

文章编号:1001-487X(2007)03-0114-03

一起爆破飞石事故的事故树分析

陶明,任少峰,王玉杰,陶令

(武汉理工大学资源与环境工程学院,湖北武汉430070)

摘要: 在诸多露天采场爆破事故中,飞石事故占很大的比率,对矿区的安全生产构成了严重威胁。针对一起飞石事故案例,利用系统安全分析中的事故树分析方法,通过最小割集和最小径集的求取,寻找事故发生的原因,提出爆破飞石事故的预防途径和控制措施,从而有针对性地采取安全对策,以减少事故的发生。

关键词: 爆破飞石; 事故树; 结构重要度; 预防措施

中图分类号: TD 235.4⁺1 **文献标识码:** A

Analysis of a Blasting Fly Rock Accident by Fault-tree Method

TAO Ming, REN Shao-feng, WANG Yu-jie, TAO Ling

(School of Resource and Environment Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Flying rock accident accounts for a great ratio of blasting accidents in open stone pits, which poses serious threat to safe production in mining area. The fault tree analysis method of system safety analysis was used in a flying accident case, and the reasons for the accidents were found by calculating minimal cut sets and the most striking set of paths. The prevention way and the control measures for blasting flying rock accidents were proposed.

Key words: blasting fly rock; fault tree; structure important; prevention measures

1 引言

在露天开采中,爆破飞石是造成爆破事故发生的主要原因之一,给露天开采安全带来了极大的威胁。据统计,在露天开采爆破中,由于飞石造成的人员伤亡、毁坏厂房和住宅、砸坏机器设备等爆破事故,占到整个爆破事故的60%左右^[1-2]。为了有效降低这种伤亡事故的发生,确保工程顺利进行和完工,引入系统安全分析方法(FTA)技术显得很有必要。

某矿山位于山东省青州市境内,主要由石灰岩矿段组成,矿区构造较为复杂。矿山开采设计3个平台作为工作面,其中II号平台正前方150m为农田,台阶高度为12m。爆破开采采用倾斜孔,倾角75°,炮孔直径100mm,孔深14m,炮孔成三角形布

置,底盘抵抗线 $W = 4.5$ m,排距 $b = 3.0-4.0$ m,孔距 $a = 5.0-6.0$ m,采用毫秒延期爆破。在一次爆破施工中,II号平台出现了飞石事故,农田里的劳作者被飞石击中,农田旁边的一部摩托车也被砸坏导致漏油,给后续生产带来了不稳定因素,造成了经济损失。

2 事故原因分析

经现场调查,第3排孔中段装药量比设计的明显偏多,爆后中间部分岩石很碎,而后排岩石块度较大。事故现场调查表明,在第3排孔处存在一个未探明的小断层,而装药量又偏高,造成矿体破碎发生飞石事故。

2.1 爆破飞石事故树的建造

通过对大多数飞石事故中可见与可控因素的观察、研究与探讨,得出爆破产生飞石的原因与爆破设计、施工、安全警戒线、地质等因素有关。建造如图

收稿日期:2007-04-23.

