



中华人民共和国国家标准

GB/T 7778—202X
代替GB/T 7778—2017

制冷剂编号方法和安全性分类

Refrigerants — Designation and safety classification

(ISO 817:2024, MOD)

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言.....	II
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
3.1 术语和定义.....	1
3.2 缩略语.....	6
3.3 符号.....	7
4 制冷剂编号方法.....	7
4.1 制冷剂表格.....	8
4.2 识别编号.....	8
4.3 醚基制冷剂.....	10
4.4 混合制冷剂.....	11
4.5 其它有机化合物.....	12
4.6 无机化合物.....	12
5 编号前缀.....	13
5.1 通用前缀.....	13
5.2 成分标识前缀.....	13
6 安全性分类.....	14
6.1 通则.....	14
6.2 安全组分类系统矩阵.....	16
7 制冷剂分类与性能数据.....	17
8 制冷剂浓度极限.....	17
8.1 总则.....	17
8.2 计算用数据.....	18
8.3 污染物和杂质.....	19
8.4 单位换算——体积质量和海拔高度修正.....	19
附录 A（规范性）可燃性试验和分馏分析.....	21
附录 B（规范性）A2L 类可燃气体燃烧速度的试验方法.....	25
附录 C（资料性）制冷剂中同分异构体的编号方法示例.....	40
附录 D（资料性）最小成分允差示例.....	42
附录 E（规范性）混合制冷剂的 ATEL 计算.....	43
附录 F（资料性）用于确定安全性分类、制冷剂浓度限值的数据以及未分类制冷剂的数据.....	45
附录 G（规范性）制冷剂分类与特性.....	46
参考文献.....	47
图 A.1 试验装置.....	21
图 B.1 垂直管内火焰传播示意图.....	26
图 B.2 试验台示意图.....	28
图 B.3 试验管设计和主要尺寸.....	29

图 B.4 显示点火电极及阻尼（装配）孔的管道下端图示.....	29
图 B.5 氢氟酸导致的管道蚀刻	30
图 B.6 沿燃烧火焰和发光区的温度分布曲线	31
图 B.7 照相机接收的正视图和侧视图示意图	33
图 B.8 气体处理系统	34
图 B.9 层流燃烧波从管道开口端向封闭端传播的流向和颗粒速度.....	36
图 B.10 火焰前沿面积计算中的非倾斜形元节段与倾斜形元节段.....	39
图 C.1 1(E)-1,2,3,3-四氟-1-丙烷或 HFO-1234ye(E).....	41
图 C.2 1(Z)-1,2,3,3-四氟-1-丙烷或 HFO-1234ye(Z).....	41
图 D.1 混合制冷剂中成分相对于名义浓度的最小允差	42
表 1 缩略语对照表.....	6
表 2 符号对照表.....	7
表 3 丙烷同分异构体编号中第一个附加字母	9
表 4 丙烯同分异构体编号中第二个附加字母	9
表 5 丁烷同分异构体编号附加字母	10
表 6 其它有机化合物的后缀	12
表 7 成分标识前缀的示例	13
表 8 基于可燃性和毒性的制冷剂安全分类	16
表 C.1 乙烷系同分异构体	40
表 C.2 丙烷系同分异构体	40
表 C.3 丙烯系同分异构体	40
表 D.1 制冷剂 X 的允差.....	42
表 D.2 最小可接受允差示例	42

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替GB/T 7778—2017《制冷剂编号方法和安全性分类》，与GB/T 7778—2017相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了“自燃温度”“热表面点火温度”“对生命或健康立即构成危险”“50%致死剂量”“短间接接触限值”的术语和定义，更改了“高温可燃极限”的定义，删除了“制冷剂浓度极限”的术语和定义（见3.1.5、3.1.16、3.1.24、3.1.25、3.1.28、3.1.41，2017版的3.1.15、3.1.36）；
- b) 更改了缩略语和符号，并将缩略语列项、符号列项分别调整为表格（见3.2、3.3，2017版的3.2、3.3）；
- c) 增加了化合物为烯烃时碳原子识别编号表示新方法、四碳原子化合物的识别编号表示方法（见4.2.8、4.2.13）；
- d) 增加了混合制冷剂的编号系列（见4.4.1和4.4.2）；
- e) 更改了混合制冷剂允差的要求，增加了混合制冷剂成分特殊性的要求（见4.4.4、4.4.5，2017版的4.4.3）；
- f) 更改了其它有机化合物的识别编号表示的方法，将示例移到“注”中（见4.5，2017版的4.5）；
- g) 更改了混合制冷剂可燃性分类依据和毒性分类的要求，更改了安全组分类系统矩阵，由图转为表格（见6.1.1、6.1.2、6.2的表8，2017版的6.1.1、6.1.2、6.2的图1）；
- h) 更改了制冷剂浓度限值的要求：删除了RCL值的要求，更改了急性毒性接触极限（ATEL）的要求，增加了有、无混合制冷剂毒性数据时的不同要求，更改了不需要进行心脏敏感研究的条件，更正了提到4小时LC₅₀和4小时ALC的条款号，更改了麻醉效应或中枢神经系统效应的制冷剂浓度限值要求，删除了可燃浓度极限（FCL）的要求（见8.1.1、8.1.2、8.1.4、8.1.5，2017版的8.1、8.1.1.1、8.1.1.3、8.1.1.4、8.1.3）；
- i) 更改了单位换算中公式（4），增加了制冷剂分类与特性的附录，将制冷剂分类与特性表格移至附录中并以公开性网站链接给出（见8.4、附录G，2017版的8.4）；
- j) 更改了可燃性试验条件、样品导入实验装置的要求、火焰传播中火花持续时间的要求、可燃性试验记录的格式、需提供的可燃性试验数据中试验压力要求，更正了分馏分析中气相色谱法的允差要求（见附录A，2017版的附录B）；
- k) 更改了A2L类可燃气体燃烧速度的试验方法（见附录B，2017版的附录C）；
- l) 更改了混合制冷剂ATEL计算的要求，更正了各成分TCF确定依据的章节号，删除了R-410A心脏敏感指标值的不正确公式，删除了混合制冷剂RCL的计算（见附录E，2017版的附录D）。

本文件修改采用ISO 817:2024《制冷剂 命名和安全分类》。

本文件与ISO 817:2024相比做了下述结构调整：

——附录A对应ISO 817:2024的附录B，附录C～附录G分别对应ISO 817:2024的附录A、附录F、附录D、附录E、附录C。

本文件与ISO 817:2024的技术差异及其原因如下：

- a) 删除了范围中关于文件中表格数据的内容，增加了本文件的适用范围（见第1章），提高标准的适用性；
- b) 删除了ASTM D8211（见第2章），因该文件仅在术语和定义的“注”中出现，为资料性引用；

- c) 将“注”中提到的根据本文件规定的系统而确定的最大建议制冷剂浓度移到定义中（见3.1.2），提高标准的适用性；
- d) 将缩略语列项、符号列项分别调整为表格（见3.2、3.3），便于阅读；
- e) 将“注”中提到的制冷剂分配编号及安全分类表格所在的ISO 817网站移到正文中（见4.1），便于阅读，与本文件附录编号区分开；
- f) 将醚结构的烃基部分仅存在单一同分异构体的示例由括号内移到正文中（见4.3.3.4），便于阅读；
- g) 用规范性附录B替换了ISO/PAS 24499内容（见6.1.3.1、附录B），因上一版标准中该内容就作为附录出现，本文件中仍保留附录内容，提高标准的适用性；
- h) 用规范性引用的GB/T 21844替换了ASTM E681（见6.1.3.1、附录A、附录B），以适应我国的技术条件，保持与我国标准体系的协调一致；
- i) 更改了提到4小时LC₅₀和4小时ALC的条款号，联系上下文更改了原版笔误（见8.1.4）；
- j) 删除了申请计算用数据的信息（见8.2.1.1），以适应我国的技术条件，提高标准的适用性；
- k) 用“主管机构”替换了ISO 817维护机构（见8.2），以适应我国的技术条件，提高标准的适用性；
- l) 将公式（5）中海拔高度超过1000m的公式信息由括号移至正文中、用附录G替换了更新后的制冷剂表格从网站获取的信息（见8.4），引出附录G，附录G所含表格与上一版标准此处表格相对应，提高标准的适用性；
- m) 用图A.1替换了ANSI/ASHRAE 34（见附录A），因仅附录A中涉及引用ANSI/ASHRAE 34中的图B.1，直接将该图纳入本文件中，提高标准的适用性；
- n) 将各成分的TCF确定规则由括号内移到正文，并更正了优先级确定的章节号（见附录E.1），提高标准的适用性。

本文件做了下列编辑性改动：

- a) 删除了术语和定义以及正文中表示术语编号和条款号的括号内容（见第3.1、6.1.2.2），删除了术语和定义中“注”的内容（见3.1.2）；
- b) 用附录G替换了ISO/PAS 24499内容（见3.1.19）；
- c) 删除了注中关于美国标准的内容（见3.1.24、8.3）；
- d) 删除了注中以及资料性附录中关于制冷剂分配编号及安全分类表格所在ISO 817网站的信息（见4.1、附录F）；
- e) 删除了申请备选毒性数据的网站信息（见8.2.1.2）；
- f) 删除了参考文献的指向信息（见8.2.1.1、B.3.3.5、B.3.4.1），删除和增加了部分参考文献。请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国冷冻空调设备标准化技术委员会（SAC/TC 238）归口。

本文件起草单位：合肥通用机械研究院有限公司、广东美的暖通设备有限公司、三菱重工空调系统（上海）有限公司、上海明可途新材料科技有限公司、北京工业大学、天津商业大学、应急管理部天津消防研究所、中国制冷空调工业协会、合肥通用机电产品检测院有限公司、国机通用机械科技股份有限公司、西藏国机高原机电装备科学研究所有限公司。

本文件主要起草人：李江、李子夜、张译文、戴梅、殷正权、李红旗、王启帆、张网、张朝晖、岳峥、吴俊峰、王静、程立权、丁辉、陈欣、王嘉睿、胡一清、高钰。

本文件 1987 年首次发布，2001 年第一次修订，2008 年第二次修订，2017 年第三次修订，本次为第四次修订。

制冷剂编号方法和安全性分类

1 范围

本文件规定了制冷剂的编号表示方法、基于毒性和可燃性数据的制冷剂安全分类方法以及制冷剂浓度限值的确定方法。

本文件适用于制冷空调设备及装置使用的制冷剂。

【条文说明：删除了范围中关于文件中表格数据的内容，增加了本文件的适用范围，与 GB/T 7778-2017 一致，提高标准的适用性】

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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（GB/T 21844—2008，ASTM E 681:04，IDT）

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

因单次、短期接触制冷剂而产生的有害健康效应。

3.1.2

急性毒性接触限值 acute-toxicity exposure limit

ATEL

按本文件确定的最大建议制冷剂浓度，旨在制冷剂释放时降低对人类造成急性毒性危害的风险。

【条文说明：将“注”中提到的根据本文件规定的系统而确定的最大建议制冷剂浓度移到定义中，提高标准的适用性】

3.1.3

麻醉效应 anaesthetic effect

感知疼痛及其他感官刺激的能力受损。

3.1.4

接近致死浓度 approximate lethal concentration

ALC

当在与 LC₅₀ 试验的相同条件下进行试验时，对单只受试动物是致死的，但对该试验组中少于 50% 的受试动物是致死的制冷剂浓度。

3.1.5

自燃温度 auto-ignition temperature

AIT

在标准大气压下，物质无需外部点火源（如火焰或火花）就能在空气中自发燃烧的最低温度。

【条文说明：ISO 817:2024 新增该术语和定义】

3.1.6

共沸混合制冷剂 azeotrope

由两种或多种制冷剂组成的，其平衡蒸气相和液相成分在某一特定压力下相同，但在其他条件下可能不同的混合制冷剂。

3.1.7

混合制冷剂 blend

由两种或多种制冷剂组成的混合制冷剂。

3.1.8

燃烧速度 burning velocity

S_u

在制冷剂与空气集中混合处，层流火焰沿着火焰前沿未燃烧气体的垂直方向传播的最大速度。

注：单位为厘米每秒（cm/s）。

3.1.9

中枢神经系统效应 central nervous system effect

CNS

与治疗相关的抑郁、分心、刺激或一定程度上可能表现为损害从危险中逃生能力的其他行为改变。

3.1.10

慢性毒性 chronic toxicity

因长期、反复接触而产生的有害健康效应。

3.1.11

燃烧 combustion

氧化剂（可燃物）与还原剂（可燃燃料）之间发生的放热反应。

3.1.12

化合物 compound

由两种或多种原子按特定比例通过化学键合而成的物质。

3.1.13

临界点 critical point

一种临界条件，超过该条件时，分不出明显的液相和气相。

3.1.14

环状化合物 cyclic compound

一种由原子构成闭合环状结构特征的有机化合物。

3.1.15

50%效应浓度 effective concentration 50%

EC₅₀

在麻醉效应或其他效应试验中，使 50%的接触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得出。

3.1.16

高温可燃极限 elevated temperature flame limit

ETFL

在 60 °C、101.3 kPa 的指定试验条件下，能使火焰在制冷剂与空气的均质混合物中传播的最低制冷剂体积百分比浓度。

注 1：该试验条件见 6.1.3 的规定。

注 2：101.3 kPa 是海平面处的标准大气压。

3.1.17

当量比 equivalence ratio

混合物中的可燃物分数除以化学当量条件下的可燃物分数。

注 1：表示为（可燃组分）/（可燃组分）_{标准}。

注 2：当量比用于确定燃烧速度。

注 3：稀混合物的当量比小于 1，浓混合物的当量比大于 1。

3.1.18

火焰 flame

快速燃烧的气体集合体，通常由于发光现象而可见。

3.1.19

火焰传播 flame propagation

无需点火源的辅助，产生从点火点持续向上、向外蔓延火焰的燃烧过程。

注：应用火焰传播确定可燃下限和可燃性分类的试验方法见附录 A.1.8。应用火焰传播确定燃烧速度的试验方法见附录 B。

【条文说明：用规范性附录 B 替换了 ISO/PAS 24499 内容，因 GB/T 7778—2017 (ISO 817:2014) 中该内容就作为附录出现，后来才出了 ISO/PAS 24499。ISO/PAS 24499 与上一版附录中内容基本相同，而尚未转化，故本文件中仍保留附录内容，并根据 ISO/PAS 24499 内容进行修改，提高标准的适用性】

3.1.20

火焰传播速度 flame propagation velocity

火焰在空间中传播的速度。

3.1.21

可燃性 flammable

火焰在混合物中能够自行传播一定距离的特性。

3.1.22

分馏 fractionation

通过优先蒸发易挥发成分或凝结不易挥发成分而实现的混合制冷剂成分的变化。

3.1.23

燃烧热 heat of combustion

HOC

物质与氧气发生特定的放热反应而产生的热量。

注 1：燃烧热按 6.1.3.7 的规定进行测定。

注 2：本文件的燃烧热用单位质量下放热反应的能量值的正值表示，单位为千焦每千克 (kJ/kg)。

注 3：2L 类、2 类和 3 类制冷剂的燃烧热在网站 <https://standards.iso.org/iso/817/ma/en> 上的表 E.2 和表 E.3

中列出。

【条文说明：GB/T 7778—2017（ISO 817:2014）中的表 5~7、表 E.1~E.6 均移至网站 <https://standards.iso.org/iso/817/ma/en>，对应表 C.1~C.3、表 E.1~E.6。该网站为公开性网站，可下载对应表格并参考使用】

3.1.24

热表面点火温度 hot surface ignition temperature
HSIT

在正常大气条件下，物质撞击热表面时点燃的最低温度。

【条文说明：ISO 817:2024 新增该术语和定义；删除了“注：参考 ASTM D8211”，国外标准涉及版权问题，且注中删除引用不影响技术变动，属于编辑性改动。】

