

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.S1.014

# 明挖地铁车站施工期风险评估研究

何德福

(赣州宏泰公路建设投资有限公司,江西赣州 341000)

**摘要:**风险分析与评价在施工管理中有着很重要的地位,但针对明挖车站施工风险评估的研究还不多见。本文采用调查问卷的方式结合具体的工程对风险源发生的可能性和该风险源造成的后果的严重程度进行了调查,对调查结果量化处理后得到该风险源的风险值,根据风险值的大小确定风险等级。通过对四类风险评价结果进行统计、数据拟合找到风险评价函数。根据风险评价的结果采取相应的风险控制措施,确保了该明挖车站顺利完工。研究结果对地铁施工安全管理具有参考意义。

**关键词:**风险评估;地铁施工;风险值;风险分布

**中图分类号:** 文献标志码:A 文章编号:1674-4764(2014)S1-0053-04

## Risk Assessment in Open-cut Subway Station Construction

He Defu

(Hongtai highway investment company, Ganzhou, Jiangxi province, 341000, P. R. China)

**Abstract:** Risk analysis and assessment is a very important part in risk management. However, the risk assessment of specific subway station construction is rarely. In this paper, the questionnaire method was used to identify risks in the construction of an open-cut subway station. The risks were collected and classified. The likelihood of risk and the consequences of risk were investigated by questionnaire method also. Assignment method used to quantify the results of the investigation, and risk value used to measure the severity of the risk. Decision-makers take appropriate risk control measures according to the results of risk assessment to ensure the successful completion of the open-cut station construction. The distribution of risk is cubic polynomial. The results of this study are helpful to safety management in metro construction.

**Key words:** risk assessment; metro construction; risk value; risk distribution

地下工程具有隐蔽性、施工复杂性、地层条件和周围环境不确定性等突出的特点,加大了施工技术的难度和建设的风险性<sup>[1]</sup>。国际隧道协会(ITA)在2004年由Working Group No. 2的Eskesen<sup>[2]</sup>等撰写了隧道风险管理指南(Guidelines for tunneling risk management),提供了全面的风险管理标准和方法。中国目前正处于经济建设高速发展的时期,大量的地下工程开始或正在建设,如地铁、公路隧道、各种人防工程、水电站的地下厂房等<sup>[3]</sup>。风险管理在地下工程建设中的应用越来越受到专家学者的重视,风险评价和控制方法被应用到地下工程的各个领域。任强<sup>[4]</sup>通过调查北京地区盾构施工的工程地质水文地质情况,以及地表和地下环境,对北京地区盾构施工环境的复杂性进行了详细的分析探讨。结合北京地铁四号线4标工程实例,对北京地区地铁盾构施工危险源进行了分析。梁吉<sup>[5]</sup>采用非线性模糊综合评判方法对新奥法铁路隧道施工进行了风险评估。张庆峰<sup>[6]</sup>针对隧道工程施工安全风险问题具有不确定性和模糊性的特点,在隧道风险评价中引入模糊网络分析理论。展开了对公路山岭隧道施工风险评估理论的研究。郭明香<sup>[7]</sup>用蒙特卡洛法对浏阳河过江隧道的突水涌水事故进行风险评

估。张庆松<sup>[8]</sup>对隧道岩溶突水突泥的风险进行了分段评价。钱健仁<sup>[9]</sup>采用事故树风险分析理论,从施工技术的角度分析了地铁超深基坑施工中存在的各种风险并探寻引发风险的因素。本文采用调查问卷的方式结合具体的工程对风险源发生的可能性和该风险源造成的后果的严重程度进行了专家调查,对调查结果进行了量化处理后计算出该风险源的风险值,根据风险值的大小对该风险源进行风险等级评价(按照风险源的严重程度分为四类)。通过对四类风险评价结果进行统计、数据拟合找到风险评价函数。该方法在实际工程应用中效果显著。

### 1 风险评价函数

在实际工程施工中,施工管理者希望得到该项工程总体风险的大小以及该工程中有哪些风险源以及风险源的严重程度的分布情况。为了更好的解决这些问题,本文提出了风险评价函数。风险评价函数的获得主要通过以下4个步骤,见图1所示。

