

基坑锚杆工程危险性评估准则与方法

汪班桥,郝建斌

(长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘 要:考虑到锚杆支护工程的隐蔽性致使危险性定量分析相对困难,结合基坑锚杆工程管理经验,从工程应用的角度,建立了基坑锚杆工程总体和工序两级危险评估准则,该评估准则主要通过基坑锚杆工程的方案设计、工程地质、周边环境、施工工艺及施工能力 4 个方面危险源的详细分析,制定对应于锚杆支护工程总体和各个工序的相应分类标准,然后根据各属性之间不同类别的组合赋予相应的危险等级;最后以某实际工程进行了验证。研究结果表明:这种半定量的危险性评估方法,可以通过对照工程信息与评估准则得到相应危险等级,实现危险的动态评估和及时控制;该方法过程简单易行,结论可靠有效,实现了半量化评估,具有一定的工程应用价值。

关键词:岩土工程;基坑锚杆工程;危险评估准则;危险等级;动态危险性评估

中图分类号:TU94.2; X947

文献标志码:A

Risk assessment criteria and method for foundation pit anchor

WANG Ban-qiao, HAO Jian-bin

(School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Taking into account the difficulty of quantitative risk assessment because of the imperceptibility of bolting project, a two-class risk assessment criteria for both the overall project and process of bolt supporting of foundation pit were proposed based on risk management experience in foundation pit anchor from engineering application point of view. In the risk assessment criteria, dangerous sources were analyzed in detail from four aspects: scheme design of foundation pit anchor, geological and hydrological conditions, surrounding environment and construction technology, process and construction capability so as to establish classifying standard for general and individual process in bolt supporting, and then corresponding risk rating was ended based on different categories among various properties. It was also applied to the engineering for verification. The results show that this method is a semi-quantitative risk assessment approach, which can obtain relevant risk rating by comparing the engineering information with the risk assessment criteria to achieve dynamic assessment and timely control of risk. Owing to its simplicity of procedure and reliability of conclusion, it is worthy of popularization and application. 7 tabs, 18 refs.

Key words: geotechnical engineering; foundation pit anchor; criterion for risk assessment; risk rating; dynamic risk assessment

0 引言

锚杆支护技术由于结构简单、对坡体扰动小、对附近建筑物影响小等突出优点,在基坑工程中得到广泛应用。但锚杆支护为隐蔽工程,加上土体的性质复杂多变,锚杆工程出现病害甚至失事的现象屡见不鲜,给工程建设带来极大的安全隐患,严重的甚至造成工程中断、人员伤亡和重大经济损失。认真识别基坑锚杆工程的危险源,准确评估工程的危险等级,对安全度不足的工程适时采取有效的处治方法,建立简单、可行的锚杆支护工程危险性评价体系是至关重要和必不可少的^[1-3]。

国外对危险评估准则的研究始于 20 世纪 60 年代末,目前已经跨越了定性研究阶段,主要集中于定量或半定量的研究。常用的方法有:ALARP 原则、F-N 曲线、风险矩阵、经济优化法等,主要集中于海洋工程、水利水电工程和滑坡分析等工程领域,专门针对基坑工程方面的研究几乎没有^[4-6]。危险评估准则在中国基坑工程领域引入时间较晚,工程应用最早实例是同济大学 2003 年完成的上海崇明越江通道工程危险评估^[7]。但报道可见的文献资料较少^[8-9],且是在国外比较成熟的人员伤亡危险接受准则基础上提出的,以综述性为主,分析和计算并未涉及。

考虑到基坑锚杆工程的隐蔽性、地域性、时效性等特性,定量评估对基础数据可靠性的高要求,本文建立了锚杆支护工程总体和各个工序的两级危险性评判准则,通过对工程概况或施工进展情况的把握并与相关准则相对照,得到相应危险等级,实现危险的动态评估和及时控制^[10-18]。

1 基坑锚杆工程危险源分析

基坑锚杆工程的危险来源于不同的方面,基本上可分为 4 个方面:工程设计方案、工程地质条件、工程建设周边环境、施工工艺及施工能力。

(1) 工程设计方案:锚杆布置、设计承载力、锚杆长度、锚固段长度等对锚杆支护失效影响较大的基本事件是基坑锚杆工程设计方案中重要的危险来源。

(2) 工程地质条件:基坑土体的工程地质参数离散性很高,且有很高的空间变异性,这给锚杆支护

工程的建设带来许多隐形的危险,如地层分布情况、土体的物理力学性质及时空效应、地下水的水位以及补给来源、地层中的障碍物等。

(3) 工程建设周边环境:在锚杆支护工程施工过程中,不可避免地会受到基坑工程周围的地面建筑物和周围环境的影响。

(4) 施工工艺、工序及能力:不同的施工方法的适用条件不同,贸然采取某种方案、技术和设备势必会产生危险,如杆体布置、使用材料、防腐措施等,如果没有按照设计方案进行,或有明显缺陷,也会造成很大的危险。

