



INSTITUT INTERNATIONAL DU FROID
INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION

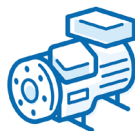
冷水机组技术新进展



2021年3月

第42期制冷技术信息简报

王宝龙
李先庭



引言

随着社会经济的发展、人口增长、生活水平的提高和气候变暖，全球对房间空调的需求越来越大，这导致房间空调所消耗的能源迅速增加。根据IEA的预测^[1]，从2016年到2050年，房间空调器的使用量将从12亿台急剧增加到45亿台。同时，全球用于房间空调的能源消耗量将从2016年的2020TWh跃升到2050年的6200TWh，增幅达三倍。届时，房间空调能耗将占建筑总能耗的30%。因此，为了降低空调对气候的影响，实现巴黎协定的全球温度升高的2℃上限目标，降低制冷能耗是一项势在必行的重要工作。

不同的建筑有着不同的空调需求，其所适用的设备也不尽相同。对于小型建筑，如住宅建筑，通常采用直膨式系统，包括房间空调、组合式空调和多联机（VRF）等。对于大空间的公共建筑，如商业建筑、办公建筑、工业建筑、医院等，中央空调系统则更为合适。对于居住建筑而言，开发超级节能空调可以大大降低制冷过程中的能源消耗和气候效应^[2]。对于公共建筑而言，中央空调系统的设计、安装、运行和维护是实现节能的关键，其中冷水机组的节能设计又起着最重要的作用。

需要说明的是，除了用于空调外，冷水机组也广泛应用于商业和工业过程以及设备的冷却，如电子制造、精密加工、制药等。

工作原理

图1为一个简要的中央空调系统示意图。与直膨式系统中制冷剂直接冷却室内空气不同，中央空调系统中的室内空气由冷冻水冷却除湿。冷冻水则由冷水机组制取，经过水泵输配到各个空调箱。这一特征使得中央空调系统可以方便地覆盖多个空间。一般来说，在商业建筑中冷水机组的能耗约占中央空调系统总能耗的40%^[3]。因此，降低冷水机组的能耗是中央空调系统节能的主要方向。根据换热介质的不同，冷水机组可分为水冷式冷水机组和风冷式冷水机组。目前市场上的冷水机组多采用蒸气压缩制冷循环、吸收式制冷循环或吸附式制冷循环。其中，无论从总制冷量还是总机数量来看，蒸气压缩系统都占据了市场的主导地

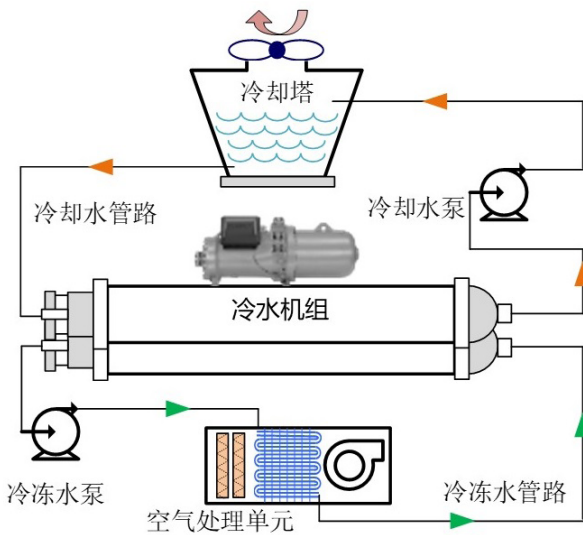


图1中央空调系统示意图

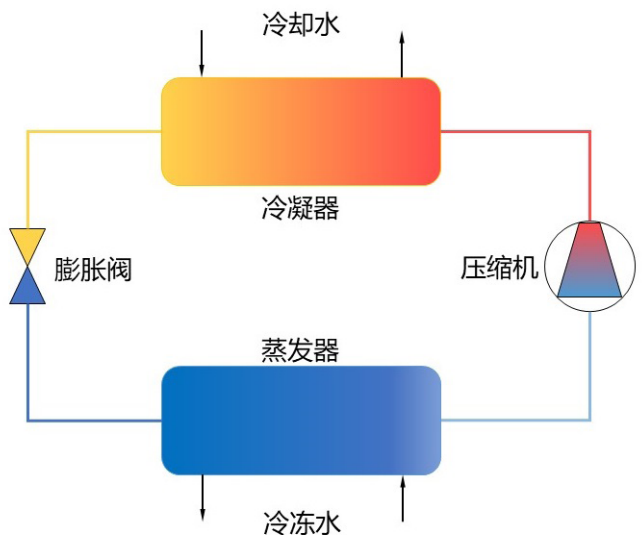


图2蒸气压缩式制冷机原理

位。蒸气压缩式冷水机组通常包括压缩机、冷凝器、节流装置和蒸发器。如图2所示，压缩机吸入的低温气态制冷剂被压缩成高温高压的气态制冷剂后进入冷凝器，之后在冷凝器中冷却为液体，冷凝热被冷却水或环境空气携带排到环境中。之后，液体制冷剂被节流成两相并进入蒸发器。在蒸发器中制冷剂吸收冷冻水的热量后蒸发，从而实现冷冻水的降温。最后，制冷剂返回压缩机，开始下一个循环。

