

# 船舶氨制冷机舱氨气浓度报警限值分析

黄建

(宁波市鄞州区港航管理中心, 浙江 宁波 315708)

**摘要:** 氨对臭氧层破坏能力潜能值和全球变暖潜能值均为零, 是氟利昂类制冷剂的最佳替代制冷剂。氨有毒性, 会对人身体造成危害, 在工作场所需要设置报警系统预警。本文通过对比分析国外各大船级社对氨泄漏各级报警值和采取应急措施的规定, 结合氨的时间加权平均容许浓度 (PC-TWA), 提出我国船舶规范氨制冷系统中氨泄漏的各级报警值和紧急措施, 供行业参考。

**关键词:** 氨; 制冷剂; 泄漏报警

**中图分类号:** U698

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006—7973 (2021) 10—0042—03

## 1 引言

氨 (Ammonia,  $\text{NH}_3$ ) 是一种无机化合物, 是一种天然制冷剂 (R717)。1859 年 Ferdinand Carré 研发出氨吸收式制冷机开始, 氨应用于制冷技术已百余年<sup>[1]</sup>。氨有毒性, 用浓度达到一定时有爆炸危险, 用作制冷剂时, 受到较大限制。

氟利昂类制冷剂对大气臭氧层破坏严重, 国际上已完全禁用 CFC、逐渐限制使用 HCFC 类制冷剂<sup>[2]</sup>。《国际防止船舶造成污染公约》附则 VI “关于防止船舶造成空气污染规则” 对海洋船舶使用消耗臭氧层的制冷剂也加大限制使用力度。氨对臭氧层破坏能力潜能值 (ODP) 和全球变暖潜能值 (GWP) 均为零<sup>[3]</sup>。通过图 1 和图 2 对几种常用制冷剂的 ODP 和 GWP 的比较<sup>[4]</sup>, 可知氨制冷剂 (R717) 最为环保, 对自然环境不存在破坏性。

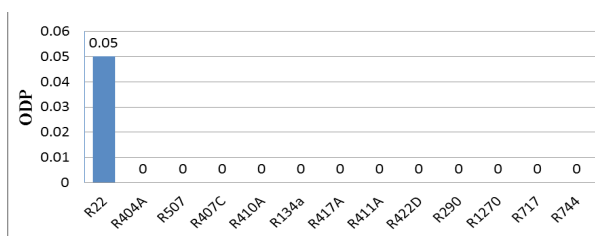


图 1 几种常见制冷剂 ODP 的比较

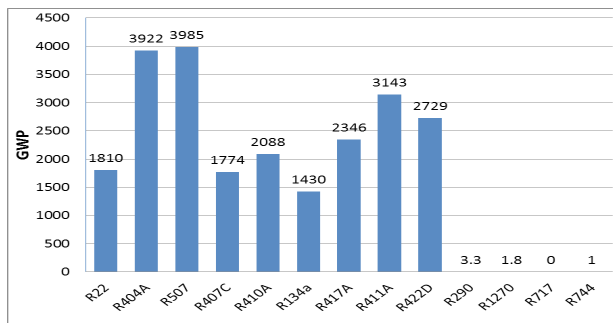


图 1 几种常见制冷剂 GWP 的比较

氨作为替代制冷剂, 联合国环保组织 (UNEP) 肯定了氨作为替代制冷剂<sup>[5]</sup>。

鉴于氨对自然环境的友好性, 我国渔业专家提倡将氨作为制冷剂在渔船制冷系统推广。2015 年颁布的《钢质海洋渔船建造规范》取消了“有限航区的渔船, 其冷藏鱼舱总舱容如小于  $500\text{m}^3$  时, 可使用氨直接蒸发的排管冷却系统”的限制, 允许氨制冷剂直接蒸发式制冷应用于任何舱容。加大了氨制冷剂在渔业船舶上的适用范围。

