

# 危险源不安全隐患的定量评估

张国顺<sup>†</sup>

(北京理工大学力学工程系)

**摘要:**运用系统安全工程的原理建立了对重大事故隐患进行评估的数学模型,介绍了评估方程及其各参数的意义和取值方法,即危险源系统现实危险度 $H$ 主要与火炸药的危险指数 $W_a$ 、系统固有危险度 $B$ 和未受控系数 $K$ 有关,也与系统外安全距离不足的建筑物或设施受危险源爆炸事故影响的严重程度 $C$ 有关,给出了对评估结果的评判方法,从而可以划分出危险源的危险等级和整改等级。

**关键词:** 炸药; 评估; 数学模型 / 危险源

**分类号:** TJ510.89

括号注解的意识是:  
危险源=隐患

对燃烧爆炸危险源(火炸药、弹药企业中重大事故隐患)进行危险性分析和评估,是应用安全系统工程原理,依据有关安全规范、规则,采用定性分析和定量评估的方法,对机(物)不安全状态、人员不安全行为、环境不安全条件进行系统安全分析,建立数学模型,并对现场采集数据,参考危险事件发生的概率及其社会危害和财产损失,进行评估计算,以辨识危险源的危险程度,划分危险等级,进而提出优化的安全对策和整改建议。

## 1 建立评估方法的原则

**科学性:**危险性评估指标体系及其数学模型的建立应能反映事物的本质,客观地反映危险源及其影响因素的实质状况,以及它们的内在联系。这样,获取的信息才是科学的和可靠的,评估的结果才具有可信性。

**系统性:**危险性寓于生产活动的各个方面,包括工房和设备条件、人机关系、原材料供应、生产组织、工艺控制、人员培训等等,而且它们是互相联系、互相影响的,因而就必须对危险源进行系统的解剖和分析,研究该系统与子系统和各子系统之间的相关和制约关系,以便最大限度地辨识其危险性,并把潜在的危险因素发掘出来,找出它们对系统的影响程度,确定危险源的整体危险性。

**可行性:**评估方法必须反映行业特点,能够方便地现场采集数据,具有可操作性,使定量估算尽可能简化,并在火炸药、弹药企业的评估中有一定的通用性。

**可比性:**尽可能把各种各样的不可比危险因素通过量化转化为可比指标,并通过一定的计算能够以量的大小比较危险源的危险程度。

1991年7月18日收稿

<sup>†</sup> 作者为北京理工大学兼职导师,通讯地址为:北京84号信箱质量安全局。

## 2 火炸药、弹药企业爆炸危险源评估方程

根据上述原则, 提出如下危险源评估方程

$$H = H_{IN} + H_{EX} = [W_B + (1 - A_1/A_0)B] + \sum (1 - R_{li}/R_{0i})C_i \quad (1)$$

式中  $H$ ——爆炸危险源系统的现实危险度, 一般以一个相对独立的工房、库房或车间或生产线划定为一个系统;

$H_{IN}$ ——系统内现实危险度, 它是由该系统内火炸药及其装置的固有危险性与企业对该系统安全管理的现实水平共同决定的;

$H_{EX}$ ——系统外现实危险度, 即当危险源一旦发生燃烧爆炸事故, 与已划定系统相邻的建筑物(如工房、库房、生产辅助用房、办公室等)或设施受爆炸事故影响的严重程度;

$B$ ——系统内固有危险度, 它由该系统内火炸药及其装置的危险指数  $W_B$ 、危险场所人员密度  $D$ 、事故概率指标值  $P$  等因素决定, 即  $B = W_B DP$ ;

$(1 - A_1/A_0)$ ——系统固有危险性未受控程度系数, 或叫系统安全隐患系数用  $K$  表示, 其中  $A_0$  为该系统的安全标准值,  $A_1$  为安全评价值;

$C_i$ ——系统外第  $i$  个安全距离不足的建筑物或设施受危险源爆炸事故影响的严重度, 它与建筑物内火炸药及其装置的危险指数  $W_{Ci}$ 、人员可能伤亡和财产可能受损的程度  $E_i$  有关, 即  $C_i = (1 + 0.5 W_{Ci}) E_i$ ;

