

能源基金会科研项目（G-1806-28014）

多联式空调机组能效标准修订

技术支撑研究报告

（第一阶段）

中国标准化研究院等

2019 年 12 月

目录

摘要	4
第一章 背景	7
1.1 背景	7
1.2 基加利制冷能效项目	9
1.3 国内政策要求	10
1.4 制定多联机能效标准的必要性	14
第二章 多联机技术发展	17
2.1 多联机的定义、特点、分类	17
2.2 多联机的热工性能参数	23
2.3 能效评价指标由 IPLV 修改为 APF	30
第三章 国内外能效标准能效水平对比	33
3.1 中国、欧盟、美国能效标准现状	33
3.2 中国、欧盟、美国能效限值要求	34
3.3 中国、欧盟、美国能效水平对比分析	37
3.4 高能效限值对比	47
第四章 多联式空调（热泵）机组主要上游现状与影响	49
4.1 中国多联式空调（热泵）机组能效备案现状	49
4.2 中国多联式空调（热泵）机组产品能效分布	49
4.3 中国多联式空调（热泵）机组分冷量能效分布	50
4.4 多联式空调（热泵）机组市场驱动力分析	53
4.5 技术驱动	56
第五章 多联机能效评价方法 IPLV 和 APF 对比分析	57
5.1 多联机能效指标研究技术路线	57
5.2 多联机 IPLV 指标与 APF 指标差异性分析	58

5.3 多联机 IPLV 指标与 APF 指标换算.....	62
5.4 多联机 IPLV 指标与 APF 指标换算结果.....	69
第六章 多联机能效指标的确定	71
6.1 标准编制原则的确定.....	71
6.2 标准中的重要内容与标准制定的主要依据.....	71
6.3 能效提升 LCC 分析.....	72
6.4 市场统计分析与验证.....	76
6.5 APF 实测值与标称值的偏差	79
6.6 多联机产品的低负荷运行.....	80
6.7 国际先进水平的研寻.....	81
6.8 日本市场调研.....	82
6.9 标准建议方案的先进性评估.....	83
6.10 能效指标提升幅度.....	84
附录 A: 多联式空调(热泵)机组能效等级草案	86

摘要

中国的多联式空调机组能效国家标准始于 2008 年，是作为贯彻国家节能环保政策的一个重要工具，属于强制性国家标准。在标准中提出了能效限定值、节能评价值、能效等级；并依据此技术基础标准，国家节能主管部门开展、实施了多联式空调整节能产品认证、能效标识等，形成了以能效标准为支撑，以能效标识、节能认证、节能产品采购目录、财政税收激励政策等为实施途径的节能环保市场转换机制。随着节能环保工作的深入和产业技术的升级发展，市场需求结构发生了根本性转化，空调市场进入技术的快速发展期；从近几年市场看，由于经济形势调整、需求侧改革的落实，导致空调机组市场库存压力大幅波动、价格也出现激烈竞争，能效水平呈现停滞现象，尽快推动我国多联式空调机组能效标准制修订工作具有迫切性和必要性。

本研究报告针对多联式空调机组，调研了我国多联式空调的市场状况、能效状况，分析了面临的市场问题和技术障碍。数据显示，随着中国房地产经济的快速发展和消费者消费能力的提升，多联式空调机组市场得到快速发展，目前已处于世界前列；通过技术引进及科技自主研发等途径，技术水平也已达到一个新台阶，但部分核心技术研发能力尚有一定差距，如何克服技术瓶颈，是产业可持续发展的关键。

同时空调产业面临着节能和制冷剂替代的双重挑战，《蒙特利尔协定书》和《基加利修正案》对全球制冷空调行业的发展影响巨大。世界各国为应对这两个协定，采取了多种积极措施，并提出以节能和

应对气候变化为双重考虑因素来指导行业的发展，成为各方的共识。。面对应对气候变化和节能环保的压力，节能标准可同时承载二者的需求，产生良性互动的关系，是实现多联式空调机组能效国家标准的升级、保证产业的技术升级、增强我国多联式空调机组的市场竞争力的重要保证。

通过比较有典型代表性的国家和地区的、与多联式空调机组能效相关的标准或规章，分析当前的市场环境和政策要求，提出了符合中国国情的标准制修订原则；通过建立多联式空调制冷系统的热力学计算模型，对目前可行的节能技术的应用可能导致的能效提高进行数值模拟计算，分析能效提升对产业、节能环保等的潜在影响，为新标准的制定提供技术支持。

预测显示，通过能效标准的修订和实施效果是显著的。一方面，落实国家中长期节能环保目标，通过能效标准可有效调整市场产品结构，促进产业技术升级；二是依据标准和相关激励政策，消除节能产品在研发、生产、销售和使用环节所遇到的障碍，实现产品技术创新升级和消费者节能产品消费观念的提升所带来的收益是显著的；三是可明确相关方的责任和目标，落实任务和进程。同时随着我国一带一路战略的推进，充分分析标准的国际一致化及区域一致化的必要性和可行性，服务于我国产业走出去战略。

参加研究的单位有中国标准化研究院、珠海格力电器股份有限公司、广东美的制冷家电集团、合肥通用机械研究院、清华大学、大金（中国）投资有限公司、艾默生环境优化技术（苏州）有限公司广东

志高空调有限公司、青岛海尔空调电子有限公司、浙江三花股份有限公司、深圳麦克维尔空调有限公司、北京工业大学、广东欧科空调制冷有限公司、上海三菱电机·上菱空调机电器有限公司、東芝開利空調(中國)有限公司設計中心〔產設〕、丹佛斯自动控制管理（上海）有限公司、国际铜业协会（中国）、四川长虹空调公司、青岛海信日立空调系统有限公司、宁波奥克斯电气股份有限公司、浙江盾安机电科技有限公司、苏州英华特涡旋技术有限公司、广州松下空调器有限公司、富士通将军中央空调（无锡）有限公司、西安大金庆安压缩机有限公司、苏州三星电子有限公司、广东申菱环境系统股份有限公司等。

本研究报告得到了能源基金会的大力支持，同时在项目的执行过程中，来自中国制冷空调工业协会、中国家用电器协会、清华大学、北京大学等单位的专家学者都曾给予积极支持和热心帮助，美国劳伦斯伯克利实验室专家提供的技术支持，在这里向他们表示衷心的感谢。

感谢国家发展和改革委员会资源节约和环境保护司及国家标准化管理委员会、生态环境部等有关领导、专家的指导和帮助。

第一章 背景

1.1 背景

2015 年 12 月，《联合国气候变化框架公约》近 200 个缔约方在巴黎气候变化大会上达成《巴黎协定》。这是继《京都议定书》后第二份有法律约束力的气候协议，形成 2020 年后的全球气候治理格局。主要目标是将本世纪全球平均气温上升幅度控制在 2 摄氏度以内，并将全球气温上升控制在前工业化时期水平之上 1.5 摄氏度以内。中国全国人大常委会于 2016 年 9 月 3 日批准中国加入《巴黎气候变化协定》，中国成为第 23 个完成批准协定的缔约方。

《巴黎协定》获得了所有缔约方的一致认可，充分体现了联合国框架下各方的诉求，是一个非常平衡的协定。协议体现共同但有区别的责任原则，要求建立针对国家自定贡献（INDC）机制、资金机制、可持续性机制（市场机制）等的完整、透明的运作和公开透明机制以促进其执行。

从经济角度，《巴黎协定》同样具有实际意义：首先，推动各方以“自主贡献”的方式参与全球应对气候变化行动，积极向绿色可持续的增长方式转型，避免过去几十年严重依赖石化产品的增长模式继续对自然生态系统构成威胁；其次，促进发达国家继续带头减排并加强对发展中国家提供财力支持，在技术周期的不同阶段强化技术发展和技术转让的合作行为，帮助后者减缓和适应气候变化；第三，通过市场和非市场双重手段，进行国际间合作，通过适宜的减缓、顺应、融资、技术转让和能力建设等方式，推动所有缔约方共同履行减排贡献。

2007 年 9 月，第 19 次蒙特利尔议定书缔约国大会上通过了加速淘汰 HCFCs 物质的调整案。按照调整案，对于包括中国在内的第 5 条款国家（发展中国家）来说，新的淘汰 HCFCs 的时间进度如图 1-1 所示。2013 年冻结在 2009 年和 2010

年消耗量的平均水平上（基线水平），2015 年在基线水平上削减 10%、2020 年削减 35%、2025 年削减 67.5%、2030 年削减 97.5%，自 2030 年起仅允许保留 2.5% 作为维修用途，至 2040 年实现完全淘汰。发达国家在此基础上提前十年。

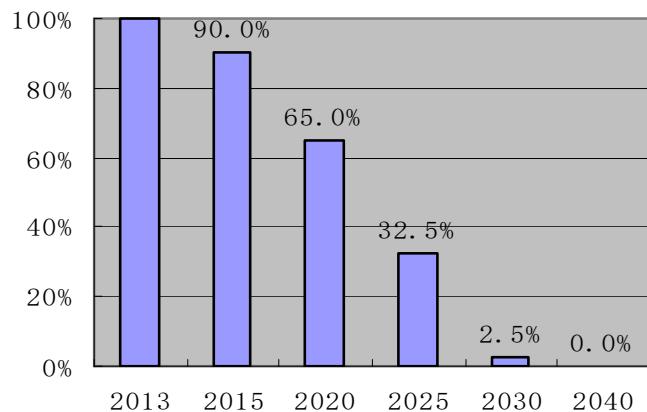


图 1-1 发展中国家 HCFCs 淘汰进度

中国作为已签署承诺按照《蒙特利尔议定书》规定行事的发展中国家，正在按照此时间表进行中国的 HCFCs 淘汰工作。

需要说明的是，尽管 HCFCs 的淘汰尚在进行中，部分发达国家已经开始了 HFCs 的逐步削减工作。HFCs 类物质不破坏臭氧层，但大部分具有较高的温室效应。对中国制冷空调行业将是另一个严峻挑战。

2016 年 10 月 15 日，包括中国在内的《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》缔约方，在卢旺达首都基加利一致通过了《基加利修正案》，旨在减少氢氟碳化合物的生产和使用。该修正案将于 2019 年 1 月 1 日正式生效，中国作为第 1 类国家（A5 条款国），承诺到 2024 年冻结和淘汰氢氟碳化合物的使用，并在 2029 年启动削减进程。根据联合国环境署数据，在这一修正案的限制下减少的氢氟碳化合物排放，预计可避免本世纪末全球温度升高 0.5 摄氏度。

联合国环境署（UNEP）预测《基加利修正案》的生效和实施将可以减少 88%

的氢氟碳化物排放，可防止本世纪末 0.5℃的升温。而对于中国来说，本次修正案给出的削减基线处于中国 HFCs 使用峰值期间，削减时间表与产业调整步伐相切合。相比不受控情景，若到 2050 年中国可以按修正案有效的削减 HFCs，将可带来 300 亿到 400 亿吨 CO₂当量的气候效益，为防止本世纪末全球 0.5℃升温贡献三分之一。《基加利修正案》是出台，象征着全球气候治理又向前迈进了一大步，而其带来的气候收益，有助于促进和推动可持续发展的进程。淘汰活动的开展，加强了中国与国际间的信息与技术交流，保障中国可以紧随国际步伐，促进产业升级，避免贸易壁垒。

1.2 基加利制冷能效项目

2017 年底，18 家公益基金会发起了“基加利制冷能效项目（K-CEP）”，以帮助发展中国家提升制冷能效，使用更加气候友好型的制冷剂。

作为一项跨领域的工作，能源基金会于 2018 年初负责实施“中国制冷能效项目”的实施对中国意义重大，一是中国目前是氢氟碳化合物的最大排放国，二是中国是全世界最大的空调产品生产国，产量占到全世界的 70%，三是氢氟碳化合物减排是中国巴黎协议减排承诺额外的温室气体减排；四是技术的飞跃可以帮助我国企业实现产业升级换代，提高竞争力。

根据初步研究测算，如果中国家用和商用空调的能效水平在 2020 年前提升 30%，到 2050 年，其累计温室气体减排量相当于减少 521 亿吨二氧化碳的排放，也相当于节约 22 个三峡大坝的发电量。因而，借助“中国制冷能效项目”的推进力量，进一步推广高效制冷设备和对现有设备进行能效提升就显得非常重要与紧迫，其中，政府采购应该承担起重要的作用：一方面制冷设备政府采购市场的保

有量和采购量都非常巨大，另一方面政府采购市场对普通市场又有极大的示范和标杆性作用。因而，从技术标准、采购需求、评审加分等多个角度探讨高效制冷设备在政府采购领域的推广路径是非常可行而且必要的工作。

需要特别指出的是，应法兰西共和国总统埃马纽埃尔·马克龙邀请，中华人民共和国主席习近平于2019年3月24日至26日对法兰西共和国进行国事访问。双方回顾了国际形势和重大国际地区问题，并达成包括《巴黎协定》、《蒙特利尔议定书》基加利修正案和推动提高制冷行业能效标准的共识。

1.3 国内政策要求

1.3.1 十三五节能环保产业发展规划

2016年12月22日，国家发展改革委、科技部、工业和信息化部、环境保护部联合发布了《“十三五”节能环保产业发展规划》。其指导思想是全面贯彻党的十八大和十八届三中、四中、五中全会精神，深入落实习近平总书记系列重要讲话精神，牢固树立创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，立足发展阶段和现实国情，以解决突出资源环境问题为导向，以提高节能环保供给水平为主线，以创新为驱动，以重大工程为着力点，不断完善政策措施，优化市场环境，运用市场机制引导社会资源要素充分、有序投入节能环保产业，实现节能环保产业的快速、提质、创新发展，为改善环境质量、建设美丽中国提供可靠保障。

规划的主要目标是：到2020年，节能环保产业快速发展、质量效益显著提升，高效节能环保产品市场占有率达到30%，一批关键核心技术取得突破，有利于节能环保产业发展的制度政策体系基本形成，节能环保产业成为国民经济的一大支柱产业。

——产业规模持续扩大，吸纳就业能力增强。节能环保产业增加值占国内生

生产总值比重为 3% 左右，吸纳就业能力显著增强。

——技术水平进步明显，节能环保装备产品市场占有率显著提高。拥有一批自主知识产权的关键共性技术，一些难点技术得到突破，装备成套化与核心零部件国产化程度进一步提高，主要节能环保产品和设备销售量比 2015 年翻一番。

——产业集中度提高，竞争能力增强。到 2020 年，培育一批具有国际竞争力的大型节能环保企业集团，在节能环保产业重点领域培育骨干企业 100 家以上。形成 20 个产业配套能力强、辐射带动作用大、服务保障水平高的节能环保产业集聚区。

——市场环境更加优化，政策机制更加成熟。全国统一、竞争充分、规范有序的市场体系基本建立，价格、财税、金融等引导支持政策日趋健全，群众购买绿色产品和服务意愿明显增强。

其中，在提升技术装备供给水平部分，规划要求加大研发投入力度，加强核心技术攻关，推动跨学科技术创新，促进科技成果加快转化，开展绿色装备认证评价，淘汰落后供给能力，着力提高节能环保产业供给水平，全面提升装备产品的绿色竞争力。

对于照明和家电，规划明确要求：“推动半导体照明节能产业发展水平提升，加快大尺寸外延芯片制备、集成封装等关键技术研发，加快硅衬底 LED 技术产业化，推进高纯金属有机化合物（MO 源）、生产型金属有机源化学气相沉积设备（MOCVD）等关键材料和设备产业化，支持 LED 智能系统技术发展。大幅提高空调、冰箱、电视机、热水器等主要用能家电能效水平，加快智能控制、低待机能耗技术等通用技术的推广应用。”。

1.3.2 HCFCs 制冷剂替代

针对 CFCs 和 HCFCs 的控制淘汰，中国政府已颁布了 100 多项保护臭氧层的政策法规。2008 年 12 月，中国环境保护部下发了《关于严格控制新建、改建、扩建含氢氯氟烃生产项目的通知》；2009 年 10 月，中国环境保护部下发了《关于严格控制新建使用含氢氯氟烃生产设施的通知》；中国国务院于 2010 年 4 月颁布了《消耗臭氧层物质管理条例》，并于 2010 年 6 月 1 日起生效实施，从国家层面完善管理制度，规范生产、销售、使用和进出口等行为；2013 年 8 月环保部下发了《关于加强 HCFCs 生产、销售和使用管理的通知》，规定受控用途年使用量 100 吨以上的企业必须申请取得 HCFCs 使用配额许可证方能开展生产活动，使用单位应当于每年 10 月 31 日前申请配额并提交相关证明材料，环保部根据企业申请情况、基线年消费水平、国家和行业 HCFCs 控制目标于每年 12 月 30 日前核发配额；2014 年 1 月环保部、商务部、海关总署联合发布了《消耗臭氧层物质进出口管理办法》，自 2014 年 3 月 1 日起施行。

1.3.3 中国逐步淘汰消费臭氧层物质国家方案

中国对全球环境保护具有举足轻重的作用，履约态度和行动备受关注。目前中国的 ODS 生产量、使用量和出口量全球最大，POPs 生产量、使用量、排放量居全球前列，生物多样性减少的趋势居全球前列，温室气体排放总量居全球前列，汞的生产量、使用量和排放量全球最大。面临着严峻的环境保护形势。

中国在消耗臭氧层物质（ODS）淘汰领域所实施的政策法规建立在对国际公约所做的承诺基础之上，已形成了一个层次比较清晰的政策法规体系[i]。

经国务院正式批准，中国分别于 1991 年 6 月和 2003 年 4 月加入了《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》伦敦修正案和哥本哈根修正案。议定书是国际社会需共同遵守的国际法，也是国内相关立法的渊源。在国内，《中华人民共和

国环境保护法》和《中华人民共和国大气污染防治法》是中国 ODS 淘汰行动所依据的基本的国内法。其中，《大气法》2000 年修正案专门针对 ODS 淘汰问题新增了第四十五条和第五十九条。新增第四十五条第一款规定：“国家鼓励、支持消耗臭氧层物质替代品的生产和使用，逐步减少消耗臭氧层物质的产量，直至停止消耗臭氧层物质的生产和使用。”这一款原则性的规定为现行管理体系提供了明确的、原则性的国内立法支持。

我国制订的《中国逐步淘汰消耗臭氧层物质国家方案》及其修订稿是经国务院批准并得到蒙特利尔议定书多边基金执委会认可的国家行动计划。该方案虽然没有通过正式的立法程序体现为法律的形式，但是从国际法与国内法关系的理论以及方案本身的承诺效力来看，它在实质上是中国实施《蒙特利尔议定书》的基本行动纲领，对中国 ODS 物质淘汰行动做出了全面的原则性规定，在 ODS 淘汰行动的整个政策法规体系中占有核心地位，是制订和实施各行业淘汰计划以及各种相关政策措施的首要依据。

在《国家方案》之下，分别形成了 ODS 进出口管理、ODS 生产控制、ODS 消费控制、ODS 监督管理和多边基金赠款管理等政策体系。在蒙特利尔多边基金的支持下，按照行业的划分分别制订了各行业的 ODS 淘汰计划。并依据各行业计划，分别制订了各行业的具体政策。

与此同时，以作为中国环境保护基本法的《环保法》为根本依据，依托既存的行之有效的环境保护领域政策法规，结合《国家方案》的要求，又在排污申报登记制度中增加了有关对 ODS 排污申报登记的要求、在建设项目环境影响评价制度中增加了对多边基金赠款项目环境影响评价的特别要求、在环境标志制度中增加了鼓励 ODS 替代品或替代产品的生产的内容，增加了对地方环保部门在保

护臭氧层工作中监督管理职能的要求等。

1.4 制定多联机能效标准的必要性

制订和实施强制性能能源效率标准已成为我国提高能效、节约能源和保护环境的重要手段和措施，受到了各级主管部门的重视和支持。同时，由于市场竞争的加剧，开发和生产节能型产品，是生产企业扩大市场、增强产品竞争力的有效途径，能效标准成为引导市场、规范市场、促进节能产品市场化的主要工具。

在我国工业领域深入实施能效标准，是经济发展的需要，也是市场经济下节能工作的必然选择，具有重要的社会效益和经济效益。

1) 缓解我国能源供需矛盾，保证经济可持续发展

通过强制性能效标准的实施，根据我国国情，有计划、有步骤的提高产品能效，对缓解我国能源需求的紧张有很大作用。从经济性的角度看：一方面，缓解了发电能力和相关基本建设的压力，节约了大量基建投资；空调器耗电量大，加大峰谷差异。由于空调的使用时间比较集中，造成巨大的电力供应峰谷差，高峰时供不应求，低谷时电力设备闲置浪费，严重影响了居民生活和企业生产。

另一方面，也产生了巨大的经济效益；提高能源的使用效率也减少了在能源生产和使用过程中产生的污染，大气中 30% 的 CO₂ 来自发电过程，它也是产生温室效应的主要原因，电耗量的降低，从根本上保护了环境。

2) 为政府调控市场提供技术支撑

随着我国市场经济的逐步完善，政府对经济的管理方式也发生了变化，由直接管理（即直接对工业生产进行规定）向间接管理、支持市场公平竞争、保护消费者利益的方向转变，由过程管理向末端管理转变。能效标准的实施，将能够引导市场，起到鼓励先进、淘汰落后的作用。

3) 建立公平的市场竞争机制，推动企业与行业的技术进步

能效标准的实施，为企业制订了节能目标，将会正确引导企业制定合理的发展规划，加强管理，采用先进技术，逐步改变我国的落后局面，提高能效，达到节能、环保的要求，增强我国家用电器产品在国内外市场上的竞争力，早日与国际水平接轨。

随着全球经济一体化的发展和我国加入 WTO 的临近，市场竞争日趋激烈。各企业都认识到要保证持久的竞争力，必须要加强技术开发能力，拥有自己的核心技术。近年来，由于节能意识的提高和环境保护的需要，开发和生产节能型产品，已成为世界工业面临的重要任务。能源效率成为衡量产品质量的重要指标之一。世界各国根据本国节能及环境保护工作的需要，对进口的产品电耗值提出了要求，如美国的法规要求在 2001 年后，进口的电冰箱电耗值必须降低 30%。提高产品的能效成为保证国际贸易顺利进行的条件之一。

