

离心式冷水机组的制冷剂选择

James M. Calm

(Engineering Consultant)

摘要 描述冷水机组特别是大型机组最常用的替代制冷剂。总结了蒙特利尔议定书所制定的制冷剂淘汰时间表。对冷水机组(压缩式与吸收式)目前所使用的制冷剂进行探讨,包括大气寿命、*ODP*与*GWP*。概述了离心式冷水机组的最低能效标准。对主要的制冷剂进行科学评估。介绍了除R-123以外的其他替代制冷剂。研究表明,R-123作为目前离心式冷水机组应用最广泛的制冷剂,其*ODP*与*GWP*较低,且大气寿命短,放射率低,效率高。对中国而言R-123至少在未来的几十年内仍具有非常显著的环境和经济优势。

关键词 制冷剂 空调 制冷 冷水机组 效率 *ODP* *GWP*

Refrigerants option for centrifugal chillers

James M. Calm

(Engineering Consultant)

ABSTRACT Examines the most commonly used refrigerant options for chillers specifically for the type used in large systems. Summarizes refrigerant phaseout schedule under the Montreal Protocol. Tabulates and discusses current refrigerant selection for chillers by compression type and for absorption chillers. Presents and discusses atmospheric lifetime, ozone depletion potential (*ODP*), and global warming potential (*GWP*) data for refrigerants. Outlines minimum efficiency standards for centrifugal chillers. Summarizes scientific assessments of leading refrigerants. Concludes that good alternatives exist for most chiller refrigerants other than R-123. Notes that R-123 has a favorable overall impact on the environment based on its low *ODP*, very low *GWP*, very short atmospheric lifetime, low emission rates, and very high efficiency. R-123 offers important environment and economic advantages for China for at least several more decades.

KEY WORDS refrigerant; air-conditioning; refrigeration; chillers; efficiency; *ODP*; *GWP*

由于空调、热泵和制冷系统中使用的大多数制冷剂对臭氧层的破坏及其对全球气候变暖的影响,已引起人们对环保问题的关注。同时,制冷剂的选择将极大地影响运行效率,从而影响能耗及其燃料在燃烧过程中产生的温室气体排放。另外制冷剂的选择还会影响安全性、寿命和成本。目前已经发现一些性能良好的替代物,可以满足大多数的制冷应用。制冷剂更换对中国尤其具有深远的意义,因为中国已经是一个主要的制冷剂及其空调和其他制冷设备的消费市场和制造中心,而且有望成为世

界上最大的市场和制造中心。

笔者着重阐述了冷水机组中最常用的制冷剂的选择,特别是适用于大型系统的制冷剂种类。这些冷水机组为空调系统和工业制冷系统提供冷水或冷冻盐水。由于环保的要求,大多数用于上述设备的传统制冷剂正在逐步淘汰,但至少有一种曾使用的非常广泛制冷剂,其淘汰前景仍不明朗。笔者将首先从保护臭氧层的国际协议开始讨论。

1 蒙特利尔议定书

蒙特利尔议定书已被誉为国际上最成功的环

境保护协议,对限制并最终淘汰破坏臭氧层化学品的生产做出了规定。这个于 1987 年达成的里程碑式的协议,源于 1974 年对臭氧损耗原因的认识,即人类制造的用于各种用途的化学品释放出氯原子和溴原子并与臭氧产生催化作用,而制冷剂便是其中之一。此国际协议在人类历史上第一次出于环境保护的目的而消除整整一类的重要化学品。2003 年,联合国环境保护署(UNEP)认定全球大多数臭氧层消耗物质(ODSs)的生产和消费已经达到顶峰并逐年下降,据此科学家们预测,到本世纪中叶地球的臭氧层将会逐步恢复^[1]。