技术发展介绍

为了满足对能源效率和环境性能的更高要求，冷水机组相关技术得到了不断的发展。一方面，针对制冷剂、蒸发器和压缩机等部件进行了多项新技术研发，另一方面针对特定的应用需求也开发出了更多更高效的设备系统。

1. 制冷剂及部件技术发展

- 制冷剂替代

联合国环境规划署（UNEP）^[4]给出了目前不同类型冷水机组使用的主要制冷剂，如表1所示。其中，HCFC123以其良好的能效和较低的容积容量被广泛应用于离心式冷水机组中，HFC134a是采用涡旋压缩机、螺杆压缩机等容积式压缩机的大中型冷水机组的主要制冷剂，而R410A和HCFC22通常用于中小型冷水机组。一般来说，HCFCs和HFCs仍然是现有冷水机组使用的主要制冷剂，这可归因于冷水机组较长的使用寿命以及HCFCs和HFCs仍在逐步淘汰的过程中。

表1目前不同类型冷水机组使用的主要制冷剂^[4]

冷水机组类型	容量范围 (kW)	目前使用的主要制冷剂
涡旋式、转子式和往复式水冷机组	10-1,200	R410A HCFC22 R407C HC290 ^(LC) R717 ^(LC) R744 ^(LC)
螺杆水冷机组	100-3,800	HFC134a HCFC22 R717 ^(LC)
螺旋式、涡旋式、旋转式和往复式风冷机组	10-1,900	HFC134a R410A HCFC22 R407C HC290 ^(LC)
离心式或轴流式水冷机组	200-21,000	HFC134a HCFC123 HFC245fa ^(LC) R-718 ^(LC)
离心式风冷机组	200-1,600	HFC-134a

LC: 不常见

随着《蒙特利尔议定书》的197个缔约方于2016年在基加利签署了逐步削减HFCs的修正案，具有高GWP的HFCs制冷剂的逐步削减方案已经确定。因此，为目前广泛使用的制冷剂开发合适的替代品已成为制冷技术发展中最迫切的课题之一。

研究者们很早就寻找新的低GWP制冷剂，但通过对化学数据库的大规模筛选^[5]发现，现有的制冷剂很少能够同时满足未来制冷剂对安全性、热力学性能和环境性能的所有要求。在这种情况下，天然制冷剂、碳氢化合物、HFOs（氢氟烃）及其混合物越来越受到人们的关注。

天然制冷剂，例如R717、R744和R718，以及碳氢化合物，由于其良好的环境性能，正被重新考虑作为冷水机组的潜在替代制冷剂。目前，尤其是在欧洲，使用GWP接近零的天然工质及碳氢化合物工质的产品在市场上获得了较好的发展势头。

R717（氨）具有良好的热力学和流体力学性能，已经在工业冷水机组中应用了几十年。R717的主要缺点是毒性、易燃性和对铜的腐蚀性。在工业应用中，通过合理选择机房位置、设置氨传感器和喷水系统、采用开式压缩机等措施和手段，可以有效地控制这些缺点所带来的风险。近来，R717也被考虑应用于舒适空调系统^[6]，但是这需要更仔细的管理和更加健全的建筑规范来防范可能存在的风险。

R744（二氧化碳）是一种广泛应用于热泵热水器中的高效制冷剂。但是，研究也发现，在室外环境较低，例如室外温度低于15℃下，制冷模式下R744系统在能效和全生命期气候性能（LCCP）方面与采用氟化物制冷剂的系统相当。因此，R744风冷冷水机组已被引入北欧市场。

R718（水）冷水机组可用于闭式循环制取冷冻水或用开式循环系统结构直接从水池中蒸发制备冰浆，具有较好的成本优势。但是，吸气压力低、压缩比高和吸气密度低等因素导致采用R718的设备需要设计高容积流量的轴流式压缩机，这限制了其在制冷领域的应用。然而，欧洲、中东和南非也已经展示了几种冷水机组和商用真空制冰机^[7]。

冷水机组中常用的碳氢化合物制冷剂是HC290和HC1270。HC290和HC1270具有很好的热力学性能，类似于HCFC22。利用碳氢化合物的最大挑战是其高可燃性，这在很大程度上限制了最大制冷剂充注量和在室内等较为密闭空间的安装使用。目前，碳氢化合物已成功应用于小容量制冷系统，如冰箱和房间空调器。对于冷水机组，只有在丹麦、挪威、英国、德国、爱尔兰、美国和新西兰等地有小容量风冷冷水机组使用，且安装数量有限^[8]。

