

市政工程基坑施工突发坍塌的应急抢险措施研究

韩吉占

中铁隧道股份有限公司

摘要：基于城市化过程中市政工程基坑项目越来越大、越来越深、环境越来越复杂的趋势，对应急抢险工作提出更高的要求。文章主要从致因机理和风险因素出发，将市政工程基坑坍塌事故应急抢险体系架构为组织指挥、预案体系、关键技术、保障能力等方面内容，通过现场调查分析与科学研究，归纳总结出市政工程基坑坍塌事故从事故发生到后期恢复的各阶段的技术措施，旨在通过科学、快速、有序的应急响应措施降低事故发生造成的损失，为市政工程安全施工提供理论支撑与实践经验。

关键词：市政工程；基坑坍塌；应急抢险；致因机理；体系构建；技术措施

引言

市政工程基坑施工是城市现代化建设重要组成部分之一，基坑施工安全会直接影响到周围建筑、地下管线、道路交通及人民生命财产安全。但由于基坑施工地质条件复杂、水文环境不确定以及施工活动的影响，致使基坑施工过程中经常会出现基坑坍塌事故发生，并呈现出突发性、连带性和破坏性的特点，从而对城市运行造成极大的危害。近年来，随着我国城市化发展速度的加快，基坑工程的深度不断加深、基坑面积持续加大、基坑离既有建筑的距离更近，已经成了无法忽视的现象，使得基坑施工过程中面对的地质风险、环境风险和社会风险加剧叠加，存在较高的风险叠加可能性^[1]。一旦出现坍塌事故发生，就会给社会带来非常大的人员伤亡或财产损失，同时也可能会出现交通阻塞、道路损坏、管道破损、建筑物倾斜等二次灾害，危害相当大。因此，在这种情况下就迫切需要结合城市建设的特点，制定更加有效的防灾减灾预案，全面提升对这类风险的认知水平。

1 市政工程基坑坍塌事故致因机理与风险分析

1.1 基坑坍塌事故的主要类型与特征

市政工程基坑坍塌并非单一模式，其破坏形态主要受地质条件、支护形式、施工扰动等因素控制。整体滑移破坏常发生在土质较差、支护强度不足或降水失效的情况下，表现为基坑一侧或四周土体连带支护结构整体向坑内滑动，规模大、危害极强。坑底隆起破坏多见于软土地区深基坑，由于开挖卸荷，坑底土体在承压水作用或自身塑性流动下向上鼓起，导致支撑系统失稳、周边地表沉降。支护结构失效破坏包括围护桩（墙）折断、倾斜，内支撑压屈或连接节点破坏，锚杆（索）拔出或断裂等，多由设计缺陷、施工质量、

超载或意外撞击引起。渗透破坏（管涌、流砂）在富水砂层中，因止水帷幕失效或降水不力，形成渗流通道，细颗粒被水流带走，导致土体骨架崩解、地面塌陷。

由于市政基坑自身的特殊性导致事故更加严重：一是现场环境相对比较敏感，附近的既有建（构）筑物、道路、管线比较密集，一旦发生基坑坍塌易造成次生灾害，形成“多米诺骨牌”的破坏效果；二是影响面广，很多基坑都位于城市中心区或重要交通干道上，若在此施救会直接影响到人们的正常生活秩序以及相关社会运作；三是救援难度大，受作业环境的制约无法动用较大的抢险救灾机械和车辆进入，同时又受周边环境的影响，不能使用正常的处置方法进行处置^[2]。

1.2 事故致因机理深度剖析

基坑坍塌事故是多重因素交织、逐步演化的结果，可从三个层面剖析。

直接原因是触发事故的最后一道防线失效，主要包括设计缺陷（计算模型不当、荷载取值偏小、关键构造忽视）、施工违章（不按方案顺序开挖、“超挖、快挖”、支撑架设严重滞后、偷工减料）、地下水控制不力（降水井失效、止水帷幕存在缺陷、暴雨侵袭未有效防范）以及材料与设备问题（支护材料强度不达标、机械设备不当操作撞击支护体系）。

间接原因是导致直接原因发生的管理和技术背景，包括地质勘察不详（勘察孔间距过大、未探明软弱夹层或滞水层）、监测预警失效（监测点布置不足、数据采集滞后、报警阈值设置不合理、对变形速率突增等险情征兆反应迟钝）、项目管理混乱（分包管理不到位、安全技术交底流于形式、工序协调失衡）以及应急准备虚化（预案缺乏针对性、资源储备不足、人员培训缺失）。