蒙特利尔议定书详细规定了对 ODSs 的控制措施^[2-3]。对包括中国在内的发展中国家或更确切的说第五条款国家,根据 ODS 使用水平制定的限制措施如下所示: 在 1999 年 7 月前,将氯氟烃(CFC)的消费限制在不超过其 1995~1997 年的平均水平。在 2005 年前,将 CFC 的消费量削减到不超过其 1995~1997 年平均水平的 50%。在 2007 年前,将 CFC 消费量削减到不超过 1995~1997 年之间平均水平的 15%。在 2010 年前,除一些必须使用 CFC 的领域外,淘汰 CFC 的消费。

从 2016 年起限制 HCFC 消费不超过 2015 水平。到 2040 年淘汰 HCFC。

消费被定义为生产和进口的总量与出口和销毁的总量的差值,实际上是使用受控物质的新增量。需要注意的是,蒙特利尔议定书没有限制已生产或进口化学品在未来的使用或回收,即在削减和淘汰日期前已经使用或库存的制冷剂的数量。虽然现存及新设备的制造和维护所使用的制冷剂,只要符合蒙特利尔议定书的规定就可以无限期地使用,但还要符合所在国家和地方的法规。蒙特利尔议定书也没有限制使用这些化学品作为生产其他化学品的中间体。

对发达国家而言,淘汰进程更快,即: 1996 年前停止使用 CFC。1996 年开始限制 HCFC 的消费,通过持续削减并在 2004,2010,2015 和 2020 年前使其相应的消费量不超过计算限额的 45%,35%,10%和 0.5%。这一限额是根据 1989 年 CFCs 和 HCFCs 的使用量确定的。最后一步,在 2020 年前削减到 0.5%,是为了满足已有设备的维护之用而不是在新生产的制冷设备中继续使用 HCFCs。除一些可豁免的必要用途外,在 2030 年前淘汰 HCFC 的使用。

虽然中国不受上述严格措施的限制,但中国出口到发达国家的产品将会受此影响。需要提请注意的是,每个国家都会根据国情来实现蒙特利尔议定书的要求。最通常的措施包括根据本国的需要和替代品现状分别制定每种受控化学品的淘汰时间表。一般地,那些具有较高臭氧消耗潜能值(ODP)的化学品会被较早淘汰。一些国家,尤其是欧洲国家,已加速淘汰进程并已禁止特定某种或所有 CFC 和 HCFC 制冷剂的使用。

2 冷水机组用制冷剂

目前市场上,离心式冷水机组主要选用 R-22, R-123 和 R-134a 作制冷剂,而 R-123 是其中最为广泛使用的一个。与已被替代的 R-11 相同,R-123 具有热力学效率高和压力低的优点,从而能降低设备成本,减少泄漏和提高安全性能。尽管 R-123 具有很低的 ODP 值和 GWP 值,然而由于 R-123 属于 HCFC,仍被列入淘汰行列。

其余的冷水机组使用 HFC-134a 作为制冷剂。HFC-134a 是一种中压氢氟烃,在其他方面也有广泛的应用,也有望替代 R-22 成为应用最广的制冷剂,包括除离心式冷水机组外的设备。

一些使用 R-114 的旧冷水机组已转换使用 R-236fa(一种中压 HFC),这些冷水机组主要应用于军舰尤其是潜水艇。但由于 R-236fa 的 GWP 值较高,在固定的应用领域,还没有推出新的冷水机组。

R-22 曾主导超大型离心式冷水机组,并继续主导着小型容积式压缩机冷水机组,但这种局面正在改变。设计使用 R-134a 的冷水机组已在所有功率范围内替代 R-22,而在小功率冷水机组中也开始用 R-407C 和 R-410A 替代。主要在欧洲,少量使用容积式压缩机的小型冷水机组使用 R-404A。尽管 R-407C 的压力-温度特性与 R-22 类似,但冷水机组的设计需要做适当的修改以避免混合物分馏作用引起的组分变化,例如去除满液式蒸发器。对一些新的设计是利用 R-407C 的温度滑移(指混合工质沸点和冷凝点之间的温度差,它是由于混合工质各组分性质不同而引起的),利用 Lorenz 循环来提高效率。

