



联合国



环境规划署

Distr.
GENERALUNEP/OzL.Pro/ExCom/83/42
29 April 2019CHINESE
ORIGINAL: ENGLISH

执行蒙特利尔议定书
多边基金执行委员会
第八十三次会议
2019年5月27日至31日，蒙特利尔

技术和经济评估小组有关与第 82/83(e)号决定指出的各项问题 相关的能源效率事项的报告摘要（第 82/83(f)号决定）

背景

1. 在第八十二次会议上，执行委员会审议了秘书处编制的一份文件，其中介绍了在缔约方不限成员名额工作组第四十次会议和蒙特利尔议定书缔约方第三十次会议上技术和经济评估小组与能源效率相关问题提出的报告进行审议的摘要。¹
2. 经讨论后，执行委员会除其他事项外决定：
 - (e) 在其第八十三次会议讨论第 XXVIII/2 号决定第 22 段和第 XXX/5 号决定第 5 段和第 6 段的执行方法，包括：
 - (一) 与维持和/或提高制冷、空调和热力泵行业（RACHP）低全球升温潜能值或零全球升温潜能值替代技术的能源效率相关的举措，例如：
 - a. 量化能源效率变化的方法；和
 - b. 与维持和/或加强能源效率相关的技术手段；
 - (二) 与成本相关的问题，例如相关的增支成本、投资回收机会和监测和核查费用；
 - (三) 可能取得的环境效益，特别是与气候相关的效益；和

¹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/65 和 Add.1。

- (f) 请秘书处根据技术和经济评估小组就上文(e)段指出的各项问题相关的能源效率事项的报告编制一份摘要（第 82/83 号决定），供执行委员会第八十三次会议审议。

对第 82/83 号决定第 (e) 段和第 (f) 段的分析

3. 第 82/83 号决定第 (e) 和 (f) 段包含缔约方会议的两项决定的具体段落：

- (a) 第 XXVIII/2 号决定第 22 段：请执行委员会在逐渐减少使用氢氟碳化合物时，制定与维持和/或加强低全球升温潜能值或零全球升温潜能值的替代技术和设备相关的成本指导，同时酌情注意到其他机构在解决能源效率方面的作用；
- (b) 第 XXX/5 号决定第 5 段：请执行委员会根据其目前正在进行的审查维修项目的工作，查明在维修行业维持能源效率的最佳做法、经验教训和其他机会以及相关费用；和
- (c) 第 XXX/5 号决定第 6 段：请执行委员会考虑到示范项目和独立项目提供的信息，以便制定在逐步减少使用氢氟碳化合物时与保持或加强替代技术和设备的能源效率有关的成本指导。

4. 结合上述决定的案文，第 82/83 号决定第 (e) 段和第 (f) 段的实质涵盖内容如下：

请秘书处为第八十三次会议编制一份技术和经济评估小组第 XXIX/10 号决定工作组关于与逐步减少使用氢氟碳化合物有关的能源效率问题的报告摘要，使执行委员会能讨论：

- (a) 从氢氟碳化合物转换为低全球升温潜能值技术或零全球升温潜能值技术时，制定与维持和/或提高制冷、空调和热力泵设备的能源效率相关的成本指导，其中应：
 - (一) 包括各项举措，例如量化能源效率变化的方法和与维持和/或加强能源效率相关的技术手段；
 - (二) 包括相关的增支成本、投资回收机会和监测和核查费用；
 - (三) 包括可能取得的环境效益，特别是与气候相关的效益；
 - (四) 考虑到第 5 条国家采用低全球升温潜能值技术的示范项目以及执行委员会核准的氢氟碳化合物独立投资项目提供的信息；和
 - (五) 酌情考虑处理能源效率问题的其他机构的作用；和

(b) 在制冷维修行业逐步减少使用氢氟碳化合物时，利用目前正在进行的制冷维修行业计划的最佳做法、经验教训以及维持能源效率的其他机会，维持或加强能源效率。

5. 鉴于上述情况，秘书处根据第 82/83 号决定第 (e) 段和第 (f) 段的规定编写了本文件。

文件范围

6. 本文件由以下几个部分组成：

第一部分	摘要部分，涵盖技术和经济评估小组工作队根据第 82/83 号决定第(e)段和第(f)段提交的报告的各个主要部分
第二部分	在逐步减少使用氢氟碳化合物的情况下引进能源效率和采用低全球升温潜能值技术和零全球升温潜能值技术
第三部分	与维持和/或加强能源效率相关的技术手段
第四部分	与成本相关的问题，包括相关的增支成本、投资回收机会和监测和核查费用
第五部分	以 CO ₂ -当量表示的环境效益
第六部分	介绍低全球升温潜能值技术的示范项目和氢氟碳化合物独立投资项目
附件一	技术和经济评估小组工作组报告中使用的附加一些解释的术语表（这份附件用于方便参照文件使用的术语）

7. 依照第 82/83 号决定第 (f) 段的要求，本文件所载信息摘自技术和经济评估小组第 XXIX/10 号决定工作组关于在逐步减少使用氢氟碳化合物时与能源效率相关问题的报告（“技术和经济评估小组工作组报告”），但对内容作出了一些编辑上的修改。²进行了一些编辑上的修改，并根据审查这份文件的一位独立技术专家的意见作出了说明和提供了补充信息。本文件没有依照技术和经济评估小组工作组报告的顺序提供信息。它也没有列入其他来源的信息，因为该决定没有提出这项要求。

8. 谨请执行委员会注意到以下两份充分讨论了第 XXX/5 号决定第 5 段的要求的文件，因此本文件未处理与制冷维修行业有关的事项：

- (a) 关于与支持逐步减少使用氢氟碳化合物的制冷维修行业有关的所有方面问题的初步文件（第 80/76 号决定第 (c) 段）（UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/64）；
和

² 技术和经济评估小组工作组的报告包括附件 A，其中载列与采用技术的特定行业相关的挑战的信息。大多数与附件 A 相关的信息均载于本报告第三部分。

- (b) 关于执行缔约方会议第 XXVIII/2 号决定第 16 段和第 XXX/5 号决定第 2 段的方法的文件（第 82/83 号决定第（c）段）（UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/40）。

9. 谨请执行委员会注意到文件“在逐步减少使用氢氟碳化合物时为提高能源效率可加以利用的相关资金和调动资源的金融机构的信息的文件”（第 82/83 号决定第（d）段）（UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/41），其中讨论了有关解决能源效率问题的其他机构的作用，因此，未列入本文件中。

一. 技术和经济评估小组工作组报告涵盖的各个主要部分的摘要

10. 蒙特利尔议定书的执行工作历来着重于淘汰消耗臭氧层物质并同时提高设备和产品的能源效率。³在过渡到使用替代制冷剂期间，这个行业已经努力改善消费者能够负担得起的设备和部件的设计改进，并且这一努力在一段时间内已导致生产以较低通货膨胀调整价格的节能产品。由于需要制冷剂的技术改变，空调系统正在受到越来越多的关注，并且正在努力优化系统和部件，以便利用新的制冷剂来实现节能冷却。能源定价和计费方案以及能源标签等因素在节能技术采用中发挥着重要作用。

11. 提高能源效率的最大潜力来自改善整个系统的设计和组件，这可以提高效率（与基线设计相比）到 10% 至 70% 之间（以同类最佳组件而言）。制冷、空调和热力泵（RACHP）设备的综合设计和选取方法包括尽量降低冷却/加热负载、选择合适的制冷剂、使用高效组件和系统设计、在所有常见操作条件下优化控制和操作以及支持维修和维护功能的设计要素，这些因素有助于节约能源；这将导致在设备使用寿命期间减少温室气体（GHG）排放、降低最终用户的能源成本以及减少峰值电力需求，从而减少对发电和配电设施的投资。

12. 制冷剂的选取是对环境效益、安全性、热力循环效率、系统设计和可靠性以及成本之间的综合评定。制冷剂的选择对组件的能源效率产生的影响通常相对较小 – 一般为 +/- 5% 至 10% 之间。

13. 关于维持/提高能源效率的技术干预措施，高环境温度（HAT）环境对制冷剂的选取、系统设计和提高能源效率的潜在机会提出了额外挑战。在高环境温度情况下，由于热力学性质对制冷剂的选取、由于增加充填对安全的需求以及可用的部件和成本都对维持能源效率的系统设计产生影响。到目前为止，对在高环境温度条件下的研究表明，一些低全球升温潜能值替代品可为现有技术提供可进行比较的能源效率结果。进一步的研究以及私营部门的努力继续侧重于设计方面的优化，以便实现这些替代制冷剂所欲达到的效率。这份报告给出了在技术、财务、市场、信息、机构/监管、服务能力等方面的挑战以及可采取的缓解措施。

14. 各国制定了各种方法，利用已经设定的市场转型方案促进能源效率，包括最低能效标准（MEPS）方案和标签方案。在任何给定时间效率提高方案成本的“快照”倾向于对提

³ 蒙特利尔议定书的执行工作已逐步提高了能源效率；这在议定书获得通过以前就已实现。此外，蒙特利尔议定书的执行工作在许多情况下已加快能源效率的提高，因为制冷剂的改变也时常由于改善产品的设计而提升技术级别。

高效率成本提供保守的（即较高）估计。在实际操作中，随着高效设备开始大规模生产，各种市场的高效设备价格随着时间的推移而有所下降。这尤其适用于小批量生产的设备，其中制造商快速吸收初始开发的成本并试图获得帮助他们销售其设备的某些“价格点”。

15. 由于将各种非能源相关功能与高效设备捆绑在一起、制造商的技能和专门知识的不同、制造商定价方面的差异、营销和品牌战略的不同以及效率可以作为“优质”功能进行营销的想法，这些因素使产品零售价格不能成为维持或提高新设备能源效率成本的适当指标。有关成本分析和投资回收期的信息表明，各种因素都影响着会有较高初始成本的设备的回报，并且这还存在着能源效率的上限，超过该上限，则在设备使用寿命期间的节能得到的回报就不具吸引力。可能需要严格的成本分析来充分了解提高能源效率产生的影响。在设置最低能效标准时，应进行这些类型的分析，因为若干能源效率水平需要与基线相比进行评估。这些研究可能需要一年以上的时间才能对单一产品类别作出评估。

