

# 事故树分析法在防止锅炉爆炸事故及安全管理中的应用

蒋小云

(柳州五菱汽车工业有限责任公司, 广西 柳州 545007)

**摘要:**通过事故树分析法对锅炉爆炸事故的分析,找出锅炉在安全管理方面的侧重点,对防止锅炉爆炸事故的发生起到很好的预防作用。

**关键词:**事故树;分析法;顶上事件;最小径集;结构重要度;临界重要度系数

中图分类号:TK288

文献标识码:B

文章编号:1672-545X(2010)07-0093-02

蒸汽锅炉作为一种高温高压下运行的承压设备,一旦发生事故,特别是爆炸事故,将会造成非常严重的人员伤亡、财产损失及环境破坏。所以,其是否安全运行,对于整个生产系统起着至关重要的作用。造成蒸汽锅炉爆炸的原因很多,但最为典型的的就是超压爆炸。运用事故树对其原因进行分析,很容易找出锅炉超压爆炸的主要原因,为安全管理工作指明重点和方向。

## 1 用事故树分析方法对蒸汽锅炉超压爆炸进行分析

### 1.1 确定顶上事件及编制锅炉超压事故树

确定的顶上事件为锅炉超压。编制锅炉超压事故树如图1。

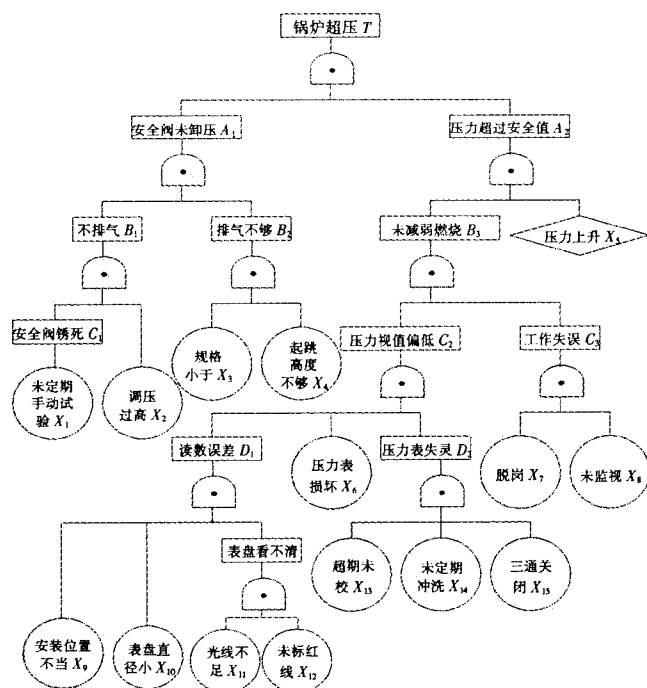


图1 锅炉超压事故树

### 1.2 定性分析(从最小径集分析)

(1) 锅炉超压成功树(如图2)。

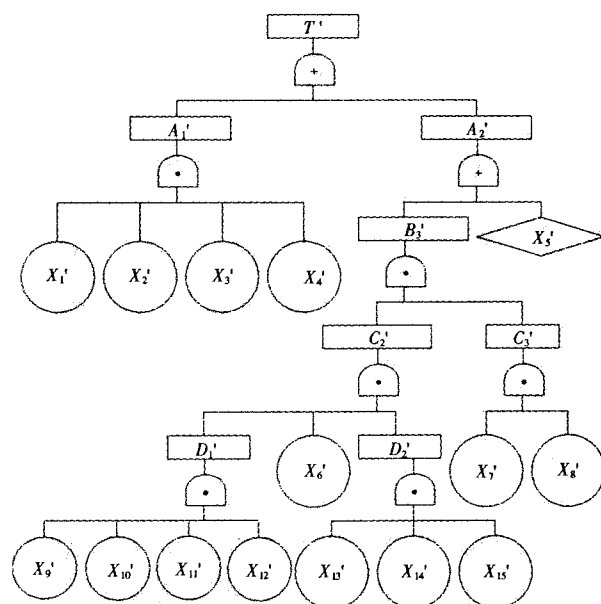


图2 锅炉超压成功树

$$\begin{aligned}
 T' &= A_1' + A_2' \\
 &= X_1' \times X_2' \times X_3' \times X_4' + B_3' + X_5' \\
 &= X_1' \times X_2' \times X_3' \times X_4' + C_2' \times C_3' + X_5' \\
 &= X_1' \times X_2' \times X_3' \times X_4' + D_1' \times D_2' \times X_6' \times X_7' \times X_8' + X_5' \\
 &= X_1' \times X_2' \times X_3' \times X_4' + X_6' \times X_7' \times X_8' \times X_9' \times X_{10}' \times X_{11}' \times X_{12}' \\
 &\quad \times X_{13}' \times X_{14}' \times X_{15}' + X_5'
 \end{aligned}$$

