

紧邻机场既有管线与高架的综合管廊基坑施工保护技术研究

孙亚洲

上海建工四建集团有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i3.8778

[摘要] 本文以浦东机场四期综合管廊紧邻既有管线与高架的深基坑工程为研究对象，针对 DN800 污水管、10kV/35kV 电力缆线及 S32 东绕临时高架等敏感设施保护难题，分析基坑施工对既有设施的影响机理，识别开挖、围护、降水、堆载、时序等关键风险因素，构建以围护优化、管线保护、高架防护、施工监测、应急处置为核心的一体化保护技术体系。工程实践表明，该体系可有效控制基坑变形与周边沉降，实现施工全过程安全可控，未发生管线破损、高架超标沉降等事故，既保障机场正常运营，又顺利完成基坑施工，可为机场区域紧邻敏感设施的深基坑工程提供技术参考。

[关键词] 机场；既有管线；既有高架；综合管廊；基坑施工；保护技术

Research on Construction Protection Technology for Integrated Utility Tunnel Foundation Pits Adjacent to Existing Pipelines and Elevated Structures at Pudong Airport

Sun Yazhou

Shanghai Construction Engineering Group Co., Ltd.

[Abstract] This study focuses on the deep foundation pit project of Phase IV Integrated Utility Tunnel at Pudong Airport, adjacent to existing pipelines and elevated structures. Addressing challenges in protecting sensitive facilities including DN800 sewage pipelines, 10kV/35kV power cables, and the temporary elevated S32 East Ring Road, the research analyzes the impact mechanisms of foundation pit construction on existing infrastructure. Key risk factors such as excavation operations, retaining structures, dewatering systems, material loading, and construction sequencing were identified. An integrated protection technology system was developed, encompassing optimized retaining structures, pipeline protection measures, elevated structure safeguards, construction monitoring, and emergency response protocols. Engineering practice demonstrates that this system effectively controls foundation pit deformation and surrounding settlement, ensuring safety throughout the construction process without incidents like pipeline damage or excessive settlement of elevated structures. The approach successfully maintained airport operations while completing foundation pit construction, providing technical references for deep foundation pit projects adjacent to sensitive facilities in airport zones.

[Key words] airport; existing pipelines; existing viaducts; utility tunnel; foundation pit construction; protection technology

引言

随着机场建设向规模化、集约化方向发展，综合管廊已成为保障机场能源供给、管线输送的核心市政基础设施，其施工

安全与质量直接关系机场运营的连续性与稳定性，因此成为机场工程建设领域的研究重点与难点。尤为突出的是，机场综合管廊施工中普遍涉及深基坑工程，此类工程因施工环境复杂、

影响因素繁多, 往往面临周边既有管线密集、邻近敏感设施、施工与运营相互干扰等共性难题, 其中基坑开挖、降水及支撑等关键工序引发的土体位移与结构沉降, 易对周边既有管线、高架等设施造成损伤, 进而威胁机场正常运营, 对施工控制精度与设施保护技术提出了极高要求。目前, 同类机场综合管廊深基坑施工中, 针对管线密集、高架紧邻、分阶段施工等复杂工况的成套保护技术仍有待完善, 相关影响机理研究与工程实践结合不够紧密, 难以充分满足机场高安全、高可靠的施工要求。

基于此, 本文以浦东机场四期综合管廊深基坑工程为依托, 针对机场周边深基坑施工的共性难点, 系统探究基坑施工对既有设施的影响机理, 构建成套化、精细化安全保护技术体系, 研究成果可为同类机场综合管廊及深基坑工程施工提供理论支撑与工程实践参考, 助力提升机场工程施工安全管控水平。