作者简介:陶明(1983-),武汉:武汉理工大学资源与环境工程学院硕士生。

1所示的FT图。

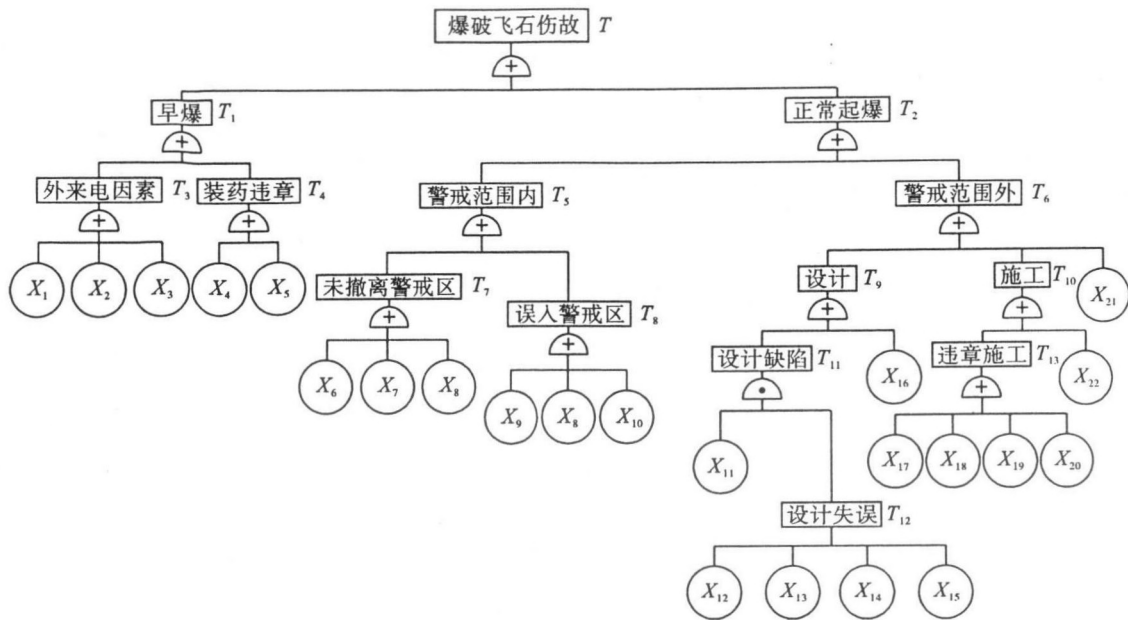


图1 爆破飞石事故的FT图

表1 序号列表

序号	基本事件	序号	基本事件	序号	基本事件	序号	基本事件
X ₁	雷电	X ₇	未发警戒信号	X ₁₃	设计单耗过大	X ₁₉	起爆顺序有误
X ₂	杂散电	X ₈	无警戒信号	X ₁₄	设计堵塞长度不够	X ₂₀	堵塞质量差
X ₃	感应电	X ₉	未看到警戒线	X ₁₅	设计起爆顺序有误	X ₂₁	警戒线过小
X ₄	装药时撞击雷管	X ₁₀	未设安全岗	X ₁₆	水平有限	X ₂₂	监督不善
X ₅	装药时撞击炸药	X ₁₁	未探明地质构造	X ₁₇	装药过大		
X ₆	未看到警戒信号	X ₁₂	抵抗线不合理	X ₁₈	堵塞长度不够		

2.2 求解事故树的最小割集

最小割集是表示系统的危险性,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越危险。

对图1事故树的结构进行适当简化后,用布尔代数法^[3-5]求解事故树的最小割集如下:

$$\begin{aligned}
 T &= T_1 + T_2 \\
 &= (T_3 + X_4) + (T_5 + T_6) \\
 &= X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 \\
 &\quad + X_{10} + X_{11}X_{12} + X_{11}X_{13} + X_{11}X_{14} + X_{11}X_{15} + X_{16} \\
 &\quad + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{20} + X_{21} + X_{22}
 \end{aligned}$$

2.3 求解事故树的最小径集

求解最小径集是利用它与最小割集的对偶性,首先将事故树中的与门变成或门,或门变成与门,各类事件发生换成不发生,得出成功树,从而选取确保系统安全的最佳方案,得到防止爆破飞石事故发生的预防措施。

对成功树的结构进行适当简化后,用布尔代数法求解事故树的最小径集^[4]如下:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \{X_1, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, \\
 &\quad X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}\} \\
 P_2 &= \{X_1, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, \\
 &\quad X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}\} \\
 P_3 &= \{X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, \\
 &\quad X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}\} \\
 P_4 &= \{X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_8, X_9, X_{10}, X_{12}, X_{13}, \\
 &\quad X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{21}, X_{22}\}
 \end{aligned}$$

2.4 基本原因事件的结构重要度分析

如不考虑各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事件的影响程度,称为结构重要度分析,可采用求结构重要度系数法和利用最小割集来求得。用最小割集求结构重要度比较简单并且能满足要求^[6-8]。

$$I_{\phi(i)} = \sum_{X_j \in G_i} \frac{1}{2^{n_j-1}}$$

式中, $I_{\phi(i)}$ 为基本事件的结构重要度; $n_j - 1$ 为基本事件 P_j 所属最小径集所包含的基本事件数。

所以得出如下结果:

$$I_{\phi(11)} = 2;$$

$$I_{\phi(12)} = I_{\phi(13)} = I_{\phi(14)} = I_{\phi(15)} = \frac{1}{2};$$

$$I_{\phi(1)} = I_{\phi(2)} = I_{\phi(3)} = I_{\phi(4)} = I_{\phi(5)} = I_{\phi(6)} = I_{\phi(7)} = I_{\phi(8)} = I_{\phi(9)} = I_{\phi(10)} = I_{\phi(16)} = I_{\phi(17)} = I_{\phi(18)} = I_{\phi(19)} = I_{\phi(20)} = I_{\phi(21)} = I_{\phi(22)} = 1$$

