

文章编号: 1671-251X(2011)05-0030-04

DOI: CNKI: 32-1627/T.P. 20110428. 1948. 017

# 地下矿山巷道运输事故的致因分析

原虎军, 陈玉明

(昆明理工大学国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 针对地下矿山巷道运输事故的案例, 分析了导致事故的基本事件; 通过对22个基本事件构成事故破坏模式的调查分析, 得出了巷道运输事故的事故树; 采用最小割集、最小径集以及结构重要度的意义对发生事故的基本事件进行定性分析, 找出了导致运输事故基本事件的影响程度。该文有助于在防范事故发生时抓住主次因素, 对矿山企业运输安全管理具有参考意义。

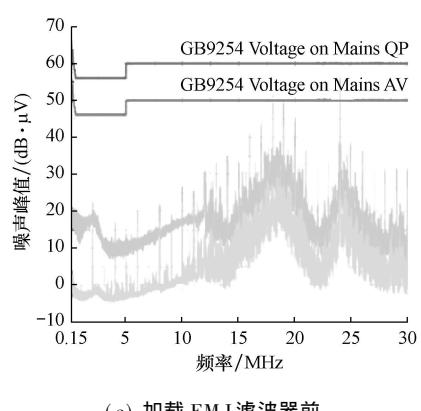
**关键词:** 地下矿山; 巷道运输; 运输事故; 事故树分析; 最小割集; 最小径集; 结构重要度

**中图分类号:** TD52      **文献标识码:** A      **网络出版时间:** 2011-04-28 19:48

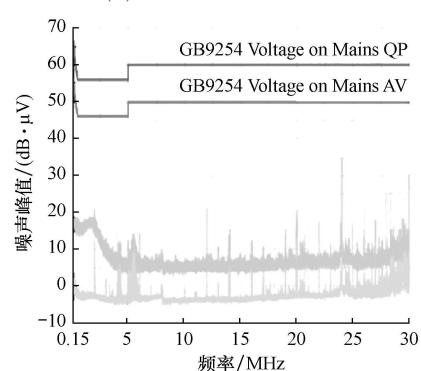
**网络出版地址:** <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.T.P.20110428.1948.017.html>

收稿日期: 2011-02-23

**作者简介:** 原虎军(1986-), 男, 甘肃陇西人, 硕士研究生, 研究方向为矿山安全技术及理论。E-mail: yuanhujun1@163.com



(a) 加载EMI滤波器前



(b) 加载EMI滤波器后

图 17 加载EMI滤波器前、后测量的传导电磁干扰总噪声

## 4 结语

通过加入EMI滤波器可有效抑制单片机电子

表2 抑制前后的电磁干扰总噪声对比

噪声	频率/MHz		
	12	18	24
抑制前/(dB·μV)	51	52	60
抑制后/(dB·μV)	20	15	35
抑制分贝/(dB·μV)	31	37	25

设备电路中的传导电磁干扰总噪声, 使设备在复杂的环境下不易受到电磁干扰噪声而引起设备误动作。该抑制单片机传导电磁干扰噪声的优化方案已应用到了黑龙江鹤岗煤矿水泵系统中的矿用多功能控制驱动器中, 有效抑制了该驱动器中的电磁干扰, 使驱动器无误动作现象, 有效改善了煤矿水泵系统的稳定性。

## 参考文献:

- [1] 姚天任, 孙洪. 现代数字信号处理[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000.
- [2] 马伟明. 电力电子系统中的电磁兼容[M]. 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 2000.
- [3] 赵阳, 李世锦, 孟照娟. 传导性EMI噪声的模态分离与噪声抑制[J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2004, 4(4): 1-4, 8.
- [4] 臧扬. MCS51单片机系统电磁干扰测试研究[J]. 装备环境工程, 2008, 5(4): 81-83.

# Analysis of Causes of Transportation Accidents in Underground Mine Laneway

YUAN Hu-jun, CHEN Yu-ming

(Faculty of Land Resource Engineering of Kunming University of Science and Technology,  
Kunming 650093, China)

**Abstract:** In view of cases of transportation accident of underground mine laneway, the paper analyzed basic events which can cause transportation accident. Through investigation and analysis of accident mode constituted by twenty-two basic events, it obtained fault tree of transportation accident. Then it used the minimum cut set, the minimum path set and structural importance significance to make qualitative analysis of basic events causing accident and found out influence level of basic events on transportation accident. The paper helps to know the primary and secondary factors to prevent accidents, which has reference to transportation safety management for mine enterprises.

