

大直径污水管道封堵及基坑围护 结构一体化施工技术

冀大亨¹, 刘佳杰², 赵慧娟¹

(1. 北京城乡建设集团有限责任公司, 北京 100067; 2. 北京市城乡建设勘察设计院有限公司, 北京 100037)

摘要:在地铁深基坑与大直径污水管道交叉工程中,传统施工方法面临结构风险及渗水问题,亟需研发高效可靠的施工技术。文章依托某轨道交通工程实例,提出封堵围护一体化施工技术,详细阐述了该技术的施工工序与关键参数,重点对比并分析了封堵围护一体化围护桩与一般围护桩在基坑深度范围内的变形特征。监测结果显示:应用该技术后封堵处实现零渗水,封堵位置桩体最大变形为 8.9 mm,全基坑深度范围桩体最大变形控制在 39.6 mm。研究结果表明:该技术不仅有效解决了传统管道封堵后的渗水难题,而且通过管道与土体间的摩擦力对围护结构施加反向约束,显著减小了围护桩变形量并提升了桩体稳定性。该技术在保障管道封堵质量与基坑开挖安全方面效果显著,具有较高的工程实用与推广价值。

关键词:一体化施工; 大直径管道; 封堵; 围护结构

中图分类号: TU992.05

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2026)07-0049-07

doi: 10.13402/j.gcjs.2026.07.078

Integrated construction technology for large-diameter sewage pipeline plugging and foundation pit retaining structure

Ji Daheng¹, Liu Jiajie², Zhao Huijuan¹

(1. Beijing Urban Construction Group Co., Ltd., Beijing 100067, China;

2. Beijing Urban and Rural Construction Survey and Design Institute Co., Ltd., Beijing 100037, China)

Abstract: In the crossing projects of subway deep foundation pits and large-diameter sewage pipelines, it is crucial to develop an efficient and reliable construction technique to address the structural risks and water seepage issues associated with traditional methods. Based on a rail transit engineering case, this paper proposes an integrated plugging and retaining construction technology. The construction procedures and key parameters of this technology are elaborated, with a focus on the comparative analysis of deformation characteristics between the integrated retaining piles and conventional retaining piles within the foundation pit depth. Monitoring results indicate that after applying this technology, zero water seepage was achieved at the plugging location. The maximum pile deformation at the plugging position was 8.9 mm, and the maximum pile deformation across the full depth of the foundation pit was controlled within 39.6 mm. The study shows that this technology not only effectively resolves the water seepage problem associated with traditional pipeline plugging but also utilizes the friction between the pipeline and the surrounding soil to exert a counteracting force on the retaining structure. This significantly reduces the deformation of the retaining piles and enhances their stability. The technology demonstrates remarkable effectiveness in ensuring the quality of pipeline plugging and the safety of foundation pit excavation, holding high practical and promotional value for engineering applications.

Key words: integrated construction; large-diameter pipeline; plugging; retaining structure

收稿日期: 2025-12-24

作者简介: 冀大亨(1993—),男,工程师,从事施工技术、项目管理及科技创新等工作。

通信作者: 刘佳杰(1988—),男,正高级工程师,从事施工技术、项目管理及科技创新等工作。

随着城市地下空间的快速发展,地铁深基坑与既有地下管道的交叉问题日益突出。《“十四五”城市排水防涝体系建设行动计划》特别指出,应持续推进城市排水防涝体系建设,切实消除各类事故隐患。通过文献检索发现,相关技术人员对管道封堵技术进行了讨论。徐鹏^[1]通过对无压力管道快速临时堵水排水方法进行研究,分析了砖砌法封堵、管道内气囊堵水及模板封堵法等不同管道封堵方法的优缺点及适用条件。肖磊^[2]通过将大直径管道预先加固悬吊、掏底施作连接井,并采用闸板完成旧管道封堵。徐烁等^[3]通过分析基坑渗漏水带来的重大灾害,提出对围护结构薄弱部位附近的建构筑物及管道结构进行刚性支撑或加固。陈军^[4]总结了气囊封堵的施工要点,包括:气囊直径要大于封堵管道直径,气囊不能设置在管道接头处,封堵管道内不能有尖锐物等。吴谊合^[5]通过设计一种包含封堵单元、连接单元、支撑单元在内的大管径排水管道封堵装置和相应操作系统,以期解决当前的施工和抢险工程难题。狄澄^[6]设计了一种管道封堵机器人,能够准确定位并进行封堵,且封堵过程不影响管道运输,但其适用范围并未推广至大直径污水管道。

