

浅述工业企业常用的安全评价方法

王小群, 张兴容

(上海应用技术学院 环境与能源工程系, 上海, 200235)

摘要: 介绍了现代工业常用的几种安全评价方法, 讨论了其各自特点及适用范围, 着重就如何合理选择进行了较详细的分析。

关键词: 安全评价; 模糊综合评价; 选择; 灰色系统预测

中图分类号: X 913.4

文献标识码: A

Brief Introduction of Safety Evaluation Methods Applied in Industrial Enterprises

WANG Xiao-qun, ZHANG Xing-rong

(Department of Environmental and Energy Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China)

Abstract: Several safety evaluation methods, widely used in industrial enterprises, were introduced here and, their characteristics and application scope were discussed and how to select their usage them reasonably was analyzed in detail with emphasis in this paper.

Key words: safety evaluation; fuzzy comprehension evaluation; selection; gray system prediction

安全评价主要是从事故发生的可能性, 事故的影响范围与损失程度等三方面入手, 运用系统工程的理论识别、分析和评价固有的或潜在的危险因素。通过安全评价, 可以确认企业当前的安全状况, 找出其中需解决的安全问题并有针对性地制定出合适的安全管理决策。现代工业常用的安全评价方法很多, 如何合理的选择, 对于不少企业领导、安全部门干部及初学者都是一个感到头痛的问题。本文将从实际应用角度出发叙述安全评价的选择方法。

1 现代工业常用的安全评价方法

1.1 常用安全评价方法的分类

安全评价的分类方法很多。按评价对象的不同阶段可分为预评价、中间评价和现状评价; 按评价方法的特征可分为定性评价与定量评价; 按评价原理的区别可分为概率法和指数法而按评价内容的不同可分为过去状态的安全评价、现有工艺过程和生产装置的安全评价和系统设计阶段的安全评价。最后一种分类方法概括了工业企业生产的全过程, 即过去、现在、将来。这样, 人们就很容易按照事情发生的前、中、后来对号入座地选择安全评价的方法。

1.2 工业企业常用的安全评价方法

1.2.1 过去状态的安全评价

将以往发生事故的统计资料综合分析后作出一个历史资料的安全评价,它的作用主要使各级人员了解该部门的危险程度和危险源,以便寻求对策降低部门的危险程度。这种评价实际上是一种对事故发生后的分析评价,因而特别适用于危险程度较高的矿山、建筑、冶金、化工等行业。常用的方法有事故树分析(FTA)、事件树分析(ETA)、因果分析(CCA)等。三者是有区别与联系的,见表1,事故树分析是一种静态的演绎的微观分析法,不适于研究事态的变化过程,事件树分析则是一种动态的归纳的宏观分析法;事故树分析是了解不希望事件的全部原因,而事件树是从一个起因事件逐层分析其可能造成的诸多后果;两者结合起来取长补短便形成因果分析^[1],它根据需要进行定性和定量分析便可得到对整个系统的较理想的安全评价。

表1 综合安全评价中的常用分析方法

名称	目的	适用范围	效果
安全检查表	检查系统是否符合标准要求	各个阶段	定性,辨识危险性并使系统与标准一致,若对项目赋值,可定量分析
危险性预先分析	开发阶段,早期辨识出危险性	开发时分析原材料、工艺、设备设施及能量失控时出现的危险性	得出供设计考虑的危险性
故障类型和影响分析	辨识单个故障类型造成的事故后果	设备和机器故障的分析,也用于连续生产工艺	定性也可定量,找出故障类型对系统的影响
事故树分析	找出事故发生的基本原因和基本原因组合	分析事故或设想事故	定性定量,找出事故的基本原因及预防事故的措施
事件树分析	辨识初始事件发展成为事故的各种过程及后果	设计时找出适用的安全装置,操作时发现设备故障及误操作将导致的事故	定性定量,找出初始事件的各种结果,分析严重性从而在发展阶段采取措施
可操作性研究	辨识静态和动态过程中危险性	对新技术、新工艺无经验时辨识危险性	定性,并能发现新的危险性
因果分析	辨识事故的可能结果及其原因	设计操作时	定性定量
人的因素分析	辨识可能的失误和原因及其影响	设计和操作时	定性,找出误操作类型以改进各装置人机工程特征
指数评价法(道化、蒙德等)	对系统、子系统进行危险度分级	设计时找出薄弱环节,生产时提供危险性信息	定性定量,定出工厂、车间工艺、单元危险度等级
数学模型计算	计算出火灾、爆炸、中毒后果的可能伤害范围	设计和现场	定量,可算出人员伤害和财产损失的范围

