

制冷系统中氟里昂回收净化机的研制

徐顺棋 朱晓军 朱锡 冯文山 贾云平

(海军工程学院)

摘要 从制冷系统所用的氟里昂(F₁₂、F₂₂)等制冷剂跑逸带来的经济上的损失和对环境的污染出发,介绍了一种体积小、重量轻、便携带、通用性好、成本低、回收质量高的船用氟里昂回收净化机的研制过程,它有广阔的应用领域。

关键词 制冷系统 氟里昂(F₁₂、F₂₂) 回收 净化

1 前言

船舶大都有冷藏系统,随着居住性要求的提高,有越来越多的船舶增装了空气调节系统。这些冷藏系统和空气调节系统除少数船舶使用氨制冷以外,均使用氟里昂作为制冷剂。

这些制冷系统与船舶同步进行计划修理,或由于出现故障而进行临时修理。在修理中,往往会有意或无意地放掉氟里昂。如拆检系统,要先放掉系统中的氟里昂;压缩机出现故障无法工作而又必须拆检系统时,只好放掉氟里昂;系统完好情况下的检修,虽可以将氟里昂灌入贮液罐,但安装完毕后,需全系统开通进行试压与检漏,而系统有漏泄时,氟里昂也将跑逸等等。

船上的制冷系统,由于工作条件较差,虽经气密性试验合格,但工作一段时间后,经常有不可避免的漏泄,氟里昂仍将不断的跑逸,时间越长,跑逸的越多。例如空调系统,其在秋、冬、春三季节中并不使用空凋制冷系统来制冷,系统中的氟里昂将无谓的跑逸。

船舶冷藏和空调系统中氟里昂的跑逸,首先带来经济上的损失。一艘船的空调系统氟里昂量达数百公斤,冷藏系统氟里昂总量也达数十公斤,这样,一艘船的氟里昂一次充注费用近万元。另外,泄放的氟里昂沉积在舱内,会造成船员窒息而伤亡;遇到明火、吸烟会生成光气。更主要的是环境的污染,逸入大气中的氟里昂已经造成离地面15~50公里处的大气平流层中臭氧浓度减小,出现日趋严重的“空洞性”损害,致使太阳光的超量紫外线长驱直入地球,直接危害人类的健康,破坏生态

平衡,使绿色植物减产,大量牲畜死亡,人类莫名其妙疾病的发生……氟里昂的破坏作用已成为各国极为关注的一大“公害”,人类受到严重的威胁。1989年联合国《赫尔辛基宣言》正式将氟里昂列为受控物质。1993年,第四届《蒙特利尔议定书》缔约国部长会议决定,对生产和使用氟里昂的控制提出更严格的要求。1993年联合国在巴西召开了联合国环境与发展大会,李鹏总理在会上庄严宣布:坚决同国际社会一起共同寻求解决全球环境与发展问题的途径。1994年2月,国务院公布了《中国消耗臭氧层物质逐步淘汰国家方案》,由国务院13个有关部、委、局组成保护臭氧层领导小组,确定建立氟里昂循环回收行业,近期要建立1200个回收点,到远期要建立5600个回收点,并要在北京、上海建立再生中心。因此,研制适用船舶冷藏和空调系统中氟里昂的取出回收和净化装置是非常必要和十分迫切的。

船舶制冷系统中的氟里昂取出回收装置应该是重量轻、体积小、便携,在需要取出制冷系统中的氟里昂时,能方便地携带登船,较轻易出入舱口,通过水密门,能在狭小的空间进行操作。取出回收装置还应该通用,能适用于各种船型制冷装置。回收的氟里昂应该是质量高,符合国家规定的制冷剂标准,能够继续直接应用在制冷系统中。这种取出回收装置应该成本低,价格便宜,才能适应船舶及修理厂所分散的特点,广泛配备,将制冷系统中氟里昂取出回收。

课题组通过对国内外制冷剂管理的有关资料的分析,搜集船用制冷系统的结构、原理、功能及所使用的制冷剂,调研了制冷系统中氟里昂取出的通道、接口并确定了适当的抽取速率,最后制定了轻便、易于操作的取出装置方案。经过多次的试验、