**Key words:** underground mine, laneway transportation, transportation accident, fault tree analysis, the minimum cut set, the minimum path set, structural importance

## 0 引言

根据统计, 矿井运输事故是煤矿的三大事故之一<sup>[1]</sup>, 在死亡事故中运输事故占 21.9%, 在重伤事故中运输事故占 40%<sup>[2]</sup>。根据云南省安全生产监督管理局 2005—2009 年对全省非煤矿山事故的统计数据, 车辆伤害事故次数及伤亡人数均位居在冒顶片帮、坍塌、物体打击和放炮事故之后。目前, 对前面 4 种事故已有许多较完善致因理论分析, 但对井下巷道运输事故的研究很少。本文根据云南省内典型的井下巷道运输案例, 应用安全系统工程事故树理论对地下矿山巷道运输事故致因进行分析。

## 1 事故树理论

事故树分析法(Fault Tree Analysis, FTA)又称故障树分析, 是把系统可能发生或已发生的事故(称为顶事件)作为分析起点, 将导致事故原因的事件按因果逻辑关系逐层列出, 用树性图表表示出来, 构成一种逻辑模型, 然后定性或定量地分析事件发生的各种可能途径及发生的概率, 找出避免事故发生的各种方案并优选出最佳安全对策。FTA 法形象、清晰, 逻辑性强, 它能对各种系统的危险性进行识别评价, 既适用于定性分析, 又能进行定量分析。我国在 1978 年由天津东方化工厂首先将该方法用于高氯酸生产过程中的危险性分析, 对减少和预防事故的发生取得了明显的效果。之后又在矿业、冶金、机械、航空等工业部门得到普遍的推广和应用<sup>[3]</sup>。

## 2 巷道运输危险因素分析

地下矿山机车运输条件比斜巷优越, 但在平巷

巷道中, 敷设各种管路、电缆, 设置风门等对行车行人不利, 更重要的是有些巷道变形失修, 局部断面不足、躲避硐室及运输信号不规范, 加之司机违章操作, 行人违章行走, 易造成机车运输事故, 事故主要形式及原因如下:

(1) 列车运行伤人事故。以撞车、追尾与掉道碰人等事故居多, 常见事故有司机违章作业, 开着车下车扳道岔, 用集电弓作操作开关, 把头探出车外观望等造成司机伤害事故; 人员素质低, 安全意识差, 机车与矿车、矿车与矿车的连接不符合要求, 或使用不合格的连接件, 导致设备故障, 造成人身伤害事故; 管理水平跟不上, 轨道质量差, 巷道杂物多, 有的还缺少必要的阻车器、信号灯等, 造成机车伤人事故, 倒车伤人, 制动装置失灵造成事故。

(2) 行车行人伤亡事故。列车行驶中与在道中心行走人员相撞, 人员违章蹬、扒、跳车碰人, 从而造成伤人事故。

## 3 巷道运输事故的事故树分析

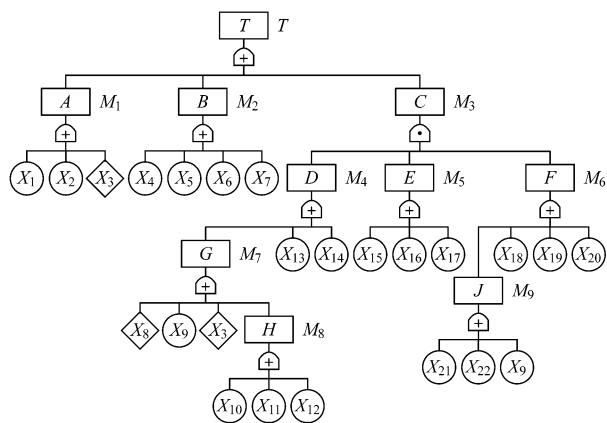
首先找出导致事故发生的基本事件, 然后依据事故发生途径的相对逻辑关系构造出事故树, 再利用布尔代数法简化该事故树, 进而计算出其最小割集和最小径集, 确定各基本事件的结构重要度。

