

流态固化土在大口径管道内套管中的 环隙填充技术与应用

付伟

[上海城建市政工程(集团)有限公司,上海市 200065]

摘要:为解决顶管非开挖施工中常见的环向间隙填充难题,系统性探讨流态固化土在大口径管道内套管环隙填充中的技术可行性及应用潜力。通过综合分析流态固化土的材料性能指标、现场施工工艺流程、环境友好性及成本效益,并结合其在明挖沟槽回填、建筑肥槽回填等工程中的成熟应用经验,深入评估流态固化土在非开挖复杂工况下的适应性和可靠性。结果表明,流态固化土凭借良好的流动性能、可控的固化时间及较高的最终强度,可实现对环隙的有效充填和结构支撑,满足工程实际需求;同时,在工程废弃泥浆资源化利用方面展现出显著环保和经济价值。

关键词: 流态固化土;顶管施工;环隙填充;非开挖技术;材料性能;环保效益;施工工艺优化

中图分类号: TU521.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0428-05

Ring Gap Filling Technology and Application of Fluid-Solidified Soil in Large-Diameter Pipeline Casing

FU Wei

[Shanghai Urban Construction and Municipal Engineering (Group) Co., Ltd., Shanghai 200065, China]

Abstract: To address the common challenge of circumferential gap filling in pipe jacking non-excavation construction, this study systematically investigates the technical feasibility and application potential of fluidized solidified soil for large-diameter pipe casing gap filling. Through comprehensive analysis of material performance indicators, on-site construction processes, environmental friendliness, and cost-effectiveness of fluidized solidified soil, combined with its proven applications in open-cut trench backfilling and building foundation backfilling projects, the adaptability and reliability of this material under complex non-excavation conditions are thoroughly evaluated. The results demonstrate that fluidized solidified soil, with its excellent flowability, controllable solidification time, and high ultimate strength, can effectively fill circumferential gaps and provide structural support, meeting practical engineering requirements. Additionally, it exhibits significant environmental and economic value in the resource utilization of engineering waste slurry.

Keywords: fluidized solidified soil; pipe jacking construction; annular gap filling; trenchless technology; material properties; environmental benefits; construction process optimization

0 引言

随着我国城市化进程的持续推进,城市建设规模日益扩大,固体废物的产生量随之急剧增加,现有的处理能力已难以满足实际需求。在此背景下,“无

废城市”作为一种全新的可持续发展理念被提出并广泛推广,旨在实现废物减量化、资源化和无害化处理。在以往的城市建设过程中,固体废物中的泥浆类材料利用率普遍较低,且其运输和处置成本较高,给工程实施带来了较大压力。

在这类工程的顶管施工过程中,会产生大量施工泥浆,同时,顶管施工完成后内外套管之间的间隙需填充一种既在浇筑阶段具备良好流动性,又在固化后拥有一定强度的材料。经市场调研和技术分析,流态固化土被证实能够有效解决内外套管间隙的填充问题,并实现对工程泥浆的资源化利用。然

收稿日期: 2025-12-29

基金项目: 固化土成套关键技术 in 建设工程中的应用研究
(2025070001)

作者简介: 付伟(1985—),男,学士,高级工程师,从事隧道与地下工程施工工作。

通信作者: 沈大清(1987—),男,本科,工程师,从事工程管理工作。电子邮箱: 13916364463@139.com

而,目前该材料的应用多局限于敞开的明挖管道沟槽回填及建筑物周边肥槽回填,其在顶管非开挖施工中的系统性应用仍处于探索阶段。

1 工程概况

上海市富长路节点原水迁改工程源于沪通二期铁路 U 形槽段在穿越富长路时与现状 DN2700 长江引水一期、DN2400 长江引水二期原水管道在标高上发生冲突,为确保铁路与水管的安全运行,需对该段管道实施迁改。迁改后的管道沿规划富长路地下呈南北走向并列布置,并垂直下穿 G1503 高速公路、在建沪渝蓉高铁及在建沪通二期铁路。迁改完成后,原 DN2700 原水管扩大至 DN3000 口径,原 DN2400 原水管扩大至 DN2600 口径,管道材质均采用钢管。出于对后续铁路运营安全及原水管道结构稳定性的综合考虑,该段管道选用非开挖顶管工艺施工,顶管管材为 DN3500、DN3200 钢筋混凝土管;顶管施工完成后,再在内部敷设 DN3000、DN2600 钢管。