使用 R-717(氨)的小型冷水机组正在增加,但其数量仍较少。更少的情况下也使用碳氢化合物,如 R-290(丙烷)、R-600(正丁烷)、R-600a(异丁烷)、R-1270(丙烯)或由它们组成的混合工质。与其他地区相比,欧洲对碳氢化合物的接受程度更高一

些。

大型吸收式冷水机组通常是采用水与溴化锂作为制冷剂与吸收剂,小型的则采用氨与水。在北美,小型吸收式冷水机组的销量还不足大型冷水机组销量的 2%,但在亚洲由于能源供应的差别,其使用要更普遍些。

表 1 归纳了冷水机组中最常用的一些制冷剂。

使用离心式压缩机的冷水机组可提供最大的制冷量,覆盖范围 350 kW(100RT) ~ 30 MW(8 500 RT)。使用容积式(涡旋,往复式活塞和螺杆)压缩机的冷水机组,其制冷量范围为 7 kW(2 RT) ~ 6 MW(1 700 RT)。吸收式冷水机组的制冷量范围为 7 kW(2 RT) ~ 18 MW(5 200 RT)。最大型的冷水机组采用涡轮式压缩机尤其是径流涡轮式设计,通常称为离心式压缩机和离心式冷水机组。这些设备在大型建筑中如办公楼、宾馆、医院、大型商场和商住楼中有非常广泛的使用。同时应用于中央系统中,为多个建筑提供服务如大学、医疗中心和购物中心、多功能综合体育馆,甚至用于公用供热系统,为城市中心或邻近地区提供区域制冷。由于具有制冷效率高、使用寿命长、运行稳定可靠、单位制冷量的运行成本和维护成本低等优点,这类设备得到了广泛的使用。

除了 R-113,其他的 CFCs 替代品见表 1。R-113 的使用非常有限,仅仅是为了扩大旧的离心式冷水机组的制冷量范围,但现在螺杆式冷水机组已基本能满足这一制冷量目标。

表 1 冷水机组用制冷剂

压缩机或循环类型	过去	现在
离心式	R-11	R-123
	R-113	-
	R-12	R-134a
	R-114	R-236fa
	R-500	R-134a
	R-22	R-22
涡旋、活塞、螺杆式	R-22	R-22, R-134a,
		R-410A
		R-407C
		R-404A
R-717(NH ₃)	R-717(NH ₃)	
吸收式	H ₂ O/LiBr	H ₂ O/LiBr
	NH ₃ /H ₂ O	NH ₃ /H ₂ O

表 1 所示的离心式冷水机组用制冷剂:

R-11, R-12, R-113 和 R-114 是 CFCs 类制冷剂。R-500 混合工质其中的一种组分是 CFC,不仅 ODP 值高,而且 GWP 值也高。

R-22 和 R-123 是 ODP 值较低的 HCFCs 类物质。

R-134a 和 R-236fa 是 ODP 值大约为 0 的 HFCs 类物质,但 R-236fa 的 GWP 值较高。

在 HCFCs 中,有许多性能优良的 R-22 替代品,包括 R-134a。与 R-22 相比,这些替代品效率稍高,ODP 值基本为零,并且 GWP 值大约低 25%。文献[4]对 R-22 替代品有更详细的阐述。

对其余的 HCFC 类物质,即 R-123,需要做更加仔细的考察,首先须考虑的是环境性能。

3 环境数据

在已经商业化的 CFC 和 HCFC 类物质中,R-123 的 ODP 值是最低的,与 R-12B1 和 R-13B1 等不常用的含溴制冷剂相比也是如此。在商业化的含氟制冷剂(也包括 HFCs)中,R-123 的 GWP 值最低,大气寿命最短。除 R-11 和 R-141b 外,在所有包括氨水、二氧化碳和碳氢化合物的冷水机组用制冷剂中,R-123 的热力学和实测效率最高。但 R-11 和 R-141b 的 ODP 值和 GWP 值都要比 R-123 高得多,并且 R-141b 具有可燃性^[4-6]。