新建地铁车站建设中,因邻近新建车站深基坑的雨污水管道封堵不严,导致多起基坑渗水垮塌事故发生,造成巨大经济损失^[7]。在大直径污水管道与深基坑的交叉工程中,常规管道封堵方法难以满足深基坑侧壁防渗要求。基坑围护结构因管道渗水或封堵不严,导致背后土体出现空洞和变形,影响基坑开挖安全及基坑稳定性。因此,探求一种将管道封堵与基坑围护结构相结合的施工方法具有重要意义。

本文以某地铁深基坑工程与市政主路下方南北向大直径污水管道交叉施工为背景,从地下管道封堵与基坑围护桩施工相结合的角度出发,提出一种封堵围护一体化施工技术。该技术通过围护桩结构与污水管的封堵端一体化浇筑,形成封堵围护一体化混凝土结构,使围护桩结构与管道的封堵端连接为一个整体,可有效封堵污水管道并控制基坑壁渗漏水。同时,污水管道可以提供一定约束作用,控制基坑变形。

1 工程概况

1.1 项目基本情况

本工程为某轨道交通地铁项目,车站位于市区两条主干路交叉口,跨越十字路口沿东西向主路南侧呈东西向布置。新建地铁车站为地下三层,建成后与既有运营 8 号线地铁站同站厅换乘,如图 1 所示。新建车站施工主要采用明挖法,邻近既有线东侧基坑因交通导行需要,局部采用盖挖顺做法。新建车站深基坑围护结构设计为“围护桩+内支撑”形式,基坑深度为 25.9 m,长度为 75.2 m,宽度为 32.54 m,自上而下设置 4 道钢支撑,采用管井降水控制地下水位。围护桩设计直径为 1.00 m,中心间距为 1.50 m,桩长为 32.35 m。基坑北侧紧邻区域主干路,周边设有电力隧道、电力排管、通信、自来水、雨水等多条重要管线,地下环境较为复杂。

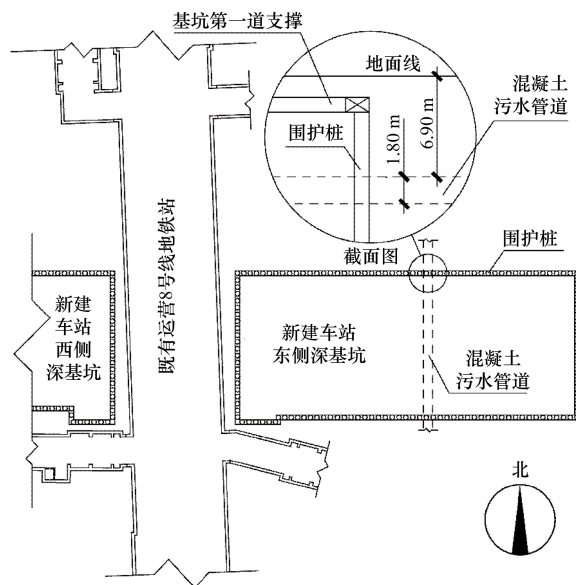


图 1 新建车站深基坑与混凝土污水管线位置关系

1.2 污水管道工况

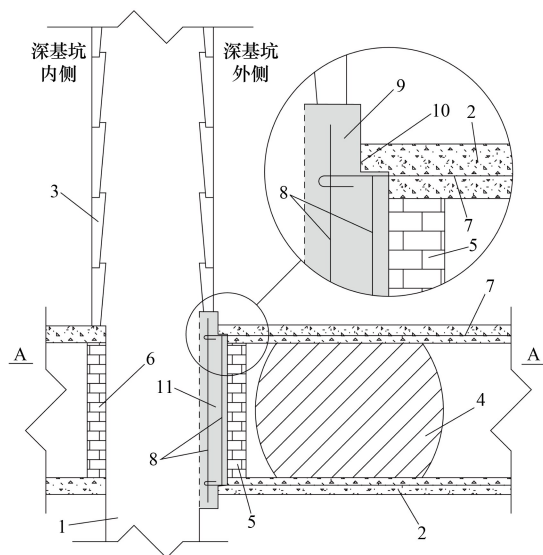
如图 1 所示,根据管道勘察成果,新建车站东侧深基坑内存在一条南北向大直径混凝土污水管道,该管道直径为 1.80 m,埋深约为 6.90 m,与新建车站东侧深基坑呈十字交叉关系。该污水管道所处地层为砂质粉土层。