1)通过对相似工程的类比,文献查阅,对已有事故的统计分析,罗列出该工程可能存在的所有的风险源。2)设计调

收稿日期:2014-05-20

作者简介:何德福(1957-),男,高级工程师,主要从事公路工程施工管理研究,(E-mail)13707078569@163.com。

查问卷,对决策者进行问卷调查。对每个风险源的两个方面,即该风险源发生的可能性( $P$ )和该风险源发生的话可能造成的后果( $C$ )进行问卷调查。3)对调查结果进行量化处理。采用1—5赋值的方法分别对 $P$ 和 $C$ 进行赋值,然后采用 $P$ 与 $C$ 相乘的方法计算该风险源的风险值 $R$ 。4)根据风险值的大小对该风险源进行风险等级评价。采用相同的方法对所有的风险源进行风险等级评价,然后对所有的评价结果按照不同的风险等级进行统计。最后把统计结果进行数据拟合,找到风险评价函数。

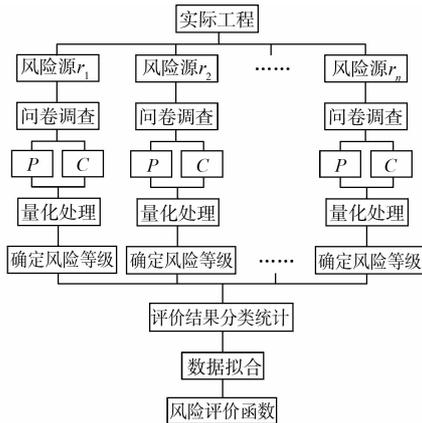


图 1 获得风险评价函数步骤图

在风险评价函数中,总体风险的大小以及风险源的严重程度分布情况一目了然。

## 2 工程实际应用

### 2.1 工程概况及地质条件

本车站大致成南北走向。车站东南侧有幼儿园,三层砼房屋,条形基础,距离车站基坑最近处约 3.93 m。车站西侧为城市道路,呈南北走向,双向 8 车道,路宽约 40.50 m。北侧为城市道路,呈东西走向,双向 6 车道。东侧为运动场。

本站为地下两层岛式站台车站。基坑总长 177.30 m,开挖深度深约 18.30~20.05 m,标准段宽 19.10 m,岛站台宽度 10 m,车站总建筑面积 10 996 m<sup>2</sup>,有效站台中心里程处顶板覆土厚度 5.55 m。本站采用明挖顺筑法施工,车站两端接盾构区间。

本车站所在场地原始地貌为台地及其间沟谷区,其地势平坦。车站范围上覆地层主要为第四系全新统人工填筑土(Q4ml)、冲洪积(Q4al+pl)粉质粘土、及砂层,残积粘土层(Qel),下伏基岩为震旦系(Pzl)花岗片麻岩。车站范围地下水主要有第四系孔隙水、基岩裂隙水。第四系孔隙水主要赋存于冲洪积细砾砂及残积层砾(砂)质粘土层中。地下水埋深 2.7~6.5 m,含水层厚度 3.2~11.0 m,主要由大气降水补给。

### 2.2 风险评估

2.2.1 问卷调查 针对明挖地铁车站的地理位置和岩土工程条件,该车站基坑与一般建筑基坑工程相比,该明挖地铁车站具有以下显著特点:1)施工技术要求高。2)施工环境差。本车站施工处于城市繁华地带,周边环境复杂,各种建(构)筑物、地下管线多,场地狭窄。3)项目建设涉及的部门多、影响面大,有多个风险承担者,风险损失关联性高。4)政治敏感性强、社会风险比较大,公共安全要求高,一旦发生重大安全风险事故,社会影响大。

在文献[10]的研究基础上,本文对潜在的 79 项风险源进行了问卷调查。针对每个风险源(如 C1)从两个方面设计如下的调查问卷。

#### C1. 施工偷工减料、造价太低

##### a. 发生的可能性( $P$ )

极小  不太可能  可能  很可能  几乎肯定

##### b. 可能造成的后果( $C$ )

极小  轻微  较大  很大  极大

3.2.2 量化处理 采用赋值的方法对调查的结果进行处理。发生的可能性方面:从‘极小’到‘几乎肯定’五个等级分别赋值为 1~5;可能造成的后果方面:从‘极小’到‘极大’五个等级分别赋值为 1~5。调查问卷量化处理后的结果见表 1 所示。

表 1 明挖地铁车站施工风险量化结果

事故	事故原因	$P$	$C$	事故	事故原因	$P$	$C$	
基坑过大内倾位移动、坍塌	施工偷工减料、造价太低	4	4	周围地面沉降	地下管线断裂	3	3	
	开挖前未做超前支护	3	3		渗流破坏、坑底突涌	围护桩间距过大	2	3
	未采取隔水、排水措施,使临空面受到浸泡	3	3		相邻连续墙间由于垂直度的差异而有缝隙	3	1	
	基坑开挖不分区,土方施工不规范	3	3		基坑内外侧水位差较大	3	2	
	分层开挖高差大,支撑跟不上	4	4		挡土止水帷幕桩墙未进入不透水层或插入深度不够	3	3	
	基坑周围搭设临时建筑物、库房,停放大型的施工机械和车辆,超载堆土、堆材料	3	4		基坑下部有承压水层	3	3	
	支护结构施工质量不符合设计要求	3	4		基坑外降水过大	3	3	
	坑壁的形式选用不合理	3	3		基坑外降水过快	3	3	
	施工机械碰撞围护结构或工程桩	2	2		坑内流砂	3	3	
	背面侧向水压力过大	3	2		管涌	1	3	
随意更改设计	3	3	维护结构倾斜变形	3	3			

