



能效标准 — 支持信息

2019年9月

节能环保型空调



致谢

主要作者，联合国环境规划署联合提升能效倡议的 Brian Holuj，劳伦斯·伯克利国家实验室的 Won Young Park 和 Nihar Shah，以及自然资源保护委员会的 Noah Horowitz 和 Alex Hillbrand，感谢来自以下审阅者的宝贵反馈：

Rashid Ali Abdallah, 非洲能源委员会
Atef Marzouk, 非洲联盟委员会能源司
Tolga Apaydin, Arçelik A.Ş.
Jochen Härten, BSH 家用电器
Marcello Padilla, 智利能源部
Li Pengcheng, 中国标准化研究院
Marie Baton, CLASP
Naomi Wagura, CLASP
Philipp Munzinger, 德国国际合作机构
Miriam Frisch, 德国国际合作机构
Fred Ishugah, 东非可再生能源和效率精英中心
Michael Kiza, 东非可再生能源和效率精英中心
Charles Diarra, 西非经共体可再生能源和能源效率中心
Viktor Sundberg, 伊莱克斯
S.P. Garnaik, 能源效率服务有限公司
Han Wei, 中国能源基金会
Antoine Durand, 弗劳恩霍夫系统与创新研究所
Nora Steurer, 全球建筑与结构联盟
Miquel Pitarch, HEAT
Anett Matbadal, 独立顾问
James Wolf, 独立顾问
Frank Gao, 国际铜业协会
Hal Stillman, 国际铜业协会
Kerry Song, 国际铜业协会
Kevin Lane, 国际能源署
John Dulac, 国际能源署
Chiara Delmastro, 国际能源署
Sommai Phon-Amnuaisuk, 国际节能学会
Didier Coulomb, 国际节能学会
Gabrielle Dreyfus, 基加利制冷能效项目
Dae Hoon Kim, 韩国制冷空调评估中心
Hee Jeong Kang, 韩国制冷空调评估中心

Jinho Yoo, 韩国制冷空调评估中心
Jun Young Choi, 韩国检测实验室
Hyunho Choi, LG 电子
Juan Rosales, 玛贝家电
Fabio García, 拉丁美洲能源组织 (OLADE)
Jaime Guillén, 拉丁美洲能源组织 (OLADE)
Asad Mahmood, 巴基斯坦国家能源效率与保护局
Sara Ibrahim, 可再生能源和能源效率区域中心
Maged Mahmoud, 可再生能源和能源效率区域中心
Kudakwashe Ndhukula, 可再生能源和能效南共中心
Eunsung Kwon, 三星电子
Yongsik Cho, 三星电子
Lin-Jie Huang, 三花控股集团
Li Jiong, 三花控股集团
Ousmane Sy, 塞内加尔工程师和制冷技术人员协会
Stephen Cowperthwaite, 英国环境、食品和农村事务部
Helena Rey De Assis, 环境署可持续旅游业 Madeleine Edl, 联合国环境署能效联盟
Marco Duran, 联合国环境署 能效联盟
Patrick Blake, 联合国环境署能效联盟
Paul Kellett, 联合国环境署 能效联盟
Souhir Hammami, 联合国环境署 能效联盟
Eric Antwi-Agyei, 联合国环境署能效联盟-西非经共体冰箱和空调倡议人
Morris Kayitare, 联合国环境署能效联盟-卢旺达冷却倡议人
Toby Peters, 伯明翰大学
Paul Waide, Waide 怀德战略效率
Marco Spuri, 惠而浦
Ashok Sarkar, 世界银行组织
Omar Abdelaziz, 泽瓦尔科技城

前言

本文档提供了有关节能和环境友好型空调的能效标准基本背景信息。它简要介绍了能源效率和制冷剂的范围、产品类别以及市场趋势和政策趋势。能效标准参考了国际通用标准，例如国际标准化组织（ISO）16358 和 ISO 5151，以制定测试方法和季节能效计算方法。为了建立监管框架，各国需要熟悉这些标准或其他方法。

空调在正常使用情况下会消耗大量电力，所以提高能源效率并过渡到低全球变暖潜能值（GWP）的制冷剂给空调行业提供了巨大的发展机会。能源效率联盟（U4E）已为 150 个发展中国家和新兴经济体进行了国家节能减排评估（截至 2019 年 9 月更新），其中包括了年度电力节省量、温室气体排放减少量以及公共事业费用减少量，前提是各国统一采用本能效标准指南¹。下表摘自评估报告，举例说明了如果样本区域中的所有国家都采用建议的最低能效标准和制冷剂要求，到 2030 年的年度影响估值。通过查看完整国家节能减排评估报告，可以了解除以下简化清单之外的其他国家的各种组合。

2030 年基于最低能效标准（MEPS）情景进行的年度节能减排估算				
地区	电力（太瓦）	发电厂（500 兆瓦）	CO2（百万公吨）	电费单（百万美元）
中美	4.4	2	3	518.5
非洲	30.3	14	20	2710.4
东南亚	76.7	35	52.8	8301.7
西非	34.2	16	28.3	2466.2

虽然人们可以通过遮阳，自然通风，隔热，反射涂层以及其他设计和操作方法来降低室内温度并提高舒适度，但空调在生活中仍然至关重要。在炎热的夏天，空调可占电网负载的一半以上。人们通常靠更多的化石燃料发电厂来解决高峰时的电力需求，但这会提高成本，危及电网的稳定性并加剧污染。因此，建议除减少热负荷外，各国还应采用能效标准中规定的强制性最低能效标准和标识。

¹国家节能减排评估详见 <https://united4efficiency.org/countries/country-assessments>

免责声明

本出版物中使用的名称和材料的表示方式并不代表联合国环境规划署成员中任何合法国家、城市、地区或其当局，已划定边界的地区的任何观点的表达。此外，所表达的观点不一定代表联合国环境规划署的决定或既定政策，对商品名或商业程序的引用也不构成背书。

本出版物中包含的信息如有更改，恕不另行通知。尽管作者试图确保信息来源的可靠性，但联合国环境规划署对任何错误或遗漏，或使用该信息所造成的后果概不负责，所有信息均以原有基础提供，不对所包含内容的完整性、准确性、及时性或使用该信息所造成的后果提供任何明示或暗示的保证，包括但不限于性能、适销性和特定用途适用性的保证。

联合国环境规划署、其相关公司、贡献者或合作伙伴、代理商或其各自的员工在任何情况下均不对您或其他人任何与本文所提供信息有关的行为承担责任。即使知晓有可能出现损害，本免责声明适用于任何损害赔偿或责任，联合国环境规划署在任何情况下均不对您承担任何间接性、后果性、示范性、附带或惩罚性的损害，包括利润损失。

需要更多信息，请联系：

联合国环境规划署 - 能源效率联盟

法国巴黎 Rue Miollis 1 号，7 号楼，能源、气候和技术分部，75015

电话：+33(0)1 44 37 14 50

传真：+33(0)1 44 37 14 74

电子邮件：u4e@un.org

<http://united4efficiency.org/>

目 录

致谢	i
前言	ii
免责声明	iii
1. 能效标准范围和产品范畴.....	1
2. 能效要求示例.....	3
3. 《能效标准》的基准比较.....	6
4. 节能空调产品的市场可行性和认可度.....	9
5. 采用室外温度发生时间方法以适应空调使用要求.....	13
6. 评估空调能效的地区指标.....	15
7. 对产品可行性和成本的考量.....	18
8. 可燃制冷剂（A3）的充注量限制.....	20
参考文献	22

表格清单

表 1: 《能效标准》和各地区标准中规定的按照制冷量 (kW) 划分的产品类别.....	2
表 2: 中国定速空调能效等级标准.....	3
表 3: 中国变速空调能效等级标准.....	3
表 4: 2019 年末至 2022 年生效的在中国能效等级新标准.....	4
表 5: 《能效标准指南》对单冷空调的最低要求.....	6
表 6: 《能效标准指南》对热泵空调的最低标准.....	6
表 7: 部分经济体的最高能效空调.....	12
表 8: 三种空调型号规格汇总.....	16
表 9: 空调和热泵中对碳氢化合物 (HCs) 制冷剂的充注量限制.....	20
表 10: 固定式空调的低全球变暖潜值制冷剂替代情况.....	21

图表清单

图 1: 按技术类型和制冷剂分类的 2017 年空调市场份额.....	4
图 3: 某些经济体的空调 MEPS 比较.....	9
图 4: ISO CSPF 对一些国家在售的变速空调能效情况.....	10
图 5: 与 MEPS 或最低能效标识相关的最节能空调型号能效情况.....	11
图 6: 《能效标准指南》、地区标准和最佳可行技术 (BAT) 能效水平之间的高低能效比较.....	13
图 7: 室外温暖气候地区 (0A-3C) 极度炎热温度分布.....	14
图 8: 年度室外温度发生时间 (棕色) 和在 0A 气候区使用空调的温度发生时间 (蓝色)	15
图 9: 2A 温度发生时间下中国 APF (GB 21455-2013) 和 ISO APF 之间的关系.....	16
图 10: 三种空调型号的 TEWI 计算结果.....	17
图 11: 中国 1-RT 和印度 2-RT 空调的价格与能效对比.....	19

首字母缩写表

AC	空调	IEC	国际电工委员会
APF	全年能源效率	IPCC	政府间气候变化专门委员会
ASHRAE	美国采暖，制冷和空调工程师协会	ISEER	印度季节能源效率
BAT	最佳可行技术	ISO	国际标准化组织
CARICOM	加勒比共同体	LBNL	劳伦斯·伯克利国家实验室
CC	制冷量	MEPS	最低能效标准
CO ₂ e	二氧化碳当量	NOM	墨西哥官方标准
COP	性能系数	REEE	墨西哥的制冷季节能源效率
CSPF	制冷季节能源效率	RMB	人民币
EER	能效比	RSEER	卢旺达制冷季节能源效率
EN	欧洲标准	RT	冷吨
EOL	生命周期終了	S&L	标准和标识
EU	欧盟	SASO	沙特标准，计量和质量组织
FSD	定速驱动器	SEER	制冷季节能源效率
GB	中国国家标准	TEWI	总等效温室效应
GHG	温室气体	U4E	能源效率联盟
GWP	全球变暖潜值	U. S.	美国
HC	碳氢化合物	USD	美元
HCFC	氢氯氟烃	VRF	变制冷剂流量
HFC	氢氟烃	VSD	变速驱动器
HFO	氢氟烯烃	WCOP	加权性能系数

1. 能效标准范围和产品范畴

大多数用于住宅或轻商业用途的空调系统的制冷量（CC）最高可达 10.5 kW，相当于 3 冷吨（RT）²。这些空调系统的能效标准范围因地区而异，例如：

- 日本：最高 7.1 kW（2 RT）
- 印度：最高 11 kW（3 RT）
- 欧盟（EU）：最高 12 kW（3.4 RT）
- 中国：最高 14 kW（4 RT）
- 墨西哥：最高 19 kW（5.4 RT）
- 沙特阿拉伯：最高 20.5 kW（5.8 RT）
- 韩国³：最高 23 kW（6.6 RT）

《能效标准》设定了 4.5 RT（16 kW）的上限，涵盖住宅和轻商业用途热泵等的大多数空调系统。鉴于中国约占全球房间空调销售量的 40% 和全球房间空调产量的 70%（国际能源署 2019 年；中国产业在线 2018 年；日本制冷和空调工业协会[JRAIA] 2018a），

《能效标准》根据中国最低能效标准和标识（S&L）计划，按照制冷量对空调系统进行了分类。为规避因换算带来的问题，在每个产品类别中设置 kW 与 RT 换算（例如 3.5 kW / 1 RT，7.0 kW / 2 RT 和 10.5 kW / 3 RT），而不是作为具体限值，（表 1）。

² RTs 指设备的名义制冷量，1 RT = 12,000 Btu/h = 3.52 kW.