2 基坑锚杆工程危险性评估

2.1 危险性等级划分

参考国际隧协标准并考虑锚杆工程的复杂性,将其划分为 4 个等级。

一级:危险水平高,后果是灾难性的,并造成恶劣社会影响和政治影响;完全不可接受,应立即排除。

二级:危险水平较高,后果很严重,在较大范围内造成破坏并有人身伤亡;不可接受,应立即采取有效的控制措施。

三级:危险水平一般,后果较轻微,对工程破坏的范围较小;不希望发生,可采取适当控制措施均衡损失与控制成本。

四级:危险水平较低,一定条件下可忽略;允许在一定条件下发生,但必须对其进行监控以避免升级。

在此基础上,构造原理简单、操作快捷的工程危险性评估准则表,将锚杆工程信息与其对比即可得到危险等级。

2.2 基坑锚杆工程总体危险性评估

基坑锚杆工程总体危险性评估之前,先从方案设计、工程地质、周边环境、施工工艺及施工能力 4 个方面对基坑锚杆工程类别进行划分,具体划分准则见下页表 1。

然后,根据工程概况对照表 1 即可得到待评工程类别组合,如{A1、B1、C2、D2},对应危险性等级评判表(下页表 2)中第 6 行,因此该基坑总体危险性等级为二级。

表 1 基坑锚杆工程分类准则

Tab. 1 Classification criteria for foundation pit anchor					
属性		分类标准			
方案 设计	A1	锚杆设计、构造部分不符合规范要求、安全系数不足、无防止外来水体浸入基坑土体的有效措施			
	A2	除上述情况以外			
工程 地质	B1	地下障碍物复杂,如废弃建构筑物、暗浜等;坑内有深厚淤泥、淤泥质土层、流塑状软粘土和地下水位以下的粉土、粉砂层;坑底有软弱土层影响整体稳定性			
	B2	除上述情况以外			
周边 环境	C1	基坑处于城市繁华区域;距离基坑 1 倍开挖深度范围内,存在居民住宅或其他重要建筑物等,存在各种压力管道、高压电缆、军缆、通信等重要管线,存在同步施工的其他地下工程			
	C2	除上述情况以外			
施工 工艺 及能 力	D1	施工顺序不符合工艺流程,施工质量不符合设计要求,施工单位无类似工程施工经验			
	D2	除上述情况以外			

表 2 基坑锚杆工程总体危险性等级评判

Tab. 2 Risk assessment of overall project for foundation pit anchor					
序号	方案 设计(A)	工程地质 (B)	周边 环境(C)	施工工艺 及能力(D)	危险性 等级
1	A1	B1	C1	D1	一级
2	A1	B1	C1	D2	
3	A1	B1	C2	D1	
4	A1	B2	C1	D1	
5	A2	B1	C1	D1	二级
6	A1	B1	C2	D2	
7	A1	B2	C1	D2	
8	A2	B1	C1	D2	
9	A2	B2	C1	D1	三级
10	A1	B2	C2	D1	
11	A2	B1	C1	D2	
12	A2	B2	C2	D1	
13	A2	B2	C1	D2	四级
14	A2	B1	C2	D2	
15	A1	B2	C2	D2	
16	A2	B2	C2	D2	

锚杆支护工程按照具体施工内容可以分为 4 个环节:钻孔、防腐与安装、灌浆、张拉锁定与检测。根据各个环节的施工特点和主要危险源,进一步细化各个属性的分类标准(表 3~表 6),得到各工序危险准则表。

表 3 基坑锚杆工程钻孔施工分类准则

Tab. 3 Classification criteria of drilling process for foundation pit anchor					
属性		分类标准			
方案 设计	A1	孔径设计不足;孔内预应力钢绞线面积大于 15%;预留保护层厚度小于 20 mm(永久性锚杆)或小于 10 mm(临时性锚杆);钻孔角度与水平方向夹角小于 13°或大于 45°;锚杆垂直间距小于 2.5 m,水平间距小于 2 m;无法满足间距要求时没有采用相互错落的布置;锚固段部分上部覆土高度小于 4.5 m			
	A2	除上述情况以外			
工程 地质	B1	钻孔部分土体含水率高,其蠕变性与流动性导致闭孔;土层中有复杂障碍物阻碍钻孔;钻孔钻入地下水潜水层导致孔中透水			
	B2	除上述情况以外			
周边 环境	C1	锚杆钻孔至邻近建筑物下方土体;附近由于管涵渗漏等原因使土体含水量大,导致塌孔;施工过程中降雨或基坑内明显积水未停工			
	C2	除上述情况以外			
施工 工艺 及能 力	D1	水平向孔距误差大于 50 mm;垂直孔距误差大于 100 mm;钻孔深度小于设计值或大于设计值的 1%;由于设备原因导致的钻孔直径不均匀			
	D2	除上述情况以外			

