# 爆炸混合性气体或蒸气的分类研究

王 骏

(武汉公合隆电力工程有限公司，湖北 武汉 430000)

摘要：根据现行国内、国外标准规范的要求，结合工程示例，研究了可燃性爆炸危险(气体或蒸气)混合物的分类方法，并提供一些数学计算公式和经验应用规则，对可燃性爆炸危险(气体或蒸气)混合物相对密度、组分类和爆炸极限等进行推导、计算，为爆炸危险区域的划分提供基础依据，并得出不是含有氢气的可燃性爆炸危险(气体或蒸气)混合物都应为 IIC 的分类。

关键词：混合物；最大试验安全间隙；最小点燃电流比

## Study on classification of explosive gas or vapor mixture

WANG Jun

(Wuhan Gonghelong Electric Power Engineering Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

**Abstract**: According to the requirements of the current domestic and foreign standards and codes, combined with engineering examples, the classification method of combustible substance (gas or vapor) in mixtures is studied, and some mathematical calculation formulas and empirical application rules are provided to deduce and calculate the relative density, group classification, explosion limit, etc. of combustible substance (gas or vapor) in mixtures, which provide the basis for the division of explosive hazardous areas, and conclude that combustible substance (gas or vapor) in mixtures not containing hydrogen should be classified as IIC.

**Key words**: mixture; maximum experimental safe gap; minimum ignition current ratio

## 0 引言

石油化工设备的特点是“高温、高压、易燃和易爆”，为了保障生产安全进行，必须确保设备不会成为火源或点燃源，因此需要对爆炸性危险环境的场所进行分析和分类。

可燃气体存在的可能性取决于存在的可燃材料的物理化学性质，以及释放等级和速度。危险程度将受到可燃材料在正常环境压力和温度条件下所受到区域内通风程度、释放的几何形状、速度以及区域物理地形的影响。由于石油化工工艺装置在其生产过程中是将不同的材料混合在一起，从而影响了混合后可燃物质的性质和特性。因此，有必要找到对可燃性爆炸危险介质混合物的分类方法[1]。

## 1 气体或蒸汽的分类

### 1.1 单一气体或蒸汽的分类

气体和蒸汽可依据其最大试验安全间隙分为 I 类、IIA 类、IIB 类和 IIC 类。

爆炸性气体环境用设备的类别如下。

1) I 类：煤矿瓦斯气体(甲烷)环境用设备。

2) II 类：煤矿瓦斯气体(甲烷)环境之外其他爆炸性气体环境用设备。

所有可燃性爆炸危险介质的温度组别应根据其引燃温度来划分[2]。

II 类设备可根据最大试验安全间隙限值(MESG)进行分类，但如果最大试验安全间隙限值(MESG)在一定的数值范围内，需要结合最小点燃电流比(MICR)进行再分类，其限值如表 1 所示[3]。

**表 1 分类限值**

**Tab. 1 Classification limits**

| 类别 | MESG | MICR |
|---|---|---|
| IIA | MESG≥0.90 | MICR＞0.8 |
| IIB | 0.50＜MESG＜0.9 | 0.45≤MICR≤0.8 |
| IIC | MESG≤0.5 | MICR＜0.45 |

需要同时根据最大试验安全间隙限值和最小点燃电流比进行分类的情况如下：①当 0.70＜MICR＜0.90 或 0.40＜MICR＜0.50 时，需要利用最大试验安全间隙限值(MESG)确定设备组；②当 0.50≤MESG＜0.55 时，需要利用最小点燃电流比(MICR)确定设备组。

对可燃性爆炸危险介质混合物的分类有如下两种方法：最准确的方法是通过试验来确定爆炸危险混合物的最大实验安全间隙(MESG)或/和最小点燃电流比(MICR)；使用规范中提供的数学关系式(吕・查德里原理的形式)来估算爆炸危险混合物的最大实验安全间隙，根据计算所得到的爆炸危险混合物的最大实验安全间隙来确定混合物的分类。

### 1.2 勒夏特列原理[3-5]

混合物的最大实验安全间隙计算公式为

$$MESG_{mix}=\frac{1}{\sum\left(\frac{X_i}{MESG_i}\right)} \tag{1}$$

式中，$MESG_{mix}$ 为混合物的最大实验安全间隙；$X_i$ 为混合物中介质 $i$ 的体积百分比；$MESG_i$ 为混合物中介质 $i$ 的最大实验安全间隙。

对含有如下气体或蒸汽混合物的介质，不宜采用此方法：①乙炔或其等效危险性(例如自分解性质)；②$O_2$ 或其他强氧化剂作为组分之一；③CO 浓度大(体积超过 5%)。两组分混合物，其中一种成分是惰性气体的(如 $N_2$)可能会导致不切实际的较高的最大试验安全间隙(MESG)值，所以使用时应谨慎。

对于含有惰性气体的混合物(如 $N_2$)，其体积浓度小于 5%，取最大试验安全间隙(MESG)的数值为无穷大。对于含有惰性气体的混合物(如 $N_2$)，其体积浓度不小于 5%，取最大试验安全间隙(MESG)的数值为 2。

### 1.3 混合气体的相对密度[6]

混合气体的相对密度计算公式为

$$d^0=\sum_{j=1}^{N}X_j\times\frac{M_j}{M_{air}} \tag{2}$$

式中，$d^0$ 为混合气体的相对密度；$M_j$ 为组分 $j$ 的摩尔质量；$M_{air}$ 为标准组成的干空气的摩尔质量，28.96。

相对密度分类如表 2 所示。

**表 2 相对密度分类**

**Tab. 2 Relative density classification**

| | |
|---|---|
| $d^0$ ＜0.8 | 轻于空气 |
| 0.8≤$d^0$≤1.2 | 应酌情考虑 |
| $d^0$ ＞1.2 | 重于空气 |

对于相对密度在0.8～1.2之间的气体或蒸汽，如 CO、$C_2H_4$、$CH_3OH$、$CH_5H$、$C_2H_6$ 和 $C_2H_2$ 等在工程设计中视为相对密度比空气重的物质。

### 1.4 混合气体的爆炸极限[8-9]

可燃性混合气体只有在其爆炸极限范围内，即在爆炸下限和爆炸上限之间时才会发生爆炸。若以爆炸危险区域划分为目的，对爆炸下限的关注度更高，因为可以通过控制通风水平将可燃气体稀释至远低于爆炸下限的浓度，以减少危险。当“可燃物质可能出现的最高浓度不超过爆炸下限值的 10%”时，为非爆炸危险区域。

可燃性混合气体爆炸极限可根据各物质已知的爆炸极限及其在混合物中的含量来计算。

$$L=\frac{1}{\frac{p_1}{N_1}+\frac{p_2}{N_2}+\frac{p_3}{N_3}+\frac{p_4}{N_4}}\times100\% \tag{3}$$

式中，$p_1$、$p_2$、$p_3$ 和 $p_4$ 为每种可燃气体在混合物总量中所占的百分数；$N_1$、$N_2$、$N_3$ 和 $N_4$ 为每种可燃气体在空气中的爆炸极限；$L$ 为混合气体爆炸极限。

对含有惰性气体的混合物中的每种可燃气体在混合物总量中所占的百分数进行调整。

## 2 举例

(1) 示例一

混合物的组成如下：$C_2H_4$ 45.0%；$C_3H_8$ 12.0%；$N_2$ 20.0%；$CH_4$ 3.0%；$C_6H_{14}O$ 17.5%；$C_4H_{10}O$ 2.5%。

上述各组分的物理特性如表 3 所示。

**表 3 示例一混合物的物理特性**

**Tab. 3 Physical properties of mixtures of example 1**

| 材料 | 摩尔质量 | 爆炸下限(%) | 爆炸上限(%) | 引燃温度/℃ | 闪点/℃ | 设备类别 | MESG/mm | MICR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $C_2H_4$ | 28.05 | 2.7 | 36.0 | 450 | 104 | ⅡB | 65.0 | 0.53 |
| $C_3H_8$ | 44.09 | 2.1 | 9.5 | 450 | 42 | ⅡA | 97.0 | 0.82 |
| $CH_4$ | 16.04 | 5.0 | 15.0 | 600 | 162 | ⅡA | 112.0 | 1 |
| $C_6H_{14}O$ | 102.17 | 1.4 | 21.0 | 443 | 69 | ⅡA | 94.0 | |
| $C_4H_{10}O$ | 74.12 | 1.9 | 36.0 | 160 | 34.5 | ⅡB | 83.0 | 0.88 |

由于惰性气体($N_2$)的体积浓度大于 5%，故取最大试验安全间隙(MESG)的数值为 2。

其计算过程如下

$$MESG_{mix}=\frac{1}{\frac{0.45}{0.65}+\frac{0.12}{0.97}+\frac{0.20}{2.00}+\frac{0.03}{1.12}+\frac{0.175}{0.94}+\frac{0.025}{0.83}}=0.86$$

该混合气体的最大试验安全间隙为 0.86，对照表 1，其分类应为 IIB。

上述各组分的相对密度如表 4 所示。

**表 4 示例一相对密度**

**Tab. 4 Relative density of example 1**

| 材料 | 摩尔重量 | 混合物各组分体积百分比(%) | 混合物各组分相对密度 |
|---|---|---|---|
| $C_2H_4$ | 28.05 | 45 | 12.6 |
| $C_3H_8$ | 44.09 | 12 | 5.3 |
| $N_2$ | 28.01 | 20 | 5.6 |
| $CH_4$ | 16.04 | 3 | 0.5 |
| $C_6H_{14}O$ | 102.17 | 17.5 | 17.9 |
| $C_4H_{10}O$ | 74.12 | 2.5 | 1.9 |
| 合计 | | | 43.7 |

该混合气体的相对密度为 43.7/28.96=1.5，对照表 2，应重于空气。

上述组分的爆炸极限如表 5 所示。

**表 5 示例一爆炸极限**

**Tab. 5 Explosion limit of example 1**

| 材料 | 爆炸下限 | 混合物各组分体积百分比(%) | 各组分体积百分比调整(%) | 爆炸下限/体积百分比 |
|---|---|---|---|---|
| $C_2H_4$ | 2.7 | 45 | 56.25 | 20.83 |
| $C_3H_8$ | 2.1 | 12 | 15 | 7.14 |
| $CH_4$ | 5.0 | 3 | 3.75 | 0.75 |
| $C_6H_{14}O$ | 1.4 | 17.5 | 21.88 | 15.63 |
| $C_4H_{10}O$ | 1.9 | 2.5 | 3.13 | 1.64 |
| 合计 | | | | 46.0 |

该混合气体的爆炸显现为 1/46 × 100%= 2.17%。

(2) 示例二

混合物的组成如下：$H_2$ 13.2%；$CH_4$ 37.2%；$C_2H_4$ 30.2%；$C_2H_6$ 9.7%；$C_3H_6$ 9.7%。

上述各组分的物理特性如表 6 所示。

**表 6 示例二混合物的物理特性**

**Tab. 6 Physical properties of mixtures of example 2**

| 材料 | 摩尔质量 | 爆炸下限(%) | 爆炸上限(%) | 引燃温度/℃ | 闪点/℃ | 设备类别 | MESG/mm | MICR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $H_2$ | 2.02 | 4.0 | 77.0 | 560 | Gas | ⅡC | 0.29 | 0.25 |
| $CH_4$ | 16.04 | 5.0 | 15.0 | 600 | 162 | ⅡA | 1.12 | 1.00 |
| $C_2H_4$ | 28.05 | 2.7 | 36.0 | 450 | 104 | ⅡB | 0.65 | 0.53 |
| $C_2H_6$ | 44.09 | 2.1 | 9.5 | 450 | 42 | ⅡA | 0.97 | 0.82 |
| $C_3H_6$ | 42.08 | 2.0 | 11.1 | 455 | Gas | ⅡA | 0.91 | |

计算过程为

$$MESG_{mix}=\frac{1}{\frac{0.132}{0.29}+\frac{0.372}{1.12}+\frac{0.302}{0.65}+\frac{0.097}{0.97}+\frac{0.097}{0.91}}=0.68$$

该混合气体的最大试验安全间隙为 0.68，对照表 1，其分类应为 IIB。

上述组分的相对密度如表 7 所示。

**表 7　示例二相对密度**

**Tab. 7 Relative density of example 2**

| 材料 | 摩尔重量 | 混合物各组分体积百分比(%) | 混合物各组分相对密度 |
|---|---|---|---|
| $H_2$ | 2.02 | 13.2 | 0.3 |
| $CH_4$ | 16.04 | 37.2 | 6.0 |
| $C_2H_4$ | 28.05 | 30.2 | 8.5 |
| $C_2H_6$ | 44.09 | 9.7 | 4.3 |
| $C_3H_6$ | 42.08 | 9.7 | 4.1 |
| 合计 | | | 23.1 |

该混合气体的相对密度为 23.1/28.96=0.79，对照表 2，应为轻于空气。

上述组分爆炸极限如表 8 所示。

**表 8　示例二爆炸极限**

**Tab. 8 Explosion limit of example 2**

| 材料 | 爆炸下限 | 混合物各组分体积百分比(%) | 爆炸下限/体积百分比 |
|---|---|---|---|
| $H_2$ | 4.0 | 13.2 | 3.30 |
| $CH_4$ | 5.0 | 37.2 | 7.44 |
| $C_2H_4$ | 2.7 | 30.2 | 11.18 |
| $C_2H_6$ | 2.1 | 9.7 | 4.61 |
| $C_3H_6$ | 2.0 | 9.7 | 4.85 |
| 合计 | | | 31.4 |

该混合气体的爆炸显现为 1/31.4×100%=3.18%。

## 3　结束语

在进行爆炸危险区域划分的过程中，需要了解可燃气体混合物的各种性能。在理想状况下，可燃气体混合物的性质将由试验过程来确定；然而，这在大多数情况下是不切合实际的。利用勒夏特列原理，可以确定气体混合物的分类，进一步估算可燃气体混合物的相对密度和爆炸极限，以便于危险区域划分的分析和绘制。

## 参考文献


[1] 黄旭. 爆炸气体或蒸气混合物的类别判定[J]. 石油化工设计，2019(2)：73-74.

[2] 爆炸性环境 第 11 部分：气体和蒸气物质特性分类试验方法和数据：GB/T 3836.11—2017[S].

[3] Explosive atmospheres Part 20-1：Material characteristics for gas and vapour classification - Test methods and data：ISO/IEC FDIS 80079-20-1：2017[S].

[4] BRANDES E, REDEKER T. Maximum experimental safe gap of binary and ternary mixtures[J]. Journal de Physique IV，2002，12(7)：207.

[5] 寇晓光. 关于美国国家电气规程(NEC)爆炸性混合物组别划分方法介绍[J]. 电气防爆，2002(3)：29-32.

[6] Natural gas - Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe indices from composition：ISO 6976:2016[S].

[7] 爆炸危险环境电力装置设计规范：GB 50058—2014[S].

[8] Gas cylinders-Gases and gas mixtures - Determination of fire potential and oxidizing ability for the selection of cylinder valve outlets：ISO 10156：2017 [S].

[9] 吴德荣. 化工工艺设计手册[M]. 5 版. 北京：化学工业出版社，2018.

[10] Recommended practice for the classification of flammable liquids, gases, or vapors and of hazardous (classified) locations for electrical installations in chemical process areas：NFPA 497—2008[S].



作者简介：

王　骏

王骏(1971—)，男，高级工程师，长期从事机电工程安装和设计工作。


(收稿日期：2020-11-15)EA