³ 又称南朝鲜

表 1：《能效标准》和各地区标准中规定的按照制冷量（kW）划分的产品类别

能效标准	小 CC ≤ 4.5	中 4.5 < CC ≤ 9.5	大 9.5 < CC ≤ 16.0
按照额定制冷量划分 (RT)	2.6 kW (0.75 RT) 3.5 kW (1 RT)	5.3 kW (1.5 RT) 7.0 kW (2 RT)	10.5 kW (3 RT) 14.0 kW (4 RT)

Category	Small (CC ≤ 4.5)	Medium (4.5 < CC ≤ 9.5)	Large (9.5 < CC ≤ 16.0)
Small	0 - 4.5		
Medium		4.5 - 9.5	
Large			9.5 - 16.0

备注：以上经济体根据制冷量设置了不同的标准和标识要求。

用于住宅和轻商业用途的空调产品通常按类型（分体式/独立式，仅单冷/热泵和定速/变速）以及制冷量大小进行分类。某些国家（例如巴西，印度，印度尼西亚和美国）未按制冷量额外制定“标准与标识计划”（S&L）要求；也就是说 S&L 要求不会随着制冷量的增加而降低。但是一些其他国家（例如中国，欧盟，日本，墨西哥和韩国）设置了不同的 S&L 要求，因为空调压缩机（比如转子压缩机）的能效会随着制冷量的提高而降低。

主要的空调制造商通常会利用变速压缩机运行频率范围宽的特点来优化压缩机效率⁴（Park, Shah 和 Gerke, 2017 年）。小制冷量空调通常能效较高，特别是 0.75-RT（2.5-2.6 kW 制冷量）产品，除了印度（效率最高是 1-R 型）和韩国（2-RT 模型）（Park, Shah 和 Gerke, 2017 年）。

⁴变速压缩机也称为变频压缩机

2. 能效要求示例

巴西、印度、印度尼西亚、墨西哥和南非等许多新兴和发展中经济体的当前最低能效标准（MEPS）处于 3.00 – 3.20 W/W 的能效比（EER）范围内，与自 2010 年起生效的中国定速空调 MEPS 能效水平相当。中国将分体式空调分类为定速和变速类型，并制定不同标准为每种产品类型设置了不同的 MEPS 和强制性能效标识。中国还使用 EER 评估了定速空调的能效。中国变速空调的能效指标包括单冷产品的制冷季节能源效率（SEER）和热泵空调的全年能源效率（APF）。表 2 列出了以 EER 计算的中国定速空调能效等级。表 3 列出了以 SEER 和 APF 计算的变速空调能效等级。

表 1：中国定速空调能效等级标准

类型	制冷量	级别 1	级别 2	级别 3
分体式（EER）	$CC \leq 4.5 \text{ kW}$	3.60	3.40	3.20
	$4.5 \text{ kW} < CC \leq 7.1 \text{ kW}$	3.50	3.30	3.10
	$7.1 \text{ kW} < CC \leq 14.0 \text{ kW}$	3.40	3.20	3.00

来源：Park, Shah, and Gerke (2017)

表 2：中国变速空调能效等级标准

类型	制冷量	级别 1	级别 2	级别 3
分体式，仅制冷型（SEER）	$CC \leq 4.5 \text{ kW}$	5.40	5.00	4.30
	$4.5 \text{ kW} < CC \leq 7.1 \text{ kW}$	5.10	4.40	3.90
	$7.1 \text{ kW} < CC \leq 14.0 \text{ kW}$	4.70	4.00	3.50
分体式，可逆型（APF）	$CC \leq 4.5 \text{ kW}$	4.50	4.00	3.50
	$4.5 \text{ kW} < CC \leq 7.1 \text{ kW}$	4.00	3.50	3.30
	$7.1 \text{ kW} < CC \leq 14.0 \text{ kW}$	3.70	3.30	3.10

来源：Park, Shah, and Gerke (2017)

在中国销售的变速空调所占比例从 2010 年的 10–18% 增加到 2018 年的 58–65%（中国产业在线 2018；JRAIA 2018b）。在市场上出售的变速空调中大多都是热泵空调。中国向变速装置迈进是全球变速趋势发展的一部分，该趋势是由信息技术和半导体制造的技术进步推动的，这些领域已经实现成本降低，并采用了季节能效指标。2017 年，在北美，欧洲和日本出售的所有空调类别中，几乎 100% 都是使用氢氟碳化合物（HFC）制冷剂的变速压缩机。

发展中国家和新兴经济体的变速产品普及率仍然很低。发展中经济体中的大多数产品都是使用氢氯氟烃（HCFC）制冷剂的定速空调，前期成本低而能效也相对较低（JRAIA 2018b）；参见图 1。然而截至 2018 年，在巴西、印度和南非新售的变频份额已增长至市场的 30%–60%（2019 年技术委员会会议；2019 年联合国开发规划署；《2019 年基加利制冷能效方案》）。

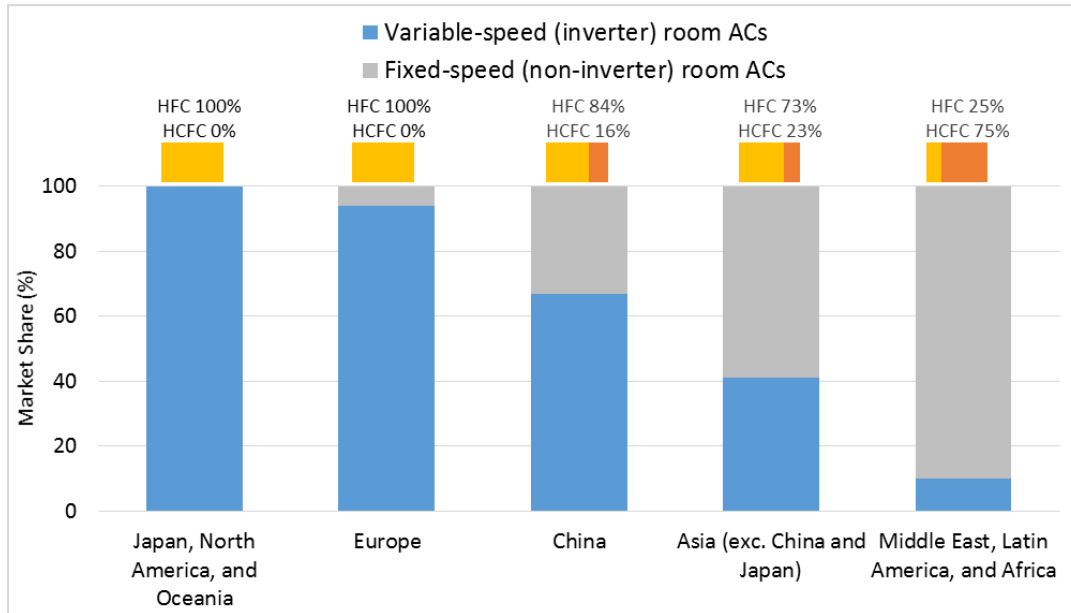


图 1: 按技术类型和制冷剂分类的 2017 年空调市场份额

来源: Park (2019)

HCFC = hydrochlorofluorocarbon 氢氯氟烃, HFC = hydrofluorocarbon 氢氟烃

备注: 通过研发和制造工艺的进步, 房间空调器的能效水平不断提高。

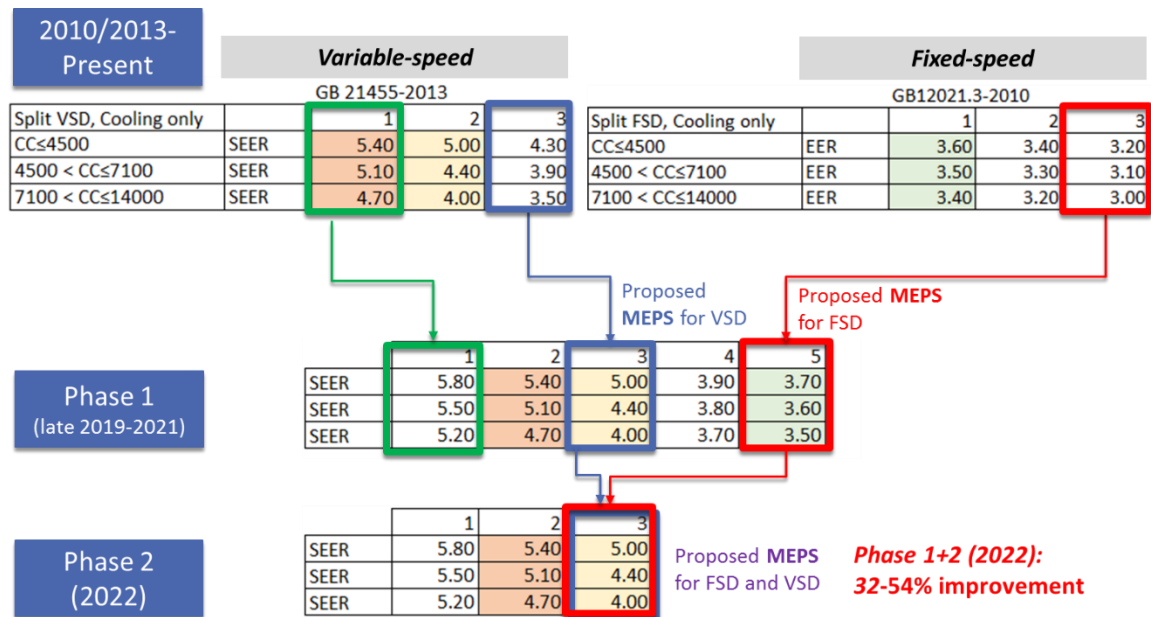
在本标准起草时, 中国正在对其最低能效标准 (MEPS) 和标识进行修订。拟定标准的第一阶段包括涵盖定速和变速空调的 5 个等级, 其中 5 级是定速空调的限值, 3 级是变速空调的限值 (表 4)。第一阶段预计将在 2019 年末至 2021 年生效。2022 年将第二阶段修订, 定速与变速两种空调的标准都为 3 级 (中国标准化研究院, 2019 年)。在中国 SEER 中, 2022 年拟定的 MEPS 比 2010 年严格很多, 标准提高了 32-54% (图 2)。

