

流态固化土在污水管道封堵工程中的应用

李丽华, 沈 昊, 陈义浦

(南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘 要: 针对深埋堤身下污水管道处理的问题, 深入探讨流态固化土在工程中的应用。深埋堤身下的污水管道处理一直是工程技术的难点。合肥市二十埠河污水管道深埋堤身下 10 m, 管内径 1.4 m, 管线总长 5.0 km, 现存在渗漏等情况, 不仅威胁堤身结构安全, 还存在环境污染风险。该工程周边环境复杂, 开挖施工受到极大限制, 传统处理方式难以实施。经方案论证比选, 最终采用流态固化土对堤身下污水管道进行封堵处理。这一创新方案无需大规模开挖即可实现有效封堵, 既显著降低了堤身安全隐患, 又大幅节约了工程建设成本。该工程实践成果为类似地下管道封堵设计提供了重要参考, 在实际工程应用中具有重要的示范价值。

关键词: 流态固化土; 污水管道; 封堵; 施工工艺

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)10-0303-04

Application of Fluidized Solidified Soil in Sewage Pipeline Sealing Engineering

LI Lihua, SHEN Hao, CHEN Yipu

(Nanjing Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210001, China)

Abstract: In response to the problem of treating sewage pipelines deeply buried under embankments, the application of fluidized solidified soil in engineering is deeply discussed. The treatment of sewage pipelines deeply buried under the embankment has always been a difficult problem in engineering technology. The sewage pipeline of the Ershibu River in Hefei City is buried 10 meters deep under the embankment, with an inner diameter of 1.4 meters and a total length of 5.0 kilometers. There are leakage and other issues that not only threaten the safety of the embankment structure, but also pose a risk of environmental pollution. The surrounding environment of the project is complex, and the excavation construction is greatly limited, making the traditional treatment methods difficult to implement. After scheme demonstration and comparison, the final solution for this project is to use fluidized solidified soil to seal the sewage pipeline under the embankment. This innovative solution can achieve the effective sealing without large-scale excavation, which significantly reduces the safety hazards of the embankment and saves the construction costs greatly. The practical results of this project provide the important references for similar underground pipeline sealing designs and have significant demonstration value in practical engineering applications.

Keywords: fluidized solidified soil; sewage pipeline; sealing; construction technology

0 引 言

流态固化土是一种以土为主要基料的低强度流态填筑料^[1], 具有高流动性和自密实性, 特别适用于地下狭小、异形空间和压实困难的部位填筑, 如管网埋设回填、管廊基槽回填、深基坑回填、地下狭窄或异形空间回填等^[2-4]。刘路路等^[5]指出流态固化土是一种创新性的工程材料。任铁钺等^[6]详细阐述了流态固化土的基本性能, 指出流态固化土是一种用途广

泛、价格低廉的绿色低碳工程材料。本文结合二十埠河防洪治理工程实例, 阐述流态固化土在深埋堤身下污水管道封堵工程中的应用及其无可替代的优势。

1 工程概况

合肥市二十埠河堤防级别为 1 级, 右岸长临路—裕溪路段堤身下部, 现有钢筋混凝土结构污水管道长约 5.0 km, 管内径 1.4 m、埋深约 10 m。经现场踏勘、物探及地质勘探等多方面调查分析, 该段污水管道局部存在渗漏、河水倒灌等情况, 管道周边土体有机质化、含水量高, 堤身填土质量较差, 压实不均匀,

收稿日期: 2025-05-08

作者简介: 李丽华(1987—), 女, 本科, 工程师, 从事河道综合整治设计工作。

且较为松散,下部堤身淤泥土埋藏深浅不稳定,堤身沉降速率不均匀等问题。因此,本工程拟将该段污水管道进行处理,以保障堤防安全。

2 管道处理方案

2.1 管道处理方案拟定

本工程污水管道为市政管线,其处理方案对周边影响较大,需市政管理部门协调^[7]。根据堤防情况、管道埋深、管径及周边现有条件等,拟对堤身内的污水管道采取挖除回填和保留加固两种方式进行方案比选。

2.1.1 方案1:原污水管道挖除回填

将右岸长临路—裕溪路段长约5.0 km的污水管道全部挖除,并对堤身重新填筑。

(1)初拟基坑开挖面。依据管网图纸资料,现状D1400混凝土污水管道管顶埋深6.62~8.75 m。初拟管道开挖基坑断面为:基坑底部宽5.0 m,两侧开挖坡比1:1.5,中部设3.0 m宽平台,开挖上口宽约30.30~34.81 m,开挖断面如图1所示。

