

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.09.053

管道修复工艺的选择与应用

张学慧,宋国勇,刘存辉,朱松岭,秦艳军
(北京金河生态科技有限公司,北京市 102200)

摘 要:排水管网是城市重要的基础设施,随着使用时间的延长,部分管网开始出现不同类型的问题,急需修复。老旧管网修复是污水提质增效、黑臭水体治理的重要一环,缺陷管网修复工艺的选择至关重要。现结合深圳市某片区 202.77 km 现状排水管道的检测成果,主要对结构性缺陷管网的两种修复方式开挖换管和非开挖修复进行了对比,分析了各修复技术的适用条件及优缺点,详细介绍了修复工艺选择中应考虑的各项因素,最后针对非开挖修复的应用进行了论述。

关键词:老旧管网;非开挖修复;开挖换管;影响因素

中图分类号: TU992.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)09-0225-05

0 引言

随着城市化进程的加快,排水管道建设量不断增加,根据 2021 中国统计年鉴的数据,截止 2020 年城市排水管网达 80.27 万 km。原有管道使用越久,由于外部荷载变化、管道材质老化、养护不到位、新建工程的影响甚至损坏等,存在的问题也越来越多^[1-2]。污水管道破损,会有外来水入渗,使其高水位运行、COD 浓度降低;雨水管道破损,会引起地下水或泥水渗入,导致管道淤塞,影响排涝等^[3-4]。推进缺陷管网诊断与修复,使排水系统稳定高效地运行是实现污水处理提质增效、消除黑臭水体的对策之一。现结合深圳市某片区排水管道检测结果,对修复工艺的选择与应用进行探讨,以为同类工程的实施提供参考。

1 工程概况

深圳市某片区检测排水管道总长 202.77 km,管径 DN300-DN2000,管材为钢筋混凝土管、HDPE、PVC、混凝土管,埋深 0.75~8.0 m。某片区排水管道结构性缺陷数量统计见表 1 所列,结构性缺陷管道统计见表 2 所列;功能性缺陷数量统计见表 3 所列,功能性缺陷管道统计见表 4 所列。缺陷等级分类见《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012)。

由表 1 可知,该片区管道结构性缺陷主要为破

表 1 管道结构性缺陷统计表

缺陷名称	不同等级缺陷数 / 处				合计 / 处	所占比例 / %
	1 级 (轻微)	2 级 (中等)	3 级 (严重)	4 级 (重大)		
破裂	183	402	349	350	1 284	28.72
支管暗接	399	187	262	1	849	18.99
错口	129	396	144	51	720	16.11
变形	109	151	94	149	503	11.25
腐蚀	125	213	106	0	444	9.93
异物穿入	92	84	138	0	314	7.02
起伏	46	40	19	23	128	2.86
渗漏	69	29	26	0	124	2.77
脱节	18	29	21	18	86	1.92
接口材料脱落	7	11	0	0	18	0.40
合计	1 177	1 542	1 159	592	4 470	
所占比例 / %	26.33	34.50	25.93	13.24		100.00

表 2 结构性缺陷管道统计表

缺陷名称	不同等级缺陷管道				合计	所占比例 / %
	I	II	III	IV		
段数 / 段	603	925	862	526	2916	25.80
所占比例 / %	5.34	8.18	7.63	4.65		
长度 / km	13.67	18.99	17.85	9.46	59.98	29.58
所占比例 / %	6.74	9.37	8.80	4.67		

裂、支管暗接、错口,1 级、2 级、3 级缺陷数量较多,4 级缺陷数量较少;由表 2 可知,该片区存在结构性缺陷的管段为 2916 段 59.98 km,缺陷管道长度占比 29.58%,主要以 II 级、III 级为主,I 级、IV 级较少。

由表 3 可知,管道功能性缺陷主要为沉积、障碍物、树根,1 级、2 级、4 级缺陷数量较多,3 级缺陷数量较少;由表 4 可知,存在功能性缺陷的管段为

收稿日期: 2022-10-20

作者简介: 张学慧(1989—),女,硕士,工程师,从事给排水工程设计工作。

表 3 管道功能性缺陷统计表

缺陷名称	不同等级缺陷数 / 处				合计 / 处	所占比例 /%
	1 级 (轻微)	2 级 (中等)	3 级 (严重)	4 级 (重大)		
沉积	551	337	234	335	1 457	43.60
结垢	69	37	25	26	157	4.70
障碍物	316	290	194	197	997	29.83
残墙坝根	17	20	22	41	100	2.99
树根	217	140	114	119	590	17.65
浮渣	1	9	31	0	41	1.23
合计	1 171	833	620	718	3 342	
所占比例 /%	26.20	18.64	13.87	16.06		100.00

