

预先危险性评价方法中原因事件与触发事件辨析

李晓剑^{1,2}, 丁德馨¹, 李熙琪¹, 叶勇军¹

(1. 南华大学 环境保护与安全工程学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 核工业北京化工冶金研究院, 北京 101149)

摘 要:目前国内在应用预先危险性分析(PHA)方法进行安全评价时,普遍存在对分析项目中的原因事件和触发事件的本质认识不清和混淆使用的问题,造成评价结论和提出的对策措施不准确.本文通过对预先危险性分析方法的全面分析,在对比该方法各种工作表中各项研究内容差异的基础上,结合通用工作表格中的研究内容,对原因事件和触发事件的区别和联系进行了辨析.通过研究得出,原因事件是指产生潜在危害的技术缺陷或管理失误等方面的原因,以及导致产生危险因素的非期望事件或错误;触发事件是指使危险因素转化为潜在危害的非期望发生的事件或错误,以及使发生事故的条件进一步积聚的事件及错误.

关键词:安全评价;预先危险性分析;原因事件;触发事件

中图分类号:X93

文献标识码:B

Analysis of Cause Event and Trigger Event in Preliminary Hazard Analysis

LI Xiao-jian^{1,2}, DING De-xin¹, LI Xi-qi¹, YE Yong-jun¹

(1. School of Environmental Protection and Safety Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China; 2. Beijing Research Institute of Chemical Engineering and Metallurgy, CNNC, Beijing 101149, China)

Abstract: It is often the case that, when the preliminary hazard analysis is used for the safety assessment, the nature of the cause event and the trigger event is not understood clearly, and these two events are usually confused. This results in the inaccurate evaluation conclusions and countermeasures. In this paper, the preliminary hazard analysis approach was analyzed, the differences between the items in various worksheets for the approach were determined, and the difference and connection between the cause events and the trigger events with respect to the items in the generic worksheets were recognized. The results show that the cause event refers to the technology defect or the management defect resulting in the potential hazards, and the unexpected events or error leading to the risk factors, and that the trigger event

收稿日期:2015-01-27

作者简介:李晓剑(1977-),男,内蒙古乌兰察布人,南华大学环境保护与安全工程学院硕士研究生,高级工程师.主要研究方向:铀矿山安全评价、设计工作.

is the unexpected events or error which can transfer the risk factors to the potential hazards, and the events or error which can further accumulate the conditions for accidents.

key words:safety assessment;preliminary hazard analysis;cause event;trigger event

0 引言

在采用预先危险性分析方法对系统进行安全评价时,常用列表形式进行评价.但是,预先危险性分析采用的分析表格没有在形式和内容方面进行严格的统一规定.这样,在实际应用预先危险性分析方法时,由于行业惯例和评价者个人喜好不同,选用不同的分析表格,结果经常发生对原因事件和触发事件这两个概念理解不一致,甚至混淆使用,不仅评价者自己困惑,也影响评价中提出的应对措施的正确性.

1 预先危险性分析方法简介

1.1 定义

预先危险性分析(Preliminary Hazard Analysis,以下简称 PHA)一种识别系统潜在的危险、有害因素可能造成的事故后果及危险程度,确定事故等级,并制定控制危害和消除事故隐患对策措施的半定量安全评价方法.

1.2 作用

PHA 一般用来完成以下 3 个方面的工作:1)初步识别项目立项阶段系统中存在的危险;2)对系统中潜在危险进行具体分析;3)初步确定系统中危险性分析的深度.

1.3 适用范围

PHA 的使用范围包括 8 个方面:1)识别危险

物质;2)分析系统内元件、软件及其相关界面之间的安全性;3)分析包括运行环境在内的环境约束条件;4)分析运行、检查、维护、测试、检测和备用程序的安全性;5)分析仪器设备的实际性能和培训情况;6)分析相关安全防护、冗余设备安全性;7)分析系统、子系统或软件的故障;8)其他.

