

Risk identification and Dynamic risk management of Deep excavation engineering

Jianmin Yu^{1,2}, Cuihong Feng¹

¹Department of Civil and Environment Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing, China, 100083

²North china institute of water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou, China, 450011

Email: yujianmin@ncwu.edu.cn

Abstract: Various risks will occur inevitably in the deep excavation engineering, because of its complexity and uncertainty including natural and man-made factors, which go throughout the whole course of design, construction and management. Therefore, it is more important for risk identification and management. In the paper, Fault Tree Analysis method on Human Errors is used in identifying risk factors in deep foundation engineering, dynamic risk management on risk tracking and risk early warning is put forward.

Keywords: deep excavation engineering; risk identification; Fault Tree Analysis; dynamic risk management

深基坑工程风险识别与动态风险管理

余建民^{1,2}, 冯翠红¹

¹北京科技大学土木与环境工程学院, 北京, 中国, 100083

²华北水利水电学院, 郑州, 中国, 450011

Email: yujianmin@ncwu.edu.cn

摘要: 深基坑工程具有复杂性和不确定性等突出特点, 不可避免地面临着各种风险, 包括自然原因和人为原因, 贯穿于设计、施工、管理的全过程。因此, 其风险识别和风险管理显得尤为重要。本文通过考虑人为差错事故树分析方法对深基坑工程的风险因素进行辨识, 提出了以风险跟踪和风险预警为主导的风险动态管理方法。

关键词: 深基坑工程; 风险识别; FTA 分析方法; 动态风险管理

1 引言

随着我国城市高层建筑和地下空间开发利用的迅猛发展, 深基坑工程数量越来越多, 基坑的深度越来越大, 所遇到的土层地质以及周边环境情况也越来越复杂^[1]。由于基坑工程是主体工程施工过程中的一种临时性措施, 业主一般不愿意投入足够的资金使其建造得安全可靠, 常常抱着侥幸心理来应付其设计和施工。再者, 深基坑工程设计理论和计算方法至今仅停留在半经验、半理论的技术水平上, 勘察、施工中不确定因素多, 管理不到位, 近年来深基坑工程安全事故频发, 已成为建设工程危险性较大的分部分项工程之一。因此, 在深基坑工程实施前, 应充分科学地预测可能遇到的风险, 进行有效的风险识别与评价, 在施工中采取切实有效的风险管理措施。

余建民 (1973-), 男, 讲师, 在读博士, 主要从事岩土工程的教学与研究工作

2 深基坑工程风险识别流程

风险辨识是风险评估的前提和工程风险管理系统的基础。辨识风险的过程是对所有可能的风险事件来源和结果进行实事求是的调查过程, 必须系统、持续、严格分类并恰如其分地评价其严重程度。这一阶段主要侧重于对风险的定性分析^[2,3]。

深基坑工程风险辨识过程通常分为以下 5 个步骤。

(1)组织咨询专家团队 深基坑工程风险管理的参与者包括建设方、设计方、总承包方、分包方、监测方、监理方以及其他有关各方的代表。需要强调的是, 由于基坑工程会影响到周边环境的安全与使用, 因此, 必要时参与者还应该包括与周边环境中的建筑物、道路、管线、文物有关的部门代表。

(2)专家咨询、现场踏勘及收集相关资料 深基坑工程风险辨识时, 应广泛收集工程相关资料, 进行现场踏

勘,并向有经验的专家咨询,以保证不遗漏风险因素。专家咨询的对象应包括结构工程、岩土工程、工程测量、安全工程以及必要的市政、通讯工程等知识背景的高级专业人才。

(3)风险识别 ①首先是系统地分析深基坑工程基础资料,对各阶段、各项活动和周边环境中的各种风险因素进行分析。②利用深基坑工程风险调研表建立初步风险清单。清单中明确列出客观存在的和潜在的各种风险。建立初步风险清单是辨识风险的操作起点。③确定风险事故。根据初步风险清单的风险因素,分析与其相关联的各种潜在的损失或影响,明确深基坑工程风险事故及其发生原因。