表 2 列举了冷水机组用制冷剂的大气寿命、ODP 值和 GWP 值。这些数值是根据全球评估所得到的最新科学数据。

尽管不能精确预测未来可能产生的问题,但应该预见将会出现的问题,即便现在还未能认识到。相应地,科学家们建议采取措施避免使用或至少避免排放大气寿命长的化学品,因为这些化学品会随着时间而积聚。同样地,大气寿命短的化学品对于防止排放气体在大气中的积聚具有重要的保护作用,同时也可以有朝一日采取行动时避免出现较长的恢复期。臭氧层的破坏是一个很好的教训,由于人们认识并采取措施前已在大气中积聚了大量的破坏臭氧层的化学物质,臭氧层的完全恢复需要经历一个世纪以上的漫长历程。

蒙特利尔议定书仅致力于臭氧问题。京都协

表 2 离心式冷水机组用制冷剂的环保性能^[7-9]

制冷剂	大气寿命/年	ODP	GWP(100 年)
R-11	45	1.000	4 600
R-12	100	0.82	10 720
R-22	12.0	0.034	1 780
R-113	85	0.90	6 030
R-114	300	0.94	9 880
R-123	1.3	0.012	76
R-134a	14.0	~0.000	1 320
R-236fa	240	~0.000	9 650
R-245fa	7.6	~0.000	1 020
R-500	a	0.605	7 900

^a 因为混合工质各组分在大气中分离,表中没有给出其大气寿命。R-500 两个组分的大气寿命分别是 100 和 1.4 年。

议书关注于气候变化,尤其是引起全球气候变暖的温室气体的排放,包括制冷剂^[10]。京都协议书至今还未进入强制执行阶段,也没有对发展中国家规定特别的排放限制。中国将会面对全球变暖带来的严重后果。气候变化要比臭氧层破坏复杂得多,这是由于引起气候变化的原因、自然补偿以及这两者之间敏感度的不确定性所造成的。然而,现在大部分科学家都承认气候变暖正在出现,并且变暖的程度比预想的要严重得多。由中国参加的联合国气候变化政府间工作小组(IPCC)的最新的评估认为,有证据表明气候变化已经开始,其原因是人类活动而不是自然界本身。

目前 HFCs 在温室气体的排放总量中只占很小一部分。即使考虑各物质在全球变暖潜能值(GWP)上的差别,以二氧化碳当量计算也不到2%,而制冷剂的比例更小。然而,HFC积聚造成的影响正日益加重,在全球范围内都要比京都议定书中认定的其他气体来得快,因此不能排除将来对HFCs实施特别的控制措施,而实际上欧洲已采取了一些措施。

为了说明臭氧层损耗和全球变暖对环境的相对重要性,联合国环境保护署(UNDP)在其2003年的年度报告中有这样的结论:“全世界大多数消耗臭氧层物质(ODS)的生产和消费已经达到顶峰,并开始下降,因而科学家预计,到本世纪中叶,地球臭氧层将逐步恢复……全球气候变暖对人类健康和可持续发展带来了更大的威胁,但国际社会在力图解决全球气候变暖的努力并不成功”^[11]。这些结论非常重要,其原因有二。首先,它表明通过共同努力,减少可避免的排放,淘汰发展中国家的CFCs和避免ODSs高排放量的应用如气雾推进剂和溶剂,可有效扭转ODS的排放趋势。特别地,甚至在HCFC制冷剂淘汰之前,ODSs的总排放量已经开始下降,表明HCFC制冷剂的影响相对较小。其次,结论着重全球气候变暖引起的更大威胁,并要求将来采取更加严厉的措施。

4 效率

除了温室气体的影响,制冷剂的选择也会影响效率。反过来,效率也会影响燃料燃烧而排放的二氧化碳和其他温室气体,这些燃料或用于远方的发电或为本地的冷水机组提供电力。在新型离心式冷水机组的制冷剂中,R-123的理论效率要比其他的替代品高3%~5%^[4-6]。ARI在美国所做的调

