

文章编号:0253-4339(2021)02-0038-07  
doi:10.3969/j.issn.0253-4339.2021.02.038

# 不同气候区域对多联机空调能效标准指标的影响

陈焕新<sup>1</sup> 曾宇柯<sup>1</sup> 成建宏<sup>2</sup> 邵双全<sup>1</sup> 张建强<sup>3</sup> 陈进<sup>4</sup> 张梦华<sup>1</sup>

(1 华中科技大学能源与动力工程学院 武汉 430074; 2 中国标准化研究院 北京 100086;  
3 大金(中国)投资有限公司技术开发研究院 上海 201108; 4 珠海格力电器股份有限公司 珠海 519070)

**摘要** 随着多联机系统的发展与普及,对多联机产品能效评价方法的研究也逐渐深入。目前,我国多联机 3 种主要能效评价指标(SEER、HSPF 和 IPLV(C))均与环境温度的发生小时数有关,本文从地理环境的角度出发,结合国际现行多联机能效标准的发展,分析不同气候区域对多联机空调能效标准指标的影响。通过分区进行能效评价是多联机能效标准研究的一个新思路,从理论与实验的角度研究标准分区或不分区的利弊,共同推动产业进步。

**关键词** 多联机系统;能效标准;气候区域;节能;环保

**中图分类号**:TU831.3;TB657.2

**文献标识码**:A

## Influence of Different Climatic Regions on the Energy Efficiency Standard Index of Variable Refrigerant Flow System

Chen Huanxin<sup>1</sup> Zeng Yuke<sup>1</sup> Cheng Jianhong<sup>2</sup> Shao Shuangquan<sup>1</sup>  
Zhang Jianqiang<sup>3</sup> Chen Jin<sup>4</sup> Zhang Menghua<sup>1</sup>

(1. School of Energy and Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074, China; 2. China National Institute of Standardization, Beijing, 100086, China; 3. Technology Research & Development Institute, Daikin(China)Investment Co., Ltd., Shanghai, 201108, China; 4. Gree Electric Appliances, Inc. of Zhuhai, Zhuhai, 519070, China)

**Abstract** With the development and popularization of variable refrigerant flow (VRF) systems, the research on the energy efficiency standard of VRF systems has gradually increased. Three major energy efficiency standard indices (SEER, HSPF, and IPLV(C)) are closely related to the cooling/heating hour for ambient temperature. From the perspective of geographical environment, in this study, the influence of different climate regions on the energy efficiency standards in combination with the development of international energy efficiency standards of the VRF system was analyzed in this study. Energy efficiency standard evaluation by zoning is a novel perspective. It is expected that the scholars and enterprises in the field of heating, ventilation, and air conditioning will actively participate in exploring the advantages and disadvantages of standard zoning or nonzoning from the perspectives of theory and experiment to jointly promote industrial progress.

**Keywords** variable refrigerant flow system; energy efficiency standard; climatic zone; energy conservation; environmental protection

建筑能耗在生产生活中占比极大。在中国,建筑能耗占总能耗的 20%,其中约 40%为暖通空调能耗<sup>[1]</sup>。为了遏制暖通空调能耗的飞速增长,研发高效、可靠的空调系统是行之有效的重要举措。多联机具有能耗低、热舒适性高、安装便捷等优势,其市场规模不断扩大<sup>[2]</sup>。多联机在中国商用空调市场居于首位,总销售额超过 300 亿<sup>[3]</sup>。欧洲多联机空调的销量增长了 7%,达到 216 135 台<sup>[4]</sup>。

随着多联机系统的发展与普及,对多联机产品性能评价的研究逐渐受到重视。多联机系统节能特性体现在部分负载工况下,不同工况对多联机系统的运行性能影响较大。因此,各国都根据自身天气与地区特点设计了各自适应的多联机能效标准。美国针对能力在 19 kW 以下的单相电多联机,考虑变频调速特性、室外环境、冷热负荷及使用习惯设计了季节评价指标:SEER(seasonal energy efficiency ratio,制冷季

基金项目:国家自然科学基金(51876070,51576074)资助项目。(The project was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 51876070 & No. 51576074).)