结构重要度系数大的基本事件对顶上事件的发生起着重要的作用,是危险性大的事件,是需要重点防范的目标,应对其进行控制,使之尽量不发生,以提高系统的安全性。

3 结果分析

从爆破飞石事故树图上可以看出,组成爆破飞石事故的逻辑门共有 14 个,其中逻辑或门有 13 个(占总数的 92.8%),与门有 1 个(占总的 7.2%)。因此,从逻辑构成比例来看,爆破飞石事故的发生几率是很大的,存在的危险性也就很大。

从事故树分析图上可知,最小割集为 20 组,最小径集为 4 组。可知爆破飞石事故可能发生的途径有 20 条,而预防的途径仅只有 4 条。并且最小割集中包含的基本原因事件很小(大多只有一个),最小径集中包含的原因事件较多。所以爆破飞石事故是更容易发生的。

由结构重要度分析可知, x_{11} (未探明的地质构造)结构重要度最大,表明该原因事件在事故的构成位置上最重要。对于本次实际事故,如果地质构造未探明,遇到断层或矿体节理发育好的地方,这样装药量会比正常情况下要大而导致飞石事故的发生。可知 x_{11} 的影响大是正常的,因此在实施爆破施工设计中要准确探明地质构造。

4 预防措施

结合本次事故和其它工程经验表明,控制爆破飞石事故可采取如下一些措施:

爆破设计根据现场进行严格规划,制定实际的爆破参数,同时监理和施工方对爆破设计严格审核

和监督,发现问题及时探讨,采取合理方案来保证施工安全进行。

应重视矿区地质构造的探测,钻机手及时与地质人员沟通。从以上分析中可以看出,本次爆破中位于第 3 排孔位置处的小断层是导致这次飞石事故的主要原因。事前爆破人员没有探明到这一地质构造,因而未采取措施避免事故发生。因此岩石爆破中应加强地质勘探的力度。

提高对施工现场的管理和监督,加强对施工人员技术的提高,严格要求按照设计和正确施工方法作业,不能凭经验,更不能让不懂施工的人员来盲目工作,特别是装药和堵塞最好安排经验丰富的人员,并且要安排技术人员进行指导、监督。

严格遵守《爆破安全规程》,控制合理的警戒范围。本次爆破事故中,如果所有的人和物都在警戒线之外,那么事故也是可以避免的。

对安全警戒距离进行明确的核对,设置专门的安全岗,专人警戒,放炮前要严格检查起爆网路,清点人数,放炮信号要明显,在确认危险区内无闲杂人员,避炮人员有可靠安全的地方后才可放炮。

及时了解最新的天气状况,避免在雷雨条件下起爆而引起的早爆,同时对杂散电和感应电要进行有效的消除。

参考文献

- [1] 高文乐,毕卫国. 爆破飞石致人死亡案例分析[J]. 爆破, 2002, 19(3): 53-55.
- [2] 刘振雄,郭学彬. 岩石浅孔爆破飞石的控制[J]. 爆破, 1996, 13(3): 23-25.
- [3] 林柏泉,周 延,刘贞堂. 安全系统工程[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2005.
- [4] 万希岭,李红杰. 控制硐室爆破飞石安全问题措施探讨[J]. 爆破, 2003, 20(4): 62-64.
- [5] 林 友,黄德镛. FTA 在某露天矿边坡安全评价中的应用[J]. 昆明理工大学学报, 2005(5): 6-10.
- [6] 康 宁. 工程爆破中的飞石预防与控制[J]. 爆破, 1999, 16(1): 33-35.
- [7] 景国勋,段振伟. 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): 18-21.
- [8] 吴俊钧. 台阶爆破大块率和飞石的控制[J]. 爆破, 1996, 13(4): 29-32.