

深基坑工程风险事故调查和相关性分析

朱得华

(上海建科工程咨询有限公司, 上海 200032)

摘要:通过查阅相关文献以及发放调查表的形式收集了近二十年来中国 224 例基坑工程事故案例,根据事故案例的梳理和分析,确定了深基坑工程施工中常见的风险事件和因素,同时按照事故的原因和损失信息对质量风险与安全风险和投资风险之间的相关性进行了分析,建立了三个目标维度风险相互间影响规律的宏观逻辑关系图,为基坑工程施工过程的全方位风险管理提供借鉴,并为风险理论分析研究提供基础数据。

关键词:基坑工程;事故;风险事件;风险因素;目标维度;相关性

中图分类号:TL146

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2014)S2-259-05

近年来,基坑工程呈现“大、深、紧、近”等特点。规模越来越大,面积在 10 000~50 000 m² 的基坑越来越多;开挖深度可达到 20~30 m。基坑工程场地紧凑,往往处于房屋和生命线工程的密集地区,有些地方紧贴红线。基坑周围环境复杂,不仅有已建房屋或地铁隧道等建(构)筑物,而且有供水或供气管等重大管线^[1]。20 世纪 90 年代以来,虽然基坑工程的设计理论和施工技术日益进步,基坑工程的设计理论、计算方法得到不断改进,施工工艺取得长足的进步,但由于地层复杂,加上设计与施工管理不善,基坑工程施工中仍然出现了不少事故,有的造成巨大经济损失,甚至人员伤亡,延误了工期,造成恶劣的社会影响。如 2005 年 7 月 21 日广州市海珠城广场基坑坍塌,死亡 3 人,伤 3 人。2008 年 11 月 15 日,杭州地铁基坑坍塌事故,造成 21 人死亡,超过 24 人受伤,直接经济损失超过 5 000 万元。

综上所述,基坑施工过程中不可预见的因素很多,均会影响基坑工程的实施,进而会以各种方式增加项目的风险,具体表现为:质量和安全事故,投资超支等多方面。同时这些不同类型的风险之间并不是相互独立,毫无关联,而是彼此影响、紧密联系在一起。文献[2-6]对深基坑工程常见的事故进行了分析,归纳总结了事故发生的原因与处置措施;文

献[7-9]对深基坑工程事故的预控措施进行了研究;文献[10-12]对深基坑工程施工过程中的风险管理进行了研究。以往的研究大都是针对施工质量和安全的,同时考虑投资、质量和安全的尚无研究,更没有人对质量、安全和投资风险事故之间的相关性进行过研究。本文通过基坑案例的梳理和分析,确定了事故发生的原因,对质量风险事故与安全风险事故和投资风险事故之间的相关性进行了分析。

1 基坑风险事故调查

建筑工程是一项贯穿于整个人类社会发展历程的活动,通过不断积累成功经验摆脱穴居走入高楼,同样可以通过对以往失败案例的分析掌握相关规律避免重蹈覆辙。

本文在研究过程中,主要通过查阅相关文献以及发放调查表的形式进行案例收集,限于各方面客观原因不能将事故全部获悉,收集整理了国内典型基坑事故 224 例,见表 1(由于篇幅有限,在此不一一列举)。从统计学的角度出发,样本容量越大,分析结果越可靠,因此案例收集是一个持续的过程,在后续工作中将从不同渠道对案例进行不断充实,及时更新优化分析结果。

表 1 基坑风险事故案例表

编号	工程名称	围护结构形式	开挖方式	支撑形式	开挖深度/m	事故类型	事故原因	伤亡人数	投资增加/万元
1	青岛某地下商城	土钉墙	明挖顺筑	混合支撑	12.0	局部失稳	勘查不详	0	20
2	广州某广场	土钉墙	明挖顺筑	钢支撑	17.0	支撑结构 整体失稳	超挖/ 超载/超时	死亡 3 人、 重伤 5 人	3 000
...
224	上海地铁某车站	地连墙	明挖顺筑	混合支撑	14.9	地连墙渗漏	施工不当	0	30

2 基坑工程风险事故数据分析

2.1 基坑事故类型

表 2 基坑事故类型分布表

事故类型	事故数量	比例/%
局部失稳	82	37
整体失稳	51	23
围护结构渗漏	23	10
支撑失稳	19	8
管涌	26	12
坑内土体滑坡	1	0
桩体折断	16	7
周边环境破坏	6	3

表 2 显示在各类事故类型中,局部失稳与整体失稳所占比重最大,分别为 37%与 23%,其次为管涌与围护结构渗漏。产生这种结果的原因与各类事故所处地域和所属围护类型有关。