收稿日期:2020-08-04;修回日期:2020-11-11

节能源消耗效率)和 HSPF (heating seasonal performance factor, 制热季节能源消耗效率)。日本 Top Runner 计划采用年度性能因子 APF (annual performance factor, 全年能源消耗效率)<sup>[5]</sup>作为多联机系统的能效评价指标,APF 综合考虑了制冷、制热能效与季节性能源利用效率,反映了空调产品全年的运行性能,对比结果更为直观。

近 20 年来,我国逐步开展了关于多联机能效标准和能效标识的研究工作。Yu Hao 等<sup>[6]</sup>调查了中国多联机能效标准在 2005—2015 年期间的节电和二氧化碳减排情况,并建议每 4 年或 5 年修订一次标准。Lu Wei<sup>[7]</sup>建立基准期能耗、能源效益等级等指标,并据此评价了 GB 19577—2004 和 GB 19576—2004 标准下的空调系统对环境的影响,结果表明,实施中央空调节能标准能显著降低空调能耗,减少污染。针对不同的制冷量,国家先后制修订了 GB 21454—2008《多联式空调(热泵)机组能效限定值及能源效率等级》<sup>[8]</sup>、GB/T 18837—2015《多联式空调(热泵)机组》<sup>[9]</sup>,采用了 SEER、APF、IPLV (仅针对水冷式多联机)和 EER (energy efficiency ratio, 制冷能效比)等评价参数进行多方位对比,加速了多联机空调系统的进步。

然而,现行的多联机能效标准并不能完全满足节能环保的要求。研究集中在多联机能效标准的分析和发展趋势上。中国地域广阔,不同区域具有明显的降水和热量差异<sup>[10]</sup>,多联机能效标准分区的合理性及存在的优势与挑战值得探讨。针对上述问题,本文从地理环境的角度出发,结合国内外多联机能效标准,讨论并分析了多联机能效标准分区的合理性、优势与挑战,对修订多联机能效标准、减少温室气体排放及减少资源损耗具有一定的参考价值。

## 1 国外多联机能效标准

为了提升多联机性能,减少能源消耗,各国开展了制定多联机能效标准与评价指标,日本制定了 JRA 4048<sup>[11]</sup>空调器年度性能指标,提出 APF 作为评价多联机系统的重要指标;美国颁布了 10 CFR Part 430<sup>[12]</sup>行业标准,并根据气候进行了分区;欧盟制定了 EN 14825<sup>[13]</sup>标准,介绍了 SEER 和 SCOP 的详细计算方法,本文将结合各国地理环境对上述标准进行对比和总结。

### 1.1 日本多联机能效标准

日本的变频空调最为普及,其空调能效水平一直居于世界前列。2001 年,日本提出多联式空调器年度性能标准 JRA 4048 : 2001<sup>[14]</sup>,本标准率先使用

APF 作为评价多联机系统的指标。2006 年,日本国家标准 JIS B8616 : 2005《单元式空调器》<sup>[15]</sup>引用该评价方法,并与 2015 年发布标准修订版 JIS B8616 : 2015<sup>[16]</sup>,JIS B8616 详细阐述了 APF 能效指标的计算方法。该标准以东京作为温度设置标准,商铺:每周 7 天,每天 7:00—21:00,每年 5—10 月,环境温度 21 ℃ 以上为空调制冷时间;每年 11 月—次年 4 月,环境温度 15 ℃ 以下为空调制热时间;办公建筑:每周 6 天,每天 8:00—20:00,每年 4—11 月,环境温度 18 ℃ 以上为空调制冷时间;每年 11 月—次年 4 月,环境温度 12 ℃ 以下为空调制热时间。

