武汉市制冷能效提升线路图研究

终期报告

武汉市节能监察中心

华中科技大学

中信建筑设计研究总院有限公司

武汉市交通战略发展研究院

2020 年 7 月

前　言

2016 年 10 月，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。根据联合国环境署预测，在《基加利修正案》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℃。

2018 年 1 月，由能源基金会牵头实施的“基加利制冷能效-中国项目”在北京正式启动。该项目旨在通过支持制定中国制冷能效战略、政策、制冷设备能效标准和标识，推动市场转型，帮助中国在制冷能效提升的同时，使用气候友好型制冷剂，削减氢氟碳化合物的使用，使中国到 2020 年，将高效、气候友好型制冷产品的市场份额比现在提高 10-15%，助力中国兑现国际承诺，实现绿色低碳发展。武汉市作为制冷能效提升试点案例城市，在能源基金会资助下开展了本研究。

基于武汉市制冷行业能耗大、节能潜力高的特点，结合武汉市面临的能源消费总量控制、环境治理、实现碳排放达峰目标的巨大压力以及国家大力推进绿色高效制冷行动的大背景，本研究通过多渠道开展全市制冷情况的摸底调查工作，摸清居民生活、工业生产、服务业、交通四大领域制冷现状；分析全市制冷领域存在的主要问题；基于 LEAP 软件和相关调查数据，建立武汉市制冷系统模型，通过情景分析法，明确武汉市制冷能效提升目标；提出可行的能效提升措施，并制定武汉市制冷能效提升线路图。通过以上研究，为武汉市推进制冷

能效提升工作提供依据，并对促进制冷产业的绿色化、高效化发展，对武汉市控制能源消费总量，实现碳排放达峰目标有重要的意义。

本研究承担单位：武 汉 市 节 能 监 察 中 心
华 中 科 技 大 学
中信建筑设计研究总院有限公司
武 汉 市 交 通 战 略 发 展 研 究 院

本研究主要参与人：项定先 卢腾飞 王 贲 孙路石 陈焰华
於仲义 佘世英 孙小丽 刘 毅 江 强
林 春 王 丰 周 宇 翁小龙 黄 姝

本研究主要评审人：成建宏 陈敬良 陈 路 王益有 雷建平
周东化

目　录

前　言.....**I**

目　录.....**III**

1　绪论.....**1**

1.1　制冷产业发展概述.....1

1.2　环境保护对制冷产业的影响.....2

1.3　绿色高效制冷行动方案.....7

1.4　武汉市制冷领域基本情况.....9

1.5　研究内容及方法.....11

1.6　研究意义.....14

2　武汉市各领域制冷现状分析.....**16**

2.1　武汉市概况.....16

2.2　空调销售市场.....18

2.3　居民生活领域.....26

2.4　工业领域.....32

2.4.1 电子电气设备制造行业.....35

2.4.2 食品加工制造行业.....37

2.4.3 医药制造行业.....38

2.4.4 汽车制造行业.....39

2.4.5 冷链物流行业.....40

2.4.6 信息技术行业.....42

2.4.7 其他工业行业.....43
2.5 服务业领域.....44
2.6 交通领域.....52
3 武汉市制冷需求和节能潜力分析.....56
3.1 居民生活领域.....56
3.1.1 情景设置.....56
3.1.2 节能潜力分析.....60
3.2 工业领域.....64
3.2.1 情景设置.....64
3.2.2 节能潜力分析.....68
3.3 服务业领域.....72
3.3.1 情景设置.....72
3.3.2 节能潜力分析.....75
3.4 交通领域.....78
3.4.1 情景设置.....78
3.4.2 节能潜力分析.....81
4 武汉市制冷能效提升线路图.....85
4.1 措施分析.....85
4.1.1 标准制定与推行.....85
4.1.2 政策支持.....91
4.1.3 宣传推广.....97

4.1.4 专项工程.....102
4.2 制冷能效提升路径制定.....128
4.2.1 总体目标.....128
4.2.2 主要任务.....129
5 结论.....136
5.1 武汉市制冷用能总量大、增速快.....136
5.2 武汉市制冷领域问题与节能潜力并存.....137
5.3 武汉市需科学推进制冷能效提升.....138
5.3.1 出台制冷能效提升专项政策规划.....138
5.3.2 建设绿色高效制冷示范区域.....139
5.3.3 加快高效制冷技术的研发和应用.....139

1 绪论

1.1 制冷产业发展概述

随着社会经济的发展，工业生产、交通运输、服务业和居民生活等不同领域对制冷的需求正在快速增长，制冷产业已经发展成为制造业的重要组成部分，制冷产品已经遍布社会生产、居民生活的各个角落：高速城市化步伐带来的高楼大厦林立，工作和生产环境的提高，使得大型制冷空调设备广泛应用；交通运输行业的发展，汽车、高铁、飞机空调的大量使用，导致交通运输制冷设备需求逐渐增加；食品安全和健康卫生的广泛关注，导致冷链（冷库、冷藏车、超市冷冻设备等）在蔬菜、肉类、水产品和冷饮等加工运输过程中广泛推广；城镇和农村居民生活水平的提高也引发了家用空调、家用冰箱和冰柜市场的蓬勃发展。据估计，当前全球制冷、空调市场的规模约为 1.8-2.3 万亿元，是仅次于石油的第二大能源行业，全球有超过 1500 万人受雇于该行业。在全球制冷需求不断增长的背景下，制冷设备的能源消耗总量也在快速增加，已成为全球能源消费中举足轻重的一大用户。

以建筑领域的制冷需求为例，国际能源署（IEA）在《制冷的未来》报告中指出：当前建筑制冷能耗在建筑内所有末端能耗用能中增长最快，人口增长、经济发展、城市化率不断提高、气候变化导致的极端天气都会推动建筑制冷需求的快速增长。截止 2016 年末，全球建筑领域制冷、空调设备的保有量达到 16 亿台，总装机容量高达

11673GW，其消耗的电能占建筑总电耗的 18.5%，占全球总电耗的 10%，占全球一次能源消耗总量的 3%。据估计，到 2050 年，全球建筑领域的制冷、空调设备保有量将增长 2.5 倍，达到 56 亿台；总装机容量将从 1.17 万 GW 增长至 3.7 万 GW，制冷所需的能源需求量将增长 3 倍；局时，建筑制冷电耗在建筑总电耗中的占比将提升至 30%，在全球电耗中的占比将提升至 16%。

当前，制冷产业已经成为我国经济发展的支柱产业，制冷产品是满足人民美好生活需要和消费升级的重要终端消费品。我国是全球最大的制冷产品生产、消费和出口国，制冷产业年产值达 8000 亿元，吸纳就业超过 300 万人，家用空调产量全球占比超过 80%，电冰箱占比超过 60%。我国制冷用电量占全社会用电量 15%以上，年均增速近 20%，大中城市空调用电负荷约占夏季高峰负荷的 60%。伴随着我国近十几年来经济的快速增长，日益增加的制冷需求在推动制冷产业快速壮大发展的同时，也带来不少问题。长期以来，我国制冷设备市场庞杂，设备质量、能效和管理水平层次不齐，导致了我国制冷行业整体能源利用效率偏低，制冷行业领域能效提升工作进展缓慢，甚至成为当前能源变革中的一块盲点。总体而言，我国制冷领域的能源消费呈现能耗总量高、增速快、节能减排潜力大的特点，主要制冷产品节能空间达 30-50%。

1.2 环境保护对制冷产业的影响

制冷技术作为二十世纪对人类社会产生重大影响的工程技术成

就之一，在造福人类社会的同时，也难以避免的对环境造成负面影响。制冷产业对环境的影响主要来源于两个方面：（1）制冷设备运行过程中消耗能源所间接导致的温室气体排放；（2）制冷设备使用的制冷剂造成的温室气体排放和臭氧层破坏。

国际能源署（IEA）在有关报告中指出：2018 年，全球制冷领域所产生的碳排放量达到 41 亿吨，约占当年全球碳排放量的 11.8%。从制冷行业的碳排放构成分析，建筑制冷占比为 38%，移动式制冷和冷库等固定式制冷占比均为 31%。据估计，中国作为制冷设备的最大消费、制造和出口国，其制冷行业的碳排放量约占全球制冷碳排放总量的 33%。而在可预见的未来，制冷领域对能源的需求将进一步增长，所产生的的碳排放量也将持续增加。落基山研究所表示，因社会经济发展及城市化进程的不断推进，新兴经济体的民用空调需求将在 2050 年增长至当前的五倍，全球民用空调设备的使用量将达到 45 亿台。在这期间，仅民用空调的增长部分，将带来 1320 亿-1670 亿吨当量的碳排放。因此，在世界各国日益重视控制碳排放总量以应对气候变化的大背景下，提升制冷领域的能源利用效率势在必行。

相对于消费能源所间接产生的温室气体排放，制冷设备所使用的制冷剂对环境的影响更受人们所重视。

从制冷技术诞生的那一刻起，制冷剂的发展就推动着制冷技术的进步。上世纪 30 年代以来氟利昂制冷剂的出现使制冷设备在小型化、高效化、高可靠性以及品种规格、用途多样化等方面得到了前所未有的发展。然而，在上世纪八十年代臭氧层的破坏引起了世界各国的广

泛关注和重视。为此，国际社会于 1985 年缔结了《维也纳公约》，在 1987 年进一步签署了《蒙特利尔议定书》，旨在通过控制对臭氧层有破坏作用的物质的生产、消费，以保护关系到全人类未来生存与发展的大气层。CFCs 及 HCFCs 类制冷剂由于 ODP（臭氧层破坏系数）较大，其使用生产受到严格限制。从《蒙特利尔议定书》缔结至今，全球共削减了 95%以上的消耗臭氧层物质（按 ODP 当量计算）。截至 2010 年 1 月 1 日，在全球范围内已实现了 CFCs 制冷剂的全面淘汰，成功遏止了臭氧层的进一步耗损，地表紫外线辐射基本保持恒定水平。

作为负责任的大国，中国政府高度重视保护臭氧层工作，并于 1991 年正式加入了《蒙特利尔议定书》。经过多年的积极行动和艰苦努力，中国在 2007 年 7 月 1 日实现了 CFCs 消费的完全淘汰，为全球臭氧层保护事业做出看突出贡献。

在 CFCs 淘汰转换工作的提前完成的基础上，在 2007 年 9 月份召开的蒙特利尔议定书第 19 届缔约方大会上，国际社会又进一步达成了加速淘汰 HCFCs 的调整案，调整案规定：对于议定书第 5 条款缔约方（即通常所说的发展中国家），其 HCFCs 消费量与生产量分别选择 2009 年与 2010 年的平均水平作基准线，将 2013 年的消费量与生产量冻结在此基准线上，到 2015 年削减 10%，到 2020 年削减 35%，到 2025 年削减 67.5%，到 2030 年完成全部淘汰；对于议定书第 2 条款缔约方（即通常所说的发达国家），其 HCFCs 的消费量和生产量，2010 年削减 75%，到 2015 年削减 90%，到 2020 年完成全部淘汰。

中国作为全球最大的 HCFCs 消费国，根据相关调查统计，在

HCFCs 淘汰基线年的 2010 年，其消费量达到 29.8 万吨，占世界消费总量的 48%。巨大的消费量使得中国在 HCFCs 加速淘汰进程中面临着巨大的压力和挑战。国家环境保护部于 2008 年组织相关行业开展了 HCFCs 生成和消费淘汰的相关基础信息调查以及分行业的 HCFCs 淘汰管理计划的编制工作。截止 2015 年，我国各行业均超额完成了 10%的基线淘汰任务，同时第二阶段（2016-2020）的淘汰管理计划编制工作正式启动。依据《蒙特利尔议定书》的规定和目前中国相关行业的具体情况，工商制冷空调领域到 2020 年将淘汰基线水平 33%的消费量，其中通过投资改造生产线淘汰 6500 吨的 HCFCs，涉及的产品包括单元机、冷冻冷藏设备、热泵热水机、冷水机等，计划主要采用 NH_3、CO_2、HCs、R32 等作为替代制冷剂；在房间空调其生产领域，到 2020 年将淘汰基线水平 45%的消费量，其中通过投资改造生成线淘汰 8170 吨的 HCFCs，涉及的产品包括房间空调器、家用热泵热水器等，计划采用 R290 和 CO_2 替代制冷剂。

在臭氧层保护去的有效进展的同时，全球的环境保护形势也在发生变化。温室气体排放会导致全球变暖已经成为人们的共识，近年来，控制温室气体的排放、阻止全球变暖已成为全球环境保护的首要任务。2015 年 12 月，在巴黎气候变化大会上，近 200 个缔约方一致同意通过了全球气候变化的新协议《巴黎协定》，其目标是在本世纪将全球平均气温升高幅度控制较工业化前水平控制在 2℃内，并为将升温控制在 1.5℃之内为而努力。同时全球各国将尽快实现碳排放达峰，本世纪下半叶实现近零排放。2014 年 11 月 12 日，中国和美国共同签

署了气候变化联合声明，提出中国要在 2030 年左右实现碳排放达峰。2015 年 9 月，在美国第一届中美气候领导峰会上，武汉市加入了 APPC（中国率先达峰城市联盟），向世界做出了在 2022 年左右碳排放达峰的承诺。

HFCs 类制冷剂虽然 ODP 值几乎等于零，但具有极高的 GWP（温室效应系数）值，通常大于 1000，所以国际上对 HCFs 削减的呼声不断高涨。2016 年 10 月《蒙特利尔议定书》基加利修正案正式达成，其对 HFCs 制冷剂的淘汰进程做出规定。中国等主要发展中国家，以 2020-2022 年间 100%的 HFCs 年均值加上 65%的 HCFCs 基线值作为 HFCs 基线，自 2024 年开始冻结，2029 年实现削减 10%，2035 年削减 30%，直至 2045 年完成 80%的削减量。通过此次新的修正案，将有效控制强效温室气体 HFCs 的排放，从而在本世纪末减少全球升温 0.5℃。相比不受控的情景，到 2050 年中国通过削减 HCFs 可带来 300-400 亿吨的碳排放量，为减暖全球升温 0.5℃做出三分之一的贡献。根据 CCRA（中国制冷空调工业协会）的测算，2013 年中国 HFCs 制冷剂消费量约为 10 万吨，其中工商制冷空调生产及维修领域为 2.5 万吨，家用制冷空调生成及维修领域为 4.0 万吨，汽车空调生成及维修领域为 3.5 万吨。随着制冷需求的不断增加，以及当前正在开展的 HCFCs 淘汰行动，今后几年我国 HFCs 制冷剂的消费将继续增长，巨大的消费前景和市场增长前景将使我国未来开展 HFCs 淘汰履约行动时面临更加艰巨的挑战。

众所周知，目前在全球范围内都没有找到符合零 ODP、低 GWP、

安全、高效的完全理想的替代制冷剂，各个产品领域采用何种替代技术路线仍存在许多争议。国际空调制冷和供热制造商协会联合会（ICARHMA）于 2011 年正式发布了“制冷剂负责任使用声明”，从全球制造业同行的角度出发，明确提出选择未来替代制冷剂时，除满足零 OPD、低 GWP 外，还应该综合考虑制冷剂本身的热物性、制冷剂和制冷系统的节能型、环保性、安全性、经济性等因素，从制冷的整个寿命周期气候性能（LCCP）的角度出发选择对全球气候变化影响更低的替代制冷剂，才能实现环境效益的最大化。近年来，全球都在广泛组织开展替代制冷剂的研发、评价和应用推广工作。毫无疑问，在可能的应用领域，加大力度推广 NH_3、CO_2、HCs 等自然工质是一种长期解决方案。但同时，在一些细分的市场和领域，某些特定的氟化物，如 R32、HFOs 及其混合物的应用也成为了一定时期内不可替代甚至不可或缺的策略。

1.3 绿色高效制冷行动方案

我国作为世界上最大的制冷产品生产、消费和出口国，在制冷能效提升、相关制冷剂替代或淘汰方面面临着巨大的压力。为贯彻落实 2019 年《政府工作报告》和国务院《“十三五”节能减排综合工作方案》等文件要求，加快生态文明建设，促进绿色消费，推动高质量发展，积极参与全球环境治理，国家发改委、工信部等七部门于 2019 年 6 月联合印发《绿色高效制冷行动方案》（下文简称《方案》）。

《方案》将绿色、高效作为我国制冷产业未来的发展方向，并制

定了如下目标：到 2022 年，家用空调、多联机等制冷产品的市场能效水平提升 30%以上，绿色高效制冷产品市场占有率提高 20%，实现年节电约 1000 亿千瓦时。到 2030 年，大型公共建筑制冷能效提升 30%，制冷总体能效水平提升 25%以上，绿色高效制冷产品市场占有率提高 40%以上，实现年节电 4000 亿千瓦时左右。

为推进我国制冷产业的绿色、高效化发展，《方案》明确了以下主要任务：（1）强化标准引领。大幅度提高制冷产品能效标准水平，强制淘汰低效制冷产品，主要制冷产品能效限值达到或超过发达国家能效准入要求，一级能效指标达到国际领先。（2）提升绿色高效制冷产品的供给。落实《绿色产业指导目录》，推动政策、资金向绿色产业倾斜，引导企业生产更加高效的制冷产品，加速淘汰 HCFCs 制冷剂，限控 HFCs 的使用。（3）促进绿色高效制冷消费。完善节能环保产品政府采购制度，扩大政府绿色采购范围，加大绿色高效制冷创新产品政府采购支持力度。鼓励通过实施“节能补贴”“以旧换绿”等措施，采用补贴、奖励等方式，支持居民购买绿色高效制冷产品、更新更换老旧低效制冷产品。（4）推进节能改造。重点支持中央空调节能改造、数据中心制冷系统能效提升、园区制冷改造和冷链物流绿色改造等重点示范工程，更新升级制冷技术、设备，优化负荷供需匹配，实现系统经济运行，大幅提升既有系统能效和绿色化水平。（5）深化国际合作。积极参与和引领全球环境治理体系改革和建设，推动落实《联合国气候变化框架公约》及其《巴黎协定》和《蒙特利尔议定书》，提高能效、减少温室气体排放，削减 HFCs，展示我国负责任大国形象。