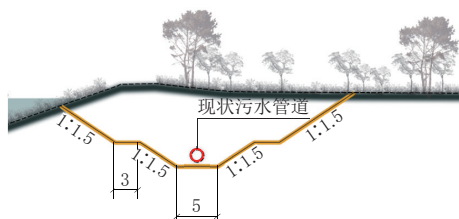


图1 管道开挖断面(单位:m)

(2)管道开挖方案评价。方案1堤身重新填筑加固效果好,但基坑深度大,涉及大量土方开挖、外运,施工存在较大安全隐患。基坑沿线紧邻现状小区、青年创意田园、钟油坊污水处理厂、周谷堆农产品国际物流园区等10处公共建筑,穿越9座跨河桥梁,施工影响大,易造成建筑开裂、位移等安全风险。大规模开挖影响交通、地下管线及高压输电线路等,并产生较大扬尘,对环境及市容市貌影响较大。该方案总造价超过1亿元,经济性欠佳。

2.1.2 方案2:原污水管道保留加固

为控制工程造价、减少施工作业影响,拟保留现有污水管道进行填充封堵。该方案充分利用现有污水管道,通过填充封堵工艺消除渗漏隐患。该方案土方工程量小,无需大规模开挖回填作业,不涉及大面积临时占地;对沿线建筑物影响极小,施工过程中产生的扬尘、噪声等环境影响微弱。经测算,项目估算总造价3 300万元,对比方案1大幅降低,兼具技

术可行性与经济合理性。

综合分析,方案1能够较彻底解决堤身管道的安全隐患,但该方案土方量巨大,基坑开挖深度深、影响范围广,对基坑开挖方案精确化要求高^[8];周边建筑易发生开裂、位移等,风险较高;实施过程涉及多个行政主管部门,对接难度大,建设周期长。方案2对污水管封堵填实后消除管道空洞,防止管道破坏产生塌陷,可达到较好的加固效果;施工简便,影响小、安全性高、经济性合理。

经综合分析,本次采用管道保留加固方案。

2.2 管道封堵材料比选

由于本次封堵的管道埋深较大且为污水管道,通风条件差,除毒除臭难度较高且难以确保万无一失,对人员施工时的安全有较大不利影响。因此,封堵材料要选用既要能够起到封堵作用,又要具有良好流动性、便于施工和减少人员操作、确保人员安全的材料。经过多次调研并结合现有工程经验,拟对自密实混凝土和流态固化土进行比选分析。

2.2.1 自密实混凝土

自密实混凝土是通过在混凝土中采用合理的配合比添加专用外加剂或掺和料来实现自动密实^[9]。这些添加剂可以生成微小的气泡,具有较好的流动性,易于施工和浇筑,在施工过程中减少了振捣的需求。

2.2.2 流态固化土

流态固化土是将渣土(工程土)作为主材掺入胶凝材料或与之特性相适应的专用固化剂(水泥基为主,以CaO、活性 Al_2O_3 和 SiO_2 为主要成分的无机水硬性胶凝材料),以及必要的水和外加剂(早强剂、减水剂、抗裂防渗剂等),通过特定的搅拌机进行拌合均匀,形成流动性强、可施工性高的混合料,经浇筑或填筑、养护后,固化成为结构致密、具有一定强度、水稳定性、整板性好、低渗透性和保持长期稳定的新型岩土工程材料。

2.2.3 封堵材料比选

与传统工艺相比,流态固化土填筑技术具有以下几个优点^[10-11]:

(1)流态固化土具极强的流动性和自密性,施工质量可控。由于流态固化土具流动性和自密性,可以将狭窄空间和异形结构空间的所有空隙填实,施工不受场地的限制,施工中无需夯实振捣,施工质量易保证。

(2)流态固化土强度可按设计要求控制。流态

固化土固化后,强度区间一般为 0.1~10 MPa,可按设计要求,硬塑性、坚硬或半刚性,强度可控,3 d 左右初具强度,28 d 趋于稳定,与混凝土类似。

(3)流态固化土具抗渗性。流态固化土是将固化剂和土水一起拌合,发生一系列水解水化反应,形成结晶物填充了颗粒间的孔隙,硬化后的固化土强度和密实度都大大提高。经过试块抗渗试验研究表明,固化土硬化后的渗透系数能达到 1×10^{-7} cm/s。

(4)流态固化土的施工灵活适配性。流态固化土主要原材料为三种:水、弃土和固化剂。水是流态固化土的主要组成成分,针对工程特点,考虑管道内少量渗水问题,在施工时适当调整固化土的泥浆密度和固化剂掺量即可,不会影响工程质量。

(5)流态固化土具经济、环保的特点。施工中采用机械施工搅拌、溜槽填筑、自密实硬化,人工消耗少,施工成本低。同时,施工原材料采用工程废弃渣土,可就地取材;而且固化剂采用粉煤灰、矿渣等作为生产的原材料,属于资源化利用,成本低。目前,固化土的单价已低于传统材料价格,具有十分显著的经济性。