表 3 基坑事故类型分布表

	局部失稳	整体失稳	围护结构渗漏	支撑失稳	管涌	坑内土体滑坡	桩体折断	周边环境破坏
土钉墙	17	11	1	0	2	0	1	1
钻孔灌注桩	36	15	11	9	14	1	7	3
地下连续墙	6	5	11	5	2	0	1	0
钢板桩	4	7	0	0	3	0	0	0
放坡	3	4	0	0	1	0	0	0
人工挖孔桩	4	0	0	0	1	0	2	0
预制混凝土桩	3	2	0	3	0	0	0	1
水泥土搅拌桩	0	1	0	0	1	0	0	1
喷锚	9	6	0	1	2	0	0	0

从表 3 可知,钻孔灌注桩和土钉墙发生局部失稳和整体失稳的概率比较大,由于钻孔灌注桩存在着间距过大,注浆范围以及搭接宽度不足等缺陷;土钉墙存在水平位移较大,对于易发生蠕变的土体不能发挥其支撑能力等缺陷,所以常会引起局部失稳及整体失稳。同样这也解释了为什么局部失稳和整体失稳在所有事故中所占比重比较大。各种事故类型在钻孔灌注桩中都有发生,这也是由于钻孔灌注桩使用广泛的缘故。

2.2 基坑事故原因

表 4 局部失稳原因分布表

事故原因	事故数量	比例/%
超挖	5	6
降排水不到位	15	18
勘查有误	5	6
设计不合理	23	28
施工不当	23	28
施工质量不合格	11	14

表 5 整体失稳原因分布表

事故原因	事故数量	比例/%
超挖	7	14
降排水不到位	10	19
勘查有误	5	10
设计不合理	17	33
施工不当	9	18
施工质量不合格	3	6

由表 4 和 5 可知,在局部失稳和整体失稳事故中,设计原因导致事故发生的比例最大,分别为 28%与 33%。基坑工程的设计,不仅方案要选择正确,而且要进行支护结构的强度、基坑整体稳定和局部稳定、结构和地面变形以及软弱土层的局部加固

对相邻建筑物的影响等诸多方面的验算,并应对可能发生的事故提出预防措施,设计方面任何疏忽、失误都会导致基坑发生重大工程事故。因此由于设计原因所导致局部失稳和整体失稳的比例最大。这也说明了一个成功的基坑工程设计,在局部和整体稳定性方面的验算是十分必要的。

除了设计原因外,导致局部失稳和整体失稳的另一重要原因是施工不当与施工质量不合格,施工不当包括没有遵守施工规范,施工前的安全检查不到位,不按设计图纸施工,施工监测不到位等等。施工质量不合格包括施工队伍技术素质差,甚至偷工减料等等。这两点可以认为均是施工方面的问题所导致事故的发生。

表 6 围护结构渗漏原因分布表

事故原因	事故数量	比例/%
降排水不到位	2	9
设计不合理	3	13
施工不当	7	30
施工质量不合格	11	48

由表 3 可知,在钻孔灌注桩和地下连续墙工程中,由于渗漏导致事故发生的比例非常大。而钻孔灌注桩存在着间距过大,注浆范围以及搭接宽度不足等缺陷,地下连续墙存在槽孔偏差或歪曲、钢筋笼难以放入槽内或上浮、接头处理困难等缺陷,因此施工稍有不慎,就会导致围护结构的渗漏发生。这也解释了为什么在表 6 中施工不当和施工质量不合格所占的比重最大。

表 7 管涌原因分布表

事故原因	事故数量	比例/%
降排水不到位	8	31
勘察有误	3	11
设计不合理	7	27
施工不当	6	23
施工质量不合格	2	8

表 7 显示,由于降排水不到位所导致管涌的比

例最大,达到了 31%。地下水的存在,使基坑工程难度增大,对其控制和处理不当就会造成基坑的工程事故。由于围护结构未设止水帷幕或虽设置止水帷幕,但存在缺陷等,坑内大量降水,引起基坑外一定范围内地基土产生不均匀沉降,导致路面和地下管线开裂甚至破坏等。因此在基坑降排水施工中,要加强监测与监理工作,对围护结构位移,降水深度及水位变化影响范围,坑壁稳定及渗水,邻近建筑物沉降等都应进行定期观测和记录,及时掌握信息,并果断采取有效措施,及时解决出现的问题,防止事故的发生。

表 8 桩体折断原因分布表

事故原因	事故数量	比例/%
超挖	1	6
降排水不到位	4	25
勘察有误	1	6
设计不合理	6	37
施工不当	2	13
施工质量不合格	2	13

在桩体设计时,荷载考虑不全,参数选取不当,材料选择及布置不合理等设计原因均可以导致桩体折断的发生,因此在表 8 中设计不合理导致桩体折断的比例最大,占到了 37%。

