

文章编号:0253 – 4339(2018) 03 – 0065 – 08
doi:10. 3969/j. issn. 0253 – 4339. 2018. 03. 065

我国空调与热泵的能效和标准现状与分析

王 派 李敏霞 马一太 王飞波

(天津大学热能研究所 中低温热能高效利用教育部重点实验室 天津 300072)

摘 要 本文总结了我国空调热泵的能效标准,阐述了季节能效比 SEER、综合部分负荷值 IPLV 和热泵热水机组全年能源消耗效率 APF 之间的关系,分析我国能效(分级)标准发展历程。其中,空调与热泵的能效标准,风冷从单一工况的制冷能效比 EER 或性能系数 COP,发展到 SEER 和供热季节性能系数 HSPF;水冷从单一工况 COP,发展到综合部分负荷系数 IPLV。提出低环境温度空气源热泵 IPLV(H)的 3 级能效划分建议值。同时,指出能效标准的共性与问题,如理论工作还有待加强,评价指标不统一,部分能效标准缺失,能效标准未能及时与产品标准相对应等,并对今后能效标准的研究思路 and 方向给出了建议。

关键词 空调热泵;能效标准;能效等级;性能指标;存在问题

中图分类号:TB657.2; TQ051.5

文献标识码:A

Current Situation and Prospect of Air Conditioning and Heat Pump Energy Efficiency and Standard in China

Wang Pai Li Minxia Ma Yitai Wang Feibo

(Key Laboratory of Efficient Utilization of Low and Medium Grade Energy, MOE, Thermal Energy Research Institute, Tianjin University, Tianjin, 300072, China)

Abstract This paper summarizes the energy efficiency standards of air conditioning and heat pumps in China. The relationships between seasonal energy efficiency ratio (SEER), integrated part load value (IPLV), and annual performance factor (APF) are expounded. The development process of energy efficiency (grade) standards is analyzed. The air-cooled air-conditioning and heat pump change from single operating conditions using the energy efficiency ratio (EER) or coefficient of performance (COP), to a SEER and heating season performance factor (HSPF), whereas the water-cooled air-conditioning and heat pump change from single operating conditions using COP to an integrated part load value. This paper puts forward the three-stage IPLV(H) recommended value of a low ambient temperature air-source heat pump. The current situation and problems in the energy efficiency standards are pointed out. For example, theoretical knowledge needs be strengthened, the evaluation indicators are not unified, some of the energy efficiency standards are deficient, and other energy efficiency standards do not correspond to the product standards. A direction for the energy efficiency standards is also suggested.

Keywords air conditioning and heat pump; energy efficiency standards; energy efficiency standards grade; performance index; existing problems

随着我国国民经济的快速发展,制冷空调与热泵装置在工业、商业、民用等范围的应用越来越多,消耗的电能也越来越多。我国通过借鉴、学习发达国家的先进经验,制定了制冷空调与热泵装置的能效标准,这对于提高制冷空调与热泵装置的能效水平,节约能源和减少环境污染起到重要作用。

近 20 年来我国逐步开展能效标准和能效标识的研究工作,已经制定的关于制冷空调产品的能效标准有:电冰箱、房间空调器、单元式空调机、冷水机组、转速可控型房间空调器、多联式空调(热泵)机组、水源热泵、热泵热水机、制冷陈列柜等产品。我国空调热

泵的一些相关能效标准如表 1 所示,考虑到工作温度不同,本文不涉及冰箱和冷柜的能效标准。空调与热泵同属于热力学逆循环,需要两个热源。一侧是环境,热量来自空气或水体(江、河、湖、海,地下水或换热装置中的水);另一侧是用户侧冷热介质,热(冷)量通过循环的空气或水,也可能是盐类或乙二醇等防冻溶液传给终端。按热源和用户端的冷热流体进行分类,存在 4 种形式的空调与热泵:空气-空气式、水-空气式、水-水式、空气-水式。作者长期参与或关注我国制冷空调与热泵的能效标准制定工作,总结出热力学完善度的基本原理和计算方法,并将其应用到实际的标

准制定中。热力学完善度可以作为指导我国制订与修 订制冷空调与热泵装置能效标准的依据^[1]。

表 1 我国空调热泵的相关能效标准
Tab. 1 The energy efficiency standard of air conditioning and heat pump in China