4) 满足国际贸易需要，建立国际市场经济活动的技术纽带

世界各国基于节能及环保的需要，在贸易中先后设立了“绿色贸易壁垒”，对进出口产品的能效指标提出了高要求。现今我国经济正在向出口型经济过渡，加入 WTO 后，随着我国经济实力和经济水平的飞速增长，进出口贸易会大大增加。制定实施能效标准，一方面促进企业逐步与国际水平接轨，另一方面可以着手建立国际间的相互认可，减少贸易障碍。

5) 节能技术的推广有利于空调行业的技术进步和产业升级

我国的多联机市场正处于上升阶段，市场竞争逐步加剧，用户对空调器产品的质量、节能效果提出更高的要求。通过制定、实施国家统一的能效标准，结合能效等级标识，是达到规范市场、引导技术进步的一条有效的途径。从而将市场

需求向高质量、高效率空调器转移，避免低水平的价格竞争，促进空调行业的健康发展，推动节能与环保事业的发展。经验证实，行业的利润率会显著地改善。

第二章 多联机技术发展

2.1 多联机的定义、特点、分类

多联式空调（热泵）系统在我国的国家标准中称之为多联式空调（热泵）机组[1]（本文简称为：多联机），它是一类结构复杂、系统庞大、内部参数耦合、边界条件多样的复杂制冷系统[2]，自 20 世纪 80 年代初诞生之后，目前已成为各类商用建筑和住宅建筑中最为活跃的中央空调系统形式之一[3]。

2.1.1 多联机的定义与基本工作原理

多联机是由一台或数台风冷室外机组连接数台不同或相同型式、容量的直接蒸发式室内机组所构成的单一制冷循环系统，它可以向一个或数个区域直接提供处理后的空气[1]，其结构形式如图 2-1 所示。

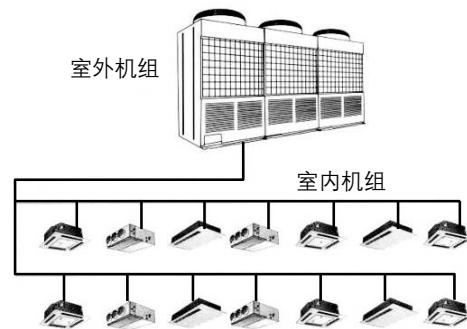


图 2-1 多联机空调系统

多联机的工作原理与常规直接蒸发空调系统（如房间空调器）类似。也是由压缩机、冷凝器、节流装置以及蒸发器四大部件构成，其特殊性在于多联机系统具有多个冷凝器、蒸发器和膨胀阀，且各蒸发器或冷凝器的工作环境不一定完全相同，可以说，多联机是多末端（室内机）的房间空调器。图 2-2 示出了房间空调器和多联机的连接形式示意图。由于多联机需要对多个房间或区域进行制冷或制热，故其容量远大于房间空调器。

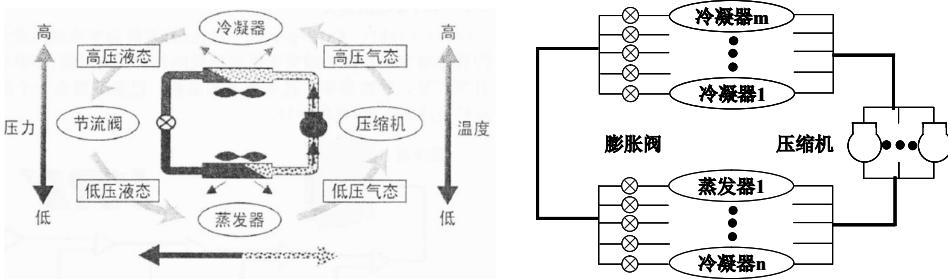


图 2-2 房间空调器和多联机的工作原理示意图

多联机系统是一类以制冷剂作为能量输配介质、通过调节压缩机的制冷剂循环量和进入室内换热器的制冷剂流量，适时地满足室内冷、热负荷要求的风冷式、变容量直接蒸发式空调系统。需采用变速压缩机、多极压缩机、卸载压缩机或一台压缩机组合等来实现压缩机容量控制；在制冷系统中需设置容量调节范围较宽的膨胀阀及其它辅助回路，以调节进入各室内机的制冷剂流量；通过控制室内、外换热器的风扇转速、传热面积，调节换热器的能力[4]。在变频调速、数码涡旋压缩机技术和电子膨胀阀技术逐渐成熟之后，多联机系统普遍采用交流变频、直流调速、数码涡旋（变容）压缩机和电子膨胀阀，它们是多联机系统实现制冷循环控制和容量控制不可缺少的条件之一。

2.1.2 多联机的类型

多联机的分类方式有很多种，一般的分类方式如下：

(1) 根据多联机所提供的功能不同，可分为单冷型、热泵型和热回收型三大类[4]。其中，热回收型多联机又根据室外机与室内机之间的制冷剂输配管数量分为 3 管式和 2 管式两种形式。热回收型多联机可利用同一套系统同时向不同房间供冷或供热，故在有内区的建筑中具有良好的应用前景。

(2) 从压缩机的变容调节方式可分为变速多联机和变容多联机两类。其中，变速多联机可包括直流调速和交流变频两种形式，而变容多联机目前以采用数码

涡旋压缩机为主，故行业内将之称为“数码多联机”。

(3) 根据多联机是否具有蓄能能力可分为蓄能型（蓄冷、蓄热型）多联机和非蓄能型多联机。蓄能型多联机可实现电力负荷的“移峰填谷”，从 1995 年开始得到发展[5]。

(4) 根据一个多联机模块中是否全部采用变速或变容压缩机，可分为全变速（变容）型和部分变速（变容）型两类。目前的多联机一般为部分变速（变容）型，就在一个模块中采用一台变速（变容）压缩机和多台定速压缩机，通过定速压缩机的启停和改变变速（变容）压缩机的容量方式来实现多联机的容量控制。

(5) 根据原动机制能源形式一般可分为电驱动型（EHP）和燃气发动机驱动型（GHP）两种类型。一般的多联机采用电能驱动，GHP 型多联机从 2002 年开始得到发展[6]。

多联机的分类方式还有很多种形式，如按采用制冷剂的种类分为 R22、R410A、R407C 型多联机，按室外机组的构成方式分为单模块型、多模块组合型等。

由于我国多联机主要采用了变速和变容两大技术路线，故习惯按压缩机的变容调节方式对多联机进行划分。

2.1.3 我国多联机行业现状

2.1.3.1 我国多联机的行业概况

近年来，多联机作为一种新型的空调系统，在商用和家用空调领域越来越占有举足轻重的地位。中国的多联机市场迅猛发展，如图 2-3 所示。

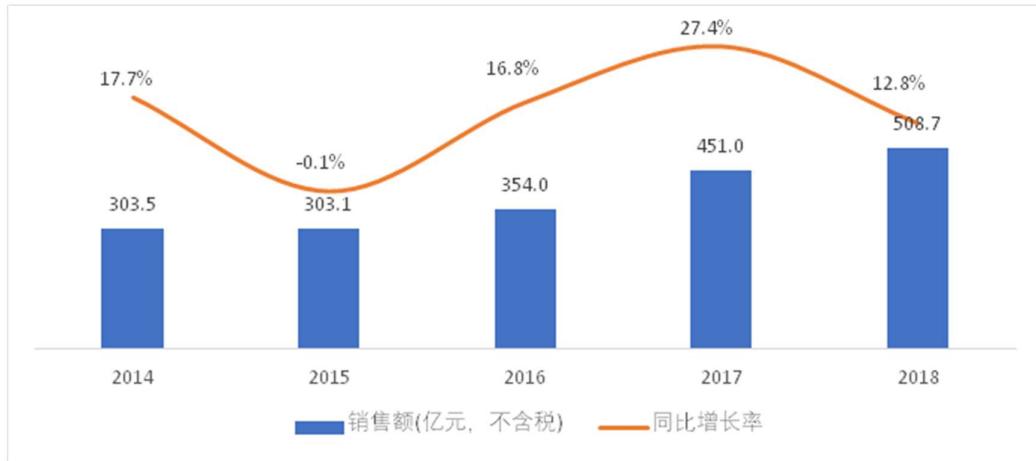


图 2-3 2010-2018 我国多联机的销售额

在多联机产品中，由于变频多联机在技术和应用上相对更有优势，再加上部分厂家的有效推动，在目前的变制冷剂流量多联机产品中，变频多联机组凭借多年积累的市场优势，已经占据着绝对领先的市场份额，统计结果显示，销售的多联机产品采用变频技术的占 95%以上，数码涡旋约占 10%，定频多联机已经基本退出市场[14]。

多联机目前常用的制冷剂为 R22 和 R410A。R22 已成为《蒙特利尔议定书》未来的淘汰的目标，因此目前各厂家都在积极从 HCFC 类制冷剂向 HFC 类制冷剂转化，R410A 制冷剂成为首选。从检测数据来看，80%以上的多联机采用了 R410A 制冷剂。

综上所述，多联机已经成为我国中央空调的一种主要系统形式。可以预见，多联机产品在未来相当长一段时间内仍将保持高速的增长。因此，在我国当前紧张的能源形势下，设计好、使用好多联机具有非常重要的意义。

2.1.4 多联机的产品标准和能效标准

日本是多联机产品标准更新最快的国家，其多联机标准基本遵循了变频空调器的技术路线[19,20]。早在 2001 年制定单元式空调机行业标准 JRA 4048(2001)

时，就注意到多联机室内机独立控制的特点，指出需特殊进行研究，于是在 2003 年 6 月制定了 JRA 4055“多联机季节耗电量计算基准”的行业标准[21]；直到 2005 年 9 月日本才将 JRA 4048 和 JRA 4055 两个标准整合为 JRA 4048《单元式空调机的季节能源效率》，并于 2006 年颁布实施。JRA 4048 标准扩展了单元式空调机的产品种类，将多联机产品纳入其中[22]，标志着多联机产品在日本已正式出台行业标准。美国在 2008 年的单元式空调与热泵标准 AHRI Standard 210/240[23] 中，将多联机纳入单元式空调与空气源热泵范畴，详细给出了多联机的试验方法、检验规则和评价指标。欧洲标准 EN14511[24]以及韩国标准 KSC9306:200[25]都有涉及多联机的单独条文。

国际标准化组织 (ISO) 在 2005 年 12 月表决通过了国际标准 ISO/DIS 15042《多联式分体空调和全热交换器——性能试验和评定》(草案) [26]。该标准草案包括了热回收多联机在内的多种类型的多联机系统形式，给出了针对各类多联机的试验方法和测试工况条件。但是该标准不包括测定季节效率或季节部分负荷性能，也没有明确描述多联机系统相对于单元式空调机的特殊情况，所以仅能称之为与单元式空调机测试和评价方法基本一致的空调行业标准。

我国的多联机标准领先世界各国，2002 年我国就颁布了多联机产品的国家标准 GB/T 18837-2002《多联式空调（热泵）机组》[1]，该标准比日本行业标准 JRA 4055《多联机季节耗电量计算基准》还早一年。2015 年对其进行了修订，现行国家标准为 GB/T 18837-2015 多联式空调(热泵)机组。

能效国家标准第一次颁布实施是 2008 年 2 月 18 日，中国国家标准化管理委员会 (SAC) 发布了 GB 21454-2008《多联式空调（热泵）机组能效限定值及能效等级》国家标准[18]，该标准规定了多联式空调（热泵）机组的制冷综合

性能系数（IPLV(C)）限定值、节能评价值、能源效率等级的判定方法、试验方法及检验规则，必将有效地规范国内多联机产品性能，加速多联机技术进步。

2.1.5 多联机技术的发展方向

总结多联机发展的技术进程和行业现状，可以发现目前的多联机系统仍然需要不断在提高能源使用效率和满足人们居住舒适性两方面下功夫。因此能够满足这两方面要求的多联机空调系统必将成为多联机未来发展的方向。

(1) 进一步改善各部件的性能，发展多种形式的多联机系统，以满足不同地域、不同建筑和使用功能的需求，并且达到更高的节能环保要求。需重视热回收型多联机、蓄能型多联机、水冷式（水环）多联机、燃气多联机、低温热泵多联机的研发，并发展其他具有多联机优点的新型系统，力争在提高部分负荷性能、减少制冷剂充灌量等方面取得更大的进展，以实现节能、减排目标。

(2) 开发更加智能化控制的多联机空调系统。通过模拟分析和实验研究，实现对多联机系统的优化设计与优化控制，提高能源利用效率，以及系统适用性和可靠性，设计出合理的运行策略，使得既能满足使用要求，又达到节能的目的。特别是多联机系统的新风问题一直是目前关注的焦点，也是目前很多研究认为多联机存在的不足之处[27]，故应重视各种形式的全热回收新风机组的开发，以改善室内空气的品质。

(3) 科学合理地推进多联机系统的工程应用。需进一步研究多联机的运行特性，从而明确多联机的最佳应用场合和规模，即明确多联机的适应性问题；建立多联机系统的设计、安装规范，以充分发挥多联机系统的特有优势。

(4) 进一步完善基于全年能耗评价的多联机性能评价方法研究。在房间空调器、单元式空调能耗评价方法研究的基础上，针对多联机多室内末端的特点，

提出准确、经济、合理的全年能耗评价指标和评价方法。

(5) 发明科学、实用、合理、简单的多联机现场测试方法，研究并生产相关仪表。如果多联机的在线性能检测方法研究成功，将可实现多联机与其他各类系统的性能进行比较，对于正确认识多联机、确定多联机的合理地位具有重要意义。

2.2 多联机的热工性能参数

与其他制冷空调产品相同，多联机的性能和技术指标也是用一系列热工性能参数来表征的，但因多联机的灵活使用和部分负荷运行特点决定了其热工性能参数更为复杂。由于空调产品的技术性能参数与产品的运行和工作条件有很大的关系，因此在讨论多联机的热工性能参数时必然涉及到产品的性能测试工况。

2.2.1 多联机的性能测试工况

多联机的测试工况分为制冷测试试验工况和制热测试试验工况（有热泵功能的多联机），制冷测试试验包括：名义制冷运行试验、最大制冷运行试验、冻结试验、最小运行试验和凝露凝结水排出试验；制热测试工况包括热泵名义制热试验、最大制热运行试验、最小制热运行试验和融霜试验。此外，对于带电加热的产品，还包括电加热器的制热试验，各种试验的房间温湿度条件见表 5-2。

(1) 名义制冷运行试验工况

名义制冷运行试验工况是指多联机的额定参数测试工况，多联机的制冷量、制冷消耗功率、风量等铭牌数据或称做额定性能参数都是指在这一测试工况下的测试数据，这一测试工况是产品的热力学设计时进行计算的设计点，包括室内温湿度条件和室外温湿度条件。室内和室外的温湿度条件对不同气候类型的产品有所不同，室内的温湿度条件是按照该地区夏秋季节人体的舒适度定义的，在这一

温湿度条件下，人体有良好的舒适感，因而产品的室内条件就取这一参数；室外侧的试验条件是取该地区夏季室外的平均温度和湿度的数据来作为产品设计点。名义制冷运行的试验工况代表了产品的标准技术参数，也是各类产品技术指标进行比较的基准条件。

(2) 最大制冷运行试验工况

最大制冷运行是验证被测量的多联机在环境温度为产品设计上限时的产品运行状况，它不是产品的制冷量测试工况，是为验证产品的可靠性和适应性而设置的。该工况的室外机温湿度条件为产品设计的最高温度和湿度，室内侧的试验条件也为高温条件。用于不同气候环境的多联机的最大运行试验工况是不相同的。试验时，让被试验的多联机在规定的试验条件下稳定运行 1 小时，然后停机 3 分钟，再启动机器运行 1 小时。试验时，被试机的供给电压为额定电压的 90% 和 110%。整个运行过程中，热过载继电器不应动作；当在停机 3 分钟后再启动机器运行时，初期的 5 分钟内允许热过载继电器动作跳开，但其不应再跳开；如果在这 5 分钟内热过载继电器不复位，在 30 分钟内复位的，被试机应连续运行 1 小时；对于手动复位的热过载继电器，在最初 5 分钟内保护动作的，应在动作的 10 分钟后强行复位，并应能够再运行 1 小时。最大运行工况下，被试机不能满足上述要求时，不能认为满足试验要求。

(3) 冻结试验工况

冻结试验与最小制冷运行试验工况相似，但室外机的试验环境条件略高。该试验属于适应性和安全性试验，被试机在室外环境温度比较低时，其制冷的能力和蒸发温度都会很低，这时室内蒸发器比较容易结霜，或有较多的凝结水，这些情况既影响到产品的运行，也对房间的环境造成不利影响。本试验要求被试机在

这些特殊情况下，仍具有良好的适应性，不至于影响到室内的环境。试验时，机器启动并运行 4 小时，此时室内机的蒸发器表面凝结的冰霜面积不应超过 50%；堵住回风口，阻止空气流通，让机器运行 6 小时至蒸发器完全被冰阻塞后，停机让冰完全融化并除去，启动风机，并以高速运行 5 分钟，室内机不应有冰、水滴吹出或滴下。不能满足上述要求的产品即为性能没有达到要求。

(4) 最小制冷运行试验工况

这个试验工况与最大制冷运行试验工况一样，也是属于可靠性和适应性试验工况，主要试验被试的多联机在环境温度比较低的状况下的性能。试验的室内环境条件是相同的，但室外机的环境温度随使用的气候条件不同而有一些差别，室外的湿度没有要求。试验时，将室内机调整到最容易结霜的状态，机器启动运行 4 个小时，被试机器的安全保护装置不应动作，而且室内机的蒸发器表面凝结的冰霜不应超过整个蒸发器面积的 50%。该产品的试验主要验证被试机对实际使用过程中的特殊情况下的适应性，使机器能够具有较高的可靠性。

(5) 凝露和凝结水排出试验工况

这种试验工况是环境的湿度非常大的试验工况，试验过程中，被试机将有大量的凝结水生成，试验就是为了验证被试机在非常容易结露的情况下，多联机的运行不至于影响到房间的环境，各种气候类型的被试机的凝露试验工况是相同的。试验时，让被试机在该试验工况下运行 4 小时，将室内机调整到最容易结露的状况，试验过程中，不应有水滴吹出，室内机的壳体等部位外面不应有凝露滴下，室内机的凝结水应能够流畅地排至室外而不至于溢出。

(6) 热泵名义制热试验工况

热泵名义制热试验工况是测试被试多联机在热泵运行时的制热量，它包括高

温、低温和超低温三个试验工况。主要验证被试机在冬季不同的气候条件下的制热量。我国幅员辽阔，地区冬季温度差别大，需要验证多联机在这些环境条件下的制热量。

(7) 最大运行制热试验工况

最大制热运行试验工况的意义与最大制冷运行试验工况相同，也是验证被试机的环境适应能力。通常多联机的热泵运行都是室外机处在比较低的环境温度条件下，而该工况将室外的环境温度定义得很高，更有利于制热运行，相当于大马拉小车的情况。试验属于可靠性和适应性的验证试验。试验时，让被试验的多联机在规定的试验条件下稳定运行 1 小时，然后停机 3 分钟，再启动机器运行 1 小时。试验时，被试机的供给电压为额定电压的 90% 和 110%。整个运行过程中，热过载继电器不应动作；当在停机 3 分钟后再启动机器运行时，初期的 5 分钟内允许热过载继电器动作跳开，但其不应再跳开；如果在这 5 分钟内热过载继电器不复位，在 30 分钟内复位的，被试机应连续运行 1 小时；对于手动复位的热过载继电器，在最初 5 分钟内保护动作的，应在动作的 10 分钟后强行复位，并应能够再运行 1 小时。最大运行工况下，被试机不能满足上述要求时，不能认为满足试验要求。

(8) 最小制热运行工况

该试验工况属于可靠性试验，试验工况定义室外的环境温度为相对比较低的条件，在该试验条件下，启动被测试的多联机，让多联机稳定运行 4 小时，机器应能稳定可靠运行，各种保护动作不应动作。试验主要验证多联机在低温状态下的热泵运行是否稳定。

(9) 热泵融霜试验工况

热泵融霜试验工况的室外环境温湿为机器在热泵运行时最容易结霜的条件。多联机在冬季热泵运行时，当环境湿度比较大，冷凝器的表面就容易结霜，随着霜层的加厚，冷凝器的换热性能变差，最终导致机器无法运行，因而多联机在热泵运行时，要定期或自动除霜，以保证多联机的运行。可以说，多联机除霜逻辑控制设计的合理与否，将决定产品在冬季能否正常运行。试验时，在设定的运行条件下启动被试多联机，将多联机调整到最容易结霜的运行状态，运行时间以出现 2 个完整的除霜运行周期，或连续运行 3 小时，3 小时后首次出现完整的 1 个除霜周期。试验要求被试机融霜的时间不超过总的运行时间 20%，在除霜过程当中送到室内环境的空气温度低于 18℃ 时间不得超过 1 分钟。

(10) 电加热试验工况

电加热试验工况包括两种情况，单冷的电加热供热运行功率测试和热泵带辅助电加热试验时，电加热功率的测试，两种试验的试验条件是不同的，但都是测试电加热的消耗功率。前者的试验工况，由于室外机不运行，所以室外机的试验条件不需要；后者的试验工况室外机的运行条件采用名义制热运行试验的环境条件。

总之，多联机的各种试验工况就是为了能对多联机的产品技术性能和可靠性性能进行完整的测试验证，以保证产品的质量。

2.2.2 多联机的热工性能参数

多联机的技术性能是由一系列热工性能参数来描述的，这些热工性能参数都是在一定的试验条件下，按照一定的试验方法测试出来的技术数据。多联机的主要热工性能参数包括：室内机制冷（热）量、制冷（热）量、最大配置率、最小配置率、分流不平衡率、室内机消耗功率、制冷消耗功率、制热消耗功率、制冷

能效比、制热性能系数、制冷综合性能系数和制热综合性能系数等。参数的具体定义如下：

(1) 室内机制冷(热)量 (refrigerating (heating) capacity of indoor machine)

在规定的制冷(热)能力试验条件下，室内机(单台)从封闭空间、房间或区域排去(放出)的热量，单位：W。

(2) 制冷(热)量 (refrigerating (heating) capacity)