HFOs是由氢、氟和碳组成的不饱和有机化合物，具有零臭氧消耗潜能（ODP）和极低的GWP。许多HFO制冷剂本质上是稳定的、无毒的、不易燃或轻度易燃的，其中一些具有合适的凝固点和沸点，可用于常温下的制冷。在纯HFOs中，HFO1234yf、HFO1234ze（E）、HCF01233zd（E）和HCF01224yd（Z）等被广泛应用于空调用冷水机组。HFO1234yf与HFC134a具有相似的热力学性能，GWP<1，被认为是HFC134a的一种潜在替代品。一般情况下，HFO1234yf的容积制冷量比HFC134a低6~20%。同时，HFO1234yf制冷系统的性能系数（COP）比HFC134a制冷系统低8~20%^[9,10]。但HFO1234yf系统的性能可以通过部件和循环优化来提高。HFO1234ze（E）也被认为是HFC134a的低GWP替代品。HFO1234ze（E）的容积制冷量较HFC134a系统低26%，而两者制冷能效系数则基本相当。HCF01233zd（E）具有与HCFC123相近的能效比和1.4倍的容积制冷量，被认为是HCFC123的良好替代品。HCF01224yd（Z）是HFC245fa的潜在替代品，它的COP和HCFC123接近，而HCF01224yd（Z）的容积制冷量比HCFC123高出60%，在设计新的冷水机组时应注意这一点。

正如前面提及，由于制冷量、可燃性等方面的差异，绝大多数纯HFOs不能直接在冷水机组中直接冲注使用。因此，研究者开发了许多HFOs混合制冷剂用于制冷剂替代。其中，R444A、R445A、R450A、R513A、R515A被用于替代R134a，R514A是R123的非共沸替代品之一，R32/HFOs混合物（包括R446A、R447A、R452B等）则是R410A的替代制冷剂。

用于冷水机组的新出现的低GWP替代制冷剂见表2^[4]。

表2冷水机组的低GWP替代制冷剂^[4]

产品类型	替代制冷剂
使用低压制冷剂的离心式或轴流式压缩机的大型冷水机组	HCFO1233zd(E) R514A R718
采用中压制冷剂的离心式压缩机大型冷水机组	R513A HFO1234yf HFO1234ze(E) HCFO1224yd(Z)
采用容积式(螺杆式)压缩机的中型冷水机组	R513A R450A HFO1234yf HFO1234ze(E) HC290 R717
采用容积式(涡旋式、旋转式或往复式)压缩机的小型冷水机组	HFC32 R452B R454B R454B R290 R744

尽管现有的主流冷水机组仍然采用传统制冷剂，但领先的冷水机组制造商已经评估了这些替代品，并逐步发布了使用这些低GWP制冷剂的新型冷水机组。开利于2016年4月发布了采用HCFO1233zd(E)的离心式冷水机组。除此之外，他们还开发了可使用R513A的19XR离心式冷水机组、23XRV水冷式冷水机组和30XV/XA风冷螺杆式冷水机组。2017年，特灵发布了采用R513A和R514A的离心式冷水机组，HFO1234ze(E)螺杆式冷水机组。2019年，约克公司扩展了采用HCFO1233zd(E)制冷剂的磁悬浮冷水机组产品类型。此外，其他重要的冷水机组制造商也推出了自己的采用低GWP新型冷水机组^[1]。表3列出了主要的商业化程度较高的低GWP的HFO制冷剂。

表3主要的商业化程度较高的低GWP的HFO制冷剂

替代制冷剂	压缩机类型	GWP	安全等级	相对容量	相对能效	说明
HCFO1233zd(E)	离心式	1	A1	140%	99%	比较基准 HCFC123
HCFO1224yd(E)		1	A1	160%	99%	
R514A		2	B1	95%	100%	
R1234ze(E)	离心式和螺杆	<1	A2L	74%	100%	比较基准 HFC134a
R513A		573	A1	101%	98%	

- 降膜蒸发器

蒸发器是蒸气压缩制冷系统中最重要换热器之一。它可分为直膨式蒸发器、溢流式蒸发器。直膨式蒸发器的制冷剂流量由膨胀阀根据蒸发器出口的过热度进行控制。在这种蒸发器中，过热区传热系数较低，大大降低了蒸发器的性能，不利于冷水机组的COP的提升。在传统溢流式蒸发器—满液式蒸发器中，换热管浸没在液态制冷剂中。蒸发器出口的制冷剂饱和或略过热。满液式蒸发器通常采用液位传感器而不是膨胀阀来控制制冷剂的质量流量。由于满液式蒸发器的过热区较小，其整体换热性能优于直接膨胀式蒸发器。但由于满液式蒸发器内充满了液态制冷剂，因此制冷剂充注量更大。全球应对气候变化的行动限制了制冷剂的总量，推高了制冷剂的价格。为了减少制冷剂的充注量，研究者们提出了降膜蒸发器。

降膜蒸发器是另外一种典型的溢流蒸发器，如图3所示。经过节流后的液体制冷剂从制冷剂入口进入蒸发器的分配盘中，分配盘将液体制冷剂均匀地喷洒在换热管束上，使管的所有外表面保持湿润。壳体底部保持没有或很少的液体制冷剂积聚。