明挖基坑施工前已对该污水管道完成迁改,但已废除的原污水管道存在多处不明管道接入点,导致原污水管道内仍有大量积水。围护桩成桩机

械为旋挖钻, 该钻机无法在成桩时破除原污水管道。为确保顺利成桩, 减少深基坑开挖期间围护桩侵限风险, 避免原污水管道渗水, 保证原污水管道封堵质量与基坑安全, 需设计一种高效、低成本、可靠的措施, 对原污水管道进行封堵, 保证围护桩顺利实施, 降低基坑开挖风险。

2 封堵围护一体化技术特点

综合现场条件、实施难度、工期、造价等因素, 充分考虑封堵材料失效、封堵墙变形开裂或垮塌导致封堵结构破坏, 原污水管道周边土体松动可能渗水引发细颗粒流失形成空洞, 地层残留水及暴雨期间管道内水位骤升可能冲毁临时封堵结构等安全风险, 确定大直径污水管道封堵及基坑围护结构一体化施工技术, 其结构形式如图 2、3 所示。



1—封堵围护一体化围护桩; 2—原污水管道;
3—人工挖孔桩护壁; 4—封堵气囊; 5—临时
封堵砖墙; 6—基坑内侧临时封堵砖墙; 7—原
污水管道钢筋; 8—钢筋网片; 9—外护层; 10—原
污水管道企口; 11—封堵围护一体化混凝土结构。

图 2 封堵围护一体化施工纵面截面

封堵围护一体化施工是通过人工挖孔桩开挖至原污水管道, 然后破除挖孔桩开挖范围内的原污水管道, 通过气囊堵水形成安全作业面, 再将原污水管道钢筋与封堵围护一体化混凝土结构内设置的钢筋网片连接, 一次灌注混凝土, 形成封堵围护一体化混凝土结构, 其核心在于围护桩施工与污水管道封堵相结合。封堵围护一体化施工

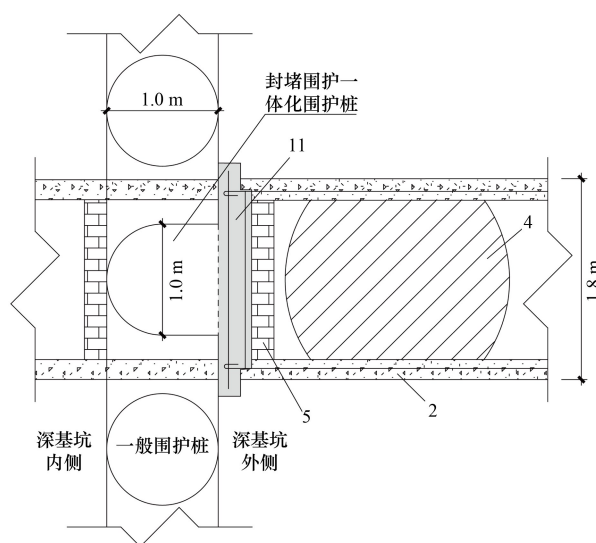


图 3 封堵围护一体化施工平面截面 (A-A 截面)

技术从减少施工工序、降低施工难度和额外施工成本的角度出发, 通过封堵围护一体化混凝土结构使封堵体与围护桩整体连接, 增强了桩体侧向抗弯能力, 满足桩体变形限值、管道封堵防渗和基坑安全的需求。封堵围护一体化施工技术具有特点如下。

(1) 使用混凝土对大直径污水管进行封堵, 封堵围护一体化混凝土结构置于污水管内的混凝土厚度不小于 0.2 m, 有效封堵原污水管道。

(2) 封堵围护一体化混凝土结构设置不小于 0.15 m 外护层, 延长渗水通道, 扩大围护结构背土侧防渗范围, 减少原污水管渗漏对围护结构的影响。

(3) 原污水管道钢筋与封堵围护一体化混凝土结构内设置的钢筋网片连接, 有效增强原污水管道稳定性、封堵围护一体化混凝土结构的抗冲击能力及结构强度。

(4) 原污水管道封堵与基坑围护结构一体化浇筑, 有利于提高管道稳定性、围护结构的稳定性及侧向抗弯能力。

(5) 对传统管道封堵与结构施工之间的关系进行工序改进, 优化工序技术步骤, 即由先封堵原污水管道、而后再进行结构施工的方式, 优化为原污水管道封堵与围护结构同期实施。

