

## 煤矿液压支架常见故障事故树分析与应用

毛祎琳, 刘泽功

(安徽理工大学 能源与安全学院, 安徽 淮南 232001)

**摘要:** 为了有效降低液压支架故障发生概率, 用事故树分析法对液压支架常见故障进行分析, 得出降低故障发生概率的有效途径。采用事故树定性、定量与重要度分析方法研究了液压支架各基本故障事件的发生概率对顶事件发生概率的影响。结果表明: 液压支架事故树最小割集有 17 个, 由事故树最小割集可以直观地判断哪种故障模式发生概率最高, 以及如何采取措施使液压支架故障发生概率下降。利用最小割集对各基本事件概率重要度与关键重要度进行分析, 得出对顶事件发生概率影响大和敏感度高的基本事件。降低概率重要度与关键重要度高的基本故障事件发生概率, 可以有效降低液压支架故障发生概率。

**关键词:** 液压支架; 故障; 事故树

中图分类号: TD355.4

文献标志码: A

文章编号: 0253-2336(2009)10-0065-03

### Fault Tree Analysis and Application of Common Fault in Mine Hydraulic Powered Support

MAO Yi-lin, LIU Ze-gong

(School of Energy and Safety, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** In order to reduce the fault probability occurred in the hydraulic powered supports, the fault tree analysis method was applied to analyze the common faults of the hydraulic powered supports. The effective access to reduce the fault occurred probability of the hydraulic powered supports was obtained from the analysis. Fault tree qualitative, quantitative and importance analysis methods were used to study the impact of occurrence probability of basic failure event to the occurrence probability of top failure event of hydraulic support. The results showed that there were 17 minimal cut sets of the hydraulic support fault tree, by the minimal cut sets and we could directly estimated the failure mode with highest occurrence probability and take measures to decline the occurrence probability of hydraulic support failure. The minimal cut sets were utilized to analyze the probability importance of basic event and the key importance, and the basic event that was high-impact and sensitivity to the top event occurrence probability was obtain. Reduce the basic failure events of high probability importance and key importance could effectively reduce the occurrence probability of hydraulic support failure.

**Key words:** hydraulic powered support; fault; fault tree

## 1 概述

液压支架(图1)是以高压液体作为动力, 由液压控制系统与金属结构件组成的支护和控制煤矿井下综采(综放)工作面顶板的设备, 它能实现支撑、移架和推移输送机等一整套工序。液压系统包括各类千斤顶、控制阀、胶管、接头等; 结构件通常包括顶梁、前梁、立柱、掩护梁、护帮板、连杆、底座和各类销轴、压块等。它是一种具有复杂性和随机性的工况和特性的矿山机械。

液压支架在矿井内长时间、高强度地承受重载、振动、冲击、摩擦和润滑不良等工况条件, 工

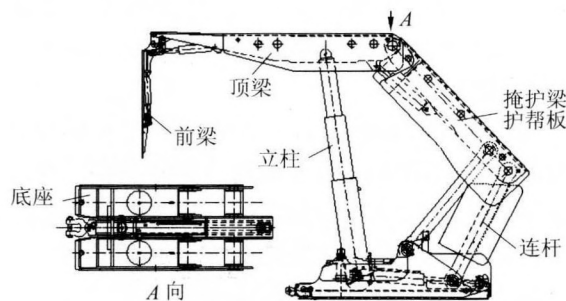


图1 液压支架结构

作环境十分恶劣。这就导致了液压支架故障的频繁发生, 甚至造成事故, 严重影响矿井的生产安全。

## 2 液压支架事故树分析

### 2.1 液压支架事故树的建立

液压支架事故树的建立采用人工演绎法。通过分析液压支架事故是怎样发生的找出可能导致顶事

件发生的第 1 层故障事件, 再对第 1 层故障事件进行分解, 得出导致第 1 层故障事件发生的下一层故障事件, 以此类推, 直到得出的故障事件无法再分解为止。无法再分解的故障事件就称为事故树的基本事件<sup>[1]</sup>。液压支架事故树如图 2 所示。