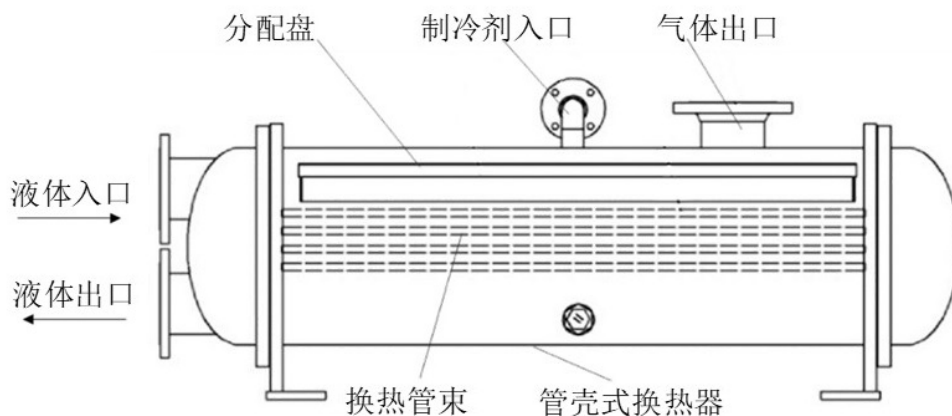


图3降膜蒸发器结构

与其它蒸发器相比，降膜蒸发器具有总传热系数高、成本低、对环境影响小等优点。因此，降膜蒸发器已被许多冷水机组制造商广泛应用于节能型冷水机组中，包括特灵、约克、大金、美的等^[12,13,14]。例如，2013年美的集团发布了一款带降膜蒸发器的两级压缩离心式热泵^[15]，制冷剂充注量减少了40%以上，额定COP达到7.11。

但是，应该注意的是，降膜蒸发器不能用于使用非共沸混合物的冷水机组，因为非共沸制冷剂在蒸发过程中会发生组分迁移，组分的迁移将大大降低冷水机组的性能。

- 无油压缩机

在传统的制冷压缩机中，润滑油是必不可少的，它具有减少磨损、密封、散热等功能。但对于蒸气压缩系统中的其它部件，如换热器，润滑油会降低传热效率，降低系统性能，使系统结构复杂。近年来，无油压缩机技术研究取得了长足的进步，并开发了一系列相关产品。

根据所采用技术的不同，无油压缩机分为磁力轴承、气体轴承和陶瓷轴承三种。虽然后两者也得以研究和开发，但与应用磁力轴承的磁悬浮压缩机相比，它们的应用要少得多。从理论上讲，磁力轴承可用于任何类型的压缩机，以减少轴承的摩擦，提高机械效率，并可能扩大转速范围。但是，在容积式压缩机中，润滑油的缺失会给摩擦付的润滑、散热和密封压缩腔等方面带来巨大挑战。因此，目前只有磁悬浮离心式压缩机在市场上得到了指数式的发展。

磁悬浮离心式压缩机利用永磁力和电磁力的组合使压缩机的轴悬浮。采用高频相对位置传感器和电磁快速

电流控制，动态调整轴的姿态，避免碰撞。采用磁力轴承，消除了复杂的供油、分离和回油系统，并且消除了油所带来的传热阻力和污垢，能够有效提高冷水机组的能效。此外，无油避免了并联压缩机油平衡的问题，实现了部分负荷条件下蒸发器和冷凝器的最大利用，大大提高了冷水机组的部分负荷性能。同时，由于轴与轴承之间没有摩擦，压缩机的转速上限提高，从而提高了压缩机的容量和能效。

自2000年代丹佛斯TurboCor成功将小型磁悬浮离心式压缩机商业化以来，许多领先的冷水机组制造商都已经开发了自己的磁悬浮离心式压缩机和冷水机组，如表4所示。此外，20多家冷水机组制造商已经发布了带有丹佛斯磁悬浮离心式压缩机的各类冷水机组^[16]。这些机组的最大综合部分负荷性能系数（IPLV）可达11.98。与传统的中央空调机组相比，磁悬浮冷水机组在部分工况下节能率可达到50%。

表4主要磁悬浮离心式压缩机和冷水机组生产厂商^[4]

厂家	容量 (冷吨)	制冷剂
丹佛斯TurboCor (压缩机)	60-400	HFC134a HFO1234ze(E) R513A
大金 (压缩机+冷水机组)	400-700	HFC134a
顿汉·布什 (压缩机+冷水机组)	600	HFC134a
复盛 (压缩机+冷水机组)	175-280	HFO1234ze(E)
格力 (压缩机+冷水机组)	80-1300	HFC134a
海尔 (冷水机组)	100-4500	HFC134a
汉钟精机 (压缩机+冷水机组)	400-450	HFC134a HFO1234ze(E)
LG (压缩机+冷水机组)	260-1100	HFC134a
三菱重工 (压缩机+冷水机组)	400-500	HFC134a
特灵 (压缩机+冷水机组)	175-425	HFC134a R513A
约克 (压缩机+冷水机组)	165-1350	HFC134a HCFO1233zd(E)

2. 高温冷水机组

空调系统负责室内环境的冷却和除湿。对空气进行冷却处理所需要的冷冻水的温度只需要低于空气的干球温度，但对空气进行冷冻除湿处理所需要的冷冻水的温度需要低于空气的露点温度。通常，空气的露点温度明显低于其干球温度。因此，一般冷水机组均制取7℃的冷冻水来处理26℃的室内空气，以同时达到冷却和除湿的目的。这在很大程度上限制了冷水机组的能源效率的提升。

为了克服同时冷却和除湿空气的缺点，研究人员提出了温度和湿度独立控制（THIC）技术^[17]或独立新风系统（DoAS）^[18]。在THIC/DoAS系统中，空气（包括室外新风）分为两组，一组用低温冷冻水、液体干燥剂或固体干燥剂除湿，另一组用高温冷冻水冷却，以达到提高空调系统能效的目的。制取高温冷冻水的冷水机组的效率是影响其节能率的主导因素，是近年来研究和开发的核心。