APF 针对空调变频后,使用单一工况的 EER 和 COP (coefficient of performance, 性能系数)不能完全客观反映空调实际效率的问题,通过计算一年总热量转移量与总耗能功率的比值进行评价,计算如式(1)所示。

$$APF = (CSTL + HSTL) / (CSTE + HSTE) \quad (1)$$

式中:CSTL 为全年制冷总负荷, W·h;HSTL 为全年制热总负荷, W·h;CSTE 为全年空调制冷消耗总功率, W·h;HSTE 为全年空调制热消耗总功率, W·h。CSTL 作为评价指标的计算关键,其标准测试条件如表 1 所示。

表 1 日本 CSTL、HSTL 指标测试工况  
Tab.1 Japan CSTL, HSTL index test conditions

测试工况	室外温度	
	干/湿球温度/℃	
额定制冷	35/24	27/19
中间制冷	35/24	27/19
额定制热	7/6	20/15
中间制热	7/6	20/15
低温制热	2/1	20/15

### 1.2 美国多联机能效标准

美国 AHRI 1230—2014 Add 1《变制冷剂流量多联式空调和热泵设备性能标准》<sup>[17]</sup>规定:对于名义制冷量小于 19 kW 的家用多联机采用季节能效比 SEER/HSPF 评估性能,对于大于 19 kW 的商用多联机则采用综合能效比 IEER 取代传统的综合部分负荷性能系数 IPLV (AHRI 340/360—2007<sup>[18]</sup>标准规定)来评价其季节运行性能。

SEER 为空调器进行运行时从室内除去的热量总和与耗电量的总和之比。其考虑空调在不同环境温度下的运行时间、制冷量和能耗,计算方法更接

近实际(定频机组 SEER 计算方法如式(2)所示,变频机组 SEER 计算方法如式(3)所示)。

$$SEER = (1 - 0.5C_D) EER_B \quad (2)$$

式中:  $C_D$  为效率降低系数,默认值为 0.25;  $EER_B$  为在 ARI 标准中规定的能效测试工况 B 中测得的能效比(ARI 210/240—2008<sup>[19]</sup>规定的测试工况如表 2 所示),将室外温度设置为 27.8 °C (27.8 °C 为美国常年数据室外温度均值)。

$$SEER = \frac{\sum_{j=1}^8 q(t_j)}{\sum_{j=1}^8 E(t_j)} = \frac{\sum_{j=1}^8 \frac{q(t_j)}{N}}{\sum_{j=1}^8 \frac{E(t_j)}{N}} \quad (3)$$

式中:  $q(t_j)$  为室外温度为  $t_j$  时机组的制冷量, W;  $E(t_j)$  为室外温度为  $t_j$  时机组的耗电量, W;  $\frac{q(t_j)}{N}$  在室外温度为  $t_j$  时机组的制冷量与制冷季节运行总时间的比值, Btu/h;  $\frac{E(t_j)}{N}$  表示在室外温度为  $t_j$  时机组的耗电量与制冷季节运行总时间的比值, Btu/h。

HSPF 与 SEER 相对,其定义为制热季节期间,空调器进行热泵制热运行时,送入室内的热量总和与耗电量的总和之比。在计算 HSPF 的过程中,美国划分了 6 个广义气候区。每个区域都有独立的运行时间和室外设计温度,提高了评价指标的准确性。

IEER(integrated energy efficiency ratio,综合能效比)用于评价工商用空调机和热泵设备部分负荷能效的单一数值的指标,基于被测设备在不同负荷工况下加权的 EER,计算式如式(4)所示。

$$IEER = 0.020A + 0.617B + 0.238C + 0.125D \quad (4)$$

式中:A、B、C、D 分别为 100%、75%、50%、25% 负荷时标准额定工况下的 EER。

表 2 能效比测试工况(ARI 210/240 标准)

Tab.2 Energy efficiency ratio test conditions (ARI 210/240 standard)

测试工况:制冷	室内温度 干/湿球温度/°C	室外温度 干/湿球温度/°C
A:名义制冷工况(必测)	26.7/19.4	35.0/23.9
B:能效比工况(必测)	26.7/19.4	27.8/18.3
C:干盘管工况(选测)	26.7/13.9	27.8/18.3
D:循环测试工况(选测)	26.7/13.9	27.8/18.3