$(1 - R_{li}/R_{0i})$ ——系统外第  $i$  个建筑物或设施的安全距离未达标系数, 其中  $R_{0i}$  为《火药、炸药、弹药、火工品和引信工厂设计安全规范》<sup>[1]</sup> 规定的标准安全距离值,  $R_{li}$  为现场实测距离值, 当  $R_{li} \geq R_{0i}$  时, 都按  $R_{li} = R_{0i}$  处理。

需要再加说明的是, 系统固有危险性未受控程度系数, 即安全隐患系数  $K = (1 - A_1/A_0)$ 。由于危险源是一个包括了各种复杂因素的大系统, 而且随着企业类型不同或生产中火炸药品种不同而有所不同, 因而要制定全面的、科学的、有可比性的系统安全标准以求得  $A_0$  是困难的, 并且为求得  $A_1$  值还需对企业进行繁琐的评价, 这对时间宝贵的专家们进行评估是不适用的。因而我们设想采用下面方法求得这个系数。

事故致因理论认为, 大多数事故是由于人的不安全行为与机(物)的不安全状态在相同的时空相遇而发生的, 少数事故是由于人员处在不安全环境中而发生的(如急性中毒), 还有少数事故是由于自身有危险的物质暴露在不安全环境中而发生的(如硝化棉自燃)。从这个角度出发, 可以把任何一个复杂的危险源系统都看作是由“人的不安全行为”、“机(物)的不安全状态”、“环境的不安全条件”三个子系统构成的, 如果以三个圆分别表示人、机(物)、环境三个子系统, 那么, 每二个圆的交叉部分就为可能发生事故的区域, 而三个圆的交叉部分就为高事故几率区, 如图1所示。

设  $S_p$ ,  $S_m$ ,  $S_e$  分别表示人、机(物)、环境三个子系统的安全标准值,  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $S_z$  分别表示人、机(物)、环境三

即：危险源含人机环

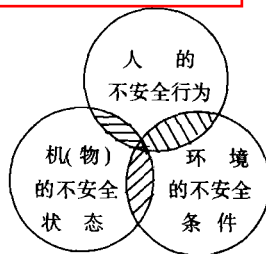


图1 人-机-环系统示意图

个子系统的安全评价价值。这样,  $(1-S_x/S_p)$ ,  $(1-S_y/S_m)$ ,  $(1-S_z/S_e)$  就分别表示人的不安全行为系数、机(物)的不安全状态系数、环境的不安全条件系数, 如果考虑它们对发生事故的影响具有不同的权重  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , 则危险源系统的不安全隐患系数  $K$  就应为

$$K = [\alpha(1-S_x/S_p)(1-S_y/S_m) + \beta(1-S_x/S_p)(1-S_z/S_e) + \gamma(1-S_y/S_m)(1-S_z/S_e)]$$

根据大量事故统计资料确定的权重系数分别为:  $\alpha=6.1$ ,  $\beta=2.2$ ,  $\gamma=1.7$ 。于是, 式(1)就成为

$$H = W_B + [6.1(1-S_x/S_p)(1-S_y/S_m) + 2.2(1-S_x/S_p)(1-S_z/S_e) + 1.7(1-S_y/S_m)(1-S_z/S_e)] W_B DP + \Sigma(1-R_{1i}/R_{0i})(1+0.5W_{Ci})E_i \quad (2)$$

这就是火炸药、弹药企业爆炸危险性评估方程。

### 3 各项指标值的估算方法

#### 3.1 系统内固有危险度 $B$

##### 3.1.1 火炸药及其装置的危险指数 $W_B$

火炸药自身就具有易燃易爆特性, 不同品种的火炸药或同一种火炸药处于不同状态时, 其爆炸敏感度和爆炸威力是不同的。同时, 火炸药数量是确定其破坏能力大小的重要因素。因而, 生产、加工、储运火炸药及其制品的企业, 本身就有一个基本危险度, 用  $W$  表示, 这是不同于一般企业的重要特点。  $W$  的值按图 2 选取。图中纵坐标是危险物质的燃烧爆炸危险等级, 它是根据《国际海上危险货物运输规则》<sup>[2]</sup> 对危险物质的分类划分的; 横坐标是容量危险等级, 它是根据《火药、炸药、弹药、火工品和引信设计安全规范》规定的安全定量划分的。图中的交点即表示  $W$  的值。

