

UDMH 燃料库危险性评价方法研究

王爱玲

(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 从物质危险性、工艺危险性入手, 评价了偏二甲肼 (UDMH) 燃料库重大事故可能发生的原因、条件及其危险性等级。对航天领域易燃、易爆、有毒危险源的危险性评价方法进行了探讨

关键词: 偏二甲肼燃料库; 危险; 事故; 评价

中图分类号: V511

文献标识码: B

文章编号: '(2006)02-0058-06

Discussion on ways about evaluating fatalness of UDMH storeroom

Wang Ailing

(Xi'an Aerospace Propulsion Test Technique Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: This paper discusses the reason, condition and risk class of major accident in unsymmetrical dimethylhydrazine storeroom by matter fatalness and craftwork fatalness, analyzes risk assessment of the flammability and explosive and poisonous hazard installations in space area.

Key words: UDMH storeroom; hazard; accident; evaluation

1 引言

偏二甲肼是液体火箭发动机常用推进剂, 是一种易燃、易爆、有毒且具有强吸附能力的无色有毒液体。在推进剂突然泄漏、操作失控或发生自然灾害情况下, 偏二甲肼库存在火灾、爆炸、人员中毒等事故发生的可能性, 当库存量超过 20t 时属重大危险源。

有效地防止事故发生的前提是对危险做出正

确分析和评价, 危险评价是提高企业安全管理水平和事故预防技术水平的有效措施, 是企业安全管理和政府决策的科学依据, 在现代企业安全管理中占有重要地位。原航天部下发的危险点评价方法, 不仅不能全面反映危险源诸多因素的影响, 而且在危险性定量评价时, 存在着较大的误差。目前, 国内危险评价方法达十余种之多, 各种方法都有其不同的适用性和局限性, 许多尚处于探索推广应用阶段, 对航天领域来说仅可作为参考。

收稿日期: 2005-06-20; 修回日期: 2005-07-05。

作者简介: 王爱玲 (1969—), 女, 高级工程师, 研究领域为安全管理。

因此,需要针对航天领域的特殊性,建立一种科学的数学模型对重大危险源从物质特性、工艺流程及安全管理等方面进行全面评价。

2 偏二甲肼库(简称肼库)危险性评价数学模型的建立

为了对偏二甲肼库危险性作定量评价,需建立数学模型。重大危险源评价可分为固有危险性评价与现实危险性评价。固有危险性评价分为事故易发性评价和事故严重度评价,主要反映了物质的固有特性、危险物质生产工艺过程的特点和危险单元内部、外部环境状况等。现实的危险性是在前者的基础上考虑各种危险性的抵消因子,它们反映了人在控制事故发生及控制事故后果扩大方面的主观能动作用。

根据安全工程学的一般原理,危险性定义为事故频率和事故后果严重程度的乘积,建立评价的数学模型如下:

$$\left\{ \begin{aligned} A &= \left\{ \sum_i^n \sum_j^m (B_{111})_i W_{ij} (B_{112})_j \right\} \times B_{12} \times \prod_{k=1}^3 (1 - B_{2k}) \\ B_{11} &= \sum_i^n \sum_j^m (B_{111})_i W_{ij} (B_{112})_j \end{aligned} \right. \quad (1)$$

式中, $(B_{111})_i$ 为第 i 种物质危险性的评价价值;

$(B_{112})_j$ 为第 j 种工艺危险性的评价价值; B_{11} 为事故易发性评价价值; B_{12} 为事故严重度评价价值; B_{21} 为工艺、设备、容器、建筑结构抵消因子; B_{22} 为人员素质抵消因子; B_{23} 为安全管理抵消因子。

3 偏二甲肼库危险性评价

某库面积 500m^2 , 库内有 2 个 100m^3 圆柱形、卧式不锈钢容器, 最多可存 142 吨介质, 容器用纯度高于 97% 的氮气作操作气, 工作压力 0.14MPa , 设计压力 0.25MPa 。库房结构采用半敞开式、石棉瓦轻型屋顶, 采用水泥地面, 比库外地标低 0.5m 。下面以该库为例进行评价。

