

煤焦油加工厂冷却器泄露事故树分析

赵自豪*

(内蒙古科技大学 矿业与煤炭学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要:对煤焦油加工厂冷却器泄露事故进行了事故树编制.通过对事故树利用数值法进行分析,获取了该事故树的最小割集和最小径集.根据分析结果,提出了防止泄露事故发生的对策,并对每一种对策进行了简要阐释.最终形成了防止泄露事故的具体方案,取得了良好的效果.

关键词:冷却器;事故树;数值法;腐蚀

中图分类号:X937 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2018)01-0045-04

Fault Tree Analysis of Cooler Leakage in a Coal Tar Processing Factory

Zhao Zihao

(School of Mining and Coal, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: A fault tree on cooler leakage of a coal tar processing factory is compiled in this paper. Through analyzing this fault tree with value method, the minimum cut sets and minimum path sets are obtained. According to the result, this paper proposes some countermeasures to avoid the occurrence of cooler leakage. Meanwhile, it also gives some brief explanations to the countermeasures. Finally, this paper works out a specific program for preventing the leakage from happening, which has been proved to be effective.

Keywords: cooler; fault tree; value method; corrosion

煤焦油是焦炭生产过程中的副产品.通过对煤焦油进行脱水、分馏等处理,可以获得苯、酚等化工原料.煤焦油加工常作为炼焦系统的下游环节存在,由于在生产过程中有高温、有毒、腐蚀性和易燃易爆材料存在,安全问题突出,常对整个焦化系统构成安全威胁.作为煤焦油加工中的重要设备,冷却器的泄露事故呈现高发态势,极大的影响了人员、设备和环境安全.因此有必要对冷却器泄露事故进行分析,找出泄露事故的发生原因,采取有效的防护措施,保证企业的安全生产.

1 冷却器泄露事故树的编制

西来峰煤焦油加工厂是内蒙地区重要的煤化工企业之一,其冷却器最早为空冷,后来进行了技术改造,水冷和空冷混合使用.项目运转的第一年,发生了程度不等的4次泄露,其中导致停工3次,造成了巨大的经济损失,并对环境、人员和设施设备构成了安全威胁.为改变这一状况,该厂会同现场技术人员和科研院所专家,对冷却器泄露事故进行了详细调查,并做了如下的研究工作:

1)冷却器内被冷却的物料分析.对流过冷却器的物料进行取样分析,结果显示主要成分为气态的轻油和少量的水,其中轻油的主要组分为苯组烃,并含有微量的萘.水主要来自馏分塔,提取馏分塔水样进行分析,显示含有 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 S^{2-} 、 Fe^{3+} 等物质,pH值为7.8,呈弱酸性.

收稿日期:2016-10-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51364028;51064018)

*通信作者,E-mail: phyzzh@imust.cn

2) 发生泄露的翅片管切片分析.该冷却器的翅片管为铝钢复合轧制,外部散热翅片为铝,内部传热层为碳钢.分析结果表明,未腐蚀的碳钢材料 S 和 P 等有害元素不超标,金相表现正常,材料符合国家相关标准,可认定不是由于材料本身质量问题导致的腐蚀.宏观观察发现点状穿孔腐蚀,腐蚀起点为内壁,能谱检验发现腐蚀层内有 S 和 Cl 元素的存在.腐蚀产物 X 射线衍射结果显示其主要为铁的氧化物和氯化物.

3) 查阅国内外发表的相关文献,并在实验室内进行化学分析,断定腐蚀产生的原因主要是由于物料中含有的 H₂S、CO₂、铵盐等物质,属于典型的 H₂S-HCl-H₂O 腐蚀^[1-3].

在以上工作基础上,进行了事故树的编制.所得到的事故树如图 1 所示,图中各符号的性质、意义如表 1 所示.