1.4 评价程序

PHA 的评价程序主要包括 4 个方面.1)准备工作.(1)组建评价组,一般由组长、副组长和 2~6 名组员构成评价组;(2)划定评价系统,一般根据输入、活动和输出 3 个界面把评价系统划分为子系统;(3)选择 PHA 工作表格,这是应用 PHA 法中最为关键的一个工序,国外在应用 PHA 时,采用的典型工作表格见表 1,国内在应用 PHA 时,采用的典型工作表格见表 2;由于行业特点不同,评价重点不同,以表 2 为基础,各行业中衍生出几种行业实用工作表格见表 3、表 4 和表 5.2)危险识别.选用类比法、风险清单法和头脑风暴法等识别可能存在的危险因素.3)危害程度和危害发生频率评估.一般通过潜在危害的发生频率和事故后果的严重程度来确定事故后果.4)危险定级和对策措施.根据危险性大小及其对系统的破坏程度,一般将危险等级划分为 4 级,见表 6;潜在危险发生概率等级划分为 5 级,见表 7^[1].根据潜在事故严重程度和发生概率的综合结果确定事故等级,见表 8^[2].

表 1 国外 PHA 典型工作表

Table 1 PHA typical worksheet abroad

System :		Operating mode :		Analyst :		Date :		
Ref.	Hazard	Accidental event (what , where , when)	Probable causes	Contingencies/ Preventive actions	Prob.	Sev.	Comments	

表 2 国内 PHA 典型工作表

Table 2 PHA typical worksheet at home

系统 A		子系统 B		状态 C				
潜在 事故	危险 因素	触发 事件	发生 条件	触发 事件	事故 后果	危险 等级	防范 措施	备注
D	E	F	G	H	I	J	K	L

表 3 PHA 行业实用工作表(I)

Table 3 PHA industry practical worksheet (I)

危险因素	触发事件	事故原因	事故模式	事故后果	危险等级	措施
------	------	------	------	------	------	----

表 4 PHA 行业实用工作表(II)

Table 4 PHA industry practical worksheet (II)

危险因素	触发事件	事故原因	事故后果	危险等级	措施建议
------	------	------	------	------	------

表 5 PHA 行业实用工作表(III)

Table 5 PHA industry practical worksheet(III)

潜在事故	危险因素	触发事件	发生条件	原因事件	事故后果	危险等级	措施
------	------	------	------	------	------	------	----

表 6 PHA 中危险程度等级划分表

Table 6 Dangerous degree grade partition table in PHA

Rank	Severity class	Description
IV	Catastrophic	Failure results in major injury or death of personnel.
III	Critical	Failure results in minor injury to personnel ,personnel exposure to harmful chemicals or radiation ,or fire or a release of chemical to the environment.
II	Major	Failure results in a low level of exposure to personnel ,or activates facility alarm system.
I	Minor	Failure results in minor system damage but does not cause injury to personnel ,allow any kind of exposure to operational or service personnel or allow any release of chemicals into the environment.

表 7 PHA 中危险发生概率等级划分表

Table 7 Risk probability degree grade partition table in PHA

Rank	Severity class	Description
1	Very unlikely	Once per 1000 years or more seldom.
2	Remote	Once per 100 years.
3	Occasional	Once per 10 years.
4	4 Probable	Once per year.
5	5 Frequent	Once per month or more often.

表 8 PHA 中危险事故等级划分表

Table 8 Peril degree grade partition table in PHA

Frequency/ consequence	1 Very unlikely	2 Remote	3 Occasional	4 Probable	5 Frequent
Catastrophic	②	③	③	③	③
Critical	①	②	②	③	③
Major	①	①	②	②	③
Minor	①	①	①	②	②

在表 8 中,①Acceptable-only ALARP actions considered;②Acceptable-use ALARP principle and

consider further investigations;③Not acceptable-risk reducing measures require.

1.5 危险因素清单和对策措施

通过对评价系统的 PHA,一般识别出的危险、有害因素包括 9 类^[3]. 1) 机械伤害;2) 电击;3) 灼烫;4) 爆炸;5) 噪声;6) 振动;7) 放射性危害;8) 有害物质伤害;9) 其他.

在项目安全评价中,根据具体项目中识别出的危险、有害因素,依据其潜在的危害程度和发生概率,确定危险水平,制定相应的对策措施,把潜在危害消除或控制在可接受范围内.

