

建筑工程地下管线复杂环境下施工安全风险管控策略

程洁琰

中元建设集团股份有限公司 浙江嘉兴 314000

摘要: 随着城市建设的快速发展, 建筑工程在地下管线复杂环境下施工的情况日益增多。地下管线作为城市的“生命线”, 其种类繁多、分布密集、年代久远且资料不全等问题, 给施工安全带来了极大的挑战。本文首先分析了地下管线复杂环境下施工安全风险的主要类型与成因, 包括管线损坏风险、周边环境影响风险、施工工艺风险及管理风险等。在此基础上, 从风险识别、评估、控制、监测及应急管理等方面, 系统提出了针对性的管控策略, 旨在为类似工程提供理论参考与实践指导, 保障施工安全与城市基础设施的正常运行。

关键词: 建筑工程; 地下管线; 复杂环境; 施工安全; 风险管控

引言

城市地下管线是保障城市运行的重要基础设施, 涵盖了给水、排水、燃气、电力、通信、热力等多个领域。在建筑工程施工过程中, 特别是在城市建成区, 地下管线分布错综复杂, 施工活动极易对其造成损坏, 不仅可能导致停水、停电、停气等城市公共服务中断, 还可能引发火灾、爆炸、坍塌等安全事故, 造成人员伤亡和巨大经济损失。因此, 研究建筑工程地下管线复杂环境下的施工安全风险管控策略, 对于提高工程施工安全管理水平、减少安全事故发生具有重要的现实意义。

一、地下管线复杂环境下施工安全风险类型及成因分析

(一) 管线损坏风险

1. 直接损坏风险

施工机械操作不当或盲目开挖是导致管线直接损坏的核心诱因。挖掘机、打桩机等重型设备在土方开挖阶段, 若未明确管线位置或标识模糊, 易因操作手判断失误、机械臂摆动幅度过大或挖掘深度失控, 直接触碰、碾压地下管线, 造成破裂、断裂或变形。此类风险在老旧城区尤为突出, 因历史管线铺设不规范、标识缺失, 且施工前物探手段(如管线探测仪)精度不足或未充分使用, 进一步加剧了误操作概率。

2. 接损坏风险

施工引发的地层扰动是间接损坏的主要原因。深基坑开挖时, 围护结构(如钢板桩、地下连续墙)变形过大或降水方案不合理, 会导致周边土体固结沉降; 桩基施工(如静压桩、钻孔灌注桩)产生的挤土效应或振

动, 会使土体发生水平位移。这些地质变化会对邻近管线产生不均匀沉降、拉伸或挤压作用, 导致接口密封失效(如橡胶圈脱落)、管材开裂(尤其是脆性材料如混凝土管、铸铁管), 甚至引发结构性破坏^[1]。

(二) 周边环境影响风险

1. 地面沉降与塌陷风险

地下管线破裂后, 给水管泄漏会引发水土流失, 排水管破裂则导致地下空洞形成, 两者均会削弱土体承载力, 引发地面沉降。若沉降不均匀或空洞扩大, 可能导致路面塌陷, 威胁周边建筑物基础稳定性(如墙体开裂、结构倾斜)、道路通行安全(如车辆倾覆)及行人生命安全。

2. 易燃易爆风险

燃气管道(输送天然气、液化气)或输油管道损坏后, 易燃易爆介质泄漏与空气混合形成可燃气体云, 遇明火(如施工现场焊接火花、静电放电)极易引发爆炸, 爆炸冲击波可能造成人员伤亡、建筑物损毁, 同时引发二次火灾, 扩大事故范围。

3. 有毒有害介质泄漏风险

工业管道(如化工企业的酸碱管道、污水处理厂的污泥管道)泄漏后, 有毒有害介质(如硫化氢、重金属溶液)会污染周边空气(引发呼吸道疾病)、土壤(破坏生态平衡)和水体(影响饮用水源), 长期暴露可能导致慢性中毒或生态灾难, 需紧急启动环境应急监测与处置^[2]。

(三) 施工工艺与技术风险

1. 施工方案不合理

施工前未开展详细管线勘察, 制定的支护方式(如土钉墙适用于软土地区易失效)、开挖顺序(如未分层开挖导致边坡失稳)、降水措施(如过度降水引发管线沉

降)与现场管线条件不匹配,易对管线产生直接或间接扰动。例如,在密集管线区域采用大开挖工艺,未设置管线保护隔离桩,会显著增加管线受损概率。

2. 新技术、新工艺应用不当

非开挖技术(如顶管、定向钻)虽能减少地表扰动,但对操作精度要求极高。若对地质适应性判断失误(如在岩石地层使用定向钻导致钻头偏移)、施工参数(如顶力、扭矩)设置不合理,可能直接顶裂或钻穿邻近管线;同时,新技术操作人员培训不足、设备调试不到位,也会增加技术应用风险^[3]。