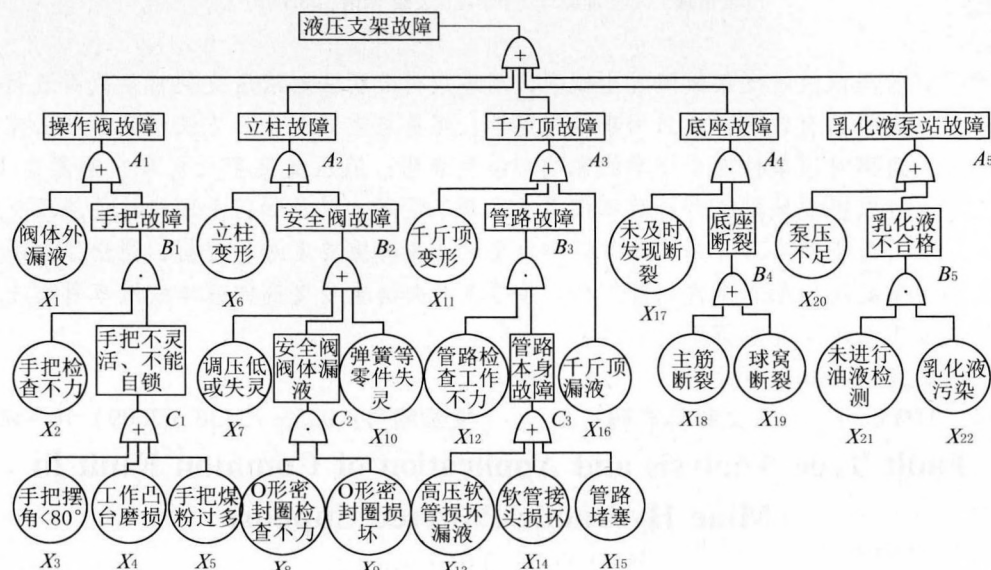


图 2 液压支架事故树

编制液压支架事故树从顶事件开始, 逐级分析导致顶事件发生的中间事件和基本事件, 按照逻辑关系, 用逻辑门符号连接上下层事件<sup>[2]</sup>。例如, 顶事件“液压支架故障”主要是由 5 个中间故障事件导致, 任意 1 个中间故障事件的发生都可以使顶事件发生, 因而 5 个中间故障事件之间用“或”门连接起来。基本故障事件“手把检查不力”与中间故障事件“手把不灵活、不能自锁”同时发生时, 中间故障事件“手把故障”才能发生, 因而这 2 个事件之间用“与”门连接起来。以此逐级向下演绎成如图 2 所示的液压支架的事故树。

### 2.2 事故树分析

1) 最小割集的求取。事故树中引起顶事件发生的基本事件的集合称为割集, 割集不止一个, 在割集中, 凡不包含其他割集的, 称为最小割集。最小割集是导致顶事件  $T$  发生的充分必要条件<sup>[2]</sup>。

图 2 所示事故树的布尔表达式为

$$T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = (X_1 + B_1) + (X_6 + B_2) + (X_{11} + B_3 + X_{16}) + X_{17}B_4 + (X_{20} + X_{21}X_{22}) = (X_1 + X_2X_3 + X_2X_4 + X_2X_5) + (X_6 + X_7 + X_8X_9 + X_{10}) +$$

$$(X_{11} + X_{12}X_{13} + X_{12}X_{14} + X_{12}X_{15} + X_{16}) + (X_{17}X_{18} + X_{17}X_{19}) + (X_{20} + X_{21}X_{22})$$

由上式可得最小割集 17 个:

$$\begin{aligned} k_1 &= \{X_1\}; k_2 = \{X_2, X_3\}; k_3 = \{X_2, X_4\}; \\ k_4 &= \{X_2, X_5\}; k_5 = \{X_6\}; k_6 = \{X_7\}; \\ k_7 &= \{X_8, X_9\}; k_8 = \{X_{10}\}; k_9 = \{X_{11}\}; \\ k_{10} &= \{X_{12}, X_{13}\}; k_{11} = \{X_{12}, X_{14}\}; \\ k_{12} &= \{X_{12}, X_{15}\}; k_{13} = \{X_{16}\}; \\ k_{14} &= \{X_{17}, X_{18}\}; k_{15} = \{X_{17}, X_{19}\}; \\ k_{16} &= \{X_{20}\}; k_{17} = \{X_{21}, X_{22}\} \end{aligned}$$

通过以上分析可知, 液压支架事故树中, 可以导致顶事件必然发生的途径有 17 个。

2) 概率重要度分析。概率重要度表示各个基本事件发生概率的变化引起顶事件发生概率变化的程度; 事故树的概率重要度分析则是指研究各个基本事件发生概率对顶事件发生概率的影响<sup>[3]</sup>。得出了液压支架事故树各基本事件之间的概率重要度关系, 就可指导相关的使用维护人员降低哪几个基本事件的概率能迅速有效地降低液压支架事故的发生概率。