2 应用预先危险性分析中存在的问题及辨识

在实际使用 PHA 对系统进行安全评价

时,根据各行业特性,评价重点不同,可对 PHA 典型工作表 1 稍作修改后衍生出行业实用工作表格.

2.1 存在的问题

目前,国内在应用 PHA 进行安全评价时,存在的主要问题是工作表中的触发事件和原因事件内涵界定不清,造成评价结果模糊,对策措施没有针对性. 选取 2 个较为典型 PHA 案例,具体说明存在的问题.

例 1,采用 PHA 对某扩建化工项目氮氧吸收系统中可能存在机械伤害进行安全预评价,评价结果见表 9^[4].

表 9 氮氧吸收系统机械伤害的 PHA 表

Table 9 PHA table of mechanical injury of the nitrogen oxygen absorption system

危险因素	触发事件	原因事件	事故后果	危险等级	措施建议
机械伤害	1. 人员不慎被卷入转动设备内; 2. 设备运行检修,造成事故; 3. 设备碰撞、挤压	1. 设备无安全防护施或失效; 2. 安全操作规程不健全; 3. 安全管理不严	人员伤亡	Ⅱ	1. 按要求安装和检查安全防护设施; 2. 提高安全意识; 3. 加强管理

例 2,采用 PHA 对某矿山矿石筛分、破碎系统可能存在的机械伤害进行安全预评价,评价结

果见表 10^[5].

表 10 矿石筛分、破碎系统机械伤害 PHA 表

Table 10 PHA table of broken ore screening system

危险因素	触发事件	发生条件	原因事件	事故后果	危险等级	防范措施
机械设备运行失常	1. 机械设备缺乏安全防护装置,强度不足; 2. 运行部件飞出; 3. 安装维修不当,使安全性能不佳; 4. 工作场所环境不良; 5. 违反操作规程; 6. 运行状态时进入工作空间.	设备 失灵 作业 人员 安全 意识 淡薄	1. 作业时注意力不集中; 2. 劳保用品使用不当; 3. 违章作业; 4. 检修设备被伤害; 5. 被绞入转动设备	人员伤亡	Ⅱ	1. 正确穿戴劳保用品,确保设备正常; 2. 完善安全操作规程; 3. 进行安全技能培训,提高人员安全意识和素质

通过例 1 和例 2 两个不同行业不同评价人员在使用 PHA 对子系统机械伤害评价中可以看出,二者在对潜在事故、危险因素、触发事件、发生条件、原因事件等几个概念的理解上显然存在认知偏差. 例如,在对“危险因素”的理解上,在例 1 中为“机械伤害”,而在例 2 中为“机械设备运行失常”. 在对“触发事件”和“原因事件”的理解上,二者的差别更大. 例 1 中的“触发事件”第 1 条,在例 2 中成为了“原因事件”的第 1 条,例 1 中的

“触发事件”第 2 条,在例 2 中成为了“原因事件”的第 4 条;例 1 中的“原因事件”第 2 条,在例 2 中成为了“触发事件的第 3 条,例 1 中的“原因事件”第 3 条,在例 2 中成为了“触发事件的第 5 条和第 6 条. 因此,为了更好地使 PHA 服务于安全评价,提高安全评价结论的准确性和对策措施的针对性,必须对容易混淆的概念进行深入剖析,辨识其实质,才能使评价者准确把握 PHA 评价方法的要领.

2.2 辨析

从 PHA 评价工作表 2 ~ 表 5 可知,PHA 分析表的主要内容基本差别不大. 其中,表 2 所包含内容比较全面,项目分类较为细致,可供各行业通用. 结合表 2 说明 PHA 表中的各项内容的实质含义. 在表 2 中,系统 A、子系统 B、状态 C、潜在事故 D、事故后果 I、危害等级 J、防范措施 K 和备注 L 八个项目意义明确,不在赘述. 危险因素 E 是指产生潜在危害的原因. 触发事件 F 是指导致产生危险因素(E)的那些不希望事件或错误. 发生条件 G 是指使危险因素(E)发展成为潜在危害的那些不希望发生的错误或事件. 触发事件 H 是指导致产生“发生事故的条件(G)”的那些不希望发生的事件及错误.