季温和多雨;中部处于大陆性气候,夏季炎热;西部则是高原干燥气候,年温差较大,其空调系统能效标准也与当地气候条件密切相关<sup>[20]</sup>。10 CFR Part 430 将美国划分为 3 个气候区(东南(干热)、西南(湿热)和北方),每个区的 HDD(heating degree days,采暖度日数)按照当区的每年制冷小时数和相对湿度进行加权计算,其中东南和西南地区  $HDD < 5\,000$ ,而北方  $HDD \geq 5\,000$ 。针对 19 kW 以下单相电的家用中央空调,考虑到不同分区的气候条件区别显著,标准规定了不同的最低 SEER 指标,如表 3 所示,使评价尺度更为合理。

表 3 美国家用中央空调(单相)最低 SEER  
Tab.3 The lowest SEER of American household central air-conditioning (single-phase)

	北方	东南	西南
多联机 AC(CC<45 000 Btu/h)	14	15	15
多联机 AC(CC≥45 000 Btu/h)	14	14.5	14.5
多联机 HPs	15	NA	NA

注:AC (air conditioner, 空调); HPs (heat pumps, 热泵); CC (cooling capacity, 额定制冷量)。

### 1.3 欧盟多联机能效标准

欧盟整体气候变化相似,陆地区域主要为温带大陆性气候,沿海区域主要为温带海洋性气候和地中海气候<sup>[21]</sup>,其多联机能效标准根据气候分区统一规划为一个区。2009 年,欧盟 EN 14825 标准指出,使用 SEER 与 SCOP(seasonal coefficient of performance,制热季节能源消耗率)代替单一的能效比 EER,SEER 和 SCOP 的计算式如式(5)~式(6)所示。

$$SEER = Q_c / \left( \frac{Q_c}{SEER_{on}} + H_{TO}P_{TO} + H_{SB}P_{SB} + H_{CK}P_{CK} + H_{OFF}P_{OFF} \right) \quad (5)$$

$$SCOP = Q_h / \left( \frac{Q_h}{SCOP_{on}} + H_{TO}P_{TO} + H_{SB}P_{SB} + H_{CK}P_{CK} + H_{OFF}P_{OFF} \right) \quad (6)$$

式中:  $Q_c$  为制冷季节建筑需求总制冷负荷, W·h;  $Q_h$  为制热季节建筑需求总制热负荷, W·h;  $SEER_{on}$  指整个制冷季节制冷运行时的能源消耗效率;  $SCOP_{on}$  指整个制热季节制热运行模式下的季节能源消耗效率(包括辅助电加热工作状态);  $P_{TO}$ 、 $P_{SB}$ 、 $P_{CK}$ 、 $P_{OFF}$  分别为机组在恒温模式、待机模式、曲轴箱加热模型和关机模式的电功率, W;  $H_{TO}$ 、 $H_{SB}$ 、 $H_{CK}$ 、 $H_{OFF}$  为机组在

美国地域广阔,东北部为温带气候,冬季寒冷,夏

恒温模式、待机模式、曲轴箱加热模型和关机模式的时间, h。

相比于美国, 欧盟在 SEER 和 SCOP 的计算方法上更加全面, 考虑了大量辅助功耗(油加热器、恒温器关闭、备用和关闭模式)。此外,  $SEER_{om}$  与  $SCOP_{om}$  需要通过实验和插值的方式计算 24~26 种工况下对应的制冷需求和 EER, 每种工况拥有不同的部分负载率和室外干球温度, 因此该标准能更为精准的反映欧盟整体空调的实际效率。

## 2 气候区域对中国多联机能效标准的影响探讨

我国疆域辽阔, 地形复杂, 根据温度划分为 5 个气候区(寒冷地区、严寒地区、温和地区、夏热冬冷地区和夏热冬暖地区)。各气候区温度差异显著, 如严寒地区最低月平均气温小于 10 °C, 最高月平均小于 25 °C; 夏热冬暖地区最低月平均温度高于 10 °C, 最高月平均温度范围为 25~29 °C<sup>[22]</sup>。现行的多联机能效标准以南京为代表城市, 以办公建筑为代表建筑进行计算, 其他城市及建筑类型参照执行<sup>[23]</sup>。

