

职业安全卫生

FTA 和 FMECA 综合法对常压炉的风险分析

邓曼

(中国地质大学 武汉 430074)

摘要 首先对炼油厂的常压炉系统进行了火灾爆炸事故的 FTA 分析,在此基础上进行了深入的 FMECA 分析,绘制出分析表格,并提出将这两种方法结合起来应用的优点以及一般步骤。综合两种分析方法深入分析了引起火灾爆炸事故的原因,指出系统运行的潜在危险因素,根据分析结果提出综合性的安全改进和预防措施。

关键词 常压炉 失效模式 故障树 危害度

Analysis on the Hazard of Atmospheric Furnace by Fault Tree and Fault Modes, Effect and Criticality Integration Method

DENG Man

(China University of Geosciences Wuhan 430074)

Abstract FTA analysis on the fire explosion accident of atmospheric furnace system of the refinery is firstly conducted, then FMECA analysis is conducted and finally the analysis forms are made out and the advantages and general procedures of the integration of the two methods are also put forward. The causes of the fire explosion are deeply analyzed using the integration method, raising the potential hazard factors in the running of the system, as well as the comprehensive safety improvement and prevention methods.

Keywords atmospheric furnace fault modes fault tree criticality

故障树分析(FTA)与失效模式、影响与危害度分析(FMECA)都是风险分析常用的方法,但是单独运用各有优缺点。FTA 分析是一种图形演绎分析法,其缺点是大型的故障树不易理解,且往往非单一解,包含复杂的逻辑关系。FMECA 分析的特点是通过系统的全面分析,找出危害度较大的零部件,为安全运行提供理论指导,其缺点是一般不能考虑失效的综合效应和人的因素^[1]。

本文将 FTA 和 FMECA 两种方法结合起来应用,互相补充,对炼油厂的常压加热炉进行风险分析。FTA 和 FMECA 综合分析的重点是对系统故障树中的基本事件进行分析,并评定相应的危害度,为制定事故的预防措施提供依据。综合使用的基本原理是根据系统的功能要求和故障定义,首先选择一个最不希望发生的事件建立故障树,进而对其进行定性的分析评估,列出重要底事件清单,然后利用 FMECA 方法对底事件进行分析评估,并对各种故障模式进行深入分析。

1 常压炉系统的特点及火灾爆炸故障树(FTA)分析

常压炉系统是炼油厂减压蒸馏系统的一个子系统,它是对原料油进行明火加热的设备,因此也叫加热炉^[2]。常压炉是整个炼油生产线上重要的过程设备,因此一旦发生故障,轻则影响生产顺利进行,造成经济损失,重则引起火灾爆炸,造成人员伤亡。由于常压炉是进行明火加热的设备,加上原料油和燃料的易燃易爆性,在人为失误和设备故障的影响下,很容易造成火灾爆炸事故。本节将选取常压炉火灾爆炸这一严重事故作为顶事件进行故障树分析,根据事故统计和专家经验资料,编制如图 1 所示的故障树,并列出故障树的原因事件及其概率值^[3],如表 1 所示。

从图 1 可看出, X_1 事件是正常存在,不在预防的考虑范

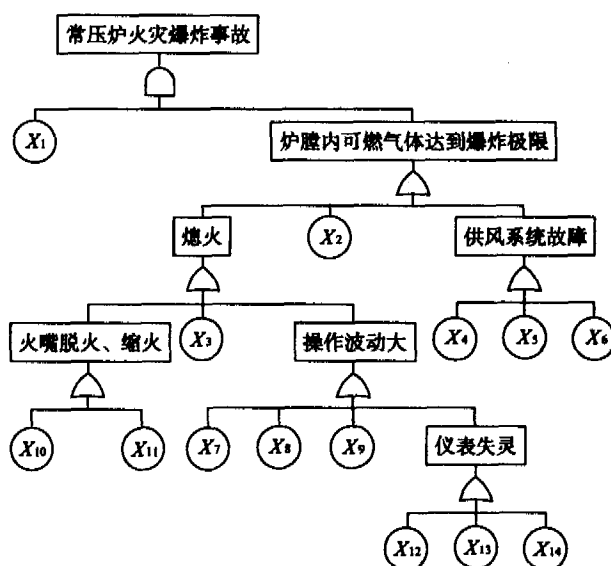


图 1 常压炉火灾爆炸故障树

围之内。 X_2 是发生可能性最大的事件,即炉管漏油是最有可能引起常压炉火灾的危险因素。其次, X_3 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_{10} 和 X_{11} 发生概率也比较大,这些事件也是预防火灾爆炸事故必须要重点注意的,应该努力防止其发生。从表 1 也可以看出,引起火灾爆炸的原因与常压炉的一些元器件以及相关设备的失效有很大关系。不难看出,炉管故障引起的漏油,火嘴由于结焦的失效,鼓风机故障,油泵故障引起的燃料油中断,仪表故障,电源故障等等,都是可能引发火灾爆炸事故不容忽视的因素。另外,人员操作失误和管理不严也是造成事故的主要原因。