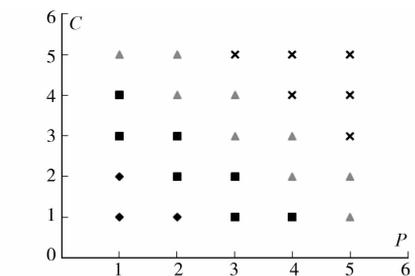
事故	事故原因	P	C	事故	事故原因	P	C
支护结构失稳,围护结构发生较大向内变形	管道破裂、水管泄漏	3	2	不重视信息化施工,施工监测不到位	流砂、流土引起土体下沉	3	3
	向基坑一边倾倒生活用水、施工废水	2	2		没有安排施工监测或监测不全面	3	3
	支撑结构的安装未遵守先撑后挖的原则	3	4		监测点仪器、管位在施工中遭到破坏	3	2
	基坑开挖不分层	3	3		监测数据错误	3	3
	挖土机械碰撞支撑体系	3	3		没有形成综合判断	3	2
	坡顶堆载	1	4		对监测数据分析不够,如忽略了沉降及位移变化的速率而导致事故	3	2
	连续墙、桩嵌固深度不够	3	3		报警不正确,不及时,错过了抢险的时机	3	3
	勘察有误	3	3		钢筋质量不合格	1	1
	设计安全储备不足	3	3		钢筋加工制作错误	3	2
	施工振动	3	2		钢筋布置差错	2	4
	相邻基坑同时施工,1个开挖,另1个打桩,挤土效应使支护桩和工程桩严重移位	3	3		钢筋堆放不合理	3	4
	基坑内随意开口,破坏原有支护结构和止水帷幕的整体性	3	3		模板尺寸有误	3	3
	水下浇注支护桩时水泥浆流失过多,形成空隙	3	2		模板的强度和刚度不够	2	3
	桩体钢筋搭接不足,止水桩搭接处出现裂缝,起不到止水作用	3	2		模板的支撑不够	2	4
地下连续墙钢筋不连续,墙体有严重的蜂窝、露筋现象	3	2	模板有缝隙	3	2		
边坡失稳	未按规定放坡	3	3	模板架坍塌	3	4	
	锚杆灌浆不足,强度达不到设计要求	1	3	混凝土拌制和运输不当	4	2	
	未降水、排水和边坡保护	3	3	混凝土浇注时错误	3	4	
	浸泡基坑边坡	3	2	振捣不够	3	4	
	边坡土方开挖过快	1	2	养护不当	4	3	
	坡脚掏土和超挖	1	2	拆模时间过早	3	2	
	切除阳角后引起边坡失稳	1	2	混凝土质量有问题	2	3	
	基坑有积水	4	2	构件制作错误	3	3	
	基坑底部有较大水压力的滞水层	1	3	安装时构件位置偏差	4	2	
	基坑暴露时间太长	3	3	构件安装连接不足	3	3	
	基坑隆起	开挖顺序不当	3	2	脚手架倾覆	3	4
		开挖速度控制不合理	3	3			
		选用施工机具不当	3	2			
		黏性土、膨胀土遇水膨胀	3	4			
未按要求施工底板		1	3				
工程桩上拔、断裂,柱子标高错位	1	3					

备注:为了简洁明了,本表对两项调查结果(P,C)进行了量化处理。

2.2.3 风险评价函数 风险的大小用风险值来衡量。风险值(R)按式  $R=P \times C$  进行计算。根据文献[2]得到的风险评估标准如图2所示。横坐标为‘风险源发生的可能性(P)’,纵坐标为‘可能造成的后果(C)’.在图2中,当风险值取值区间位于{15,16,20,25}时,风险评估结果为‘不可接受’;当风险值取值区间位于{5,8,9,10,12}时,风险评估结果为‘不受欢迎’;当风险值取值区间位于{3,4,6}区间时,风险评估结果为‘可以接受’;当风险值为1或2时,风险评估为‘可以忽略’。