GB/T 18837—2015《多联机空调(热泵)机组》规定了不同类型多联机的评价指标, 其中风冷式多联机采用季节能效比(SEER)和全年能源消耗效率(APF)进行评价, 以 ISO 16358<sup>[24]</sup> 标准计算模型。水冷式多联机采用 IPLV(C) 进行评价。IPLV(C) (制冷综合性能系数, integrated part load value(cooling)) 是用一个单一数值表示空调机的部分负荷效率值。基于 GB/T 17758—2010<sup>[25]</sup> 规定的工况, 通过加权计算空调机组在部分负荷下运行时间的 EER 得到:

$$IPLV(C) = 2.3\%A + 41.5\%B + 46.1\%C + 10.1\%D \quad (7)$$

式中: A、B、C、D 分别为 100%、75%、50%、25% 负荷时的 EER, 此处部分负荷百分数计算基准为名义制冷量(明示值)。A、B、C、D 这 4 种负荷下水冷式空调机试验工况如表 4 所示。

表 5 总结了各国多联机标准、主要评价指标与气候特点的关系, 日本、欧盟整体气候相似, 为了使各指标能更公正的评价各地区的多联机性能, 通过对不同地区、不同工况的空调性能进行加权来获得一个全国/地区的统一标准。美国地域复杂, 不同地区之间气候变化显著。美国在对不同工况多联机性能进行加重的同时, 采用分区的方式, 对不同地区规定了不同的室外温度、运行时间和最低标准, 从而使评价指标更为客观。中国区域特点类似于美国, 气候变化更加复杂, 气候区域不同, 产品对应不同环境温度性能

也不同, 此外, 我国目前多联机采用的 3 种主要评价指标(SEER、HSPF 和 IPLV(C)) 均与环境温度的发生小时数有关。通过分区的方式, 对不同地区的多联机空调采用不同的测试工况, 是提升多联机能效指标的准确度可行的方法。

表 4 水冷式空调机组 EER 试验工况 (GB/T 17758 标准)  
Tab.4 EER test conditions of water-cooled air conditioning units (GB/T 17758 standard)

试验条件	室内侧入口空气		水冷式冷凝器 进水温度和流量	
	干球温 度/°C	湿球温 度/°C	进水温 度/°C	流量/ (m <sup>3</sup> /h)
IPLV	A	27	19	30
	B	27	19	26
	C	27	19	23
	D	27	19	19

注: 所有试验条件污垢系数均为 0.043(m<sup>2</sup>·°C)/kW。

## 3 中国多联机能效标准分区的利弊

随着国内专家学者对多联机系统的了解逐步深入, 进一步优化多联机系统性能标价指标的任务日益重要, 施行标准分区能减少地区温差不平衡带来的影响, 是提高能效指标准确度的一个新思路。

### 3.1 多联机能效标准分区的收益

1) 适应不同地区、不同气候的制冷/热需求。我国国土辽阔, 各地气候差异显著, 如武汉、上海地区属于亚热带季风气候, 夏季高温多雨、冬季低温少雨; 新疆、内蒙古地区属于温带大陆性气候, 全年干旱少雨; 海南、三亚等地则属于热带季风气候, 全年高温。张国辉等<sup>[26]</sup> 对我国办公建筑用多联机空调系统能耗进行调研, 结果表明, 寒冷地区多联机在制热季的能耗约占全年能耗的 60%; 夏热冬冷区制冷季的能耗约占全年能耗的 50%, 制热季能耗占比在 29%~40%之间; 在夏热冬暖地区, 多联机的制冷季能耗占比在 80%以上。由此可知, 不同气候地区制冷/热能耗差异较大, 若实行标准分区, 为每个区域制定独立的实验工况和基准指标, 能使得能效标准适应不同地区、不同气候和建筑的制冷/热需求, 提升指标的准确性。