16. 关于将独立商用制冷设备、冷凝机组、集中式和分离式系统以及空调和热泵设备过渡到低全球升温潜能值选项的资本和运营成本信息以及实现更高的能效技术方案和相关成本估算表明，一系列因素都影响着向替代性低全球升温潜能值制冷剂过渡和提高能源效率的总体成本。操作实践在设备的能效表现中发挥重要作用。

17. 在直接经济效益之外，除了降低消费者的能源成本、避免二氧化碳排放和避免高峰负荷，例如避免能源贫困导致的死亡率和发病率、舒适效益、避免 SO_x、NO_x 和微粒物质排放和避免 CO₂ 排放，还有各种提高能源效率的共同效益。对于不同的操作环境和天气条件，CO₂ 排放的影响可能不同。

18. 该报告没有提供关于监测和报告提高能源效率相关费用的详细信息，本文件也没有提供这方面的任何信息。

19. 最后，文件提供了关于到目前为止可获得的在淘汰氟氯烃的同时采用低全球升温潜能值技术的示范项目的信息。此外，由于根据第 78/3 号决定第 (g) 段核准的淘汰氢氟碳化物的独立投资项目的结果尚未公布，因此提供了有关这些项目的清单。

二. 在逐步减少使用氢氟碳化合物的情况下引进能源效率和采用低全球升温潜能值技术和零全球升温潜能值技术

20. 蒙特利尔议定书的执行工作历来都着重于淘汰消耗臭氧层物质并同时提高设备和产品的能源效率。⁴多边基金提供了财政和技术援助，以支持第 5 条缔约方实现其淘汰消耗臭氧层物质的目标。

21. 在淘汰家用制冷行业的氟氯化碳时，CFC-12 被碳氢化合物 R-600a 或 HFC-134a 所取代。最初使用碳氢化合物的混合物，但这导致能量成本的增加。R-600a 有较好的能源效率，因此成为除 HFC-134a 之外的优选选择。HFC-134a 具有类似的能源效率，但其全球升温潜能值较高，因此限用于对可燃性和相关赔偿责任的担忧是重要市场障碍的地区。

⁴ 这种情况在文件第 10 段的脚注中作了解释。

22. 在从 CFC-12 过渡时，业界主要通过改善压缩机和系统的设计，为提高能源效率做出了巨大努力。2015 年全球最佳实践冰箱的温室气体排放量比在非第 5 条国家销售的 80 年代典型冰箱的温室气体排放量低 9 倍。国内冰箱市场具有极高的成本竞争性，并通过大规模生产从规模经济中获益。2015 年高效冰箱的成本实际低于 20 世纪 80 年代的冰箱（图 1⁵）。

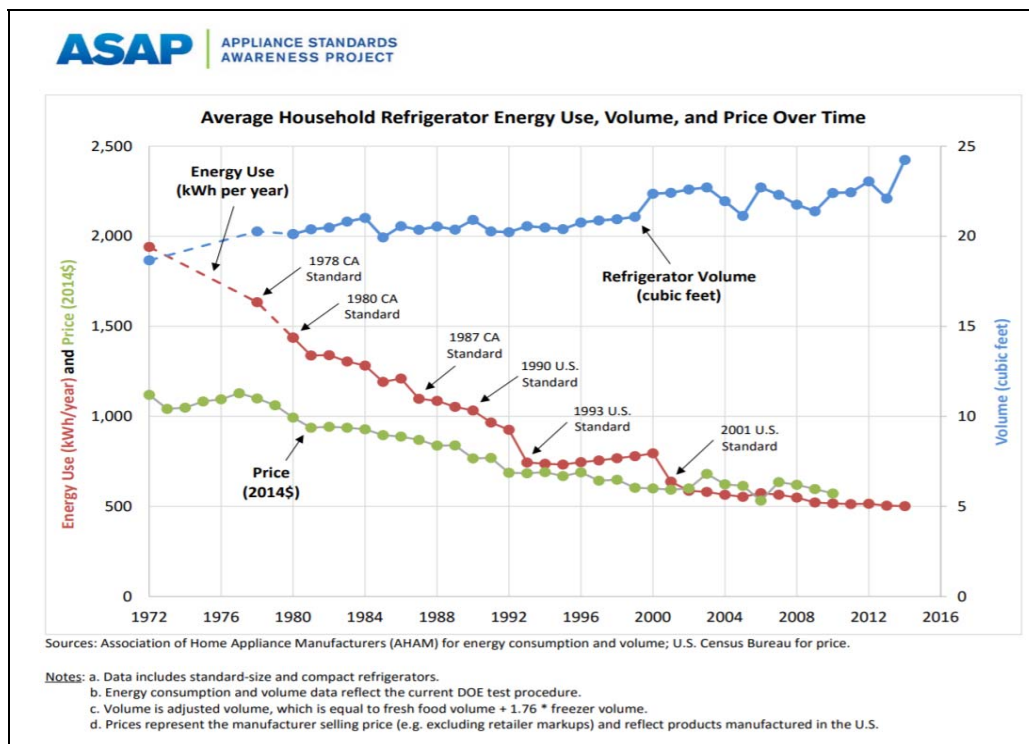


图 1. 美利坚合众国家家用冰箱的平均能源用量、容积和价格

23. 第 5 条缔约方仍在淘汰 HCFC-22。⁶HCFC-32 已在许多国家推出。尽管 R-290 已在一些国家获得采用，并在能源效率方面具有优势，但在室内空调机方面使用 R-290 的一个主要障碍是其使用受限的可燃性评级。

24. 自 20 世纪 70 年代以来，如图 2 所示，美国单体空调设备的演变表明效率稳步提高，同时实现成本效益。美国制造商降低了住户中央管道式空调系统使用的单体空调设备经通货膨胀调整后的价格（仅限设备成本）。⁷价格下降的趋势与消耗臭氧层物质的淘汰同时发生，并且定期提高效率标准。造成这种趋势的原因很复杂，包括技术创新和制造效率以及制造业全球化和商品价格趋势相关的宏观经济因素。随着效率标准的采用或标准的提高，调整后的设备价格没有上升。2010 年 HCFC-22 禁令没有对价格产生不利影响。

⁵ https://appliance-standards.org/sites/default/files/refrigerator_graph_Nov_2016.pdf.

⁶ HCFC-22 的淘汰大都在制造业和维修业的空调应用。

⁷ 绿色点线代表生产价格指数（PPI），而蓝线代表经通货膨胀调整后的生产价格指数。对通货膨胀调整数的计算方法是将生产价格指数系列除以同年的国内生产总值链接的价格指数，并将其按照 2015 年的指数标准化。

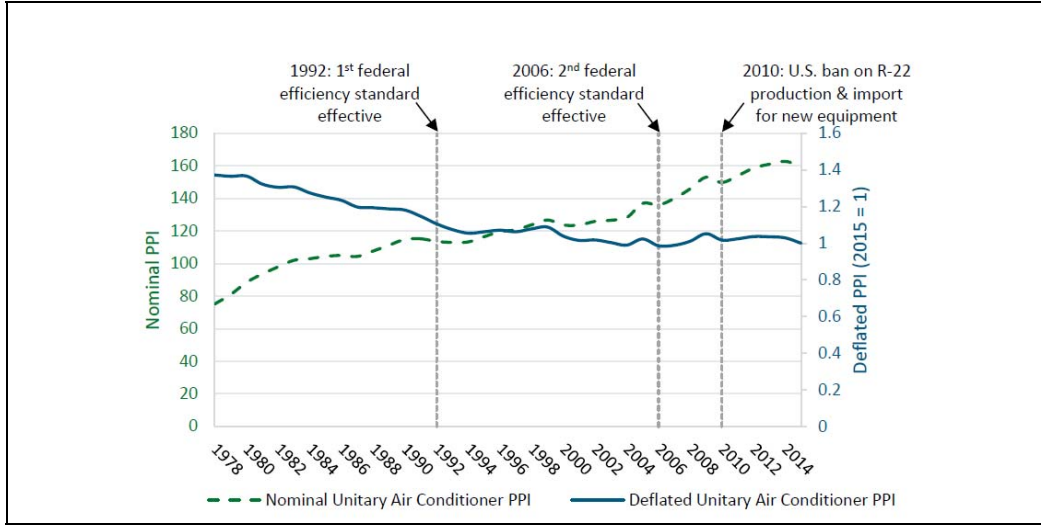


图 2. 1978 年至 2015 年家用中央空调设备成本 [Goetzler 等人, 2016 年]

25. 目前有各式各样的室内空调机正在销售，其能源效率从极低到极高，各有不同。能源效率的高低与容量或与购买价格的关系不大[Shah 等人, 2017 年, Kuijpers 等人, 2018 年]。室内空调器性能的优化需要对压缩机、制冷剂充注量和热交换器大小给予注意。与 HCFC-22 系统相比，对 R-290、HFC-32 和 HFC-161 进行的研究表明，无论使用何种制冷剂，优化的室内空调机的能源效率比（EER）都在 10% 以内，而在没有完整的系统优化的情况下，能源效率比的变化超过 10%。

26. 在某些国家，由于几乎长时间全年供冷，空调消耗的电力高达生产的电力的 70%。公众意识到空调对他们的财务造成的负担，因此可能更愿意采用监管和其他措施，通过使用功耗更低而更高效的系统来减轻负担。这不是补贴公用事业的情况，因此消费者的能源成本很低，这消除了提高能源效率系统包括安装这种系统的任何激励措施。