按照美国供暖制冷空调工程师协会标准<sup>[6]</sup>将制冷剂的相对安全性综合考虑, 氨的毒性为 B 类, 即高毒性 (共划分为 A、B 两类, A 类为低毒性, B 类为高毒性)。氨具有刺激性气味且有一定的毒性和可燃性<sup>[7]</sup>, 在其安全性分类中属于 B2 类制冷剂<sup>[8]</sup>。当其积聚的浓度达到一定限度时, 会对人体造成一定的危害。为了降低危险事故发生, 减轻人员受伤, 各国船舶规范中明确规定, 人员工作的氨制冷机舱和直接蒸发式冷藏舱室应设置氨气报警装置, 当空气中氨气的浓度达到某设定值时, 应激活报警装置并发出报警信号。可是, 各国船舶规范对氨气报警浓度的设定值有所不同, 为了明确合理的氨气报警浓度的设定值, 本文对国际十大船级社的氨气报警浓度的设定值进行了对比分析, 同时分析了陆用制冷相关标准的氨气报警浓度的设定值, 提出我国船舶的氨气报警浓度的设定值, 为我国船舶氨制冷系统规范的编制提供借鉴。

## 2 氨的职业接触限值

### 2.1 职业接触限值

职业接触限值是指职业性有害因素的接触限量

值。化学有害因素的职业接触限值包括时间加权平均容许浓度、短时间接触容许浓度和最高容许浓度三类<sup>[9]</sup>。

2.2 工作场所氨的容许浓度

在文献<sup>[9]</sup>规定工作场所空气中氨的容许浓度见表1。

表1 氨的容许浓度表

| 中文名 | OELs(mg/m <sup>3</sup> ) |         |
|-----|--------------------------|---------|
|     | PC-TWA                   | PC-STEL |
| 氨   | 20                       | 30      |

通过单位换算，将 mg/m<sup>3</sup> 换算为 ppm 得：

(1) 氨的时间加权平均容许浓度 (PC-TWA) 为 26.4ppm。

(2) 氨的短时间接触容许浓度 (PC-STEL) 为 39.5ppm。

2.3 氨对人体的危害

氨可被人感觉的最低浓度为 5.3 ppm，氨各种浓度下对人体的危害情况见表2。

表2 各种浓度下氨对人体的危害<sup>[10]</sup>

| 浓度 (PPm) | 对人体危害                   |
|----------|-------------------------|
| 0~25     | 对眼睛和呼吸道的最小刺激            |
| 25~50    | 允许的暴露浓度 (OSHA、ACGIH)    |
| 50~100   | 眼睑肿起，结膜炎，呕吐，刺激喉咙        |
| 100~500  | 高浓度时危险，刺激变得强烈，稍长时间会引起死亡 |

注：OSHA 为美国职业安全与健康管理局 (Occupational Safety and Health Administration)；ACGIH 美国政府工业卫生学家会议 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)。

3 各船级社氨泄漏报警值

国际各大船级社规范均明确规定在制冷舱室内、外设有带有报警装置的固定式氨探测系统。从泄漏提醒，紧急通风，防止爆炸三个层次，将探测器设定为3级报警，各船级社规定的氨泄漏报警值见表3。各船级社规范在氨泄漏浓度达到各级报警值时采取的措施如下：

(1) 美国船级社 (ABS)：当氨的浓度超过 25 ppm，探测器激活听觉和视觉报警。当氨的浓度超过 300ppm，在制冷机空间的探测器将停止制冷设备运行，并激活气体排出系统。在连续载人的处所需提供额外的氨蒸气探测器报警设备，如果氨浓度超过 500ppm，将被从安全阀排出管排出<sup>[11]</sup>。

(2) 挪威船级社 (DNV)：当氨的浓度高于 150 ppm 初始泄漏报警；氨的浓度高于 350 ppm 开始排风及疏散空间；氨的浓度高于 5000 ppm 断开所有非防爆电

器，关闭制冷循环泵，切断制冷剂供应。关闭相关要求的阀门<sup>[12]</sup>。

(3) 日本船级社 (NK) 和韩国船级社 (KR)：当氨的浓度高于 25 ppm 时，自动开启警报系统；当氨的浓度高于 300 ppm 时，自动停止冷冻装置运转气体驱逐系统，开启二级警报系统；当氨的浓度达到 4.5 % 时，可切断冷冻装置室的电气设备，并动运转三级警报装置<sup>[13-14]</sup>。