然后把4类风险评估结果的数量分类别进行统计。得到风险评估结果为‘不可接受’的风险源的数量,风险评估结果为‘不受欢迎’的风险源的数量,风险评估结果为‘可以接受’的风险源的数量和风险评估结果为‘可以忽略’的风险源的数量。然后以横坐标  $x=1$  代表‘不可接受’;横坐标  $x=2$

代表‘不受欢迎’;横坐标  $x=3$  代表‘可以接受’;横坐标  $x=4$  代表‘可以忽略’,纵坐标表示各类风险评价的数量,拟合得到风险评价函数  $f(x)$ 。



注: ◆可以忽略 ■可以接受 ▲不受欢迎 ×不可接受

图2 风险评估标准

在本明挖车站施工中,不可接受的风险源有2个分别为‘施工偷工减料、造价太低’和‘分层开挖高差大,支撑跟不上’;可以忽略的风险源有4个;可以接受的风险源和不受欢迎的风险源共有73个,所占比例为总数的96.1%,针对这两类最重要的风险源的应对措施都是需要合理的风险管理。风险评估结果的分布情况如图3所示。

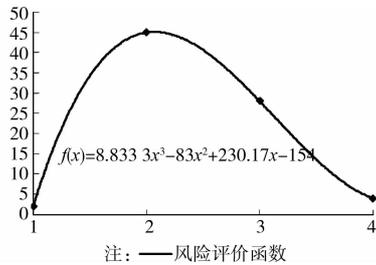


图3 风险评价函数  $f(x)$

本车站的风险源在评估结果上的分布满足三次多项式。在本车站施工过程中,施工方参考风险评估结果,针对不同的风险源类型,采取与之相对应的风险管理措施<sup>[2]</sup>,如图4所示。加强了风险管理,确保了该明挖车站顺利完工。可见,风险识别与管理在确保明挖地铁车站安全施工中起到非常重要的作用。

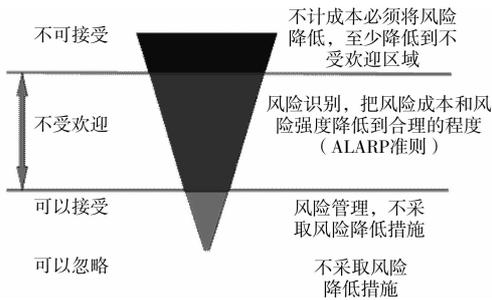


图4 风险应对措施

### 3 结论

1)本文在文献[10]的研究基础上,进一步对地铁车站施

工期潜在的79项风险源进行了风险源发生的可能性’和‘造成后果的严重程度’两个方面的问卷调查。

2)提出了风险评价函数  $f(x)$  的概念,并且利用赋值的方法对调查结果进行量化处理。按照4类不同的风险评价结果分类进行了统计,通过对数据的拟合,找到  $f(x)$  的具体表达式。指出了该明挖车站风险评价结果符合三次多项式分布。通过在实际工程中的应用证明了该评价方法在确保明挖地铁车站安全施工中效果显著。

#### 参考文献:

- [1] 黄宏伟. 隧道及地下工程建设中的风险管理研究进展[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(1): 13-20.
- [2] Eskesen S D, Tengborg P R, Kampmann J, et al. Guidelines for tunnelling risk management: International Tunneling Association, Working Group No. 2 [J]. Tunneling and Underground Space technology, 2004, 19(3): 217-237.
- [3] 李景龙, 李术才, 李树忱. 地下工程的风险分析研究[J]. 地下空间与工程学报, 2008, 4(5): 835-839.
- [4] 任强. 北京地铁盾构施工风险评价与控制技术研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2010.
- [5] 梁吉. 基于模糊评判方法的铁路隧道施工风险评价研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [6] 张庆峰. 基于模糊网络分析的隧道施工风险评价[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2008.
- [7] 郭明香, 刘观云. 蒙特卡洛法在水下隧道施工风险评价中的应用[J]. 浙江建筑, 2010, 27(9): 50-53.
- [8] 张庆松, 李术才, 韩宏伟, 等. 岩溶隧道施工风险评价与突水灾害防治技术研究[J]. 山东大学学报(工学版), 2009, 39(3): 106-110.
- [9] 钱健仁, 黄捷, 吴盛, 等. 郑州地铁车站超深基坑施工风险管理与控制[J]. 华北水利水电学院学报, 2011, 32(3): 86-89.
- [10] Du X L, Li F W, Zhang M J. Application of improved questionnaire in recognizing of risk sources in subway station construction with open-cut method [C]. Proceedings of the 1st international conference on sustainable construction & risk management, 2010(1): 176-183.

(编辑 吕建斌)