同时，为保证绿色高效制冷行动工作的顺利推进，《方案》还制定了如下保障措施：（1）完善政策措施落实好现有的促进绿色产业发展的财税金融等支持政策，鼓励地方进一步创新对绿色高效制冷产品的支持方式，拓宽支持渠道。（2）强化监督管理严厉打击产品能效虚标、认证检测作假、虚假宣传等行为，增大制冷产品抽查力度。（3）积极宣传引导倡导健康理性的消费理念，引导节俭、文明、适度、合理的消费模式，营造绿色消费的良好社会氛围。

可见《方案》从标准制定、产品供给、用户消费、现有产品节能改造、国际合作、政策保障措施等不同领域全方面的明确了我国制冷产业未来的发展方向，是促进节能减排，应对全球气候变化，加快生态文明建设的重要措施，对推动行业高质量发展，形成强大国内市场，培育绿色发展新动能，落实国际减排承诺，推动《蒙特利尔议定书》基加利修正案的批准和落实，深度参与全球环境治理具有重要意义。同时也为武汉市开展推进制冷能效提升工作提供了重要借鉴和参考指导和遵循。

1.4 武汉市制冷领域基本情况

武汉市是中国中心城市之一，2019 年武汉市常住人口达到 1121.20 万人，国内生产总值为 16223.21 亿元。武汉市夏日平均气温超过 30℃，冬季平均气温接近 0℃，所以武汉市同时拥有巨大的制冷和供热需求。

武汉市作为传统的工业城市，工业占全市 GDP 的比重保持 40%

左右，规模以上工业企业超过 2500 家，工业能耗占全市能耗总量的比重超过 60%。工业领域的生产、储存、科研、办公等配置有大量的制冷设施，特别是近年来武汉市重点布局和发展的信息技术、生命健康、智能制造三大领域，其制造和生产环境要求极高，多数必须恒温恒湿，从而导致工业制冷需求量高速增加。

武汉市在“十三五”发展规划中提出“十三五”期间服务业要向“产业中高端、增长中高速”方向升级发展，到 2020 年服务业占 GDP 比重达到 55%。同时提出要加快商贸、会展等发展，尤其是要推进现代物流、软件信息等生产性服务业的规模倍增，能级提升，重点建设金口港区临港仓储服务区、“光谷云村”、左岭大数据产业园、临空港大数据产业园等。相关数据表明，商业中心、会展中心的制冷能耗占其能耗的 20%-30%，仓储基地中冷库的制冷能耗占冷库总能耗的 50%以上，数据中心的制冷能耗占其能耗的 40%左右，因此武汉市服务业的快速发展必然伴随着其制冷需求的大幅度增加。

在交通领域，武汉市当前拥有轨道交通运营线路共 9 条，总运营里程达 339 公里，位列全国第五。相关数据表明，地铁运营中空调、通风系统的能耗占总能耗的 30%。同时，2019 年武汉市汽车保有量达到 336.8 万辆，总油耗超过 420 万吨，而汽车空调系统的能耗约占其燃油消耗的 8-12%，由于武汉市地铁运营里程的快速增长和汽车保有量的持续增加，交通领域的制冷需求也将成为能源消费领域不可忽视的重要部分。

同时，武汉市常住人口持续增加，城镇化水平不断提升，居民收

入稳步增长，也推动了家用空调和冰箱的消费。2019 年年武汉市居民生活用电量达到 126.20 万千瓦时，其中空调占比超过 30%。在可预见的未来，武汉市居民生活领域的制冷需求将进一步提高。

1.5 研究内容及方法

基于武汉市制冷行业能耗大、节能潜力高的特点，结合武汉市面临的能源消费总量控制、环境治理、实现碳排放达峰目标的巨大压力以及国家大力推进绿色高效制冷行动的大背景，本课题将对武汉市制冷能效提升路线展开研究，主要研究内容如下：

（1）开展全市各个领域制冷情况的摸底调查工作。摸清武汉市制冷现状，包括制冷产业的市场规模、生产消费情况，各行业制冷设备数量、种类、能耗量、能效等级、制冷剂种类、管理水平等。调查对象包括居民生活、工业生产、服务业、交通四大领域。通过召集各主要空调厂商有关代表开展座谈会，了解武汉市家用、商用空调市场现状，并听取各厂商的相关意见；通过武汉市统计局、发改委等部门和武汉市制冷学会成员单位已有数据资料，整理制冷设备制造、市场供应和销售情况；针对工业领域制冷需求较大的企业，通过政府部门自上而下下发《工业企业制冷耗能设备（装置）运行及淘汰情况调查表》进行调查，同时选取有代表性的企业进行实地调研；针对公共建筑（商场、酒店、办公楼等）、数据中心和仓储冷库，根据现有统计数据确定整体数量，采用分层抽样方法科学选取抽样调查样本，并通过有关部门发放《服务业制冷耗能设备（装置）运行情况调查表》；

针对交通领域，通过市交委部门抽样调查地铁、公交、出租车公司，制冷设备及能耗情况，通过武汉市交通战略发展研究院、大型汽车生产制造企业收集不同类型的民用汽车制冷设备及能耗情况；针对居民生活领域，采用 PPS 抽样调查方法对武汉市农村和城镇居民家用空调和冰箱设备数据及使用时间进行调研。基于以上方法，掌握武汉市各个领域制冷现状全面、可靠的第一手资料。

（2）分析武汉市制冷领域存在的问题并制定对应措施。通过摸清武汉市制冷现状，分析当前存在的主要问题和各行业制冷能效提升的重点、难点。结合制冷产业发展现状、发展趋势和相关技术，提出可行的能效提升措施（节能改造、产品替代、运行管理优化等）。同时，估算各个领域制的制冷能效提升潜力。

（3）建立武汉市制冷系统模型并进行情景分析。基于 LEAP 软件和相关调查数据，建立武汉市制冷系统模型。通过情景分析法，考虑技术进步、能效标准提升、管理优化、环保意识提高、政策引导等不同因素，设置相关情景。对不同情景下武汉市制冷产业的发展、制冷需求和消费情况进行预测分析，综合考虑不同情景下制冷领域的能源消费、碳排放量和社会经济效益，选取最优情景，从而设定武汉市制冷能效提升目标。

（4）制定武汉市制冷能效提升线路图。根据情景分析结果，结合武汉市各领域制冷现状、存在问题、应对措施和能效提升潜力，制定武汉市制冷能效提升线路图，并提出相对的政策建言。

本文采用的主要研究方法如下：

（1）抽样调查法。抽样调查法是指从研究对象的全部单位中抽取一部分单位进行考察和分析，并用这部分单位的数量特征去推断总体的数量特征的一种调查方法。其主要优点是：a. 抽样调查可以减少调查的工作量，调查内容可以求多、求全或求专，可以保证调查对象的完整性。b. 可以从数量上以部分推算总体，利用概率论和数理统计原理，以一定的概率保证推算结果的可靠程度，起到全面调查认识总体的功能，可以保证调查的精度。c. 因为抽样调查是针对总体中的一部分单位进行的，抽样调查可以大大减少调查费用，提高调查效率。d. 收集、整理数据、综合样本的速度快，保证调查的时效性。

（2）情景分析法。情景分析法即以一定的设定好的社会、经济、环境参数为理论基础，以严谨合理的逻辑推理过程为手段对今后可能出现的情况进行分类描述的一种方法。关于情景分析法，在情景设定之前，研究者应该就已有的历史数据和历史现状进行深入探究，在此基础上就今后可能出现的情况提出各种恰当的假定或者提出确定以后想要达成的目标，亦即构想今后可能的发展方向，最终研究各类情况和发展方向可以达成的可能性。

综上所述，本研究课题的技术路线如图 1.1 所示：

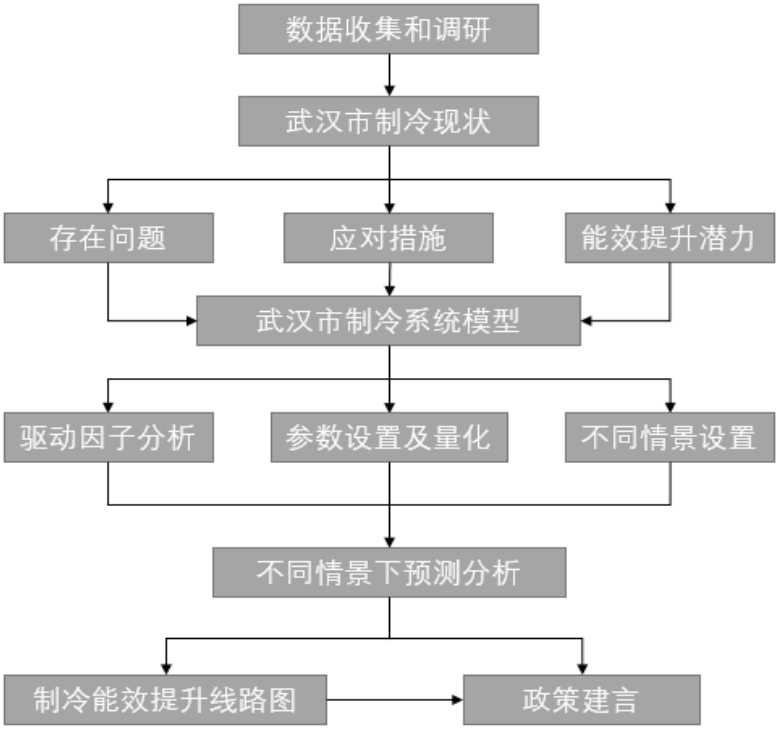


图 1.1 技术路线

1.6 研究意义

武汉市作为国家中心城市，始终以高质量可持续发展为目标，努力建成有国际影响力的现代化大城市。然而当前由于能源需求的快速增加和能源结构的不甚合理，武汉市在能源消费总量控制、碳排放总量达峰、环境治理方面面临重大压力。2015 年 9 月，在美国第一届中美气候领导峰会上，武汉市加入了 APPC（中国率先达峰城市联盟），向世界做出了在 2022 年左右碳排放达峰的承诺；同时，在武汉市能源发展“十三五”规划中明确提出到 2020 年将能源消费总量控制在 5640 万吨标准煤的目标。

如上文所述，武汉市制冷需求增长迅速，制冷用能呈现总量大、增速快、节能潜力大的特点。因此，推动武汉市制冷能效提升工作，促进制冷产业的绿色化、高效化发展，对武汉市控制能源消费总量，

实现碳排放达峰目标有重要的意义。

本课题对武汉市制冷现状进行摸底调查，掌握详细可靠的第一手资料；分析制冷领域存在的问题，制定相应措施，估算制冷能效提升潜力；建立制冷系统模型进行情景分析，从而制定武汉市制冷能效提升线路图并提出相应政策建言。通过以上研究，为武汉市推进制冷能效提升工作提供依据。

2　武汉市各领域制冷现状分析

基于前期展开的摸底调查工作，本章节对武汉市各个领域的制冷现状进行整理分析，主要包括空调销售市场、居民生活、工业、服务业和交通五大领域。

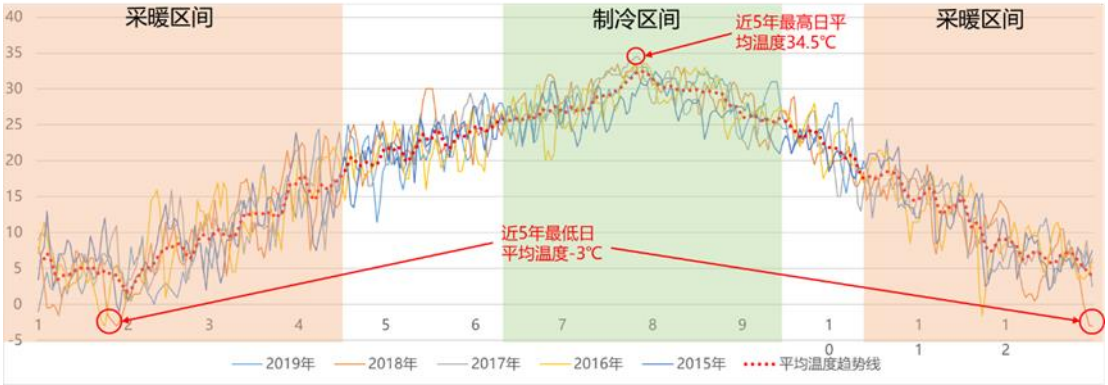
2.1 武汉市概况

武汉作为湖北省省会，是国务院批复确定的中部地区中心城市，全国重要的工业基地、科教基地和综合交通枢纽。武汉地处江汉平原东部、长江中游，长江及其最大支流汉江在城中交汇，形成武汉三镇隔江鼎立的格局，市内江河纵横、湖港交织，水域面积占全市总面积四分之一。截至 2019 年末，全市下辖 13 个区，总面积 8569.15 平方千米，建成区面积 812.39 平方千米，常住人口 1121.2 万人。

图 2.1 中国建造气候区划图

武汉市地处夏热冬冷地区，属北亚热带季风性湿润气候，呈现雨

量充裕、日照充足、夏季酷热、冬季寒冷的特点。如图 2.2 所示，近五年来，武汉市最高日平均温度为 34.5℃，出现在 7 月底至 8 月初；最低日平均温度为-3℃，出现在 1 月底至 2 月初。2015-2019 年间，武汉市年平均制冷度日数为 275.7℃•d，采暖度日数为 1529.6℃•d，



年份	制冷度日数/℃•d	采暖度日数/℃•d	日最高温度/℃	日最低温度/℃
2019	303.5	1593.5	38	-5
2018	360.5	1609.5	38	-7
2017	286.5	1464.5	40	-4
2016	269.0	1480.0	38	-8
2015	159.0	1500.5	36	-4
平均	**275.7**	**1529.6**	**38**	**-5.6**

图 2.2 武汉市全年温度变化情况

由于夏热冬冷的气候特点，武汉市同时具有较大的制冷和供热需求。尤其是在夏季，随着极端高温天气出现的频率增多、居民生活水平的提高和城市热岛效应的增强，全市电网最大负荷逐年递增，如图 2.3 所示，2019 年已达到 1186 万千瓦，其中降温负荷（制冷负荷）占比接近 40%。电网最大负荷一般出现在 7 月下旬到 8 月上旬，与武汉市夏季气温尖峰区间高度重合。由于地处长江流域地区，市政无集中供暖，故在冬季普遍采用空调等设备分散式取暖。

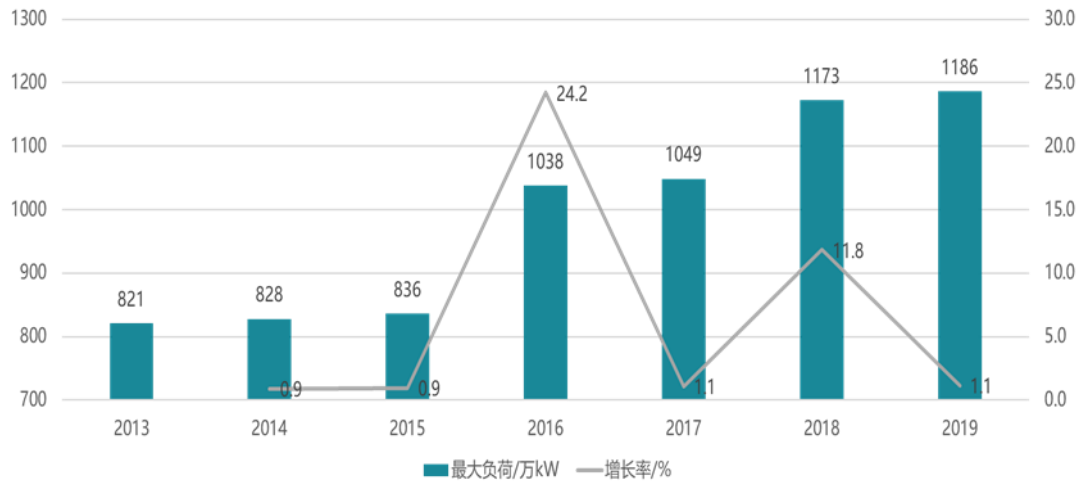


图 2.3 2013-2019 年武汉市最大用电负荷

2.2 空调销售市场

2019 年武汉市经济总量达到 16223.21 亿元，增速为 7.4%，相比全国增速高出 1.3%。其中全市固定资产投资 8643.08 亿元，增长 9.8%；与民生相关的投资力度进一步加大，如电力、教育、卫生、交通和社会工作投资等；人民生活水平持续提高，全市居民人均可支配收入达到 46100 元，比上年增长 9.2%。这一切均推动了武汉市地区中央空调市场容量的进一步走高。根据相关空调厂商的销售数据推算，2018 年武汉市中央空调市场销售总额达 10.4 亿元，相比 2017 年增长 10.6%。其中家用中央空调市场销售额为 3.7 亿元，占比 35.6%，同比增长 15.6%；商用中央空调市场销售额为 6.7 亿元，占比 64.4%，同比增长 8.1%。如图 2.4 所示。