查发现,对当前最常用的冷水机组,R-123的效率要比R-22和R-134a高出9%~20%^[12]。然而,使用R-123的冷水机组在性能方面的改进要比使用其他制冷剂的冷水机组大得多,从而R-123的优势也就更加明显。鉴于此后以R-123为制冷剂的冷水机组比其他制冷剂的冷水机组在性能上有了更大的改进,其效率的优势也就更大了。由于可利用的效率在一定范围内重叠,这并不意味着R-123的冷水机组总是比别的机组高效,而是说如果为了追求效率最大化,R-123冷水机组就具有明显的优势。

这一性能优势的重要特性表现在变暖影响总当量(TEWI)、寿命期变暖影响(LCWI)或寿命期气候性能(LCCP)上。这三个指标用来表示按当量CO₂排放量计算的由制冷剂释放产生的综合效应和系统能量消耗所产生的影响。

图1比较了使用不同制冷剂的冷水机组的TEWI值,包括提供给冷却塔和典型的冷凝水泵的电能所产生的排放。从图中可知,对最好的冷水机组,淘汰R-123将会使其全球变暖影响的净值增加14%。

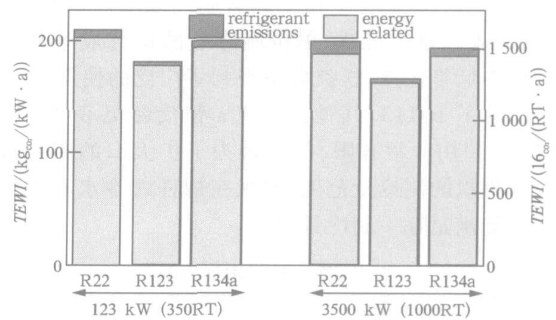


图 1 冷水机组的温室气体排放量^[5]

在制冷量为3~15 MW(850~4300 RT)的大型冷水机组中,通过使用多级压缩机,R-245fa效率有可能接近R-123^[5-6,13]。从所需的生产过程来看,R-245fa的成本可能要高于其他制冷剂,尽管为了使原先开发使用R-123的设备提供较高的制冷量,其成本的增加也许能被接受。对设备生产商,使用R-245fa的决定性因素可能是能否确保长期的供应来源。

使用R-601(正丁烷)、R-601a(异丁烷)或它们的混合工质特别危险。这些碳氢化合物极易燃烧,而且离心式冷水机组所需的充注量可能引发大爆炸。另外,由于在真空条件下运行,就会有吸入空气的风险,因此当碳氢化合物和空气的混合物被压

缩时,就可能引起爆炸。撇开安全性方面的考虑,在冷水机组运行的条件下,无论是碳氢化合物还是 R-717(氨水)都不能与 R-123 的制冷效率相媲美^[4,6,13]。

表 3 离心式冷水机组最低效率基准^a

制冷量/kW	COP^b	$IPLV^b$
风冷式,带冷凝器所有制冷量 ^c	2.80	3.05
风冷式,不带冷凝器 ^d 所有制冷量	3.10	3.45
水冷式		
<528 kW (<150 RT)	5.00	5.25
≥528 和 <1 055 kW (≥150 和 <300 RT)	5.55	5.90
≥1 055 kW (≥300 RT)	6.10	6.40

a: 来自 ANSI/ASHRAE/IESNA 标准 90.1-2001 号^[14]电动离心式冷水机组(老的 ASHRAE/IESNA 标准 90.1-1999 规定了同样的最小 COP 值,于 2001.10.29 生效)。b: 根据 ARI 550/590-1998^[15]评估和确证。c: 事实上 ASHRAE 90.1-2001^[14]给出了 <528 和 ≥528 kW 的两个最低效率,但两个数值是一样的。d: 对使用分体冷凝器的。

