

锅炉爆炸事故树分析

韩建广

(信阳地区锅炉压力容器检验所 河南, 信阳 464000)

摘要 事故树分析法(Fault Tree Analysis- FTA)是安全系统工程的主要分析方法。它通过对锅炉设备、人和环境组成的系统进行分析,找出锅炉爆炸的可能原因,提出预防锅炉爆炸的对策。

关键词 锅炉爆炸; 事故树; 分析; 预防对策

分类号 TK228

锅炉是一种外部受高温火焰加热,内部承受高压的设备,其工作条件极其恶劣,因此它具有爆炸性危险。本文用安全系统工程的原理对引起锅炉爆炸事故的原因进行分析,从而提出预防锅炉爆炸事故的对策。

安全系统工程就是采用系统工程方法分析、评价并控制系统中的事故。安全系统工程分析方法主要是采用事故树分析法,其分析步骤如下:首先写出分析的事故即顶上事件(锅炉爆炸)。顶上事件的选择,一定要在详细占有系统情况,有关事故发生情况和发生的可能以及事故的严重程度和发生概率的情况下进行,而且事前要仔细寻找造成事故的直接原因和间接原因。然后,根据事故的严重程度和发生的概率确定要分析的顶上事件,将其扼要写在矩形方框内。在它下面的一层并列列出造成顶上事件的直接原因事件,它们可以是机械故障、人为因素或环境因素,上下层之间用“门”连接。若下层事件必须全部同时出现,顶上事件刚发生时,就用“与门”(∩)连接;当下层事件中任一事件发生,顶上事件就发生时,用“或门”(∪)连接。“门”的连接涉及到各事件之间的逻辑关系,直接影响着系统的定性、定量分析。接下去把构成第二层各事件的直接原因写在第三层上,并与第二层事件用适当的“门”连接起来。这样,层层向下分析,直至最基本的原因事件,就构成了一个事故树。锅炉爆炸事故树分析就是在全面了解锅炉设备与人组成的人—机系统的基础上,编制锅炉爆炸事故树。

1 锅炉设备系统构成

1.2 水处理系统 就是将原水(河水、井水等)经水质处理设备处理后达到锅炉用水水质标准的整个过程。水处理过程可分为以下步骤:原水经机械过滤器过滤除去机械杂质,再经氢交换器软化降低碱度,通过除气器除去CO₂,再经钠离子交换器除硬度,最后经除氧器除氧,由给水泵加压送至锅炉。