3.1.25

对生命或健康立即构成危险 immediately dangerous to life or health
IDLH

含任何有毒、腐蚀性或窒息性物质，对生命构成直接威胁、导致不可逆或延迟性的有害健康效应或妨碍个人逃离危险环境的能力的大气浓度。

注：IDLH 值被美国国家职业安全卫生研究所（NIOSH）用作呼吸防护设备的选择指标。

3.1.26

同分异构体 isomer

化学成分相同但分子结构不同的两种或多种化合物。

3.1.27

50%致死浓度 lethal concentration 50%
LC₅₀

对 50%的接触人群致死的大气浓度。

3.1.28

50%致死剂量 lethal dose 50%
LD₅₀

对 50%的接触人群致死的口服或皮肤接触剂量。

【条文说明：ISO 817:2024 新增该术语和定义】

3.1.29

可燃下限 lower flammability limit
LFL

在 23.0 °C 和 101.3 kPa 的指定试验条件下，能使火焰在制冷剂及空气的均质混合物中传播的最低制冷剂浓度。

注 1：该试验条件见 6.1.3 的规定。

注 2：LFL 用制冷剂的体积百分比表示。

3.1.30

观察到有害效应最低水平 lowest observed adverse effect level
LOAEL

对一个或多个受试动物产生任何可观察到的有害效应的制冷剂最低浓度。

3.1.31

未观察到有害效应水平 no observed adverse effect level
NOAEL

对任何受试动物不产生任何可观察到的有害效应的制冷剂最高浓度。

3.1.32

名义成分 nominal composition / nominal formulation

混合制冷剂说明中标示的设计成分，不考虑成分浓度允差。

注1：混合制冷剂的成分在表 C.2 和表 C.3 中列出。

注2：当容器中按名义成分填充的液体量达到或超过 80%时，该液体的成分视为名义成分。

3.1.33

职业接触限值 occupational exposure limit

OEL

适用于正常 8 小时工作日和 40 小时工作周，几乎所有的工人都能反复接触而无有害效应的时间加权平均浓度。

注：OEL 由独立机构确定，该机构满足以下条件：（1）由健康科学专家组成；（2）在制定制冷剂化合物的职业接触限值方面经验丰富；（3）以公开可获取的方式正式发布所推导出的 OEL。

3.1.34

烯烃 olefin

含至少一个碳-碳双键的不饱和化合物。

3.1.35

缺氧极限 oxygen deprivation limit

ODL

能导致正常呼吸所需氧气不足的的制冷剂或其他气体浓度。

3.1.36

淬熄 quenching

当火焰接近表面时，因热传导损失、活性化学物质吸收及表面粘性效应所致的火焰熄灭效应。

3.1.37

制冷剂 refrigerant

制冷系统中用于传递热量的流体。

注：制冷剂在低温低压下吸收热量，并在高温高压下释放热量，该过程通常伴随流体的相变。

3.1.38

相对分子质量 relative molar mass

相对分子质量数值上相当于以克每摩尔表示的分子质量，但它是无量纲的。

3.1.39

饱和有机化合物 saturated organic compound

碳原子之间仅存在单键的含碳化合物。

3.1.40

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

C_{st}

在恰好含有完全氧化所有存在化合物所需的必要空气量（21%体积 O_2 /79%体积 N_2 ）的燃料与空气混合物中，燃料的浓度。

3.1.41

短时间接触阈限值 threshold limit value-short term exposure limit

TLV-STEL

工作日期间任何时刻均不得超过 15 分钟的时间加权平均接触限值。

【条文说明：ISO 817:2024 新增该术语和定义】

3.1.42

时间加权平均阈限值 threshold limit value-time weighted average
TLV-TWA

正常 8 小时工作日和 40 小时工作周的时间加权平均浓度，几乎全部工人在此浓度下日日反复接触都不会产生有害效应。

3.1.43

不饱和有机化合物 unsaturated organic compound
碳原子之间至少存在一个双键或三键的含碳化合物。

3.1.44

工作场所环境接触限值 workplace environmental exposure limit
WEEL

由毒理学卓越风险评估中心（TERA）设定的职业接触限值。

3.1.45

最不利成分 worst-case formulation
WCF

因应用名义成分允差而导致配方毒性最强或可燃性最强的成分。

3.1.46

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

在最不利成分分馏过程中产生的导致配方毒性最强或可燃性最强的成分。

3.1.47

非共沸混合制冷剂 zeotrope

由两种或多种制冷剂组成的，其平衡气相和液相成分在低于临界压力下的任何压力下都不同的混合制冷剂。

3.2 缩略语

表 1 所示的缩略语适用于本文件。

表 1 缩略语对照表

缩略语	英文名称	中文名称
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists	美国政府工业卫生学家会议
AIT	auto-ignition temperature	自燃温度
ALC	approximate lethal concentration	接近致死浓度
ATEL	acute-toxicity exposure limit	急性毒性接触限值
CNS	central nervous system effect	中枢神经系统效应
C_{st}	stoichiometric concentration for combustion	燃烧所需化学当量浓度
EC ₅₀	effective concentration 50 %	50%效应浓度
ETFL	elevated temperature flame limit	高温可燃极限
HOC	heat of combustion	燃烧热
HSIT	hot surface ignition temperature	热表面点火温度

IDLH	immediately dangerous to life or health	对生命或健康立即构成危险
LC ₅₀	lethal concentration 50 %	50%致死浓度
LD ₅₀	lethal dose 50%	50%致死剂量
LFL	lower flammability limit	可燃下限
LOAEL	lowest observed adverse effect level	观察到有害效应最低水平
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health (United States)	美国国家职业安全卫生研究所
NOAEL	no observed adverse effect level	未观察到有害效应水平
ODL	oxygen deprivation limit	缺氧极限
PEL	permissible exposure limit	允许接触极限
ppm	parts per million	百万分之几
TCF	toxic concentration factor	毒性浓度系数
TLV-STEL	threshold limit value short-term exposure limit	短时间接触限值
TLV-TWA	threshold limit value-time weighted average	时间加权平均限值
WCF	worst-case formulation	最不利成分
WCFF	worst-case fractionated formulation	最不利分馏成分
WEEL	workplace environmental exposure limit	工作场所环境接触限值

【条文说明：将缩略语列项列项调整为表格，便于阅读】

3.3 符号

表 2 所示的符号适用于本文件。

表 2 符号对照表

符号	英文名称	中文名称
a_{blend}	mortality indicator for a refrigerant blend	混合制冷剂的死亡率指标值
a_n	mortality indicator for component n in a refrigerant blend	混合制冷剂中成分 n 的死亡率指示值
a_f	cross-sectional area of the flame base	火焰底部的横截面积
A_f	flame surface area	火焰表面积
b_n	cardiac sensitization indicator for component n in a refrigerant blend	混合制冷剂中成分 n 的心脏敏感指标值
b_{blend}	cardiac sensitization indicator of a refrigerant blend	混合制冷剂的心脏敏感指标值
c_n	anaesthetic effect indicator for component n in a refrigerant blend	混合制冷剂中成分 n 的麻醉效应指标值
c_{blend}	anaesthetic effect indicator of a refrigerant blend	混合制冷剂的麻醉效应指标值
C_{blend}	toxic concentration factor of a refrigerant blend	混合制冷剂的毒性浓度系数
C_n	toxic concentration factor for component n	混合制冷剂中成分 n 的毒性浓度系数
C_{st}	stoichiometric concentration for combustion	燃烧所需化学当量浓度
S_s	flame propagation speed, expressed in cm/s	火焰传播速度，以单位 cm/s 表示
S_u	burning velocity, expressed in cm/s	燃烧速度，以单位 cm/s 表示
x_n	mole fraction of component n of a refrigerant blend	混合制冷剂中成分 n 的摩尔分数
Φ_{max}	equivalence ratio at the maximum burning velocity	最大燃烧速度下的当量比

【条文说明：将符号语列项列项调整为表格，便于阅读】

4 制冷剂编号方法

4.1 制冷剂表格

每种制冷剂均应分配一个识别编号。分配的编号及安全分类见网站 <https://standards.iso.org/iso/817/ma/en> 中的表 C.1、C.2 和 C.3，该网站中表 E.4、E.5 和 E.6 为因数据不足而无法进行安全分类或确定制冷剂浓度限值的制冷剂提供了编号。

【条文说明：GB/T 7778—2017 (ISO 817:2014) 中的表 5~7、表 E.1~E.6 均移至网站 <https://standards.iso.org/iso/817/ma/en>，对应表 C.1~C.3、表 E.1~E.6。该网站为公开性网站，可下载对应表格并参考使用；将“注”中提到的制冷剂分配编号及安全分类表格所在的 ISO 817 网站移到正文中，便于阅读，与本文件附录编号区分开】

4.2 识别编号

4.2.1 通则

甲烷、乙烷、乙烯、丙烷、丙烯、丁烷、丁烯、环丁烯和环丁烷系列的烃类、卤代烃和醚类所分配的识别编号，使得化合物化学成分能通过制冷剂编号清晰的推导出来，反之亦然，且不存在歧义。同样地，甲烷、乙烷、乙烯及大部分丙烷和丙烯系列化合物的分子结构能仅通过识别编号推导出来。

4.2.2 自右向左第一位数字

自右向左的第一位数字是化合物中氟 (F) 原子数。

4.2.3 自右向左第二位数字

自右向左的第二位数字是化合物中氢 (H) 原子数加 1 的数。

4.2.4 自右向左第三位数字

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，则从编号中省略。

4.2.5 自右向左第四位数字

自右向左的第四位数字等于化合物中碳-碳双键的个数。当该数字为零时，则从编号中省略。

4.2.6 溴 (Br) 或碘 (I) 的存在

当存在溴 (Br) 或碘 (I) 时，同样适用上述规则，但要在根据 4.2.2~4.2.5 确定的编号后加上大写字母 B 或 I，用于表示溴或碘的存在。字母 B 或 I 后跟的数字则表示所含溴或碘原子的数量。

4.2.7 氯 (Cl) 原子数

化合物中氯 (Cl) 原子的数量是从碳 (C) 原子可连接的原子总数中减去氟 (F)、溴 (Br)、碘 (I) 和氢 (H) 原子数的总和后得到的。对于饱和有机化合物，连接的原子数为 $2n+2$ ，其中 n 表示碳原子数。对于含单个双键的化合物及饱和环状化合物，连接的原子数为 $2n$ 。

4.2.8 碳原子

应将编号 1 赋予含最多卤素原子的末端碳原子，随后按碳原子在直链中的出现顺序依次编号。在两个末端碳原子含相同数量（但种类不同）的卤素原子的情况下，编号 1 应赋予含溴原子最多、其次含氯原子最多、再其次含氟原子最多、最后含碘原子最多的末端碳原子。若化合物为烯烃（即不饱和有机化合物），则最靠近双键的末端碳原子编号为 1，因分子主链中的双键优先于分子上的取代基。

【条文说明：GB/T 7778—2017 中删去了最后一句化合物为烯烃时碳原子的识别编号表示方法，而 ISO 817:2014 及 ISO 817:2024 均有这句话，故加上这句话】

4.2.9 环状化合物

对于环状化合物，在制冷剂识别编号前使用字母 C（例如：R-C318、PFC-C318）。

4.2.10 乙烷和乙烯系列中的同分异构体

对于乙烷和乙烯系列中的同分异构体，每种同分异构体应采用相同的编号，其中最对称的同分异构体仅以数字表示。随着同分异构体对称性逐渐降低，依次添加小写字母（如 a、b 或 c）。对称性由先分别计算每个碳原子所连接的卤素原子与氢原子的原子质量总和，再相互减去确定。两者差值的绝对值越小，该同分异构体越对称。

4.2.11 丙烷系列中的同分异构体

对于丙烷系列中的同分异构体，每种同分异构体均应采用相同的编号，并通过附加两个小写字母加以区分。第一个附加字母表示中间碳原子（C2）上的取代基，如表 3 所示。

表 3 丙烷同分异构体编号中第一个附加字母

同分异构体	附加字母
-CCl ₂ -	a
-CClF-	b
-CF ₂ -	c
-CHCl-	d
-CHF-	e
-CH ₂ -	f

对于环丙烷的卤代衍生物，应将所连接原子质量总和最大的碳原子视为中心碳原子；对此类化合物省略第一个附加字母。第二个附加字母表示末端碳原子（C1和C3）上取代基的相对对称性。对称性通过先计算C1和C3碳原子分别所连接卤素原子和氢原子的质量总和，两者相减后，绝对值越小表明同分异构体越对称。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为a（乙烷的同分异构体不附加字母），不对称程度递增的同分异构体依次赋予后续字母。当不存在同分异构体时，则省略附加字母，仅用数字就明确表示分子结构；例如CF₃CF₂CF₃标记为R-218而非R218ca。该体系示例详见附录C。

4.2.12 丙烯系列中的同分异构体

对于丙烯系列中的同分异构体，每种同分异构体均采用相同的编号，并通过附加两个小写字母进行区分。第一个附加字母表示连接在中心碳原子上的原子，应分别用x、y或z表示Cl、F和H。第二个字母表示末端亚甲基碳上的取代基，如表4所示。

表 4 丙烯同分异构体编号中第二个附加字母

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

4.2.13 延伸至四碳原子化合物

化合物按上述规则编号，编号数字后跟一组表示结构的字母。自右向左第四位数字表示不饱和键的数量。当某位数字超过 9 时，用连字符分隔。

线性化合物的编号从一端开始，环状化合物从侧链开始编号，若无侧链，则按 4.2.11 的规定从环上碳原子开始编号。连接有两个氢原子或卤素原子的碳原子按 4.2.11 的规定编字母。连接有三个氢原子或卤素原子取代基的碳原子按表 5 所示编字母。

表 5 丁烷同分异构体编号附加字母

同分异构体	附加字母
-CCl ₃	j
-CCl ₂ F	k
-CClF ₂	l
-CF ₃	m
-CHCl ₂	n
-CH ₂ Cl	o
-CHF ₂	p
-CH ₂ F	q
-CHClF	r
-CH ₃	s

在与由数字编号给出的经验结构结合时，仅需使用足够数量的字母来完整定义该化合物。需明确的是，在剩余结构中不存在分支。自起始点起，侧链基团在主链取代基（如有）之前编字母。当存在两个或多个可适用的字母序列时，采用字母数量最少且字母顺序最靠前的序列。

4.2.14 立体异构体的识别

当存在立体异构体时，反式异构体（Entgegen）以后缀(E)标识，而顺式异构体（Zusammen）则以后缀(Z)标识。

注：该系统的一个示例见表 C.3。

4.3 醚基制冷剂

4.3.1 通则

醚基制冷剂应在数字编号之前标注前缀“E”（代表“醚类”）。除以下特殊情况外，醚基制冷剂的编号规则按 4.2 的规定。

4.3.2 二碳二甲醚

二碳二甲醚（例如 R-E125, CHF₂-O-CF₃）除 4.2.10 规定的后缀外无需其他后缀，因其前缀“E”已提供明确的描述。

4.3.3 直链三碳醚

4.3.3.1 通则

对于直链三碳醚，应将数字 1 赋予含卤素原子数最多的末端碳原子，随后按碳原子在直链中出现的顺序依次编号。在两个末端碳原子含相同数量（但不同种）卤素原子的情况下，应将数字 1 依次赋予含溴原子数最多、其次含氯原子最多、再其次含氟原子最多、最后含碘原子最多的末端碳原

子。对于含超过 3 个碳原子的醚类化合物，应按 4.5 的规定将其归入 600 系列（其他有机化合物）中进行编号。

4.3.3.2 标识醚氧所连接的第一个碳原子

应在后缀字母后附加一个整数，该整数标识醚氧所连接的第一个碳原子（例如 R-E236ea2, CHF₂-O-CHF-CF₃）。

4.3.3.3 对称烃结构

对于其他对称的烃类结构，醚氧原子应归属于在分子式中居首位的碳原子。

4.3.3.4 仅存在单一同分异构体

当醚结构的烃基部分仅存在单一同分异构体时，应省略 4.2.10、4.2.11 和 4.2.13 中规定的后缀字母，例如 CF₃-O-CF₂-CF₃，正确编号应为 R-E218。

4.3.3.5 含两个氧原子的二醚的结构

含有两个氧原子的二醚的结构应用两个后缀整数来表示醚氧原子的位置。

4.3.4 环状醚

对于同时带有“C”和“E”前缀的环状醚，应将“C”置于“E”之前，即“CE”，以表示“环状醚”。对于含三个碳原子和一个醚氧原子的四元环状醚，其烃基碳原子的基本数字编号应按 4.2 规定的现行烃类命名标准构建。

4.4 混合制冷剂

4.4.1 通则

混合制冷剂在 400、500 或 4000 系列号中进行编号。

【条文说明：ISO 817:2024 新增了 4000 系列号】

4.4.2 非共沸混合制冷剂

非共沸混合制冷剂应在 400 或 4000 系列中分配识别编号。为区分成分相同但比例不同的不同非共沸混合制冷剂，数字编号后添加大写字母（A、B、C 等）。

【条文说明：ISO 817:2024 新增了 4000 系列号】

注：R-4000 系列制冷剂从 R-4101A 开始编号，避免与其他常见 400 系列的制冷剂混淆。

4.4.3 共沸混合制冷剂

共沸混合制冷剂应在 500 系列中分配识别编号。为区分成分相同但比例不同的共沸混合制冷剂，编号后添加大写字母（A、B、C 等）。

4.4.4 混合制冷剂允差

混合制冷剂应规定各单一制冷剂成分浓度的允差。允差应精确至最接近 0.1% 的质量分数。超过或低于名义成分的最大允差不应超过 2.0% 的质量分数。

超过或低于名义成分的最小允差应满足以下要求：

- 成分 x 的浓度为 $0.6\% \leq x \leq 16.6\%$ 或 $83.4\% \leq x \leq 99.4\%$ 时，最小允差为 0.1% 的质量分数；
- 成分 x 浓度为 $16.7\% \leq x \leq 33.3\%$ 或 $66.7\% \leq x \leq 83.3\%$ 时，最小允差为 0.2% 的质量分数；
- 成分 x 浓度为 $33.4\% \leq x \leq 66.6\%$ 时，最小允差为 0.3% 的质量分数。