该项目总平面图见图 1。

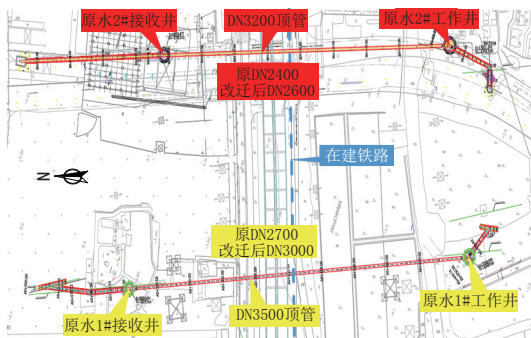


图 1 项目总平面图

该工程中原水管道的内外套管间隙较小,区间总长约 450 m。考虑到在钢管上开设注浆孔会增加渗漏风险,同时为最大限度地保证内外管道中心线一致、减小施工误差,内套管施工采用管道内漂管法实施,间隙填充材料选用流态固化土。间隙填充部位见图 2。

以该项目中的 DN2600 管道段为例,其外套管为 DN3200 钢筋混凝土管,内套管为 DN2600 钢管,管道

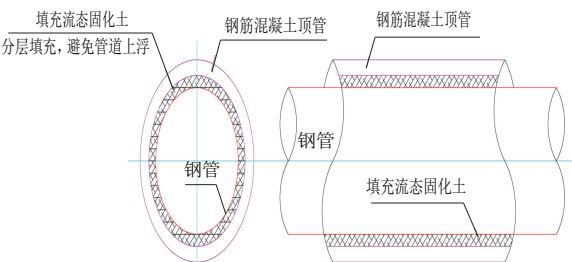


图 2 流态固化土填充示意图

中心标高为-22.5 m,区间长度 431 m,管壁间流态固化土填充总量约 1 200 m³。

2 流态固化土性能要求

由于无法在钢管内侧开设注浆孔,因此对填充材料的流动性能提出了极高要求。同时,为消纳顶管施工中产生的压滤土,该项目通过现场拌制及多次模拟浇筑试验,最终确定流态固化土应满足以下技术指标:拌和物密度控制在 1.1~1.2 g/cm³,扩展度不小于 1 000 mm,工作性能保持时间超过 2 h,凝结时间长于 12 h,自流距离不低于 150 m,4 d 无侧限抗压强度不小于 0.4 MPa,7 d 无侧限抗压强度不小于 0.5 MPa。

3 施工应用

该项目采用的流态固化土回填施工工艺,按照科学合理的工序流程有序进行,具体包括配合比设计、拌制工艺、第 1 阶段浇筑、漂管法施工、管道两端固定、第 2 阶段浇筑以及最终的质量检测等步骤。

在配合比设计环节,需根据工程要求和材料特性精确确定各组分比例;拌制工艺则确保流态固化土混合均匀并达到预定工作性。第 1 阶段浇筑时,将拌制好的材料逐步填充至管道底部,直至达到内套钢管管底的设计标高位置;待 7 d 固化强度达到 0.4 MPa 后再实施漂管法施工,确保管道准确定位,并对管道两端进行可靠固定,以防止移位或变形。第 2 阶段浇筑在内套管安装完毕之后实施,该阶段分 3 次独立进行填充作业,其中首次浇筑需精确控制注浆的用量和速度,有效避免内套钢管因注浆压力而产生上浮现象;每层浇筑间隔 4 d,同条件试块强度均应达到 0.4 MPa,以确保回填结构的整体质量和长期稳定性。

