

基于故障树分析法的住宅项目基坑工程施工安全管理探究

姚金清

上海心圆房地产开发有限公司 上海 201321

摘要: 针对住宅项目的施工安全管理通常是行业内重点关注的对象,不健全、不完善的安全管理将会使项目存在较大的安全的隐患,能够给国家、人们直接造成损失的同时也影响着社会的稳定性。以上海市浦东新区惠南镇东南社区16-05地块安置房征收项目为例,在分析项目基坑工程中应用建筑施工安全管理中的故障树分析方法,探讨了项目基坑工程施工安全管理措施,保障了项目基坑工程施工安全,助力建筑行业的健康发展。

关键词: 故障树分析;住宅项目;施工安全;安全管理

引言

住宅项目与人们的生活息息相关,项目质量与安全随时随地影响着人们的生产生活^[1]。由于住宅项目一般位于城市,项目区域及周边环境普遍具有一定的复杂性,住宅项目的施工安全管理是业内关注的重点^[2]。为更好地保障住宅项目施工,实现项目各项目标,必须开展有效的安全管理^[3]。概率风险评估法、安全检查表法、故障树分析法等是建筑施工安全管理中常用的研究方法。以上海市浦东新区惠南镇东南社区16-05地块安置房征收项目为例,在分析项目基坑工程中应用建筑施工安全管理中的故障树分析方法,利用故障树分析法进行定性和定量的施工风险识别研究,归纳总结基坑工程施工项目中影响施工安全的常见因素,期望给同类型项目进行安全管理提供借鉴。

1 项目概况

上海市浦东新区惠南镇东南社区16-05地块征收安置房项目位于浦东新区惠南镇,北至老港河,南至惠园路(现幸新路),西至观海路,东至健海路(图1),总建筑面积156615.69m²,其中地上建筑面积125130.73m²,地下建筑面积31484.96m²,主要建设内容为12栋17层住宅、配套综合楼、商业、公益性建筑、地下车库、门卫、街坊站、开关站、垃圾房等附属建筑。项目地下车库区域基坑周长1174m,面积29264m²,工程地下车库基坑开挖深度为5.40m,号楼开挖深度为2.30m,安全等级为三级。

2 项目及周边环境分析

建筑基坑施工的环境因素对施工有很大影响,不利的环境因素会增加了事故发生的概率,经过现场的详细的勘验,周边环境情况如下(表1)。

表1 基坑周边环境情况一览表

方位	地下车库到红线的距离	环境情况
东侧	42.5 ~ 49.6m	东侧为健海路,距3#街坊站约10.9m,距公益性建筑约30.1m,距待建6#、7#楼约4.7 ~ 4.9m,与车库基坑高差2.70m。
南侧	64.0 ~ 98.3m	南侧为惠园路,距待建1#街坊站仅1.0m,距待建11#、12#楼约2.3 ~ 2.7m,与车库基坑高差2.70m。
西侧	42.5 ~ 49.6m	西侧为观海路,地下车库距离该侧基地用地红线距离约42.5 ~ 49.6m,距待建9#、10#楼约8.20 ~ 24.7m,与车库基坑高差2.70m。
北侧	15.7 ~ 36.0m	北侧为老港河,距待建1#、2#及3#楼约2.4 ~ 4.4m,与车库基坑高差2.70m。

根据建设单位提供的部分管线资料,并经现场各管线单位交底及实际踏勘,基坑周边管线分布情况见表2(表2)。

表2 周边管线分布情况表

管线名称	分布情况	备注
电信管线	有4孔管道位于幸新路北侧东西向铺设,顶管横穿观海路,非开挖埋管形式,并有架空线位于地下管线以下。	红线外,距离基坑 > 35m

续表

管线名称	分布情况	备注
电力管线	第一路为南北向21孔大排管，位于观海路东侧现状人行道下，横穿幸新路后向南。	红线外， 距离基坑 > 35m
	第二路为2*3.5万伏直埋电缆，在观海路段位于道路西侧，在幸新路交叉口西南角处转向朝东，位于幸新南路南侧的围墙内。	红线外， 距离基坑 > 35m
	第三路为10kV架空线。在观海路东侧自老港河向南，在幸新路交叉口东北角处向东。	已迁移
东方有线	有2孔管道位于辛新路北侧自西向东。交叉口东南角处有井，为非开挖铺设。同时在地面上有架空线位于辛新路北侧自西向东。	红线外， 距离基坑 > 35m
移动管线	有8孔管道位于辛新路北侧，为东西向，贯穿观海路，非开挖铺设。	红线外， 距离基坑 > 35m
联通管线	有8孔管线位于辛新路北侧，东西向铺设，在观海路与幸新路交叉口西北角与位于观海路西侧的南北向主管相接。	红线外， 距离基坑 > 35m
自来水管	自观海路向东沿幸新路南北2侧各有一根自来水管，幸新路南侧为150mm水泥管，北侧为200mm普通管道。	红线外， 距离基坑 > 35m
雨水管线	观海路西侧有DN600-800雨水主管一路。	红线外， 距离基坑 > 130m
污水管线	观海路东侧有DN600-800污水主管一路，幸新路南侧有DN300污水主管一路。	红线外， 距离基坑 > 60m