3 封堵围护一体化施工

由于没有类似的施工经验和实施项目, 大直

径带水管道封堵及围护结构一体化施工前,项目应部应对施工方案进行充分论证,确保施工方案的可实施性和安全性。完成方案审批后,进行详细的技术交底,确保施工人员理解施工过程及施工要点;必要时,应进行分阶段技术交底。封堵围护一体化施工主要工序见图 4。

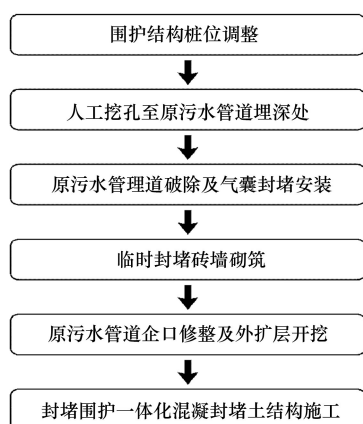


图 4 封堵围护一体化施工主要工序

3.1 围护结构桩位调整

采用小型钻机由地面沿基坑纵向间隔 300 mm 向下钻孔,确认管道边界位置及埋深。钻探完成后,绘制管道与围护桩平面位置与剖面图,结合地质勘察情况确认管道所处位置的土质,按照尽可能减少管道影响范围的原则调整围护桩位置,降低施工难度,并及时与设计单位沟通确认调整后的桩位。如图 5 所示,2 号桩位置向左移动 300 mm,3 号桩位置向左移动 400 mm,4 号桩位置向左移动 400 mm,5 号桩位置向左移动 350 mm,6 号桩向左移动 150 mm,7 号桩向左移动 150 mm。调整完成后,使 4 号桩中心与原污水管道中心对应,便于通过开挖 4 号桩,确定原污水管道的平面中心线,也有利于原污水管道通过封堵围护一体化混凝土结构与围护结构连接,提高相互作用力。另

外,使 3 号桩及 5 号桩对称设在原污水管道两侧,便于后期补充浇筑原污水管道封堵结构。

3.2 人工挖孔至原污水管道埋深处

施工前在地面上设置围栏及警示标志,而后自管道上方地面采用人工挖孔的方法分层向下开挖,其中人工挖孔段桩径应大于机械成孔段桩径 200 mm。顶层位置锁口圈应高于地面 0.2 m,以防止土石滚落挖孔桩内造成安全事故,人工挖孔壁厚不小于 100 mm,每节护壁高度不大于 800 mm,上下节护壁搭接长度不小于 50 mm;每挖 2 m 用铅垂线校正中线,偏差不应大于 1%;护壁挖深至管道顶面后,应加密护壁环向钢筋并将护壁与管道交接部位锚喷密实;护壁混凝土中加入速凝剂,挖至既有管道顶部后加固护壁并安装爬梯,完成护壁验收。人工挖孔桩开挖期间应持续强制通风,定期检查有害气体浓度,防止有害气体中毒^[8]。

3.3 原污水管道破除及气囊封堵安装

护壁完成后,采用水钻在原污水管道壁开孔,孔径为 50 mm,用于检查确认管道内积水情况,如有反水,及时抽排。然后破除挖孔桩范围内全部原污水管道,破除期间保证临时平台牢靠,并做好通风换气工作。

管道破除范围满足下人条件后,采用气囊对原污水管道进行临时封堵。如果原污水管道内积水较多,应聘请专业潜水人员进入原污水管道采用气囊进行临时封堵,排出原污水管道临时封堵后的积水,再进行下一步施工。为避免气囊封堵实际位置偏差,以控制封堵完毕后气囊末端距离拟作围护桩边最小间距为原则,距离不小于 600 mm。