3.1 配合比设计

为了解决顶管施工过程中产生的泥浆干化土处理难题,在配合比设计阶段,现场首先采集顶管施工后经过干化处理的土样,将其运送至实验室进行后续处理。在实验室内,技术人员将土样按一定比例加水稀释,并通过机械搅拌设备充分搅拌,形成均匀的泥浆。泥浆密度需严格控制在 1.25~1.45 g/cm³,以确保后续固化反应的有效进行。在此基础上,根据工程实际需求,如固化所需的时间、混合物的流动性以及硬化后的强度等指标来动态调整固化材料的掺入量。通过多次试配与性能验证,可得到既能满足

设计强度要求,又具备良好施工作业性能的流态固化土。最终确定的流态固化土配比为:泥浆固化剂 220 kg/m^3 ,泥浆 $1\ 100\text{ kg/m}^3$,其中泥浆密度控制在 $1.30\sim 1.35\text{ g/cm}^3$;扩展度能达到 110 cm ,4 d无侧限抗压强度不小于 0.4 MPa ,7 d无侧限抗压强度不小于 0.5 MPa 。该配比兼顾了强度形成与工艺可行性,为实际施工提供了可靠依据。

3.2 拌制工艺

流态固化土现场拌制采用定制多轴强制搅拌设备,该设备单次搅拌能力为 7 m^3 ,具备干土与泥浆2种拌制模式。由于干土拌制耗时较长、工效偏低,该项目选择以顶管压滤后的干土在现场泥浆池中拌制为基础泥浆,再在泵送至搅拌设备的过程中参加固化剂。

流态固化土拌制设备见图3。



图3 流态固化土拌制设备

现场拌制工艺需对原材料的质量进行严格把控,确保固化剂、泥浆等组分符合《预拌流态固化土填筑技术标准》(T/CECS 1037—2022)要求。同时,必须精确控制搅拌时间,避免过度或不足搅拌,以保证混合物料均匀一致,减少质量波动。

3.3 第1阶段浇筑

在开展第1阶段的流态固化土浇筑之前,须对管道底部及周边基层进行全面清理,清除杂物、松散泥土等,保证基层平整坚实;同时通过洒水湿润来增强流态固化土与基层的黏结性能^[1]。

拌制完成的流态固化土通过管道自流输送至混凝土管道内部,从一端开始均匀浇筑,使材料缓慢流动并充分填充至基层表面,达到设计的第1层浇筑厚度。在浇筑过程中,施工人员需密切观察流态固化土的流动状态,及时处理可能发生的堵塞或堆积现象^[2]。

施工人员进入管道内实时监测浇筑高度,本阶段总浇筑量约 160 m^3 。检测发现,流态固化土硬化后表面平整度良好,整体强度符合设计要求^[3]。

流态固化土固化后状态见图4。



图4 流态固化土固化后状态

3.4 漂管法施工

考虑到内外套管间间隙狭窄,常规的运送安装工艺难以满足该工程的具体要求,而漂管法施工工艺凭借其顶力小、操作便捷、防腐保护效果好等优势,成为该工程的优选方案^[4]。该工艺将全部管道焊接作业集中安排在工作井内进行,不仅便于施工管理,还有效保护了管道的外防腐层,显著提升了工程的整体质量和耐久性^[5]。

具体的施工工艺流程包括参数计算、安装止水圈、管道底部流态固化土施工、管道组焊、探伤检测及补伤、管道顶进与导向控制、排水沉管、管道两端砖墙封堵以及流态固化土间隙填充等多个关键环节^[6]。

在安装止水圈环节,首先在工作坑和接收坑内的套管端头设置进水口和出水口,用以精确控制套管内的水位。随后安装橡胶止水圈,其形式与顶管施工中的洞口止水圈类似。该止水圈不仅能够有效止水、降低摩阻力,还能避免管道防腐层与刚性构件直接接触,从而起到良好的外防腐保护作用^[7]。此外,为有效防止管体上浮,在洞口左右两侧分别设置泄水口,并加装1组滚轮以限制管道的上浮位移^[8]。

洞口止水安装图见图5;洞口滚轮见图6。



图5 洞口止水安装图

在管道顶进与导向控制阶段,待顶进作业完成后,千斤顶及顶铁仍保留在工作坑内。通过调整工作坑导轨的高度,确保钢管与套管轴线保持一致。首节钢管管端采取内满焊方式进行封堵,以便为后续的管道导向控制提供更充足的操作空间^[9]。

