

污水系统主干管多维度系统检测及修复

文 / 黄志浩 深圳市龙岗排水有限公司

摘要: 【目的】针对城市污水管网系统日益复杂化、老化严重的问题,探索建立一套科学有效的污水主干管多维度检测与修复体系。【方法】采用动力声呐检测机器人、CCTV 内窥检测等先进技术手段进行管网缺陷诊断,结合开挖与非开挖修复工艺实施差异化修复方案,并构建污水管互通导排系统。【成果】成功完成黄沙河流域 DN1200 污水管全线检测建档,修复缺陷管网 323m,其中非开挖修复 240m,开挖修复 83m,新建沉井 1 处,建立应急导排方案。【结论】多维度系统检测技术可精准识别管网隐患,差异化修复方案能显著提升修复效率,建立污水互通管系统可有效解决应急检修导排难题,为城市污水管网运维管理提供新思路。

关键词: 污水主干管; 多维度检测; 非开挖修复; 管网互通; 应急检修

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.116

引言

我国城市化进程中,由于城市排水系统管网规模扩大,导致管网老化、管网破坏等问题愈演愈烈。以深圳市黄沙河流域污水管网为例,该管网系统始建于 2010 年,占地 8.34 平方公里,服务人口约 8 万人左右,因为最近几年周边有较大的开发活动,所以出现了一些管道的坍塌、检查井的掩埋等问题,影响到排水的安全问题。传统的检测和维修方式比较落后,不够快捷高效,而且还很容易对范围大的空间产生不利影响,且成本过高,已无法满足现在的城市排水系统运行养护的要求。基于此,本文以深圳黄沙河 DN1200 污水管修复工程为例,详细介绍了基于多维度检测技术的应用、差异化修复方案、管网互通系统构建等方面的方法和途径,目的是要为污水系统主干管多维度系统检测以及维修工作的开展提供参考。

一、多维度系统检测技术应用

如今,在城市基础设施维护中,市政管道的状况直接影响到城市的正常运转和人民的生活品质,而应用多维系统检测技术可以达到检测精准度高、检测速度快的效果,动力声呐检测技术、CCTV 内窥检测技术和辅助检测技术三者结合,是实现管道检测的基础方法。

(一) 动力声呐检测技术: 水下高水位管线“透视眼”

动力声呐检测是高水位运行管段的首选检测方法。因为动力声呐检测技术是声波在水中传播的过程,将声波沿管道投射至管内,待声波遇到障碍物后反射回到地面设备时再采集声波的反射信息,进而反推管道内部的情况。由于可以在高水位中正常检测,并且可以在全淹没水下对管道情况进行全面的无死角检测,它的特性和优势表现得更为明显。黄沙河项目共长 600 米,项目组利用配备有高精度声呐探头的检测机器人对全线进行快速扫描,在短短 3 天时间里就定位到了同富路段上游约 120 米左右处出现管道坍塌的地点,相较于人工排查提高了约 60% 的效率,同时能够探测到人眼无法直接观察到的结构缺陷,比如管壁开裂或接口错位等较为隐蔽的缺陷,也是今后造成管道安全事故的重要来源,而动力声

呐检测就能够准确发现问题所在。检测的数据经由专业软件加工之后会生成管道横断面变形率曲线图,能够为后期的修复工作做好量化参考标准。从而确保修复的有针对性,也能够修复到位。

(二) CCTV 管内窥测技术——管道缺陷检测的“黄金标准”

如果把动力声呐检测比作管道检测的“透视眼”那么 CCTV 内窥检测就是管道缺陷诊断的“黄金标准”),为了准确了解排水管段是否存在隐患,项目组对该管段水位抽排后进行全断面检测。该管段由一台基于 200W 像素的高清晰度 CCTV 机器人检测,检测中 CCTV 机器人配备了 200W 像素的摄像头、激光测距仪、全景扫描等功能,能够实时将管道内部情况拍摄下来,使整个管道的内壁情况全部尽收眼底,一览无遗。