最大与最小允差之间的差值不应超过名义成分浓度的二分之一。任何成分含量均不应低于名义值的 0.6% 质量分数。

注：最小成分允差示例参见附录 D。

4.4.5 成分特殊性

为确保成分特殊性，含有相同成分的混合制冷剂应至少有一个包括允差的成分范围不相重叠，且以最小 0.1% 的质量分数区分开来。

4.5 其它有机化合物

其它有机化合物应按网站 <https://standards.iso.org/iso/817/ma/en> 中表 E.4 所示在 600 系列里进行十个一组分族，在各族内按命名系列顺序分配编号。对于含 4~8 个碳原子的饱和烃，其数字编号应为 600 加上碳原子数减去 4。

示例 1：

丁烷为 R-600，戊烷为 R-601，己烷为 R-602，庚烷为 R-603，辛烷为 R-604。

直链或“正构”烃不加后缀。对于含 4~8 个碳原子的烃类同分异构体，如表 6 所示，根据连接至最长碳链的族，在同分异构体名称后附加小写字母 a、b、c 等。

示例 2：

R-601 被分配给 2-甲基丁烷（异戊烷），R-601b 被分配给 2,2-二甲基丙烷（新戊烷）。对于某一同分异构体浓度 ≥ 4% 的混合同分异构体，应在 400、500 或 4000 系列中分配一个数字编号。

【条文说明：ISO 817:2024 新增了 4000 系列号】

表 6 其它有机化合物的后缀

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

4.6.1 通则

无机化合物应在 700 系列和 7000 系列中分配标识编号。

4.6.2 相对分子质量小于 100 的化合物

对于相对分子质量小于 100 的化合物，标识数字编号应为 700 与相对分子质量之和，并四舍五入至最接近的整数。

4.6.3 相对分子质量等于或大于 100 的化合物

对于相对分子质量等于或大于 100 的化合物，标识数字编号应为 7000 与相对分子质量之和，并四舍五入至最接近的整数。

4.6.4 两种或多种具有相同分子质量的无机制冷剂

当两种或多种无机制冷剂具有相同的分子质量时，应按命名系列顺序添加大写字母（例如 A、B、C 等）加以区分，具有相同分子质量的第二个标识的无机制冷剂附加字母从 A 开始。

【条文说明：GB/T 7778-2017 删除了最后一句话：“具有相同分子质量的第二个标识的无机制冷剂附加字母从 A 开始”，而 ISO 817:2014 及 ISO 817:2024 均有这句话，对于两种或多种无机制冷剂具有相同的分子质量时的命名有帮助，即第一个标识的无机制冷剂不需要附加字母，第二个标识具有相同分子质量的无机制冷剂就要附加字母 A 了，避免混淆，故保留加上这句话】

5 编号前缀

5.1 通用前缀

在第 4 章规定的制冷剂标识编号前面应加字母 R 或者单词 Refrigerant(s)，除非使用 5.2 规定的成分编号前缀。在字母 R 或词语 Refrigerant 与标识编号之间，不使用空格、使用空格或连字符都可以。例如：R134a、Refrigerant 134a、R 134a 及 R-134a。

5.2 成分标识前缀

对于氟碳化合物和烃类化合物，按第 4 章确定的标识编号前面可添加字母序列，用于标识构成特定化合物的元素。成分标识前缀应由化合物所含元素的首字母组成。若存在氢元素，则首字母为“H”，最后一个字母应为表示碳原子的“C”。中间字母应按以下顺序代表卤素元素：“I”代表碘，“B”代表溴，“C”代表氯，“F”代表氟。

注 1：含氢的卤代化物在抵达平流层前具有更强的降解潜力。

醚类化合物的成分标识前缀应用“E”替换“C”（碳），因此 HFE、HCFE 和 CFE 分别指代氢氟醚、氢氯氟醚和氯氟醚。当使用成分标识前缀时，标识编号中的“E”应省略。卤代烯烃的成分标识前缀应为：

- CFC、HCFC、HCC 或 HFC 分别指代氯氟烃、氢氯氟烃、氢氯烃或氢氟烃；
- 用氧原子“O”替换碳原子“C”，即 CFO、HCFO、HCO 或 HFO 分别指代氯氟烯烃、氢氯氟烯烃、氢氯烯烃或氢氟烯烃。

注 2：卤代烯烃是卤代有机化合物（或含碳化合物）的子集，其大气寿命显著短于同类饱和化合物。

此外，当制冷剂化合物完全氟化时，使用 PFC 标记。具体示例如表 7 所示。

表 7 成分标识前缀的示例

制冷剂	成分	前缀和编号
氟氯碳12	CCl ₂ F ₂	CFC-12
氢氯氟碳22	CHClF ₂	HCFC-22

氢氟烃134a	CH_2FCF_3	HFC-134a
全氟化碳116	CF_3CF_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	CHF_2OCF_3	HFE-125
氢氟烯烃1234yf	$\text{CF}_3\text{CF}=\text{CH}_2$	HFO-1234yf

具有数字编号的混合制冷剂可通过链接各成分的相应成分标识前缀来标识（例如 R-500[CFC-12/HFC-152a]）。混合制冷剂成分应按正常沸点递增顺序列出。未分配数字编号的混合制冷剂可通过使用各成分对应的成分标识前缀进行标识，例如：HCFC-22/HFC-152a/CFC-114 [36, 0/24, 0/40, 0]，其中[36, 0/24, 0/40, 0]代表各成分的质量百分比，以百分比形式表示。

【条文说明：将示例的括号去掉，由资料性内容变为正文内容，因为下一句话需要用该示例的各成分标识进行说明】

6 安全性分类

6.1 通则

6.1.1 安全性分类——组成

安全性分类应由两个字母数字字符（例如 A2 或 B1）及第三个表示低燃烧速度的字符“L”组成。大写字母表示按 6.1.2 确定的毒性；阿拉伯数字表示按 6.1.3 确定的可燃性。混合制冷剂应根据最不利分馏成分（WCFF）及最不利成分（WCF）进行可燃性分类，其中 WCFF 更为关键但发生概率较低。混合制冷剂的毒性分类基于名义成分确定。

【条文说明：这里混合制冷剂可燃性分类依据的规定与上一版不同，未表明混合制冷剂需要分配一个双安全组并由斜杠（/）分隔了】

6.1.2 毒性分类

6.1.2.1 通则

应按 6.1.2.2 和 6.1.2.3 的规定将制冷剂划分为 A 类或 B 类：

6.1.2.2 A 类

以下情况制冷剂被归为 A 类毒性：

- 当 6.1.2.4 不适用时，按 8.1.3 确定的制冷剂或混合制冷剂的致死毒性浓度系数（TCF） $\geq 2\ 500\ \text{ppm}$ ；
- 当 6.1.2.4 不适用，且制冷剂或混合制冷剂满足以下条件时：（1）按 8.1.4 确定的心脏敏感毒性浓度系数（TCF） $\geq 10000\ \text{ppm}$ ；（2）按 8.1.5 确定的麻醉性或中枢神经系统毒性浓度系数（TCF） $\geq 10000\ \text{ppm}$ ；（3）按 8.1.6 确定的损害逃生及永久性损伤毒性浓度系数（TCF） $\geq 10000\ \text{ppm}$ ；
- 职业接触限值 $\geq 150\ \text{ppm}$ 。

6.1.2.3 B 类

当制冷剂不满足 6.1.2.2 规定的 A 类要求时，应将其归为 B 类毒性。

6.1.2.4 例外情况

碳原子数少于 6 的非芳香族易燃烃类制冷剂豁免急性毒性标准。

注：非芳香族易燃烃类已知具有低急性毒性。此类流体被豁免的依据在于：心脏敏感、麻醉性或其他损害逃生及永久性损伤毒性浓度系数均高于实验室安全操作（涉及可燃性危害）所需值。若无法满足 6.1.2.2 规定的急性毒性标准，则安全性分类基于职业接触限值。

【条文说明：毒性分类的分类条件和指标与上一版不同，还额外规定了例外情况】

6.1.3 可燃性分类

6.1.3.1 通则

制冷剂应基于以下三项试验结果归入四个类别（1、2L、2 或 3）之一：附录 A 中按 GB/T 21844 的规定进行的可燃下限试验、下文所述方法测得的最大燃烧速度以及按 6.1.3.7 的规定确定的燃烧热。可燃下限试验与燃烧速度试验均应在后文指定的温度和压力条件下进行。

燃烧速度测量应按附录 B 的规定或其他可靠方法进行。所选方法应符合确定燃烧速度的既定方法，通过证明 R-32 的燃烧速度为 (6.7 ± 0.7) cm/s，R-152a 的燃烧速度为 (23.0 ± 2.3) cm/s，或提供其他支持该方法准确性的证据。测量应从 LFL 开始，至少持续至化学当量浓度的 125%。测量增量不应超过 10% 的化学当量浓度，且每项测量应重复至少两次。最大燃烧速度取自测量点拟合的最佳曲线所得的最大值。气体混合物应通过在试验舱内产生精度达到 $\pm 0.1\%$ 的空气/制冷剂混合物的任何方法制备。含 $(21.0 \pm 0.1)\% \text{O}_2$ 的干空气（每克干空气含水蒸气少于 0.00015 g）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。

注 2：混合的方法包括：a) 利用分压制取的加压混合物；b) 定流量法，如体积流量计和质量流量控制器，通过固定空气与制冷剂的比例实现混合。

【条文说明：GB/T 21844 等同采用 ASTM E681，用规范性引用的 GB/T 21844 替换了 ASTM E681，以适应我国的技术条件，保持与我国标准体系的协调一致；用规范性附录 B 替换了 ISO/PAS 24499 内容，因 GB/T 7778—2017 (ISO 817:2014) 中该内容就作为附录出现，后来才出了 ISO/PAS 24499。ISO/PAS 24499 与上一版附录中内容基本相同，而尚未转化，故本文件中仍保留附录内容，并根据 ISO/PAS 24499 内容进行修改，提高标准的适用性；GB/T 7778-2017 删除了“测量增量不应超过 10% 的化学当量浓度”这句话，而 ISO 817:2014 及 ISO 817:2024 均有这句话，这句话对试验测量增量进行了约束，有必要保留加上】

6.1.3.2 第 1 类（无火焰传播）

在 101 kPa 和 60 °C 大气条件下试验时，未表现火焰传播的单一化合物制冷剂或混合制冷剂（WCFF）。

6.1.3.3 第 2L 类（弱可燃）

满足以下所有条件的单一化合物制冷剂或混合制冷剂（WCFF）：

- 在 101 kPa、60 °C 的试验条件下，表现有火焰传播；
- $\text{LFL} > 3.5\%$ 体积百分比（若制冷剂在 101.3 kPa 和 23 °C 的试验条件下无 LFL，见 6.1.3.6）；
- 燃烧热 < 19000 kJ/kg（见 6.1.3.7）；
- 在 101.3 kPa 和 23 °C 的试验条件下，最大燃烧速度 ≤ 10 cm/s。

6.1.3.4 第 2 类（可燃）

满足以下所有条件的单一化合物制冷剂或混合制冷剂（WCFF）：

- 在 101 kPa、60 °C 的试验条件下，表现有火焰传播；
- $\text{LFL} > 3.5\%$ 体积百分比（若制冷剂在 101.3 kPa 和 23 °C 的试验条件下无 LFL，见 6.1.3.6）；
- 燃烧热 < 19000 kJ/kg（见 6.1.3.7）。

6.1.3.5 第3类（可燃易爆）

满足以下条件的单一化合物制冷剂或混合制冷剂（WCFF）：

- a) 在 101 kPa、60 °C 的试验条件下，表现有火焰传播；
- b) $LFL \leq 3.5\%$ 体积百分比（若制冷剂在 101.3 kPa 和 23 °C 的试验条件下无 LFL，见 6.1.3.6）；
或其燃烧热 ≥ 19000 kJ/kg。

【条文说明：在 ISO 817:2024 中，这4类可燃性分类均只提及混合制冷剂的 WCFF，未提到 WCF，与上一版不同】

6.1.3.6 LFL 或 ETFL

对于 2L 类、2 类或 3 类制冷剂或混合制冷剂，应确定其 LFL。对于在 101.3 kPa 和 23 °C 的试验条件下，未表现火焰传播（即无 LFL）的 2L 类、2 类或 3 类制冷剂或混合制冷剂，应采用高温可燃极限（ETFL）代替 LFL 来确定其可燃性分类。

6.1.3.7 燃烧热

6.1.3.7.1 通则

应在 101.3 kPa 和 25 °C 的试验条件下，按以下方法确定燃烧热。

6.1.3.7.2 单成分制冷剂

对于单成分制冷剂，应计算其燃烧热。生成热数值在各类化学和物理性能手册及数据库中均有记载。燃烧热（正值表示放热）等于反应物（制冷剂与氧气）生成的焓值减去反应产物生成的焓值。计算值应基于 1 摩尔制冷剂与充足的氧气进行化学当量反应的完全燃烧。反应物与燃烧产物应假设处于气态。若分子中有充足的氢，燃烧产物应为 HF、CO₂（若制冷剂分子结构含氮或硫，则燃烧产物有 N₂、SO₂）及 HCl，多余的氢应视为转化为 H₂O。若氢量不足以同时生成 HF 和 HCl 但足以生成 HF 时，则优先生成 HF 而非 HCl。若氢量不足以生成 HF 时，剩余的氟优先生成 COF₂ 而非 CO₂，剩余的氯则生成 Cl₂。

6.1.3.7.3 混合制冷剂

对于混合制冷剂，其名义成分的燃烧热应基于所有成分制冷剂的平衡化学当量公式计算，其中制冷剂总摩尔数应等于 1。

注：概念上理解为将制冷剂分子分解为构成原子，并构建一个假想分子，其碳、氢、氟等元素总量的摩尔比值与原始混合制冷剂相同。然后该假想分子将作为按 6.1.3.7.2 规定的纯制冷剂看待。该假想分子的生成热是原始混合制冷剂各分子生成热值的摩尔平均值。

6.2 安全组分类系统矩阵

按 6.1.2 和 6.1.3 规定的毒性和可燃性分类将制冷剂分为了 8 个独立的安全分类（A1、A2L、A2、A3、B1、B2L、B2 和 B3）。这些分类见表 8 所示的矩阵。

表 8 基于可燃性和毒性的制冷剂安全分类

可燃性	安全分类	
	毒性	
	弱毒性	强毒性
可燃易爆	A3	B3
可燃	A2	B2
弱可燃	A2L	B2L

无火焰传播	A1	B1
-------	----	----

【条文说明：GB/T 7778-2017 中是用图表示安全组分类系统矩阵，而在 ISO 817:2014 及 ISO 817:2024 中均是用表格表示，表达形式不同，内容一样，本版本用表格表示】

7 制冷剂分类与性能数据

制冷剂分类及性能数据详见网站 <https://standards.iso.org/iso/817/ma/en/> 中的表 C.1、C.2 和 C.3。

8 制冷剂浓度限值

8.1 总则

8.1.1 通则

制冷剂浓度限值的确定应假设其完全汽化且均匀混合；在释放空间内不因溶解、反应或分解而被去除。考虑到试验数据中的临时局部浓度或不确定性，安全系数纳入考量。

【条文说明：与 GB/T 7778-2017 相比，删除了 RCL 值的要求】

8.1.2 急性毒性接触极限（ATEL）

ATEL 应取 8.1.3~8.1.6 中的最低毒性浓度系数（TCF）。对于混合制冷剂，若有混合制冷剂毒性数据，则应用于 8.1.2~8.1.6 中的各项参数值，若无混合制冷剂的毒性数据，则应按公式（1）计算：

$$\frac{1}{C_{blend}} = \frac{x_1}{C_1} + \frac{x_2}{C_2} + \dots + \frac{x_n}{C_n} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

x_n ——混合制冷剂成分 n 的摩尔分数；

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

注：附录 E 给出了一个计算 ATEL 的示例，附录 F 给出了与制冷剂浓度限值计算相关的参数值列表。

【条文说明：与 GB/T 7778-2017 相比，增加了“若有混合制冷剂毒性数据，则应用于 8.1.2~8.1.6 中的各项参数值”，若无相关数据，则用公式计算】

8.1.3 死亡率

致死的制冷剂浓度限值应根据以下优先顺序选择值：

第一优先级：大鼠的 4 小时 LC_{50} 的 28.3%。

第二优先级：如果没有导致超过一半的接触动物死亡，则等于大鼠的 4 小时 ALC 的 28.3%。

注：28.3% 基于 30 分钟内安全系数为 10 的 LC_{50} 的重新计算值。30 分钟时间代表从制冷剂产生泄漏的区域逃离所需的时间，即： $0.283 = (4/0.5)^{1/2} / 10$ 。