与传统的制取7℃冷冻水的冷水机组不同，高温冷水机组一般制取16~18℃左右的冷冻水，冷冻水温度的提高可使冷水机组的COP提高20%以上^[19]。全年实地测试表明，与同一建筑内的传统空调系统相比，THIC空调系统可节省34%的年能耗^[20]。

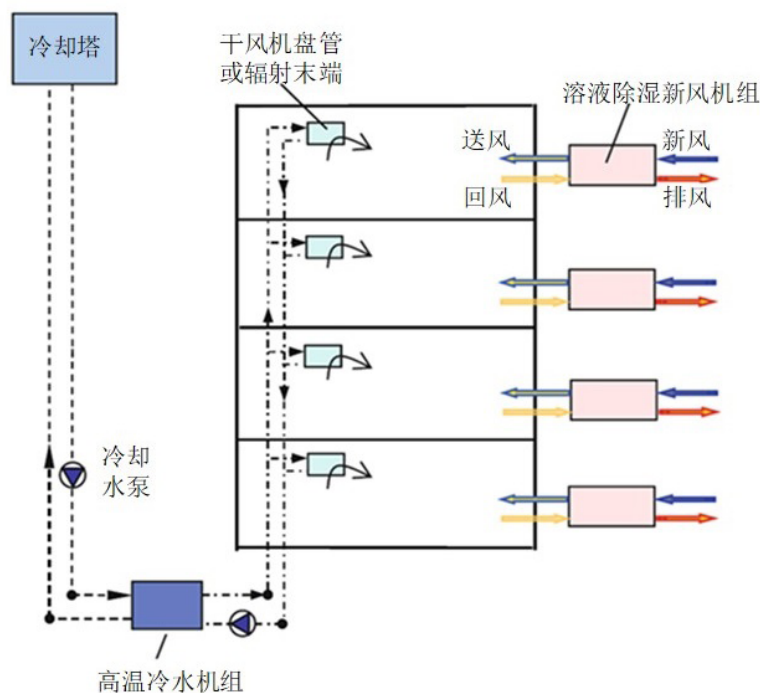


图4温湿度独立控制系统

目前，约克、格力、海尔等几家重要的冷水机组制造商均销售高温冷水机组。高温冷水机组广泛应用于大型办公楼和工业建筑中。研究表明，当高温冷水机组的出水温度为12℃~18℃^[21]，高温冷水机组的最大COP可高于9.0。因此，与普通离心式水冷冷水机组相比，高温冷水机组能够节省30%的能源^[22]。

3. 全年制冷冷水机组

随着社会经济和科技的发展，数据中心等高热流密度空间迅速增加。与传统的住宅和公共建筑不同，这些空间需要全年制冷，这导致了巨大的能源消耗。2018年，美国数据中心耗电894亿kWh，约占美国总用电量的2.1%。中国的数据中心用电量为630亿kWh，约占中国总用电量的0.9%^[23]。在数据中心，制冷能耗占总用电量的30%以上。因此，在这些空间中使用全年运行的冷水机组，节能是非常重要的。

全年运行的冷水机组需要在大范围变化的环境条件下制冷，因此全年保持高能效和高可靠性是非常重要的。目前，大多数全年运行的冷水机组全年都采用蒸气压缩制冷系统。然而，冬季的环境温度远低于室内温度，如果在冬季充分利用环境中的冷量，将节约大量能源。一般可采用空气经济器、水经济器和热管

经济器等方式利用室外冷量实现免费供冷。空气经济器直接向数据中心提供室外冷空气或蒸发冷却的室外空气。水经济器将低温的湖水、海水或冷却水泵入室内。热管经济器通过制冷剂将室内热量传递到室外，避免了引入污浊的室外空气和水所产生的潜在风险。在此基础上，为进一步提高冷水机组的灵活性和可控性，多个研究团队和生产厂家开发了蒸气压缩循环与不同经济器相结合的全年运行冷水机组。

一种典型带热管经济器的全年运行冷水机组如图5^[24]所示。该冷水机组具有两种运行模式，蒸气压缩模式和热管模式。当压缩机、冷凝器、膨胀阀和蒸发器依次连接，可实现蒸气压缩运行模式（图5（a））。在寒冷天气下，两个带控制阀的附加回路将压缩机和膨胀阀旁通，此时冷水机组以热管模式运行（图5（b））。新系统在蒸气压缩和热管两种模式下都能很好地工作。试验表明，与传统冷水机组相比，新系统可节省30%的能源^[24]。