收稿日期:1997-07-03

改进,最后研制了本装置。

本装置在实验室条件下,进行了制冷剂抽取过程的多次模拟试验,证明该装置能保证制冷剂顺利的抽取,制冷系统中的氟里昂能全部抽出。

本装置对净化处理进行了模拟试验,试验条件较船舶实际工作状况恶劣,净化处理试验结果表明,回收的氟里昂达到国家标准(GB7372-87)规定的制冷剂的标准。

装置在完成实验室试验的基础上,经过实船试验,抽取效果令人满意。

海军组织的鉴定会上,专家一致结论为:本装置综合了国内外的先进经验,针对船用特点,在高纯度、轻型化等方面,达到国际同类产品90年代先进水平,居国内领先地位。现已投入小批量生产,装备部队。

2 本装置的基本组成及性能

表1 回收装置的主要性能

压缩机类型	往复式压缩机	旋转式压缩机
功率	0.245 kW	0.551 kW
电压	220 V	220 V
适用制冷剂	F ₁₂	F ₂₂
抽取速率	18 kg/h	25 kg/h
干燥过滤器	D = 7.1 cm	L = 22 cm
干燥剂种类	纳4A分子筛	
一次更换干燥剂或重新活化可处理氟里昂重量	600 kg	
主机尺寸	420 × 280 × 630	
主机重量	< 30 kg	
环境温度	0 ~ 60 °	0 ~ 50 °

本装置由蒸馏冷凝器、压缩机、干燥过滤器、压力控制器、充注限量报警器等组成。

本装置的主要技术指标见表1。

3 制冷剂种类的确定

船舶制冷系统及所用的氟里昂制冷剂计有F₁₁、F₁₂、F₂₂。这三种氟里昂按其在常压下的饱和温度及常温的饱和压力大小,可分为两类。F₁₁在常压下的沸点为31,属高温制冷剂。即常温下是液体,可以自流泄放取出。F₁₂、F₂₂在常压下的沸点分别为-29.8和-41,属中温(中压)制冷剂,在常温下是有一定压力的气体,不能自流泄放,

应有专门的取出回收装置。本装置确定以F₁₂、F₂₂为取出回收对象。现有船舶的绝大多数是使用F₁₂的,但在新型船舶中,有逐步增加使用F₂₂的趋势。因此,本装置取出制冷剂的对象以F₁₂为主,兼顾F₂₂。

4 制冷剂取出速率的确定

制冷剂取出速率的确定,关系到设备的重量、尺寸、成本和工作效率。取出速率越高,工作效率越高。但设备和重量,尺寸和成本也就越高。反之,设备轻巧,利于便携,但工作效率较低,取出时间较长。

从另一方面看,氟里昂的取出工作不是经常性的,每年最多一次(包括秋凉季节从空调系统中取出制冷剂)。因此,太高的效率是不必要的,反而会降低装置的费效比和设备的利用率。

船舶单机的制冷剂量多数在100 kg以下,单船总量在300 kg以下。因此,考虑到船用制冷系统中氟里昂取出回收装置应该体积小、重量轻、便携,成本低的要求,确定单机抽出时间在6 h以内是合适的,即抽取速率大于每小时18 kg。

5 氟里昂取出口的确定

目前以F₁₂、F₂₂为制冷剂的船用空调、冷藏等制冷设备有近四十多种。

要提高抽取速率必须抽取氟里昂液体。要抽取液体必须从储液罐的出口中抽取。绝大多数制冷系统的氟里昂充注口,设在系统储液灌的出口处,氟里昂液体可以直接注入储液罐或经干燥过滤器再经蒸发器进入压缩机吸气口,然后充满全系统。对于这些系统,从氟里昂注入口可直接抽取氟里昂液体。而且从系统设计本身来看,氟里昂出口管不伸到储液罐底,这样虽然不能把氟里昂液体全部取尽,但这是为了不致使罐底的油水及杂质等进入干燥过滤器和蒸发器而影响制冷系统的正常工作,这对氟里昂取出回收装置的工作也是有利的,可以保证干燥过滤器一直工作在较为有利条件下。当从储液罐中把氟里昂液体抽出后,所剩余不多的液体将以气化蒸发的形式被抽出,从而使含杂质较多的氟里昂将在储液罐中得到分离。