27. 另一个挑战是对家用、商用和工业用户用电的计费方案。有些国家对全天所有时段都使用一种结算费率，但会根据消费范围提高费率。虽然这种计费机制对家用客户相当合理，但对使用为地区供冷的高效工厂的商用/工业大客户十分不公，如果这种工厂没有被列入考虑的话。

28. 组件的能源标签和能源方案是朝着正确方向迈出的一步。大多数国家都有家用空调机和制冷设备的能源标签机制。设定能源标签和满足能源标准的挑战之一是测试和验证过程，以确保所述能效水平是真实的并且已获得验证。

三. 与维持和/或加强能源效率相关的技术手段

29. 为了供冷或供热，制冷、空调和热力泵设备和系统消耗能量，这在大多数情况下，都是电能。组件消耗的能量与需要提供的供冷/供热的负载量（供冷或供热服务量）以及

为提供这种服务所需的能量有关。更多能源效率高的组件或系统将以较低的能耗提供相同数量的服务。⁸

30. 在设计和制造新设备时，最好能解决提高设备能源效率的问题。设计人员可以采用提供多种效益的适当节能功能，包括：

- (a) 在整个设备使用寿命期间减少与能源有关的温室气体排放；
- (b) 降低能源成本，为最终用户提供良好的经济效益；和
- (c) 减少峰值电力需求，通过减少发电和配电能力的需求提供潜在的经济效益，这意味着减少对发电机的投资、燃料的使用和运营成本的降低。

31. 通过对制冷、空调和热力泵设备的设计和选取采用严格的综合方法，这可以最大限度地提高能源效率的机会。这种方法包括：

- (a) 务必尽量降低供冷/供热的负荷；⁹
- (b) 选用适当的制冷剂；
- (c) 使用高效部件和系统设计；
- (d) 务必在所有共同运行条件下优化控制和操作；和
- (e) 设计便于进行维修和保养的功能。

32. 以下各段对这五项要求逐一进行讨论。

务必尽量降低供冷/供热的负荷

33. 消除或减少负荷可以显著降低能耗，同时仍能提供所需水平的供热或供冷能力。一些降低负荷的行动实例包括：

- (a) 降低夏季热吸收量的建筑设计（例如，遮阳板、屋顶反光材料、窗户位置、隔热板）；
- (b) 将柜门放在冷冻零售柜的上方；
- (c) 在冷藏前对热的产品进行预冷（例如，在食品厂使用冷却塔的水对熟制品进行预冷）；
- (d) 减少蒸发器风扇、冷水泵或照明灯具等电气辅助设备产生的热量；和

⁸ 国际能源署对能源效率的定义为“管理和制约能耗增长的方式”。如果能以相同的能量提供更多服务或能以更少的能量提供相同服务，就具有更高能效。

⁹ 这能与更节能的设备的设计和选取直接相关，但由于其在降低整体能耗方面的重要性，因此它应在综合方法中加以考虑。

- (e) 通过改善隔热设备和防止热空气通过敞开的柜门进入的办法减少冷冻储藏间的热负荷。¹⁰

34. 减少负荷可能需要额外的投资，例如增加隔热板、调整建筑物遮阳方向或在展示柜外壳加门。然而，由于例如较小尺寸的制冷系统和减少电力互连的等级，降低供冷负荷可以导致节省一些资本成本。¹¹

选用适当制冷剂

35. 制冷剂的选取是对环境效益、安全性、热力循环效率、系统设计和可靠性以及成本之间的综合评定。制冷剂的选择对组件的能源效率产生的影响通常相对较小 – 范围在+/-5%至 10%之间。设计人员应从效率角度选用最佳制冷剂，但也应考虑到其他各种设计问题。同样重要的是要注意到，为高全球升温潜能值制冷剂提供提高能源效率机会的技术也可能适用于低全球升温潜能值制冷剂。¹²

36. 简化的热力学分析表明不同的制冷剂对组件的能源效率产生的相对影响，这可以帮助设计人员制定一份选项的“短名单”。对于给定的应用，以能源绩效而言，有限数量的制冷剂可能在基准制冷剂的±5%范围内。热力学分析提供了一个有用的起点，但必须考虑“真实世界”的绩效，这是制冷剂与各种系统组件特别是压缩机和热交换器交互作用的方式。这可通过比较用于小型室内空调机的 HCFC-22 和 R-410A 来加以说明。热力学分析显示出 HCFC-22 的效率优势，但目前市场上最有效的设备使用 R-410A。这反映出《蒙特利尔议定书》开始淘汰氟氯烃后，设备制造商就停止进行研究和开发来改善 HCFC-22 设备。现代 R-410A 设备具有许多 HCFC-22 没有的效率创新，这使 R-410A 达到更高的效率。对 HFC-32 进行的热力学分析表明，与小型建筑使用的空调相比，它具有比 R-410A 高约 5% 的优势。

37. 与 HCFC-22 相比，对丙烷 (R-290) 的热力循环分析显示，根据蒸发温度的不同，制冷性能系数 (COP) 损失从 -2% 到 0% 不等。但是，R-290 的体积容量始终低于 HCFC-22，约 14%。对 HCFC-22 设备中的 R-290 进行直接测试表明，与标准评级条件下的 HCFC-22 相比，制冷性能系数增加了 7%，容量减少了 8%。这主要归功于 R-290 与 HCFC-22 的运输性能的改善。通过工程优化，R-290 等各种 HCFC-22 替代品可以达到或超过现有 HCFC-22 组件的性能，效率的提高可高达 10%。

38. 空调、取暖及制冷协会的替代制冷剂评估方案¹³提出了 67 份关于替代制冷剂评估的报告和一份关于使用 A2L 制冷剂相关风险基准的研究。替代制冷剂的性能范围很广，这取决于研究类型（直接使用或软优化）、设备和基准制冷剂。总体而言，HCFC-22 替代品与基准 HCFC-22 相比，其能力表现结果相似，在±10%以内，但效率范围在-20%至-5%之间。R-410A 替代品的容量和效率范围为±15%，而 R-404A 替代品的容量范围为-20%至-5%，效率提高至 10%。

¹⁰ 减小冰箱大小。例如，家用冰箱的选取不应大于所需，冷藏库的选取也不应大于规定。

¹¹ 减少供冷负荷通常都会导致成本降低。

¹² 提高能源效率的技术一般也适用于低全球升温潜能值制冷剂。

¹³ 替代制冷剂评估方案。

39. 美国能源部（US DOE）的研究重点是分体式空调机和箱型空调机，并将评估范围扩大到 55°C 的环境条件。该研究表明，HCFC-22 氟化替代品在 35°C 评级条件下导致 3% 至 14% 的容量损失和 11% 至 16% 的效率损失，在 55°C 时，导致 3% 至 14% 的容量损失和 7% 至 15% 的效率损失。但是，在 35°C 的评级条件下，R-290 的容量损失为 7%，效率提高为 11%，在 55°C 时，容量损失为 10%，效率提高为 8%。R-410A 替代品显示，在 35°C 评级条件下，容量差异范围从 -14% 到 5%，在 55°C 时，从 -3% 到 13%，效率差异范围在 35°C 为 ±5%，在 55°C 时，高达 6%。

40. 迄今为止的研究集中于与目前使用的消耗臭氧层物质和高全球升温潜能值氢氟碳化物技术相比的低全球升温潜能值替代制冷剂的性能。这些研究使用了“软优化”的充填和挥发装置的现成产品。此外，还需要进行研究，以便了解使用低全球升温潜能值替代品的新产品在压缩机、热交换器和其他组件作出改变进行全面优化后的影响。

使用高效部件和系统设计并确保优化的控制 and 操作

41. 蒸汽压缩制冷、空调和热力泵设备由许多主要部件（例如，蒸发器、冷凝器、压缩机、膨胀阀、制冷剂）和次要部件（例如，风扇，泵和冷却塔）组成。为了达到最大的能源效率，重要的是：选用适当的“系统设计”来界定整个系统的布置和运作温度；并选取可以提高系统效率的个别组件。控件可被视为制冷、空调和热力泵系统的另一个组成部分，但将系统的控制和操作视为一个单独问题会对设计人员有帮助。就成本而言，作为一般规则，有效的控制技术可说提供了一个具有成本效益的能源效率策略。

42. 设备的设计在于达到标称设计点，即达到在最热的预期环境条件下的峰值供冷负荷。¹⁴该设计点可被视为“最坏情况”下的负荷条件。在实际情况下，大多数系统每年只有非常少的时数接近这个设计点。大多数时候，天气凉爽时供冷负荷较低。在一个控制良好的系统中，能源效率应在设计点之外的条件下有所改进。例如，在天气凉爽时，冷凝温度应该下降，这会显着提高效率；在控制不良的系统中，这些改进不会发生，并且当压缩机在部分负载的情况下运行时，效率还可能降低。

43. 以下例子可以说明与系统设计、组件和优化控制相关的提高能源效率的情况：

- (a) 在适当温度进行冷却：为了最大限度地提高效率，制冷、空调和热力泵系统应在最高可能的温度进行冷却。蒸发温度提高 1°C，效率就可提高 2% 至 4%。一种常见的设计是将多个冷却负荷聚集到一个冷却系统上，即使每个负荷的温度要求不同。蒸发温度必须适应最冷的负荷 - 这意味着较暖的负荷正在低效冷却。将各种负荷按不同温度分开的系统设计可以显着提高效率，但这需要建立多个系统的额外成本。另一个例子是选择空间冷却系统中冷冻水的温度 - 使用较高的温度可为相同的冷却负荷提供更好的效率；¹⁵
- (b) 压缩机：系统设计人员考虑适合给定负荷的最佳压缩机数量。对于非常小的系统，各有一台压缩机。不过，对于较大的系统而言，选用几个小型压缩机而不是一个大型压缩机可能更为有效，这需在额外的资本成本和由此产生的

