



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 7778—2017  
代替 GB/T 7778—2008

## 制冷剂编号方法和安全性分类

Number designation and safety classification of refrigerants

(ISO 817:2014, Refrigerants—Designation and safety classification, MOD)

2017-05-12 发布

2017-12-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会



目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义、缩略语和符号..... 1

4 制冷剂编号方法 ..... 6

5 表示方法 ..... 9

6 安全性分类 ..... 9

7 制冷剂编号和安全性分类..... 12

8 制冷剂浓度极限(RCL)..... 12

附录 A (资料性附录) 制冷剂中同分异构体的编号表示方法 ..... 22

附录 B (规范性附录) 可燃性试验和分馏分析 ..... 24

附录 C (资料性附录) 测量可燃性气体燃烧速度的试验方法 ..... 28

附录 D (规范性附录) 混合制冷剂的 RCL 和 ATEL 计算 ..... 44

附录 E (资料性附录) 用来确定安全分类和 RCL 值的数据 ..... 46

附录 F (资料性附录) 申请须知 ..... 53

参考文献 ..... 59





# 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 7778—2008《制冷剂编号方法和安全性分类》。本标准与 GB/T 7778—2008 相比主要技术内容变化如下：

- 增加了制冷剂数量；
- 增加了丙烯系和醚基类制冷剂编号方法；
- 修改了其他有机和无机化合物的编号方法；
- 修改了毒性分类,由 A、B、C 三类改为 A、B 两类；
- 修改了可燃性分类,增加了 2L 弱可燃类；
- 增加了制冷剂浓度限值 RCL 的确定方法；
- 表 5 中增加了部分制冷剂,且增加 LFL、ATEL、RCL 列；
- 附录 A 中增加“A.3 丙烷系同分异构体”和“A.4 立体异构体示例”；
- 删除了原标准附录 B 旧、新标准安全分类对照表；
- 增加了附录 B 可燃性试验和分馏分析；
- 增加了附录 C 测量可燃气体燃烧速度的试验方法；
- 增加了附录 D 混合制冷剂的 RCL 和 ATEL 计算；
- 增加了附录 E 用来确定安全分类和 RCL 值的数据；
- 增加了附录 F 申请须知。

本标准使用重新起草法修改采用 ISO 817:2014《制冷剂 命名和安全分类》。

本标准与 ISO 817:2014 相比的技术性差异及其原因如下：

- 关于规范性引用文件,本标准做了具有技术性差异的调整,以适应我国的技术条件,具体调整为:用 GB/T 21844 代替了 ASTM E681；
- 关于“职业接触限定值”的定义,ISO 817 中该指标基于相关的国家规定。本标准针对我国的国情增加了在我国可参照的规定(见 3.1.28 的注)；
- 删除了表 6 中的上角注<sup>b</sup>,并将原上角注<sup>c、d</sup>分别调整为<sup>b、c</sup>；
- 附录 B 中涉及引用 ANSI/ASHRAE 34—2013 中的图 B.1,本次修订后直接将该图纳入本标准中(见附录 B 的 B.1)；
- 附录 F 的性质由规范性附录修改为资料性附录。因为附录 F 涉及向国外机构申请制冷剂编号。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国冷冻空调设备标准化技术委员会(SAC/TC 238)归口。

本标准负责起草单位:合肥通用机电产品检测院有限公司、宁波博浪热能科技有限公司、合肥通用机械研究院、合肥通用环境控制技术有限公司。

本标准主要起草人:张明圣、吴俊峰、汪吉平、李志亮、贾磊、马广玉、李亚运。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 7778—1987、GB/T 7778—2001、GB/T 7778—2008。



# 制冷剂编号方法和安全性分类

## 1 范围

本标准规定了制冷剂的编号表示方法,根据毒性和可燃性数据对制冷剂进行安全分类的方法,以及确定制冷剂浓度限值的方法。

本标准适用于制冷空调设备及装置使用的制冷剂。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 21844 化合物(蒸气和气体)易燃性浓度限值的标准试验方法

ANSI/ASHRAE 34 制冷剂的命名和安全分类(Designation and safety classification of refrigerants)

## 3 术语和定义、缩略语和符号

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**急性毒性 acute toxicity**

制冷剂意外释放期间可能发生的因单次短期接触而产生的不利健康影响。

#### 3.1.2

**急性毒性接触极限 acute-toxicity exposure limit;ATEL**

根据本标准确定的在发生制冷剂释放时降低对人的急性毒性风险危害的最大建议制冷剂浓度。

#### 3.1.3

**麻醉效应 anaesthetic effect**

感知痛苦和其他感官刺激的能力削弱。

#### 3.1.4

**接近致死浓度 approximate lethal concentration;ALC**

对单个实验动物来说是致死的,但对在 LC<sub>50</sub> 试验中在相同条件下受试的动物组中少于 50% 的实验动物是致死的制冷剂浓度。

#### 3.1.5

**共沸混合制冷剂 azeotrope**

由两种或更多种制冷剂组成的,其平衡蒸气相和液相成分在某一给定压力下相同,但在其他条件下可能不同的混合制冷剂。

#### 3.1.6

**混合制冷剂 blend**

由两种或更多种制冷剂组成的混合制冷剂。

GB/T 7778—2017

3.1.7

**燃烧速度** **burning velocity**

**$S_u$**

层流火焰沿着与其前面的未燃烧气体垂直的方向传播的最大速度。

注：该值以 cm/s 表示。

3.1.8

**中枢神经系统效应** **central nervous system effect; CNS**

与治疗相关的某种程度上的沮丧、注意力分散、刺激或可能表现为逃生能力削弱的其他行为改变。

3.1.9

**慢性毒性** **chronic toxicity**

因长期、反复接触而产生的不利健康影响。

3.1.10

**燃烧** **combustion**

氧化剂与还原剂之间发生的放热反应。

3.1.11

**化合物** **compound**

由两种或更多种原子按一定比例经化学结合而组成的物质。

3.1.12

**临界点** **critical point**

一种热力学状态,在此状态点上,液相和气相不同时存在。

3.1.13

**环状化合物** **cyclic compound**

其结构以原子封闭环为特征的一种有机化合物。

3.1.14

**50%有效浓度** **effective concentration 50%; EC<sub>50</sub>**

在麻醉效应或其他效应试验中,使 50%的被试动物产生生物效应的制冷剂浓度。

注：该值一般通过试验数据计算获得。

3.1.15

**高温燃烧极限** **elevated temperature flame limit; ETFL**

在 6.1.3 规定的试验条件下,能够使火焰通过均质的制冷剂和空气混合物传播的最小制冷剂体积浓度。

3.1.16

**当量比** **equivalence ratio**

混合物中的可燃物组分除以化学计量条件下的可燃物组分。

注 1：可以被定义为(可燃组分)/(可燃组分)<sub>标准</sub>。

注 2：用于确定燃烧速度。

注 3：稀混合物混合比小于 1,浓混合物混合比大于 1。

3.1.17

**火焰** **flame**

燃烧时,在其中导致温度升高和发光的区域。

3.1.18

**火焰传播** **flame propagation**

在没有着火点和点火源帮助时,产生从燃烧点向上、向外运动到烧瓶壁的火焰的燃烧。



注：应用火焰传播确定 LFL 和可燃性分类的试验方法见附录 B.1.7，应用火焰传播确定燃烧速度的试验方法见附录 C。

3.1.19

**可燃的 flammable**

火焰在混合物中能够自行传播一定的距离的特性。

3.1.20

**分馏 fractionation**

由于易挥发组分优先蒸发或不易挥发组分优先凝结而引起的混合制冷剂成分的变化。

3.1.21

**燃烧热 heat of combustion; HOC**

根据 6.1.3.7 测定的某一物质与氧气发生规定的反应而生成的热量。

注：本标准的燃烧热用每单位质量的能量放热反应的正值表示(单位：kJ/kg)。

3.1.22

**同分异构体 isomers**

化学成分相同但分子结构不同的两种或多种化合物。

3.1.23

**50%致死浓度 lethal concentration 50%; LC<sub>50</sub>**

使 50% 的实验动物致死的浓度。

3.1.24

**可燃下限 lower flammability limit; LFL**

在 6.1.3 规定的试验条件下，能够使火焰通过均质的制冷剂和空气混合物传播的最小制冷剂浓度。

注：LFL 用制冷剂的体积分数表示。

3.1.25

**最低观测效应水平值 lowest observed adverse effect level; LOAEL**

对一个或多个实验动物已经产生任何可观察到的有害影响的制冷剂的最低浓度。

3.1.26

**非观测效应水平值 no observed adverse effect level; NOAEL**

对任何动物不产生任何可观察到的有害影响的制冷剂的最高浓度。

3.1.27

**名义成分 nominal composition; nominal formulation**

混合制冷剂说明中标示的设计组分，不考虑组分浓度允差。

注 1：表 6 和表 7 中的第 2 列列出了混合制冷剂的组成成分。

注 2：当容器被充入 80% 或更多液体时，该液相成分可被视为名义成分。

3.1.28

**职业接触限定值 occupational exposure limit; OEL**

对于一个普通的 8 h 工作日和 40 h 工作周时间来说，几乎所有的工人都可以多次接触而无不良反应的一个时间加权平均浓度值。

注：本指标是基于相关规定，如美国职业安全与健康管理局(OSHA)规定的允许接触极限 PEL、美国政府工业卫生学会(ACGIH)规定的时间加权阈限值浓度 TLV-TWA、危险性评价毒理学中心(TERA)规定的工作地点环境接触极限 WEEL 或者德国研究基金会确立的最大工作场所浓度 MAK。在我国，可参照中华人民共和国国家职业卫生标准 GBZ 2.1—2007 的相关规定。

## GB/T 7778—2017

## 3.1.29

烯烃 olefin

未饱和有机含碳化合物,主要特征是在分子中碳原子间存在一个或多个双键。

## 3.1.30

饱和有机化合物 saturated organic compound

碳原子之间只包含单键的有机含碳化合物。

## 3.1.31

不饱和有机化合物 unsaturated organic compound

原子之间至少含有一个双键或三键的有机含碳化合物。

## 3.1.32

缺氧极限 oxygen deprivation limit; ODL

导致氧气不足从而发生异常生理效应的某一制冷剂或其他气体的浓度。

## 3.1.33

火焰传播速度 propagation velocity of flame

火焰在空间中传播的速度。

## 3.1.34

猝熄 quenching

火焰接近一个表面时由于热传导损失、吸收活性化学种类和表面粘滞效应而使火焰熄灭的效应。

## 3.1.35

制冷剂 refrigerant

制冷系统中用于热传导的流体,它在流体低温和低压时吸收热量,而在流体高温和高压时释放热量,通常涉及流体的相变。

## 3.1.36

制冷剂浓度极限 refrigerant concentration limit; RCL

根据本标准测定并且为了降低毒性、窒息和可燃性危害的风险而制定的空气中的最大制冷剂浓度。

## 3.1.37

相对分子质量 relative molar mass

相对分子质量在数字上相当于用克每摩尔表示的分子量,但它是无量纲的。

## 3.1.38

燃烧所需化学当量浓度 stoichiometric concentration for combustion

$C_{st}$

在正好包含所有存在的化合物完全氧化所需的必要空气量(21%体积  $O_2$ /79%体积  $N_2$ )的燃料与空气的某一混合物中燃料的浓度。

## 3.1.39

时间加权阈限值浓度 threshold limit value-time weighted average; TLV-TWA

正常 8 h 工作日和 40 h 工作周的时间加权平均浓度,在此浓度下,几乎所有工人可日复一日地反复接触而不会产生不良影响。

## 3.1.40

工作地点环境接触极限 workplace environmental exposure limit; WEEL

由危险性评价毒理学中心(TERA)规定的职业接触极限。

## 3.1.41

最不利成分 worst-case formulation; WCF

因采用标称成分允差而造成配方的毒性最强或可燃性最大的成分。

## 3.1.42

**最不利分馏成分** **worst-case fractionated formulation; WCFF**

在最不利成分分馏期间产生的导致成分毒性最强或可燃性最大的成分。

## 3.1.43

**非共沸混合制冷剂** **zeotrope**

由两种或更多种制冷剂组成的其平衡气相和液相成分在任何点都不同的混合制冷剂。

## 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ALC:接近致死浓度(approximate lethal concentration)

ATEL:急性毒性接触极限(acute-toxicity exposure limit)

CNS:中枢神经系统效应(central nervous system effect)

EC<sub>50</sub>:50%有效浓度(effective concentration 50%)

ETFL:高温燃烧极限(elevated temperature flame limit)

HOC:燃烧热(heat of combustion)

LC<sub>50</sub>:50%致死浓度(lethal concentration 50%)

LFL:可燃下限(lower flammability limit)

LOAEL:最低观测效应水平值(lowest observed adverse effect level)

MAK:德国研究基金会确立的最大工作场所浓度(Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (Maximum workplace concentration) as set by Deutsche Forschungsgemeinschaft (German Research Foundation))

NOAEL:非观测效应水平值(no observed adverse effect level)

ODL:缺氧极限(oxygen deprivation limit)

PEL:允许接触极限(permissible exposure limit)

RCL:制冷剂浓度极限(refrigerant concentration limit)

RCL<sub>M</sub>:表示为单位体积质量的 RCL(RCL expressed as grams per cubic metre)

RCL<sub>ppm</sub>:表示为体积比的 RCL(RCL expressed as parts per million by volume)

TCF:毒性浓度系数(toxic concentration factor)

TLV-TWA:时间加权阈限值浓度(threshold limit value-time weighted average)

WCF:最不利成分(worst-case formulation)

WCFF:最不利分馏成分(worst-case fractionated formulation)

WEEL:工作场所环境接触极限(workplace environmental exposure limit)

## 3.3 符号

下列符号适用于本文件。

$a_{\text{blend}}$ :混合制冷剂的死亡率指标值。

$a_n$ :混合制冷剂中成分  $n$  的死亡率指示值。

$a_f$ :火焰底部的横截面积。

$A_f$ :火焰表面积。

$b_n$ :混合制冷剂中成分  $n$  的心脏敏感指标值。

$b_{\text{blend}}$ :混合制冷剂的心脏敏感指标值。

$c_n$ :混合制冷剂中成分  $n$  的麻醉效应指标值。

$c_{\text{blend}}$ :混合制冷剂的麻醉效应指标值。

$C_{\text{blend}}$ :混合制冷剂的毒性浓度因子。



$C_n$ :混合制冷剂中成分  $n$  的毒性浓度因子。

$C_{st}$ :燃烧所需化学当量浓度。

$S_s$ :火焰传播速度,单位 cm/s。

$S_u$ :燃烧速度,单位 cm/s。

$x_n$ :混合制冷剂中成分  $n$  的摩尔分数。

$\Phi_{max}$ :最大燃烧速度下的等效比。

4 制冷剂编号方法

4.1 每种制冷剂以规定的识别编号定义,见表 5、表 6 和表 7。表 E.4、表 E.5 和表 E.6 提供了用于确定制冷剂安全分类、ATEL 或 RCL 值的不完全数据。

4.2 分配给甲烷、乙烷、丙烷和环丁烷系的卤代烃以及碳氢化合物的识别编号是这样的,即规定的识别编号要使化合物的结构可以从制冷剂的编号推导出来,反之亦然,且不致产生模棱两可的判断。对于甲烷、乙烷、乙烯和大部分丙烷和丙烯系,其分子结构可同样地通过识别编号确定。

4.2.1 自右向左的第一位数字是化合物中氟(F)原子数。

4.2.2 自右向左的第二位数字是化合物中氢(H)原子数加 1 的数。

4.2.3 自右向左的第三位数字是化合物中碳(C)原子数减 1 的数。当该数字为零时,则不写。

4.2.4 自右向左的第四位数字是化合物中非饱和碳键的个数。当该数字为零时,则不写。

4.2.5 在溴(Br)或碘(I)部分和全部代替氯的情况下,仍然采用同样的规则,但要在原来氯-氟化合物的识别编号后面加字母 B 或 I 以表示溴(Br)或碘(I)的存在,字母 B 或 I 后的数字表示溴或碘的原子个数。

4.2.6 化合物中氯(Cl)原子数,是从能够与碳(C)原子结合的原子总数中减去氟(F)、溴(Br)和氢(H)原子数的和后求得的。对于饱和的制冷剂,连接的原子总数是  $2n+2$ ,其中  $n$  是碳原子数。对于单个不饱和的制冷剂和环状饱和制冷剂,连接的原子总数是  $2n$ 。

4.2.7 碳(C)原子应按照出现的顺序依序编号,编号 1 分配给具有氢取代基数目最多的末端碳(C)原子。在两个末端碳(C)原子都包含相同数目的(但相异的)卤素原子的情况下,编号 1 应分配给依次具有最大数目的溴(Br)、氯(Cl)、氟(F)和碘(I)原子的第一个末端碳原子。

4.2.8 环状衍生物,在制冷剂的识别编号之前使用字母 C(例如,R-C318,PFC-C318)。

4.2.9 乙烷系同分异构体都具有相同的编号,但最对称的一种用编号后面不带任何字母来表示。随着同分异构体变得越来越不对称时,就应附加 a、b、c 等字母。对称度是把连接到每个碳原子的卤素原子和氢原子的质量相加,并用一个质量总和减去所得的差值来确定,其差值绝对值越小,生成物就越对称。

4.2.10 丙烷系的同分异构体都是具有相同编号,它们通过后面加上两个小写字母的区别,加的第一个字母表示中间碳原子(C2)上的取代基,见表 1。

表 1 丙烷同分异构体附加字母

同分异构体	附加字母
—CCl <sub>2</sub> —	a
—CClF—	b
—CF <sub>2</sub> —	c
—CHCl—	d
—CHF—	e
—CH <sub>2</sub> —	f



对环丙烷的卤代衍生物,用所连接原子的质量总和为最大的碳原子作为中心碳原子,对这些化合物,舍去第一个后缀字母。加的第二个字母表示两端碳原子(C1 和 C3)取代基的相对对称性,对称性取决于与“C1”和“C3”碳原子分别相连的卤素原子和氢原子质量总和,两个和之差绝对值越小,这个同分异构体越对称。但与乙烷系列不同,最对称的同分异构体具有第二个附加字母 a(乙烷系列同分异构体不加字母),按不对称顺序再附加字母(b、c 等);如果没有同分异构体时,则省略附加字母,这时仅用制冷剂编号就明确地表示出分子结构;例如,CF<sub>3</sub>CF<sub>2</sub>CF<sub>3</sub> 编号为 R218,而不是 R218ca,该体系的例子见附录 A。4.2.11 和表 2 中所列的附加字母未涵盖含溴的丙烷系列异构体。

4.2.11 丙烯系的同分异构体都是具有相同编号,它们通过后面加上两个小写字母来区别,加的第一个字母表示中间碳原子上的取代基,分别用 x、y 或 z 代表 Cl、F 和 H。第二个字母表示末端亚甲基碳上的取代基,见表 2。

表 2 丙烯同分异构体附加字母

同分异构体	附加字母
=CCl <sub>2</sub>	a
=CClF	b
=CF <sub>2</sub>	c
=CHCl	d
=CHF	e
=CH <sub>2</sub>	f

对于立体异构体存在的情况,相对的异构体由后缀(E)界定,同向异构体由后缀(Z)界定。

4.3 醚基制冷剂应直接在编号之前用前缀“E”(表示“醚”)来编号。除以下特殊情况外,碳氢化合物原子的基数字标号应根据现行的碳氢化合物命名标准确定,参见 4.2。

4.3.1 二碳二甲基醚(如 R-E125,CHF<sub>2</sub>—O—CF<sub>3</sub>)不需要 4.2.9 中规定的那些后缀另外的后缀,因为“E”前缀的出现给出了清楚的描述。

4.3.2 对于直链三碳醚,应这样对碳原子进行编号,即数字 1 分配给具有最大数目的卤素原子的末端碳,之后的碳原子按顺序编号,如同它们出现在直链上那样。在两个末端碳都含有相同数目的(但不同的)卤素原子的情况下,数字 1 应分配给依次具有最大数目的氯、氟和碘原子的末端碳。对于超过三个碳的醚,化合物应根据 4.5,在其他有机化合物 600 系列中编号。

4.3.2.1 醚氧的位置应由其首先接触到的碳(C)原子来规定,标识与醚氧连接的第一个碳的一个附加整数将添加到后缀字母上(例如,R-E236ea2,CHF<sub>2</sub>—O—CHF—CF<sub>3</sub>)。

4.3.2.2 对于其他对称碳氢化合物结构,醚氧应指定给在分子式中最前面的碳(C)原子上。

4.3.2.3 在醚结构的烃部分只有一个单一的异构体存在的情况下,比如CF<sub>3</sub>—CHF<sub>2</sub>—O—CF<sub>3</sub>,在 4.2.9、4.2.10 和 4.2.11 中所述的后缀字母应省略。在这个被引用的实例中,正确的名称应是 R-E218。

4.3.2.4 包含两个分散氧原子的结构的二醚应用两个后缀整数命名,以指定醚氧的位置。

4.3.3 对于带有“C”和“E”两个前缀的环醚,“C”应在“E”前面,即“CE”,用以命名“环醚”。对于包括三碳和一个醚氧原子的四元环醚,碳氢化合物原子的基数字标号应根据现行的碳氢化合物命名标准建立,见 3.2。

4.4 混合制冷剂在 400 和 500 系列号中进行编号。

4.4.1 非共沸混合制冷剂应在 400 系列中被连续地分配一个识别编号。为了区分具有相同制冷剂但不同组成(质量分数不同)的非共沸混合制冷剂,编号后应添加一个大写字母(A、B 或 C)。

4.4.2 共沸混合制冷剂应在 500 系列中被连续地分配一个识别编号。为了区分具有相同制冷剂但不

同组成(质量分数不同)的共沸混合制冷剂,编号后应添加一个大写字母(A、B或C)。

4.4.3 混合物应对单一成分的允差进行规定。那些允差应规定到接近 0.1%质量分数的精确度。超过或低于名义值的最大允差不应超过 2.0%质量分数。超过或低于名义值的允差不应小于 0.1%质量分数。最高和最低允差之间的差值不应超过名义成分组成的二分之一。

4.5 有机化合物应在 600 系中按 10 个一族被分配编号,见表 E.4,在族内按名称顺序编号。对于带有 4 个~8 个碳原子的饱和烃类,被分配的编号应是 600 加碳原子数减 4。例如,丁烷是 R600,戊烷是 R601,己烷是 R602,庚烷是 R603,辛烷是 R604。直链或“正”烃没有后缀。对于带有 4 个~8 个碳原子的烃类同分异构体,小写字母 a、b、c 等按表 3 所示根据连接到长碳链上的族被附加到同分异构体上。例如,R601a 被分配给 2-甲基丁烷(异戊烷),而 R601b 将被分配给 2,2-二甲基丙烷(季戊烷)。其中一个异构体的浓度大于或等于 4%的混合同分异构体,应在 400 或 500 系列中被分配一个编号。

表 3 各种有机化合物的后缀

被连接的族	后缀
无(直链)	无后缀
2-甲基-	a
2,2-二甲基-	b
3-甲基-	c
2,3-二甲基-	d
3,3-二甲基-	e
2,4-二甲基-	f
2,2,3-三甲基-	g
3-乙基-	h
4-甲基-	i
2,5-二甲基-	j
3,4-二甲基-	k
2,2,4-三甲基-	l
2,3,3-三甲基-	m
2,3,4-三甲基-	n
2,2,3,3-四甲基-	o
3-乙基-2-甲基-	p
3-乙基-3-甲基-	q