流态固化土和自密实混凝土在管道封堵中的优缺点对比见表 1。

表 1 管道封堵材料比选

对比项	自密实混凝土	流态固化土
填料来源	石子和沙子均需开采,为不可再生资源	工程渣土或淤泥+固化剂=资源化利用
材料性能	单体强度高,硬度大,抗腐蚀、防渗透性强	强度可根据设计要求调整,强度适宜,防渗透、水稳性强,抗腐蚀
施工工艺	流动性相对较差,一般每 5~10 m 左右需要打一个孔,5.0 km 的污水管道现有 68 个检修井,还需要打 416 个灌注孔,不仅对现状堤防损害较大,同时也极大地增加了打孔费用,且易发生回填不密实等问题	流动性相对较好,可直接回填,无需振捣,材料自密实,具有良好的施工便捷性。一般按照 30 m 左右一个孔,现状 68 个检修井,还需打孔 101 个,远远少于自密实混凝土的打孔数量,降低成本以及对堤防的损害
隐患性	由于其流动性相对较差,施工时需要人工进入管道进行处理,安全隐患大	填筑时无需人工进入污水管道处理
经济成本对比	价格较高:单价 560 元/m ³	价格较低:单价 370 元/m ³
社会效益	依赖、消耗自然资源,对环境造成影响	利用废弃资源、节约自然资源,维护生态平衡、响应国家号召

综上所述,本次管道封堵不需要自密实混凝土的高强度性能,由于其流动性相对较差,施工时对堤防打孔数量较多造成损害较大,且施工时需要人工

进入管道操作,安全隐患较大,同时费用较高。因此,封堵材料拟选用流动性相对较好、施工相对简单安全且造价低、环保性更好的流态固化土。

综合分析,本次对二十埠河长临路—裕溪路段右岸 5.0 km 原堤身内污水管线采用流态固化土灌注封堵处理。

3 管道封堵施工工艺

根据对现状管道资料的分析,可采用分段(两个检修井之间)施工的方式。若该段检修井间距大于 30 m,中间加一个引流孔,孔洞的直径大于泵管的直径(一般为 15~20 cm)即可。先从检修井对管道两端进行封堵,并计算好该封堵段的填筑方量,采用单泵泵送或多泵同时泵送浇筑,每个管道泵送方量应基本相等。待填筑方量达到计算方量时,若仍未填满,则每个引流孔小方量尝试,直到流态固化土溢出为止。

3.1 材料准备

流态固化土是一种以渣土、水泥、粉煤灰、水及固化剂为主的混合材料^[12],固化剂的相关参数应符合国家行业标准《软土固化剂》(CJ/T 526—2018)要求。本工程采用 W 类固化剂,直接与土混合使用,可采用集中厂拌运输回填或现场移动设备拌合回填的施工工艺。

(1)配合比设计。卞成龙^[13]通过试验研究指出流态固化土的流动性受水固比的影响较大,针对本工程特点,配合比(每立方米)设计如下:固化剂 120 kg,土 950 kg,水 450 kg。

(2)主要技术参数、物理指标。固化土强度按照《排水管道工程自密实回填材料应用技术规程》(TCUWA 40055),28 d 无侧限抗压强度不小于 0.4 MPa;材料的重力密度不小于 15 kN/m³;渗透系数不大于 1×10^{-6} cm/s;泌水率不大于 3%;

3.2 施工准备

(1)设备准备。选用合适的混凝土输送泵、搅拌运输车等设备,其压力要能满足将流态固化土输送到地下 10 m 的管道中,输送泵管道密封性要好。配备足够数量的混凝土搅拌运输车,保证混凝土供应的连续性。准备好照明、通风设备,要确保地下作业有足够的光线和新鲜空气。

(2)管道检查。精确测量管道的位置和深度,确保充填位置准确无误。同时检查混凝土管的完整性,查看有无裂缝、破损等情况。

(3)引流孔设置。采用分段(两个检查井之间)施工的方式,利用现状检查井向管道中注入流态固化土充填。若该段大于30 m(约每隔30 m设置一个引流孔),中间增加一个引流孔,孔径一般采用0.2 m。引流孔须贯穿地下污水管道内壁,使流态固化土顺利流入管内(即深度达到地下8~10 m)。管道封堵引流孔设置示意图如图2所示。

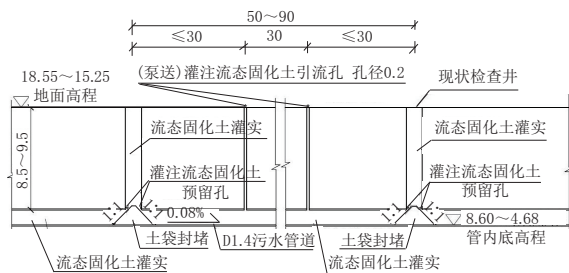


图2 管道封堵引流孔设置示意图(单位:m)

