

调查与评价

有害气体突发性环境污染事故隐患的风险性评价方法探讨

邹恩义 徐洪峰

杨凤林

(大连铁道学院化学系, 大连 116022) (大连理工大学环工所)

摘要 对有害气体的突发性环境污染事故隐患(以下简称隐患)的风险性, 提出从危害度和危险度两个方面进行评价的方法。其中危害度的评价是利用环境预测与评价中的方法, 预测在发生事故时, 有害气体散逸到人群暴露处的最大浓度。同时结合有害气体对人体产生影响健康、损害机体和危及生命 3 个程度的浓度, 来确定企业的危害度。对于危险度的评价, 则分别采用安全管理的方法和可靠性分析的方法来定量企业的安全管理水平和隐患所用设备的不可靠性。并结合劳动安全评价的有关理论, 计算被评价隐患的危险指数。利用数学统计的方法, 确定隐患的安全界限标准。通过与该标准比较, 判定隐患处于何种状态。并估计其转化成事故的危险程度。

关键词 隐患, 危害度, 危险度, 环境评价。

与印度博帕尔毒气泄露事件相类似的一些突发性环境污染事故, 都曾给人们造成灾难性的后果。为了预防这类事故的发生, 我国各市、地的环保局根据国家环保局(90)环管字 057 号文件《关于对重大环境污染事故隐患进行风险评价的通知》的要求, 都已制定出不同的评价事故隐患风险性的方法。但在这些方法中, 都存在着定性判断和凭经验判断过多的问题, 致使评价结果不够精确, 不能真实地反映出隐患的风险性。由于在被评价的隐患中, 基本上都是有害气体隐患, 所以本文联系环境预测和劳动安全评价的有关理论, 并结合数学的方法, 制定出一套能够比较准确地反映出有害气体隐患风险性的定量的评价方法。影响隐患风险性的因素有两个, 即隐患的危害度和危险度。

1 隐患危害度的评价

危害度是指在事故发生时, 有害气体可能对人产生伤害的严重程度。它与有害气体的散逸浓度和毒性有关。

1.1 散逸浓度的预测

散逸浓度是指在发生事故时, 在距泄露点最近的暴露人群处有害气体的最大浓度。根据有害气体可能泄露的数量, 所处的位置以及地理状况等条件, 利用环境评价中相应的数学模型进行计算, 所得到的落地浓度即为

散逸浓度(用 c 表示)。

例: 某企业处于居民区中, 企业内有一个车间生产 H_2S 气体, 气体用一个容积为 $200m^3$ 容器储装, 工作时表压为 $0.4MPa$ 。该容器与居民区的最近距离为 $500m$, 且处在同一地平面上。计算该容器大面积破坏时居民区的散逸浓度(H_2S 气体全部逸出时间按 $2S$ 计算)。

解: 由于 H_2S 气体在很短时间内大量泄露, 所以采用瞬间点源模型⁽¹⁾。

$$c(x, y, z, t) = \frac{M}{\sqrt{8\pi^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}} \exp\left[-\frac{(x-U_x t)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (1)$$

M : 污染源强度。

$$M = [200m^3 \times \frac{(0.4+0.1)}{0.1}] \div 2(S) = 500m^3/s$$

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ⁽²⁾: 扩散参数。按最不利扩散的 A 级稳定度计算,

$$\sigma_x = \sigma_y = 115.1(m) \quad \sigma_z = 104.0(m)$$

x, y, z : 三维坐标。 $y=0, z=0, x=500m$

U_x : x 轴方向风速。

t : 扩散时间。

从上式可以看出, 当 $x=U_x t$ 时 $c(x, y, z, t)$ 最大 即

$$c_{max}(x, y, z, t) = 35(mg/m^3)$$

因此: 散逸浓度为 $c=35(mg/m^3)$

1.2 危害度分级标准及方法

根据有害气体在不同的散逸浓度时对人体,产生影响或伤害的不同程度,将危害度分为R I、R II、R III、R IV 4个等级。分级的标准分别为有害气体的最高允许浓度(MC), 阈限值(TLV), 和最小致死浓度(MLC) 3个浓度值。当散逸浓度高于该有害气体的MC值时,将对人体产生不良影响;当散逸浓度高于TLV值时,将对人体的机体产生伤害性的作用;当高于MLC值时将危及生命。即:

$$R I: c < MC; \quad R II: MC \leq c < TLV;$$

$$R III: TLV \leq c < MLC; \quad R IV: c \geq MLC.$$

有害气体的毒性各不相同,它们的MC、TLV和MLC三个浓度值也就不相同。所以,不同的有害气体有不同的分级标准数值(见表1)。

表1 几种有害气体的MC、TLV、MLC值(mg/m³)^(3,4)