表 4 功能性缺陷管道统计表

缺陷名称	不同等级缺陷管道				合计	所占比例 /%
	I	II	III	IV		
段数 / 段	858	677	552	666	2 753	
所占比例 /%	7.59	5.99	4.88	5.89		24.36
长度 /km	18.58	12.65	9.79	11.75	52.78	
所占比例 /%	9.16	6.24	4.83	5.80		26.03

2 753 段 52.78 km,缺陷管道长度占比 26.03%,主要以 I 级、II 级为主,III 级、IV 级较少。

2 工艺对比

2.1 结构性缺陷修复

结构性缺陷管网的修复,主要有开挖换管和非开挖修复两种方式。

开挖换管利用机械或人力挖掘基槽,拆除旧管,安装新管,再回填基槽、恢复路面。基槽开挖一般分为放坡、支护两种。支护形式有板式、槽钢、钢板桩及组合型支护结构。

非开挖修复在不开挖或局部开挖的情况下,利用现状检查井,在原管道内拉入新型材料,使用专用设备使其形成新的内衬管,与旧管壁形成管中管结构。非开挖修复一般分为整体、局部两种。整体修复包括紫外光固化(CIPP)、热塑成型(FIPP)、高分子材料喷涂、机械螺旋缠绕、短管内衬等;局部修复包括不锈钢双胀环、不锈钢快速锁、局部树脂固化等。

开挖换管属传统施工方式,技术标准成熟,非开挖修复属新型施工方式,技术标准正在逐步完善,两者对比见表 5 所列。

综合上述分析,开挖换管可修复各类缺陷,但施工周期长,对周边交通、环境、管线影响大,直接成本与埋深相关,埋深越大,造价越高;非开挖修复施工

表 5 开挖与非开挖修复方式对比表

相关指标	开挖式	非开挖式
社会影响	开挖需大面积破路,对施工路段进行全封闭围挡,围挡距离长、时间长,对城市交通、居民出行影响较大,易造成较多投诉	无需破路,围挡距离短、时间短,影响范围有限,在交通繁忙路段,可夜间施工,对交通导行影响小
环境影响	施工破除路面、支护施打噪声大,涉及渣土外运、扬尘控制等问题	施工噪声小,涉及淤泥外运,不涉及扬尘控制等问题
周边(建)构筑物	开挖基槽需要进行槽钢、钢板桩支护,对周边房屋有较大影响,可能产生房屋鉴定、房屋保护费用	修复无需支护,对周边房屋基本无影响
管道适应情况	可修复各种类型的缺陷,起伏、变形、严重结构性损坏、变径、坍塌等	针对起伏、变形、变径的修复,有一定的局限性;管道严重结构性破损,预处理较困难
修复工期	施工工期长,易受周边原有管线、树木等制约,开挖作业需对第三方权属管线进行保护、甚至迁改,可能对行道树剪枝,且部分路段已无位置开挖换管	严重缺陷的管道,前期预处理耗时较长;不受周边管线、树木影响
适用管径	所有管径	整体修复 DN200-3000 局部修复 DN200-1800
综合成本	遇地下水位高,流沙、淤泥质地层,施工成本高;施工时妨碍周边商户商业活动,经济及社会成本较高	高水位运行管道,前期封堵导排,施工成本较大;不受地质影响,对周边商户影响较小
直接成本	与管道埋深相关	与修复工艺、材料厚度相关

周期短,对周边交通、环境、管线影响小,可修复缺陷的类型有一定的局限性,直接成本与修复工艺相关,不同工艺造价差异较大。

2.2 功能性缺陷修复

功能性缺陷管网的修复,主要有机械清疏和人工清疏两种方式。

机械清疏效率高、安全性高,但无法清除树根、锚杆、固结物、大块石等;机械清疏有高压水射流、绞车疏通、推杆和转杆疏通、水力疏通等,其中高压水射流应用较为广泛。

人工清疏可操作性强,施工不受场地限制,但安全隐患较大,作业效率相对较低。

3 工艺选择

3.1 结构性缺陷修复

该片区现状排水管道结构性缺陷等级主要为 II、III 级,类型主要为破裂、支管暗接、错口,V 级缺陷数量较少;管道均处于运行状态,大多位于市政道路,交通流量大、地下各种综合管线纵横交错,周边商业活动频繁、人流量大。结合开挖换管和非开挖修