3.4 临时封堵砖墙砌筑

为避免气囊因水压或老化导致密封不严^[9],在气囊间积水抽排完毕后,在管道内砌筑 200 mm

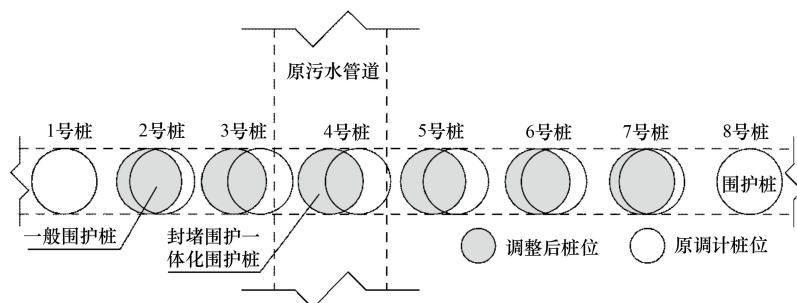


图 5 原污水管道附近围护桩调整示意

砖墙作为临时封堵墙, 兼做混凝土封堵墙侧模, 并防止围护桩钻孔施工时泥浆外漏。砌筑前, 先清理附着在管壁的生物膜、油脂和沉积物, 再采用角磨机打磨管道中下部管壁, 避免影响砌筑质量和临时封堵效果。为了确保原污水管道封堵效果, 临时封堵砖墙与原污水管道接缝处设置防水层。为了方便后续钻孔施工, 应砌筑基坑内侧临时封堵砖墙, 便于钻头穿过原污水管道封堵段。

3.5 原污水管道企口修整及外扩层开挖

为了使封堵围护一体化混凝土结构更好地与原污水管道结合, 将原污水管道企口修整为台阶形式, 同时设置外扩层, 扩大封堵围护一体化混凝土结构的覆盖范围, 防止原污水管道内的存水渗透。

砖墙砌筑完成后, 进行管道原污水管道企口修整。首先进行管道内壁企口修整, 沿管径方向破除深度 90 ~ 100 mm, 沿管道轴向破除长度 100 mm 的原污水管道壁, 露出原污水管道内部钢筋; 然后对外露的原污水管道钢筋进行清理及齐平修正, 预留长度不小于 500 mm, 用于与封堵围护一体化混凝土结构内钢筋网片连接。

原污水管道外露预留钢筋处理完成后, 自上而下沿已破除的原污水管道壁位置径向扩挖外扩层, 其径向挖土距离自原污水管道外壁向外不小于 150 mm, 沿原污水管道轴向挖土长度不小 200 mm。

3.6 封堵围护一体化混凝土结构施工

封堵围护一体化混凝土结构内设置双层 $\varnothing 6$ mm 的钢筋网片, 网片与外露的原污水管道钢筋绑扎连接。

封堵围护一体化混凝土结构钢筋网片安装完成后, 制备封堵围护一体化围护桩钻孔泥浆, 相较于正常施工围护桩泥浆性能指标, 各项指标数值应略高于规定上限值, 以防止原污水管道封堵端周边及外扩层位置护壁塌孔。掺用膨润土进行泥浆改良, 改良后泥浆相对密度宜为 1.08 ~ 1.1, 黏度宜为 20 ~ 25 Pa·s。当钻头通过原污水管道封堵端时, 应轻压慢钻, 设置钻孔转速不大于 8 r/min, 待钻孔至封堵端下 3 m 时, 调整转速为 12 ~ 15 r/min。灌注混凝土前, 孔底 500 mm 以内泥浆相对密度应小于 1.25。钢筋笼吊放时在地面设置支挡, 避免耳筋

与封堵墙钢筋刚蹭。

混凝土灌注前根据终孔深度、封堵围护一体化混凝土结构尺寸、扩挖尺寸、桩径、桩底标高、桩顶设计标高计算浇筑所需混凝土方量。在混凝土灌注过程中, 混凝土灌注面位于原污水管道封堵端下 5 m 时, 应检查导管理设深度, 调整导管位置, 避免在封堵位置浇筑混凝土时导管理设过深或拔管中断浇筑。在原污水管道封堵端上下 1 m 范围内, 应降低混凝土浇筑速度, 连续、紧凑进行, 并确保地面混凝土罐车内方量满足连续浇筑条件。