气体名称	H ₂ S	CO	H ₃ P	二甲基胺	二乙基胺
MC	10	30	0.3	1	30
TLV	15	50	0.4	18	75
MLC	1000	11700	409	5000	3000

如表1, H₂S 气体泄露隐患 TLV(15) < c(35) < MLC(1000) 因此, 其危害度为 R III 级。

2 隐患危险度的评价

危险度表示隐患转化成事故的可能程度。隐患的危险度是用危险指数与安全界限标准相比较所得的差值占安全界限标准数值的百分率来表示。

2.1 危险指数(F)的计算

危险指数是量化隐患危险性的参数。危险指数越大, 隐患的危险性就越大。影响危险指数大小的因素有2个: 其①物的因素, 即设备的不可靠度(q)。不可靠度是设备本身所固有的, 它只与设备及其零部件的设计水平, 制造能力和检测手段有关。所以设备一经组成, 其不可靠度就已被确定。其②人的因素。即企业的安全管理水平。事故的发生都可以认为是人的不安全行为和物的不安全状态造成的, 而人的不安全行为和物的不安全状态又都是由于管理不善造成的。因此, 一切事故都可归结为管理上的原因。在安全管理中用事故率(P)反映企业的安全管理水平。

综合以上2个因素的影响, 危险指数用(2)式进行计算。

$$F = P + \alpha q \quad (2)$$

其中, α 是不可靠度影响系数。

下面分别介绍P、q、 α 的计算方法。为了便于理解同

时举例说明。

例: 在H₂S 气体生成后, 用一台气压泵将气体压入容器, 气压泵带有压力反馈自动停机装置和超压电铃报警装置。该装置已正常运行1500d, 未更换任何零部件。企业有职工5000人, 据企业安全管理部门提供的资料, 企业设备平均不可靠度 1.5×10^{-2} 。在评价之日起向前推算365d内, 共发生重大事故2次, 损失20万元; 一般事故30次, 损失15万元; 并有未遂事故20次, 计算H₂S 隐患危险指数F。

2.1.1 事故率P的计算

P值按照(3)式进行计算。式中的事故次数是指从评价之日起向前推算一年的时间, 即刚过去的365d内统计数。

$$P =$$

$$\frac{\beta \times \text{重大事故次数} + \text{一般事故次数} + \text{未遂事故次数}}{\text{企业总人数}} \times 1000\% \quad (3)$$

β : 重大事故严重程度

$$\beta = \frac{\text{重大事故总损失(万元)}}{\text{重大事故次数}} \div \frac{\text{一般事故总损失(万元)}}{\text{一般事故次数}}$$

$$\text{例中, } \beta = (20 \text{ 万元} \div 2) / (15 \text{ 万元} \div 30) = 40$$

$$P = (40 \times 2 + 30 + 20) \div 5000 \times 1000\% = 18\%$$

2.1.2 设备不可靠度q的计算

通过对造成事故的各种可能因素的分析, 找出设备的各个单元与事故的逻辑关系。并根据各个单元的 q_m 求解q值。计算共分4步。(限于篇幅, 本文对这部分内容只做简单介绍, 详细参见《安全系统工程》事故树分析章节^[5]。

第一步, 绘制事故树。事故树是用逻辑门连接各个相关事件的符号用来表示事件之间逻辑关系的图形。常用的事件名称和逻辑门有:

顶上事件: 指要进行分析的事件。矩形符号, 见图1中T。

中间事件: 指需要往下进一步分析的事件。矩形符号, 见图1中G₁, G₂, G₃。

基本事件: 指有充分的经验和实验资料, 不需要进一步分析的事件。圆形符号, 见例图中的X₁~X₅。

逻辑与门: 表示当所有输入事件同时发生时, 输出事件才发生。是逻辑积的关系。房形符号, 见图1中M。

逻辑或门: 表示在输入事件中, 只要有一个事件发生, 输出事件就发生。是逻辑和的关系。房形符号, 见图1中N₁, N₂, N₃。

第二步, 求最小割集。在事故树中, 能够引起顶上事件发生的一组基本事件的组合称为割集。如果去掉割集中任一个事件都使其不能构成割集, 则该割集称为最小

割集,最小割集求法一般采用布尔代数法。

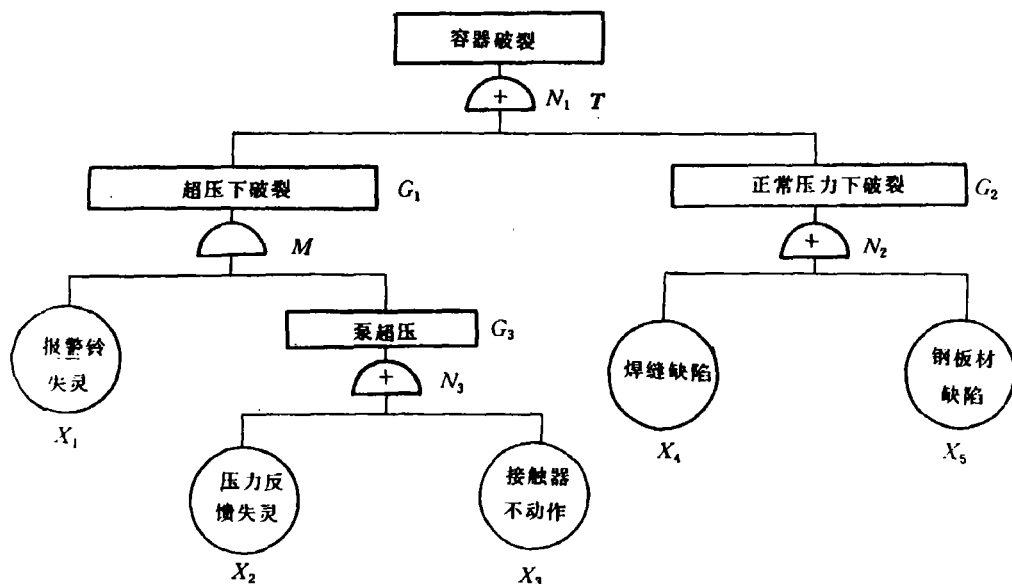


图1 H₂S 储装容器破裂事故树

根据事故树中各个事件间的逻辑关系,沿着事故树从上至下,遇与门相乘,遇或门相加,逐层计算,直至式中全部是基本事件。然后化简去除割集之间的包含关系,即得到最简布尔析取式,其形式如(4)式。

$$f(x) = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n \quad (4)$$

其中, $A_1 A_2 A_3 \dots A_n$ 为最小割集。

例中, $T = G_1 + G_2 = x_1 G_3 + x_4 + x_5 = x_1(x_2 + x_3) + x_4 + x_5 = x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_4 + x_5$

式中割集之间无包含关系,所以最小割集是4个,分别是 $\{x_1 \cdot x_2\}, \{x_1 \cdot x_3\}, \{x_4\}, \{x_5\}$

第三步,求各单元(基本事件)的不可靠度 $q_{\#}$ 。

$$q_{\#} = \lambda t$$

λ :故障率(1/h)。查表或生产厂提供。

t :工作时间(h)。

例: $t = 1500(\text{d}) \times 24(\text{h}) = 36000(\text{h})$

$q_{\#} = 36000\lambda$, 计算结果见表2。

表2 各单元的 λ 值及 $q_{\#}$ 计算值^[6]

单元	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
$\lambda \times 10^6$	0.3	25	2	0.05	0.03
$q_{(\#)} \times 10^{-2}$	1.08	90	7.2	0.18	0.108