(4)风险二次识别 对深基坑工程风险识别的结果进行二次识别,删除与基坑工程活动无关或影响极小的风险因素及事故,并进一步识别确定是否有遗漏的风险点。

(5)编制风险辨识报告 风险识别报告包括深基坑工程的分类风险表、风险征兆(Triggers)、对其它方面的进一步需求等。风险可按目标(进度、费用、质量和安全)风险、项目管理风险、组织风险、外部风险分类。风险征兆(Triggers)将表明风险发生或将发生。如土方开挖日期将较早警示进度目标可能的风险。该报告的正式文本应是一个在管理组织内外反复征求意见后的成果。

3 论深基坑风险识别方法——故障树分析法

3.1 故障树分析法

故障树分析法(FTA)是一种评价复杂系统可靠性与安全性的方法,20世纪60年代初期由美国贝尔研究所首先提出,用在民兵导弹的控制系统设计上,为预测导弹发射的随机失效概率做出了贡献,以后在波音飞机安全分析及商用核电站安全分析等方面的应用均取得了很好的成果^[4,5]。

FTA是一种特殊的树状逻辑因果关系图,它用规定的事件、逻辑门和其他符号描述系统中各种事件之间的因果关系。FTA把系统最不希望发生的故障事件作为故障树的顶事件,自上而下分析导致顶事件发生的所有可能的直接因素(中间事件)及其相互间的逻辑关系,并由此逐步深入分析,一直追溯到那些原始的、其故障机理或概率分布已知的、无须再深究的因素(底事件)为止。

FTA方法在建立故障树后,首先是定性分析求出导致顶事件发生的最小基本事件的集合(即故障树的最小割集),然后再根据各底事件的已知概率进行定量计算,以获得系统的故障概率以及底事件的重要度。故障树的最小割集一般有若干个,每个最小割集对应于一种事故模式。最小割集的求法很多,通常用较为简便的布尔代数法。

3.2 FTA 事故树分析桩锚支护结构体系事故

遵循FTA编制的有关原则,在研究基坑工程事故原因基础上,建立了考虑人为原因的基坑工程桩锚支护体系事故树如图1所示,并说明如下:

对于图1中的事故树按布尔代数法求最小割集, $T = X_1X_{12}X_{24} + X_1X_{12}X_{25} + X_1X_{12}X_{26} + X_1X_{17} + X_1X_{28} + X_1X_{29} + X_1X_{30} + X_1X_{31}X_{32}X_{45} + X_1X_{31}X_{32}X_{46} + X_1X_{31}X_{32}X_{47} + X_2X_6 + X_2X_7 + X_2X_{13}X_{33} + X_2X_{13}X_{34} + X_2X_{13}X_{35} + X_2X_{13}X_{36} + X_3X_{14}X_{37} + X_3X_{14}X_{38} + X_3X_{14}X_{39} + X_3X_{14}X_{40} + X_3X_{41} + X_3X_{42} + X_3X_{43}X_{44}X_{48} + X_3X_{43}X_{44}X_{49} + X_3X_{43}X_{44}X_{50} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_4X_8X_{18} + X_4X_8X_{19} + X_5X_9X_{10}X_{20} + X_5X_9X_{10}X_{21} + X_{11} + X_{22} + X_{23}$