在规定的制冷(热)能力试验条件下，多联机从封闭空间、房间或区域排去(放出)的热量，单位：W。

(3) 最大配置率 (maximum ordonnance rate)

各室内机的名义制冷量之和与多联机名义制冷量之比的最大值，单位：%。

(4) 最小配置率 (minimum ordonnance rate)

各室内机的名义制冷量之和与多联机名义制冷量之比的最小值，单位：%。

(5) 多联式空调(热泵)多联机的分流不平衡率 (distributary disequilibrium rate of multi-connected air-condition(heat-pump)unit)

在规定的制冷(热)能力试验条件下，多联机的各室内机实测制冷(热)量与其名义制冷(热)量比值的系数。

(6) 室内机消耗功率 (consumed power of indoor machine)

单台室内机处于送风运行时消耗的功率，单位：W。

(7) 制冷消耗功率 (refrigerating consumed power)

在规定的制冷能力试验条件下，多联机运行时所消耗的总功率，单位：W。

(8) 制热消耗功率 (heating consumed power)

在规定的制热能力试验条件下，多联机运行时所消耗的总功率，单位：W。

(9) 制冷能效比 (EER) (energy efficiency ratio)

在规定的制冷能力试验条件下, 多联机制冷量与制冷消耗功率之比, 其值用 W/W 表示

(10) 制热性能系数 (COP) (coefficient of performance)

在规定的制热能力试验条件下, 多联机制热量与制热消耗功率之比, 其值用 W/W 表示

(11) 制冷综合性能系数 (IPLV(C)) (refrigerating integrated part load value)

一个按照标准 GB/T 18837-2002 的附录 A 中所述方法试验和计算的描述部分
负荷制冷效率的值,其值用 W/W 表示。它是将多联机在 100%、75%、50% 和 25%
的负荷运行状态下的能效指标测试出来, 再通过每种负荷出现的可能性结合起来,
形成评价多联机的能效性能的综合性指标。

(12) 制热综合性能系数 (IPLV(H)) (heating integrated part load value)

一个按照标准 GB/T 18837-2002 的附录 A 中所述方法试验和计算的描述部分
负荷制热效率的值,其值用 W/W 表示。指标的意义同 (11), 只是本参数反映的
是制热的技术指标。

(13) 制冷季节能效比 (SEER) seasonal energy efficiency ratio

在制冷季节中, 机组进行制冷运行时从室内除去的热量总和与消耗的电量总
和之比, 按附录 B 中所述方法试验和计算的值, 其值用 W/W 表示。

(14) 制热季节能效比 (HSPF) heating seasonal performance factor

在制热季节中, 机组进行制热运行时向室内送入的热量总和与消耗的电量总
和之比, 按附录 B 中所述方法试验和计算的值, 其值用 W/W 表示。

(15) 全年性能系数 (APF) annual performance factor

在制冷季节及制热季节中，机组进行制冷（热）运行时从室内除去的热量及向室内送入的热量总和与同一期间内消耗的电量总和之比，按附录 B 中所述方法试验和计算的值，其值用 W/W 表示。

2.3 能效评价指标由 IPLV 修改为 APF

2.3.1 背景和意义

20 世纪 90 年代末，日本多家企业在中国进行多联机生产和销售，大量产品进入市场，但当时国内外均无行业或国家标准，在面对一个新的产品爆发式增长却又无合适的产品标准可供遵循，制定出一个能符合实际又能突出其特点，更能以此来规范市场的产品标准，成为当务之急。

限于当时并无可供参考的相关多联机标准，仅有美国 ARI 340/360《单元式空调热泵设备的性能评定》标准，提出了一个综合性能系数 (IPLV) 的理论和公式。经过激烈讨论，工作组认为，虽然不能完全符合多联机的运行特点，但大体能够表征多联机部分负荷运行特点，即多联机 90%以上时间是运行在 50%~75%的负荷区间内。这种在部分负荷区间内能够连续低载运行、节约能源的特点可以较好地表征多联机产品能源效率。

这在 10 年以前提出采用统一的能效指标 (IPLV) 来评价不同的能力调节方式，开创了冷冻空调行业能源效率评价方法的先河。GB/T 18837-2002 一经批准实施，就显示了其强大的生命力，该标准为推动我国多联机技术发展、规范产品质量做出了重要贡献，经过 10 余年的发展，多联机产业已形成一个年产 100 万套以上，销售额超 200 亿 RMB 的巨大产业，其产销量稳居世界第一把交椅。

受此影响，韩国也借鉴中国的这一标准，于 2006 年制定了《多联式空调机和空气源热泵的测试及能效评价方法》，等效采用了中国标准 GB/T 18837.2002 的性能评价方法，该标准的国际影响力，由此可见一斑。

GB/T 18837-2002 多联式空调(热泵)机组，是我国标准中最早采用季节性指标 IPLV 值来评价制冷空调产品能源效率水平的国家标准。由于当时对季节性能效评价研究数据有限，因此，该标准中 IPLV 值的计算等效采用了 ARI 340/360 中的计算公式。

随着多联机近十几年的迅猛发展，在使用标准过程中也发现了一些问题，导致 IPLV 不能有效体现机组的能效水平。在 GB/T 18837《多联式空调(热泵)机组》标准修订时，经过综合对比各国家标准发展趋势，并结合多联机的使用特性，在 GB/T 18837-2015 标准中采用 APF 的评价方法，并在标准中细化完善内外机的测试要求，确保能有效评价机组的能效水平。

2.3.2 多联机由 IPLV 指标向 APF 指标过渡的关键问题

早期多联机性能国家标准“GB21454-2008 多联式空调热泵机组能效限定值及能效等级”采用 IPLV 作为多联机的能效指标。IPLV 指标只由制冷工况点的测试数据计算得到，不能反映多联机全年运行的综合性能。为了更加准确的衡量多联机的性能，最新的多联机性能国家标准“GB18837-2015 多联式空调热泵机组”提出以全年性能系数 APF 作为多联机的能效指标，其中 APF 通过多个工况点的能力值与输入功率运算得到。

多联机采用 APF 指标替代 IPLV 指标面临以下三个关键问题：

表 2-1 多联机能效指标问题与解决方案

问题	解决方案	工作内容	章节
多联机 IPLV 指标实际水平未知	分析 IPLV 指标提升的主要影响因素	多联机指标现状及差异化分析	2
		近年来导致多联机 IPLV 指标提升的主要因素分析	3
IPLV 与 APF 之间的对应关系未知	推导 IPLV 指标与 APF 指标换算关系	推导 APF 简化计算模型	4
		IPLV 指标与 APF 指标换算	5
多联机的 APF 指标节能潜力未知	分析多联机产品节能潜力	建立多联机产品节能潜力模型	6
		多联机产品节能潜力分析	

- 1) 目前多联机 IPLV 指标实际水平未知。近年来多联机 IPLV 的提升不仅仅是由于多联机本身的性能提高导致的，很大程度是由多联机测试规定不完善导致的。早期多联机标准 GB18837-2002 中对于 IPLV 的测试规定不完善，导致 IPLV 具有很大的弹性空间。为了准确的制订多联机 APF 限定值，分析导致的 IPLV 提升量的主要影响因素和评估多联机实际性能水平变得非常有必要。
 - 2) IPLV 与 APF 之间的对应关系未知。多联机 IPLV 指标与 APF 指标之间没有换算关系，导致多联机 APF 限定值无法确定。
 - 3) 多联机的 APF 指标节能潜力未知。在 APF 测试工况和当前多联机 APF 性能水平下，多联机的 APF 能效指标的进一步提升空间未知。目前缺少预测多联机节能潜力的模型。
- 本报告针对多联机标准由 IPLV 指标向 APF 指标过渡的三个关键问题，提出解决方案，如表 1-1 所示。

第三章 国内外能效标准能效水平对比

3.1 中国、欧盟、美国能效标准现状

由于多联机在空调季节里绝大多数时间都是在部分负荷下运行，目前，世界各国及国际标准化组织对多联机全工况条件下的综合性能的考量，都是采用季节性能系数（或指标）作为其性能评价指标。主要包括两大体系：

(1) APF 体系。包括制冷季节综合性能系数，如 CSPF、SEER；制热综合性能系数，如 HSPF、SCOP。

目前，欧盟标准采用了 SEER 和 SCOP 指标，美国对于名义制冷量小于 19kW 的机组采用 SEER、HSPF, ISO 和日本标准采用 CSPF、HSPF、APF。中国对于风冷式多联机组同样采用 CSPF、HSPF、APF。

欧盟制冷季节性能系数 SEER (seasonal energy efficiency ratio) 为全年制冷需求与全年制冷能耗的比值，是用于考核 12kW 及以下机组制冷季节能效的指标；对于 12kW 以上的机组，其对 SEER 进行了公式转换，转换为 $\eta_{s,c}$ 。

制热季节性能系数 SCOP (seasonal coefficient of performance) 为全年制热需求与全年制热能耗的比值，是用于考核 12kW 及以下机组制热季节能效的指标；对于 12kW 以上的机组，其对 SCOP 进行了公式转换，转换为 $\eta_{s,h}$ 。

美国制冷季节性能系数 SEER (seasonal energy efficiency ratio) 是在制冷季节时，机组从室内移除的热量与同一时期内消耗的电量总和之比，是用于考核制冷季节能效的指标；制热季节性能系数 HSPF (heating seasonal performance factor) 是在制热季节时，机组向室内送入的热量与同一时期内消耗的电量总和之比，是用于考核制热季节能效的指标。

中国全年能源消耗效率 APF (annual performance factor) 是在制冷季节和制热季节时，机组进行制冷（热）运行从室内除去的热量及向室内送入的热量总和与同一时期内消耗的电量总和之比。其综合了制冷季节性能系数 CSPF 及制热季节性能系数 HSPF 对机组性能进行考核。

中国 CSPF、欧盟、美国 SEER 均为制冷季节性能系数，中国、美国 HSPF、欧盟 SCOP 均为制热季节性能系数。

(2) IPLV 体系：包括 IPLV、IEER 两种评价指标。目前采用该体系的标准，均考虑了变工况条件下的部分负荷性能，不再是按平均外温下进行的部分负荷测试。

目前，中国标准对于水冷式机组采用的评价指标是 IPLV，美国对于名义制冷量大于 19kW 的机组采用 IEER，韩国标准同样采用 IEER。

美国综合制冷性能系数 IEER (integrated energy efficiency ratio) 是按规定工况测得的 4 个部分负荷下的能效比 EER 及部分负荷系数的计算值。

中国综合制冷性能系数 IPLV (integrated part load value) 是在 4 种规定工况下测得的部分负荷 EER，按机组在特定负荷下运行时间的加权因素通过计算得到的部分负荷率指标。

3.2 中国、欧盟、美国能效限值要求

(1) 中国

目前中国多联机能效标准草案中，热泵型多联式空调机组能效等级限值如下：

表 3-1 热泵型多联式空调机组能效等级 (APF)

名义制冷量 (CC) W	能效等级 / (W·h)/(W·h)		
	1 级	2 级	3 级
CC≤14000	4.90	4.35	3.60

14000 < CC ≤ 28000	4.60	4.10	3.50
28000 < CC ≤ 50000	4.30	3.70	3.30
50000 < CC ≤ 68000	4.00	3.60	3.10
68000 < CC	3.60	3.30	3.00

(2) 欧盟

欧盟现行标准为 ERP 生态设计指令，能力在 12kW 及以下实行定变频统一考核 SEER 和 SCOP，各等级能效值见表 9、表 10，其中 A+++ 级于 2019 年实施，目前最高级为 A++ 级。能力在 12kW 以上定变频统一考核 $\eta_{s,c}$ 和 $\eta_{s,h}$ 。

表 3-2 欧盟 12kW 及以下能效等级要求

能效等级要求 (W/W)		
等级	SEER	SCOP
A+++	SEER ≥ 8.50	SCOP ≥ 5.10
A++	6.10 ≤ SEER < 8.50	4.60 ≤ SCOP < 5.10
A+	5.60 ≤ SEER < 6.10	4.00 ≤ SCOP < 4.60
A	5.10 ≤ SEER < 5.60	3.40 ≤ SCOP < 4.00 (入门)
B	4.60 ≤ SEER < 5.10	3.10 ≤ SCOP < 3.40
C	4.10 ≤ SEER < 4.60 (入门)	2.80 ≤ SCOP < 3.10
D	3.60 ≤ SEER < 4.10	2.50 ≤ SCOP < 2.80
E	3.10 ≤ SEER < 3.60	2.20 ≤ SCOP < 2.50
F	2.60 ≤ SEER < 3.10	1.90 ≤ SCOP < 2.20
G	SEER < 2.60	SCOP < 1.90

表 3-3 欧盟最低能效要求 (12kW 及以下)

类型	制冷/热量 ≤ 6 kW		6 kW < 制冷/热量 ≤ 12 kW	
	SEER	SCOP	SEER	SCOP
GWP > 150	4.60	3.80	4.30	3.80
GWP ≤ 150	4.14	3.42	3.87	3.42

表 3-4 欧盟最低能效要求 (12kW 以上)

生效时间	$\eta_{s,c}$ (%)	$\eta_{s,h}$ (%)
2018.1.1 至 2020.12.31	181	133
2021.1.1 起	189	137
注: $\eta_{s,c} = \text{SEER} * 100 / 2.5$; $\eta_{s,h} = \text{SCOP} * 100 / 2.5$		

(3) 美国

美国多联机 65,000 Btu/h 以下考核季节能效, 65,000 Btu/h 及以上考核单点能效。

所有考核指标均只设定最低能效值。此外, 美国多联机制定了更高要求的“能源之星”能效要求。

表 3-5 美国最低能效限值要求

机组类型	制冷量	制热类型	最低能效
风冷多联机 热泵	<65000 Btu/h	所有	13.0 SEER 7.7 HSPF
	$\geq 65000 \text{ Btu/h and } < 135000 \text{ Btu/h}$	无制热或有电加热	11.0 EER 3.3 COP
		所有其它制热类型	10.8 EER 3.3 COP
	$\geq 135000 \text{ Btu/h and } < 240000 \text{ Btu/h}$	无制热或有电加热	10.6 EER 3.2 COP
		所有其它制热类型	10.4 EER 3.2 COP
	$\geq 240000 \text{ Btu/h and } < 760000 \text{ Btu/h}$	无制热或有电加热	9.5 EER 3.2 COP
		所有其它制热类型	9.3 EER 3.2 COP

表 3-6 美国能源之星能效限值要求 (65,000 Btu/h 以下)

组类型	能力 X, Btu/h	SEER	EER	HSPF

风冷式单冷、单相电源	< 65, 000	15	12.5	-
风冷式热泵、单相电源	< 65, 000	15	12.5	8.5
风冷式单冷、三相电源	< 65, 000	14	12	
风冷式热泵、三相电源	< 65, 000	14	11	8.2

表 3-7 美国能源之星 (65, 000 Btu/h 以上)

机组类型	能力 X, Btu/h	最低能效指标
风冷式单冷	65, 000≤X < 135, 000	12 EER; 17.4 IEER
	135, 000≤X < 240, 000	12.0 EER; 16.4 IEER
风冷式热泵 VRF (不带热回收)	65, 000≤X < 135, 000	11.8 EER; 17.4 IEER; 3.4 COP*
	135, 000≤X < 240, 000	10.9 EER; 16.4 IEER; 3.3 COP*
风冷式热泵 VRF (带热回收)	65, 000≤X < 135, 000	11.6EER; 17.2 IEER; 3.4 COP*
	135, 000≤X < 240, 000	10.7 EER; 16.2IEER; 3.3 COP*

3.3 中国、欧盟、美国能效水平对比分析

3.3.1 能效准入值对比

根据各厂家在 EUROVENT 官网列明的多联机产品数据，选取主流厂家（大金、松下、开利、三星、格力、美的、海尔）型号进行分析，列明的所有冷量共有 280 个型号， $\leq 12\text{kW}$ 以下的型号仅 6 个，占比 2.1%。可见欧盟市场 12kW 及以下的多联机产品并非主流，因此选取 12kW 以上产品的进行低能效产品能效水平分析。

3.3.2 侧出风多联机

选取一台 **14kW 制冷量** 的多联机，搭配 **4 台 3.5kW 风管内机** 分别按照中国、美国、欧盟多联机测试方法进行测试，并计算能效值。

a. 根据各国测试方法的差异，设计试验方案如下：

表 3-8 对比测试实验方案

方案	测试工况	测试点/°C			内机要求
		室外侧	室内侧	压缩机转速	
制冷	中国	35/24	27/19	名义能力	内机配置 100±5%
				中间能力	4 台 3.5kW 的内机
				最小能力	风冷比 220m³/(h·kW)
	欧盟	35/- 30/- 25/- 20/-	27/19	100%	最小制冷关闭 25% 内机
				74%	内机配置 100±5%
				47%	4 台 3.5kW 的内机
				21%	
	美国	35 /23.9 27.8/18.3 30.6/19.3 27.8/20.3 19.4/11.7	26.7/19.4	A _{Full} : 压缩机最高转速	内机配置 100±5%
				B _{Full} : 压缩机最高转速	4 台 3.5kW 的内机
				B _{Low} : 压缩机最低转速	风冷比:
				E _{Int} : 压缩机中间转速	风管 216m³/(h·kW)
				F _{Low} : 压缩机最低转速	非风管 317 m³/(h·kW)
制热	中国	7/6	20/-	名义能力	压缩机最低/中间转速
				中间能力	时关闭一台内机
				最小能力	
	欧盟	-7/-8 2/1 7/6 12/11 TOL T _{bivalent}	20/-	88%	内机配置 100±5%
				54%	4 台 3.5kW 的内机
				35%	风冷比 220m³/(h·kW)
				15%	
	美国	16.7/13.4 8.3/6.1	21.1/15.6	(T _{OL} -16)/(T _{designh} -16)	(T _{bivalent} -16)/(T _{designh} -16)
				H0 _{Low} : 压缩机最低转速	H1 _{Low} : 压缩机最低转速
					内机配置 100±5%
					4 台 3.5kW 的内机

		8.3/6.1 1.7/0.6 -8.3/-9.4		$H1_{Nom}$: 压缩机名义转速 $H2_{Int}$: 压缩机中间转速 $H3_{Full}$: 压缩机最高转速	风冷比: 风管 $216 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kW})$ 非风管 $317 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{kW})$ 压缩机最低/中间转速时关闭一台内机
--	--	---------------------------------	--	---	--

b. 按以上方案进行测试，测试数据如下：

表 3-9 测试数据

中国			
	能力 kW	功率 kW	能效
名义制冷	13.36	3.58	APF=4.85
中间制冷量	7.42	1.33	
最小制冷量	5.04	0.95	
名义制热量	15.90	3.67	
中间制热量	7.93	3.67	
最小制热量	6.84	1.35	
低温制热量	15.05	6.36	

欧盟			
	能力 kW	功率 kW	能效
制冷	A: 100%	14.07	3.94
	B: 74%	10.41	1.80
	C: 47%	6.37	0.62
	D: 21%	5.31	0.3
制热	A: 88%	14.65	5.98
	B: 54%	8.63	2.18
	C: 35%	5.39	0.7
	D: 15%	5.01	0.48

美国			
	能力 kW	功率 kW	能效
制冷 A _{Full}	14.05	4.70	SEER=18.27
制冷 B _{Full}	15.16	3.67	
制冷 B _{Low}	5.06	0.81	

制冷 E_{int}	8.00	1.59	
制冷 F_{Low}	5.50	0.56	
$H0_{Low}$	4.89	0.79	
$H1_{Nom}$	15.49	4.61	
$H1_{Low}$	3.7	0.83	
$H2_{int}$	5.35	1.79	
$H3_{Full}$	9.41	3.83	

c. 能效对比分析

以上数据是基于相同配置 14kW 的多联机按中国、欧盟和美国测试方法测试所得的数据，按以上测试及计算数据，对比如下：

表 3-10 测试数据对比

对比项目	实测值	最低能效要求	超出最低能效要求%
中国 APF	4.85	3.6	34.7%
欧盟 $\eta_{s,c}$	293.9	181	62.4%
欧盟 $\eta_{s,h}$	175.4	133	31.9%
美国 SEER	18.27	13	40.5%
美国 HSPF	9.58	7.7	24.4%