4.6 无机化合物按 700 和 7000 系列序号编号。

4.6.1 对于相对分子质量小于 100 的无机化合物,化合物的相对分子质量加上 700 就得出制冷剂的识别编号。

4.6.2 对于相对分子质量等于或大于 100 的无机化合物,化合物的相对分子质量加上 7000 就得出制冷剂的识别编号。

4.6.3 当两个或两个以上的无机制冷剂具有相同的相对分子量时,应按名称的顺序编号添加大写字母(例如,A、B、C 等),以便区分它们。



5 表示方法

5.1 一般前缀符号

在第 4 章规定的制冷剂编号前面应加字母 R 或者单词 Refrigerant(s),如 5.2 中所示。可以在制冷剂编号之前直接加字母 R 或单词 Refrigerant(s),也可以在它们之间使用空格或者横杠“-”。例如: R134a、Refrigerant134a、R 134a 或者 R-134a。

5.2 成分标识前缀符号

对于碳氢化合物和烃类制冷剂,在第 4 章规定的制冷剂编号前面加上一串字母来表示制冷剂的组成成分。成分标识前缀应该包含化合物所含元素的第一个字母。如果化合物含有氢原子,第一个字母应该为“H”,最后一个字母应该为表示碳原子的“C”。中间的字母表示卤素原子,通过以下顺序进行标示:“I”表示碘原子,“B”表示溴原子,“C”表示氯原子,“F”表示氟原子。

注 1: 含有氢原子的卤代化合物在到达平流层前增加了分解能力。

醚的成分指示性前缀应用“E”代替“C”,因此,HFE、HCFE 和 CFE 分别指的是氢氟醚、氢氯氟醚和氯氟醚,相应的如果使用成分标识前缀,应该忽略制冷剂编号中的“E”字母。卤代烯烃的成分指示性前缀应该为 CFC、HCFC 或 HFC 分别指的是含氯氟烃、氢氯氟烃或者氢氟烃,或者用 O 替代 C 的 CFO、HCFO 和 HFO 分别指氟氯烯烃、氢氯烯烃和氢氟烯烃。

注 2: 卤代烯烃是卤代有机物(或者含碳)的一个类别,比同类饱和物具有较短的大气寿命。

此外,当一种制冷剂化合物完全被氟化时,使用符号 PFC,见表 4。

表 4 成分标识前缀的例子

制冷剂	成分	前缀和名称
氟氯碳 12	$\text{CCl}_2\text{F}_2$	CFC-12
氢氯氟碳 22	$\text{CHClF}_2$	HCFC-22
氢氟烃 134a	$\text{CH}_2\text{FCF}_3$	HFC-134a
全氟化碳 116	$\text{CF}_3\text{CF}_3$	PFC-116
烃 600a	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_3$	HC-600a
全氟化碳 C318	$-(\text{CF}_2)_4-$	PFC-C318
氢氟醚 E125	$\text{CHF}_2\text{OCF}_3$	HFE-125
氢氟烯烃 1234yf	$\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$	HFO-1234yf

有编号的混合制冷剂应用每个组分的成分标识前缀符号连接起来表示,例如:R500(CFC-12/HFC-152a)。混合制冷剂的组分应该按照标准沸点增加的顺序来排列。无编号的混合制冷剂可用每个组分的成分标识前缀符号来表示,例如:HCFC-22/HFC-152a/CFC-114(36/24/40),这里(36/24/40)表示每个组分的质量分数。

6 安全性分类

6.1 概述

6.1.1 安全分类组成

制冷剂安全性分类由两个字母数字符号(如 A1、B2 等)以及一个表示低燃烧速度的字母“L”组成。

大写字母表示按 6.1.2 规定的毒性分类,阿拉伯数字表示按 6.1.3 规定的可燃性分类。混合制冷剂应被分配一个双安全组别,由斜杠(/)分隔两个组别。所列的第一个类别应为混合制冷剂的最不利成分(WCF)的类别。所列的第二个类别应为最不利分馏成分(WCFF)的类别。

### 6.1.2 毒性分类

制冷剂根据容许的接触量,毒性分为 A、B 两类。

A 类(低慢性毒性):制冷剂的职业接触限定值  $OEI \geq 400 \text{ ppm}^{1)}$ 。

B 类(高慢性毒性):制冷剂的职业接触限定值  $OEI < 400 \text{ ppm}$ 。

### 6.1.3 可燃性分类

#### 6.1.3.1 概述

按制冷剂的可燃性危险程度,制冷剂的可燃性根据可燃下限(LFL)、燃烧热(HOC)和燃烧速度( $S_u$ )分为 1、2L、2 和 3 四类。对卤代烃制冷剂可燃下限(LFL)测试应按附录 B 中规定的方法进行,最大燃烧速度( $S_u$ )测试按规定的方法获得,燃烧热(HOC)按 6.1.3.7 中规定的方法理论计算得出。可燃下限和燃烧速度试验均应在后面规定的温度下进行。

燃烧速度测量应根据本标准的附录 C 或其他可靠方法进行。选择的方法应符合以下确定的燃烧速度测定方法,即,证明测量结果对 R32 来说为  $(67 \pm 7) \text{ mm/s}$ ,对 R152a 为  $(230 \pm 23) \text{ mm/s}$ ,或者提供支持该方法的准确性的其他证据。测量应从 LFL 开始到至少 1.25 倍化学当量浓度进行,并且每一测量应重复至少两次。最大燃烧速度是根据与测量点的最佳曲线拟合获得的最大值。气体混合物应通过在试验间产生精确到  $\pm 0.1\%$  的空气/制冷剂混合物的任何方法制取。包含  $21.0\% \pm 0.1\% \text{ O}_2$  的干燥重组空气(少于每克干空气 0.000 15 g 水蒸气)应用作氧化剂。可燃气体应有 99.5%(质量分数)的最低纯度。

注 1: 确定燃烧速度的方法包括垂直管法和密闭容器法<sup>[14]</sup>。

注 2: 混合的方法包括:

- a) 使用分压制取的带压混合物;
- b) 确定空气和制冷剂比例的其他流量方法,如体积流量计和质量流量控制器。

#### 6.1.3.2 第 1 类(无火焰传播)

在 101 kPa 和 60 °C 大气中实验时,单一制冷剂或者混合制冷剂的 WCF 和 WCFF 未表现出火焰传播。

#### 6.1.3.3 第 2L 类(弱可燃)

单一制冷剂或者混合制冷剂的 WCF 和 WCFF 满足以下条件:

- a) 在 101 kPa、60 °C 的实验条件下,有火焰传播;
- b) 制冷剂  $LFL > 3.5\%$  (体积分数)(若制冷剂在 23.0 °C 和 101.3 kPa 下没有 LFL,参见 6.1.3.6);
- c) 燃烧产生热量  $< 19\,000 \text{ kJ/kg}$  (见 6.1.3.7),并且;
- d) 在 101 kPa、23 °C 的实验条件下测试时,制冷剂的最大燃烧速度  $S_u \leq 10 \text{ cm/s}$ 。

#### 6.1.3.4 第 2 类(可燃)

单一制冷剂或者混合制冷剂的 WCF 和 WCFF 满足以下条件:

- a) 在 101 kPa、60 °C 的实验条件下,有火焰传播;

1) 0.01% 的体积分数相当于 100 ppm。



- b) 制冷剂  $LFL > 3.5\%$  (体积分数) (若制冷剂在  $23.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $101.3\text{ kPa}$  下没有  $LFL$ , 见 6.1.3.6), 并且;
- c) 燃烧产生热量  $< 19\,000\text{ kJ/kg}$  (见 6.1.3.7)。

### 6.1.3.5 第 3 类(可燃易爆)

单一制冷剂或者混合制冷剂的 WCF 和 WCFE 满足以下条件:

- a) 在  $101\text{ kPa}$ 、 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  的实验条件下, 有火焰传播, 且;
- b) 制冷剂  $LFL \leq 3.5\%$  (体积分数) (若制冷剂在  $23.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $101.3\text{ kPa}$  下没有  $LFL$ , 见 6.1.3.6); 或者燃烧产生热量  $\geq 19\,000\text{ kJ/kg}$ 。

### 6.1.3.6 LFL 或者 ETEL

对于类别 2L、类别 2 或类别 3 制冷剂或制冷剂混合物, 应确定可燃下限  $LFL$ 。对于在  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $101.3\text{ kPa}$  下进行试验时未显示出火焰传播(即, 没有  $LFL$ )的类别 2L、类别 2 或类别 3 制冷剂或制冷剂混合物, 应用高温火焰极限(ETEL)代替  $LFL$ (可燃下限)来确定其燃烧性分类。

### 6.1.3.7 燃烧热

应在  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $101.3\text{ kPa}$  试验条件下, 按如下方法确定燃烧热。

6.1.3.7.1 对于单组分制冷剂, 可计算燃烧热。生成热的值可以在化学和物理性能手册和数据库中查到。燃烧热等于反应物质(制冷剂和氧)形成的焓值减去反应产物形成的焓值, 对于放热反应, 燃烧热是正数。对于化学计算的燃烧反应, 计算值应基于  $1\text{ mol}$  制冷剂与充足的氧气发生燃烧。反应物和燃烧产物应假定处于气相状态。若分子中有足够的氢的话, 燃烧产物应为  $\text{HF}$ 、 $\text{CO}_2$  ( $\text{N}_2$  或  $\text{SO}_2$ , 若氮或硫是制冷剂分子结构的一部分) 和  $\text{HCl}$ , 多余的氢转化成  $\text{H}_2\text{O}$ 。若可用于生成  $\text{HF}$  和  $\text{HCl}$  的氢不充分, 但对生成  $\text{HF}$  充分, 则  $\text{HF}$  的生成优先于  $\text{HCl}$  的生成; 如果可用于生成  $\text{HF}$  的氢不充分, 则剩余的氟会优先生成  $\text{COF}_2$ , 而不是  $\text{CO}_2$ 。剩余的氯生成  $\text{Cl}_2$ 。

6.1.3.7.2 对于混合制冷剂, 燃烧热应根据全组分制冷剂的平衡化学方程式计算出(式中制冷剂的总摩尔数应等于 1)。

注: 这个可以被概念性的理解为将制冷剂的分子分解成连续性的原子, 并且用相同碳原子、氢原子、氯原子等总量的摩尔比值进一步创建一个假设性的分子。这个假设性的分子将被作为一个纯的制冷剂看待, 如 6.1.3.7.1 所示。这个假设性分子生成热即为原始分子混合摩尔平均生成热。

## 6.2 安全分类系统矩阵图

根据 6.1.2 和 6.1.3 的毒性和可燃性分类原则, 把制冷剂分为 8 个安全分类(A1、A2L、A2、A3、B1、B2、B2L 和 B3), 如图 1 矩阵图所示。

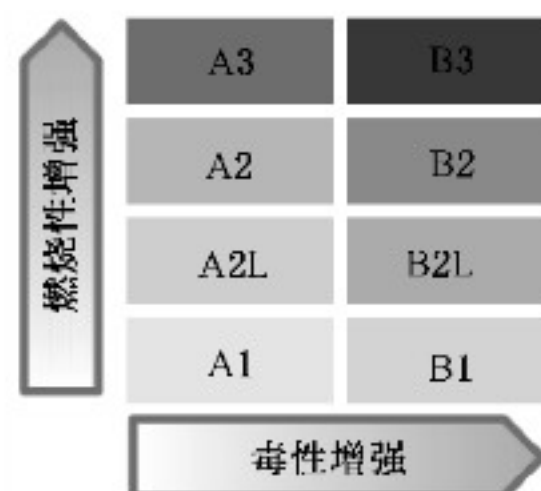


图 1 基于可燃性和毒性的制冷剂安全性分类

## 7 制冷剂编号和安全性分类

纯组分制冷剂和混合制冷剂编号、安全性分类以及 RCL 取值分别见表 5、表 6 和表 7。

## 8 制冷剂浓度极限(RCL)

### 8.1 总则

RCL 的测定应认为制冷剂在其被释放的空间中完全气化(无溶解、反应或者分解)并且均匀混合。考虑到临时局部浓度或试验数据的不确定性,包含了一个安全系数。

如果没有有效的科学结论来证明可选的其他值,制冷剂的 RCL 值应是利用 8.2 中指示的数据根据 8.1.1.1、8.1.1.2 和 8.1.1.3 进行计算并根据 8.4 进行修正所得的最小量。

#### 8.1.1 概述

##### 8.1.1.1 急性毒性接触极限(ATEL)

ATEL 等于根据 8.1.1.2、8.1.1.3、8.1.1.4 和 8.1.1.5 确定的最低毒性浓度系数(TCF)。对于混合制冷剂,8.1.1.1~8.1.1.5 中的个别参数值应按照以下公式计算:

$$\frac{1}{C_{\text{blend}}} = \frac{x_1}{C_1} + \frac{x_2}{C_2} + \cdots + \frac{x_n}{C_n}$$

式中:

$x_n$ ——混合制冷剂组分  $n$  的摩尔分数;

$C_n$ ——根据 ISO 10298 确定的混合制冷剂成分  $n$  的 TCF。

注:附录 D 给出了一个计算 ATEL 的示例,附录 E 给出了用于计算各制冷剂的 ATEL 和 RCL 的相关参数值。

##### 8.1.1.2 致死率

应根据以下优先顺序选择值:

第 1 优先项:28.3%的鼠的 4 h 半数致死浓度  $LC_{50}$ 。

第 2 优先项:假如对超过一半的接触动物来说,它没有导致死亡。那么等于 28.3%的鼠的 4 h 接近致死浓度 ALC。

注:28.3%基于 30 min 内,安全系数为 10 的半致死浓度  $LC_{50}$  的计算值。30 min 时间代表逃出制冷剂产生泄漏的区域所需的时间,即: $0.283 = (4/0.5)^{1/2} / 10$ 。

第 3 优先项:若两个都未测出,则为 0 ppm。

对于无法获得 4 h 试验数据的制冷剂,用式(1)和式(2)来修正试验为 15 min~8 h 的半数致死浓度  $LC_{50}$  和接近致死浓度 ALC:

$$LC_{50}(t_1) = LC_{50}(t_2) \times (t_2/t_1)^{1/2} \quad \cdots \cdots (1)$$

$$ALC_{t_1} = ALC_{t_2} \times (t_2/t_1)^{1/2} \quad \cdots \cdots (2)$$

式中:

$t_1$ ——4 h;

$t_2$ ——以小时表示的试验时间,适用于 0.25 h~8 h。

##### 8.1.1.3 心脏敏感

若 8.1.1.3 项中的  $LC_{50}$  或 ALC 小于 10 000 ppm(按体积)或若通过毒性评估发现制冷剂不会导致



心脏敏感,则 ATEL 测定中不需要心脏敏感项。

注 1: 心脏敏感是试剂产生最小血液浓度的一种表现。如果试剂毒性太大,将会在心律失常显现前,看到其他的毒性或致命性表现。不曾显示具有低  $LC_{50}$  的烃或卤代烃导致心律失常<sup>[18]</sup>。

应根据以下优先顺序选择值:

第 1 优先项:100% 的未麻醉狗的的心脏敏感无观测效应水平值 NOAEL。如果在确定心脏敏感的阈值前,在心脏敏感试验期间,其他效应造成研究缩短,则可使用对为至少一半的受试动物收集的数据测试的最高接触浓度作为心脏敏感结束点的估计 NOAEL。其中可能出现的情况将是注意中枢神经系统效应的临床症状或系统性毒性的显著症状。在这些情况下,这些症状的 NOAEL 将会低于导致心脏敏感研究缩短的接触浓度。因此,应当认为满足确定心脏敏感评估的要求。应与 ATEL 测定的所有其他合适的研究结果一起考虑该 NOAEL 值。

注 2: 因为其他效应,例如颤栗或麻木的出现妨碍测定心脏敏感值的能力,所以采用该方法。

第 2 优先项:80% 的最低观测效应水平值 LOAEL,只要 LOAEL 不在超过半数的接触动物中引起敏感。

第 3 优先项:如果不能测定任何值,只要有一个良好的科学理由,可考虑从其他类似化合物得到心脏敏感数据。如果没有确定心脏敏感数据,则将其赋予一个 1 000 ppm 的值。

#### 8.1.1.4 麻醉效应或中枢神经系统(CNS)效应

应根据以下优先顺序选择值:

第 1 优先项:对于在旋转装置中丧失复原能力,50% 的小鼠或大鼠的 10 min 半数致死浓度  $EC_{50}$ 。

第 2 优先项:对于在旋转装置中丧失复原能力,100% 的小鼠或大鼠的非观测效应水平值 NOAEL。

第 3 优先项:大鼠在急性毒性研究期间产生任何麻醉效应或中枢神经系统效应的症状时,只要最低观测效应水平值 LOAEL 对超过半数接触动物不引起麻醉效应,为 50% 的最低观测效应水平值 LOAEL。

第 4 优先项:大鼠在其中记录临床症状的急性、亚慢性或慢性毒性研究期间产生任何麻醉效应或中枢神经系统效应时,为 80% 的非观测效应水平值 NOAEL。

#### 8.1.1.5 其他妨碍脱险的效应和永久性损伤

人接触 30 min 时妨碍个人的脱险能力从而导致不可逆转的不利的健康影响时,为最小浓度的 80%。应记录该值的来源。

#### 8.1.2 缺氧极限(ODL)

对于海拔高度 1 000 m 及以下的区域,制冷剂在空气中含量的 ODL 应为 140 000 ppm(空气中含有 18% 的氧气);在海拔高度大于 1 000 m 但低于或等于 1 500 m 的区域,ODL 应为 112 000 ppm;在海拔高度 1 500 m 以上的区域,ODL 应为 69 100 ppm(空气中含有 19.5% 的氧气)。

#### 8.1.3 可燃浓度极限(FCL)

FCL 等于根据附录 B 确定的 LFL 的 20%,单位为 ppm。

### 8.2 计算用数据

#### 8.2.1 数据源

8.2.1.1 计算用数据:被用来计算 RCL 的数据应从科学和工程研究或政府机构或专家组公布的安全评

估中选取,也承认同行评议出版物的数据,包括期刊文章和报告。根据附录 F 提交申请的毒性数据应证明其研究过程满足良好实验室操作规范(GLP),例如参考文献[6]。提交的数据应包括对所采用的试验方法和分析方法的说明,并概述提供评价的人员的资格。

**8.2.1.2 备选毒性数据:**从没有发表的研究中、从未经同行审查的研究中或从涉及 8.1.1.1、8.1.1.2、8.1.1.3 和 8.1.1.4 中所示的那些研究以外的种类或涉及化学类似物的研究选取的数据应提交给具有管辖权的主管当局供其批准(见附录 F)。提交应包括对所采用的试验方法和分析方法的说明、来自备选来源的数据和数据检索的范围,并概述提供评价的人员的资格。

**8.2.1.3 多个数据值:**若已经发表多个数据值,并提交给主管机构,主管机构将对似乎是最准确和真实的值进行判断。主管机构将保持逻辑的记录用于作出决定。

例外情况:8.1.1.3 和 8.1.1.4 项中的心脏敏感和麻醉效应的非观测效应水平值 NOAEL,对于任何比例的受试动物数,应使用不超过最低观测效应水平值 LOAEL 的最高 NOAEL。

**8.2.1.4 备选可燃性数据:**来自没有发表的研究中或来自没有经过同行审查的研究的数据应提交给具有管辖权的主管当局供其考虑。提交应包括对所使用的试验方法和分析方法的说明、来自备选来源数据的评估和数据检索的范围,并概述提供评价的人员的资格。当根据本标准第 6 章规定的方法进行时,使用的值应是导致最低 LFL 或最高燃烧速度的那些值。

## 8.2.2 一致的方法

由主管机构确定的,以与获得 8.1.1.2~8.1.1.5 中的数据所采用的那些方法一致的方法而产生的数据被允许用以确定 8.1 中的参数。

## 8.3 污染物和杂质

制冷剂应标明污染物和杂质,包括因制造、运输和储存而产生的增加了制冷剂浓度极限(RCL)精度内的可燃性或毒性的已知的同分异构体杂质和分解杂质。还要标明那些杂质的极限。

## 8.4 单位换算——体积质量和海拔高度修正

式(3)和式(4)被用来将制冷剂浓度极限(RCL)从体积比(ppm)转换为单位体积质量(g/m<sup>3</sup>):

$$RCL_M = RCL_{ppm} \times a \times M \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$a = P/RT \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$RCL_M$  ——单位体积质量的 RCL,单位为克每立方米(g/m<sup>3</sup>);

$RCL_{ppm}$  ——体积比的 RCL,单位为 ppm(体积分数);

$M$  ——制冷剂的摩尔质量,单位为克每摩尔(g/mol);

$T$  ——计算值,取 298 K;

$P$  ——大气压力,当海拔高度高于海平面上 1 500 mm 时,使用以下公式修正压力:  $P = 1.013\,25 \times 10^5 - 10.001 \times h$ ,式中  $h$  为海拔高度;

$R$  ——计算值,取 8.314 J/(mol·K)。



表 5 制冷剂编号、安全性分类

制冷剂 编号	成分标 识前缀	化学名称 <sup>b</sup>	化学分子式	摩尔质量 <sup>a</sup> g/mol	标准沸点 <sup>a</sup> °C	安全分类 <sup>d</sup>	LFL(体积分数) ppm	ATEL(体积分数) ppm	RCL(体积分数) ppm
甲烷系列									
R11	CFC	三氯-氟甲烷	CCl <sub>3</sub> F	137.4	24	A1		1 100	1 100
R12	CFC	二氯二氟甲烷	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	120.9	−30	A1		18 000	18 000
R14	PFC	四氟甲烷(四氟化碳)	CF <sub>4</sub>	88.0	−128	A1		110 000	110 000
R22	HCFC	氯二氟甲烷	CHClF <sub>2</sub>	86.5	−41	A1		59 000	59 000
R23	HFC	三氟甲烷	CHF <sub>3</sub>	70.0	−82	A1		51 000	51 000
R32	HFC	二氟甲烷(亚甲基氟)	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	52.0	−52	A2L	144 000	220 000	29 000
乙烷系列									
R113	CFC	1,1,2-三氯-1,2,2-三氟乙烷	CCl <sub>2</sub> FCClF <sub>2</sub>	187.4	48	A1		2 600	2 600
R114	CFC	1,2-二氯-1,1,2,2-四氟乙烷	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	170.9	4	A1		20 000	20 000
R115	CFC	氯五氟乙烷	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	154.5	−39	A1		120 000	120 000
R116	PFC	六氟乙烷	CF <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	138.0	−78	A1		120 000	120 000
R123	HCFC	2,2-二氯-1,1,1-三氟乙烷	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	153.0	27	B1		9 100	9 100
R124	HCFC	2-氯-1,1,1,2-四氟乙烷	CHClFCF <sub>3</sub>	136.5	−12	A1		10 000	10 000
R125	HFC	五氟乙烷	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	120.0	−49	A1		75 000	75 000
R134a	HFC	1,1,1,2-四氟乙烷	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	102.0	−26	A1		50 000	50 000
R142b	HCFC	1-氯-1,1-二氟乙烷	CH <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub>	100.5	−10	A2	80 000	25 000	16 000
R143a	HFC	1,1,1-三氟乙烷	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	84.0	−47	A2L	82 000	170 000	16 000
R152a	HFC	1,1-二氟乙烷	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	66.0	−25	A2	48 000	50 000	9 600
R170	HC	乙烷	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	30.0	−89	A3	31 000	7 000	6 200
RE170		二甲醚	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	46.1	−25	A3	34 000	42 000	6 800

表 5 (续)