通过对比 PHA 典型工作表(表 2)和实用工作表(表 3、表 4、表 5)可见,表 3 和表 4 中的“危险危害因素”实际上是表 2 中的“潜在事故 D”;“事故原因”实际上是表 2 中的“危险因素 E”和“触发事件 F”的集合;“触发事件”实际上是表 2 中的“发生条件 G”和“触发事件 H”的集合. 表 5

中的“原因事件”与表 2 中的“触发事件 H”相同. 因此,在实际安全评价中,使用表 3 和表 4 的格式时,“危险危害因素”栏中应填写的内容为子系统可能发生的潜在危害;在“触发事件”栏中应填写的内容为使危险因素发展成为潜在危害的那些不希望发生的错误或事件以及导致产生“发生事故的条件 G”的那些不希望发生的事件及错误;在“事故原因”栏中应填写的内容为产生潜在危害的原因以及导致产生危险因素的那些不希望事件或错误;在使用表 5 的格式时,在“事故原因”栏中应填写的内容为导致产生“发生事故的条件 G”的那些不希望发生的事件及错误;其他栏的内容与表 2 中相应栏的内容要求相同.

3 应用实例

通过上述对 PHA 表中触发事件和原因事件的辨析,可见二者在内涵上有本质的不同. 根据辨析结论对某新建化工码头项目进行安全预评价,对码头装卸作业进行预先危险分析并提出防范措施,分析结果见表 11^[6].

表 11 某化工码头装卸作业 PHA 表
Table 11 PHA table of some chemical terminal handling operation

危险因素	触发事件	原因事件	事故后果	危险等级	措施
化学 爆炸、 易燃 易爆 物料 泄漏	运行泄漏	火 花	人 员 财 产 伤 损 亡	IV	1. 控制与消除 火源; 2. 严控设备及安 装质量和定期检 查、养护,保持 完好
	1. 码头设备运行泄漏; 2. 货船接卸泄漏; 3. 阀门、法兰和设备连接处或安 装不当泄漏; 4. 泵破裂或转动设备等动密封 处泄漏; 5. 人为破坏或自然灾害等造成 管道等破裂而泄漏	1. 穿带钉皮鞋; 2. 钢制工具敲打管道产生撞击 火花; 3. 电气火花; 4. 电气线路陈旧老化或受损产 生短路火花; 5. 静电放电或雷击; 6. 车辆未戴阻火器等.			

通过表 11 分析可见,应用 PHA 的要点主要为以下 3 个方面. 首先,确定分析系统、子系统及其处于何种状态;其次,寻找子系统中潜在危害及其产生的原因,并追溯导致产生危险因素、使危险因素发展成为潜在危害和导致产生发生事故的条件的那些不希望事件和错误;最后,确定事故后果和危害等级,制定消除或控制危害的技术和管理对策措施. 另外,注意对有关必要情况的说明,限制危害识别的范围或措施的使用条件.

4 结 论

通过对 PHA 中使用的各种格式的工作表中

各项内容的对比分析和辨识,可以得出以下结论.

1) PHA 工作表格中应有以下内容:(1) 简明扼要说明系统的目的、工艺过程、控制条件和环境等因素;(2) 按性质将评价系统划分出若干子系统,采用类比方法查找各个分析子系统中可能存在的危害;(4) 危害起因的确定;(5) 确立消除或控制危险的技术和管理对策,在危险不能控制的情况下,选择最佳的损失预防的方法.

2) 原因事件是指产生潜在危害的技术缺陷或管理失误等方面的原因,以及导致产生危险因素的非期望事件或错误.

参考文献:

- [1] Chakraborty D, Choudhury D. Investigation of the behavior of tailings earthen dam under seismic conditions[J]. American Journal of Engineering and Applied Sciences, 2009, 2(3): 559-564.
- [2] Zardari M A. Stability of tailings dams focus on numerical modeling[D]. Sweden: Luleå University of Technology, 2011.
- [3] 王晓涛, 宁国立, 陈国友. 某铜矿尾矿坝稳定性分析研究[J]. 土木基础, 2010, 24(4): 30-32, 43.
- [4] Choudhury D, Shukla J, Katdare A, et al. Slope stability and settlement analysis for dry bulk terminal at Mozambique: a case study[J]. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 18(E): 859-874.
- [5] 韩建波, 张力霆, 李强, 等. 流固耦合—强度折减法在尾矿坝稳定性分析中的应用[J]. 金属矿山, 2011(11): 29-32.
- [6] 张超, 杨春和. 有限差分强度折减法求解边坡稳定性[J]. 土木工程与管理学报, 2011, 28(2): 17-21.
- [7] 郝全明, 李帅, 高国强, 等. FLAC3D 强度折减法在排土场边坡稳定性分析中的应用[J]. 采矿工程, 2013(7): 13-15.
- [8] 季聪, 仝磊, 马宏, 等. FLAC3D 强度折减理论在边坡稳定分析中的应用[J]. 世界地质, 2013, 32(1): 158-164.
- [9] 王来贵, 古新蕊. 尾矿坝边坡失稳判据研究[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(8): 80-84.
- [10] 王炳文, 张磊, 赵彦昌, 等. 基于 FLAC^{3D} 的尾矿库地震稳定性分析[J]. 金属矿山, 2010(4): 159-162.
- [11] 宋克勇, 王延军, 刘保松. 基于 FLAC^{3D} 的路基边坡稳定性数值分析[J]. 山东水利, 2008(1): 37-39, 42.
- [12] 李明, 梁力, 王伟, 等. 有限元强度折减法求解坝坡抗滑稳定安全系数[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(2): 83-87.
- [13] 陈国庆, 黄润秋, 石豫川, 等. 基于动态和整体强度折减法的边坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(2): 243-256.
- [14] Zhang K, Cao P, Bao R. progressive failure analysis of slope with strain-softening behaviour based on strength reduction method[J]. Journal of zhejiang university-science a(applied physics & engineering), 2013, 14(2): 101-109.
- [15] Labuz J F, Zang A. Mohr-coulomb failure criterion[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2012, 45(6): 975-979.

(上接第 41 页)

3) 触发事件是指使危险因素转化为潜在危害的非期望发生的事件或错误, 以及使发生事故的条件进一步积聚的事件及错误。

参考文献:

- [1] Marvin Rausand, Preliminary hazard analysis[R]. Department of Production and Quality Engineering Norwegian University of Science and Technology, 2004.
- [2] Jess Albino, Jim Healy, John Galayda. Preliminary, Hazard analysis of draft Research support building and Infrastructure modernization project[R]. SLAC, Proc. Of LJCNN, 2009.
- [3] Bedford T, Cooker R, Probabilistic risk analysis: Foundations and Methods[M]. Edinburgh: Cambridge University Press, 2001.
- [4] 张黎辉, 李晓剑, 王伟, 等. 某金属冶炼项目安全预评价报告[R]. 北京: 核工业北京化工冶金研究院, 2010.
- [5] 邓文辉, 冯巨恩, 李晓剑, 等. 某金属矿山项目安全预评价报告[R]. 北京: 核工业北京化工冶金研究院, 2011.
- [6] 国家安全生产监督管理局. 安全评价: 上、下册[M]. 北京: 煤矿工业出版社, 2002.
- [7] AQ8001 安全评价通则[S]. 北京: 煤矿工业出版社, 2009.
- [8] 沈斐敏. 安全系统工程理论与应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [9] 国家安全生产监督管理局. 安全生产技术、管理和实务—全国注册安全工程师考试教材: 4 册[M]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [10] AQ8002 安全预评价导则[S]. 北京: 煤矿工业出版社, 2009.
- [11] 李国轩, 李瑞华. 矿山安全性评价与安全事故的预防及处理[M]. 北京: 中国商业出版社, 2001.
- [12] Shantanu J, Amit P, Arghya D, et al. Analysis of buried pipelines to reverse fault motion[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2011, 31(7): 930-940.
- [13] Love J S, Tait M J. Equivalent linearized mechanical model for tuned liquid dampers of arbitrary tank shape[J]. Journal of Fluids Engineering, 2011, 133(6): 061105-061113.
- [14] Zheng J y, Zhang B J, Liu P F, et al. Failure analysis and safety evaluation of burier pipeline due to deflection of landslide[J]. Engineering Failure Analysis, 2012, 25: 156-168.