分类	相关标准
房间空气调节器	GB/T 7725—2004《房间空气调节器》
	GB 12021. 3—2010《房间空气调节器能效限定值有能效等级》
	GB 21455—2013《转速可控型房间空气调节器能效限定值能效等级》
单元式空气调节机	GB/T 17758—2010《单元式空气调节机》
	GB 19576—2004《单元式空气调节机能效限定值及能源效率等级》 (实际上与 GB/T 17758—2004《单元式空气调节机》相对应)
冷水机组	GB/T 18430. 1. 2—2008《蒸气压缩循环冷水(热泵)机组》
	GB 19577—2015《冷水机组能效限定值及能源效率等级》
水(地)源热泵机组	GB/T 19409—2003《水源热泵机组》
	GB/T 19409—2013《水(地)源热泵机组》
	GB 30721—2014《水(地)源热泵机组能效限定值及能源效率等级》
水源高温热泵机组	GB/T 25861—2010《蒸气压缩循环水源高温热泵机组》
热泵热水机	GB/T 21362—2008《商业或工业用或类似用途的热泵热水机》
	GB 29541—2013《热泵热水机(器)能效限定值及能源效率等级》
多联式空调(热泵)机组	GB/T 18837—2015《多联式空调(热泵)机组》
	GB 21454—2008《多联式空调(热泵)机组能效限定值及能源效率等级》 (实际上与 GB/T 18837—2002《多联式空调(热泵)机组》相对应)
低环境温度空气源热泵(冷水)机组	GB/T 25127. 1. 2—2010《低环境温度空气源热泵(冷水)机组》
低环境温度多联式热泵(空调)机组	GB/T 25857—2010《低环境温度空气源多联式热泵(空调)机组》

由于制冷、空调与热泵的产品种类越来越多,产品容量也越来越广泛,对各种产品都建立完善的能效标准很可能是事倍功半的。热力学完善度可以将不同工况的制冷空调设备统筹于统一的基准上比较分析,反映的是设备用能效率偏离理想状态的程度,可以用来分析设备,提高用能效率。如果在相同工况条件下比较不同机组,用相同的效率值即可。例如房间空调器与多联机或单元式机组之间,在室外 35 ℃ 和室内 27 ℃ (也可以是 19 ℃) 条件下,可用 EER、SEER 等比较。如果是在不同工况条件下进行比较,如空气源热泵热水机与空气源热泵,用热力学完善度即可得出准确结果。

我国的能效标准制订开始于电冰箱,参考了欧盟采用的能效标准的 7 个分级,冰箱起初采用了 5 个分级,并一度影响到房间空调器、单元式空调机、冷水机组等能效标准的制订,都采用 5 个分级^[2]。作者较早提出,除冰箱外,较大容量的制冷空调设

备分 3 个等级为最佳,并用热力学完善度的规律预测合理的等级分布。对当前低环境温度空气源热泵性能评价影响最大的,首先应该是房间空调器和冷水(热泵)机组。

1 房间空调器的 EER 和 SEER、COP 和 HSPE

EER(energy efficiency ratio)即制冷能效比,指空调器在额定工况和规定条件下进行制冷运行时,制冷量与有效输入功率之比(单位:W/W)。COP(coefficient of performance)即性能系数,指空调器在额定工况(高温)和规定条件下进行热泵制热运行时,制热量与有效输入功率之比。注意“有效输入功率”包括:1)压缩机运行的输入功率和除霜输入功率(不用于除霜的辅助电加热装置除外);2)所有控制和安全装置的输入功率;3)热交换传输装置的输入功率(风扇、泵等)。

1979 年,美国能源部(DOE)提出了季节能效比(SEER)概念。美国采暖、制冷和空调工程师学会(ASHRAE)及美国空调与制冷协会(ARI,现改名为AHRI)分别在 1983 年和 1989 年将房间空调器和热泵的性能指标由单一的标准工况能效比发展为更科学的季节能效比(SEER)和供热季节性能系数(HSPF)。日本于 1999 年在 JRA4046 标准中也提出季节能效比的评价方法,但与美国的 SEER 测试与计算方法不同。我国 GB/T 7725—2004《房间空气调节器》中针对风冷式空调器和转速可控型房间空调器提出空调器的制冷季节能源消耗效率 SEER(seasonal energy efficiency ratio)(单位: $(W \cdot h)/(W \cdot h)$)和制热季节能源消耗效率 HSPF(heating seasonal performance factor)的计算公式。目前 GB 21455—2008《转速可控型空气调节器能效限定值及能源效率等级》参照国外的相关标准,首次采用季节能效比 SEER 作为衡量空气调节器整个运行季节的能效水平的指标。特别需要注意:在 GB/T 7725—2004《房间空气调节器》中提出 SEER 概念并不只是针对变频空调,所有空调都可以检测 SEER。同时,针对冬季热泵工况,不仅有名义工况下的 COP,还有采暖季节的供热季节性能系数 HSPF。但对于变频的热泵产品,可直接考核 APF,没有 HSPF 要求。