3 基坑工程施工风险故障树模型

本研究以基坑工程施工中发生安全事故为故障树的顶事件，根据风险识别可将风险因素分为4个中间事件：A1为人的不安全行为、A2为设备的不安全状态、A3为施工

现场环境风险、A4为技术风险。根据施工现场的实际情况确定风险因素之间的逻辑关系，扩大和完善故障树的基本事件（X1~X13）。根据故障树基本事件发生故障的可能性对风险因素定量和定性分析，完善故障树的风险评估功能。基坑工程施工风险故障树模型如下（图1）。

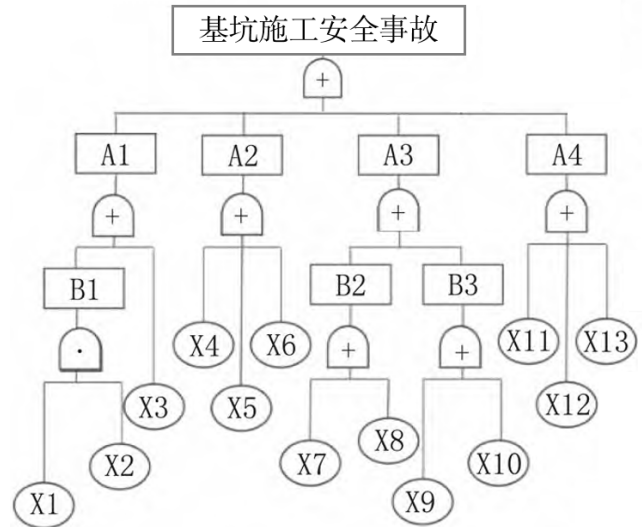


图1 基坑工程施工风险故障树模型

4 故障树定性与定量分析

4.1 定性分析

(1) 故障树最小割集

该故障树的最小割集有13个，每个最小割集都表示一种顶事件的发生模式，即基坑施工过程中有13种潜在的风险因素会导致安全事故的发生。利用布尔代数化简法求出的表达式如下^[4]：

$$\begin{aligned} \text{基坑施工安全事故} &= A1+A2+A3+A4 \\ &= X1+X2+X3+X4+X5+X6+X7+X8+X9+X10+X11+X12 \\ &\quad +X13 \end{aligned}$$

(2) 故障树最小径集

利用最小割集和最小径集的对偶性，得到基坑工程施工过程中的安全事故成功树，并求解其最小割集，即为故障树的最小径集。该成功树有2个最小割集，即基坑工程项目施工安全事故故障树有2个最小径集，即有2种措施可避免安全事故发生^[5]。用P表示如下：

$$P1=\{X1, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10, X11, X12, X13\}$$

$$P2=\{X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10, X11, X12, X13\}$$

(3) 重要度分析

根据最小割集（最小径集）判断，下列11个：X3，X4，X5，X6，X7，X8，X9，X10，X11，X12以及X13

均只有一个不相同的基本事件,因此基本事件结构重要度较小的为X1, X2两个。综上分析,基坑工程项目施工过程中发生安全事故故障树中的13个基本事件结构重要度排序如下:X3=X4=X5=X6=X7=X8=X9=X10=X11=X12=X13>X1=X2

4.2 定量分析

通过系统分析已有资料,并征求项目管理经验丰富的项目管理人员的意见,结合已有文献,确定了施工过程中引发安全事故的基本事件发生的概率。

表3 各基本事件发生的概率

基本事件	描述	概率
X1	作业人员违规操作	0.2
X2	安全防护措施不到位	0.3
X3	现场管理人员安全管理未落实到位	0.3
X4	线路老化、保护器失灵	0.1
X5	脚手架搭建不合格	0.2
X6	设备未按要求保养与防护	0.3
X7	管线分布不明	0.2
X8	周边环境判断不准确	0.1
X9	场区未设置相关的警示标牌	0.2
X10	作业面堆放过多杂物	0.3
X11	地质环境勘测有误	0.1
X12	场区明暗浜处理方案不准确	0.2
X13	施工调整机制不全	0.2

在每个基本事件的发生概率确定之后,对各个割集发生的概率进行计算,求出顶事件的发生概率:

$$g=1-(1-qk1)(1-qk2)\dots(1-qk13)=0.9024$$

根据计算结果,在预估的各基本事件发生概率的前提下,基坑施工项目施工过程中发生安全事故的概率是90.24%。属于极度危险的信号,必须采取有效的安全管理和预防措施以降低安全事故的发生概率。

5 施工安全管理方法与措施分析

5.1 实行安全生产信息化管理

一是利用BIM工程设计模型对各个环节存在的安全风险点进行提前预测;二是施工过程中对施工进度、施工情况及施工安全问题进行广泛的收集,结合现场实际施工情况评估安全生产风险;三是利用BIM的信息交互机制,强化施工相关单位及部门之间的信息共享,在安全管理方面实现信息化管理;

