

爆破冲击波事故的事故树分析

陈 诚, 陶 明, 唐小军

(武汉理工大学资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要:采用事故树分析方法得出发生爆破冲击波事故的各个基本事件。通过最小割集、最小径集、结构重要度等指标的求解对爆破冲击波事故作了定性分析,研究了事故发生的途径和原因,提出了相应的安全措施。

关键词:爆破冲击波;事故树;结构重要度;安全对策

炸药爆炸有很大一部分能量转化为冲击波,如水下钻孔爆破一般有 10% ~ 40% 的炸药能量转化成冲击波^[1],而对露天爆破则有更多能量转化为空气冲击波,产生事故的几率是非常大的。如在露天爆破中,常有冲击波使附近构筑物玻璃破碎、门窗损坏、砖墙开裂等。在井下爆破中,爆破冲击波除对人员、设备及地下巷道工程的安全构成严重威胁外,对井下大量微差起爆的网路也构成一定的威胁,对于煤矿巷道还可能会引发瓦斯或煤尘的爆炸;因此,分析爆破冲击波事故产生的原因显得非常重要。然而爆破冲击波事故的影响因素繁多,采用安全检查表法,因果图像法都不够直观,事故树分析法是安全系统工程中常用的一些方法,它是应用数理逻辑的方法,从一个可能的事故开始,一层一层地逐步寻找引

起事故的触发事件、直接原因和间接原因,并分析这些事故原因之间的相互逻辑关系,是一种演绎分析法^[2,3],用其分析爆破冲击波引起的事故是非常合适的。

1 爆破冲击波事故树构造

通过大量爆破冲击波事故的分析,以爆破冲击波事故作为顶上事件,然后对各个原因逐步展开细分,直到基本事件为止。

经分析,爆破冲击波事故应从非正常起爆和正常起爆入手研究。在非正常起爆因素中,主要以人的不安全行为和物的不安全因素入手分析;在正常起爆因素中,以施工、技术问题和管理工作为主展开分析,FTA 图^[3]见图 1。

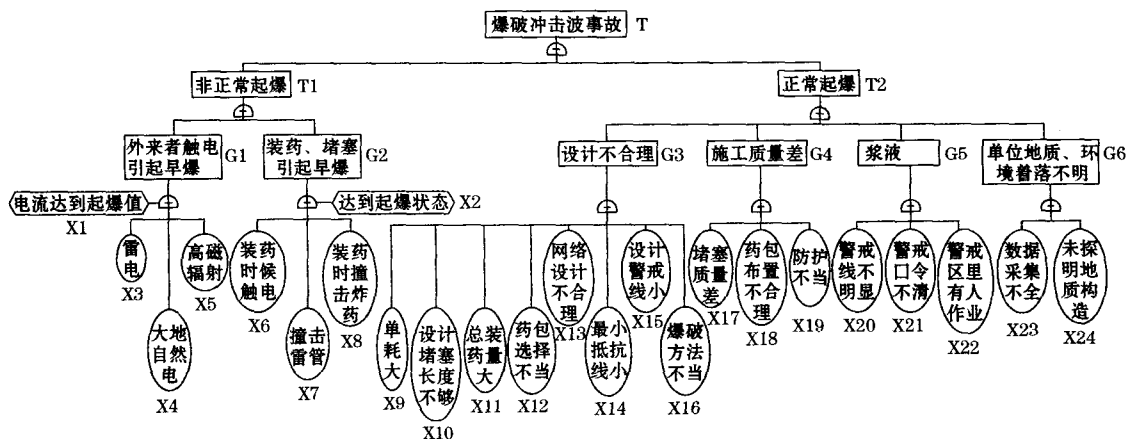


图 1 爆破冲击波事故树

2 爆破冲击波事故树分析

2.1 求解最小割集

最小割集是导致顶上事件发生的最低限度的基

本事件的集合,它表示系统的危险性,每个最小割集都是顶上事件发生的一种可能性,最小割集的数目越多表示系统越危险。采用布尔代数法对图 1 求解事故树的最小割集为: {X₁, X₃}, {X₁, X₄}, {X₁,

X_5 , $\{X_2, X_6\}$, $\{X_2, X_7\}$, $\{X_2, X_8\}$, $\{X_9\}$, $\{X_{10}\}$,
 $\{X_{11}\}$, $\{X_{12}\}$, $\{X_{13}\}$, $\{X_{14}\}$, $\{X_{15}\}$, $\{X_{16}\}$,
 $\{X_{17}\}$, $\{X_{18}\}$, $\{X_{19}\}$, $\{X_{20}\}$, $\{X_{21}\}$, $\{X_{22}\}$,
 $\{X_{23}\}$, $\{X_{24}\}$

2.2 求解最小径集^[4,5]

