

建设项目职业病危害事故树评价方法研究

张志奇, 王庆文, 许月霞, 刘永, 李鹏

摘要: [目的] 探讨事故树分析法在建设项目职业病危害评价中的应用。[方法] 对某企业进行职业卫生调查, 以急性职业性甲醇中毒为顶上事件(确定不希望发生的职业病危害事件)进行事故分析, 采用布尔代数运算法则求解, 并对各基本原因事件进行结构重要度分析。[结果] 在正常生产条件下, 对急性职业性甲醇中毒进行分析, 得到 42 个最小割集, 3 个最小径集; 在进罐检修作业情况下, 得到 24 个最小割集, 3 个最小径集, 然后经过运算, 得到结构重要度顺序。[结论] 在建设项目职业病危害评价中应用事故树评价方法对企业预防职业病危害事故的发生具有不可忽视的指导意义。

关键词: 职业病危害; 事故树分析法; 评价

Research on Fault Tree Assessment Method for Occupational Hazard in Construction Projects ZHANG Zhi-qi, WANG Qing-wen, XU Yue-xia, LIU Yong, LI Peng (Shijiazhuang Occupational Disease Prevention and Treatment Institution, Shijiazhuang, Hebei 050031, China)

Abstract: [Objective] To discuss the feasibility of fault tree analysis method for occupational hazard assessment in construction projects. [Methods] We investigated the occupational health in a corporation, took the acute poisoning of methanol as top affair to analysis, using boolean algebra to solve, and analyzed the configuration importance of each affair. [Results] In normal production condition, in the analysis of the acute poisoning of methanol, 42 minimum cut sets and 3 minimum pathway sets were received. In examine and repair tasks, 24 minimum cut sets and 3 minimum pathway sets were received. [Conclusion] In assessment for occupational hazard in construction project, fault tree assessment method plays an important role.

Key Words: occupational hazard; fault tree analysis; assessment

事故树分析法(fault tree analysis, FTA)是安全系统工程的重要分析方法, 事故树分析也称故障树分析, 它是从一个可能的事故开始一层一层地逐步寻找引起事故的触发事件与直接原因和间接原因, 并分析事故原因之间的相互逻辑关系, 用逻辑树图把这些原因以及它们的逻辑关系表示出来。然后根据事故树用逻辑运算符将各原因事件连接起来, 运用布尔代数运算法则进行求解, 确定最小割集(引起事故的最低限度原因事件的集合)以及最小径集(使事故不发生所需最低限度的集合), 并分析各原因事件的主次关系^[1]。本研究试图在建设项目职业病危害评价过程中, 借鉴事故树分析方法, 对导致职业病危害事故的各种因素进行分析, 提出控制职业病危害事故发生的最佳方案, 确定职业病危害的关键控制点, 弥补现有评价方法的不足。

1 对象与方法

1.1 对象

某羟邓盐生产企业邓氏反应工段。

1.2 方法

研究方法包括以下步骤: ①现场调查, 对研究对象进行

[基金项目] 河北省科技支撑计划项目(编号: 072761752)

[作者简介] 张志奇(1974-), 男, 学士; 研究方向: 职业病危害因素检测、评价, 建设项目职业病危害评价; E-mail: zzq19751020@126.com

[作者单位] 石家庄市职业病防治院, 河北 石家庄 050031

工程分析, 详细了解系统状态及各种参数; ②确定分析系统的顶上事件(即确定不希望发生的职业病危害事故); ③找出顶上事件的各种直接原因, 并用“与门”(即当决定一个事件的所有条件都具备时, 这个事件才会发生)、“或门”(即当决定一个事件的所有条件只要有一个具备时, 这个事件就会发生)等逻辑门与顶上事件连接; ④把上一步找出的直接原因作为中间事件, 再找出中间事件的直接原因, 并用逻辑门与中间事件连接; ⑤反复重复步骤“(3)”, 直到找出最基本的原因事件; ⑥绘制事故树图并进行必要的整理; ⑦确定各原因事件的发生概率, 按逻辑门符号进行运算, 得出顶上事件的发生概率; ⑧对事故进行分析评价, 确定改进措施。

如果数据不足, 步骤“⑦”可以省略, 可直接由“⑥”到“⑧”, 得出定性结论。

2 结果

2.1 企业基本情况

该企业主要从事羟邓盐生产, 对羟基苯甘氨酸(DLPA)经过结盐、拆分、消旋、纯化处理、脱盐, 得到左旋对羟基苯甘氨酸(DPA)。结盐、拆分、消旋、纯化处理为物理过程, 通过控制反应釜的温度, 可以得到不同的产品。将DPA、甲醇、非危险化学品钾盐、乙酰乙酸甲酯投入反应罐中, 升温反应结束后, 用循环水降温, 产生结晶后, 用离心机进行分离得到最终产品羟邓盐, 烘干包装后入库, 甲醇经精馏塔回收后重复使用。但是, 根据职业病危害因素分类目录可知, 甲醇为该项目中存在