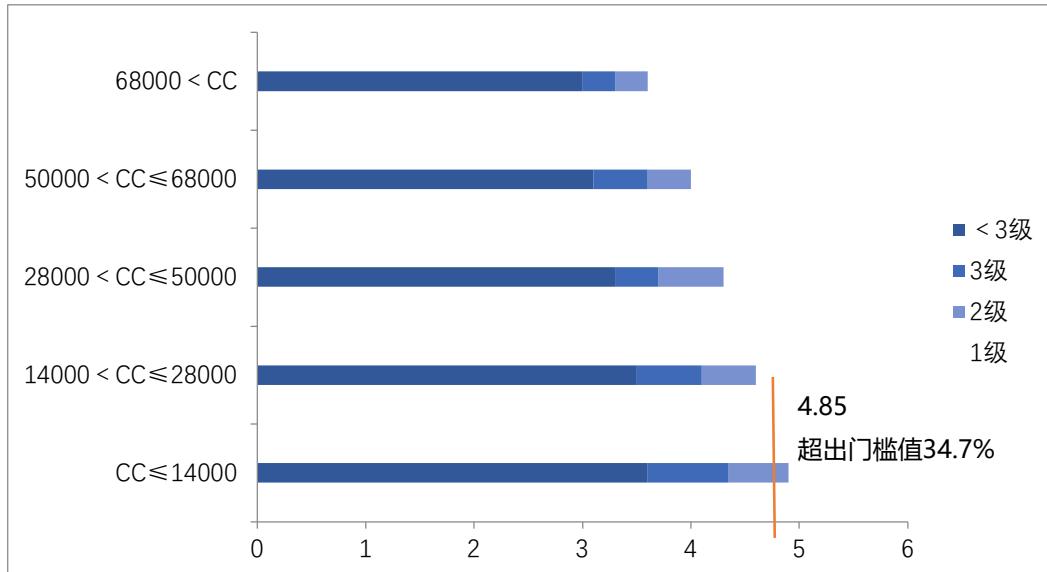


图 3-1 按中国最低能效要求进行评价

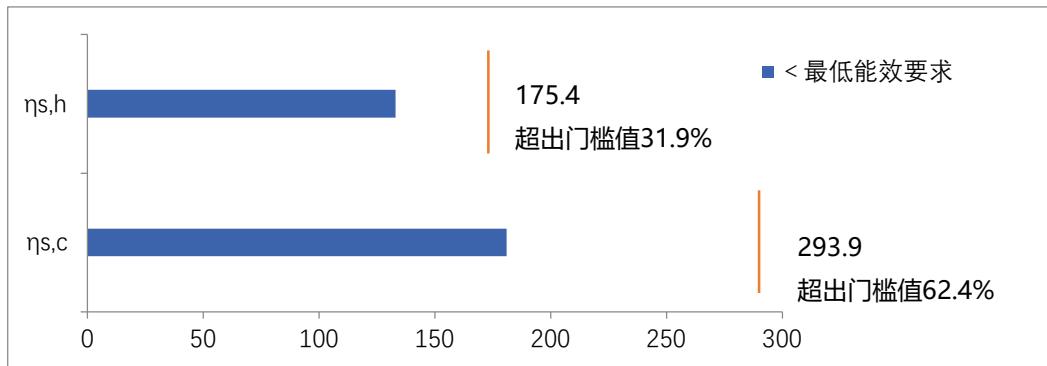


图 3-2 按欧盟最低能效要求进行评价

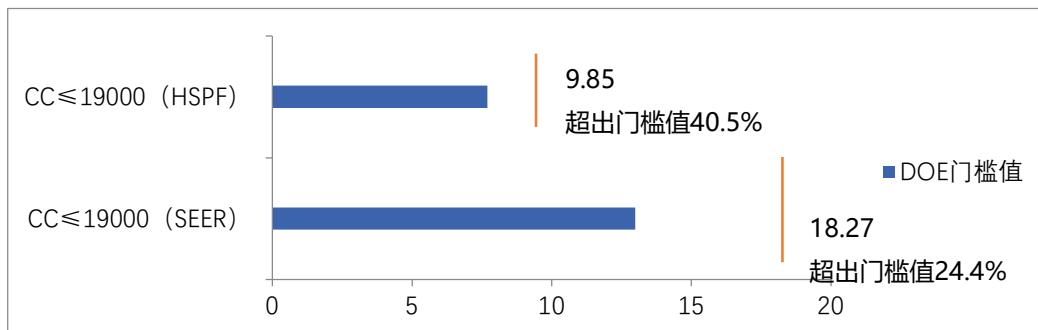


图 3-3 按美国 DOE 最低能效要求进行评价

根据上述数据可以对比看出，对于同一套机组，分别按中国、欧盟、美国标准进行测试：

中国 APF 超出目前能效标准草案的最低能效要求 34.7%；

欧盟 SCOP 超出法规最低能效要求 62.4%，SEER 超出法规最低能效要求 31.9%；

美国 HSPF 超出 DOE 法规最低能效要求 40.5%，SEER 超出 DOE 法规最低能效要求 24.4%。

3.3.3 顶出风多联机

选取一台 **22.4kW 制冷量** 的多联机，搭配 **4 台 5.6kW 风管内机**，分别按照中国、美国、欧盟多联机测试方法进行测试，并计算能效值。

A. 根据各国测试方法的差异，设计试验方案如下：

表 3-11 测试方法的差异

方案	测试工况	测试点/°C			内机要求
		室外侧	室内侧	压缩机转速	
中国	制冷	35/24	27/19	名义能力 中间能力 最小能力	内机配置 100±5% 4 台 5.6kW 的内机 风冷比 220m³/(h·kW) 最小制冷关闭 25%内机
欧盟	制冷 SEER	35/- 30/- 25/- 20/-	27/19	100% 74% 47% 21%	内机配置 100±5% 4 台 5.6kW 的内机
美国	制冷 IEER	35 /- 27.5/- 20/- 18.3/-	26.7/19.4	100% 75% 50% 25%	内机配置 100±5% 4 台 5.6kW 的内机 风冷比： 风管 216m³/(h·kW) 非风管 317 m³/(h·kW)
中国	制热	7/6	20/-	名义能力 中间能力 最小能力	内机配置 100±5% 4 台 5.6kW 的内机 风冷比 220m³/(h·kW)
欧盟	制热 SCOP	-7/-8 2/1 7/6 12/11 TOL T _{bivalent}	20/-	88% 54% 35% 15% $(T_{OL}-16)/(T_{designh}-16)$ $(T_{bivalent}-16)/(T_{designh}-16)$	内机配置 100±5% 4 台 5.6kW 的内机

B. 测试数据

按以上方案进行测试，测试数据如下：

表 3-12 测试结果的差异

中国			
	能力 kW	功率 kW	能效
名义制冷	22.49	6.82	APF=4.16
中间制冷量	11.15	2.64	
最小制冷量	0.91	0.88	
名义制热量	25.38	7.00	
中间制热量	13.12	2.57	
最小制热量	5.96	1.31	
低温制热量	21.83	9.86	

欧盟			
	能力 kW	功率 kW	能效
制冷	A: 100%	22.72	5.13
	B: 74%	16.39	2.63
	C: 47%	10.44	1.06
	D: 21%	4.91	0.18
制热	A: 88%	17.70	6.65
	B: 54%	12.59	2.53
	C: 35%	8.26	1.04
	D: 15%	9.41	0.94

美国			
	能力 kW	功率 kW	能效
100%	19.78	6.04	IEER=20.9
75%	14.92	3.14	
50%	10.29	1.26	
25%	5.36	0.57	

C. 能效对比分析

以上数据是基于相同配置 22.4kW 的多联机按中国、欧盟和美国测试方法测试所得的数据，按以上测试及计算数据，对比如下：

表 3-12 能效水平对比

对比项目	实测值	最低能效限值	超出最低能效限值%
中国 APF	4.16	3.5	18.9%
欧盟 $\eta_{s,c}$	335.5	181	85.4%
欧盟 $\eta_{s,h}$	195.6	133	47.1%
美国 IEER	20.9	17.4	20.1%

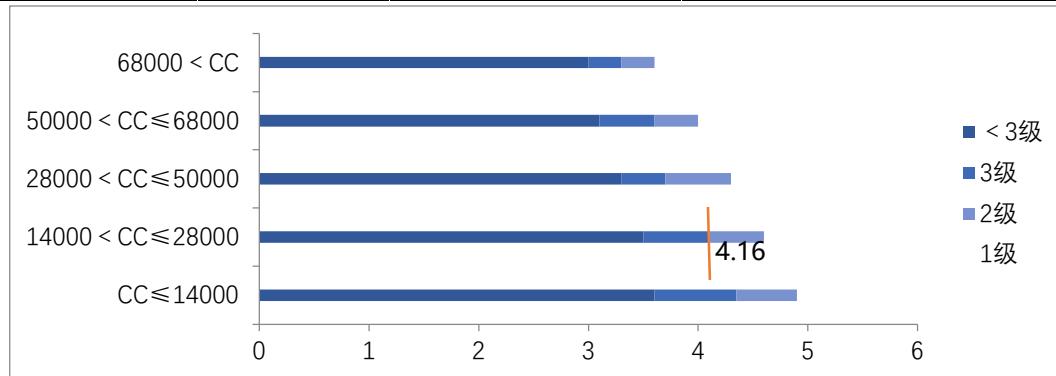


图 3-4 按中国最低能效要求进行评价

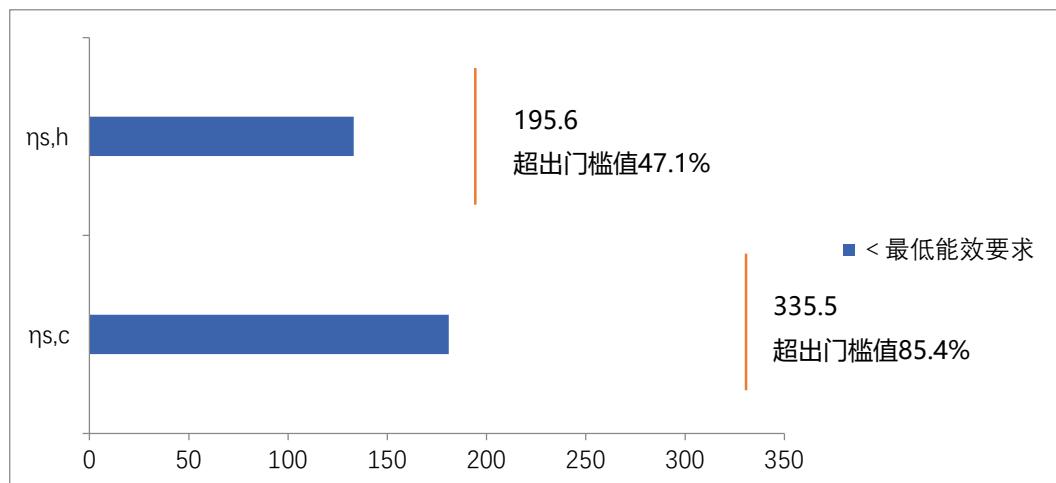


图 3-5 按欧盟最低能效要求进行评价

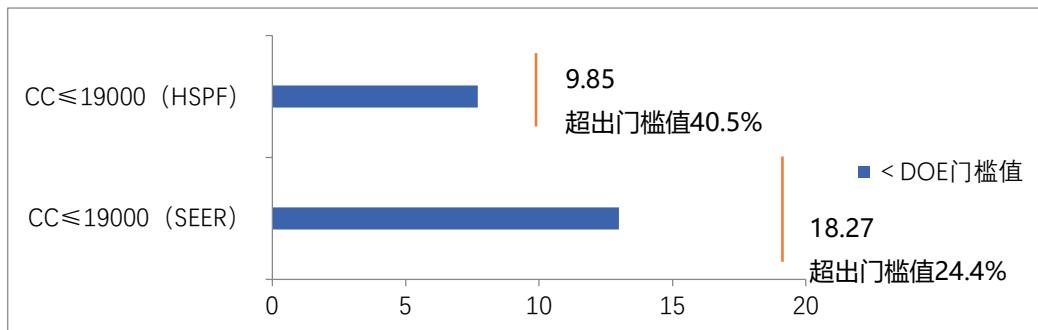


图 3-6 按美国能源之星最低能效要求进行评价

根据上述数据可以对比看出，对于同一套机组，分别按中国、欧盟、美国标准进行测试：

中国 APF 超出目前能效标准草案的最低能效要求 18.9%；

欧盟 SCOP 超出法规最低能效要求 85.4%，SEER 超出法规最低能效要求 47.1%；

美国对 19kW 以上的机组，DOE 法规对 IEER 不做要求，因此对比能源之星对 IEER 的最低能效要求，实测 IEER 超出能源之星最低能效要求 20.1%。

3.3.4 能效准入值的对比结论

同一配置的机组，14kW 多联机：

- a) 按中国标准测试，实测能效值超出最低能效要求为 34.7%；
- b) 按欧盟标准测试，制冷能效部分超出最低能效要求 62.4%、制热能效部分超出最低能效要求 31.9%；
- c) 按美国标准测试，制热能效部分超出最低能效要求 40.5%，制冷能效部分超出最低能效要求 24.4%；

同一配置的机组，22.4kW 多联机：

- a) 按中国标准测试，实测能效值超出最低能效要求为 18.9%；
- b) 按欧盟标准测试，制冷能效部分超出最低能效要求 85.4%、制热能效部分超出最低能效要求 47.1%；
- c) 按美国标准测试，美国对 19kW 以上的机组，DOE 法规对 IEER 不做要求，因此对

比能源之星对IEER的最低能效要求，实测IEER超出能源之星最低能效要求20.1%。

结论：中国能效草案的最低能效要求高于欧盟，与美国相当。

3.4 高能效限值对比

从第四部分“欧盟多联机市场情况分析看”，目前欧盟市场“ $\eta_{s,c} \geq$ 市场准入值 60%”的产品占比为 32.1%（且这部分产品中三星占据多数，其他主流多联机厂家型号较少），从市场实际情况看，达到新国标草案能效二级产品实测“ $\eta_{s,c} \geq$ 市场准入值 60%”或“ $\eta_{s,c} \geq$ 市场准入值 80%”

选取一台出口美国的 96kBtu 制冷量的多联机，分别搭配 5 台 5.4kW 风管内机和 10 台 2.7kW 天井内机测试，中国 APF 测试搭配 4 台 7kW 风管内机。

表 3-13 中美能效水平对比

美国 (风管内机), EER=11.2, COP=3.4			
	能力 kW	功率 kW	能效
100%	27.593	8.174	IEER=19
75%	20.204	4.133	
50%	13.903	1.711	
25%	6.925	0.657	
美国 (天井内机), EER=12.6, COP=3.9			
	能力 kW	功率 kW	能效
100%	27.085	6.892	IEER=26
75%	20.38	3.432	
50%	13.32	1.343	
25%	6.843	0.452	

中国			
	能力 kW	功率 kW	能效

名义制冷	27.22	8.24	APF=4.98
中间制冷量	14.55	2.83	
最小制冷量	8.18	1.44	
名义制热量	31.95	7.06	
中间制热量	17.26	2.95	
最小制热量	5.96	1.31	
低温制热量	31.44	12.11	

中美对比，同一配置的机组，96kBtu (28kW) 多联机：

- a) 按美国标准测试，部分负荷性能系数 IEER= (风管配置+天井配置) /2=22.5，超出能源之星要求 29.3%、制冷额定能效 EER= (风管配置+天井配置) /2=11.9，仅超出能源之星要求 1%，制热额定能效 COP= (风管配置+天井配置) /2=3.65，超出能源之星要求 7.4%；
- b) 按中国标准测试，实测 APF=4.98，超出草案 2 级能效 (4.1) 21.5%，1 级能效 (4.6) 8.3%；

结论：

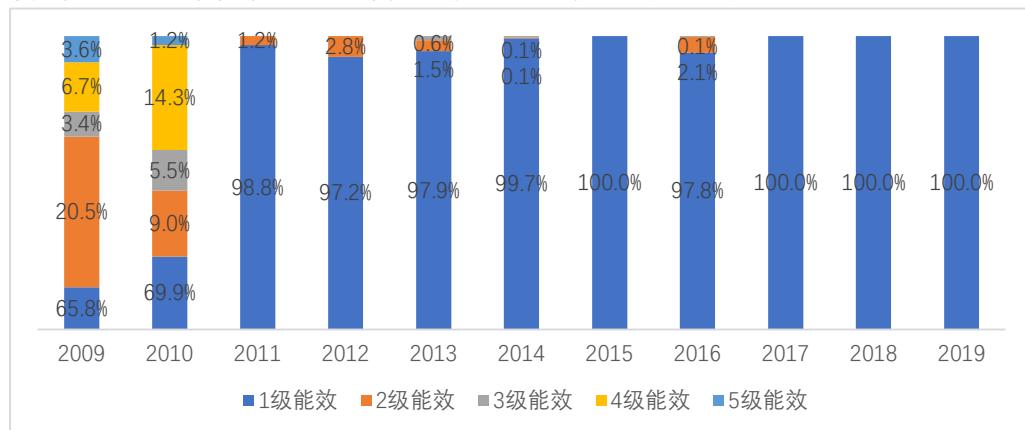
- 1) 由于美国额定点制冷、制热能效值要求较高，一般中国 APF 达到一级的产品能够满足美国能源之星要求；
- 2) 中国 2 级能效产品的季节能效 (APF) 能够满足美国能源之星 IEER 的要求；
- 3) 美国能效重点考核额定制冷、额定制热能效，而近年来中国空调、制冷产品能效考核点已经全面由额定点能效转向季节能效或全年能效。

中国和美国由于空调使用习惯差异，能效要求各有侧重点。

第四章 多联式空调（热泵）机组主要上游现状与影响

4.1 中国多联式空调（热泵）机组能效备案现状

在部件的节能发展趋势、两器结构优化加快的促进影响下，多联式空调（热泵）机组新备案产品的能效不断提升，由 2017 年的 7.32 提升至 7.72(IPLV)。我们统计从 2009 到 2019 年 2 月，多联式空调（热泵）机组累计备案数达到 7283 个，一级能效占比逐年递增；2018 年多联式空调新增备案数 1110 个，均为一级能效，能效变化趋势见下表。



数据来源：中国能效标识网，产业在线整理

图 4-1 2009 年-2019 年多联式空调（热泵）机组能效等级备案数占比结构（个数，%）

市场对节能产品的需求日渐提升，高能耗产品将加速更新换代，新备案的多联式空调（热泵）机组产品越来越集中于低能耗领域，且未来这一领域的市场竞争会越来越激烈。2019 年 1 月 -2 月，多联式空调（热泵）机组共计备案新产品 131 项，产品能效远超现行标准规定值，预计未来 5 年内多联式空调（热泵）机组新备案产品按照现行标准将全部达到一级能效。

4.2 中国多联式空调（热泵）机组产品能效分布

随着多联式空调（热泵）机组的部件技术及全工况性能不断提升，其“高基数、高能效”的产品特点更加凸显。自 2010 年开始，一级能效产品比例呈稳步上升趋势，2018 年一级能效占比接近 100%。

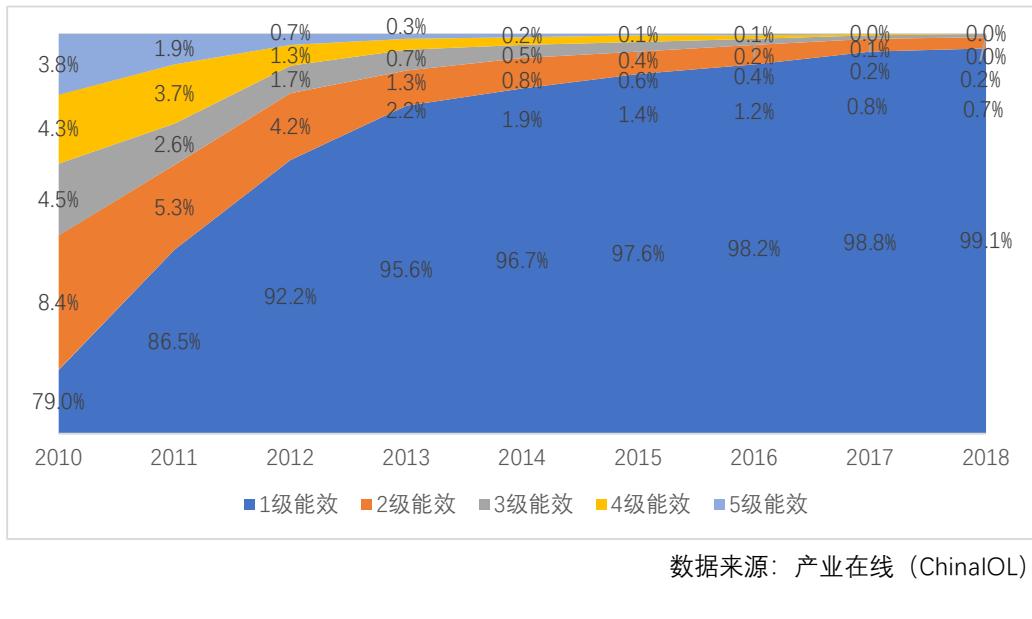


图 4-2 2010-2018 年中国多联式空调（热泵）机组产品能效分布 (%)

经济节能一直是多联式空调（热泵）机组的技术发展方向，其能效指标也在各品牌的产品竞争之中水涨船高。2018 年推出的行业新品多数远超一级能效标准，指标数值成为衡量多联式空调（热泵）机组节能性的普遍选择。在技术创新、国家引导的环境之下，预计未来 5 年内行业产品的一级能效占比将继续维持小幅上涨趋势。

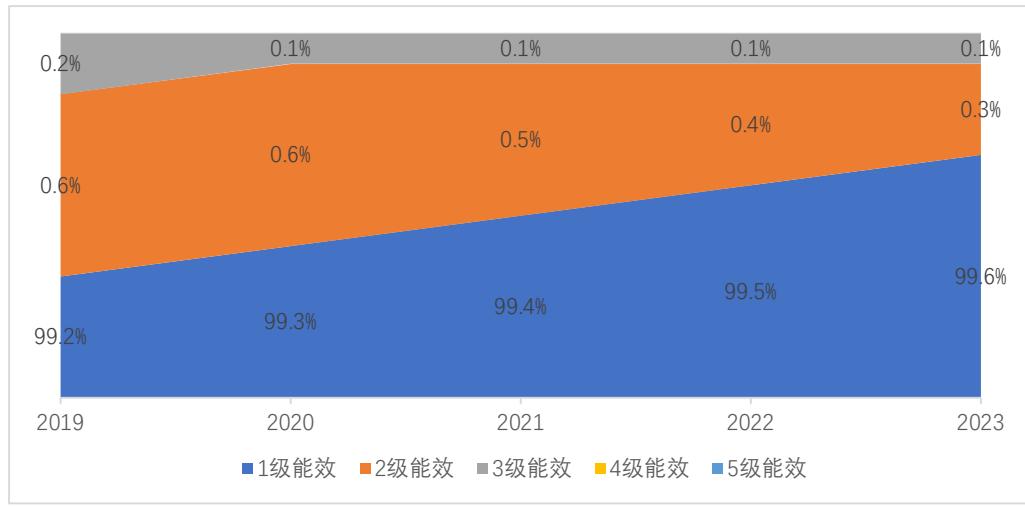
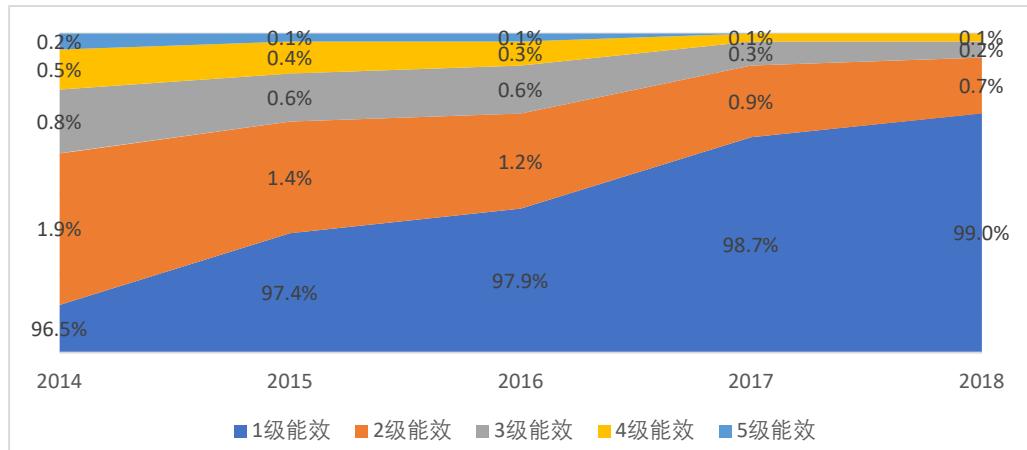


