

中国与东盟国家房间空调器能效问题探讨

卢 苇, 曹 聪, 杨 林, 刘纪云, 陈 汉

(广西大学 化学化工学院, 南宁 530004)

摘要:分析了中国和东盟部分国家房间空调器的能效限定值和最高能效等级。计算了中国和东盟若干城市气候条件下的制冷发生时间—温度分布,探讨了房间空调器在各地不同气候条件下的季节能效比和热力学完善度。能效比相同的空调器运行于不同气候区时其季节能效比和热力学完善度不同;运行于同一气候区的空调器,能效比高则季节能效比和热力学完善度也高,但季节能效比和热力学完善度之间无明确规律。无论以能效比、季节能效比亦或热力学完善度评价,中国房间空调器的能效水平均是东盟区域内的最高水平。

关键词:房间空调器;能效比;季节能效比;热力学完善度;中国—东盟

中图分类号: TB657.2; F206 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2015)08-0127-05

能源是社会经济发展的基础资源,中国已成为世界最大的能源消费国和 CO₂ 排放国;东盟整体的能源消费量和 CO₂ 排放量均居世界第六位^[1-2]。能源消费主要集中在居民生活、交通运输业、服务业和工业等四个领域,随着房间空调器等家用电器的普及,居民生活能耗急剧升高。在夏季用电高峰时段,中国大中型城市的空调用电负荷占全社会用电总负荷的 40% 左右^[3]。东盟的空调和电冰箱用电负荷约占家用电器总负荷的 50%,其中泰国、菲律宾和新加坡仅空调能耗就达 50% 以上^[4]。

为提高能源效率和降低碳排放,中国和东盟部分成员国都颁布实施了用能设备能效标准。随着“中国—东盟自贸区”的全面建成和“携手建设中国—东盟命运共同体”倡议的提出,关税壁垒已完全消除,能源和环境领域的标准规范等非关税绿色壁垒正成为双方商品贸易和技术交流的主要障碍。东盟是中国制冷空调产品的主要出口地之一,研究进出口双方的相关能效标准并推动能效标准的一致化是突破绿色壁垒、规范市场的客观需要。所幸,中国和东盟各成员国的定速房间空调器测试标准全部依据 ISO 5151 制定^[5],这为对比中国—东盟房间空调器能效水平奠定了基础。但各国房间空调器能效等级划分标准不一、各地气候条件不同等因素阻碍了对能效问题更深入的分析,为更准确和全面地评估中国和东盟国家房间空调器能效水平的差异,本文在直接比较能效比

(EER)的基础上,引入当地季节能效比(SEER)和热力学完善度这两种分析方法。

由于东盟中的柬埔寨、老挝和缅甸三国目前没有能效项目,也没有开展计划,文莱的能效项目正在制定阶段,印度尼西亚和菲律宾的空调器能效标准尚未公开,故笔者的分析仅针对中国、新加坡、泰国、马来西亚和越南展开。

1 房间空调器能效标准对比分析

能效标准分为三类,即指令性标准、最低能源性能标准(Minimum Energy Performance Standard,缩写为 MEPS)和平均能效标准。中国和东盟国家的定速房间空调器测试条件均为 T1 类型,而变速房间空调器的测试条件差别较大,其能效标准目前还不具备可比性,故在此仅比较各国定速房间空调器的能效标准。因各国能效等级划分标准不同,为直观起见仅比较各国能效限定值(即最低能源性能标准)和最高能效等级,详见表 1。

由表 1 可知,各国对整体式空调的能效要求低于分体式,大制冷量段能效要求低于小制冷量段。各国房间空调器制冷量段的划分不同;就分体式空调而言,中国和越南分为 3 段,新加坡、马来西亚和泰国分为 2 段。对比各国制冷量段相互重叠部分可看出,中国房间空调器的能效限定值和最高能效等级普遍高于其他国家。以各国制冷量小于 7 kW 的分体式空调器为例,中国最高能效等级分别比新加坡、泰国、马