¹⁴ 设备的设计也围绕着标称设计点，包括最高效率的操作点。

¹⁵ 这可能需要体型更大和成本更高的热交换器。

节能之间做出综合评定。这在部分负荷运行情况下支持高能效尤为重要。压缩机需要针对选用的制冷剂和预期操作的条件（蒸发和冷凝温度）进行优化。两台尺寸和成本相似的压缩机的效率差异可达 20%。选择良好的组件可以在很少或没有额外成本的情况下提高效率。当冷却负荷例如由于环境条件变化而下降时，压缩机需要在部分负荷下运行，因为负荷低于系统的标称设计点。在小型系统上，这通过开关来控制，而在大型系统则使用压缩机负载调节器来完成，例如往复式压缩机的气缸卸载或螺杆压缩机的滑阀。这些都是提供部分负荷控制的低效方式。变速驱动器（VSDs¹⁶，例如逆变器）的最新进展使使用变速压缩机成为可能，通常它可提高超过 25% 的效率；

- (c) 热交换器的选择：设计人员应选用具有最低实际温差的热交换器，以优化蒸发温度（应尽可能高）和冷凝温度（应尽可能低）。¹⁷目前已经采用了具有管道和翅片设计的小口径管道热交换器。这旨在提高传热率和能源效率，尽管设计人员还必须考虑更高压降的影响。这可减少热交换器的内部容量，使得减少所需的制冷剂量成为可能。微通道热交换器也已被开发出来，这提供了另一种设计选择；
- (d) 冷凝器压力控制：许多制冷、空调和热力泵系统都有“头压力控制阀”，它在寒冷天气可停止冷凝器的压力下滑。通过设计改进，可以消除或最小程度地使用这种控制阀。例如，通过使用电子膨胀阀代替目前使用的恒温膨胀阀，头压力控制阀的设置可以大大地降低。大约 20% 的节能是可能达到的；
- (e) 辅助泵和风扇的控制：许多系统都使用风扇来循环有待冷却的空气或使用水泵来循环冷却水。在传统上，这些都是速度固定的设备，其设计适合标称设计负荷。制冷和空调系统冷侧的辅助负荷是“两次付费”，因为除了运行水泵或风扇外，它还产生制冷系统必须排除的额外热负荷。在部分负荷下，这些辅助负荷可能成为总功耗的不成比例的大部分。通过使用变速驱动器的办法，风扇和水泵都可在部分负荷的情况下减速运行。

44. 表 1 总结了欧洲最低能源绩效标准所代表的“基础案例”中的一系列组件设计改进所提高效率。

¹⁶ VSDs – 变速驱动器。

¹⁷ 热交换器的选用几乎一直都是一个技术-经济的选择过程。选用的热交换器越大，对能效的影响越高。

表 1. 根据欧洲运行条件提高能源效率选项和相应节省的能源

选项	说明	基础案例的改进 (%) [*]	
		最低	最高
待机负荷	减少待机负荷 ¹⁸	2	2
高效压缩机	双级旋转式压缩机，带有直流**电机的高效涡旋压缩机	6	19
逆变器/变速	交流***、交流/直流或直流逆变器驱动的压缩机	20	>25
高效热交换器	高效微通道热交换器，更大尺寸的热交换器	9	29
膨胀阀	恒温电子膨胀阀	5	9
曲轴箱加热	减少曲轴箱加热功率和持续加热时间	9	11

(*) 多项措施的累计效率提高不等于所有单个组件效率提高的总和。

(**) DC: 直流电。

(***) AC: 交流电。

设计便于进行维修和保养的功能

45. 在选用新设备时，设计人员应考虑维修和维护问题，并提供有助于确保系统的整个使用寿命期间能维持良好能源效率的功能。正确的维修和保养始于设备的正确安装和调试。不良的安装和启动会大大降低设备的能源效率，并且在设备的后续使用寿命期间无法恢复这种损失。良好的监控和控制系统可以帮助工厂操作人员或维护技术人员检查性能并纠正任何浪费能源的缺失。最好将仪表和传感器作为新系统的一部分包括在内，而不是在以后添加它们。

高环境温度的考虑因素

46. 高环境温度的环境还对制冷剂的选取、系统设计和提高能源效率的潜在机会提出了挑战。在高环境温度情况下，由于热力学性质对制冷剂的选取、由于增加充填对安全的需求以及可用的部件和成本都对维持能源效率的系统设计产生影响。到目前为止，对在高环境温度条件下的研究表明，一些低全球升温潜能值替代品可为现有技术提供可进行比较的能源效率结果。加强公共资助的研究以及私营部门的举措都正在优化设计，以便在这些具有挑战性的条件下实现最高的能源效率。

47. 在高环境温度条件下提高能源效率的最有效方法之一是增加冷凝器的大小。不过，这会增加制冷剂充注量和系统成本。需要检查过渡对可燃性、毒性和操作压力的影响。标准和规范制定机构正在努力使新一代低全球升温潜能值制冷剂替代品获得采用。下面表 2 总结了关于高环境温度对能源效率产生的影响的各种考虑因素。

¹⁸ 使用的电力只用于维持必要的控制组件运行，以备提供系统服务，提供服务的级别一般不会受到制冷负荷的影响。

表 2. 高环境温度对能源效率的影响的各种考虑因素

考虑因素	说明	高环境温度的影响	特别措施
选取制冷剂	热力学性质和可燃性特性	接近临界温度时效率降低 限制大量制冷剂充注	选取制冷剂
系统设计	冷却负荷、冷凝温度和压力	较大的冷却负荷导致设备加大 较高的冷凝温度和压力	系统测试（破裂压力、密封、功能）以考虑在保持效率的同时使用更高的操作压力
制造	设计和建造需要考虑到更高的压力	需要特殊设计和特殊组件，以满足高环境温度条件下的能源效率	本地制造商不断提高设计和制造能力
维修	较高温度和压力下进行维修	系统故障和丧失效率的风险	技术员培训
安全	规范	由于较高的热负荷，每个使用空间的制冷剂量 增加充注的限制	风险评估

采用高能效技术的挑战

48. 目前，在制冷、空调和热力泵行业已有更节能的设备和系统可用。例如，对不同类型空调机的能效的研究发现，最好的空调机的能效比全球市场上的普通空调机的能效高两到三倍。这表明使用市场上制冷、空调和热力泵行业已有的设备极有可能大幅节能。采用更加严格的标准、标签和其他各种形式的市场转型政策（例如，刺激、采购或奖励措施）会减少能源已经非常宝贵的国家的能源需求。

49. 与低效产品相比，高效产品通常 - 但并非总是 - 具有更高的前期成本。这部分是因为高能效机型通常都将其他与能源无关的功能捆绑在一起，作为优质产品销售。¹⁹与能效较低的产品相比，能效较高的产品的市场价格差异范围也更大。采用过于严格的效率标准可能会在无意中提高价格，如果不审慎处理，通常会与空调制造商的步骤一起变化。为了尽量减少最低能源绩效标准等市场措施产生的不利影响，制定这些措施时应考虑到长期目标，并应配合相关行业的技术发展和投资周期的步伐进行。

50. 以下类别阻碍了采用能源效率措施：技术、财务、市场、信息、机构和监管、维修能力等。表 3 载有这些阻碍和缓解措施。

¹⁹ 高能效产品成本的一个重要方面是组件昂贵。

表 3. 采用高能效技术的挑战和消除这些挑战的手段

障碍	说明	缓解措施	执行 (年数)
技术	可能根本没有用于评估、衡量和验证能源效率的测试设施，或缺乏足够的资源或没有满足需求的能力。当地制造商可能缺乏制造高能效设备的技术能力。知识产权可能是制造高能效部件的障碍	安装适当的测试设施 为本地制造商提供培训和能力建设 知识产权的技术转让或设计合资方案/合作研发	1-3
财务	高能效设备的生产成本一般比低能效设备高。高能效的组件时常与其他功能捆绑在一起并以高价出售。 ²⁰ 财务成本起着重要作用。	低成本融资、电费补贴方案、批量采购方案、购买者俱乐部和其他类型的采购方案	1-2
市场	设备的购买者可能与设备的使用者不同，例如，租赁房屋。这可能是购买更高能效设备的障碍，因为购买者没有这样做的动机。	对购买高能效设备的人给予激励	0.5-1
信息	最终用户可能没有关于有能效设备或其效益的信息。能源效率指标可能过于技术化或难以理解。可以通过强制或自愿标签方案、星级评等或其他类型的教育和宣传方案来部分解决这类障碍。	强制或自愿的能源效率标签方案、宣传和推广和教育活动	0.5-1
机构/监管	可能没有关于能源效率的立法、监管框架不存在或薄弱、标准不严或无法执行或缺乏执行能源效率相关活动（如标准或标签）的技术能力。	制定适当的立法和监管框架、设计适当的评估、衡量和核查机制、建立监管机构 and 决策者的能力、统一最低能源绩效标准	2-4
维修能力	能效高的设备可能需要使用最新技术，这需要技术人员拥有新的技能。如果所选设备所需的技能与服务提供商的能力之间存在差距，则可能不应使用高能效设备。	为维修技术人员举办培训课程	1-3
其他	可能存在对高能效产品的误解，即它们可能存在质量和/或保养或其他性能标准方面的问题 ²¹ 。	进行有关节能设备的效益包括投资回收期的宣传和教育活动	0.5-1

四. 与成本相关的问题，包括相关的增支成本、投资回收机会和监测和核查费用

51. 提高能源效率的经济效益已有详细记载，并因设备类型、应用、天气、时间和当地因素，如贴现率、使用小时数、电价、输配电损失而有所不同。²²

²⁰ 研究表明，随着时间推移和生产规模的扩大，大多数市场的高能效设备的价格已经下降。然而，在任何特定时间，即使整个市场都在朝向提高能效，但最高效的设备仍倾向于以高价出售。

²¹ “未经证实的可靠性”是因为这些产品是市场上的新产品；安装人员、客户等可能不愿意使用新技术。

²² 美国能源情报署估计，2016年新发电机的平均建造成本约为2,000美元/千瓦的容量，即如果把融资成本包括在内，每个新发电厂的成本超过20亿美元。<https://www.eia.gov/electricity/generatorcosts/>。