1. 工程概况与施工难点分析

1.1 工程基本概况

浦东机场四期市政配套综合管廊是保障 T3 航站楼及周边区域能源与管线输送的关键工程, 直接关系机场正常运营。本次研究范围为综合管廊交叉口一(0K0+180~0K0+202)与转折段二(0K0+202~0K0+240), 是连接航站楼与能源中心的核心节点。交叉口一基坑尺寸 31.8m×40.2m, 开挖深度 14.0m, 安全等级一级、环保等级二级; 转折段二基坑尺寸 13m×30m, 开挖深度 8.15~8.3m, 安全等级二级、环保等级三级。受周边既有管线与高架限制, 原围护设计无法满足保护需求, 经设计变更后, 重点提升围护支护强度与止水效果。工程主要施工内容包括围护结构、降水、土方开挖、支撑及结构回筑, 各工序需紧密衔接, 同步兼顾既有设施保护与施工进度。

1.2 既有管线与高架分布特征

本工程施工区域既有管线密集、功能多样, 围场河路及南侧绿化带内集中布设有 18 孔通信光缆、多规格给水管、10kV/35kV 电力电缆、DN800 污水总管及河道监控管线, 各类管线埋深差异较大, 部分直接侵入基坑施工范围。其中 DN800 污水总管横穿中指廊施工区, 是制约施工推进的关键因素; S32 东绕临时高架位于交叉口一区域, 承担机场交通转换功能, 受机场运营限制拆除滞后, 导致基坑无法整体施工、需分阶段推进, 显著增加施工组织难度与风险。

1.3 施工难点分析

1.3.1 管线密集侵入, 保护与作业空间矛盾尖锐, 风险传导直接

施工区域内通信、电力、DN800 污水管及河道监控管线等分布密集, 部分直接侵入基坑施工区, 限制施工作业空间与工艺选型; 基坑开挖引发的土体不均匀沉降会直接带动管线位移, 超出允许范围易致管线破损、渗漏并引发安全事故, 围护止水帷幕渗漏会加剧风险, 使得管线保护目标与施工效率、可行性形成难以调和的矛盾。

1.3.2 高架拆除滞后, 基坑分阶段施工, 风险叠加效应显著

S32 临时高架拆除滞后导致基坑需被动分阶段施工, 工序衔接复杂、制约施工组织; 其不仅易造成工期延误, 还会因基

坑长时间暴露、支护结构受力工况反复转换提升基坑失稳风险, 同时反复扰动高架桩基周边土体, 导致桩基承载力下降、产生附加沉降, 形成工期与结构安全风险交织叠加的困境。

1.3.3 深基坑紧邻敏感设施, 变形控制与机场运行安全直接挂钩

本工程交叉口 14.0m 深基坑紧邻机场跑道、航站楼等核心敏感设施, 开挖与降水引发的土体变形无缓冲空间, 一旦超出控制标准, 会直接导致管线破损、高架结构损坏, 进而影响机场运营且容错率近乎为零, 对施工技术可靠性与监测预警及时性提出极限要求。

1.3.4 施工避让运营高峰, 多方协调与进度管控难度极大
施工需严格避让航班起降高峰, 作业时间窗口受限, 且涉及机场管理、空管、管线权属等多方协调, 报批流程繁琐; 有限碎片化作业时间与工程体量、工艺要求矛盾突出, 进度计划编制执行难度大, 施工进度与设施安全的平衡难以把握, 对项目管理与协调能力提出极高挑战。