最小径集是导致顶上事件不发生的最低限度的基本事件数目。最小径集越多表示系统越安全。一般通过与最小割集的“对偶树”来求解,把图 1 的或门变成与门,与门变成或门,则可以得到所谓的“成功树”,然后可用布尔代数求解事故树的最小径集为:

$$P_1 = \{X_1, X_2, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}\}$$

$$P_2 = \{X_1, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}\}$$

$$P_3 = \{X_2, X_3, X_4, X_5, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}\}$$

$$P_4 = \{X_3, X_4, X_5, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}\}$$

2.3 基本事件的结构重要度分析

在不考虑基本事件发生的难易程度,或假设各基本事件的发生概率相等,仅从事故树的结构上研究各基本事件对顶上事件的影响程度称为结构重要度分析。它的求解方法有多种,最小割集求结构重要度的方法比较常用^[5,6],其计算公式为:

$$I_{\Phi(i)} = \sum_{x_i \in K_j} \frac{1}{2^{n_j-1}}$$

式中, $I_{\Phi(i)}$ ——基本事件 x_i 的结构重要度系数;

K ——最小割集的总数;

K_j ——最小割集;

n_j ——基本事件 x_i 所在 K_j 的基本事件数。

经计算可得结果如下:

$$I_{\Phi(1)} = I_{\Phi(2)} = 3;$$

$$I_{\Phi(3)} = I_{\Phi(4)} = I_{\Phi(5)} = I_{\Phi(6)} = I_{\Phi(7)} = I_{\Phi(8)} = 1;$$

$$I_{\Phi(9)} = I_{\Phi(10)} = I_{\Phi(11)} = I_{\Phi(12)} = I_{\Phi(13)} = I_{\Phi(14)} =$$

$$I_{\Phi(15)} = I_{\Phi(16)} = I_{\Phi(17)} = I_{\Phi(18)} = I_{\Phi(19)} = I_{\Phi(20)} = I_{\Phi(21)} = I_{\Phi(22)} = I_{\Phi(23)} = I_{\Phi(24)} = 1。$$

3 结果分析与安全对策

(1) 由爆破冲击波事故的事故树图可以看出,

组成该事故的逻辑门共有 9 个,其中逻辑或门占 7 个(78%),逻辑与门占 2 个(22%)。由此可知爆破冲击波事故是比较容易发生的。

(2) 由计算可知,最小割集有 22 个,最小径集有 4 个,则可知爆破冲击波事故的发生途径有 22 条,而预防途径只有 4 条。因此,该事故容易发生而且控制难度比较大。

(3) 通过结构重要度的计算可知,基本事件 x_1 (杂散电流的附加条件), x_2 (装药、堵塞的附加条件) 占的比重比较大,说明这个事件较容易发生。而在实际当中由于杂散电流达到起爆值和因撞击雷管、撞击炸药而使之起爆而导致爆破冲击波事故的发生也是有的。所以在实际爆破中应对这两项加以控制。

(4) 从能量的角度分析,爆破冲击波事故的发生是由于炸药爆炸多余的能量溢出而导致的,所以与之直接相关的因素应该是装药量太大、最小抵抗线太小和堵塞长度不够等。但是结构重要分析没有体现出这两点的重要性,这是因为爆破冲击波的作用范围是有限的,要造成事故的话还受到其它因素的限制,如警戒距离等。

(5) 各个基本事件的结构重要度都比较大,则可知各个基本事件的发生都会对顶事件有比较大的影响,因此在爆破施工中各个方面都要严格要求,要防止杂散电流产生、雷管炸药要轻拿轻放、警戒距离要合理、警戒区内不能有人等,以减少爆破冲击波事故的发生。

参考文献:

- [1] 陆遐龄,梁向前,胡光川,等. 水中爆炸的理论研究与实践[J]. 爆破,2006,23(2):9~12.
- [2] 陈宝智,王金波. 安全管理[M]. 天津:天津大学出版社,1999.
- [3] 张景林,崔国璋. 安全系统工程[M],北京:煤炭工业出版社,2002.
- [4] 王玉杰,黄平路,张惠聚. 中深孔爆破飞石伤人事故树分析[J],有色金属,2004,56(6):38~40.
- [5] 陶 明,任少峰,王玉杰,等. 一起爆破飞石事故的事故树分析[J]. 爆破,2007,24(3):114~116.
- [6] 代仁平,郭学彬,任 翔,等. FTA 在防止电雷管起爆法拒爆事故中的应用[J]. 采矿技术,2006,6(3):530~534.
- [7] 景国勋,贾智伟,段振伟,等. 最小割集在系统安全分析方法中的应用[J]. 中国安全科学学报,2004,14(5):99~102.
- [8] 景国勋,冯长根,杜 文. 倾斜井巷轨道运输事故的系统安全分析[J]. 中国安全科学学报,2000,10(3):23~27.

(收稿日期:2008-03-24)

作者简介:陈 诚(1981-),男,湖北荆州人,在读研究生,主要研究方向为爆破工程,Email:so. cc. chen@163. com.