

# 矿井竖井提升系统安全事故的事故树分析及安全管理

朱永刚, 张钦礼, 王新民

(中南大学, 湖南 长沙 410083)

**摘 要:** 矿井提升事故是地下矿山的重大安全事故之一。竖井提升事故树分析结果表明, 人的不安全行为、管理缺陷及设备不安全状态是竖井提升事故发生的主要原因。为保障矿山提升系统的安全, 必须加强对全体人员, 尤其是对提升工作人员的安全教育和技能教育, 严格执行提升安全管理制度, 加强对提升系统的定期检查与维修, 保证提升设备时刻处于安全状态。

**关键词:** 竖井提升系统; 安全事故; 事故树分析法; 安全管理

## 0 前 言

地下矿山的提升系统分为斜井提升和竖井提升两种类型, 由于提升系统, 尤其是竖井提升系统主要是在井筒内沿高度方向实现物流和人流的运输, 因此一旦发生事故, 就会对全矿生产产生重大影响, 甚至会造成财产损失和人员伤亡。因此, 必须对提升事故进行科学分析, 找出事故发生的主要原因, 提出改进措施, 运用科学的安全生产方法来减少甚至避免事故的发生。

矿山竖井提升设备主要包括提升容器、提升钢丝绳、提升机、天轮和井架以及装卸载附属装置等。其中提升容器有罐笼和箕斗两种, 罐笼主要用于人员、材料和设备的提升, 而箕斗主要用于矿石和废石的提升。提升机有两大类, 即单绳缠绕式和多绳摩擦式。竖井提升设备一般比较复杂而庞大, 属周期性动作式输送设备, 需要频繁的启动和停车, 工作条件差。因此, 影响提升安全性的因素众多。由于事故树分析法 (Fault Tree Analysis, 简称 FTA 法) 可以利用树形结构, 层层剖析事故原因。因此, 特别适合于系统复杂的提升系统事故分析。

## 1 竖井提升事故的主要危害因素辨识

竖井提升事故容易造成人员伤亡, 设施和设备损坏。而事故的发生主要是由人的不安全行为、环境条件和设备的故障所造成的。竖井提升事故包括两大类: 提升过程中, 人员在上下罐笼或罐笼运行过程中由于人为失误和提升设备的故障而导致的事故, 这类事故后果严重, 除了会造成提升设备损害,

给矿山生产带来经济损失外, 严重时还会造成人员的重大伤亡; 提升过程中, 货物 (设备、材料、矿石、废石等) 在进出提升容器或提升容器运行过程中由于人为失误和提升设备的故障而导致的事故。常见的竖井提升事故有提升货物或人员坠落、过卷、卡罐、运行不畅、停罐不到位等。各类提升设备的事故调查结果表明, 造成事故的主要因素有: 设备的不安全状态、人的不安全行为、安全管理缺陷。

### 1.1 设备的不安全状态

(1) 钢丝绳强度不够。根据金属非金属矿山安全规程 (GB16424 - 1996), 提升钢丝绳安全系数升降人员时不小于 9, 升降物料时不小于 7.6, 应定期进行试验并每日进行检查。如果提升钢丝绳安全系数不够, 产生严重扭曲或变形, 则在出现过卷时, 容易被拉断, 引起坠罐。河北玉石洼铁矿、陕西金牛煤矿和山东东大煤矿分别在 1974 年 3 月, 2005 年 2 月和 2005 年 4 月发生的坠罐事故都是因为钢丝绳强度不够而引起的。

(2) 提升机制动装置失灵。山东招远市春竹矿业有限公司就曾 2003 年 2 月因提升制动装置失控, 导致跑罐, 造成 5 人坠落死亡的重大安全事故。

(3) 设备的保护装置 (如防坠器、提升机防过卷装置) 存在缺陷。竖井提升中经常出现的过卷事故大多由于防过卷装置不符合要求而致。

(4) 连接装置不满足安全要求。

(5) 深度指示器调零装置失灵。

### 1.2 人的不安全行为

(1) 操作人员缺乏安全知识, 司机工作失职, 违章操作。河北德盛煤矿在 2004 年 6 月发生的溜罐

事故其部分原因就是卷扬司机操作失误。

(2) 乘罐人员缺乏安全知识, 如擅自开启罐笼门防护链, 未等罐笼停稳即上下罐笼等。

(3) 井口及各中段司罐人员责任心不强, 不及时关闭安全门、锁闭摇台或托台。

(4) 信号工与卷扬司机在收发提升信号时, 忽视相互确认。1986年, 湖南汝城钨矿发生的死亡 1 人、电机车坠毁事故就是因为信号工在电机车开进罐笼一半时, 发出 / 一长一短 0 不规则信号, 而卷扬司机收到此信号后, 想当然的认为是提升信号 (两声短铃), 便将罐笼提升起来, 当罐笼升高约 1.7 m 时, 电机车脱落, 罐笼掉到竖井底部, 造成车毁人亡。

