

# 催化裂化装置反应再生系统的危险性评价

郑欣<sup>1</sup>, 许开立<sup>1</sup>, 于雁武<sup>2</sup>

(1. 东北大学资源与土木工程学院, 沈阳 110004; 2. 中北大学化工与环境工程学院, 太原 030051)

**摘要:** 应用故障树分析方法, 对催化裂化反应器和催化裂化再生器发生火灾(爆炸)事故的原因进行分析, 分别画出催化裂化反应器和催化裂化再生器发生火灾(爆炸)事故的故障树, 得出最小径集合, 并计算其结构重要度, 根据得出的最小径集合及其结构重要度进行排序, 提出预防措施, 为企业的安全管理提供了可靠的理论依据。

**关键词:** 催化裂化反应器; 催化裂化再生器; 危险性评价; 措施

中图分类号: X928.7 文献标识码: A 文章编号: 1671-1556(2006)04-0074-03

## Accident Tree Analysis on Fire and Explosion Accidents of Catalyzing & Cracking Reactor and Regeneration

ZHENG Xin<sup>1</sup>, XU Kai-li<sup>1</sup>, YU Yan-wu<sup>2</sup>

(1. School of Resource & Building, Northeastern University, Shengyang 110004, China;  
2. College of Chemical Engineering and Ecology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** By using the method of fault tree analysis, this paper analyses the causes of fire and explosion of catalyzing & cracking reactor and regeneration, draws the fault trees of fire and explosion accidents of catalyzing & cracking reactor and regeneration respectively, calculates the structure importance, makes the structure importance arrangement according to the structure importance and the least path set, puts forward the prevention measures, and provides the reliable theoretical basis for the safety control of enterprises.

**Key words:** catalyzing & cracking reactor; catalyzing & cracking regeneration; risk assessment; measure

### 0 引言

催化裂化技术的工业化始于 1936 年, 半个多世纪以来, 这一工艺得到了迅速发展, 先后出现过多种形式的催化裂化工业装置。反应再生系统, 是催化裂化生产的起始部位。反应器和再生器是催化裂化最重要的生产设备, 也是最危险的设备。通过对这两个设备的火灾爆炸危险性进行故障树分析, 可找出事故预防措施。

### 1 催化裂化反应器火灾(爆炸)事故的原因分析

#### 1.1 反应器火灾(爆炸)事故的故障树

对反应器火灾(爆炸)事故编制故障树如图 1 所示。

#### 1.2 计算反应器故障树结构重要度

根据故障树, 即得 4 个最小径集合:

$$P_1 = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{18}, X_{19})$$

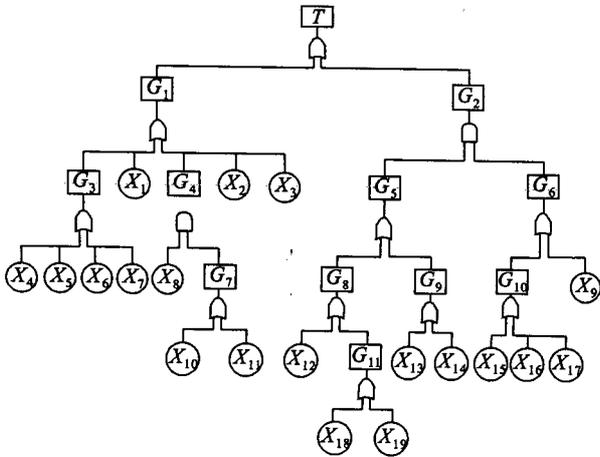


图 1 催化裂化反应器火灾(爆炸)事故的 FTA

Fig. 1 FTA of catalyzing and cracking reactor's fire and explosion accidents

T—再生器火灾(爆炸)事故;G<sub>1</sub>—反应器超压;G<sub>2</sub>—反应器内进入空气;G<sub>3</sub>—系统堵塞形成液封;G<sub>4</sub>—原料油带水;G<sub>5</sub>—差压超限自保系统未起作用;G<sub>6</sub>—再生器压力大于反应器压力;G<sub>7</sub>—沉降脱水不符合要求;G<sub>8</sub>—差压超限自保系统故障;G<sub>9</sub>—操作人员未发出自保指令;G<sub>10</sub>—双动滑阀未起作用;G<sub>11</sub>—自保阀门故障;X<sub>1</sub>—分馏塔回流带水;X<sub>2</sub>—开工时分馏塔顶回流管线未充汽油;X<sub>3</sub>—开工时分馏塔中段未充汽油;X<sub>4</sub>—分馏塔顶油气分离器液面过高造成液封;X<sub>5</sub>—分馏塔顶油气空冷或冷却器堵塞;X<sub>6</sub>—反应器出口大油气管线结焦;X<sub>7</sub>—分馏塔顶液面超高浸没大油气管造成液封;X<sub>8</sub>—一切换原料罐前未分析化验;X<sub>9</sub>—停工泄料时误操作;X<sub>10</sub>—一切水误操作;X<sub>11</sub>—沉降时间过短;X<sub>12</sub>—控制系统故障;X<sub>13</sub>—未发现差压超限;X<sub>14</sub>—误操作;X<sub>15</sub>—风动电机故障;X<sub>16</sub>—传动机构故障;X<sub>17</sub>—自动控制系統故障;X<sub>18</sub>—待生滑阀故障;X<sub>19</sub>—再生滑阀故障

$$P_2 = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{15}, X_{16}, X_{17})$$

$$P_3 = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{18}, X_{19})$$

$$P_4 = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{15}, X_{16}, X_{17})$$

求结构重要度系数<sup>[1]</sup>:

$$I_1 = 168/2 \ 184 \quad I_2 = 168/2 \ 184 \quad I_3 = 168/2 \ 184 \quad I_4 = 168/2 \ 184 \quad I_5 = 168/2 \ 184$$

$$I_6 = 168/2 \ 184 \quad I_7 = 168/2 \ 184 \quad I_8 = 175/2 \ 184 \quad I_9 = 175/2 \ 184 \quad I_{10} = 168/2 \ 184$$

$$I_{11} = 162/2 \ 184 \quad I_{12} = 162/2 \ 184 \quad I_{13} = 162/2 \ 184 \quad I_{14} = 162/2 \ 184 \quad I_{15} = 175/2 \ 184$$

$$I_{16} = 175/2 \ 184 \quad I_{17} = 175/2 \ 184 \quad I_{18} = 162/2 \ 184 \quad I_{19} = 162/2 \ 184$$

$$I_8 = I_9 = I_{15} = I_{17} > I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5 = I_6 = I_7 > I_{10} = I_{11} = I_{12} = I_{13} = I_{14} = I_{18} = I_{19}$$

## 2 催化裂化再生器火灾(爆炸)事故的原因分析

### 2.1 再生器火灾(爆炸)事故的故障树

对再生器火灾(爆炸)事故编制故障树如图 2 所示。

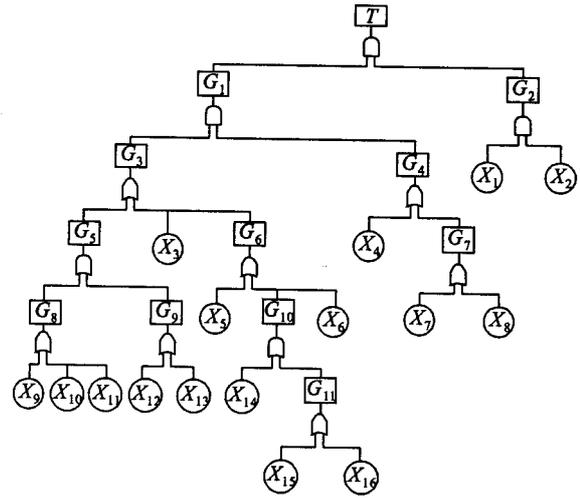


图 2 催化裂化再生器火灾(爆炸)事故 FTA

Fig. 2 FTA of catalyzing and cracking regeneration's fire and explosion accidents