的主要职业病危害因素。

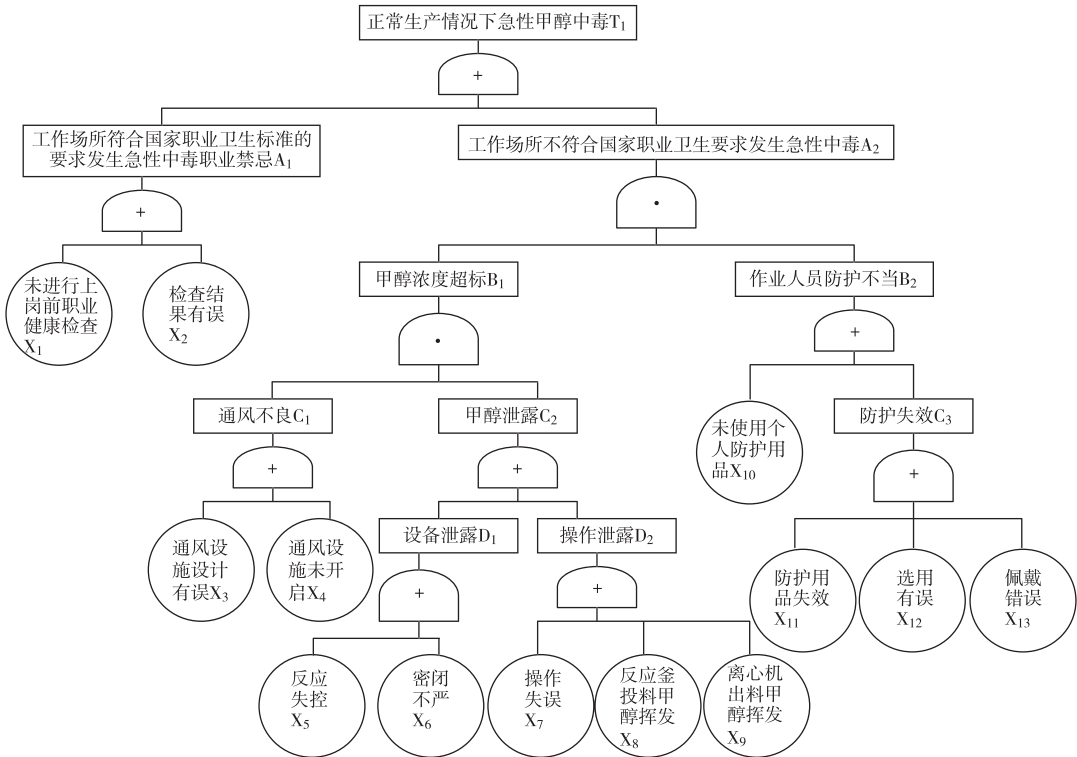
2.2 确定顶上事件

以本企业可能发生的急性职业性甲醇中毒为例进行事故树分析。本企业急性职业性甲醇中毒存在两种可能：一种是正常生产条件下发生急性甲醇中毒；另一种是设备检修时（进入

反应釜检修、清理时）发生急性甲醇中毒。

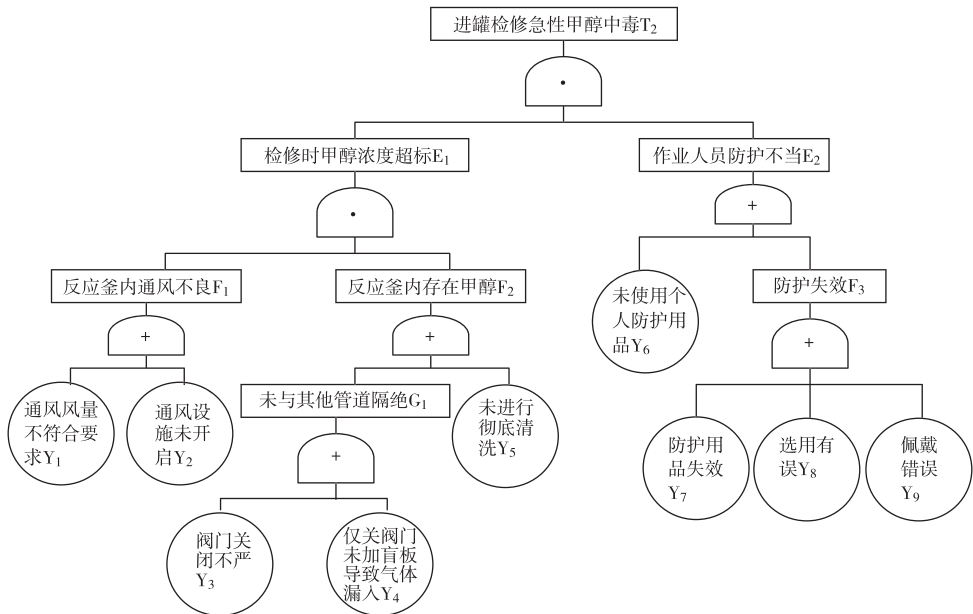
2.3 原因事件的调查及职业病危害事故树编制

根据甲醇中毒的两种可能性，从“人”和“物”两个方面对发生急性甲醇中毒事故原因进行分析调查，并按照原因事件的逻辑关系编制事故树（图 1、图 2）。



[注]：与门（即当决定一个事件的所有条件都具备时，该事件才发生）符号；或门（即当决定一个事件的条件只要有一个具备，该事件就会发生）符号。

图 1 正常生产条件下发生急性甲醇中毒事故树



[注]：与门（即当决定一个事件的所有条件都具备时，该事件才发生）符号；或门（即当决定一个事件的条件只要有一个具备，该事件就会发生）符号。

图 2 进罐检修作业情况下发生急性甲醇中毒事故树

2.4 事故树分析与计算

按照事故树所标示的各个事件之间的关系，运用逻辑运

算的方法，求出事故树的所有最小割集，最小割集表明系统的危险性，每个最小割集都是本项目发生急性甲醇中毒的一种途

径,即如果每个最小割集中的原因事件同时存在,就会发生职业中毒事故。结果见式(1)、式(2)。

$$T_1 = A_1 + A_2 = X_1 + X_2 + X_3 X_5 X_{10} + X_3 X_5 X_{11} + X_3 X_5 X_{12} + X_3 X_5 X_{13} + X_3 X_6 X_{10} + X_3 X_6 X_{11} + X_3 X_6 X_{12} + X_3 X_6 X_{13} + X_3 X_7 X_{10} + X_3 X_7 X_{11} + X_3 X_7 X_{12} + X_3 X_7 X_{13} + X_3 X_8 X_{10} + X_3 X_8 X_{11} + X_3 X_8 X_{12} + X_3 X_8 X_{13} + X_3 X_9 X_{10} + X_3 X_9 X_{11} + X_3 X_9 X_{12} + X_3 X_9 X_{13} + X_4 X_5 X_{10} + X_4 X_5 X_{11} + X_4 X_5 X_{12} + X_4 X_5 X_{13} + X_4 