制冷剂 编号	成分标 识前缀	化学名称 <sup>b</sup>	化学分子式	摩尔质量 <sup>a</sup> g/mol	标准沸点 <sup>a</sup> °C	安全分类 <sup>d</sup>	LFL(体积分数) ppm	ATEL(体积分数) ppm	RCL(体积分数) ppm
丙烷系列									
R218	PFC	八氟丙烷	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	188.0	−37	A1		110 000	110 000
R227ea	HFC	1,1,1,2,3,3,3-七氟乙烷	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>	170.0	−16	A1		90 000	90 000
R236fa	HFC	1,1,1,3,3,3-六氟乙烷	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	152.0	−1	A1		55 000	55 000
R245fa	HFC	1,1,1,3,3-五氟丙烷	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	134.0	15	B1		34 000	34 000
R290	HC	丙烷	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	44.0	−42	A3	21 000	50 000	4 200
环状有机化合物									
RC318	PFC	八氟环丁烷	CF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub>	200.0	−6	A1		80 000	80 000
杂项,有机化合物 烃类									
R600	HC	丁烷	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	58.1	0	A3	16 000	1 000	1 000
R600a	HC	2-甲基丙烷(异丁烷)	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>3</sub>	58.1	−12	A3	18 000	25 000	3 600
R601	HC	戊烷	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	72.2	36	A3	12 000	1 000	1 000
R601a	HC	2-甲基戊烷(异戊烷)	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	72.2	27	A3	10 000	1 000	1 000
无机化合物									
R702		氢	H <sub>2</sub>	2.0	−253	A3	40 000		
R704		氦	He	4.0	−269	A1			
R717		氨	NH <sub>3</sub>	17.0	−33	B2L	167 000	320	320
R744		二氧化碳	CO <sub>2</sub>	44.0	−78 <sup>c</sup>	A1		40 000	40 000
丙烯系列									
R1234yf	HFO	2,3,3,3-四氟-1-丙烯	CF <sub>3</sub> CF=CH <sub>2</sub>	114.0	−29.4	A2L	62 000	100 000	12 000

表 5 (续)

制冷剂 编号	成分标 识前缀	化学名称 <sup>b</sup>	化学分子式	摩尔质量 <sup>a</sup> g/mol	标准沸点 <sup>a</sup> ℃	安全分类 <sup>d</sup>	LFL(体积分数) ppm	ATEL(体积分数) ppm	RCL(体积分数) ppm
R1234ze(E)	HFO	1,3,3,3-四氟-1-丙烯	CF <sub>3</sub> CH=CHF	114.0	−19.0	A2L	65 000	59 000	13 000
R1270	HC	丙烯	CH <sub>3</sub> CH=CH <sub>2</sub>	42.1	−48	A3	27 000	1 000	1 000

<sup>a</sup> 相对摩尔质量和标准沸点不是本标准的一部分。标准沸点是液态物质在标准大气压(101.3 kPa)下沸腾时所处的温度。

<sup>b</sup> 优选化学名称跟在通俗名称之后,置于括号中。优选的化学名称及化学式根据参考文献[3]或[4]。

<sup>c</sup> 升华。

<sup>d</sup> 表 E.4 提供了部分确定单组份制冷剂的的安全分类、ATEL 或者 RCL 的数据。

表 6 R400 系列混合物制冷剂编号、安全性分类

制冷剂编号	组分质量分数 <sup>b</sup> %	组分浓度允差 %	泡点 <sup>a</sup>	露点 <sup>a</sup>	安全 分类 <sup>c</sup>	LFL(体积分数) ppm	ATEL(体积分数) ppm	RCL(体积分数) ppm
			℃					
R401A	R22/152a/124(53/13/34)	±2.0/+0.5−1.5/±1.0	−34.4	−28.8	A1/A1		27 000	27 000
R401B	R22/152a/124(61.0/11.0/28)	±2.0/+0.5−1.5/±1.0	−35.7	−30.8	A1/A1		30 000	30 000
R401C	R22/152a/124(33/15/52)	±2.0/+0.5−1.5/±1.0	−30.5	−23.8	A1/A1		20 000	20 000
R402A	R125/290/22(60/2/38)	±2.0/+0.1−1.0/±2.0	−49.2	−47.0	A1/A1		66 000	66 000
R402B	R125/290/22(38/2/60)	±2.0/+0.1−1.0/±2.0	−47.2	−44.9	A1/A1		63 000	63 000
R403A	R290/22/218(5/75/20)	+0.2−2.0/±2.0/±2.0	−44.0	−42.3	A1/A2	130 000	63 000	26 000
R403B	R290/22/218(5/56/39)	+0.2−2.0/±2.0/±2.0	−43.8	−42.3	A1/A1		68 000	68 000
R404A	R125/143a/134a(44/52/4)	±2.0/±1.0/±2.0	−46.6	−45.8	A1/A1		130 000	130 000
R406A	R22/600a/142b(55/4/41)	±2.0/±1.0/±1.0	−32.7	−23.5	A2/A2	82 000	37 000	16 000
R407A	R32/125/134a(20/40/40)	±2.0/±2.0/±2.0	−45.2	−38.7	A1/A1		83 000	83 000
R407B	R32/125/134a(10/70/20)	±2.0/±2.0/±2.0	−46.8	−42.4	A1/A1		79 000	79 000

表 6 (续)

制冷剂编号	组分质量分数 <sup>b</sup> %	组分浓度允差 %	泡点 <sup>a</sup>		露点 <sup>a</sup> ℃	安全 分类 <sup>c</sup>	LFL(体积分数) ppm	ATEL(体积分数) ppm	RCL(体积分数) ppm
			℃						
R407C	R32/125/134a(23/25/52)	±2.0/±2.0/±2.0	-43.8	-36.7	A1/A1			81 000	81 000
R407D	R32/125/134a(15/15/70)	±2.0/±2.0/±2.0	-39.4	-32.7	A1/A1			68 000	68 000
R407E	R32/125/134a(25/15/60)	±2.0/±2.0/±2.0	-42.8	-35.6	A1/A1			80 000	80 000
R407F	R32/125/134a(30/30/40)	±2.0/±2.0/±2.0	-46.1	-39.7	A1/A1			95 000	95 000
R408A	R125/143a/22(7/46/47)	±2.0/±1.0/±2.0	-45.5	-45.0	A1/A1			94 000	94 000
R409A	R22/124/142b(60/25/15)	±2.0/±2.0/±1.0	-35.4	-27.5	A1/A1			29 000	29 000
R409B	R22/124/142b(65/25/10)	±2.0/±2.0/±1.0	-36.5	-29.7	A1/A1			30 000	30 000
R410A	R32/125(50/50)	+0.5-1.5/+1.5-0.5	-51.6	-51.5	A1/A1			170 000	170 000
R410B	R32/125(45/55)	±1.0/±1.0	-51.5	-51.4	A1/A1			150 000	140 000
R411A	R1270/22/152a(1.5/87.5/11.0)	+0.0-1.0/+2.0-0.0/+0.0-1.0	-39.7	-37.2	A1/A2	55 000		22 000	11 000
R411B	R1270/22/152a(3/94/3)	+0.0-1.0/+2.0-0.0/+0.0-1.0	-41.6	-41.3	A1/A2	70 000		13 000	13 000
R412A	R22/218/143b(70/5/25)	±2.0/±2.0/±1.0	-36.4	-28.8	A1/A2	87 000		46 000	17 000
R413A	R218/134a/600a(9/88/3)	±1.0/±2.0/+0.0-1.0	-29.3	-27.6	A1/A2	88 000		49 000	18 000
R414A	R22/124/600a/142b(51/28.5/4/16.5)	±2.0/±2.0/±0.5/+0.5-1.0	-34.0	-25.8	A1/A1			26 000	26 000
R414B	R22/124/600a/142b(50/39/1.5/9.5)	±2.0/±2.0/±0.5/+0.5-1.0	-34.4	-26.1	A1/A1			23 000	23 000
R415A	R22/152a(82/18)	±1.0/±1.0	-37.5	-34.7	A1/A2	56 000		57 000	11 000
R415B	R22/152a(25/75)	±1.0/±1.0	-23.4	-21.8	A2/A2	47 000		52 000	9 400
R416A	R134a/124/600(59/39.5/1.5)	+0.5-1.0/+1.0-0.5/+0.1-0.2	-23.4	-21.8	A1/A1			14 000	14 000
R417A	R125/134a/600(46.6/50/3.4)	±1.1/±1.0/+0.1-0.4	-38.0	-32.9	A1/A1			13 000	13 000
R417B	R125/134a/600(79/18.3/2.7)	±1.0/±1.0/+0.1-0.5	-44.9	-41.5	A1/A1			15 000	15 000
R418A	R290/22/152a(1.5/96/2.5)	±0.5/±1.0/±0.5	-41.2	-40.1	A1/A2	89 000		59 000	18 000



表 6 (续)

制冷剂编号	组分质量分数 <sup>b</sup> %	组分浓度允差 %	泡点 <sup>a</sup>	露点 <sup>a</sup>	安全 分类 <sup>c</sup>	LFL(体积分数) ppm	ATEL(体积分数) ppm	RCL(体积分数) ppm
			℃					
R419A	R125/134a/170(77/19/4)	±1.0/±1.0/±1.0	-42.6	-36.0	A1/A2	60 000	70 000	12 000
R420A	R134a/142b(88/12)	+1.0-0.0/+0.0-1.0	-25.0	-24.2	A1/A1		45 000	45 000
R421A	R125/134a (58/42)	±1.0/±1.0	-40.8	-35.5	A1/A1		61 000	61 000
R421B	R125/134a (85/15)	±1.0/±1.0	-45.7	-42.6	A1/A1		69 000	69 000
R422A	R125/134a/600a (85.1/11.5/3.4)	±1.0/±1.0/+0.1-0.4	-46.5	-44.1	A1/A1		63 000	63 000
R422B	R125/134a/600a (55/42/3)	±1.0/±1.0/+0.1-0.5	-40.5	-35.6	A1/A1		56 000	56 000
R422C	R125/134a/600a (82/15/3)	±1.0/±1.0/+0.1-0.5	-45.3	-42.3	A1/A1		62 000	62 000
R422D	R125/134a/600a (65.1/31.5/3.4)	+0.9-1.1/±1.0/+0.1-0.4	-43.2	-38.4	A1/A1		58 000	58 000
R423A	R134a/227ea (52.5/47.5)	±1.0/±1.0	-24.2	-23.5	A1/A1		59 000	59 000
R424A	R125/134a/600a/600/601a (50.5/47/0.9/1/0.6)	±1.0/±1.0/+0.1-0.2/+0.1-0.2	-39.1	-33.3	A1/A1		23 000	23 000
R425A	R32/134a/227ea (18.5/69.5/12)	±0.5/±0.5/±0.5	-38.1	-31.3	A1/A1		72 000	72 000
R426A	R125/134a/600/601a (5.1/93/1.3/0.6)	±1.0/±1.0/+0.1-0.2/+0.1-0.2	-28.5	-26.7	A1/A1		20 000	20 000
R427A	R32/125/143a/134a (15/25/10/50)	±2.0/±2.0/±2.0/±2.0	-43.0	-36.3	A1/A1		79 000	79 000
R428A	R125/143a/290/600a (77.5/20/0.6/1.9)	±1.0/±1.0/+0.1-0.2/+0.1-0.2	-48.3	-47.5	A1/A1		83 000	83 000
R429A	RE170/152a/600a (60/10/30)	±1.0/±1.0/±1.0	-26.0	-25.6	A3/A3	25 000	47 000	5 000
R430A	R152a/600a (76/24)	±1.0/±1.0	-27.6	-27.4	A3/A3	32 000	40 000	6 400
R431A	R290/152a (71/29)	±1.0/±1.0	-43.1	-43.1	A3/A3	22 000	50 000	4 400

表 6 (续)

制冷剂编号	组分质量分数 <sup>b</sup> %	组分浓度允差 %	泡点 <sup>a</sup>		露点 <sup>a</sup> ℃	安全 分类 <sup>c</sup>	LFL(体积分数) ppm	ATEL(体积分数) ppm	RCL(体积分数) ppm
				℃					
R432A	R1270/E170 (80/20)	±1.0/±1.0	-46.6	-45.6	A3/A3	22 000	1 200	1 200	
R433A	R1270/290 (30/70)	±1.0/±1.0	-44.6	-44.2	A3/A3	20 000	3 100	3 100	
R433B	R1270/290 (5/95)	±1.0/±1.0	-42.7	-42.5	A3/A3	18 000	14 000	3 600	
R433C	R1270/290 (25/75)	±1.0/±1.0	-44.3	-43.9	A3/A3	18 000	3 600	3 600	
R434A	R125/143a/134a/600a (63.2/18/16/2.8)	±1.0/±1.0/±1.0/±0.1±0.2	-45.0	-42.3	A1/A1		73 000	73 000	
R435A	RE170/152a (80/20)	±1.0/±1.0	-26.1	-25.9	A3/A3	34 000	45 000	6 800	
R436A	R290/600a (56/44)	±1.0/±1.0	-34.3	-26.2	A3/A3	16 000	36 000	3 200	
R436B	R290/600a (52/48)	±1.0/±1.0	-33.4	-25.0	A3/A3	16 000	35 000	3 200	
R437A	R125/164a/600/601 (19.5/78.5/1.4/0.6)	+0.5±1.8/+1.5±0.7/+0.1±0.2/+0.1±0.2	-32.9	-29.2	A1/A1		19 000	19 000	
R438A	R32/125/134a/600/601a (6.5/45/44.2/1.7/0.6)	+0.5±1.5/±1.5/±1.5/+0.1±0.2/+0.1±0.2	-43.0	-36.4	A1/A1		19 000	19 000	
R439A	R32/125/600a (50/47/3)	±1.0/±1.5/±0.5	-52.0	-51.8	A2/A2	104 000	140 000	21 000	
R440A	R290/134a/152a (0.6/1.6/97.8)	±0.1/±0.6/±0.5	-25.5	-24.3	A2/A2	46 000	50 000	9 200	
R441A	R170/290/600a/600 (3.1/54.8/6.0/36.1)	±0.3/±2.0/±0.6/±2.0	-41.9	-20.4	A3/A3	16 000	3 200	3 200	
R442A	R32/125/134a/152a/227ea (31.0/31.0/30.0/3.0/5.0)	±1.0/±1.0/±1.0/±0.5±1.0	-46.5	-52.7	A1/A1		100 000	100 000	

<sup>a</sup> “泡点”和“露点”温度不是本标准的一部分；它们仅作为信息了解。“泡点”定义为一种制冷剂的液态饱和温度，液态制冷剂开始沸腾时所处的温度。在恒定压力下，非共沸制冷剂混合物的始沸点低于露点。“露点”定义为一种制冷剂的蒸气饱和温度，液态制冷剂最后一滴沸腾时所处的温度。在恒定压力下，非共沸制冷剂混合物的露点高于沸点。

<sup>b</sup> 通常列出混合制冷剂成分以便提高标准沸点。

<sup>c</sup> 表 E.5 提供了部分确定 R400 系列混合制冷剂的安全分类、ATEL 或者 RCL 的数据。

表 7 R500 系列混合物制冷剂编号、安全性分类

制冷剂 编号	组分质量分数 <sup>a</sup> %	组分浓度允差 %	共沸温度 <sup>d</sup> ℃	泡点 <sup>a,b</sup> ℃		安全 分类 <sup>f</sup>	LFL(体积分数) ppm	ATEL(体积分数) ppm	RCL(体积分数) ppm
R500	R12/152a(73.8/26.2)	+1.0-0.0/+0.0-1.0	0	-33.6	-33.6	A1/A1		30 000	30 000
R501	R22/12(75.0/25.0) <sup>c</sup>		-41	-40.5	-40.3	A1/A1		54 000	54 000
R502	R22/115(48.8/51.2)		19	-45.3	-45.0	A1/A1		73 000	73 000
R507A	R125/143a (50.0/50.0)	+1.5-0.5/+0.5-1.5	-40	-47.1	-47.1	A1/A1		130 000	130 000
R508A	R23/116(39/61)	±2.0/±2.0	-86	-87.4	-87.4	A1/A1		69 000	69 000
R508B	R23/116(46/54)	±2.0/±2.0	-46	-87.4	-87.0	A1/A1		65 000	65 000
R509A	R22/218(44/56)	±2.0/±2.0	0	-40.4	-40.4	A1/A1		75 000	75 000
R510A	RE170/600a (88/12)	±0.5/±0.5	-25.2	-25.2	-25.2	A3/A3	29 000	45 000	5 800
R511A	R290/E170 (95/5)	±1.0/±1.0	-20~40	-42.18	-42.1	A3/A3	21 000	51 000	4 200
R512A	R134a/152a (5/95)	±1.0/±1.0	-20~40	-24.0	-24.0	A2/A2	45 000	50 000	9 000

<sup>a</sup> “泡点”和“露点”温度不是本标准的一部分；它们仅作为信息了解。“泡点”定义为一种制冷剂的液态饱和温度，液态制冷剂开始沸腾时所处的温度。在恒定压力下，非共沸制冷剂混合物的始沸点低于露点。“露点”定义为一种制冷剂的蒸气饱和温度，液态制冷剂最后一滴沸腾时所处的温度。在恒定压力下，非共沸制冷剂混合物的露点高于始沸点。ND 表示尚未确定。

<sup>b</sup> 共沸制冷剂呈现出在它们形成所处的温度和压力以外的温度和压力条件下的某些成分偏析。分离程度取决于特殊共沸混合制冷剂及硬件系统配置。

<sup>c</sup> 该共沸混合制冷剂的确切组成正在审议中，需要另外的试验研究。

<sup>d</sup> 在汽-液平衡(VLE)的条件下。

<sup>e</sup> 通常列出混合制冷剂成分以便提高标准沸点。

<sup>f</sup> 表 E.5 提供了部分确定 R500 系列混合制冷剂的安全分类、ATEL 或者 RCL 的数据。



附 录 A  
(资料性附录)  
制冷剂中同分异构体的编号表示方法

A.1 乙烷系同分异构体

乙烷系中二氯三氟乙烷的三种同分异构体的编号方法见表 A.1。

表 A.1 乙烷系同分异构体

同分异构体	化学分子式	$M_1^a$	$M_2$	$ M_1 - M_2 $
R123	$\text{CHCl}_2\text{CF}_3$	57.0	71.9	14.9
R123a	$\text{CHClFCClF}_2$	73.4	55.5	17.9
R123b	$\text{CHF}_2\text{CCl}_2\text{F}$	89.9	39.0	50.9
<sup>a</sup> $M_i$ 为附属在碳原子 $i$ 上卤素和氢原子质量总和(Cl 被分配给最右边的碳)。				

A.2 丙烷系同分异构体

丙烷系中二氯五氟丙烷的九个同分异构体的编号方法见表 A.2。

表 A.2 丙烷系同分异构体

同分异构体	化学分子式	C2 组 <sup>a</sup>	$M_1^b$	$M_3$	$ M_1 - M_3 $
R225aa	$\text{CF}_3\text{CCl}_2\text{CHF}_2$	$\text{CCl}_2$	57.0	39.0	18.0
R225ba	$\text{CHClFCClFCF}_3$	$\text{CClF}$	57.0	55.5	1.5
R225bb	$\text{CClF}_2\text{CClFCHF}_2$	$\text{CClF}$	73.4	39.0	34.4
R225ca	$\text{CHCl}_2\text{CF}_2\text{CF}_3$	$\text{CF}_2$	57.0	71.9	14.9
R225cb	$\text{CHClFCF}_2\text{CClF}_2$	$\text{CF}_2$	73.4	55.5	17.9
R225cc	$\text{CCl}_2\text{FCF}_2\text{CHF}_2$	$\text{CF}_2$	89.9	39.0	50.9
R225da	$\text{CClF}_2\text{CHClCF}_3$	$\text{CHCl}$	73.4	57.0	16.4
R225ea	$\text{CClF}_2\text{CHFCClF}_2$	$\text{CHF}$	73.4	73.4	0.0
R225ed	$\text{CCl}_2\text{FCHFCF}_3$	$\text{CHF}$	89.0	57.0	32.9
<sup>a</sup> C2 为中间(第二个)碳原子。 <sup>b</sup> $M_i$ 为附属在碳原子 $i$ 上卤素和氢原子质量总和(Cl 被分配给最右边的碳)。					

A.3 丙烯系同分异构体

丙烯系中四氟-1-丙烯的七个同分异构体的编号方法见表 A.3。



表 A.3 丙烯系同分异构体

同分异构体	化学分子式	立体异构体
R1234yc	$\text{CH}_2\text{F}-\text{CF}=\text{CF}_2$	
R1234zc	$\text{CHF}_2-\text{CH}=\text{CF}_2$	
R1234ye(E)	$\text{CHF}_2-\text{CF}=\text{CHF}$	Entgegen
R1234ye(Z)	$\text{CHF}_2-\text{CF}=\text{CHF}$	Zusammen
R1234ze(E)	$\text{CF}_3-\text{CH}=\text{CHF}$	Entgegen
R1234ze(Z)	$\text{CF}_3-\text{CH}=\text{CHF}$	Zusammen
R1234yf	$\text{CF}_3-\text{CF}=\text{CH}_2$	

## A.4 立体异构体示例

双键周围的原子结构使用 E 或 Z 有机命名规则加以区分。E 或 Z 是在制冷剂编号的结尾追加字母,显示原子或附加在任一双键末端碳原子团的优先级。E 类似于反,优先原子或原子团在双键两侧。Z 类似于顺,优先原子或原子团在双键同一侧。优先连接到不饱和碳原子的顺序是由 CIP 有机命名规则决定的。大体上原子序号高的原子具有更高的优先权。因此,优先顺序  $\text{I} > \text{Br} > \text{Cl} > \text{F} > \text{O} > \text{C} > \text{H}$ 。根据优先权关系,在下一个原子或原子连接的碳被认为是取代,直到优先级被确定。在制冷剂的情况下,使用原子量比原子序数更准确并减少麻烦。这是因为对  $\text{CHF}_2$  和  $\text{CH}_2\text{Cl}$  的原子数之和是相同的,而原子量总和是有区分的。

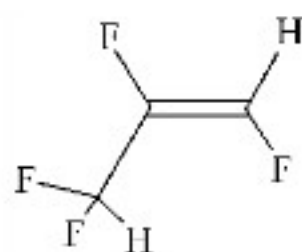


图 A.1 1(E)-1,2,3,3-四氟-1-丙烷 或者 HFO-1234ye(E)

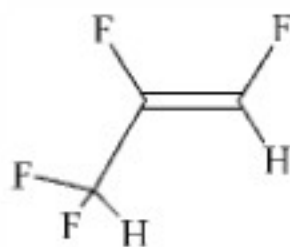


图 A.2 1(Z)-1,2,3,3-四氟-1-丙烷 或者 HFO-1234ye(Z)

附录 B  
(规范性附录)  
可燃性试验和分馏分析

B.1 可燃性试验

可燃性试验应按照 GB/T 21844 进行。假设测试材料具有很大的熄火距离导致难以点燃,试验容器应是一个名义容积为 12 L 的球形玻璃烧瓶,如图 B.1 所示。如果测试材料容易点燃,参考 GB/T 21844 所示的测试容器。点火源应为一个从 GB/T 21844 中所述的额定值为次级 15 kV 和 30 mA 交流电 (A/C) 的变压器上发出的火花,火花持续时间为 0.4 s。电极为 1 mm、L 形钨丝电极,彼此间距为 6.4 mm 且电极伸出电极座平面之外。点火源应布置在距试验容器的底部为三分之一的容器直径的高度处。含有  $(21.0 \pm 0.1)\%$   $O_2$  的再生干空气(每克干空气中水蒸气含量小于 0.000 15 g)作为氧化剂。空气的绝对湿度应小于 0.000 15 克水蒸气每克干空气或  $(0.008\ 8 \pm 0.000\ 5)$  克水蒸气每克干空气,这相当于在 23.0 °C 和 101.3 kPa 下 50% 的相对湿度,无论哪个都可给出最低的 LFL。图 B.1 中所示的弦对弧表示用于确定 LFL 和 ETFL 的  $\pi/2$  弧度(90°)的扇形。烧瓶上应安装一个搅拌器以便在点火之前将蒸气混合。