对比相同容量转速可控和固定的空调器标准中规定的数值,通常 SEER 是 EER 的 1.17~1.5 倍,1、2、3 级能效的比值约为 1.3:1.15:1;如果比较转速可控空调和定频空调的 APF,前者是后者的 1.13~1.27 倍。由表 2 和表 3 可知 1、2、3 级能效的比值约为 1.2:1.06:1。最大值出现在容量为 4 500 W 以下的 1 级能效的分体空调,这是国内用量最多的房间空调器。从 EER 到 SEER 代表着技术水平的提高,促进了变频压缩机、电子膨胀阀、变频风机等技术的发展。

表 2 GB 21455—2013 分体式单冷型转速可控房间
空气调节器能效等级

Tab. 2 GB 21455—2013 Minimum allowable values of
the energy efficiency and energy efficiency grades for
variable speed split type cooling room air conditioners

额定制冷量 CC/ W	SEER		
	1 级	2 级	3 级
CC≤4 500	5.40	5.00	4.30
4 500 < CC≤7 100	5.10	4.40	3.90
7 100 < CC≤14 000	4.70	4.00	3.50

表 3 GB 21455—2013 分体式热泵型转速可控房间
空气调节器能效等级

Tab. 3 GB 21455—2013 Minimum allowable values
of the energy efficiency and energy efficiency grades
for variable speed split type heat pump room air conditioners

额定制冷量 CC/ W	APF		
	1 级	2 级	3 级
CC≤4 500	4.50	4.00	3.50
4 500 < CC≤7 100	4.00	3.50	3.30
7 100 < CC≤14 000	3.70	3.30	3.10

2 IPLV 的由来和发展

美国冷水机组标准 ARI Standard 550—1986 首次提出综合部分负荷值 IPLV(integrated part load value),并于 1988 年被采用,在 1992 年和 1998 年进行了两次修订。与单元设备所采用的 SEER 类似,IPLV 表示冷水机组在标准的 ARI 标定条件下部分负荷的综合效率值。目前,美国主要的冷水机组制造商一致通过了 1998 年版的 IPLV 计算方法,IPLV 作为冷水机组的能耗考核指标已被广泛采用。在 GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》^[3]中也引入了此概念,该指标用于水冷式冷水机组单台机组的性能评价^[4]。

GB 50189—2005 通过大量计算分析,分别得到我国 4 个主要气候区(温和地区除外)的标准办公建筑的冷水机组部分负荷运行时间分布和 4 个气候区的 IPLV 系数值,给出中国冷水机组 IPLV 的计算公式。但由于建筑节能的发展,25% 工况小时数明显减少,GB 50189—2015 对 IPLV 公式进行了修订,并于 2017 年 1 月 1 日正式实施。IPLV 计算公式为:

IPLV = 0.012A + 0.328B + 0.397C + 0.263D

(1)

式中:A 为机组在 100% 负荷的 COP;B 为机组在 75% 负荷的 COP;C 为机组在 50% 负荷的 COP;D 为机组在 25% 负荷的 COP。

3 冷水机组的 COP 和 IPLV

冷水机组的 COP 指机组制冷(热)量与总输入电功率的比值。即冷水机组的 COP 为制冷系数,也表示热泵的制热系数。“总输入电功率”对于水冷式机组包括压缩机电动机、油耗电动机和操作控制电路等的输入总电功率(不包括水泵电机输入功率);对于风冷式机组除上述功率外,还包括放热侧冷却风机电

功率。

我国的冷水机组(热泵)分为商用和户用两种型式,区别为商用冷水机组制冷量 $\geq 50\text{ kW}$,而户用机组制冷量 $< 50\text{ kW}$,同时建立了相应的测试标准分别为 GB/T 18430.1 和 GB/T 18430.2。两个标准均经过了一次修订,新版本分别为 GB/T 18430.1—2007^[5] 和 GB/T 18430.2—2008^[6]。均采用 GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》^[2] 中的 IPLV 作为冷水机组和水冷单元式空调的性能评价指标。在 GB 19577—2004《冷水机组能效限定值及能效效率等级》中实行的是 5 级能效等级:1 级是最高级,2 级是节能级,5 级是入门级。2015 年进行了修订,新版 GB 19577—2015《冷水机组能效限定值及能效效率等级》^[7] 采用了 3 级能效等级。其中,1 级最高,2 级是节能级,3 级是限定值(入门级),限定级(3 级)能效与产品标准的能效是一致的,且是强制性的,其余都是推荐性的。不仅各级 COP,特别是限定值(3 级)有较大提高,还引入了 IPLV 的限定值和能效等级(说明:若不做特别标注,IPLV 指制冷时综合部分负荷值,IPLV(H)指制热时综合部分负荷值)。通常 IPLV 是对应 100% 负荷下 COP 的 1.2~1.3 倍。反映了当前整机在容量调节和工况调节的水平,制冷与热泵在该方面原理是相同的。GB 18837—2002《多联式空调热泵机组》^[8] 中对多联式空调机采用的 IPLV 直接引用美国标准 ANSI/SRI Standard 210/240—2003^[9] 中 IPLV 的计算公式。