T—再生器火灾(爆炸)事故;G<sub>1</sub>—燃烧油沉积在催化剂上;G<sub>2</sub>—再生器内进入空气;G<sub>3</sub>—再生器不进主风;G<sub>4</sub>—燃烧油进入再生器;G<sub>5</sub>—主风机人为紧急停车;G<sub>6</sub>—主风机自动停车;G<sub>7</sub>—燃烧油进入再生器,总阀未起作用;G<sub>8</sub>—主风机复水泵和润滑油泵停运;G<sub>9</sub>—备用泵失灵;G<sub>10</sub>—主风机损坏;G<sub>11</sub>—启动时带负荷运转;X<sub>1</sub>—进主风前未确认燃烧油状态;X<sub>2</sub>—再生器恢复进主风;X<sub>3</sub>—误停车;X<sub>4</sub>—控制阀泄漏;X<sub>5</sub>—主风机故障;X<sub>6</sub>—线路中断;X<sub>7</sub>—阀门故障;X<sub>8</sub>—阀门忘关;X<sub>9</sub>—系统断电;X<sub>10</sub>—润滑油泵故障;X<sub>11</sub>—复水泵故障;X<sub>12</sub>—电路故障;X<sub>13</sub>—备用泵故障;X<sub>14</sub>—未确认;X<sub>15</sub>—操作人员失误;X<sub>16</sub>—操作人员技术水平不够

### 2.2 计算再生器故障树的结构重要度

根据故障树,即得 7 个最小径集合:

$$P_1 = (X_1)$$

$$P_2 = (X_2)$$

$$P_3 = (X_4, X_7, X_8)$$

$$P_4 = (X_9, X_{10}, X_{11}, X_3, X_5, X_6, X_{14})$$

$$P_5 = (X_9, X_{10}, X_{11}, X_3, X_5, X_6, X_{15}, X_{16})$$

$$P_6 = (X_{12}, X_{13}, X_3, X_5, X_6, X_{14})$$

$$P_7 = (X_{12}, X_{13}, X_3, X_5, X_6, X_{15}, X_{16})$$

求结构重要度系数:

$$I_1 = 96/672 \quad I_2 = 96/672 \quad I_3 = 73/672$$

$$I_4 = 226/672 \quad I_5 = 97/672 \quad I_6 = 97/672$$

$$\begin{aligned}
 I_7 &= 226/672 & I_8 &= 226/672 & I_9 &= 90/672 \\
 I_{10} &= 90/672 & I_{11} &= 90/672 & I_{12} &= 104/672 \\
 I_{13} &= 104/672 & I_{14} &= 104/672 & I_{15} &= 90/672 \\
 I_{16} &= 90/672 \\
 I_4 &= I_7 = I_8 > I_{12} = I_{13} = I_{14} > I_5 = I_6 > I_1 = I_2 > I_9 = I_{10} = I_{11} = I_{15} = I_{16}
 \end{aligned}$$

### 3 预防措施

在故障树中只要有一个最小径集不发生,顶上事件就不会发生,所以可以通过控制最小径集中的基本事件不发生来保证顶事件不发生<sup>[2]</sup>。在一般情况下,控制小容量最小径集的基本事件可能是最经济、最有效的。从结构重要度顺序可以看出,设备零件故障和人失误很容易导致顶上事件的发生,因此要防止催化裂化反应器和再生器发生火灾(爆炸)事故主要从以下几个方面采取措施:

(1)设备的可靠性取决于组成元件的可靠性。要提高设备的可靠性,必须加强元件的质量控制和维修检查。选用可靠性高的元件代替可靠性低的元件。

(2)加备用系统。

(3)严格遵守岗位操作规程,定期巡检,发现问题及时维修,定期更换或重建。

(4)对工人进行充分的安全知识、安全技能、安全态度等方面的教育和训练,加强管理,提高职工技术素质及安全意识,防止误操作。

### 4 结语

催化裂化装置的核心部分就是反应—再生系统,通过对反应器火灾(爆炸)事故和再生器火灾(爆炸)事故进行故障树分析,找出催化裂化装置发生火灾爆炸的主要原因,为企业的安全管理提供了依据。降低催化裂化装置火灾爆炸危险性的主要安全措施是加强安全管理,对工人进行安全知识教育,提高生产工艺的自动化水平,选用可靠性的设备和部件,加强安全检测和做好应急预案工作。

#### 参考文献:

- [1] 崔国璋. 故障树分析与应用[M]. 北京:机械工业出版社,1995.  
 [2] 陈宝智. 系统安全工程[M]. 沈阳:东北大学出版社,1999.

通讯作者:许开立(1965—),男,教授,博士,博士生导师,主要研究方向为系统安全理论与技术、危险源辨识与评价、系统可靠性分析。  
 E-mail:kaili\_xu@yahoo.com.cn