3.1 偏二甲肼库事故易发性 B_{11} 评价

偏二甲肼库事故易发性 B_{11} 包含物质事故易发性 B_{111} 和工艺事故易发性 B_{112} 两方面及其耦合。

3.1.1 物质事故易发性 B_{111} 评价

根据偏二甲肼的理化特性, 其事故易发性为:

(1) 爆炸性: 根据偏二甲肼的理化性能, 它有“具有燃烧、爆炸、有毒危险物质的事故易发性分类”中的第一类爆炸性, 易爆性 1.4 级。

$$(B_{111})_1 = \alpha_1 G_1 = 1 \times 45 = 45$$

(2) 液体燃烧性: 根据 UDMH 的理化性能, 它属于“具有燃烧、爆炸、有毒危险物质的事故易发性分类”中第三类: 液体燃烧性, 属于“易燃液体、液体混合物及含有固体物质的液体”分类中: 二级易燃液体, 评分为 60 分, 即 $B_{111}^* = 60$ 分。

再根据其化学活性为 1 级, 取修正系数: $k=0.02$ 。

$$B_{111} = B_{111}^* (1+k) = 61.2$$

(3) 毒性: 根据偏二甲肼的理化性能, 它也属于“具有燃烧、爆炸、有毒危险物质的事故易发性分类”中的第八类: 毒性。

由中毒易发性公式:

$$B_{1118} = B_{1118-1} + B_{1118-2} + B_{1118-3} + B_{1118-4} \quad (2)$$

式中, B_{1118} 为物质中毒事故易发性系数; B_{1118-1} 为物质毒性系数, 由偏二甲肼 3 级毒性, 取该值为 45; B_{1118-2} 为物质密度修正系数, 由偏二甲肼相对密度 $=2.1$, 取值为 15; B_{1118-3} 为物质气味修正系数, 由其重气味, 取值为 0; B_{1118-4} 为物质状态修正系数, 由其是液体, 取值为 5。

代入计算得:

$$B_{1118} = B_{1118-1} + B_{1118-2} + B_{1118-3} + B_{1118-4} = 65$$

3.1.2 工艺过程事故易发性 B_{112}

工艺过程事故易发性与过程中的反应形式、物料处理过程、操作方式、工作环境和工艺过程等有关, 确定放热反应、吸热反应、物料处理等 21 项因素为工艺过程事故易发性的评价因素。对于一个工艺过程, 从两方面进行评价, 即火灾爆炸事故危险和工艺过程毒性。从 21 种工艺影响因素中找出偏二甲肼库工艺过程实际存在的危险, 物质事故易发性与工艺事故易发性之间的相关性

用相关系数 W_{ij} 表示，二者耦合成为事故易发性 B_{11} ，如表 1、表 2、表 3 所示。

表 1 偏二甲肼（爆炸性 1.4 级）与工艺相关系数取值表
Tab.1 UDMH and technique relevant coefficient ranges

影响因素	B_{112}	相关系数 W_{ij}
物料处理系数 B_{112-3}	10	0.2
高温系数 B_{112-8}	25	0.7
高压系数 B_{112-10}	30	0
燃烧范围内及附近的操作系数 B_{112-11}	40	0.2
腐蚀系数 B_{112-12}	10	0.2
泄漏系数 B_{112-13}	40	0.2
密闭单元系数 B_{112-15}	40	0.2
工艺布置系数 B_{112-16}	10	0.7
静电系数 B_{112-21}	30	0

表 2 偏二甲肼（液体燃烧性 3.2 类）与工艺相关系数取值表
Tab.2 UDMH and technique relevant coefficient ranges

影响因素	B_{112}	相关系数 W_{ij}
物料处理系数 B_{112-3}	10	0.7
高温系数 B_{112-8}	25	0.7
高压系数 B_{112-10}	30	0.7
燃烧范围内及附近的操作系数 B_{112-11}	40	0.7
腐蚀系数 B_{112-12}	10	0.7
泄漏系数 B_{112-13}	40	0.7
密闭单元系数 B_{112-15}	40	0.7
工艺布置系数 B_{112-16}	10	0.7
静电系数 B_{112-21}	30	0.7

