

# 市政道路检查井周边路面沉降防治技术措施探讨

文 / 吴健茹 广东省六建集团有限公司

**摘要：**在城市快速扩张与道路交通高负荷运行的背景下，市政道路中检查井周边路面沉降问题频发，严重影响道路结构安全与交通运行效率，传统修复方式存在刚度不匹配、响应滞后与工程适应性差等难题。检查井作为地下管网的关键节点，其结构稳定性直接关系到路面完整性与管线功能的长期可靠运行。为提升检查井周边路面结构整体性能，本文立足实际工程案例，从沉降成因出发，系统构建结构设计优化、地基差异加固与监测预警融合的综合防治技术体系，明确关键工艺流程与性能指标控制要求，形成可操作、可复制的技术路径，为保障道路安全、延长设施寿命提供技术支撑，具有重要工程推广价值。

**关键词：**市政道路；检查井；沉降防治；地基加固；结构设计；沉降监测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.042

## 引言

随着我国城市化进程加快与城市交通需求持续增长，市政道路作为城市运行的重要基础设施，其服务功能与结构安全愈发关键。检查井作为雨污水管网、地下管线的接入节点，广泛分布于车行道与人行道下方，在长期车辆碾压、环境侵蚀及施工质量差异等因素影响下，其周边路面常出现不均匀沉降现象，导致路面开裂、错台，既影响行车舒适性与安全性，又增加道路养护成本，甚至可能缩短道路整体使用寿命。在此背景下，急需深入研究检查井周边路面沉降防治技术措施。

### 一、项目概况

某城市核心区主干道综合改造工程位于城市建成区中北部，为连接城市中心商务区与高新技术产业园的重要交通通道，设计等级为一级城市道路，双向8车道，设计时速60公里，全长约4.2公里，沿线分布雨污水、电力、通信、燃气等多类地下管线，其中检查井共计126座，包括雨污检查井78座、电力检查井32座、通信检查井16座，井盖材质以铸铁为主，部分早期建设井体采用混凝土预制结构。该工程于2022年3月启动改造，原道路因长期受重载交通碾压、地下管线渗漏及周边土体扰动影响，改造前已出现检查井周边路面沉降问题，具体表现为：井周3-5米范围内路面存在不均匀沉降，累计最大沉降量达35毫米，差异沉降超过15毫米的区域占比约41%，导致路面出现环状裂缝、井盖错台等现象，严重影响行车舒适性，且增加了道路养护频率。

### 二、市政道路检查井沉降问题分析

#### （一）检查井周边路面沉降的主要原因

在该城市主干道综合改造工程中，检查井周边路面沉降的形成机理具有多重叠加特征，其根本原因在于结构设计、施工工艺、材料性能及运营环境之间的系统性失配。检查井作为刚性结构单元，若未与柔性铺装层建立有效的过渡结构，在反复交通荷载作用下，其边缘区域易产生应力集中，尤其在车轮轨迹与检查井位置重合的条件下，该集中应力加速了井周路面结构层的疲劳破坏，形成微裂缝并逐渐扩展。施工过程中，井体基础的

回填质量直接决定其承载能力及变形协调性，但实际中常因场地限制或压实控制不到位，导致回填区压实度不均，形成软弱层或空洞，这种不均匀变形在后期会表现为局部沉陷。同时，原有井体多采用预制混凝土结构，在使用年限增长的背景下，其材料老化、连接劣化等问题愈发突出，尤其在地下水位较高或管线渗漏区域，水土流失效应显著，进一步削弱了地基的完整性与承载力<sup>[1-2]</sup>。

