

坠罐事故发生概率分析体系

罗华山, 郭忠林

(昆明理工大学, 昆明 650093)

摘要: 本文针对目前对坠罐事故发生概率研究较少的现状, 结合统计学、事故树法以及数学修正的方法, 建立了一套适合坠罐事故发生概率分析的体系方法。并对体系方法中的各个部分进行了分析和讨论。本文中所用到的方法对坠罐事故发生概率, 以及其他工程项目中对事故概率的分析提供了有益的指导。

关键词: 概率; 安全; 坠罐; 事故树分析

中图分类号: TD 76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4172(2011)01-000-00

The Analysis System for Possibility of Cage Drop

LUO Huashan, GUO Zhonglin

(Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China)

Abstract: According to the situation of fewer researches on possibility of accident for cage drop, combining the statistics, FAT and mathematic modify theory, A set of system method for the possibility analysis of cage drop is established in this paper. By the way, the analysis and discussion for this system has been done in this paper. The methods used in this paper had provided a positive guidance for possibility of cage drop and other possibility of engineering projects.

Key words: possibility; safety; cage drop; FTA

0 引言

安全是人类生存和发展的基本前提, 但是随着人类的进步, 工业化的发展, 给人们带来巨大利益的同时也带来了更多的危险有害因素。危险有害因素是客观存在的, 不论采取怎样的措施都无法完全消除。但是我们可以通过系统工程的方法找出危险的存在, 在一定程度上消除或减少危险有害因素。对于不能消除或减少的危险有害因素, 我们也可采取相应的措施降低危险有害因素发生的概率。目前我国对事故发生概率的研究主要集中在单个元件的研究中, 对于特定系统发生事故概率的研究相对较少。对于事故发生概率问题的研究主要集中在安全评价和

风险评估中。而目前国内的安全评价报告和风险评估报告中又因为没有合适的方法描述事故发生概率，因此大多都避而不谈。

1 坠罐事故概率分析体系的构成

目前，对于事故发生概率的研究方法主要有：1) 对过去发生的同类事故进行大量的统计，用统计的概率进行评估；2) 事故树的相关理论和方法。

统计的方法来确定概率，对于过去的统计数据，只是反映了事故的发生遵循某一概率分布，但是对于特定的矿山，如果完全依据统计出来的规律来进行概率分析，那么就会得出所有的提升系统发生事故的的概率都是同等的概率。因此概率统计的方法可以揭示事故发生的概率，不能完全指出特定提升系统发生故障的概率。而基于事故树的计算方法，难于确定基本事件发生的概率。对于特定的系统来说，没有足够的事故数据来确定基本事故发生的概率。但事故树的方法给我们提供了一套很好的系统观念和计算方法。

统计的方法可以对事故树法中无法确定基本事件概率的问题进行很好的补充，因此可以将这两种方法结合起来，形成一个基于统计的坠罐事故树概率分析的方法。但是这样还有一个统计方法的缺陷没有解决，那就是对于统计的数据只是符合一般情况，而要应用于某一特定的系统进行分析的时候，就不能体现出系统的实际情况和统计数据之间的差异。对于偏差的问题，数学中的修正系数可以很好地解决这一问题。在结合了统计数据，事故树和修正系数的方法的基础上，我们可以构建如下的坠罐事故概率分析体系结构，如图 1。

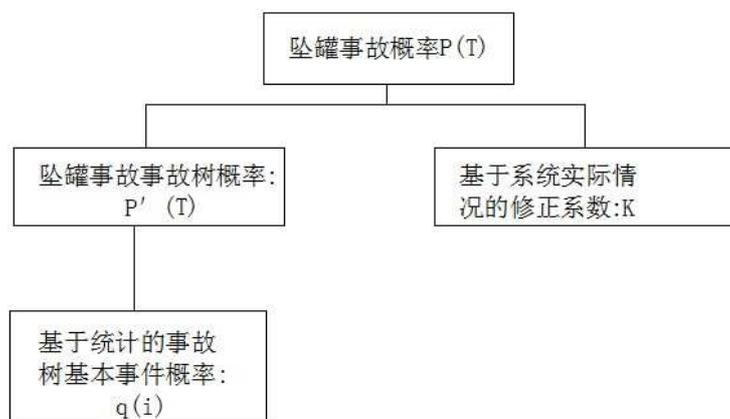


图 1 坠罐事故概率分析体系

Fig.1 The analysis system for possibility of cage drop

坠罐事故发生的概率可以简单的表达为:

$$P(T) = P'(T) \times K \quad (1)$$

2 坠罐事故的建立和分析

事故树的建立一般分为两种方法:一种是计算机辅助自动建立,另一种是人工建立事故树。对于小系统而言,一般通过人工建立事故树的方法,采用演绎法从顶上事件开始,由上至下、循序渐进的进行。下面以提升竖井的坠罐事故为例建立事故树^[1]。

通过对近几年提升系统坠罐事故的统计资料以及已有的分析资料的查询,以及现场实际调查,经过分析和研究,将坠罐事故作为顶上事件 T。坠罐事故的发生主要是由于钢丝绳的断裂和防坠器的失效等。而引起钢丝绳断裂的因素主要包括:超载、超速、制动装置失灵、钢丝绳磨损等 8 个。根据以上建立坠罐事故的事故树,如图 2。

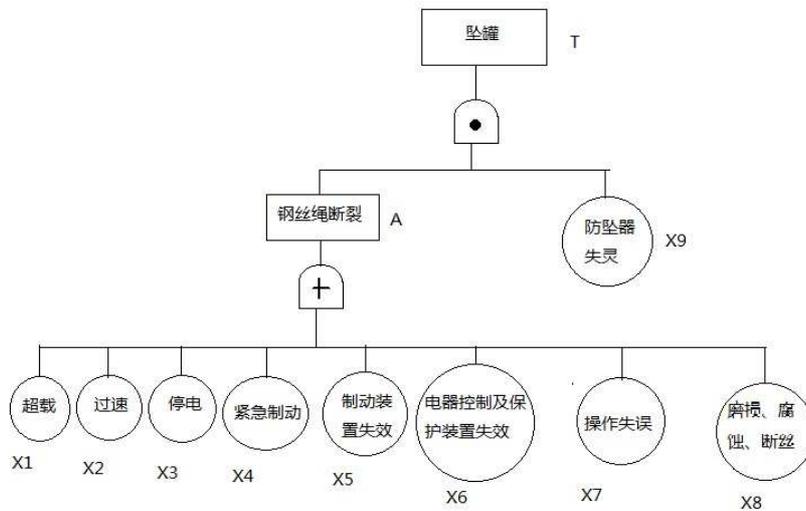


图 2 坠罐事故的事故树

Fig.2 The fault tree for cage drop

设 $P(T)$ 为顶上事件的概率, q_i 为基本事件的概率。事故树的关系表达式为:

$$T = X_9 \times (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8) \quad (2)$$

故事树最小割集有 8 个, 根据布尔代数计算得到:

$\{X_1, X_9\}, \{X_2, X_9\}, \{X_3, X_9\}, \{X_4, X_9\}, \{X_5, X_9\}, \{X_6, X_9\}, \{X_7, X_9\}, \{X_8, X_9\}$ 。

3 基于统计的事故树基本事件概率

底事件发生的概率，目前主要的方法是根据经验假设其服从指数分布^[2]：

$$P(X_i) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3)$$

X_i —底事件； λ —底事件的实效率； t —系统运行时间。

λ 可以根据顶上事件坠罐事故年故障次数和底事件的故障次数之比获得。例如： X_4 为“紧急制动”事件，假设根据统计，1000例坠罐事故中由于紧急制动引起的事故有32起。则 $\lambda = 32/1000 = 0.032$ ，取 $t = 1$ 年。则 $P(X_4) = 1 - e^{-0.032} = 0.0314934179$ 。