1.2.2 现有工艺过程和生产装置的综合评价

我国安全工作者们总想能找到一把尺子去测量每一个单位或某一个单位不同部门的现有安全情况,以得出一个人-机-环境系统客观的评价,既可供上级部门领导参考,又可纵向、横向对比某企业、部门的安全生产情况便于考核。综合评价就是这样一种安全评价,它可对已存在的工艺过程、设备情况、环境条件、人员素质和管理水平等综合情况作一个安全方面的概括。因此这种评价实际上是现状评价,因而应用十分广泛,不少行业、部门、大中型企业都可选择。综合评价可采取两种方法。

一种方法是把企业的综合评价分为企业固有危险性评价与现实危险性评价两步。固有危险性评价是对系统由设计、制造、施工等因素决定的先天存在的危险性进行评价,它是企业综合评价的基础,可采用固有危险性指数 R_1 进行评价:先求各子系统或装置的固有危险性指数 R_i ,再以求和形式得出工厂总固有危险性指数 R_1 ,即 $R_1 = \sum K_i R_i$, $R_i = \sum K_{ij} R_{ij}$ 。 K_i 、 K_{ij} 均为权重系数。由于危险可定义为危险事件发生的可能性及危险后果的二维矢量,因此,个别系统或装置的固有危险性指数 R_{ij} 可定义为事故发生概率 P_{ij} 和事故损失严重度 S_{ij} 的乘积,即 $R_{ij} = P_{ij} S_{ij}$,式中的事故发生概率通常根据设备设施本质安全化状况、设备设施工艺危险因素、作业环境因素及危险暴露情况等参数确定,可采取的分析方法有安全检查表、事故树分析法、危险性预先分析等。事故损失严重度则按非扩散型与扩散型(易燃、易爆、毒物)而异,前者按潜在破坏能量的大小及致害物与人、物接触情况及经验确定,后者根据火灾爆炸指数法等技术方法确定。

现实危险性是指企业现在实际存在的危险性,也就是通过自身的安全管理使企业固有危险性得到

一定程度的控制,但还存在一部分没有得到有效控制的危险性。现实危险性就是对这部分危险性进行评价。固有危险性控制度 R_2 可根据企业的安全工作(企业领导、安全机构、工人素质、工艺条件、机器设备、工作环境)和工伤事故情况而定,常用的技术方法有安全检查表、安全评价等级系数法、人的因素分析等。综上所述,此种方法的具体步骤是:第一步由企业固有危险性评价求得 R_1 ,第二步企业安全管理现状评价求得 R_2 ,第三步按 $R = R_1 R_2$ 求得企业现实危险性指数 R ,最后按评分等级标准确定评价对象安全状况。其优点是 R 的求得虽是企业安全评价的结果,但 R_1 、 R_2 与 R 均可自成体系,缺点是计算比较繁琐。此方法所用的分析与评价方法见表1所列。

另一种方法是首先确定包括影响企业安全状况多因素在内的评价目标体系,赋予相应的权重,然后建立数学模型进行综合评价。由于一个系统的安全状况受许多因素的影响,而这些因素还要由一系列子因素来决定,这些因素和子因素不仅数量众多、权重不同,而且它们的状况都很难用经典的数学方法进行描述,因此,比较适宜选用的是模糊综合评价法,模糊综合评价法能利用模糊数学将模糊信息定量化,对多因素进行定量评价与决策。