考虑到危险物质是处在某种容器或装置中, 生产过程中还要受到工艺条件的作用, 如加热、熔融、磨擦、受介质作用等, 因而某系统中火炸药及其装置的危险指数  $W_B$  就等于在其基本危险指数  $W$  上再增加一个百分数  $X$ , 即

$$W_B = (1+X)W \quad (3)$$

$X$  的取值方法如表 1 所示。

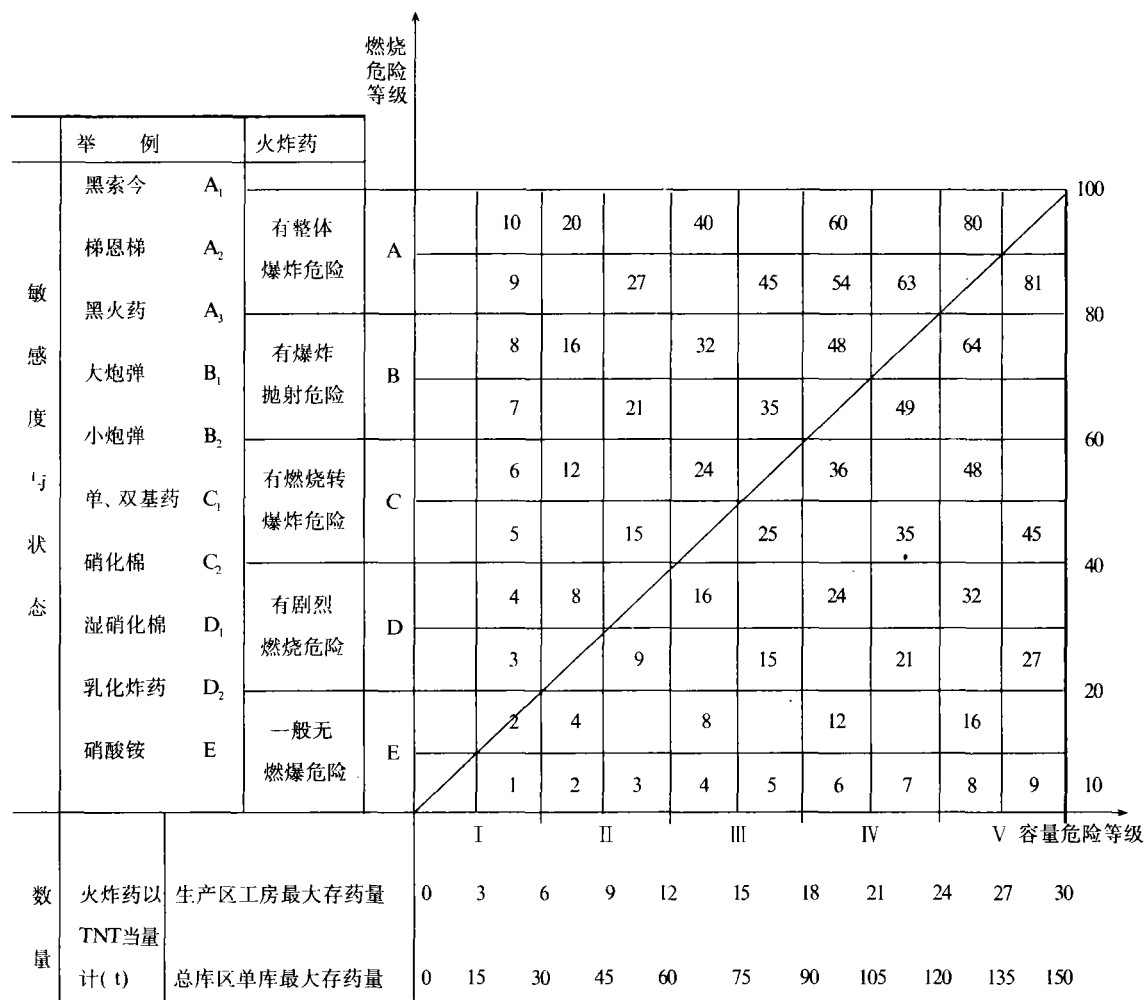
表 1  $X$  的取值范围和取值条件

| $X$ 的取值范围 | 0       | 0.25              | 0.50           | 0.75           | 1.00           |
|-----------|---------|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| 取值条件      | 常规条件(1) | 4种不利条件(2)<br>中有1种 | 4种不利条件<br>中有2种 | 4种不利条件<br>中有3种 | 4种不利条件<br>中有4种 |

注: (1) 常规条件: 火炸药处于常温、常压、无化学介质作用、无机械作用的普通装置或包装中;

(2) 不利条件: ① 受热升温, 使火炸药燃爆危险性增大; ② 受化学介质作用, 使火炸药容易分解, 安定性降低;

③ 受机械作用, 如因工艺条件或加工要求使火炸药受到切削、钻孔、锯平、磨擦等作用, 使其比常规状况增加了危险性; ④ 受静电作用, 如工艺条件下受气流粉碎、筛分等作用容易产生静电, 使其比常规状况增加了危险性。

图 2 危险物质的基本危险指数  $W$ 

### 3.1.2 危险场所人员密度或出现频次系数 $D$

火炸药和弹药企业危险场所都有严格的定员定量规定, 人员密度越大或出现频次越多, 发生失误的几率就越高, 因而危险性增大; 同时, 人员密度大或出现频次多, 一旦发生燃烧爆炸事故就会增加伤亡人数, 因而危险性也增大。人员密度或出现频次与生产类型、自动化程度和劳动组织班次等有关。如表 2 所示。

### 3.1.3 危险源事故概率指标值 $P$

事故或危险事件的危险程度是与它们实际发生的统计概率相关的。我们知道, 绝对不会发生的事件概率为 0, 必然发生的事件概率为 1, 而可能发生的事件概率在 0 ~ 1 范围内。在评估系统的危险性时, 不存在概率为 0 的情况, 即使事故发生的可能性极小, 也只能概率趋近于 0。火炸药、弹药企业重大燃烧爆炸事故概率是多大, 由于保密原因, 尽管历史上曾多次发生这类事故, 但国内外均很少报道, 因而很难得到准确的事故概率值。只能人为地规定