根据1000起坠罐事故（包括未遂事故600起）统计资料，各基本事件所占的比例为：

表1 坠罐事故统计数据

Table 1 Statistics values for cage drop

| 基本事件 | 数目 |
|--------------------|-----|
| X_1 :超载 | 46 |
| X_2 :过速 | 37 |
| X_3 :停电 | 4 |
| X_4 :紧急制动 | 32 |
| X_5 :制动装置失效 | 36 |
| X_6 :电器控制及保护装置失效 | 25 |
| X_7 :操作失误 | 105 |
| X_8 :钢丝绳腐蚀，磨损 | 36 |
| X_9 :防止器故障 | 95 |

同理，根据有关事故统计资料结合公式（3）得到：

$P(X_i)_{i=1\sim 9} = 0.0449580378$ ； 0.0363238647 ； 0.0039920107 ； 0.0314934179 ；
 0.0353597065 ； 0.0246900880 ； 0.0996754774 ； 0.0353597065 ； 0.0906270655 。

根据以上分析出的事故树最小割集和基本事件的统计学概率，可以计算出：

$$P'(T) = P\left\{\bigcup_{i=1}^8 E_r\right\} = 0.02488408503$$

4 修正系数 K 的确定

事故的发生主要与人的不安全行为、物的不安全状态以及环境的因素有关。根据美国有关方面的统计，某年全国休工 8 d 以上的事故中，有 96% 的事故与人的不安全行为有关，91% 的事故与物的不安全状态有关。日本全国某年休工 4 d 以上的事故中，有 94.5% 的事故与人的不安全行为有关，83.5% 的事故与物的不安全状态有关^[2]。

由以上数据可知，事故发生的两个主要因素是人的不安全行为和物的不安全状态。由于环境的因素在事故中所占的比例比较小，故在此忽略。从而设：

$$K = \alpha K_1 + \beta K_2 \quad (4)$$

α ：人的不安全行为权重系数； β ：物的不安全状态权重系数； K_1 ：人的不安全行为修正系数； K_2 ：物的不安全状态修正系数。

根据美国和日本对人的不安全行为和物的不安全状态的统计研究，设以上事故中人的不安全因素所占比例为 a_i ，物的不安全状态所占的比例为 b_i ，则在忽略环境因素的境况下，可得到 α 、 β 为：

$$\alpha = \frac{a_1 + a_2}{a_1 + a_2 + b_1 + b_2} = 0.52; \quad \beta = \frac{b_1 + b_2}{a_1 + a_2 + b_1 + b_2} = 0.48;$$

$$\text{由此得到: } K = 0.52K_1 + 0.48K_2 \quad (5)$$

由于事故发生的概率 $P'(T)$ ， $P(T) \in [0,1]$ ，

$$\text{所以 } 0 \leq K \leq \frac{1}{P'(T)}$$

对于人的不安全行为和物体的不安全状态，单独考虑人的不安全行为时，修正系数： $K = K_1$ 。设人的安全行为状态值为 L_1 ，存在函数映射 f_1 ，则： $K = f_1(L_1)$ 。

L_1 可以假定其取值范围为 0~100，当 L_1 取 0 时，代表其人的行为处于完全

不安全的状态，则事故将必然会发生，则 K 将取最大值： $\frac{1}{P'(T)}$ ；当 L_1 取 100

时，表明人的行为处于非常安全的状态，事故不会发生，则 K 取最小值 0。

据统计，在大多数系统当中存在对应以上表汇中，约 25.4% 的人的不安全行为因素和 20.7% 的不安全状态。故此对应于 L_1' 对应于 74.6， L_2' 对应于 79.3。

因此对于人的不安全行为 K_1 ，可利用 $(0, \frac{1}{P'(T)})$ ， $(74.6, 1)$ ， $(100, 0)$ 进行泰勒插

值，从而得出其插值函数；同理对于 K_2 ，可用 $(0, \frac{1}{P'(T)})$ ， $(79.3, 1)$ ， $(100, 0)$ 进

行插值分析^[4-6]。

而 $\frac{1}{P'(T)} = 40.1863$ ，通过 Maple 数学分析软件，利用泰勒插值函数，得到修正系数 K_1 ， K_2 的表达式为：

$$K_1 = \left[\frac{1}{40} + \frac{x_1}{-0.188269735 - 0.02311730265 \times x_1} \right] \quad (6)$$