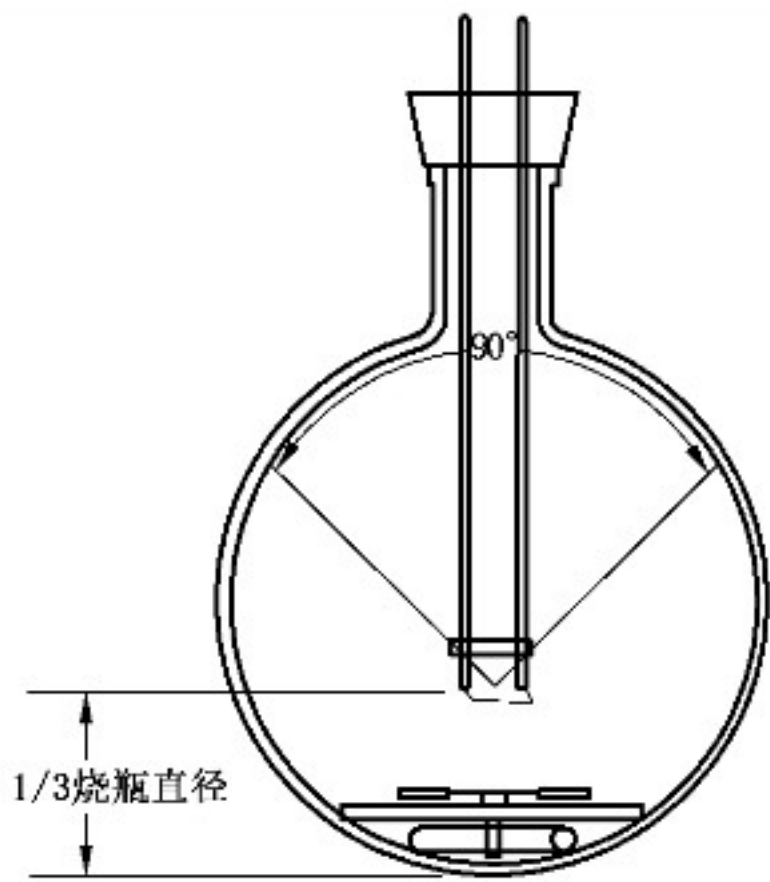


图 B.1 试验装置

注:对于碳氟化合物分子中氟-氢的比例高于 1.0 的情况,它们的可燃性随着湿度的增加而增加。本标准中所描述的测试方法需要两个层次的湿度,一个充满活力的点火源和一种均匀的混合物,这确保在实际应用时,制冷剂的 LFL 值是一个足够保守的值。

LFL 试验的制冷剂初始浓度应小于用于燃烧的化学当量浓度的一半。浓度的增量应约为 10%,例如,2%、2.2%和 2.4%。如果试验结果为火焰传播,那么随后的试验浓度应位于传播和无传播试验的中点值。试验应进行至浓度梯级小于 0.1% (绝对)或相对浓度梯级小于 5% (如 10%和 10.5%) (取较大者)。如果火焰传播不能再生或火焰传播的范围不清晰,那么 2/3 试验的一致性的结果,无论燃烧或不燃烧都被认为是该浓度的结果,应确定 LFL 为传播试验和无传播试验的中点值。

若没有明显的火焰传播,试验应进行直到已经进行了最少三个连续的浓度增量,超过化学当量浓度,且超过火花周围的燃烧已经减弱的点。

用于燃烧试验的混合制冷剂的化学计量计算应在最保守的假定下进行。LFL 试验的起始点应基于完全燃烧的化学计量,包括非可燃组分的燃烧。终点应基于假定非可燃组分不反应但作为稀释剂存



在的计算。

注：在许多情况下，混合制冷剂中的非可燃组分由于可燃组分的燃烧热而分解。

**警告：**本标准中规定的可燃性试验程序是通过使用一个玻璃烧瓶作为实验容器进行试验而改进的 ASTM 程序。试验机构应格外注意，以免造成人身伤害或设备损坏。因为试验过程中，容器易于爆炸。制冷剂的燃烧可能会产生高毒性、高腐蚀性的产物。试验机构应查询 GB/T 21844 中引用的安全事项，并根据相关固定进行试验。

**B.1.1** 测试条件如下所述：

- a) 对于单一化合物制冷剂，可燃性试验应在 60 °C 和 101.3 kPa 下进行。
- b) 对于混合制冷剂，对 WCF 和 WCFF 的可燃性试验应在 60 °C 和 101.3 kPa 下进行。WCFF 应通过 B.2 中规定的方法确定。当将成分允差应用到名义成分中若产生若干可能的最不利成分时，申请人应对所有可能的最不利成分进行可燃性试验，或者给出充足的理由来排除一个或多个可能的最不利成分。
- c) 对于那些显示火焰传播符合上述步骤 a) 或 b) 的制冷剂，可燃性试验还应在 23 °C 和 101.3 kPa 下进行以测定 LFL。对于制冷剂混合物，上述试验应在 WCF 和 WCFF 条件下进行。

**B.1.2** 当可燃组分的 LFL 已知时，制冷剂的 LFL 试验应从体积浓度比最低组分 LFL 低 1% 处开始。当组分的 LFL 未知时，试验应从 1% 制冷剂体积浓度开始。若初始浓度试验造成火焰传播，则随后的试验浓度应以 1% 的体积增量降低直到确定制冷剂的 LFL。

**B.1.3** 被测混合制冷剂的质量分数成分应通过气体色谱法验证，达到质量分数  $\pm 0.5$  的允差或组分浓度允差范围的 1/4 (取两者中之较小者)。

**B.1.4** 按照 GB/T 21844 以蒸气相将试样引入到可燃性试验装置中。待测制冷剂或混合成分的液体试样应膨胀到一个适当的真空箱中，使只有处于压力下的蒸气存在。然后，将蒸气引入可燃性试验装置中。然后向试验装置加入空气。制冷剂在空气中的浓度应通过分压测量。制冷剂和空气应在腔内混合至少 2 min。点火源在搅拌器停止 60 s 后应开始启动。

**B.1.5** 若在火花仍然活动 (即火花仍过渡激励试验容器) 时观察到有火焰传播，则应用较短 (但至少为 0.2 s) 的火花持续时间来重复进行试验。

**B.1.6** 所有可燃性试验应用一台录像机记录。试验期间应提供一台能够停顿和单张进片的回放装置。应递交一份 NTSC 格式的 VHS 磁带或数字格式 (即，MPEG 格式) 的录像。

**B.1.7** 火焰传播的判定依据：对于某浓度下的制冷剂/空气，只有在该浓度下进行的三次可燃性试验中至少有两次存在火焰传播时方可认为其达到本标准中可燃性分类的“可燃”级别。火焰传播是从燃烧点到烧瓶壁之间向上、向外运动的任何燃烧，且燃烧沿着一个大于 90 度 ( $\pi/2$ ) 的弦对弧 (以燃烧点为中心到烧瓶壁进行测量) 连续进行。

**B.1.8** 申请应包括根据 B.1 确定的试验结果。申请应控制到下面 a) ~ h) 中所述的精度。申请应包括为被测的每种制冷剂或制冷剂混合成分列成表的可燃性试验数据。这些数据包括但不限于：

- a) 被测制冷剂或混合制冷剂成分： $\pm 0.1$  质量分数；
- b) 可燃性试验温度： $\pm 0.5$  K；
- c) 分馏或泄漏试验温度： $\pm 0.1$  K；
- d) 试验压力： $\pm 0.7$  kPa；
- e) 湿度： $\pm 0.000 5$  克水蒸气每克干空气；
- f) 制冷剂/空气浓度： $\pm 0.2\%$  (按体积)；
- g) 火花持续时间： $\pm 0.05$  s；
- h) 从燃烧点到烧瓶壁测得的火焰传播角度： $\pm 0.087$  rad ( $\pm 5.0$ )。



## B.2 分馏分析

**B.2.1** 申请人应报告所进行的分馏分析的结果以便确定泄漏条件下混合制冷剂的蒸气相和液相成分(参见 B.2.4)。分析应通过实验加以验证。可使用一个分析模型来确定 WCFF。如果使用一个模型,那么申请人应确定所用的模型,并应递交足以证明用于在预测 WCFF 的条件下评定的制冷剂的模型的试验数据。

**B.2.2** 所有分馏分析应使用 WCF 作为起始点。将成分允差应用到名义成分中时若产生若干可能的最不利成分,则申请人应对每一最不利成分确定最不利分馏成分,或者给出排除一个或多个可能的最不利成分的充分的理由。

**B.2.3** 被测混合制冷剂的质量分数成分应通过气体色谱法验证,达到质量分数 $\pm 0$ 的公差或成分公差范围的 1/4,取两者中之较小者。

**B.2.4** 含有某一可燃组分的混合制冷剂在储存/装运或使用过程中应予以评定以确定其最不利分馏成分。应进行试验或分析建模以模拟下面容器的泄漏:

- a) 储存/装运条件下的一个容器,和;
- b) 表示空调和制冷设备在正常运行、备用和装运条件下的一个容器。上述试验所用容器的额定能力应能够处理在遇到的最高温度下的成分的蒸气压。

### B.2.4.1 储存/装运条件下的泄漏

为了模拟储存/装运条件下的泄漏,容器应在环境温度下充装 WCF,达到 90%的质量分数,从而可能在 60 °C 下形成 100%液体充装,然后以液体温度在 0.5 °C 范围内保持恒定并防止液体泄漏的速度让蒸气泄漏。试验应在以下温度下进行:

- a) 60 °C。
- b)  $-40$  °C 或环境压力下的始沸点加 10 °C,两者中取温度较高者。如果始沸点 $\geq 50$  °C,则试验应在始沸点加 10 °C 的温度下进行。
- c) WCFF 既不存在于 a),也不存在于 b)时,导致在 a)和 b)之间形成 WCFF 的温度。如果在 a)和 b)之间的温度不能形成最不利分馏成分(WCFF),则分馏试验应在 23 °C 下进行。申请人应证明并记录最不利分馏成分发生时所处的温度的测定。

分馏试验中,液上气体和剩余液体的成分应通过化学分析确定。分析应在总充注量泄漏 2%后开始,其次在初始质量损失 10%时,然后再以 10%初始质量的质量损失进行分析,直到汽缸中达到大气压或无液体剩余。若初始质量损失 90%后液体仍然存在且未达到大气压,则液上气体和剩余液体的最后分析应在 95%质量损失时进行。

### B.2.4.2 设备的泄漏

为了模拟设备的泄漏,容器应在环境温度下充装 WCF,达到 15%的质量分数,从而可能在 60 °C 下形成 100%充液,然后应在以下温度下让蒸气泄漏:

- a) 60 °C。
- b)  $-40$  °C 或环境压力下的始沸点加 10.0 °C,两者中取温度较高者。如果始沸点 $\geq 50$  °C,则试验应在始沸点加 10 °C 的温度下进行。
- c) WCFF 既不存在于 a),也不存在于 b)时,导致在 a)和 b)之间形成 WCFF 的温度。如果在 a)和 b)之间的温度不能形成最不利分馏成分(WCFF),则分馏试验应在 23.0 °C 下进行。申请人应证明并记录构成最不利分馏成分发生时所处的温度的条件。

分馏试验中,液上气体和剩余液体的成分应通过分析确定。分析应在总充注量泄漏 2%后开始,其次在初始质量损失 10%时,然后再以 10%初始质量的质量损失进行分析,直到汽缸中达到大气压或无液体剩余。若初始质量损失 90%后液体仍然存在,且未达到大气压,液上气体和剩余液体的下一个和

最后的分析应在质量损失 95% 时进行。

**B.2.5** 申请人应对每一分馏方案递交以下内容的分析数据：

- a) 分馏或泄漏试验温度( $\pm 0.10$  K)；
- b) 制成表格的每个泄漏增量( $\pm 0.1$  质量分数)下的液体和蒸气成分；
- c) 对于使用模型的分析,在预测最不利分馏成分(WCFF)的条件下的模型精度。

申请人还应提供所用试验仪器和程序的一份说明。若申请人使用计算机或数学模型来确定 WCFF,他应确定所用的模型,并递交证明资料证明在预测 WCFF 的条件下模型对试验测量的精度。

## 附录 C

(资料性附录)

## 测量可燃性气体燃烧速度的试验方法

## C.1 概述

本试验方法基于：

- a) 与空气均匀混合的燃烧气体或混合气体,初始装在一根垂直的圆柱管中。
- b) 观察和记录火焰传播情况。

燃烧速度是与空气的总混合物中可燃气体浓度的一个相关函数。燃烧速度在化学当量浓度附近达到最大值。

该试验方法涉及到危险物质的使用,因此,为了安全搬运和试验,需要了解安全参数和预防措施方面的知识。这些处理措施应由用户负责。不过,C.6中也给出了一般性的安全预防措施。

## C.2 试验方法的原理

试验方法包含以下过程:点燃某可燃气体或一类可燃气体混合物与底部点火端开放的垂直管内的空气所形成的均质混合物,向上部封闭端进行火焰传播,见图 C.1。在该传播的早期阶段,存在一个均匀移动的阶段,在该阶段火焰的形状和大小保持不变。

考虑到通过火焰前端的质量和物料平衡,在知道管内火焰传播速度  $S_s$  和火焰前端面积与其底部横截面积之比后可计算燃烧速度  $S_u$ 。

每秒单位面积上燃烧的气体的体积或燃烧速度  $S_u$  通过在试验温度和压力下每秒所消耗的混合物的体积除以火焰表面积  $A_f$  (下标 f 表示火焰) 获得。混合物每秒消耗的体积为火焰底部横截面积  $a_f$  扫过的体积,其速度等于火焰传播速度  $S_s$ 。它可写成如下式(C.1):

$$S_u = S_s \times \frac{a_f}{A_f} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

$a_f$  ——火焰底部横截面积;

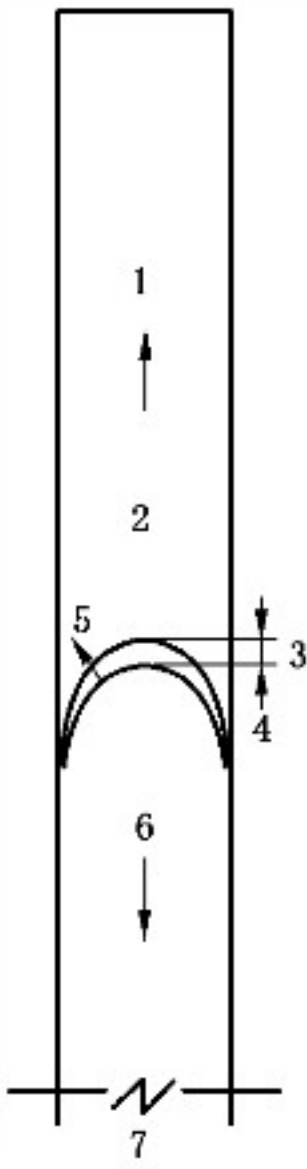
$A_f$  ——火焰表面积;

$S_s$  ——火焰传播速度;

$S_u$  ——燃烧速度。

注:火焰底部的横截面积等于猝灭面积所减少的管子横截面积(火焰边缘和管壁之间的面积)。





- 说明：
- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1——火焰传播方向；  | 5—— $S_u$ ； |
| 2——未燃烧的混合物； | 6——燃烧气体；    |
| 3——火焰前端位移；  | 7——点火。      |
| 4—— $dx$ ；  |             |

图 C.1 火焰在一根垂直管子中的传播示意图

C.3 测量

C.3.1 概述

燃烧速度的测量要求知道式(C.1)的以下三个参数：

- a) 火焰传播速度；
- b) 火焰前端面积；
- c) 火焰底部的横截面积。

C.3.2 火焰传播速度

测量燃烧速度需要管子中的火焰传播速度。作为式(C.1)推导的一个条件，在测量中将只考虑部分均匀火焰传播(恒定  $S_u$ )。

根据火焰前端位移的直接测量得到火焰的线性传播速度，该位移通过具有一个已知照相机采集频率的时间间隔(30 Hz~50 Hz)的两张连续的图像确定。应使用一个以上的一系列图像来检查火焰传播是均匀的。为了强化火焰前端形状和在两张图像上确定对应于前端上的同一部位的一个相同的发光点(具有相同亮度水平的像素)并推导出火焰前端位移，可能需要进行合适的图像处理。该程序对于低光度火焰被证明是必要的，因为火焰前端位移的任何不确定性导致火焰传播速度的不确定性，进而导致燃烧速度的不确定性。

### C.3.3 火焰前端面积

即使火焰前端形状是对称的,也不能通过旋转抛物线或通过用一个椭圆扇段逐次逼近来生成该形状。需要一个精确的方法来计算火焰前端面积  $A_f$ 。对于一个向上的传播,火焰通常呈现为对管轴对称的前端表面。对于一个均匀的传播,火焰前端的形状保持恒定。快速移动的火焰几乎是半球形,较慢的火焰有一定的拉长。

C.7 描述了计算火焰前端面积的一个数学和几何模型。总之,火焰前端型线用拟合点(20个~40个拟合点)标记,然后分成2个或更多个水平段。应在火焰前端的最亮区域的边缘(朝向未燃烧气体的外层)上选择拟合点。对每一段制定一个合适阶的多项式拟合方程以便对该段上选择的点给出最佳拟合曲线。最佳拟合使拟合曲线与拟合实验点的偏差最小。然后通过将其分成许多小的元节段分别计算每段的面积。然后根据某一展开形状的假设计算每个元节段的面积。

### C.3.4 火焰底部的横截面积

应在 C.7 中所示的火焰底部测得的直径  $d$  的情况下计算火焰底部的横截面积  $a_f$ 。在这种情况下,使用式(C.2)。

$$a_f = \frac{\rho d^2}{4} \dots\dots\dots (C.2)$$

## C.4 试验方法和装置描述

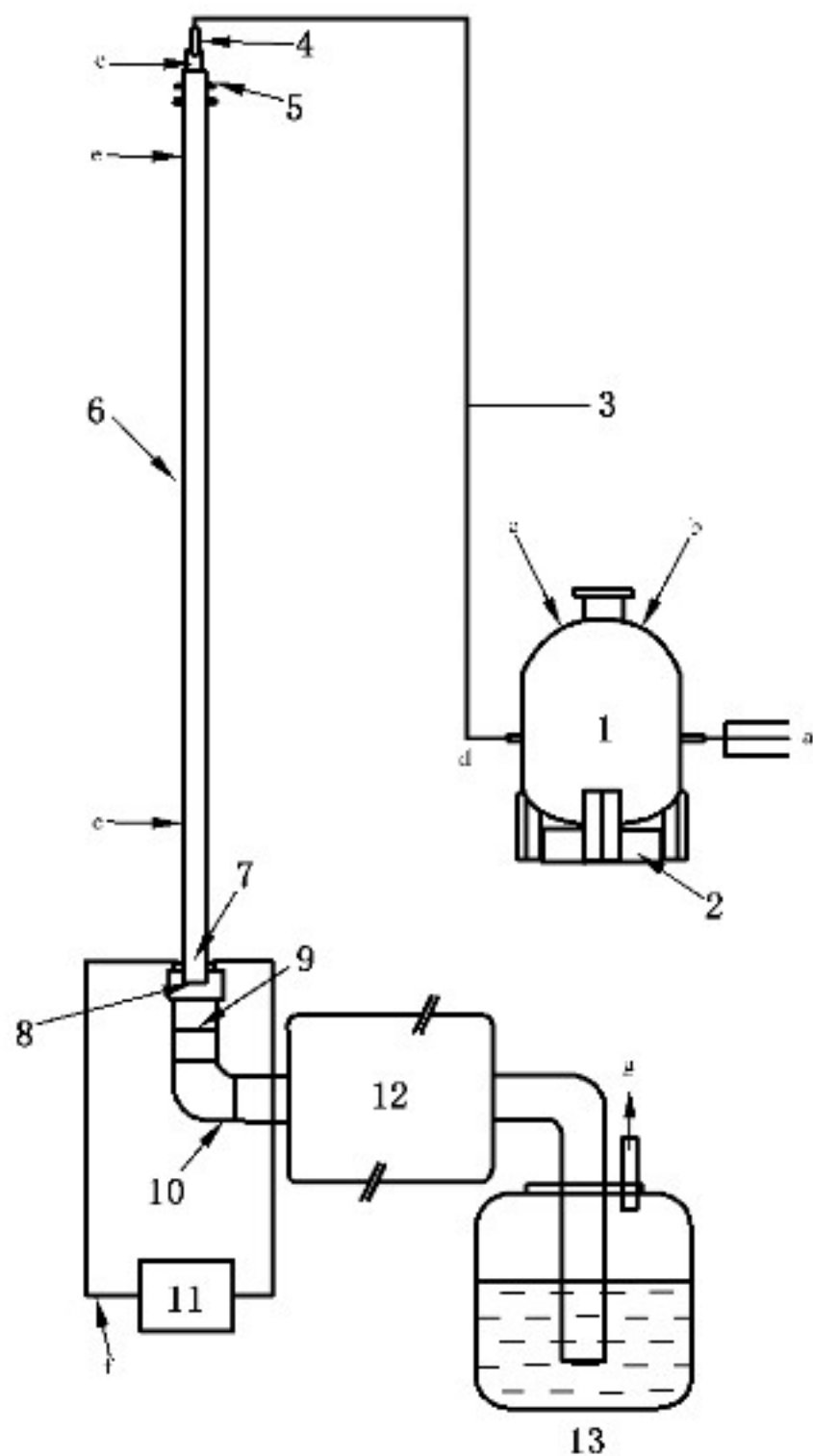
在管子中测量燃烧速度由以下部分组成:

- a) 在其点火低端敞开、在另一上端封闭的并充装有可燃混合物的一根垂直透明管子中传播火焰;
- b) 测量沿着管子传播的火焰速度;
- c) 用照相机记录火焰前端面积。

在大气压下进行测量。

试验台布置见图 C.2。试验台的主要部分为:试验管、混合容器、点火系统、照相机、试验温度控制和气体处理系统。





说明：

- |                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| 1——混合容器；            | 8 —— 装配节流孔；        |
| 2——磁力搅拌器；           | 9 —— 猝灭网；          |
| 3——吹扫气体管线；          | 10——PVC 管；         |
| 4——管子进口；            | 11——点火器；           |
| 5——猝灭和窒息网；          | 12——气体膨胀罐；         |
| 6——试验管；             | 13——盛有中和溶液的收集罐。    |
| 7——电极；              |                    |
| <sup>a</sup> 从自供气罐。 | <sup>c</sup> 温度测量。 |
| <sup>b</sup> 压力测量。  | <sup>f</sup> 点火电源。 |
| <sup>c</sup> 至真空泵。  | <sup>g</sup> 抽到风罩。 |
| <sup>d</sup> 至进口管。  |                    |