图 1 2019-2023 年中国多联式空调（热泵）机组产品能效分布预测 (%)

4.3 中国多联式空调（热泵）机组分冷量能效分布

近五年来，各冷量段多联式空调（热泵）机组一级能效产品的占比均有所增加。2017 年前家装零售市场销售火热，高能效产品占比提升相对缓慢。随着用户节能需求不断提升的趋势下，兼顾舒适与经济性的产品成为影响购买决策的主要因素，高能效的家用小多联产品

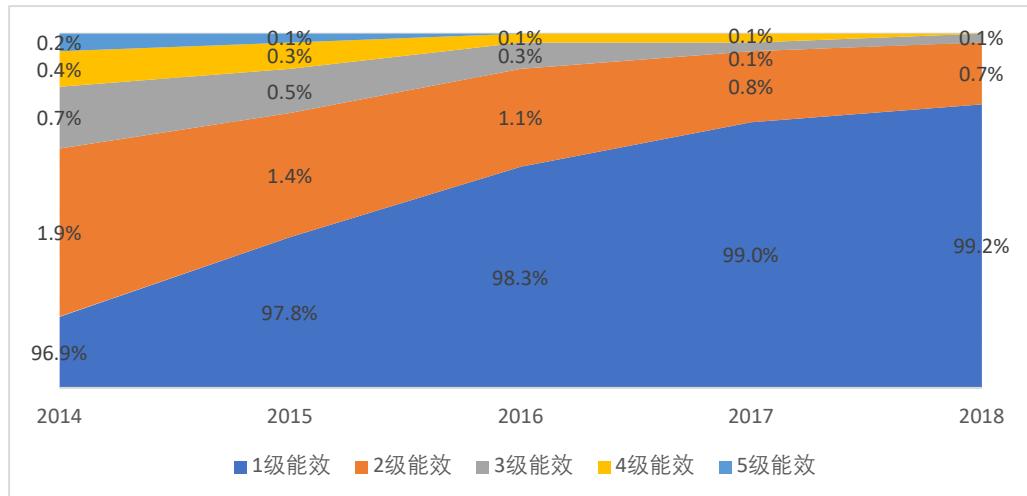
自 2017 年起整体占比快速提升，一级能效占比达到 99%。



数据来源：产业在线（ChinalOL）

图 4-4 2014-2018 年中国≤8HP 多联式空调（热泵）机组能效分布（%）

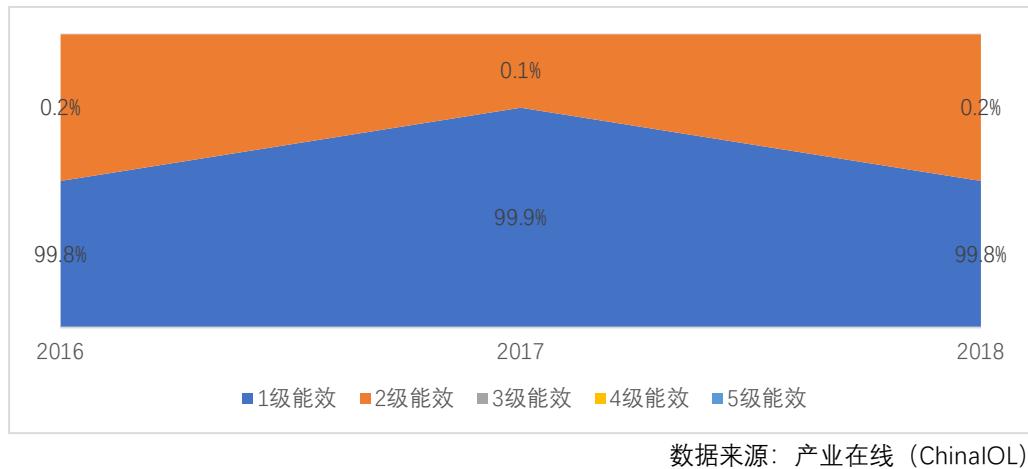
商用大多联机组近五年的一级能效占比始终高于家用小多联机组。一方面，运行成本是项目类客户空调系统选型的重要依据，而选用高能效机组可以带来直观的节能收益；另一方面，工程项目市场 2017 年以前热度较低，高能效的产品同样有利于在品牌竞争中取得优势。2018 年三级能效以下的商用大多联机组基本停售，一级能效产品比例突破 99%。



数据来源：产业在线（ChinalOL）

图 4-5 2014-2018 年中国>8HP 多联式空调（热泵）机组能效分布（%）

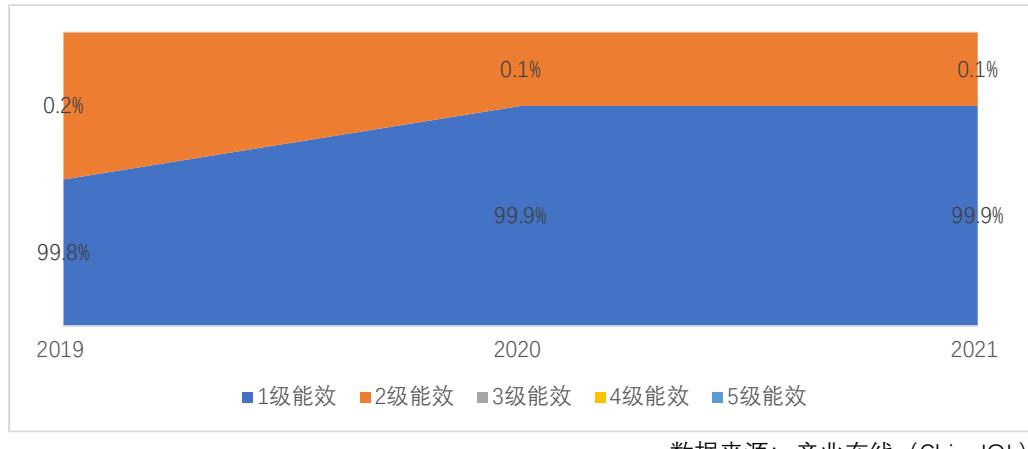
依据产业在线统计，多联式空调（热泵）机组行业 TOP6 品牌销售量合计占 2018 年中国多联式空调（热泵）机组市场总销售量的 81.7%。上述企业 2016-2018 年的一级能效产品占比稳定在 99.8% 左右，均高于行业水平，三级及以下能效产品已退出市场。仅个别二级能效产品在网上渠道销售。



数据来源：产业在线（ChinalOL）

图 4-7 2016-2018 年中国多联式空调（热泵）机组 TOP6 品牌能效分布（%）

以上六家企业产品研发实力强劲，在节能技术方面领衔行业发展，2013 年后均没有二级及以下能效多联机新品备案。目前据我们了解，上述企业非一级能效产品基本停止生产，在售产品多数为经销商的库存余量。我们认为顺应市场发展趋势，未来两年内其他品牌的高能耗产品将通过促销的方式逐步退出市场，2021 年前后 1 级能效产品占比将更加趋近 100%。



数据来源：产业在线（ChinalOL）

图 4-8 2019-2021 年 F 中国多联式空调（热泵）机组 TOP6 品牌能效分布占比预测（%）

4.4 多联式空调（热泵）机组市场驱动力分析

2018 年，中国多联式空调（热泵）机组整体市场销售额同比增长约 12.8%，销售规模突破 500 亿元，创造新的历史记录。主要驱动力源自两方面：需求导向层面，多联式空调（热泵）机组凭借外机数量较少、舒适节能的产品优势适应市场发展变化；环境导向层面，政策导向给予多联式空调（热泵）机组更广阔的市场空间，行业厂商分析用户需求迎合市场变化，密集推出新品加快渠道建设，通过“多机型匹配、多领域覆盖”的产品格局进一步提升产品影响力。

1) 产品优势

近期多联式空调（热泵）机组新品多数着眼于舒适性能提升，集中优化送风风速、运行噪音等用户关注点，把使用体验作为新品的核心卖点展开推广布局。在空调产品的使用普及之下，调节房间内的冷暖负荷已成为空调的基本功能，在缔造“精准、恒定、低噪、节能”的产品性能层面上，多联式空调（热泵）机组相较于其他品类空调产品优势明显。

2) 竞品对比

同单元机对比

单元机主要应用于住宅客厅及商铺，以较高的性价比作为主要卖点，也因成本限制单元机在舒适度层面表现稍显逊色。相较于单元机，多联式空调（热泵）机组在温差控制、运行噪声等方面表现更加出色，在居住率较高、面积较大、空调机组使用需求较为频繁的场合将给予用户更加优越的使用体验。

同家用空调对比

家用空调一般采用不同房间分别配置的形式，家庭使用较为普及，在安装方式与设备成本等方面得到用户普遍接受。同家用空调相比，多联式空调（热泵）机组主要有以下三点显著优势：

- 1.新建住房预留的空调外机位置数量较少，多联式空调（热泵）机组一拖多的产品特点使其有效满足各房间不同的负荷条件。
- 2.针对不同的环境参数需求，多联式空调（热泵）机组的非标定制需求日渐提升。厨房多联机、低温多联机相继问世，令不同条件下的空调解决方案更加专业、更具针对性。
- 3.多联式空调（热泵）机组室内机普遍采用风机盘管吊顶暗装形式，令室内装修效果更加美观，同柜机相比更加节省使用空间，提高室内空间的整体利用率。

在用户愈发注重舒适体验、企业减税降费政策的加快实施等有利条件的利好之下，目前已有一些企业通过家用空调渠道销售家用小多联产品以期拓展市场空间，可以预见多联式空调（热泵）机组将在 2019 年进一步加快市场布局。

3) 能效

我国建筑能耗占全社会总能耗的比例已达到 35% 左右，其中暖通空调能耗约占建筑能耗的 65%，要实现《巴黎协定》中 2050 年碳排放总量 35 亿吨的目标，降低能耗势在必行。通过电机、冷媒、压缩机等关键部件的优化升级，多联式空调（热泵）机组相较其他竞争产品率先实现一级能效产品基本覆盖，较高的能效数值将进一步降低设备使用成本，更符合市场

的需求导向。

同单元机对比

因主要考虑产品性价比，选用单元机的用户更加注重空调设备的装修效果，定频单元机产品市场份额可观，其他产品以变频技术作为主要节能措施，其他创新技术应用较少。单元机在售产品以二级、三级能效为主，比例约为 2: 3，与多联式空调（热泵）机组普遍超一级能效的现状对比明显。在同等情况下，多联式空调（热泵）机组可节省近 30% 的电耗，节能效益显著。

同家用空调对比

2018 年家用空调内销市场定变频占比约为 2: 3，产品变频化升级进程缓慢。其中，定频产品三级能效销量占比超过 90%，三级能效新品备案数量占到全年的 89%；变频产品三级能效销量占比为 61%，但一级能效新品备案数量比例快速增长，2018 年占比接近 50%。因市场需求差异，家用空调与多联式空调（热泵）机组产品能效比例差异较大，能效并不是家用空调的主要侧重点。随着家用空调新能效标准的出台实施，目前市场的 3 级能效产品将面临淘汰，变频技术与新节能技术的研发进度将明显加快。

4) 利好政策

2018 年建筑节能改造进程加快推进，装配式建筑全装修、新建商品房精装修政策稳步实施，多联式空调（热泵）机组迎来宏观层面的环境利好。机会市场方面，空调机组更新改造项目的持续火热、新一轮基础设施的立项开工令多联式空调（热泵）机组后市潜力可观，相关规范政策的出台实施将规范市场竞争秩序，引导市场良性发展。

表 4-1 2018 年多联式空调（热泵）机组主要宏观政策汇总

《打赢蓝天保卫战三年行动计划》印发
国务院印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，指出 2018-2020 年期间，提高能源利用效率。健全节能标准体系，大力开发、推广节能高效技术和产品，实现重点用能行业、设备节能标准全覆盖。因地制宜提高建筑节能标准，加大绿色建筑推广力度，引导有条件的地区和城市新建建筑全面执行绿色建筑标准。推进既有居住建筑节能改造，重点推动北方采暖地区有改造价值的城镇居住建筑节能改造。
GB/T 9237-2017《制冷系统及热泵安全与环境要求》正式实施
GB/T 9237—2017《制冷系统及热泵安全与环境要求》(以下简称“GB/T 9237-2017”)于 2018 年 7 月 1 日正式实施。GB/T 9237-2017 是在 GB 9237-2001 的版本上进行的修订，其修改采用国际标准 ISO 5149：2014《制冷系统及热泵安全与环境要求》。GB/T 9237-2017 规定了可燃性制冷剂使用的门槛，该标准的颁布为促进环保型替代制冷剂的市场化应用和推广奠定了基础。
《装配式建筑评价标准》实施
《装配式建筑评价标准》自 2018 年 2 月 1 日起实施，原国家标准《工业化建筑评价标准》GB/T51129-2015 同时废止。装配式建筑评价应符合下列规定：设计阶段宜进行预评价，并应按设计文件计算装配率；项目评价应在项目竣工验收后进行并按竣工验收资料计算装配率和确定评价等级。装配式建筑应同时满足下列要求：主体结构部分的评价分值不低于 20 分；围护墙和内隔墙部分的评价分值不低于 10 分；采用全装修；装配率不低于 50%。
国家发改委重启城轨审批
2017 年 8 月，国家发改委在全国范围内暂停了城市轨道交通建设规划审批工作，2018 年 7 月 17 日，发改委重新启动城市轨交规划审批工作，审议通过了长春市第三期城市轨道交通建设规划，与此同时，今年的 52 号文将申报地铁城市的人口、公共预算收入、政府债务等 12 道“门槛”大幅提高，如对地区生产总值 GDP 的指标要求从原有的 1000 亿元变成了 3000 亿元，翻了三倍。
《多联机更新行业应用标准》启动制定
7 月 12 日，《多联机更新行业应用标准》启动会在银川开启，该标准是由海尔中央空调牵头，联合中国建筑科学研究院和学会专家等共同参与制定的行业标准。通过对改造前各项条件核定、改造中施工标准核准和改造后满足能效标准等进行规范，共同推动公共建筑更新改造市场的节能升级。

4.5 技术驱动

多联式空调(热泵)机组市场的快速发展,同样促进了产品部件与控制系统的革新升级。搭载喷气增焓、直流变频等先进技术的压缩机近几年发展迅速,有效提升了多联机的最大功率与运转性能;智能化发展进程加快,物联网技术赋予多联机产品自我检测调节的能力,给予用户更便捷的使用体验;环境保护政策的促进下,低 GWP 技术推进下新品制冷剂相继问世,应用环保冷媒的多联机将更加符合发展趋势与产品需求。

1) 直流变频技术

直流变频压缩机转子采用稀土永磁材料制作而成,定子产生旋转磁场与转子永磁磁场直接作用,实现压缩机运转,并通过改变送给电机的直流电压来改变电机转速。因直流变频压缩机不存在定子旋转磁场对转子的电磁感应作用,克服了交流变频压缩机的电磁噪音与转子损耗,故运行效率相较交流变频压缩机高 10%-30%,噪音低 5-10 分贝,契合多联式空调(热泵)机组强调经济性、舒适性的发展趋势。

2) 喷气增焓技术

喷气增焓技术通过中间压力吸气孔吸入一部分中间压力的气体,与经过部分压缩的冷媒混合再压缩,以单台压缩机实现两级压缩,增加了冷凝器中的制冷剂流量,加大了主循环回路的焓差,进而使压缩机的效率得到有效提高。该技术有效提高低负荷下的运行能效,使多联式空调(热泵)机组的负荷运行范围进一步扩大;严寒下制热能力的显著提升,令多联式空调(热泵)机组的工况温度得到极大拓展,产品市场覆盖至北方严寒地区。

3) 物联网技术

智能家居产品的发展使其不仅需要满足一些基本的需求,更要求智能家居系统在功能扩展、外延等方面实现一键化操作。在此背景下,安装物联网模块的多联机组应运而生,结合大数据云平台实现“终端-用户-设备”的信息互联。在用户层面,物联网多联机组采集运行时的终端数据,使用平台数据分析功能提出省电运行方案与网络运维服务,并通过手机等移动平台实现对空调系统的运行监控及远程控制;在企业层面,物联网平台可以解决仓储管理、物流跟踪等诸多难题,实现“生产、销售、安装、使用”全流程的联网控制。

4) 低 GWP 技术

《蒙特利尔议定书》的制订,标志着消耗臭氧层物质的削减使用成为国际社会共识,促进了制冷剂的环保化发展进程。制冷空调行业目前大力推进 HFC-32、HFOs、CO₂、HC-290 等低 GWP 技术的应用,使用 R32、R290 等环保冷媒的多联机新品相继推向市场。在环境保护政策加快落实的利好之下,HCFC-22 制冷剂的淘汰进程将显著加快,搭载新冷媒的多联机组将成为节能改造、政府公建等项目的主流选择。

第五章 多联机能效评价方法 IPLV 和 APF 对比分析

5.1 多联机能效指标研究技术路线

多联机的能效指标对比研究的技术路线分为三步：1)分析多联机 IPLV 主要影响因素，评估多联机 IPLV 指标的真实水平；2)建立多联机 IPLV 和多联机 APF 的换算模型，给出合理的多联机 APF 与 IPLV 换算结果；3)通过多联机的理论循环建立多联机产品的节能潜力模型，计算多联机产品的节能潜力，如图 1-1 所示。

(1) 多联机 IPLV 指标提升的主要影响因素分析：

根据现有的多联机国家性能标准和多联机国家能效标准，分析 IPLV 指标的测试工况，计算方法与 APF 指标的差异。分析多联机 IPLV 指标提升的主要影响因素，并建立多联机 IPLV 与各个影响因素的关系式。根据 IPLV 指标的测试规定，计算 IPLV 指标的变化空间。根据现有的多联机部件的性能水平，评估多联机 IPLV 指标的真实水平。

(2) 多联机 APF 与 IPLV 换算推导与分析：

根据 GB/T18837-2002，将多联机 IPLV 推导成关于 EER 的函数。IPLV 与 EER 的换算关系的推导，可以基于 GB18837-2002 附录 A 中的计算案例进行推导。

基于 GB/T18837-2015，将多联机 APF 的原始隐式定义式转化为显式公式；其次将表达式尽可能简化。APF 转换成显式计算式的思路是，先通过消元将 APF 计算公式中的隐式变量 $CSTL$ 、 $HSTL$ 、 $CSTE$ 和 $HSTE$ 分别推导为显式表达式，然后将这些显式表达式带入 APF 定义式。APF 简化的思路是首先将形式复杂的变量 $CSTE$ 和 $HSTE$ 进行拟合，得到形式简单的 $CSTE_{fit}$ 和 $HSTE_{fit}$ ，然后将形式简单的 $CSTE_{fit}$ 和 $HSTE_{fit}$ 代入 APF 显式计算公式，得到简单的 APF 计算式。

首先建立多联机 IPLV 和多联机 APF 的换算模型；然后根据换算模型计算现有多联机的能效等级差距，并提出多联机能效指标对比方法；最后根据现有多联机能效及运行参数的调研结果，推荐合理的多联机 APF 等级限定值。