表 4: 2019 年末至 2022 年生效的在中国能效等级新标准

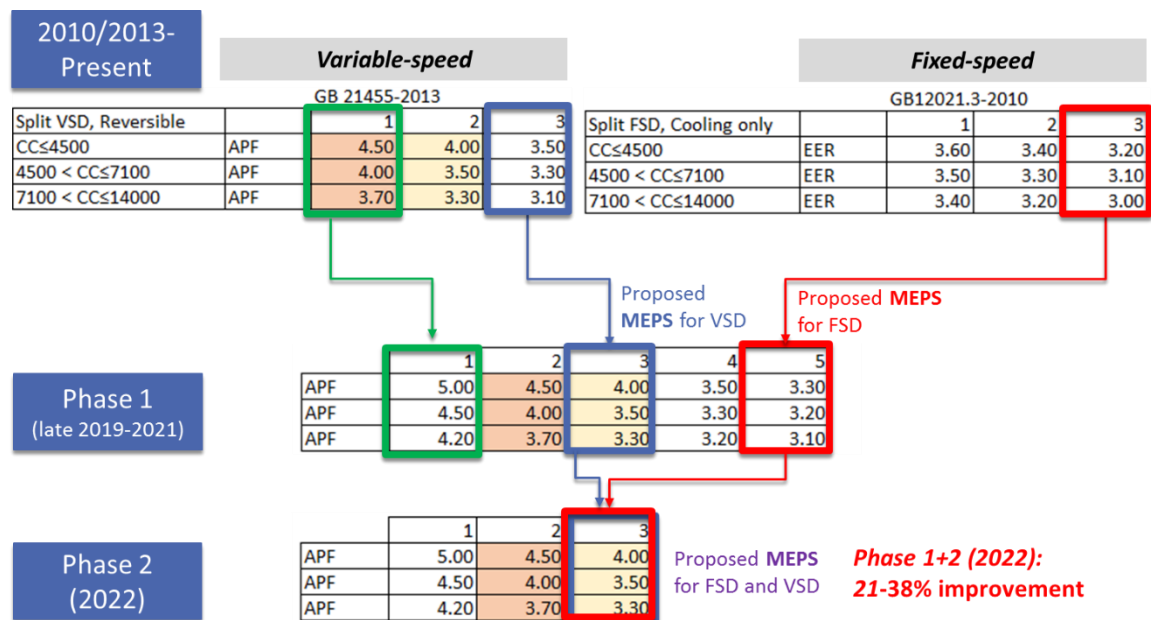
Type	CC	Grade 1	Grade 2	Grade 3	Grade 4	Grade 5
分体空调, 单冷仅 (SEER)	$CC \leq 4.5 \text{ kW}$	5.80	5.40	5.00	3.90	3.70
	$4.5 \text{ kW} < CC \leq 7.1 \text{ kW}$	5.50	5.10	4.40	3.80	3.60
	$7.1 \text{ kW} < CC \leq 14.0 \text{ kW}$	5.20	4.70	4.00	3.70	3.50
分体空调, 热泵 (APF)	$CC \leq 4.5 \text{ kW}$	5.00	4.50	4.00	3.50	3.30
	$4.5 \text{ kW} < CC \leq 7.1 \text{ kW}$	4.50	4.00	3.50	3.30	3.20
	$7.1 \text{ kW} < CC \leq 14.0 \text{ kW}$	4.20	3.70	3.30	3.20	3.10

来源: 中国标准化研究院 (2019)

备注: 2019 年末至 2021 年 5 级和 3 级分别为定速空调和变速空调的最低标准要求。3 级是 2022 年两种类型空调的最低标准要求。



(a) 仅单冷空调



(b) 热泵空调

图 2: 中国空调最低能效标准和标识的变化

来源: 劳伦斯·伯克利国家实验室

制冷量: 瓦特 (watts)

FSD = 定速驱动, VSD = 变速驱动

备注: 第一阶段与第二阶段修改的最低能效标准和标识要求适用于分体式和窗式空调。

3. 《能效标准指南》的基准比较

《能效标准指南》建议标准应该与中国和其他主要新兴经济体由于技术、政策改进所带来的市场变化保持一致。表 5 和表 6 给出了《能效标准指南》的最低能效要求（低能效等级），即把 ISO 制冷季节能效效率（CSPF）、全年能效效率（APF）与中国 2020 单冷空调和热泵空调的 MEPS 作比较。图 3 显示了在《能效标准指南》最低要求下（低能效等级）在某些国家的空调能效对比情况。

表 3：《能效标准指南》对单冷空调的最低要求

	中国 S EER	第一组	第二组	第三组
		ISO CSPF ^a (0A/1A/2A/3A/2B/3B/3 C 气候条件)	ISO CSPF ^b (0B/1B 气候条 件)	ISO CSPF ^c (4A/5A/6A/4B/5B/6B/7/ 8 气候条件)
CC ≤ 4.5 kW	5.00	6.10 (4.90 – 6.00)	5.00 (4.60 – 4.70)	5.30 (4.70 – 6.70)
4.5 kW < CC ≤ 9.5 kW	4.40	5.10 (4.30 – 5.10)	4.30 (4.00 – 4.10)	4.60 (4.20 – 5.10)
9.5 kW < CC ≤ 16.0 kW	4.00	4.50 (4.00 – 4.50)	3.80 (3.70)	4.10 (3.90 – 4.50)

CSPF = 制冷季节能源效率

^a 第一组的 ISO CSPF 基于 ISO 16358-1:2013 和参考温度的发生时间。

^b 第二组的 ISO CSPF 基于 ISO 16358-1:2013/Amd 1:2019 和参考温度的发生时间。

^c 第三组的 ISO CSPF 是基于 ISO 16358-1:2013 和第三组在能效联盟《能效标准指南》中参考温度发生时间。

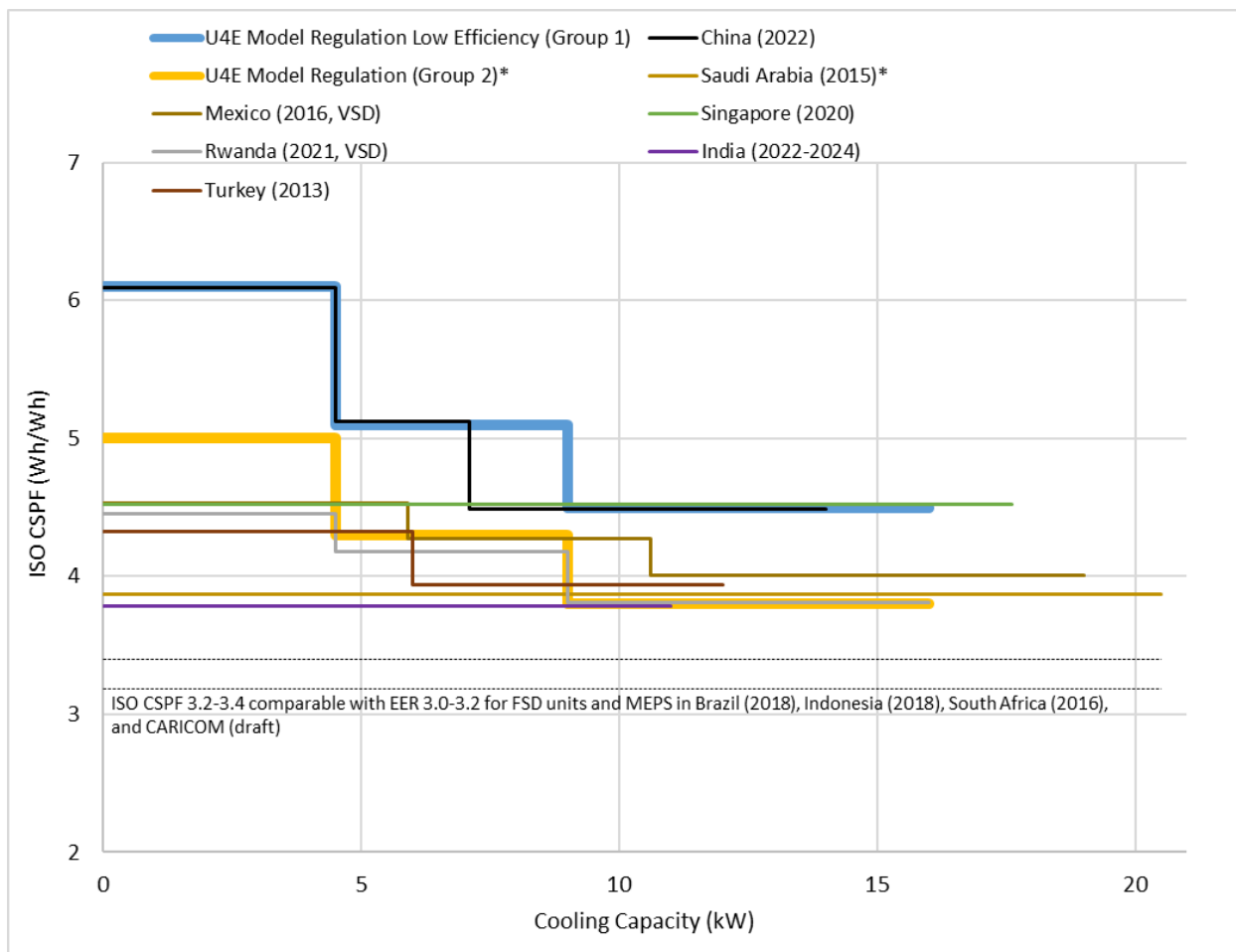
表 4：《能效标准指南》对热泵空调的最低标准

	中国 A PF	第一组	第二组	第三组
		ISO APF ^a (1A/2A/3A/2B/3B/3 C 气候条件)	ISO APF ^b (0B/1B 气候条 件)	ISO APF ^c (4A/5A/6A/4B/5B/6B/7 /8 气候条件)
CC ≤ 4.5 kW	4.00	5.00 (4.40 – 5.20)	4.00 (3.90 – 4.00)	3.10 (3.10 – 3.60)
4.5 kW < CC ≤ 9.5 kW	3.50	4.00 (3.70 – 4.10)	3.60 (3.50 – 3.60)	2.50 (2.50 – 3.00)
9.5 kW < CC ≤ 16.0 kW	3.30	3.60 (3.40 – 3.60)	3.40 (3.30 – 3.40)	2.30 (2.30 – 2.80)

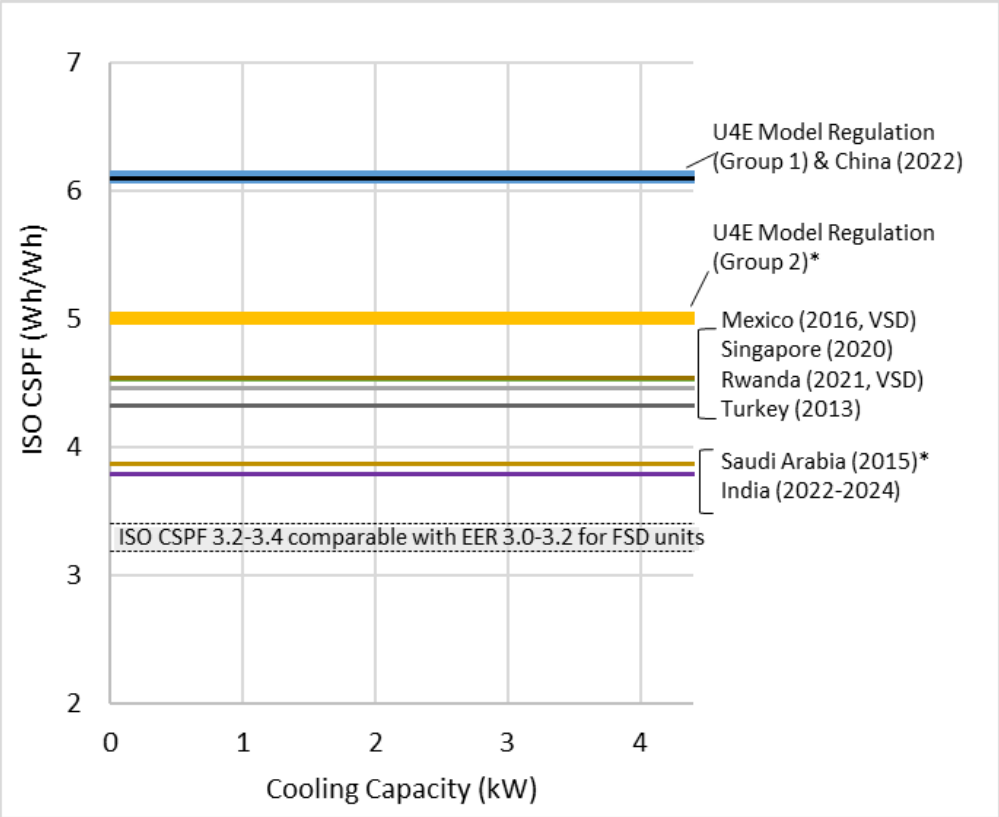
^a 第一组的 ISO APF 基于 ISO 16358-1:2013, 16358-2:2013 以及制冷制热时的参考温度发生时间。