2) 规范评价尺度, 减少区域差异。目前, 多联机的性能指标种类较多, 不同地区之间的气候差异较大, 吴成斌等<sup>[27]</sup> 在我国相关标准给定的气象参数和建筑负荷模型条件下, 对 4 套多联机系统进行 35 个工况的制冷与制热性能试验, 结果表明, 基于 GB/T 18837—2002<sup>[28]</sup> 或根据中国气象数据构造的 IPLV

(C)比“基准 SEER/SCOP”偏大较多,最大偏差接近 15%。基准工况与系统实际运行工况具有一定偏差,

不同地区多联机空调的性能指标难以反映产品的实际性能。

表 5 能源效率等级对应的制冷综合性能系数指标

Tab.5 Refrigeration comprehensive performance coefficient index corresponding to energy efficiency grade

国家	多联机能效标准	主要评价指标	气候特点	是否分区
日本	JIS B 8616 : 2015	CSPF HSPF APF	以温带和亚热带季风气候为主,属于温带海洋性季风。	否
美国	10 CFR Part 430	SEER HSPF IEER	东南(干热);西南(湿热);北方温带气候区,冬季寒冷,夏季温和多雨。	三区:东南;西南;北方
欧盟	EN 14825 - 2018	SEER SCOP	以温带大陆性气候和地中海气候为主。	否
中国	GB 21454—2008 GB/T 18837—2015	SEER HSPF IPLV(C)	严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区、温和地区。	否

现行标准 GB 21455—2019《房间空气调节器能效限定值及能效等级》<sup>[29]</sup>规定了房间空气调节器能效等级标准值(表 6)。相比于美国 ANSI/AHRI 1230<sup>[30]</sup>标准,考虑地区气候差异对能效评级的影响,通过多联机能效标准分区,是使得现行标准评价指标更加精准、客观的举措之一。

表 6 房间空气调节器能效等级指标值

Tab.6 Energy efficiency rating index values of room air conditioners

额定制冷量 CC/W	评价指标 APF 能效等级				
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
CC≤4 500	5.00	4.50	4.00	3.50	3.30
4 500<CC≤7 100	4.50	4.00	3.50	3.30	3.20
7 100<CC≤14 000	4.20	3.70	3.30	3.20	3.10

### 3)降低空调能耗,带动产业升级

GB/T 18837—2015《多联机空调(热泵)机组》从标准评价体系一致性角度考虑,风冷式多联机采用 APF 评价体系、水冷式多联机采用 IPLV 评价体系。为保障多联机系统在我国不同气候区均能高效运行,同时降低成本,针对不同气候区域采用适宜的技术方案是今后提升多联机性能指标的重要方向。标准分区的探讨或将提高多联机设计水平,促进节能减排,

改善工作和生活环境,对引导相关工程标准和产品标准的提升具有重要作用。

## 3.2 多联机能效标准分区的弊端

### 1)精确分区困难

我国 5 个气象分区主要是:夏热冬暖(华南)、夏热冬冷(长江中下游)、温和(云贵)、寒冷地区(华北和黄河中下游、西藏)严寒地区(东北、西北)。各地多联机系统室外工况条件即气象条件不同,建筑类型不同,存在不同的多联机性能域,目前还没有关于不同地区多联机运行工况的标准。是否按照气象分区设计多联机能效标准分区,如何精确设计分区标准,仍需深入研究。

### 2)企业成本增加

GB 21454—2008《多联机能效标准》规定了多联机组的制冷综合性能系数(IPLV(C))限定值、节能评价价值、能源效率等级的判定方法,并针对不同的制冷量规定了能效限定值与制冷综合性能系数指标。多联机能效标准分区将改变现有能效等级评价体系,重新划分市场。企业需要重新设计实验,淘汰原有老旧机型,增加了投资成本。

## 4 思考与探讨

中国地域广阔,气候复杂,不同区域之间温度、环境差异显著,国内现行的多联机能效评价体系未能纳

入这一影响因素。本文对比了各国现行的多联机能效标准和其对应的气候环境,从理论与实验的角度研究中国标准分区或不分区的利弊,主要思考如下:

1) 中国区域特点类似于美国,具有 5 大气候分区,温度变化更加明显。多联机能效主要评价指标(SEER、HSPF 和 IPLV(C))均与环境温度的发生小时数有关,通过分区进行能效评价是多联机能效标准研究的一个新思路。

2) 通过分区的方式,对不同地区的多联机空调采用不同的测试工况,是提升多联机能效指标的准确度可行的方法。然而,真实施行多联机能效标准分区存在诸多问题(如:如何精确分区;如何配置分区温度;如何减少企业测试成本),仍需要更深入具体的研究。

本文从能效标准分区角度出发,为多联机能效标准研究引出了一个新思路。能效标准的改善对提高多联机能效、推动国家长期建设具有重要意义,期望众多暖通制冷领域学者和企业积极参与,从理论与实验的角度研究标准分区或不分区的利弊,共同推动产业进步。

#### 参考文献

[1] GUO Yabin, WANG Jianguo, CHEN Huanxin, et al. An expert rule-based fault diagnosis strategy for variable refrigerant flow air conditioning systems [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2019, 149:1223-1235.

[2] 黄文. 多联机空调系统控制技术的发展状况与趋势初探[J]. *消费导刊*, 2018(9):50. (HUANG Wen. Preliminary study on the development status and trend of multi-line air conditioning system control technology [J]. *Consume Guide*, 2018(9):50.)

[3] 赵德印, 陈卫星, 张旭, 等. 超长连接管多联机性能衰减试验研究[J]. *制冷与空调(北京)*, 2017, 17(4):61-63. (ZHAO Deyin, CHEN Weixing, ZHANG Xu, et al. Experimental study on multi-connection performance attenuation of ultra-long connecting pipe [J]. *Refrigeration and Air-conditioning*, 2017, 17(4):61-63.)

[4] European VRF sales grow 7% in 2018 [EB/OL]. (2019-07-28) [2020-10-17]. <https://www.coolingpost.com/world-news/european-vrf-sales-grow-7-in-2018/>.

[5] ZHU Jingduo, CHEN Zheng, LIU Ren. Research status and development trend of evacuation system of long-term energy conservation for room air conditioners [J]. *Electrical Appliances*, 2015(2):17-23.

[6] YU Hao, TANG Baojun, YUAN Xiaochen, et al. How do the appliance energy standards work in China? Evidence from room air conditioners [J]. *Energy and Buildings*,

2015, 86:833-840.

[7] LU Wei. Potential energy savings and environmental impacts of energy efficiency standards for vapor compression central air conditioning units in China [J]. *Energy Policy*, 2007, 35(3):1709-1717.

[8] 多联式空调(热泵)机组能效限定值及能源效率等级: GB 21454—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. (The minimum allowable values of the IPLV and energy efficiency grades for multi-connected air-condition (heat pump) unit: GB 21454—2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.)

[9] 多联式空调(热泵)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: Standards Press of China, 2015.)

[10] 李彤杉, 刘志强, 王俊帝, 等. 基于气候区划的中国建成区绿地率区域差异研究 [J]. *中国园林*, 2019, 35(3):77-81. (LI Tongshan, LIU Zhiqiang, WANG Jundi, et al. Research on the regional difference of green space rate in China's built-up areas based on climate zoning [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2019, 35(3):77-81.)

[11] Annual performance factor of package air conditioners: JRA 4048:2006 [S]. Tokyo: The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association, 2006.

[12] Energy conservation program for consumer products: clothes washer energy conservation standards; final rule finding of no significant impact; energy conservation program for consumer products; notice: 10 CFR Part 430 [S]. Washington: United States Department of Energy, 2001.

[13] Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling. Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance: EN 14825—2016 [S]. Brussels: European Committee for Standardization, 2016.

[14] Annual performance factor of package air conditioners: JRA 4048:2001 [S]. Tokyo: The Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association, 2001.

[15] Package air conditioners: JIS B8616:2005 [S]. Tokyo: Japanese Industrial Standards Committee, 2005.