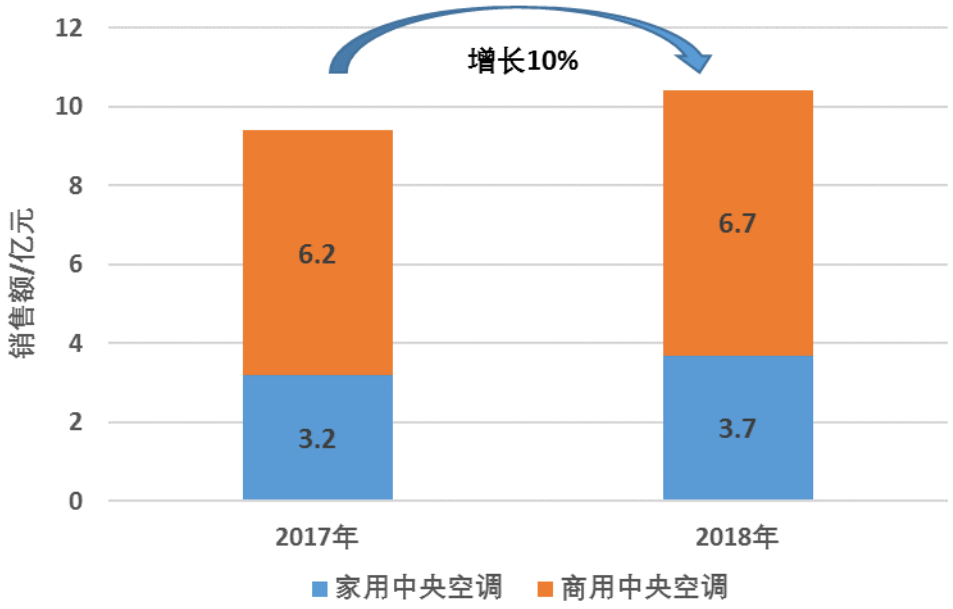


图 2.4 2017-2018 年武汉市中央空调销售额

商用中央空调的增长主要来自于工程项目的推动。近年来，武汉市供各种商用综合体、城市综合体、交通轨道等大型工程项目数量较多，从而带动了商用中央空调市场容量的增加。相比而言，武汉市家用中央空调的增长幅度更大，所占份额呈逐年提升趋势。当前，以多联机为代表的家用中央空调由于其美观、舒适性高、寿命周期长等优势越来越受人们的青睐。很多中高端楼盘里家用中央空调产品的装机率已经超过了家用分体式空调产品的装机率，风管机取代客厅原有的柜机也成为一股潮流，而一些开发商在楼盘开发上只预留了 1-2 个外机位也促使人们选择安装中央空调。同时，众多空调厂商的大力推广、参与和近两年来武汉市蓬勃发展的房地产市场也进一步推动了家用中央空调市场的增长。可以预见，随着人们生活水平的不断提高，家装零售市场将成为武汉市中央空调市场增长的主要动力。但进入 2019 年，全市中央空调销售额约为 9.7 亿元，同比减少 7.0%，相比 2018

年增速放缓。其主要原因是有受制于低迷的经济形势；自 2017 年下半年及以后出台的各种房地产市场限制措施，导致新房交房量急剧萎缩；推行精装修房屋政策。

从不同品牌的市场份额上来看，格力、美的和日立继续位居前三甲。2019 年三者在武汉市的市场份额分别为 18.9%、14.9%、10.0%，累计到达 43.8%，相比 2018 年（46.5%）有小幅减少。紧随其后的分别是大金、麦克维尔、东芝、约克、天加、海尔、开利和特灵，其市场份额均小于 10%，具体如图 2.5 所示。

在众多品牌中，格力、美的这两大国产品牌的市场份额均超过 15%，和其他厂家拉开了较大差距。这两大品牌渠道网络广泛、产品线齐全，近年来，除继续夯实了他们在单元机和多联机上的优势外，在离心机、模块机等产品上的推广也有了较大的突破。其余国产品牌中，海信日立的增长也是有目共睹，不管是在家装零售，还是在工程项目销售，近两年来海信日立在武汉市地区的销售额都有较大的增长。

另外值得一提的是，相对于工程项目市场品牌销售的相对均衡，在家装零售市场上，品牌集中度相对较高，日立、大金、东芝、格力、美的这五个品牌占据了武汉市家装零售市场接近 9 成的市场份额，这与不同品牌的市场侧重点不同有关，同时也反应了家装零售市场的用户对品牌的认同和依赖性。

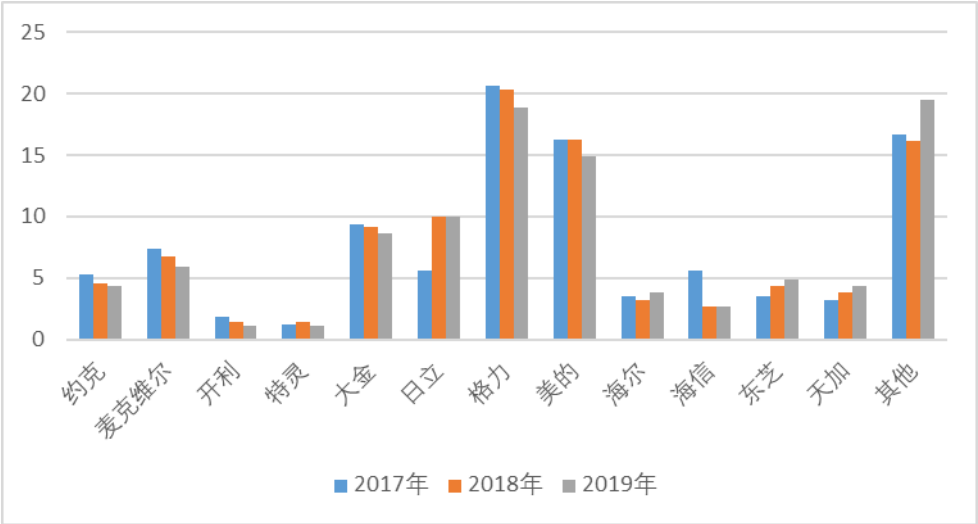


图 2.5 2017-2019 年武汉市中央空调分品牌市场份额

从分产品市场份额来看，2017-2019 年不同类型中央空调在武汉市的市场份额如图 2.6 所示，各类型中央空调的市场份额变化不大。多联机依旧是武汉市中央空调市场上占比最大的产品，2019 市场份额为 44.6%，相比 2017 年有小幅增长；其次是单元机，市场份额从 2017 年的 22.4%增长至 2019 年的 23.8%；其余的中央空调产品，诸如离心机、螺杆机、溴化锂、水地源热泵、模块机和末端等，市场份额均小于 10%，其主要应用于工程项目领域。由于大型项目数量不多，出货额随着总容量的下滑而下滑，因此以离心机、螺杆机等为代表的大型冷水机组产品整体占有率跟 2018 年相比没有太大的波动。

在中央空调需求增长迅速的家装零售市场上，多联机依旧是占比最大的产品，2018 年市场份额约为 70%，销售主力是国产品牌和日系品牌；其次是单元机，市场份额超过 25%，由国产品牌主导；其余中央空调产品市场份额累计不足 5%。

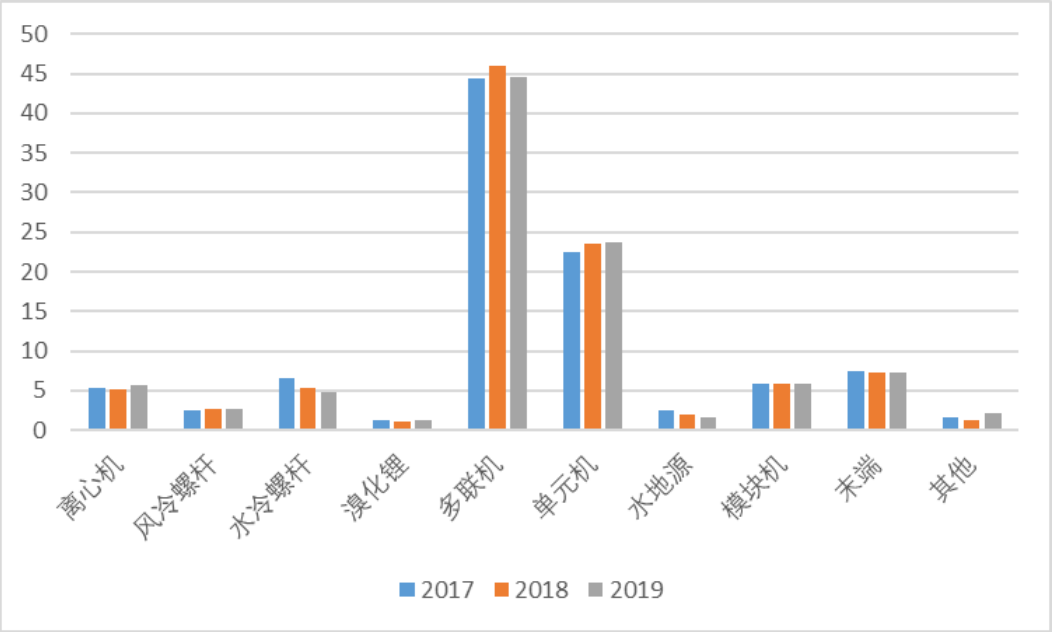


图 2.6 2017-2019 年武汉市中央空调分产品市场份额

空调的能效比决定其节能性，当前我国将各类空调产品的能效划分为三个等级。一级能效代表绿色节能型产品，二级能效代表经济型产品，三级能效为市场准入型产品。

通过对 2018 年间麦克维尔品牌的各类中央空调产品在武汉市地区销售情况的调查，得到其中央空调分能效等级的市场份额情况，具体如图 2.7 所示。可见对于不同产品，其不同能效等级的市场份额占比差别极大。对于螺杆机、模块机和单元机，市场销售的产品以三级能效为主，其市场份额分别为 52%、75%和 90%；对于离心机和水地源热泵，市场销售的产品以二级能效为主，其市场份额均到达 70%；而对于中央空调中销售量最多的多联机，市场销售的产品全部为一级能效。同时，针对美的、海信日立、大金等品牌的市场销售情况调查表明，其目前市场上销售的多联机 100%为一级能效产品。由此可见，目前市场上销售的多联机产品的能效比均达到甚至远超国家一级能

效标准。以大金品牌为例，相关销售数据表明，其 2018 年间销售的多联机中有 98.82%为“超高能效产品”，即 IPLV 能效比超出国家一级能效标准 50%以上。

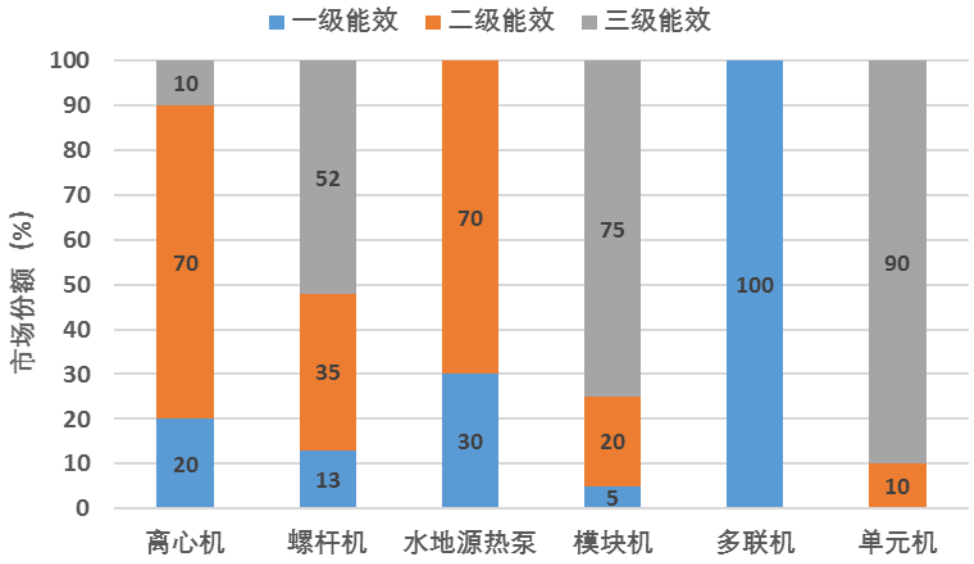


图 2.7 2018 年武汉市中央空调分能效等级市场份额

通过与相关空调制造厂商的交流和相关资料的查阅，本文整理出目前不同功率的多联机空调 IPLV 能效比的行业先进值，如图 2.8 所示。显而易见，当前多联机空调 IPLV 能效比的行业先进值（8.8-10.0）已经远远超过了国家规定的一级能效标准（3.6/3.55），从而导致市场上所销售的所有多联机均为一级能效产品。因此，当前的国家能效标准已经无法起到区分不同产品、引导市场健康发展的作用，提高我国多联机的能效标准迫在眉睫。

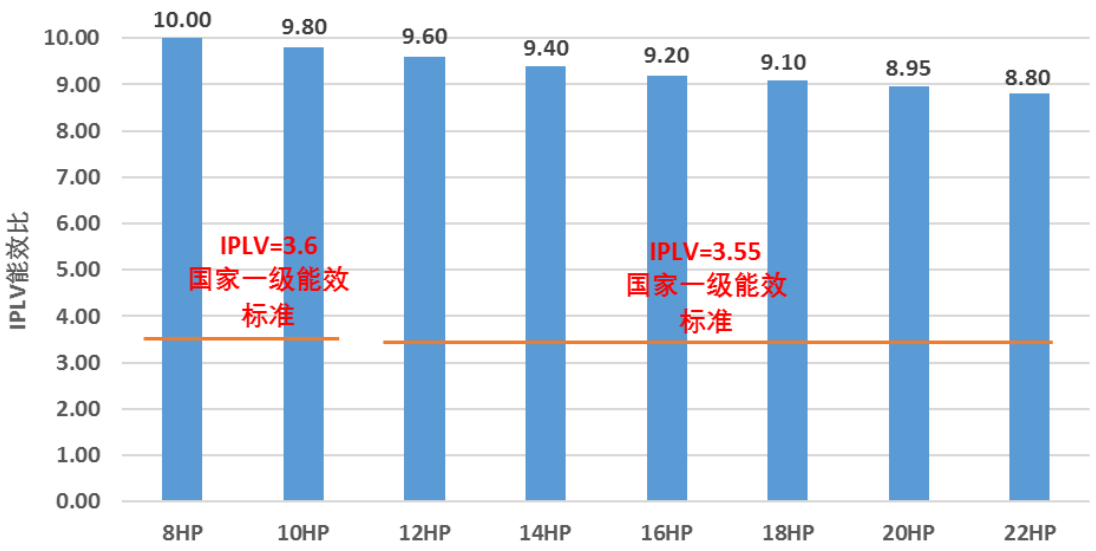


图 2.8 多联机空调 IPLV 能效比行业先进值

除了中央空调外，本文也对格力、美的、海信日立等主要品牌分体式空调器的市场销售情况进行了调查。分体式空调器主要应用于民用居住建筑和一部分办公、写字楼，这类用户往往对价格较为敏感。如图 2.9 所示，以美的为例，其 2018 年在武汉市地区分体式空调器销量为 167000 台，相比 2017 年（129000 台）增长幅度到达 29.5%。

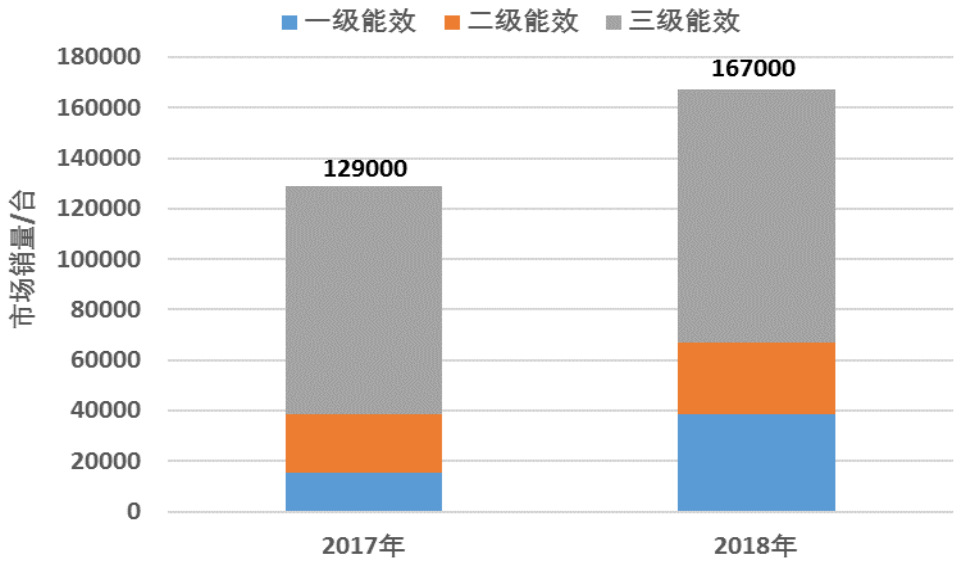


图 2.9 2017-2018 年武汉市分体式空调器销量（美的品牌）

可见虽然越来越多居民选择在家中安装中央空调，但分体式空调

器市场的增长依旧十分迅猛。这是由于选择中央空调的一般是新装修的中高端楼盘用户，占比不大；而大部分家用原本就使用分体式空调器的用户，在空调寿命到期后也只能购买新的分体式空调器代替，难以换装中央空调；同时绝大部分农村用户由于经济、住房条件等因素，其第一选择也是分体式空调器。

从分体式空调器分能效等级的销售情况来看，2017 年美的在武汉市地区销售的分体式空调中，一级、二级、三级能效占比分别为 12%、18%、70%，2018 年三者的占比分别为 23%、17%、60%。可见近两年来一级能效产品的市场份额有所增加，这主要归功于空调厂商对高效节能产品的大力宣传、推广以及用户对其认可度的逐步提高。

但不可否认的是，目前是市场上销售的分体式空调器主要以三级能效产品为主，推广高效节能产品任重而道远。对格力、海信日立等主要空调品牌销售情况的调查也证明了这点，如图 2.10 所示。

