面的疲劳损伤。

1.2 材料性能的匹配性缺陷

井周路面材料与检查井构件的物理力学性能不匹配会诱发早期破损。检查井井筒多采用混凝土预制构件，其弹性模量远高于沥青混合料或水泥混凝土路面材料，受温度变化影响时，两者的线膨胀系数差异导致界面产生附加应力。井周回填材料选择不当，若采用砂性土或素土回填，其水稳定性不足，遇水后易发生体积膨胀或损失，导致路基承载力下降。路面面层材料在井周区域未采用改性混合料，其抗变形能力和低温抗裂性不足，难以承受井周复杂受力环境。检查井周边路面的早期病害未得到及时处置，会加速破损进程。车辆超载碾压导致井周路面出现微小裂缝，若未及时进行密封处理，雨水渗入会引发基层软化。井盖松动或沉降后未及时调整，其与井圈的间隙增大，车辆通过时产生的冲击荷载反复作用于井周路面，导致面层碎裂。检查井周边路面的养护作业未采用针对性工艺，常规修补材料与原路面材料的相容性不足，修补部位易出现二次破损。此外，地下管线维修频繁开挖检查井周边路面，回填质量难以保证，形成重复性破损隐患。

2 城市道路检查井周边路面结构的优化路径

2.1 设计层面的结构性优化

针对检查井与路面结构的刚度匹配问题，需构建梯度过渡体系。在井筒与基层衔接区域采用变刚度设计，通过设置渐变式加筋层实现刚度平滑过渡，加筋材料选择玻璃纤维格栅或钢塑复合网，其铺设范围应延伸至井周一定半径区域，形成应力扩散缓冲带。加筋层的铺设方向需与车辆行驶轨迹形成45度夹角，最

大限度分散垂直荷载产生的剪切应力。井周基层结构设计需引入三维有限元分析,根据车辆荷载分布特征优化基层厚度和材料组合,核心受力区可采用水泥稳定碎石掺加玄武岩纤维,纤维长度控制在12-19毫米范围内,通过纤维的桥接作用提升基层抗剪切能力。井筒顶部高程控制实施动态预留机制,结合路面施工阶段的沉降预测数据,预设合理的高程调整余量。对于沥青路面,需考虑摊铺碾压过程中的厚度损失,预留值应包含材料收缩系数与施工机械压实系数的叠加值;对于水泥混凝土路面,则需计入水化热收缩与干燥收缩的综合影响。井周路面结构设计应增加排水构造,在基层与面层之间设置透水性土工布,同时在井筒周边30厘米范围内布设环形排水盲沟,盲沟采用透水土工管包裹的级配碎石,将渗入水引入道路边沟,避免水分在井周积聚。

2.2 施工工艺的标准化革新

井周路基压实采用分层动态控制工艺。基坑开挖后需对基底原状土进行冲击碾压预处理,碾压次数根据土的塑性指数确定,粘性土的碾压次数需比砂性土增加2-3遍,确保基底回弹模量达到设计要求。回填材料采用级配砂石与水泥改良土的混合填料,水泥掺量根据路基干湿类型调整,湿润地区掺量需提高1-2个百分点,每层回填厚度严格控制在规范范围内,压实机械选用小型振动压路机与平板振动器组合作业,边角区域辅以人工夯实,确保井筒周边50厘米范围内压实度达标。路面基层与面层施工采用模块化支模技术,在井周设置可调节式钢模板,模板高度偏差控制在2毫米以内,实现机械摊铺与人工补料的精准衔接。沥青面层施工时启用井周专用摊铺机,配备超声波厚度监测装置,实时调控摊铺厚度和压实温度,碾压过程中采用“先低后高、先轻后重”的原则,井周1米范围内使用小型振动碾压机进行斜向碾压,避免垂直碾压产生的局部沉降。井筒与路面结合部实施嵌锁式施工,采用热熔改性沥青灌注界面缝隙,灌注前需对缝隙进行高压热风清理,确保界面洁净,同时设置遇水膨胀止水条,止水条搭接长度不小于5厘米,形成复合防水体系,阻断雨水渗入路径。