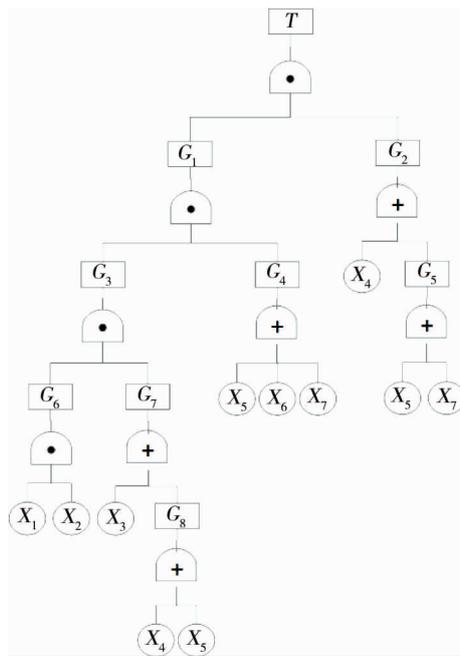


图 1 冷却器泄露事故树

表 1 冷却器泄露事故树各符号的意义、性质和对应的数字

事故树符号	符号意义	符号类型	符号对应数字	事故树符号	符号意义	符号类型	符号对应数字
T	冷却器泄露事故	顶事件	4	X ₁	物料腐蚀性强	基本事件	3
G ₁	物料泄露	中间事件	6	X ₂	管材耐腐蚀性差	基本事件	5
G ₂	泄后处置不当	中间事件	8	X ₃	检测手段落后	基本事件	7
G ₃	有腐蚀孔	中间事件	10	X ₄	制度缺失	基本事件	11
G ₄	未及时修补	中间事件	12	X ₅	管理混乱	基本事件	13
G ₅	执行不力	中间事件	14	X ₆	维修困难	基本事件	17
G ₆	存在物理缺陷	中间事件	16	X ₇	培训缺失	基本事件	19
G ₇	物理缺陷未检测出	中间事件	18	.	与门	逻辑门	0
G ₈	未检测	中间事件	20	+	或门	逻辑门	1

在该事故树中,顶事件选为冷却器泄露事故.根据安全学原理,我们把冷却器泄露事故做如下定义:由于冷却器中的物料发生泄露,从而导致了设施设备、人员和环境受到了某种程度的危害.根据该定义,事故的发生包含了物料泄露这一物理原因,以及泄露处理不到位这一管理原因.

2 冷却器泄露事故树的分析

本次事故树分析采用数值法,在本文中,利用 MATLAB 编程进行实现.由于 MATLAB 擅长矩阵运算,

并且具备灵活的数据结构,可以对数组进行动态尺寸调整,组员实时删除.因此,能够顺利的完成这一任务.数值法分析事故树分为2个阶段.分别为事故树的展开和最小割集、最小径集的求取,分述如下:

2.1 事故树的展开

原理同矩阵法相同,不同的是,事故树的每一个符号由数字代替,数字和符号一一对应^[4,5].一般常做如下约定:

1)逻辑门用-1,0,1,2来表示,如果数字不够用,可以在不与其他事件使用的数字相矛盾的情况下自行约定.

2)顶事件和中间事件用除了2以外的偶数来表示.这样约定的好处是展开完成后,可以通过对数字是否为素数进行判定,来确定展开是否完全,结果中是否还有中间事件未展开.

3)基本事件用3和3以上的素数来代替.

展开的基本原则为:首先写出顶事件代表的数字,从顶事件开始,依次用下一层事件进行替换.如果上下两层事件之间用与门连接,则上层事件的数字替换为下层事件的数字,下层事件的数字写成行的形式.如果上下两层事件之间用或门连接,则根据下层事件的个数,将上层事件分裂成相应个数的行.每一行的上层事件数字用一个下层事件数字代替,所有的行都要进行这一操作.重复上述过程,直到每一行里面的数字全部为3或3以上的素数.每一行数字代表该事故树的一个割集.在事故树分析结果中,每一个割集代表了事故发生的一个途径.如果该割集中的事件全部发生了,则顶事件必然发生.

2.2 最小割集和最小径集的求取

上述求取的割集不一定是最小割集,最小割集意味着:当在该割集中拿掉任意一个基本事件,剩下的事件的发生都不能确保事故发生^[4,5].数值法求取最小割集时采用的是素数法.具体步骤如下:

1)数字唯一化.所求割集中可能包含相同事件,根据吸收定律,该事件只能保留一个.该过程就是在割集中,将重复的数字划掉.

2)检查割集之间的包含关系.如果割集1能够被割集2包含,则割集2不是最小割集,应该被舍弃.

3)将数字转换成对应的基本事件.

经过以上3步后,剩余下来的割集均为最小割集.

经计算,本事故树有27个最小割集,如 $\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}$, $\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_6\}$ 等.结果说明,对于冷却器泄露事故,有27种发生事故的 mode,所以,出故障的可能性较大.

最小径集是阻止事故发生的基本事件的组合策略集.任意一个最小径集内的基本事件如果都不发生,顶上事件就一定不会发生.最小径集越多,说明防治事故发生可供采取的对策越多,系统越安全.

数值法求取最小径集采用的是对偶树的办法^[4,5].将事故树中的与门和或门翻转,即与门变或门,或门变与门,事故树转换后,变成成功树.成功树的最小割集,就是原来事故树的最小径集.求取的具体方法同上.

通过计算可知,该事故树有5个最小径集,分别为 $\{X_1\}$, $\{X_2\}$, $\{X_5, X_6, X_7\}$, $\{X_4, X_5, X_7\}$, $\{X_3, X_4, X_5\}$.也就是说,只要确保这5个最小径集里面的任意1个的事件全部不发生,冷却器泄露事故就不会发生.