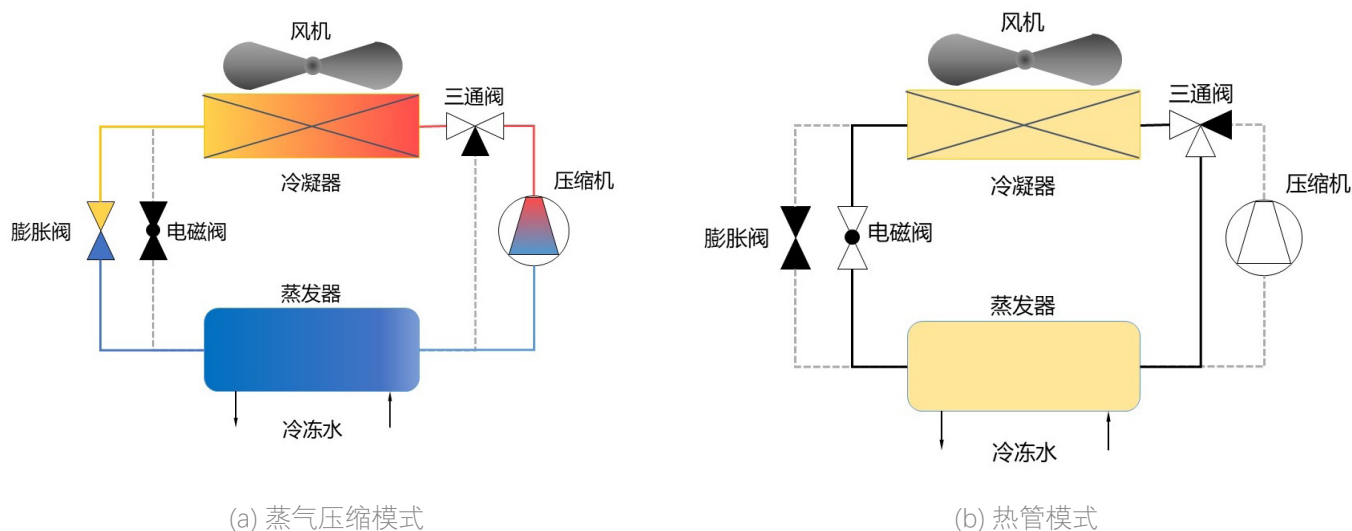
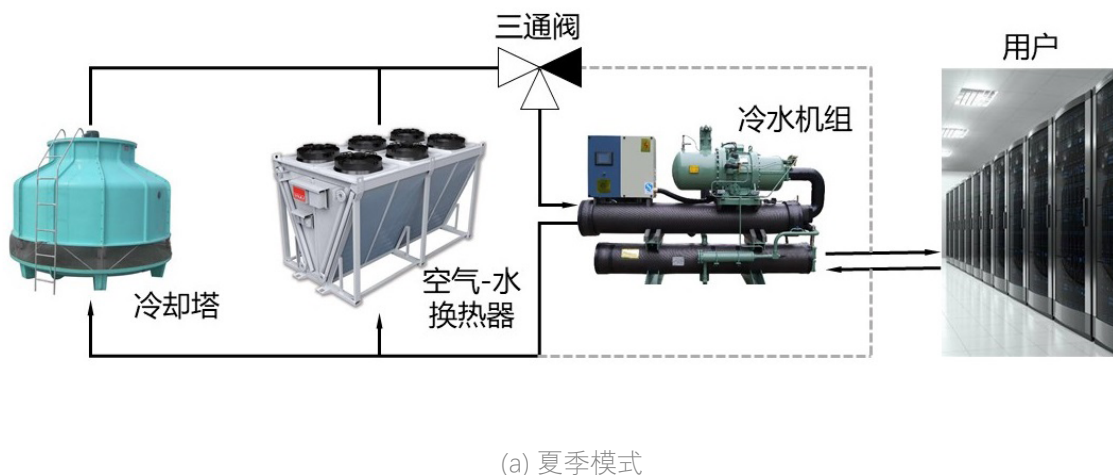


图5全年运行冷水机组的典型配置^[24]

另一个结合了蒸气压缩和水经济器的全年制冷系统如图6所示^[25]。空气-水热交换器和冷却塔结合在一起使用。在夏季，空气-水热交换器和冷却塔的组合作为冷凝器，增大了换热面积，降低了冷凝温度，提高了系统COP。在冬季，当环境温度足够低时，冷却塔和冷水机组停止运行，只有空气-水热交换器运行以产生免费的冷冻水供数据中心直接使用。该系统不仅提高了制冷系统的能效，而且提高了蒸气压缩制冷系统和冷却塔的可靠性。