在检测中,发现 W578648-W989846 管段有 1-2 级局部变形点 12 处,IV 级破裂点 2 处,最大的变形量是管径 15%,从检测数据来看,详细的记录可以为后期修复工作提供有利的参考。所有的检测数据后期均录入 GIS 中,并且分别形成管径、埋深、缺陷位置等信息的数字化档案,这样管网从建设期开始就能进行全面细致的管理和使用,为以后的检测、维修等工作提供方便快捷的依据。再者通过图像智能识别算法,可以对管道缺陷位置及危险等级进行判断,这对检测人员降低了人工的劳动强度,并提高了效率。而且该智能识别算法也获得了项目团队的一致好评。

(三) 辅助检测技术集成应用: 面临各种逆境的“破局者”

复杂的现场环境往往会给管道检测工作带来一定的难度和挑战。为解决这一问题,项目组采用多技术融合的方法,把被掩埋的 5 个检查井的地表进行了地质雷达探测,在测得的电磁波反射信号中分析出井室的位置,误差小于 0.5 米。该项目团队利用这项精准的定位能力,用以指导下一阶段开挖工作。对于管网沿线的地形起伏情况,运用无人机航测技术对其进行采集,为地下管线建立三维模型,再通过高空的视角能看到是否有 3 处管

线上方的第三方危害。如果没有得到及时的治理，就会发生外荷载破坏管道的事故，此项技术能将此隐患挖掘出来，“空地一体”检测手段很好地解决了复杂环境下难以检测的问题，大大提高了检测效率及精度，值得后续项目的推广使用，可在今后更多复杂环境的管道检测中予以应用。

二、差异化修复方案设计与实施

检查管道的主要目的是查找出故障问题，解决故障的关键方法是做好修复工作，由于各类管道的种类和缺陷情况不同，项目的施工单位制订了多样化的修复方法，在进行修复过程中还遵循着快速有效并且费用较少的原则。包括开展非开挖修复、开挖修复及临时导排系统等技术创新作为三个支点。

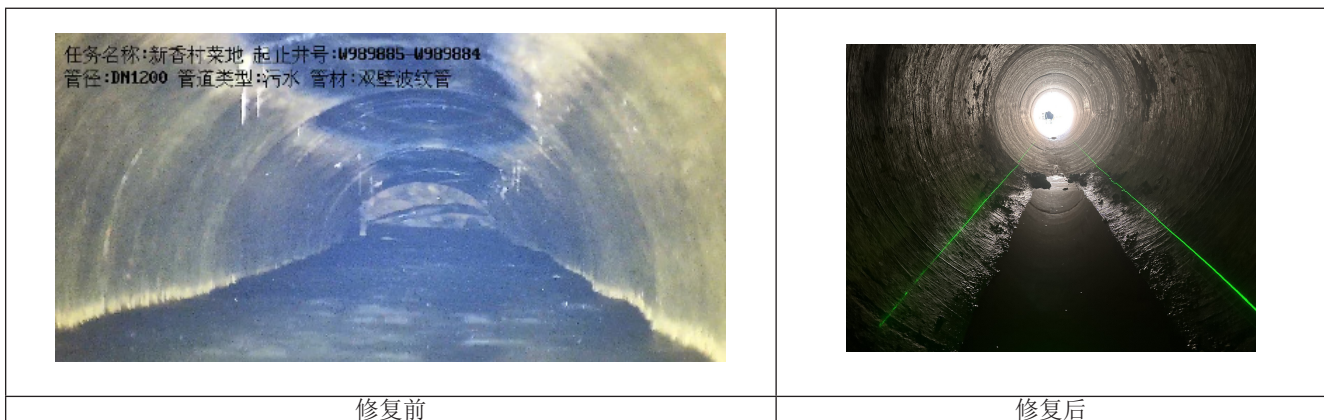
（一）非开挖修复技术应用：在城市中心做“微创手术”