表 4 基坑锚杆工程安装与防腐施工分类准则

Tab. 4 Classification criterion of installatia and anti-corrosion construction for foundation pit anchor					
属性		分类标准			
方案 设计	A1	锚杆设计时安全系数选择不当;对中支架设计间距大于 2 m;焊接处焊接长度不足 500 mm;保护层厚度设计小于 20 mm(永久性锚杆)或小于 10 mm(临时性锚杆)			
	A2	除上述情况以外			
工程 地质	B1	没有检测出土体的腐蚀因素			
	B2	除上述情况以外			
周边 环境	C1	降雨或其他原因导致土体浸水,土体性质变化;施工过程中降雨或基坑内明显积水未停工			
	C2	除上述情况以外			
施工 工艺 及能力	D1	安装前锚杆没有涂除锈油;自由段与锚固段的塑料管密封不严;防腐材料在安装时受损而继续安装;安装时倾角偏差大于±1°;锚杆长度的偏差大于 50 mm 安装锚杆时进孔不顺利,用力过大导致锚杆断裂;安装过程中孔内进水			
	D2	除上述情况以外			

表 5 基坑锚杆工程注浆施工分类准则

Tab. 5 Classification criteria of grouting construction for foundation pit anchor

属性	分类标准	
方案设计	A1	注浆体设计强度小于 20 MPa
	A2	除上述情况以外
工程地质	B1	锚固段孔壁土质松散, 裂隙发育明显, 注浆体沿裂隙流失; 锚固段土层抗剪强度不足, 锚固体与土体易产生相对位移
	B2	除上述情况以外
周边环境	C1	锚固段土体遇水后在剪力作用下蠕变量增大, 没有及时发现且没有采用二次注浆的方案
	C2	除上述情况以外
施工工艺及能力	D1	土体参数不准确, 土层与水泥砂浆粘结强度设计不足; 注浆管出口距孔底大于 500 mm; 常压注浆压力大于 4 MPa; 二次高压注浆时水泥结实体强度小于 5 MPa; 浆体硬化后明显没有充满锚固体, 没有及时补浆
	D2	除上述情况以外

表 6 张拉锁定与检测施工准则

Tab. 6 Classification criteria of tension locking and detecting for foundation pit anchor

属性	分类标准	
方案设计	A1	永久性锚杆张拉控制应力大于 $0.6f_{ptk}$ (预应力钢筋抗拉强度标准值 (MPa)); 临时性锚杆张拉控制应力大于 $0.65f_{ptk}$; 最大试验载荷超过钢筋、钢绞线强度的 0.8 倍; 验收试验锚杆选择少于 3 根
	A2	除上述情况以外
工程地质	B1	地质勘查不准确, 试验方法选择错误; 锚固段土层具有显著的蠕变性质
	B2	除上述情况以外
周边环境	C1	锚固段土体遇水后在剪力作用下蠕变量增大, 导致预应力损失, 没有在锚杆施工后 3~30 d 内进行补偿张拉
	C2	除上述情况以外
施工工艺及能力	D1	锚固体与台座强度不足 15 MPa 时开始张拉; 没有进行 1~2 次预张拉直接张拉; 张拉荷载未按设计要求分级施加; 锁定载荷小于设计值; $0\sim0.75N_t$ 时, 加荷速度大于 100 kN/min; $1.0\sim1.1N_t$ 时, 加荷速度大于 50 kN/min (N_t 为锚杆的设计轴向拉力值 (kN)); 张拉保持时间不足; 锁定后外锚头未做处理 (永久性锚杆沥青处理加混凝土密封, 临时锚杆用沥青处理); 发现明显的预应力损失没有进行补偿; 施工过程中没有按要求进行试验; 没有第 3 方进行验收试验
	D2	除上述情况以外

2.3 基坑锚杆工程动态危险性评估

施工过程中, 根据工程实施工序, 通过现场调研、巡视等手段获得现场信息, 对照表 3~表 6 对锚杆支护工程各工序属性进行分类, 将得到的各工序属性类别组合分别与表 7 相应的危险性等级评判表进行对照, 即可得到各工序的危险性等级, 实现动态评估。