表1 常压炉火灾爆炸故障树底事件及其概率值

事件代码	原因事件	事件类型	概率值
X_1	炉膛内有明火且高温	正常存在	0.99
X_2	炉管漏油	设备故障	0.38
X_3	火嘴结焦	人为因素	0.35
X_4	停电	设备故障	0.20
X_5	鼓风机故障	设备故障	0.35
X_6	三门一板调节不好	人为因素	0.35
X_7	人为调节不当	人为因素	0.35
X_8	各岗位配合不好	管理不严	0.30
X_9	燃油突然中断	意外事故	0.30
X_{10}	气体内含油	意外事故	0.35
X_{11}	油气与蒸汽配比不当	人为因素	0.35
X_{12}	仪表风中断	仪表故障	0.12
X_{13}	仪表部件问题	仪表故障	0.15
X_{14}	引压管凝假指示	仪表故障	0.15

2 常压炉系统的失效模式、影响及危害度(FMECA)分析

下面将在 FTA 分析的基础上对常压炉系统进行进一步的 FMECA 分析,并找出危害度较大的元器件和各种故障模式,为常压炉的安全可靠运行提供理论指导。

2.1 FMECA 分析的基本步骤

(1)准备工作。对系统进行 FMECA 分析之前要有充分的资料收集准备,一般包括系统设计方面的资料,工艺流程方面的资料以及使用维护方面的资料,还要收集以往类似设备在使用、维护和安装过程中常见的故障模式,最后绘制 FMECA 分析表格。

(2)功能定义。确定分析设备所能完成的功能,及在整个系统中的地位。

(3)确定故障模式。确定被分析设备系统的主要零部件

表2 常压炉系统的失效模式与影响分析

设备	功能	失效模式	失效原因	失效效应	失效检测	可选择的预防措施
炉管	输送原油	烧穿、断裂	结焦、过热、腐蚀	引起油品泄漏	观察炉管形状或颜色	①在炉管中注入蒸汽避免炉管结焦 ②控制温度,避免引起局部过热 ③选择与生产匹配的耐腐蚀材料 ④使用中和剂或缓蚀剂 ⑤定期检查、修复或更换
火嘴	喷火	结焦而堵塞	重油在喷口处裂化	导致常压炉熄火	观察火焰停工检查	①选择新型的雾化喷嘴 ②严格控制燃料中残碳和沥青含量 ③选择合适的反应条件和温度
鼓风机	提供动力	振动	不平衡	影响机组平稳运行	声音观察、检查线路	①严格要求转子的动静平衡 ②确保操作平稳
泵	输送	振动、停转	不平衡、断电	影响油的均匀供应或中断	声音异常	①对叶轮结构作必要的改动 ②更换轴承 ③撇压
仪表	控制、指示	失灵、假指示	机械故障、制造问题	影响正常操作	观察	①加强现场仪表的改造 ②推广新近的控制技术 ③加强日常检查与更换
电源	提供电能	断电	短路、断路	影响风机或泵正常工作	观察或检查线路	①定期检查电源线路 ②设置备用电源

从 RPN 的结果来看:

(1)炉管和火嘴的危险顺序数最大,是预防事故需要注意的关键设备,也是薄弱环节,应重点监测其安全状态及其在役状态。炉管的主要失效形式是烧穿和断裂,火嘴的失效

所潜在的故障模式,这些故障模式有可能发生,但实际中不一定发生,应抓住系统中的关键零部件进行分析,因为系统的可靠性与这些零部件的性能正常与否息息相关。

(4)故障原因和后果分析。对引起故障发生的各种可能因素进行合理的假设和分析,找出每种故障模式所有可能相互独立的潜在原因。故障产生的后果,不但对装置本身的安全产生影响,而且对环境和人身安全也会产生影响,应充分预计其后果。

(5)检测方法的确定。对于系统和各元器件的失效模式,提出或是收集以往的检测方法,为以后的工艺计划、检修规程、维修措施等提供有益的参考。

(6)危险性评估。危害度是指故障模式发生对企业造成损失的大小。评价故障模式的危害度有危害度等级评定法和危险顺序数(RPN)排序法等,本文采用 RPN 排序法。

2.2 常压炉系统及相关设备故障的 FMECA 分析

危险顺序数 RPN (Risk Priority Number) 排序法不但考虑故障模式的危害程度,而且考虑其发生概率及查明的难易程度,并给出适当的评定系数。故障造成的后果越严重,发生概率越高,而且难以检测到的系数越高,危险就越大。危险顺序数的数学定义是

$$RPN = S \times O \times D$$

其中: S 为危害度,取值范围为 1-10; O 为发生概率,取值范围为 1-10; D 为查明难度,取值范围为 1-10。计算 RPN 的关键是确定 S 、 O 、 D 的评定原则,它们可以通过统计方法或经验确定^[3]。

通过查阅有关经验资料,在故障树分析结果的基础上,对系统中的炉管、火嘴、鼓风机、泵、仪表、电源等设备的失效模式、影响和危害度进行分析^[4-5],如表 2 和表 3 所示。