第三优先级：若上述两项均未测出，则为 0 ppm。

对于无法获得 4 小时数据的制冷剂，应使用公式（2）和公式（3）来修正 15 分钟至 8 小时试验测得的 LC_{50} 或 ALC：

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

$$ALC_{t_1} = ALC_{t_2} \times (t_2/t_1)^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

t_1 ——4 小时；

t_2 ——以小时（h）为单位的试验时间，适用于 0.25 至 8 小时。

8.1.4 心脏敏感

如果 8.1.3 中的 4 小时 LC₅₀ 或 4 小时 ALC 小于 10000 体积 ppm，或经毒理学评估发现该制冷剂不会引起心脏敏感，则 ATEL 测定中不需要进行心脏敏感研究。

【条文说明：此处 GB/T 7778-2017、ISO 817:2014 及 ISO 817:2024 中提到的 4 小时 LC₅₀ 或 4 小时 ALC 均指向心脏敏感这一条款号（本文件中为 8.1.4），但根据上下文，只有 8.1.3 提到了 LC₅₀ 和 ALC 的指标值和计算方法，8.1.4 中提到的是 NOAE、LOAEL，与 LC₅₀ 和 ALC 无直接关系，应是笔误，故将提到的 4 小时 LC₅₀ 或 4 小时 ALC 指向更正为死亡率的条款号 8.1.3】

注 1：心脏敏感在一定程度上取决于试剂达到某种最低血液浓度。如果试剂毒性过强，在心律失常发生前便会出现其他毒性或致死性表现。

心脏敏感的制冷剂浓度限值应根据以下优先顺序选择值：

第一优先级：未麻醉犬心脏敏感的 NOAEL 的 100%。若在心脏敏感试验中，其他效应导致研究在确定心脏敏感阈值前终止，则可将收集到至少半数受试动物数据的最高接触浓度作为心脏敏感终点的估计 NOAEL。可能出现这种情况的条件是观察到中枢神经系统效应的临床症状或明显的系统性毒性症状。在此类情况下，这些症状的 NOAEL 将低于导致心脏敏感研究终止的接触浓度。因此，应认为已满足心脏敏感评估的确定要求。该 NOAEL 值应结合所有其他相关研究结果，共同用于确定 ATEL。

注 2：采用此方法是因为其他效应（例如颤栗或麻木）的出现妨碍心脏敏感值的确定能力。

第二优先级：如果 LOAEL 在超过半数的接触动物中未引起敏感，则等于 80% 的 LOAEL。

第三优先级：如果未确定心脏敏感数据，则将 NOAEL 设为 1000 ppm。

【条文说明：ISO 817:2024 中第二优先级的指标值与上一版不同】

8.1.5 麻醉效应或中枢神经系统（CNS）效应

麻醉效应或中枢神经系统效应的制冷剂浓度限值应根据以下优先顺序选择值：

第一优先级：使小鼠或大鼠在旋转装置中丧失翻正能力的 10 分钟 EC₅₀ 的 50%。

第二优先级：使小鼠或大鼠在旋转装置中丧失翻正能力的 NOAEL 的 80%。

第三优先级：对超过半数接触动物未产生麻醉效应，但使大鼠在急性毒性研究中出现任何麻醉或 CNS 效应症状的 LOAEL 的 50%。

第四优先级：使大鼠在记录临床症状的急性、亚慢性或慢性毒性研究中出现麻醉或 CNS 效应症状的 NOAEL 的 80%。

8.1.6 其它损害逃生能力的症状和永久性损伤

该制冷剂浓度限值为人类接触 30 分钟时可能损害个体逃生能力或导致不可逆的有害健康效应的最低浓度的 80%。该数值的来源应予以记录。

8.1.7 缺氧极限(ODL)

对于海拔高度在 1000 m 及以下的区域，制冷剂在空气（含 18% 氧气）中的 ODL 应为 140000 体积 ppm。在海拔高度高于 1000 m 但低于或等于 1500 m 的区域，ODL 应为 112000 ppm；在海拔高度高于 1500m 的区域，ODL 应为 69100 ppm（空气中含 19.5% 的氧气）。

8.2 计算用数据

8.2.1 数据源

8.2.1.1 计算用数据

用于计算制冷剂浓度限值的数据应优先采用本文件表格中的信息（如有）。若本文件未提供相应数据，则应采用经同行评审的科学出版物、政府机构或专家组公布的安全评估报告，或科学与工程

研究中的数据。提交科学与工程研究以获取毒性数据的申请，应说明研究实施时对良好实验室规范（GLP）的符合程度。提交的材料应包含所用的试验与分析方法的描述，并概述评估人员的专业资质。

【条文说明：删除了ISO 817:2024 中申请计算用数据指向网站的信息，以适应我国的技术条件，提高标准的适用性】

8.2.1.2 备选毒性数据

未发表的研究数据、未经同行评审的研究数据、涉及除 8.1.2~8.1.5 所列种类以外的研究数据或涉及化学类似物的数据，可提交至主管机构进行审议。提交数据不视为保密信息。提交的材料应包含所用的试验与分析方法的描述、备选资源的数据评估、数据检索范围，并概述评估人员的专业资质。

【条文说明：用“主管机构”替换了ISO 817:2024 中的“ISO 817 维护机构”，与GB/T 7778-2017 一致；删除了申请数据指向网站的信息，以适应我国的技术条件，提高标准的适用性】

8.2.1.3 多个数据值

当存在多个已发表的数据值并提交给主管机关时，主管机构应判断出似乎最为准确和真实的值。主管机构应保留决策逻辑的记录。

例外情况：对于 8.1.4 和 8.1.5 中分别涉及的敏感和麻醉效应的 NOAEL，应采用不超过对于任何比例受试动物已发表 LOAEL 的最高发表 NOAEL。

【条文说明：用“主管机构”替换了ISO 817:2024 中的“ISO 817 维护机构”，与GB/T 7778-2017 一致，以适应我国的技术条件，提高标准的适用性】

8.2.1.4 备选可燃性数据

未发表的研究数据或未经同行评审的研究数据，应提交给主管机构进行审议。提交的材料应包含所用试验与分析方法的描述、备选来源数据的评估结果及数据检索范围。提交的材料应概述评估人员的专业资质。所采用数值应为按第 6 章规定的方法试验时，导致最低 LFL 或最高燃烧速度的数值。

8.2.2 一致的方法

由主管机构确定的、与获得 8.1.3~8.1.6 中数据采用的推导方式所一致的方法生成的数据，被允许用以确定 8.1 中的参数。

【条文说明：用“主管机构”替换了ISO 817:2024 中的“ISO 817 维护机构”，与GB/T 7778-2017 一致，以适应我国的技术条件，提高标准的适用性】

8.3 污染物和杂质

识别制造、运输和储存过程中产生的污染物和杂质，包括同分异构体和分解杂质，这些物质已知会提高制冷剂浓度限值精度范围内的可燃性或毒性。同时确定这些杂质的限值。

【条文说明：删除了ISO 817:2024 中关于AHRI 700 信息的“注”，与GB/T 7778-2017 相比无变化，以适应我国的技术条件，提高标准的适用性】

8.4 单位换算——体积质量和海拔高度修正

当将体积比（体积 ppm）转换为体积质量（g/m³）时，应使用公式（4）。当确定相关参数时，所使用的分子质量应与所使用的成分保持一致。

示例：

- 在名义成分下测定的 LFL 需要名义质量。
- 在 WCF 下测定的 LFL 需要 WCF 摩尔质量。

——在 WCFE 下测定的 LFL 需要 WCFE 摩尔质量。

对于混合制冷剂，摩尔质量按各成分摩尔质量的加权平均值计算。

公式 (4) 以 LFL 为例，但同样适用于 ODL 和 ATEL。

$$f_M = f_{ppm} \times a \times M \times 10^{-6} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

f_M ——以体积质量表示的 LFL，单位为克每立方米 (g/m³)；

f_{ppm} ——以体积比表示的 LFL，单位为体积百万分比浓度 (体积 ppm)；

a ——制冷剂的摩尔密度，单位为摩尔每立方米 (mol/m³)；

M ——制冷剂的相对摩尔质量，单位为克每摩尔 (g/mol)。

摩尔密度按公式 (5) 计算。

$$a = P/RT \dots\dots\dots (5)$$

式中：

T ——在标准计算中等于 298，单位为开尔文 (K)；

P ——压力，单位为帕斯卡 (Pa)；当海拔高度超过 1500 m 时，压力值应按下列公式进行海拔修正：

$P = 101325 \times 10^5 - 10001 \times h$ ，其中 h 为海拔高度，单位为米 (m)；

R ——8.314，单位为焦耳每摩尔开尔文 [J/(mol·K)]。

制冷剂分类与特性表格由附录 G 给出。

【条文说明：与 GB/T 7778-2017 相比，增加了“当确定相关参数时，所使用的分子质量应与所使用的成分保持一致”及示例，更改了单位换算公式，用 LFL 为例，不再以 RCL 为例了；增加了制冷剂分类与特性的附录 G 及引导语，将制冷剂分类与特性表格移至附录中并以公开性网站链接给出】

附录 A (规范性) 可燃性试验和分馏分析

A.1 可燃性试验

A.1.1 通则

可燃性试验应按 GB/T 21844 的规定进行。假设试验材料具有较大熄火距离且不易点燃，则试验容器尺寸应采用公称容积为 12L 的球形玻璃烧瓶，如图 A.1 所示。如果试验材料容易点燃，则参照 GB/T 21844 中的试验容器描述。点火源应为按 GB/T 21844 规定的在额定值为 15 kV、30 mA 交流电 (A/C) 下，变压器次级产生的火花，火花持续时间为 0.4 秒。电极应为间距 6.4 mm 的 1 mm、L 形钨丝电极，且延伸出电极夹持器平面外。以容器直径为基准，点火源应置于容器底部向上 1/3 高度处。试验用空气应含 $(21.0 \pm 0.1)\%$ 氧气。试验用空气的绝对湿度应为 (0.0088 ± 0.0005) 克水蒸气/克干空气 (该值相当于 23.0 °C、101.3 kPa 条件下 50% 的相对湿度)。图 A.1 所示的对角线弧代表用于确定 LFL 和 ETFL 的 90° 扇形。烧瓶内应安装搅拌器，确保点火前蒸气充分混合。如果在火花仍活跃时观察到火焰传播 (即火花对试验容器产生过载作用)，则应使用火花持续时间小于 0.4 s 但不低于 0.2 s 进行重复试验。

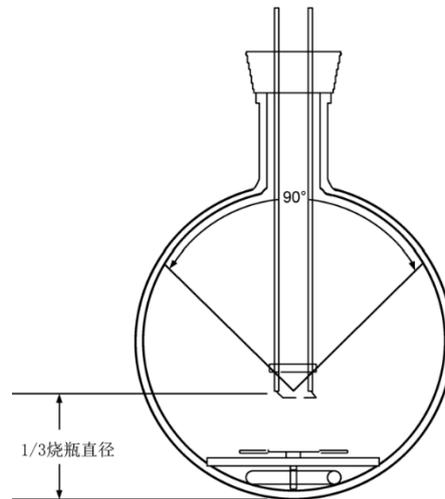


图 A.1 试验装置

【条文说明:GB/T 21844 等同采用 ASTM E681, 用规范性引用的 GB/T 21844 替换了 ASTM E681, 以适应我国的技术条件, 保持与我国标准体系的协调一致; 用图 A.1 替换了 ANSI/ASHRAE 34, 因仅附录 A 中涉及引用 ANSI/ASHRAE 34 中的图 B.1, 直接将该图纳入本文件中, 提高标准的适用性】

用于 LFL 试验的制冷剂起始浓度应低于燃烧化学当量浓度的一半。浓度递增幅度应约为 10% 的相对值, 例如 2%、2.2% 和 2.4%。如果试验结果出现火焰传播, 则后续试验浓度应设定在火焰传播与无火焰传播试验的中点值。试验应持续进行至浓度梯级小于 0.1% 的绝对浓度或小于 5% 的相对浓度 (例如 10% 与 10.5%), 取两者中较大值。如果火焰传播不能再生或火焰传播程度不明显, 则以 3 次试验中 2 次结果一致的结果作为该浓度的试验结果, 无论结果为燃烧或不燃烧。LFL 应确定为火焰传播与无火焰传播的中间浓度值。

如果火焰传播不明显, 试验应持续进行直至至少完成三个连续的浓度增量, 超过化学当量浓度, 且超过火花周围燃烧减弱的点。

用于燃烧试验的混合制冷剂的化学当量计算应基于最保守的假设进行。LFL 试验的起始点应基于完全反应的化学当量, 包括非可燃成分的燃烧。终点应基于假设非可燃成分不参与反应, 仅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成分由于可燃组分的燃烧热而分解。

警告: 本文件规定的可燃性试验流程是对 GB/T 21844 ASTM 试验方法的改进流程, 该方法使用玻

璃烧瓶作为试验容器。试验机构应格外注意，以免造成人身伤害和设备损坏。试验过程中容器可能发生爆炸。制冷剂燃烧可能产生剧毒或腐蚀性产物。试验机构应查阅 GB/T 21844 中的安全预防内容，并按相关规定进行试验。

A. 1.2 试验条件

- a) 对于单一化合物制冷剂，应在 60 °C 及 97.3 kPa~104.0 kPa 的环境压力下进行可燃性试验。
- b) 对于混合制冷剂，若混合物所有成分均属于同一安全组别，则无需进行可燃性分馏分析，该混合制冷剂应被归入相同的安全组别。对于成分的安全分组不一致的混合制冷剂，应在 60.0 °C 及 97.3 kPa~104.0 kPa 的环境压力下对 WCF 和 WCFF 进行可燃性试验。WCFF 应按 B.2 规定的方法确定。当名义成分应用成分允差产生多个可能最不利成分时，申请人应针对所有可能的最不利成分进行可燃性试验，或提供充分依据说明排除其中一个或多个可能的最不利成分。
- c) 对于在步骤 a) 或 b) 中出现火焰传播的制冷剂，还应在 23.0 °C 及 97.3 kPa~104.0 kPa 的环境压力下进行可燃性试验来确定 LFL。对于混合制冷剂，此类试验应针对 WCF 和 WCFF 进行。

【条文说明：与 GB/T 7778-2017 相比，a) 中的环境压力不同，改为区间范围了；b) 中增加了对所有成分属于同一安全组别的混合制冷剂的可燃性分馏分析规定，无需进行可燃性分馏分析，直接被归入相同的安全组别】

A. 1.3 已知可燃成分的 LFL

当已知可燃成分的 LFL 时，制冷剂 LFL 试验应从低于最低成分 LFL 的 1% 体积浓度开始。当成分 LFL 未知时，试验应从 1% 制冷剂体积浓度开始。若初始浓度试验导致火焰传播，后续试验浓度应以 1% 体积浓度递减，直至确定制冷剂的 LFL。

A. 1.4 气相色谱法

被测混合制冷剂的质量分数成分应通过气相色谱法进行验证，达到允差为 ±0.5% 质量百分比或成分允差范围的 1/4，取两者中之较小者。

A. 1.5 样品导入试验装置

样品应按 GB/T 21844 的规定以气相形式引入可燃性试验装置。待测制冷剂或混合成分的液体样品应置于适宜的真空容器中进行膨胀处理，确保仅存在受压蒸气。随后将蒸气引入可燃性试验装置。然后向试验装置加入空气。制冷剂与空气的浓度比应通过分压法测定。制冷剂与空气在反应室中混合至少 5 分钟。搅拌器停止运转后 60~90 秒内，应触发一次点火源。

【条文说明：与 GB/T 7778-2017 相比，制冷剂与空气在反应室中的混合时间由 2 min 增加至 5 min。搅拌器停止运转后触发点火源的时间由 60 s 增加至 60~90 s】

A. 1.6 火焰传播

若在火花仍活跃时观察到火焰传播（即火花对试验容器产生过载作用），则应使用火花持续时间小于 0.4 秒但不低于 0.2 秒重复试验。

A. 1.7 可燃性试验记录

所有可燃性试验均应使用录像机进行记录。试验期间应配备可实现停顿和逐帧播放功能的回放设备。应提交例如 DVD 或 MPEG 格式的数字格式的录像副本。

【条文说明：与 GB/T 7778-2017 相比，提交的录像格式不一样】

A. 1.8 火焰传播判定标准

仅当某种制冷剂/空气浓度在 3 次可燃性试验中至少有 2 次出现火焰传播时，才应将其认为达到本文件的可燃性分类标准中“可燃性”级别。火焰传播是指任何从点火源向上外扩至烧瓶壁的燃烧现象，且以点火源到烧瓶壁的距离进行测量，其持续沿着对角线弧大于 90° 进行扩展。