以容量较大的冷水机组(热泵)为代表,有关国家标准给出,产品要测定在给定工况下的能效比 EER(通常为制冷量与耗电量之比)或性能系数 COP(通常为制热量与耗电量之比,具体看规定)。对于可能在变化的工作条件下工作的制冷或热泵装置,与房间空调 SEER 相对应的季节能效理念发展出了综合部分负荷值 IPLV 理念。其发展也许是独立于房间空调器的技术升级思路,因为通常制造容量较大的冷水机组的企业与制造房间空调器的企业很少有交集。如同房间空调器用 SEER 代替 EER,用综合部分负荷值 IPLV 代替额定工况下的 EER 或 COP。刘圣春等^[10] 曾论证,SEER 和 IPLV 在本质上相同,IPLV 和 SEER 有相同的规律,如两者都可能是 100% 负荷工况下的 EER 或 COP 的 1.2 倍以上,有可能高达 1.5 倍。该规律既适用于制冷工况也适用于制热工况。虽然 SEER 和 IPLV 是发展方向,但 EER 或 COP 还是基础。

4 低环境温度空气源热泵的 IPLV(H)

基于相关热力学完善度理论,参考若干产品的设

— 68 —

计和应用实测值等,对于户用空气源热泵名义工况下(A 工况:负荷 100%,干球温度 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿球温度 $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$),其 1 级能效、2 级能效和 3 级(入门级)能效 COP 依次建议为 2.6、2.4 和 2.2。GB/T 25127—2010 中第一次说明了 IPLV(H)。对于综合部分负荷值 IPLV(H)(按各地的平均的系数计算),建议其 1 级能效、2 级能效和 3 级(入门级)能效值依次为 3.3、3.0 和 2.5。1 级能效只占总产品的 5%,2 级能效占总产品的 25%~30%,其余为 3 级能效。作为研究和应用分析的参考,低环境温度(户用)空气源热泵的能效标准计算值,可参考表 4 所示数据。

表 4 低环境温度(户用)空气源热泵的能效标准计算值
Tab.4 The calculated value of the low ambient temperature (household) air source heat pump energy efficiency standard

工况	卡诺循环 COP _c	1 级能效 COP ₁	2 级能效 COP ₂	3 级能效 COP ₃
A	5.88	2.60	2.40	2.20
IPLV(H)	7.21	3.30	3.00	2.50
IPLV/COPA	1.23	1.27	1.25	1.14

5 APF 和 ACOP 的定义及由来

热泵热水机组全年能源消耗效率 APF(annual performance factor),是用于评价热泵全年季节性能系数的一个指标。指空调器在制冷季节和制热季节期间,从室内空气中除去的冷量与送入室内的热量的总和与同期间内耗电量的总和之比,也称为全年综合能效比。同时考虑多个制冷工况和制热工况的性能,受全年所有工况性能、全年运行室外温度 and 对应小时数的影响。目前有趋势将末端用空气为冷热介质的系统:空气-空气式和水-空气式的产品,用 APF 作为全年能效性能的评价指标。

随着变频空调的不断发展,使用比例不断提升,单一工况的 EER 和 COP 指标已不能确切反映空调的实际效率,以往只考核制冷性能的 SEER 评价指标转变为兼顾制冷和热泵的 APF 评价体系^[11]。变频空调的 APF 标准最早由日本提出,并于 2010 年开始实施,2013 年正式引入我国标准之中。GB 21455—2013 规定了如何按照 APF 划分空调器的能效等级,更新了 APF 计算所用的各个室外温度的小时数,所用的 APF 计算方法适用于定频和变频空调^[12]。

APF 计算公式:

$$\text{APF} = \frac{\text{CSTL} + \text{HSTL}}{\text{CSTE} + \text{HSTE}} \tag{2}$$

式中: CSTL 为全年制冷总负荷, kJ; HSTL 为全年制热总负荷, kJ; CSTE 为全年空调制冷消耗总功率, kJ; HSTE 为全年空调制热消耗总功率, kJ。

APF 的优点为可以充分体现机组在全年的综合性能, 因为压缩机或换热器的性能不可能对 EER 和 COP 都是优化的, 突出 APF 可以兼顾两者。但是 APF 也不能包揽一切, 如单供冷的空调机组, 或单供热的热泵机组都不能用 APF。