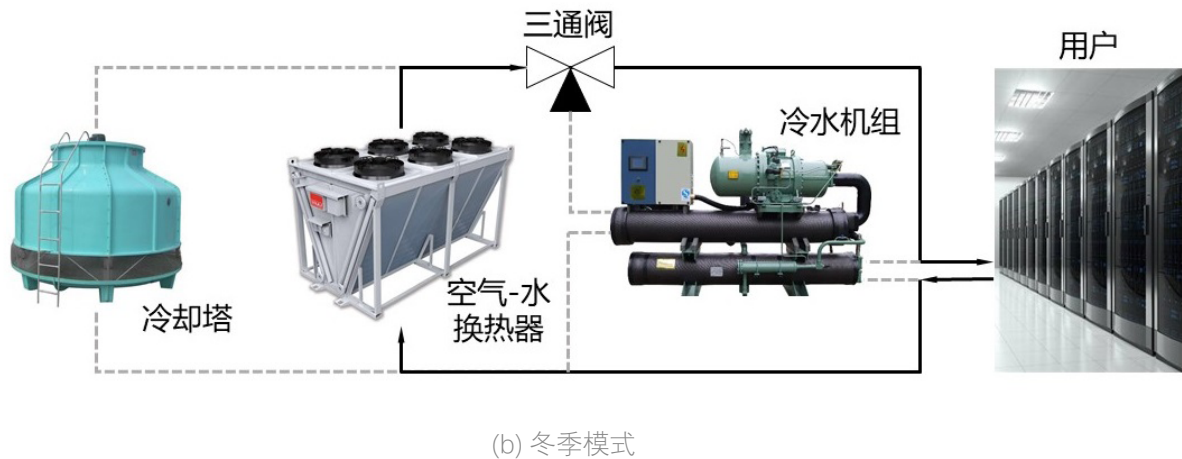


图6蒸气压缩与节水器组合的全年制冷系统

除此之外，麦克维尔也开发出了采用空气经济器的变频风冷螺杆冷水机组^[11]，冬季利用外部空气实现免费供冷，大大降低了数据中心空调系统的运行成本。

技术及产品应用

根据佰世越（BSRIA）于2019年3月发布的《全球空调市场研究报告》^[26]，2018年全球空调市场销量超过1.41亿台，销售额超过1030亿美元。其中，冷水机组销量约占4.5%。另据日本JARN杂志统计^[11]，2019年全球冷水机组市场同比增长6.3%，主要冷水机组市场为中国、美国、欧洲，分别占世界市场的29.7%、15.3%和17.2%。

在制冷剂替代过程中，《蒙特利尔议定书》和《京都议定书》发挥了非常重要的作用。许多发达国家已经逐步淘汰了HCFCs的应用，发展中国家也在2015年开始了相关的淘汰进程，并计划在2030年前完成。欧盟于2014年发布了新的含氟气体（F-gas）法规，即欧盟指令2014/517/EC。根据规定，2025年1月1日后，包括R410A在内的GWP高于750的制冷剂将被禁止在单元式空调器中使用。2020年1月1日以后，商用制冷设备中禁止使用GWP超过2500的制冷剂，包括R404A。近年来，低GWP制冷剂的商业化进程加快，尤其是HFO及其混合物。各大制冷剂、压缩机和冷水机组制造商不断推出与低GWP制冷剂相关的新产品。

2018年，全球磁悬浮冷水机组市场达到4720台，同比增长26%，远超同期冷水机组的增长，主要市场是美国、中国、德国、意大利和澳大利亚。2018年中国磁悬浮冷水机组市场同比增长42%，达到1158台，占全球市场的24.5%^[27]。包括丹佛斯在内的几乎所有领先的冷水机组制造商都开始开发和生产自己的磁悬浮压缩机。2018年，海尔在全球销售637台磁悬浮冷水机组，占全球市场份额的13.5%，成为全球磁悬浮冷水机组市场销量最大的公司^[11]。无油压缩机技术作为暖通空调领域的重大技术创新之一，在很大程度上推动了冷水机组市场的扩大。

目前，全球规模数据中心的数量已超过42万个，其能耗已占到全球发电量的3%左右^[28]。但值得注意的是，数据中心功耗的增长远远慢于服务器数量的增长，这可以归功于数据中心冷却技术的大幅提升。在不久的将来，5G通信的快速应用对减缓数据中心的功耗增长带来了很大的压力。根据美国市场研究和咨询公司Grand View research^[29]的研究，2018年数据中心的全球制冷市场规模为86亿美元，到2025年将保持每年13.5%左右的增长率。除了采用液体冷却技术和发展耐高温电子器件外，采用高效冷源是数据中心节能的主要方向。与自然能源相结合的全年运行冷水机组是实现高效冷却的重要途径。