52. 最常提到的提高能源效率的好处是能源、成本和减少温室气体以及在对空间供冷时降低峰值负荷。向低全球升温潜能值制冷剂过渡将进一步增加这些节约。²³

53. 此外，还避免了因能源贫困而导致的发病率和死亡率、生病天数减少、舒适度提高、污染降低（SO_x、NO_x 和微粒物质）以及避免 CO₂ 排放。据估计，这些共同效益可为提高能源效率的直接节能效益提供额外 75% 至 350% 的额外效益。²⁴

计算资本和运营成本的方法

54. 各方已制定了提高能源效率的市场转型方案，包括最低能源绩效标准和标签方案。例如，美国能源部的家用电器和设备标准方案以及欧盟生态设计指令的准备性研究都使用基于数据收集、测试和高效设备建模的“自下而上”的工程分析来确定提高效率的实际制造成本（相对于零售价格）。这种“自下而上”的方法通常使用业界标准设备设计软件²⁵和高效设备的测试数据，从代表市场低效或平均效率的“基础案例”模型确定高效设备的设计选项。随后，通过访问业界专家、制造商和零部件供应商的方式，调查这些高效设计方案的成本，以便建立高效设备的成本蓝图。

55. 这种方法提供了在任何给定时间提高效率的成本“快照”，并为提高效率的成本提供了一个保守的估计数（即较高的估计数）。在实际操作中，随着高效设备开始大规模生产，各种市场的高效设备价格随着时间的推移而有所下降。这尤其适用于小批量生产的设备，其中制造商快速吸收初始开发的成本并试图获得帮助他们销售其设备的某些“价格点”。

56. 类似的进程也已被用于更有限的程度，以支持中国和印度等国的能源效率标准程序。虽然这种方法一般可用于估算制造商为具有制造能力的第 5 条和非第 5 条缔约方维护和/或提高能源效率的成本，但对所有缔约方来说，消费者维持和/或提高能源效率的成本很可能与需要运输费用的进口缔约方相似。

数据收集

57. 由于企业运营的专属性，制造商公开提供的用于提高制冷、空调和热泵设备的资本和运营成本的数据有限。此外，纵观在全球市场零售的设备的价格和能效都表明具有类似能效的设备的价格差异很大，指出零售价格本身并不是说明维持和/或提高新设备能源效率成本的好指标。

58. 下文介绍为制定方法而收集的若干数据实例。²⁶

- (a) 零售价格不足以说明维持和/或提高能源效率的成本：图 3 提供了中国一个小型单元式变速空调机的例子，其供冷能力为 3.5kW，能源效率约为 4.5 瓦

²³ 这能与采用高能效产品同时完成。

²⁴ Üge-Vorsatz 等人，2014 年。

²⁵ 例如，[Fridley 等人，2001 年] used the Oak Ridge National Laboratory (ORNL) Heat Pump Design Model, Mark V, version 95d [ORNL, 1996 年; Fischer & Rice, 1983 年; Fischer 等人，1988 年]。

²⁶ 文件介绍了技术和经济评估小组工作组根据收集的数据编制的报告提出的成本评估方法。

特比瓦特（W/W）（按全年能源消耗效率（APF）指标计算）。²⁷零售价格从大约从 500 美元到 2,000 美元不等，即差价达四倍（400%）。这种单一效率级别大幅差价的情况也出现在多种冷却能力、多个效率级别以及固定速度和变速的空调机；

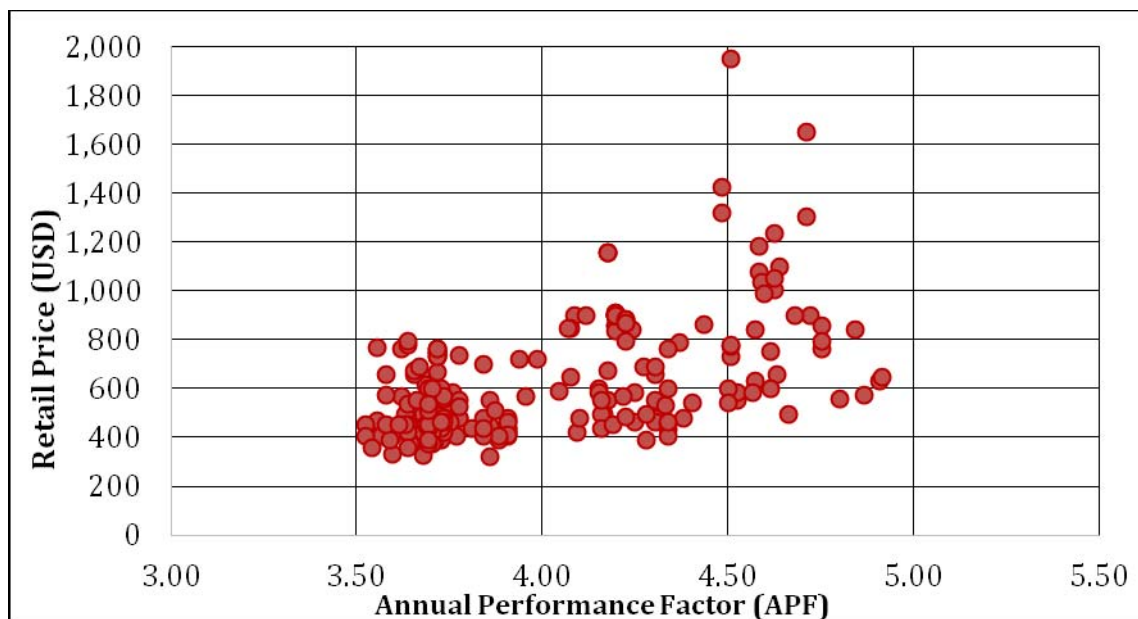


图 3. 中国市场 3.5kW 小型分体式空调机的零售价格与能效的关系。

资料来源：Shah, Park 和 Gerke, 2017 年

- (b) 对日本空调机市场的回顾表明，市场上的空调机都具有较高的能源效率范围。虽然能源效率与单价之间存在有力的联系，但在特定能效级别的价格仍存在很大差异。图 4 表明将 HFC-32 作为制冷剂运行的所有 3.5 kW 空调机的价格与能源效率之间的关联。价格上涨幅度约为每能效（APF）点 603 美元。

²⁷ 劳伦斯伯克利国家实验室的国际高效家用电器数据库和中国标准化研究院数据库。

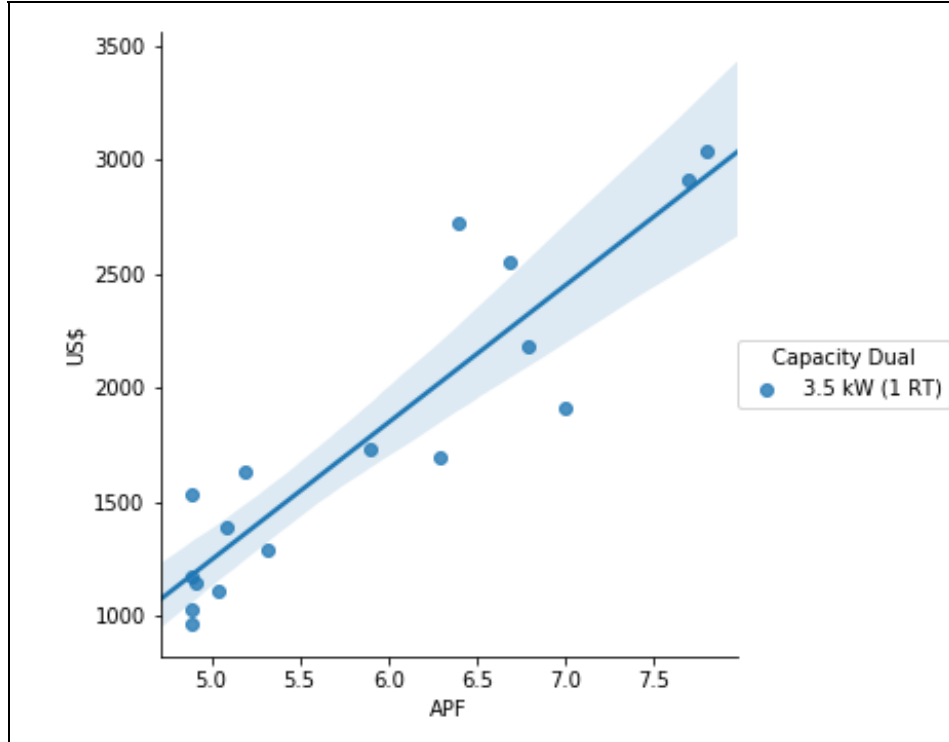


图 4. 日本市场小型分体式空调机零售价格对比能源效率（APF）的调查

- (c) 各种提高能效方案的成本和节省的能源：表 4 显示印度 5.27 kW 小型分体式空调机的各种组件的能效提高方案以及“基础案例”型号预期达到的节能量及其相应单位成本。

图 4. 印度 5.27 kW 小型分体式空调机的提高能效方案、节省的能源和制造成本

技术	节省的能源 (%)	增支制造成本 (美元 ²⁸)
改进的压缩机	5.5 – 15.0	1.43 – 12.27
变速压缩机	21.0 – 23.0	25.67 -115.54
风扇和压缩机的变速驱动器	26.0	44.93 – 134.79
热交换机的改进	7.5 – 24.0	10.48 – 156.90
膨胀阀	3.5 – 6.5	1.78 - 32.09

- (d) 效率随着和不随改变制冷剂的价格上涨：在中国，一个使用 R-410A 的 3.5 kW 变速空调机的能效提高约 13-15%，其价格上涨约 6%。不过，当能效和制冷剂都得到更新时（即能效提高 5-8%和 R-410A 改为 HFC-32），价格上涨约 11%。