A. 1.9 需提供的可燃性试验数据

申请材料应包含下列 a) 至 h) 项的试验结果。试验条件应控制在 a) 至 h) 项所列精度范围内。

申请材料应包含每种被测制冷剂或制冷剂混合物成分的可燃性试验数据表格。这些数据应包括但不限于以下内容：

- a) 被测制冷剂或混合制冷剂成分：±0.1%质量百分比；
- b) 可燃性试验温度：±3 K；
- c) 分馏或泄漏试验温度：±0.1 K；
- d) 试验压力：97.3 kPa~104.0 kPa；
- e) 湿度：±0.0005 克水蒸气/克干空气；
- f) 制冷剂/空气浓度：±0.2%体积百分比；
- g) 火花持续时间：±0.05 s；
- h) 从点火源至烧瓶壁测量的火焰传播角度：±0.087 弧度 [±5.0° (度)]。

A.2 分馏分析

A.2.1 分馏分析结果报告

申请人应报告为确定泄漏条件下（见 A.2.4）混合制冷剂的气相和液相成分而进行的分馏分析结果。该分析应通过试验进行验证。可采用分析模型来确定 WCFF。若使用模型，申请人应确认所用模型，并应提交充分的试验数据以证明该模型在预测 WCFF 的条件下对所评估制冷剂的适用性。

A.2.2 WCF 作为起点

所有分馏分析均应使用 WCF 作为起点。当将成分允差应用于名义成分中时产生多个可能的最不利成分时，申请人应确定每个 WCF 对应的 WCFF，并提供充分依据以排除其中一个或多个可能的最不利成分。

A.2.3 气相色谱法

被测混合制冷剂的质量分数成分应通过气相色谱法进行验证，其允差为±0.5%质量分数或成分允差的四分之一，取两者中之较小者。

A.2.4 泄漏试验

A.2.4.1 通则

含有可燃成分的混合制冷剂应进行评估，以确定其在储存/运输或使用过程中的最不利分馏成分。应通过试验或分析建模模拟以下情况下的泄漏：

- a) 储存/运输条件下的容器泄漏；
- b) 代表制冷空调设备的容器在正常运行、待机及运输条件下的泄漏。用于此类试验的容器，其额定值应能承受成分在最高温度下产生的蒸气压力。

A.2.4.2 储存/运输条件下的泄漏

为模拟储存/运输条件下的泄漏情况，应在环境温度下向容器充装 WCF 达到 90%的质量，该质量会在 60.0 °C 时形成 100%液体充装，然后以使液体温度保持在 0.5 K 范围内恒定并防止任何液体逸出的速率进行蒸气泄漏。试验应在以下温度下进行：

- a) 60.0 °C；
- b) -40.0 °C 或大气压下的泡点温度加 10.0 K，取两者中较高者。如果泡点温度 > -50.0 °C，则应在泡点温度加 10.0 K 的温度下进行试验；
- c) 如果 a) 和 b) 中均不存在 WCFF，则采用介于 a) 和 b) 之间的产生 WCFF 的温度进行试验。如果 a) 和 b) 之间的温度均未产生最不利分馏成分（WCFF），则分馏试验应在 23.0 °C 下进行。申请人应证明并记录最不利分馏成分出现时的温度条件。

在分馏试验中，应通过化学分析确定顶气体和残留液体的成分。首次分析应在泄漏总充注量的 2% 后进行，下一次在初始质量损失 10% 时进行，之后每损失初始质量的 10% 进行一次分析，直至容器内压力降至大气压或无液体残留。如果初始质量损失达 90% 后仍有液体残留且容器内压力未达到大气压，则应在质量损失达 95% 时对顶气体和残留液体进行最终分析。

A.2.4.3 设备泄漏

为模拟设备泄漏情况，应在环境温度下向容器充注 WCF 达到 15% 的质量，该质量会在 60.0 °C 时

形成 100%液体充装，然后在以下温度下进行蒸气泄漏：

- a) 60.0 °C；
- b) - 40.0 °C或大气压下的泡点温度加 10.0 K，取两者中较高者。如果泡点温度 > - 50.0 °C，则应在泡点温度加 10.0 K 的温度下进行试验；
- c) 如果 a) 和 b) 中均不存在 WCFF，则采用介于 a) 与 b) 之间的产生 WCFF 的温度进行试验。如果 a) 至 b) 之间的温度均未产生最不利分馏成分（WCFF），则分馏试验应在 23.0 °C 下进行。申请人应证明并记录最不利分馏成分出现时的温度条件。

在分馏试验中，应通过化学分析确定顶空气体与残留液体的成分。首次分析应在泄漏总充注量的 2%后进行，下一次在初始质量损失 10%时进行，之后每损失初始质量的 10%进行一次分析，直至容器内压力降至大气压或无液体残留。若初始质量损失达 90%后仍有残留液体且容器内压力未达到大气压，则应在质量损失达 95%时对顶空气体和残留液体进行下一次及最终的分析。

A. 2.5 需提供的分馏分析数据

申请人应针对每种分馏场景提交以下数据：

- a) 分馏或泄漏试验温度（ ± 0.10 K）；
- b) 每段泄漏增量（ $\pm 0.1\%$ 质量百分比）对应的液相与气相成分表；
- c) 对于模型分析，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设备及流程的说明。如果申请人采用计算机或数学模型来确定 WCFF，则申请人应明确所用模型，并提交证明数据证明该模型在预测 WCFF 的条件下对试验测量值的精度。

附录 B
(规范性)
A2L 类可燃气体燃烧速度的试验方法

B.1 试验总则

B.1.1 通则

本试验方法基于：

- a) 气体或气体混合物与空气形成的静止均匀混合物在垂直圆柱管内引发燃烧；
- b) 观察并记录火焰传播过程；
- c) 测定火焰表面积。

燃烧速度取决于可燃气体在空气混合物中的浓度。当浓度接近化学当量浓度时，燃烧速度达到最大值。

本试验方法涉及危险物质的使用，因此为确保安全操作与试验，需要了解安全参数及预防措施。这些措施应由使用者负责。B.5 中也给出了通用安全预防措施。

【条文说明：附录 B 内容根据 ISO/PAS 24499 内容修改，与 ISO 817:2014 和 GB/T 7778-2017 内容基本一致。与 GB/T 7778-2017 相比，此处增加了试验方法基于 c) 测定火焰表面积的规定】

B.1.2 试验方法原理

本试验方法包括：在底部点火端开口的垂直管内引燃可燃气体（或可燃气体混合物）与空气的均质混合物，使火焰向上传播至顶部封闭端，见图 B.1。在火焰传播初期，存在火焰形状与尺寸保持恒定的均匀运动阶段。

考虑到火焰前沿的质量与物料平衡，根据管内火焰传播速度 S_s 的知识和火焰前沿面积与其底部横截面积之比，计算出燃烧速度 S_u 。单位面积每秒燃烧的气体体积或燃烧速度 S_u ，通过将混合物在试验温度和压力下每秒消耗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 以火焰传播速度 S_s 扫过的体积。用公式（B.1）来计算单位时间内的体积消耗量。

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

式中：

a_f ——火焰底部横截面积；

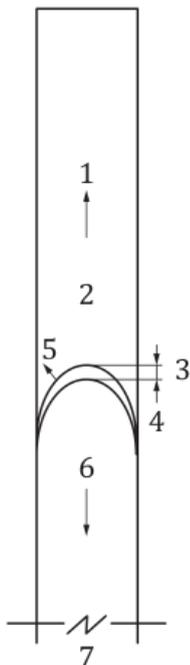
A_f ——火焰表面积；

S_s ——火焰传播速度；

S_u ——燃烧速度。

注：火焰底部横截面积等于管子横截面积减去淬熄区面积（即火焰边缘与管壁之间的区域）。

在给定温度和压力下，燃烧速度仅取决于可燃物质的种类及其与氧化剂的浓度，取决于试验装置的程度有限。



标引序号说明：

- 1——火焰传播方向；
- 2——未燃烧的混合物；
- 3——火焰前沿位移；
- 4——燃烧区域厚度 dx ；
- 5—— S_s ；
- 6——燃烧后的气体；
- 7——点火。

图 B.1 垂直管内火焰传播示意图

B.2 测量参数

B.2.1 通则

燃烧速度的测量需要了解公式 (B.1) 中的以下 3 个参数：

- a) 火焰传播速度, S_s ；
- b) 火焰前沿面积, A_r ；
- c) 火焰底部的横截面积, a_r 。

B.2.1 火焰传播速度

测量燃烧速度需确定管内火焰传播速度。根据公式 (B.1) 的推导条件, 测量时仅考虑火焰传播均匀的区域 (即 S_s 恒定)。

火焰线性传播速度通过直接测量火焰前沿位移获得, 该位移由已知相机采集频率下的时间间隔 (30 Hz~50 Hz) 拍摄的两个连续图像确定。应使用多组连续图像来验证火焰传播的均匀性。可能需要进行适当的图像处理以增强火焰前沿形状, 并在两幅图像中定位对应前沿相同位置的相同发光点 (亮度相同的像素), 从而推导出火焰前沿位移。该流程在低亮度火焰中被证明是必要的, 因为火焰前沿位移的任何不确定性都会导致火焰传播速度的不确定性, 进而影响燃烧速度的测定。

B.2.3 火焰前沿面积

即使在许多情况下火焰前沿形状具有对称性, 火焰前沿形状也不能通过抛物线的旋转生成, 也不能通过椭球段的近似获得。需要一种精确方法来计算火焰前沿面积 A_r 。对于向上传播的火焰, 其前沿表面通常相对于管轴呈对称分布。对于均匀传播, 火焰前沿形状保持恒定。快速移动的火焰近似呈半球形, 而较慢的火焰则略显拉长。

B.6.7 描述了一种用于计算火焰前沿面积的数学与几何模型。总结来说, 先在火焰前沿轮廓上标

记拟合点 (20~40 个拟合点), 再将其划分为两个或更多水平段。拟合点应选取于火焰前沿最亮区域的边缘。

针对每个分段, 建立适当阶数的多项式拟合方程, 以获得该分段选定点的最佳拟合曲线。最佳拟合使拟合曲线与试验点的偏差最小。随后将各分段进一步划分为多个微小元节段, 分别计算其面积。每个元节段的面积基于旋转体形状假设进行计算, 同时考虑火焰底部非水平的特性。

B. 2. 4 火焰底部的横截面积

火焰底部的横截面积 a_f 应根据火焰底部测得的直径 d 计算, 如 B. 6. 7 所示。此时使用公式(B. 2):

$$a_f = \frac{\pi d^2}{4} \dots \dots \dots (B. 2)$$

式中:

- a_f ——火焰底部的横截面积;
- d ——火焰底部的直径。

B. 3 试验方法

B. 3. 1 通则

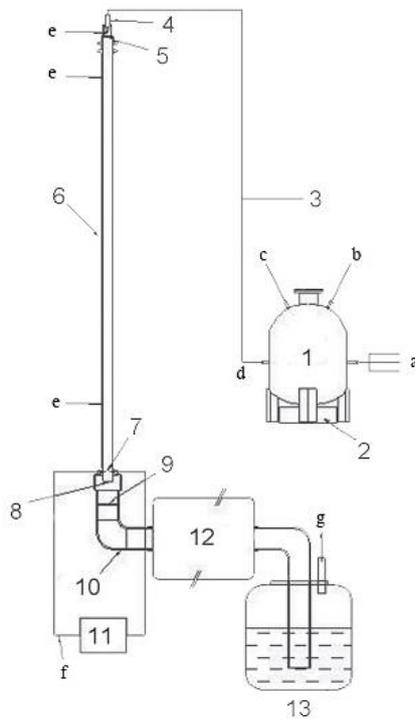
在管内测量燃烧速度包括:

- a) 在垂直透明管中传播火焰, 该管下端为点火端且开放, 上端封闭, 并充满可燃混合物;
- b) 测量火焰沿管壁传播的速度;
- c) 用照相机记录火焰前沿面积。

在大气压下进行测量。

试验台布局如图 B. 2 所示, 其主要组件包括:

- 混合容器;
- 点火系统;
- 照相机;
- 试验温度控制装置;
- 气体处理系统。



标引说明:

- | | |
|------------|-------------|
| 1——混合容器; | a——来自气体供应罐; |
| 2——磁力搅拌器; | b——压力测量; |
| 3——吹扫气体管路; | c——连接真空泵; |
| 4——管路入口; | d——连接进口管; |

- | | |
|---------------|-----------|
| 5—淬熄与平滑屏； | e—温度测量； |
| 6—试验管； | f—点火电源供应； |
| 7—电极； | g—抽至排风罩。 |
| 8—装配孔； | |
| 9—淬熄屏； | |
| 10—聚氯乙烯管； | |
| 11—点火器； | |
| 12—气体膨胀罐； | |
| 13—含中和溶液的收集罐； | |

图 B.2 试验台示意图

B.3.2 气体处理与混合物制备

气体混合物的制备方法见 6.1.3。如果使用 B.3.6 所述的洗涤系统，应将其断开，以免膨胀容积充满可燃浓度气体。随后使恒定成分的混合制冷剂流经管道，直至气体混合物置换出至少相当于该管内空气体积 13 倍的体积。注意应确保从管底排出的气体混合物得到充分排放。一旦管内达到所需混合比例后，点火前应将混合容器与管道隔离，以防容器内气体引燃。良好实验室操作规范要求测量管内气体混合物浓度，确保所用方法充分实现该目标。顺磁氧分析仪有效完成此项检测。

建议试验台所有组件、连接件及部件均需耐受例如氨气、铜等腐蚀性气体或其他氧化反应。能选用不锈钢材质或经确认适用于待测物质的其他材料。

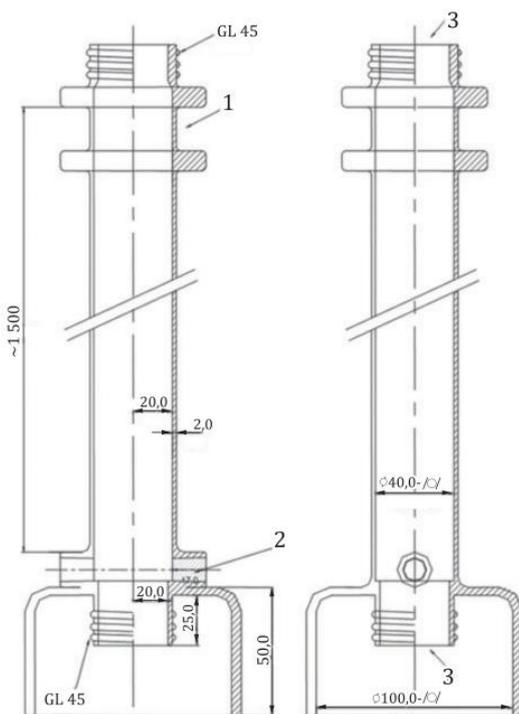
B.3.3 试验管

B.3.3.1 通则

试验管的设计应便于火焰传播且干扰较小，尤其在点火阶段和火焰传播初始阶段，见图 B.3。试验管设计应符合以下规定：

- 点火系统、淬熄屏和阻尼孔尽可能靠近管道出口；
- 管道出口（位于下端）便于连接抽气及气体处理系统；
- 管道固定于垂直支架上，且位置低于点火装置，以避免固定支架干扰火焰传播（过度冷却）或阻碍火焰拍照；
- 同时考虑玻璃设计与加工的技术限制。

单位为毫米



标引序号说明：

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

图 B.3 试验管设计和主要尺寸

B.3.3.2 尺寸

管道应由长 1.2 m、内径 40 mm 的玻璃管制成。该直径是折中选择——较窄的管径虽增强淬熄效应但实现更稳定的传播模式，而较宽的管径虽能减少壁面损耗却会加剧不稳定现象。研究证实，40 mm 直径最适于测量低于 40 cm/s 的燃烧速度。即使超压幅度极小且管道底部为开放端口，该管道也能承受高于大气压 100 kPa 的压力。

注：火焰传播速度快时常出现不稳定燃烧模式，见 B.6.3。管长依据前期研究数据确定。仅当使用高燃烧速度化合物时，管长的显著变化才会影响火焰传播模式及其稳定性。

B.3.3.3 位置

应将管道置于垂直位置，以减少对流效应可能导致的火焰前沿变形，并确保火焰形状更对称。在此位置，火焰向上传播，点火发生在管子的下端。

B.3.3.4 管端

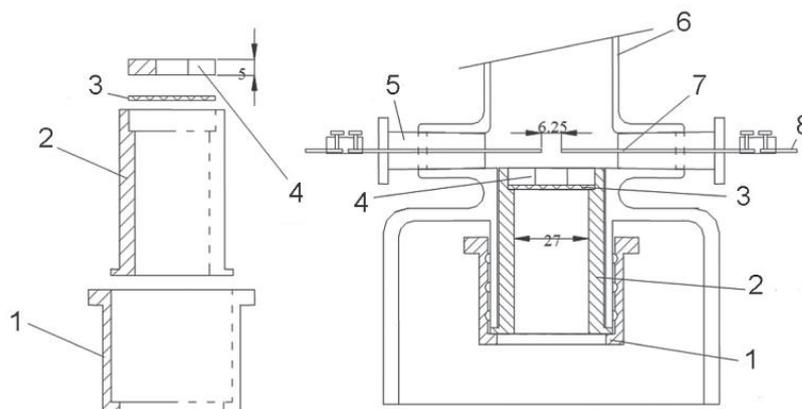
管道下端应敞开至大气环境。该端口设有点火系统及阻尼孔。能使用 GL45 盖子固定系统（见图 B.4 和 B.5）。当燃烧产物存在有害成分（有毒或腐蚀性物质，例如 HF、HCl、NH₃等）时，管道下端应连接气体后处理系统（见 B.3.6）。该设计防止压力过高积聚，燃烧产物能自由排出管道，或在使用气体处理系统时于 125 L 储罐内自由膨胀。