4 封堵围护一体化结构监测及分析

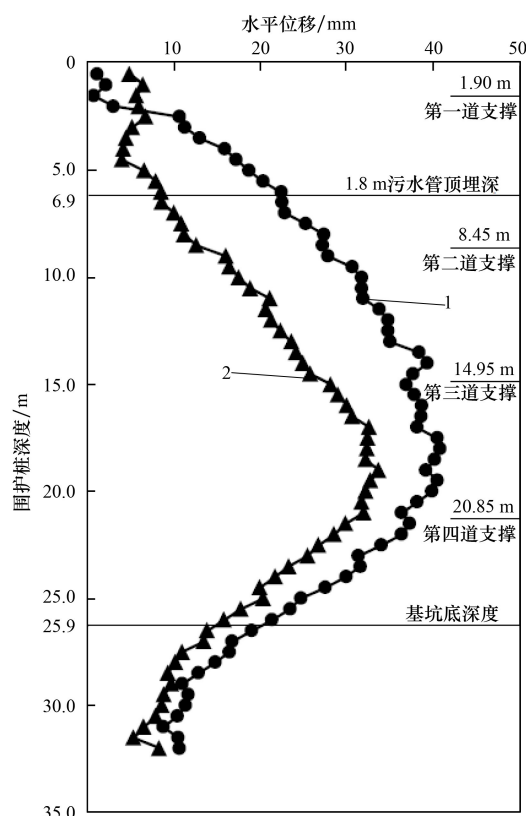
在封堵围护一体化围护桩变形方面, 在基坑开挖全过程中对封堵围护一体化围护桩(图 5 中 4 号桩)进行监测。其监测原理: 通过在桩体施工阶段预埋测斜管, 而后随基坑土方开挖, 采用测斜仪沿管内逐段测量各深度处的倾斜角度, 再将角度数据转换为相对于初始值的水平位移值, 从而获得围护桩沿深度方向的位移变形。本例中监测范围为基坑深度 0 ~ 32 m, 每隔 0.5 m 取一个测点, 统计各测点的水平位移, 并将其与一般围护桩(图 5 中 7 号桩)监测数据对比, 得到基坑开挖至基底后围护桩深度与水平位移关系曲线, 如图 6 所示。曲线显示, 围护桩变形数据呈线性变化, 变形曲线转为弓形^[10], 符合随着基坑开挖和钢支撑的架设的围护结构变形规律, 数据可靠。

4.1 总体分析

由图 6 可知, 总体趋势上, 围护桩深度与水平位移关系呈双曲线趋势。上段曲线中, 围护桩水平位移随着围护桩深度的增加而增加, 在围护桩埋深中部位置, 即基坑深度的三分之二处, 封堵围护一体化围护桩及一般围护桩的水平位移达到最大值, 然后进入下段曲线, 即其水平位移随着深度的增加而减小。其主要原因是基坑底以下的桩基的约束作用随着深度增加而逐渐增强, 使得水平位移逐渐减小。

4.2 对比分析

由图 6 所示, 封堵围护一体化围护桩与一般围护桩对比中, 一般围护桩桩顶位移为 0, 而封堵围护一体化围护桩桩顶位移为 3.7 mm, 封堵围护



1——一般围护桩（7号桩）；

2——封堵围护一体化围护桩（4号桩）。

图 6 基坑开挖至基底后围护桩深度与水平位移关系曲线

一体化围护桩桩顶出现位移的主要原因是封堵一体化围护桩采用人工挖孔，其挖孔时间比机械挖孔时间长，同时没有护壁泥浆封面支撑，导致封堵围护一体化围护桩孔壁长时间暴露，暴露期间孔壁发生应力释放而产生位移。一般围护桩由桩顶至埋深 6.9 m，发生 21.7 mm 的水平位移；相比之下，封堵围护一体化围护桩由桩顶至埋深 6.9 m，发生 8.9 mm 的水平位移，其中桩顶至埋深 5.0 m 的水平位移稳定在 3.0 ~ 5.4 mm 之间，说明封堵围护一体化围护桩的封堵结构为桩基提供了有效约束，减小了其水平位移，提高了该段围护桩的稳定性。

埋深 6.9 m 以下的水平位移中，上段曲线中，封堵围护一体化围护桩深度与水平位移曲线与一般围护桩深度与水平位移曲线接近平行；相同深度的水平位移中，封堵围护一体化围护桩的水平位移均小于一般围护桩的水平位移，其中最大差值出现在埋深 8.0 m 处，约为 16.0 mm，这说明封堵结构同样为埋深 6.9 m 以下围护桩提供有效约束，减小了其水平位移。