表 3 列出了各类冷水机组的最小能效基准。它是根据 ANSI/ASHRAE/IESNA 标准 90.1 制定的,已为许多国家采用。

表中所示的满负荷 COP 值和综合部分负荷性能值(IPLV)反映了标准工况下的核定能效。满负荷 COP 表示峰值工况下的效能或相对效能,这时电量需求最大,电能的供应最为紧张。IPLV 用于表示季节性的相对能效,包括低负荷状态,尽管在大多数应用场合它不能预测确切的季节能效。

虽然表 1 所列的当前所用的任一制冷剂都能达到表 3 要求的最低能效基准(吸收型制冷机因采用的性能标准不同而除外),但当能效更高时,制冷剂的选择就变得更加有限。而 R-123 是目前唯一的制冷剂,其在水冷式冷水机组中的最低满负荷 COP 值甚至超过了 20%。通过使用可调速电机优化部分负荷能效,其他制冷剂的 IPLV 也能达到上述效果,但是转换器效率损失(一般 3%~5%)会降低满载 COP 值,同时增加设备和安装费用。如果优先在高能效、多级的 R-123 系统上投入相同的费用,则 R-123 系统的满负荷和部分负荷效率都会达到更高的能效,并且在选用变频电机后还可以进一步提高部分负荷效率。

IPLV 对季节性能耗是一个更适合的指标,因此也是衡量能源成本以及表示与能源相关的温室

气体排放对全球变暖贡献的一个较好的指标。满负荷 COP 值更适合于表征高峰时能源的需求,确定了在高峰时发电所需燃料的组合。同样也对发电、传输、配电功率(亦即电力需求成本)、高峰时燃料消耗等要求产生影响,并影响对冷却塔或者其他热耗损组件的要求。高峰燃料消耗通常反过来会要求更昂贵的燃料,因此若与水力发电比较,将会增加与能源相关的温室气体的排放量。

高峰负荷效率在中国东部的一些城市尤其敏感,因为这些城市的增长和发展已经超过了电力供应能力^[16-17]。事实上,像上海这样的城市,由于大量空调的用电,造成电力容量不足,已出现了电力短缺甚至停电。为此规定对一些非居民大楼实行温度控制(最低空调温度设定),以保持一定的舒适需要与生产力发展要求的平衡。通过强制性的措施提高能效也能达到同样的节约高峰用电的效果,此外提高效率的办法还可以降低操作成本,减少与电能相关的温室气体的排放。对中国来说尤其重要的是,使用高效能冷水机组的寿命期成本要远远低于相应的增加电力供应的成本。

5 对 R-123 的评价

尽管 R-123 属于 HCFC 类物质,但它仍是少数几个具有足够环境合理性而适宜保留作为冷水机组制冷剂的受控物质。科学研究表明,继续使用 R-123 对臭氧层的影响微不足道(少于 Cl-Br 总负荷的 0.001%),但会显著减少温室气体的排放量^[6,13,18-19]。不容忽视的是,如果能早日替代高 ODP 值的物质(如 CFC),则 R-123 的继续使用将会有利于臭氧层的保护。

到目前为止,已认定的 R-123 的替代品都将以能效和/或安全性为代价,因此 R-123 的淘汰尤其令人关注^[5-6]。而彻底的解决方案是在蒙特利尔议定书和相关国家法规中对 R-123 实行豁免,而且对生产 R-123 的豁免仅限于作为冷水机组制冷剂用。因为 R-123 对臭氧层的破坏微乎其微,对减小全球变暖效应意义重大,而且是大气寿命最短的制冷剂之一^[18-19]。

暂缓淘汰 R-123 的合理性不仅来自一些科技文献——包括一些最有声望的科学和工程期刊,而且还来自一些国际评估报告。作为实施蒙特利尔议定书国际努力的一部分,1998 年国际气象组织(WMO)在其提交的“臭氧消耗的科学评估”报告的最后结论中指出,臭氧层消耗和气候变化是相互关