得出锅炉超压事故树的最小径集为

$$P_1 = \{X_5\}$$

$$P_2 = \{X_1, X_2, X_3, X_4\}$$

$$P_3 = \{X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}\}$$

(2) 结构重要度分析。由于3个最小径集中均不含共同

元素,所以得到

收稿日期:2010-04-23

作者简介:蒋小云(1974—),男,广西全州人,工程师,学士学位,研究方向:机械安全。

$$\begin{aligned}
I_{\Phi}(5) &> I_{\Phi}(1) = I_{\Phi}(2) = I_{\Phi}(3) \\
&= I_{\Phi}(4) > I_{\Phi}(6) \\
&= I_{\Phi}(7) = I_{\Phi}(8) = I_{\Phi}(9) \\
&= I_{\Phi}(10) = I_{\Phi}(11) = I_{\Phi}(12) \\
&= I_{\Phi}(13) = I_{\Phi}(14) = I_{\Phi}(15)
\end{aligned}$$

### 1.3 定量分析

(1) 锅炉超压事故发生概率。

$$\begin{aligned}
P(T) &= [1 - (1 - q_5)] [1 - (1 - q_1)(1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)] \\
&\quad [1 - (1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9)(1 - q_{10})(1 - q_{11}) \\
&\quad (1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})]
\end{aligned}$$

将表 1 所列各基本事件发生概率数值代入, 得

$$P(T) = 6.62 \times 10^{-5}$$

表 1 基本事件发生和概率取值表

代号	基本事件名称	$q_i$	$1 - q_i$
$X_1$	未定期做手动试验	$10^{-2}$	0.99
$X_2$	调压过高	$10^{-4}$	0.999 9
$X_3$	安全阀规格选小	$10^{-3}$	0.999
$X_4$	安全阀起跳高度不够	$10^{-3}$	0.999
$X_5$	压力上升	$5 \times 10^{-2}$	0.95
$X_6$	压力表损坏	$10^{-5}$	0.999 99
$X_7$	脱岗	$5 \times 10^{-2}$	0.95
$X_8$	未监视	$10^{-2}$	0.99
$X_9$	安装位置不当	$10^{-3}$	0.999
$X_{10}$	表盘直径小	$10^{-4}$	0.999 9
$X_{11}$	光线不足	$10^{-3}$	0.999
$X_{12}$	未标红线显示	$5 \times 10^{-2}$	0.95
$X_{13}$	超期未校(压力表)	$10^{-6}$	0.999 999
$X_{14}$	未定期冲洗	$10^{-3}$	0.999
$X_{15}$	三通关闭	$10^{-4}$	0.999 9

(2) 概率重要度系数。

$$\begin{aligned}
I_{\Phi}(1) &= \frac{\partial P(T)}{\partial q_1} \\
&= [1 - (1 - q_5)] [1 - (1 - q_2)(1 - q_3)(1 - q_4)] \\
&\quad [1 - (1 - q_6)(1 - q_7)(1 - q_8)(1 - q_9) \\
&\quad (1 - q_{10})(1 - q_{11})(1 - q_{12})(1 - q_{13})(1 - q_{14})(1 - q_{15})]
\end{aligned}$$