对 I - II 级变形管段，项目组采用紫外线固化内衬修复技术，即将浸渍光固化树脂的玻璃纤维软管从一端推入旧管道内，并在紫外光下照射固化形成高强内衬层，修复后的管道通水量不小于设计值的 95%，仅需 3 天 /50 米便可完成该项施工任务，极大地节约了工期，同时由

于是选择在夜间施工，能够有效保护路面及大大减小了施工对周围环境的影响；对局部存在缺陷的位置，项目组采用了点状不锈钢发泡筒修复工艺，单点作业不超 4 小时，完成 45 环的修复工作量。该工艺与非开挖修复相结合的方式可在满足要求的同时不用对管道整体进行大修，一定程度上达到了减少影响的效果。诸多非开挖技术在该工程中的应用，为以后解决城市中心区管道问题提供了一种全新的思路。

（二）开挖修复技术优化：隐蔽于地下的管线安全巡视员

针对严重破裂（IV 级）管段而言，只能采用开挖修复，但是如果要对像富临路段一样车流量较大的地方进行开挖，势必会加大交通压力，因此这次我们进行了微型顶管代替了富临路主干道传统的开挖方式，缩小了路基开挖面至 83%，对交通的影响几乎可以忽略不计。而另外一项重大节点施工为 7.5 米深埋管段施工，针对管井采用钢板桩 + 井点降水，新沉井则采用预制混凝土模块拼装方案。通过这些优化改造方式缩短了新的主体结构工期约 40%，因此更能保证施工中的人身安全。



（三）临时导排系统创新设计：聪明的“智慧闸门”拦住上游来水

针对上游来水量较大的特殊情况，项目组经过深思熟虑，巧妙设计了“双泵站 + 溢流堰”的导排方案。在上游的 W989846 井位置，项目组精心布置了两台功率强大的 100m³/h 潜水泵，它们昼夜不停地工作，确保了上游来水的持续抽排。与此同时，在下游的新香排水渠内，一条导流明渠被迅速搭建起来，作为临时导排通道，其日导排量高达 5000m³，有效缓解了施工期间的排水压力。这一创新方案不仅为施工现场构建了一个安全、高效的导排环境，更为未来类似工程提供了一种应急导排的宝贵经验。更为难能可贵的是，项目组在现场还采用了先进的在线水质监测技术，对溢流口的水质进行实时检测。每一滴溢流水在经过旁通廊流入市政管网之前，都必须经过严格的水质检测，确保其各项指标均达到国家标准。这一举措不仅体现了项目组对环境保护的高度重视，也彰显了本项目在

追求工程效率的同时，始终坚守环保底线的责任担当。总之，“双泵站 + 溢流堰”的导排方案不仅为当前的施工提供了强大的技术支撑，更为后续的管道修复工程树立了新的标杆。它的成功实施，不仅彰显了项目组的智慧与勇气，更为城市基础设施建设领域的环保与效率并重树立了典范。

三、管网运维管理体系创新

随着我国城市化进程不断加快，排水管网作为市政重要基础设施之一，其运维管理水平直接影响着城市的正常运转及人民生活水平的提高。针对管网运维难的现状，为保障排水设施正常发挥作用，进一步加强了管网运维管理体系的建立，同时为推进排水设施管理现代化做出了巨大贡献。

（一）排水设施数字化建档：信息时代有了“智慧大脑”