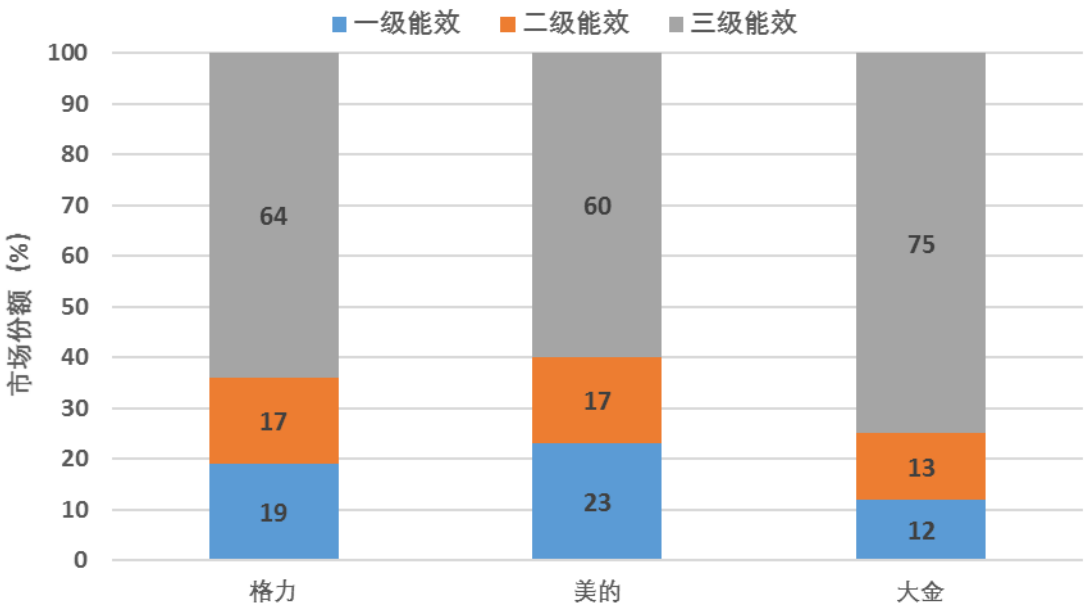


图 2.10 2018 年武汉市分体式空调器分能效等级市场份额

对于分体式空调器的用户来讲，价格往往是最为敏感的因素。如表 2.1 所示，美的 2018 年武汉市地区分体式空调器的销售数据表明，一级、二级、三级能效分体式空调器的售出均价分别约为4789、3536、3010 元，可见不同能效等级产品之间的价格差距是目前阻碍高效节能产品市场推广的最主要因素。但值得注意的是，如图 2.10 所示，不同品牌的空调分能效等级市场份额的不同也表明空调厂商的营销、宣传策略会对用户的购买选择产生影响。

表 2.1 2018 年美的分体式空调武汉市销售情况

能效等级	一级能效	二级能效	三级能效
销售量（台）	38000	28000	101000
销售额（万元）	18200	9900	30400
均价（元/台）	4789	3536	3010

2.3 居民生活领域

随着人民生活水平的不断提高，空调、冰箱等制冷设备已成为城市家庭的生活必需品，而在农村家庭中的普及率也快速提升。空调、冰箱是居民家庭生活中的主要耗电设备，有关数据显示，冰箱、空调用电占居民生活总用电量的 40-50%。武汉市处于夏热冬冷地区，夏季平均气温超过 30℃，冬季平均气温接近 0℃，所以武汉市居民生活同时存在巨大的制冷和供热需求。

如图 2.11 所示，近年来武汉市的常住人口保持持续增长趋势，2014-2019 年间常住人口年均增长率超过 1%，远高于全国平均水平。2019 年武汉市常住人口达到 1121.2 万人，相比 2018 年增长 1.2%；

其中户籍人口为 906.4 万人，增长率为 2.6%。同时，随着社会经济的发展，武汉市城镇化率也在不断提升，2019 年城镇化率到达 80.49%，相比 2014 年增长 1.08 个百分点。可以预见，作为中部地区的特大城市和国家中心城市，武汉市未来的人口总数和城镇化率仍会保持增长趋势。

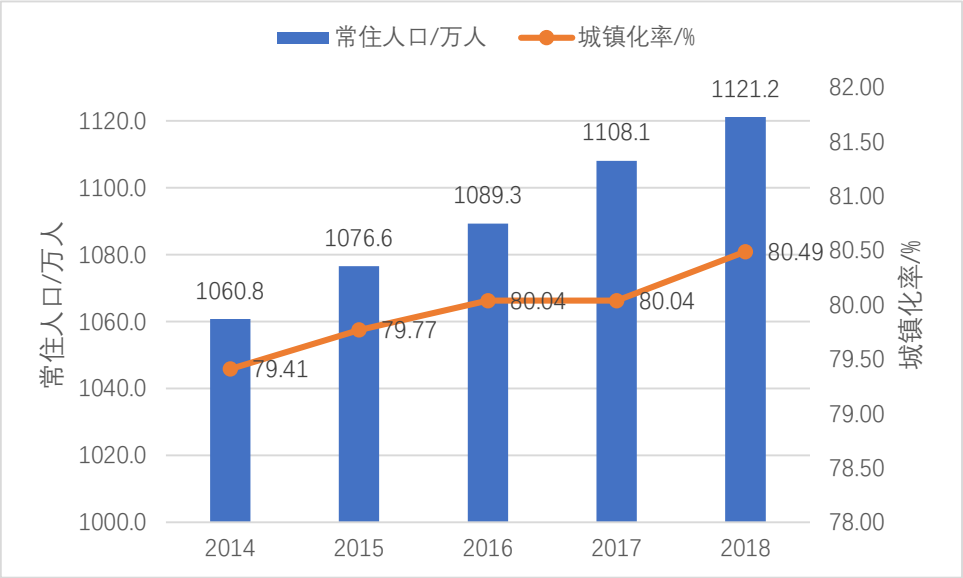


图 2.11 2014-2019 年武汉市常住人口及城镇化率

“十三五”期间，受经济下行压力大、产业结构升级转型等因素的影响，武汉市用电需求的增速呈放缓趋势。但居民生活用电需求仍保持高速增长，占比也在不断提升。如图 2.12 所示，2014-2018 年间武汉市居民生活用电量从 76.62 亿千瓦时增长至 113.93 亿千瓦时，年均增长率达 10.6%，明显高于全社会总用电量的增长速度（7.8%）。其中 2018 年增长率到达 17.30%，当年居民生活用电（113.93 亿千瓦时）占全社会总用电量（580 亿千瓦时）的比重达到 19.6%，创下新高。居民生活用电的快速增长是经济-能源结构转型、产业结构升级优化的体现，反映了居民生活水平的不断提高，同时也与冰箱、空调、热

水器等家用电耗设备保有量的快速增长有很大关系。

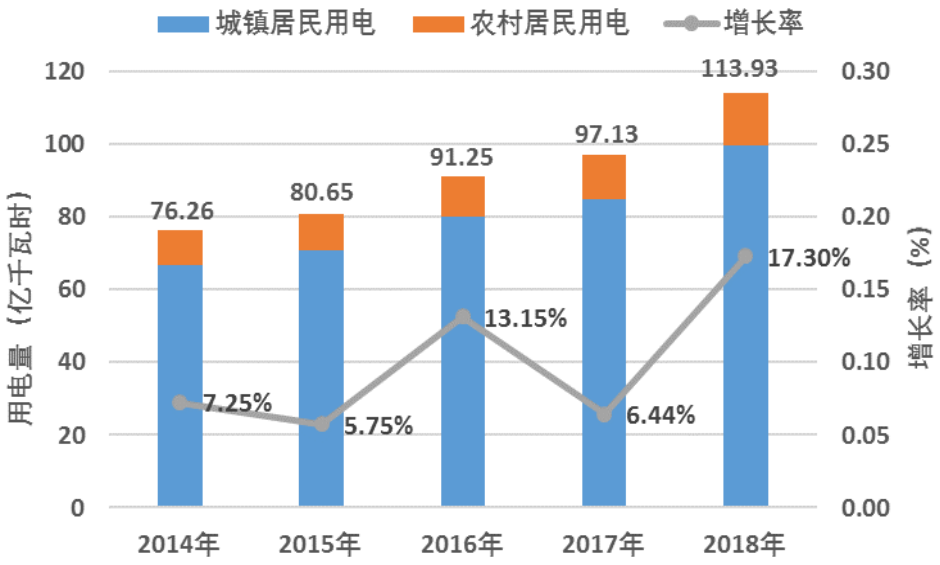


图 2.12 2014-2018 年武汉市居民生活用电量

2015 年，武汉市节能监察中心和武汉科技大学等相关单位联合对武汉市民用建筑能耗情况进行调查，其中包括了居民住宅的相关能耗数据。如表 2.2 所示，在住宅电耗方面，空调用电是最大的分项，每平米面积年均耗电达 15.91 千瓦时，其次是插座、照明、电梯和给排水，分别为 12.40、9.67、5.33、1.35 千瓦时。

表 2.2 武汉市住宅分项能耗值

建筑功能	照明插座用电		空调用电	动力用电	
	照明	插座		电梯	给排水
能耗（kWh/(m2*a)）	9.67	12.40	15.91	5.33	1.35

由表 2.2 可知武汉市家用空调用电占居民住宅总用电量的 35.6%。由于住宅电耗是居民生活用电的最主要部分，所以结合武汉市 2014-2018 年居民生活的用电数据，可以进一步推算出武汉市居民家用空调的年度总用电量。如图 2.13 所示，2018 年武汉市居民家用空

调年度用电量已达到 36.50 亿千瓦时，占当年全社会总用电量的 6.3%，可见居民家用空调已经成为武汉市电力消费领域不可忽视的重要部分。

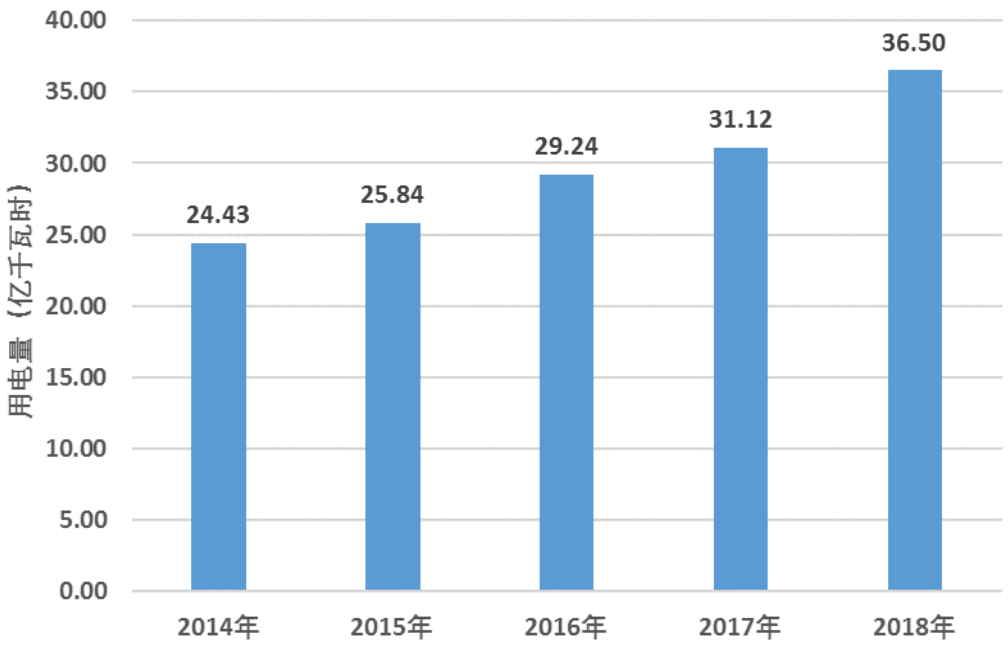


图 2.13 2014-2018 年武汉市居民家用空调用电量（估计值）

2013-2017 年武汉市每百户家庭空调拥有量如图 2.14 所示。对于城镇居民，每百户家庭空调拥有量从 2013 年的 203.6 台稳步增加至 2017 年的 213.7 台，增长幅度为 4.96%；相比之下，农村家庭的空调拥用有量增长速度更快，从 2013 年的 88.5 台增长至 2017 年的 109.5 台，增长幅度达到 23.73%。可见城镇家庭和农村家庭的空调保有量存在巨大差异，以 2017 年数据为例，后者仅为前者的 51%，这体现出武汉市城镇和农村居民收入、生活水平的差距。但同时，农村家庭的空调保有量增长速度则远快于城镇家庭。这是由于空调在城镇家庭中几乎已经完全普及，在每户都拥有空调的情况下，城镇家庭的空调保有量呈现饱和趋势，所以其增长幅度较为缓慢；而对于农村家庭，

空调等家用产品仍未实现完全覆盖，所以在农村居民收入稳步提升、家电下乡等相关政策的支持下，农村家庭空调保有量呈现快速增长趋势。可以预见，随着居民生活水平和城镇化水平的不断提升，武汉市家用空调的保有量仍会保持增长趋势。

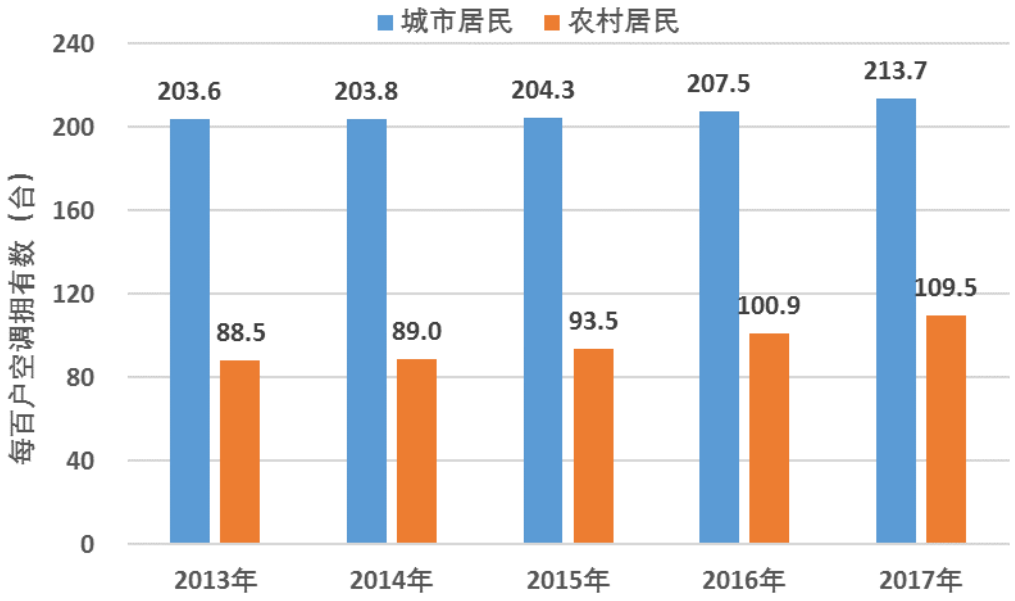


图 2.14 2013-2017 年武汉市每百户家庭空调拥有数

通过对不同居民家庭的走访、发放调查调查问卷等方式，本研究对武汉市居民家用分体式空调器的能效等级、使用时长等基本情况进行了了解。表 2.3 展现了当前武汉市居民家用分体式空调器不同能效等级的占比情况。在城镇家庭中，一级、二级、三级能效的空调占比分别为 16%、20%和 64%；在农村家庭中，分别为 5%、14%和 81%。可见，无论是城镇家庭还是农村家庭，家用分体式空调器均以三级能效为主，其次是二级能效，一级能效占比最小；同时相对于农村家庭，城镇家庭会更多的选择能效等级较高的空调。

表 2.3 武汉市居民家用分体式空调器分能效等级占比

家庭类型	一级能效	二级能效	三级能效	合计
城镇	16%	20%	64%	100%
农村	5%	14%	81%	100%

考虑到能效等级制定的初衷：一级能效代表行业先进值，销售客户象主要面向节能建筑（如绿建二星及三星级建筑）或对制冷设备要求较高的客户；二级能效是节能型产品门槛等级，也是性价比最高的产品，适用于绝大多数普通用户；而三级产品是市场准入产品，主要面向对价格比较敏感的用户。所以本研究认为在理想状态下，市场销售的和居民家中的空调应以二级能效产品为主，一级、三级能效产品为辅，而实际的调查结果明显不尽如人意。一方面，价格是阻碍高能效产品推广的主要因素。如 2.2 节所述，以美的 2018 年分体式空调器的销售数据为例，一级能效空调的均价要比二级、三级能效空调分别高出 1253、1779 元。对于平均价格不过几千元的产品，这样巨大的价格差距难免使绝大多数消费者望而却步。另一方面，节能环保意识的缺乏也是一大原因。调查表明，品牌、价格、售后是目前消费者购买家用空调时最为关心的三大因素，而很多消费者对能效等级的含义一知半解甚至完全没有概念，这也导致市场上高能效比产品难以得到消费者的认可。

武汉市夏季气温高，居民日常生活中对空调的依赖性较强。图 2.15 展现了武汉市居民家用空调夏季日均使用时长。对于城镇家庭，不同使用时长区间内的用户占比（从短到长）分别为 17%、37%、23%、14%和 9%，日均使用时长为 5.14 小时；对于农村家庭，不同使用时

长区间内的用户占比（从短到长）分别为 36%、50%、11%、3%、2%，日均使用时长为 3.64 小时。近日由北京市发改委发布的《2019 年居民行为节能调查研究报告》显示北京市居民家庭空调夏季日均使用 5.2 小时，其中使用 10 小时及以上的家庭约占 12.4%。相比而言，武汉市城镇家庭的空调使用时长和北京市家庭较为相近，而农村家庭的使用时长则普遍较短。