工作井现场布置图见图7;管道内实施图见图8。



图6 洞口滚轮



图7 工作井现场布置图

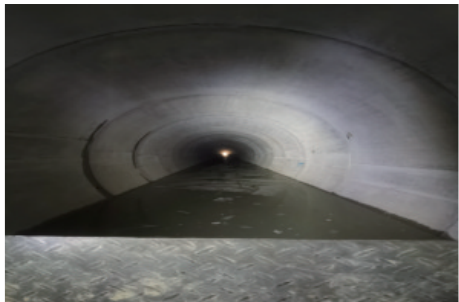


图8 管道内实施图

在排水沉管工序中,当漂管准确定位后,利用预先设置在套管两端的进水口和出水口进行有序排水,水位需缓慢下降,以确保施工安全及管道稳定^[10]。

本次浮管法施工进展总体顺利,自开工至完工共历时 30 d,总计使用 72 节管节。该工艺施工顶力较小,管道与混凝土套管间的同心度控制良好,现场施工偏差基本控制在 10 cm 范围内^[11]。

管道接收图见图 9。



图9 管道接收图

3.5 管道两端固定

在进行管道两端固定前,需对内外管体进行全面检查,清理基础表面的杂物和积水。间隙部位采用 50 砖墙进行封堵,并在墙身预留浇筑孔、排水孔

和排气孔。砌筑的砖墙需具备足够的强度、刚度及稳定性,以防止在后续浇筑过程中发生变形或位移^[12]。

管道两端封堵现场照片见图 10。



图10 管道两端封堵现场照片

3.6 第 2 阶段浇筑

在第 2 阶段浇筑过程中,施工分为 3 次进行,以确保工程质量和施工安全。

第 1 次浇筑通过预先设置的浇筑孔,使泥浆以自流方式平稳进入管道内部,本次浇筑量约为 260 m³。在施工过程中,必须密切监测管道的状态,特别是观察是否存在因浇筑引起的上浮现象,以便及时采取调整措施^[13]。由于流态固化土的凝固时间相对较长,本次浇筑后的间歇时间控制在 4 d,要求在此期间内固化土强度达到 0.4 MPa 以上,以保证后续施工的稳定性^[14]。

第 2 次浇筑同样采用自流方式进行,浇筑量约为 430 m³,施工过程中继续对管道状态进行实时监测。间歇时间同样设置为 4 d,以确保固化土达到足够的强度,为后续施工步骤提供坚实基础^[15]。

最后一次浇筑采用泵车泵送施工,以提高浇筑效率和精确度,浇筑量约为 450 m³。通过泵送方式,能够更好地控制泥浆的流动性和浇筑速度,进一步保障施工质量^[16]。

该工程原计划填充流态固化土总量为 1 200 m³,而实际施工中总浇筑量达到了 1 300 m³,超出原计划 100 m³,充分满足了设计与施工的填充要求,确保了工程的完整性和可靠性^[17]。

3.7 质量控制与检测

(1)拌合控制。采用强制式搅拌机拌合,确保泥浆、固化剂充分混合均匀。拌合时间不宜少于 10 min,根据拌合料的均匀性和流动性进行适当调整。严禁少拌、漏拌或过度拌合导致离析^[18]。

(2)运输控制。运输过程中需防止固化土离析、泌水,运输时间不宜超过初凝时间。若出现初凝或流动性不足,不得二次加水拌合,应作废弃处理。

(3)浇筑控制。浇筑前需清理作业面,确保基层

平整、湿润。采用管道自流及泵送方式浇筑至内外管道间隙内^[17]。

(4)管道控制。沿管道每隔50 m设置1个测量控制点,在固化土浇筑过程中实时监测管道上浮情况。该项目浇筑完成后,内套钢管管道总上浮量为15 mm,外套混凝土管轴线周边地面无沉降。

(5)检测情况。鉴于该项目涉及原水钢管道,且设计文件明确规定钢管道上不得开设孔洞,因此本次填充强度统一以同条件试块强度为准,其中7 d同条件试块的平均强度为0.73 MPa。