管道的上端应连接至混合容器。混合物从混合容器流入管内，并从管底流出。进口系统应使用 GL45 盖子固定。点火前直至火焰传播结束前，该端口应保持封闭状态。

B.3.3.5 可互换阻尼孔

火焰传播速度和火焰形状随可燃物质类型及其与氧化剂混合物的成分而变化。通过插入校准孔板调节下部开口端的出口直径，有助于通过减少不稳定性和抑制声学效应来稳定火焰前沿形状，从而有助于再现更理想的火焰前沿形状。对于内径 40 mm 的管道，阻尼孔径范围为 9 mm~11 mm。建议在相对较高的燃烧速度条件下（即高于 25 cm/s）使用阻尼孔。

单位为毫米



标引序号说明：

- | | |
|--------------------|----------------------------|
| 1——GL 45 尖端用盖子； | 5——RIN 10/19 聚四氟乙烯（PTFE）塞； |
| 2——聚四氟乙烯（PTFE）主体； | 6——试验管； |
| 3——淬熄屏； | 7——1 毫米直径电极； |
| 4——聚四氟乙烯（PTFE）装配孔； | 8——电源接口。 |

图 B.4 显示点火电极及阻尼（装配）孔的管道下端图示

B.3.3.6 火焰淬熄

淬熄屏应安装在管道两端，需耐受 HF 和 NH₃ 的反应，以防止对周围环境造成危害。淬熄屏的网孔尺寸应为 1 (+0.5, -0.1) mm。

B.3.3.7 管道玻璃类型

大多数火焰的光谱辐射范围被认为在 250 nm~600 nm。为避免过多能量损耗，在选择玻璃类型（例如石英玻璃、硼硅酸盐玻璃）前，比对不同玻璃的透射特性曲线是重要的。

B.3.3.8 用试验混合物吹扫管路

应使混合物从混合容器以至少为试验管内部容积的 13 倍的等效体积流量连续流入试验管内进行吹扫。气体混合物应从管道上端进入，并从下端流出。吹扫结束后能封闭下端，以避免电极附近因稀释导致的浓度变化。点火前将该端口打开至大气环境。

B.3.3.9 管道蚀刻

在 HFCs 或 HCFCs 的燃烧产物中，例如氢氟酸（HF）或氢氯酸（HCl）等物质与水残留物的存在导致管壁蚀刻，以至于经过多次试验（根据清洗工艺不同，约 30~50 次）后，管壁变得不透明并呈现近乎白色（见图 B.5）。

因此，火焰传播结束后应立即用干燥氮气流对管道进行吹扫。随后可将湿刮板送入管内清除内壁沉积物，可再用循环氮气流去除刮板上的水渍。

采用此清洁技术，使同一试验管在蚀刻效应变得明显并需废弃前可能用于更多次试验。



图 B.5 氢氟酸导致的管道蚀刻

B.3.4 点火

B.3.4.1 通则

点火源不仅能影响可燃性极限结果，还能影响火焰传播模式。众多研究者已对火花点火机制进行分析，涉及电极布置、种类（例如法兰电极）、材质与尺寸、电极间隙、火花持续时间及击穿电压等参数，以及这些因素对最小点火能量的影响。

本试验方法所述的点火系统在电极尺寸、间隙距离、点火时间及电源配置方面，与 GB/T 21844 中可燃性试验方法所用点火系统具有相同特性。这种相似性有助于确保垂直管燃烧速度方法与 GB/T 21844 中可燃性试验方法的互补。

B.3.4.2 点火类型

混合物通过两个电极产生的电火花点燃。

B.3.4.3 位置

点火发生在管道的底部。电极固定在管道的直径对侧，以管轴为中心，位置位于可互换孔口上表面方 5 mm~10 mm 处。电极应使用 RIN 10/19 PTFE 塞固定，该塞嵌入专门设计的 RIN 10/19 外

壳中（见图 B.4）。

B.3.4.4 电极

电极由直径 1 mm 的钨制成。电极间距为 6.4 mm。必要时可在管内电极间插入专用校准筒，以验证电极同心度并确保间距准确。

为确保良好的点火条件，尤其在传播极限上下区域，应反复清除电极上的任何沉积物。

B.3.4.5 电源

点火电极的电源应由输出为 15 kV、30 mA 的变压器提供。通常情况下，除具有高击穿电位化合物的应用外，无需如此高的电压。供电系统通过额定电压至少为 15 kV 的绝缘装置连接至电极，以避免短路和接触不良导致的过热现象。

B.3.4.6 点火时间

点火时间应通过计时器调节火花持续时间，设定为 (0.3 ± 0.05) s。该时间已被证实最适于可燃性极限测量。

向管内注入对应混合物后，不应立即点火，延迟 5~10 秒后，以使管内紊流停止。

注：该点火系统释放的过量能量可能引发波浪传播，导致火焰前沿及其前方混合物产生紊流。火焰在点火源附近传播时呈非稳定状态。

B.3.5 火焰前沿可视化

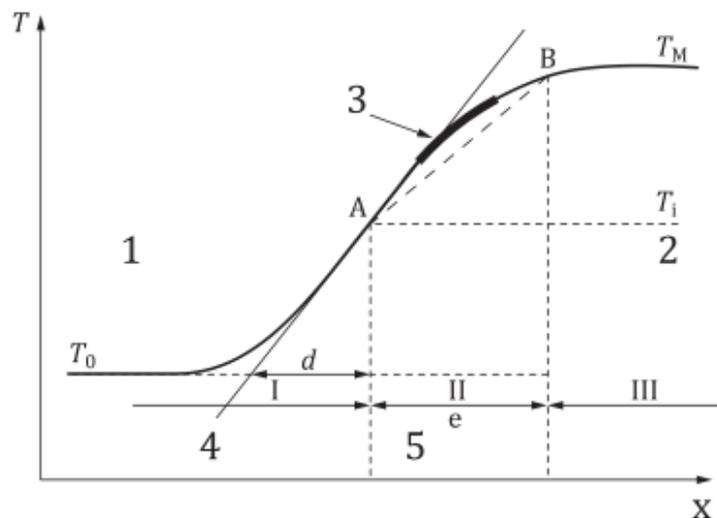
B.3.5.1 通则

采用直接摄影技术记录火焰前沿图像。这些图像用于计算火焰传播速度及其表面积。

B.3.5.2 发光区与直接摄影法

燃烧速度测量公式 (B.1) 基于预热区层处的火焰前沿面积的计算。通过直接摄影技术，可显现火焰发光区域。因此，采用此摄影技术进行的任何测量均应基于火焰最强发光区。该区域对应于温度等于点火温度的点与反应终点之间的火焰区域（见图 B.6）。基于直接摄影所得火焰图像计算火焰前沿面积所评估的燃烧速度相对不确定度为 6.5%。

注：如果将发光区外缘轮廓向外偏移一个等于发光区宽度的距离，就能降低 6.5% 的相对不确定度并更精确地确定表面位置。



标引序号说明：

- 1——未燃烧气体；
- 2——燃烧气体；
- 3——发光区；
- 4——预热区；
- 5——反应区。

图 B.6 沿燃烧火焰和发光区的温度分布曲线

B.3.5.3 火焰发射光谱

燃烧产生的光谱峰值取决于燃烧物质的类型及形成的自由基，例如 OH、HCO、CH、C₂和 C₃。从定性角度来看，能指出 HC 和 HFC 火焰最大发射的典型峰值甚至有时的高强度连续谱均位于 250 nm～600 nm 波长范围。

B.3.5.4 采集相机

应使用数码相机对火焰传播过程进行可视化记录。火焰前沿图像应被采集并保存，以供后续处理（包括火焰传播速度测量与火焰前沿面积计算）。

选择试验用相机时，应根据测量速度范围选定曝光时间与采集速率参数。对于高速火焰，需要高采集速率与短曝光时间（即<1 ms）。还应考虑相机的光谱响应特性，其量子效率曲线的高效覆盖范围应涵盖被可视化火焰的典型波长区间。

注：通过适当接口进行的一系列调整与操作模式，例如分辨率、图像增强、帧率、曝光时间、记录帧数、预/后触发及图像输出参数，都有助于图像适应所记录火焰前沿的类型。还能使用镜头组实现优化摄影画面的变焦与聚焦。

B.3.5.5 曝光时间

在开始拍摄火焰传播前，应设置曝光时间，以最佳还原火焰前沿形状并提高其面积测量的精度。

由于火焰传播速度与其明暗程度之间并无明确关联，对于快速且低亮度的火焰，试验人员应在曝光时间设置上权衡取舍。较长的曝光时间虽能补偿低亮度，但因火焰在曝光期间的位移导致火焰前沿形状失真。

在化学当量比附近进行测量时，推荐曝光时间为 1 ms 或更短。该数值基于实践经验确定，具体取决于相机类型。

B.3.5.6 位置

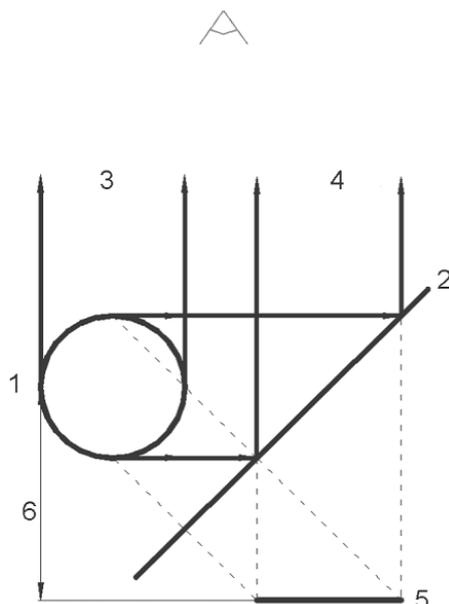
相机记录区域应调整至合适的位置和已知火焰均匀运动所处的管道高度。仅应使用镜头轴线同一高度拍摄的图像来计算火焰前沿面积并减少火焰前沿尺寸的不精确度。

B.3.5.7 缩放与光学畸变

通过拍摄沿管壁放置的刻度尺照片，能将火焰图像缩放至真实火焰前沿尺寸，此时刻度与穿越管心且垂直于相机轴线的层面重合。

注：管壁几何结构引起的光学畸变忽略不计。

在管壁旁放置 45° 倾斜镜面，用于识别火焰前沿表面的不规则性，并通过确保火焰前沿面积计算的正确假设来提高试验精度。当相机同时对准管壁与镜面时，所记录图像同时呈现火焰前沿的正面视图与侧面视图（见图 B.7）。注意镜像所在平面位于直接摄影平面之后。如果用于计算，这些图像应缩放至穿越管心且与相机轴线垂直的同一垂直层。



标引序号说明：

- 1——管道；
- 2——镜子；
- 3——正视图光束；
- 4——侧视图光束；
- 5——实际侧视图位置；
- 6——位移。

图 B.7 照相机接收的正视图和侧视图示意图

B.3.5.8 火焰图像分辨率

采用管道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、缩放因子及火焰前沿面积相关。想要提高分辨率获得更精确的结果，就要达到火焰前沿图像上拟合点与小尺寸像素无关的程度。

B.3.6 吹扫、排气和气体处理系统

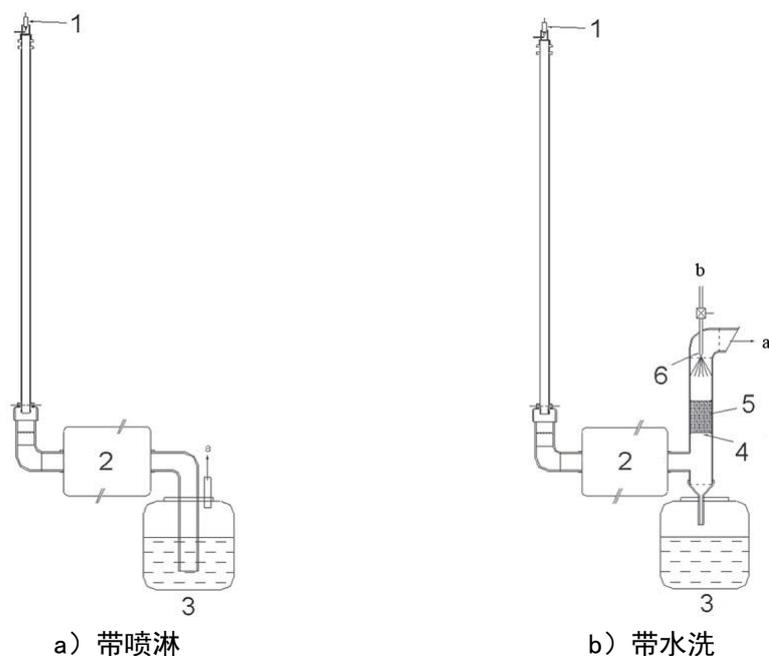
每次试验后应彻底清洁试验装置，清除前次试验残留的燃烧产物和流出物，确保燃烧产物不会危害人员或损害环境。应建立燃烧产物尤其是含氟气体的适当处理流程：试验结束时应快速抽取燃烧产物，以中和在一些情况下占比超过燃烧产物 30% 的 HF 或 HCl，并降低对试验管的腐蚀性（微量水分使其具有很强腐蚀性）。为此，在试验装置出口处设计并安装了专用处理系统及废气净化装置，通过将废气喷入碱性水溶液（例如 NaOH）中去除腐蚀性物质。该处理系统还包含连接气体处理系统与管体下端的膨胀罐，以模拟恒压膨胀条件（见图 B.8）。

燃烧产物由排气扇从管路中抽出，经膨胀罐与碱性水溶液处理后，将净化气体导入风罩。

如有需要，可采用水洗系统替代喷淋系统。在这种情况下，例如可选用锥形喷嘴将水喷洒至向上流动的废气流中。酸性水在底部收集后排入装有碱性水溶液的大型储罐进行中和。

水溶液储罐应定期排空，并检测水溶液酸度以确保操作安全。

注：必要时串联两套处理系统以实现更彻底的净化效果。



- 标引说明：
- 1——进气管；
 - 2——气体膨胀罐；
 - 3——含中和溶液的收集罐；
 - 4——支撑网；
 - 5——洗涤器；
 - 6——喷嘴；
 - a——排气至风罩；
 - b——供水。

图 B.8 气体处理系统

B.3.7 试验温度设定

试验应在 23 °C 条件下进行。通过控制试验室温度即可轻松实现 23 °C 的试验温度。由于火焰传播对温度敏感，应尽量减小沿管壁长度方向的温度梯度（例如控制在 1 K 以内）。可通过合理循环并控制温控气流来实现此要求。

B.3.8 采用分压技术制备混合物的试验方案

当采用分压技术制备混合物时，试验操作应用以下方案：

- a) 启动新试验前应检查以下项目：
 - 1) 记录相机参考尺度与实际火焰尺寸的对对应关系（pixels/m 或等效单位）；
 - 2) 采用干燥气体（空气或氮气）吹扫清洁管路；
 - 3) 检查电极间隙距离及同心度；
 - 4) 选择适配的出口孔径尺寸。
- b) 混合容器及所有连接管道应先抽真空至绝对压力 10 Pa 或更低。
- c) 然后应向混合容器注入不同混合成分，每种成分保持其对应的分压。每次向混合容器引入新气体时，均应对连接处抽真空。磁力搅拌器应在流程开始时启动，并在充注过程结束后至少持续运行 5 分钟。
- d) 之后混合物能离开混合容器，经管道循环至其下部出口端，最终进入排风罩。循环等效体积应至少为管道内部容积的 13 倍。
- e) 垂直管的上端应先封闭，随后立即封闭下端，以防止电极区域内可能发生的稀释或浓度变化。
- f) 应给予 5~10 s 时间使管内混合物达到静止状态。
- g) 应轻缓开启下端以避免点火区域周围产生扰动或浓度变化，随后进行点火。点火前应启动相机并记录图像。
- h) 火焰传播终止后，于管体上端熄灭火焰，再通过管内循环的氮气或空气流排出燃烧产物。