^b 第二组 ISO APF 基于 ISO 16358-1:2013/Amd 1:2019, 16358-2:2013, 以及制冷制热时的参考温度发生时间。

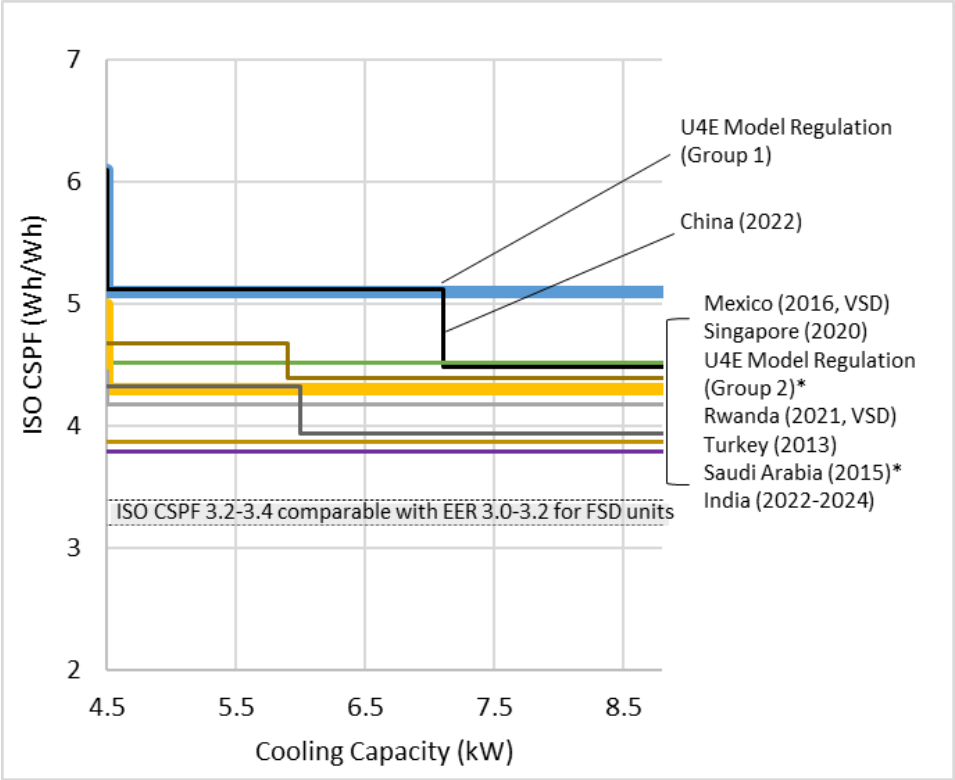
^c 第三组 ISO APF 基于 ISO 16358-1:2013, 16358-2:2013 以及第三组在能效联盟《能效标准指南》中参考温度发生时间。



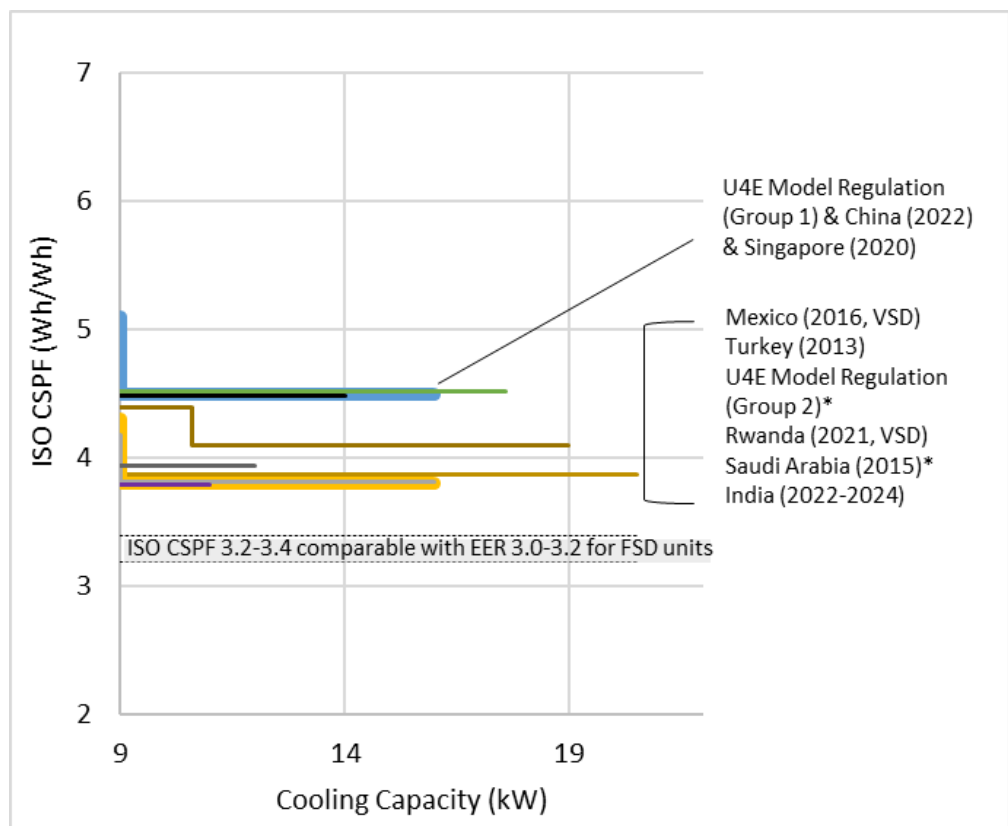
(a) 所有类型



(b) 小冷量



(c) 中等冷量



(d) 大冷量

图 2:某些经济体的空调 MEPS 比较

来源： LBNL 分析

CARICOM =加勒比共同体；ISEER = 印度 SEER；REEE = 墨西哥 SEER；WCOP =加权性能系数

备注：星号表示 ISO CSPF 与 ISO 16358-1:2013/Amd 1:2019 保持一致，基于 T3 标准制冷量在 46°C (114.8° F) 的室外干球温度（炎热气候）的额定工况；T1 标准制冷量在 35°C (95° F) 的室外干球温度（适宜气候）的额定工况。

沙特阿拉伯 - ISO CSPF (T3) 规定的由沙特国家标准 (SASO 2663/2014) 对分体式空调能源效率比为 3.37 (T1) 和 2.43 (T3)。

墨西哥 - 国家标准 (NOM-026-ENER-2015) 对变速驱动分体式空调根据不同制冷量的能效 (4.68/4.39/4.10)。

新加坡 - ISO CSPF 由分体式空调 WCOP 3.8。

卢旺达 - ISO CSPF 由国家制冷计划对变速驱动的分体式空调根据制冷量划分的 SEER (RSEER) 3.80/3.50/3.20。

印度 - ISO CSPF 在第 11 届房间空调技术委员会会议 (2019 技术委员会会议) 上提出的针对分体式空调 ISEER 3.5。

土耳其 - ISO CSPF 计算的欧盟 SEER 4.6 (即 6 kW CC) 和 4.3 (6-12 kW CC)。

ISO CSPF 3.2 - 3.4 (相当于 变速空调 EER 3.0 - 3.2) 等同于许多发展中国家现行且生效的 MEPS，例如，巴西标准 (2018)，墨西哥变速空调标准 (2018)，南非标准 (2016)，加勒比共同体标准 (草案)。

4. 节能空调产品的市场可行性和认可度

尽管大多数定速空调不太可能满足中国 2022 年 MEPS 和能效标准的能效要求，但主要新兴经济体中目前在售的变速空调的 12 - 26% 达到了中国 2022 年 MEPS 以及能效标准 2023 年要求的水平，参见图 4。

在主要新兴经济体中，通过 S&L 进行的预期市场和技术过渡将为制造商提供重要的政策信号，他们针对《能效标准指南》中的目标市场：那些过时、未执行标准的或没有 MEPS 和标识的市场。同一套的标准要求可以让制造商开启更大市场，销售更多节能产品。将提高能效与采用低全球变暖潜值制冷剂替代相结合，使该行业协同起来，重新设计设备和装配生产线，同时实现节能减排。

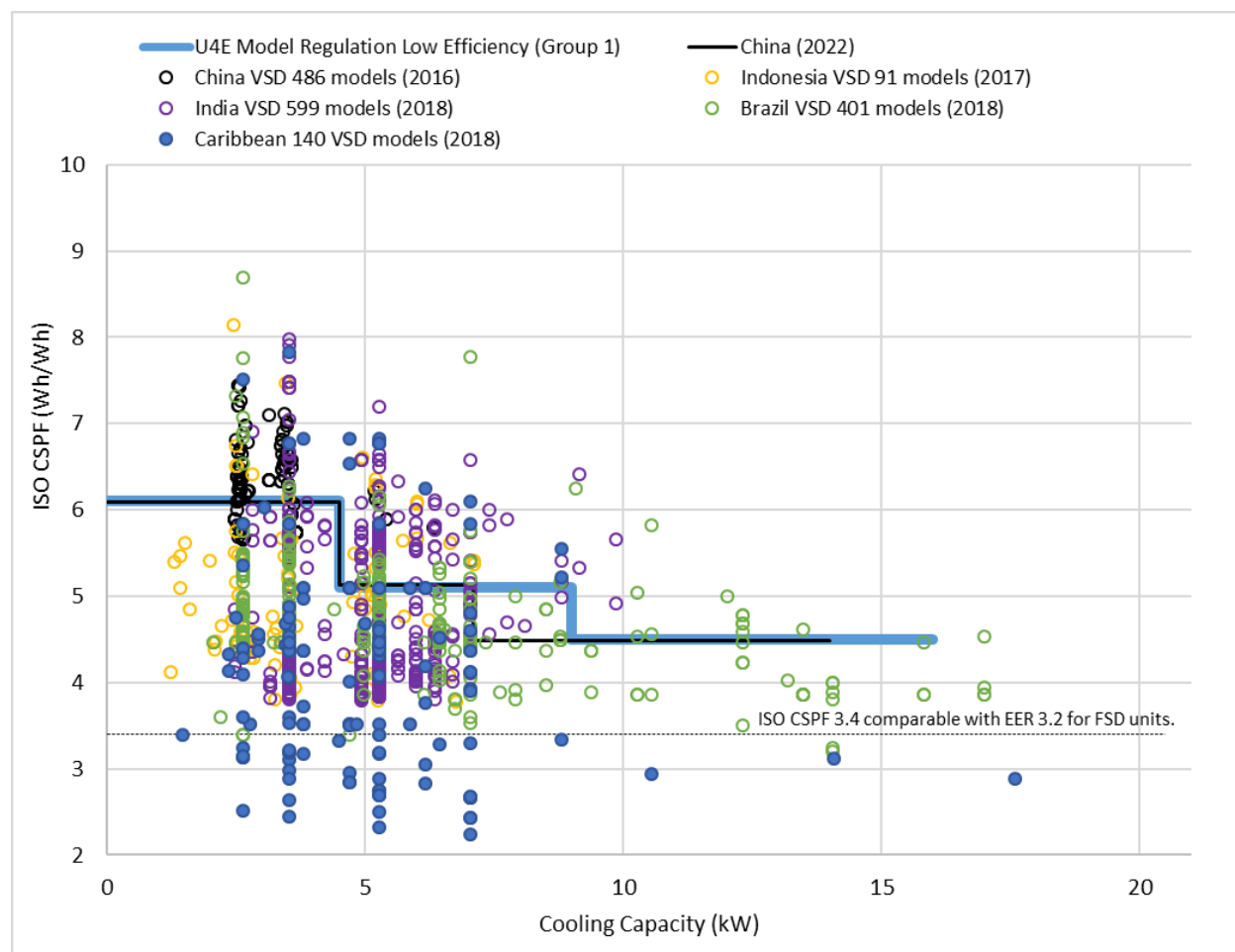


图 3：ISO CSPF 对一些国家在售的变速空调能效情况

来源：LBNL 分析

备注：中国（2016 年）、印度尼西亚（2017）和印度（2018）24-26%的变速空调达到了《中国 2022MEPS》和《能效标准》（2023）的标准。巴西（2018）12%的变速空调达到了《中国 2022MEPS》和《能效标准》（2023）的标准。