²⁸ 1 美元=70.11 印度卢比。

消费者对不同能效级别空调设备的成本和投资回收期

59. 表 5 显示使用上述来自美国能源部规则制定文件²⁹的方法计算小型分体式空调机基准级别以上的四个能效级对消费者在寿命周期的成本（零售价加安装成本加上设备使用寿命期间的能源成本）和投资回收期（节省的能源超过高安装成本的时间）。高能效水平都会产生高安装成本，但会导致低寿命运行成本。数据表明，在当前的技术发展阶段，由于能效的上限，在设备使用寿命阶段，节省的能源不够支付高昂的安装成本。

表 5. 美利坚合众国各种能效级别的小型分体式空调机对消费者的安装成本、寿命周期成本和简单的投资回收期

季节能源效率比 (W/W)	2015 年平均成本 (美元)			简单投资回收期 (年)	平均使用寿命 (年)
	安装成本	使用期间操作成本	使用周期成本		
4.1 (基准)	3,714	4,758	8,472	不详	15.3
4.3	+38	-93	-55	4.5	15.3
4.4	+105	-189	-84	4.8	15.3
4.7	+259	-295	-36	8.2	15.3
5.6	+1,105	-602	+503	16.6	15.3

60. 表 6 显示约占印度全部市场 90% 的三个能源效率级别（2 星级、3 星级和 5 星级）的普通 5 kW 空调机的使用周期成本细目。制冷剂只占使用周期成本微不足道的一部分（不到 1%）。2、3 和 5 星级空调机的使用周期成本分别为 1,672 美元、1,704 美元和 1,540 美元。这表明，当系统价格从 2 星级增加到 5 星级时，使用周期成本的净节省数额为 131.22 美元。

表 6. 印度不同能效级别的 5 kW R-410A 空调机以百分率表示的使用周期成本细目³⁰

级别	系统价格	制冷剂价格	安装成本	使用期间能源成本
2 星级	25.9	0.5	1.3	72.3
3 星级	30.9	0.5	1.3	67.4
5 星级	42.8	0.7	1.4	55.1

资本和运营成本

独立商用制冷设备

61. 从高全球升温潜能值的氟氯烃和氢氟碳化合物过渡到使用低全球升温潜能值的选项需要对制造和设备作出一些投资。当过渡到易燃制冷剂如 A2L 或 A3 制冷剂时，尤其如此。一般而言，来自实地的数据表明，与传统系统相比，消费者使用 R-290 独立系统的成本可在 0% 至 5% 之间变化。较高的成本（如果有的话）通常可以通过这些新系统消耗较少的能源得到补偿。

²⁹ <https://www.regulations.gov/document?D=EERE-2014-BT-STD-0048-0098>。

³⁰ 技术和经济评估小组第 XXIX/10 号工作组报告的图 2.15 改换成表格表示。

62. 落实其他各种提高能效的想法的成本从少量成本（如 LED 照明）到使用变速或高效压缩机的大量成本都有。投资回报取决于相应地区的电力成本，但由于大多数地区对这些系统进行监管，因此预计市场将会采用降低成本的方法来实现所需的最低能效。

63. 根据选用的制冷剂的不同，过渡到低全球升温潜能值的制冷剂的选项将使运营成本从 0% 提高到 10%。与 HCFC-22 相比，采用 R-290 制冷剂可使电费降低 5-10%。变速风扇、压缩机，LED 等其他改进方法，在已经作出改进的情况下，将进一步降低所需的功耗。

冷凝机组

64. 从高全球升温潜能值的氟氯烃和氢氟碳化合物过渡到使用低全球升温潜能值的选项需要对制造和设备作出一些投资。³¹当过渡到易燃制冷剂如 A2L 或 A3 制冷剂时，尤其如此。通过更好的绝缘来降低热负荷，特别是在立柜式冷却机和冷冻机中，使用 LED 灯具以及其他一些提高能效的设施，都可以降低首付资本成本并在设备的整个使用寿命期间获得好处。同样，投资回报取决于当地的电力成本，它可能因地而异。法规在提高能效的做法方面发挥着关键作用。

65. 根据选用的制冷剂，预计从高全球升温潜能值的氟氯烃和氢氟碳化合物过渡到低全球升温潜能值的选项可以减少或保持同样的能源成本。通过更好的绝缘来降低热负荷，特别是立柜式冷却机和冷冻机，以及使用 LED 灯具是一些能提高能效从而降低功耗的实例，这能导致降低运行成本。

集中式和分布式系统

66. 市场驱动的经济使制造采用高效方法的许多集中式和分布式系统成为合理做法。在 R-744 系统的情况下，对于级联式亚临界系统而尤其是跨临界系统而言，资本成本已经阻止了这些系统得到广泛采用，特别是在温暖的气候条件下。最近对欧洲一家拥有 10 个冷藏库的小商店进行了研究，³²将分布式 R-290 系统与跨临界 CO₂ 系统进行了比较。与跨临界 CO₂ 系统相比，R-290 系统的效率每年提高约 5%，资本成本降低约 25%。为了提高 CO₂ 系统的性能，可以增加喷射器或并联压缩机，但初始（购买）成本将会增加。

67. 在 R-744 系统的情况下，对于级联式亚临界系统而尤其是跨临界系统而言，与 R-404A 相比，运行成本持平到略高。虽然 R-290 架构可用于小型商店，但在制冷系统更大的商店很难证明这一点。

空调和热泵行业

68. 有些技术被证明是成本中性的，例如先进的热交换器设计、旋转式压缩机和可变容量离心式压缩机。由于规模经济，例如微通道热交换器和电子膨胀阀等，还有其他导致成

³¹ 以冷凝机组而言，预计数额不会很高，因为这些设备通常不在工厂充注。对设计可能作出一些更改，并且可能需要一些用于安全的组件。

³² http://www.emersonclimate.com/europe/en-eu/About_Us/News/Documents/FFR196-Emerson-Fact-sheet-Integral-Display-Case-Technology-EN-1711.pdf。

本溢价的因素可以随着时间的推移而降低，或仍然维持高成本要素，例如用于室内和组合式空调机的可变容量压缩机。

69. 以前的研究表明，低全球升温潜能值的 HFC/HFO 混合物可以很容易地被用来代替 R-410A，而同时能维持或提高制冷、空调和热泵系统的性能。但是，HCFC-22 的替代性低全球升温潜能值制冷剂 and 制冷剂混合物无法轻易地与性能匹配。Shen 等人在 2017 年进行的后续研究³³表明，通过工程优化，HCFC-22 替代品可以达到或超过现有 HCFC-22 装置的性能，效率提高达 10%。

70. 表 7 显示美国能源部规则制定文件中的一个例子，说明要使整个美国业界四个效率等级的小型分体式空调机达到更高效率所需的资本成本。

表 7. 整个业界转换各个能效等级的资本成本³⁴

季节能源效率比 (W/W)	资本转换成本 (百万美元)	出货数量 ³⁵ (百万机组/年)
4.2	61.0	6.5
4.4	205.6	6.5
4.7	337.9	6.5
5.6	373.0	6.5

提高能源效率的技术手段和相关成本结构

71. 下文表 8 总结了提高能源效率的技术手段和相关成本的结构。

表 8. 总结提高能源效率的技术手段和相关成本结构

设备类型	基准组件	技术手段	能源效率提高	相关成本
全部	蒸发温度	优化蒸发温度	提高 1°C 提升能效 2 – 4%	少
全部	控制装置	改进控制装置	10 – 50%	少-中
室内空调机	热交换器	加大热交换器或使用先进设计（小径管道或微通道热交换器）	9 – 29%	少-中
	压缩机	双级旋转式压缩机，带有直流电机的高效涡旋压缩机	5 – 19%	中
		交流、交流/直流或直流逆变器驱动的压缩机	20 – 30%	中
	膨胀阀	恒温或电子膨胀阀	5 – 9%	少
	待机负荷	减少待机负荷	2%	少

³³ Shen B, Abdelaziz O, Shrestha S, Elatar A. 2017 年 "Model-based optimization of packaged rooftop air-conditioners using low-GWP refrigerants," International Journal of Refrigeration, ISSN 0140-7007, available at <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.10.028>. 2018 年 5 月 12 日查阅。

³⁴ 试验标准水平 1、2、3 和 4 分别对应于 2 吨小型分体式空调机的季节性能效比 (SEER) 为 14.5、15.0、16.0 和 19.0 BTU/hr/W。对于各种产品类别，这些“试验标准水平”的定义不同。（资料来源：2016 年，能源部）。

³⁵ 2015 年总出货量包括在美利坚合众国发运的所有类型中央空调机和热泵系统。

设备类型	基准组件	技术手段	能源效率提高	相关成本
大型组合式空调机	压缩机	使用多个压缩机优化部分负荷性能	达 20%	中
	压缩机	使用交流、交流/直流或直流逆变器驱动的压缩机	20 – 30%	中-高
	热交换器	加大热交换器或使用先进设计（小径管道或微通道热交换机）	9 – 29%	少
	曲轴箱加热	优化曲轴箱加热	9 – 11%	0
	-	故障检测和诊断	达 30%	少
商用制冷	冷凝器压力控制	最小化头压力控制阀（用电子膨胀阀代替恒温膨胀阀）	达 20%	少
	压缩机	变速控制装置或高效可变容量控制装置	达 25%	中
	辅助风扇和泵组	用于辅助风扇和泵组的变速控制装置	达 10%	少
	其他控制装置	按需除霜和调节吸入压控制装置	达 10%	少
	曲轴箱加热	优化曲轴箱加热	9 – 11%	0

五. 以 CO₂-当量表示的环境效益

72. 尽管《基加利修正案》的重点是节能制冷剂，³⁶但业界继续重新设计系统以提高能源效率，并改进建筑物的设计，降低热负荷。这些做法会减少充注到空调系统中的制冷剂，减少制冷剂的排放。