(4) 德国船级社 (GL)：当氨的浓度高于 50 ppm 报警；当氨的浓度高于 300 ppm 时，自动停止冷冻装置<sup>[15]</sup>。

(5) 俄罗斯船级社 (RS)：当氨的浓度高于 20mg/m<sup>3</sup> 激活警报；当氨的浓度高于 60mg/m<sup>3</sup> 开启除冷库外的应急通风；当氨的浓度高于 500mg/m<sup>3</sup> 禁止不带防护装备进入<sup>[16]</sup>。

(6) 英国船级社 (LR)：当氨的浓度超过 25 ppm，在长期有人的位置处发出报警<sup>[17]</sup>。

(7) 中国渔检 (ZY)：在人员相对比较集中的加工区域及速冻间，应至少各安装 1 只泄漏探测器，当氨气浓度超过 50ppm 时，探测器应发出报警。当氨的浓度超过 150ppm 时，探测器发出报警，并自动启动风机；当氨的浓度超过 5000ppm 时，应自动停止氨制冷压缩机和氨泵，关闭氨输送管路上的速闭阀门并发出声光报警。监控和报警系统在集控室内和制冷机室外发出声光报警；当氨气浓度超过 10000ppm 时，关闭所有氨制冷装置处所内的非防爆电气设备<sup>[18]</sup>。

表3 各船级社规定的氨泄漏报警值表

| 船级社名称 | 1 级报警值                         | 2 级报警值                         | 3 级报警值                         |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| ABS   | 25 ppm                         | 300 ppm                        | 500 ppm                        |
| BV    | —                              | —                              | —                              |
| DNV   | 150 ppm                        | 350 ppm                        | 5000ppm                        |
| GL    | 50 ppm                         | 300 ppm                        | —                              |
| KR    | 25 ppm                         | 300 ppm                        | 气体浓度达到 4.5 % 时                 |
| CCS   | —                              | —                              | —                              |
| LR    | 25 ppm                         | —                              | —                              |
| NK    | 25 ppm                         | 300 ppm                        | 气体浓度达到 4.5 % 时                 |
| RS    | 26.4ppm (20mg/m <sup>3</sup> ) | 79.8ppm (60mg/m <sup>3</sup> ) | 660ppm (500mg/m <sup>3</sup> ) |
| RINA  | —                              | —                              | —                              |
| ZY    | 50ppm (人员相对比较集中的加工区域及速冻间)      | 5000ppm                        | 10000ppm                       |

对比各船级社的 1 级报警值可知：ABS，LR，

KR, NK 最为严格为 25ppm, RS 为 26.4 ppm (20mg/m<sup>3</sup>)。可见, ABS, LR, KR, NK 和 RS 的氨泄漏 1 级报警值均符合文献<sup>[9]</sup>中规定的时间加权平均容许浓度值 (TWA) 26.4 ppm 的要求。而 GL、DNV 和 ZY 的 1 级报警值均大于 26.4 ppm。法国船级社 (BV)<sup>[19]</sup>、中国船级社 (CCS)<sup>[20]</sup> 和意大利 (RINA)<sup>[21]</sup> 对探测器的报警值没有明确要求。

在《工业企业设计卫生标准》<sup>[22]</sup> 中明确规定了车间中氨的最高容许浓度为 30mg/m<sup>3</sup>, 与文献<sup>[9]</sup>所规定氨的短时间接触容许浓度 (PC-STEL) 30mg/m<sup>3</sup> 相一致。相比之下, ZY 规定 50ppm 的 1 级报警值高于《职业场所有害因素职业接触限值 化学有害因素》所规定氨的短时间接触容许浓度 (PC-STEL) 30mg/m<sup>3</sup> (39.5ppm), 同时也高于美国政府工业卫生学家会议 (ACGIH) 氨的短时间接触容许浓度 (PC-STEL) 35ppm 的要求<sup>[23]</sup>。