空调产品的市场可行性、成本和收益是主要考虑因素，必须在政策制定过程中进行评估。当各国考虑全球空调市场的发展方向时，以下一些关键因素发展可能会提供参考，但这并不意味着可以忽视当地实际情况和市场利益相关者。

高效空调已经可以从许多主要制造商那里购买得到，包括使用传统的（R-410A）或含低 GWP 制冷剂（例如 R-32，R-290）的型号。大多数地区都有超过现有标识计划认可的

最高能效水平的空调（Park, Shah, and Gerke 2017），请参见图 5 和表 7。在中国新销售的空调中，平均能效仍比最佳产品的能效低 60%（国际能源署 2019）。

截至 2018 年底，印度制造商已经售出了超过 60 万台 R-290。同时，八家中国制造商承诺于 2019 年在国内市场销售 22 万台 R-290 机组，并将中国年产 450 万台的 18 条空调生产线转换为生产 R-290（Hydrocarbons21 2018）。加纳和格林纳达的经销商也开始出售 R-290 型空调（GIZ 2019）。截至 2018 年 12 月（Daikin 2019），大金已售出约 6800 万台 R-32 空调。预计到《能效标准指南》被市场采用并生效时（，若感兴趣国家执行得当，大约在 2023 年左右），按照当前的趋势继续发展，此类产品的市场采用率将会更高。

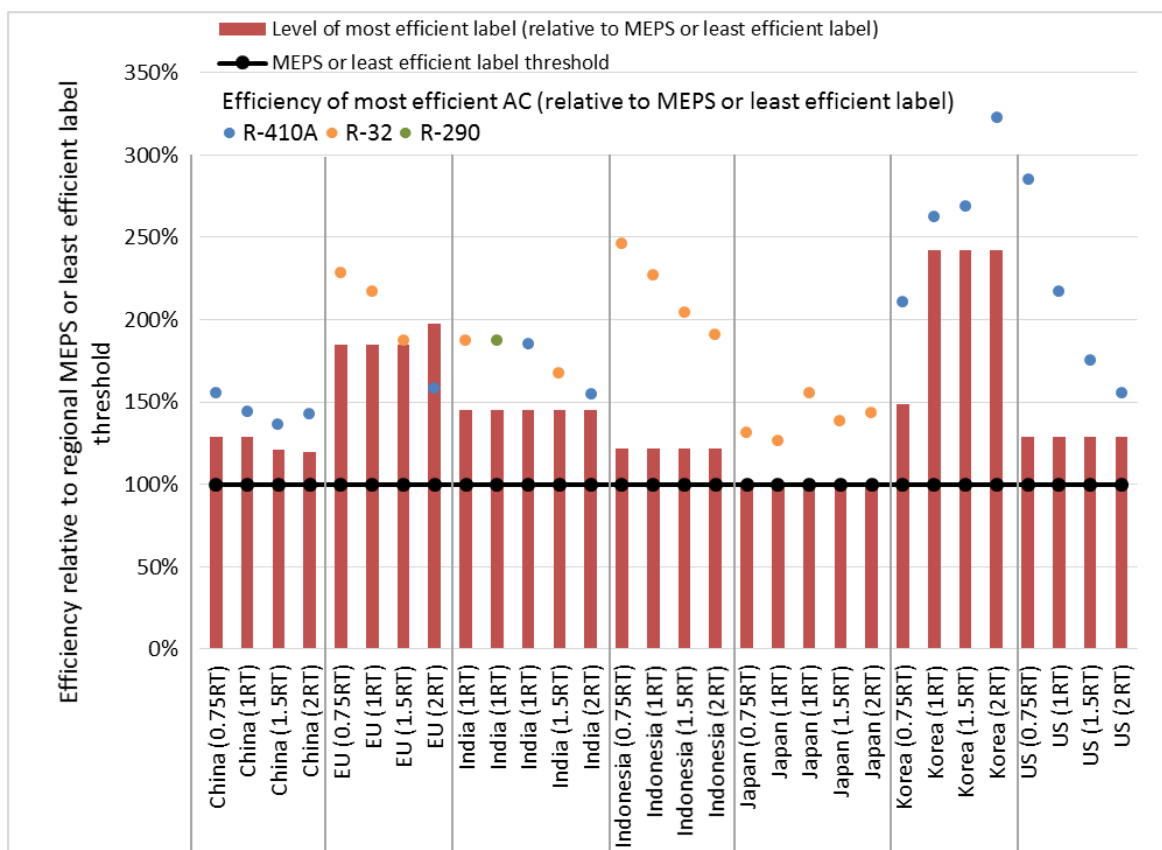


图 4：与 MEPS 或最低能效标识相关的最节能空调型号能效情况

来源：更新于 Park, Shah, and Gerke (2017)；更多细节见表 7。

表 5：部分经济体的最高能效空调

地区	制冷量	能效指标	MEPS 或 最低能效 标识	大部分产 品能效标 识	最高能效产品
	RT（名义值）		Wh/Wh		
中国	0.75	中国 APF	3.50	4.50	5.45
	1.0		3.50	4.50	5.05
	1.5		3.30	4.00	4.50
	2.0		3.10	3.70	4.40
欧盟	0.75	欧盟 SEER	4.60	8.50	10.5
	1.0		4.60	8.50	10.0
	1.5		4.60	8.50	8.60
	2.0		4.30	8.50	6.80
印度	1.0	ISEER	3.10	4.50	6.15
	1.0		3.10	4.50	5.80
	1.5		3.10	4.50	5.60
	2.0		3.10	4.50	5.40
印度尼西亚	0.75	印尼 EER	2.64	3.05	6.16
	1.0		2.64	3.05	5.68
	1.5		2.64	3.05	4.95
	2.0		2.64	3.05	4.32
日本	0.75	日本 APF	6.60	6.60	7.60
	1.0		6.00	6.00	7.60
	1.5		4.90	4.90	6.80
	2.0		4.40	4.40	6.30
韩国	0.75	韩国 CSPF	3.5	6.36	7.10
	1.0		3.5	6.36	7.80
	1.5		3.15	8.20	8.00
	2.0		3.15	8.20	9.60
美国	0.75	美国 SEER	4.10	5.27	12.30
	1.0		4.10	5.27	8.90
	1.5		4.10	5.27	7.20
	2.0		4.10	5.27	6.40

来源：更新于 Park, Shah, and Gerke (2017)

备注：1 RT = 3.5 kW.

如图 6 所示,《能效标准指南》中高能效水平大概比低能效水平的能效高 30%-60%,它们与地区标准、最可行技术 (BAT) 能效水平三者比较情况如下。

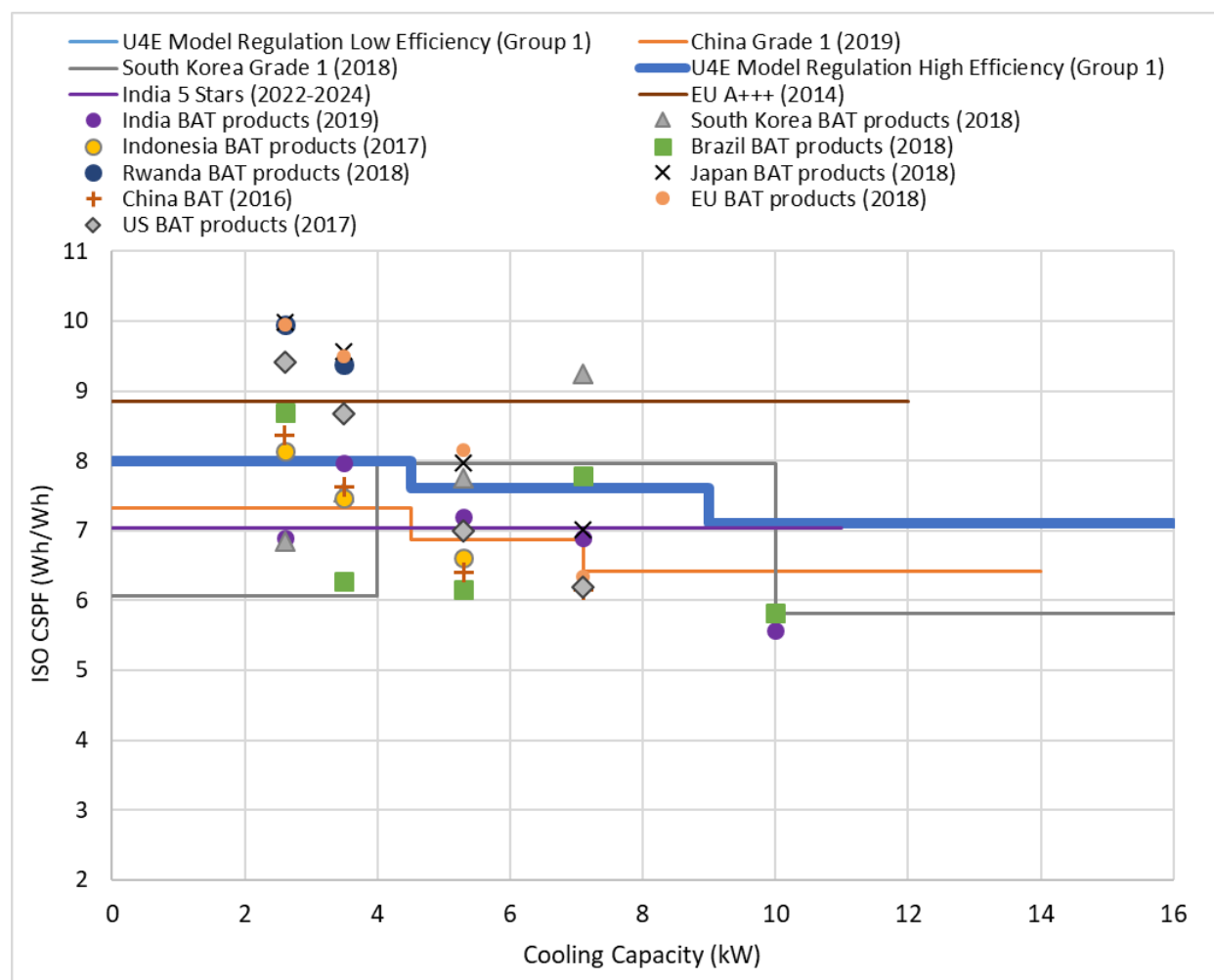


图 5:《能效标准指南》、地区标准和最佳可行技术 (BAT) 能效水平之间的高低能效比较

来源: LBNL 分析

5. 采用室外温度发生时间方法以适应空调使用要求

为了将季节空调能效标准用作国家标准,政府可以如《能效标准指南》所说,根据 ISO 16358 参考温度发生时间或国家/地区特定气候的温度发生时间,使用与 ISO 16358-1: 2013 一致的 ISO CSPF 度量标准。例如,根据美国供暖,制冷和空调工程师协会 (ASHRAE) 的气候区定义,巴西的高温和潮湿气候会因地区不同而从极端高温 (0A) 到温暖潮湿 (3A),这些指标是基于制冷日基数 10°C (CDD10),制热日基数 18°C (HDD18),年降水量,年平均温度等。