4 结 语

(1)流态固化土以其出色的流动性和自密实性显著提升了施工效率,无需复杂的振捣和压实操作,能大幅缩短工期并减轻对周边环境的影响。其能够完全填充管道间隙,构建密实且均匀的结构体,提升管道的稳定性和抗变形能力,避免因填充不充实而引发的工程质量问题。

(2)流态固化土以工程弃土等废弃资源为原料,减少了天然资源的耗费,缓解了废弃物处理压力,契合绿色施工理念。其施工工艺操作简易,所需机械设备和人力较少,有效控制了施工成本。快速填充与固化的特性有助于缩短工期、削减间接费用,整体经济效益突出。此外,通过废弃物资源化利用,降低了土方开挖和填埋对环境的影响,有益于生态保护和可持续发展。

(3)流态固化土作为一种新型管道间隙填充材料,展现出明显的工艺特点和应用优势。未来应进一步加大对相关研究和实践的投入,持续改进材料性能和施工工艺,为城市地下基础设施建设提供有力支撑。通过优化技术支持与团队能力,力求在每个环节做到尽善尽美,真正提升用户体验,保障系统

稳定运行。

参考文献:

- [1] 沈保汉.流态固化土在地下工程中的应用研究[J].岩土工程学报,2005,27(3):356-360.
- [2] 吴瑞潜,张庆贺,黄宏伟.流态固化土在盾构隧道同步注浆中的应用技术[J].地下空间与工程学报,2012,8(4):789-794.
- [3] 杨光华,张玉成,姜燕.流态固化土的流动性与强度特性试验研究[J].岩石力学与工程学报,2015,34(增刊1):3012-3018.
- [4] 刘汉龙,陈育民,周云东.流态固化土在地基处理中的应用现状与展望[J].岩土力学,2017,38(5):1301-1310.
- [5] 肖建庄,李秋义,赵由才.再生骨料流态固化土的基本性能试验研究[J].混凝土,2018(7):85-88;93.
- [6] 黄茂松,王卫东,徐中华.流态固化土与既有结构物的接触特性试验研究[J].土木工程学报,2019,52(6):97-105.
- [7] 郑刚,雷华阳,刘畅.流态固化土在基坑工程中的支护应用研究[J].中国公路学报,2021,34(3):156-165.
- [8] 冯世进,王建华,陈锦剑.流态固化土的渗透特性与长期稳定性分析[J].岩土力学,2022,43(1):123-131.
- [9] 王清,张文殊,朱浮声.内套管穿管技术在市政管道修复中的应用[J].施工技术,2016,45(12):78-81.
- [10] 徐日庆,吴世明,龚晓南.内套管穿管施工的力学机理与数值模拟[J].岩土工程学报,2018,40(5):890-897.
- [11] 钱七虎,王明洋,周健.复杂地层内套管穿管技术的关键问题研究[J].岩石力学与工程学报,2019,38(7):1420-1428.
- [12] 林树枝,杨健,王有志.内套管穿管工程的施工质量控制与验收标准[J].建筑结构,2020,50(10):135-139.
- [13] 刘国彬,王卫东,陈云敏.流态固化土填充在内套管穿管工程中的应用研究[J].地下工程与隧道,2021(2):35-39.
- [14] 周建,刘松玉,童立元.内套管穿管与流态固化土协同作用机理分析[J].岩土工程技术,2022,36(3):167-172.
- [15] 凌道盛,陈云敏,朱斌.流态固化土的流变特性对穿管施工影响研究[J].工程力学,2023,40(4):210-218.
- [16] 李华,赵刚,陈明.流态固化土在大口径管道回填工程中的应用技术研究[J].岩土工程学报,2020,42(5):890-896.
- [17] 刘洋,陈晓,郑波.大口径地下管道流态固化土回填技术规程研究[J].施工技术,2021,50(10):58-62.
- [18] 王明,李华,张伟.废弃泥浆资源化利用技术研究进展[J].环境工程学报,2023,17(5):1345-1356.