3.3 流态固化土灌注

(1)搅拌。配料充分搅拌,时长通常控制在3~5 min,让各成分均匀混合,形成具备良好流动性与合适凝结时间的流态固化土。

(2)管道连接。把搅拌好的流态固化土装入混凝土运输车,运输车出料口与预先铺设至管道灌注口的输送管道稳固、密封连接。

(3)灌注操作。采用泵送的方式灌注流态固化土。先采用土袋从检修井对管道两端进行封堵,并计算好该封堵段的填筑方量,采用单泵泵送或多泵同时泵送浇筑,每个泵管泵送方量应基本相等。待填筑方量达到计算方量时,若仍未填满,则每个引流孔再次小方量尝试,直到流态固化土溢出为止。

3.4 养护与质量验收

(1)养护。灌注完成后,按照规范要求,养护时长根据气温、环境和固化土特性,一般不少于7 d。

(2)质量控制。施工过程中,精确控制流态固化土的材料配合比至关重要。此外,温度和湿度条件对强度发展也起着重要影响,施工期间应实时监测,严格把控^[14]。养护期满,采用超声检测、钻芯取样等手段,检测固化土的密实度、强度等指标。达标后才可开展后续回填等工序。

(3)质量验收。取样工作应标准化^[15],固化土立方体抗压强度试件尺寸为70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm。在同条件养护情况下,28 d无侧限抗强度要求不小于0.4 MPa。

4 结 语

本文结合二十埠河堤身下污水管道封堵工程实例,阐述在开挖受限条件下,通过封堵加固方案降低现状污水管道安全隐患问题的可行性,详细介绍了流态固化土封堵污水管道设计方案的优势及施工工艺,为类似工程实践提供了技术指导。

流态固化土作为一种创新性的绿色工程材料,具有施工速度快、周期短,安全隐患低,质量可控等优势^[16],在实际工程中具有广泛的应用前景。在今后的工程实践中,应进一步加强对流态固化土在工程运用中的研究和创新,不断提高其设计和施工水平,发挥其无可替代的优势。

参考文献:

- [1] 周永祥,霍孟浩,侯莉,等.低强度流态填筑材料的研究现状及展望[J].材料导报,2024,38(15):130-138.
- [2] 甘雨,王全胜,张强,等.管道更新用流态固化土性能试验研究[J].中国市政工程,2025(1):20-25;142.
- [3] 刘澜涛,王红英,黄高明,等.流态固化土的制备及其固化机理研究[J].江西建材,2024(11):73-76.
- [4] 苏悦,闫楠,白晓宇,等.预拌流态固化土的工程特性研究进展及应用[J].材料导报,2024,38(9):66-72.
- [5] 刘路路,王华磊,顾凡,等.流态固化土研究现状与展望[J/OL].中外公路,(2025-04-28)[2025-05-06].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1363.U.20250428.0942.002.html>.
- [6] 任铁钺,陈玉龙,曲胜满,等.预拌流态固化土配合比设计及应用研究[J].建筑技术,2024,55(11):1405-1407.
- [7] 刘俐.城市新建道路工程既有地下管道保护方案研究[J].城市道桥与防洪,2021(12):125-128.
- [8] 陈银河.超复杂环境下基坑开挖的技术研究[J].城市道桥与防洪,2021(3):203-206.
- [9] 周晓玺,曲保屹,黄媛.浅谈自密实混凝土在路基施工中的应用和推广[J].城市道桥与防洪,2015(5):142-143;152.
- [10] 肖玉宝.预拌流态固化土在深基坑狭窄肥槽回填中的应用[J].建筑技术,2025,56(3):314-316.
- [11] 刘帅,徐玉飞,詹进生,等.国内流态固化土的研究与应用进展[J].新型建筑材料,2022,49(8):167-171.
- [12] 范惜辉,王宁宁,高军,等.预拌流态固化土在管道工程的应用[J].价值工程,2023,42(4):121-123.
- [13] 卞成龙.流态固化土工程性能试验研究[D].合肥:合肥工业大学,2022.
- [14] 彭雨兵,贾平生,夏传涛,等.流态固化土施工过程中的质量控制与检测技术研究[J].中国住宅设施,2024(增刊1):29-30.
- [15] 李杰.水利工程质量检测的影响因素及改善方法[J].大众标准化,2025(7):27-29.
- [16] 王丽筠,孙伟东,文劲博.预拌流态固化土在深基坑回填工程中的应用[J].建筑技术,2021,52(4):460-461.