#### （二）检查井沉降的危害与影响

沉降问题在本项目道路中引发的影响不仅表现为局部结构失稳，还对整体道路运行质量与交通系统安全构成长期威胁。由于检查井沉降往往伴随错台、裂缝与坑槽的产生，车辆在通过沉降区域时不可避免地遭遇瞬时冲击，轻则引发车体震动，重则干扰转向与制动性能，增加交通事故发生概率。对高频通行的大型公交与货运车辆而言，长期运行于此类病害区域将加快轮胎与底盘部件的磨损速率，进而提高车辆运维成本。此外，结构层破坏还会导致雨水通过裂缝渗入路基内部，促使基层失稳甚至掏空，形成“表面轻微、深层严重”的病害演化趋势，修复难度大幅上升。同时，检查井作为多种地下管线的交汇节点，其结构沉降还可能引发井内管道连接错位、接口开裂，进而造成电力中断、污水外泄或通信故障，对周边城市功能运行形成间接影响。

#### （三）传统防治方法的不足与挑战

在前期道路维护中所采用的传统检查井沉降防治措施，虽具一定效果，但存在明显的结构性短板与适应性局限。该项目中，路段检查井分布密集且类型多样，部分井位靠近通信、电力等高敏感管线，传统开挖修复手段在执行过程中容易造成管线损伤，增加非结构性风险。此外，传统方法普遍缺乏与交通荷载分析、井体工作状态监测相结合的能力，不能实现对沉降发展趋势的动态掌控，易出现维护滞后甚至事故诱发。尤其是在城市道路朝向高等级、高通行密度方向发展的背景下，传统防治体系在结构匹配性、材料适应性、技术集成性等方面难以满足现代工程对长效、智能与可持续性的要求，迫

切需要构建以结构—地基—监测系统为一体的综合治理模式，以实现沉降问题的全过程防控<sup>[3-4]</sup>。

### 三、沉降防治技术措施

#### (一) 结构设计与材料优化

为解决本工程中检查井环裂、错台与不均匀沉降问题，必须从结构设计源头进行系统优化，形成与周边路面一体化协同工作的井体结构体系。该主干道原有检查井采用早期混凝土预制结构，缺乏柔性缓冲与刚度过渡措施，导致结构间界面应力集中，产生错台和环裂。因此，在设计优化中，应采取“柔—刚—柔”三层耦合结构，即底座采用整体现浇刚性混凝土、井筒采用可调节刚柔复合模块、井口与路面交接部位设柔性过渡材料。施工顺序为：第一步，定位放线精确设置井位坐标，并采用激光水平仪复核高程；第二步，开挖井坑，控制井坑直径不小于井体外径+60cm，深度为设计高程+0.3m，防止沉降回弹；第三步，采用C60高强混

凝土整体浇筑底座，厚度不小于25cm，在底座顶面预埋8mm钢筋锚栓，确保与井筒段螺栓对接稳固；第四步，安装预制复合井筒，采用钢纤维增强混凝土外壳+可调节钢套筒，井筒高程通过插入式调节环进行微调，允许调节范围±20mm；第五步，在井口与路面之间设置3层复合结构，分别为：底层为5cm厚弹性橡胶垫片，中层为10cm高抗裂型微膨胀水泥砂浆环，顶层为聚合物砂浆抗疲劳填充层，形成从刚性井体到柔性沥青的应力缓冲带；第六步，井盖采用新型球墨铸铁与EPDM橡胶复合结构，井圈设锯齿咬合槽与限位卡扣，避免井盖跳动，延长结构服役寿命；第七步，井周面层与主路面同步摊铺热拌沥青，并在交界处设置100mm宽改性环氧树脂密封带，防止雨水渗入结构层引发脱空。现场施工需严格控制时间窗与材料温度：灌注环氧密封带时温度保持在130~150℃，每延迟10分钟施工接缝质量下降明显<sup>[5-7]</sup>。具体实施效果如下：

表1 检查井结构形式性能对比

项目	原混凝土井体结构	优化模块结构
顶部错台频率	37.50%	2.80%
环裂出现率	61.90%	5.50%
检查井沉降量(90天)	平均11.8mm	平均2.3mm
平均施工时间(单井)	4小时	6小时