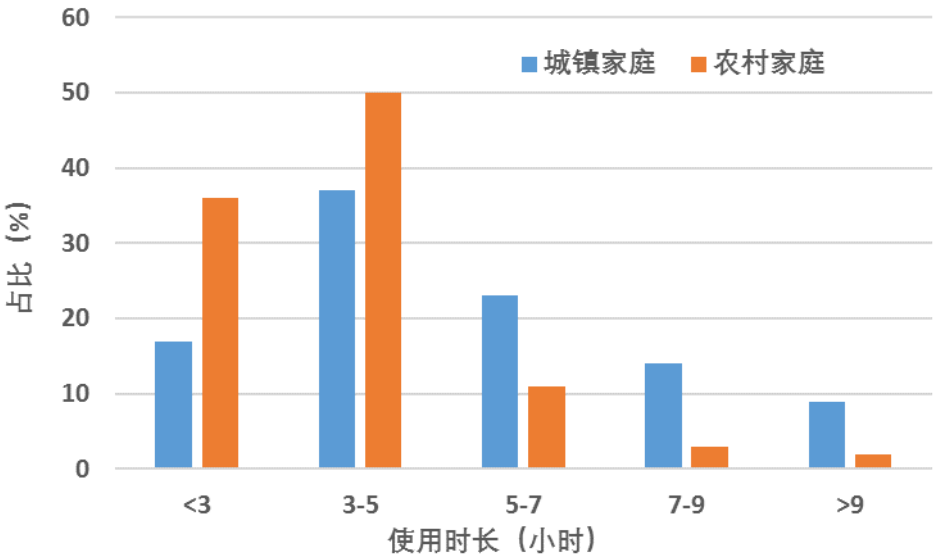


图 2.15 武汉市居民家用空调夏季日均使用时长

2.4 工业领域

武汉市作为全国重要的工业基地，以工业为主第二产业在经济中所占比重较高。但近年来，随着武汉市积极推动产业结构调整和促进产业转型升级，第二产业占 GDP 比重逐年下降。2019 年武汉市第二产业产值为 5988.88 亿元，增长率为 6.5%，相比 2018 年增速回升 0.8 个百分点；第二产值占 GDP 比重为 36.9%，相比 2018 年下降 6.1 个百分点。2013-2018 年武汉市用电情况如图 2.16 所示。2018 年武汉市

全社会用电量达到 580 亿千瓦时，增长 11.7%；其中工业用电量为 279.67 亿千瓦时，增长 6.7%；工业用电占比为 48.19%，相比 2017 年下降 2.26 个百分点。由图可见，虽然武汉市工业用电占全社会用电比重持呈下降趋势，但仍是主要的电力消费用户，且用电总量持续增长。

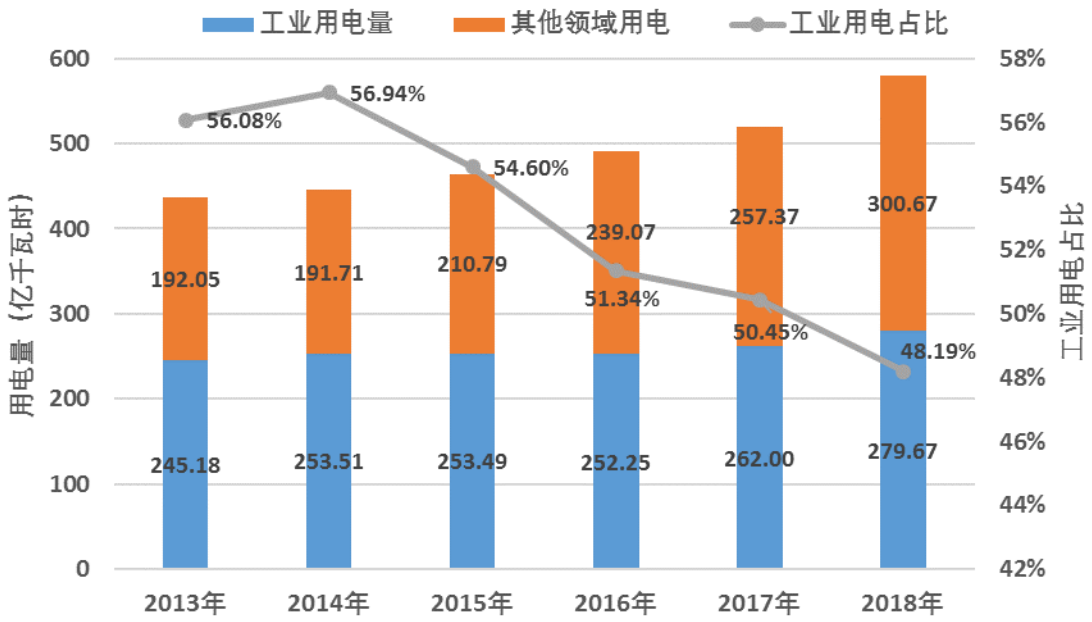


图 2.16 2013-2018 年武汉市用电量

制冷设备广泛应用于工业生产过程中，包括食品加工制造、电子电气设备制造、医药制造生产、冷链物流、汽车制造等不同领域。武汉市是全国重要的汽车生产基地，拥有上汽通用汽车有限公司、东风汽车有限公司等大型汽车制造企业，2017 年汽车产量达 189.78 万辆，占全国总产量的 6.3%；武汉市也是全国重要的食品加工生产基地，2017 年食用油、饮料、烟草等产量均超过百万吨；巨大的食品加工生产规模也带动了武汉市冷链物流的快速发展，武汉拥有华中地区最大的冷链项目—白沙洲冷链物流，其冷库容量达到 6.5 万吨，辐射半

径超过 1000 公里。同时，武汉市近年来重点布局和发展的信息技术、生命健康、先进制造三大领域，生产环境要求较高，对制冷的需求极大。因此，本文选取了电子电气设备制造、食品加工制造、医药制造、冷链物流、信息技术和汽车制造这六个对制冷需求较大的行业，对其制冷现状进行了调查研究；据调查结果估计，2018 年武汉市上述六个工业行业的制冷用电量到达 17.27 亿千瓦时，占工业总用电量的 6.18%，如表 2.4 所示。

表 2.4 2018 年武汉市六大工业行业制冷用电量

2018 年武汉市工业用电量（亿千瓦时）	2018 年武汉市六大工业行业制冷用电量（亿千瓦时）	占比（%）
279.67	17.27	6.18

细分到不同的工业行业，2018 年武汉市工业领域制冷用电情况如图 2.17 和 2.18 所示。电子电气设备制造行业是最主要的制冷需求用户，其制冷用电量约为 7.80 亿千瓦时，在六大工业行业总制冷用电量中占比为 45.2%；随后是食品加工制造、信息技术、汽车制造、冷链物流和医药制造行业，其制冷用电约为 3.19、1.83、1.75、1.54 和 1.16 亿千瓦时，占比分别为 18.5%、10.6%、10.2%、8.9%和 6.7%。

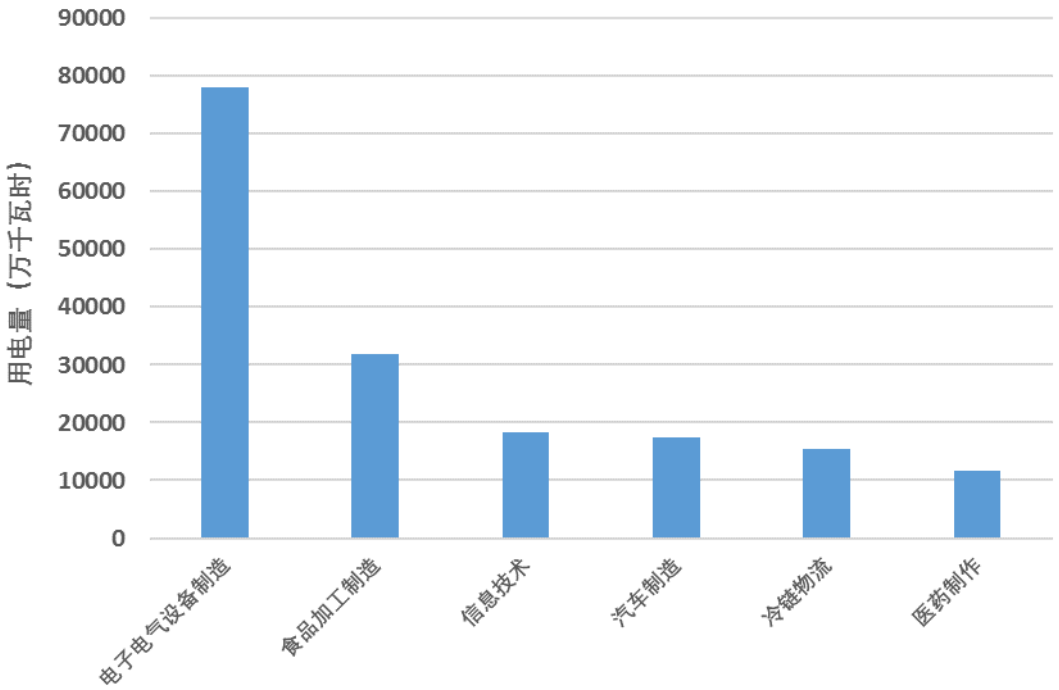


图 2.17 2018 年武汉市六大工业行业制冷用电量

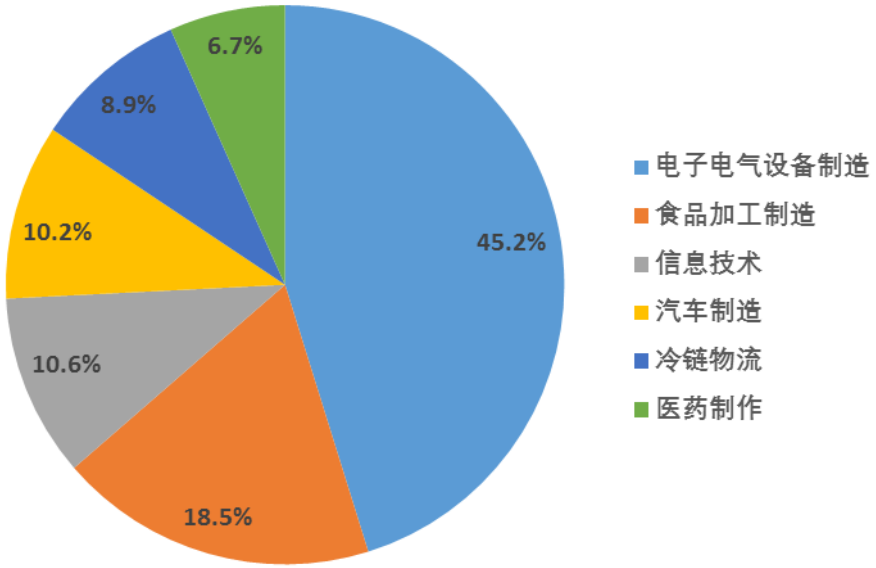


图 2.18 2018 年武汉市六大工业行业制冷用电占比

2.4.1 电子电气设备制造行业

电子电气设备制造行业主要指电气机械和器材制造及计算机、通信和其他电子设备制造。武汉市的此类企业包括天马微电子有限公司、华星光电技术有限公司、冠捷显示科技有限公司等 391 家大小企业。

由于光伏、计算机等电子电气设备的精密性，其生产、加工、储存车间均要求常年恒温恒湿，因此此类企业往往拥有巨大的制冷需求。以武汉华星光电技术有限公司为例，其主要从事中高端手机、平板、笔电及车载产品的显示屏生产。该企业配备有 14 台离心式制冷机组和 2 台螺杆式制冷机组，总装机制冷容量为 112608 千瓦；设备服务的建筑面积约为 50 万平方米，2018 年耗电量为 78550596 千瓦时，占企业总用电的 27%，折合能源强度为 157kWh/(m^2·a)，。据相关调查结果推算，武汉市此类企业制冷用电占企业总用电量的 25%左右。

表 2.5 武汉华星光电技术制冷设备基本情况

企业名称：武汉华星光电技术有限公司　　行业：液晶面板									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	热回收离心冰机	约克	4994	6	80	COP=7	2015/10	8760	约 50 万平方米
2	中温离心冰机	特灵	10902	5	80	COP=7.4	2015/10	8760	
3	低温离心冰机	特灵	8440	3	60	COP=6.3	2015/10	5000	
4	低温螺杆冰机	特灵	1406.8	2	0	COP=5.4	2015/10	0	

表 2.6 名幸电子制冷设备基本情况

企业名称：名幸电子有限公司　　行业：电子设备制造									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	溴化锂冷冻机	双良	3490	1	80-90	3 级	2011	600	100268 平方米

2	离心式冷冻机	约克	3516	2	80-90	2 级	2018	6000	
3	双螺杆冷冻机	约克	3641	2	80-90	3 级	2010	2000	
4	离心式冷冻机	特灵	2464	7	80-90	1 级	2006	4000	
5	离心式冷冻机	特灵	1758	2	80-90	2 级	2017	6000	

2.4.2 食品加工制造行业

食品加工制造行业包括农副食品加工业、食品制造业、烟草制造业和酒、饮料及精制茶制造业，武汉市共有此类企业 231 家。食品、饮料和烟酒均属于易腐、易变质产品，尤其是在夏天高温环境下保质期更短。所以此类产品在原料生产、加工、运输、存储、销售等各个环节中始终需要保持在适宜的温度环境下，这就要涉及各种冷冻、冷藏和控温储运设备。以武汉市双汇食品有限公司为例，该企业装备有 29 台螺杆式制冷压缩机组，总装机制冷容量为 22658 千瓦；设备服务面积为 58060 平方米，2018 年耗电量为 8110705 千瓦时；占企业总用电量的 48.42%，折合能源强度为 140 kWh/(m^2·a)。据相关调查结果推算，武汉市此类企业制冷用电占企业总用电量的 33%左右。

表 2.7 武汉双汇食品制冷设备基本情况

企业名称：湖北武汉双汇食品有限公司　　行业：肉制品及副产品加工									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	螺杆式制	约克	671	15	100	3 级	2006/6	8520	58060 平

	冷压缩机								方米
2	螺杆式制冷压缩机	约克	477	7	100	3 级	2006/6	7100	
3	螺杆式制冷压缩机	约克	1322	7	100	3 级	2010/8	8520	

表 2.8 武汉周黑鸭制冷设备基本情况

企业名称：武汉周黑鸭有限公司　　行业：食品制造									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	水冷式中央空调	特灵	1071	2	75	1 级	2010/5	1268	1248 平方米
2	风冷式中央空调	特灵	169.2	1	78	1 级	2013/5	6852	

2.4.3 医药制造行业

武汉市共有医药制造行业的相关企业 73 家，以国药控股湖北有限公司、远大医药有限公司、翰宇药业等为代表。为了保证医药产品在出产加工及运输过程中的质量与安全，生物医药行业对其产品所处的环境温度有严格要求。无论是生物制药厂还是销售公司，都需要有冷库等设施来满足药品的冷藏需求。以武汉远大医药有限公司为例，该企业装备有螺杆式制冷压缩机 5 台，总装机制冷容量为 7896 千瓦；设备服务面积为 40840 平方米，2018 年耗电量为 3595200 万瓦时；占企业总用电量的 37.5%，折合能源强度为 88.03 kWh/(m^2·a)。据相关调查结果推算，武汉市此类企业制冷用电占企业总用电量的 36% 左右。

表 2.9 远大医药制剂分公司制冷设备基本情况

企业名称：远大医药有限公司制剂分公司　　行业：电子设备制造									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	螺杆式制冷压缩机	约克	1842	2	80-90	2 级	2012	3360	13119 平方米
2	螺杆式制冷压缩机	约克	1695	2	80-90	2 级	2012	3360	14206 平方米
3	螺杆式制冷压缩机	约克	822	1	80-90	2 级	2012	5000	13515 平方米

表 2.10 翰宇药业制冷设备基本情况

企业名称：名幸电子　　行业：电子设备制造									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	螺杆式冷水机组	特灵	1452	1	30-100	1 级	2018/8	4800	48600 平方米
2	离心式冷水机组	开利	4220	2	30-100	2 级	2011/6	4800	

2.4.4 汽车制造行业

武汉市共有汽车制造业的相关企业 381 家，以上汽通用汽车有限公司武汉分公司、东风汽车集团有限公司为代表。汽车及其各部件在制造装配过程中对车间有严格的温度、湿度要求，需要有大型制冷设备来满足其制冷需求。以上汽通用汽车有限公司武汉分公司为例，该企业装备有 20 台离心式冷水机组和 10 台螺杆式冷水机组，总装机制冷容量为 162474 千瓦；设备服务面积为 424281 平方米，2018 年耗电量为 26484000 千瓦时，占企业总用电量 9.6%，折合能源强度为

62.42 kWh/(m^2·a)。据相关调查结果推算，武汉市此类企业制冷用电占企业总用电量的 10%左右。

表 2.11 上汽通用汽车武汉分公司制冷设备基本情况

企业名称：上汽通用汽车有限公司武汉分公司　　行业：汽车制造									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	离心式冷水机组	特灵	1500	4	80	3 级	2014	1500	424281 平方米
2	离心式冷水机组	特灵	7494	16	88	2 级	2014	1500	
3	螺杆式冷水机组	约克	3657	10	85	3 级	2014	3000	

表 2.12 武汉东风雷诺汽车制冷设备基本情况

企业名称：武汉东风雷诺汽车有限公司　　行业：汽车制造									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	离心式冷水机组	开利	7000	3	90	1 级	2015/6	4800	109000 平方米
2	离心式冷水机组	日立	1582	2	90	2 级	2016/6	880	
3	离心式制冷机	特灵	2800	4	90	1 级	2016/6	3500	
4	离心式制冷机	特灵	1400	2	90	2 级	2016/3	3500	

2.4.5 冷链物流行业

冷链物流是随着科学技术的进步、制冷技术的发展而建立起来，以冷冻工艺学为基础，以制冷技术为手段，在低温条件下的物流现象，

主要针对食品等易腐蚀产品。具体来说，冷链是指易腐产品从产地收购或生产之后，在产品加工、贮藏、运输、分销和零售、直到消费者手中，其各个环节始终处于产品所必需的低温环境，以保证产品质量安全，减少损耗，防止污染的特殊供应链系统。武汉市冷链物流行业的制冷用电占总用电量的比重约为 55.35%。以武汉市山绿集团为例，该企业装备有 14 台各式制冷机组，设备服务面积为 34870 平方米，2018 年耗电量为 6350120 千瓦时，占企业总用电量 60%，折合能源强度为 182.11 kWh/(m^2·a)。

表 2.13 武汉山绿集团制冷设备基本情况

企业名称：武汉山绿集团有限公司　　行业：冷库									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	螺杆式压缩机组	约克	664	1	65	2 级	2018	3680	9870 平方米
2	螺杆式压缩机	约克	818	2	65	2 级	2018	3680	
3	螺杆式压缩机	约克	482	2	65	2 级	2018	3680	
4	吊顶式冷风机	昆腾	90	18	85	1 级	2018	4800	
5	吊顶式冷风机	昆腾	50	12	85	1 级	2018	4800	
6	螺杆式压缩机	约克	928.2	2	65	3 级	2006	3680	2000 平方米
7	螺杆式压缩机	约克	264.6	3	65	3 级	2006	3680	