参考文献

- [1] Birol F. The future of cooling: opportunities for energy-efficient air conditioning[J]. Agence Internationale de l'Énergie, 2018.
- [2] <<https://globalcoolingprize.org/>> [online]
- [3] R. Saidur, M. Hasanuzzaman, T.M.I. Mahlia, N.A. Rahim, H.A. Mohammed. Chillers energy consumption, energy savings and emission analysis in an institutional building[J]. Energy, 2011, 36(8).
- [4] UNEP. 2014 Report of the refrigeration, air conditioning and heat pumps technical options committee, 2015, <<http://www.ozone.unep.org/en/assessmentpanels>>; [online]
- [5] Johnson, P.A., Wang, X., et Amrane, K. 2012. AHRI Low-GWP Alternative Refrigerant Evaluation Program, ASHRAE/NIST Refrigerants Conference, NIST, Gaithersburg, MD USA, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 29-30 octobre.
- [6] Pearson, A. 2012. Opportunities for Ammonia, ASHRAE/NIST Refrigerants Conference, NIST, Gaithersburg, MD USA, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, GA, USA, 29-30 octobre.
- [7] Larminat, P.D., 2014. A high temperature heat pump using water vapor as working fluid. Conférence IIF Gustav Lorentzen 2014, Hangzhou, Chine.
- [8] Colbourne, D., Solomon P., Wilson R., de Swardt L., Schuster M., Oppelt D. et Gloël J. 2016. Development of R290 Transport Refrigeration System, paper ID 1002, 12ème Conférence IIF-Gustav Lorentzen sur les frigorigènes naturels, 21-24 août, Edinbourg, Écosse.
- [9] Mota-Babiloni A, Navarro-Esbri J, Barragán Á, et al. Drop-in energy performance evaluation of R1234yf and R1234ze (E) in a vapor compression system as R134a replacements[J]. Applied Thermal Engineering, 2014, 71(1): 259-265.
- [10] Lee, Y., Jung, D., 2012. A brief performance comparison of R1234yf and R134a in a bench tester for automobile applications. Applied Thermal Engineering, 35, 240–242.
- [11] JARN: Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News, 2019.
- [12] <https://www.york.com/commercial-equipment/chilled-water-systems/water-cooled-chillers/yk_ch> [online]
- [13] <https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/global/products-systems/equipment/chillers/water-cooled/helical-rotary/RLC-PRC020J-EN_03112020.pdf> [online]
- [14] Daikin Industries, Ltd. Falling film evaporator. [P] United States Patent: US 20170138652 A1, May 18, 2017
- [15] <<http://www.mdbj.com.cn/chanpin2/li.asp>> [online]
- [16] Haier magnetic bearing variable-speed centrifugal chillers [J]. Building Science, 2012(S2):331-335. (in Chinese)
- [17] Zhao K, Liu X H, Zhang T, et al. Performance of temperature and humidity independent control air-conditioning system in an office building[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(8): 1895-1903.
- [18] Xiao F, Ge G, Niu X. Control performance of a dedicated outdoor air system adopting liquid desiccant dehumidification[J]. Applied Energy, 2011, 88(1): 143-149.
- [19] Seshadri B, Rysanek A M, Schlueter A. Evaluation of low-lift sensible cooling in the tropics using calibrated simulation models and preliminary testing[J]. Energy Procedia, 2017, 122: 511-516.
- [20] Zhao K, Liu X H, Zhang T, et al. Performance of temperature and humidity independent control air-conditioning system in an office building[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(8):1895-1903.
- [21] Liu H, Zhang Z P, Xie Y Q. Development and research on high leaving temperature refrigerating centrifugal compressor[J]. Fluid Machinery, 2010, 38(4): 74-79. (in chinese)
- [22] Bharath Seshadri, Adam Rysanek, Arno Schlueter. High efficiency 'low-lift' vapour-compression chiller for high-temperature cooling applications in non-residential buildings in hot-humid climates[J]. Energy & Buildings, 2019, 187:24-37.
- [23] Open Data Center Committee of CAICT. White book of data center, 2018. (in chinese)
- [24] Zhang P, Wang B, Wu W, et al. Heat recovery from Internet data centers for space heating based on an integrated air conditioner with thermosyphon[J]. Renewable Energy, 2015, 80:396-406.
- [25] Li X, Lyu W, Ran S, et al. Combination principle of hybrid sources and three typical types of hybrid source heat pumps for year-round efficient operation[J]. Energy, 2020, 193: 116772.
- [26] BSRIA. The Global Air-conditioning Market Research Report 2018.
- [27] Global Magnetic Bearing Central Air Conditioning Industry Research Report 2018. (in chinese)
- [28] Masanet E., Shehabi A., Lei N., Smith S., Koomey J. Recalibrating global data center energy-use estimates, Science, 2020, 367(6481): 984-986.
- [29] Grand View Research, Inc: Data Center Cooling Market Size, Share & Trends Analysis Report 2019-2025. Date de publication : Jan, 2019, Report ID: 978-1-68038-652-3, <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/data-center-cooling-market>> [online]

国际制冷学会的建议

随着经济的发展、人口的增长、生活水平的提高以及全球气候的变暖，空调需求越来越大。空调的能源消耗正在迅速增加。全球空调需求的增长已经成为我们这个时代最关键但常常被忽视的能源问题之一。满足空调的电力需求，特别是高峰用电需求，成为未来的一大挑战。另一方面，除了能源消耗造成的温室气体间接排放外，制冷剂也是温室气体直接排放的重要来源。目前使用的大多数制冷剂具有很高的全球变暖潜力。因此，通过提高制冷水机组等主要设备的能效来降低能耗和发展低GWP制冷剂是制冷领域的迫切课题。

根据上述综述，对制冷和冷水机组的一些结论和建议总结如下：

- 空调需求正在激增，应采取紧急行动，抑制能源消耗的增长，降低潜在的巨大经济和环境成本。
- 可采用的措施应包括两部分：提高空调系统的能效和使用环保型制冷剂。
- 空调系统的节能有赖于系统的完善设计、安装、运行和维护。其中，冷水机组的节能设计起着最重要的作用。
- 近年来，人们在提高冷水机组的能效方面付出了极大的努力，并取得了很大的进展。无油冷水机组、高温冷水机组和与自然能源相结合的冷水机组是典型的例子。
- 近几年来，低GWP制冷剂及其冷水机组的商业化取得了显著进展。在气候协定方面的国际合作将加速制冷剂的替代进程。



IIFIR.ORG

in |  |  | 

iif-iir@iifir.org

177, boulevard Malesherbes - 75017 Paris - France
Tel. +33 (0)1 42 27 32 35 / Fax +33 (0)1 47 63 17 98

Copyright © 2021 IIR/IIF All rights reserved/Tous droits réservés