作者简介：韩吉占（1983—），男，本科，工程师，研究方向为工程项目机械设备成本管理。

根本原因是深植于观念和体系层面的根源性问题,集中体现为安全文化缺失,重进度、轻安全的思想未根本扭转;主体责任不落实,建设、施工、监理各方安全链条存在薄弱环节;监管体系存在漏洞,监督检查的深度和专业化水平有待提升^[3]。

1.3 基于案例的风险因素识别与评估模型构建

为实现风险的系统管控,还应构建科学有效的风险评价体系:通过对国内外基坑坍塌典型事故案例进行广泛收集与分析,提炼出影响基坑坍塌的共同性风险因子;以“人、机、料、

法、环”五个要素为基础,形成完整的风险识别清单。人员方面,主要包括管理人员的安全意识、作业人员的操作技能、应急人员的抢救水平;设备方面,主要包括施工机械设备的安全性、监测设备的可靠性、应急抢险设备的完备性;材料方面,主要包括支护材料的质量情况、止水材料的性质与使用、回填材料的存储情况;方法方面,主要指设计方案的合理性、施工工艺是否符合规范要求、预案的有效性;环境方面,即工程地质和水文情况、气候情况、邻近建筑、管线。

引入层次分析法构建风险评价模型,选取基坑坍塌风险为评价目标,五大维度(“人、机、料、法、环”)为准则层,细化出具体的风险因素构成方案层,并利用专家打分法构造判断矩阵,得到各个因素权重,进而量化出工程项目整体的风险等级,以此来达到风险分级管控的目的,把有限的应急资源优先配置到风险等级高的环节上。

2 基坑坍塌应急抢险体系构建

2.1 应急抢险的基本原则与目标

开展应急抢险要树立基本理念:生命至上,把抢救人的生命放在首位;科学施救,在专家组指导下开展工作,防止因盲目抢救造成次生灾害;统一指挥,建立权威高效的现场指挥部,指挥有力,调度及时,确保指挥高效运行;分级响应,根据事故险情的严重程度启动相应级别的应急预案;防止次生灾害,对于可能造成周边环境损害的要做好保护措施。最大限度减少损失,主要是财产损失、环境破坏以及社会影响。

2.2 组织指挥体系设计

高效组织指挥系统是应急的重中之重,事故发生后第一时间建立现场应急指挥部。指挥长由项目总指挥或建设单位现场最高负责人担任,负责总体决策与协调。技术组由设计、勘察、施工专家组成,负责险情研判、抢险技术方案制订。抢险组由专业抢险队伍和经过培训的施工人员组成,负责具体的抢险作业。保障组负责设备物资调配、交通疏导、电力通信保障、

后勤支持;医疗组联系、配合有关医疗卫生单位,组织受伤人员现场急救和转移治疗;警戒组负责设置警戒区域、疏散无关人员、维护现场秩序;联络组负责对内对外信息报送联络、媒体接待和向指挥部及上级部门汇报。

2.3 应急预案的核心内容与编制要点

应急预案是应急行动的纲领,必须具备可操作性。预案分级应形成“综合应急预案-基坑坍塌专项应急预案-现场处置方案”三级架构。综合预案规定整体应急方针和职责;专项预案针对基坑坍塌,详细规定程序和方法;现场处置方案针对具体基坑点位的风险特点,是最直接的行动指南。预警与响应分级需要明确预警启动条件,并对应设定蓝、黄、橙、红四级响应,明确每一级的指挥层级、响应措施和资源调动规模。资源保障清单应清单化管理应急资源,包括人员、设备、物资和技术储备。差异化处置程序应在预案中包含针对不同类型坍塌的初步、通用的处置程序指引,为第一时间响应提供方向。

3 关键应急抢险技术措施研究

3.1 第一时间响应与现场管控

事故发生后,立即启动声光警报,通过广播、对讲机等所有可用手段,命令坑内及坑边所有作业人员按预定逃生路线迅速撤离至安全集合点。清点人数,确定被困者信息。警戒组立即根据初步判断的坍塌影响范围,扩大至少1.5倍设置警戒区,封锁道路,禁止无关人员和车辆进入。同时评估对周边道路、建筑物的安全影响,必要时扩大疏散范围。技术组利用无人机、望远镜等进行远程初步勘察,评估坍塌规模、稳定性和可能的被困人员位置。同时,立即在坍塌区边缘、邻近建筑和关键管线上布设应急监测点,采用全站仪、测斜仪、水位计等,进行不间断的位移、沉降、水位监测,数据实时报送指挥部,作为决策依据。