由上述计算结果可知,顶上事件为:35个交集的并集,这35个交集即为该事故树的最小割集,即 $\{X_1X_{12}X_{24}\}, \{X_1X_{12}X_{25}\}, \{X_1X_{12}X_{26}\}, \{X_1X_{17}\}, \{X_1X_{28}\}, \{X_1X_{29}\}, \{X_1X_{30}\}, \{X_1X_{31}X_{32}X_{45}\}, \{X_1X_{31}X_{32}X_{46}\}, \{X_1X_{31}X_{32}X_{47}\}, \{X_2X_6\}, \{X_2X_7\}, \{X_2X_{13}X_{33}\}, \{X_2X_{13}X_{34}\}, \{X_2X_{13}X_{35}\}, \{X_2X_{13}X_{36}\}, \{X_3X_{14}X_{37}\}, \{X_3X_{14}X_{38}\}, \{X_3X_{14}X_{39}\}, \{X_3X_{14}X_{40}\}, \{X_3X_{41}\}, \{X_3X_{42}\}, \{X_3X_{43}X_{44}X_{48}\}, \{X_3X_{43}X_{44}X_{49}\}, \{X_3X_{43}X_{44}X_{50}\}, \{X_{15}\}, \{X_{16}\}, \{X_{17}\}, \{X_4X_8X_{18}\}, \{X_4X_8X_{19}\}, \{X_5X_9X_{10}X_{20}\}, \{X_5X_9X_{10}X_{21}\}, \{X_{11}\}, \{X_{22}\}, \{X_{23}\}$ 分别对应于导致顶上事件发生的35种事故发生模式。

4 深基坑工程风险跟踪管理

4.1 风险跟踪

风险跟踪管理是指对风险因子(监测项目)的发展情况进行跟踪、监测,督促风险规避措施的实施。同时,及时发现和处理尚未辨识到的风险,它是风险动态管理的重要组成部分。深基坑工程风险跟踪管理的内容主要包括对已辨识风险和突发风险的实地观察和监测、对监测数据的动态管理、对风险发生状况的记录和查询,目的是及时发现异常和危险情况,以便采取措施及时解决问题。表1为安全等级为一级、支护型式为桩锚支护结构的深基坑工程应测项目。