收稿日期:2015-05-05

基金项目:教育部人文社会科学研究青年基金项目(10YJCZH101)。

作者简介:卢苇(1974—),男,广西柳州人,广西大学化学化工学院,教授,工程热物理博士,研究方向:能源系统工程。

来西亚和越南的高 9.38%、2.64%、11.11% 和 6.06%；能效限定值则分别至少比新加坡、泰国、马来西亚和越南的高 4.73%、9.93%、31.36% 和 24%。以上分析表明，中国房间空调器能效标准是中国—东盟

盟区域内的最高水平。能效标准在一定程度上反映技术现状，可见中国的房间空调器研发与制造技术水平全面强于东盟国家。

表 1 中国与东盟部分成员国的房间空调器能效限定值和最高能效等级

国家	能效评价指标	空调器类型	制冷量 CC (kW)	能效限定值 (W/W)	最高能效等级 (W/W)
中国 ^[6]	能效比(EER)	整体式	$CC \leq 14$	2.90	3.30
			$CC \leq 4.5$	3.20	3.60
		分体式	$4.5 < CC \leq 7.1$	3.10	3.50
			$7.1 < CC \leq 14$	3.00	3.40
新加坡	能效比(EER)	分体式	$CC < 7$	2.96	3.20
			$7 \leq CC \leq 17.6$	2.50	3.20
		多联机	$CC < 7$	2.96	3.34
			$7 \leq CC \leq 17.6$	2.64	3.34
泰国	能效比(EER)	整体式	$CC \leq 8$	2.82	3.12
			$8 < CC \leq 14$	2.53	3.12
		分体式	$CC \leq 8$	2.82	3.41
			$8 < CC \leq 14$	2.82	3.23
马来西亚	能效比(EER)	——	$CC < 4.5$	2.81	3.51
			$4.5 \leq CC \leq 7.1$	2.36	3.15
越南	能效比(EER)	整体式	——	2.30	3.10
			$CC \leq 4.5$	2.60	3.40
		分体式	$4.5 < CC \leq 7$	2.50	3.30
			$7.0 < CC \leq 14$	2.40	3.20

注：东盟国家房间空调器能效标准数据根据 <http://www.clasponline.org> 的资料整理。

2 中国与东盟国家的气候特点和空调季节能效比

EER 是在实验室指定条件下，空调器制冷量与有效输入功率之比，并不能表示实际工作时的效率。空调器实际运行效率与其工况条件和使用地的气候密切相关，故有必要进一步分析空调器在各使用地的季节能效比(SEER)，即基于空调使用地的制冷发生时间—温度分布计算的区域性 SEER^[7]。

2.1 制冷发生时间—温度分布

制冷发生时间—温度分布涉及众多因素，最主要的是气候条件和空调使用情况。因目前尚缺乏中国和东盟各地居民空调使用习惯的资料，在此仅以各地区的气候特征为依据来计算制冷发生时间—温度分布。中国幅员辽阔，气候情况复杂，GB 21455—2013^[8]综合我国北京、上海、广东等 9 个位于不同气候带的东中部经济发达地区的气象数据及当地居民空调使用习惯，给出了一种虚拟的、相对合理的制冷发生时间—温度分布。东盟国家地处东南亚热带地区，其中新加坡和马来西亚属于热带雨林气候，泰国

和越南属于热带季风气候。选取北京(寒冷地区)、武汉(夏热冬冷地区)和南宁(夏热冬暖地区)为中国的代表城市，在东盟国家中，分别选取新加坡、泰国、马来西亚和越南的首都为本国代表城市，以这些城市的气候特点来计算制冷发生时间—温度分布，见表 2。

从表 2 可看出，GB 21455—2013 的制冷发生时间—温度分布相对均匀，尤其在 25~33℃ 之间，每 1℃ 对应的制冷发生时间几乎相等。北京、武汉和南宁的制冷发生时间主要集中分布在 24~30℃，所占比重分别为 84.85%、75.54% 和 83.61%。新加坡、吉隆坡和河内的制冷发生时间则主要集中在 25~31℃，所占比重分别为 90.12%、81.22% 和 72.82%。曼谷的制冷发生时间主要集中在 27~33℃，所占比重为 79.03%。37~38℃ 极端天气出现的比例，GB 21455—2013 为 0.62%、北京为 0.15%、武汉为 1.23%、曼谷为 0.24%、河内为 0.34%。与中国城市的情况比较，东盟国家城市的制冷发生时间分布略微向高温区段偏移，但是极端温度出现的比例略低。