第四步,计算 q 值:

$$q = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n q_{ij}) \quad (5)$$

II:连乘符号。

m, i :分别是最小割集的个数和序号。

n, j :分别是最小割集中单元的个数和序号

$$\text{例: } q = 1 - (1 - q_{x_1} q_{x_2})(1 - q_{x_1} q_{x_3})(1 - q_{x_4})(1 - q_{x_5})$$

$$q = 1 - (1 - 1.08 \times 10^{-2} \times 90 \times 10^{-2})(1 - 1.08 \times 10^{-2} \times 7.2 \times 10^{-2})(1 - 0.18 \times 10^{-2})(1 - 0.108 \times 10^{-2}) = 1.33 \times 10^{-2}$$

2.1.3 系数 α 的计算

α 反映设备的不可靠度对事故率大小的影响程度。

$$\alpha = P/q_{\#} \quad (6)$$

$q_{\#}$:企业内所有设备不可靠度的平均值。

$$\text{例: } \alpha = \frac{0.018}{1.5 \times 10^{-2}} = 1.20$$

$$\text{因此: } F = 0.018 + 1.20 \times 0.133 \times 10^{-2} = 0.178$$

2.2 确定危险与安全的界限标准

不难理解,如果隐患的危害度等级很低,在控制发生污染事故方面,对企业的安全性要求就不一定很严格。相反,如果隐患的危害度等级很高,对企业的安全性则必顺严格要求。因此,不同的危害度等级,就应有不同的安全界限标准。

$$\left. \begin{aligned} R \text{ I: } \bar{F}_I &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{I_i} \\ R \text{ II: } \bar{F}_I &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{I_i} \\ R \text{ III: } \bar{F}_I &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{I_i} \\ R \text{ IV: } \bar{F}_N &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{N_i} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

安全是相对的。当危险性降低到人们可以接受的程度时,就可以认为是安全。企业生产某一种产品,首先应是社会需要这种产品,其次是能够组织起该产品的生产。如果社会已从事该种产品的生产,说明社会已接受生产这种产品所具有的危险性。危害度等级相同的所有隐患危险指数的平均值,反映了社会对该危害度等级下的隐患安全性的要求标准。因此,安全界限标准(F)可由(6)式求得。

2.3 危险度 A 的计算

$$A = \frac{F - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100\% \quad (7)$$

$A > 0$ 时,说明隐患处于危险状态;

$A \leq 0$ 时,说明隐患处于安全状态;

A 的代数值越大,隐患危险度就越大。

3 隐患的风险性

从以上分析可以看出,危害度和危险度是评价隐患风险性的两个方面。危害度是通过影响安全界限标准来影响危险度 A 的大小,所以, A 值集中地反映了隐患的风险性。 A 值越大,其风险性就越大。

4 评价结果影响因素分析

4.1 危害度和危险度

任何一个隐患都有一个危害度等级 F 值和危险度

与其相对应。 F 值是社会对隐患危险性的最低要求标准。而危险度 A 是反映与这个最低标准相比较,隐患现有危险性的相对差距。所以,对于不同的评价对象,即使在不同的危害度等级时,危险度 A 值也具有可比性。

4.2 F 值

F 值的准确程度直接影响评价结果的准确性。由于 $F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i$ 是个统计值,根据统计原理, n 值越大, F 值越接近准确值。由于 F 值的计算属于安全管理方面的内容,所以有必要与安全管理部门相配合,收集有关数据建立数据库。

参 考 文 献

- 1 程声通,陈毓龄.环境系统分析.北京:高等教育出版社,1990:111
- 2 黄淑贞.环境预测和评价.北京:原子能出版社,1986:142
- 3 (美)E·R普龙克特著,张德荣译.工业毒理学手册.四川:科技出版社.1985:424—450
- 4 《工业毒理学》编写组.工业毒理学(下册).上海:人民出版社.1977:324—325
- 5 谢鸣一.安全系统工程.北京:科学技术文献出版社.1988:90—197
- 6 梅启智.系统可靠性工程基础.北京:科学技术出版社.1987:584—590