1.3 安全管理缺陷

(1) 对有关提升系统的安全规章制度贯彻不力, 如违规人货混运等。如江西江上煤矿曾在 1990 年 12 月发生卡罐, 事故导致死亡 3 人, 其原因是因为人员与超长物件混装, 致使超长物件卡住井壁, 引起罐笼晃动, 3 人被甩出罐外而坠井死亡。

- (2) 对设备使用管理不善, 缺乏定期检查。
- (3) 监督系统不健全, 如超载监督等。

2 事故树分析

事故树分析法是从一个可能的事件开始, 一层一层的逐步寻找引起事故的触发事件、直接原因和间接原因, 分析这些事件之间的相互逻辑关系, 用逻辑

树图把这些原因事件以及它们之间的逻辑关系表示出来。该法是一种演绎分析法, 即从结果分析原因的方法。它应用数学逻辑方法, 可以对系统中各种危险进行定性和定量分析、预测及评价。事故树分析包括求解最小割集、最小径集、顶上事件发生概率、结构重要度、概率重要度和临界重要度。其中, 最小割集反映系统的危险性, 最小径集则反映系统的安全性。

2.1 事故树的建立

为了预防竖井提升事故的发生, 必须进行竖井提升事故树分析, 找出可能导致事故发生的基本事件, 并采取相应的控制措施。竖井提升事故主要危害因素辨识结果表明, 造成竖井提升事故的主要原因有跑罐、提升机制动装置失灵、钢丝绳断裂、防坠器失效、提升机过卷、信号设备发生错误, 缓冲器故障、操作失误等。把提升设备运行过程中人员伤亡事故作为顶上事件, 建立如图 1 所示的事故树。

2.2 事故树的定性分析

(1) 求最小割集。事故树的结构函数为:

$$T = X_1 \# 1X_2 \# X_3 \# X_4 \# (X_5 + X_6) \# (X_7 + X_8 + X_9 + X_{10}) + X_{11} + X_{12} + X_{13} \# (X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19}) + X_{11} \# X_{20} \# (X_{21} + X_{22}) \# (X_6 + X_{23})$$

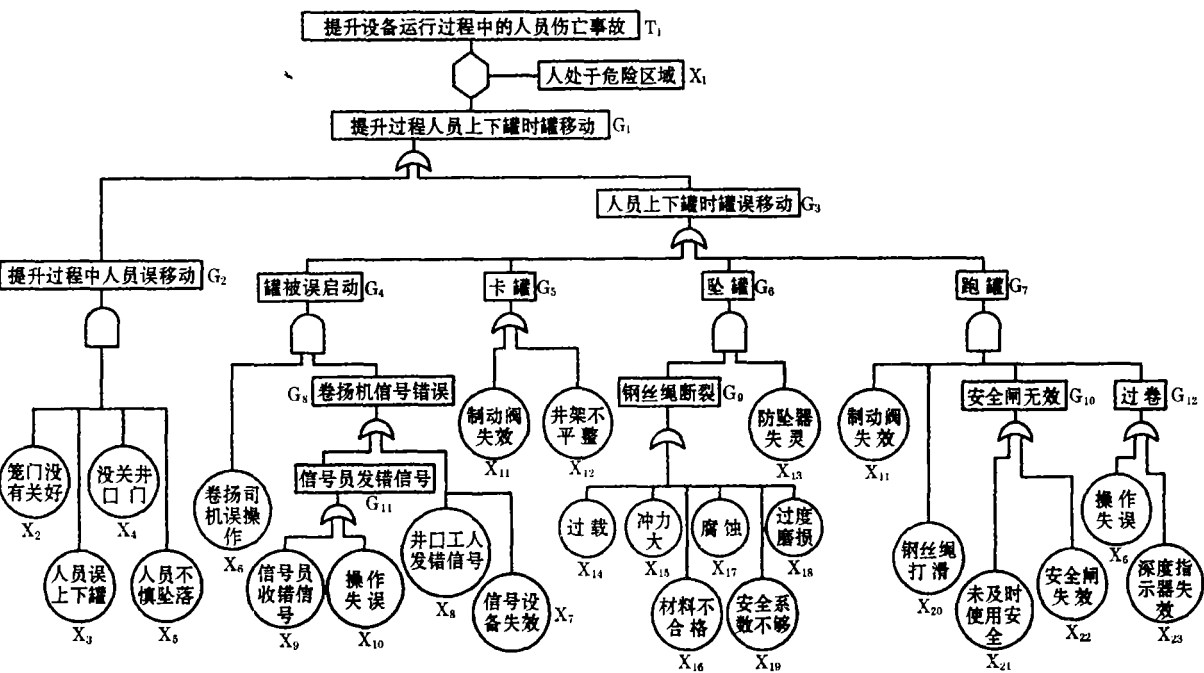


图 1 竖井提升事故树

该事故树有 17 个最小割集:

$$\begin{aligned} K_1 &= \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\} & K_2 &= \{X_1, X_6, X_7\} \\ K_3 &= \{X_1, X_6, X_8\} & K_4 &= \{X_1, X_6, X_9\} \\ K_5 &= \{X_1, X_6, X_{10}\} & K_6 &= \{X_1, X_{11}\} \\ K_7 &= \{X_1, X_{12}\} & K_8 &= \{X_1, X_{13}, X_{14}\} \\ K_9 &= \{X_1, X_{13}, X_{15}\} & K_{10} &= \{X_1, X_{13}, X_{16}\} \\ K_{11} &= \{X_1, X_{13}, X_{17}\} & K_{12} &= \{X_1, X_{13}, X_{18}\} \\ K_{13} &= \{X_1, X_{13}, X_{19}\} \\ K_{14} &= \{X_1, X_{11}, X_{20}, X_{21}, X_6\} \\ K_{15} &= \{X_1, X_{11}, X_{20}, X_{22}, X_6\} \\ K_{16} &= \{X_1, X_{11}, X_{20}, X_{21}, X_{23}\} \\ K_{17} &= \{X_1, X_{11}, X_{20}, X_{22}, X_{23}\} \end{aligned}$$

## (2) 求结构重要度

根据近似计算公式, 所求的基本事件结构重要度次序为:

$$\begin{aligned} I_5(1) &> I_5(13) = I_5(6) > I_5(11) > I_5(20) \\ &> I_5(21) = I_5(22) = I_5(23) > I_5(2) = I_5(3) \\ &= I_5(4) = I_5(5) = I_5(7) = I_5(8) = I_5(9) = \\ &I_5(10) = I_5(12) = I_5(14) = I_5(15) = I_5(16) \\ &= I_5(17) = I_5(18) = I_5(19) \end{aligned}$$

## 3 竖井提升安全管理措施

竖井提升事故树分析结果表明, 影响竖井提升安全的主要因素依次为:  $X_1$  (人在危险区域外);  $X_6$  (司机的操作失误);  $X_{13}$  (防护装置失效);  $X_{11}$  (制动阀失效);  $X_{20}$  (安全阀失灵)。为防止在提升过程中发生人员伤亡事故, 必须采取安全管理措施。

### 3.1 全面检查, 改进技术, 提高设备的可靠性

(1) 提升设备的设计、安装、制造应该符合有关的技术规范和安全规程的要求。

(2) 提升容器、连接装置、防坠器、罐耳、罐道、阻车器(罐挡)、摇台、装卸设备、天轮、钢丝绳以及提升绞车, 都必须按规定周期对其进行检查和维修, 使设备处于完好状态, 防止由于磨损、老化、腐蚀、疲劳等原因降低设备的安全性。

(3) 提高矿井提升的机械化水平, 尽可能使用先进可靠的设备。

(4) 消除生产作业场所的不安全因素, 创造安全的环境。

### 3.2 以人为本, 开展各种形式的安全教育

大部分事故都是由于人的不安全行为造成的,

如工作态度不端正, 缺乏安全意识, 缺少经验, 不良生理或心理健康状况等, 因此必须坚持以人为本, 加强培训与教育, 以减少事故的发生。

(1) 加强对全体人员的安全教育, 抓好安全基础工作, 牢固树立/安全第一, 预防为主 0 的思想, 把安全第一的方针落到实处, 广泛深入地进行安全知识教育, 认真开展反/三违 0 活动。

(2) 加强提升卷扬工的职业道德教育和技能教育, 提高他们的素质。

(3) 加强对信号员与卷扬司机的协作教育, 信号员要准确无误地传达信号; 卷扬司机收到信号准时开机启动。收到不明确、不规则或模糊信号, 要同信号员联系, 问明情况。否则, 不要开机。

(4) 了解提升卷扬人员的生理和心理健康状况, 及时发现问题, 有针对性的采取防范措施。

### 3.3 加强安全管理, 完善规章制度

(1) 加强安全生产责任制度, 实行责任到人。

(2) 加强安全规章制度的执行力度和违章时的处罚力度。

## 4 结 论

提升系统是地下矿山的咽喉工程之一, 直接与工人的人身安全息息相关。竖井提升系统发生事故的主要因素包括跑罐、提升机制动装置失灵、钢丝绳断裂、防坠器失效、提升机过卷、信号设备发生错误、缓冲器故障、操作失误等。竖井提升设备事故的事树分析结果表明, 人的不安全行为及安全管理缺陷是导致竖井提升安全事故的主要原因, 为此, 应加强对司乘人员的安全教育, 制定严格的管理制度, 强化安全管理执行力度, 提高提升设备的可靠性和司乘人员的职业道德与技术水平, 以保证矿山的安全生产。

参考文献:

- [1] 陈宝智. 矿山安全工程 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1993
- [2] 张希武, 杨毅兴, 等. 矿井安全提升 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1989
- [3] 黎佩琨. 矿山运输与提升 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1987
- [4] 李世华. 矿井提升设备使用维修 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1991

(收稿日期: 2005- 07- 11)

作者简介: 朱永刚, 男, 硕士研究生, 主要研究矿山安全工程。