表 2 GB 21455—2013 和若干城市气候条件下的制冷发生时间—温度分布

温度/℃	制冷发生时间所占比例/%							
	GB21455—2013	北京 ^[9]	武汉 ^[9]	南宁 ^[9]	新加坡	曼谷	吉隆坡	河内
24	4.75	15.14	11.12	10.24	2.67	2.55	6.71	9.23
25	8.45	15.96	10.32	14.07	8.80	2.07	13.03	9.40
26	8.54	13.50	12.30	16.78	18.94	8.53	17.85	11.11
27	9.95	12.33	12.12	14.96	17.59	9.57	14.86	8.55
28	8.63	10.23	11.43	11.36	16.23	12.12	11.05	13.16
29	8.45	9.10	10.63	8.86	11.65	12.28	9.25	10.43
30	9.68	8.59	7.62	7.34	7.67	7.42	6.94	10.26
31	9.42	5.12	6.30	5.82	9.24	13.64	8.24	9.91
32	9.24	3.79	5.85	4.75	4.95	12.68	6.96	6.84
33	8.27	3.12	4.43	3.13	1.98	11.32	3.35	4.44
34	6.69	1.74	3.22	1.57	0.27	5.10	1.46	3.76
35	5.37	0.82	2.01	0.94	0.01	1.04	0.28	1.72
36	1.94	0.41	1.42	0.18	0	1.44	0.02	0.85
37	0.44	0.15	0.76	0	0	0.24	0	0.17
38	0.18	0	0.47	0	0	0	0	0.17

注:新加坡、曼谷、吉隆坡和河内的气象数据根据 <http://www.ncdc.noaa.gov> 的资料整理。

2.2 空调季节能效比计算原理

空调季节能效比(SEER)指在使用空调的季节,空调器运行时从室内除去的热量总和与消耗的电量总和之比。在中国—东盟区域内,仅中国和新加坡建立了 SEER 测试和计算方法,对这两个国家的相关标准进行分析可知,中国测试标准(见 GB/T 7725—2004^[10])和新加坡测试标准(实质即日本标准 JISC 9612—2005^[11])均将室外温度范围定为 24~38℃,且每隔 1℃设一个温度分区,共 15 个温度分区。对比两种测试标准发现,它们计算 SEER 的方法是一致的。根据 GB/T 7725—2004,有:

SEER_R = CSTL / CSTE (1)

CSTE = ∑_{j=1}^k P_{dm}(t_j) + ∑_{j=k+1}¹² P_{cm2}(t_j) + ∑_{j=13}¹⁵ P_{c2}(t_j) (2)

CSTL = ∑_{j=1}¹² BL_c(t_j) × n_j + ∑_{j=13}¹⁵ ϕ_{cr2}(t_j) × n_j (3)

BL_c(t_j) = ϕ_{cr2a} × (t_j - 23) / (35 - 23) (4)

式中: P_{dm}(t_j) 为空调器在温度 t_j 下连续可调运行以满足房间冷负荷需求、且其制冷量不超过额定中间制冷量时的耗电量,Wh; P_{cm2}(t_j) 为空调器在温度 t_j 下连续可调运行以满足房间冷负荷需求、且其制冷量在额定中间制冷量与额定制冷量之间时的耗电量,Wh;

P_{c2}(t_j) 为空调器在温度 t_j 下以额定制冷量运行时的耗电量,Wh; n_j 为空调季节各温度分区下的制冷发生时间,h; ϕ_{cr2}(t_j) 为空调器在温度 t_j 下以额定工况条件运行时的制冷量,W; ϕ_{cr2a} 为空调器额定制冷量的名义值,W。