在 GB/T 19409—2013《水(地)源热泵机组》^[13]中提出全年综合性能指标 ACOP, 用于热泵型水(地)源热泵的能源效率。

ACOP = 0.56EER + 0.44COP

(3)

式中: 加权系数 $0.56 + 0.44 = 1$, 是经过统计全国数十个城市, 制冷和热泵应用小时数的平均比例得出的。可知 APF 和 ACOP 都是希望机组在制冷和制热性能上达到兼顾, 同样, 对于单供冷机组和单供热机组, ACOP 也不适用, 需要用 EER 或 COP, 水(地)源热泵机组也没有 IPLV 或 HSPF 的要求。

6 我国能效(分级)标准发展历程

我国于 1989 年 12 月, 由国家技术监督局颁布了 GB 12021.3《房间空气调节器电耗限定值及测试方法》, 并于 1990 年 12 月执行。1996 年又颁布了 GB/T 7725—1996《房间空气调节器》, 将 EER 和 COP 作为房间空调器的能效指标, 主要参考了日本的测试标准。由于产品的不断发展和技术的进步, 原有标准已经跟不上节能技术发展的步伐, GB/T 7725—1996^[14]也于 2004 年进行了修订。

GB/T 7725—2004 更注重空调器设备本身。其能效指标从额定工况下的 EER、COP 等, 发展为制冷季节能源消耗效率 SEER、制热季节能源消耗效率 HSPF 和全年能源消耗效率 APF。在术语中规定了房间空调器和气候类型(T1 温带、T2 低温和 T3 高温), 包括单冷型和热泵型, 也包括转速可控型(压缩机变速或变频), 容量可控型(不通过压缩机变速而改变容量), 及一拖多房间空气调节器。与多联式空调(热泵)机组类似, 两者英文名字 multi-split room air conditioner 和 multi-connected air condition (heat pump) unit 也很相近, 区别可能主要在容量上。GB/T 7725—2004 虽然容量只是 14 kW 以下, 给出了制冷运行的额定、最大和冻结工况条件和热泵运行的额定、最大、最小和除霜工况条件, 其低温热泵工况中室外温度为 2℃, 超低温工况为 -7℃, 与低环境温度空气源热泵 GB/T 25127—2010 不一致。在 GB/T 7725—2004 全文中没有给出具体产品能效的限定

值, 但从能效实验的基本原理、能效指标和实验装置等方面为所有空气源空调和热泵打下了基础。

我国于 2000 年、2004 年和 2010 年先后 3 次对 GB 12021.3 进行了修订。GB 12021.3—2010^[15]在 2004 年版的基础上进行提高, 按照 EER 对定频空调进行划分, 并将 5 级能效改变为 3 级能效, 如表 5 所示。2008 和 2013 年颁布 GB 21455《转速可控型房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》^[16], 该标准对转速可控的房间空调器的能效进行限定。GB 12021.3—2010《房间空气调节器及能效等级》中对定速房间空调器的能效限定及能效等级的划分标准为 EER, 而 GB 21455 对转速可控房间空调器的能效限定及能效等级的划分标准为 SEER。GB/T 7725—2004 制冷(热)季节需要制冷和供热的各温度发生时间分别是 2 399 h 和 3 600 h, 而在 GB 21455—2013《转速可控型房间空气调节器能效限定值能效等级》中各温度发生时间分别是 1 136 h 和 433 h (特指南京)。GB 21455—2013《转速可控型房间空气调节器能效限定值能效等级》主要指变频空调, 单冷型用 SEER, 热泵型用 APF。因此, 可以看到我国在能效(分级)标准中的发展历程, 也可看出在起点上存在的问题。

表 5 GB/T 12021.3—2010《房间空气调节器
能效限定值及能效等级》

Tab. 5 GB/T 12021.3—2010 The minimum allowable
value of the energy efficiency and energy efficiency
grades for room air conditioners

类型	额定制冷量/W	1 级	2 级	3 级
分体式	CC≤4 500	3.6	3.4	3.2
	4 500 < CC≤7 100	3.5	3.3	3.1
	7 100 < CC≤14 000	3.4	3.2	3.0
整体式	—	3.3	3.1	2.9

GB/T 18837《多联式空调(热泵)机组》, 在 2002 年颁布, 并在 2015 年进行了修正。2015 版多联机标准的性能评价体系发生了重大变化, 风冷式多联机采用季节能效比(SEER)和全年性能系数(APF)进行评价, 参考 ISO 16358 标准计算模型, 并结合了中国的气候条件和多联机使用情况, 以南京作为代表城市, 以办公建筑为代表建筑类型进行计算和评价, 其他城市及建筑类型参照执行。水环式水冷多联机采用 IPLV 进行评价, 地下水、地表水和地埋管式水冷多联机则参照水(地)源热泵标准考核产品的名义制冷能效比(EER), 如表 6 所示。多联机在制冷季节需要制冷的各温度运行时间和在制热季节需要制热的各温