3. 地质条件复杂

软土地层(承载力低、压缩性高)在施工荷载下易产生较大沉降,流沙地层(土颗粒流动性强)会导致管线埋深变化,溶洞地层(地下空洞)则可能引发突水突泥,三者均增加施工不确定性,加剧管线扰动风险。

(四) 管理风险

1. 管线信息不对称与资料缺失

建设单位提供的管线勘察资料存在“三不”问题:不完整(遗漏老旧管线)、不准确(埋深误差超过0.5米)、不及时(迁改后未更新),导致施工单位无法精准定位管线。此外,物探与钻探结合的勘察手段未落实,仅依赖历史图纸,进一步加剧信息偏差。

2. 安全意识淡薄与培训不足

施工人员对管线保护“红线意识”不强,认为“小破损可修补”,忽视潜在风险;同时,岗前培训未覆盖管线类型识别、应急处置流程(如燃气泄漏时如何关阀、报警),导致操作失误后无法及时止损。

3. 现场监管不到位

安全管理体系存在“三缺”:缺专人负责(未设立管线保护专员)、缺检查频次(每日巡查未覆盖关键工序)、缺处罚力度(对违规开挖仅口头警告),导致挖掘机超深挖掘、夜间无证施工等违规行为得不到制止。

4. 协调沟通机制不畅

管线权属单位(如燃气公司、自来水公司)、施工单位、监理单位缺乏联合交底机制,权属单位未提供管线保护技术参数,施工单位未及时通报施工进度,监理单位未履行协调职责,导致应急抢修时出现“权责不清、推诿扯皮”,延误处置时机^[4]。

二、地下管线复杂环境下施工安全风险管控策略

(一) 风险识别阶段:全面勘察与动态探查相结合

收集与核对管线资料:施工单位应在施工前向建设单位、管线权属单位及城建档案管理部门等多方收集详

尽的地下管线原始资料,包括管线种类、位置、埋深、管径、材质、接口形式及年代等。对收集到的资料进行仔细核对与分析,找出潜在矛盾和疑问点。

物探与坑探相结合:在资料分析的基础上,采用先进的物探技术(如地下管线探测仪、地质雷达、地震波法等)对施工区域及周边地下管线进行全面探测,圈定管线大致走向和埋深范围。对物探发现的疑似管线位置或关键区域,应采用人工探坑(探槽)的方式进行验证,以获取准确的管线信息。

建立地下管线信息模型(BIM):利用BIM技术将探测到的地下管线信息整合建模,实现管线信息的可视化,为施工方案制定、施工过程管理及后续维护提供直观、准确的依据。

(二) 风险评估阶段:科学评估与分级管控

确定评估指标体系:结合工程特点和地下管线实际情况,从管线重要性、损坏可能性、后果严重性等方面建立风险评估指标体系。例如,可将燃气、高压电力等管线列为高风险管线。

采用适宜的评估方法:运用定性与定量相结合的方法进行风险评估。定性方法可采用专家调查法、安全检查表法等;定量方法可采用故障树分析法(FTA)、事件树分析法(ETA)、风险矩阵法等,对识别出的风险进行量化评估,确定风险等级^[5]。

制定风险分级管控清单:根据风险评估结果,将风险划分为重大、较大、一般和低风险四个等级,针对不同等级的风险制定相应的管控措施和责任人,明确管控重点。

(三) 风险控制阶段:源头控制与过程防护并重

优化施工方案:在充分掌握地下管线信息的基础上,制定专项地下管线保护施工方案。对于高风险区域,优先选择对管线扰动小的施工方法,如非开挖技术(顶管法、定向钻、盾构法等)。基坑开挖应根据管线位置合理设置支护结构和监测点,控制基坑变形。

设置警示标识与防护措施:施工前,在已探明的地下管线位置上方设置明显的警示标识(如警示带、警示桩、彩旗等),标明管线种类、走向和埋深。在管线周边施工时,应设置刚性或柔性防护屏障,限制机械作业范围和力度,必要时采用人工开挖。

加强施工过程精细化管理:严格执行施工方案,严禁超挖、乱挖。对于临近管线的土方开挖,应采取分层、分段开挖方式,缩短暴露时间。机械作业时,派专人指挥,并保持与管线的安全距离。桩基施工应控制施工速