2.3 空调器运行于不同地区的 SEER

选取中国和东盟部分国家制冷量在小冷量(≤ 4.5 kW)范围内相互重叠、且 EER 刚好符合各自国家能效限定值要求的分体式空调器为研究对象。根据表 2 的制冷发生时间—温度分布可求得 GB 21455—2013 和不同城市气候条件下的 SEER,详见图 1。从中可发现:(1)不论运行于何种气候条件,EER 高的空调器其 SEER 也高,中国空调器的 SEER 高于东盟国家的;(2)EER 相同的空调器,运行于不同气候区其 SEER 不同,若某一气候类型的制冷发生时间在高温段所占份额越大,则 SEER 就越高。

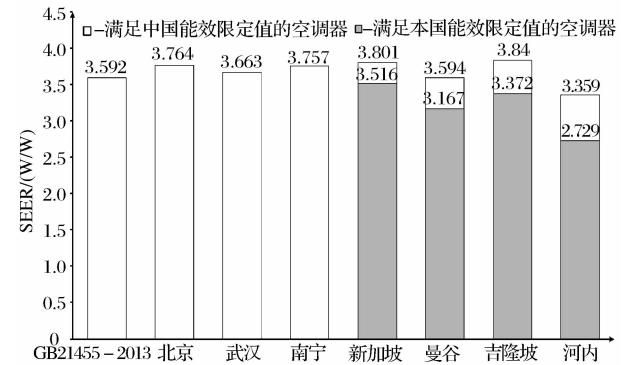


图 1 不同气候条件下房间空调器季节能效比

3 房间空调器热力学完善度对比分析

3.1 热力学完善度计算方法

中国在最新一轮的空调器能效标准修订中,采用热力学完善度指标来划分能效等级。热力学完善度也称为热力学第二定律效率,表示实际循环偏离理想状态(即逆卡诺循环)的程度,具有稳定性、统计性、相对性、合理性和可比性等特点。以季节能效比定义的房间空调器热力学完善度为^[12]:

$$\eta = \frac{SEER_R}{SEER_C} \quad (5)$$

其中 $SEER_C$ 为房间空调器理想季节能效比,有:

$$SEER_C = \sum_{j=1}^{15} BH(n_j) EER_{Cj} \quad (6)$$

式中: $BH(n_j)$ 为各温度分区下的制冷发生时间份额,%; EER_{Cj} 为各温度分区下的理想能效比, W/W。

3.2 空调器运行于不同地区的热力学完善度

仍以 2.3 小节选定的空调器为研究对象,根据式(5)、(6)以及表 2 中的制冷发生时间—温度分布,可求得其运行于不同气候条件下的热力学完善度,详见图 2。

分析图 2 可看出:①EER 相同的空调器,运行于不同气候区其热力学完善度不同;②不论运行于何种气候条件,EER 高的空调器其热力学完善度也高,表明技术水平是决定空调器热力学完善度最重要的因素,故中国空调器的热力学完善度高于东盟国家的。此外,结合图 1 与 2 可知,热力学完善度与 SEER 分析结果不完全一致,比如同样的空调器,运行于新加坡气候条件时的 SEER 和热力学完善度均大于运行于南宁气候条件的;运行于吉隆坡气候条件时虽然 SEER 高于运行于曼谷气候条件的,但热力学完善度分析结果却正好相反。其原因是不同气候条件所对应的制冷发生时间—温度分布对理想季节能效比的影响较为显著。热力学完善度可以将不同空调设备的技术水平、不同高低温热源、不同气象参数等都统一在一个基准上进行比较分析,是比 SEER 更有效、更合理的参数。