表 3 偏二甲肼（毒性 8.1 类）与工艺相关系数取值表
Tab.3 UDMH and technique relevant coefficient ranges

影响因素	B_{112}	相关系数 W_{ij}
腐蚀系数 B_{112-1}	10	0
出料系数 B_{112-5}	0	1
输送系数 B_{112-6}	20	1

3.1.3 事故易发性 B_{11}
事故易发性 B_{11} 为：

$$B_{11} = \sum_i^n \sum_j^m B_{111} W_{ij} (B_{112})_j$$

(1) 考虑偏二甲肼易爆性时的事故易发性

$$B_{11} = \sum_i^n \sum_j^m B_{111} W_{ij} (B_{112})_j = 2362.5$$

(2) 考虑偏二甲肼液体易燃性时的事故易发

性。由于偏二甲肼的工艺相关系数是以偏二甲肼的液体易燃性考虑的，故事故易发性 B_{11} 计算时，取物质事故易发性 B_{111} 为其液体易燃性评价价值，即 $B_{11}=61.2$ ，此时：

$$B_{11} = \sum_i^n \sum_j^m B_{111} W_{ij} (B_{112})_j = 10067.2$$

(3) 考虑偏二甲肼液体毒性时的事故易发性
由于偏二甲肼的工艺相关系数是以偏二甲肼的液体毒性考虑的，故事故易发性 B_{11} 计算时，取物质事故易发性 B_{111} 为其毒性评价价值，即 $B_{111}=65$ ，此时：

$$B_{11} = \sum_i^n \sum_j^m B_{111} W_{ij} (B_{112})_j = 1300$$

综合考虑，取偏二甲肼的事故易发性为：
 $B_{11}=10067.2$ 。

3.2 偏二甲肼库伤害模型及伤害/破坏半径

3.2.1 偏二甲肼库伤害模型

偏二甲肼库容器中的可燃液体泄漏后流到地面形成液池，遇到火源燃烧而成池火。池火会引起蒸气云，引起容器中液体沸腾。所以，偏二甲肼库最大的火灾爆炸风险是偏二甲肼容器的爆炸，其伤害模型有三种：

- (1) 蒸气云爆炸 (VCE)；
- (2) 沸腾液体扩展为蒸气爆炸 (BLEVE)；
- (3) 毒物泄漏扩散造成周边地区中毒伤害。

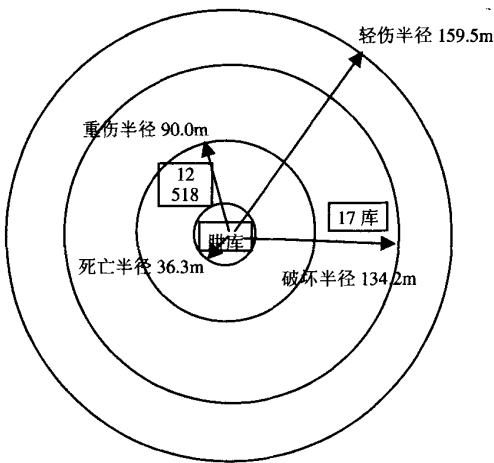


图 1 偏二甲肼库蒸气云爆炸伤害区域示意图
Fig.1 Damage area of UDMH steam explosive accident in storeroom

其中：(1)属于爆炸型；(2)属于火灾型；(3)属于中毒型。三者可能同时发生，库房爆炸事故严重程度应是三种严重程度加权求和。

3.2.2 偏二甲肼库蒸气云爆炸的伤害/破坏半径

蒸气云爆炸是一类经常发生、且后果十分严重的爆炸事故。采用 TNT 当量法估计蒸气云爆炸的严重程度。计算结果列入表 4。

表 4 偏二甲肼蒸气云爆炸破坏半径 (m)

Tab.4 Destructive radius of explosive UDMH steam			
死亡半径	重伤半径	轻伤半径	破坏半径
36.3	90.0	159.5	134.2