表 7 基坑锚杆工程各工序施工危险性等级评判

Tab. 7 Risk assessment of construction process for foundation pit anchor

类别	方案设计 (A)	工程地质 (B)	周边环境 (C)	施工工艺及能力 (D)	危险等级
钻孔	A1	B1	C1	D1	一级
	A1	B1	C1	D2	
	A1	B1	C2	D1	
	A1	B2	C1	D1	
	A2	B1	C1	D1	
	A1	B1	C2	D2	二级
	A1	B2	C1	D2	
	A2	B1	C1	D2	
	A2	B2	C1	D1	
	A1	B2	C2	D1	
	A2	B1	C1	D2	三级
	A2	B2	C2	D1	
	A2	B2	C1	D2	
	A2	B1	C2	D2	
	A1	B2	C2	D2	
安装与防腐	A2	B2	C2	D2	四级
	A1	B1	C1	D1	一级
	A1	B1	C1	D2	
	A1	B1	C2	D1	
	A1	B2	C1	D1	
	A2	B1	C1	D1	二级
	A1	B1	C2	D2	
	A1	B2	C1	D2	
	A2	B2	C1	D1	
	A2	B1	C1	D2	三级
	A2	B2	C2	D1	
	A2	B2	C1	D2	
	A2	B1	C2	D2	
	A1	B2	C2	D2	
	A2	B2	C2	D2	四级

续 表

类别	方案设计(A)	工程地质(B)	周边环境(C)	施工工艺及能力(D)	危险等级
注浆	A1	B1	C1	D1	一级
	A1	B1	C1	D2	二级
	A1	B1	C2	D1	
	A1	B2	C1	D1	
	A2	B1	C1	D1	
	A1	B1	C2	D2	
	A1	B2	C1	D2	
	A2	B1	C1	D2	
	A2	B2	C1	D1	
	A1	B2	C2	D1	三级
	A2	B1	C1	D2	
	A2	B2	C2	D1	
	A2	B2	C1	D2	
	A2	B1	C2	D2	
	A1	B2	C2	D2	
	A2	B2	C2	D2	四级
张拉 锁定 与检 测	A1	B1	C1	D1	一级
	A1	B1	C1	D2	二级
	A1	B1	C2	D1	
	A1	B2	C1	D1	
	A2	B1	C1	D1	
	A1	B1	C2	D2	
	A1	B2	C1	D2	
	A2	B1	C1	D2	
	A2	B2	C1	D1	三级
	A1	B2	C2	D1	
	A2	B1	C1	D2	
	A2	B2	C1	D2	
	A2	B1	C2	D2	
	A1	B2	C2	D2	四级
	A2	B2	C2	D2	

3 工程应用

某基坑平面形状规则,拟建场地面积为 81.3×27(长×宽) m²,基坑开挖深度为 7.6 m。基坑南侧 3 m 处有 1 个 3 层的临建房,基坑支护方案采用锚杆挡墙。

该工程属性为 A1(无防止外来水体浸入基坑土体的有效措施)、B2(工程地质条件相对简单)、C1(基坑南侧 3 m 处有 1 个 3 层的临建房)、D2(施工单位有类似经验),对应表 2 第 7 行,总体危险性为二级,需要采取措施降低危险。经过优化后设置了

地表排水沟,使“方案设计”属性由 A1 变为 A2,危险等级相应降为三级。

在锚杆施工过程中,施工单位没有依照设计规定的分层开挖深度按作业顺序施工,而是直接开挖至基坑实际深度 7.6 m,工程属性由 D2 上升为 D1;加之施工遭遇连续强降雨,致使正在施工中的部分土体蠕变明显,工程属性由 C2 上升为 C1;导致注浆危险等级由四级上升到二级。为防止基坑坍塌,施作二次注浆,并在变形明显的一侧改用锚杆与砖墙组合方案,变形在最短时间内被控制,措施得当未造成大的损失。

4 结 语

(1)面向工程实际,建立了基坑锚杆工程总体和工序两级危险性评价准则,实现了锚杆工程危险的动态评估,便于及时掌握危险态势,应对危险。

(2)通过对照工程概况与总体危险性等级评判标准,能够迅速掌握基坑锚杆工程宏观危险水平,利于优化相关设计、施工方案。

(3)建立的锚杆工程各工序危险性评判准则涵盖了施工过程的所有危险源,可以根据施工进度及时更新各工序危险水平,实现危险的动态评估和及时控制。

(4)本文方法评估过程简单易行,是一种半定量的危险性评估方法。如何将基坑锚杆工程的基础数据和评价方法结合,实现评估结果的定量化,是未来的研究趋势。

参考文献:

References:

[1] 程良奎,韩 军,张培文. 岩土锚固工程的长期性能与安全评价[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(5): 865-872.