通过对淮南某大型煤矿 160 架国产 ZZ6600 型

液压支架 1 个月内各项基本故障事件发生情况的统计分析, 得出表 1 中各基本故障事件发生概率。

表 1 基本故障事件发生概率

| 代码       | 基本事件              | 发生概率 $q_i$ |
|----------|-------------------|------------|
| $X_1$    | 操作阀漏液             | 0.01       |
| $X_2$    | 手把检查不利            | 0.001      |
| $X_3$    | 手把摆度 $< 80^\circ$ | 0.005      |
| $X_4$    | 工作凸台磨损            | 0.005      |
| $X_5$    | 手把处煤粉过多           | 0.005      |
| $X_6$    | 立柱变形              | 0.000 01   |
| $X_7$    | 安全阀调压低或失灵         | 0.005      |
| $X_8$    | 密封圈检查工作不利         | 0.001      |
| $X_9$    | 密封圈损坏             | 0.01       |
| $X_{10}$ | 弹簧等零件失灵           | 0.001      |
| $X_{11}$ | 千斤顶变形             | 0.000 1    |
| $X_{12}$ | 管路检查工作不利          | 0.001      |
| $X_{13}$ | 高压软管损坏漏液          | 0.05       |
| $X_{14}$ | 高压软管接头损坏          | 0.01       |
| $X_{15}$ | 高压软管堵塞            | 0.01       |
| $X_{16}$ | 千斤顶漏液             | 0.05       |
| $X_{17}$ | 未及时发现底座断裂         | 0.001      |
| $X_{18}$ | 主筋断裂              | 0.000 1    |
| $X_{19}$ | 球窝断裂              | 0.000 1    |
| $X_{20}$ | 泵压不足              | 0.001      |
| $X_{21}$ | 未经行乳化液监测          | 0.001      |
| $X_{22}$ | 乳化液污染             | 0.01       |

利用首项近似法求取液压支架事故树顶事件发生概率  $Q$

$$Q \approx \sum_{j=1}^k \prod_{X_i \in k_j} q_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中  $k$ ——最小割集数;

$j, i$ ——最小割集和基本事件的序号;

$q_i$ ——第  $i$  个基本事件的发生概率;

$X_i \in k_j$ ——属于第  $j$  个最小割集  $k_j$  的第  $i$  个基本事件  $x_i$ 。

将表 1 数据代入, 得:  $Q = 6.72 \times 10^{-2}$ 。

求液压支架事故树概率重要系数  $I_{p(i)}$ :

$$I_{p(i)} = \partial Q / \partial q_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

根据公式计算得出液压支架事故树各基本事件之间概率重要度关系如下:

$$\begin{aligned} I_{p(1)} &= I_{p(6)} = I_{p(7)} = I_{p(10)} = I_{p(11)} = I_{p(16)} = \\ I_{p(20)} &> I_{p(12)} > I_{p(2)} > I_{p(8)} = I_{p(21)} > I_{p(3)} = \\ I_{p(4)} &= I_{p(5)} = I_{p(9)} = I_{p(13)} = I_{p(14)} = I_{p(15)} = \\ I_{p(18)} &= I_{p(19)} = I_{p(22)} > I_{p(17)} \end{aligned}$$

3) 关键重要度分析。关键重要度分析是指各个基本事件发生概率的变化率与顶事件发生概率的变化率之间的关系<sup>[4]</sup>。得出了液压支架事故树的各个基本事件的关键重要度关系, 就可以指导相关的使用维护人员降低关键重要度大的基本事件以便有效快速地降低顶事件的发生概率, 因此, 分析得出事故树中各基本事件的关键重要度的次序具有很大的实际意义。

液压支架事故树临界重要度系数  $I_{c(i)}$ :

$$I_{c(i)} = q_i I_{p(i)} / Q \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中:  $I_{p(i)}$  为第  $i$  个基本事件的概率重要度系数。

根据各基本事件和顶事件的发生概率, 运用近似计算公式求出基本事件关键重要度次序为

$$\begin{aligned} I_{c(16)} &> I_{c(1)} > I_{c(7)} > I_{c(10)} = I_{c(20)} > I_{c(11)} > \\ I_{c(12)} &> I_{c(13)} > I_{c(2)} > I_{c(6)} = I_{c(8)} = I_{c(9)} = \\ I_{c(14)} &= I_{c(21)} = I_{c(22)} > I_{c(3)} = I_{c(4)} = I_{c(5)} > \\ I_{c(15)} &> I_{c(17)} > I_{c(18)} = I_{c(19)} \end{aligned}$$

### 3 结 语

通过对液压支架事故树的定量分析, 得出对液压支架故障率影响较大的常见故障有立柱、千斤顶漏液, 安全阀、操作阀故障, 乳化液不合格等。根据液压支架实际的工作环境和状况, 相关技术人员可以对液压支架事故树的部分组成成分和基本事件的发生概率做相应的更改, 通过相似的计算分析步骤后可得出符合实际所使用的液压支架的常见故障情况。这一方法为液压支架的使用维修人员的工作提供了可参考的理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 王超, 王凯, 韦彩平, 等. 采煤面瓦斯爆炸事故的事故树分析与防治[J]. 能源技术与管理, 2008 (3).
- [2] 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.
- [3] 王思鹏. 事故树分析法在分析井下运输事故中的应用[J]. 煤炭科学技术, 2004 (5).
- [4] 陈宝. 基于 FTA 方法的瓦斯爆炸事故主控因素分析[J]. 江西煤炭科技, 2008 (4).

作者简介: 毛祎琳 (1982 -), 女, 湖南平江人, 助教, 硕士研究生, 从事煤矿设备安全与计算机应用研究。Tel: 13855418101, E-mail: ylmao@ aust. edu. cn

收稿日期: 2009-05-21; 责任编辑: 王宗禹