伤害区域如图 1 所示。

3.2.3 偏二甲肼库扩展蒸气爆炸模型 (BLEVE)

经计算得扩展蒸气爆炸伤害——破坏半径如表 5 所示。

表 5 偏二甲肼扩展蒸气云爆炸破坏半径 (m)

Tab.5 Destructive radius of explosive UDMH expanded steam			
死亡半径	重伤半径 (二度烧伤)	轻伤半径 (一度烧伤)	财产破坏半径
325.6	413.2	637.5	311.3

伤害区域见图 2 所示。

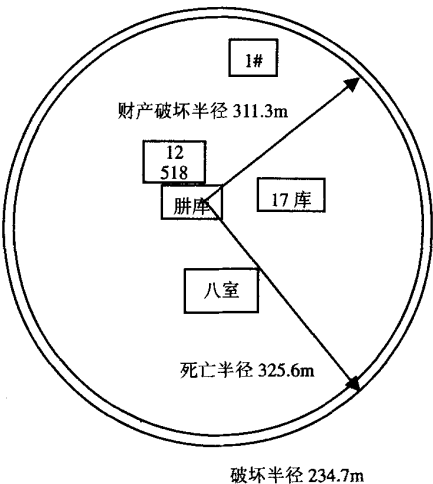


图 2 偏二甲肼库沸腾液体扩展蒸气爆炸伤害区域示意图
Fig.2 Damage area sketch of UDMH boiling liquid expand steam explosive accident in storeroom

3.2.4 偏二甲肼库毒物泄漏扩散模型及中毒伤害模型

由于偏二甲肼毒性及其挥发性不强，毒性危险不是其主要危险，再说中毒伤害模型技术问题太过复杂，故在本评价中不作评价。

3.3 偏二甲肼库的事故严重度 B_{12} 估计

事故的严重度 B_{12} 用符号 S 表示，反映发生事故造成的经济损失大小。它包括人员伤害和财产损失两个方面，并把人员的伤害也折算成财产损失（万元）。

$$B_{12}=S=AS_1+(1-A)S_2 \tag{3}$$

式中， S_1 、 S_2 为分别为两种爆炸事故后果； A 、 $1-A$ 为分别为两种爆炸发生概率， $A=0.9$ ， $1-A=0.1$ 。

蒸气云爆炸的可能性远大于扩展蒸气爆炸，蒸气云爆炸是主要的。

经计算：

$$B_{12}=S=0.9S_1+0.1S_2=3536.235 \text{ 万元}$$

偏二甲肼库爆炸事故严重度计算如表 6 所示。

表 6 偏二甲肼库容器爆炸事故严重度

Tab.6 Vessel explosive dangerous of the UDMH storeroom

事故类型		死亡		重伤（二度烧伤）		轻伤（一度烧伤）		财产破坏	
		半径 /m	波及范围 暴露人员	半径 /m	波及范围 暴露人员	半径 /m	范围人员	半径 /m	财产范围
容器爆炸	蒸气云爆炸	36.3	肼库约 6 人。	90.0	518#、12#锅炉房约 11 人。	159.5	17#库约 5 人。	134.2	肼库、518#、12#锅炉房及 17#库全部财产。
	扩展蒸气爆炸	325.6	肼库、518#、12#锅炉房、八室及 1#台约 75 人。					311.3	肼库、518#、12#锅炉房、17#库、八室及 1#台全部财产。

3.4 固有危险性 B_1 及危险性等级

偏二甲肼库固有危险性为：

$$B_1=B_{11} \times B_{12}=35599984.99$$

危险性等级为：

$$A=\lg (B_1/10^5)=\lg (37367684.6/10^5)=2.55$$

2.5<A<3.5 属于二级重大危险源，二级重大危险源由省和直辖市政府安全管理机构监控。

3.5 抵消因子 B_2 及单元控制等级估计

尽管危险场所的固有危险性是由物质危险性和工艺危险性所决定的，但是工艺、设备、容器、建筑结构上各种用于防范和减轻事故后果的设施、危险岗位上操作人员良好的素质、严格的安全管理制度等能够大大抵消危险场所的现实危险性。