2. 紧邻机场既有管线与高架的基坑施工保护技术体系构建

2.1 基坑围护优化技术

基坑围护优化以保护既有设施为核心, 兼顾施工进度与安全, 结合设计变更要求, 最大限度减少土体扰动, 确保围护结构的支护能力和止水效果。针对交叉口一北侧紧邻 DN800 污水管的工况, 将主体结构回缩, 使主体结构与 DN800 污水管净距保持在约 2.6 米, 采用双排三轴搅拌桩与 $\Phi 1200@1350$ 钻孔灌注桩组合支护, 钻孔灌注桩桩长 34 米, 同时配合 3 $\Phi 850@600$ 三轴搅拌桩止水帷幕, 止水帷幕桩长 24 米, 有效阻隔地下水, 减少对污水管的扰动。针对交叉口一西侧与转折段二高差处, 优化中隔墙设计, 采用 $\Phi 850@1000$ 钻孔灌注桩进行支护, 其有效桩长 13.7 米, 插入坑底以下 8.9 米, 增设 3 $\Phi 850@1200$ 三轴搅拌桩止水帷幕, 有效桩长 15.6 米, 桩顶设置 C35 钢筋混凝土顶梁, 截面尺寸为 1200mm×800mm, 强化高差处支护稳定性。基坑回填环节进行优化, 交叉口一采用流态土回填, 避免二次开挖时出现水土流失、坡面失稳等问题, 保障已施工管线和围护结构安全。

2.2 既有管线保护技术

既有管线保护需做好前期准备工作, 详细核查各类管线的位置、规格、埋深、材质及运行状态, 采用标识牌、警示线明确保护范围, 严禁施工人员擅自开挖管线周边土体。根据管线类型和运行需求, 采取针对性保护措施。河道监控管线采用原位保护, 通过包裹防护、设置防护栏等方式, 避免施工机械碰撞造成损坏。10kV/35kV 电力电缆、给水管线等按计划实施临时或永久迁改, 迁改过程中做好管线固定、绝缘保护, 确保迁改期间管线正常运行, 不影响机场运营保障^[3]。施工过程中, 管线周边优先采用人工开挖, 避免机械开挖对管线造成碰撞或扰动, 严格控制降水速度, 实时监测管线周边地下水位变化, 防止水位骤降引发管线变形, 对 DN800 污水管等关键管线设置专项监测点, 全程跟踪管线状态。

2.3 既有高架保护技术

既有高架保护核心是强化监测与施工约束, 确保高架结构稳定。在高架桩基、梁体、柱体设置专项监测点, 实时监测高架沉降、位移及结构应力, 及时掌握高架结构变化情况。紧邻高架区域采用“小分块、快开挖、快支护”的施工工艺, 缩小开挖分块尺寸, 加快开挖与支护衔接速度, 减少土体扰动对高架桩基的影响。严格控制基坑周边堆载, 严格执行基坑周边2米内严禁堆载、2至5米内荷载不超过10kPa的要求, 避免堆载产生的附加应力影响高架桩基承载力。高架拆除前, 进一步加固基坑围护结构, 控制拆除作业振动, 避免拆除过程中产生的振动影响周边施工区域及管线安全, 确保拆除工作有序推进^[4]。

2.4 施工监测技术

表1 “基坑-管线-高架”三位一体监测体系参数

监测区域	监测内容	监测频率	核心监测对象
基坑	围护结构变形、基坑沉降、地下水位	围护变形每2小时1次, 地下水位每日1次	交叉口一围护结构、基坑周边土体
管线	位移、沉降、渗漏	与基坑监测同步	DN800污水管、10kV/35kV电力电缆
高架	桩基沉降、梁体位移、柱体应力	每日1次, 紧邻开挖时每2小时1次	S32东绕临时高架桩基、梁体、柱体