CHENG Liang-kui, HAN Jun, ZHANG Pei-wen. Long-term performance and safety assessment of anchorage in geotechnical engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2008,27(5): 865-872. (in Chinese)

[2] 汪班桥,门玉明. 土层锚杆模型试验研究[J]. 地球科学与环境学报,2009,31(2):195-199.

WANG Ban-qiao, MEN Yu-ming. Analysis by model test on anchors in clay[J]. Journal of Earth Sciences

- and Environment, 2009, 31(2): 195-199. (in Chinese)
- [3] 刘妮娜, 刘 聪, 李寻昌, 等. 滑坡治理中格构式锚杆框架结构设计[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 46-48.
LIU Ni-na, LIU Cong, LI Xun-chang, et al. Design of lattice frame anchor structure for landslide control [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2004, 26(4): 46-48. (in Chinese)
- [4] Farmer F R. Siting criteria -a new approach[J]. Containment and Siting of Nuclear Power Plants, 1967, 128(1): 303-318.
- [5] Garvey P R, Lansdowne Z F. Risk matrix: an approach for identifying, assessing, and ranking program risks[J]. Air Force Journal of Logistics, 1998, 122(1): 18-21.
- [6] Danzig D V. Economic decision problems for flood prevention[J]. Econometrica, 1956, 24(3): 276-287.
- [7] 同济大学. 崇明越江通道工程风险分析研究总报告[R]. 上海: 同济大学, 2003.
Tongji University. Chongming tunnel engineering risk analysis report[R]. Shanghai: Tongji University, 2003. (in Chinese)
- [8] 王家远, 刘春乐. 建设项目风险管理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
WANG Jia-yuan, LIU Chun-le. The risk management of construction project [M]. Beijing: Chinese Water Conservancy and Hydropower Press, 2004. (in Chinese)
- [9] 胡群芳, 黄宏伟. 隧道及地下工程风险接受准则计算模型研究[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(1): 60-64.
HU Qun-fang, HUANG Hong-wei. The study on the modeling of risk acceptance criteria for tunnel and underground engineering[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2006, 2(1): 60-64. (in Chinese)
- [10] 邵 勇, 覃仁辉. 预应力锚索框架梁边坡支护数值模拟[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(3): 307-310.
SHAO Yong, XIN Ren-hui. Numerical simulation of slope supporting for prestressed anchor with frame beam[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(3): 307-310. (in Chinese)
- [11] 陈国周. 岩土锚固工程中若干问题的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
CHEN Guo-zhou. The study of some problems in the anchorage engineering for soil and rock [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007. (in Chinese)
- [12] 唐业清, 李启民, 崔江余. 基坑工程事故分析与处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
TANG Ye-qing, LI Qi-min, CUI Jiang-yu. Analysis and treatment of foundation engineering accident [M]. Beijing: China Architecture Industry Press, 1999. (in Chinese)
- [13] 苏 霞, 李仲奎. 锚杆拉拔力影响因素的数值试验研究[J]. 工程力学, 2006, 23(2): 97-102.
SU Xia, LI Zhong-kui. Numerical study of the influence factors of anchorage under tension[J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(2): 97-102. (in Chinese)
- [14] Barley A D. Failure of a 21-year old anchored sheet pile quay wall on the Thames[J]. Ground Engineering, 1997, 30(2): 42-45.
- [15] 程良奎. 岩土锚固的现状与发展[J]. 土木工程学报, 2001, 34(3): 7-12.
CHENG Liang-kui. Present status and development of ground anchorages[J]. China Civil Engineering Journal, 2001, 34(3): 7-12. (in Chinese)
- [16] 陈奕奇, 郭红仙, 宋二祥, 等. 岩土锚固结构腐蚀程度的评估[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(7): 1492-1498.
CHEN Yi-qi, GUO Hong-xian, SONG Er-xiang, et al. Corrosion evaluation for existing ground anchored structure[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(7): 1492-1498. (in Chinese)
- [17] 韩 军, 张智浩, 艾 凯. 影响岩土锚固工程安全性的几个关键性问题[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(增 2): 3874-3878.
HAN Jun, ZHANG Zhi-hao, AI Kai. Key issues on safety of ground anchorage engineering [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(S2): 3874-3878. (in Chinese)
- [18] CECS 22—2005, 岩土锚杆(索)技术规程[S].
CECS 22—2005, Specification for design and construction of ground anchors[S]. (in Chinese)