8	跨临界 CO2 压缩机		175.36	1	85	1 级	2016	7200	5000 平方米
9	跨临界 CO2 压缩机		220	1	85	1 级	2016	7200	
10	跨临界 CO2 压缩机		322	1	85	1 级	2016	1800	

2.4.6 信息技术行业

信息技术产业是运用信息手段和技术，收集、整理、储存、传递信息情报，提供信息服务，并提供相应的信息手段、信息技术等服务的产业，是武汉市重点布局和发展的三大产业之一。以数据中心为代表，信息技术产业涉及大量 IT 设备，运行过程中会产生大量热量，故需要制冷设备保证其正常运行。武汉市信息技术产业的制冷用电占总用电量的比重约为 24.89%。以中国电信武汉数据中心为例，其装备有 228 台风冷式空调设备，服务面积 14020 平方米，2018 年耗电量为 17551390 千瓦时，占企业总用电量 42%，折合能源强度达 1251.88 kWh/(m^2·a)。

表 2.14 武汉电信数据中心制冷设备基本情况

企业名称：武汉电信金银湖运营基地　　行业：数据中心									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	风冷型空调	依米康	100	64	48	2 级	2015	8760	4500 平方米
2	风冷型空调	依米康	110	40	43	2 级	2017	8760	2800 平方米
3	风冷型空	依米康	50	50	49	3 级	2008-20	8760	2400 平

	调						10		方米
4	风冷型空调	斯泰科	110	39	34	2 级	2018	8760	1920 平方米
5	风冷型空调	佳力图	50	35	39	3 级	2011	8760	2400 平方米

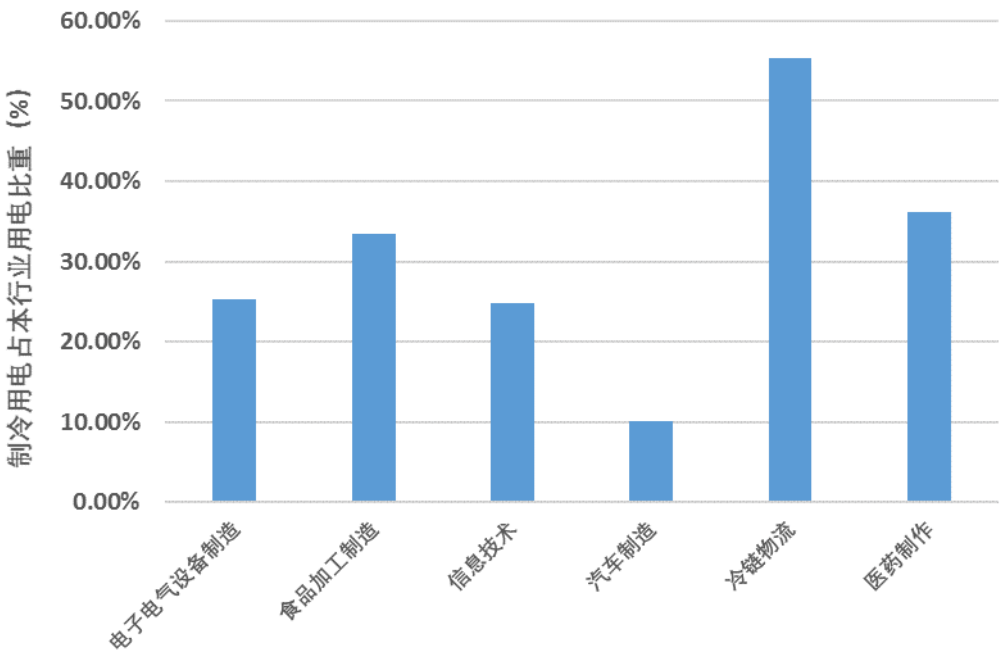


图 2.19 六大工业行业制冷用电占本行业用电比重

武汉市六大工业行业制冷用电占本行业总用电量的比重如图 2.19 所示。可见，冷链物流行业制冷用电占本行业总用电的比重最大，超过 55%；其次是医药制造、食品加工制造行业，比重均超过 30%；电子电气设备制造、信息技术行业的比重在 20-30%之间，汽车制造行业制冷用电占本行业总用电的比重约为 10%。

2.4.7 其他工业行业

除上述六个对制冷需求较大的工业行业外，制冷设备在其他工业

行业中也有应用。如钢铁厂和火电厂，在生产过程中会产生大量热量，许多控制室都将置于高温环境中，因此必须安装供冷设备维持适宜温度。又如石油化工行业，需要制冷装置提供有机合成等工艺步骤中的分离、结晶浓缩、提纯催化和控制反应温度等低温需求。但总体来说，其他工业行业对制冷的需求较小，制冷用电仅占行业用电很小的一部分。结合对武汉市工业制冷情况的调查结果和相关文献，对于其他工业行业按制冷用电占总用电的 5%进行估算，则 2018 年武汉市工业领域制冷用电量为 26.99 亿千瓦时（其中六个主要用冷行业制冷用电 17.27 亿千瓦时，其他行业制冷用电 9.72 亿千瓦时），占工业总用电的 9.65%，如表 2.15 所示。

表 2.15 2018 年武汉市工业领域制冷用电

2018 年武汉市工业用电量（亿千瓦时）	2018 年武汉市工业制冷用电量（亿千瓦时）	制冷用电占比（%）
279.67	26.99	9.65

2.5 服务业领域

近年来由于武汉市产业结构的调整，以服务业为主的第三产业的用电量快速增长。如图 2.20 所示，武汉市第三产业用电量从 2010 年的 69.64 亿千瓦时增长至 2018 年的 172.03 亿千瓦时，年均增速达到 12%，是三大产业中增长速度最快的。随着第三产业在国民经济中的比重不断增大，在可预计的未来，其用电量仍会保持快速增长。

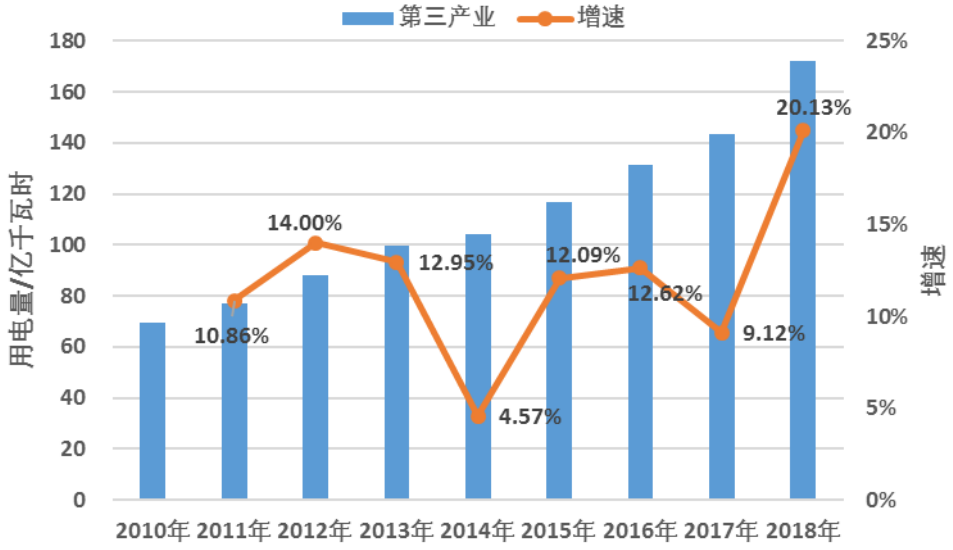


图 2.20 2010-2018 年武汉市第三产业用电量

服务业的主要电耗来源于相关公共建筑的用电。我国建筑分为两大类：生产用建筑（工业建筑）和非生产用建筑（民用建筑），民用建筑又分为居住建筑和公共建筑，公共建筑包括办公楼、商场、酒店旅馆、医院、学校和其他公共建筑。

随着人口增长、城镇化率提升、市区范围不断扩大，武汉市公共建筑面积近年来呈稳定增长趋势。以 2015 年为基准年，武汉市 2015-2018 年新建和既有的公共建筑面积如图 2.21 所示。2015 年武汉市既有公共建筑面积为 8631 万平方米，新建公共建筑面积为 701 万平方米，合计 9333 万平方米；2018 年武汉市既有公共建筑面积为 8132 万平方米，新建公共建筑面积为 3058 万平方米，合计 11190 万平方米，2015-2018 年间年均增速为 6.2%。

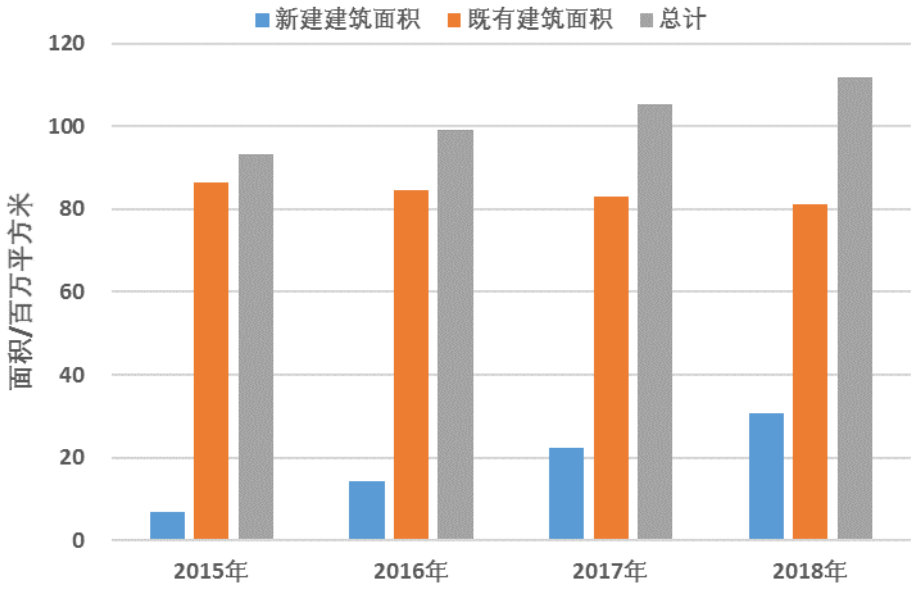


图 2.21 2015-2018 年武汉市公共建筑面积

2018 年武汉市公共建筑的组成如图 2.22 所示。办公楼在公共建筑中所占比重最大，其面积占比为 33.28%；其次为学校、商场、酒店旅馆和医院，其表面积占比分别为 18.15%、16.94%、10.45%和 4.03%；其他类型公共建筑的面积占比为 17.14%。值得一提的是，当前武汉市拥有 89 所各类高校，在校大学生超过 130 万人，所以学校在公共建筑中的面积占比远高于其他城市，是公共建筑的重要组成部分。

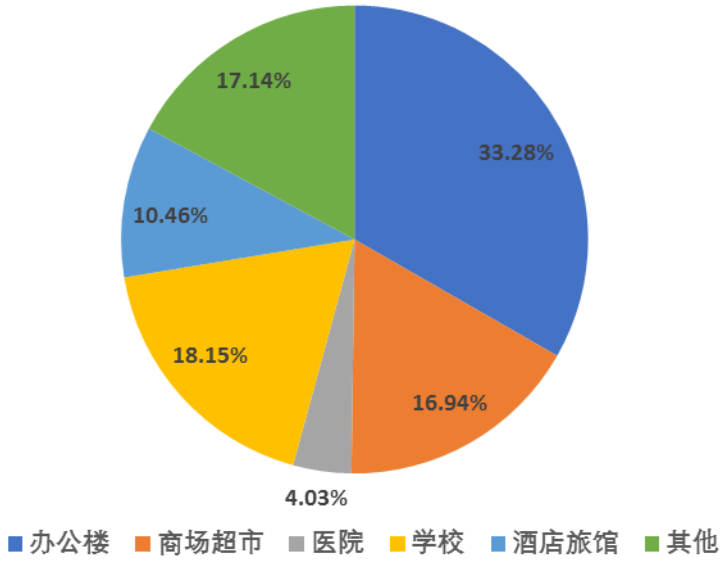


图 2.22 2018 年武汉市公共建筑面积份额

在公共建筑（特别是大型商场、高档旅馆酒店、高档办公楼）的全年能耗中，大约有 50-60%消耗于空调制冷与供暖系统，20%-30%用于照明。在商业建筑中（商场、超市、酒店），集中式空调系统的能耗约占整个建筑能耗的 30%-50%，有些地区甚至达到 70%以上。通过对武汉市各类公共建筑能耗情况的调查，本研究得到当前武汉市公共建筑制冷和供暖能耗水平，如图 2.23 所示。

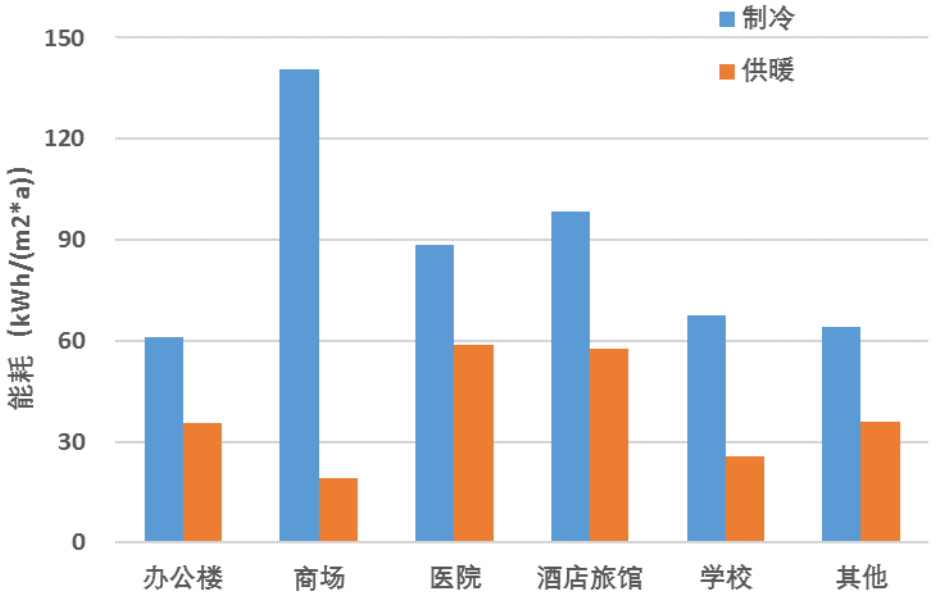


图 2.23 2018 年武汉市公共建筑制冷供暖能耗

在各类公共建筑中，制冷和供暖能耗最大的为商场类建筑，其累计能耗为 159.76 kWh/(m^2·a)；其次是酒店旅馆类建筑，累计能耗为 155.96 kWh/(m^2·a)；医院、办公楼和学校的制冷和供暖的累计能耗分别为 147.26、96.83 和 93.16 kWh/(m^2·a)；其他类型的公共建筑的累计能耗为 100.25 kWh/(m^2·a)。

除了少数区域有集中式供暖之外，武汉市绝大部分公共建筑采用多联机、螺杆机、离心机和水地源热泵等制冷、供暖两用设备来满足夏季制冷和冬季供暖需求。调查结果表明，武汉市公共建筑的制冷季

在普遍在每年 5 月至 10 月份，设备年均制冷时长为 1200-1800 小时；每年 12 月-3 月份为供暖季，年均供暖时长为 900-1200 小时（部分商场不采暖）。从能耗水平快来看，各类公共建筑的制冷能耗普遍高于供暖能耗，除商场类建筑的制冷供暖能耗相差很大之外，其他公共建筑的供暖能耗普遍在制冷能耗的 40-65%之间。具体而言，医院类建筑的制冷和供暖能耗水平差距最小，分别为 88.39 和 58.57 kWh/(m^2·a)，笔者认为这是由于医院建筑的特殊性，需要常年保持建筑内温度处于适宜范围；商场类建筑的制冷和供暖能耗差距最大，远高于其他公共建筑，分别为 140.51 和 19.26 kWh/(m^2·a)，这是由于此类建筑的供暖时长较短，相当一部分商场在冬季不供暖；除此之外，办公楼类建筑的制冷和供暖能耗分别为 61.17 和 35.66 kWh/(m^2·a)，酒店旅馆类建筑的制冷和供暖能耗分别为 98.27 和 57.69 kWh/(m^2·a)，学校类建筑的制冷和供暖能耗分别为 67.54 和 25.63 kWh/(m^2·a)，其他公共建筑的制冷和供暖能分别为 64.26 和 36.00 kWh/(m^2·a).