该监测体系实现了对施工关键环节的全面覆盖, 通过明确各区域监测重点和频率, 能够及时捕捉结构异常变化, 为施工安全提供数据支撑。

2.5 应急处置技术

完善应急处置体系, 成立专门应急小组, 明确各成员职责, 制定管线破损、高架沉降、基坑变形等突发事件的应急预案, 规范应急响应流程, 确保突发事件发生时能够快速响应、有效处置。针对不同类型突发事件, 采取针对性处置措施。若发生管线破损, 立即停止施工, 关闭相关阀门, 采用封堵、抢修等措施, 防止事故扩大, 同时及时通知相关单位, 保障机场相关设施正常运行。若出现高架沉降, 立即停止基坑开挖作业, 采取土方回填、基坑加固等措施, 控制沉降发展, 加密监测频率, 直至沉降稳定^[5]。若发生基坑变形超标, 启动备用支撑, 调整施工节奏, 加密监测频次, 必要时停工进行全面加固。针对降水井故障、承压水突涌、围护渗漏等其他应急情况, 结合工程实际制定专项处置措施, 降水井故障时及时启动备用发电机和备用井点, 承压水突涌时立即启动所有降压井抽水, 必要时进行土方回填, 围护渗漏时及时进行封堵, 确保施工安全。

3. 应用效果评价

将构建的“五位一体”施工保护技术体系应用于浦东国际机场四期扩建工程综合管廊基坑施工实践, 通过现场监测数据和施工实际情况, 从安全、质量、进度三个维度对应用效果进行评价。安全效果方面, 施工全过程未发生管线破损、高架沉降超标、基坑坍塌等安全事故, 机场既有管线正常运行, S32东绕临时高架结构稳定, 直至按计划完成拆除, 有效保障了机场既有设施正常运营及基坑施工安全。质量效果方面, 基坑施工、围护结构施工、管线保护等各项工作均符合设计及相关规范要求, 基坑变形、管线位移、高架沉降等指标均控制在允许

构建“基坑-管线-高架”三位一体监测体系, 明确监测内容、频率、预警值及监测方法, 实现对施工全过程的动态监测。监测内容涵盖基坑、管线、高架三个核心区域, 监测频率根据施工工况动态调整。基坑监测重点关注围护结构变形, 施工期间每2小时监测一次, 同时监测基坑沉降和地下水位, 地下水位每日监测一次。管线监测聚焦DN800污水管、电力电缆等关键管线, 监测其位移、沉降及渗漏情况, 监测频率与基坑监测同步, 确保及时发现管线异常。高架监测主要监测桩基沉降、梁体位移及柱体应力, 每日监测一次, 紧邻基坑开挖区域时加密至每2小时一次。建立完善的监测台账, 对监测数据进行及时整理和分析, 掌握数据变化趋势, 当数据接近预警值时立即发出预警, 暂停施工并采取针对性措施, 防范安全事故发生。监测体系的具体参数如表1所示。

范围内, 满足工程质量标准。进度效果方面, 通过优化施工时序与保护技术, 有效解决了管线迁改、高架拆除滞后带来的影响, 合理安排分阶段施工, 确保基坑施工按计划顺利完成, 为综合管廊整体施工奠定了坚实基础。

结束语:

本工程依托现场条件形成的紧邻机场敏感设施基坑保护技术体系, 有效解决了软土深基坑、分阶段施工、多约束条件下的设施保护与施工安全难题。通过围护结构优化、精准管线防护、高架专项管控、三位一体监测及快速应急处置, 实现了基坑稳定、设施安全、机场不停运的多重目标。各项变形与沉降指标均控制在允许范围内, 施工过程安全有序, 为后续管廊结构施工创造了良好条件。该技术体系可为机场及城市核心区邻近重要构筑物的深基坑工程提供可靠借鉴。

[参考文献]

- [1]李俊鹏. 机场工程施工安全风险研究[D]. 吉林大学, 2024.
- [2]刘天瑞, 陈珂, 谢平, 陈健. 基于约束随机场的基坑开挖变形概率评估方法[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(16): 6845-6853.
- [3]王纲. 上海机场联络线深基坑邻近高速铁路施工管控措施研究[J]. 现代城市轨道交通, 2023, (11): 72-77.
- [4]伍永飞, 翟炯. 机场枢纽超大基坑群的总体设计方案研究[J]. 山西建筑, 2023, 49(11): 81-84.
- [5]娄晓仁, 王庭. 机场轨道快线工程基坑施工监测与应急预案分析[J]. 中国水运, 2023, 23(08): 102-103+106.