[16] Package air conditioners: JIS B8616:2015 [S]. Tokyo: Japanese Industrial Standards Committee, 2015.

[17] Standard for performance rating of variable refrigerant flow (VRF) multi-split air-conditioning and heat pump equipment: AHRI 1230-2014 Add 1 [S]. Washington: American National Standards Institute, 2014.

[18] Standard for performance rating of commercial and industrial unitary air-conditioning and heat pump equipment: AHRI 340/360-2007 [S]. Washington:

- American National Standards Institute, 2007.
- [19] Standard for performance rating of unitary air-conditioning and air-source heat pump equipment: ARI 210/240-2008 [S]. New York: American Air-Conditioning and Refrigeration Institute, 2008.
- [20] 美国国务院国际信息局. 美国地理概况[M]. 沈阳: 辽宁教育出版社, 2003. (The Bureau of International Information of the US State Department. The geographical survey of the United States [M]. Shenyang: Liaoning Education Press, 2003.)
- [21] ERIK Kjellström, 张建新, 贾朋群. 最近和未来欧洲气候变化的特征[J]. AMBIO-人类环境杂志, 2004, 33(4):174-179. (ERIK Kjellström, ZHANG Jianxin, JIA Pengqun. Characteristics of recent and future European climate changes[J]. AMBIO-A Journal of the Human Environment, 2004, 33(4):174-179.)
- [22] 李彤杉, 刘志强, 王俊帝, 等. 基于气候区划的中国建成区绿地率区域差异研究[J]. 中国园林, 2019, 35(3):77-81. (LI Tongshan, LIU Zhiqiang, WANG Jundi, et al. Research on the regional difference of green space rate in China's built-up areas based on climate zoning[J]. Chinese Landscape Architecture, 2019, 35(3):77-81.)
- [23] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册(精)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006. (LU Yaoqing. Practical heating and air conditioning design manual (fine) [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006.)
- [24] Air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps-testing and calculating methods for seasonal performance factors: ISO 16358 [S]. Geneva: International Standard Organization, 2013.
- [25] 单元式空气调节机:GB/T 17758—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010. (Unitary air conditioners: GB/T 17758—2010 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010.)
- [26] 张国辉, 刘万龙, 徐秋生, 等. 我国办公建筑用多联机空调系统能耗调研分析[J]. 暖通空调, 2018, 48(8):17-21, 34. (ZHANG Guohui, LIU Wanlong, XU Qiusheng, et al. Investigation and analysis of energy consumption of multi-line air-conditioning systems for office buildings in my country[J]. Journal of HV&AC, 2018, 48(8):17-21, 34.)
- [27] 吴成斌, 钟瑜, 石文星. 多联机季节运行性能评价指标的差异性分析[J]. 制冷与空调(北京), 2012, 12(5):102-107. (WU Chengbin, ZHONG Yu, SHI Wenxing. Analysis on the difference of multi-line seasonal operation performance evaluation index [J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2012, 12(5):102-107.)
- [28] 多联式空调(热泵)机组: GB/T 18837—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002. (Multi-connected air-condition (heat pump) unit: GB/T 18837—2002[S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.)
- [29] 房间空气调节器能效限定值及能效等级:GB 21455—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019. (Minimum allowable values of the energy efficiency and energy efficiency grades for room air conditioners: GB 21455—2019 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2019.)
- [30] Performance rating of variable refrigerant flow (VRF) multi-split air-conditioning and heat pump equipment: ANSI/AHRI 1230 [S]. Washington: American National Standards Institute, 2010.

#### 通信作者简介

陈焕新,男,教授,华中科技大学能源与动力工程学院,(027) 87558330,E-mail: chenhuanxin@tsinghua.org.cn. 研究方向: 暖通空调数据挖掘与故障诊断,空调系统运行优化。

#### About the corresponding author

Chen Huanxin, male, professor, School of Energy and Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, +86 27-87558330, E-mail: chenhuanxin@tsinghua.org.cn. Research fields: data mining and fault diagnosis of heating, ventilation and air conditioning, operation optimization of air conditioning system.