图 C.2 试验台示意图

C.4.1 气体处理和混合物制取

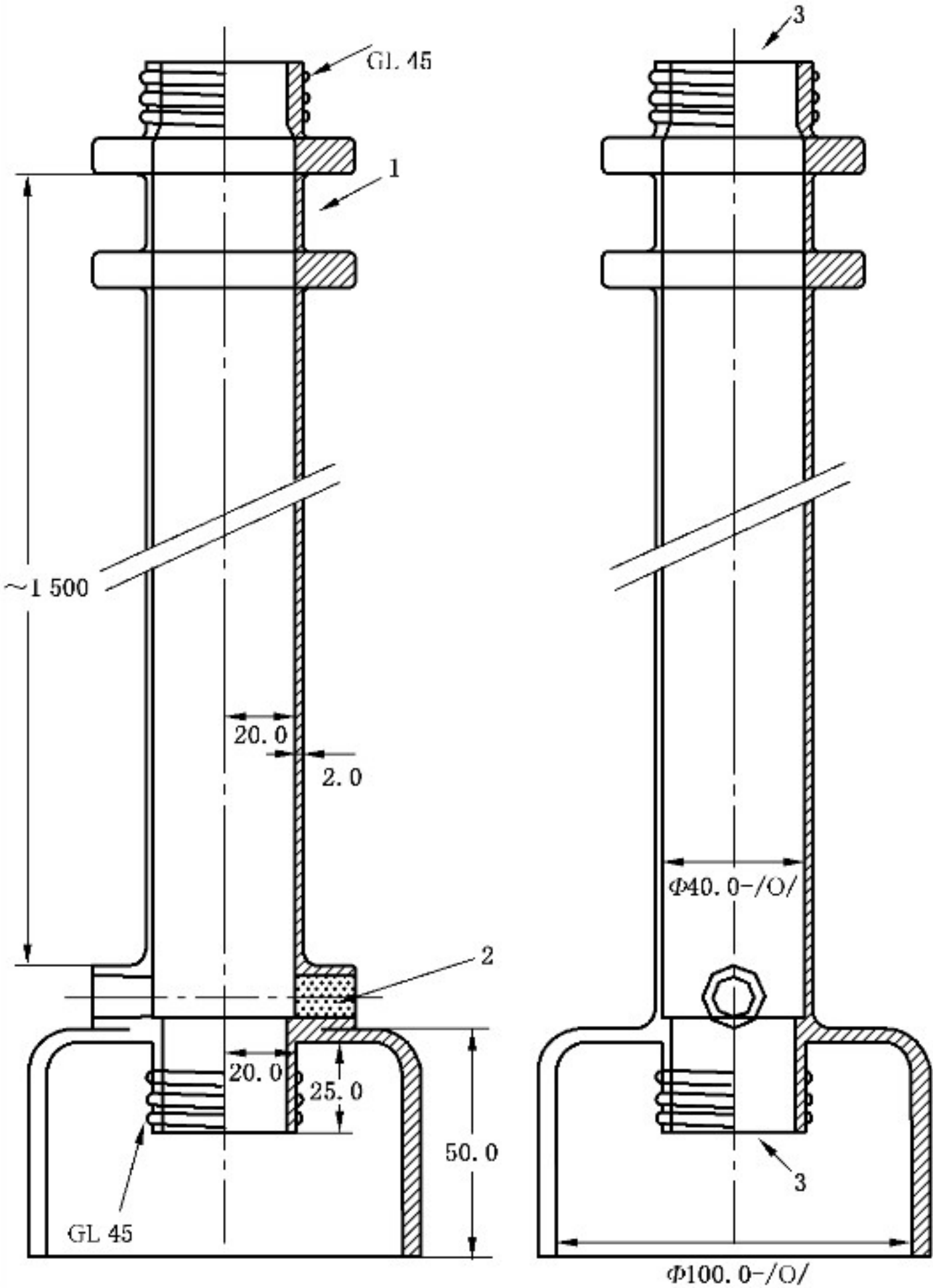
在 6.1.3 中描述了气体混合物的制取。如果使用的话，在 C.4.5 所述的洗涤系统应断开，使得膨胀体积达不到可燃浓度。然后，恒定组成的混合物流过该管，直到该气体混合物置换至少四次管内空气体积。应当注意，以确保该从管底部排出的气体混合物被适当的通风排出。一旦所需的混合气体在管内生成，在点燃之前应该叫混合容器与管子分离，以避免气体在容器中点燃。在管内测量气体混合物的浓度是良好的实验室操作规范，确保采用的方法完全满足规程要求。顺磁氧分析仪适用于这种测定。

试验台的所有部件、接头和零件的使用材料应耐受其应用的腐蚀性气体(如铜材不适用于氨气体的应用场合)或其他氧化反应。测试时可使用不锈钢或其他证明可以适用的材料。

C.4.2 试验管

试验管的设计应使火焰容易传播且可能受到的干扰较少,特别是在点火浓度水平下和火焰传播的第一阶段,如图 C.3 所示。试验管的设计应遵守以下各点:

- a) 点火系统、猝灭系统、阻尼节流孔的设计应尽可能靠近管子的出口;
- b) 管子的出口(在低端)应设计成方便其连接到抽取和气体处理系统;
- c) 管子应固定在一个垂直支架上并处于低于点火系统的一个水平以防止固定支架干扰火焰传播(过度冷却)或妨碍火焰拍照;
- d) 还应考虑玻璃设计和工作的技术限制。



说明:

- 1——固定壳体;
- 2——RIN 10/19 电极外壳;
- 3——进口管端。

图 C.3 测试管的设计和主要尺寸

C.4.2.1 尺寸

管子用 1.2 m 长、40 mm 内径的玻璃制成。内径的选取采用一种折中的方法,窄的管子增加了猝灭效应,但其允许更稳定的传播状态;粗的管子对管壁的损失更小,但相应的增加了其不稳定性。已有研

究表明选择 40 mm 直径对测量 40 cm/s 以下的燃烧速度最方便<sup>[22]</sup>。即使超压非常有限、管子底端敞开,它也能耐受比大气压高 100 kPa 的压力。

注:快速传播的火焰经常存在不稳定状态,参见 C.7.3。管子长度基于以前研究者使用的尺寸。但是人们相信,当工作在高燃烧速度混合物时,该长度的任何大的变化都影响火焰传播状态及其稳定性。

#### C.4.2.2 位置

将管子置于一根垂直的位置以减少火焰前端因对流效应引起的可能的变形,并保证一个更对称的形状。在该位置,火焰向上传播,点火发生在管子的低端。

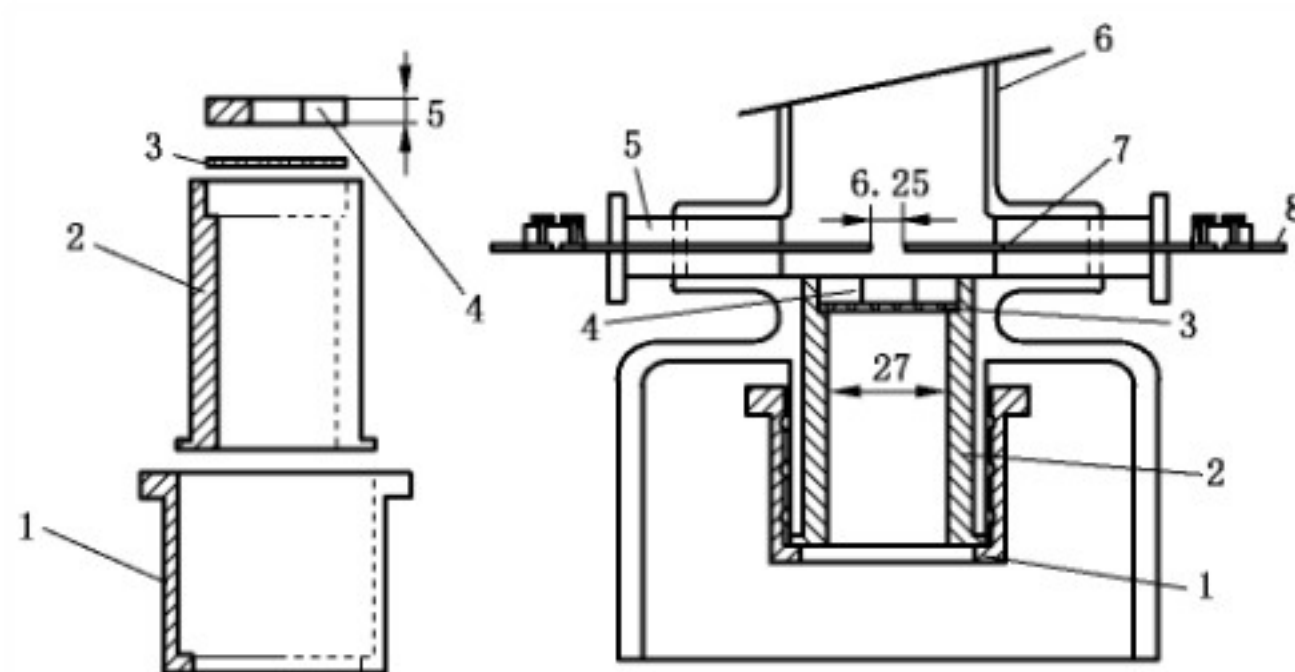
#### C.4.2.3 管端

管子底端向大气敞开。点火系统和阻尼节流孔位于该端。可使用一只 GL45 盖子使系统保持就位(参见图 C.4 和图 C.5)。当燃烧产物中存在有害成分(有毒或腐蚀性,例如 HF、HCl、NH<sub>3</sub>)时,下端连接到气体后处理系统(参见 C.4.6)。该设计不允许多余压力形成,并且燃烧产物可自由地离开管子,或在使用气体处理系统时在一个 125 L 罐中膨胀。

管子的上端连接到混合容器上。混合物离开混合容器,流入管子,然后离开其底端。可使用一只 GL45 盖子来固定进口系统。该端应在点火前封闭,指导火焰传播结束。

#### C.4.2.4 可互换的阻尼节流孔

火焰传播速度和火焰形状随可燃物质的类型和其与氧化剂的混合物的成分变化。通过插入校准的节流孔调节敞开的低端的出口直径有助于通过降低不稳定性和抑制声学效应稳定火焰前端形状<sup>[23]~[26]</sup>,因而有助于再现火焰前端的一个更好的形状。40 mm 内径的管子用阻尼节流孔的直径变化范围为 9 mm~11 mm(见参考文献[26]详细计算)。阻尼节流孔仅在较高的燃烧速度(即,高于 25 cm/s)时需要,并且通常与富浓度的混合物有关。



说明:

- 1——GL45 尖端用盖子;
- 2——PTFE 本体;
- 3——猝灭网;
- 4——PTFE 装配节流孔;

- 5——PTFE 塞子;
- 6——试验管;
- 7——电极;
- 8——电源接口。

图 C.4 显示点火电极和阻尼(装配)节流孔的管子的低端图

#### C.4.2.5 火焰猝灭

在管子的两端安装耐受与氟化氢(HF)和氨(NH<sub>3</sub>)的反应的猝灭网以防止对周围环境的任何危害。猝灭网应具有  $1^{+0.5}_{-0.1}$  mm 的筛孔尺寸(烃具有大约 2 mm 的猝灭距离,这一距离当减小燃烧速度时增加)。



C.4.2.6 管子玻璃类型

假定大部分火焰的辐射光谱处于 250 nm~600 nm 范围。为了防止过大损失,在选择玻璃类型(例如硅玻璃、硼硅酸玻璃)之前,比较玻璃传递型线是重要的。

C.4.2.7 用试验混合物吹扫管子

应从混合容器流出至少是内部管子容积的 13 倍等效体积流量的被试混合物连续吹洗试验管子。气体混合物应进入管子上端,从管子下端流出。下端可以在吹扫后封闭以避免因电极附近稀释引起的任何可能的浓度变化。该端在点火前立即向大气敞开。

C.4.2.8 管子侵蚀

氟化氢(HF)或氯化氢(HCl)等物质以及在 HFC 或 HCFC 燃烧产物中残存的水的存在导致管子侵蚀以致若干次试验(根据清洗工艺为 30 次~50 次)后,管子会变得模糊,几乎为白色(参见图 C.5)。

为此,应在火焰传播结束后立即用干氮气吹扫,之后在管子内插入一湿的清管器清除内壁上的全部沉积物。可再次在管子中循环氮气流以清除清管器上的积水。

使用这种清洗方法,可以使得在侵蚀效应变得显著之前,使用同一根管子进行更多的试验。



图 C.5 因 HF 引起的管子侵蚀

C.4.3 点火

点火源可影响可燃性限值结果甚至火焰传播状况。许多研究者(参考文献[27]给出了调查)已经对火花点火进行了分析,这些分析涉及电极布置、类型(例如法兰电极)、材料和尺寸、间隙、火花持续时间和击穿电压以及这些对最小点火能量的影响。

对于电极尺寸、间隙距离、点火时间以及电源,本试验方法中所述的点火系统具有与 GB/T 21844 可燃性试验方法中使用的点火系统相同的特点。这种相似性有助于将用管子法所做的可燃性试验与用 ASTM 法所做的试验汇集在一起。

注:这些点火规范还与 DIN 51649-1 标准<sup>[28]</sup>(可燃性限值)中规定的那些规范十分相似。

C.4.3.1 点火类型

用两个电极所产生的一个电火花点燃混合物。

C.4.3.2 定位

点火发生在管子的底端。电极径向相向固定在管子上,位于其轴线的中型,并定位在可呼唤节流孔



的上表面上方 5 mm~10 mm 处。电极使用专门设计的 RIN 10/19 壳体(参见图 C.4)内的 RIN 10/19 PTFE 塞子固定。

#### C.4.3.3 电极

电极之前的间隙为 6.4 mm。必要时,可在管子内和电极之间插入一个专用的校准气缸以便证实其中心性和保证正确的间隙距离。

为了保证良好的点火条件,特别是传播上下限附近,电极应反复清除掉任何沉积物。

#### C.4.3.4 电源

点火电极的电源应由具有 15 kV、30 mA 输出的变压器的副侧供电。通常,除了具有高的击穿电位的化合物外,不需要如此高的电压。将电源系统充分连接到电极上以避免短路和弱连接点的过热。

#### C.4.3.5 点火时间

点火时间应通过用一只定时器调节火花持续时间设定在 $(0.3 \pm 0.05)$ s 之间。该持续时间已经证明最适合可燃性限值测量<sup>[9]</sup>。

在用相应混合物充装管子后立即但在 5 s~10 s 后不应点火,以便允许在管子中停止湍流。

注:从该点火系统的过量能量释放可能是导致火焰前端和其前面的混合物中的湍流的波发射的原因。

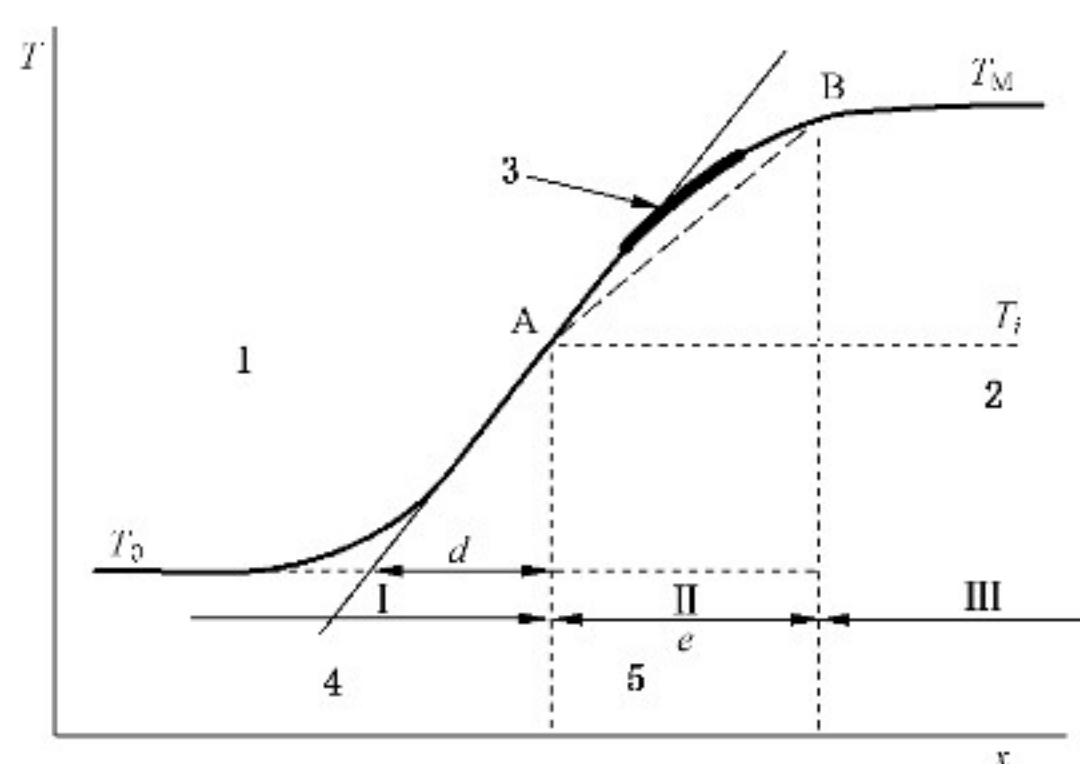
### C.4.4 火焰前端可视化

这些图像用于计算火焰传播速度和其表面积。使用直接照相来记录火焰前端图像。

#### C.4.4.1 光亮区和直接拍照

燃烧速度测量公式(C.1)基于预热区层处的火焰前端面积的计算。通过直接拍照揭示火焰的光亮区。因此,用该拍照方法进行的任何测量应基于最强烈照明火焰的区域。该区域对应其温度等于点火温度的点和位于反应结束时的点之间的火焰的区域(参见图 C.6)。用基于直接照片的火焰前端型线的火焰前端面积计算评估的燃烧速度的相对不确定性为 6.5%。

注:如果光亮区的外边缘的轮廓向外移动一个相当于光亮区宽度的距离,可以减少 6.5% 相对不确定性,并且可能更好地接近正确的表面位置。



说明:

- 1——未燃烧气体;
- 2——燃烧的气体;
- 3——光亮区;

- 4——预热区;
- 5——反应区。

图 C.6 沿着一个燃烧火焰和光亮区的温度型线

#### C.4.4.2 火焰发射频谱

燃烧的光谱峰值取决于燃烧的物质类型和所形成的基团,如 OH、HCO、CH、C<sub>2</sub> 和 C<sub>3</sub>。从定量的观点看,可以证明对 HC 和 HFC 火焰来说,最大发射的典型峰值和有时甚至高水平的连续光谱处于 250 nm~600 nm 的范围。

#### C.4.4.3 采集照相机

推荐使用数码照相机使火焰传播可视化。应为进一步的处理记录并储存火焰前端图像(火焰传播速度测量和火焰前大区域计算)。

当确定照相机在运行试验时,应选择曝光时间和采集率的特点作为被测量的速度范围的一个函数。对于极快的火焰,需要一个高采集率和小曝光时间(即 $<1\text{ ms}$ )。还应考虑照相机的光谱响应,并且量子效率曲线的较高效率应涵盖被可视化的火焰的典型波长范围。

注:一组调节和不同的运行模式,如记录期间的分辨率、图像增强、影像率、曝光时间、帧数、触发前/触发后以及通过一个合适的接口进行的图像输出的参数,可有助于使图像适应被记录的火焰前端的类型。还可使用一组透镜来缩放和聚焦优化的相框。

#### C.4.4.4 曝光时间

在开始对火焰传播拍照前需要设定曝光时间以便最佳地再现火焰前端形状和增加其面积测量的精度。

由于在火焰传播速度和其或多或少的发光方面之间没有规定的关系,所以对快速和低发光的火焰,试验者必须找到设定曝光时间的一种折中办法。较高的曝光时间补偿低的光度,但因在曝光期间火焰前端位移而导致其形状不精确。

对于用化学计量法进行的测量,推荐的曝光时间为 1 ms 或更少。该值由实际经验确定并取决于照相机。

#### C.4.4.5 定位

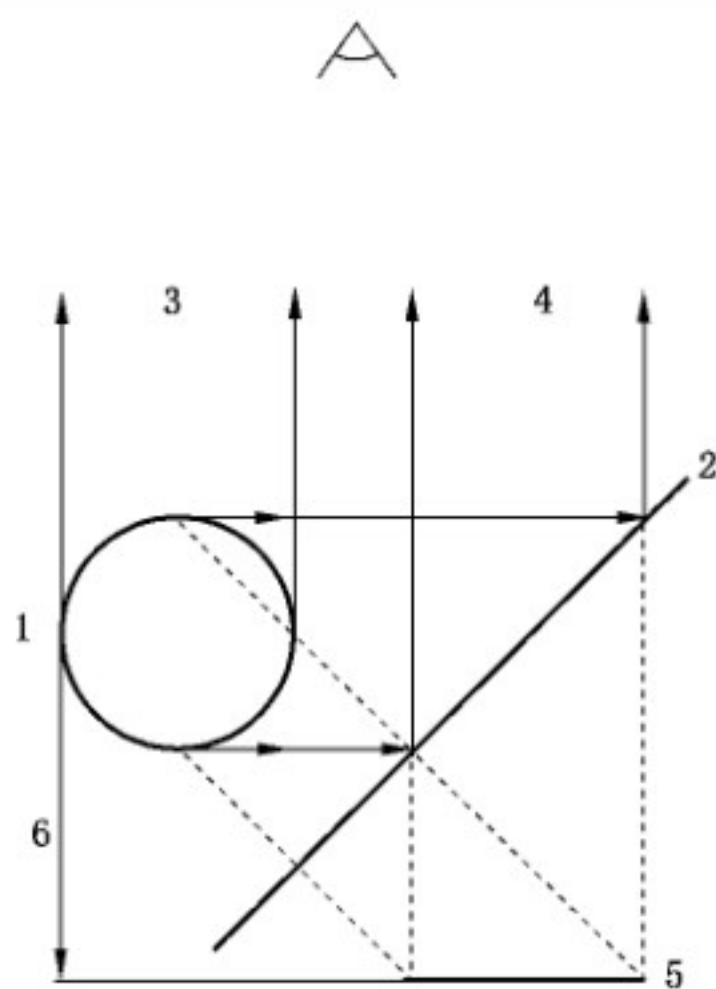
照相机记录视场应调节到合适的位置和知道火焰均匀运动所处的管子高度。只有在同一透镜轴线高度下拍摄的图像才应被用来计算火焰前端面积和减少火焰前端尺寸的不精确性。

#### C.4.4.6 缩放和光学畸变

火焰图像放大到实际火焰前端尺寸可通过对沿着管子布置的一把有刻度的尺子拍照实现,以便刻度横穿管子中心并与照相机轴线成直角的一个层重合。

注:因管壁几何形状引起的光学变形可忽略不计。

一面呈 45°的镜子布置在管子旁边以便确定火焰前端表面的不规则性,并通过保证火焰前端面积计算的正确假定来增加试验的准确度。使照相机面对管子和该镜子,所记录的图像产生火焰前端的前视图和侧视图(参见图 C.7)。注意,镜子图像所处的平面位于直接拍照的平面后面。如果用于计算,这些图像应缩放到横穿管子中心并与照相机轴线成直角的同一垂直层。



- 说明：
- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1——管子；      | 4——图像光束侧视图； |
| 2——镜子；      | 5——实际侧视图位置； |
| 3——图像光束正视图； | 6——位移。      |

图 C.7 照相机接收的正视图和侧视图示意图

C.4.4.7 火焰图像的分辨率

采用管子法测量燃烧速度的基本不确定性与火焰传播速度的图像分辨率、比例系数以及火焰前端面积有关。分辨率增加产生更准确的结果,但在火焰前端图像上拟合的点与小尺寸的像素无关的范围内才能达到这样的结果。