3 冷却器泄露事故树的防治措施

从以上分析结果可知,要想防止冷却器泄露事故的发生,有5种措施,综述如下:

1)保证 $\{X_1\}$ 不发生. X_1 的意义是:物料的腐蚀性强.研究发现,在回收车间的物料中含有固定铵盐,该铵盐以溶于水的形式存在.当固定铵盐遇到高温,会分解产生 H_2S 和 HCl 等组分,这些组分容易与碳钢发生反应,最终导致翅片管内壁穿孔.解决措施为:焦油脱水和加纯碱液.焦油脱水的目的是让固定铵盐尽量少的进入蒸馏和冷却环节.加纯碱液的目的是去除固定铵盐,从根本上消除气态 H_2S 和 HCl 的存在.文献表明,还有一些其他的缓蚀剂可以考虑加进去,如双咪唑啉季铵盐缓蚀剂等^[6].

2) 保证 $\{X_2\}$ 不发生。 X_2 的意义是:管材耐腐蚀性差.由于该厂冷却器内壁采用的是碳钢管,对 $H_2S-HCl-H_2O$ 腐蚀环境的耐受性不好,所以常有腐蚀穿孔出现.解决措施:更换更耐腐蚀的材料,如钛合金TA2,Incoloy 825合金等,也可以考虑在碳钢管内壁加涂层和衬里^[7,8].

3) 保证 $\{X_5, X_6, X_7\}$ 不发生.这3个事件对应的上层事件是 G_4 ,也就是发现腐蚀孔未能及时修补.原因可能是管理混乱,培训缺失或维修困难.管理方面采取的措施:加强企业管理,对职工定期进行专业技能培训,尤其是发生腐蚀穿孔后的修补措施培训.维修困难指的是由于冷却器的翅片管排列密集这一特殊构造,其中某一根翅片管(尤其是不靠近外侧的翅片管)发生腐蚀后,腐蚀孔所在位置人和工具无法接触到.解决措施:更改冷却器翅片管的连接方式,使每根翅片管独立运作,独立开关,便于拆卸^[9].

4) 保证 $\{X_4, X_5, X_7\}$ 不发生.这3个事件对应的上层事件是 G_2 ,也就是发生泄露事故后应对不及时,造成了重大的人员,设施设备和环境灾害.应对措施:有泄露发生后的处置预案,对工人加强泄露发生后处置措施和流程的培训,管理层责权明确,在泄漏发生后指挥有力,处置得当^[9].

5) 保证 $\{X_3, X_4, X_5\}$ 不发生.这3个事件对应的上层事件是 G_7 ,也就是平常翅片管有缺陷没有能够及时检测出,从而最终导致了泄露的发生,原因可能是检测手段落后,制度缺失和管理混乱.管理方面应采取的措施为:细化对翅片管腐蚀情况的定期检查制度,对翅片管的检查加强管理,常抓不懈.检测手段落后指的是现有的翅片管腐蚀情况检测仪器不能够及时跟踪发现腐蚀点发展情况,导致腐蚀发展情况不明.措施为引进更先进的腐蚀情况检测设备,做到对腐蚀发展情况了然于胸,并及时采取治理措施^[10].

针对以上分析,并基于该厂已全面引进并实施了HSE管理体系这一事实,在考虑技术储备现状和每种措施所需要的投资基础上.该厂最终采用了措施1和4.采取该措施后的3年内,该空冷器总共泄露了2次,由于厂方处置得当,未造成停产现象,更未发生影响人员和环境安全的生产事故,取得了良好的安全效益.

4 结论

1) 煤焦油加工厂冷却器泄露事故发生的原因有物料、翅片管材质、监测和管理等多重原因.对顶事件进行逐层分解,可以获得事故树,籍此表征这些基本事件的相互关系和事故发生路径.

2) 数值法这一解算事故树的方法,可以对事故树进行快速录入和分析,极大地简化了事故树分析的过程.

3) 根据事故树分析的结论,防止事故发生的有效途径有多个.对煤焦油加工厂而言,可以在统筹考虑经济效益、环境效益等因素的基础上灵活加以选用.

参考文献:

- [1] 王胜平, 宁宇平, 蔡颖, 等. 焦油蒸馏塔腐蚀原因分析及防腐措施[J]. 内蒙古石油化工, 2001, 27(3): 45-47.
- [2] 袁黎明. 密集型空冷器管束失效分析及改进[J]. 石油化工设备技术, 2004, 25(1): 20-25.
- [3] 刘建容. 煤化工的腐蚀与防护[J]. 武钢技术, 2004(4): 50-52.
- [4] 汪元辉. 安全系统工程[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004: 146-160.
- [5] 张景林, 崔国璋. 安全系统工程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2009: 42-54.
- [6] 张天胜, 张浩, 高红. 缓蚀剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 27-32.
- [7] 赵达生. 新型耐蚀空冷器的研制与应用[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2010, 27(3): 9-12.
- [8] 冯勇, 罗纯东. Incoloy825材料在加氢裂化装置高压空冷器上的应用[J]. 炼油技术与工程, 2006(5): 24-26.
- [9] 李锐. HSE管理体系在锦州石化的应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [10] 李宝玉. 金属点蚀声发射监测与信号处理研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2005.