3.2 被困人员搜救技术与安全要求

在确认无二次坍塌风险后,搜救人员佩戴防护装备,使用光学生命探测仪、雷达生命探测仪或音视频探测设备,确定被困者精确位置和状态。搜救通道开挖必须遵循“边开挖、边支撑”原则。使用轻型工具人工小心清理,严禁在坍塌体上方进行大型机械盲目挖掘。对开挖形成的救援通道侧壁,立即采用快速支护系统进行临时加固,确保救援人员安全。医疗组在救援点就近待命。对救出的伤员,立即进行现场检伤分类和急救,并建立绿色通道,快速转运至医院。

3.3 险情控制与稳定技术

控制坍塌发展、稳定边坡是抢险的核心。对于坡

脚滑移，最有效的方法是立即组织车辆向坡脚处回填反压土方、砂袋或碎石，增加抗滑力。对于坡顶开裂区域，可进行削坡减载，移除部分土体以减少下滑力矩。在条件允许时，可对局部坍塌区进行整体快速回填，以最快速度抑制变形。对已变形但未倒塌的支护结构，采用型钢斜撑、门式钢架等进行临时顶撑加固，防止其进一步失稳。对于管涌、流砂，采用“围井导滤”或“水下抛填”进行封堵。同时，立即增设或启动备用降水井，降低地下水位。对受威胁的邻近建筑基础，可采用注浆加固；对暴露或悬空的地下管线，采用钢托架进行临时悬吊保护。

3.4 后期处置与恢复

险情稳定后，在确保安全的前提下，组织专家进行现场详细勘查，拍照、测量、取样，为事故调查保存第一手证据。划定保护区域。技术组结合勘查资料，初步分析坍塌原因，并制定永久性加固或修复设计方案。方案需经专家论证。按照新方案进行施工，彻底消除隐患。完成后，对基坑及周边环境进行全面安全评估，达到稳定标准后，方可申请逐步恢复施工或进行后续工序。

4 应急保障能力建设与模拟演练

4.1 应急资源保障体系

项目建设单位或大型施工企业要建立本地区域性应急抢险设备物资库，储备速撑支架、大流量水泵、应急照明车、发电机、沙袋、型钢等各类应急抢险设备物资，建立器材养护及保养制度，保证各类器材随时处于完好状态。同周边项目部、材料供应商、设备租赁商建立应急资源共享关系，区域化协调调度使用，建立应急专家库（包含岩土、结构、施工、市政等相关部门），随时准备对事故现场给予支援。

4.2 应急培训与演练

开展对管理人员的应急决策指挥培训、对技术人员的险情识别和方案制订培训、对作业人员的报警、疏散、自救互救技能培训。每年组织1次桌面推演和

1次实战化综合演练。其中，桌面推演重在检验流程、职责、决策，实战演练注重验证预案可操作性、队伍协同性、装备适宜性。每次推演或应急实战结束后都要组织全面评估与总结，分析存在问题，完善预案、补充资源、加强培训，并建立“计划-执行-检查-处理”持续改进闭合回路机制。

4.3 信息化与智能化技术应用展望

将基坑BIM模型与城市GIS地图相结合，在事故发生的第一时间调取三维模型、地质资料、管线布置，在数字孪生环境下推演坍塌影响，规划抢险路线、优化抢险方案、下达指挥命令，形成可视化指挥决策。以物联网为基础的自动化监测系统，实现监测数据异常时自动报警并报警信息实时推送至指挥中心大屏和指挥员移动端，实现监测和应接一键式完成。应用无人机技术能够快速实现空中俯瞰事故全景、完成三维建模、投放应急通信等任务，使用机器人代替人工进入危险地带开展探测及运送物品甚至精细作业等。

5 结束语

市政基坑坍塌应急抢险是一项系统工程，文章构建了“预防-准备-响应-恢复”全过程应急体系，强调以精准风险认知、高效指挥、务实技术和坚实保障为支撑。随着BIM、物联网等智能技术应用，应急能力将向数字化、智能化升级。但技术进步不能替代人的责任，需强化安全意识、落实主体责任，并将体系要求转化为项目的标准化管理，通过持续优化与演练筑牢安全防线。

参考文献：

- [1] 叶建裕.市政工程基坑施工过程中的危险源与预防应对对策研究[J].科技创新与应用,2021,11(20):128-130.
- [2] 谢元华.市政工程基坑施工过程中的危险源与预防应对对策研究[J].门窗,2021,(22):160-161.
- [3] 周亚男.市政工程基坑施工技术要点及施工管理探析[J].中国科技期刊数据库 工业 A,2023(12):107-110.