复的特点及适用性,综合考虑工期、成本、社会、环境等因素,对存在缺陷的排水管道首选非开挖修复。非开挖修复无法满足要求时,选择开挖换管。

排水管道修复设计时,应综合考虑管内水位、管道淤积、缺陷类型、破损程度、支管暗接、异物穿入、管道弯曲、变径、暗井等情况,并结合现场实际排查情况,合理选择管道修复工艺。上述因素对修复工艺选择的影响见表 6 所列。

表 6 修复方式考虑因素一览表

影响因素	适用工艺
管内水位	管道满水或高水位运行,完全降水困难,可考虑能带水作业的机械螺旋缠绕
管道淤积	管道功能性缺陷为硬质结垢、混凝土固结物等,无法进行彻底清淤,可采用开挖修复
缺陷类型	管道缺陷类型为变形、起伏,采用非开挖修复,无法从根源上修复该缺陷,修复后依旧会存在缺陷,只是增强了流水性能,可考虑开挖修复
破损程度	管道 4 级破裂甚至塌方,可局部开挖后,采用原位固化修复;大管径可采用注浆加固土体后,切割破损位置,内衬钢环;严重塌方,可考虑开挖修复;管道为 3、4 级错口时,可新建检查井,或开挖修复
支管暗接	管道存在支管暗接,可采用局部修复。采用整体修复时,应探明暗接支管的属性,新建检查井,或整改就近接入同属性的检查井
异物穿入	管道存在异物穿入,可采用局部修复;采用整体修复时,应探明穿入管线属性,迁改或调整高程
管道弯曲	管道弯曲度 $\leq 11^{\circ}$,大部分非开挖修复效果不受影响;管道弯曲度 $> 11^{\circ}$,整体修复时,内衬管会褶皱,引起管道水头损失 ^[9] ,所以管道存在明显转折情况时,可选择局部修复或开挖修复
管道变径	管道存在变径时,应复核小管径的过水能力,满足时,可采用小管径的热塑修复;不满足时,应采用碎管法进行扩管,或采用开挖修复换管
暗井	原管道因道路更新存在暗井,可将原暗井进行提升,使检查井间距满足修复要求

该片区存在结构性缺陷的管段为 2 916 段 59.98 km。按照《城镇排水管道检测与评估技术规程》,主要针对修复指数 $RI>7$ (Ⅲ级)、 $4<RI\leq 7$ (Ⅳ级),结构发生破坏的管段,修复指数 $1<RI\leq 4$ (Ⅱ级),缺陷参数 $F>3$,缺陷严重的管段进行修复;其中缺陷密度 $S_M<0.1$,局部修复, $S_M\geq 0.1$,整体修复;其它暂不修复。

按照上述原则,该片区需要修复的管段为 1 388 段 27.31 km,其中:局部修复的为 322 段,整体修复的为 18.62 km。对存在起伏、变形、塌方、严重错口、变径的 7.48 km 管道,开挖修复;异物穿入的管道 3.04 km,新增交汇井或管线改迁;剩余 16.79 km 管道,优先采用非开挖修复。非开挖整体修复采用热塑成型固化、紫外光固化、高分子材料喷涂;局部修复

采用局部树脂固化,高分子材料喷涂;检查井修复采用高分子材料喷涂。

3.2 功能性缺陷修复

该片区对存在功能性缺陷的排水管道以高压水射流为主,高压水射流无法满足要求时,管径 $DN<800$ 时,配合管道机器人进行疏通,管径 $DN\geq 800$ 时,配合人工疏通,以达到彻底清理管道的效果。

4 工艺流程

4.1 前期准备

施工前,应认真研究设计图纸、CCTV 检测报告等资料,了解管道基本情况,如管道长度、管径、埋深、起止点高程、支管数量及位置等。在此基础上,开展现场踏勘,复测管道长度、管径、支管数量及位置等,了解施工现场具体环境,如所在道路交通状况、可作业面等。