C.4.5 吹扫、排气和气体处理系统

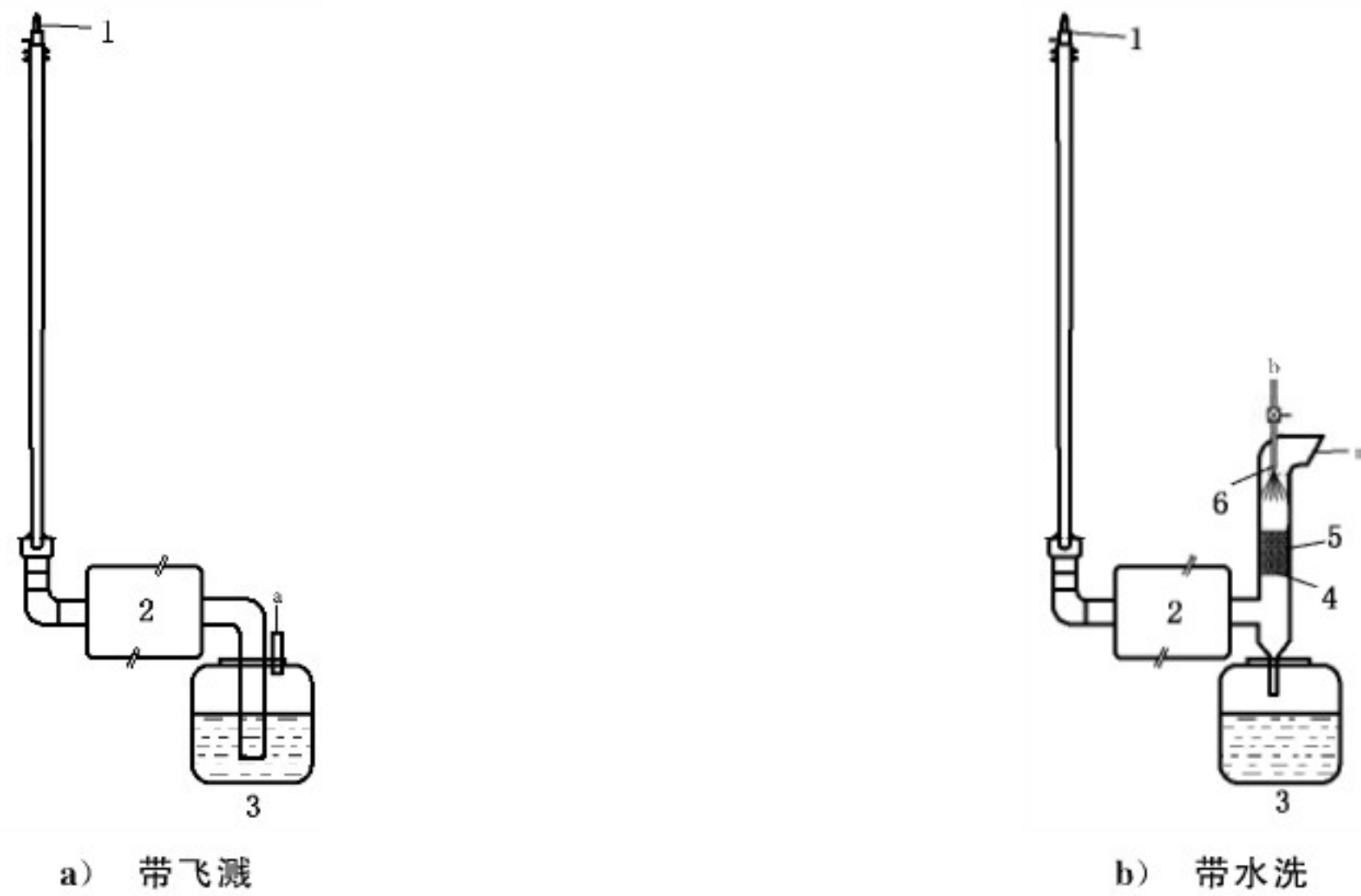
在每次试验后应彻底清洗试验装置以清除前次试验留下的燃烧产物和流出物,并确信燃烧产物不会伤害人员或损害环境。应实施一个合适的燃烧产物处理工艺,特别是使用氟化气体的处理工艺。在试验结束时应迅速提取燃烧产物以便中和在一定情况下构成超过 30% 的燃烧产物的氟化氢 HF 或氯化氢 HCl,并减少试验管的腐蚀(少量的湿气使其具有很大的腐蚀性)。为此,在试验装置的出口处设计并安装一个专门的处理系统和排气清洁装置,使排气溅入碱性水溶液(例如 NaOH)来去除腐蚀性物质。处理系统还包括连接在气体处理系统和管子低端之间的一个膨胀罐来模拟一个恒定的压力膨胀条件(参见图 C.8)。排气扇将燃烧产物从管子中排空,通过膨胀罐和水溶液,然后清洁气体到达通风罩。

如果需要,可使用一个水洗系统代替飞溅系统。在这种情况下,例如可使用一个锥形喷嘴将水喷射到向上的排气流中。在底部收集酸水并排放到装满一碱性水溶液的较大罐子内以中和酸水。

应定期排空水溶液罐并检查水溶液的酸度以保证安全输送。

注：如果必要,可串联布置两个处理系统以实现更彻底的清除。





说明:

- |                     |         |
|---------------------|---------|
| 1——管子进口;            | 4——支撑网; |
| 2——气体膨胀罐;           | 5——洗涤器; |
| 3——盛有中和溶液的收集罐;      | 6——喷嘴。  |
| <sup>a</sup> 排出到风罩。 |         |
| <sup>b</sup> 供水。    |         |

图 C.8 气体处理系统

#### C.4.6 试验温度设定

通过控制实验室内的温度就可取得 23 ℃ 试验温度。由于火焰传播对温度敏感,所以应使沿着管子的温度梯度减到最小,例如减到小于 1 ℃。这可通过温度受控空气流的合适循环和控制实现。

#### C.4.7 试验协议

采用分压方法来制取混合物时,对试验的运行应用以下协议:

- a) 在开始一个新的试验之前应检查以下项目:
  - 1) 记录照相机的参考标度和实际火焰尺寸的参考标度(像素/米,或等效);
  - 2) 通过干气体吹扫(空气或氮气)清洗管子;
  - 3) 检查电极间隙距离和中心性;
  - 4) 选择合适的出口节流孔直径。
- b) 应先将混合容器和所有的连接管道和管子抽空到小于或等于 10 Pa(绝对压力)。
- c) 然后混合容器应充装不同的混合物组分,每一组分都处在其相应的分压下。每当新的气体引入到混合容器内时应将接头抽空。在过程开始时并在充装过程结束后至少 5 min 打开磁力搅拌器。
- d) 然后使混合物离开混合容器,通过管子循环,离开其低端出口到排气罩。循环至少是管子内部体积的等效体积。
- e) 先封闭上端,然后立即在其后封闭下端以防止在电极区内任何可能的稀释或浓度变化。
- f) 应为管子内的混合物提供 5 s~10 s 使其安定下来。
- g) 应缓缓打开下端以避免点火区周围的任何扰动或浓度变化,然后点火。就在点火前,应开启照相机,记录图像。

- h) 火焰传播结束后,在管子上端猝灭,使用一股氮气或使空气在管子内循环赶出燃烧产物。如果是有害的燃烧产物,应安装和使用专用的气体处理系统。

## C.5 抽真空和结果表示

$$S_u = S_{u, \max} - a(\Phi - \Phi_{\max})^2 \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

$S_{u, \max}$ ——根据对试验点的二阶多项式拟合获得的最大燃烧速度;

$\Phi_{\max}$ ——最大燃烧速度下的等效比;

$a$ ——拟合常数。

在少数情况下,式(C.2)不能获得对燃烧速度试验结果的最佳拟合,那么应精心设计其他足够的拟合方程。还可将试验点分成两部分,对每一部分可使用一个单独的拟合方程。

注:一般地,在 1.00 和 1.15 之间的一个等效比下达到最大燃烧速度。

### C.5.1 不确定性

#### C.5.1.1 燃烧速度的不确定性

本标准中所述的燃烧速度测量的总相对不确定性估计在 7%~10%之间,并且是由以下原因引起:

- a) 主要是由于火焰前端面积计算中的不确定性(总不确定性的 65%);
- b) 火焰传播速度测量(总不确定性的 35%)。

#### C.5.1.2 浓度不确定性的估计

用分压方法制备的混合物的浓度主要由于以下原因而存在不确定性:

- a) 压力变送器测量;
- b) 用来获得密度、压力和温度的理想气体定律。在空气为混合物中主要组分的情况下,处于 300 kPa~400 kPa(绝对压力)之间的压力下的混合物与理想状态偏离不是很大。在这种情况下,密度的相对不确定性估计为 2%,而对于 100 kPa(绝对压力)以下的压力,它可以被忽略。

注:浓度的较大部分的不确定性产生于理想气体定律的假定。对于高达 30%(体积)的浓度,绝对不确定性可以估计为 0.6%(体积)或相对不确定性估计为 2%。对于低至 2%(体积)的浓度,绝对不确定性可以估计为 0.08%(体积),相对不确定性估计为 4%。

应对每一试验台专门确定燃烧速度测量和混合物浓度的不确定性。

## C.6 安全防护措施

C.6.1 对空气中不高于 21%(体积)的氧气比例给出了安全建议。

C.6.2 对于高的燃烧速度(>30 cm/s),建议从组分的最低 LFL 开始试验,逐渐增加浓度。这可以合适地避免在化学当量附近的浓度下火焰快速传播而引起的爆炸。应避免对具有可互换节流孔的出口端的过度限制。

C.6.3 试验台使用者应使用合适的防护设备(手套、眼护罩和头盔等)。

C.6.4 应小心地操纵专用气体处理系统,因为它含有腐蚀性物质。处理系统必须封闭,并应使用一台排气扇以避免吸入燃烧产物。

C.6.5 因小心地操纵和保护高压点火系统、接头和电极,防止任何直接接触。由于安全原因,应避免打算用于试验的点火源以外的潜在点火源(例如开关、电接点)。

C.6.6 在试验管的两端均应安装猝灭网。在膨胀体积的入口应设置一个附加的猝灭网以防止该体积

内的任何点火危险。

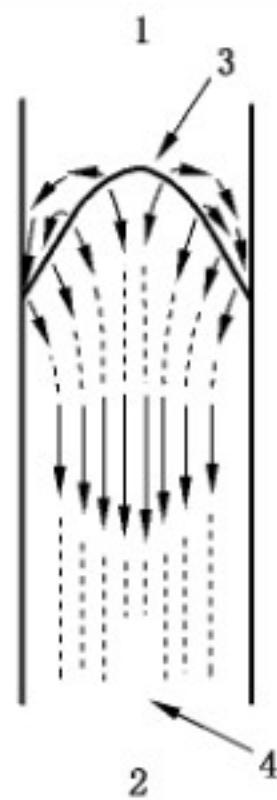
C.7 火焰形状、传播状态和稳定性概述

C.7.1 火焰形状

当考虑一个从管子的敞开端传播到封闭端的燃烧波时,位于燃烧波前面的未燃烧的气体被管壁容纳,使得其形成一个稳定的气柱。燃烧波内的热膨胀产生燃烧过的气体流向敞开端的一个连续流。促进火焰前端形状建立的主要参数如下:

- a) 造成在管壁流动阻滞和在管子中心加速(在中心的压力冲击比管壁附近的压力冲击要高)的原因的粘滞阻力。
- b) 从位于中心的火焰前端流开和流向边缘处的火焰前端的未燃烧气体流道(火焰前面的未燃烧气体被推向一个封闭端)。
- c) 燃烧的气体的对流效应,导致前端伸长,火焰传播更慢,而前端几乎呈半球形状,火焰快速传播。
- d) 沿着垂直于火焰前端的一个方向燃烧速率恒定。

因此,以上所有的效应之间的平衡似乎是在均匀运动期间保持火焰前端恒定稳定性的前提(见图 C.9)。



说明:

1——封闭端;

2——常开端;

3——未燃烧;

4——燃烧。

图 C.9 显示层流燃烧波从管子敞开端向封闭端传播的流向和颗粒速度的示意图

C.7.2 火焰传播状态

在高的燃烧速度下,传播通常在具有两个可能的运动类型的三个截然不同的阶段或状态形成。这三个阶段可以通过火焰结构或压力和火焰振荡幅度区分开来。

火焰运动由以下两个运动之一构成:

- a) 均匀运动;
- b) 振动运动。

火焰传播的状态可发展成以下各自的阶段:

- a) 点火后,火焰以匀速(取决于混合物和管子长度)平稳地横穿管子的第一部分传播(第一阶段)。
- b) 火焰的振荡运动可以在第一阶段后叠加。这些振荡以在火焰前端中出现一个蜂窝结构开始。传播期间的振荡和振动的开始是火焰和气体中压力振荡之间耦合的结果。



- c) 随着火焰前行,管子越来越多地被热燃烧产物充满,因此,发生基本振荡频率。火焰前端可能经受剧烈的往复运动,并可能稳定地加速,直到出现紊流传播状态,导致大的不稳定性,而这种不稳定性一直持续到燃烧结束。

当在管子的敞开端进行点火时总是通过一个振动运动终止均匀运动,唯一的例外是慢速燃烧的混合物,在这种混合物中,燃烧可以在大部分管长上以一均匀的速率进行。

注 1: 在一根燃烧速度低于 23 cm/s 的 40 mm 管子中的测量<sup>[26]</sup>表明几乎没有火焰加速。已经证明燃烧速度低于 10 cm/s 的化合物以不超过 25 cm/s 的速度传播。

注 2: 蜂窝状的火焰与高传播速度火焰、高燃烧速度和富混合物有关。不能用可接受的精度测量蜂窝状火焰的火焰前端面积。因此,管子法仅限于相对低的燃烧速度测量。

### C.7.3 管子中的火焰稳定性

应确定产生紊流的主要和可能的原因以便了解火焰传播的特性。一般地,一个预混合的火焰的紊流可归因于以下原因之一:

- 可燃混合物中的初始气流紊流可引起火焰前端形状和特性的干扰。
- 可燃混合物浓度、压力和温度的不均匀性。在这种情况下,火焰在一种混合物中传播,在该混合物中条件是变化的,并且其传播也受到影响。
- 在管壁或障碍物之间的剪切流区域的可燃混合物中的气流紊流和火焰传播引起的气流。
- 在一个加速的流场,气流紊流在火焰前端附近产生。
- 热和质量扩散机制引起的火焰前端干扰。
- 火焰前端与火焰传播发出的声波的相互作用。

当未燃烧混合物中的干扰减缓并且火焰在一静止的介质中传播时可以开始火焰的均匀运动阶段。

应特别注意对快速传播火焰所确定的声学不稳定性。作为一个潜在的紊流发生源,声学不稳定性变得最难以消除,但可以通过合适的设计加以控制。声振动的阻尼可通过对燃烧的气流引发一个阻力来实现以便使相应的压力增加到某一水平以上<sup>[8]</sup>。这可通过一个节流孔减小管子敞开端来实现。这种减小将增加火焰的均匀运动。

因此,声学不稳定性可以通过其直径由式(C.4)所确定的一个节流孔减少 2 管子敞开端来减弱。

$$\frac{d}{d_e} = \left( 1 + \frac{C_b}{(E-1)S_s} \right)^{1/4} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

- $d$  ——管子内径,单位为米(m);  
 $d_e$  ——节流孔直径,单位为米(m);  
 $C_b$  ——声音在燃烧气体中的速度,单位为米每秒(m/s);  
 $E$  ——膨胀比(未燃烧气体密度与燃烧的气体密度之比);  
 $S_s$  ——管子中的火焰传播速度,单位为米每秒(m/s)。

这种操作仅对在试验期间和高燃烧速度期间遇到的快速传播火焰才需要。但是,声阻尼可能不足以消除其初始传播阶段中快速火焰干扰。此外还必须防止火焰前面未燃烧混合物中的干扰。这可通过在距离封闭的管子下游端某处布置玻璃纤维垫来实现。

### C.7.4 管子中火焰的观察

- 最快速的火焰在一定距离之后失去其均匀运动。而较慢的火焰在火焰前端失去其正常形状之前行进更长的距离。运动因为一个振动运动而变成非均匀运动,这种非均匀运动又是在较慢燃烧的混合物中非常严重,以致火焰被熄灭。
- 较快的火焰一直保持向上,直到非均匀运动。较慢的火焰有时在均匀运动期间倾斜。中间速度的火焰(特别是在浓度富集侧)似乎能够采取垂直向上或倾斜的形式,或者火焰可能逐渐地改变或突然从垂直向上变成倾斜形式。这一变化所发生的点似乎很随意,并且一些倾斜形式



的火焰一直保持向上,直到非均匀运动开始。倾斜的形式似乎更稳定,因为从不发生逆向变化。结果是,在非均匀运动开始之前,火焰可能首先有一个慢的均匀速度,接着是更快的均匀速度。

- c) 一些火焰可能显示出与所有其他相应的混合物不同的特性。在预计这些火焰相当缓慢并可能采取倾斜形式时,它们快速向上行进,并释放出比其他观测到的火焰多得多的光。可能的情况是,这种异常在一定程度上与注意到的关于某些混合物组成的反应机理的变化有关。火焰的一般结构在某些这些情况下还可能显得不同。对这种例外的火焰没有任何解释,但似乎是微小的条件可能导致火焰速度的显著变化,甚至可能导致火焰在管子中传播方式的显著变化。

### C.7.5 火焰在圆形管子中猝灭

当火焰在某一表面附近传播时,不可忽略对火焰构形的影响。火焰似乎猝灭并停留在离管壁几毫米处。这一距离被称作猝灭距离。这种猝灭现象受三个不同的机制支配,这三个机制汇总如下:

- a) 从火焰到管壁的传热减少了可用来对火焰前面的气体预热的能量。
- b) 管壁吸收在形成一个连续传播的链式化学反应中重要的活泼化学种类。
- c) 管壁的粘滞效应。

在大多数情况下,第一个机制似乎最显著。管壁冷却火焰的这种不可避免的效应使通过该方法所获得的视在燃烧速度降低到其在自由空间中的值以下。

不能完全消除管壁的热损失,但热损失被限制在火焰后面高温、高气体速度以及火焰的通过中断管壁上的边界层被用来增加管壁和燃烧的产物之间的传热率的区域。如果管子两端都封闭,则可通过降低压力注意到热损失,但在目前的测量中,压力由周围的大气保持,因此,燃烧产物的冷却对火焰的前行没有影响。

这层未燃烧的气体对管壁表面的一个影响是减少管子的有效横截面积。为了正确地测量燃烧速度必须考虑这种减小,否则它将导致误差。这一误差的水平与管子直径/火焰面积的比成正比,因为它可以从式(C.1)推导出。因此,需要使用一根尽量大的横截面积的管子。但在实际中,存在一个临界尺寸,超过该尺寸,火焰表面就会因燃烧产物中的对流影响而变形。因此,对于高速测量,管子直径不要大于某一临界直径以避免紊流火焰前端。对于慢速燃烧的混合物,管子直径不应小于某一临界直径以避免过大的表面效应。40 mm 内径可实现这种妥协(参见 C.4.3.1)。

### C.7.6 火焰传播速度和管子直径

管子中火焰均匀传播速度随管子直径的增加而增大。

根据试验结果<sup>[22]</sup>,得到了一个公式来估计在低于直径  $d$  为 25 mm~60 mm 的管子中测得的 50 cm/s 的燃烧速度水平下火焰传播速度。

$$S_s = 1.66S_u + 0.18d + 3.31 \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

$S_s$  ——火焰传播速度,单位为厘米每秒(cm/s);

$S_u$  ——燃烧速度,单位为厘米每秒(cm/s);

$d$  ——管子内径,单位为毫米(mm)。

### C.7.7 火焰面积计算

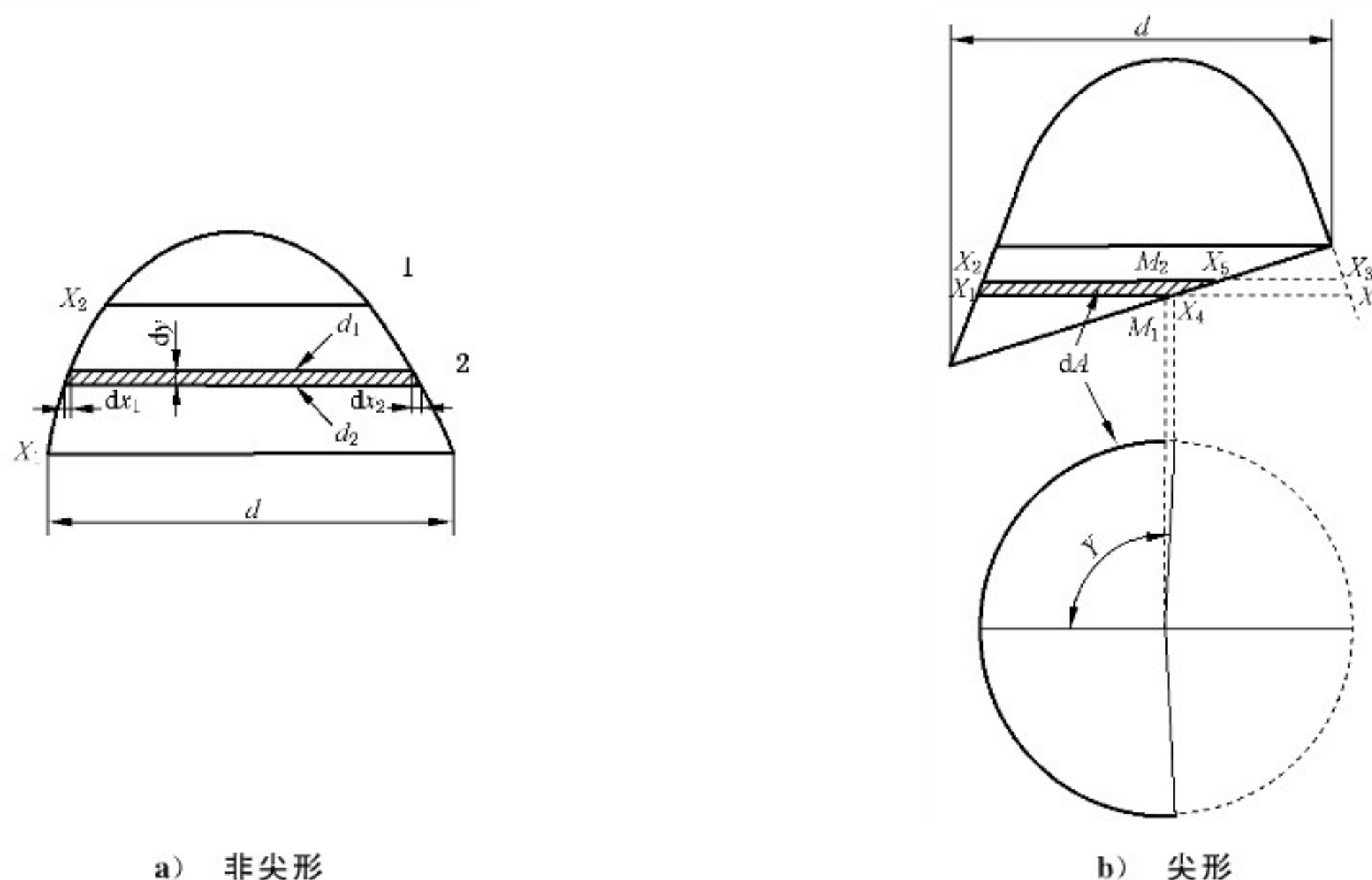
需要一个精确的方法来计算火焰前端面积  $A_f$ 。虽然在许多情况下火焰前端形状是对称的,按不能通过展开抛物线或通过用一个椭圆扇段逐次逼近来生成该形状。对于一个向上的传播,火焰呈现为对管轴线对称的前端表面。对于一个均匀的传播,火焰前端的形状保持恒定。快速移动的火焰几乎是半球形,较慢的火焰有一定的拉长。

