

# 地下空间结构施工风险管理分析

严杰<sup>1</sup> 明宇<sup>2</sup> 申传瑞<sup>2</sup>

1.中国建筑第七工程局有限公司 河南郑州 450004;  
2.青岛上合基石投资发展集团有限公司 山东青岛 266000

**摘要:** 本文围绕城市地下空间(特别是地铁工程建设项目)施工风险评估一事,对地下空间结构的施工风险和风险因素,提出了一种基于层次分析法的施工风险智能评估方法,具体介绍了其逻辑概念,同时根据现实工程的应用,验证了以上方案的有效性。

**关键词:** 地下空间; 施工风险; 风险管理

Risk management analysis of underground space structure construction

Yan Jie1 Ming Yu2 Shen Chuanrui 2

1. China Construction Seventh Engineering Bureau Co., LTD., Zhengzhou 450004, China; 2. Qingdao Shanghe Cornerstone Investment and Development Group Co., LTD., Qingdao 266000, Shandong, China

**Abstract:** This paper focuses on the construction risk assessment of urban underground space (especially subway construction projects), and puts forward an intelligent construction risk assessment method based on analytic hierarchy process (AHP) for the construction risk and risk factors of underground space structure, introduces its logical concept in detail, and verifies the effectiveness of the above scheme according to practical engineering application.

**Key words:** underground space; Construction risk; Risk management

## 引言

最近几年,中国城镇化和城市规模发展迅速,城市地铁工程蒸蒸日上,直到2019年底,中国已开通和在建地铁城市63个,总里程有6736.2公里,在建里程有6902.5公里。城市地铁埋深较浅,一般通过的不良地质体有第四系富水砂层、断层破碎带、富水裂隙岩体等,上述不良地质体通常都会有以下几点结构,例如含水量高、结构密实度低、较低的胶结强度、本体稳固性不高等,再加上地下隧道修建时的振动、地下水本身的影响,结果导致工程事故,例如塌方、滑坡等发生概率增高,对于工作人员以及经济来说是一种极大地损害,例如前段时间的杭州地铁风情大道惨剧(21人死亡)、佛山地铁盾构段坍塌事故(10人死亡)、青岛地铁的静沙段隧道事故(5人死亡)等。除此之外,地铁所处位置的环境错综复杂,有大楼、有市政道路、有管网等等,很容易就导致建筑物下沉、道路塌陷、市政管线断裂等二次灾害。

## 1 地下空间结构施工风险及风险因素

地下空间结构施工风险是指在工程建设期间,危险源、危险事件具有一定几率发生或是发展的不确定性事件,根据风险构成要素互相制衡和激发造成的结果。因为地下空间结构施工是社会主体作业组织运用生产工具、专业技术更改环境的劳动,所以地下空间结构施工风险的普遍性表现在其客观存在性、普遍发展性和必然性上,而其独特性则体现在其可识别性、可控性、不确定性和社会性上。根据以往地下空间结构失稳事故的发生进行研究记录,发现地下空间结构失稳而导致塌方的原因主要集中在技术因素、管理因

素、自然环境因素等风险因素上。

## 2 地下空间结构风险管理现状

近现代时期引入地下空间结构体系,之后不断发展,在此期间,凝聚了各个学科的知识,并且进行了升级改造,尤其在计算机技术、大数据理论分析方面,对风险识别分析、预测评估与判断的发展有极大的帮助,使其具有继续发展的能力,然而由于涉及元素众多,也凸显出众多缺点,主要有:风险管理体系有待完善:就目前形式来看,风险管理阶段的关注点在工程初期的可研阶段,重点在工程的资源承载、对周围环境的适应、政策制度协调等领域,没有建立好专业设计与建设期间的风险管理。风险管理的制度有待细化:目前的风险管理被限制在第三方图审、第三方质量安全抽检验收、风险管理的自我评价体系与专业评审制度不明确,只是在工程图纸效果与操作规划的评估中出现,并没有对其着重关注以及标明管理制度。风险管理的针对性不强:为全面了解地下空间结构的因素,所以就未能建立专有的管理计划与详细规则,导致因果循环往复,所以就要从方案设计开始,对重要风险源进行专门预防,在项目启动时就对风险因素全方位管控。

## 3 基于层次分析法的地下空间施工风险智能评价方法

对于改变地下空间建设风险评估等级得原因很多,它们通常都会有部分的相互纠缠以及独立于其他,结合城市地下空间工程以及城市环境的特点,对其可改变风险评估等级的因素进行分析,整理并建立地下空间建设风险评估等级体系,同时定位一级评估指标,主要有不良地质体、富水性、城市环境以及施工方法分析。将上述

指标中的每种因素继续向下整理为二级评价指标,对于不良地质体分析,分别为其范围以及类型;富水性分析,为地层饱和度以及地层含水率;城市环境分析,为地下空间施工附近是否有高楼、城市道路、市政走线等;施工工法分析特殊一点,因为其中又包含了工程作业时的震动程度分析。按照城市地下空间施工风险现场状况,再加上专业人员的分析认定,还有上层级模拟逻辑构造,对其改变等级的因素建立成一个比较判断矩阵,根据影响的程度将其划分等级,等级从1到9储层递增,同时将其赋值并对矩阵进行计算,将 $d_{ii}$ 的权重定义为1:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \cdots & d_{1i} \\ \cdots & 1 & \cdots \\ d_{i1} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