(3) 多联机产品节能潜力推导与分析：

通过多联机的理论循环建立多联机产品的节能潜力模型，根据市场中调研结果和建立的潜力模型，计算多联机产品的节能潜力。

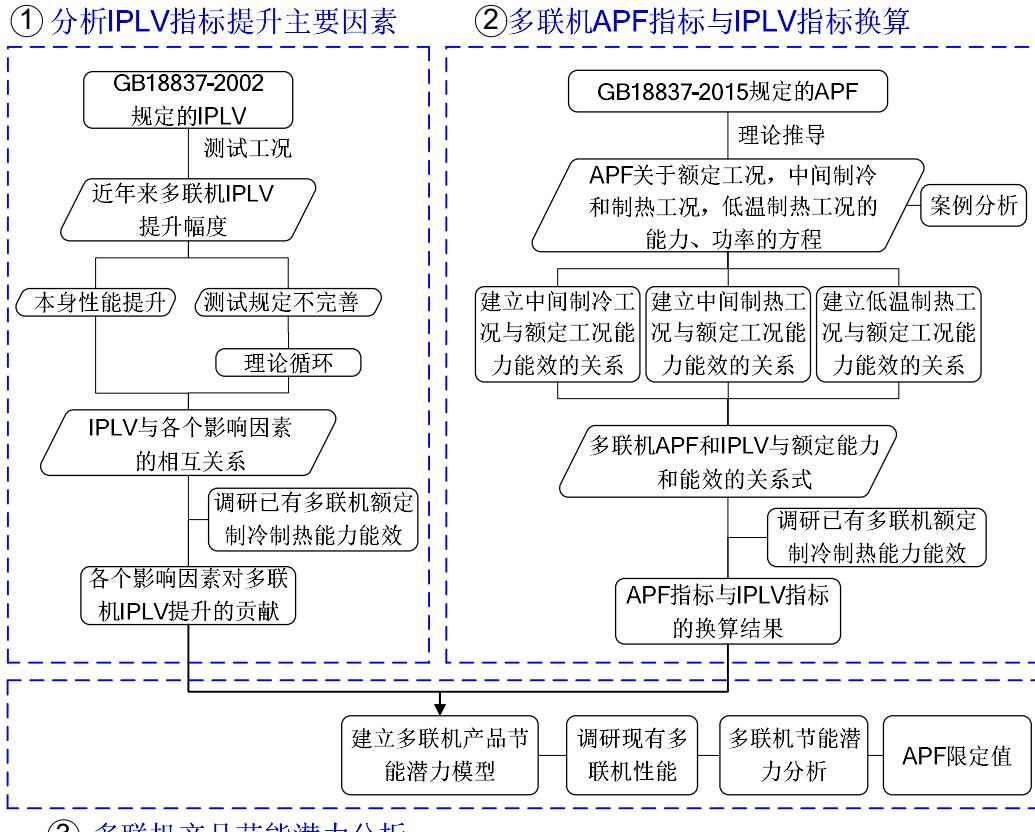


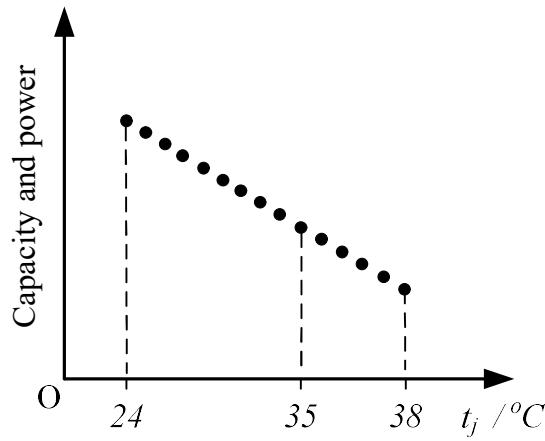
图 5-1 多联机能效指标对比分析技术路线

5.2 多联机 IPLV 指标与 APF 指标差异性分析

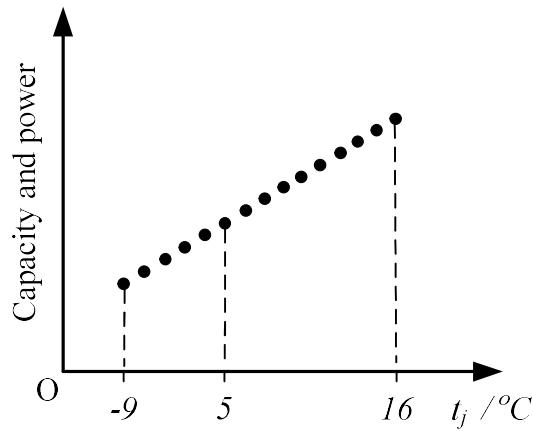
1) 运行工况点差异

IPLV 指标只涉及 $27/27^{\circ}\text{C}$ 这一个运行工况，即室内温度和室外温度均为 27 度。由于空调器在全年周期内运行，室外温度会发生剧烈变化，导致空调器的实际运行工况并非只是 $27/27^{\circ}\text{C}$ 这一个工况。所以 IPLV 指标已经无法合理的衡量空调器的全年运行特性。

APF 指标涉及 15 个制冷工况和 26 个制热工况，如图 2-2 所示。这些运行工况已经能够涵盖绝大部分的空调器的全年运行环境，使得 APF 指标能够更加贴切的衡量空调器的实际运行特性。



(a) 制冷测试工况室外温度点



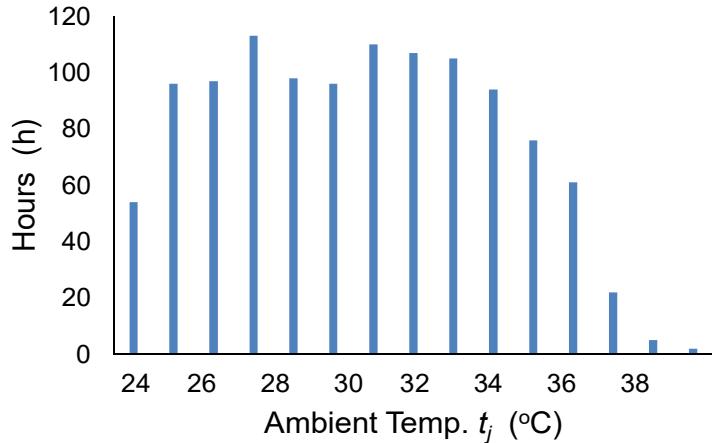
(b) 制热测试工况室外温度点

图 5-2 APF 指标涉及的运行工况点

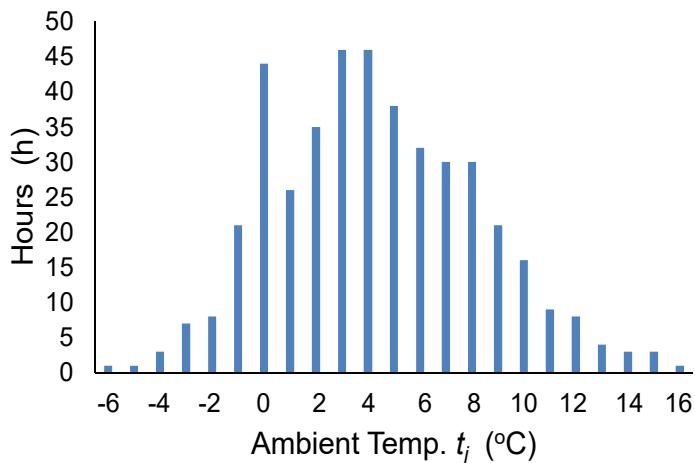
2) 运行小时数差异

IPLV 指标没有运行小时数的概念。由于空调器全年在不同的室外环境温度下运行，并且每个环境温度下的运行时间还不同，这就导致了 IPLV 指标无法合理并且准确的衡量空调器的实际能效。

APF 指标由运行小时数加权得到，如图 2-3 所示。APF 的运行小时数是通过调研全国各地的空调运行时间得到的，能够代表空调器的全年使用特点。



(a) 制冷工况各室外温度点对应的小时数



(b) 制热工况各室外温度点对应的小时数

图 5-3 APF 指标使用的运行小时数

3) 测试工况差异

IPLV 指标只测试额定制冷工况点，并以该点的能效代替空调器全年的运行能效。

APF 能效指标测试 3~7 个工况点。APF 能效指标的测试工况涵盖制冷工况、制热工况和低温制热工况，更加全面的反映空调器的实际运行特性，如表 2-1 所示。在 APF 的计算过程中，APF 的测试工况通过插值得到空调器在所有环境温度下的运行性能，如图，如图 2-4 所示。APF 通过对所有环境温度下的运行性能进行加权，从而更加贴近空调器的实际运行能效。

表 5-1 房间空调器能效指标 APF 的测试工况

测试工况	制冷量	制冷消耗功率
额定制冷	全负荷 $\phi_{cr(35)}$ (实测制冷量)	全负荷 $P_{cr(35)}$ (实测制冷消耗功率)
	中间负荷 $\phi_{haf(35)}$ (实测制冷量)	中间负荷 $P_{haf(35)}$ (实测制冷功率)
	最小负荷 $\phi_{min(35)}$ (实测制冷量)	最小负荷 $P_{min(35)}$ (实测制冷功率)
额定制热	$\phi_{full(7)}$ (实测制冷量)	$P_{full(7)}$ (实测制热消耗功率)
	中间负荷 $\phi_{haf(7)}$ (实测制热量)	中间负荷 $P_{haf(7)}$ (实测制热功率)
	最小负荷 $\phi_{min(7)}$ (实测制热量)	最小负荷 $P_{min(7)}$ (实测制热功率)
低温制热	$\phi_{def(2)}$ (实测制冷量)	$P_{def(2)}$ (实测制热功率)

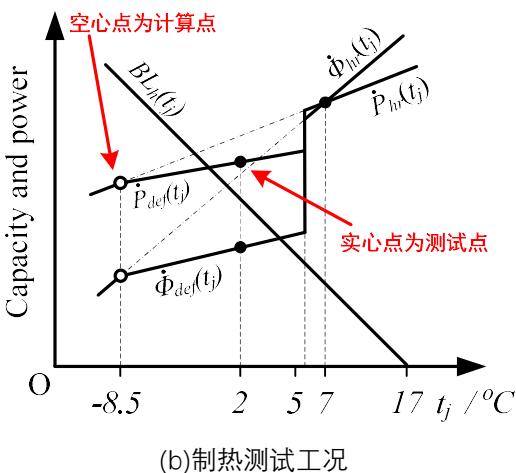
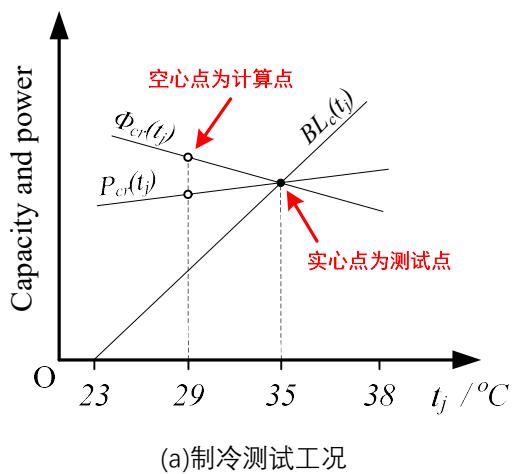


图 5-4 APF 指标测试多个工况点

5.3 多联机 IPLV 指标与 APF 指标换算

1) 由 IPLV 值计算多联机 APF 思路

图 5-1 示出了由 GB/T 21454-2008 的 IPLV 计算 GB/T 18837-2015 多联机 APF 的思路。

1)根据 GB/T 21454-2008 中 IPLV 的定义式，反推每级 IPLV 能效等级限定值对应的 27 度工况下的能效比 EER_(27°C); 2)根据 GB/T 18837-2015 中对额定制冷能效线性插值的方法，由 27 度工况下的能效比 EER_(27°C)推导 35 度工况下的额定制冷能效 EER_(35°C); 3)假设多联机的制热能效 COP_(7°C)和 COP_(2°C)，并根据 GB/T 18837-2015 计算 APF。

第一步：反推 27 度工况下的能效比 EER_(27°C)的方法是首先拟合 EER_(27°C)与负荷百分比的关系，如公式 5-1 所示；将 EER_(27°C)带入 IPLV 定义式计算 IPLV 值，通过迭代不断修正公式 5-1 中的 k 值，直到计算出的 IPLV 值达到 GB21454-2008 中的能效等级限定值。公式 5-1 中的系数 a, b, c 经过第一次拟合后就不在变化。

$$EER_{(27^\circ\text{C})} = k(Q^3 + aQ^2 + bQ + c) \quad (5-1)$$

第二步：通过线性插值由 27 度工况下的能效比 EER_(27°C)推导 35 度工况下的额定制冷能效 EER_(35°C)，如公式 5-2 所示。线性插值按照 GB18837-2015 中能力和功率的插值斜率计算，如公式 5-3 所示。实际上 35 度工况下实测的制冷能效 EER_(35°C)与插值计算的制冷能效存在偏差，如公式 5-4 所示。导致这个偏差的原因有：1)压缩机效率降低在高温工况下变低，导致制冷能效降低；2)35 度工况下的多联机系统匹配与 27 度工况的不同，使得 35 度工况下的多联机系统未达到最优性能。待定系数 a_1 和 a_2 通过调研得到。

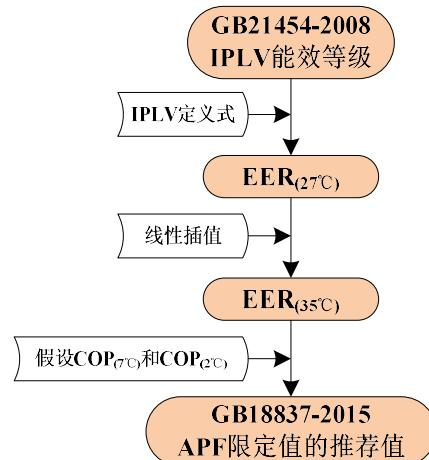


图 5-5 由 IPLV 值计算多联机 APF 思路

$$\begin{cases} \phi_{(27)} = \phi_{(35)} + \frac{\phi_{(29)} - \phi_{(35)}}{35 - 29} \times (35 - 27) \\ P_{(27)} = P_{(35)} + \frac{P_{(29)} - P_{(35)}}{35 - 29} \times (35 - 27) \end{cases} \quad (5-2)$$

$$\begin{cases} \phi_{(29)} = 1.077 \times \phi_{(35)} \\ P_{(29)} = 0.914 \times P_{(35)} \end{cases} \quad (5-3)$$

$$a_1 \leq \frac{EER_{(35),\text{test}}}{EER_{(35),\text{cal}}} \leq a_2 \quad (5-4)$$

第三步：假设多联机的制热能效 $COP_{(7^\circ\text{C})}$ 和 $COP_{(2^\circ\text{C})}$ ，并计算 APF。其中额定制热工况的能力和能效的变化范围和低温制热工况的能力能效如公式 5-5 所示。待定系数 a_3 至 a_{10} 通过调研得到。

$$\begin{cases} a_3 \leq \frac{\phi_{(7^\circ\text{C})}}{\phi_{(35^\circ\text{C})}} \leq a_4; \quad a_5 \leq \frac{COP_{(7^\circ\text{C})}}{EER_{(35^\circ\text{C})}} \leq a_6 \\ a_7 \leq \frac{\phi_{(2^\circ\text{C})}}{\phi_{(7^\circ\text{C})}} \leq a_8; \quad a_9 \leq \frac{COP_{(2^\circ\text{C})}}{COP_{(7^\circ\text{C})}} \leq a_{10} \end{cases} \quad (5-5)$$

2) 多联机性能参数调研

多联机的额定制冷、制热性能参数通过市场调研得到，如表 5-1 所示。

表 5-2 额定制冷、制热工况性能参数的调研结果

机型	Φ_{cr} (W)	Φ_{hr} (W)	Φ_{def} (W)	EER	COP	COP_{def}
1	14150	16980	13584	3.50	3.59	2.87
2	15224	16746	15072	3.70	4.44	3.70
3	16440	19728	19925	3.30	3.63	2.79
4	16440	18084	14467	3.20	3.04	2.43
5	24253	29104	26193	2.80	2.87	2.39
6	24253	26678	26945	3.45	4.14	3.18
7	28420	34104	27283	3.37	3.71	2.97
8	28420	31262	28136	3.46	3.29	2.74
9	45200	54240	54782	3.70	3.79	2.92

10	45200	49720	39776	3.30	3.96	3.17
11	47540	57048	51343	3.20	3.52	2.93
12	47540	52294	52817	2.80	2.66	2.05
13	72400	86880	69504	3.45	3.54	2.83
14	72400	79640	71676	3.37	4.04	3.37
15	87500	105000	106050	3.65	4.02	3.09
16	87500	96250	81813	3.78	3.59	3.12

由调研结果可知，多联机额定制冷能效 $EER_{(35^\circ\text{C})}$ ，额定制热能效 $COP_{(7^\circ\text{C})}$ 和低温制热能效 $COP_{(2^\circ\text{C})}$ 的变化范围如公式 5-6 和公式 5-7 所示。

$$0.7 \leq \frac{EER_{(35),\text{test}}}{EER_{(35),\text{cal}}} \leq 1.1 \quad (5-6)$$

$$\begin{cases} 1 \leq \frac{\phi_{(7^\circ\text{C})}}{\phi_{(35^\circ\text{C})}} \leq 1.2; & 0.8 \leq \frac{COP_{(7^\circ\text{C})}}{EER_{(35^\circ\text{C})}} \leq 1.2 \\ 0.7 \leq \frac{\phi_{(2^\circ\text{C})}}{\phi_{(7^\circ\text{C})}} \leq 0.9; & 0.7 \leq \frac{COP_{(2^\circ\text{C})}}{COP_{(7^\circ\text{C})}} \leq 0.8 \end{cases} \quad (5-7)$$

3) 多联机 IPLV 指标与 APF 指标换算

为了分析常用的多联机的 IPLV 和 APF 之间的关系，额定制冷量的变化范围在 7.1kW 和 28kW 之间。多联机的 APF 采用三点法计算，需要测试额定制冷，中间制冷，最小制冷，额定制热，中间制热，最小制热和低温制热共计 7 个工况。

根据 GB21454-2008 的规定，额定制冷量 7.1kW 和 28kW 之间的空调器的 IPLV 能效等级值分别为：3.6(一级能效)，3.4(二级能效)，3.2(三级能效)，3.0(四级能效)，2.8(五级能效)。各级能效在最佳制热工况和最差制热工况两种条件下的 APF 值如表 5-2 所示。其中最佳制冷、制热工况的能力能效均取公式 5-6 和公式 5-7 的上限值；最差的能力能效均取公式 5-6 和公式 5-7 的下限值。

计算结果表明，多联机的 APF 指标比 IPLV 指标低 4%~40% 左右。当多联机制热性能较好时，多联机的 APF 指标仅比 IPLV 指标低 4% 左右；当多联机的制热性能较差时，多联机的

APF 指标仅比 IPLV 指标低 40% 左右。

表 5-3 不同能效等级的 IPLV 对应的 APF 值

IPLV	27 度工况 全负荷 EER	制冷、制热 性能	GB18837-2015	能效指标
			APF	变化比例
9	6.681	最优	8.616	-4.3%
		最差	5.316	-40.9%
7.5	5.564	最优	7.175	-4.3%
		最差	4.466	-40.5%
6	4.463	最优	5.756	-4.1%
		最差	3.614	-39.8%
5	3.713	最优	4.789	-4.2%
		最差	3.024	-39.5%
4.5	3.34	最优	4.308	-4.3%
		最差	2.729	-39.4%
4	2.985	最优	3.849	-3.8%
		最差	2.445	-38.9%
3.5	2.596	最优	3.348	-4.3%
		最差	2.133	-39.1%
3	2.245	最优	2.896	-3.5%
		最差	1.85	-38.3%
2.5	1.862	最优	2.402	-3.9%
		最差	1.539	-38.4%

注：最优制冷制热时，能力能效均取公式 5-6 和公式 5-7 的上限值；最差制冷制热时，能力能效均取公式 5-6 和公式 5-7 的下限值

4) IPLV 及 APF 评价方法差异

综合性能系数 IPLV (integrated part load value) 是按规定工况测得的 4 个部分负荷

下的能效比 EER 及部分负荷系数 PLF 计算的值，计算方式如下：

$$IPLV = (PLF_1 - PLF_2)(EER_1 + EER_2)/2 + (PLF_2 - PLF_3)(EER_2 + EER_3)/2 + (PLF_3 - PLF_4)(EER_3 + EER_4)/2 + (PLF_4)(EER_4)$$

全年能源消耗效率 APF (annual performance factor) 是在制冷季节和制热季节时，机组进行制冷(热)运行从室内除去的热量及向室内送入的热量总和与同一时期内消耗的电量总和之比，计算方式如下：

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

两者都是用于评价季节能效的指标。

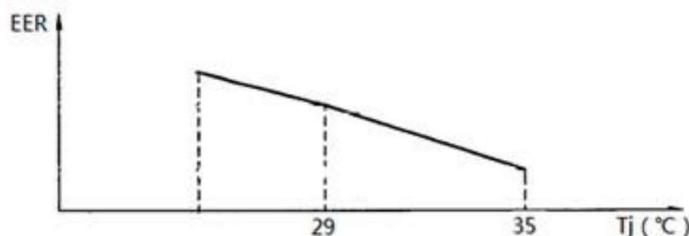
IPLV 和 APF 的差异主要体现在测试方法中，具体如下：

(1) 测试工况

表 5-4 IPLV 与 APF 测试工况差异

测试指标	IPLV		APF	
	室内侧	室外侧	室内侧	室外侧
制冷	27/19	27/-	27/19	35/24
制热	20/-	7/6	20/-	7/6

GB/T18837-2002 的 IPLV 测试，在制定时将夏季平均室外温度($t_{out}=27^{\circ}\text{C}$)作为制冷运行时的室外侧测试工况，是考虑可以缩短多联机性能测试时间，提高测试效率。但就目前国际上多联机标准而言，该测试温度不再适合我国多联机标准发展趋势，GB/T18837-2015 的 APF 参考 ISO 及各国多联机标准，将制冷室外侧测试工况定为 35°C 。



如下图所示，同一台机组在规定运行频率下，随着温度升高，能效比逐渐降低，最终导

致综合性能系数与全年能源消耗效率的计算值降低。

按 GB/T 18837-2015 表 B.2:

$$\phi_{ful}(29) = 1.077 \times \phi_{ful}(35), P_{ful}(29) = 0.914 \times P_{ful}(35),$$

$$\phi_{haf}(29) = 1.077 \times \phi_{haf}(35), P_{haf}(29) = 0.914 \times P_{haf}(35)$$

$$\phi_{min}(29) = 1.077 \times \phi_{min}(35), P_{min}(29) = 0.914 \times P_{min}(35)$$

推导出: EER (29) = 1.178 EER (35), 即室外 29°C 时 EER 是室外 35°C 时 EER 的 1.178 倍

(2) 内机要求

GB/T18837-2002 的 IPLV 测试未对室内机进行要求, 在测试时存在一定操作空间, 导致能效测试值偏高。在 GB/ T 18837-2015 标准中采用 APF 的评价方法, 并在标准中详细规定了内机的台数、风冷比等要求。

表 5-5 IPLV 与 APF 室内机搭配要求

内机要求	IPLV	APF
内机搭配台数	无要求	4.0 kW < 制冷量 ≤ 14kW: 2 台 ~ 4 台; 14.0kW < 制冷量 ≤ 28.0kW: 3 台 ~ 4 台; 28.0kW < 制冷量 ≤ 50.0kW: 3 台 ~ 6 台; 50.0kW < 制冷量 ≤ 68.0kW: 3 台 ~ 8 台; 制冷量 > 68.0kW: 3 台及以上
风冷比要求	无要求	在名义制冷试验时, 名义制冷量 > 4 kW 的室内机的单位制冷量实测风量应不大于 220 m ³ / (h•kW) , 名义冷量 ≤ 4kW 的室内机的单位制冷量实测风量应不大于 280 m ³ / (h•kW) 。

部分负荷内 机关机台数	无要求	进行最小制冷/制热性能试验时，应关闭部分内机， 被关闭的内机名义制冷量值和不小于机组名义制冷 量的 25%。
----------------	-----	--

5) IPLV 与 APF 对比分析

《GB 21454-2008 多联式空调（热泵）机组能效限定值及能源效率等级》对多联机能效要求如下：

表 5-6 能源效率等级对应的制冷综合性能系数指标 (IPLV (C))