在深度为 18.0 ~ 22.0 m 时，封堵围护一体化围护桩的水平位移达到最大值并且相对稳定，其水平位移约在 27.0 ~ 32.0 mm，最大水平位移在埋深 19.0 m 处，为 27.0 ~ 32.5 mm；在深度为 15.0 ~ 20.0 m 时，一般围护桩也有类似的趋势，其水平位移约在 35.5 ~ 39.6 mm，最大水平位移在埋深 18.0 m 处，为 39.6 mm。最大水平位移出现的埋深位置也能反应出封堵结构对围护桩的约束作用。

下段曲线中，相同深度的水平位移中，封堵围护一体化围护桩的水平位移均小于一般围护桩的水平位移，但是两者之差随着深度的增加而逐渐减小，说明封堵结构在下部桩基中也发挥了约束作用，但是其约束作用随着深度的增加而减弱。

4.3 基坑防渗漏效果

从管道渗漏水方面来看，基坑土方开挖至原污水管道封堵位置时，如图 7 所示，封堵围护一体化围护桩区域侧壁无渗水；土方开挖至基底后，封堵围护一体化围护桩区域侧壁仍无渗水，防水堵漏效果良好。



图 7 土方开挖后基坑侧壁

受地缘因素影响，车站围护结构分区域先后进行施工，且管道实际管径大小、平面位置与勘察成果存在偏差，导致围护结构形式未进行变更。如在围护结构设计阶段充分考虑该管道影响，即可通过将围护桩变更为地下连续墙或增大围护桩桩径、增加钢支撑层数等措施增强围护结构强度、防止管道渗水，确保基坑安全。

5 结 语

本文通过工程实例验证了封堵围护一体化施工技术在地铁深基坑与大直径污水管道交叉工程中的有效性和安全性。研究表明，该技术不仅实现了管道的高密实性封堵，消除了基坑侧壁渗水

隐患,而且通过钢筋混凝土将围护桩、封堵墙与管道结合为整体,显著提升了结构的侧向抗弯能力与稳定性,同时优化了施工工序,缩短了工期。综上所述,该技术为解决交叉工程施工难题提供了可靠方案,在保障工程安全与质量方面表现突出,具有重要的工程应用与推广价值。

参考文献:

- [1] 徐鹏. 关于无压力管道临时堵排水方法比选的探究[J]. 工程质量,2023,41(12):90-92.
- [2] 肖磊. 深埋大直径污水管带水迁改施工技术[J]. 河南科技,2020(8):82-85.
- [3] 徐烁,张学民,王立川,等. 基坑漏水漏砂灾害发展的试验及模拟研究[J]. 铁道科学与工程学报,2024,21(10):4101-4113.
- [4] 陈军. 新建管道穿行高程冲突的高水位污水管的施工要点[J]. 中国给水排水,2023,39(10):133-138.
- [5] 吴谊合. 大管径排水管道封堵装置的设计与封堵特性研究[D]. 北京:中国石油大学(北京),2023.
- [6] 狄澄. 管道封堵机器人设计及关键技术研究[D]. 镇江:江苏科技大学,2023.
- [7] 张登飞. 黄土基坑工程事故分析与研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2013.
- [8] 刘涛. 有限空间事故浅析及安全管理措施刍议[J]. 建筑安全,2025,40(2):70-74.
- [9] 童天海,杜庆梅,张建斌,等. 市政污水管道气囊封堵施工技术[J]. 安装,2019,(12):47-49.
- [10] 房师军,付拥军,姚爱军. 某地铁工程深基坑排桩围护结构变形规律分析[J]. 岩土工程学报,2011,33(增刊1):223-226.

《工程建设》期刊投稿系统启用通告

为适应期刊发展需要,提升投稿及稿件处理效率,本刊自2026年1月1日起正式启用网上采编系统。即日起,所有来稿请通过以下官方网站投稿与查询:

采编系统网址: <https://gcjs.cie-cn.com>。

投稿流程说明:

- 1) 首次使用请先完成作者注册;
- 2) 注册成功后以作者身份登录;
- 3) 按系统页面提示完成投稿及相关操作。

请广大作者通过上述系统进行投稿、查稿等事宜,感谢您的支持与配合!