根据现有资料,编制管道修复专项施工方案。作业前,向作业人员进行技术交底和有限空间作业安全培训。

做好原材料的进场验收工作,随机抽取材料样品,进行复检。

4.2 施工流程

4.2.1 临时封堵、导排水

管道临时封堵、导排水是保障管道修复的基础工序。

管道临时封堵通常采用气囊封堵、砌墙封堵。对于高水压、大中管径,考虑到安全性和可实施性,采用砖封+气囊封堵。采用橡胶气囊对上下游管道进行封堵时,操作气囊气压应保持在 0.15 MPa 以上;采用砌墙封堵时,砌筑前应清理管道表面,砌筑时应在封堵墙中部位置安装泄水管和阀门,根据需要可安装 2-3 根,用于管堵拆除时平衡内外水压。

临时导排措施是在封堵管道的上游检查井中放置出水口径为 DN100-DN200 mm 的潜污泵,设置临时排水管道,对上游来水抽排至下游管道。临时导排应选择合适的排水泵功率及数量,保持导截流量的平衡。

目前,砌墙封堵、临时排水设施设计尚无相关的标准规范,基本依赖传统经验确定。马家欢^[6]提出,封堵墙厚度可通过封堵体抗水压冲击、抗弯拉承载力计算得到;陈嫣^[7]提出,临时排水措施设计流量,可结合封堵时间重要性、地区重要性、管道重要性、封堵管道可恢复性等因素,同时考虑区域现状管道排水

能力的限制计算得到。

4.2.2 管道预处理

管道预处理是保障管道非开挖修复的关键工序。

对于渗漏点位,采用注浆堵漏;对于接口材料脱落、钢筋、树根等,采用人工或机械方式(如多功能机器人)切除。对于管道破裂、坍塌,在塌陷处注浆,小管径可用略小于旧管的扩大头和卷扬机,通过铁链将塌陷处的碎石和泥土拉到检查井内进行清理,然后内衬短管^[8],大管径可用小型专用千斤顶支撑在塌陷处,然后内衬钢管。对于错口处,应采用机器人打磨、聚合物水泥砂浆填补磨平。

4.2.3 修复过程

在排水管道修复过程中,需严格控制工序质量,否则会出现褶皱、突起物、干斑、裂纹、固化不充分、壁厚和强度不达标、端头切割不平整等质量问题^[9]。

4.2.3.1 热塑成型固化

热塑成型利用热塑性材料可反复加热软化、冷却硬化的特性,在现场对衬管加热软化,经牵引装置拖拉到旧管内,加热加压使衬管膨胀与旧管紧密贴合,冷却后形成内衬结构^[10]。

热塑成型固化所需作业面小,衬管整体性好、耐腐蚀性强、内壁表面光滑、过流能力损失小,衬管与旧管紧密贴合、无需灌浆;该片区主要用于管径 $D \leq 500$ 的管道修复。

热塑成型固化施工时,衬管预加热温度 $90 \sim 105^{\circ}\text{C}$,时间 $1 \sim 3\text{ h}$,具体时长依管径、长度而定,衬管软化后方可拖入待修管道;衬管拖入时,接收井的卷扬机绳索与下料井卷盘上的衬管应连接牢固,确保衬管顺利进入管道,无划伤;衬管在拖入过程中会冷却硬化,完全拖入后,应继续用水蒸气加热,软化后用专用管塞将其两头封堵;衬管复原时,通过管塞中部通气管道向管内输送水蒸气,温度不宜超过 95°C ,压力不宜超过 0.15 MPa ;衬管加热复原后,应在保持原有压力的情况下,将衬管内的蒸汽逐渐置换成冷空气;当温度降低到 40°C 以下时,方可打开阀门,释放衬管内压力。

4.2.3.2 紫外光固化

紫外光固化将浸润树脂的玻璃纤维软管拉入旧管内,通过压缩气体使软管张开与旧管内壁紧贴,利用软管内树脂遇紫外线固化的特性,使玻璃纤维软管固化,冷却后形成内衬管^[11]。

紫外光固化应用广泛,固化过程可监控、可实时调整施工参数,衬管强度高、整体性好;该片区主要

用于 $600 \leq D \leq 1\,000$ 的管道修复。

紫外光固化施工时,内衬管应平稳、缓慢地拉入原有管道,速度宜为 $6 \sim 8\text{ m/min}$;紫外光灯行进速度宜小于 1 m/min ;固化时间不少于 10 min ;固化完成后,缓慢降低管内压力至大气压,降压速度小于 0.01 MPa/min 。