从上述数据可见，优化结构设计与材料体系能够显著降低井周沉降值和结构病害发生率，具备明确的工程效益和推广价值。

#### (二) 地基加固与沉降控制技术

针对检查井基础回填松散、水稳定性差、局部空洞等问题，必须在井体施工同步阶段实施有针对性的地基加固措施，避免出现“上部结构优良、基础沉降继续”的次生病害。在本工程中，地基处理分为三类方法，按场地条件精确匹配实施。第一类为水泥土搅拌桩复合地基法，适用于填土层厚度超过2.5m、地下水位高于-1.5m的主车道段落，施工工序为：先布设Φ300mm搅拌桩，布桩形式为“边六角+中心对称”，每个井体布设6~7根桩，桩长控制在2.0m，入土深度超过原状土30cm，采用水泥掺量12~15%的搅拌浆液，双头搅拌，每根桩施工时间控制在12分钟以内，成桩后48小时内完成静载

试验，合格后进入下一步施工。第二类为井周预压沉实法，适用于浅基础、交通荷载大但地下水位较低区域。具体施工为：在井坑开挖完成后，分层回填5%水泥稳定碎石，每层厚度15cm，压实系数达到96%以上，用中型夯压机夯击，每井体设置一块1吨重的钢板，预压3天后检测沉降速率，速率小于0.2mm/d方可继续上部施工<sup>[8]</sup>。第三类为井坑侧向注浆控制法，适用于井位紧邻通信、电力等复杂管线区域，禁止使用强夯机械。施工流程为：在井坑外缘距边0.3m处沿周布设4个注浆孔，孔径40mm，深度1.2m，灌注膨润土-水泥-硅灰复合浆液，配比为1:3:0.5，采用0.2MPa低压注入，每孔注浆量控制在25~30kg，待初凝后二次补注，保证空隙填充完全。施工后应在井周设置沉降观测点，频率为每3日一次，连续观测周期不少于60天，累计沉降量控制在3mm以内。具体效果如下：

表2 地基加固方式效果对比表

加固方式	平均施工周期(天)	平均沉降量(mm/60天)	适用场景
水泥土搅拌桩	3.2	1.7	深填土、高水位、重载区域
分层压实+预压	2	3.3	中填土、干燥地基、施工通畅路段
微压注浆围护	1.5	2.9	管线密集、地表扰动敏感区域

通过差异化精准匹配加固方式,既可控制施工成本,又确保地基沉降在可控范围,保障检查井结构的长期服役稳定性。

**(三) 沉降监测与预警技术**

在本工程中,由于检查井分布密度高、结构类型多、交通荷载频繁且沉降速率存在阶段性突变特征,依靠经验判断进行维修已无法满足精细化管养的需要。为此,应在结构优化与地基加固同步推进的基础上,构建“在线监测—数据传输—沉降评估—预警响应”四级闭环的沉降监测与预警系统,实现对检查井结构沉降状态的全过程动态管理。具体系统构成包括:传感单元、无线通信模块、边缘数据处理器、城市道路运维平台与响应处置模块。系统部署分为三步实施:第一步为重点井位筛选与监测点布设,基于前期勘测数据与历史沉降记录,对沉降速率超过 10mm/90 天或存在车辆冲击集中的井位进行筛选,并在该类井位上布设三类传感器,分别为 (1) 嵌入式磁致伸缩位移计,布设于井壁中下部,监测竖向沉降变化,误差不超过 ±0.3mm; (2) 表面安装型 MEMS 倾斜传感器,粘贴在井盖与井圈连接处,用于监测井盖是否因不均匀沉降发生倾斜或跳动,灵敏度不小于 0.05°; (3) 孔内式光纤应变计,埋设在井筒与地基交界处反映受力变形状态,采集频率设置为 1 次/30 分钟。所有传感器通过 LoRa 低功耗通信模块连接至临近汇聚节点,再通过 4G/5G 无线方式传输至云端平台,数据延迟不超过 10 秒,满足实时同步要求。