另有一些装置,其氟里昂充注口设在压缩机的出口处,经过冷凝器后进入储液罐,入口管在罐上部,不可能从储液罐抽取液体。对于这些装置,其

储液罐的出口没有设置与外界可以直接相通的出口,但其多个干燥过滤器的前后均设置控制阀,以保证使用中更换干燥过滤器。因此,关闭干燥过滤器的前后截止阀,卸下干燥过滤器,连上适当的抽取接口,仍可方便地进行氟里昂液体的抽取。

总之,为了提高抽取速率,从储液罐的出口处取出氟里昂液体是切实可行的。

6 工作压力的确定及安全性保证

根据规范要求,船用制冷系统工作温度为 $5 \sim 50$ 。从 0 到 50 , F_{12} 的压力为 $30.86 \times 10^4 \sim 121.6 \times 10^4$ Pa, F_{22} 的压力为 $49.89 \times 10^4 \sim 196.29 \times 10^4$ Pa,考虑到以 F_{12} 为主,兼顾 F_{22} ,故取设计工作压力为 196×10^4 Pa。这样,对于 F_{12} ,本装置可以在 60 的环境中工作。

装置工作的安全性保证措施:

(1) 蒸馏冷凝器制造工艺中,严格控制板厚的负公差,对焊缝进行严格探伤检查,并进行 2.94 MPa 压力的强度试验,确保蒸馏冷凝器的强度。

(2) 面板上设置高、低压压力表,操作人员可以随时监视系统内的压力,及时采取措施,控制压力不超过 2.0 MPa。

(3) 用磅秤对氟里昂灌注瓶的灌注量监视,当接近额定灌注量时,自动铃声报警。考虑到现场可能声音嘈杂,面板上同时装有红灯报警。

(4) 设置压力控制器,调整安全压力为 2.0 MPa 压力,当系统中压力超过 2.0 MPa 时,自动切断电源,保证系统安全。

7 净化功能

制冷系统在运行中,压缩机中会有部分金属粉末磨损下来,混在制冷剂中;另外,虽然制冷系统一直处在高于一个大气压的状态,氟里昂会通过缝隙泄漏出去,水气不可能直接渗入,但是还会有种种因素,混入少量水份;再者,压缩机的润滑油与氟里昂直接混合和互相溶解,氟里昂中混有一定量的油。因此,对于取出的氟里昂进行必要的处理,过滤、干燥和去油,保证制冷剂的纯度和洁净,使系统能正常工作。

脱油最常用的有效方法是蒸馏。本装置采用蒸馏方法,利用氟里昂低沸点的特点,在蒸馏冷凝器中进行蒸馏,有效的脱去氟里昂中的油及部分杂质。

脱水,采用干燥过滤器,用钠 $4A$ 分子筛脱水。

干燥剂的品种很多,常用的有无水氯化钙,硅胶和分子筛等。无水氯化钙吸潮后会溶解成糊状,很容易混入氟里昂中,影响制冷剂的使用。硅胶的吸水性高,可达自身重量的百分之五十,并且可以加热去潮后再用,但其吸水后会碎裂,而且高纯度较难达到。分子筛不仅可以加热去水活化再用,而且强度较大,特别是在水份低浓度下,分子筛仍有很高的吸附能力,因此,采用钠 A 型($4A$)分子筛。

干燥过滤器同时起到进一步去除杂质的作用。

试验结果表明,经过净化,润滑油及残渣从 1.39% 降为 0.01% ,水份从 42×10^{-6} 降为 10×10^{-6} ,达到一级品要求,符合关于制冷剂的国家标准要求。

8 本装置的主要特点

根据《中国消耗臭氧层物质逐步淘汰国家方案》要求,国家环境保护局、国内经贸部、轻工部、机械部和化工部等组成“CFC回收与再循环国外考察团”对国外进行了全面的考察。90年代以来,国外对CFC回收,再循环技术发展很快,已有许多厂家生产氟里昂回收装置,在第四次国际制冷设备展览会上,展出了美国的CFC回收装置,以后国内也有关于CFC回收的报导,以及商品化的广告。

本装置与上述装置相比有下列优点:

(1) 集回收与净化于一体,净化质量高。

FHZ-A型氟里昂回收再生机,利用硅胶作干燥过滤器,处理后残油含量为 0.1% ,水份含量 25×10^{-6} ,均未能达到GB7372-87所规定的制冷剂标准。而本装置采用蒸馏分离器和油分离器两级去油去杂质,采用分子筛干燥过滤器去水,大大提高净化质量。

(2) 直接提取液体氟里昂,抽取效率高。

前述FHZ-A型氟里昂回收再生机虽然也从贮液罐抽取,但必须从显示器观看过液情况,“如果发现有过液情况,立即关闭压缩机,反复几次直到没有过液现象再连续运转压缩机”。实际上是氟里昂在系统中蒸发,操作复杂、效率低。而本装置使用蒸馏冷凝器避免了以上问题。

(3) 将蒸馏、冷凝合并为一,节省能源,体积小、重量轻。

现将国内外研制生产的几种取出回收装置加以比较,如表2。

(4) 成本低、经济性好。

意大利 Mavre 公司带净化器的回收装置价格 1 815 美元,折合人民币 1.5 万元,美国的还要高出 5 倍,本装置仅为意大利 Mavre 公司的价格的一半。

表 2 几种回收装置的比较

产品规格	体积 (cm ³)	重量 (kg)
本装置	420 × 680 × 240	< 30
FHZ - A	1150 × 770 × 1450	93
长汽装置	620 × 508 × 1193	127
RRH400 型	760 × 460 × 570	44
英国 RU9	470 × 606 × 380	30

总之,本装置综合运用国内外先进经验,针对船用的特点,在高纯度、轻型化等方面,已经达到国际先进水平。

9 本装置的应用前景

本装置具有适用性广,轻巧灵便之功能,价格低廉,因此对于有空调的船舶可以每船一台,秋凉时将制冷系统中的氟里昂取出,至炎热季节到来之

前,再灌入氟里昂,以减少系统中的漏泄导致的经济损失和环境的污染。

本装置可以配备到各修理厂、修理所,在船舶制冷系统检修前、试漏发现有漏泄时,将系统中的氟里昂取出。

本装置可定期对制冷系统中的氟里昂进行净化,恢复其性能,保证制冷系统的正常工作,节省经费开支,减少环境污染。

全国有制冷空调生产厂家 300 余家,直接消费氟里昂企业 130 家,1991 年作为制冷剂消费氟里昂 11 371 t。现有冰箱生产线 70 多条,年生产能力为 1 200 万台,1991 年生产家用冰箱冰柜 570 万台,消费氟里昂制冷剂 1 498 t。全国有冰箱冰柜维修网点约 40 000 个,汽车空调维修网点 400 多个,工业商业维修网点 8 000 多个。这些冰箱冰柜的维修点在修理过程中,氟里昂的取出,回收是有益的。

另外,国家将计划近期开始限制氟里昂的生产,2000 年减少生产 8.9 万吨氟里昂,至 2010 年全部停止生产氟里昂。因此,将制冷系统中的氟里昂取出净化,以保证完好的氟里昂为制冷剂的制冷系统继续工作,具有较好的经济效益和社会效益。

武昌造船厂研制的国内首套 潜水助推器试验成功

多年来,潜水员由于体能、载氧量等因素的限制,无法在水底长时间和自由地作业。近日,这一难题被武昌造船厂深潜分厂成功地解决了。

该分厂研制成功的国内首套潜水助推器试验结果表明:该装置可大大减轻潜水员的体力消耗,降低耗气量,成倍增长潜水员在水下活动时间和机动性。

这套名为 WSS—DPV—I 型的潜水助推器设计深度为 50 m,水下连续作业可达 45 min,并可自由改变潜游方向及深度。潜水员潜水时只要握住助推器平衡杆触点,助推器就可以“牵引”潜水员前

进,在潜水员自身不做推进运动时,时速可达 1 kn (即每秒 0.5 m)。

刚刚受到中央军委表彰的海军工程学院抗洪抢险英雄潜水分队的 4 名队员在武昌银光湖室内游泳池试用了该装置。用后他们认为有了这套装置,潜水员潜游的确轻松自如多了。

据悉,目前世界上仅有美、英、德等少数国家研制成功了该装置。国内潜水方面的专家称:武船研制的这套潜水助推器具有广泛的军用、民用和水下旅游价值。

杨国安