韩国酸雨状况

韩国林业研究院 1986—1988 年进行的“大气污染对森林生态影响研究”表明,在联合石油化学公司所在的丽水市周围,红松生长受到抑制,1975—1983 年间净材积量每年仅 $1.0t/hm^2$,而该市的未污染区为 $2.86t/hm^2$ 。此外发现与石油化工有关的蔚山工业区也有大气污染造成植物损害现象,该市受污染区红松净生产量每年为 $0.89—5.34t/hm^2$,而非污染区为 $7.41t/hm^2$ 。韩国 1989 年降雨 pH 值,西海岸平均 $5.6—5.7$,半岛中间区域为 $5.3—5.6$,东南沿海平均 $5.2—5.6$ 。目前酸雨危害主要发生在工业区周边。

永丰摘译自资源环境对策(2)。

1993,(3):15.

日本酸雨研究

1973 年,日本静冈县等地发生雨雾刺激皮肤和导致目痛的“酸性雨”危害。据环境厅大气污染测定局在 23 个地点的设点测定。降水 pH 年均值 1988 年为 $4.3—5.1$,1989 年为 $4.4—5.2$,1990 年为 $4.4—5.3$,而且西南部的降水 pH 有比东北部低的倾向。日本自 50 年代后,已在东京等地发现红松、樱花等植物衰退现象,不耐污染的柳杉甚至消失。80 年代,许多地方都发现树木衰败现象,但未判明原因。日本在研究其酸雨的未来动向时,首先考虑广域的长距离物质输移,即认为其酸性雨源物质“从中国等飞来”,“不能无视从风的流线表明的中国等西部国家的影响和火山等自然起源”;其次考虑与地球环境问题的关系,第三才考虑公害和环境问题。

高山摘译自资源环境对策(2)。

1993,(2):11—13

of this method for an individual compound is approximately $5\mu\text{g/L}$ for ground water and $5\mu\text{g/kg}$ for soil and sediment.

Key words: quality control, volatile organic pollutants, GC-MS.

Risk Assessment Method for Potentially Environmental Pollution Accidents Caused by Hazardous Gases. Zhou Enyi et al. (Department of Applied Chemistry, Dalian Institute of Railway Technology); *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(4), 1993, pp. 87—90

A risk assessment method has been developed for the potentially environmental pollution accidents caused by hazardous gases, in terms of both extent of damage and extent of risk. The extent of damage is assessed by using those methods for environmental prediction and assessment to predict the maximum concentrations of hazardous gases escaped to where population is exposed when an accident occurs. Then the extent of damage by an enterprise is determined by the concentrations of the hazardous gases to cause an effect on human health, a damage to organisms, and a threat to the life. As for assessing the extent of risk, the method for safety management and the method for reliability analysis are used to quantify, respectively, the level of safety management and the irreliability of hazardous equipment used in an enterprise. then the danger index is calculated for the assessed hidden danger based on the relevant principles of the working safety assessment. Finally the mathematical statistics are used to determine the standards for safety limits. By comparing with the standards, it may be judged whether

a hidden danger is in the state of safety or in the state of danger, and it may be estimated to which extent such a danger can become an accident, so as to assess the risk of a hidden danger.

Key words: hidden danger, extent of damage, extent of danger.

Primal Cause for the Formation of Coal Dust in the Mount Song Coal Mining Area. Chen Zhenmin, Song Zhimin, Wei Jianming (Department of Geology, Zheng Zhou Coal Geological College 450004); *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(4), 1993, pp. 91—92

In the Mount Song coal mining area, there are two main minable coal seams—the carboniferous system Tai Yuan group's coal seam (I) and the permian system San Xi group's coal seam (II). Through the same mining installations and technology are used in a pit, the coal dust produced is very different. During the mining of coal seam (I), there is little coal dust, while during the mining of coal seam (II) serious pollution of coal dust is produced. The reason is that coal seam (II) has been vigorously pressed and kneaded by the Mount Song glide tectonics and the composition and construction of the seam has been destroyed resulting in the formation of powdery coal. However, coal seam (I) was not influenced by the glide tectonics, thus the composition and construction of the seam were not destroyed. Therefore it can be inferred that the primal cause for the formation of coal dust in the referred areas is the destruction of coal seam.

Key words: coal seam, coal dust, glide tectonics.