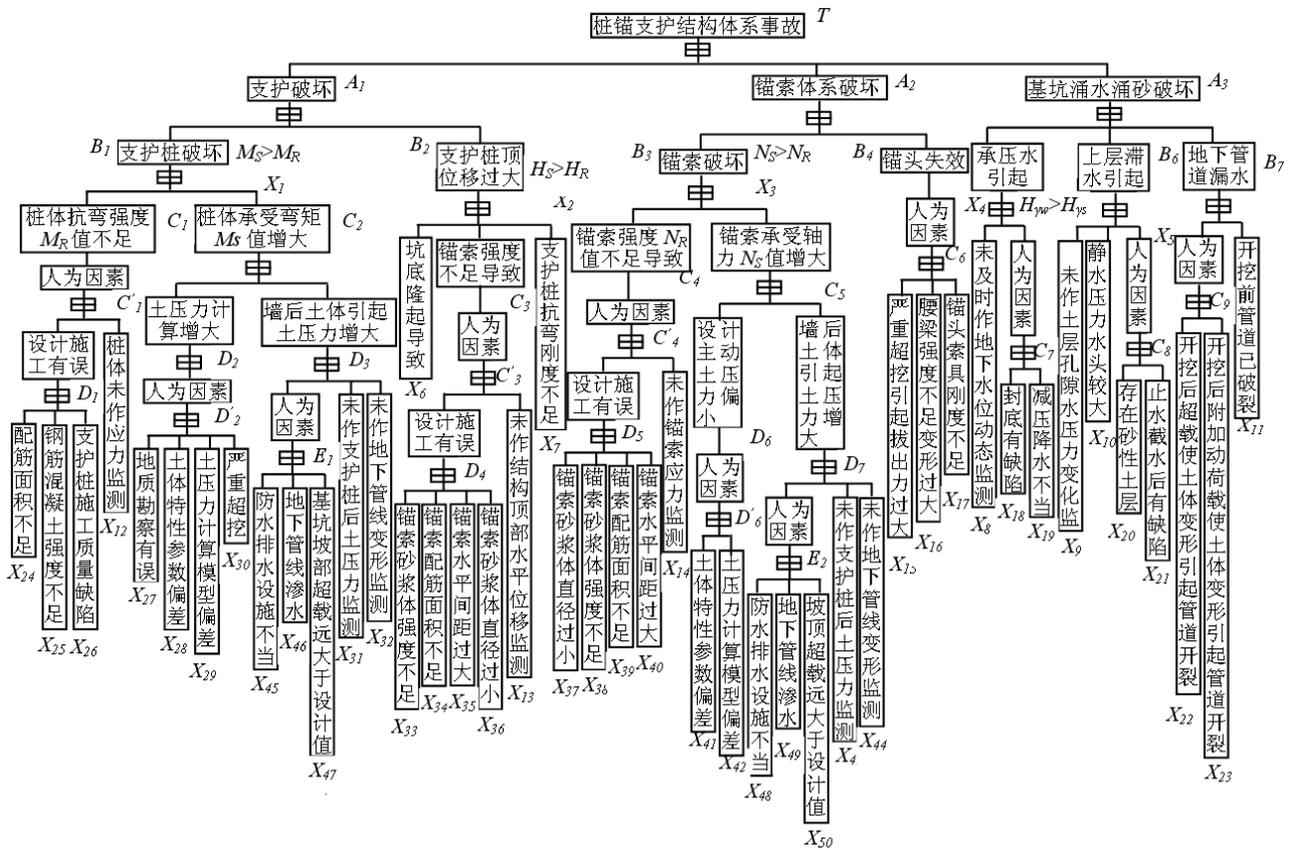


Figure 1. Fault tree of pile-anchor retaining system for deep excavation engineering

图 1 基坑工程桩锚支护体系事故树

Table 1. monitoring items by apparatus in the deep excavation engineering

表1 建筑基坑工程仪器监测项目表

基坑类别		一级
监测项目		
(坡) 顶水平位移		应测
墙(坡) 顶竖向位移		应测
土体深层水平位移		应测
锚杆		应测
地下水位		应测
周围建筑	竖向位移	应测
	倾斜	应测
	水平位移	应测
周边建筑、地表裂缝		应测
周边管线变形		应测

深基坑工程风险的跟踪、监测还要控制好监测频率，基坑工程监测频率的确定应满足能系统反映监测对象所测项目的重要变化过程而又不遗漏其变化时刻的要求。监测频率不是一成不变的，应根据基坑开挖及地下工程的施工进度、工况以及其他外部环境因素的影响的变化及时地做出调整。

4.2 风险信息反馈

通过现场巡视、仪器测量、数据分析等综合手段建立深基坑工程风险控制的反馈系统，及时掌握风险事件态势并作出决策，不断修正系统偏差，最终达到风险控制的目标。

深基坑工程的监测数据应及时进行分析和处理，监测项目数据分析应结合其他相关项目的监测数据和自然环境条件、施工工况等情况及以往数据进行，并对其发展趋势做出预测^[6]。监测的技术成果应包括日报表、阶段性报告和总结报告。技术成果提供的内

容应真实、准确、完整，并宜用文字阐述与绘制变化曲线或图形相结合的形式表达，技术成果应及时报送。监测数据的处理与信息反馈宜采用专业软件，专业软件的功能和参数应符合本规范的有关规定，并具备数据采集、处理、分析、查询和管理一体化以及监测成果的可视化的功能。基坑工程监测的观测记录、计算资料和技术成果应进行组卷、归档。

5 深基坑工程风险预警

深基坑工程施工风险预警的重点首先是根据工程的特点制定风险预警标准。监测报警值是监测工作的实施前提，是监测期间对基坑工程正常、异常和危险三种状态进行判断的重要依据。基坑工程监测报警值不但要控制监测项目的累计变化量，还要注意控制其变化速率。