间接排放产生的能源效率影响

73. 有几种方法可以估算一个系统的总排放量。最常用的方法是变暖影响总当量（TEWI）³⁷和寿命周期气候性能（LCCP）方法，它试图通过评估制冷、空调和热泵系统“从摇篮到坟墓”的整个生命周期来量化对全球变暖的总体影响。

74. 提高能源效率的最大潜力来自改进设计和组件，这能使效率提高 10%至 70%，³⁸而在大多数情况下，改用制冷剂提高的效率在 5%至 10%之间。计算国家或地区层面使用寿命周期的排放量需要几个步骤和假设，例如产品的使用寿命、制冷剂的选择和泄漏，这些都超出了能源效率对环境效益的考虑。能源效率产生的环境效益可有 1,000 倍的变化，这取决于使用的时数和发电产生的排放。

75. 以 CO₂ 当量计算制冷、空调和热泵设备能源效率产生的环境效益包括以下三个步骤：

- (a) 确定设备类型（例如，无管道分体式空调机，3.5 kW 冷却能力）、根据国家或地区当前市场或给定设施制造的组件确定基线模型单位能耗并确定有待评估的能源效率改进；

³⁶ 这载于逐渐减少使用氢氟碳化合物的案文中。

³⁷ 有时，可以通过忽略一些更广泛的影响来简化变暖影响总当量（TEWI）的计算，其中包括制冷剂和设备的制造以及设备除役后制冷剂和设备的处置方法。这些因素产生的影响都很小。

³⁸ 本报告提到提高能源效率时，我们将经过改进的设计所用的能量与基线设计所用的能量进行比较。例如，如果系统 A 使用 10 个单位能量而系统 B 使用 8 个单位能量，则效率提高 20%。

- (b) 根据基线组件的能耗和使用的时数计算高效机型节省的能源。使用时间因国家、气候和用途而异；在某些情况下，国家标准将使用时数界定为能源效率指标的一部分（例如，印度的季节性能效比定为每年使用 1,600 小时）。由于安装或保养不当，安装后的设备的实际能源绩效可能低于设计的效率。由于效率提高的程度是与基准组件相比，因此，这种方法假设由于安装或保养不良或高温导致的性能下降会对基准组件产生可比较的影响，因此相对的节能仍得以维持。如果由于电费成本较低，致使效率较高的组件使用时数增加，这种“反弹”行为会减少节能；
- (c) 通过乘以发电的最终用途排放因子，将节能转换为 CO₂ 当量。空调机往往在一天中最热的时候运行，并往往与高峰电力需求的时刻相吻合；因此，使用“边际排放”因子可能更准确，因为这些因子代表产生电力以满足峰值需求的发电机的碳强度。边际发电的碳强度高于还是低于年排放因子取决于该国的电网构成。然而，随着更多可再生能源的增加，趋势是朝向降低边际排放因子。

76. 在家用制冷行业，使用目前的技术，家电通过提高能源效率节省的费用从 55% 到近 70% 不等。在这种情况下，假设冰箱每天 24 小时运行，并且高环境温度不会影响设备的性能，因为它们都放置在室内温度受控的环境中。

77. 用于商用制冷时，有非常高的节能潜力。在某些情况下，如开放式相对于密闭式冷冻柜和冷却器，节省的费用可在 70% 至 80% 之间。冰淇淋冻柜的能量消耗在 25°C 和 31°C 的情况下测量。在高环境温度情况下，能耗增加 13%。不过，能耗仍远低于效率不高的直立式冻柜。这表明在高环境温度的条件下，设备的选择还是至关重要。

78. 表 9 总结了具有特定产品能源效率级别的室内空调机在特定使用时数每年以千瓦时计算的节省能量（与基准组件使用的能量相比，较高效率水平为 10-20%，最高效率水平为 40-50%）。

表 9. 室内空调机组节省的能源

案例*	确定具体产品基准组件的能耗和效率提高					计算高效机型的节能	
	使用时数/年	组件类型/冷却能力 (kW)	基准空调机单位使用能源 (kWh/yr)	较高能源效率	最高能源效率	较高能源效率 (kWh/yr)	最高能源效率 (kWh/yr)
极低案例 a (极少时数、极低电力排放因子)	350	分体式机组/3-4 kW	266	20%	50%	53	133
低案例 b (少时数、低电力排放因子)	1,200	分体式机组/3.5 kW	1,355	20%	50%	271	678
高时数 c (高时数、中等电力排放因子)	2,880	分体式机组/3.5 kW	2,965	10%	40%	297	1186
高排放因子 d (中等时数、高电力排放因子)	1,600	分体式机组/5.275 kW	1,300	10%	40%	130	520

案例*	确定具体产品基准组件的能耗和效率提高					计算高效机型的节能	
	使用时数/年	组件类型/冷却能力 (kW)	基准空调机单位使用能源 (kWh/yr)	较高能源效率	最高能源效率	较高能源效率(kWh/yr)	最高能源效率(kWh/yr)
最高案例 e (高时数、高电力排放因子)	2,880	分体式机组/5.275 kW	5,759	25%	40%	1,440	2,304

(*) 五个案例代表了在全世界气候区和排放因子的实际情景中可以找到的情况。³⁹

a 欧洲用于供冷的小时数 (Topten.eu) ; Topten.eu 的单位能源使用低效率 (266 kWh/yr) 和最高效率 (122kWh/yr) 。

b 联合效率倡议的阿根廷国家评估的使用时数和基准空调机组能耗 (2016 年 12 月) ; 基于 Topten.eu 的改进百分比。

c 联合效率倡议的泰国国家评估的使用时数和基准空调机组能耗 (2016 年 12 月) ; 基于印度 BEE 的 3 星级和 5 星级样机的改进百分比; 泰国的排放因子。

d 印度季节能源效率比 (ISEER) 标准和 BEE 的 1 星级机组使用时数和基准空调机组能耗; 印度 BEE 的 3 星级和 5 星级样机的改进百分比。

e 使用时数为 360 天每天 8 小时; 基准机组 2.6 W/W 能源效率比通过将容量除以能源效率比乘以时数转换为能耗; 中等=3.5 能源效率比和最高=4.5 能源效率比。

79. 在热泵情况下, 表 10 列出了代表在全世界气候区的实际情景中可以找到的情况的四种案例的热泵机组的节能情况。

表 10. 热泵机组节省的能源

案例*	热泵机组的能耗								能源效率的改进 (%)
	基准案例				最佳可得技术				
	热泵 (GJ)	电力后备机组 (GJ)	共计 (GJ)	共计 (kWh/y)	热泵 (GJ)	电力后备机组 (GJ)	共计 (GJ)	共计 (kWh/y)	
寒冷气候和低排放因子	12.31	7.97	20.28	5,633	12.62	2.6	15.22	4,228	25
寒冷气候和中等排放因子	12.31	7.97	20.28	5,633	12.62	2.6	15.22	4,228	25
温暖气候和中等排放因子	3.23	0.336	3.566	991	2.95	0.104	3.054	848	14
温暖气候和高排放因子	8.08	2.48	10.56	2,933	6.42	0.4	6.82	1,894	35

(*) 四个案例代表了在全世界气候区和排放因子的实际情景中可以找到的情况。⁴⁰

80. 在移动空调方面, 根据一些包含高效空调信用的客车燃油经济标准的报告, 温室气体排放影响被视为潜在效益指标, 范围自 0.9 克 CO₂-eq/km 至 6.1 克 CO₂-eq/km 不等。

六. 采用低全球升温潜能值技术的示范项目和氢氟碳化合物独立投资项目

81. 在第七十四次、第七十五次和第七十六次会议上, 执行委员会根据第 XXV/5 号决定和第 72/40 号决定, 批准了关于分区供冷的 3 项可行性研究⁴¹和示范低全球升温潜能值技术的 17 个项目。⁴²

³⁹ 技术和经济评估小组工作队的报告提供了 CO₂ 排放影响。

⁴⁰ 技术和经济评估小组的报告提供了 CO₂ 排放影响。以千兆焦耳 (GJ) 表示的信息是年度能耗量。

82. 表 11 总结了根据第 72/40 号决定核准的示范项目得到的能效信息，但其中不包括制冷维修行业项目。

表 11. 采用低全球升温潜能值技术的可行性研究和示范项目

国家	项目名称 (编号)	供资 (美元)*	会议	更新执行进度情况
制冷和空调和组装次级行业				
中国	福建雪人股份有限公司工业和商用制冷行业氨半密封变频螺杆制冷压缩机组示范项目 (CPR/REF/76/DEM/573)	1,026,815	82	该报告提到，具有制冷能力 56.7 kW、167.1kW 和 216.3kW 的系统的系统设计的新系统的制冷性能系数 ⁴³ 分别为 1.57、1.63 和 2.94。
哥伦比亚	HC-290 (丙烷) 作为 Industrias Thermotar 公司商用空调制造代用制冷剂的示范项目 (COL/REF/75/DEM/97)	500,000	81	报告提到 R-290 5-TR ⁴⁴ 分体式机组 (R-290 涡旋式压缩机) 比类似的 R-410A 机组消耗的能量 (kWh) 少 13.1%。
哥斯达黎加	Premezclas Industriales S.A 公司应用氨/二氧化碳制冷系统代替中型生产商和零售店 HCFC-22 的示范项目 (COS/REF/76/DEM/55)	524,000	82	最后报告指出，比较 2017 年 10 月/11 月 (安装新制冷系统之前) 和 2018 年 1 月/2 月 (安装新制冷系统之后) 的平均每月账单显示平均每月账单下降 10.23%。预期在系统稳定和操作完善后能耗减少将达 20%。
沙特阿拉伯	空调生产商使用低全球升温潜能值制冷剂开发窗式空调和组合式空调示范项目 (SAU/REF/76/DEM/29)	1,300,000	83	示范项目的实施结果显示 HFC-32 和 R-290 在 52°C 的能源效率比比 R-410A 高；当室外温度从 35°C 上升到 52°C 时，所有制冷剂的能源效率均下降。
沙特阿拉伯	在高环境温度下空调行业推广低全球升温潜能值的氢氟烯烃制冷剂示范项目 (SAU/REF/76/DEM/28)	796,400	暂缺	
区域 (西亚)	向西亚高环境温度国家推广制冷剂替代物 (PRAHA-II) (ASP/REF/76/DEM/59 和 60)	700,000	暂缺	
泡沫塑料行业				
哥伦比亚	通过研制成本效益高的配方在第 5 条缔约方验证氢氟烯烃用于间断板的示范项目 (COL/FOA/76/DEM/100)	248,380	81	没有直接报告能效的结果；不过，结果显示使用与水共吹的 HF0-1233zd (E) 和 HF0-1336mzz (Z) 的配方的热传导率类似于以 HCFC-141b 为基础的配方。