3 基坑工程质量、安全和投资风险事故相关性分析

从表 1 中我们可以发现,其中很多基坑质量事故造成了人员伤亡和投资增加,换句话说基坑质量事故往往会触发安全事故和投资事故。本文采用系统原因分析方法^[13]对收集到的案例进行分析筛选,初步得到了深基坑工程质量事故与安全事故和投资事故之间的逻辑关系,如图 1 所示,图中实线箭头表示有案例支撑的情况,虚线表示无案例支撑,但是实际可能存在相关关系的。本小节重点对质量事故与安全事故和投资事故之间的相关性进行研究,为全面识别和评估基坑施工风险奠定基础。

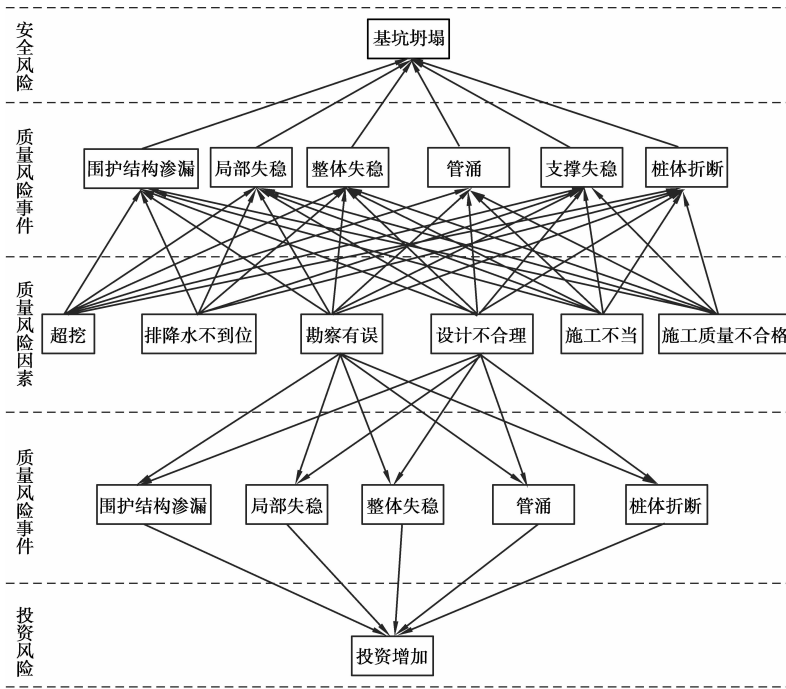


图 1 深基坑工程三维度风险逻辑关系图

3.1 质量事故与安全事故的相关性

通过对收集到的基坑事故的案例进行筛选,统计出由质量事故触发安全事故的案例数量,如表 8 所示。从表 8 中可以看出,在深基坑工程中,由质量风险事故触发的安全风险事故主要表现为基坑坍塌,其中,由于整体失稳导致基坑坍塌的比例最大,达到了 82%。由整体失稳引起的两种常见的基坑坍塌破坏形式主要包括:围护结构破坏造成的基坑坍塌和支撑破坏造成的坍塌。

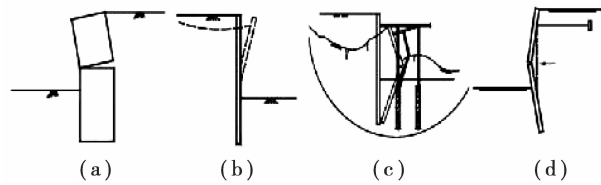


图 2 围护结构破坏

质量风险事故	基坑坍塌	比例/%
局部失稳	8	13.1
整体失稳	50	82.0
支撑失稳	3	4.9

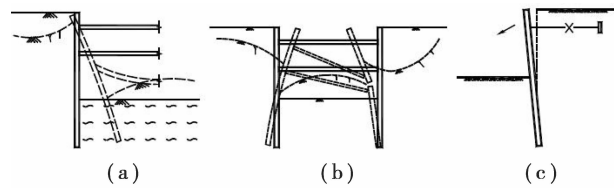


图 3 支撑或拉锚破坏

3.1.1 围护结构破坏造成的基坑坍塌

此类破坏模式主要是由于设计或施工不当造成围护结构强度不足引起的围护结构剪切破坏或折断,导致基坑整体失稳破坏,例如挡土墙剪切破坏,柔性围护结构背后土压力较大,而围护结构插入较好土层或少加支撑导致围护结构应力过大,使围护结构折断,基坑向坑内坍塌,如图 2。