表 2.16 武汉市公共建筑制冷设备分类别占比

	螺杆机	离心机	多联机	水地源热泵	其他
占比	21.9%	19.7%	10.2%	10.5%	37.7%

根据调查结果，武汉市公共建筑所使用的的制冷设备中，螺杆机所占的比重最大，为 21.9%；其次是离心机，占比为 19.7%；多联机和水地源热泵的占比分别为 10.2%和 10.5%；其他类型制冷设备的占比为 37.7%，如表 2.16 所示。

对于采用螺杆式机组的公共建筑，以武汉市汉口医院总院区门诊、外科住院综合楼为例：其配备有 2 台开利 30HXC400A 型螺杆式水冷

机组，能效等级为 2 级，总额定制冷量为 1392kW；设备服务面积为 19000 平方米，2018 年耗电量为 2861600kWh，折合能源强度为 150.61 kWh/(m^2·a)。

表 2.17 武汉市汉口医院制冷设备基本情况

建筑名称：武汉市汉口医院总院门诊、外科住院楼　　建筑类别：医院									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	螺杆型冷水机组	开利	1392	2	85	2 级	2011/1	2880	19000 平方米

采用离心式机组的公共建筑以武广大厦为例：其配备有 4 台约克水冷离心机组，能效等级为 1 级，总额定制冷量为 11956kW；设备服务面积为 50000 平方米，2018 年耗电量为 6456000kWh，折合能源强度为 129.12 kWh/(m^2·a)。

表 2.18 武广大厦制冷设备基本情况

建筑名称：武广大厦　　建筑类别：商业建筑									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	离心型冷水机组	约克	2989	4	80	1 级	2017/10	3000	50000 平方米

采用多联机的公共建筑以武汉市疾控中心为例：其配备有 56 台东芝变频式多联机，能效等级均为一级，额定制冷量为 4353.4kW；设备服务面积为 35000 平方米，2018 年耗电量为 4148900kWh，折合能源强度为 118.54 kWh/(m^2·a)。

表 2.19 武汉市疾控中心制冷设备基本情况

建筑名称：武汉市疾控中心　　建筑类别：医院

序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	变频多联室外机	东芝	25-120	56	40-90	1 级	2019	3000	3500 平方米

水地源热泵机组常与其他类型制冷设备配合使用，如武汉光谷希尔顿酒店：其配备有 2 台地源热泵机组和 3 台离心式水冷机组，设备服务面积约为 10000 平方米。

表 2.20 武汉光谷希尔顿酒店

建筑名称：武汉市汉口医院总院门诊、外科住院楼　　建筑类别：医院									
序号	设备名称	品牌	制冷量（kW）	数量（台）	负载率（%）	能效等级	投产年份	年运行时间（h）	服务建筑面积
1	地源热泵机组	约克	1058	2	40	1 级	2013	3600	约 10000 平方米
2	离心式冷水机组	约克	1955	3	50	1 级	2013	3600	

调查表明，新建公共建筑（指 2015 年之后建造的公共建筑）的制冷和供暖能耗普遍小于既有的公共建筑，如图 2.24 所示。相比于既有建筑，各类新建公共建筑的制冷和供暖能耗均有 20-30%的降幅，这得益于近年来我国对建筑领域节能减排工作的不断推进，建筑能耗标准的不断提升以及制冷设备本身的升级换代。一方面，相比既有建筑，新建的公共建筑往往具有更优化的建筑围护结构设计，从而提高建筑的气密性和建筑的保温隔热性能，更大限度地减少建筑热传导损失和通风热损失；另一方面，新建公共建筑往往会采用更为高效、新式的制冷设备，同时拥有更智能、完善的能源管理体系。

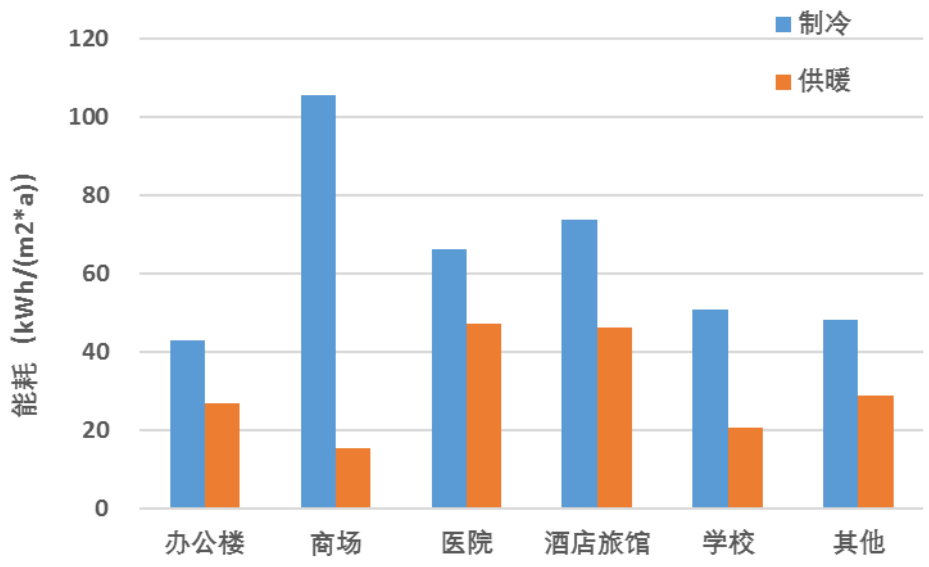


图 2.24 武汉市新建公共建筑制冷及供暖能耗

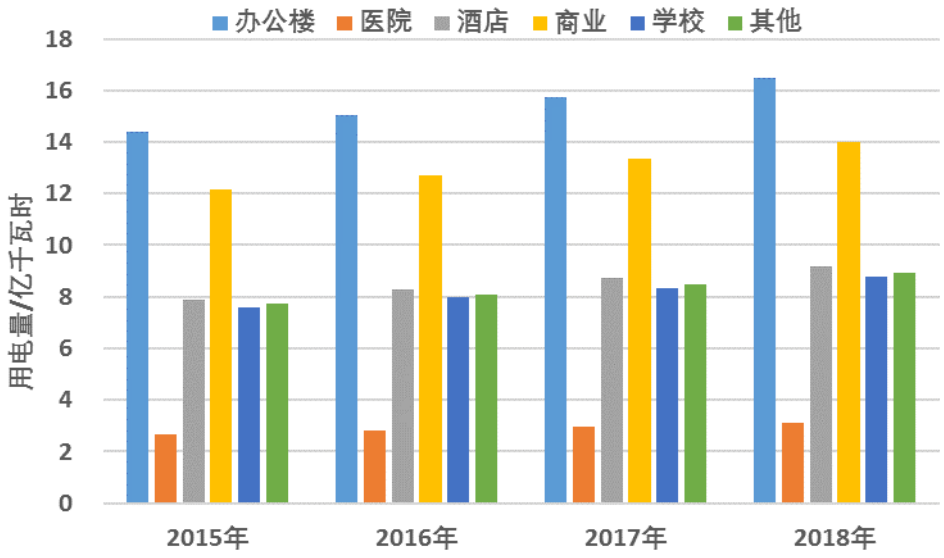


图 2.25 2015-2018 年武汉市服务业领域制冷及供暖用电量

根据武汉市各类公共建筑面积及其制冷和供暖能耗水平，可以大致推算出近年来武汉市服务业领域的制冷及供暖用电量，如图 2.25 所示。据估计，2018 年武汉市服务业领域制冷及供暖用电量为 60.47 亿千瓦时，占第三产业用电量的 35.1%，占全社会用电量的 10.4%，2015-2018 年间年均增长速度为 5%左右。影响服务业领域制冷及供暖用电量的因素主要有两方面：一是相关公共建筑总面积的不断增长，推动了制冷及供热需求的增长；二是老旧落后的公共建筑逐渐被淘汰，

取而代之的是更节能高效的新建公共建筑，这在一定程度上抑制了服务业领域制冷及供暖用电量的增长速度。

2018 年武汉市服务业领域制冷及供暖用电量的份额如图 2.26 所示。其中占比最大的是办公楼类建筑，用电量为 16.50 亿千瓦时，占比为 27.29%；其次是商业建筑，用电量为 14.02 亿千瓦时，占比为 23.18%；学校、酒店、医院建筑的用电量分别为 8.78、9.15 和 3.09 亿千瓦时，占比分别为 14.51%、15.14%和 5.11%；其他类型的公共建筑用电量为 8.93 亿千瓦时，占比为 14.77%。

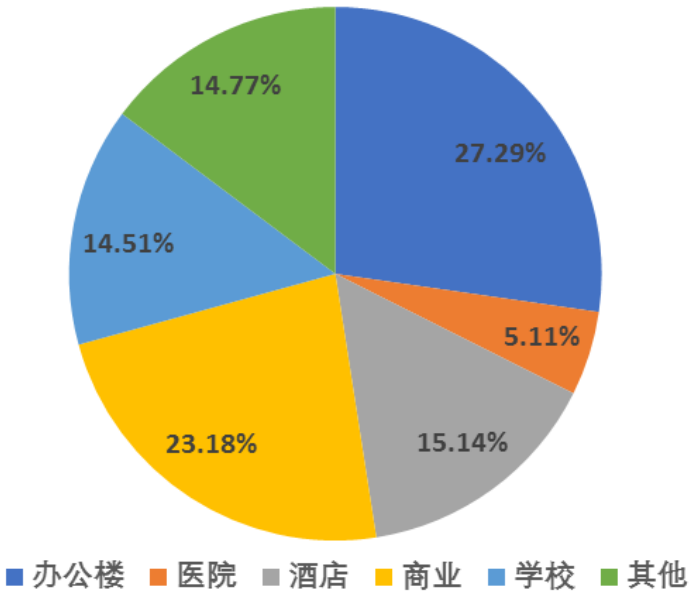


图 2.26 2018 年武汉市服务业领域制冷及供暖用电量份额

2.6 交通领域

截至 2019 年，武汉市中心城区现状已基本建成约 350 公里的“三环十三射”城市快速路网络；形成以轨道为骨干、层次分明的公交体系，轨道交通运营 9 条线、339 公里，常规公交线路增加到 550 条，

公交线网长度增至 3500 公里，中运量有轨电车 3 条，运营里程 65.7 公里。

据估计 2018 年武汉市全年出行总量约为 101.83 亿人次，不同出行方式的份额如表 2.21 所示。

当前武汉市轨道交通网络日均客流量约 360 万人次，最高日客流突破 445 万人次，全年客运量为 10.4 亿人次；线网规模全国第五，全网日均客流量全国第六。武汉市现有轨道车辆总数 2068 辆，比 2018 年增加 13.1%。

武汉市公交运营车辆数持续增加，由 2017 年的 9049 辆增加到 2018 年的 9710 辆，增幅 3.7%。2018 年武汉市公共汽、电车客运量继续增长，全年武汉市公共汽、电车客运量约为 14.5 亿人次，较上年降低 2.0%；日均客运量为 397.9 万人次。

2018 年，武汉市出租车由 2017 年的 1.74 万辆增加到 1.79 万辆，同比增长 2.2%。其中，天然气车为 15726 辆，纯电动车 2165 辆，以天然气车为主,表明新能源和清洁燃料车辆在出租汽车领域的推广应用取得了积极成效。2018 年出租车年运营里程为 27.8 亿公里，车均年运营里程为 15.53 万公里，全年客运量为 2.77 亿人次。

与此同时，随着道路设施的不断完善、轨道公交网络的完善和私人机动车拥有量的快速增加，2018 年武汉市私人机动车拥有量达到 312.6 万辆，较 2017 年增加约 37.3 万辆，增长率为 13.7%。其中私人汽车全年客运量为 23.6 亿人次。

表 2.21 2018 年武汉市居民出行方式

出行方式	公共交通	私人汽车	自行车	步行	总计
出行人次(亿)	27.8	23.6	20.2	30.2	101.8
占比（%）	27.3	23.2	19.8	29.7	100

现状武汉市居民交通出行结构中看，自行车和步行不断向公共交通和小汽车转移，私人汽车与公交出行比例并驾齐驱。现状全市居民公共交通出行比例为 27.3%，私人汽车出行比例为 23.2%，自行车出行比例为 19.8%，步行出行比例为 29.7%。如表 2.7 所示。

在公共交通系统内部，2018 年，武汉市全年完成公共交通客运量约 27.8 亿人次，较上年增长 1.2%。其中，轨道交通全年共运送乘客 10.4 亿人次，占比 37.5%；公共汽、电车全年共运送乘客 14.5 亿人次，较上年略有下降，占比 52.2%，出租车全年共运送乘客 2.77 亿人次，占比 10.0%，轮渡客运量 786 万人次，占总量的 0.3%。常规公共交通仍然是武汉市公共交通客运量的主体，轨道交通的比重迅速攀升。如表 2.22 所示。

表 2.22 2018 年武汉市公共交通运客量

出行方式	轨道交通	公共汽车	出租车	轮渡	总计
客运量（亿人次）	10.4	14.5	2.77	0.0786	27.8
占比（%）	37.5	52.2	10.0	0.3	100

根据各类交通工具制冷设备运行参数、运行时间等调查数据，结合现状全市居民出行结构、出行频率，估算武汉城市客运交通领域年耗能总量与制冷量需求，如表 2.23 所示。2018 年，武汉市交通领域总制冷量约为 20.86 亿千瓦，总能源消费量为电能 15798 千瓦时、汽油 4128 万升、柴油 294 万升和天然气 1034 万立方米，折合能源消费

量为 81947 吨标准煤，占 2018 年武汉市能源消费总量的 0.155%。

表 2.23 2018 年武汉市交通领域制冷需求及能耗

		年总制冷量（万 kW）	年制冷设备能耗	年总耗能量	
私人汽车	传统汽车	97161	4128	130798	万 L
	新能源汽车	90	20	629	万 kWh
轨道交通	地铁行车	12993	3401	41400	万 kWh
	地铁站	40430	11568	46685	万 kWh
公交	柴油车辆	18512	294	8946	万 L
	天然气车辆		320	9739	万 m^3
	电动车辆		616	18726	万 kWh
出租车	天然气车辆	24270	714	19298	万 m^3
	电动车辆		193	5208	万 kWh

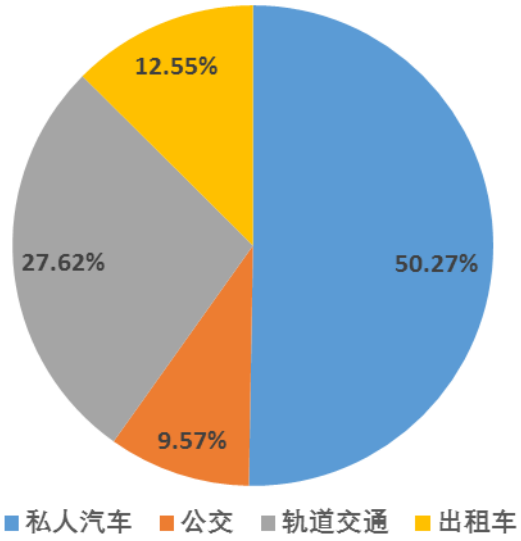


图 2.27 2018 武汉市交通领域制冷需求份额

不同交通工具的制冷需求份额如图 2.27 所示。份额最大的为私人汽车，占比为 50.27%，其次为轨道交通、出租车和公交车，占比分别为 27.62%、12.55%和 9.57%。

3 武汉市制冷需求和节能潜力分析

本章节将搭建武汉市制冷系统模型，结合武汉市各领域制冷现状和城市发展规划，利用情景分析法，对未来不同领域制冷需求的增长情况和节能潜力进行预测分析。

3.1 居民生活领域

3.1.1 情景设置

如上文所述，2018 年武汉市居民生活领域的制冷用电已到达 36.50 亿千瓦时，占全社会用电量的 6.3%左右。随着常住人口、居民家用空调保有量的增加以及城镇化率的提高，武汉市居民生活领域的制冷用电需求将进一步攀升。

如表 3.1 所示，2014-2018 年间，武汉市常住人口从 1033.80 万人增长至 1108.10 万人，年均增长 1.4%；城镇化率从 79.26%提升至 80.29%，增加 1.03 个百分点。

表 3.1 2014-2018 年武汉市常住人口及城镇化率

	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
常住人口（万）	1033.80	1060.77	1076.62	1089.29	1108.10
增长率	1.15%	2.61%	1.49%	1.18%	1.73%
城镇化率	79.26%	79.41%	79.77%	80.04%	80.29%

如果按照过去五年的发展趋势推演，2030 年武汉市常住人口将达到 1300 万左右，城镇化率为 83%左右。但相关规划则给出了更高的预期值：《武汉市 2049 远景发展战略》中指出，随着国家战略中心

向中西部转移，加上武汉市对省内周边地区强大的吸引力，武汉市未来人口将持续增加，到2030年武汉市总人口将到达1300-1400万人，城镇化水平将达到 88%左右；《武汉总体规划（2016-2030）》中预测2030年武汉市常住人口为1550万人，城镇化率达到90%。综合各方数据，本文以常住人口 1400 万（2019-2030 年年均增长率 2%），城镇化率88%为2030年内的预期值。

表 3.2 2013-2017 年武汉市家庭每百户空调拥有数

每百户空调拥有数	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
城镇家庭（台）	203.60	203.80	204.28	207.45	213.68
农村家庭（台）	88.50	89.00	93.50	100.90	109.53

如表 3.2 所示，2013 年-2017 年武汉市城镇家庭和农村家庭每百户空调拥有数分别从 203.60、88.50 台提升至 213.68、109.53 台，五年间分别增长 10.08 和 21.03 台。随着武汉市人均收入水平的提高以及空调产品的快速普及，城镇、农村家庭的空调保有量将增一步增加。按过去五年的趋势推演，2030 年武汉市城镇和农村家庭每百户空调拥有数将分别达到240台和150台左右。

综上所述，模型的基本参数设置如表 3.3 所示。

表 3.3 基本参数设置

人口年增长率	2%
2030 年城镇化率	88%
2030 年城镇每百户家庭空调拥有数	240 台
2030 年城镇每百户家庭空调拥有数	150 台

除了上述宏观变量外，不同能效等级空调的市场份额和空调设备本身的能效水平是影响居民生活制冷用能的主要因素。以额定制冷量

为 3000W 的家用空调为例，对于一级能效产品，其以额定功率运行一小时耗电为 0.83 千瓦时；而三级能效产品则需耗电 0.94 千瓦时。按照武汉市城镇居民日均使用空调 5.14 小时，每年使用 90 天来计算，相比三级能效产品，一级能效产品一年可节约用电 51 千瓦时。对武汉市居民家用空调的调查结果表明，居民家庭现有的空调以三级能效产品为主，占比超过 50%（对于农村家庭，这一比例超过 70%），而一级能效产品的占比不到 15%（对于农村家庭仅为 5%左右）。同时，对于空调销售市场的调查结果表明，目前市场上销售的家用空调仍以三级能效产品为主。2018 年美的、格力、海信日立等主要品牌销售的家用分体式空调中，三级能效产品占比分别为 60%，47%和 54%，而一级能效产品占比仅为 23%、13%和 15%。显然，武汉市绿色高效空调产品的市场占有率有很大的提升空间。一般家用空调的使用寿命为 8-10 年（家用中央空调的使用寿命可达 15-20 年），当原有空调使用寿命到期后用户便会购买新的产品代替，所以在绿色高效空调产品的市场份额提升的情况下，高能效等级的产品会逐步替换居民家中原有的低能效等级的产品，从而减少居民生活领域制冷用能的增长幅度。