⁴¹ 多米尼加共和国、埃及和科威特。

⁴² 包括：7 个制冷和空调及装配次级行业项目 (中国、哥伦比亚、哥斯达黎加、科威特、沙特阿拉伯 (2 个)、1 个全球 (阿根廷和突尼斯) 和区域 (西亚) 项目；6 个泡沫塑料行业项目 (哥伦比亚、埃及、摩洛哥、沙特阿拉伯、南非和泰国)；3 个制冷维修行业项目 (马尔代夫、欧洲和中亚地区) 以及 1 个全球项目 (东非和加勒比地区)。

⁴³ COP – 制冷性能系数。

⁴⁴ TR – 制冷吨。

国家	项目名称 (编号)	供资 (美元)*	会议	更新执行进展情况
制冷和空调和组装次级行业				
埃及	小型用户转型为非消耗臭氧层物质技术聚氨酯泡沫塑料的低成本备选办法的示范项目 (EGY/FOA/76/DEM/129)	295,000	83	报告没有提供有关设备能效的信息。
摩洛哥	小型和中型企业的聚氨酯泡沫塑料转型为非消耗臭氧层物质技术时使用低成本丙烷泡沫技术的示范项目 (MOR/FOA/75/DEM/74)	280,500	暂缺	
沙特阿拉伯	关于淘汰氟氯烃的示范项目, 即用氢氟烯烃作为发泡剂, 用于高环境温度下喷雾泡沫的应用(SAU/FOA/76/DEM/27)	96,250	暂缺	
南非	非连续面板厂从 HCFC-141b 改装为戊烷中真空辅助注射的技术和经济优势示范项目 (SOA/FOA/76/DEM/09)	222,200	81	没有直接报告能效的结果; 不过, 结果显示热传导率类似于 HCFC-141b。
泰国	利用低全球升温潜能值发泡剂配制喷涂聚氨酯泡沫塑料用途预混多元醇的配方厂家示范项目 (THA/FOA/76/DEM/168)	352,550	83	没有直接报告能效的结果; 不过, 这项结果显示使用与水共吹的 HFO-1233zd (E) 和 HFO-1336mzz (Z) 的配方的热传导率略高。这在改进配方时能有改变。
分区供冷的可行性研究				
多米尼加共和国	蓬塔卡纳分区供冷的可行性研究 (DOM/REF/74/TAS/57)	91,743	81	这个项目的-一个主要效益是提高能源效率; 没有提供实际能效绩效。**
埃及	新开罗分区供冷的可行性研究 (EGY/REF/75/TAS/127 和 128)	27,223	82	报告载有分区供冷结构的技术经济可行性和投资回收计算。没有提供实际能效绩效。**
科威特	比较供中央空调使用的三种非同型技术的可行性研究 (KUW/REF/75/TAS/28 和 29)	27,223	82	报告载有分区供冷结构的技术经济可行性和投资回收计算。没有提供实际能效绩效。**

* 这个数值没有包括项目编制费和机构支助费用。

** 技术和经济评估小组工作组报告指出, 同传统空调系统相比, 分区供冷系统的电力需求减少 55%至 62%, 耗能减少 40%至 50%。

83. 表 12 列出迄今获得核准的 10 个独立氢氟碳化合物投资项目。虽然需要在最终报告中提供重新设计的设备的能效表现, 但到目前为止仍没有关于这些项目的结果。

表 12. 迄今核准的独立氢氟碳化合物投资项目

国家	机构	项目名称
阿根廷	工发组织	在 Briket、Bambi 和 Mabe-Kronen 制造家用和商用制冷设备以异丁烷 (R-600a) / 丙烷 (R-290) 为基础的制冷剂更换 HFC-134a 的转换项目
孟加拉国	开发计划署	在 Walton Hi-Tech Industries Limited 将制造家用冰箱的 HFC-134a 转换为制冷剂异丁烷以及将使用 HFC-134a 的往复式压缩机转换为高效压缩机 (异丁烷)。
中国	开发计划署	将一家家用冰箱制造商 (海信科龙) 使用的 C5+HFC-245fa 转换为 C5+HFO。
多米尼加共和国	开发计划署/加拿大	将 Fábrica de Refrigeradores Comerciales, SRL (FARCO) 商用冰箱生产线使用的制冷剂 HFC-134a 和 R-404A 转换为丙烷(R-290)
约旦	工发组织	将 Petra Engineering Industries Co. 生产供冷达 400 kW 的大型商用单元式房顶空调组件的设施的制冷剂 HFC (R134a、R-407C、R-410A) 转换为丙烷 R290
黎巴嫩	工发组织	将 Lematic Industries 家用制冷使用的 HFC-134a 和 HFC-404A 转换为 R-600a 和 R-290
墨西哥	工发组织	将 Imbera 商用制冷的两个设施使用的制冷剂 HFC-134a 和 R-404A 转换为丙烷(R-290)和异丁烷 (R-600a)
墨西哥	开发计划署/加拿大	将 Mabe Mexico 家用制冷生产设施的制冷剂从 HFC-134a 转换为异丁烷和将压缩机制造设施基于 HFC-134a 的制冷剂转换为基于异丁烷的制冷剂。
泰国	世界银行	将 Pattana Intercool Co. Ltd. 生产商用制冷设备使用的制冷剂从 HFC 转换为丙烷(R-290)和异丁烷(R-600a)
津巴布韦	开发计划署/法国	将 Capri (SME Harare) 生产家用冰箱的制冷剂从 HFC-134a 转换为异丁烷

建议

84. 执行委员会在其讨论第 XXVIII/2 号决定第 22 段和第 XXX/5 号决定第 5 段和第 6 段的执行方法时，不妨审议技术和经济评估小组在 UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/42 号文件中提出的有关与第 82/83(e)号决定指出的各项问题相关的能源效率事项的报告摘要。

附件一

本文件使用的术语表

APF:全年能源消耗效率（见季节能源效率比）

制冷性能系数（COP，有时为 CP 或 CoP）：对于热泵、冰箱或空调系统，这是为所需工作提供有用的加热或冷却的比率。较高的制冷性能系数等同于较低的运营成本。

冷却能力：衡量系统散热的能力。以 kW、Btu/h 或制冷吨（RT）衡量的制冷能力，其中 1 RT = 3.5 kW = 12,000 Btu/h。

供冷/加热负荷：加热或冷却到所需服务水平所需的能量。改善建筑物的隔热能力是减少加热和供冷负荷并同时为用户提供相同水平的舒适性的策略。

制冷性能系数 (COP)：制冷性能系数是供冷能力和系统能耗之间的比率。制冷性能系数也用于热泵，在这种情况下，它是指供热能力和系统能耗之间的比率。

CSPF: 季节供冷能源消耗效率（见季节能源效率比）。

设计效率：设备设计的或出货的能源绩效，与品牌效率相同。

能源效率(EE)：能源效率是一个设备或过程的一个属性，可以高也可以低。

能源效率比(EER)：在满负荷（即最大供冷能力或设计点）时测量的供冷输出除以电能输入的比率，以 W/W 或 Btu/h/W 测量（1 W = 3.412 Btu/h）。

能源绩效：一台设备或系统执行特定服务水平所消耗的能量。本报告提到的能源效率的改进是将改进的设计所使用的能量与基线设计所使用的能量进行比较。例如，如果系统 A 使用 10 个单位能量而系统 B 使用 8 个单位能量，则效率提高 20%。

HSPF: 季节供热能源消耗效率（见季节能源效率比）

安装效率：设备安装时的能源绩效。

ISEER: 印度季节性能源效率比。

千瓦时(kWh)：以单位工作或能量表示的电量，以 1 小时消耗 1 千瓦（1,000 瓦）的功率计算。1 kWh 等于 3,412 英国热量单位（Btu）或 3.6 MJ。

制造成本：制造设备的成本。

百万吨油当量 (Mtoe)： 1 Mtoe = 116.3 亿 kWh

标称设计点：代表用于设计系统的一组条件（例如，室内和室外温度）。

运营成本：设备使用者操作设备的成本。

部分负荷操作：当系统必须面对低于标称值的负荷时所发生的情况（标称条件用于系统设计）。制冷、空调和热泵系统通常在其生命周期的大部分时间都在部分负荷条件下运行。

峰值负荷：电网在给定期限内所需的最高电力需求。

提高能源效率百分比：与基准组件相比，高效组件的能耗变化百分比。

制冷吨（RT）：冷却能力的测量，其中 1 吨等于 12,000 Btu，相当于在 24 小时内使 2000 磅水结冰所需的能量。1 RT = 3.52 KW。

零售价格：购买设备的价格。

季节能源效率比(SEER)：在完全和部分负荷下，供冷输出除以电能输入的比率，并通过加权以表示在每个给定国家的一般供冷季节天气的设备的整体性能。季节能源效率比又可称为**季节供冷能源消耗效率（CSPF）**。**季节供热能源消耗效率（HSPF）**用于供热模式。**全年能源消耗效率（APF）**是用于加热和冷却可逆热泵室内空调机的指标。

单位能耗：单位设备通常一年消耗的能量。

变速驱动器（VSD）：一种电动机控制器，通过改变提供给电动机的频率和电压来驱动电动机，也称为逆变器。