### 3.1 事故树构造

通过事故调查分析, 对导致地下矿井巷道运输事故的 9 个中间事件、22 个基本事件及其发生的逻辑关系的分析, 构造如图 1 所示的事故树<sup>[4]</sup>。

### 3.2 最小割集的求解

由图 1 巷道(输送机)运输事故树中可得出结构函数:



$T$ - 巷道运输事故;  $A$ - 行人违章伤害;  $B$ - 运输机故障;  
 $C$ - 行人躲避失效;  $D$ - 信号失效;  $E$ - 行人无法躲避;  
 $F$ - 操作失效;  $G$ - 司机未发出信号;  $H$ - 视线不良;  
 $J$ - 机车司机违章;  $X_1$ - 跳爬车失足;  $X_2$ - 与输送机抢道;  
 $X_3$ - 安全培训不足;  $X_4$ - 使用不合格产品;  $X_5$ - 未定期专业检查;  
 $X_6$ - 班前未检查;  $X_7$ - 超载、超速;  $X_8$ - 信号系统故障;  
 $X_9$ - 司机精神不集中;  $X_{10}$ - 输送机照明坏;  $X_{11}$ - 巷道中照明不足;  
 $X_{12}$ - 顶车行驶;  $X_{13}$ - 行人精神不集中;  $X_{14}$ - 周围噪音太大;  
 $X_{15}$ - 无躲避硐室;  $X_{16}$ - 巷道断面不足;  $X_{17}$ - 设备、材料堆积;  
 $X_{18}$ - 制动不及时;  $X_{19}$ - 机械制动失效;  $X_{20}$ - 电气制动失效;  
 $X_{21}$ - 无证驾驶;  $X_{22}$ - 司机违反操作规程

图1 巷道(输送机)运输事故树

$$\begin{aligned}
 T &= A + B + C = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + \\
 &X_7 + DEF = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + \\
 &X_7 + (G + X_{13} + X_{14})(X_{15} + X_{16} + X_{17}) \\
 &(X_{18} + X_{19} + X_{20} + J) = X_1 + X_2 + X_3 + \\
 &X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + (H + X_3 + X_8 + \\
 &X_9)(X_{15} + X_{16} + X_{17})(X_{18} + X_{19} + X_{20} + \\
 &X_{21} + X_{22} + X_9) = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + \\
 &X_6 + X_7 + (X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_3 + X_8 + \\
 &X_9)(X_{15} + X_{16} + X_{17})(X_{18} + X_{19} + X_{20} + \\
 &X_{21} + X_{22} + X_9) \quad (1)
 \end{aligned}$$

式中:  $T$  为事故树中的顶上事件;  $A \sim J$  为事故树中的中间事件;  $X_i$  为事故树中心基本事件,  $i = 1, 2, \dots, 22$ 。

再将式(1)利用逻辑布尔代数展开, 经化简后, 共有 53 个最小割集, 即  $K_1 = \{X_1\}$ ,  $K_2 = \{X_2\}$ ,  $K_3 = \{X_{12}, X_{16}, X_{21}\}$ ,  $K_4 = \{X_{12}, X_{17}, X_{21}\}$ ,  $K_5 = \{X_{12}, X_{15}, X_{18}\}$ ,  $K_{53} = \{X_8, X_{15}, X_{20}\}$ 。

### 3.3 最小径集的求解

将原事故树中的“或”、“与”门代替, 基本事件用其对偶事件代替, 可得到原事故树的成功树, 如图 2 所示。只需求成功树的最小割集, 便可得到原事故树的最小径集。结果如下:

$$T' = X'_1 + X'_2 + A'B'C' = X'_1 + X'_2 + X'_3 +$$

$$\begin{aligned}
 &X'_4 + X'_5 + X'_6 + X'_7 + D'E'F' = X'_1 + \\
 &X'_2 + X'_3 + X'_4 + X'_5 + X'_6 + X'_7 + (X'_{10} + \\
 &X'_{11} + X'_{12} + X'_3 + X'_8 + X'_9)(X'_{15} + X'_{16} + \\
 &X'_{17})(X'_{18} + X'_{19} + X'_{20} + X'_{21} + X'_9) \quad (2)
 \end{aligned}$$