船舶空间狭小, 逃生相对困难, 且渔业船舶船员在冷藏舱内作业时间较长, 氨浓度的 1 级警报值应以时间加权平均容许浓度 (TWA) 为基准。《职业场所有害因素职业接触限值 化学有害因素》<sup>[9]</sup> 和美国政府工业卫生学家会议 (ACGIH)<sup>[23]</sup> 所规定氨的时间加权平均容许浓度 (PC-TWA) 分别为 26.4ppm 和 25ppm。可见 ABS, LR, KR, NK 和 RS 的氨泄漏 1 级报警值均以该值为参考。在此浓度下, 操作人员即便不采取任何防护手段, 也有充足的时间在不影响健康的前提下采取简单的处理措施并逃生。

#### 4 建议

船舶氨制冷机舱和冷藏舱室的安全监测系统的报警值设置应从加强劳动保护, 防止职业危害, 保障人员身体健康考虑。综合分析各船级社氨制冷装置报警系统的 3 级报警值和采取应急措施, 建议我国船舶氨制冷装置报警系统中的各级报警值和采取应急措施如下:

(1) 当氨气浓度超过 25ppm 时, 探测器开启 1 级报警系统;

(2) 当氨气浓度超过 300ppm 时, 探测器应自动停止氨制冷压缩机和氨泵, 关闭氨输送管路上的速闭阀门并开启 2 级声光报警系统, 并激活气体排出系统。监控和报警系统在集控室内和制冷机室外发出声光报警;

(3) 气体浓度达到 4.5 % 时, 可以切断冷冻装置室的电气设备, 并开启 3 级警报系统。

参考文献:

- [1] 邱忠岳. 世界制冷史 [M]. 北京: 中国制冷学会, 2001: 9-34.
- [2] 杨一凡. 氨制冷技术的应用现状及发展趋势 [J]. 制冷学报, 2007, 8. Vol28, No4. pp:12 ~ 19.
- [3] 龚毅. 论重新认识氨制冷剂的作用 [J]. 郑州纺织工学院学报, 1997, 4. Vol8, 增刊. pp:1 ~ 4.
- [4] Alexander Cohr PACHAI, 齐晓霞, 奚晔, 徐小娇. 氨制冷系统的安全设计和维护分析 [J]. 制冷技术, 2014, 6. Vol34, No3. pp:1 ~ 7.
- [5] 丁云飞, 冀兆良. 氨制冷剂在空调冷源中的应用前景分析 [J]. 制冷学报, 2000(1):43-46.
- [6] ANSI/ASHRAE34-1997. 美国供暖制冷空调工程师协会标准 [S].
- [7] HG20660, 压力容器化学介质毒性危害和爆炸危险程度分类 [S].
- [8] GB/T7778-2001, 制冷剂编号方法和安全性分类 [S].
- [9] GBZ 2.1-2007, 职业场所有害因素职业接触限值 化学有害因素 [S].
- [10] 赵岐华. 关于氨制冷机房氨气气体浓度报警装置报警浓度的设置 [J]. 制冷与空调, 2014, 1. Vol11, No1. pp:83 ~ 84.
- [11] 美国船级社. 船舶建造与入级规范 [M]. 2013.
- [12] 挪威船级社. 船舶入级规范和规则 [M]. 2007.
- [13] 日本船级社. 钢质船舶入级规范和规则 [M]. 2013.
- [14] 韩国船级社. 钢质船舶入级与建造规范 [M]. 2012.
- [15] 德国船级社. 钢质船舶入级规范 [M]. 2007.
- [16] 俄罗斯船级社. 钢质船舶入级与建造规范 [M]. 2013.
- [17] 英国劳氏船级社. 船舶入级规范和规则 [M]. 2007.
- [18] 中华人民共和国渔业船舶检验局. 关于氨直接蒸发制冷系统的补充要求. 国渔检通函 (2014) 第 1 号, 总第 2 号. 2014.
- [19] 法国船级社. 钢质船舶入级规范 [M]. 2007.
- [20] 中国船级社. 钢质船舶入级规范 [M]. 2012.
- [21] 意大利船级社. 船舶入级规范 [M]. 2014.
- [22] GBZ1-2010 中华人民共和国国家职业卫生标准 工业企业设计卫生标准 [S].
- [23] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). TLVs and BEIs. America [M]. 2010.