2.3 材料体系的适配性升级

建立检查井周边材料性能匹配体系。井筒构件采用纤维增强复合材料替代传统混凝土,通过调整树脂与纤维的配比降低弹性模量,使井筒与路面材料的弹性模量比值控制在1.5以内,缩小性能差异。同时在井筒外壁涂刷环氧基界面处理剂,处理剂需包含硅烷偶联剂成分,增强与基层材料的粘结强度,界面粘结

强度不应低于0.8MPa。井周回填材料推广泡沫混凝土轻质填料,其干密度控制在600-800kg/m³之间,抗压强度可根据设计要求通过调整水泥用量调控,兼具自重轻和水稳定性强的特点,能有效减少路基沉降。路面面层在井周区域采用高模量改性沥青混合料,基质沥青选用70号或90号,改性剂采用SBS与橡胶粉复合改性,使混合料的动态稳定度达到3000次/mm以上。掺加纳米碳酸钙改性剂提升混合料的抗变形能力,纳米碳酸钙的粒径应控制在50-100纳米,掺量为沥青质量的3%-5%。低温施工时应掺入抗裂剂,抗裂剂选用乙烯-醋酸乙烯共聚物,通过改善沥青的低温延度,使混合料在-10℃时的弯曲应变达到2500μ ϵ 以上,适应井周复杂的温度应力环境。

2.4 运维管理的全周期管控

构建井周路面病害的早期预警与快速处置机制。在检查井周边路面植入分布式光纤传感器,传感器布设呈放射状,从井筒边缘向外每隔30厘米布设一条,深度分别对应面层、基层和路基顶面,实时监测路面结构内部应力应变状态。结合智能算法识别早期病害征兆,当监测数据超过阈值时,系统自动向管理终端推送预警信息,预警等级分为蓝色、黄色和红色,分别对应不同的处置时限。井盖安装采用可调式支座结构,支座由上托盘、下底座和调节螺栓组成,调节范围为±30毫米,当监测到沉降超过阈值时,可通过支座高度微调恢复井盖高程,避免冲击荷载持续作用。养护作业采用微创修补工艺,针对不同类型病害采用专用修补材料。裂缝处置使用热再生改性沥青灌缝胶,施工时采用热风枪对裂缝进行预热,温度达到80-100℃时灌注改性沥青灌缝胶,胶层厚度控制在3-5毫米。坑槽修补采用冷拌环氧沥青混合料,修补前需对坑槽壁进行拉毛处理,涂刷环氧树脂粘结层,混合料压实采用手提式振动夯,确保压实度不低于原路面标准。

2.5 技术标准体系的完善

地下管线维修实施非开挖技术优先原则,优先采用水平定向钻、顶管等工艺,必须开挖时采用模块化围蔽系统,围蔽范围扩大至井周2米,开挖区域回填采用泡沫沥青冷再生混合料,结合同步碎石封层技术增强回填区域与原路面的整体性,封层石料撒布量控制在8-10kg/m²。制定针对性的设计与施工专项规范。在现有道路工程标准基础上,增补检查井周边路面结构的专项技术条款,明确材料性能指标、施工工艺参数和质量验收标准。对于井周压实度,规定井筒周边50厘米范围内需比常规区域提高1-2个百分点;对于

平整度,井周3米范围内的偏差不得超过3毫米。建立井周路面结构的耐久性评估体系,引入全生命周期成本分析模型,将结构设计、施工质量与后期维护成本纳入综合评价框架,评估指标包括初始建设成本、年均养护费用和预期使用寿命。开展检查井周边路面结构的标准化研究,编制系列标准图和施工工法,标准图需涵盖不同路面类型、不同交通荷载等级的典型设计方案,施工工法需明确关键工序的操作要点和质量控制措施。

3 检查井周边路面优化方案的施工应用效果

3.1 结构承载性能的提升

优化方案实施后,检查井周边路面的结构承载能力呈现显著改善。变刚度设计体系通过加筋层的应力扩散作用,使车辆荷载在井周区域的分布更为均匀,避免了传统结构中常见的应力集中现象。三维有限元分析指导下的基层厚度优化,配合纤维增强材料的掺入,增强了基层抵抗剪切破坏的能力,车辆反复碾压时的结构变形量明显降低。动态预留机制确保的井筒高程精度,减少了找平层因厚度不均产生的局部薄弱区,使井周路面在荷载作用下的整体受力状态更为协调。这种结构性优化使检查井周边路面的承载能力与主体路面形成有效匹配,降低了因局部承载不足引发的早期破损风险。排水构造的完善与防水体系的强化,显著提升了井周路面的水稳定性。透水性土工布与环形排水盲沟的组合设置,形成了高效的排水通道,能快速排出渗入基层的水分,避免水分在井周积聚导致的路基软化。嵌锁式施工工艺结合热熔改性沥青灌注的界面处理,有效阻断了雨水通过井筒与路面间隙的渗入路径,减少了水分对路基的侵蚀。遇水膨胀止水条在潮湿环境下的膨胀密封作用,进一步增强了界面的防水性能。这些措施共同作用,降低了因水损害引发的唧泥、冻融破坏等病害的发生概率,使井周路面在复杂水文条件下仍能保持结构稳定性。

参考文献:

- [1] 刘加平.抗变形防沉降的道路宽边井圈结构及其实施方法研究[J].科技日报,2023,(3):1-3.
- [2] 太原新闻网.消除井具病害守护脚下安全[J].太原新闻网,2025,(6):1-2.
- [3] 哈尔滨市人民政府.多措并举“换新颜”全力拉满“进度条”[J].哈尔滨市人民政府,2024,(9):1-2.
- [4] 大小新闻.【我为群众办实事】祥和路改造完工通车啦[J].大小新闻,2023,(7):1-2.
- [5] 乐山新闻网.@广大网友你们在海棠社区反映的这个问题解决了[J].乐山新闻网,2024,(8):1-2.

3.2 行车舒适性的改善

施工工艺标准化与材料性能优化,直接提升了检查井周边路面的行车舒适性。模块化支模技术与专用摊铺机的使用,保证了井周路面的平整度,减少了车辆通过时的颠簸感。可调式井盖支座能够及时调整井盖高程,避免了传统井盖因沉降产生的高差的跳车现象。高模量改性沥青混合料在井周区域的应用,提升了路面的抗变形能力,减少了车辆碾压造成的局部凹陷,使车轮行驶轨迹更为平稳。这些改进使检查井周边路面与主体路面的衔接更为平顺,消除了因结构不连续导致的行车震动与噪音,提升了整体道路的行驶质感。材料适配性升级与全周期运维管控,有效延长了井周路面的使用寿命。纤维增强复合材料井筒与路面材料的性能匹配,减少了温度变化引发的界面应力,降低了因材料收缩差异导致的裂缝产生。泡沫混凝土回填材料的轻质特性与水稳定性,减少了路基的后期沉降,为路面结构提供了长期稳定的基础支撑。早期预警系统能够及时发现并处置微小病害,避免了病害的进一步扩展。微创修补工艺采用的专用材料与原路面材料相容性良好,保证了修补部位的耐久性,减少了重复维修的频率。这些因素共同作用,使检查井周边路面的使用寿命得到显著延长,降低了全生命周期内的维护成本。

4 结语

城市道路检查井周边路面早期破损的有效治理,需从成因分析入手,通过结构优化实现检查井与周边路面的协同工作。优化方案的应用不仅能减少早期破损的发生,还能提升道路的整体承载能力与耐久性,降低养护成本。未来应进一步结合材料科学与施工技术的发展,完善优化设计的细节,强化施工质量监管,为城市道路的长效运维提供更可靠的技术支撑,助力城市基础设施建设的高质量发展。