X_6 X_{10} + X_4 X_6 X_{11} + X_4 X_6 X_{12} + X_4 X_6 X_{13} + X_4 X_7 X_{10} + X_4 X_7 X_{11} + X_4 X_7 X_{12} + X_4 X_7 X_{13} + X_4 X_8 X_{10} + X_4 X_8 X_{11} + X_4 X_8 X_{12} + X_4 X_8 X_{13} + X_4 X_9 X_{10} + X_4 X_9 X_{11} + X_4 X_9 X_{12} + X_4 X_9 X_{13} \quad (1)$$

$$T_2 = E_1 E_2 = Y_1 Y_3 Y_6 + Y_1 Y_3 Y_7 + Y_1 Y_3 Y_8 + Y_1 Y_3 Y_9 + Y_1 Y_4 Y_6 + Y_1 Y_4 Y_7 + Y_1 Y_4 Y_8 + Y_1 Y_4 Y_9 + Y_1 Y_5 Y_6 + Y_1 Y_5 Y_7 + Y_1 Y_5 Y_8 + Y_1 Y_5 Y_9 + Y_2 Y_3 Y_6 + Y_2 Y_3 Y_7 + Y_2 Y_3 Y_8 + Y_2 Y_3 Y_9 + Y_2 Y_4 Y_6 + Y_2 Y_4 Y_7 + Y_2 Y_4 Y_8 + Y_2 Y_4 Y_9 + Y_2 Y_5 Y_6 + Y_2 Y_5 Y_7 + Y_2 Y_5 Y_8 + Y_2 Y_5 Y_9 \quad (2)$$

然后把事故树转化为成功树,即(把“与门”与“或门”互换,各类事件发生换为不发生)求解最小径集,最小径集表明系统的安全性,每个最小径集都是防止发生急性甲醇中毒的一种措施,即每个最小径集中的原因事件都不发生,职业中毒事件就不会发生^[2]。结果见式(3)、式(4)。

$$T_1' = X_1' X_2' X_3' X_4' + X_1' X_2' X_5' X_6' X_7' X_8' X_9' + X_1' X_2' X_{10}' X_{11}' X_{12}' X_{13}' \quad (3)$$

$$T_2' = Y_1' Y_2' + Y_3' Y_4' Y_5' + Y_6' Y_7' Y_8' Y_9' \quad (4)$$

由图1可见该事故树有42个最小割集、3个最小径集,表明在正常生产条件下发生急性甲醇中毒的42种途径和3种预防措施;图2的事故树只有24个最小割集、3个最小径集,表明在进罐检修作业的情况下可能发生急性甲醇中毒的24种途径和3种预防措施。