度运行时间,参照了 GB/T 17758—2010《单元式空气调节机》中对商用空调的相关要求。同时,GB/T 18837—2015^[17]增加了对实验机组的要求,在一定正度上可以规范通过盲目增加室内机台数来增加换热面积以及加大风量以追求较高能效实验数据的做法,保证标准的合理性。

表 6 GB/T 18837—2015《多联式空调(热泵)机组》性能系数
Tab. 6 GB/T 18837—2015 the performance coefficient of the “multi-type air-conditioning (heat pump) unit”

类型	SEER	APF	IPLV	EER
风冷式单冷型	3.1	—	—	—
风冷式热泵型	—	2.7	—	—
水冷式水环式	—	—	3.5	—
水冷式地下水式	—	—	—	4.3
水冷式地表水/地埋管式	—	—	—	4.1

7 空调机组能效等级的共性

以应用最广泛的空气-空气式和水-水式两类空调(制冷)产品为例,寻找一些共性。

可以把房间空调器(容量小于 14 kW)、多联式空调(热泵)机组(容量大于 7 kW)、单元式空调机(容量于大 7 kW)看作原理一致,名义工况和测试方法相同,只是容量大小不同。如果认为通常多联式空调(热泵)机组单机容量为中间值,单元式空调机的单机容量可能更大,可以构造图 1 所示的规律。其中,多联机和单元式空调机目前只有入门级,但通过上述的规律,可利用其 1.3 倍假设 1 级。图 2 列出了不同功率下冷水机组和水(地)源热泵的机组能效,注意这两种机组很相近,但在容量划分、名义工况和能效的评价标准上有很大不同,放在一起是为了寻求共性。由图 2 可知,在一定容量范围内,冷水机组或水源热泵随机组容量的增加,能效比增加,风冷空调系统随机组容量的增加,能效比降低。

空气-空气式产品随容量增加用能效率下降的原因,一方面是空气源的空调压缩机多是全封闭转子式和涡旋式,小容量空调压缩机用量最大,因此制造厂在压缩机、换热器各方面的研发投入大,效率都很高。另一方面,小容量的空调增大换热面积占用的空间不大,安装不受影响。而容量大的空调受安装空间、房屋承重等限制,换热器只能相对较小,效率下降。冷水机组或水源热泵的容量通常较大,大型压缩机的效率要比小型压缩机的效率高些。冷水机组以 528 kW

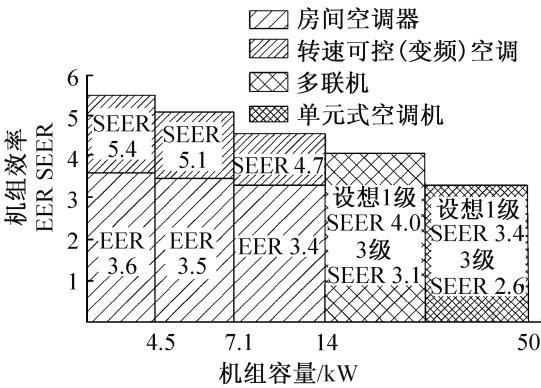


图 1 50 kW 以下部分类型空调产品机组能效
Fig.1 The energy efficiency of the air conditioning product unit under 50 kW

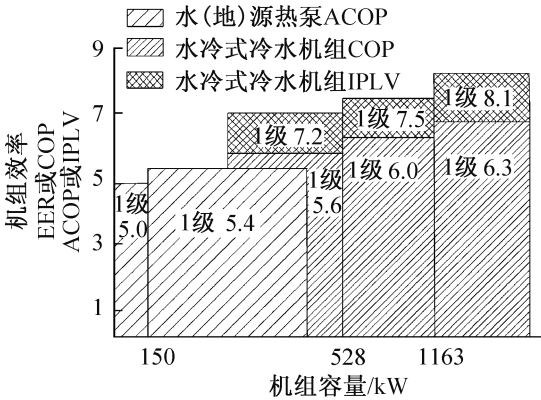


图 2 冷水机组和水(地)源热泵机组能效
Fig.2 The energy efficiency of the part type of air conditioning and heat pump unit

和 1 163 kW 分为 3 档。一般在 528 kW 以下的机组常用干式蒸发器,大于 528 kW 的机组常用满液式或降膜式蒸发器,这两种换热器在与干式蒸发器同样材料消耗下,换热温差小。此外,大于 1 163 kW 的机组,以离心压缩机为主,比螺杆压缩机效率高。