1.2 燃料油系统 锅炉燃料的供应系统。其过程是:燃料油经管道送至油罐进行加热并脱水,后经低压过滤器到油泵加压,用加热器加热至氧化,再经高压过滤器送至炉前。

1.3 蒸气系统 锅炉汽包用管道与分汽缸相连,经分汽缸分汽将蒸汽送至需要蒸汽的车间。

2 锅炉爆炸事故树

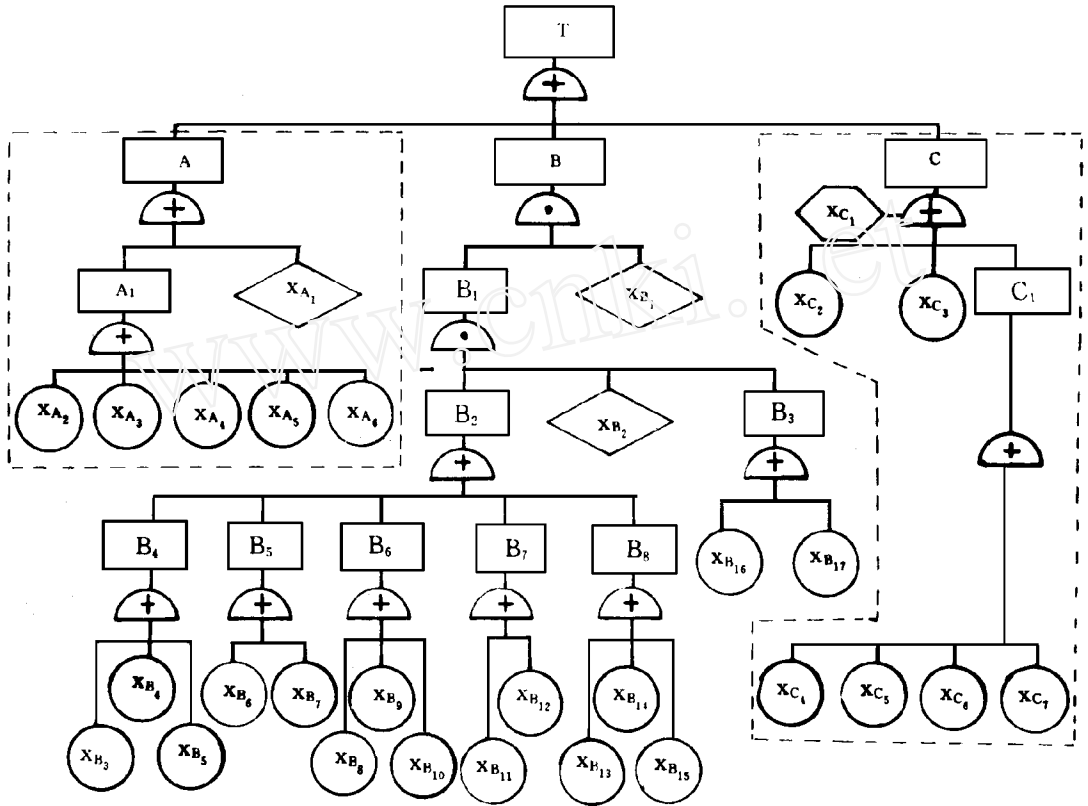


图1 锅炉爆炸事故树

T: 锅炉爆炸; A: 设备严重缺陷; A₁: 锅炉内结垢及腐蚀; x_{A1}: 违章制造锅炉; x_{A2}: 炉水无化学处理; x_{A3}: 炉水碱度过高苛性脆化; x_{A4}: 除氧不合格腐蚀; x_{A5}: 停炉后不保养腐蚀; x_{A6}: 锅炉长期不排污; B: 压力急剧升高; B₁: 严重缺水; B₂: 实际水位过低; x_{B1}: 违章加水; x_{B2}: 低水位报警器不报警; B₃: 司炉操作水平低; B₄: 给水系统发生故障; B₅: 排污阀发生故障; B₆: 水位显示假水位; B₇: 自动给水发生故障; B₈: 炉管严重爆炸; x_{B3}: 给水管缺水; x_{B5}: 给水泵停电; x_{B6}: 排污阀忘关; x_{B7}: 阀门损坏; x_{B8}: 水位计堵塞; x_{B9}: 汽水考克关闭; x_{B10}: 炉水碱度过高; x_{B11}: 调节阀失灵; x_{B12}: 一、二次调节表发生故障; x_{B13}: SO₂造成腐蚀; x_{B14}: 内部严重结垢; x_{B15}: 电化学腐蚀; x_{B16}: 对水位监督不严; x_{B17}: 误操作; C: 超压运行; x_{C1}: 安全阀失灵; x_{C2}: 突然停止用汽熄火不及时; x_{C3}: 主汽阀蕊脱落; x_{C4}: 弹簧管损坏; x_{C5}: 压力表堵塞; x_{C6}: 压力表指针失灵; x_{C7}: 考克表打开。

3 分析

锅炉爆炸事故树, 清晰地反映出事故与基本事件之间的逻辑关系。锅炉爆炸有三个途径: 一是锅炉设备严重缺陷所致, 称 A 系统; 二是锅炉工作压力急剧升高所致, 称 B 系统; 三是锅炉超压运行导致, 称 C 系统。上述三个系统基本事件分别用 x_{A1}、x_{A2}、x_{A3}...; x_{B1}、x_{B2}、x_{B3}...; x_{C1}、x_{C2}、x_{C3}...表示。利用布尔代数对其进行整理:

锅炉严重缺陷系统 T_A

$$T_A = A \text{ 且 } x_{A1} = x_{A1} + x_{A2} + x_{A3} + x_{A4} + x_{A5} + x_{A6}$$

即: $T_A = x_{A1} + x_{A2} + \dots + x_{A6} \dots$

(1)

锅炉工作压力急剧升高系统 T_B

$$\begin{aligned} T_B &= B_1 \cdot x_{B_1} = B_1 \cdot x_{B_2} \cdot B_3 \cdot x_{B_1} \\ &= (B_4 + B_5 + \dots + B_8) \cdot x_{B_2} \cdot (x_{B_{16}} + x_{B_{17}}) \cdot x_{B_1} \\ &= x_{B_1} \cdot x_{B_2} (x_{B_3} + x_{B_4} + \dots + x_{B_{15}}) \cdot (x_{B_{16}} + x_{B_{17}}) \end{aligned}$$

$$\text{即: } T_B = x_{B_1} \cdot x_{B_2} \cdot (x_{B_3} + x_{B_4} + \dots + x_{B_{15}}) \cdot (x_{B_{16}} + x_{B_{17}}) \quad (2)$$

锅炉超压运行系统 T_C

$$T_C = x_{C_1} \cdot (x_{C_2} + x_{C_3} + C_1) = x_{C_1} \cdot (x_{C_2} + x_{C_3} + x_{C_4} + x_{C_5} + x_{C_6} + x_{C_7})$$

$$\text{即 } T_C = x_{C_1} \cdot (x_{C_2} + x_{C_3} + x_{C_4} + x_{C_5} + x_{C_6} + x_{C_7}) \quad (3)$$

则锅炉爆炸事件 $T = T_A + T_B + T_C$, 即 $T = T_A + T_B + T_C$, 将(1)、(2)、(3)式代入得:

$$\begin{aligned} T &= x_{A_1} + x_{A_2} + \dots + x_{A_6} + x_{B_1} \cdot x_{B_2} (x_{B_3} + x_{B_4} + \dots + x_{B_{15}}) \cdot (x_{B_{16}} \\ &+ x_{B_{17}}) + x_{C_1} \cdot (x_{C_2} + \dots + x_{C_7}) \end{aligned} \quad (4)$$