2.5 基本原因事件结构重要度分析

结构重要度分析是从事故树结构上分析各基本原因事件的重要程度,即在不考虑基本原因事件发生概率的情况下,各个原因事件对顶上事件的影响程度^[2]。

图1事故树结构重要度 $I_\phi(X_1) = I_\phi(X_2) > I_\phi(X_3) = I_\phi(X_4) > I_\phi(X_{10}) = I_\phi(X_{11}) = I_\phi(X_{12}) = I_\phi(X_{13}) > I_\phi(X_5) = I_\phi(X_6) = I_\phi(X_7) = I_\phi(X_8) = I_\phi(X_9)$

图2事故树结构重要度 $I_\phi(Y_1) = I_\phi(Y_2) > I_\phi(Y_3) = I_\phi(Y_4) = I_\phi(Y_5) > I_\phi(Y_6) = I_\phi(Y_7) = I_\phi(Y_8) = I_\phi(Y_9)$

从结构重要度分析可以看出,各基本原因事件对顶上事件影响重要程度的相对大小,籍此可以找出系统的薄弱环节,从而确定采取措施的优先顺序。该企业在正常生产条件下,上岗前职业健康检查、工作场所通风状况对发生急性甲醇中毒影响的概率较大;进罐作业时,反应釜内通风状况对发生急性甲醇中毒影响的概率较大。

2.6 发生急性甲醇中毒的概率分析

事故树评价方法,可以根据各基本原因事件发生的概率以及各原因事件的逻辑关系计算职业病危害事故的发生概率。各基本原因事件的发生概率主要是通过以往的统计资料来获得,但由于这方面资料的缺乏,所以目前事故树评价方法一般做到定性评价为止。

2.7 评价结论

经过对该企业可能发生的急性职业性甲醇中毒的事故树分析,可以了解该企业在正常生产条件下发生急性甲醇中毒的42种渠道和3种预防措施;在进罐检修作业情况下发生急性甲醇中毒的24种途径和3种预防措施。上岗前职业健康检查、工作场所通风状况对发生急性甲醇中毒的影响较大。

3 讨论

事故树分析描述了事故发生和发展的动态过程,因果关系清晰、形象,对导致事故的各种逻辑关系能做出全面、简洁、形象的描述,从而使有关人员了解和掌握预防职业病危害事故的要点和措施。事故树分析可以对事故进行定性分析,辨明事故原因的主次及未曾考虑到的隐患;也可以进行定量分析,预测事故发生的概率。但事故树分析法是针对一个特定的事故进行分析,不是针对整个系统,因此具有局部性。对于复杂的系统,编制事故树的步骤较多,编制事故树也较为庞大,计算复杂,给定性、定量分析带来困难。另外,要对系统进行定量评价时,必须事先确定各基本事件的发生概率,否则无法进行定量分析^[3]。

运用事故树评价方法进行职业危害评价时,要充分考虑职业病的发病特点,生产性毒物作用于机体,并非一定会引起职业中毒,毒物对机体的毒作用受很多因素影响,比如毒物的特性、毒物的剂量、浓度和职工接触时间以及毒物之间的联合作用等,还有一个很重要的因素即个体感受性,接触同一剂量的毒物,不同个体所出现的反应可相差很大,造成这种个体差异的又有很多因素,如年龄、性别、健康状况、营养、内分泌功能、免疫状态以及个体遗传特征等。本研究对工作场所的原因事件关注较多。如何运用事故树的分析方法并结合职业病发病特点,把各种原因事件排列组合,指导企业如何进行工作场所职业病危害因素控制、了解岗位的职业禁忌、做好职工的职业健康监护,需要进一步探讨。

总之,在建设项目职业病危害评价中运用事故树分析法,可以为企业发生职业病危害的渠道和控制职业病危害发生的方案,同时便于查明系统内固有的或潜在的各种危险因素,使有关作业人员全面了解和掌握各项职业病危害事故防范要点,从而降低职业病危害事故发生的可能性,对企业在预防控制职业病危害事故方面具有不可忽视的指导意义。

参考文献:

- [1] 中国就业培训技术指导中心. 安全评价师[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2008: 40-53.
- [2] 国家安全生产监督管理局. 安全评价[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2005.
- [3] 卜全民, 王涌涛, 汪德耀. 事故树分析法的应用研究[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(4): 140-144.

(收稿日期: 2009-02-18)

(编辑: 丁瑾瑜; 校对: 徐新春)