名义制冷量 (CC) /W	能效等级				
	5	4	3	2	1
CC≤28000	2.8	3	3.2	3.4	3.6
28000 < CC≤84000	2.75	2.95	3.15	3.35	3.55
CC > 84000	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5

在最新制定的能效标准草案中，能效指标为 APF，对于热泵型多联机，能效等级如下表：

表 5-7 热泵型多联式空调机组能源效率等级指标 (APF)

名义制冷量 (CC) /W	能效等级 (W·h)/(W·h)		
	1 级	2 级	3 级
CC≤14000	4.90	4.35	3.60
14000 < CC≤28000	4.60	4.10	3.50
28000 < CC≤50000	4.30	3.70	3.30
50000 < CC≤68000	4.00	3.60	3.10
68000 < CC	3.60	3.30	3.00

多联机是一类结构复杂、系统庞大、内部参数精合、边界条件多样的复杂制冷系统；产品的能效受多种因素影响。考虑变工况特性，而是在制冷季节的平均外温下 (27°C) 进行

测试其部分负荷性能，且 IPLV 的测定内机数量、组合、大小、冷风比等没有相关规定，以及其它一些方面的设定也有一定的区间，因此厂家在具体的某个工况下的 IPLV 的测定就能够得出很高的数值。2013 年，大部分品牌的 IPLV 均已超过 6，2013 年 9 月，海尔 MX7-UP 的 IPLV 最高达 7.05，2014 年 12 月，海尔多联机产品 MX7+ 机组 IPLV(C) 最高可达 8.0；2018 年，EK RV-EY 多联机全系列机组 IPLV(C) 值最高达 9.60。目前部分格力多联机产品的能效数据如下：

表 5-8 现有多联机产品 APF 及 IPLV 值对比

制冷量/W	APF	IPLV	按草案 APF 等级	IPLV 值比 2008 版 1 级能效提升幅度
8000	4.33	6.75	3 级	87.5%
28000	4.30	7.32	2 级	103.3%
45000	4.65	8.60	1 级	142.3%

从上表数据看，目前格力高端产品，其 IPLV 数值远远超出 GB/T 21454-2008 规定的一级能效 87.5%~142.3%。以 8000W 机组为例：其 IPLV 值已经超出 GB/T 21454-2008 规定 1 级能效的 87.5%，仅能满足新标准草案中 APF 的 3 级能效的要求。

5.4 多联机 IPLV 指标与 APF 指标换算结果

计算结果表明，多联机的 APF 指标比 IPLV 指标低 4%~40% 左右，如表 7-2 所示。当多联机制热性能较好时，多联机的 APF 指标仅比 IPLV 指标低 4% 左右；当多联机的制热性能较差时，多联机的 APF 指标仅比 IPLV 指标低 40% 左右。

表 5-9 不同能效等级的 IPLV 对应的 APF 值

GB18837-2002 IPLV	27 度工况 全负荷 EER	制冷、制热 性能	GB18837-2015 APF	能效指标 变化比例
			8.616	-4.3%
9	6.681	最优	8.616	-4.3%
		最差	5.316	-40.9%

		最优	7.175	-4.3%
7.5	5.564	最差	4.466	-40.5%
6	4.463	最优	5.756	-4.1%
		最差	3.614	-39.8%
5	3.713	最优	4.789	-4.2%
		最差	3.024	-39.5%
4.5	3.34	最优	4.308	-4.3%
		最差	2.729	-39.4%
4	2.985	最优	3.849	-3.8%
		最差	2.445	-38.9%
3.5	2.596	最优	3.348	-4.3%
		最差	2.133	-39.1%
3	2.245	最优	2.896	-3.5%
		最差	1.85	-38.3%
2.5	1.862	最优	2.402	-3.9%
		最差	1.539	-38.4%

第六章 多联机能效指标的确定

6.1 标准编制原则的确定

多联机能效标准制定的原则如下：

(1) 按照 GB/T 1.1—2000《标准化工作导则》的要求和规定，确定标准的组成要素。

(2) 在标准制定过程中，遵循了以下几个原则：

- ① 本标准要与国家的节能政策、环境保护政策等相一致；
- ② 本标准要尽量与国际上相关标准、法规接轨；
- ③ 本标准要充分考虑我国产业的发展水平和市场消费水平；
- ④ 本标准与已颁布实施的相关标准进行衔接。

6.2 标准中的重要内容与标准制定的主要依据

(1) 能效限定值

多联式空调（热泵）机组在规定制冷能力试验条件下，制冷综合性能系数（IPLV(C)）^[2]的最小允许值。

由于单冷型和热泵型产品的结构所造成的能效差异暂不考虑，考虑我国家用和商用多联机以制冷为主，同时鉴于测试数据的积累限制，本次标准制定仅考核制冷工况。随着热泵技术的发展，制热功能将得到进一步应用，使用的低温环境将得到拓展，计划在下一版标准修订时，通过实际积累的数据，再增加制热性能的考核指标。

(3) 能源效率等级

机组能源效率等级(简称能效等级)是表示机组产品制冷综合性能系数(APF或IPLV(C))高低差别的一个分级方法，依据机组制冷综合性能系数(IPLV(C))的大小确定，分成1、2、3三个等级，1级表示能效最高。

目的是配合我国能效标识制度的实施。能源效率等级只是对产品的能源效率指标进行划分，并不代表产品的整体质量等级。划分的依据：一是拉开档次，鼓励先进，二是兼顾国情，以及对市场产生的影响，三是逐步与国际接轨，加强主导作用。

根据我国能效标识管理办法，依据能效等级的大小，将产品分成1~5五个等级，其目的是能够为消费者提供明确的信息，帮助其选择、购买，而且对市场具有推动作用，促进高效产品的市场化。

五个等级的意义在于：

- ① 1级是企业努力的目标；
- ② 2级代表节能型产品的门槛（寿命周期成本最小）；
- ③ 3级代表我国的市场入门门槛。

6.3 能效提升 LCC 分析

产品能效提升，将导致成本的增加和消费者购买价格的上升，导致 APF 提升幅度最大的因素是室内机换热面积的增加，然后依次是压缩机压缩效率提升，风机功率降低，高效分配器和控制策略等等。可行性最高的 APF 提升方案是室内机换热面积增加，然后依次是：改善控制策略，提高制冷剂侧换热系数，开发高效分配器和降低风机功率等等。

LCC 分析是科学评估能效-成本的相互关联性，为标准能效指标确定提供技术依据之一。

1) 寿命周期成本分析

多联机的 APF 能效极限值为 12.03，如表 7-3 所示。APF 的能效极限值代表多联机在 APF 测试工况下的理论最大值，是所有多联机能效的极限。多联机 APF 能效极限值取得的条件是：室内、外机面积无穷大，室内、外机风量取标准规定的最大值，风机功率忽略不计，压缩机为等熵压缩。

表 6-1 多联机能效极限值计算结果

参数	APF	EER _{ful}	EER _{haf}	EER _{min}	COP _{ful}	COP _{haf}	COP _{min}	COP _{ext,f}
计算值	12.03	9.07	13.50	17.41	8.34	11.20	13.44	8.17

多联机 APF 能效提升潜力如表 7-3 所示。导致 APF 提升幅度最大的因素是室内机换热面积的增加，然后依次是压缩机压缩效率提升，风机功率降低，高效分配器和控制策略等等。可行性最高的 APF 提升方案是室内机换热面积增加，然后依次是：改善控制策略，提高制冷剂侧换热系数，开发高效分配器和降低风机功率等等。

表 6-2 多联机 APF 能效提升潜力

影响因素	APF 提升	实现方案	可行性
压缩机压缩效率提升 5%	3.5%	研发高效压缩机	低-中
压缩机压缩效率提升 10%	7%		低
风机功率降低 10%	1.8%	研发高效风扇	中-高
风机功率降低 20%	3.8%		低
室内机换热面积增加 50%	7.5%	增大室内换热器尺寸	高
室内机换热面积增加 100%	13%		高

空气侧换热系数提高 5%	1.6%	开发高效率换热翅片	中
空气侧换热系数提高 10%	2.8%		低
制冷剂侧换热系数提高 10%	0.8%	采用小管径换热器	高
制冷剂侧换热系数提高 20%	1.6%		中
高效分配器 1 (能力提升 5%)	2%	开发分配性能高度均匀分	高
高效分配器 2 (能力提升 10%)	3%	配器	中
融霜周期延长 10%	0.3%	增大室外机尺寸；	中
融霜周期延长 20%	0.5%	开发新型融霜循环	低
改善控制策略 (过热度由 5 °C 降低到 0 °C)	2.8%	改善控制策略	高

2) 空调机组的 LCC 空调生命周期成本的预测计算方法为

$$LCC = ICC + \sum_{t=1}^N \frac{OE_t}{(1+r)^t}$$

式中：

ICC——Installed Consumer Cost 购置安装费。

OE——Operating Expense 年运行电费。

R——年银行存款利率，分别取 2%、6% 及 15% 计算。

N——产品寿命，多联空调机组按 15 年计算。

T——产品已使用到第几年。

ICC = 材料成本 × 售价成本比 + 安装费。

OE = (全年制冷季节负荷 + 全年制热季节负荷) ÷ APF × 每度电价。

APF——全年性能系数。

每度电价——本模型按 0.7 元/kWh。

售价成本比——本模型按 1.6 元/元。

3) LCC 计算结果

■ 14kW 侧出风多联机 (含内机及常规安装费)

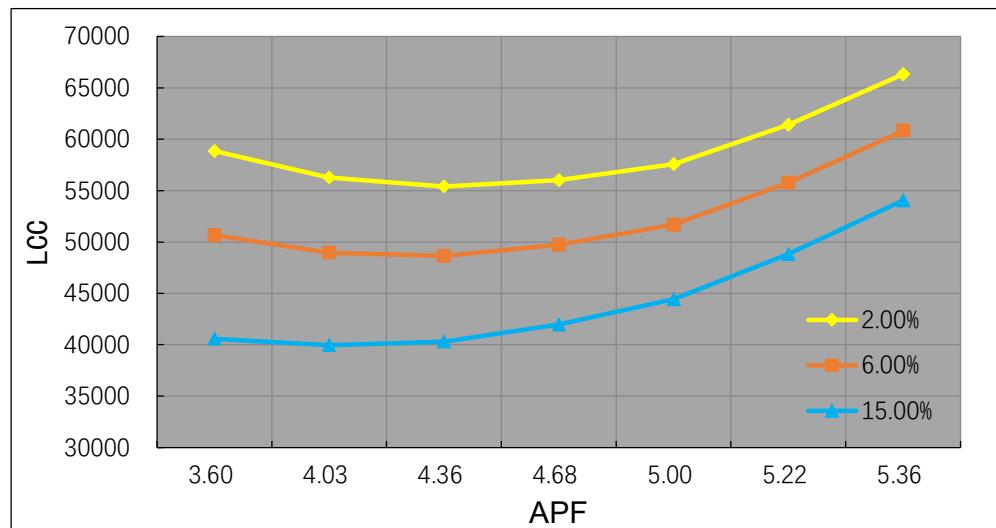


图 6-1 14kW 侧出风多联空调机组 LCC 曲线

在银行利率为 2%、6% 的曲线中, APF=4.36, 14kW 侧出风多联空调机组使用寿命周期内用户总费用 LCC 最低; 在银行利率为 15% 的曲线中, APF=4.03, 14kW 侧出风多联空调机组使用寿命周期内用户总费用 LCC 最低。

■ 22.4kW 上出风多联机 (含内机)

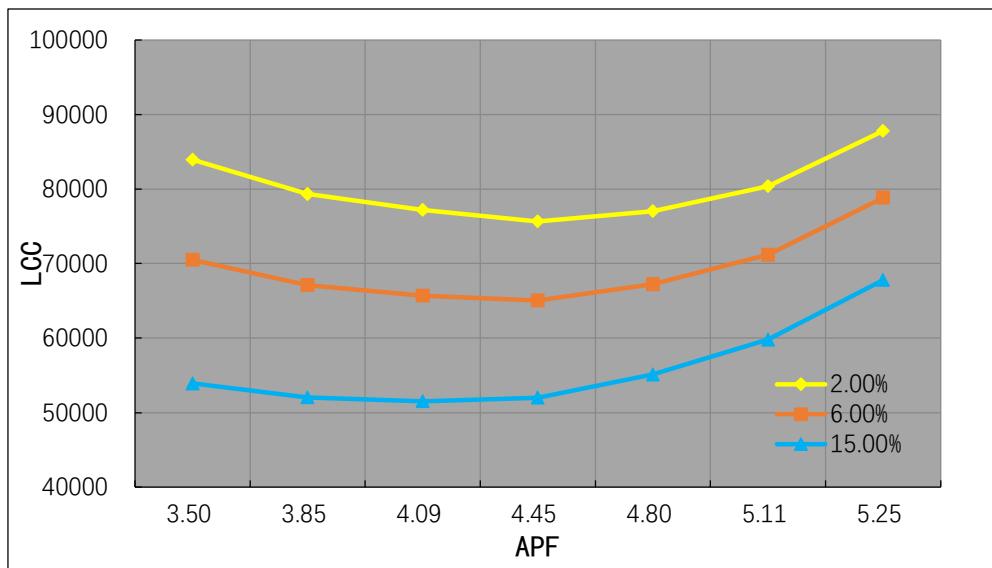


图 6-2 22.4kW 上出风多联空调机组 LCC 曲线

在银行利率为 2%、6% 的曲线中， $APF=4.45$ ，22.4kW 上出风多联空调机组使用寿命周期内用户总费用 LCC 均为最低；在银行利率为 15% 的曲线中， $APF=4.10$ ，22.4kW 上出风多联空调机组使用寿命周期内用户总费用 LCC 均为最低。

■ 33.5kW 上出风多联机（含内机）

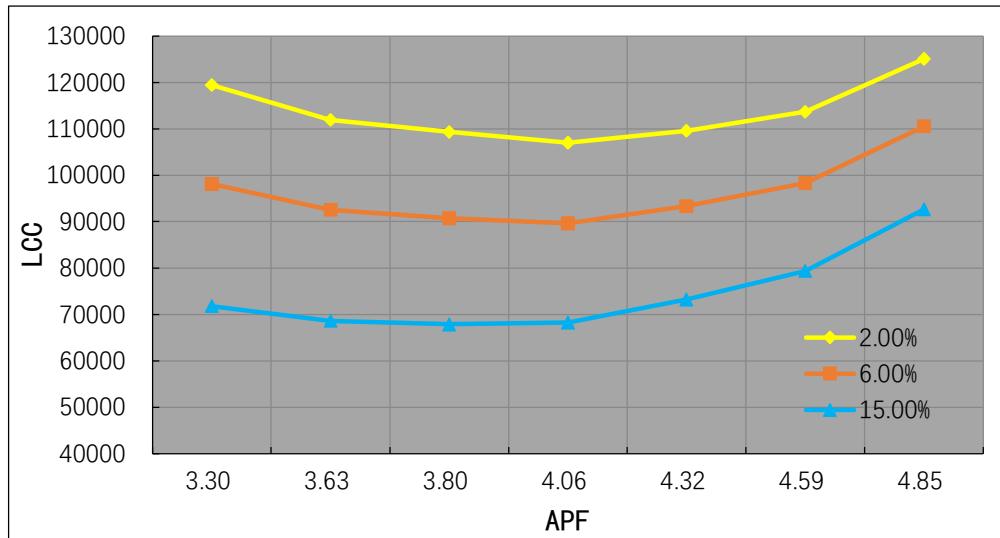


图 6-3 33.5kW 上出风多联空调机组 LCC 曲线

在银行利率为 2%、6% 的曲线中， $APF=4.06$ ，33.5kW 上出风多联空调机组使用寿命

周期内用户总费用 LCC 均为最低；在银行利率为 15% 的曲线中，APF=3.80, 33.5kW 上出风多联空调机组使用寿命周期内用户总费用 LCC 均为最低。

■ 56kW 上出风多联机（含内机）

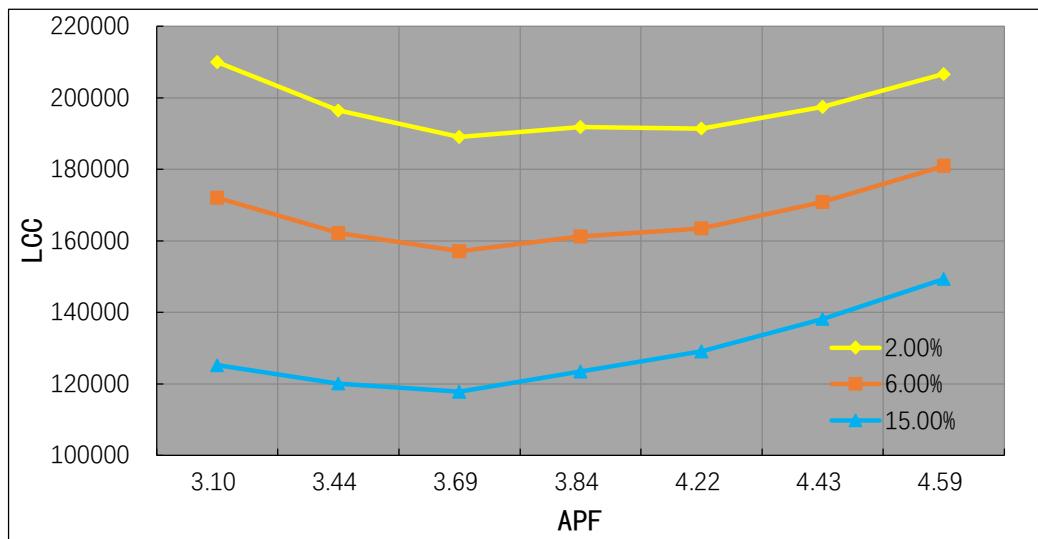


图 6-4 56kW 上出风多联空调机组 LCC 曲线

在银行利率为 2%、6% 和 15% 的曲线中，APF=3.69，56kW 上出风多联空调机组使用寿命周期内用户总费用 LCC 均为最低。

6.4 市场统计分析与验证

6.4.1 市场能效分布状况

为全面了解多联机空调产品的生产状况及能效水平，由中国标准化研究院等组织开展了市场能效数据调查、

其目的是掌握国内空调产品的发展趋势，分析我国能耗水平，为制定我国的能效标准打下基础。

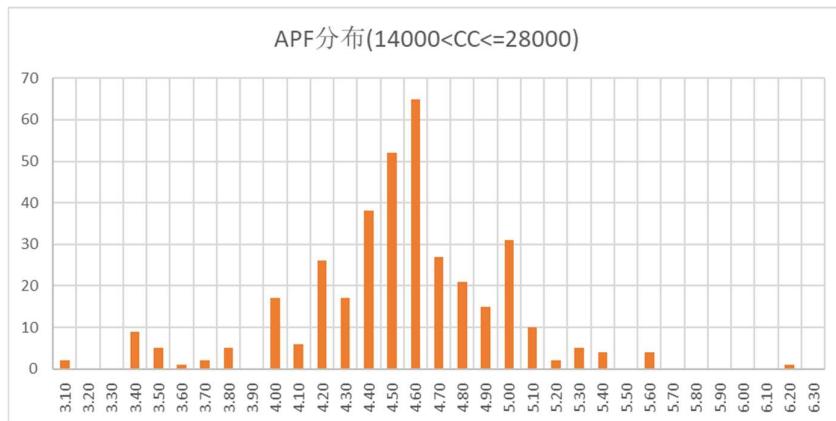
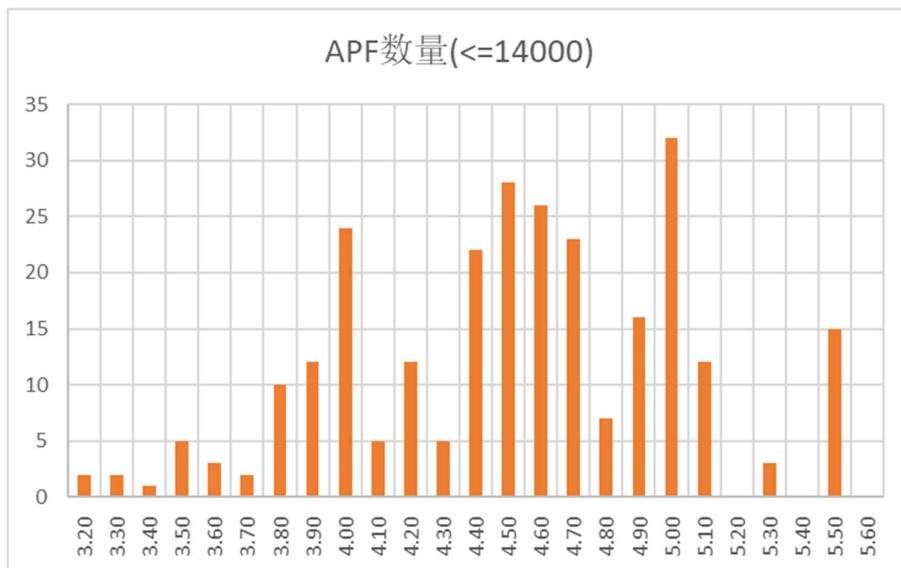


图 6-5 APF 与所对应的型号数量

6.4.2 市场能效分布状况

随着国家节能环保工作的深入和节能技术的快速发展，生产企业研发、生产了的产品能效水平大幅提高，根据全面多联机空调产品的生产状况及能效调查，中国的多联机能效水平最高达到 5.78，见表。

表 6-3 2019 年中国市场能效最高的多联机产品

名义制冷量 (CC) W	市场 APF 最大标注值	
	中国 2019 市场	日本 2019 市场 (折算)
CC≤14000	5.65	7.10 (5.80)

$14000 < CC \leq 28000$	5.78	6.60 (5.40)
$28000 < CC \leq 50000$	5.22	6.50 (5.30)
$50000 < CC \leq 68000$	4.85	6.40 (5.2)
$68000 < CC$	4.65	6.50 (5.3)