4 防止锅炉发生爆炸事故的对策

由(4)式可知: 锅炉设备严重缺陷 T_A 、锅炉压力急剧升高 T_B 和锅炉超压运行 T_C 三者中任一事件的发生都可能导致锅炉爆炸事故的发生。因此, 必须对以上三种事故途径做独立分析。

4.1 锅炉设备严重缺陷 T_A 此系统有6个彼此独立的基本事件, 每一基本事件的发生均有导致锅炉爆炸事故的可能。所以, 必须对6个基本事件逐一消除, 方可达到预防锅炉爆炸事故的目的。

4.2 锅炉工作压力急剧升高 T_B

由(2)式可知只有当 x_{B_1} 、 x_{B_2} 和 $(x_{B_3} + \dots + x_{B_{15}})$ 其中之一及 $(x_{B_{16}} + x_{B_{17}})$ 其中之一同时发生时, 方可导致 T_B 发生。由此可知在 x_{B_1} 、 x_{B_2} 、 \dots 、 $x_{B_{17}}$ 17个基本事件中有效防止锅炉工作压力急剧升高的预防措施是使 x_{B_1} 、 x_{B_2} 及 $(x_{B_{16}} + x_{B_{17}})$ 其中之一不同时发生。即:

(1) x_{B_1} : 锅炉严重缺水时, 严禁向锅炉加水;

(2) x_{B_2} : 为了防止锅炉缺水, 必须使水位报警器灵敏可靠工作;

(3) $(x_{B_{16}} + x_{B_{17}})$: 必须对司炉工进行安全技术培训, 提高操作技术水平, 做到遵规守纪, 提高工作责任心, 加强水位监督, 防止锅炉缺水。

4.3 锅炉超压运行 T_C

由(3)式可知只有当基本事件 x_{C_1} 与 $(x_{C_2} + x_{C_3} + \dots + x_{C_7})$ 其中之一同时发生时, 方可导致 T_C 发生。在 x_{C_1} 、 x_{C_2} 、 \dots 、 x_{C_7} 7个基本事件中, 只有使 x_{C_1} 基本事件不发生, T_C 即不会发生。所以锅炉安全阀灵敏可靠的工作, 是防止锅炉超压爆炸的主要措施。

参 考 文 献

- 1 日本锅炉协会编, 王继军, 王冀译. 锅炉的事故与对策. 北京: 劳动人事部锅炉压力容器安全杂志社, 1984
- 2 林明清. 工业安全生产知识手册. 北京: 电子工业出版社, 1985
- 3 国际劳工局编. 劳动人事部劳动保护科学研究所等译, 劳动保护百科全书. 北京: 科学技术文献出版社, 1986
- 4 国家机械工业委员会质量安全监督司. 机械工厂安全性评价. 北京: 机械工业出版社, 1988

A Fault Tree Analysis of the Boiler Explosion

Han Jianguang

(The Boiler and Pressure Container Inspection

Institute of Xinyang Prefecture Xinyang, Henan; China 464000)

Abstract The fault tree analysis (FTA) is a main analyzing method used in projects concerned with safety systems. With the analysis of the system made up of the boiler equipment, workmen and the environment, some possible reasons of boiler explosion can be found out and then the preventive methods are put forward.

Key words Boiler explosion; Fault tree; Analysis

作者简介 韩建广, 男, 1962年生, 1983年7月毕业于洛阳工学院机械工程一系机械制造工艺及设备专业, 现任信阳地区锅炉压力容器检验所所长, 信阳地区劳动保护监测站站长, 工程师, 出版专著1部, 发表论文多篇, 主持参加省级项目2项。

责任编辑 郭红建

(上接第55页)

有着明显的实际意义。

参 考 文 献

- 1 陈崇源. 电路理论晶析. 华中工学院出版社, 1988, 162~ 212, 422~ 474
- 2 Desoer C A, Kuh S E. *Basic Circuit Theory*. New York: McGraw - Hill, 1989, 342~ 351
- 3 Temes G C, Lapatra J W. *Circuit Synthesis and Design*. New York: McGraw - Hill, 1987: 123~ 187
- 4 邱关源. 电路. 人民教育出版社, 1982, 250~ 301
- 5 黄慕义主编. 电网络理论原理、分析和应用(下册), 华中理工大学出版社, 1987, 125~ 149
- 6 江泽佳. 电路原理. 人民教育出版社, 1979, 139~ 142
- 7 钟佐华, 李灿宏. 网络图论和矩阵分析法. 人民邮电出版社, 1983

The Equivalent Circuit of T M Mutual Inductance Network and Its Application in the Synthesis of Circuit

Li Xiangying

(Dept of Computer, Xinyang Teachers College Xinyang, Henan; China 464000)

Abstract The equivalent circuit of T mutual inductance network is deduced. By using it, the inductance of network with T mutual inductance can be undoes in one time. The result is useful to the engerning calculation and the synthesis of network.

Key words T mutual inductance; Circuit analysis; Syntyesis of network; Equivalent circuit

责任编辑 郭红建