8 能效标准中存在的问题

空调与热泵的能效标准的问题主要有如下 5 个方面。

1) 缺乏制冷和热泵产品能效的科学定义和基础数据的分析,我国在空调和热泵能效标准方面的理论工作还有待加强。目前,多数工作是移植国外的经验和企业的统计数据。但国外数据并不能完全适合于我国,且存在改变,企业的经验数据带有企业特色。如做变频空调的就坚持 SEER (SCOP) 考核,做定频空调的坚持 EER (COP) 考核,这点在空气源热泵尤为突出。由于我国要通过热泵技术替代燃煤锅炉或散煤小炉灶,各种空气源热泵发展迅速。供热终端有

水系统或风系统,为便于评价,需要为空气源热泵的季节性能提供一个快速准确的评价方式。

2)评价指标不统一。目前存在同时用多种完全不同的能效标准(即 EER、COP、SEER、SCOP、HSPF、IPLV 和 APF 等指标)评定能效的情况,存在着不同产品甚至是同一产品不同类型空调器使用不同能效指标的情况,各种指标的测量方法不同,无法进行直接比较与换算。此外,空调与热泵产品在类型和容量方面有交叉,有些产品可能分到两类名录中。

3)环境温度小时数不统一。季节能效比 SEER、季节性能系数 HSPF 和综合部分负荷系数 IPLV 都与环境温度的变化规律有关。在变工况环境温度方面,出现多个城市综合数值(GB/T 7725—2004《房间空气调节器》),以南京气候为准(GB 21455—2013《转速可控型房间空气调节器能效限定值能效等级》)和以各大城市气候(GB/T 17758—2010《单元式空气调节机》)为准,今后如何统一是重要问题。

4)部分热泵的能效标准缺失。有关热泵 SCOP 或 HSPF 研究尚浅。我国地域广阔,气候分区不同,产品对应不同环境温度性能也不同。低环境温度空气源热泵需要进行详细分区和要求。

5)能效标准未能及时与产品标准相对应。能效标准与产品标准应该是一一对应的。范围除对应的产品外,还包括能效限定值和能效等级。原则上产品标准和能效标准每 5 年更新一次,实际上多数大于 5 年。由于管理和技术方面的原因,目前在产品标准方面已经落后于形势发展,而能效标准的制定又落后于产品标准。GB 19576—2004《单元式空气调节机能效限定值及能源效率等级》自 2004 年之后没有新版公布,因此落后于 GB 17758—2010《单元式空气调节机》。GB 19576—2004 只考核 EER,而 GB 17588—2010 考核 SEER、APF 或 IPLV,两者差距较大。GB 21454—2008《多联式空调(热泵)机组的能效》与 GB 18837—2002 相对应,落后于 GB 18837—2015,已经形式上废止。一些重要的产品,如低环境温度空气源热泵还没有能效等级标准。

9 结论

我国空调热泵的能效和标准正在逐步完善。空调与热泵的能效标准:风冷从单一工况的 EER 或 COP,发展到季节能效比 SEER 和供热季节性能系数 HSPF;水冷从单一工况 COP,发展到综合部分负荷系数 IPLV。本文总结了我国制冷空调和热泵产品能效标准,回顾其发展历史;对空调和热泵产品的各种能效指标 EER、SEER、HSPF、COP、IPLV、APF 等的由来

和发展进行了介绍。提出低环境温度空气源热泵 IPLV(H)的 3 级能效划分的建议值。通过分析我国空调与热泵能效标准的现状,揭示了空调机组能效等级的共性,指出现有能效标准存在的问题,如评价指标不统一,能效标准比较缺失,能效标准未能及时与产品标准相对应等问题,并对今后能效标准的研究思路和发展方向给出了建议。