6.4.3 市场能效指标验证

针对标准建议稿，由中国标准化研究院等组织开展了市场能效数据调查，分析验证能效指标和我国多联机空调产品实际状况的符合性、各能效等级的份额等。,

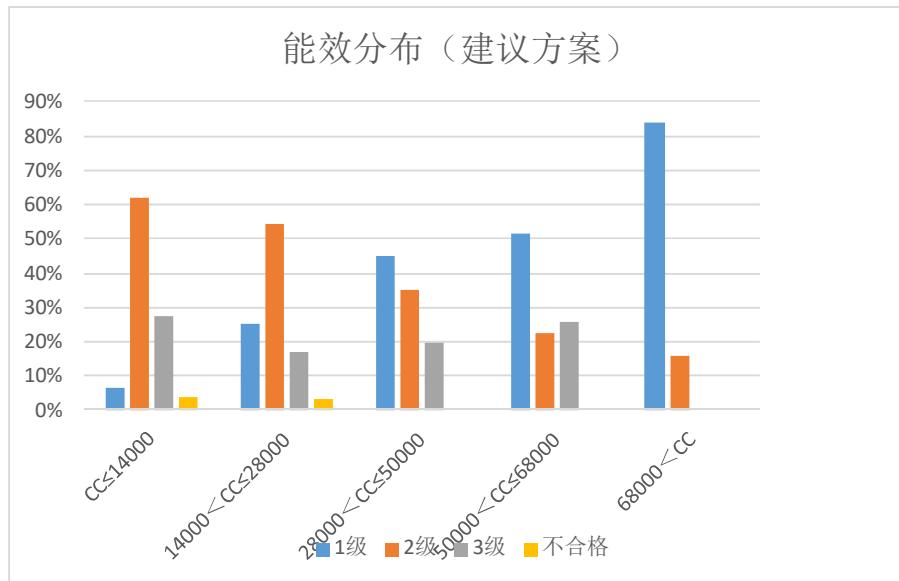


图 6-6 市场产品的能效等级分布图

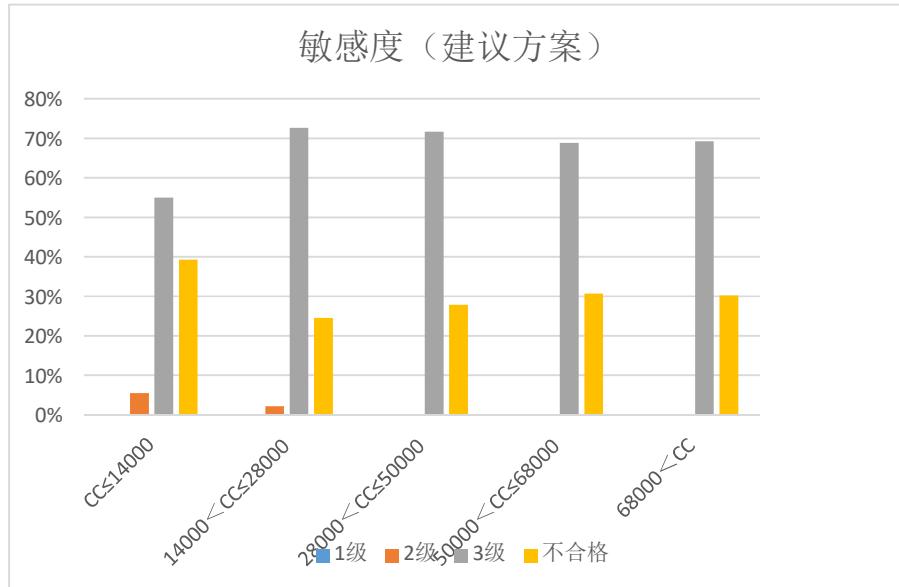


图 6-7 市场产品的能效等级分布敏感度分析图

6.5 APF 实测值与标称值的偏差

6.5.1 统计范围

纳入统计的国内生产企业包括：格力、海尔、大金、东芝、海信日立、三菱电机、特灵、奥克斯、富士通、麦克维尔、TCL、志高、美的等主要品牌

共测试 269 个型号，约占全国市场的 80%。

统计时间：2019.10-12

产品的 APF 实测值与标称值的偏差统计结果如图所示。结果显示：

- 1) 市场产品统偏差范围为-23.3%~8.3%
- 2) 室内外机组合中测试相差约 10~20%

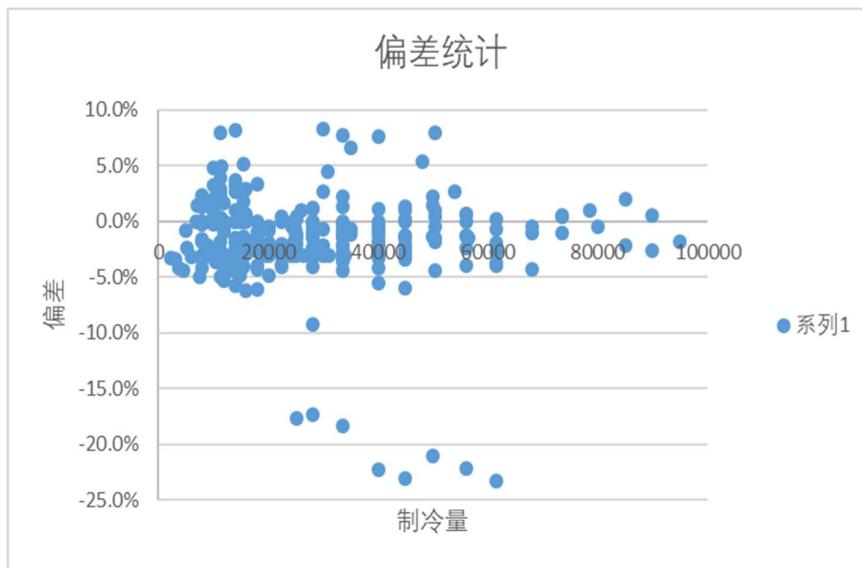


图 6-8 APF 实测值与标称值偏差统计

因此，建议标准中测试时，是室内机选择应满足：

- 1) 指定内机组合
- 2) 应为差价手册中的型号，且有销售记录
- 3) 室内机所在系列销售量在 10%以上

目的是保证：

- 1) 市场监测的再现性、重复性
- 2) 更接近用户实际使用机型
- 3) 指标达成难度增大

6.6 多联机产品的低负荷运行

6.6.1 主要国家的能效标准要求

针对市场中多联机产品的设计运行情况统计，系统低负荷运行时间最长，见图。

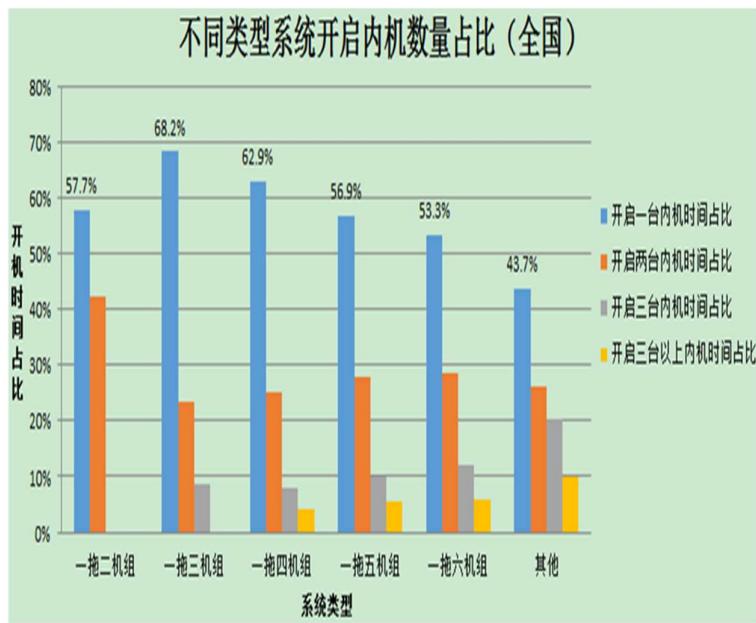


图 6-9 不同类型多联机系统实际运行中室内机开启数量统计

因此，低负荷工况下的能效，是产品实际耗电量大小的关键因素。建议针对家用多联机产品即 14000 以下产品，增加低负荷指标考核

6.7 国际先进水平的研寻

6.7.1 主要国家的能效标准要求

目前已经发布实施能效标准的国家或地区包括：北美、欧盟、日本、中国、印度、越南等。从能效指标和技术先进性上比较，日本是当前产品技术水平和能效指标最高的国家。

6.7.2 中日房间空调器 APF 指标的比较

为了分析中日房间空调器 APF 指标的差异性，组织格力、美的、东芝、海信日立等实验室，针对典型房间空调器产品分别按中国 APF 以及日本 APF 标准进行测试，同一产品的两个测试结果差值统计结果显示：，中国标准 APF 与日本 APF 相差 21%~32%，平均 23%，分布情况如图所示。

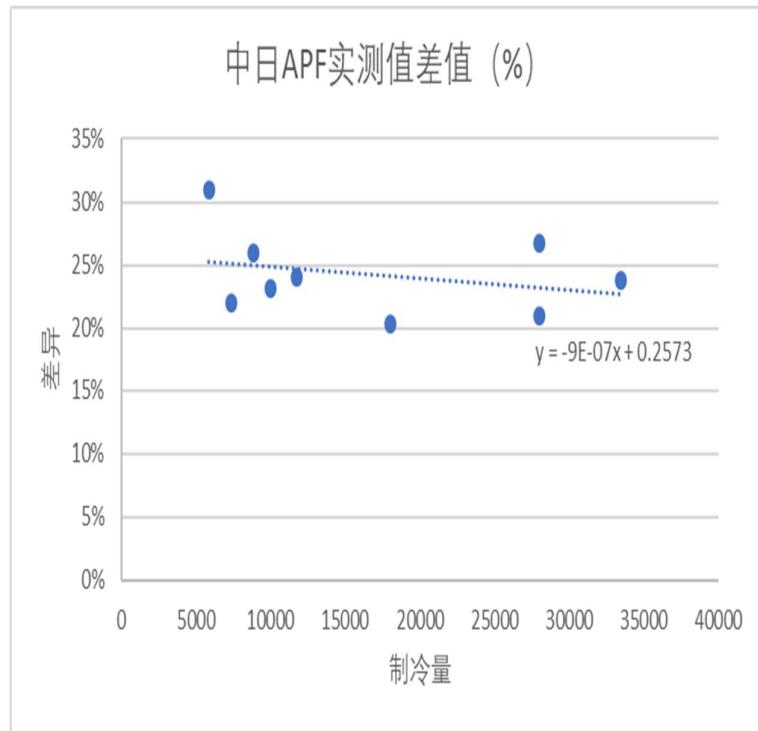


图 6-10 中日多联式空调 APF 实测值差异性示意图

6.8 日本市场调研

由大金、格力、日本冷冻协会、东芝等单位，共同针对日本市场的房间空调器产品进行了能效调研，涵盖了日本生产企业：大金、东芝、三菱电机、三菱重工等的产品能效状况，共计 763 个型号，占日本市场 95%以上。

根据统计结果，比较显示：

- 1) 日本是世界技术水平最高的国家
- 2) 日本市场能效产品最高为 7.1（相当于中国 5.8）
- 3) 节能领跑值最高为 5.54（相当于中国 4.50）
- 4) 当前市场产品整体水平略高于中国市场产品

表 6-4 日本 2019 年房间空调器市场

	制冷量范围	$Q \leq 14$	$14 < Q \leq 28$	$28 < Q \leq 50$	$50 < Q \leq 68$	$Q > 68$
日本 APF (实 际 产 品)	APF 最大值	7.1	6.6	6.5	6.4	6.5
	APF 最小值	4.3	4.3	4	4.5	4.4
换算成中国 APF	APF 最大值	5.8	5.4	5.3	5.2	5.3
	APF 最小值	3.5	3.5	3.3	3.7	3.6

6.9 标准建议方案的先进性评估

根据技术分析提出的标准能效等级指标建议方案，与目前已经发布实施能效标准的国家或地区相比，从能效指标和技术先进性上比较，达到了国际领先水平。

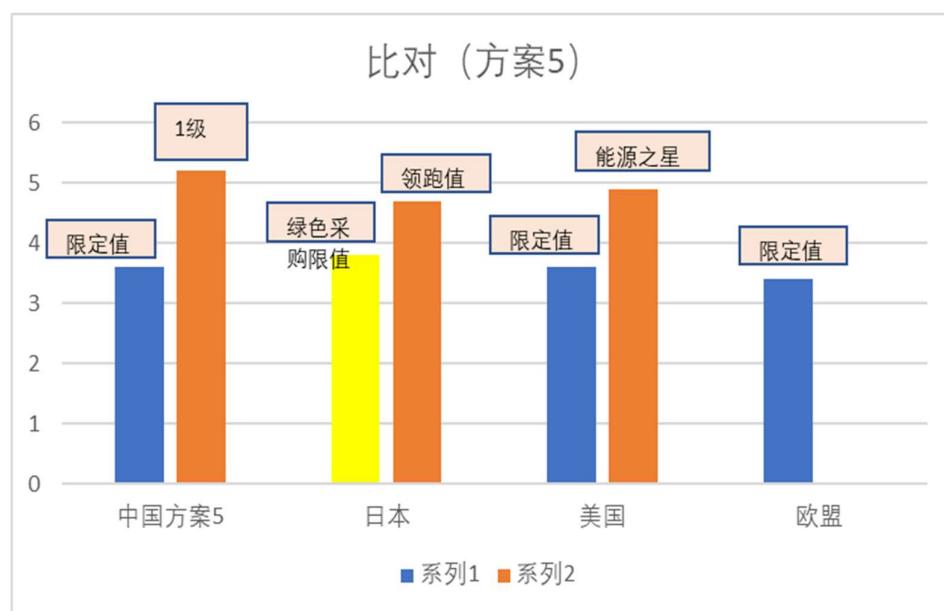


图 6-11 主要国家多联机能效指标比较示意图

主要表现在如下几个方面

- 1) 1 级指标
 - a) 1 级能效高出日本领跑者值 18% 左右
 - b) 可以看出中国 APF 二级能效比日本 APF 绿色采购值高
 - c) 中国 1 级 APF 高于美国能源之星的要求
- 2) 能效门槛
 - a) 3 级与美国 AHRI 标准门槛值相当
 - b) 中国 APF 标准比欧盟 ERP 标准门槛值高 4%
 - c) 日本是当前产品技术水平和能效指标最高的国家。

6.10 能效指标提升幅度

根据标准能效等级指标建议方案，与现行能效标准指标进行了分析比较。

1) 分析方法

由于现行能效标准的能效评价指标为 IPLV，修订中的标准能效等级指标采用了 APF，根据产品的技术原理和设计方案，分析二者的差异性遵循以下步骤。

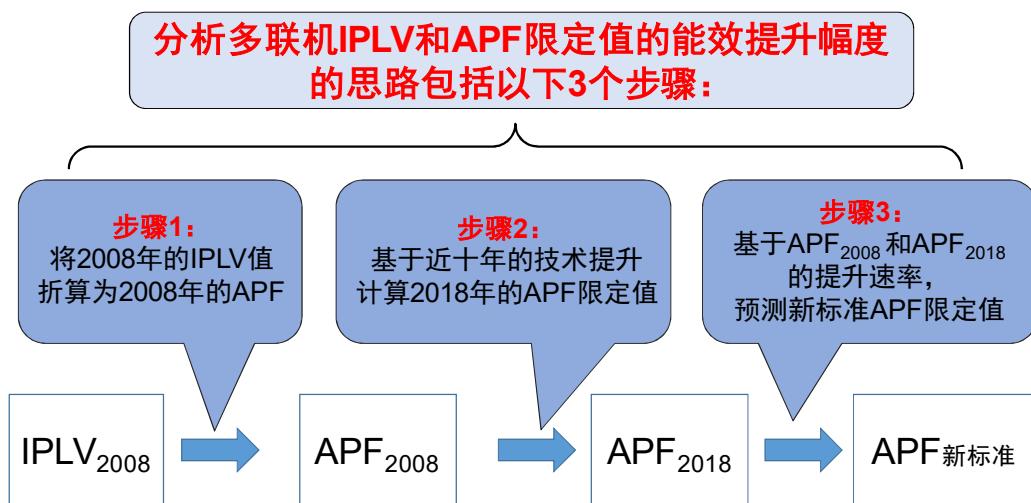


图 6-12 分析思路示意图

2) 近十年技术提升计算 APF2018

多联机 IPLV 指标提升分为两类：一类是测试规定不完善所致，另一类是多联机技术水平提升所致；

表 6-5 不同技术对多联机产品能效的影响

影响因素:	测试规定 不完善	压机 效率提升	风机 效率提升	风量 提升	高效 螺纹管应用
IPLV提升:	46.5%	16.5%	5.9%	4.7%	4%

其中，测试规定不完善导致 IPLV 提升 46.5%左右；多联机技术水平提升导致 IPLV 提升 31.1%左右。

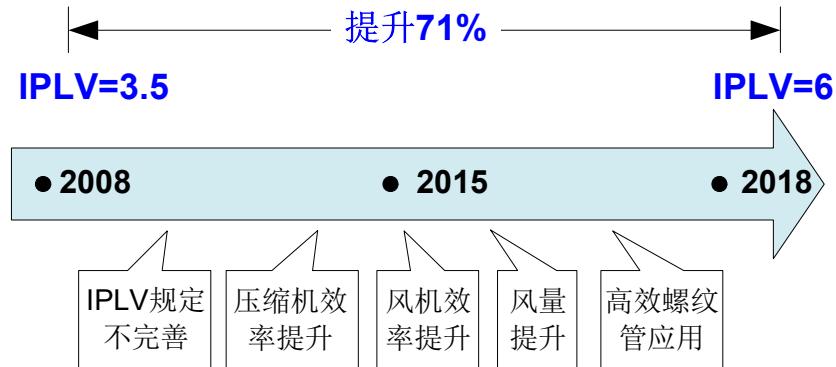


图 6-13 多联机技术水平提升示意图

3) 能效指标提升幅度

根据研究分析，提升幅度根据下式计算：

$$APF_i = APF_{2008} + \frac{APF_{2018} - APF_{2008}}{2018 - 2008} (i - 2008)$$

因此，与 2008 版标准相比，新标准限定值可提升 40.5%。

与目前已经发布实施能效标准的国家或地区相比，从能效指标和技术先进性上比较，达到了国际领先水平

附录 A：多联式空调（热泵）机组能效等级草案

A1 多联式空调机组能效等级

A1.1 单冷式多联机按实测制冷季节能源消耗效率 (SEER) 对产品进行能效分级，能效等级分为 3 级，其中 1 级能效等级最高。各能效等级实测制冷季节能源消耗效率 (SEER) 应不小于表 A1 规定。

• 表 A1 单冷式多联机能源效率等级

名义制冷量 (CC) W	能效等级					
	3 级		2 级		1 级	
	EER _{min} , W/W	SEER, (W·h)/(W·h)	EER _{min} , W/W	SEER, (W·h)/(W·h)	EER _{min} , W/W	SEER, (W·h)/(W·h)
CC≤14000	2.10	4.80	2.90	5.10	3.60	5.50
14000 < CC≤28000	—	4.40	—	4.70	—	5.10
28000 < CC≤50000	—	4.20	—	4.50	—	4.90
50000 < CC≤68000	—	4.10	—	4.40	—	4.80
68000 < CC	—	4.00	—	4.30	—	4.70

注：

- 1) 不同静压机组的能源效率修正按 GB/T18836 提供的方法进行。
- 2) 对于额定制冷能力 14000W 及以下的风冷多联式空调（热泵）机组，制冷季节能源消耗效率 (SEER)、最小制冷量 (低温) 工况的能效比 EER_{min} 均应满足要求。

A1.2 热泵型多联式空调机组根据产品的实测全年能源消耗效率 (APF) 对产品能效分级，各能效等级实测全年能源消耗效率 (APF) 应不小于表 A2 的规定。

• 表 A2 热泵型多联机能源效率等级指标 (APF)

名义制冷量 (CC) W	能效等级 / [(W·h) / (W·h)]					
	3 级		2 级		1 级	
	EER _{min} , W/W	APF, (W·h)/(W·h)	EER _{min} , W/W	APF, (W·h)/(W·h)	EER _{min} , W/W	APF, (W·h)/(W·h)
CC≤14000	2.00	3.60	2.80	4.40	3.50	5.20
14000 < CC≤28000	—	3.50	—	4.30	—	4.80
28000 < CC≤50000	—	3.40	—	4.20	—	4.50
50000 < CC≤68000	—	3.30	—	4.00	—	4.20
68000 < CC	—	3.20	—	3.80	—	4.00

注：

- 1) 不同静压机组的能源效率修正按 GB/T18836 提供的方法进行。
- 2) 对于额定制冷能力 14000W 及以下的风冷多联式空调（热泵）机组，年能源消耗效率（APF）、最小制冷量（低温）工况的能效比 EER_{min} 均应满足要求。

A1.3 水冷式多联式空调（热泵）机组，按产品的实测制冷综合性能系数 IPLV (C) 进行能效分级，各能效等级实测制冷综合性能系数应不小于表 A3 的规定。

• 表 A3 水冷式多联机能源效率等级

类型	能效等级 / (W/W)			
	3 级	2 级	1 级	
水环式 (IPLV, W/W)	CC≤28000	5.20	5.90	7.00
	28000 < CC	5.00	5.80	6.80
地理管式 (ACOP, W/W)	3.80	4.20	4.60	
地下水式 (ACOP, W/W)	4.30	4.50	5.00	

A1.4 低温多联机 HSPF、COP_{-12°C}、COP_{-20°C} 实测值不应低于表 A4 的 3 级各指标要求，按产品的实测制热季节性能系数 HSPF 进行能效分级，各能效等级实测值应不小于表 A4 的规定。

• 表 A4 低温多联机能效等级指标

名义制热量 (HC) W	能效等级				
	3 级			2 级	1 级
	COP _{-12°C} , W/W	COP _{-20°C} , W/W	HSPF, (W·h)/(W·h)	HSPF, (W·h)/(W·h)	HSPF, (W·h)/(W·h)
户用型： HC≤18000	2.20	1.80	3.00	3.20	3.40
工商业用型： 18000 < HC	1.90	1.50	2.80	3.00	3.20

注 1：不同静压机组的能源效率修正按 GB/T 18836 提供的方法进行；
注 2：户用型和工商业用型的 HSPF 测试、计算按附录 A 规定。