Table 2. alarm limits of foundation pit and retaining system

表 2 基坑及支护结构监测报警值

序号	监测项目	支护结构类型	基坑等级		
			一级		
			累计值		变化速率 (mm/d)
绝对值 (mm)	相对基坑深度				
1	墙(坡)顶水平位移	排桩支护	30	0.3%	3
2	墙(坡)顶竖向位移		20	0.2%	3
3	围护墙深层水平位移		45	0.5%	3
4	锚杆拉力		60%~70% f_2		---

Table 3. alarm limits of nearby environment in the deep excavation engineering

表3 建筑基坑工程周边环境监测报警值

监测对象	项目	累计值(mm)	变化速率(mm/d)	备注
1	地下水水位变化	1000	500	
2	邻近建(构)筑物	60	3	
3	裂缝宽度(建筑)	3	持续发展	
4	裂缝宽度(地表)	15	持续发展	

基坑及支护结构监测报警值应根据土质特征、设计结果及当地经验等因素确定，监测报警值应满足基坑工程设计、地下结构设计以及周边环境中被保护对

象的控制要求。具体工作包括将各监测结果和风险事故建立对应关系；根据监测结果进行风险的动态评价。

如果发现异常或危险状态，及时进行报警，采取规避措施，做好风险事故处理的准备工作。表 2 为安全等级为一级、支护型式为桩锚支护结构的深基坑支护结构变形报警戒值，表 3 为周边环境的报警值。

深基坑工程风险通告是工程风险管理中重要的一个环节。深基坑工程开工前各有关各方应对各阶段的风险点和注意事项进行宣传和教

6 结语

正确地识别和分析深基坑的风险将有助于整个项目计划和风险管理，施工前进行风险识别，施工中进行风险跟踪，并对风险事件的发生做出预测预警，完善了深基坑工程风险管理的量化指标，使风险分析与决策更加准确与科学。因而，可以帮助工程项目管理层科学而迅速地应对风险事件的出现，降低深基坑工程风险事件发生的概率或消除风险事件，减少损失，保障工程的顺利进行。

References (参考文献)

- [1] Qian Qihu, Rong Xiaoli. State, Issues and Relevant Recommendations for Security Risk Management of China's Underground Engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(4).P649-655. (in Chinese)
钱七虎, 戎晓力. 中国地下工程安全风险管理的现状、问题及相关建议[J]. 岩石力学与工程学报. 2008, 27(4).P649-655.
- [2] Liu Junyan, Li Renan, Ren Feng. Research on Monitoring-based Risk Management of Deep Foundation Engineering [J]. Journal of WuHan University of Technology, 2003,31(15).P61-65. (in Chinese)
刘俊岩, 李仁安, 任锋. 基于监测的深基坑工程风险管理研究[J]. 武汉理工大学学报. 2003,31(15).P61-65.
- [3] Faber M H, Stewart M G. Risk assessment for civil engineering facilities :critical overview and discussion[J] . Reliability Engineering and System Safety ,2003 ,80 :173 - 184.
- [4] Richard E, Barlow, Jerry B, etc. Reliability and Fault Tree Analysis[M]. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1975.
- [5] Zhong Jingbing, Liu Huiqiang, Wu Jing. FTA Method for Path of Engineer Failure and Risk Source Factor [J]. Journal of HuaZhong University of Science and Technology (Urban Science Edition), 2003,20(1). P14-17. (in Chinese).
仲景冰, 李惠强, 吴静. 工程失败的路径及风险源因素的FTA分析方法[J]. 华中科技大学学报(城市科学版). 2003,20(1). P14-17.
- [6] The Construction Department of Shandong Province. Technical Code for Monitoring of Building Foundation Pit Engineering [GB50497-2009][S]. Beijing: China Planning Press,2009.(in Chinese)
山东省建设厅. 建筑基坑工程监测技术规范[GB50497-2009][S]. 北京:中国计划出版社, 2009.