4.2.3.3 高分子材料喷涂

高分子材料喷涂采用专用设备将材料(催化剂与树脂)加热加压,用高速气流将其雾化并喷到管道表面,形成覆盖层,以提高管道性能^[12]。

高分子材料喷涂可用于不同断面管道的修复;该片区主要用于管径 $D > 1\,000$ 的管道修复。

高分子材料喷涂法施工时,要预热基底,基底温度应 $\geq 5^{\circ}\text{C}$,环境温度 $\geq 15^{\circ}\text{C}$,环境相对湿度 $\leq 85\%$,在无渗漏的情况下,才可涂刷底涂料;喷涂作业前应充分搅拌树脂,不得现场随意向催化剂、树脂中添加任何物质,不得混淆催化剂、树脂的进料系统;喷涂作业前,应先喷涂试块,当试块外观质量达到要求后,方可确定工艺参数开始喷涂作业;喷涂作业面之间的搭接宽度应大于 150 mm 。

4.2.3.4 局部树脂固化

局部树脂固化采用专用的修复气囊,将涂抹树脂的玻璃纤维布紧贴在管道缺陷位置,常温固化后,形成局部内衬^[13]。

局部树脂固化针对性强、修复速度快,适用于局部缺陷且缺陷较少的管段,无法增加管道整体的强度;该片区主要用于管径 $D \leq 1\,000$ 的管道修复。

局部树脂固化施工时,原管道待修复部位及前后 0.5 m 范围内表面应洁净,不得有附着物、尖锐毛刺和凸起物;局部树脂固化由施工人员现场涂抹树脂,要确保树脂涂抹均匀;为避免树脂性质变化,与其接触的设备均不能与水接触;采用常温固化树脂时,树脂的固化时间宜为 $1 \sim 2\text{ h}$;局部树脂内衬层至少 3 层,轴向前、后超出缺陷长度大于 200 mm ;修复过程中气囊压力应控制在 $0.08 \sim 0.20\text{ MPa}$ 。

4.3 修复评价

修复完成后,采用 CCTV 设备对其进行外观检测;对修复后的内衬管现场取样,并委托专业检测机构进行检测。检测指标为壁厚、弯曲模量、弯曲强度、抗拉强度等。上述合格后,对管道进行严密性试验。

5 结 语

管道修复技术的选择应结合管道缺陷类型、破

损程度、地下水水位、埋深、管径、截面形式等因素综合考虑。与开挖换管相比,非开挖修复施工影响小、安全性较高,逐步被广泛应用。非开挖修复工法较多,部分工艺技术复杂,需要依照标准严格把控质量,建立完善的排水管道非开挖修复质量管控体系。

参考文献:

[1] 安关峰,张蓉,张欣,等.《城镇排水管道非开挖修复工程施工及验收规程》解析[J].中国给水排水,2020,36(20):71-76.
[2] 刘刚,梁添.钢内衬局部修复技术在排水管道修复中的应用[J].中国给水排水,2015,31(22):119-122.
[3] 唐建国,张悦,梅晓洁.城镇排水系统提质增效的方法与措施[J].给水排水,2019,45(4):30-38.
[4] 许申来,张亚楠,周影烈,等.北方高密度城区管网系统运行效能评估与提质增效关键技术探讨[J].给水排水,2021,47(S2):407-412,417.
[5] 周扬军,蒋仕兰,解铭,等.非开挖修复技术在城市排水管道维护中

的应用[J].中国给水排水,2020,36(20):58-62.
[6] 马家欢,高志强.大中管径给排水管道带水封堵技术应用[J].中国给水排水,2019,35(24):90-94.
[7] 陈嫣.上海市排水管道封堵临时排水措施设计流量探讨[J].给水排水,2016,42(7):56-59.
[8] 石东优,叶建州,李静,等.城镇排水管道原位热塑成型修复技术的工程应用[J].中国给水排水,2022,38(10):153-159.
[9] 郁片红,孙跃平.排水管道原位固化法修复常见问题与质量控制方法[J].净水技术,2020,39(s1),252-255,259.
[10] 刘琳,刘勇,黄宁君.新型原位热塑成型管道非开挖修复技术应用案例[J].中国给水排水,2020,37(6):134-137,142.
[11] 谢正威,王筱菊,张玉龙,等.紫外线固化 CIPP 技术在雨水管道改造中的应用[J].人民黄河,2020,42(S1):79-81.
[12] 肖倩,项立新,杨明轩,等.非开挖技术在深圳市排水管道修复中的选择与应用[J].给水排水,2019,45(1):116-120.
[13] 杨雪梅,唐心红.宁波地区城市排水管道现有缺陷评估及防治对策研究[J].给水排水,2021,47(7):102-107.



《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com