3.1.2 支撑或拉锚破坏造成的坍塌

此类破坏主要是因为设计支撑或拉锚强度不足,造成支撑或拉锚破坏,导致基坑整体失稳坍塌,如图 3。

3.2 质量事故与投资事故的相关关系

通过对收集到的基坑事故的案例进行筛选,统计出由质量事故触发投资事故的案例数量,如表 10 所示。从表 10 中可以看出,在深基坑工程中,由质量风险事故引起的投资风险事故主要表现为费用索赔,触发的投资事故的风险因素主要包括:勘察原因、设计原因,其中由设计原因引起的质量事故而触发的费用索赔所占的比例最高,达到了 80%。从表中还可以看出,由局部失稳引起的费用索赔案例最多,其中勘察有误引起的 5 例,设计不合理引起的 23 例,总计达到了 28 个。

表 10 质量事故与投资事故的相关关系

风险因素	质量事故	费用索赔	比例/%
勘察有误	局部失稳	5	20
	整体失稳	5	
	围护结构渗漏	0	
	管涌	3	
	桩体折断	1	
	局部失稳	23	
	整体失稳	17	
设计不合理	围护结构渗漏	3	80
	管涌	7	
	桩体折断	6	

5 结 论

深基坑工程的质量、安全和投资各种风险事故之间并不是相互独立的,独立地考虑每一种风险事件及其因素会潜在地遗漏某些事件间的内在联系,使风险识别的结果失真。本文通过对深基坑事故的梳理,对质量风险与安全风险和投资风险之间的相关性进行了分析,建立了三个目标维度风险相互间影响规律的宏观逻辑关系图,并初步得到了如下结论:

1)深基坑工程的质量事故类型主要包括:局部失稳、整体失稳、围护结构渗漏、支撑失稳、管涌、坑内土体滑坡、桩体折断和周围环境破坏。其中,局部失稳与整体失稳发生的概率比较大,尤其以钻孔灌注桩发生基坑失稳的概率最大;设计不合理和施工不当是引起各种类型的基坑质量事故的最主要原因,其中排降水不到位也是引起事故的一个重要因素;

2)基坑坍塌的两种模式主要是围护结构破坏和支撑破坏,由基坑失稳触发基坑坍塌的概率非常高,其中,由于整体失稳所导致基坑坍塌的概率达到了82%。设计不合理是导致基坑坍塌事故的最主要的原因。设计方面的原因主要包括:计算参数选择不准确、支护方案存在缺陷、支护设计有误和设计安全储备小等。

3)质量风险和投资风险的相关关系主要表现为:由于勘查和设计原因引起的费用索赔,其中由设计原因导致的费用索赔的概率最高。由于现在的基坑设计仍处于半经验半理论状态,设计方面的任何疏忽、失误都会导致基坑发生重大工程事故。

研究希望能为深基坑工程施工过程的全方位风险管理提供借鉴,并为风险理论分析研究提供基础数据,更重要的要从失败的案例中是吸取教训、积累经验,为后续的深基坑工程施工提供参考。

参考文献:

- [1] 陈忠汉. 深基坑工程[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [2] 唐业清. 基坑工程事故分析与处理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [3] 杨丽君,周卫东. 深基坑工程中常见的问题和处理对策[J]. 西部探矿工程,2003,15(8): 58-59.
- [4] 何守业,姚仰平. 浸水造成黄土基坑工程事故及其分析[C]//中国土木工程学会第九届土力学及岩土工程学术会议论文集,2003,904-909.
- [5] 刘翔,张晨,赵翔. 由渗流引起的某软土深基坑事故原因分析[J]. 施工技术,2007,36(9):72-74.
- [6] 刘存林,葛克水. 北京市某深基坑工程事故分析与处理[J]. 探矿工程,2007,(3):26-29.
- [7] 钟校军. 浅谈基坑工程事故影响因素及预防方法[J]. 今日科苑,2009,24(2):491-495.
- [8] 钟才根,刘慧霞. 深基坑工程风险源分析及防范对策[J]. 建设监理,2005(6):64-66.
- [9] 黄钟煊,利路发. 基坑工程事故的预防措施[J]. 建筑安全,2012(2). 11-14.
- [10] 周红波,高文杰. 深基坑工程施工风险管理实务研究[J]. 建筑经济,2009(9). 73-76.
- [11] 黄宏伟,边亦海. 深基坑工程施工中的风险管理[J]. 地下空间与工程学报,2005(4). 611-614.
- [12] 刘翔,罗俊国,王玉梅. 地铁深基坑工程风险管理研究[J]. 施工技术,2008(7):89-91.
- [13] Sklet S. Comparison of some selected methods for accident investigation [J]. Journal of Hazardous Materials, 2004,111(1-3): 29-37.

(编辑 郭 飞)