式中:  $T'$  为事故树中的顶上事件的补事件;  $A' \sim J'$  为事故树中的中间事件的补事件;  $X'_i$  为事故树中的基本事件的补事件,  $i = 1, 2, \dots, 22$ 。

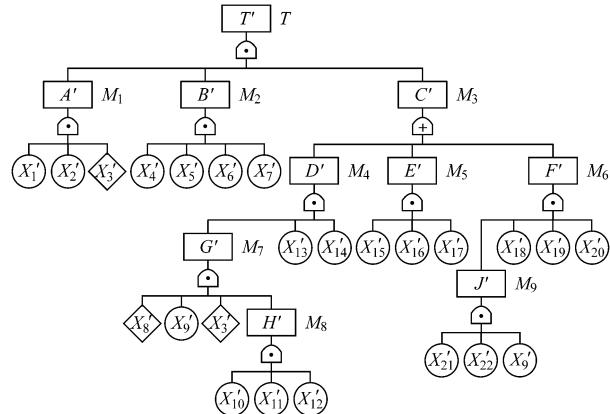


图2 巷道(输送机)运输成功树

将式(2)展开, 经逻辑化简后, 共有 3 个最小割集, 即原事故树共有 3 个最小径集:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \{X'_1, X'_4, X'_{10}, X'_2, X'_3, X'_5, X'_6, X'_7, X'_{13}, \\
 &X'_{14}, X'_8, X'_9, X'_{11}, X'_{12}\}; \\
 P_2 &= \{X'_1, X'_4, X'_{15}, X'_2, X'_3, X'_5, X'_6, X'_7, X'_{16}, \\
 &X'_{17}\}; \\
 P_3 &= \{X'_1, X'_4, X'_{21}, X'_2, X'_3, X'_5, X'_6, X'_7, X'_{18}, \\
 &X'_{19}, X'_{20}, X'_{22}, X'_9\}.
 \end{aligned}$$

### 3.4 结构重要度分析

事故树中各基本事件对其顶上事件的影响程度是不同的。分析结构重要度, 排出各种基本事件的结构重要度顺序, 可以从结构上了解各基本事件对顶上事件的影响程度如何, 以便按重要度顺序安排防护措施, 加强控制, 也可以依此顺序编写安全检查表。

各基本事件的结构重要度可利用下面的近似判别式<sup>[5]</sup>计算:

$$I(i) = \sum_{x_i \in E_r} \frac{1}{2^{n_i-1}} \quad (3)$$

式中:  $I(i)$  为基本事件  $i$  结构重要度系数的近似判别值;  $n_i$  为基本事件  $i$  所属最小割(径)集包含的基本事件数。

根据式(3)计算各基本事件的结构重要度顺序依次为

$$I(15) > I(17) = I(16) > I(12) = I(18) =$$

$I(19) > I(20) > I(13) = I(14) > I(8) > I(9) > I(5) = I(6) = I(7) = I(1) = I(4) = I(2) = I(3) > I(21) = I(22)$

其中:  $I(15) = 0.1006$ ;  $I(17) = I(16) = 0.0975$ ;  $I(12) = I(18) = I(19) = 0.0818$ ;  $I(20) = 0.0755$ ;  $I(13) = I(14) = 0.0629$ ;  $I(8) = 0.0566$ ;  $I(9) = 0.0440$ ;  $I(5) = I(6) = I(7) = I(1) = I(4) = I(2) = I(3) = 0.0189$ ;  $I(21) = I(22) = 0.0126$ 。

### 3.5 分析结论

(1) 从事故树的逻辑门构成来看, 逻辑或门占 90%, 其说明该事故发生的可能性比较大, 即危险性是比较大的。此事故树最小割集有 53 组, 事故发生可能途径就有 53 种, 而最小径集只有 3 组, 因此该事故发生途径很多但控制措施少, 即容易发生但难控制。