存在有害燃烧产物的情况下，应安装并使用气体处理系统。

B.4 结果的评估与表达

B.4.1 通则

测得的燃烧速度通过公式 (B.3) 进行验证。

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

式中：

S_u ——燃烧速度；

$S_{u,max}$ ——通过二阶多项式拟合试验数据点所得的最大燃烧速度；

Φ ——燃烧速度下的当量比；

Φ_{max} ——最大燃烧速度下的当量比；

a ——拟合常数。

在少数情况下，公式 (B.3) 无法实现对燃烧速度试验结果的最佳拟合。此时应另行推导其他合适的拟合方程。试验数据点也能分为两部分，对每一部分能分别采用不同的拟合方程。

注：通常情况下，在 1.00~1.15 之间的一个等效比下达到最大燃烧速度。

B.4.2 不确定度

B.4.2.1 燃烧速度的不确定度

本文件所描述的燃烧速度测量值的总相对不确定度估计在 7%~10%之间，源于以下原因：

- a) 主要源于火焰前沿面积计算（占总不确定度的 65%）；
- b) 源于火焰传播速度测量（占总不确定度的 35%）。

注：如 Takizawa 等人所述，该方法不适用于低于 4 cm/s 的燃烧速度，因为上升的、高温的气泡控制着火焰传播速率，而非混合物的燃烧速度。

B.4.2.1 浓度的不确定度估算

采用分压法制备的混合物，其浓度的不确定度主要源于：

- a) 压力传感器测量；
- b) 基于理想气体定律从压力和温度推导密度。由于空气是混合物的主要成分，在 300 kPa~400 kPa 绝对压力范围内，混合物状态与理想状态相差不大。在此情况下，密度相对不确定度评估为 2%，而绝对压力低于 100 kPa 时该不确定度能忽略不计。

注：浓度不确定度的主要部分源于理想气体定律的假设。对于高达 30%体积分数的浓度，绝对不确定度估算为 0.6%体积分数或 2%相对值。对于低至 2%体积分数的浓度，绝对不确定度估算为 0.08%体积分数，相对不确定度为 4%。

燃烧速度测量值与混合物浓度的不确定度应针对每个试验台进行具体确定。

B.5 安全预防

B.5.1 安全建议适用于空气中氧气体积分数不超过 21%的情况。

B.5.2 对于高燃烧速度 (>30 cm/s) 的试验，建议从成分的最低 LFL 开始，逐步提高浓度进行试验。这对避免在化学当量浓度附近发生快速传播火焰引发的爆炸是有必要的。避免使用可更换孔板过度限制管路出口端。

B.5.3 试验台操作人员应配备合适的个人防护装备 (PPE, 例如手套、护目镜及头部防护装置等)。最佳实践建议对人员进行潜在系统危害培训，并配备 HF 安全应急包。应遵循安全程序规程使用 HF 兼容型 PPE。

B.5.4 由于专用气体处理系统含有腐蚀性物质，操作时应谨慎。该处理系统应保持密封，且应使用排气扇以避免吸入任何燃烧产物。

B.5.5 应谨慎操作高压点火系统、连接件及电极，并加以防护防止直接接触。由于安全原因，避免使用除试验专用点火源外的其他潜在火源（例如开关、电气触点）。

B.5.6 淬熄屏应安装在试验管的两端。在膨胀容积的入口处应增设一个淬熄屏，以防止该容积内发生任何点火危险。

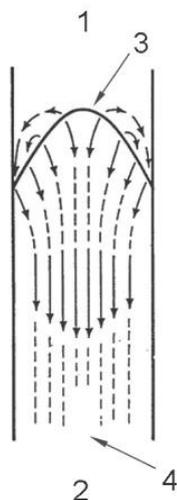
B.6 火焰形状、传播模式及稳定性概况

B.6.1 火焰形状

当考虑燃烧波从管子的开口端向封闭端传播时，波前方的未燃烧气体被管壁包住，从而形成稳态柱体。波内的热膨胀产生了向开口端持续流动的已燃烧气体流。影响火焰前沿形态形成的主要参数如下：

- 粘性阻力导致在管壁处流动阻滞，而在管中心加速（中心区域压力推力高于近壁区域）；
- 未燃气体在中心区域远离火焰前沿流动，而在边缘区域向其汇聚（火焰前方的未燃气体被推向封闭端）；
- 已燃烧气体产生的对流效应导致火焰传播速度较慢时形成拉长的火焰前沿，而传播速度较快时呈现近乎球形的火焰前沿；
- 垂直于火焰前沿方向的恒定燃烧速率。

上述所有效应之间的平衡似乎是维持火焰前沿在均匀运动过程中稳定性的必要条件(见图 B.9)。



标引序号说明：

- 1——封闭端；
- 2——开口端；
- 3——未燃烧气体；
- 4——已燃烧气体。

图 B.9 层流燃烧波从管道开口端向封闭端传播的流向和颗粒速度

B.6.2 火焰传播状态

在高燃烧速度下，火焰传播通常形成 3 个截然不同的阶段或状态，并呈现 2 种可能的运动类型。这 3 个阶段能通过火焰结构区分或通过压力与火焰振荡的振幅来区分。火焰运动由以下两种形式之一构成：

- 均匀运动；
- 振荡运动。

火焰传播状态能依次发展为以下阶段：

- 点火后，火焰以匀速在管道首段（第一阶段）平滑传播，其速度取决于混合物性质与管道长度。
- 第一阶段之后，火焰振荡运动能叠加。这些振荡始于火焰前沿出现蜂窝状结构。传播过程中的振荡与振动现象源于火焰与气体压力振荡之间的耦合。
- 随着火焰推进，管内逐渐充满高温燃烧产物，因此振荡基频升高。火焰前沿能经受剧烈往复运动，并稳定加速直至出现紊流传播状态，由此引发极其不稳定水平，该状态将持续至燃烧结束。

当在管子开口端进行点火时，火焰的振荡运动总会终止均匀运动，唯一例外是缓慢燃烧的混合物，其燃烧可在管体大部分长度上以均匀速率进行。

注 1：在 40 mm 管中测量燃烧速度低于 23 cm/s 时，几乎未观察到火焰加速现象。燃烧速度低于 10 cm/s 的化合物经观测证实其传播速度不超过 25 cm/s。

注 2: 蜂窝状火焰形态与高传播速度火焰(高燃烧速度)和混合物浓度高有关。蜂窝状火焰的前沿面积不能达到可接受精度的测量要求。因此管法测量仅适用于相对较低燃烧速度的测量。

B. 6.3 管内火焰稳定性

为理解火焰传播的特定行为,应明确紊流产生的主要及可能原因。总之,预混火焰的紊流能归因于以下原因之一:

- 可燃混合物中初始气流紊流引起火焰前沿形态与行为的扰动;
- 可燃混合物浓度、压力和温度的不均匀性。此时火焰在混合物中传播时,环境条件持续变化,进而影响其传播过程;
- 可燃混合物在管壁或障碍物与火焰传播导致的气流之间的剪切流区域内产生气流紊流;
- 在加速流动场中,火焰前沿附近产生气流紊流;
- 热扩散与质量扩散机制引发的火焰前沿扰动;
- 火焰前沿与火焰传播发出的声波之间的相互作用。

当未燃烧混合物中的扰动衰减且火焰在静止介质中传播时,火焰均匀运动阶段才能开始。

应特别关注与快速传播火焰相关的声学不稳定现象。作为潜在的紊流诱发源,声学不稳定性最难消除,但能通过合理设计加以控制。通过在燃烧气体流动路径中引入阻力,使对应压力升至特定水平以上,就能实现声学振动的衰减。这能通过采用节流孔缩小管体开口端直径来实现。这种方法将增强火焰的均匀运动。

因此,能通过节流孔缩小管体开口端直径来削弱声学不稳定性,节流孔径按公式(B.4)的规定:

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

式中:

- d ——管道内径,单位为米(m);
- d_e ——节流孔直径,单位为米(m);
- C_b ——已燃烧气体中的声速,单位为米每秒(m/s);
- E ——膨胀比(即未燃烧气体与已燃烧气体的密度之比);
- S_s ——管内火焰传播速度,单位为米每秒(m/s)。

该操作仅在试验期间和高燃烧速度时的火焰快速传播才需要。然而,声学阻尼可能不足以消除火焰初始传播阶段的快速扰动。同时还应防止火焰前方未燃烧混合物中的扰动。这能通过距管体封闭下游端一定距离处放置玻璃纤维垫来实现。

B. 6.4 管内火焰的观察

管内火焰的观察情况如下:

- 最快的火焰在传播一定距离后会失去均匀运动特性,而较慢的火焰在火焰前沿失去规则形状前传播更远距离。由于振荡运动导致运动变得不均匀,该振荡运动在燃烧较慢的混合物中有时异常剧烈以致火焰熄灭。
- 较快的火焰在非均匀运动前保持垂直状态。较慢的火焰在均匀运动期间有时呈倾斜状态。中等速度火焰(尤其在浓度富集区)似乎能够呈现垂直或倾斜形态,也可从垂直形态逐渐或突然转变为倾斜形态。这种转变的发生点似乎相当随意,一些能呈现倾斜形态的火焰在非均匀运动开始前仍保持垂直状态。倾斜形态似乎更为稳定,因为转变从不逆向发生。两种运动形态似乎都相当均匀,结果是进入非均匀运动阶段之前,火焰可先缓慢匀速运动,接着快速匀速运动。
- 一些火焰能展现出与所有其他对应混合物不同的行为。按预期这些火焰是缓慢且可能呈倾斜形态的,但实际上它们快速垂直向前进,相比其他观测火焰发出更强的光。这种异常现象可能与一些混合物成分中观察到的反应机制变化存在关联。在部分案例中,火焰的整体结构可能呈现出差异。目前尚无解释说明此类特殊火焰,但似乎微小条件变化便能显著改变火焰速度,甚至可能显著改变火焰在管内的传播模式。

B. 6.5 圆形管中的火焰淬熄

当火焰在近表面传播时,表面效应对其火焰形态的影响不能忽略。火焰看似被淬熄并悬停在距壁面几毫米处,该距离称为淬熄距离。这种淬熄现象由能概括如下的3种不同机制主导:

- 火焰向壁面的热传导减少了用于预热火焰前方气体的可用能量;
- 壁面吸收了对形成连续传播至关重要的化学反应链中的活泼化学种类;

c) 壁面处的粘性效应。

在大多数情况下，第一种机制似乎最为显著。这种通过管壁冷却火焰的不可避免效应使该方法测得的表现燃烧速度低于其在自由空间中的数值。

壁面热损失不能完全消除，但其被限制于火焰后方区域，该区域因高温、高速气体及火焰通过时破坏管壁边界层，反而增强了壁面与燃烧产物间的热传递速率。若管体两端封闭，热量损失将导致压力下降，但在当前测量中，压力由周围大气维持，因此燃烧产物冷却对火焰前行无影响。

这层未燃烧气体对管壁表面的影响之一是减小管道的有效横截面积。为准确测量燃烧速度，应纳入这种缩减效应的影响，否则将引入误差。能从公式 (B.1) 中推导出，该误差程度与管径和火焰面积之比成正比。因此，尽可能选用横截面积大的管道。但实际应用中存在临界尺寸，当尺寸超过该值时，燃烧产物产生的对流效应导致火焰表面变形。因此，进行高速测量时，为避免紊流火焰前沿，管径不应超过特定临界值。对于低速燃烧混合物，为避免过度表面效应，管径不应小于临界值。内径 40 mm 的管径能实现此平衡（见 B.3.3.2）。

B.6.6 火焰传播速度和管道直径

火焰在管内均匀传播的速度随管径增大而增加。

基于试验结果，推导出公式 (B.5) 用于估算在直径 d 为 25 mm~60 mm 之间的管内，燃烧速度低于 50 cm/s 时的火焰传播速度。

$$S_S = 1.66S_u + 0.18d + 3.31 \dots\dots\dots (B.5)$$

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)；

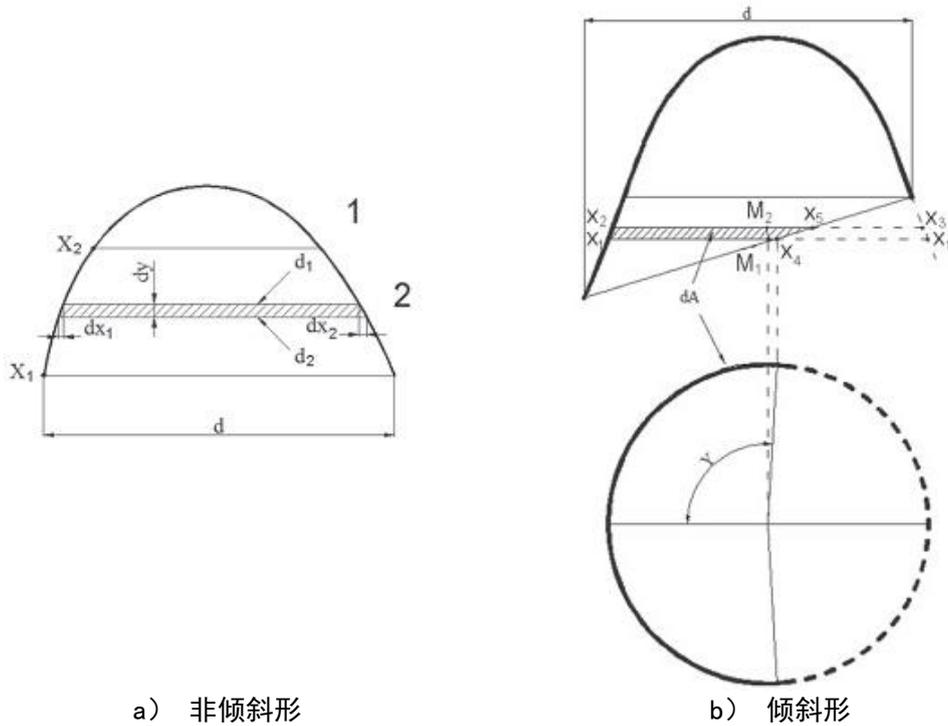
d ——管内径，单位为毫米 (mm)。

B.6.7 火焰面积计算

需要一种精确的方法来计算火焰前沿面积 A_f 。尽管在许多情况下火焰前沿形状呈对称性，但这种形状既不能通过抛物线的旋转生成，也不能通过椭球段的近似来实现。对于向上传播的火焰，其前沿表面相对于管轴呈对称分布。在均匀传播过程中，火焰前沿的形状保持恒定。快速移动的火焰近似呈半球形，而较慢的火焰则略显拉长。

测量 A_f 时，应在火焰前沿轮廓上标记拟合点 (20~40 个拟合点)，然后将其划分为两个或更多水平段。拟合点应选取于火焰前沿最亮区域边缘 (面向未燃烧气体的最外层；见 B.3.5.2)。针对每个分段，建立适当阶数的多项式拟合方程，以获得该分段选定点的最优拟合曲线。最佳拟合使拟合曲线与拟合点之间的偏差最小。通常采用 6 次及以下多项式方程足以实现精确拟合。随后将各分段划分为大量的微小元节段，分别计算其面积。每个元节段的面积均基于旋转体形状假设进行计算 [示意图见图 B.10 a)]。

由于火焰前沿的下边缘未必处于同一水平面，对于倾斜火焰的情况，采用考虑两边缘间的水平差的特殊数学与几何方法来估算火焰前沿该部分的面积 [示意图见图 B.10 b)]。在测量火焰面积时，不应采用倾斜角度过大的火焰进行试验。倾斜火焰多见于浓度过高的富燃区，在化学当量比附近区域或甚至在最大燃烧速度区域极少出现。在此情况下，重复多次测量以更准确地反映真实值。通常，与平均值偏差超过 5%~10% 的测量结果应予以剔除。



a) 非倾斜形

b) 倾斜形

标引序号说明:

1——段 1;

2——段 2。

图 B.10 火焰前沿面积计算中的非倾斜形元节段与倾斜形元节段

按公式 (B.6), A_f 通过求和所有截面的表面积得到。

$$A_f = \sum_{section} A_i \dots\dots\dots (B.6)$$

对于无倾斜部分, A_i 按[图 B.10 a)]由公式 (B.7) 给出:

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

对于倾斜部分, A_i 按[图 B.10 b)]由公式 (B.8) 给出:

$$A_i = \sum \left[\cos^{-1} \left(\frac{M_1 - x_4}{x_1 - M_1} \right) (x_1 - M_1) + \cos^{-1} \left(\frac{M_2 - x_5}{x_3 - M_2} \right) (x_3 - M_2) \left(\sqrt{(x_2 - x_0)^2 + (dy)^2} \right) \right] (B.8)$$

其中 M_i 表示分段中点。

附 录 C
(资料性)
制冷剂中同分异构体的编号方法示例

C.1 乙烷系同分异构体

乙烷系中二氯三氟乙烷的 3 种同分异构体的编号方法见表 C.1。

表 C.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
R-123	CHCl ₂ CF ₃	57.0	71.9	14.9
R-123a	CHClFCClF ₂	73.4	55.5	17.9
R-123b	CHF ₂ CCl ₂ F	89.9	39.0	50.9