1.2.3 系统设计阶段的安全评价

在设计阶段预测危险程度,就有可能将事故减少,甚至根除在基本建设之前,由于这种评价实际上是事前评价、预测评价,因此从广义上包括两部分内容,对于新建企业,在进行可行性研究的同时,进行安全评价。表1所列许多分析方法如危险性预先分析、可操作性研究、故障类型和影响分析等都可以选用。而对现有企业常常需要根据现有状况、事故资料、危险性对系统未来的安全状况进行预测,以便及时对事故进行预防。常用的安全评价方法有马尔柯夫链、回归分析和灰色系统预测等。除马尔柯夫链常用于职业病的预测外,后两者多见于预测工矿企业伤亡事故趋势,但它们之间是有区别的。首先,两者虽然均可预测事故的发生,但灰色预测作为一种新兴的研究领域还可进行灾变预测。其次,灰色预测将所有的随机变量均看作灰色量,随机过程看作灰色过程,无需大量的历史数据,也不必具有典型的分布规律,而是以时间序列数据作生成,预测未来。回归分析是一种数理统计方法,需要大量数据建立模型。最后,灰色预测可通过建立残差模型对原模型修正,精度比回归分析高,且预测范围愈大,互补因素愈多,主观因素愈少,即灰度愈大,预测精度愈高,而且灰色预测计算方法简便,又有多种检验方法可确定预测模型的精度等级,故具有明显的优势。

2 安全评价方法选择中要注意的问题

由于每一种评价内容都有若干不同的方法,因此合理选择尤为重要。

(1) 应根据工业企业生产全过程的不同阶段选择合适的评价方法,其中尤其要注重事前的预测评价。这是因为通过系统设计阶段的安全评价可以早期发现设计缺陷,从而加以修正以保证建成后的工作系统达到本质安全。这种评价结合“三同时”工作易收到更明显效果。

(2) 同一种评价内容中有不同的评价方法,在选择时既要注意消化吸收国内外较为科学和实用的评价方法,不一味地追求方法上的创新,又由于安全系统的复杂性,单一的评价方法往往是针对某一特定方面难以完全揭示整个系统的情况,常常需要采用多种评价方法综合评估,或者把不同的评价方法结合起来,如模糊综合评价中运用层次分析法选择权重^[2],灰色模糊事故树分析^[3],灰色-马尔柯夫预测^[4]等,这种创新可以做到取长补短,避免局限性。

(3) 安全评价的结论将用于指导工业企业安全生产,因此评价过程必须遵循科学性、公正性和针对性的原则,科学性指的是科学地制定安全标准与系统的评价体系;公正性指的是合理分配危险要素的权重值;针对性指的是针对评价内容与对象加强基础数据的收集与研究,保证数据的全面与准确性。

现对我国1998~2002年压力容器爆炸事故的统计数据进行分析如表2所示。

由统计数据可得原始数据序列 $X^{(0)} = (35, 40, 27)$

进行一次累加生成 $X^{(1)} = (35, 75, 102)$

① 建立数据矩阵 B^T, Y_N

$$B = \begin{bmatrix} -(X_2^{(1)} + X_1^{(1)})/2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -(X_N^{(1)} + X_{N-1}^{(1)})/2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{代入求得 } B = \begin{bmatrix} -55.1 & 1 \\ -88.5 & 1 \end{bmatrix} \text{ 故 } B^T = \begin{bmatrix} -55.1 & -88.5 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y_N = [X_2^{(0)} \quad X_3^{(0)} \quad \cdots \quad X_N^{(0)}]^T = [40, 27]^T$$

② 计算 $(B^T B)^{-1}$

$$(B^T B)^{-1} = \begin{bmatrix} 2 & 143.5 \\ 143.5 & 10\ 857.25 \end{bmatrix}$$

③ 计算 $\hat{\alpha}$

$$\hat{\alpha} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N = \begin{bmatrix} \alpha \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.388 \\ 61.343 \end{bmatrix}$$

④ 进行灰色预测计算

$$\hat{X}_{K+1}^{(1)} = (X_1^{(1)} - \mu/\alpha)e^{-\alpha k} + \mu/\alpha = 158.101 - 123.101e^{-0.388k}$$