项目团队深知，传统的纸质图纸在排水设施管理中存在易丢失、难更新等诸多弊端。为了打破这一困境，他们建立了完整的排水设施数字档案系统。通过检测收

集到的管网数据，全部被精心录入 GIS 平台，形成了一个包含空间位置、结构参数、运行状态等丰富信息的数字化档案。这个“智慧大脑”不仅让排水设施的信息一目了然，更支持按管径、材质、缺陷等级等多维度进行查询，为日常管养和应急抢修提供了强有力的数据支撑。截至目前，项目团队已顺利完成黄沙河流域 8km 管网的建档工作。这些数字化档案不仅让管网的每一次“体检”都有据可查，更为未来的规划、建设提供了宝贵的参考。此外，系统还具备风险预警功能，能够在潜在问题爆发前及时发出警报，为管网的安全运行再添一层保障。这种数字化管理模式，无疑是排水设施管理领域的一次重要进步，它让管理变得更加高效、精准。



(二) 污水互通管系统构建: 应急管理的“灵活血管”

在排水管网运维过程中，应急检修经常很难进行，在此基础上，为了提高应急检修的效率，项目建设方创造性地提出了污水互通管的方案，在一些关键位置设置连通管和电动阀门，平时所有的阀门都处于关闭的状态，每个系统都是独立的运行；但是在需要检修的时候，这些阀门就马上打开，临时进行污水导排。从运算的结果来看，这个污水互通管可以实现提高应急检修导排效率在 50% 以上，人工抽排成本会明显下降。目前，黄沙河流域已经布局好 3 个互通管节点，在 2024 年底的时候就能够投入使用。采用“平战结合”设计理念，这套创新的技术方案有效助力城市污水管网实现应急处置，也将有助于城市污水管网的稳定运行，促进城市可持续发展。

(三) 智能运维平台建设: 未来的运维“超级大脑”。

未来的排水管网的运维管理工作会越来越智能化，自动化，目前项目方正在研发排水管网智能运维平台，它包含了在线监测、故障诊断、应急调度等多种功能，可对管网运行的状态进行实时监控和智能分析，在试点段，已经安装了 6 套液位计、4 套水质监测仪，1 分钟一

次的数据采集，可以确保数据的准确及真实；将来还接入气象、水文等多源数据，构建管网运行预测模型，运用大数据分析、机器学习等相关技术手段提前发现管网问题并及时预警，逐步实现由被动抢修到主动预防的目标转变。如此智能化运维才是排水行业未来发展方向，也是城市智慧化发展的利器。



结语

综上所述，黄沙河 DN1200 污水管的修复项目的成功也说明多方位系统检测和差异性修复技术的应用非常有效，在该工程上创新性地使用了各类检测手段以及针对管道破损点位分别采取了适宜的非开挖修复方式，并联合互通管施工，为整个城市的污水管网的运维提供了一个完美的解决方案。但是就现有的网络系统状况来看，它仍然需要提高检测设备的智能化程度以及维修材料的耐久度等。接下来可以着重做 3 个方面的努力：一是研制新型适应复杂环境的检测设备；二是完善管网健康状态评估指标体系；三是推广数字化运维、智能化运维等新型管护模式，这样可以不断地通过科技的进步和管理水平的提高来不断提升城市排水的安全性和可靠性，为城市的健康发展做出更好的保障。

参考文献

[1] 张宝峰, 王震, 康军, 等. 污泥沉降比自动检测系统在污水处理中的应用 [J]. 传感器与微系统, 2025, (03): 165-168.

[2] 潘辉, 潘清, 林晓燕, 等. 污水收集系统过河管检测与分析 [J]. 水利技术监督, 2024, (12): 27-29+96.

[3] 厉智成, 梁雨雯. 基于排水管网监测的污水系统问题识别及提质增效策略 [J]. 给水排水, 2024, 60 (03): 119-124+133.

[4] 汪健. 南京市某片区现状污水收集系统问题调查及分析 [J]. 中国给水排水, 2021, 37 (18): 25-28.

[5] 沈小华, 齐国辅, 严小明, 等. 南京市某排水管网检测工程实例分析 [J]. 给水排水, 2020, 56 (04): 134-138.

作者简介: 黄志浩, 1994 年 2 月, 男, 汉族, 广东深圳, 本科, 助理工程师, 研究方向: 给排水工程。