表 2 危险场所人员密度或出现频次

| 系数 D | 生产类型                 | 每日班次 | 人员密度或出现频次                                  |
|------|----------------------|------|--------------------------------------------|
| 1    | 自动化连续生产遥控操作          | 三班   | 危险场所无人操作                                   |
| 2    | 自动化连续生产遥控操作          | 三班   | 生产时无人操作，但在停工时仍有危险品存在，人员要进入现场，出现频次少于 3 人次/班 |
| 3    | 自动化连续生产遥控操作          | 三班   | 生产时无人操作，但每隔数小时有人到现场巡回检查，出现频次少于 3 人次/班      |
| 4    | 连续化生产，自动控制与工人现场操作相结合 | 三班   | 危险生产岗位有工人专门操作或检查记录，危险场所人员密度小于 10 人/班       |
| 5    | 连续化生产，自动控制与工人现场操作相结合 | 三班   | 危险生产岗位有工人专门操作或检查记录，危险场所人员密度为 10 ~ 19 人/班   |
| 6    | 连续化生产，自动控制与工人现场操作相结合 | 三班   | 同上，但危险场所人员密度为每班 20 人以上                     |
| 6    | 间断生产，流水线作业           | 二班   | 危险场所仅白班(早、中班)，有 10 ~ 19 人操作，或三班，但多数有防护隔离措施 |
| 7    | 间断生产，流水线作业           |      | 危险场所仅白班(早、中班)，有 10 ~ 19 人操作，或三班，但多数无防护隔离措施 |
| 8    | 同上                   |      | 危险场所有 20 ~ 29 人操作                          |
| 9    | 同上                   |      | 危险场所有 30 ~ 49 人操作                          |
| 10   | 同上                   |      | 危险场所有 50 人以上操作                             |