联的;这就是蒙特利尔议定书和京都议定书……有关控制 HFCs 的决定有可能会影响到关于淘汰臭氧层损耗物质能力的决定^[20]。

关于气候变化的政府间联合小组——技术和经济评估小组 (IPCC-TEAP) 在 1998 年“关于选择限制 HFCs 和 PFCs 排放的专家会议”上指出:淘汰 HCFC-123 将会使全球变暖上升 14%~20%,相应地最大 Br-Cl 负荷量的增加小于 0.001%^[21]。尽管存在争议,工作组同意并两次表决:“鉴于 R-123 对臭氧层损耗的影响微乎其微,而对减小全球变暖效应非常有益,有理由对 R123 在冷水机组中的使用进行检讨”^[21]。

由联合国环境规划署支持发表的 2002 度评估报告“制冷、空调和热泵技术选择委员会 (RTOC) 报告”指出:“HCFC-123 总体上对环境有正面的影响,这可以归纳为五个方面的因素: ODP 值低; GWP 值很低; 大气寿命很短; 目前设计使用 HCFC-123 的冷水机组的泄漏极小; 在当前所有候选物中能效最高。”这一国际评估报告所引述的研究表明“在冷水机组中继续使用 HCFC-123 对大气臭氧层影响微小但可以提高重大的能效优势。这样由于相关能量消耗的降低,可以相应减少温室气体排放”^[22]。

尽管科学的认知证明应重新考虑 R-123 的淘汰,但制造商与提倡使用不含氟制冷剂的业内人士尚未达成共识。生产 R-123 及其冷水机组的制造

商们支持重新考虑的观点,而那些生产与之相竞争产品的制造商们出于知识产权方面的考虑反对该观点,尽管换用另一方面的理由来论述。同样,天然(无氟化学品)制冷剂的拥护者们通常都为反对使用任何一种 CFC, HCFC 或 HFC 而争论不休。

6 结 论

国际社会保护臭氧层的努力正逐渐步取得成功,臭氧层也正在逐渐恢复。对大多数冷水机组的制冷剂都已有相应的替代品。而 R-123 是一个极重要的例外——一种目前在离心式冷水机组中使用最普遍的制冷剂。R-123 作为 HCFCs,蒙特利尔议定书规定发达国家应在 2030 年前停止生产和使用,第五条款国国家(包括中国)应在 2040 年前淘汰。R-123 的淘汰将会引起特别忧虑,因为目前已认定的所有 R-123 的替代品,都是以牺牲效能和/或安全性能为代价。事实上,科学研究和国际评估均持这样的立场,即由于 HCFC-123 ODP 值低, GWP 值极低,大气寿命期极短,冷水机组中泄漏率小以及在当前所有选择作冷水机组中制冷剂的制冷剂中具有最高的效率,HCFC-123 总体上对环境有正面的影响。考虑到现在还没有理想的制冷剂,不必要地取消选择不仅不能对环境带来益处,反而会造成更大的危害。且不论 R-123 的最终命运会如何,对中国而言 R-123 至少在未来的几十年内仍具有非常显著的环境和经济优势。

参 考 文 献

- [1] United Nations Environment Programme (UNEP). 2003 Annual Report. United Nations (UN): Nairobi, Kenya, 2003.
- [2] Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer. United Nations (UN): New York, NY, USA, 1987 and subsequent amendments thereto.
- [3] United Nations Environment Programme (UNEP) Ozone Secretariat, Handbook for the International Treaties for the Protection of the Ozone Layer (sixth edition), United Nations (UN), Nairobi, Kenya, 2003
- [4] Calm J M, Domanski P A. R-22 Replacement Status. ASHRAE Journal, 2004, 46(8): 29-39. (translation by Zhang J to Chinese in the Journal of Refrigeration and Air Conditioning, China, 2005, 5(1): 62-69)
- [5] Calm J M. Options and Outlook for Chiller Refrigerants// Alliance for Responsible Atmospheric Policy. Proceedings of the Earth Technologies Forum. USA, 2000. (translation by Zhu M-S to Chinese in the Journal of Refrigeration and Air Conditioning, China, 2001, 1(2): 59-67)
- [6] Calm J M, Didion D A. Trade-Offs in Refrigerant Selections—Past, Present, and Future// Refrigerants for the 21st Century: proceedings of the ASHRAE/NIST Conference. USA: ASHRAE, 1997, 6-19.
- [7] Scientific Assessment of Ozone Depletion. World Meteorological Organization (WMO), Global Ozone and Research Monitoring Project, Geneva, Switzerland; United Nations Environment Program (UNEP), Nairobi, Kenya; National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, USA; National Aeronautics and Space Administration