图 7 显示了根据 ASHRAE 气候带定义的热/暖气候区域的年平均温度发生时间分布图。根据气候数据，在选定的 0A 和 1A 气候区域中，21℃或更高温度下的小时数占年度室外温度分布的 85%，而 35℃以上的小时数不到 2%。图 8 显示了假设在 0A 气候区域使用空调的室外温度发生时间情况。Park 等人提供了定义空调的室外温度发生时间的更多细节（2019a）（Park and Shah（2019））。

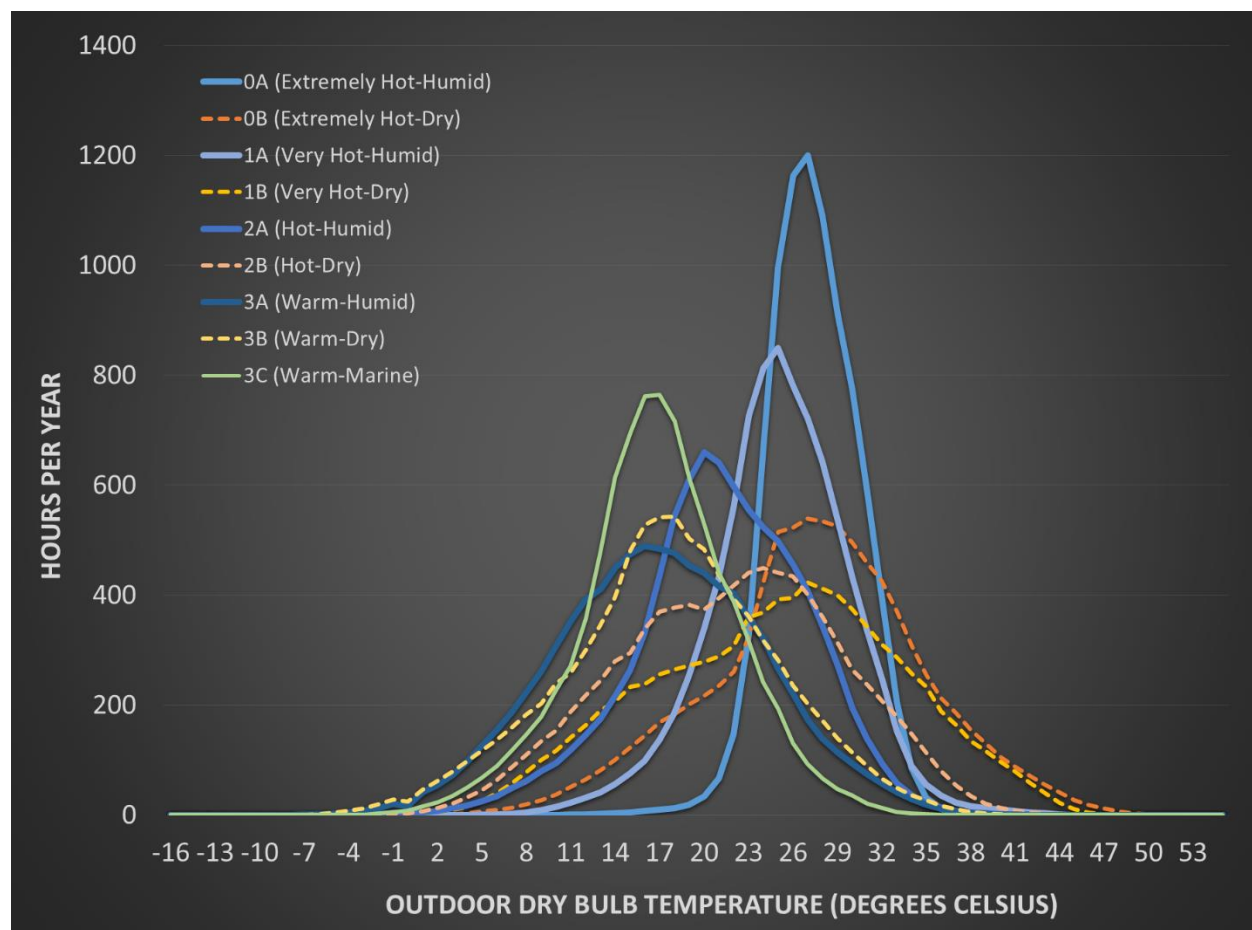


图 6：室外温暖气候地区（0A-3C）极度炎热温度分布

来源：Park and Shah（2019）是基于 ASHRAE 气候数据浏览器 6.0 的 142 个气象站的数据。为了说明，原本柱状图已经修改为曲线图。

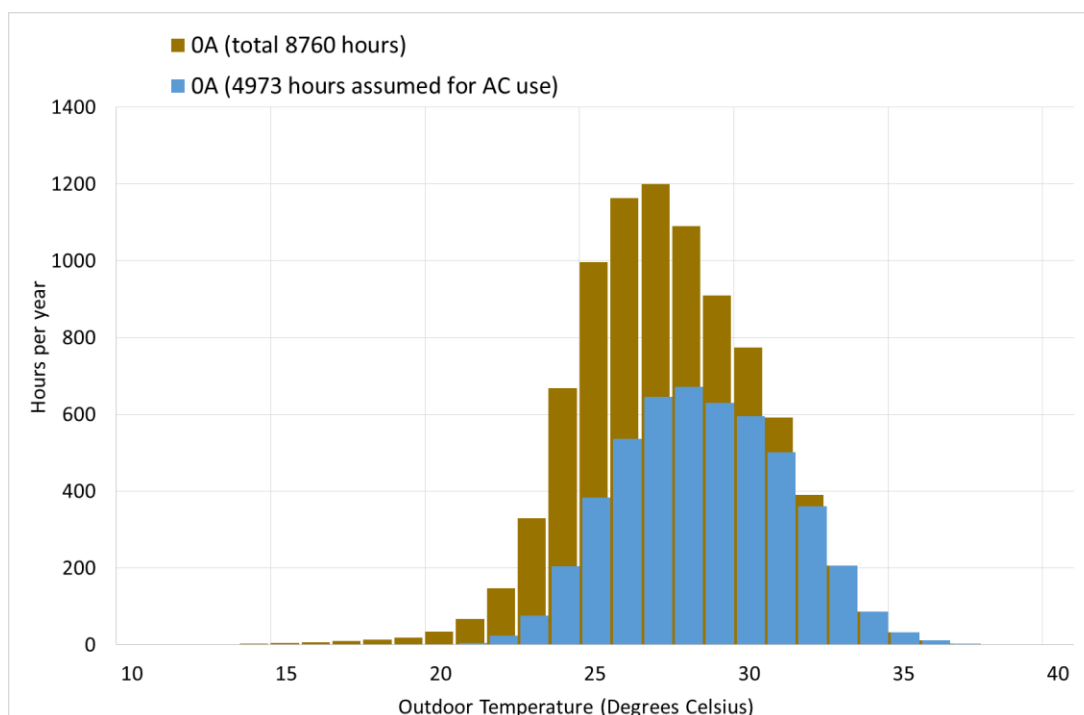


图 7：年度室外温度发生时间（棕色）和在 OA 气候区使用空调的温度发生时间（蓝色）
来源：Park and Shah (2019)

6. 评估空调能效的地区指标

许多国家在 1990 年代和 2000 年代初就开始实施房间空调的能效市场转换计划。当时，大多数国家/地区都采用基于 ISO 5151 的 EER 指标来评估空调性能，从而易于比较不同市场和地区的空调性能。但是随着变速空调数量激增，许多市场越来越重视对部分负荷和季节性能效的评估，区域气候的变化也使得在全球范围的空调能效比较变得困难起来。

自 2000 年代中期以来，随着变速空调的不断普及，针对特定地区的季节能效指标被提出或采用，以评估空调在影响空调部分或满载运行时间的区域气候条件下的性能。这些指标被越来越多地作为 EER 或性能系数（COP）的替代，以制定空调和热泵的 S&L 要求。季节能效指标的地区差异主要来源于室外环境温度曲线，该曲线用于将稳态和断续工况加权汇总计算季节能效，以及该指标中评估部分负荷运行时能效的方式。由于市售空调的季节能源效率是以特定地区和特点气候指标形式进行展现，而不同地区有不同的能效指标，气候和运行条件，季节能源效率必须根据不同的能耗特征将其转换为适应当地情况的指标。

在制定《能效标准指南》空调的 ISO CSPF 计算方法时，针对定速空调和变速空调分别参考了 ISO 16358-1: 2013 第 6.4 条和第 6.7 条。变速空调的 CSPF 计算基于两组测试数据：在室外干球温度为 35℃时，在满负荷和半负荷工况下的能效（制冷量和功率输入）通过测量获得；在 29℃通过 ISO 16358 确定的公式计算得到。

定速空调的 CSPF 计算基于一组测试数据——在 35° C 的室外干球温度下满负荷运行时的能效（制冷量和功率输入）的测量值，然后在 29° C 时的能效则通过预定方程进行计算。本分析还计算了中国标准（GB 21455-2013）定义的度量标准（仅单冷产品的 SEER 和热泵的 APF）以及标准中的温度发生时间。此外，分析和建立了季节能效指标（例如，中国 SEER 与 ISO CSPF）之间的回归关系。图 9 显示了基于气候区 2A 温度发生时间的中国 APF 和 ISO APF 之间的关系。Park 和 Shah（2019）以及 Park 等人提供了有关开发用于 AC 的室外温度发生时间的更多详细信息。（2019b）。

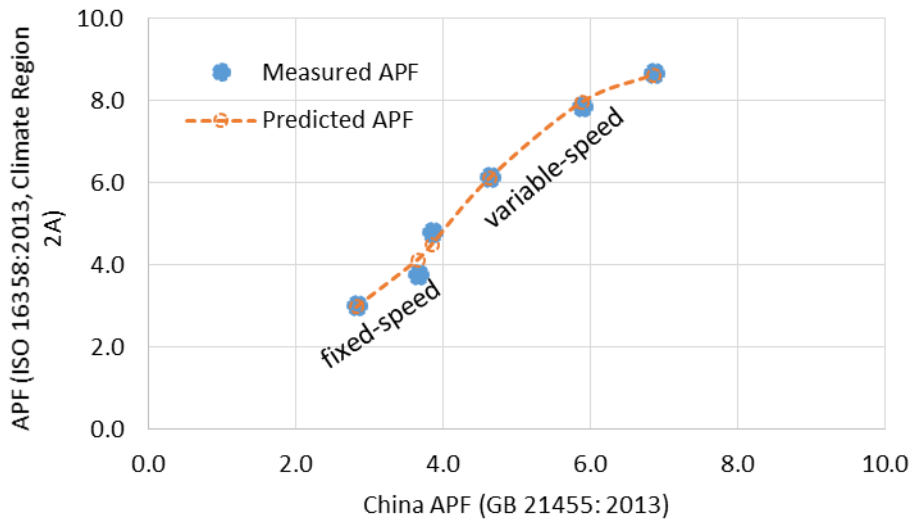


图 8：2A 温度发生时间下中国 APF（GB 21455-2013）和 ISO APF 之间的关系
来源：Park and Shah（2019）

表 8 总结了所分析的三个空调型号的基本规格。样本 1 代表了许多发展中国家当前的最低能效标准。样品 2 满足《能效标准指南》的低效率要求，但不满足低全球变暖潜值制冷剂的要求。样品 3 符合《能效标准指南》的高效能和制冷剂要求。