总之,火焰前端型线应用拟合点(20个~40个拟合点)标记,然后分成2个或更多个水平段。应在

火焰前端的最亮区域的边缘(朝向未燃烧气体的外层;参见 C.4.4.1)上选择拟合点。对每一段制定一个合适阶的多项式拟合方程以便对该段上选择的点给出最佳拟合曲线。最佳拟合是使拟合曲线与拟合点的偏差最小的拟合。通常 6°数量级或更低的多项式方程足以获得精确的拟合。然后通过将其分成大量小的元节段分别计算每段的面积。然后根据某一展开形状的假设计算每个元节段的面积[图 C.10a)给出了一个图示]。

注: 由于一个节段可能显示与其他不同的旋转轴, 因此不能使用 Simpson 或 Tchebitcheff 积分方程来代替小的分块。

由于火焰前端的下边缘不必处在同一水平, 因此对于尖形火焰, 一个专门的考虑两个边缘之间的水平差的数学和几何方法被用来估计火焰前端的该部分的面积[图 C.10b)给出了一个图示]。在测量火焰面积时不应使用具有很尖的火焰的试验。在浓度的富集侧最常见到尖形火焰, 而在化学计量处周围, 甚至在最大燃烧速度下却很少见到。通常, 不应考虑代表与平均值的偏差在 5%~10%以上的测量。



说明:

1——段 1;

2——段 2。

图 C.10 火焰前端非尖形段和尖形段面积计算

$A_f$  是通过将所有节段的表面积相加得到。

$$A_f = \sum_{\text{section}} A_i \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

对于非尖形节段,  $A_i$  由下式给出[参见图 C.10a)]:

$$A_i = \sum_{x_1}^{x_2} \left[ \pi \left( \frac{d_1 + d_2}{4} \right) (\sqrt{(dx_1)^2 + (dy)^2} + \sqrt{(dx_2)^2 + (dy)^2}) \right] \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

对于尖形节段,  $A_i$  由下式估计[参见图 C.10b)]:

$$A_i = \sum \left[ \left( \text{Arcos} \left( \frac{M_1 - x_4}{x_1 - M_1} \right) (x_1 - M_1) + \text{Arcos} \left( \frac{M_2 - x_5}{x_3 - M_2} \right) (x_3 - M_2) \right) \cdot \left( \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (dy)^2} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

$M_i$ ——扇区中点。



## 附录 D

(规范性附录)

## 混合制冷剂的 RCL 和 ATEL 计算

## D.1 混合制冷剂的 RCL 和 ATEL 计算

混合制冷剂的 ATEL(急性毒性接触极限)应设为混合制冷剂急性毒性浓度系数(TCFs)a)~d)的最低值,对于本附录,TCF a)参见 8.1.1.2,TCF b)参见 8.1.1.3,TCF c)参见 8.1.1.4,TCF d)参见 8.1.1.5。

每一混合制冷剂的急性毒性浓度量值根据其各自成分的急性毒性浓度系数值计算,然后对混合制冷剂使用叠加法(见参考文献[34])。叠加法尤其适用于具有相似化学特性的材料,例如,烃或卤代烃。

混合制冷剂的急性毒性计算按式(D.1)计算:

混合制冷剂的死亡率指标值  $a_{\text{blend}}$  :

$$a_{\text{blend}} = \frac{1}{\frac{x_1}{a_1} + \frac{x_2}{a_2} + \dots + \frac{x_n}{a_n}} \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

$a_{\text{blend}}$ ——混合制冷剂的死亡率指标值;

$a_n$ ——混合制冷剂中成分  $n$  的死亡率指示值(例,4 h 的半数致死浓度  $LC_{50}$ );

$x_n$ ——成分  $n$  的摩尔分数。

类似的,混合制冷剂的心脏敏感指标值  $b_{\text{blend}}$  可根据  $1/\sum x_n/b_n$  计算。式中, $b_n$  是混合制冷剂中成分  $n$  的心脏敏感指标值(即,100%NOAEL,或如果不确定,可认为 80%LOAEL),并根据成分  $n$  的摩尔分数  $x_n$  等计算急性毒性浓度系数 TCFs a)~d)。

若每一成分  $n$  的急性毒性浓度系数用 ppm(空气中某一物质所占的体积百万分率)表示时,则混合制冷剂的每一急性毒性浓度系数可用 ppm 表示,且  $x_n$  可表示为混合制冷剂中成分  $n$  的摩尔分数(每一成分的毒性浓度系数根据先前第 7 章内容进行确定。因此,每一成分的测定方法可以不一致,例如可能会出现成分 A 的 NOAEL 的 100%和成分 B 的 LOAEL 的 80%这样的情况)。

D.2 将 25 °C 条件下的每一成分  $n$  的 ppm 换成  $\text{mg}/\text{m}^3$ 

以  $\text{mg}/\text{m}^3$  表示的  $a_n = (\text{以 ppm 表示的 } a_n) \times (\text{成分 } n \text{ 的相对摩尔质量})/24.5$

D.3 将 25 °C 条件下的每一成分  $n$  的  $\text{mg}/\text{m}^3$  换成 ppm

以 ppm 表示的  $a_n = (\text{以 } \text{mg}/\text{m}^3 \text{ 表示的 } a_n) \times 24.5/(\text{成分 } n \text{ 的相对摩尔质量})$

## D.4 例子:R410A[R32/125(50/50)]的 ATEL 计算

用摩尔分数表示的 R410A 混合成分为(0.698 摩尔分数 R32/0.302 摩尔分数 R125)。

$$a_{\text{blend}} \text{ R410A} = \frac{1}{\frac{0.698}{215\,000} + \frac{0.302}{218\,000}} \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

$a_{R32}$  ——R32 的  $LC_{50}$  或  $760\,000\text{ ppm} \times 0.283 = 215\,000\text{ ppm}$ ;

$a_{R125}$  ——R125 的  $LC_{50}$  或  $769\,000\text{ ppm} \times 0.283 = 218\,000\text{ ppm}$ ;

$a_{R410A}$  —— $216\,000\text{ ppm}$  作为 R410A 致死率指标值。

$$b_{\text{blend R410A}} = \frac{1}{\frac{0.698}{200\,000} + \frac{0.302}{75\,000}} \dots\dots\dots (\text{D.3})$$

正确的公式等于:

$$\frac{1}{\frac{0.698}{350\,000} + \frac{0.302}{75\,000}}$$

式中:

$b_{R32}$  ——R32 的心脏敏感指标值 NOAEL 或  $350\,000\text{ ppm}$ ;

$b_{R125}$  ——R125 的心脏敏感指标值 NOAEL 或  $75\,000\text{ ppm}$ ;

$b_{R410A}$  —— $166\,000\text{ ppm}$  作为 R410A 的心脏敏感指标值。

$$c_{\text{blend R410A}} = \frac{1}{\frac{0.698}{200\,000} + \frac{0.302}{56\,700}} \dots\dots\dots (\text{D.4})$$

式中:

$c_{R32}$  ——R32 的麻醉效应指标值 NOAEL 或  $250\,000\text{ ppm} \times 0.8 = 200\,000\text{ ppm}$ ;

$c_{R125}$  ——R125 的麻醉效应指标值 NOAEL 或  $708\,750\text{ ppm} \times 0.8 = 567\,000\text{ ppm}$ ;

$c_{R410A}$  —— $249\,000\text{ ppm}$  作为 R410A 麻醉指标值。

注: 不使用  $EC_{50}$ , 因为没有针对 R32 或 R125 的确定值; 不使用 LOAEL, 因为针对 R32 和 R125 的值影响覆盖了过半数(10/10 和  $>5/10$ ) 的动物。如果可以获得合法的  $EC_{50}$ 、LOAEL 或 NOAEL, 就可以对一个混合制冷成分使用一个  $EC_{50}$ , 对第二个成分使用一个 LOAEL, 对第三个成分使用一个 NOAEL 等。

R410A 没有已知的相关妨碍逃生或永久性损伤效应指标值 d)。因此, 将 R410A 混合制冷剂的最低 TCFs a)~c) 设置为心脏敏感效应值 b), 即  $166\,000\text{ ppm}$ 。四舍五入到两位有效数字, 变成  $170\,000\text{ ppm}$ , 该值作为 R410A 的 ATEL。

## D.5 R410A 的 RCL

RCL 为根据 8.1.1.1 确定 ATEL、8.1.2 确定的 ODL 或者 8.1.3 确定的 FCL 的最小值。由于 R410A 混合制冷剂不可燃, 并且 ATEL 等于  $170\,000\text{ ppm}$  小于缺氧限值 ODL 的  $140\,000\text{ ppm}$ , 所以 RCL 亦为  $140\,000\text{ ppm}$ 。

表 E  
资料性表录制  
用来确定安全分类和 RCL 值的数据

用来确定安全分类和 RCL 值的数据见表 E.1～表 E.3冷  
未分类的制冷剂数据见表 E.4～表 E.6冷

表 E.1 单一化合物制冷剂的 ATEL和ODL和LC以及 RCL 值<sup>a</sup>体积分数制ppm制

制冷 剂 <sup>b</sup>	化学名称	LC <sub>50</sub> <sup>c</sup>	心脏敏感		麻醉			其他 <sup>i</sup>	ATEL	ODL	FCL	RCL	ATEL 来源	RCL 来源
			LOAEL <sup>e</sup>	NOAEL <sup>e</sup>	EC <sub>50</sub> <sup>f</sup>	LOAEL <sup>g</sup>	NOAEL <sup>h</sup>							
R11	三氯一氟甲烷	26 200	5 000	1 100	35 000	ND	12 500	ND	1 100	140 000	NA	1 100	100%心脏 NOAEL	ATEL
R12	二氯二氟甲烷	>800 000	50 000	40 000	250 000	ND	200 000	22 700	18 000	140 000	NA	18 000	80%其他	ATEL
R14	四氟甲烷	>390 000	ND	200 000	ND	ND	226 000	ND	110 000	140 000	NA	110 000	28.8% LC <sub>50</sub>	ATEL
R22	一氯二氟甲烷	220 000	ND	59 300 <sup>k</sup>	140 000	50 000	ND	ND	59 000	140 000	NA	59 000	100%心脏 NOAEL	ATEL
R23	三氟甲烷	>663 000	ND	800 000	ND	ND	51 000	ND	51 000	140 000	NA	51 000	80%麻醉 NOAEL	ATEL
R32	二氟甲烷	>760 000	250 000	200 000	ND	ND	250 000	ND	220 000	140 000	29 000	29 000	100%心脏 NOAEL	20%LFL
R113	1,1,1-三氯-2,2,2-三氟乙烷	52 500	4 850	2 600	28 000	ND	25 000	ND	2 600	140 000	NA	2 600	100%心脏 NOAEL	ATEL
R114	1,1,2,2-四氯乙烷	255 000 <sup>j</sup>	25 000	ND	250 000	ND	100 000	ND	20 000	140 000	NA	20 000	80%心脏 LOAEL	ATEL
R115	一氯五氟乙烷	>800 000	150 000	ND	ND	ND	800 000	ND	12 000	140 000	NA	12 000	80%心脏 LOAEL	ATEL
R116	六氟乙烷	>800 000	ND	200 000	ND	ND	121 000	ND	12 000	140 000	NA	12 000	80%麻醉 LOAEL	ATEL
R123	2,2,3,3-四氟-1,1,1,2-四氟乙烷	32 000	ND	10 300	27 000	ND	2 500	ND	9 100	140 000	NA	9 100	28.8%LC <sub>50</sub>	ATEL
R124	2,3,3,3-四氟-1,1,1,2-四氟乙烷	263 000	25 000	10 100	150 000	ND	48 000	ND	10 000	140 000	NA	10 000	100%心脏 NOAEL	ATEL



表 E.1 (续)

制冷 剂 <sup>b</sup>	化学名称	LC <sub>50</sub> <sup>c</sup>	心脏敏感		麻醉			其他 <sup>i</sup>	ATEL	ODL	FCL	RCL	ATEL 来源	RCL 来源
			LOAEL <sup>c</sup>	NOAEL <sup>c</sup>	EC <sub>50</sub> <sup>f</sup>	LOAEL <sup>g</sup>	NOAEL <sup>h</sup>							
R125	五氟乙烷	>769 000	100 000	75 000	ND	ND	709 000	ND	75 000	140 000	NA	75 000	100%心脏 NOAEL	ATEL
R134a	1,1,1,2-四氟乙烷	>359 000 <sup>l</sup>	75 200	49 800	270 000	ND	81 000	ND	50 000	140 000	NA	50 000	100%心脏 NOAEL	ATEL
R141b	1, 1-二 氯-1-氟 代 乙烷	61 600	5 200	2 600	25 000	29 000	20 000	ND	2 600	140 000	15 000	2 600	100%心脏 NOAEL	ATEL
R142b	1-氯-1,1-二氟乙烷	106 000 <sup>d</sup>	50 000	25 000	250 000	ND	591 000	ND	25 000	140 000	16 000	16 000	100%心脏 NOAEL	20%LFL
R143a	1,1,1-三氟乙烷	>591 000	300 000	250 000	500 000	ND	24 800	ND	170 000	140 000	16 000	16 000	28.3%LC <sub>50</sub>	20%LFL
R152a	1,1-二氟乙烷	400 000 <sup>d</sup>	150 000	50 000	ND	ND	100 000	500 000	50 000	140 000	9 600	9 600	100%心脏 NOAEL	20%LFL
R170	乙烷	>24 800	100 000	ND	ND	ND	ND	ND	7 000	140 000	6 200	6 200	28.3%LC <sub>50</sub>	ATEL
RE170	二甲醚	164 000	200 000	100 000	ND	84 000	ND	ND	42 000	140 000	6 800	6 800	50%麻醉 LOAEL	20%LFL
R218	八氟丙烷	>400 000 <sup>d,m</sup>	400 000	300 000	ND	ND	113 000	ND	110 000	140 000	NA	110 000	80%麻醉 NOAEL	ATEL
R227ea	1,1,1,2,3,3,3-七氟 丙烷	>788 696	105 000	90 000	ND	ND	105 000	ND	90 000	140 000	NA	90 000	80%麻醉 NOAEL	ATEL
R236fa	1, 1, 1, 3, 3, 3-六氟 丙烷	>457 000	150 000	100 000	110 000	ND	20 000	ND	55 000	140 000	NA	55 000	80%麻醉 EC <sub>50</sub>	ATEL
R245fa	1,1,1,3,3-五氟丙烷	>203 000	44 000	34 100	ND	ND	50 600	ND	34 000	140 000	NA	34 000	100%心脏 NOAEL	ATEL
R290	丙烷	>200 000 <sup>n</sup>	100 000	50 000	280 000	ND	ND	ND	50 000	140 000	4 200	4 200	100%心脏 NOAEL	20%LFL
RC318	八氟环丁烷	>800 000	100 000	ND	>800 000	ND	800 000	ND	80 000	140 000	NA	80 000	80%心脏 LOAEL	ATEL
R600	丁烷	272 000	ND	ND	ND	ND	130 000	10 000	1 000	140 000	4 000	1 000	8.1.1.3	ATEL
R600a	异丁烯	143 000 <sup>o</sup>	50 000	25 000	200 000	10 000	ND	ND	25 000	140 000	3 200	3 600	100%心脏 NOAEL	20%LFL
R601	戊烷	434 000	ND	ND	ND	16 000	32 000	ND	1 000	140 000	2 400	1 000	8.1.1.3	ATEL
R601a	异戊烷	434 000	ND	ND	ND	120 000	ND	ND	1 000	140 000	2 600	1 000	8.1.1.3	ATEL
R717	氨	3 300 <sup>q</sup>	ND	<sup>p</sup>	ND	<sup>p</sup>	38 900	400	320	140 000	33 000	320	其他	ATEL
R744	二氧化碳	*	ND	<sup>p</sup>	ND	<sup>p</sup>	ND	50 000 <sup>r</sup>	40 000	140 000	NA	40 000	NIOSH IDLH	ATEL
R1234yf	2, 3, 3, 3-四 氟-1- 丙烯	>406 000	ND	>120 000	ND	201 000	ND	ND	100 000	140 000	12 000	12 000	50%心脏 LOAEL	20%LFL

表 E.1 (续)

制冷 剂 <sup>b</sup>	化学名称	LC <sub>50</sub> <sup>c</sup>	心脏敏感		麻醉			其他 <sup>i</sup>	ATEL	ODL	FCL	RCL	ATEL 来源	RCL 来源
			LOAEL <sup>e</sup>	NOAEL <sup>e</sup>	EC <sub>50</sub> <sup>f</sup>	LOAEL <sup>g</sup>	NOAEL <sup>h</sup>							
R1234ze (E)	1, 3, 3, 3-四 氟-1- 丙烯	>207 000	ND	>120 000	ND	ND	>207 000	ND	59 000	140 000	13 000	13 000	28.3%LC <sub>50</sub>	20%LFL
R1270	丙烯(丙烯)	>490 000 <sup>l</sup>	ND	ND	ND	ND	10 000	7 200	1 000	140 000	5 400	1 000	8.1.1.1.3	ATEL

ND:根据本标准的准则尚未确定或尚未充分规定。  
NA:不适用。  
<sup>a</sup> 数据见参考文献[33]。  
<sup>b</sup> 根据 ANSI/ASHRAE 标准 34-1997 和随后发表的补遗。  
<sup>c</sup> 4-hr LC<sub>50</sub> 鼠用作致命性指标。  
<sup>d</sup> 4-hr 鼠的近似致死浓度(ALC)用作致命性指标,LC<sub>50</sub> 待定。  
<sup>e</sup> 注射肾上腺素的狗。  
<sup>f</sup> 10-min EC<sub>50</sub> 老鼠或鼠。  
<sup>g</sup> 最低麻醉/CNS LOAEL 鼠在 ALC、LC<sub>50</sub> 期间,或者其他急性毒性研究。  
<sup>h</sup> 最高麻醉/CNS NOAEL 鼠在任何毒性研究中不超过一个急性 LOAEL。  
<sup>i</sup> 其他漏泄损害或永久性损伤效应,包括短时间接触时的严重感觉刺激。  
<sup>j</sup> R114 鼠的 30-min LC<sub>50</sub>-720 000 ppm (体积分数)鼠的 2-hr LC<sub>50</sub> > 600 000 ppm (体积分数)。  
<sup>k</sup> 未使用。  
<sup>l</sup> R134a 的 LC<sub>50</sub> 替换成 ALC,当大于 50%的动物死于 566 700 ppm (体积分数)的 ALC 时。  
<sup>m</sup> R218 鼠的 1-hr ALC>800 000 ppm (体积分数)。  
<sup>n</sup> R290 鼠的 15-min LC<sub>50</sub>>800.000 ppm (体积分数)。  
<sup>o</sup> R-600a 鼠的 15-min LC<sub>50</sub>=570.000 ppm (体积分数),麻醉/CNS 值是一只鼠的 17-min EC<sub>50</sub>。  
<sup>p</sup> 无数据,但视为大于 LC<sub>50</sub> 和 ALC。  
<sup>q</sup> 公布的 LC<sub>50</sub> 值:1 hr 时为 6 586-19671ppm (体积分数),4 hr 时为 2 000-4 067;将鼠的最低 1-hr LC<sub>50</sub> 转换成 4-hr 得出 3 300,大约为 4-hr 值的一半。  
<sup>r</sup> 其他效应信息,参见 NIOSH IDLH 文献。  
<sup>s</sup> R744 视为单纯窒息;人的 5-min LCLo=90 000 ppm (体积分数)。  
<sup>t</sup> R1270 6-hr ALC>400 000 ppm (体积分数);在 100 000 ppm 下 2 只狗均心脏敏感;在 7 200 ppm (体积分数)时一般的被试动物呼吸速率下降。

表 E.2 可燃制冷剂的 LFL、ETFL、S<sub>U</sub> 以及 HOC

制冷剂编号	化学式	LFL(体积分数) %	ETFL <sub>60</sub> (体积分数) %	S <sub>U</sub> cm/s	HOC MJ/kg
R30	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>		14.1		5.7
R32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	14.4		6.7	9.5
R40	CH <sub>3</sub> Cl	10.7			12.8
R41	CH <sub>3</sub> F	7.1		28	19.6
R50	CH <sub>4</sub>	5.0		40	50.0
R141b	CH <sub>3</sub> CCl <sub>2</sub> F	7.6			8.0
R142b	CH <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub>	8.0			8.9
R143a	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	8.2		7.1	10.3
R152a	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	4.8		23	16.5
R170	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	3.1		47	47.5
RE170	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	3.4		54	28.8
R290	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	2.1		46	46.3
R600	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	1.6		45	45.7
R600a	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	1.8		41	45.6
R610	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	1.9		47	34.1
R611	HCOOCH <sub>3</sub>	5.0			15.3
R630	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	4.9		25	31.4
R631	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>	3.5		27	35.2
R702	H <sub>2</sub>	4.0		317	120.0
R717	NH <sub>3</sub>	16.7		7.2	18.6
R744A	N <sub>2</sub> O	NF			1.9
R1132a	CH <sub>2</sub> =CF <sub>2</sub>	4.7			15.7
R1150	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	3.1		80	47.2
R1234yf	CF <sub>3</sub> CF=CHF	6.2		1.5	10.7
R1234ze(E)	CF <sub>3</sub> CH=CH <sub>2</sub>	6.5		1.2	10.1
R1270	CH <sub>3</sub> CH=CH <sub>2</sub>	2.7			45.8



表 E.3 可燃混合制冷剂的 LFL、ETFL<sub>60</sub>、S<sub>u</sub> 以及 HOC

制冷剂 编号	LFL			ETFL <sub>60</sub>			S <sub>u</sub>			HOC		
	名义	WCF	WCFF	名义	WCF	WCFF	名义	WCF	WCFF	名义	WCF	WCFF
R406A			8.2							7.7	8.2	10.1
R411A						5.5				5.7	6.3	14.1
R411B						7				5.3	5.3	12.0
R412A						8.7				5.0	5.0	8.9
R413A						8.8				7.6	11.2	8.6
R415A			5.6									
R415B		4.7										
R418A			8.9									
R419A			6.0									
R429A		2.5										
R430A		3.2										
R431A		2.2										
R432A		2.2										
R433A		2.0										
R433B		1.8										
R433C		1.8										
R435A		3.4										
R436A		1.6										
R436B		1.6										
R439A		10.4								9.5		
R440A		4.6(100C)								18.5		
R441A		1.6								46.0		
R511A		2.1								45.5		
R512A			4.5							16.0		

表 E.4 未分类的单组份制冷剂的编号<sup>c</sup>

制冷剂 编号	成分标 识前缀	化学名称 <sup>b</sup>	化学分子式	摩尔 质量 <sup>a</sup> g/mol	标准 沸点 <sup>a</sup> ℃	LFL(体积 分数) ppm	ATEL(体积 分数) ppm	RCL(体积 分数) ppm
甲烷系列								
R12B1	BCFC	溴氯二氟甲烷	CBrClF <sub>2</sub>	165.4	−4			
R13	CFC	氯三氟甲烷	CClF <sub>3</sub>	104.5	−81			
R13B1	BFC	溴三氟甲烷	CBrF <sub>3</sub>	148.9	−58			

表 E.4 (续)