第二步为监测数据建模与沉降趋势分析,在数据预处理层,使用多因子线性回归模型结合局部区域神经网络训练算法构建井周沉降发展预测模型,输入因子包括:地表车辆荷载(Q),累计降雨量(R),地下水位变化值(W),井周地温梯度变化(T),并形成如下预测表达式:

$$S(t) = \alpha \cdot Q(t) + \beta \cdot R(t) + \gamma \cdot W(t) + \theta \cdot T(t) + \varepsilon$$

其中, S(t) 为时间 t 的预测沉降量, α、β、γ、θ 为各因子的回归系数, ε 为系统误差项,模型每 48 小时自动更新回归参数并进行模型拟合度校验,拟合优度 R<sup>2</sup> 稳定保持在 0.93 以上,具备较高预测可靠性。第三步为预警机制设定与响应闭环,平台将每座监测井的沉降预测值与历史值进行动态比对,一旦发现短期沉降速率超过阈值 S > 5mm/7d,平台自动进入蓝色预警状态;若 S > 10mm/7d 且伴随井盖倾斜角度 θ > 1°,进入黄色预警;若 S > 15mm/7d 或任何结构部件产生裂缝信号,则进入红色预警状态并推送警报至项目管理端、城市运维管理系统与交通控制平台。同时,平台自动生成维修调度工单,明确预处理方案,如应急封闭、结构填充修复、微注浆补强等。在 2025 年 Q2 ~ Q3 期间,本系统已在项目典型沉降敏感区段布设 38 套完整监测节点,对象覆盖雨污井、电力井及通信井等不同结构类型,并进行了连续 120 天的动态数据采集与响应评估,其运行效果如表 3 所示。

表 3 检查井沉降监测与预警响应成效表

预警等级	触发次数	响应时间 (小时)	平均沉降控制修复周期 (天)	后续再沉降速率 (mm/30 天)
蓝色预警	11 次	≤ 24	2.3	0.9
黄色预警	5 次	≤ 12	3.5	1.3
红色预警	2 次	≤ 6	5.1	1

从表格数据可见,预警等级越高,响应时间越短,表明系统具备较强的风险识别与紧急响应能力。其中红色预警平均修复周期为 5.1 天,虽高于蓝色和黄色,但后续再沉降速率控制在 1.0mm/30 天以内,说明抢修措施效果稳定。黄色预警修复周期略长于蓝色,反映出中度风险段落的干预难度相对较大。

**结语**

本文基于典型市政主干道综合改造工程,系统梳理了检查井周边沉降的形成原因、结构危害与传统修复方式局限,提出从结构设计、地基加固与沉降监测三方面构建防控技术体系,通过精细化施工流程、差异化加固工艺与智能化监测平台相结合,实现对沉降问题的全过程控制与精准治理,为未来城市道路结构病害预防提供了集成化、智能化的治理方向。

**参考文献**

[1] 马之东. 市政道路工程检查井快速翻新改造施工技术研究 [J]. 工程与建设, 2025, (03): 675-677+699.  
 [2] 郭卉. 现状检查井病害分析及解决方案探讨 [J].

智能城市, 2024, 10(10): 114-116.  
 [3] 边森. 市政道路检查井沉降成因及其防治措施 [J]. 汽车画刊, 2024, (08): 106-108.  
 [4] 王鑫均. 城市道路检查井井周路面破坏机理及处治技术 [D]. 山东建筑大学, 2023.  
 [5] 李幸, 陆斯, 鄢丹. 市政排水检查井及其井周路面不均匀沉降研究 [J]. 西部交通科技, 2023, (05): 178-180.  
 [6] 王颖. 市政道路中检查井存在的问题及其防治维护 [J]. 低碳世界, 2016, (23): 192-193.  
 [7] 相小丽. 市政道路沥青路面检查井周围出现病害的原因分析及防治处理措施 [J]. 科技与创新, 2016, (07): 136+140.  
 [8] 李富兴, 徐财门. 浅析道路检查井井盖的沉降及周边道路质量通病的防治 [J]. 中国新技术新产品, 2009, (01): 77.  
 作者简介: 吴健茹, 1985 年 4 月, 女, 广东清远, 中级工程师, 研究方向: 市政工程。