将 $\hat{X}_{K+1}^{(1)}$ 计算值作累减还原,即得到原始数据的估计值见表2。

⑤ 模型精度检验

$$\epsilon_i^{(0)} = X_i^{(0)} - \hat{X}_i^{(0)} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{残差均值: } \bar{\epsilon} = 1/n \sum_{i=1}^n \epsilon_i^{(0)} = 0$$

$$\text{残差方差: } S_1^2 = 1/n \sum_{i=1}^n (\epsilon_i^{(0)} - \bar{\epsilon})^2 \quad \text{则 } S_1 = 0$$

$$\text{原始数据均值: } \bar{X} = 1/N \sum_{i=1}^N X_i^{(0)} = 34$$

$$\text{原始数据方差: } S_2^2 = 1/N \sum_{i=1}^N (X_i^{(0)} - \bar{X})^2 \quad \text{则 } S_2 = 28.7$$

$$\text{后验差比值: } C = S_1/S_2 = 0 < 0.35$$

$$\text{小误差概率: } P = P\{|\epsilon_i^{(0)} - \bar{\epsilon}| < 0.674\ 5 S_2\} = 1 > 0.95$$

对照表3,灰色系统预测拟合精度为1级。

表2 历年压力容器爆炸事故预测表

	1998	1999	2000	2001	2002
实际值/t	35	40	27		
预测值/t	35	40	27	18	13

表3 精度检验等级

预测精度等级	P	C
好	>0.95	<0.35
合格	>0.80	<0.50
勉强	>0.70	<0.65
不合格	≤0.70	≥0.65

若检验不合格,还可通过建立残差 GM(1,1)模型对原模型修正。

3 结束语

(1) 当前,工业企业的机制转换已取得明显效果,以“企业责任制”为核心的现代安全管理体系正逐步趋于完善。与此不相适应的是不少企业、部门的安全管理方法仍依托于“亡羊补牢”式的传统安全管理,急需向现代安全管理过渡。现代安全管理与传统安全管理的本质区别在于前者是运用安全系统工

程的理论对事物进行定量的安全评价,以达到预测、预防事故的目的,因此大力推进企业的安全评价工作具有十分现实与深远的意义。

(2) 上述安全评价方法尽管种类繁多,适用场合、范围各不相同,但共同特点在于:都必须把系统论、网络技术、数学模型等先进理论知识与实践相结合,只有将其运用于企业急需的方案决策、规划制定等安全问题中方能奏效。因此,使用者只要不断摸索,重在实践,重在使用,则入门不难,熟练也是办得到的。

参考文献:

- [1] 王金波,陈宝智,徐竹云. 系统安全工程[M]. 黑龙江:东北工学院出版社,1992:79-81.
- [2] 谢仁山,王先华. 层次分析法(AHP)在安全评价有关指数赋值的应用[J]. 工业安全与防尘,1996,(1):31-34.
- [3] 章玉梅. 灰色模糊事故树分析[J]. 工业安全与防尘,1995,(9):23-24.
- [4] 陈林杰. 系统安全指标灰色-马尔柯夫预测模型及其应用[J]. 工业安全与防尘,1995,(9):18-21.

~~~~~  
(上接第 60 页)

#### 参考文献:

- [1] Khachfe R. A, Jarny Y. Numerical solution of 2-D nonlinear inverse heat conduction problems using finite - element techniques[J]. Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals, 2000, 37(1):45-67.
- [2] Nehad Al - Khalidy. On the solution of parabolic and hyperbolic inverse heat conduction problems[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer 1998, 41(23):3731-3740.
- [3] Hills R, Hensel E. One dimensional nonlinear inverse heat conduction problems[J]. Numerical Heat Transfer, 1986, 10(4):369-393.
- [4] Beck J, Litkouhi B, Clair Rstc. Efficient Sequential Solution of the nonlinear inverse heat conduction problems[J]. Numerical Heat Transfer, 1982, 5(3):275-286.
- [5] 俞昌铭. 计算热物性参数的导热反问题[J]. 工程热物理学报, 1982, 3(4):372-378.
- [6] 俞昌铭编著. 热传导及其数值分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1981.
- [7] 梁昆森编著. 数学物理方程[M]. 北京:人民教育出版社, 1978.
- [8] Romanov. V. G, Inverse problems of mathematical physics[M]. VNU Science Press BV, 1987.
- [9] 黄思训. 大气科学中的数学物理问题[M]. 北京:气象出版社, 2001.