对于定速空调，EER 和 CSPF 值之间没有显著差异。由于预设方程用于估算 29° C 时的能效，定速空调的 CSPF 与 EER 呈线性关系，即 $CSPF = \alpha \times EER$ （例如，采用 ISO 参考温度发生时间， $\alpha = 1.062$ ）。按照 ISO 16358 方法计算的三个空调模型年度耗电量，高效率产品（样本 3）的能耗估计比基准定速空调（样本 1）低 60%。

表 6：三种空调型号规格汇总

样本	1	2	3
压缩机类型	定速	变速	
名义制冷量（kW）	3.5 – 3.6		
能效比（W/W）	3.20	3.94	5.02
ISO CSPF（Wh/Wh）	3.40	6.73	9.02

《能效标准》最低能效要求(第一组)	6.10		
《能效标准》高能效要求(第一组)	8.00		
基于 ISO 16358 参考温度发生时间的 年度耗电量(kWh)	777	374	307

总等效温室效应（TEWI）是基于设备运行过程中的温室气体排放总量和使用寿命终止时的制冷剂回收处理，来衡量设备对全球变暖影响的指标，还要考虑到直接排放和运行设备所消耗能量产生的间接排放（澳大利亚制冷，空调和暖气研究所[AIRAH]（2012）⁵⁵。图 10 显示了以 ISO 16358 为参考（1,817 小时）的三个空调样本的 TEWI 计算结果。计算结果显示了巨大的温室气体减排潜力，例如，样本 3（R-32 变速型号）和样本 1（R-410A 定速型号）之间的排放降低了 58%。在这些样本中，间接排放量占总排放量的 58%至 74%，根据假设而有所不同。

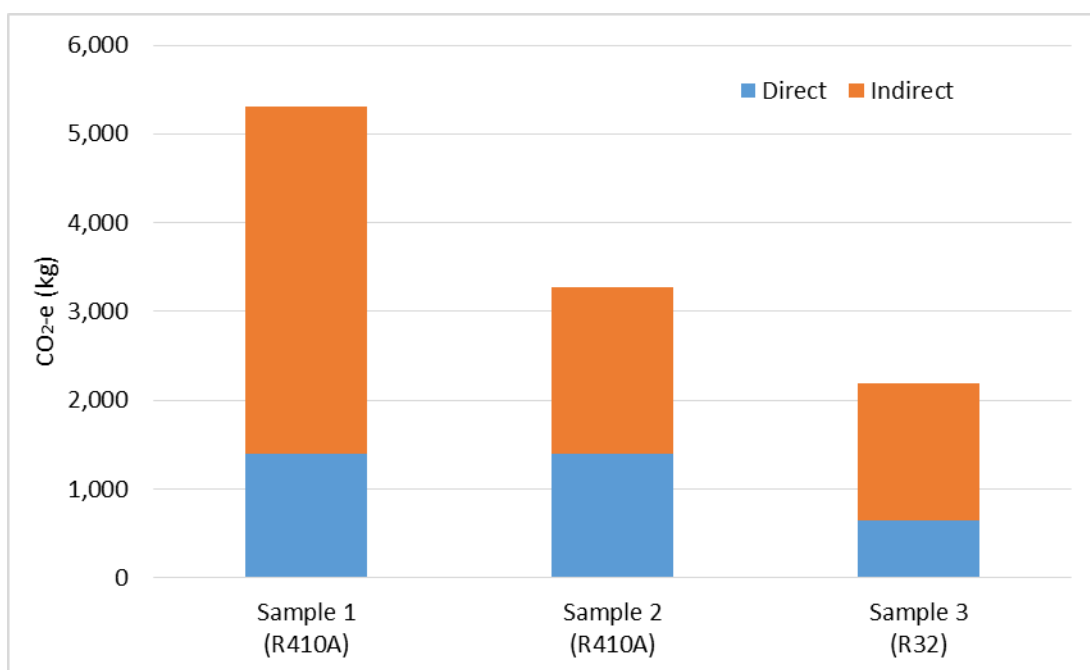


图 9：三种空调型号的 TEWI 计算结果

CO₂-e = CO₂ 当量

假设：L_{annual} = 4.0 per cent; n = 10 years; m = 0.95 kg (样本 1-2), 1.35 kg (样本 3);

$\alpha_{\text{recovery}} = 0.7$; $\beta = 0.505 \text{ kg CO}_2 / \text{kWh}$, 基于 AIRAH (2012) 和国际能源署 (2008)。

⁵ TEWI 的计算方法如下:

$$\text{TEWI} = \text{GWP (直接; 制冷寿命终止时的剂泄漏)} + \text{GWP (简介; 运行)} = (\text{GWP} \times m \times \text{L}_{\text{annual}} \times n) + \text{GWP} \times m \times (1 - \alpha_{\text{recovery}}) + (\text{E}_{\text{annual}} \times \beta \times n)$$

其中: GWP = 制冷剂相对于 CO₂ 的 GWP 值 (CO₂ = 1); L_{annual} = 年泄漏率 (单位: %); n = 系统运行周期 (单位: 年); m = 制冷剂充注量 (单位: kg); α_{recovery} = 回收系数, 取值 0~1; E_{annual} = 年能耗 (单位: kWh/年); β = 间接排放系数 (单位: kg CO₂/kWh)。

7. 对产品可行性和成本的考量

与更高效率产品相关的政策一般涉及更高成本。但是，研究表明，尽管能效大幅提高，制冷产品实际价格却在继续下降。这种情况有可能发生的原因是明确的政策要求和支持政策可以刺激扩大规模经济，从而促进成本降低（Phadke et al. 2017）。更高的能源效率通常是更昂贵产品的特征。但是，制造即高效又具有成本竞争力的空调也是可能的。发展中国家和新兴国家可以采取这些有助于推动全球转型的政策，发展规模经济。

图 11 按产品类型、制冷剂和制冷量列出了中国 425 种空调型号和印度 3 种型号的能效和价格趋势。与低能效产品相比，高能效产品的价格范围往往更广，其中部分原因是高能效产品是具有其他额外功能的高级产品。随着高能效的空调价格持续下降，以及消费者逐渐意识到能效提高带来的影响（例如，对公用事业账单的意识），消费者可以在众多使用成本较低（假设和低效空调使用时间相同）的产品中做出更明智的决定。

Park 等人（2019c）发现，大多数空调在提高能效的同时开展低全球变暖潜值制冷剂替代的障碍主要是非技术性的，可以通过适当的整体市场转型计划，比如采购计划、基于市场的财务机制和激励措施，完善 S&L，来解决问题。

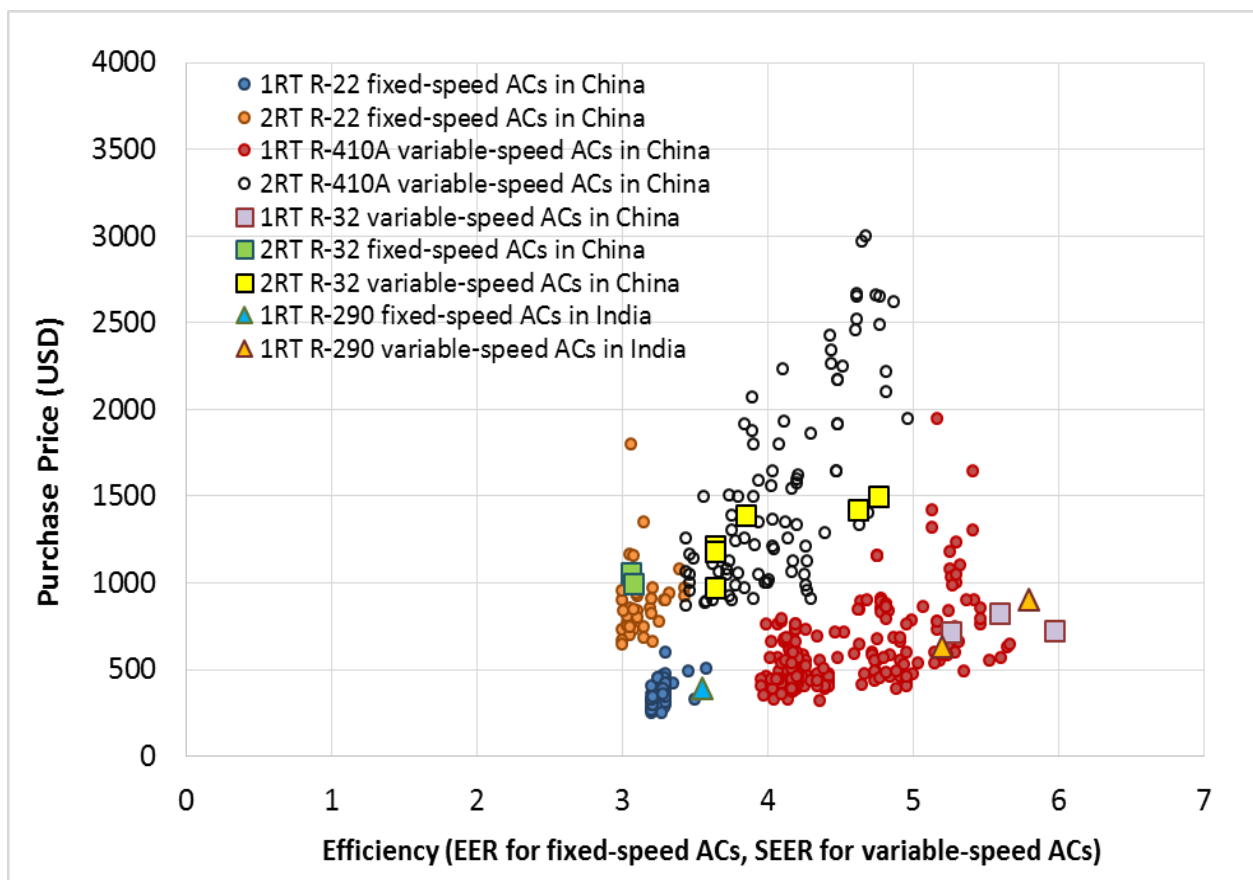


图 10：中国 1-RT 和印度 2-RT 空调的价格与能效对比

来源：Park, Shah, and Gerke (2017)

中国是全球最大的空调生产国和消费国。房间空调器的二氧化碳排放量占全球的四分之一。2022 年生效的新的中国 MEPS 有望帮助全球市场转向节能技术。研究发现，中国新提出的最低能效标准将有助于在 2019 年至 2050 年之间减少二氧化碳排放量约 13%；同时为中国的消费者节省 26,200 亿元人民币（约合 3,800 亿美元）的开销（Karali 等，2019 年）。该研究还发现，能效最高的方案（2025 年达到 MEPS APF 5.4）可提供最大的长期国家利益。

Phadke 等人（2019）基于高效方案（2025 年达到 MEPS APF 5.4）计算出了中国和其他发展中经济体在 2019 年至 2050 年之间的全生命周期空调电力消耗、排放节省量以及消费者账单节省量。通过制定这样的长期目标，中国可以帮助建立绿色制冷的全球标准，减少超过 400 亿吨 CO₂ 等温室气体排放。中国和全球的消费者将节省超过 5 万亿美元，从而带来经济增长，给消费者带来更多福利。多项研究表明，在特定国家或地区环境下提高能效会产生经济影响（Letschert 等 2019；Shah 等 2016；ECODESIGN 筹备研究 2009）。

8. 可燃制冷剂（A3）的充注量限制

各国（或是国家内部的地区）拥有各自的制冷剂标准制定的流程和时间表。目前，国际电工委员会（IEC）正在修订轻度易燃（A2L）和易燃（A3）制冷剂⁶标准，并且有望在未来几年内推出新标准。有兴趣的国家可以在设计或修订政策时参考最新的国际或地区制冷剂充注限值标准。目前，IEC 60335-2-40，ISO 5149，EN 378-1 等提供了涵盖可燃制冷剂使用、充注量限制和相关设备的若干标准（Park 等人 2019c）。