$$K_2 = 40.18632788 + \frac{x}{-0.243270782 - 0.02245137721x} \quad (7)$$

x_1 —人的安全行为评分值； x_2 —物的安全行为评分值。

其曲线图如图 3、图 4 所示：

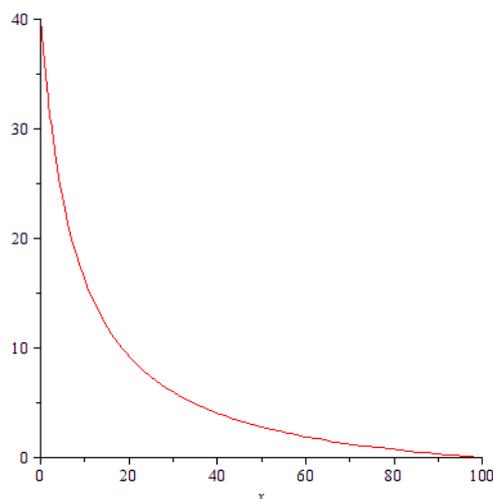


图 3 K_1 与人的安全行为评分值 X_1 之间的关系图

Fig.3 The relationship between K_1 and X_1

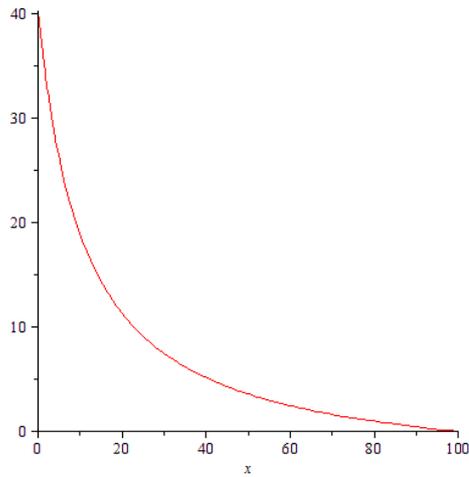


图4 K_2 与人的安全行为评分值 X_2 之间的关系图

Fig.4 The relationship between K_2 and X_2

从图中可以看出：当人的不安全行为较少，即人的行为安全程度较高时，随着分值的提高， K 值变化程度较小；而当人的不安全行为较多，即人的行为安全程度较低的时候，分值的变化会引起 K_1 的较大波动。而这一现象与实际中人的不安全行为和事故发生的关系相一致。而物的不安全状态之间也遵循同样的规律。因此说明了，该插值分析的结果具有较好的指导意义。只要对系统中存在的人的不安全行为和物体的不安全状态进行评分，转化成百分数并代入公式（6）、（7）中，即可得出两个系数修正值。

5 结论

本文结合了统计学、事故树以及数学修正的方法，提出一套坠罐事故发生概率的计算方法。该方法使得事故发生概率的计算成为可能，修正系数结合了系统的实际情况，使得计算出的数值更接近于真实情况。本论文只是从方法上提出了可行性和可操作性，而在实际应用当中还应该对事故树的建立，参数的选取进行更深入的探讨。作为多种方法综合合成的方法体系，对相关领域的研究和实践提供了有意义的指导作用。

参考文献

[1] 鲁青, 徐文尚, 刘志海, 等. 基于 FTA 的矿井提升钢丝绳断绳故障分析[J]. 煤

矿机械, 2006(2):356.

[2] 徐志胜. 安全系统工程[M]. 北京: 机械工业出版社,2007.

[3] 吴琼. 安全管理学[M]. 北京: 煤炭工业出版社,2002.

[4] 李庆扬,王能超,易大义. 数值分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.

[5] Walter Gander. 用 Maple 和 Mat lab 解决科学计算问题[M]. 高等教育出版社, 1999.

[6] 张韵华,王新茂. 符号计算系统 Maple 教程[M]. 中国科学技术大学出版社, 2007.

作者简介: 罗华山 (1986-), 男, 硕士研究生, 安全技术及工程专业, 主要研究方向为矿山安全。