制冷剂 编号	成分标 识前缀	化学名称 <sup>b</sup>	化学分子式	摩尔 质量 <sup>a</sup> g/mol	标准 沸点 <sup>a</sup> ℃	LFL(体积 分数) ppm	ATEL(体积 分数) ppm	RCL(体积 分数) ppm
R21	HCFC	二氯氟甲烷	CHCl <sub>2</sub> F	102.9	9			
R30	HCC	二氯甲烷(亚甲基氯)	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84.9	40			
R31	HCFC	氯氟甲烷	CH <sub>2</sub> ClF	68.5	—9			
R40	HCC	氯甲烷(甲基氯)	CH <sub>3</sub> Cl	50.5	—24	107 000		
R41	HFC	氟甲烷(甲基氟)	CH <sub>3</sub> F	34.0	—78	71 000		
R50	HC	甲烷	CH <sub>4</sub>	16.0	—161	50 000		
乙烷系列								
R141b	HCFC	1,1-二氯-1-二氟	CH <sub>3</sub> CCl <sub>2</sub> F	117.0	32	7 600	2 600	2 600
氧化合物								
R610		乙醚	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	74.1	35	19 000		
R611		甲酸甲酯	HCOOCH <sub>3</sub>	60.0	32	50 000		
氮化合物								
R630		甲胺	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	31.1	—7	49 000		
R631		乙胺	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>	45.1	17	35 000		
硫化合物								
R620		(为将来编号使用)						
无机化合物								
R702		氢	H <sub>2</sub>	2.0	—253	40 000		
R704		氦	He	4.0	—269			
R718		水	H <sub>2</sub> O	18.0	100			
R720		氖	Ne	20.2	—246			
R728		氮	N <sub>2</sub>	28.1	—196			
R732		氧	O <sub>2</sub>	32.0	—183			
R740		氩	Ar	39.9	—186			
R744A		氧化亚氮	N <sub>2</sub> O	44.0	—90			
R764		二氧化硫	SO <sub>2</sub>	64.1	—10			
不饱和有机化合物								
R1132a	HFC	1,1-二氟乙烯(亚乙 烯基氟)	CH <sub>2</sub> =CF <sub>2</sub>	64.0	—82	47 000		
R1150	HC	乙烯	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	28.1	—104	31 000		
<sup>a</sup> 相对摩尔质量和标准沸点不是本标准的一部分。标准沸点是液态物质在标准大气压(101.3 kPa)下沸腾时所处的温度。 <sup>b</sup> 优选化学名称跟在通俗名称之后,置于括号中。优选的化学名称及化学式根据参考文献[3]或[4]。 <sup>c</sup> 未分类的制冷剂表明进行分类的数据不足或无正式的分类请求。								

表 E.5 R400 系列未分类混合物制冷剂的编号<sup>c</sup>

制冷剂 编号	组分质量分数 <sup>a</sup> %	组分浓 度允差 %	泡点 <sup>b</sup>	露点 <sup>b</sup>	安全 分类	LFL(体积 分数) ppm	ATEL(体积 分数) ppm	RCL(体积 分数) ppm
			℃					
R400	R12/114(应作出规定)							
	R12/114(50/50)							28 000
	R12/114(60/40)							30 000
<p><sup>a</sup> 通常列出混合制冷剂成分以便提高标准沸点。</p> <p><sup>b</sup> “泡点”和“露点”温度不是本标准的一部分；它们仅作为信息了解。“泡点”定义为一种制冷剂的液态饱和温度；液态制冷剂开始沸腾时所处的温度。在恒定压力下，非共沸制冷剂混合物的始沸点低于露点。“露点”定义为一种制冷剂的蒸气饱和温度；液态制冷剂最后一滴沸腾时所处的温度。在恒定压力下，非共沸制冷剂混合物的露点高于始沸点。</p> <p><sup>c</sup> 未分类的制冷剂表明进行分类的数据不足或无正式的分类请求。</p>								

表 E.6 R500 系列未分类混合物制冷剂的编号<sup>f</sup>

制冷剂 编号	组分质量分数 <sup>e</sup> %	组分浓 度允差 %	共沸 温度 <sup>d</sup>	泡点 <sup>a,b</sup>	露点 <sup>a,b</sup>	LFL(体积 分数) ppm	ATEL(体积 分数) ppm	RCL(体积 分数) ppm
			℃	℃				
R503	R23/13(40.1/59.9)		—88	—87.5	—87.5			
R504	R32/115(48.2/51.8)		17	—57.1	—56.2		220 000	140 000
R505	R12/31(78.0/22.0) <sup>e</sup>	±2/±2	115	—30.0	ND			
R506	R31/114(55.1/44.9)	±2/±2	18	—12.0	ND			
<p><sup>a</sup> “泡点”和“露点”温度不是本标准的一部分；它们仅作为信息了解。“泡点”定义为一种制冷剂的液态饱和温度；液态制冷剂开始沸腾时所处的温度。在恒定压力下，非共沸制冷剂混合物的始沸点低于露点。“露点”定义为一种制冷剂的蒸气饱和温度；液态制冷剂最后一滴沸腾时所处的温度。在恒定压力下，非共沸制冷剂混合物的露点高于始沸点。ND 表示尚未确定。</p> <p><sup>b</sup> 共沸制冷剂呈现出在它们形成所处的温度和压力以外的温度和压力条件下的某些成分偏析。分离程度取决于特殊共沸混合制冷剂及硬件系统配置。</p> <p><sup>c</sup> 该共沸混合制冷剂的确切组成正在审议中，需要另外的试验研究。</p> <p><sup>d</sup> 在汽-液平衡(VLE)的条件下。</p> <p><sup>e</sup> 通常列出混合制冷剂成分以便提高标准沸点。</p> <p><sup>f</sup> 未分类的制冷剂表明进行分类的数据不足或无正式的分类请求。</p>								



**附 录 F**  
**(资料性附录)**  
**申请须知**

## **F.1 概述**

本附录确定在标准的补遗或修订中为制冷剂(包括混合制冷剂)申请名称、安全分类和 RCL 值的要求。

## **F.2 资格**

### **F.2.1 申请人**

任何有关方都可要求为制冷剂申请名称和安全分类。申请人可以是个人、组织、企业或政府机构。

### **F.2.2 费用**

无申请费,但申请人应联系主管机构秘书处以确定是否对装运和/或拷贝申请收取任何费用。

### **F.2.3 时间**

申请可在任何时间提交。若委员会成员在预定会议之前不到 30 个工作日时收到申请的话,委员会将推迟审议。申请人可与秘书处联系(参见 F.10.4),以便确定下次会议按时间表何时召开和要求的额外提前准备时间。若根据某一特定会议收到的申请的数量或复杂性,无法给予供评审的适宜时机,的话,审议也可以通过在场的大多数投票成员投票表决被推迟。

### **F.2.4 程序**

申请应按收到的顺序进行处理。如果某一特定会议上收到太多申请供审议,则优先处理早期提交的申请。

### **F.2.5 修改**

申请可被主管机构(MA)接受、延期或拒绝。暂停的申请可由申请人修改。无论是由申请人提出,或是回应委员会要求的补充信息,可以修改未表决的申请,以便修订或添加信息。经修改的申请应按最后修改的收到日期重新排定顺序,以便确定审议顺序。修改应被分成 F.3 中指出的几部分,在新页上开始每一部分的信息,以便于在原始申请或先前经修改的申请中插入。修改应重复 F.5.2 中规定的认证。被拒绝的申请可以不修改,但它们可以根据可以获得的新信息以整体方式作为新申请重新提交。

如果申请未满足本标准的要求,并且申请人在 18 个月内或 3 次主管机构会议后未告知纠正不足之处的合理进程,申请将被拒绝。(参见 ISO 817 维护指南)。

### **F.2.6 混合制冷剂**

#### **F.2.6.1 成分**

混合制冷剂的各成分应在包含它们的混合制冷剂被赋予安全分类之前分别地进行分类。因此,混合制冷剂的名称和分类申请应与尚未在本标准中分类的所有成分的申请同时进行或在其后进行。

#### F.2.6.2 单次申请

名称、成分允差和安全分类(包括按化学式制备的成分和最不利分馏成分)应在混合制冷剂的单次申请中提出要求。这些项目中没有任何一项将被单独地赋予。这些项目的修订可以被单独地要求。

#### F.2.7 保密

不应在申请中包括机密信息。申请和其修正中包含的所有信息都应被视为公开信息,即使被标记为保密或专有。数据的限制性处理将不适当地阻止委员会通过共识评审程序审议和赋予名称和分类。

### F.3 组织和内容

应为每一制冷剂提交单独的申请。申请应按 F.4~F.9 中进一步确定的以下几部分进行组织:

- a) 封面。
- b) 管理信息。
- c) 名称信息。
- d) 毒性信息。
- e) 可燃性信息。
- f) 其他安全信息(若适用)。
- g) 附件(若有的话)。

#### F.4 封面

封面应标明申请人和主要联系人、根据 F.5.1 标识的制冷剂以及要求行为。要求行为可以包括某一名称、安全分类、RCL 值或成分允差(对于混合制冷剂)的赋予或修订。不应在封面上使用制冷剂的商业名和商标名。

### F.5 管理信息

#### F.5.1 申请人标识

应标明申请人、主要联系人和被授权代表申请人的其他人员。对于主要联系人和其他代表,应提供姓名、职称、地址和电话号码。还可提供传真号码和电子邮件地址,以便于进行联系。应陈述申请人对主题制冷剂的关注。

#### F.5.2 数据认证

申请应包括由个人或公司官员和主要联系人(对于组织和企业)签署的以下声明:

我/我们证明就我/我们所知,本申请(包括其附件)中提供的信息是真实并准确的,并且未隐瞒任何将影响毒性或可燃性安全性分类的信息。我/我们进一步证明我/我们已审阅了 ISO 817(包括其所有已公布的补遗)并且本申请中提供的信息与该标准的要求一致。我们认为提交的数据证明的安全分类(选择一项:A1、A2、A2L、A3、B1、B2、B2L 和 B3)。

#### F.5.3 名称和安全分类

申请应包括由个人或公司官员和主要联系人(对于组织和企业)签署的以下声明:我/我们理解,推荐的[供公众审查批准或公布的]名称和安全分类在实际公布于标准 ISO 817 的补遗或修订中之前不被

赋予并且可以被修改或不批准。

## F.6 名称信息

制冷剂名称申请应包含 F.6.1~F.6.2 中确定的信息。

### F.6.1 制冷剂标识

F.6.1.1 单一化合物制冷剂应根据第 4 章进行标识,除 4.4 适用于混合制冷剂之外。

F.6.1.2 混合制冷剂应通过按标准沸点升高的顺序列明单一成分以及质量分数组成进行标识。制冷剂 12 和 22 组成的混合物(质量分数:10/90)应标为 R22/12 (90/10)。申请人应按第 3 章中的定义,指出混合制冷剂是共沸还是非共沸(包括近共沸)制冷剂。

### F.6.2 制冷剂数据

F.6.2.1 单个化合物。应为单一化合物制冷剂或为混合制冷剂的每一成分提供以下信息:

- a) 化学名称。
- b) 化学式。
- c) 美国化学文摘服务社注册号。
- d) 相对摩尔质量。
- e) 冰点或三相点。
- f) 在 101.3 kPa 下的标准沸点。
- g) 在 20 °C 和 60 °C 下的饱和蒸气压力。
- h) 临界点处的温度。
- i) 临界点的压力。
- j) 临界点处的比容。
- k) 用途和典型使用温度(即,蒸发和凝结范围)。
- l) 根据 NFPA 704 或等效 ISO 标准确定的危险标志。

F.6.2.2 共沸混合物。应为共沸混合物提供以下额外信息:

- a) 共沸温度。
- b) 在共沸温度下的成分组成。
- c) 按化学式配制的成分的相对摩尔质量。
- d) 在 60 °C 下饱和蒸气的相对摩尔质量。
- e) 按化学式配制的成分在 101.3 kPa 下的标准沸点温度。
- f) 按化学式配制的成分在 101.3 kPa 下的标准露点温度。
- g) 在标准沸点下和在 20 °C 下的最大温度滑差。
- h) 在标准沸点下和在 20 °C 下的按化学式配制的饱和液体成分的蒸气组成。
- i) 在 20 °C 和 60 °C 下的按化学式配制的成分的饱和蒸气压力。
- j) 共沸性证据,包括一份试验详细说明和一份汽液平衡图(可选的支持信息可作为附件提供)。
- k) 临界点处的温度。
- l) 临界点的压力。
- m) 临界点处的比容。
- n) 用途和典型使用温度(即,蒸发和凝结范围)。
- o) 用于分类的拟用成分允差。
- p) 混合制冷剂的最不利成分(WCF)。



- q) 混合制冷剂的最不利蒸馏成分(WCFF)。
- r) 根据 NFPA 704 或等效 ISO 标准确定的危险标志。

**F.6.2.3** 非共沸混合物。应为非共沸混合物(包括近共沸混合物)提供以下额外信息:

- a) 设计配方。
- b) 按化学式配制的成分的相对摩尔质量。
- c) 在 60 °C 下蒸气的相对摩尔质量。
- d) 在 101.3 kPa 下的沸点温度。
- e) 在 101.3 kPa 下的露点温度。
- f) 在标准沸点下和在 20 °C 下的最大温度滑差。
- g) 在标准沸点下和在 20 °C 下的按化学式配制的饱和液体成分的蒸气组成。
- h) 在 20 °C 和 60 °C 下的露点蒸气压力。
- i) 临界点处的温度。
- j) 临界点的压力。
- k) 临界点处的比容。
- l) 用途和典型使用温度(即,蒸发和凝结范围)。
- m) 用于分类的拟用成分允差。
- n) 混合制冷剂的最不利成分(WCF)。
- o) 混合制冷剂的最不利蒸馏成分(WCFF)。
- p) 根据 NFPA 704 或等效 ISO 标准确定的危险标志。

**F.6.2.4** 低临界温度制冷剂。如果临界温度低于 F.6.2.1、F.6.2.2 和 F.6.2.3 中要求提供数据的温度,按以下所示进行替换:

- a) 对于 20 °C 下的数据要求,规定在标准沸点或 0 °C 下的所需数据(按两者中较高者计算)。对于压力数据,还要规定在 20 °C 下的压力和临界密度。
- b) 对于 60 °C 下的数据要求,规定在按标准沸点加临界温度与标准沸点之差的 80% 计算出的温度下的所需数据。对于压力数据,还要规定在 60 °C 下的压力和临界密度。
- c) 标明在其下规定替换数据的适用温度或温度和临界密度。

**F.6.2.5** 混合制冷剂的临界点。对于混合制冷剂,临界温度和压力应分别按化学式构成的合成物中各混合成分的临界温度和临界压力的摩尔百分数的加权平均值计算。

## F.7 毒性信息

单一化合物制冷剂申请应包括 F.7.1、F.7.2 和 F.7.3 中规定的的数据。混合制冷剂申请应包括 F.7.3 中规定的的数据。应标明这些数据的来源,并且申请人应在主管机构要求时提供副本。有关混合制冷剂成分,参见 F.2.6。

### F.7.1 急性毒性

申请应包括单一化合物制冷剂或混合制冷剂每一成分的以下短期毒性数据,标明来源:

- a) 若赋予,美国政府工业卫生学会 ACGIH 公布的阈限值-最高限度 TLV-C;
- b) 若赋予,美国政府工业卫生学会 ACGIH 公布的阈限值-短期接触极限 TLV-STEL;
- c) 若赋予,美国国家职业安全与健康研究所 NIOSH 公布的直接威胁生命或健康 IDLH 值;
- d) 白鼠的 4 h 半数致死浓度(LC<sub>50</sub>);
- e) 半数致死量(LD<sub>50</sub>)(若可获得);
- f) 心脏过敏反应水平(EC<sub>50</sub>或 LOAEL 或 NOAEL);

- g) 麻醉效应( $EC_{50}$  或 LOAEL 或 NOAEL);
- h) 有关可能导致逃生能力削弱症状的其他效应的信息。

### F.7.2 慢性毒性

对于单一化合物制冷剂或混合制冷剂每一成分,申请应包括以下数据,标明来源:

- a) 反复接触毒性数据(若可获得);
- b) 若赋予,美国政府工业卫生学会 ACGIH 公布的阈限值-时间加权平均值 TLV-TWA 或阈限值-最高限度 TLV-C;
- c) 若赋予,美国工业卫生协会 AIHA 公布的工作场所环境接触水平 WEEL 值;
- d) 在与美国职业安全与健康管理局 OSHA 公布的允许接触极限 PEL 值或德国研究基金会公布的最大工作场所浓度 MAK 一致的基础上确定的建议允许接触极限值,并说明其是如何确定的。

### F.7.3 材料安全数据表

单一化合物制冷剂的申请应包括作为附件的一份材料安全数据表(MSDS)或与此一致的信息。混合制冷剂的申请应包括作为附件的按化学式构成的混合制冷剂和混合制冷剂的每一成分的安全数据表(MSDSs)。

## F.8 可燃性信息

单一化合物制冷剂和混合制冷剂的申请应包括制成表格的可燃性试验数据和 B.1.8 中规定的信息。混合制冷剂的申请还应包括制成表格的分馏数据和 B.2.5 中规定的信息。有关混合制冷剂成分,参见 F.2.6。如果制冷剂可燃,申请应包括可燃下限。如果要求 A2L 或 B2L 分类,应包括最大燃烧速度。

## F.9 自燃温度

自燃温度数据应包括在申请中。测量方法应符合已公布和公认的方法,例如,UL 2182-2006。

## F.10 提交资料

### F.10.1 语言

申请应用英语提交。

### F.10.2 单位

申请应用 SI(国际单位制)(公制)单位提交。

### F.10.3 形式

要求的信息和证据应用印刷和电子格式(MSWord 或 pdf)两种形式提交。

### F.10.4 接收人

提交申请,寄送到以下地址:

Secretariat, ISO TC 86/SC8  
ASHRAE

**GB/T 7778—2017**

1791 Tullie Circle NE  
Atlanta, GA 30329-2305 USA

#### **F.10.5 详细的申请**

无须提供不需要主管机构审议的包含关于申请人、性能数据和其他材料等相关资料。



## 参 考 文 献

- [1] ISO 5149 Mechanical refrigerating systems used for cooling and heating—Safety requirements
- [2] ISO 10298 Determination of toxicity of a gas or gas mixture
- [3] International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) Blue Book and Guide. Nomenclature of Organic Chemistry, “Blue Book”, IUPAC, Pergamon Press, 1979. Edited by J. Rigaudy and S.P., Llesney.
- [4] Panico R., Powell W.H., Richer J.C. eds. A Guide to IUPAC Nomenclature of Organic Compounds. Blackwell Scientific Publications. References, 1993.
- [5] 1990-1991 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, USA, 1990.
- [6] OECD Principles of Good Laboratory Practice. Annex 2 of Decision C(81)30(Final), Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris, France, 13 May 1981.
- [7] Good Laboratory Practice for Nonclinical Laboratory Studies. Food and Drug Administration (FDA), 21 CFR Chapter 1 Part 58, Subparts A-K, Government Printing Office, Washington, DC, USA, 1996.
- [8] Good Laboratory Practice Standards. Environmental Protection Agency, 40 CFR Part 792, Subparts A-J. Government Printing Office, Washington, 1996.
- [9] GLP for Industrial Chemicals. Kikyoku [Basic Industries Bureau] Dispatch 85, Ministry of International Trade and Industry (MITI), and Kanpogyo [Planning and Coordination Bureau] Dispatch 39, Environmental Agency, Tokyo, Japan, 31 March 1984.
- [10] Ten Berge W.F., Zwart A., Appelman L.M. Concentration-time mortality response relationship of irritant and systemically acting vapours and gases. *J. Hazard. Mater.* 1986, 13 (3) pp. 301-309.
- [11] Brock W.J., Rusch G.R., Trochimowicz H.J. Cardiac sensitization: methodology and interpretation in risk assessment. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 2003, 38 pp. 78-90.
- [12] The Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. 2003 p. 9, ACGIH, Cincinnati, Ohio.
- [13] Emergency Response Planning Guidelines and Workplace Environmental Exposure Level Guides Handbook. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, Virginia, 2005.
- [14] Takizawa K., Takahashi A., Tokuhashi K., Kondo S., Sekiya A. 2005, Burning velocity measurement of fluorinated compounds by the spherical-vessel method. *Combust. Flame.* 2005, 141 pp. 298-307.
- [15] Andrews G.E., & Bradely D. Determination of burning velocities: A critical review. *Combust. Flame.* 1972, 18 pp. 133-153.
- [16] Linett J.W. Fourth Symposium on Combustion, The Combustion Institute, p. 20-34. 1953.
- [17] Coward H.F., & Payman W. Problems in flame propagation. *Chem. Rev.* 1937, 21 pp. 359-365.
- [18] Coward H.F., Hartwell F.J. Studies in the mechanism of flame movement *J. Chem. Soc.* 1932, pp. 1996-2004 and pp. 2676-2684.
- [19] Lewis B., von Elbe G. Combustion, Flames and Explosions of Gases. Second Ed., Academic Press, New York, 1961.

- [20] Jabbour T. Flammable Refrigerant Classification Based on the Burning Velocity, Thesis, Ecole des Mines de Paris, France, June 2004.
- [21] Guénoche H., Laffitte P. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 222 (12 Juin), pp. 1394-1396. P. 1946.
- [22] Guénoche H., Manson N., Monnot G. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 226 (5 Jan.), pp. 69-71. 1948.
- [23] Guénoche H., Manson N., Monnot G. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 226 (12 Jan.), pp. 163-164. 1948.
- [24] Guénoche H. Non-steady flame propagation (Ed. G. H. Markstein), Chapter E. AGARD, Pergamon, 1964.
- [25] Babrauskas V. Ignition Handbook. Fire Science Publishers, 2003.
- [26] DIN 51649-1:1986, Determination of explosion limits of gas mixtures.
- [27] Kondo S., Urano Y., Takahashi A., Tokuhashi K. Reinvestigation of flammability limits measurement of methane by the conventional vessel method with AC discharge ignition. Combust. Sci. Technol. 1999, 145pp. 1-15.
- [28] Barnett H. C., Hibbard R. R., Basic Considerations in the Combustion of Hydrocarbon Fuels with Air, National Advisory Committee for Aeronautics, Report 1300. 1957.
- [29] Durox D., & Ducruix S. Concerning the location of the schlieren limit in premixed flames. Combust. Flame. 2000, 120 pp. 595-598.
- [30] AHRI Standard 700, Specifications for Fluorocarbon Refrigerants.
- [31] NFPA 704, Standard System for the Identification of the Hazards of Materials for Emergency Response, National Fire Protection Association, USA.
- [32] UL 2182-2006, Refrigerants.
- [33] CALM J. M. M. "ARTI Refrigerant Database", Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute (ARTI), Arlington, VA.
- [34] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents.
- [35] IEC 60335-2-24 Household and similar electrical appliances—Safety—Part 2-24: Particular requirements for refrigerating appliances, ice-cream appliances and ice makers
- [36] IEC 60335-2-34 Household and similar electrical appliances—Safety—Part 2-34: Particular requirements for motor-compressors
- [37] IEC 60335-2-40 Household and similar electrical appliances—Safety—Part 2-40: Particular requirements for electrical heat pumps, air-conditioners and dehumidifiers
- [38] IEC 60335-2-89 Household and similar electrical appliances—Safety—Part 2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances with an incorporated or remote refrigerant unit or compressor





中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
制冷剂编号方法和安全性分类  
GB/T 7778—2017

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2017年5月第一版

\*

书号: 155066 • 1-55679

版权专有 侵权必究



GB/T 7778-2017