相应的指标值 1.1~ 2.0 来表示事故概率对危险程度的影响。我们规定“极少可能发生事故(如历史上从来未见报道)”的概率指标值为 1.1, “完全可能发生事故(如近年内就发生多次)”的概率指标值为 2.0, 处于这两种情况之间的规定了 1.2 ~ 1.9 几个中间值, 如表 3 所示。

表 3 重大燃烧爆炸事故概率指标值

| 指标值 P | 同类生产历史上发生事故的情况              | 指标值 P | 同类生产历史上发生事故的情况            |
|-------|-----------------------------|-------|---------------------------|
| 1.1   | 从来未见有此类事故报道                 | 1.6   | 前 5 ~ 9 年间曾发生过这类事故(多次)    |
| 1.2   | ≥20 年前曾发生过这类事故              | 1.7   | 前 3 ~ 4 年间曾发生过这类事故(仅 1 次) |
| 1.3   | 前 10 ~ 19 年间曾发生过这类事故(仅 1 次) | 1.8   | 前 3 ~ 4 年间曾发生过这类事故(多次)    |
| 1.4   | 前 10 ~ 19 年间曾发生过这类事故(多次)    | 1.9   | 3 年内曾发生过这类事故(仅 1 次)       |
| 1.5   | 前 5 ~ 9 年间曾发生过这类事故(仅 1 次)   | 2.0   | 3 年内曾发生过这类事故(多次)          |

由上面求得的  $W_B$ 、 $D$  和  $P$  值。我们可以计算出系统内固有危险度  $B$ , 即  $B=W_BDP$

3.2 系统内现实危险度  $H_{IN}$

根据式(2), 系统内现实危险度为  $H_{IN}=W_B+KB$ , 其中  $K$  要分别通过人、机(物)、环境安全水平的评估, 求得  $S_x$ 、 $S_y$ 、 $S_z$  的值, 才可算出  $K$ 。

### 3.2.1 人员安全素质和安全管理水平的评估 $S_x(S_p=220 \text{ 分})$

主要考虑以下几个方面: ① 领导安全意识; ② 职工文化水平和安全技术素质; ③ 安全部门的职能作用; ④ 规章制度执行情况。

### 3.2.2 机(物)安全状态的评估 $S_y(S_m=610 \text{ 分})$

主要考虑以下几个方面: ① 主要生产设备完好率、安全可靠性及新旧程度; ② 仪器仪表完好率、安全可靠性及新旧程度; ③ 安全检测、报警及执行装置的灵敏可靠性; ④ 电气防爆、防静电及避雷装置的可靠性; ⑤ 能源动力的安全保障程度。

### 3.2.3 环境安全条件的评估 $S_z(S_e=170 \text{ 分})$

主要考虑以下几个方面: ① 工房及设施是否符合安全要求; ② 工艺设备布置是否符合安全要求; ③ 作业环境文明卫生是否合格; ④ 消防设施与安全标志是否符合要求; ⑤ 防护与急救措施是否齐全。

根据以上评估, 得出  $(1-S_x/S_p)$ ,  $(1-S_y/S_m)$  和  $(1-S_z/S_e)$ , 从而可以算出  $K$  和  $H_{IN}$ 。