^a M_i 为附属在碳原子 *i* 上的卤素和氢原子质量总和 (C1 被分配给最右边的碳)。

C.2 丙烷系同分异构体

丙烷系中二氯五氟丙烷的 9 种同分异构体的编号方法见表 C.2。

表 C.2 丙烷系同分异构体

同分异构体	化学分子式	C2 组 ^a	M ₁ ^b	M ₃	M ₁ -M ₃
R-225aa	CF ₃ CCl ₂ CHF ₂	CCl ₂	57.0	39.0	18.0
R-225ba	CHClFCClF ₂	CClF	57.0	55.5	1.5
R-225bb	CClF ₂ CClFCHF ₂	CClF	73.4	39.0	34.4
R-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	CF ₂	57.0	71.9	14.9
R-225cb	CHClF ₂ CClF ₂	CF ₂	73.4	55.5	17.9
R-225cc	CHF ₂ CF ₂ CCl ₂ F	CF ₂	89.9	39.0	50.9
R-225da	CF ₃ CHCl CClF ₂	CHCl	73.4	57.0	16.4
R-225ea	CClF ₂ CHFCClF ₂	CHF	73.4	73.4	0.0
R-225eb	CF ₃ CHFCCl ₂ F	CHF	89.9	57.0	32.9

^a C2 为中间 (第 2 个) 碳原子
^b M_i 为附属在碳原子 *i* 上的卤素和氢原子质量总和 (C1 被分配给最右边的碳)。

C.3 丙烯系同分异构体

丙烯系中四氟-1-丙烯的 7 种同分异构体的编号方法见表 C.3。

表 C.3 丙烯系同分异构体

同分异构体	化学分子式	立体异构体
R-1234yc	CH ₂ F-CF=CF ₂	
R-1234zc	CHF ₂ -CH=CF ₂	
R-1234ye(E)	CHF ₂ -CF=CHF	Entgegen
R-1234ye(Z)	CHF ₂ -CF=CHF	Zusammen
R-1234ze(E)	CF ₃ -CH=CHF	Entgegen
R-1234ze(Z)	CF ₃ -CH=CHF	Zusammen
R-1234yf	CF ₃ -CF=CH ₂	

C.4 立体异构体示例

双键周围原子的结构通过采用“E”或“Z”有机命名规则加以区分。字母“E”或“Z”附加在制冷剂编号末尾，用于表示连接在双键两端碳原子上的原子或基团的优先顺序，见图C.1和图C.2。“E”（Entgegen）类似反式结构，表示优先原子或基团位于双键两侧相对位置；“Z”（Zusammen）类似顺式结构，表示优先原子或基团位于双键同一侧。连接于不饱和碳原子的原子优先顺序取决于有机命名的标准CIP（卡恩-英格尔—普雷洛格）规则。本质上，原子序数越高的连接原子优先级越高。因此优先顺序为： $I > Br > Cl > F > O > C > H$ 。当优先级相同时，需考虑下一连接碳原子上的连接原子或取代基，直至确定优先级。对于制冷剂而言，使用原子质量而非原子序数更为合理。这是因为 CHF_2 和 CH_2Cl 上取代基的原子序数之和相同，而原子质量之和则存在差异。

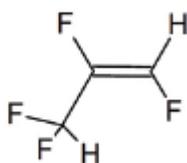


图 C.1 1(E)-1, 2, 3, 3-四氟-1-丙烷或 HF0-1234ye (E)

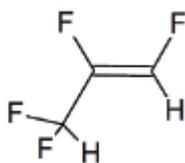
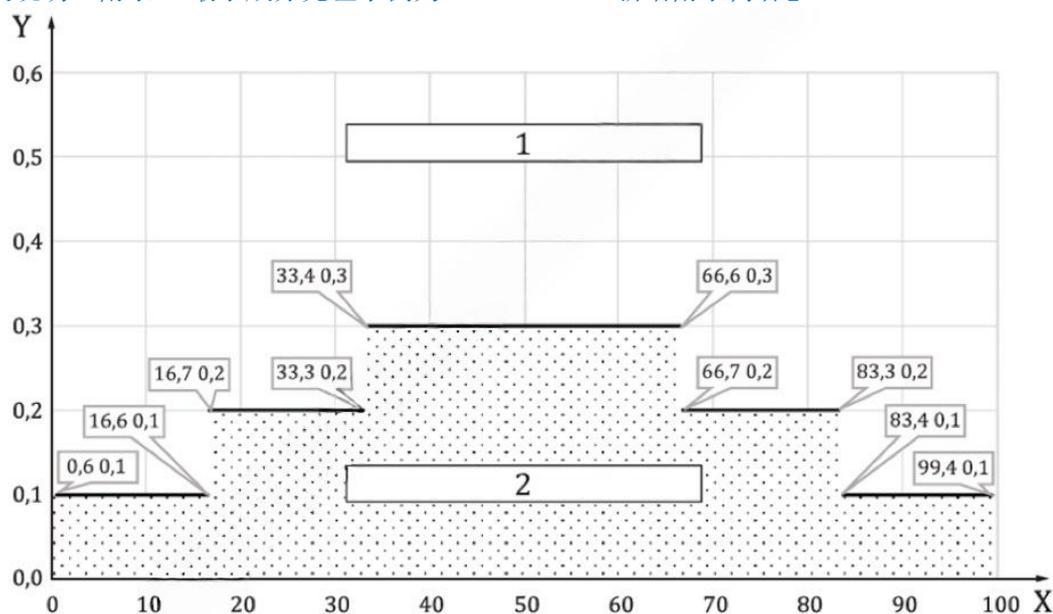


图 C.2 1(Z)-1, 2, 3, 3-四氟-1-丙烷或 HF0-1234ye (Z)

附录 D
(资料性)
最小成分允差示例

4.4.4 要求混合制冷剂成分根据其在混合制冷剂中的浓度具有不同级别的最小允差。这是为了维持标准中混合制冷剂分类的完整性，并确保混合制冷剂符合规定的允差要求。气相色谱法的测量不确定度的合理估计值为报告值的±0.25%。因此，最小允差确定为：名义浓度的0.6%或所有其他成分名义浓度总和的0.6%，取两者中较小值，并四舍五入至最接近的0.1% m/m，且不低于0.1%。成分浓度范围及对应最小允差值在4.4.4汇总，并见图D.1。本附录提供示例以阐明此要求。表D.1列举了提出的允差不符合4.4.4要求的三元混合制冷剂X的示例。成分A和C的最小允差为0.3% m/m，故该表对成分A提出的允差不可接受。成分B虽满足0.1% m/m的最小允差要求，但其允差需以0.1% m/m为增量进行定义。

【条文说明：附录D 最小成分允差示例为ISO 817:2014 新增附录内容】



标引说明：

- X——混合制冷剂中成分的名义浓度 (% m/m)；
- Y——最小允差± (% m/m)；
- 1——可接受的最小允差；
- 2——不可接受的最小允差。

图 D.1 混合制冷剂中成分相对于名义浓度的最小允差

表 D.1 制冷剂 X 的允差

制冷剂 X	浓度 (质量%)	允差
成分 A	40%	+0.2/-0.5
成分 B	10%	+0.15/-0.15
成分 C	50%	+0.5/-2.0

表 D.2 列出了另外两个示例：R-451A 和 R-410A。这两种混合制冷剂的所有成分允差均满足最小可接受允差要求。

表 D.2 最小可接受允差示例

制冷剂	浓度 (质量%)	成分允差	最小可接受允差
R-451A	R-134yf/134a (89.8/10.2)	(±0.2/±0.2)	(±0.1/±0.1)
R-410A	R-32/125 (50.0/50.0)	(+0.5, -1.5/+1.5, -0.5)	(±0.3/±0.3)

附录 E (规范性) 混合制冷剂的 ATEL 计算

E.1 混合制冷剂的 ATEL 计算

混合制冷剂的 ATEL 应设定为该混合制冷剂所有急性毒性浓度系数 (TCFs) 中的最低值。在本附录中, TCF a) 指向 8.1.3, TCF b) 指向 8.1.4, TCF c) 指向 8.1.5, TCF d) 指向 8.1.6。

每种混合制冷剂的急性 TCF 值均依据其各成分的急性 TCF 值, 通过混合物加和法计算得出。加和法特别适用于化学性质相似的物质, 例如烃类或卤代烃类。

混合制冷剂急性毒性应按公式 (E.1) 计算:

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

式中:

a_{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 (例如 4 小时 LC_{50});

x_n ——成分 n 的摩尔分数。

类似的, 混合制冷剂的敏感指标值 b_{blend} 可通过 $1/\sum x_n/b_n$ 和成分 n 的摩尔分数 x_n 来计算得出, 其中, b_n 是混合制冷剂中成分 n 的心脏敏感指标值 (即 100% 的 NOAEL, 或若未确定, 则取 80% LOAEL), 此方法同样适用于 8.1.3~8.1.6 的急性 TCFs。

如果混合制冷剂中各成分 n 的急性 TCF 均用百万分率表示, 且 x_n 表示混合制冷剂中成分 n 的摩尔分数, 则该混合制冷剂的每个急性 TCF 能用空气中物质的体积分数百万分率 (ppm) 表示。各成分的 TCF 应按第 8 章规定的优先级确定。因此各成分的 TCF 确定方法可能不一致, 例如成分 A 采用 100% 的 NOAEL, 成分 B 采用 80% 的 LOAEL。

【条文说明: 与 ISO 817:2024 相比, 将各成分的 TCF 确定规则由括号内移到正文, 并更正了优先级确定的章节号, 因为是第 8 章规定了各成分的 TCF 优先级, 第 7 章是制冷季分类与性能数据, 此处应该是笔误, 故更正为“第 8 章规定的优先级”】

E.2 单位换算

毒性值以多种不同单位表示。在 25 °C 下, 对于每个成分 n , 能使用公式 (E.2) 将百万分率 (ppm) 换算为毫克每立方米 (mg/m^3)。

$$a_{n,mg/m^3} = \frac{a_{n,ppm} \times M_n}{24.5} \dots \dots \dots (E.2)$$

式中:

$a_{n,mg/m^3}$ ——混合制冷剂中成分 n 的死亡率指标 (即 4 小时 LC_{50}), 单位为毫克每立方米 (mg/m^3);

$a_{n,ppm}$ ——混合制冷剂中成分 n 的死亡率指标 (即 4 小时 LC_{50}), 单位为百万分率 (ppm);

M_n ——成分 n 的相对摩尔质量;

24.5——摩尔换算为升的换算系数。

在 25 °C 下, 对于每个成分 n , 能使用公式 (E.3) 将毫克每立方米 (mg/m^3) 换算为百万分率 (ppm)。

$$a_{n,ppm} = \frac{a_{n,mg/m^3} \times 24.5}{M_n} \dots \dots \dots (E.3)$$

式中:

- $a_{n,ppm}$ ——混合制冷剂中成分 n 的死亡率指标（即4小时LC₅₀），单位为百万分率（ppm）；
- $a_{n,mg/m^3}$ ——混合制冷剂中成分 n 的死亡率指标（即4小时LC₅₀），单位为毫克每立方米（mg/m³）；
- M_n ——成分 n 的相对摩尔质量；
- 24.5——摩尔换算为升的换算系数。

E.3 示例：R-410A（50%质量分数 R-32/50%质量分数 R-125）的ATEL计算

用摩尔分数表示的R-410A的成分为(0.698摩尔分数R-32/0.302摩尔分数R-125)。用百万分率（ppm）表示的R-410A的死亡率指标值按公式（E.4）计算。

$$a_{b,R-410A} = \frac{1}{\frac{X_{R-32}}{a_{b,R-32}} + \frac{X_{R-125}}{a_{b,R-125}}} \dots\dots\dots (E.4)$$

式中：

- $a_{b,R-410A}$ ——R-410A的混合死亡率指标值，为216000 ppm；
 - X_{R-32} ——R-32的摩尔分数，为0.698；
 - $a_{b,R-32}$ ——R-32的LC₅₀或760000 ppm×0.283=215000 ppm；
 - X_{R-125} ——R-125的摩尔分数，为0.302；
 - $a_{b,R-125}$ ——R-125的LC₅₀或769000 ppm×0.283=218000 ppm。
- 用百万分率（ppm）表示的R-410A心脏敏感指标值按公式（E.5）计算。

$$b_{blendR-410A} = \frac{1}{\frac{0.698}{350000} + \frac{0.302}{75000}} \dots\dots\dots (E.5)$$

式中：

- b_{R-32} ——R-32的心脏敏感指标值NOAEL或350000 ppm；
- b_{R-125} ——R-125的心脏敏感指标值NOAEL或75000 ppm；
- b_{R-410A} ——R-410 A的心脏敏感指标值为166000 ppm。

【条文说明：此处的公式E.5直接改成了正确的公式，ISO 817:2014、ISO 817:2024、GB/T 7778-2017中均保留了原公式及正确的公式，没有必要，此处删掉了错误的公式，不影响使用】

用百万分率（ppm）表示的R-410A麻醉效应指标值按公式（E.6）计算。

$$c_{blendR-410A} = \frac{1}{\frac{0.698}{200000} + \frac{0.302}{567000}} \dots\dots\dots (E.6)$$

式中：

- c_{R-32} ——R-32的麻醉效应指标值NOAEL或250000 ppm×0.8=200000 ppm；
- c_{R-125} ——R-125的麻醉效应指标值NOAEL或709000 ppm×0.8=567000 ppm；
- c_{R-410A} ——R-410 A的麻醉效应指标值为249000 ppm。

注：未采用EC₅₀，因为R-32和R-125均无该数值；未采用LOAEL，因为R-32和R-125的LOAEL影响了超过半数（10/10和>5/10）的动物。若存在合法的EC₅₀、LOAEL或NOAEL值，则可能采用以下方案：对混合制冷剂的第一种成分采用EC₅₀，对第二种采用LOAEL，对第三种采用NOAEL，依此类推。

目前还没有已知的R-410A的损害逃生能力或永久性损伤效应的相关指标值d)。R-410A混合制冷剂的急性TCFs a)~c)中的最低值设为心脏敏感指标值b)，即166000 ppm。经保留有效数字两位后，R-410A的ATEL确定为170000 ppm。

附录 F

(资料性)

用于确定安全性分类、制冷剂浓度限值的数据以及未分类制冷剂的数据

用于确定安全性分类和制冷剂浓度限值的更新数据见网站 <https://standards.iso.org/iso/817/ma/en/> 上的表 E.1~E.3。

未分类制冷剂的更新数据见上述网站上的表 E.4~E.6。

【条文说明：此处的数据均指向了ISO 817的公开网站，可免费获取表格数据，网站上的表 E.1~E.6 对应于上一版的表 E.1~E.6】

附录 G
(规范性)
制冷剂分类与特性

制冷剂的分类依据网站<https://standards.iso.org/iso/817/ma/en>上的表C.1、C.2和C.3进行划分。

【条文说明：此处的数据均指向了ISO 817的公开网站，可免费下载获取表格数据，网站上的表C.1~C.3对应于上一版的表5~7】

参考文献

- [1] ISO 10298 Gas cylinders — Gases and gas mixtures — Determination of toxicity for the selection of cylinder valve outlets
- [2] DIN 51649-1: 1986 Determination of explosion limits of gas mixtures
- [3] UL 2182, *Refrigerants*
- [4] 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, 141 298–307
- [5] 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
- [6] Takizawa, K. Igarashi, N., Tokuhashi, K., Kondo, S., Mamiya, M., Nagai, H. ASHRAE, Assessment of Burning Velocity Test Methods for Mildly Flammable Refrigerants, Part 2: Vertical-Tube Method, in: *ASHRAE Transactions 2013, Vol 119, Pt 2, 119, 2013, 255-264*
- [7] Takizawa, K., Igarashi, N., Tokuhashi, K., Kondo, S., Mamiya, M., Nagai, H. ASHRAE Research Project Report RP-1583, ASHRAE, Atlanta, GA, 2017, 74
- [8] Tillner-Roth, R. and Baehr, H.D., An international standard formulation of the thermodynamic properties of 1,1,1,2-tetrafluoroethane (HFC-134a) for temperatures from 170 K to 455 K at pressures up to 70 MPa, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 23:657-729, 1994
- [9] Jabbour T. Flammable Refrigerant Classification Based on the Burning Velocity, Thesis, Ecole des Mines de Paris, France, June 2004
- [10] Guénoche H. Laffitte P. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 222.12 Juin 1946, 1394–1396
- [11] Guénoche H., Manson N, Monnot G. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 226. 5 Jan. 1948, 69-71
- [12] Guénoche H., Manson N., Monnot G. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 226.12 Jan. 1948, 163-164
- [13] Guénoche H. Non-steady flame propagation (Ed. G. H. Markstein), Chapter E. AGARD, Pergamon, 1964
- [14] Babrauskas V. *Ignition Handbook*. Fire Science Publishers, 2003
- [15] 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, 145, 1–15
- [16] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents