

# 煤气化厂房合成气的火灾危险性类别

杜霞

**摘要：**煤气化技术在煤化工产业中占有重要地位，煤气化厂房的火灾危险性取决于煤气化合成气的火灾危险性。本文以某项目煤气化炉出口合成气为例，通过对其爆炸极限估算、实验测试和爆炸危险性分析，确定了煤气化厂房合成气的火灾危险性类别，为类似工程判断火灾危险性提供参考。

**关键词：**煤气化厂房 合成气 爆炸极限 火灾危险性类别

## 1 引言

煤气化技术在煤化工产业中占有重要地位，应用最为广泛，可以说是煤化工产业的核心。煤气化厂房在进行防火设计时，必须首先判断其火灾危险性，进而采取行之有效的防火防爆对策。

煤气化厂房的火灾危险性是根据生产中使用或产生的可燃物质性质及其数量确定的。煤气化生产是将煤通过筛分、破碎及研磨以后，在高温条件下与气化剂（氧或蒸汽）反应，加工为合成气（主要含  $H_2$ 、 $CO$ 、 $H_2S$ 、 $CH_4$ 、 $H_2O$ 、 $CO_2$  及  $N_2$  等）的过程，主要的危险物质是煤（碎煤、水煤浆或煤粉）、氧气和气化生成的可燃气体。按照现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定，煤的火灾危险性类别为丙类（煤粉为乙类），氧气的火灾危险性类别为乙类，可燃气体的火灾危险性类别以爆炸下限小于 10%为甲类、爆炸下限大于等于 10%为乙类。一般，当厂房内使用或产出不同火灾危险性类别的物质时，厂房的火灾危险性类别要按其中火灾危险性类别最高的物质确定。因此，要确定煤气化厂房的火灾危险性，首先要判断煤气化合成气的爆炸极限，确定其爆炸极限范围。

## 2 煤气化合成气的爆炸极限估算及实验测试

煤在气化炉中的气化反应是一个十分复杂的体系，不同的气化工艺技术、不同煤种以及不同的运行条件，气化炉出口合成气组分都不会相同。有关气化过程机理的理论和实验研究有很多，也有一些预测气化炉出口合成气成分的计算方法。在煤气化厂房防火设计中，一般是根据工艺专业给出的合成气组分进行火灾危险性分析。

爆炸极限是判断可燃气体危险性的依据，本文以某项目煤粉气化的气化炉出

口合成气的组成、各组分的含量(共两组，见表 1)为例，对其爆炸极限进行估算及实验测试。

表 1 合成气的组成、各组分的含量及爆炸极限

各组分分子式	各组分含量 mol% (第 1 组)	各组分含量 mol% (第 2 组)	合成气中可燃气体含量 mol% (第 1 组)	合成气中可燃气体含量 mol% (第 2 组)	爆炸极限
H <sub>2</sub> O	13.7	—	—	—	—
H <sub>2</sub>	19.3	20	26.12	28.57	4% - 74.0%
CO	54.1	50	73.21	71.43	12.5% - 75.6%
CO <sub>2</sub>	11.5	10	—	—	—
H <sub>2</sub> S	0.5	—	0.68	—	4.3% - 45.5%
N <sub>2</sub>	0.8	20	—	—	—
Ar	<0.1	—	—	—	—
COS	<0.08	—	—	—	—
NH <sub>3</sub>	<0.018	—	—	—	—
HCN	<0.018	—	—	—	—
Total	100	100	100	100	

合成气的爆炸极限可以用经验公式估算，也可以采用专门仪器经实验测定。爆炸极限的估算值与实验值一般有些出入，其原因是经验公式只考虑到混合物的组成，而无法考虑其他一些因素的影响。

## 2.1 经验公式计算

多种可燃气体组成的混合气体的爆炸极限，可根据各组分已知的爆炸极限按公式 1 求得：

$$L_m = 100 / (V_1/L_1 + V_2/L_2 + \dots + V_n/L_n) \quad (\text{公式 1})$$

式中： $L_m$ ——混合气体爆炸极限，%； $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ ——混合气体中各组分的爆炸极限，%； $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ ——各组分在混合气体中的体积分数，%。

有惰性气体混入的多组元可燃气体混合物的爆炸极限，可用下列公式 2 计算。

$$L_m = L_f \times \frac{(1 + \frac{B}{1-B}) \times 100}{B} \quad (\text{公式 2})$$

式中： $L_m$  为含惰性气体混合物的爆炸极限，%； $L_f$  为混合物中可燃气体部分的爆炸极限，%； $B$  为惰性气体含量，%。

公式 1、2 是目前比较公认的可燃气体爆炸极限的估算方法。虽然这两个公式存在一些固有假设，如物质的热容为常数；气体的物质的量为常数；纯物质的燃烧动力学是独立的，并不因其他可燃物质的存在而变化；爆炸极限内绝热温度的升高对于所有物质都是相同的，但在某些情况下，很难得到实验数据，公式 1、2 的计算方法用于工程项目快速估算，有一定的参考价值。

煤气化合成气是爆炸性气体和惰性气体的混合物。根据公式 1，计算出表 1 的第 1、2 组合成气中可燃气体部分的爆炸极限值，并将其代入公式 2，计算出含有惰性气体的合成气的爆炸极限值，见表 2。

表 2 含有惰性气体的合成气的爆炸极限值

	合成气中可燃气体部分的爆炸极限值		含有惰性气体的合成气的爆炸极限值	
	表 1 中第 1 组	表 1 中第 2 组	表 1 中第 1 组 (含惰性气体 26%)	表 1 中第 2 组 (含惰性气体 30%)
$L_{下} (\%)$	7.97	7.78	10.47	10.77
$L_{上} (\%)$	74.9	75.19	80.1	81.25

## 2.2 实验测试

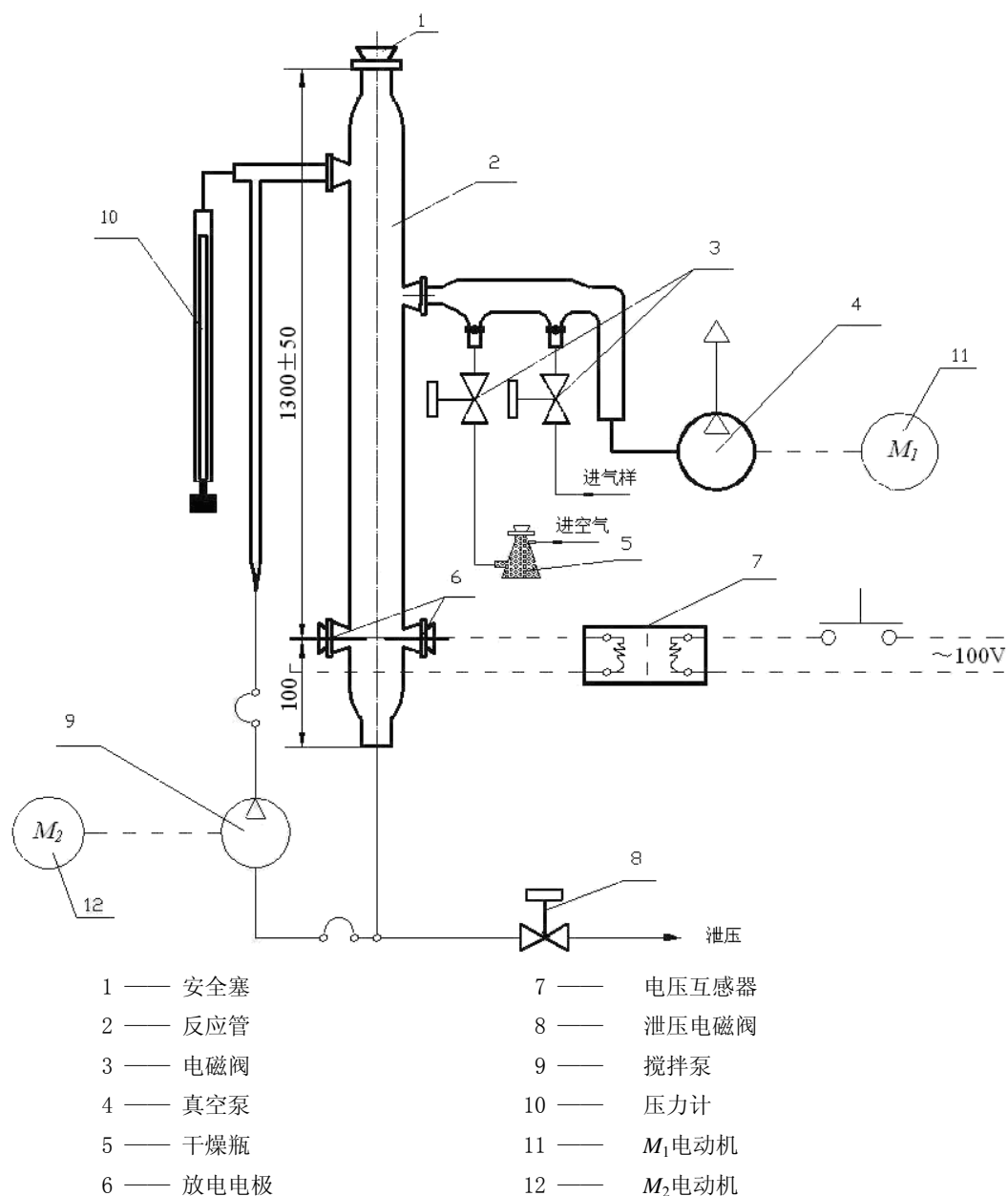


图 1 爆炸极限测定装置示意图

对于可燃气体的爆炸极限，推荐采用实验测定。在实验室条件下，采用爆炸极限测定装置（见图 1），按照现行国家标准《空气中可燃气体爆炸极限测定方法》GB/T 12474 中规定的实验方法，将上述表 1 中第 2 组气体（20%N<sub>2</sub>，20%H<sub>2</sub>，50%CO，10%CO<sub>2</sub>）与空气按一定的比例混合，配制成混合气，然后用电火花引燃，改变混合气浓度直至测得能发生爆炸的最低、最高浓度，通过重复性操作，测得最接近的火焰传播和不传播两点的浓度，并按下式计算爆炸极限值：

$$\Phi=1/2 (\Phi_1+\Phi_2)$$

式中： $\Phi$ ——爆炸极限； $\Phi_1$ ——传播浓度； $\Phi_2$ ——不传播浓度。

试验条件：环境温度 31℃；大气压 101350Pa。

最终得到爆炸极限测试结果：10.5%—75.8%。

### 3 煤气化合成气爆炸危险性分析

#### 3.1 温度、压力等因素对爆炸极限的影响

可燃气体的爆炸极限值不是一个物理常数，同一混合气体，初始温度、压力、点火源能量等都能使爆炸极限发生变化。不论是在实验室条件下测定的爆炸极限值，还是有关文献发表的代入公式 1、2 中的各组分的爆炸极限值，通常是在常温常压条件下以及用小的点火源测得的结果，与实际工艺条件下的爆炸极限值存在一定的偏差。在判断某煤气化工艺条件下合成气的爆炸危险性时，需考虑合成气的温度、压力等条件。

通常情况下，可燃气体燃烧范围随着温度的升高而增加。因为化学反应与温度有很大的关系，初始温度越高，分子内能增加，引起的反应越容易传播，燃烧或爆炸反应加快。一般规律是，可燃气体与空气混合物的初始温度升高，则爆炸极限范围增大，即爆炸下限降低，爆炸上限增高。

提高可燃气体混合物的压力，分子间的距离更为接近，碰撞几率增高，燃烧反应更容易进行，反应速度提高。在常压以上时，可燃气体爆炸极限多数变宽。

点火能量越大，越容易点燃可燃气体，即使是可燃气体更少或氧气更少，都更容易点燃，使得可燃气体的爆炸极限范围变宽。

煤气化合成气是在高温高压条件下生成的，温度、压力升高，合成气的爆炸下限降低，爆炸上限提高，爆炸极限范围变宽，高温高压条件增加了合成气的爆炸危险性。因此，用上述实验测定的爆炸下限 10.5%，或表 2 经验公式估算的爆炸下限 10.47%（第 1 组）、10.77%（第 2 组），代替煤气化厂房实际工艺条件下合成气的爆炸极限值并据此判定其火灾危险性类别为乙类，理由不充分。

### 3.2 合成气的爆炸危险性与爆炸极限范围有很大关系

现行国家标准《危险货物分类和品名编号》GB 6944 中强制性条文第 4.2.1 条第 2.1 项把“与空气的混合物按体积分占 13%或更少时可点燃的气体”或“不论易燃下限如何，与空气混合，燃烧范围的体积分至少为 12%的气体”定为易燃气体，与联合国危险货物运输专家委员会《关于危险货物运输的建议书-规章范本》（第十三修订版 第 2 部分:分类）的技术内容一致，被大多数国家所认可。

公共安全行业标准《易燃易爆危险品火灾危险性分级及试验方法 第 1 部分：易燃易爆危险品火灾危险性分级》GA/T 536.1 把“爆炸下限 $<10\%$ ；或不论爆炸下限如何，爆炸极限范围 $\geq 12$ 个百分点”的气体划分为 I 级易燃气体。

上述标准在划分易燃气体时，可以根据其爆炸下限值判定，也可以根据其燃烧范围即爆炸极限范围大于等于 12 个百分点判定，且不论爆炸下限如何。这是因为可燃气体的爆炸危险性与爆炸极限范围有很大关系，爆炸极限范围越大，它的燃爆危险性越大。为了更加科学地对可燃气体的爆炸危险性进行分析比较，有关学者提出了爆炸危险度这个指标，它综合考虑了爆炸下限和爆炸极限范围两个方面。爆炸危险度即是爆炸极限范围与爆炸下限之比值：爆炸危险度 = (爆炸上限浓度 - 爆炸下限浓度) / 爆炸下限浓度。爆炸危险度数值越大，爆炸物质的危险程度越高。爆炸危险度说明，当气体的爆炸极限范围越宽，爆炸下限越低，爆炸上限越高时，其爆炸危险性就越大。爆炸极限越宽则出现爆炸条件的机会就多；爆炸下限越低则可燃物稍有泄漏就会形成爆炸条件；爆炸上限越高则有少量空气渗入容器，就能与容器内的可燃物混合形成爆炸条件。

从本文的表 2 及实验测试结果可知，煤气化合成气的爆炸极限范围很宽，爆炸上限与爆炸下限的差值大于 65 个百分点，远大于上述标准规定的 12 个百分点，爆炸危险性较大。

## 4 结论

在煤化工生产实践中，不同煤气化工艺流程或同一种煤气化工艺流程选用不同煤种时生成的合成气组份都不一样，合成气不存在一个统一的爆炸极限值。目前，对于某一种合成气，要得到其生产工艺条件下的爆炸极限的准确数据有一定的难度，因为实验室对可燃气体燃爆特性的测试研究一般局限于常温常压条件下，而估算合成气爆炸极限的经验公式存在一些与实际不符的假设条件，将实验测得的或将经验公式计算的爆炸下限数据直接作为判定煤气化厂房的火灾危险

性类别的依据还不够科学,存在一定的风险。本文表 2 计算出的合成气的爆炸下限 10.47% (第 1 组)、10.77% (第 2 组) 及实验测得的爆炸下限 10.5% (第 2 组), 接近现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 划分甲、乙类可燃气体火灾危险性类别的分类指标 10%, 从安全角度出发, 应考虑高温高压等因素将导致合成气爆炸下限降低的不利情况, 在实验或计算结果的基础上考虑一定的安全裕量, 才可应用于实际生产中。

此外, 爆炸下限作为判定煤气化合成气危险性的唯一依据不够充分, 还应根据其爆炸极限范围判定。煤气化合成气及其主要组分一氧化碳和氢气的爆炸极限范围都很宽, 爆炸危险度较大, 火灾危险性类别确定为甲类比较合理。

#### 参考文献

- [1] 《安全科学技术百科全书》, 北京, 中国劳动社会保障出版社, 2003 年 6 月
- [2] 《化工过程安全理论及应用》, 北京, 化学工业出版社, 2006 年 5 月
- [3] 《建筑设计防火规范》GB 50016-2006
- [4] 《危险货物分类和品名编号》GB 6944-2005
- [5] 《空气中可燃气体爆炸极限测定方法》GB/T 12474-2008
- [6] 《易燃易爆危险品火灾危险性分级及试验方法 第 1 部分: 易燃易爆危险品火灾危险性分级》GA/T 536.1-2005

——本文发表于《消防科学与技术》(2012 年第 10 期)