## 3.3 系统外现实危险度 $H_{ex}$

### 3.3.1 安全距离未达标系数 $(1-R_{1i}/R_{0i})$

安全距离是指有火炸药及其制品的工房(库房)到与其相邻建筑物或设施的最小允许距离。它与危险工房(库房)结构、危险品种类和数量、防护情况等有关, 也与相邻建筑物的结构、防护情况、允许破坏程度和地形条件等因素有关。 $R_{0i}$  是安全距离标准值, 由《火药、炸药、弹药、火工品和引信工厂设计安全规范》<sup>[1]</sup>查得,  $R_{1i}$  是现场实测值, 则  $R_{1i}/R_{0i}$  就是安全距离达标率, 而  $(1-R_{1i}/R_{0i})$  就是安全距离未达标系数。

### 3.3.2 系统外第 $i$ 个安全距离不足的建筑物或设施受危险源爆炸事故影响的严重程度 $C_i$

$C_i=(1-0.5W_{Ci})E_i$ , 其中  $W_{Ci}$  是第  $i$  个安全距离不足的建筑物或设施内火炸药及其装置的危险指数, 估算方法与  $W_B$  相同。它前面的 0.5 是修正系数, 即考虑到危险源发生爆炸时它受其影响而发生危险的可能性。 $E_i$  是受影响建筑物可能受损的程度, 其变化范围很大, 可从受伤 1 人到重伤 150 人以上或死亡 50 人以上, 或从财产损失 0.5 万元到 5000 万元以上, 因而只能人为地分等规定出指标值(1~100)。

于是, 系统外现实危险度  $H_{ex}$  为

$$H_{ex}=\sum(1-R_{1i}/R_{0i})(1+0.5W_{Ci})E_i$$

## 4 对估算结果的评判——危险源的危险等级和整改分级

根据上面估算结果, 可以进一步算出危险源的现实危险度, 即  $H=H_{IN}+H_{ex}$ 。再按表 4 评

表 4 危险源的危险等级和整改分级

| 危险等级 | 现实危险度 $H$   | 危险类别 | 可能后果    | 整改分级       |
|------|-------------|------|---------|------------|
| I    | $\leq 500$  | 轻度危险 | 较小伤亡和损失 | 车间或分厂级事故隐患 |
| II   | 500 ~ 800   | 比较危险 | 一定伤亡和损失 | 工厂或总厂级事故隐患 |
| III  | 800 ~ 1200  | 中等危险 | 较大伤亡和损失 | 主管局级事故隐患   |
| IV   | 200 ~ 1500  | 严重危险 | 重大伤亡和损失 | 总公司级事故隐患   |
| V    | $\geq 1500$ | 非常危险 | 灾难性伤亡损失 | 国家级事故隐患    |

判危险源的危险等级和整改分级, 并向被评估单位提出整改建议。

#### 参 考 文 献

- 1 兵器工业总公司技安局. 火药、炸药、弹药、火工品和引信工厂设计安全规范. 1990
- 2 交通部科技情报所编译, 国际海上危险货物运输规则. 北京: 交通部情报所, 1988
- 3 道化学公司. 火灾爆炸指数危险度评估法. 青岛: 化工部安全卫生情报中心站, 1990

## Quantitative Evaluation of the Accident Cause Factor Dangerous Serious

Zhang Guoshun

(Mechanics and Engineering Department, Beijing Institute of Technology)

**Abstract:** There exist immense combustion and explosion hazards in propellant, explosive and ammunition enterprises. Therefore, it is of much significance to evaluate the hidden danger of serious accidents in such enterprises. The paper points out a way of establishing a mathematical model for the quantitative evaluation according to principles of system safety engineering, and an evaluation equation is proposed. The meanings and methods of calculation for various factors are discussed. The degree of actual hazard (DAH) for dangerous sources,  $H$ , is determined by the following factors, namely: the hazard index of propellants and explosives,  $W_b$ ; the intrinsic danger of the system,  $B$ ; the coefficient reflecting uncontrolled aspects involving hidden danger,  $K$ ; and the degree of seriousness of damage,  $C$ , of buildings and installations located of insufficient safety distances away from the system that might be endangered by explosion accidents of dangerous sources. Classification of the hazards from dangerous sources and grading of suggested improvements and reorganizations can thus be judged according to the results evaluation.

**Key words:** explosives; mathematical model; evaluations/dangerous sources