将表 1 所列各基本事件发生概率数值代入, 得

$$I_{\Phi}(1) = 5.46 \times 10^{-5}$$

同理可得

$$I_{\Phi}(2) = 5.40 \times 10^{-3}$$

$$I_{\Phi}(3) = 5.46 \times 10^{-3}$$

$$I_{\Phi}(4) = 5.41 \times 10^{-3}$$

$$I_{\Phi}(5) = 5.40 \times 10^{-3}$$

$$I_{\Phi}(6) = 5.38 \times 10^{-4}$$

$$I_{\Phi}(7) = 5.66 \times 10^{-4}$$

$$I_{\Phi}(8) = 5.43 \times 10^{-4}$$

$$I_{\Phi}(9) = 5.38 \times 10^{-4}$$

$$I_{\Phi}(10) = 5.38 \times 10^{-4}$$

$$I_{\Phi}(11) = 5.38 \times 10^{-4}$$

$$I_{\Phi}(12) = 5.66 \times 10^{-4}$$

$$I_{\Phi}(13) = 5.38 \times 10^{-4}$$

$$I_{\Phi}(14) = 5.38 \times 10^{-4}$$

$$I_{\Phi}(15) = 5.38 \times 10^{-4}$$

(3) 临界重要度系数。

$$I_c(1) = \frac{q_1}{P(T)} = 0.83$$

同理可得

$$I_c(2) = 8.17 \times 10^{-3}$$

$$I_c(3) = 8.18 \times 10^{-3}$$

$$I_c(4) = 8.18 \times 10^{-3}$$

$$I_c(5) = 0.998$$

$$I_c(6) = 8.14 \times 10^{-5}$$

$$I_c(7) = 0.428$$

$$I_c(8) = 8.12 \times 10^{-2}$$

$$I_c(9) = 8.14 \times 10^{-3}$$

$$I_c(10) = 8.14 \times 10^{-4}$$

$$I_c(11) = 8.14 \times 10^{-3}$$

$$I_c(12) = 0.428$$

$$I_c(13) = 8.14 \times 10^{-6}$$

$$I_c(14) = 8.14 \times 10^{-3}$$

$$I_c(15) = 8.14 \times 10^{-4}$$

由此要得临界重要度顺序为

$$I_c(5) > I_c(1) > I_c(7)$$

$$= I_c(12) > I_c(8) > I_c(3)$$

$$= I_c(4) > I_c(2) > I_c(9)$$

$$= I_c(11)$$

$$= I_c(14) > I_c(10)$$

$$= I_c(15) > I_c(6) > I_c(13)$$

## 2 分析

通过对锅炉超压事故树的定量分析, 找出了锅炉超压事故的主要发生原因, 在 15 个基本事件中, 压力上升( $X_5$ )是主要原因; 其次, 是安全阀没有定期进行手动试验, 因而无法避免安全阀锈蚀后卡住; 再次, 就是操作人员脱岗和未严密监视压力表。

## 3 结束语

为防止锅炉发生超压爆炸事故, 我们应加强对锅炉水蒸气压力上升的有效监测, 并做好相应的防范措施; 其次是对安全阀定期进行手动试验, 防止安全阀锈蚀被卡住; 再次, 企业应加强员工的安全教育, 增强员工的安全意识, 严禁操作人员脱岗, 加强对压力表的监视。

### 参考文献:

- [1] 刘诗飞. 重大危险源辨识及危害后果分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2] 中国安全生产科学研究院. 城市重大工业危险源评价与监测关键技术研究报告[R]. 北京: 化学工业出版社 2006.
- [3] GB 18218-2009, 危险化学品重大危险源辨识[S].

(下转第 101 页)

刀具选用硬质合金铣刀  $\Phi 14\text{ mm}$ , 相对于用标准铣刀, 前角应减小, 后角应加大。铣削速度宜低。刀尖应圆滑转接。大量使用切削液。

为提高生产效率, 我们适当增加铣削深度与宽度, 铣削深度一般粗加工为  $1.5 \sim 3.0\text{ mm}$ , 精加工为  $0.2 \sim 0.5\text{ mm}$ 。

#### 4.3 采用小余量磨削, 克服加工烧伤问题

在精磨外圆中采用小余量磨削方法 (双边余量小于  $0.01\text{ mm}$ ), 这样就可以降低被磨削表层的切削应力, 使表层磨削缺陷减小, 同时在加工中我们又选用砂轮粒度为极细的绿色碳化硅砂轮; 并且使砂轮的工作速度降低 (一般在  $1\ 500\text{ r/min}$  左右); 另外, 加大冷却液的使用量 ( $>35 \sim 45\text{ L/min}$ ) 充分冷却砂轮。

## 5 结束语

在这次的加工实践中, 得到以下两点经验:

(1) 细长轴的车削加工中, 宜采用较小的前角和较大的后

角, 以增大切屑与前刀面的接触长度, 减小工件与后刀面的摩擦, 刀尖采用圆弧过渡刃以提高强度, 避免尖角烧损和崩刃。

(2) 在钛合金铣削加工时, 要保持刀刃锋利, 以保证排屑流畅, 避免粘屑崩刃。

经过这次加工实践, 对合金类细长轴套零件的机械加工积累了一定的经验, 对今后类似结构零件的加工工艺具有一定的参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 高英杰, 张毅. 高精度 TC1 合金薄壁细长管的机加工工艺研究[J]. 机械工程师, 2008, (8): 147-148.
- [2] 张桂木, 杨玉海, 赵树国, 于超, 等. 钛合金斜轴机加工工艺研究[J]. 机械设计与制造, 2007, (1): 89-90.
- [3] 冯启高, 马利杰, 王贵成. 关于振动攻丝提高工艺系统刚度的研究[J]. 机械设计与制造, 2005, (10): 31-32.
- [4] 韩杰. 圆盘类钛合金零件的精密加工[J]. 航天返回与遥感, 2005, (9): 56-59.

## B Tyby Titanium Alloy Slender Shaft Sleeve Machining Process Analysis

WANG Cai-xia

(Department of Mechanical Engineering, Xi'an Aerotechnical College, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** For slender shaft sleeve titanium parts and the processing difficulties and characteristics, from the practical work summarized from turning to the grinding process, put forward practical and feasible process plan, the completion of a slender sleeve titanium parts processing.

**Key words:** titanium alloy; slender shaft sleeve; technology processing; analysis

(上接第 94 页)

## Accident Tree Analyse Application for Boiler Explode Preventing

JIANG Xiao-yun

(Liuzhou Wuling Automobile Industry Co., Ltd., Liuzhou Guangxi 545007, China)

**Abstract :** Find out the keypoint of boiler safety management by application of the Accident Tree Analyse to the Boiler explode accident make effective prevent to the boiler from exploding.

**Key words:** accident tree; analyse method; top events; path set; structural reliability analysis by importance directional simulation; critical importance for the coefficient