参考文献

- [1] 马一太,田华,刘春涛,等. 制冷与热泵产品的能效标准研究和循环热力学完善度的分析[J]. 制冷学报,2012, 34(6):1-6. (MA Yitai, TIAN Hua, LIU Chuntao, et al. Analysis on energy efficiency of water chiller and water source heat pump systems with thermodynamic perfectibility [J]. Journal of Refrigeration, 2012, 34(6):1-6.)
- [2] 马一太,成建宏,王洪利,等. 我国制冷空调能效标准的现状与发展[J]. 制冷与空调(北京),2008, 8(3): 5-11. (MA Yitai, CHENG Jianhong, WANG Hongli, et al. The status and development of energy efficiency of refrigeration and air-conditioning of Chinese national standards[J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2008, 8(3): 5-11.)
- [3] 公共建筑节能设计标准:GB 50189—2005[S]. 北京:中国标准出版社,2005. (Design standard for energy efficiency of public building: GB 50189—2005[S]. Beijing: China Standards Press, 2005.)
- [4] 马一太,田华,刘春涛,等. 制冷与热泵产品的能效标准和循环热力学完善度的分析[M]. 北京:科学出版社,2012: 140-141. (MA Yitai, TIAN Hua, LIU Chuntao, et al. Analysis on energy efficiency standards and thermodynamic perfectibility for products of refrigeration and heat pump[M]. Beijing: Science Press, 2012: 140-141.)
- [5] 蒸气压缩循环冷水(热泵)机组第 1 部分:工业或商业用及类似用途的冷水(热泵)机组:GB/T 18430.1—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007. (Water chilling (heat pump) packages using the vapor compression cycle—Part 1: water chilling (heat pump) packages for industrial & commercial and similar application: GB/T 18430.1—2007 [S]. Beijing: China Standards Press, 2007.)
- [6] 蒸气压缩循环冷水(热泵)机组第 2 部分:户用及类似用途的冷水(热泵)机组:GB/T 18430.2—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008. (Water chilling (heat pump) packages using the vapor compression cycle—Part 2: water chilling (heat pump) packages for household and similar application: GB/T 18430.2—2008 [S]. Beijing: China Standards Press, 2008.)
- [7] 冷水机组能效限定值及能效等级:GB 19577—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2015. (Minimum allowable values of energy efficiency and energy efficiency grades for

- water chillers; GB 19577—2015 [S]. Beijing: China Standards Press, 2015.)
- [8] 多联式空调热泵机组:GB 18837—2002[S]. 北京:中国标准出版社,2002. (Multi-connected air condition (heat pump) unit; GB 18837—2002[S]. Beijing: China Standards Press, 2002.)
- [9] Stand for unitary air-conditioning and air-source heat pump equipment; ANSI/AHRI 210/240—2003 [S]. Arlington: AHRI, 2003.
- [10] 刘圣春,马一太,刘秋菊. 季节能效比(SEER)与综合部分负荷值(IPLV)的一致性分析[J]. 制冷与空调(北京),2008,8(6):10-14. (LIU Shengchun, MA Yitai, LIU Qiuju. The consistent analysis about SEER and IPLV[J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2008,8(6):10-14.)
- [11] 王硕渊. 中国与日本 APF 标准的差异[J]. 家电科技, 2013(9): 38-40. (WANG Shuoyuan. The difference between APF of Chinese and Japanese standard[J]. Household Appliance Technology, 2013(9): 38-40.)
- [12] 吴国明,任滔,丁国良,等. 由早期性能标准的指标计算定频房间空调器 APF 的方法[J]. 制冷学报, 2016, 37(3): 88-93. (WU Guoming, REN Tao, DING Guoliang, et al. A method to evaluate apf for room air conditioner with on/off comperssor by using rated performance date[J]. Journal of Refrigeration, 2016, 37(3): 88-93.)
- [13] 水(地)源热泵机组:GB/T 19409—2013[S]. 北京:中国标准出版社, 2013. (Analysis of water source (ground source) heat pump units; GB 19409—2013 [S]. Beijing: China Standards Press,2013.)
- [14] 房间空气调节器:GB/T 7725—2004[S]. 北京:中国标准出版社,2004. (Room air conditioners; GB/T 7725—2004[S]. Beijing: China Standards Press,2004.)
- [15] 房间空气调节器及能效等级:GB 12021.3—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010. (The minimum allowable value of the energy efficiency and energy efficiency grades for room air conditioners; GB 12021.3—2010 [S]. Beijing: China Standards Press,2010.)
- [16] 转速可控型房间空气调节器能效限定值及能效等级:GB 21455—2013 [S]. 北京:中国标准出版社,2008. (Minimum allowable values of the energy efficiency and energy efficiency grades for variable speed room air conditioners; GB 21455—2013 [S]. Beijing: China Standards Press,2008.)
- [17] 多联式空调机组:GB/T 18837—2015[S]. 北京:中国标准出版社, 2015. (Multi-connected air-condition (heat pump) unit; GB/T 18837—2015 [S]. Beijing: China Standards Press, 2015.)

通信作者简介

李敏霞,女,教授,天津大学热能所,天津大学中低温热能高效利用教育部重点实验室,(022)27406040,E-mail:tjmxli@tju.edu.com。研究方向:创新热泵,空调的能效评价,微型换热器,两相换热。

About the corresponding author

Li Minxia, female, professor, Key Laboratory of Efficient Utilization of Low and Medium Grade Energy, MOE, Thermal Energy Research Institute, Tianjin University, + 86 22-27406040, E-mail:tjmxli@tju.edu.com. Research fields: innovative heat pump, efficiency evaluation of air conditioning, micro heat exchanger, two-phase heat transfer.