根据易燃易爆有毒重大危险源的评价模型，用 A 表示现实危险性的评价价值， B_1 表示固有危险性的评价价值， B_{21} 为工艺、设备、容器和建筑结构的抵消因子， B_{22} 为人员素质的抵消因子， B_{23} 为安

全管理的抵消因子，则有：

$$A=B_1 \prod_{k=1}^3 (1-B_{2k}) \tag{4}$$

其中

$$\left\{ \begin{array}{l} B_{21}=B_{2A}V_1 \\ B_{22}=B_{2B}V_2 \\ B_{23}=B_{2C}V_3 \end{array} \right.$$

令：

$$V_1=\frac{\text{工艺设备/容器/建筑结构抵消因子的实得分值}}{\text{工艺设备/容器/建筑结构抵消因子的应得分值}}$$

V_2 =人员素质抵消因子评价价值

$$V_3=\frac{\text{安全管理实得分值}}{\text{安全管理应得分值}}$$

$$B_2=\prod_{k=1}^3 (1-B_{2k})=(1-0.4591) \times (1-0.8649) \times (1-0.6847)=0.0230$$

根据 B 值，可知偏二甲肼库控制程度等级是 C 级。
(下转第 22 页)

6 结束语

对某 $N_2O_4/UDMH$ 双组元挤压式推进系统, 在建立发动机动态数学模型的基础上, 对其启动过程进行了仿真研究, 得到了阀门打开时序对发动机启动特性的影响规律。仿真结果在一定程度上反映了该推进系统启动过程的动态特性, 本文所做的工作是进行双组元挤压式推进系统动态特性深入研究的基础, 在此基础上可以深入研究推进系统的流量特性、充填特性和水击特性, 同时可以对推进系统进行稳定性分析; 分析结果表明, 本文所提出的仿真计算方法是可行的, 所得到的

计算结果对于该类发动机的设计具有参考意义。

参考文献:

- [1] 刘红军等. 补燃循环发动机启动特性仿真研究[J]. 推进技术, 1999,6.
- [2] 王新建, 王楠. DaFY111-1a 发动机发生器-涡轮泵联试起动过程仿真研究[D]. 国防科学技术大学航天与材料工程学院, 2000.
- [3] 黄敏超等. 补燃循环液体火箭发动机启动过程的模块化仿真[J]. 推进技术, 2001,4.

(编辑: 侯 早)

(上接第 62 页)

偏二甲肼库的危险等级是二级, 而控制能力等级是 C 级。控制能力没有和危险等级相匹配, 控制能力未能达到危险等级所要求的 B 级, 说明偏二甲肼库的安全措施和安全管理未达到较理想的状况。

3.6 现实危险性 A

偏二甲肼库发生爆炸的现实危险性为:

$$A = B_1 \prod_{k=1}^3 (1 - B_{2k}) = B_1 B_2 = 818799.6548$$

现实危险性 A 值是固有危险性 B_1 值的 2.3%, 可见有效的安全技术装备和管理会使系统的危险性大大降低。

4 结论

通过对偏二甲肼库建立评价数学模型进行全面评价, 得出以下结论:

(1) 偏二甲肼库发生火灾爆炸事故是极小概

率事件, 但其后果是严重的, 一旦发生爆炸, 可能导致库区内的全体人员死亡或重伤, 库区内的财产毁于一旦, 而且会殃及四邻。

(2) 偏二甲肼库的固有危险性很高, 现实危险性仅为固有危险性的 2.3%, 可见, 加强库房的科学管理可以预防与控制恶性事件发生。

此评价方法, 适用于航天领域类似易燃、易爆、有毒重大危险源的评价。

参考文献:

- [1] GB18218-2000 重大危险源辨识[S]. 中华人民共和国标准.
- [2] GB12268-90 危险货物品名表[S].
- [3] 吴宗之, 高进东, 魏利军编. 危险评价方法及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.

(编辑: 王建喜)