#### 4 城市地下空间施工安全风险案例

某城市地铁隧道工程中,其所修建部分中含有富水砂层,其中13~16m是拱顶的埋深位置,2~4m为上覆岩层的厚度,其上方8~10m位置为厚富水砂层,根据上文构建的基于层次分析城市地下空间施工风险评估方案对此项目进行风险等级评估。此项目根据隧道走向来看,不良地质体的范围远大于10m,被判定的类型为富水砂层,是极高风险地层,另外对其富水性分析,地层饱和度是1,地层含水率是45%;城市环境分析,隧道建设周围没有其他建筑物,只有道路、管线,此工程段选用的施工技术是钻爆法,其作用等级为强扰动,纵观整体来看确定此次项目为极高风险。工程正式作业后,对隧道进行作业时,突然溃砂坍塌,导致隧道内溃砂流出,结果导致众多施工人员被困于施工现场。项目修建现场,技术人员最先察觉到施工区间出现部分地方渗水、土块掉落,随即上报工程负责人,相关负责人共同奔赴事故场地,随即进行阻止、加固。应急抢险工作过程中,工作人员观察掌子面稳固,就离开了,但没过多久,掌子面猛然间多方位涌水溃砂,刹那间就将不久前稳定好的掌子面冲垮,导致在场人员均被困于现场,掌子面发生的地面坍塌面积大概为600 m<sup>2</sup>。在事故工程附近的工作人员马上做出反应,将情况上报于工程管理人员,随即工程管理人员将现场险情上报于工程承包方指挥部,到此,事故情况从各个方面告知于上级领导部门。

根据地面应急抢险方案,使用混凝土将地面坍塌路段填平,等其整体稳固之后对事故发生区域进行搜救工作。事故场地共有混凝土泵车2辆、混凝土罐车多辆,利用混凝土与加气砖等材料对事故坍塌部分进行回填,具体使用材料如下,1280方混凝土,308方加气砖,5吨速凝剂,1650立方河砂,80袋水泥,3000袋砂,此外还有用于路面修复的沥青混凝土、水泥稳定料。回填工作完成后,为了之后很好的监控回填区域的变化情况,在回填区域顶部添加下

沉观察点。

在路面回填结束后,正式对事故区域进行搜救,但是根据搜救人员对现场的勘察与评估发现,由于事故现场处于地下,且已经有了堵塞之势,有的地方积水已经很严重了,所以搜救工作寸步难行,之后项目负责方下令利用泥浆泵先清理淤泥,为搜救工作奠定基础。

泥浆泵清理完一部分区域后,搜救人员对事故发生区域深30米左右的地方进行搜索,但没有找到被困人员。由于事故区域坍塌部位陈杂这很多障碍物,对于深入搜救有着很大的阻碍,消防救援队带着可燃气体与有毒气体探测器保持对事故井下区域进行探测,搜救指挥部更换最新的搜救计划,与现场搜救人员相互配合,共同制定搭建搜救浮桥的方法,至此,事故搜救现场的泥浆浮桥搭建完成。根据探查结果,井下竖井口至左线洞分叉口之间有着1.5~1.8米的淤泥深度,另外,泥浆的硬度不足以承载搜救人员,左线洞内的淤泥可达3米之深,在场搜救人员对井下环境进行探查,并没有被困人员痕迹。对现场状况进行了解,判定被困人员或被泥浆掩埋,具体的位置暂没办法确定,随即调整搜救计划。由于泥浆液下沉,还有其中混杂有其他障碍物,导致人力挖掘的成果并不有效,之后紧急指挥小型挖掘机对其事故区域处理淤泥。

为了搜救工作进行的顺利,消防部门安排了大量消防人员深入井下进行搜救,由于在处理淤泥时发现很多枕木等大型障碍物,所以下井人员带着专门的设备分次进入井下进行障碍物处理,最后在淤泥中搜救出被困人员,但遗憾的是,被困人员没有了生命体征,至此搜救工作结束。

将地下空间结构修建项目实际情况和上述采用的修建工艺进行对比发现,最终结果一致,很大程度上证明了文中方法的有效性。

#### 5 结束语

对于城市地下空间的施工安全来说,本篇文章提出的基于层次分析的城市地下空间施工风险智能评价方法还是很有可实施性的,对地下空间施工风险进行有效预测,可以更好的增强城市地下空间的工程安全,更好的提高管理以及风险防控能力,得出的结论可以作为类似项目的研究数据。

#### 参考文献:

- [1]蒲李莉,王丁,王月明.基于DEA-AHP法城市地下综合管廊施工风险研究[J].工业安全与环保,2022,48(10):37-41.
- [2]陈维.城市地下综合管廊施工风险评价研究[D].广西大学,2022.
- [3]靳职锋.地下空间结构施工风险管理研究[D].天津理工大学,2020.