4 结论

1) 东盟国家城市的制冷发生时间分布要略微比中国城市的偏向高温区段,但极端温度出现的比例略低。制冷发生时间—温度分布是计算季节能效比和热力学完善度的重要前提。

2) 在能效比、季节能效比和热力学完善度这三种描述空调器能效水平的指标中,能效比最直观易懂,反映了空调器能源利用技术水平;季节能效比更进一

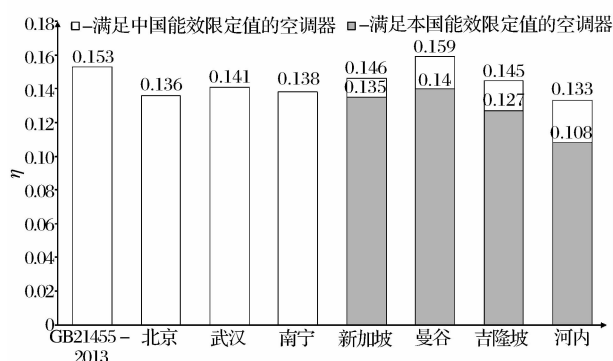


图 2 不同气候条件下房间空调器热力学完善度

步,考虑了气候等因素,反映了空调器在一年中空调季节平均的能源利用水平,用于计算全年能源消耗及分析节能潜力比能效比更精确;热力学完善度最抽象,但考虑的因素也最全面。

3) 能效比、季节能效比和热力学完善度之间具有一定相关性。能效比是季节能效比和热力学完善度的基础,季节能效比和热力学完善度的变化规律与能效比的相同,但季节能效比和热力学完善度之间则没有明确的对应关系。

4) 不论以何种能效指标评价,中国房间空调器的能效水平均高于东盟国家,是中国—东盟区域内的最高水平。

参考文献

- [1] BP. BP statistical review of world energy 2013[EB/OL]. [2014-04-13]. http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf.
- [2] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Key world energy statistics 2014 [EB/OL]. [2015-03-12]. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>.
- [3] 张朝晖. 制冷空调业:机遇与挑战并存[EB/OL]. [2014-07-01]. http://www.chinajsb.cn/gb/content/2008-08/12/content_253499.htm.
- [4] INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION. Market study for harmonization standards for air conditioners and refrigerators in South East Asia[EB/OL]. [2014-07-01]. http://www.unep.org/climatechange/mitigation/sean-cc/Portals/141/doc_resources/Harmonization%20of%20standards%20ACs/Regional%20survey%20findings_%20Bek%20Chee%20Jin.pdf.
- [5] 卢苇. 中国—东盟家用空调器能效标准和标识对比分析[J]. 制冷与空调(四川), 2014, 28(2): 165-169.
- [6] GB 12021.3-2010, 房间空气调节器能效限定值及能效等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 3-4.

[7] 刘圣春,马一太,卢苇. 空调能效比和季节能效比分析[J]. 天津大学学报:自然科学与工程技术版,2006,39(9):1088—1092.

[8] GB 21455—2013,转速可控型房间空气调节器能效限定值及能效等级[S]. 北京:中国标准出版社,2013:7.

[9] 中国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[DB]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.

[10] GB/ T 7725 —2004,房间空气调节器[S]. 北京:中国标准出版社,2004:51.

[11] JIS C 9612: 2005,ルームエアコンディショナ[S]. 东京:日本冷凍空調工業会,2005:38—42.

[12] 李晓风, 马一太, 闫秋辉. 房间空调器的热力学完善度分析[J]. 制冷学报,2013,34(1):18—23.

A Discussion on Energy Efficiency for Room Air Conditioners in
China and ASEAN Members

LU Wei, CAO Cong, YANG Lin, LIU Ji-yun, CHEN Han

(School of Chemistry and Chemical Engineering,Guangxi University,Nanning 530004,China)

Abstract: Minimum allowable values of the energy efficiency and maximum energy efficiency grades are analyzed for room air conditioners in China and several ASEAN members. The profiles of cooling hour vs. temperature corresponding to those weather conditions in several cities of China and ASEAN are figured out, and then the seasonal energy efficiency ratio (SEER) and thermodynamic perfectibility for room air conditioners under those weather conditions are discussed. SEER and thermodynamic perfectibility are different for air conditioners with the same energy efficiency ratio (EER) running in diverse climatic areas. As far as numerous air conditioners operating in a certain climatic area are concerned, the higher EER for a given air conditioner, the higher SEER and thermodynamic perfectibility. Nevertheless, there are obscure rules between SEER and thermodynamic perfectibility. No matter what energy efficiency indicators such as EER, SEER or thermodynamic perfectibility are selected to evaluate the energy performance of room air conditioners,the energy efficiency level in China is the highest among China-ASEAN region.

Key words:room air conditioner;energy efficiency ratio;seasonal energy efficiency ratio;thermodynamic perfectibility;China-ASEAN