形式是结焦堵塞,应根据改进措施来预防、消除或降低其失效效应。

(2)鼓风机的振动、泵的振动和停转、仪表假指示也是较危险的失效模式,应采取措施消除其潜在故障的发生,经常

流动污染源突发污染事故应急处理范例

罗国根¹ 王文初²

(1. 台州市环科院 浙江台州 318000; 2. 台州市环保局 浙江台州 318000)

摘 要 从二硫化碳运输泄漏事故处理和环境应急处理入手,总结流动污染源突发环境污染事故处理和环境应急处理经验教训,提出流动污染源突发环境污染事故应急处理建议。

关键词 污染事故 应急处理 二硫化碳

Emergency Treatment Examples of Pollutant Accidents Unexpectedly by Mobile Pollution Sources

LUO Guo-gen¹ WANG Wen-chu²

(1. Environmental Science Research and Design Institute of Taizhou City Taizhou, Zhejiang 318000)

Abstract In this paper some lessons are summarized from the emergency treatment examples of environmental pollution accidents by the leakage of mobile pollution sources and some suggestions on the emergency treatment are put forward.

Keywords pollution accident emergency treatment carbon bisulfide

流动污染源突发环境污染事故主要是指物品(特别是危险化学品)运输途中引起环境污染事故,主要是由交通事故

(如翻车、碰撞等)、危险化学品泄漏、非法倾倒危险废物等引起的。随着经济的高速发展,交通运输业也日益活跃,流动

表3 常压炉系统失效模式危害度分析表

设备	失效模式	危害度 S	发生概率 O	查明难度 D	危险顺序数 RPN
炉管	烧穿	9	8	5	360
	断裂	8.5	8	5	340
火嘴	结焦而堵塞	7.5	7.5	4	225
鼓风机	振动	8	7.5	2.5	150
	泵	8	6.5	3	156
仪表	停转	10	4	2.5	100
	失灵	6	5	2.5	75
电源	假指示	8	5	4	160
	断电	9	2.5	2	45

进行检修维护,保证常压炉系统的正常运行。

(3)仪表失灵以及电源故障也是不容忽视的危险因素。虽然仪表故障不会直接引起严重事故,但是容易产生操作上的误导,最终也会引发事故,因此必须重视日常检查与更换,有条件的可以推广使用新控制技术,以减少故障发生率。电源故障发生率较小,一般不会轻易断电,但是也不能完全忽略,因为一旦电力系统瘫痪,整个生产过程会被突然中断。

3 结论

本文将故障树分析(FTA)与失效模式、效应和危害度分析(FMECA)结合起来对炼油厂常压炉系统进行了风险分析,得出以下结果:

(1)由 FTA 分析可知,导致常压炉发生火灾爆炸事故的危险因素来自 13 个不同方面。其中,设备失效与故障的因素占主要地位,其次是人为失误与管理缺陷。根据各原因事件的概率值可以看出,炉管、火嘴与鼓风机较系统的其他设备易发生故障,因此要重点监测其“健康”状态。人员操作失误概率也很大,因此要重点加强操作规程教育。

(2)基于 FMECA 法,建立了常压炉系统失效分析的一般

方法和步骤,认为采用 FMECA 分析,不仅可以确定系统的薄弱环节和潜在风险部位,而且可以提前制定设备检修计划和应采取的措施,从而提高装置运行的可靠性和安全性。

(3)将 FTA 与 FMECA 分析结果综合可知,常压炉系统及设备比较危险的部位是:炉管、火嘴、鼓风机、泵和仪表。比较危险的失效模式是:炉管烧穿、断裂,火嘴结焦,鼓风机和泵振动,仪表假指示。由于 FTA 分析中,考虑的重点在于各个原因事件发生的可能性大小,因此,没有得出仪表的假指示是比较危险的因素。而在 FMECA 的进一步分析中,综合考虑到仪表假指示的危害度和查明难度,所以结果认为仪表是危险部位。根据综合分析的结果,认为在预防常压炉系统火灾爆炸事故的过程中,应根据设备故障危害度的大小分清设备改进和维修的先后顺序,再根据 FMECA 分析表格中列出的措施进行预防。而且在采取预防措施时不能忽视仪表对系统可靠性的影响,要经常对其进行检查和维护。

参考文献

- 1 金伟娅,张康达,可靠性工程. 北京:化学工业出版社,2005.3
- 2 张建芳,山红红,等. 炼油工艺基础知识. 中国石化出版社,1994.6
- 3 张颖,等. 重大危险设备的定量概率风险评价方法. 化工机械,2005,32(5):305—308
- 4 [美]N.P. 利伯曼. 炼油厂事故处理. 北京:中国石化出版社,1992.3
- 5 程光旭,刘亚杰,等. 催化裂化反应-再生系统的失效模式、效应和危害度分析. 化学工程,2003(2):55—60

作者简介 邓曼,女,1983年生,中国地质大学安全技术及工程专业在读研究生。

(收稿日期:2006-05-12)