对不受房间大小限制安装的系统，易燃制冷剂（A3）的最大装料量限制为 150 g（Park 等人 2019c；LIFE FRONT 2018）。如果安全允许的充注限制增加到 1 千克，则小型分体式空调的最大制冷量可能会达到 7 千瓦，将会使房间空调器采用 R-290 制冷剂，并覆盖全球 80% 的市场（Zeiger, Gschrey 和 Schwarz 2014）。而对小型独立系统和分体式系统，ISO 5149 和 IEC 60335-2-40 分别将碳氢化合物（HCs）的最大充注量限制规定为 0.3 kg 和 1.0 / 1.5 kg，允许的充注量的空间限制分别为 $0.01 \times \text{房间体积 (m}^3\text{)}$ 和 $0.04 \times \text{高度 (m)} \times \text{房间面积 (m}^2\text{)}^{0.5}$ ，见（表 9）。表 10 显示了用于固定式空调的低 GWP 制冷剂替代品的情况。

表 7：空调和热泵中对碳氢化合物（HCs）制冷剂的充注量限制

	IEC 60335-2-40		ISO 5149-1	
	最大量	允许量	最大量	允许量
小型独立式	0.3 kg	$0.01 \times V_{rm}$	0.3 kg	$0.01 \times V_{rm}$
无风管分体式	1 kg	$0.04 \times h \times A_{rm}^{0.5}$	1.5 kg	$0.04 \times h \times A_{rm}^{0.5}$

来源：LIFE FRONT (2018)

V_{rm} = 房间体积 (in m^3), A_{rm} = 房间面积 (in m^2), and h = 空调安装高度 (in m)

⁶类别基于 ASHRAE 34 安全分类，其中 A1 为低毒/无火焰传播，A2/A2L 为低毒/低可燃性，A3 为低毒/高可燃性

表 8：固定式空调的低全球变暖潜值制冷剂替代情况

类型	化学式	安全级别 ^a	GWP ^b	可燃级别 ^c	备注
HCFCs	HCFC-22	A1	1,760	1	
HFCs	HFC-410A	A1	1,900	1	
	HFC-134a	A1	1,300	1	
低全球变暖潜值制冷剂替代					
HFCs	HFC-32	A2L	677	2L	用于小型独立空调 小型分体式空调在部分亚洲，印度，欧洲地区。
HFOs	HFO-1234yf	A2L	< 1	2L	遵循安全标准和准则，用于风管式和屋顶式空调。
	HFO-1234ze	A2L	< 1	2L	
HFO/HFC 混合物	HFO-1336mzz (Z)	A1	2	1	美国 EPA 重要的新替代政策 (SNAP) 在 2016 年通过其在工业用空调（新设备）中使用。
	R-446A	A2L	460	2L	新开发混合物在小型空调中使用。遵循安全标准和准则也用于多联机系统，变制冷剂流量系统以及风管式空调。
	R-447A	A2L	570	2L	
	R-452B	A2L	680	2L	
	R-454B	A2L	470	2L	
	R-450A	A1	550	1	可能用于风管式、模块式屋顶空调。
	R-513A	A1	570	1	
	R-513B	A1	540	1	
HCs	HC-290	A3	3	3	考虑到可燃性问题，在欧洲和部分亚洲地区少量用于小型分体式空调。
	HC-1270	A3	2	3	
Ammonia	R-717	B2L	0	1	成本过高，仅用于小冷量冷水机组。
Water (H ₂ O)	R-718	A1	N/A	1	仅用于有冷水机组的特殊应用。
CO ₂	R-744	A1	1	1	高环境温度中能效下降，部分用于固定式空调系统。市场可能不会支持零部件开发的成本开发。

HFO =氢氟烯烃

^a ASHRAE 34 安全分类中表明 A1 是低毒性/无火焰蔓延，A2/A2L 是低毒性/低易燃性，A3 是低毒性/易可燃性，B1 是高毒性/无火焰蔓延，B2/A2L 是高毒性/弱可燃性，并且 B3 具有较高的毒性/易可燃性。

^b 根据政府间气候变化专门委员会（IPCC）的第五次评估报告（AR5），相对于二氧化碳的 100 年时间跨度

^c 根据 ASHRAE 34 分类的制冷剂可燃性，其中 1 为无火焰蔓延，2L 为弱可燃性，2 为可燃性，3 为易可燃性

来源：Park, Shah, and Gerke (2017)

参考文献

- Australian Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Heating (2012). *Methods of Calculating Total Equivalent Warming Impact (TEWI) 2012*.
[https://www.airah.org.au/ContentFiles/BestPracticeGuides/Best Practice Tewi_June2012.pdf](https://www.airah.org.au/ContentFiles/BestPracticeGuides/BestPracticeTewi_June2012.pdf).
- ChinaIOL (2018). *Progress Report on 2018 China Room AC Energy Efficiency Survey by ChinaIOL*.
- China National Institute of Standardization (2019). *Letter of Solicitation of Comments on the National Standards for Energy Efficiency Limits and Energy Efficiency Ratings for Room Air Conditioner*.
- Daikin (2019). R-32: The Most Balanced Refrigerant for Stationary Air Conditioners and Heat Pumps.
<https://www.daikin.com/csr/information/influence/hfc32.html>. Accessed 9 August 2019.
- ECODESIGN Preparatory Study (2009). *Preparatory Study on the Environmental Performance of Residential Room Conditioning Appliances (Airco and Ventilation): Improvement Potential*. [https://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Produktgruppen/Aircon/Final report of Task 7.pdf](https://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Produktgruppen/Aircon/Final_report_of_Task_7.pdf).
- GIZ (2018). *International Safety Standards in Air Conditioning, Refrigeration & Heat Pump*. Eschborn. [https://www.international-climate-initiative.com/fileadmin/Dokumente/2018/180712 Safety Standards.pdf](https://www.international-climate-initiative.com/fileadmin/Dokumente/2018/180712_Safety_Standards.pdf).
- Hydrocarbons21 (2018). 8 Major Chinese RAC Makers Commit to Selling 220k R290 Units in 2019. 4 December.
[http://hydrocarbons21.com/articles/8713/8 major chinese rac makers commit to sell 220k r290 units in 2019](http://hydrocarbons21.com/articles/8713/8-major-chinese-rac-makers-commit-to-sell-220k-r290-units-in-2019). Accessed 9 August 2019.
- International Energy Agency (2019). *The Future of Cooling in China - Delivering on Action Plans for Sustainable Air Conditioning*.
<https://www.iea.org/publications/reports/TheFutureofCoolinginChina/>.
- International Energy Agency (2008). *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*.
https://www.oecd-ilibrary.org/energy/co2-emissions-from-fuel-combustion-2008_co2_fuel-2008-en-fr.
- Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (2018a). *World Air Conditioner Demand by Region*.
[https://www.jraia.or.jp/english/World AC Demand.pdf](https://www.jraia.or.jp/english/World_AC_Demand.pdf).

- Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (2018b). *World Air Conditioner Demand by Region and Technology*.
<https://www.jraia.or.jp/english/World AC Demand inverter.pdf>.
- Karali, N., Shah, N., Park, W., Khanna, N., Ding, C., Lin, J., and Zhou, N. (2019). *Improving the Energy Efficiency of Room Air Conditioners in China: Costs and Benefits*. Draft analysis. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Kigali Cooling Efficiency Program (2019). Comment from an Industrial Participant at the International Conference - Perspectives for Energy Efficiency Improvement in the Brazilian Air Conditioners' Market.
- Letschert, V., Karali, N., Park, W., Shah, N., Jannuzzi, G., Costa, F., Lamberts, R., and Borges, K. (2019). *The Manufacturer Economics and National Benefits of Cooling Efficiency for Air Conditioners in Brazil*. ECEEE 2019 Summer Study. Belambra Presqu'île de Giens, France, 3 - 8 June 2019. European Council for an Energy Efficient Economy.
<https://ies.lbl.gov/publications/manufacturer-economics-and-national>.
- LIFE FRONT (2018). *Impact of Standards on Hydrocarbon Refrigerants in Europe: LIFE FRONT (Flammable Refrigerants Options for Natural Technologies)*.
<http://lifefront.eu/wp-content/uploads/2018/10/impact-of-standards-on-hydrocarbon-refrigerants-in-europe-life-front-report.pdf>.
- Park, W., Shah, N., and Gerke, B. (2017). *Assessment of Commercially Available Energy-Efficient Room Air Conditioners Including Models with Low Global Warming Potential (GWP) Refrigerants*.
https://eta.lbl.gov/sites/default/files/publications/assessment_of_racs_lbnl-2001047.pdf.
- Park, W. (2019). *Regional Policy Alignment: Model Energy & Refrigerant Regulations for Air Conditioners*. Presented at the International Conference - Perspectives for Energy Efficiency Improvement in the Brazilian Air Conditioners' Market. Auditório Eletrobrás, Rua Conselheiro Saraiva, n.41, Centro, Rio de Janeiro. March 25, 2019.
- Park, W., and Shah, N. (2019). *Adopting a Seasonal Efficiency Metric for Room Air Conditioners - Part 1: Cooling Efficiency*. Draft analysis. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Park, W., Shah, N., Letschert, V., and Lamberts, R. (2019a). *Adopting a Seasonal Efficiency Metric for Room Air Conditioners: A Case Study in Brazil*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Park, W., Phadke, A., Shah, N., Choi, J., Kang, H., and Kim, D. (2019b). *Lost in Translation: Overcoming Divergent Seasonal Performance Metrics to*

- Strengthen Policy for Air Conditioner Energy Efficiency*. Draft analysis. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Park, W., Shah, N., Ding, B.C., and Qu, Y. (2019c). *Challenges and Recommended Policies for Simultaneous Global Implementation of Low-GWP Refrigerants and High Efficiency in Room Air Conditioners*.
<https://escholarship.org/uc/item/07j5f74s>.
- Phadke, A., Shah, N., Lin, J., Park, W., Zhange, Y., Zaelke, D., Ding, C., and Karali, N. (2019). Chinese Policy Leadership Would Cool Global Air Conditioning Impacts. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Phadke, A., Park, W., Abhyankar, N., and Shah N. (2017). Relationship between Appliance Prices and Energy-Efficiency Standards and Labeling Policies: Empirical Evidence from Residential Air Conditioners. *9th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL)*. Irvine, USA, 13–15 September 2017. California Plug Load Research Center. <http://eedal2017.uci.edu/wp-content/uploads/Thursday-14-Abhyankar-1.pdf>.
- Shah, N., Abhyankar, N., Park, W., Phadke, A., Diddi, S., Ahuja, D., Mukherjee, P.K., and Walia, A. (2016). *Cost-Benefit of Improving the Efficiency of Room Air Conditioners (Inverter and Fixed Speed) in India*.
<https://ies.lbl.gov/publications/cost-benefit-improving-efficiency>.
- Technical Committee Meeting (2019). *Minutes of Meeting. 11th Technical Committee Meeting for Room Air Conditioners*.
<http://www.beestarlabel.com/Home/ViewMinutesMeeting?EqpID=1>.
- United Nations Development Programme (2019). *Market Assessment of Residential and Small Commercial Air Conditioners in South Africa*. Final draft.
- Zeiger, B., Gschrey, B., and Schwarz, W. (2014). *Alternatives to HCFCs/HFCs in Unitary Air Conditioning Equipment at High Ambient Temperatures*. Frankfurt.
https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/f-gas/legislation/docs/alternatives_high_gwp_annex_en.pdf.

联合国
环境规划署

