地铁施工项目中重大危险源辨识及风险研究

Identification and Risk Research of Major Hazard Sources in Subway Construction Project

蒲柳羽

Liuyu Pu

中铁十六局集团 中国·北京 100018

China Railway 16th Bureau Group, Beijing, 100018, China

摘 要: 论文根据风险分级管控和隐患排查治理双重预防体制的要求,以成都轨道交通 17 号线 2 期七工区建设项目为依托,选取深基坑工程作为研究对象,结合 LEC 与故障树方法,研究地铁施工项目中重大危险源辨识中的实践和应用方法。

Abstract: According to the requirements of the dual prevention system of risk classification control and hidden danger investigation and treatment, based on the construction project in seven work area of Chengdu rail transit line 17 phase II, the deep foundation pit engineering is selected as the research object, combined with LEC and fault tree method, the practice and application method of major hazard identification in subway construction project are studied.

关键词: 深基坑工程;危险源辨识;LEC 法

Keywords: deep foundation pit engineering; hazard identification; LEC method

DOI: 10.36012/etr.v2i8.2477

1 工程概况

成都轨道交通 17 号线二期工程包含 2 站 3 区间,分别是机车厂站(含配线段)、人民塘站、二仙桥站—机车厂站区间、机车厂站—人民塘站区间、人民塘站—航空西路站区间。机车厂站长 749.4m、人民塘站长 300m,均采用明挖法施工。二仙桥—机车厂区间长约 660m,机车厂—人民塘区间长约 1282m,人民塘—航空西路区间长约 1223m。穿越地质主要为卵石土、泥岩复合地层。

2 施工过程中的危险源

2.1 固有危险源与可控危险源

危险源构成需要三个条件,第一个是承受因素,也就是需要有被破坏的对象;第二个是破坏因素,也就是能够引起破坏的能力;第三个就是前两种因素之间具有关联性,且距离相近,其相互之间能够产生影响。在满足了上述三个条件以后,危险源才能构成^[1]。

同时,根据能量意外释放理论,在施工过程中的危险源可以分为两类,第一类是本身存在能量,如果失去控制,导

致能量释放,就会产生安全生产事故,第一类危险源的存在决定了安全生产事故的大小和严重程度;第二类危险源是导致控制能量体的措施和约束失效的不安全因素,它是第一类危险源导致事故的必要条件,决定了事故发生可能性的大小。

本文根据工程实际特点,结合能量意外释放理论,将施工过程中主要存在的第一类危险源成为“固有危险源”,固有危险源本身承载能量。由于环境既定,无法控制风险值大小,但是需要第二类危险源触发,才能产生安全事故。在施工中,对第一类危险源如果采取有效的控制和约束,仍然能避免事故发生。

施工过程中存在的第二类危险源成为“可控风险”,包括勘测误差、机械设备缺陷、施工方案不合理等,可控风险是可以发现、整改以及控制的。

2.2 生产系统的本质安全化

施工过程中,可控危险源(第二类危险源)的风险达到临界值,就会引发固有危险源(第一类危险源)承载的能量失去控制和约束,从而触发事故,造成人员伤亡或财产损失。

【作者简介】蒲柳羽(1996~),女,四川巴中人,初级工程师,从事建筑施工安全研究。

如果想实现施工安全生产,必须把可控危险源的风险值控制在可接受范围内。如果能实现生产系统中的本质安全化,仍能有效避免安全生产事故的发生。

2.3 本工程中的固有危险源

根据成都轨道交通 17 号线二期工程编制的施工组织设计、专项施工方案、工程地质勘测资料、施工图纸以及验收报告等基础资料,列出以下风险性较大的固有危险源清单,如表 1 所示。

表 1 固有危险源清单

编号	工程名称	风险描述
W-II-042	机车厂站临近蜀龙路吊装作业、旋挖钻作业	吊装作业存在物体打击、起重伤害、高处坠落等风险;旋挖钻作业存在机械伤害、触电等风险
W-II-043	机车厂站 DN1500、1200mm 雨水管悬吊	悬吊保护存在管线破坏、漏水、淹溺、物体打击等风险
W-II-044	机车厂站 10kV 电力悬吊	悬吊保护存在破坏管线、漏电、中断电网、物体打击等风险
W-II-045	机车厂站深基坑工程	深基坑存在纵向边坡失稳滑坡、坍塌、突水、涌砂、高处坠落、物体打击等风险
W-II-046	机车厂站高支模工程	高支模工程存在垮塌、高处坠落、物体打击等风险
W-II-047	人民塘站深基坑工程	深基坑存在纵向边坡失稳滑坡、坍塌、突水、涌砂、高处坠落、物体打击等风险
W-II-048	人民塘站降水工程	降水工程存在渗水、基坑坍塌、沉陷、触电等风险
W-II-049	人民塘站高支模工程	高支模工程存在垮塌、高处坠落、物体打击等风险
W-II-050	人民塘站基坑临近建筑物	存在建筑物坍塌、高处坠落、中断供电等风险

结合本工程实际施工情况,本文将选取 W-II-045 机车厂站深基坑工程为研究对象,进行风险评价与风险分级。

3 深基坑工程的风险分析

3.1 本工程深基坑工程概况

机车厂站深基坑工程分为地下两层(局部三层)、双柱三跨(局部单柱双跨),属于明挖车站。车站基坑范围内土层主要为杂填土、有机质土、可塑黏土、硬塑黏土、全风化泥岩、强风化泥岩、中风化泥岩,车站长 749.4m,标准段宽约 23.3m,坑深度约 3.86~22.63m,支护形式为灌注桩+内支撑,本节根据工程危险源的类别,对各种风险因素进行了分析,具体如表 2 所示。

3.2 深基坑工程易发生的事故类型

地铁深基坑工程施工特点有高技术含量、质量标准、

表 2 风险因素识别表

危险源类别	编号	风险因素	因素描述
固有危险源	R1	地质条件	车站基坑范围内土层主要为杂填土、有机质土、可塑黏土、硬塑黏土、全风化泥岩、强风化泥岩、中风化泥岩
	R2	水文环境	地下水位较高,水位埋深较浅,稳定水位埋深约 6~9m,相当于标高位置 38~40m。本工程地层渗透系数较大、补给来源丰富,结构防水难度较大
	R3	周边建筑物	车站基坑与六层民居结构净距 3.35m,与民居平行敷设。六层民房为环保家属楼,楼内 48 户,住户以五、六十岁以上的老人及儿童为主
	R4	基坑尺寸	标准段宽约 23.3m,基坑深度约 22.63~23.86m,属于超大工程,坍塌、失稳的可能性较高
	R5	管线障碍	1500mm 雨水管横穿基坑,管底埋深 5.25m;1200mm 雨水管横穿基坑,管底埋深 3.12m;10kV 电力线横跨机车厂站,埋深 1.1m。地下管线较多,对施工作业造成障碍,管线控制事故发生的可能性较高
可控危险源	R7	技术风险	深基坑工程施工过程中主要技术包括地质勘察、施工组织设计、专项施工方案、施工监测控制等
	R8	作业风险	主要存在材料质量差、机械失灵、违章作业、个人防护不到位等
	R9	管理风险	安全生产责任制未落实、安全教育培训未到位、安全交底制度未执行、现场监督不及时、安全操作规程未编制或编制、安全措施执行不严格等
随机风险源	R10	其他不确定风险因素	如暴雨、冰雹、洪涝等自然灾害

风险干扰大、安全文明施工要求高等特点。深基坑工程中主要的危险情况有围护结构渗流破坏、深基坑支撑失稳、坑内土体滑坡、围护变形(踢脚)、基坑突涌^[2],可能会造成淹溺、坍塌等事故,除此之外,施工过程可能发生触电、高空坠落、机械伤害、起重伤害等类型的事故。

3.3 深基坑工程的事故树模型

根据以上分析,构建深基坑工程的事故树模型如 1 所示。

图 1 事故树模型

其他伤害包括机械伤害、起重伤害、触电、高处坠落等,

普遍存在于专项工程施工阶段中，主要原因是违章作业等，不代表基坑工程的特殊性，因此以下主要针对前四种基坑中常见的事故进行分析。

4 基于 AHP 模糊决策法的固有风险分析

影响事故树中的基本事件 X1—X8 的风险因素如表 3 所示：

表 3 风险因素对基本事件的影响

基本事件	事件类型	事件描述	影响基本事件的风险因素
X1	边坡超载	材料堆放不规范、车辆往来、边坡防护不到位	作业风险
		安全巡查制度未落实、安全培训教育不到位、安全警戒标识设置不合理	安全管理风险
X2	支护结构失效	支护结构方案设计不合理、支护结构施工监测不到位、支护结构材料质量不过关	技术风险
		施工质量差、偷工减料	作业风险
		安全巡查制度未落实、安全培训教育不到位、维护保养不到位	安全管理风险
X3	雨量过大	暴雨	随机不确定因素
X4	降排水工程失效	排降水结构方案设计不合理、排降水结构施工监测不到位、排降水结构材料质量不过关	技术风险
		安全巡查制度未落实、安全培训教育不到位、维护保养不到位	安全管理风险
		施工质量差、偷工减料	作业风险
X5	违章作业	违章使用机械、作业不遵守安全操作规程、超挖乱挖、攀爬高处等	作业风险
		安全培训教育不到位、安全巡查不及时、专项交底缺乏针对性、安全责任制未落实	安全管理风险
X6	勘察失误	未勘察到基坑周围的管线或勘察不准确	技术风险
X7	施工设计不合理	管线专项施工方案设计、管线专项交底编制不合理	技术风险
X8	土体加固失效	土体加固方案设计不合理、土体加固材料质量不过关	技术风险
		安全巡查不及时	安全管理风险
		施工质量差、偷工减料	作业风险

5 LEC 法结合事故树模型的可控风险分析

本文采用 LEC 进行风险评价，作业条件危险性(D)主要受三个因素的影响：①事故或危险事件发生的几率(L)；②材料、设备以及人员在危险环境暴露的频率(E)；③事故或危险事件可能带来的后果(C)。

函数关系如下：

$$D=LEC \tag{1}$$

式中，D 为作业条件的危险性；L 为事故或危险事件发生的几率；E 为材料、设备以及人员在危险环境暴露的频率；C 为

事故或危险事件可能带来的后果。

不同类型事故造成的后果严重度各异，因此根据事故后果严重性对 LEC 公式的改进如下^[3]：

$$D=LE\max(C_1,C_2,\dots,C_n) \tag{2}$$

确定 D 值后，根据 D 值大小判断风险等级。D≥320 时，危险程度达到“极其危险，不能继续作业”，风险等级为 I 级；当 D 处于 160~320(不包含 160)时，危险程度达到“高度危险，立即整改”，风险等级为 II 级；当 D 处于 70~160(不包含 70)时，危险程度达到“显著危险，需要整改”；当 D 处于 20~70(包含 20)时，危险程度为一般，需要注意；当 D<20 时，危险处于可接受的程度。

固定危险源决定了事故后果的严重性，因此固定危险源影响着公式中 $D=LE\max(C_1,C_2,\dots,C_n)$ 中的 C 值；可控危险源则决定了事故发生的可能性大小，其中技术风险影响 L、E 的取值，作业风险和管理风险影响着 L 的取值。

本深基坑工程，由于地下管线较多且横穿基坑，因此 R5 的风险达到“高”的值，根据风险评判“就高不就低”的原则，判定本深基坑工程为 I 级危险源。再用 LEC 法判断得到深基坑容易发生的几类事故的风险值及等级如表 4 所示：

表 4 各类事故风险值及风险等级

事故类型	L	E	C	D(L×E×C)	风险等级
坍塌	1	6	40	240	II
淹溺	3	3	15	135	III
管线破坏	6	6	7	252	II
坑内滑坡	3	3	15	135	III

6 结语

依据以上内容，综合水文环境、地下管线等固定危险因素，可以得出本深基坑工程属于 I 级风险源，应作为本项目安全管理重点。在深基坑工程易发生的安全事故中，管线破坏与坍塌的风险值处于 II 级，属于高度危险。固定危险源的风险值无法改变，但可以通过安全手段使施工的安全水平维持在一个较高的水平，能有效避免安全生产事故的发生。在本地地铁工程的施工中，尤其加强对管线施工作业的管理监督和对基坑的保护。

参考文献

[1] 贺爱群.地铁施工重大危险源评估及接收准则建立[D].武汉:中南大学,2010.
[2] 杨乾辉.地铁深基坑工程安全风险评价[D].武汉:中南大学,2013.
[3] 陈冲.建筑施工安全生产危险源辨识与控制[J].智能城市,2019(21):34,37.