- (NASA) Office of Earth Science, Washington, DC, USA; and the European Commission, Research Directorate General, Brussels, Belgium; March 2003.
- [8] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. The Scientific Basis - Contribution of Working Group I to the IPCC Third Assessment Report // Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, of the World Meteorological Organization, WMO, and the United Nations Environment Programme, UNEP), Climate Change 2001. UK: Cambridge University Press, 2001.
- [9] Calm J M, Hourahan G C. Refrigerant Data Summary. *Engineered Systems*, 2001, 18(11): 74-88.
- [10] Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations (UN), New York, NY, USA, 1997.
- [11] United Nations Environment Programme (UNEP), 2003 Annual Report, United Nations (UN), Nairobi, Kenya, 2003.
- [12] Inputs for AFEAS/DOE Phase 3 Study of Energy and Global Warming Impacts. ARI, 1996.
- [13] Calm J M. Emissions and Environmental Impacts from Air-Conditioning and Refrigeration Systems. Joint IPCC-TEAP Expert Meeting on Limiting the Emissions of HFCs and PFCs (Petten, The Netherlands, 26-28 May 1999), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, and Technical and Economic Assessment Panel (TEAP) of the United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 1999.
- [14] ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2001 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.
- [15] ARI Standard 550/590 - 1998 Water-Chilling Packages.
- [16] Guo N. Country to Alleviate Power Shortages. *China Daily*, 2004-05-28(1).
- [17] Zhang S, Ning N. Conservation Plan Launched to Save Power. *Shanghai Daily*, 2004-06-07(2).
- [18] Calm J M, Wuebbles D J, Jain A K. Impacts on Global Ozone and Climate from Use and Emission of 2,2-Dichloro-1,1,1-trifluoroethane (HCFC-123). *Journal of Climatic Change*, 1999, 42: 439-474.
- [19] Wuebbles D J, Calm J M. An Environmental Rationale for Retention of Endangered Chemicals. *Science*, 1997, 278(5340): 1090-1091.
- [20] Scientific Assessment of Ozone Depletion. World Meteorological Organization (WMO), Global Ozone Research and Monitoring Project, Geneva, Switzerland; United Nations Environment Program (UNEP), Nairobi, Kenya; National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, USA; National Aeronautics and Space Administration (NASA), Washington, DC, USA; and the European Commission, Directorate General XII-Science, Research and Development. Brussels, Belgium, 1999.
- [21] Annex A: Refrigeration and Air Conditioning. Joint IPCC-TEAP Expert Meeting on Limiting the Emissions of HFCs and PFCs (Petten, The Netherlands, 26-28 May 1999), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, and Technical and Economic Assessment Panel (TEAP) of the United Nations Environment Programme. Kenya, 1999.
- [22] Kuijpers L J M. Air-Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee-2002 Assessment // UNEP. 2003 Report of the Refrigeration. Kenya, 2003.

注: (c) 2004 James M. Calm, Engineering consultant - reproduced with permission.

原文出处: Calm J M. Refrigerant Options for Centrifugal Chillers // 国家环境保护总局对外经济合作领导小组办公室. 2004 消耗臭氧层物质 (ODS) 替代技术国际研讨会论文集. 西安, 2004: 167-178.

This article was originally published in English as J. M. Calm, "Refrigerant Options for Centrifugal Chillers," *Proceedings of the 2004 International Workshop on Ozone Depleting Substance Substitute Technologies (Xi'an, China, 17 September 2004)*, China State Environmental Protection Administration (SEPA), Beijing, China, 167-178, 2004.