5.3 强化现场施工安全管理

(1) 明暗浜处理的安全管理

明浜的处理。明浜处理施工在抽干积水及清淤完成后,由测量员使用全站仪采用三维坐标方法测出浜口及浜底各代表点的三维坐标,并报请监理进行复测。在场

地红线外2m、明浜与老港沟交汇处填筑河坝,河坝东西向长度约为12m,南北向顶部宽度为3m。然后在两排钢板桩中间填土,填土采用粘性土,填土高度超出施工期间可能出现的最高水位50cm以上。因目前本工程施工现场无临电可用,抽水采用发电机发电进行抽水,或采用汽油抽水机进行抽水。抽水前在红线外开设沉淀池与排水沟,排水沟与北侧老港沟相连,保证明浜排除的积水不进入施工现场。明浜清淤采用挖掘机进行施工,清淤从明浜北侧向南侧有序进行,以保证淤泥清除干净。清淤时挖掘机将明浜两侧河坡按1:1.5进行放坡,挖掘机清淤完成后由人工开挖台阶。台阶宽度为1m,高度为0.75m。保证已经清理完成的浜底无积水,采用抽水机排除浜底积水。素土回填的回填土采用场区内优质黄土进行回填,回填采用挖掘机分层摊铺回填,首层回填厚度为60cm,其上每层回填厚度为20cm。每层回填后采用挖掘机修平并初步碾压,后用16t压路机进行碾压至设计要求压实度。

暗浜的处理。现场探沟联测,开挖清淤施工,开挖时按1:1~1:1.2进行放坡,视场地及边坡土质的情况而进行实际施工调整,以确保边坡稳定,完成清淤的相关工作之后,在现场及时安排相应的测量人员,记录测量并向现场监理及业主方的工程部提交进行联测的申请。

(2) 防止基坑围护体系失稳的安全管理

根据本项目施工区域的地质情况可知,建设工程的基坑开挖存在一个较大的困难,即含水量较高的土层的土质非常的软且不够稳定,容易产生的不良后果就是边坡失稳。鉴于以上情况,必须在基坑施工之前和施工过程中,采取相应的处理措施降低土层中的含水量。必须在核实施工区设置的钻孔围护桩区域内的管道和线路已经迁移完毕了才能开展基坑的施工工作,钻孔围护桩施工采取有效措施控制好桩位、垂直度、孔底沉渣、混凝土充盈系数及钢筋笼的制作安装等。在限定的时间范围内,及时做好混凝土垫层及砼底板,在逐小段开挖后,限时完成垫层砼浇筑。同时,辅助以基坑监测,监测项目主要包括:一是坡顶和坡顶建筑物沉降观测点X点;二是坡顶水平位移观测点Y点;三是坡体侧向位移测斜仪Z点。所有的基坑的监测数据应该及时观测、处理并及时通知有关单位开展相关的处理措施,如进行设计的调整以保证围护结构的安全等等,达到信息化施工的目的。油漆需要注意的事情是,坡顶水平位移沉降是有一定的限值的,不能超过,如果坡顶的水平位移或沉降累计超过限值时,则及时通知相关人员采取相应的处理与防范措施。

(3) 施工阶段洞口防护及临边的安全防护

基坑挖土及±0.00以下结构施工前在围护墙上安装临边防护栏,并用膨胀螺栓固定。

(4) 施工机械的安全管理

为了给在现场施工的机械设备的安全运行提供有力的保障,施工机械设备的安装、拆卸尤其是大型的机械,应该在专业的队(组)长的统筹协调和专业的指挥下,由专业队伍的专业队(组)人员开展工作,并有技术和安全人员监护。

(5) 用电的安全保证措施

现场施工的用电按照相关要求统一采用三相五线制的用电模式,施工现场的配电箱必须是符合现行规范要求的铁壳标准电箱。设置总开关的配电箱必须同时做到一机一闸一漏电保护器,此外,逐一编号施工现场设置的所有配电箱、开关箱,插座上标明设备使用名称。

6 结语

建筑工程项目的基坑工程的安全有效施工是建筑工程质量的基础,在基坑工程施工过程中,要切实开展基

坑工程施工安全管理工作,结合项目实际特征与现场环境情况,充分考虑基坑施工可能会遇到的存在的问题,并有针对性地提前规避或准备好解决举措,做好施工前和过程中的安全管理工作,为建筑工程项目的高质量推进提供安全保障^[6]。

参考文献

- [1]王德村.建筑工程深基坑施工的安全管理[J].建材与装饰,2013(14):181-182.
- [2]唐李政.简述深基坑施工安全管理[J].江西建材,2016(3):273-274
- [3]赖朝晖.深基坑工程施工安全管理及控制措施[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2018(05):148-149.
- [4]钟柳明.改进型故障树分析法的建筑施工安全管理方法研究[J].微型电脑应用,2021,37(12):137-140.
- [5]黄锋,潘正伟,肖丽丽.基于故障树的光伏发电项目施工安全管理研究[J].建筑经济,2022,43(S2):212-216.
- [6]尹利杰,姚利平,朱宇颖.建筑施工安全管理方法及技术的构建分析[J].房地产世界,2021(18):108-110.