率和顺序，减少挤土效应。

管线迁改与保护：对于影响主体工程施工且无法避让的地下管线，应会同管线权属单位制定科学合理的迁改方案，在确保管线安全和正常运行的前提下进行迁移。对暂时不能迁改且需原位保护的管线，可采用悬吊、支撑、加固等保护措施。

（四）风险监测阶段：实时监测与动态预警

布设监测点：在施工区域及周边受影响的地下管线上（或其上方地面）布设沉降、位移、倾斜等监测点，同时监测基坑变形、围护结构内力、地下水位等相关参数^[6]。

选择合适的监测仪器与频率：采用自动化监测设备（如全站仪、测斜仪、静力水准仪等）与人工监测相结合的方式，根据施工阶段和风险等级确定合理的监测频率。在关键施工阶段或监测数据出现异常时，应加密监测频次。

建立监测数据处理与预警机制：对监测数据进行及时整理、分析和反馈，绘制变化曲线，预测发展趋势。设定管线变形、沉降等参数的预警值和控制值，当监测数据达到预警值时，立即发出预警信号，及时采取应急处置措施。

（五）应急管理阶段：预案完善与快速响应

制定专项应急预案：针对可能发生的地下管线损坏事故（如燃气泄漏、水管爆裂等），制定详细的应急救援预案，明确应急组织机构、职责分工、应急响应程序、处置措施、救援物资储备及疏散路线等。

开展应急演练：定期组织施工人员、管理人员及管线权属单位进行应急演练，检验预案的可行性和有效性，提高各方协同作战和快速处置能力^[7]。

建立应急联动机制：加强与管线权属单位、消防、医疗、公安等部门的沟通协作，建立快速响应的应急联动机制，确保事故发生后能迅速调集力量，有效控制事态发展，减少损失。

事故报告与调查处理：一旦发生地下管线损坏事故，应立即启动应急预案，并按规定向有关部门报告。事故处理完毕后，组织事故调查，分析事故原因，总结经验教训，防止类似事故再次发生。

（六）管理体系优化：强化责任与协同管理

落实主体责任：明确建设单位、施工单位、监理单位及管线权属单位在地下管线保护中的主体责任，签订安全责任书，将责任落实到人。

加强安全教育培训：对全体施工人员进行地下管线

保护知识和安全操作规程培训，提高安全意识和操作技能，特种作业人员必须持证上岗。

建立信息共享与沟通机制：定期召开由各相关方参加的协调会议，及时通报施工进度、管线监测情况及存在问题，确保信息畅通，协同解决管线保护难题。

引入第三方监测与监理：对于地下管线情况特别复杂、风险等级高的工程，可引入第三方专业机构进行管线探测、风险评估和施工过程监测监理，提高风险管控的专业性和客观性。

三、结论与展望

建筑工程地下管线复杂环境下的施工安全风险管控是一项系统性、复杂性的工作，需要从技术、管理、制度等多个层面综合施策。通过全面细致的风险识别、科学准确的风险评估、源头控制与过程防护并重的风险控制、实时动态的风险监测以及快速高效的应急管理，可有效降低施工对地下管线的安全风险。

未来，随着智慧城市和数字化施工技术的发展，可进一步推广应用BIM技术、GIS技术、物联网、人工智能等先进技术在地下管线信息管理、施工过程模拟、风险动态预警等方面的应用，实现地下管线施工安全风险智能化、精细化管控。同时，应加强法律法规建设和行业标准制定，完善地下管线信息共享平台，为建筑工程地下管线安全施工提供更坚实的保障。

参考文献

- [1]曾文,王战广,王鹏飞,张新伟,卢奇.复杂地下管线环境对深基坑桩锚支护设计及施工的影响分析[J].建筑技术,2022,53(11):1454-1457.
- [2]付礼鹏.复杂工程项目安全风险交互机理及其预测研究[D].天津大学,2022.
- [3]程利民,李雅婷.复杂环境下地铁车站施工风险的辨识及管控[J].四川水泥,2022(8):32-34.
- [4]曲伟.复杂工程环境下高地下水水位深基坑支护设计与施工控制策略[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(5):2.
- [5]郭东林.市政工程施工中地下管线的保护问题分析[J].大众标准化,2022(19):75-77.
- [6]邹凯.建筑市政工程施工中的地下管线综合布置优化分析[J].建筑工程技术与设计,2022(2):112-114.
- [7]陈大奇.市政工程地下管线施工技术分析[J].明日,2021(12):0449-0449.DOI:10.12159/j.issn.2095-6630.2020.26.1897.