(2) 从最小割集和最小径集分析计算来看, 巷道运输事故树的最小割集为 53 个, 即导致顶上事件发生的可能途径有 53 条; 巷道运输事故树的最小径集为 3 个, 即只有 3 条途径预防顶上事件的发生。因此, 该事故发生的可能途径远多于控制其不发生的途径。

(3) 由结构重要度的分析可知, 基本事件  $X_{15}$  对顶上事件发生的影响最大, 基本事件  $X_{16}、X_{17}$  的影响次之, 而基本事件  $X_{21}、X_{22}$  的影响最小。

输送机未定期专业检测、班前未检查、超载超速运行、使用“三违”产品这 4 个基本事件都可能造成输送机故障, 从而导致地下矿山井下巷道运输事故的发生。故矿山企业必须严格按照规范购买质量可靠的运输设备, 定期进行专业检查维修, 在交接班时也应检查并做好交接班记录, 在输送机运行时严禁超速超载, 降低输送机本身发生故障的概率, 从而提高运输系统的本质安全性。

井下行人跳爬车失足、与输送机抢道、安全培训不足这 3 个基本事件都可能导致行人在井下巷道内违章触发巷道运输事故。井下工人的体力负荷比较大, 下班时已比较疲惫, 就可能出现爬输送机现象, 从而导致爬跳车失足, 发生伤人事故。因此, 企业必须强化内部安全管理制度, 加强对工人的安全教育, 提高其安全意识, 使其真正认识到爬跳车等违章行为的危害, 打消侥幸心理。

另外, 输送机信号失效、行人无法躲避、机车司机操作失效这 3 个中间事件能导致行人避让不及而

发生输送机伤人事故。其中输送机司机安全培训不足、周围噪声太大、视线不良、输送机司机违反操作规程等原因都能导致输送机司机未发出信号这一中间事件的发生; 无躲避硐室、巷道断面不足、设备材料堆积这 3 个基本事件都能导致行人无法躲避这一中间事件的发生; 输送机司机违章操作、制动失效及精神不集中都可能导致输送机司机操作失效这一中间事件的发生。因此, 要控制输送机信号失效这一中间事故的发生必须坚决杜绝无证驾驶, 加强对输送机司机岗位培训, 使其能熟练开车; 及时维修损坏的机车照明, 改善井下巷道的照明状况, 严格按照《煤矿安全规程》规定布置并修护照明设备, 以便提供良好的视线; 另外, 应努力将井下噪音降至最小, 以便提供良好的听觉条件。其次, 要消除行人无法躲避这一中间事件, 就必须改善大巷的状况, 拓宽增高巷道断面不足的地方, 按《煤矿安全规程》合理建造躲避硐室并悬挂警示牌, 严禁在运输人行道上堆放设备、材料、矿渣等。最后, 要控制机车司机操作失效这一中间事件的发生, 就必须加强输送机司机的安全培训和对机车制动设备的检查, 司机必须严格执行操作规程, 严禁无证上岗或心不在焉, 消除潜在的危险因素, 避免事故的发生。

### 4 结语

就地下矿山巷道运输事故案例, 应用 FTA 方法对导致事故的 22 项基本事件进行分析得出: 由最小割集得出有 53 项导致巷道运输事故的途径; 由最小径集得出有 3 个预防该事故发生的对策措施; 由结构重要度计算可知, 基本事件中的无躲避硐室、巷道断面不足、设备材料堆积、顶车行驶对顶上事件(即巷道运输事故)的影响最大, 故是采取控制对策的重点。

### 参考文献:

- [1] 杨玉中, 石琴谱. 电机车运输安全性模糊综合评判[J]. 地质勘探安全, 1999, 6(4): 13-16.
- [2] 杨玉中, 石琴谱. 电机车运输事故的事故树分析[J]. 工业安全与防尘, 1999(7): 31-34.
- [3] 国家安全生产监督管理总局. 安全评价[M]. 3 版. 北京: 煤炭工业出版社, 2006: 136.
- [4] 李彬, 郭忠林. FTA 在某地下矿运输事故安全评价中的应用[J]. 铜业工程, 2005(2): 20-21.
- [5] 张景林, 崔国璋. 安全系统工程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002: 67.