在提高绿色高效制冷产品的市场份额外的同时，提高空调设备本身的整体能效水平也是提升制冷能效的以有效措施。2019 年 12 月，国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会发布了新的 GB 21455-2019《房间空气调节器能效限定值及能效等级》，将原有空调能效的 5 个等级提升为 3 个等级，如表 3.4 所示。

表 3.4 热泵型房间空气调节器能效等级指标值

额定制冷量(CC) W	全年能源消耗效率(APF)				
	能效等级				
	1级	2级	3级	4级	5级
CC≤4 500	5.00	4.50	4.00	3.50	3.30
4 500<CC≤7 100	4.50	4.00	3.50	3.30	3.20
7 100<CC≤14 000	4.20	3.70	3.30	3.20	3.10

提高制冷产品的能效标准，能提高市场准入门槛，从而引导市场产品高效节能化发展并强制淘汰低能效产品。当前，我国各类制冷产品的能效标准仍有一定的提升空间，尤其是对于多联机空调而言。目前多联机空调 IPLV 能效比的行业先进值（8.8-10.0）已经远远超过了国家规定的一级能效标准（3.6/3.55），导致市场上销售的多联机空调全部为一级能效产品。以大金品牌为例，销售数据表明，其 2018 年间销售的多联机中有 98.82%为“超高能效产品”，即 IPLV 能效比超出国家一级能效标准 50%以上。

2018 年 6 月我国发布的《绿色高效制冷行动方案》中明确提出，要大幅提高制冷产品的能效标准水平，提高绿色高效制冷产品的市场占有率：到 2022 年，家用空调能效准入水平提高 30%，多联机空调提升 40%，绿色高效制冷产品市场占有率提高 20%；到 2030 年主要制冷产品能效准入水平再提高 15%以上，绿色高效制冷产品市场占有率提高 40%以上。

综上所述，分情景设置如表 3.6 所示。

表 3.6 分情景设置

情景	情景描述
基准情景	至 2030 年，家用空调一级、二级、三级能效产品市场份额分别为 25%、25%、50%；家用空调和多联机空调能效水平保持不变。
提升情景	至 2025 年，家用空调一级、二级、三级能效产品市场份额分别为 30%、30%、40%；家用空调能效水平提高 30%，多联机产品能效水平提高 40%。 至 2030 年，家用空调一级、二级、三级能效产品市场份额分别为 40%、40%、20%；家用空调能效水平提高 50%，多联机产品能效水平提高 60%。

备注：由于 GB 21455-2019《房间空气调节器能效限定值及能效等级》实施时间为 2020 年 7 月 1 日，与本研究内容存在时间差，此处家用空调仍沿用 GB 12021．3-2010《房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》、GB 21455-2013《转速可控型房间空气调节器能效限定值及能效等级》。

3.1.2 节能潜力分析

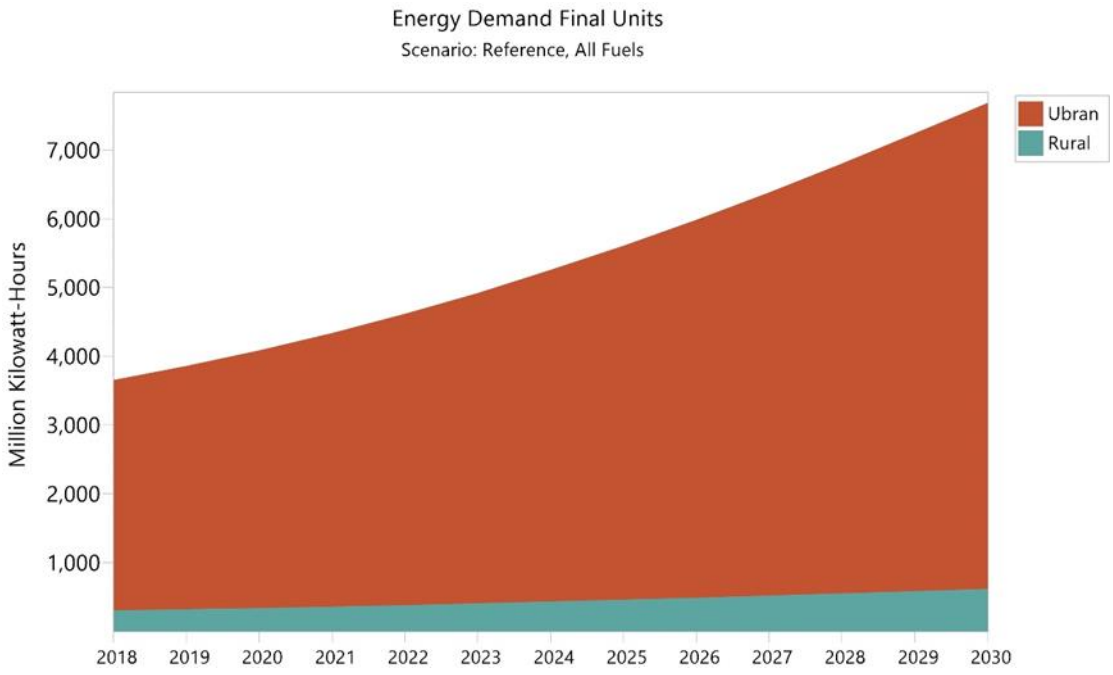


图 3.1 武汉市居民生活空调用电量预测（基准情景）

如图 3.1 所示，在基准情景下，2030 年武汉市居民生活空调用电

量预计将达到 76.83 亿千瓦时，相比 2018 年增长 110.49%；其中城镇居民空调用电量将达到 70.65 亿千瓦时，占比为 91.96%；农村居民的空调用电量将达到 6.18 亿千瓦时，占比为 8.04%。在该情景下，高效绿色制冷产品的市场占有率提升较慢，城镇、农村家庭的家中空调仍以低能效产品为主，同时家用空调、多联机空调的市场准入水平保持不变，即国家没有提高相关产品的能效等级标准。所以在人口增长、城镇化水平提高的大背景下，居民生活领域空调用电量将呈快速增长趋势，会对社会电力供应提出严峻考验。

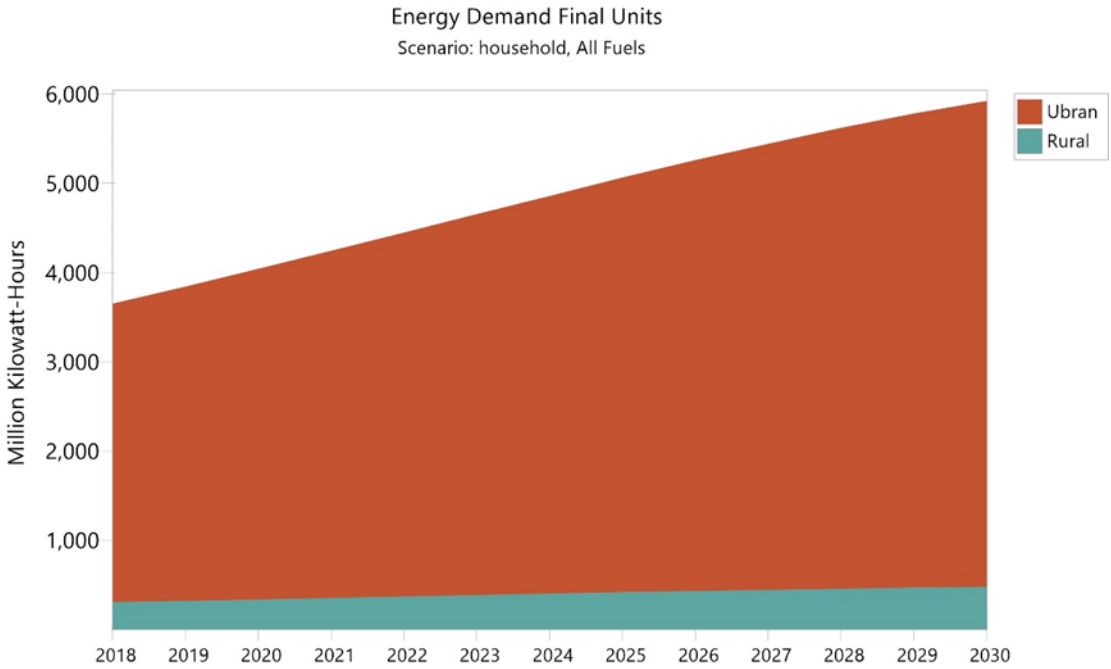


图 3.2 武汉市居民生活空调用电量预测（提升情景）

如图 3.2 所示，在提升情景下，2030 年武汉市居民生活领域空调用电量将到达 59.24 亿千瓦时，相比 2018 年增长 62.29%。其中城镇居民空调用电为 54.47 亿千瓦时，占比 91.94%，农村家庭空调用电为 4.78，占比 8.06%。在该情景下，受国家政策、空调厂商推广宣传的

因素的影响，消费者对高效绿色制冷产品的认可度大大提高，使其市场占有率显著提升，居民家中原有的低能效产品被高能效产品逐步替代；同时国家对大幅提高家用空调、多联机空调等制冷产品的能效等级标准，推动制冷产品向绿色高效化方向发展。所以在提升情景下，武汉市居民生活领域空调用电量增长速度将显著放缓。

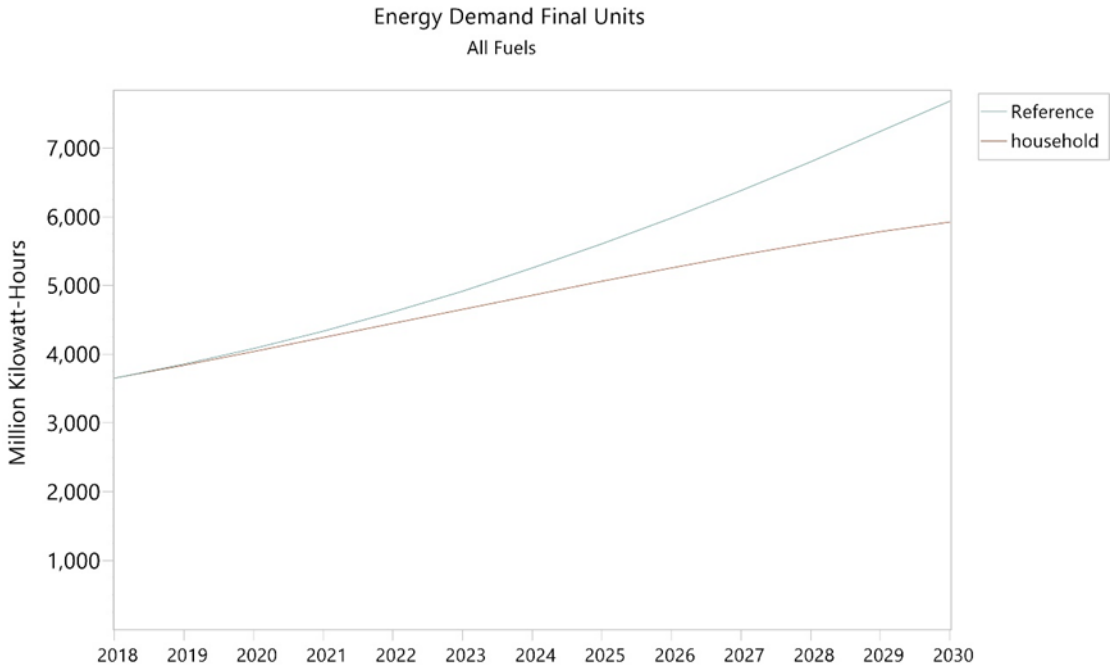


图 3.3 不同情景下武汉市居民生活领域空调用电对比

两种情景下武汉市据民生领域空调用电量的对比如图 3.3 所示。可见随时间推移，两种情景下武汉市居民生活领域空调用电量的差距持续增大。2025 年，提升情景下的用电量为基准情景下的 90.28%，实现年节电 5.45 亿千瓦时；2030 年，提升情景下的用电量为基准情景下的 77.11%，实现年节电 17.59 亿千瓦时，相当于 2018 年武汉市全社会用电量 3.0%。相比基准情景，提升情景下 2019-2030 年间可实现累计节电 75.75 亿千瓦时。

电力消费的减少也会使其造成的温室气体排放量减少，武汉市当

前电力供应对外依存度大，而本地的发电机组以燃煤发电为主。假设居民生活领域空调用电均由燃煤发电机组供应，两种情景下由居民生活空调用电造成的碳排放如图 3.4 所示。2025 年，基准情景下由武汉市居民生活领域空调用电造成的碳排放量为 596.21 万吨，提升情景下为 538.29 万吨，减少 57.92 万吨；2030 年，基准情景下的碳排放量为 817.01 万吨，提升情景下为 629.99 万吨，减少 187.03 万吨，相当于 2018 年武汉市碳排放总量的 1.66%。相比基准情景，提升情景下 2019-2030 年间可实现累计减少碳排放 805.50 万吨。（上述碳排放计算过程中，燃煤发电的碳排放水平均以 IPCC 清单中缺省排放因子为标准，下同。）

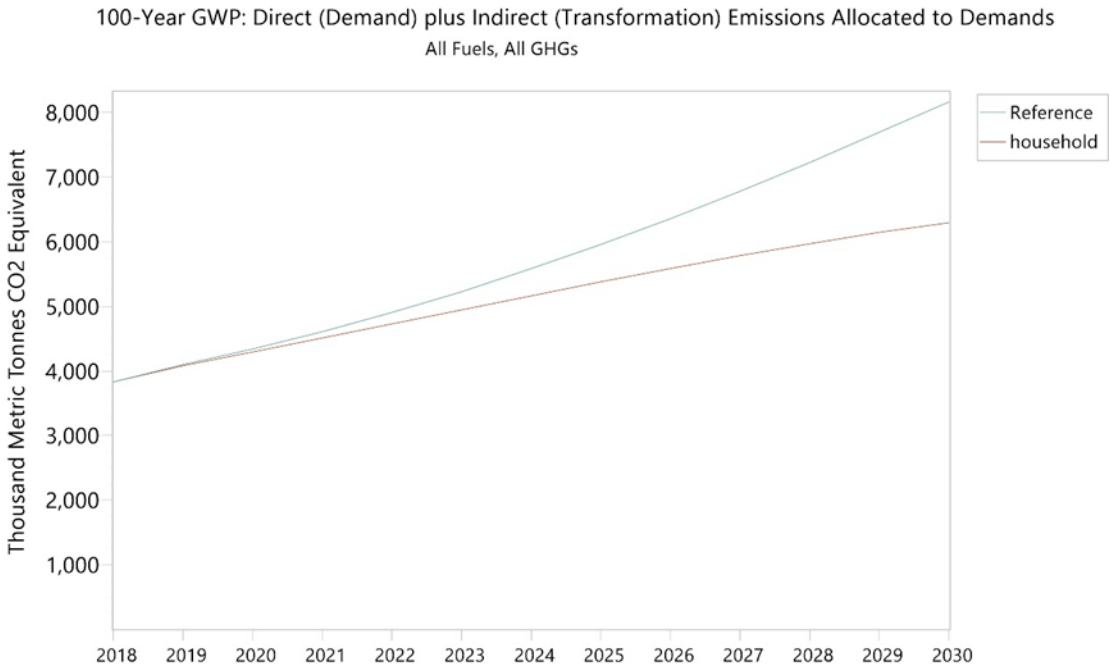


图 3.4 不同情景下的碳排放量对比

3.2 工业领域

3.2.1 情景设置

2018 年武汉市工业领域制冷用电量达到 26.99 千瓦时，占工业总用电量的 9.65%，占全社会用电量的 4.65%。如表 3.7 所示，2013-2018 年间。受国民经济增速放缓和产业结构调整影响，武汉市工业增加值实际增速整体呈走低趋势，2018 年实际增速为 5.9%，比 GDP 增速低 2.1 个百分点。2013-2018 年间，武汉市工业增加值年均名义增长率为 10.3%。随着我国经济发展进入新常态，预计未来武汉市工业增速将继续放缓。

表 3.7 2013-2018 年武汉市工业增加值

	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
工业增加值（亿元）	3113.30	3453.35	4081.91	4238.78	4274.87	5076.21
实际增长率（%）	11.70	10.90	8.40	4.90	7.50	5.90

如表 3.8 所示，2013-2018 年间武汉市工业用电量从 245.18 亿千瓦时增长至 279.67 亿千瓦时，年均增长 2.7%，远低于社会总用电量的增长速度，所占比重也从 56.08%下降至 48.19%。随着武汉市经济结构不断向第三产业倾斜，预计工业用电占比将继续下降，但由于体量的增加，工业用电量将保持一定速度的增长。

表 3.8 2013-2018 年武汉市工业用电量

	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
工业用电（亿	245.18	253.51	253.49	252.25	262.00	279.67

千瓦时）						
增长率（%）	6.5	3.4	-0.01	-0.49	3.87	6.74

至“十二五”期间以来，武汉市工业结构由传统工业逐步向现代制造业、信息技术、新材料等高新技术产业转型。2017 年工业领域规模以上高新技术产业的总产值达到 7757.78 亿元，占规模以上工业产值（14433.27 亿元）的 53.75%。

在“十三五”发展规划中，武汉市明确提出要重点布局发展信息技术、生命健康、智能制造三大高新技术产业。对于信息技术产业，重点布局物联网、光电子、集成电路、新型显示、地球空间信息、智能终端等领域，构建完整的信息技术产业链，打造具有全球影响力的新一代信息技术产业创新基地。到 2020 年，信息技术产业产值 6000 亿元。对于生命健康产业，重点布局生物医药、生物医学工程、精准与智慧医疗等领域，超前布局生命、信息、纳米等科技的融合创新领域，发展针对重大疾病的药物和医疗器械新产品，建设全国重要的生命健康产业中心。到 2020 年，生命健康产业产值 3000 亿元。对于智能制造产业，重点布局发展高端数控机床、机器人、海洋工程装备、激光加工设备等智能装备制造和智能汽车、智能船舶、智能轨道交通装备、智能家居等智能产品，打造国内重要的智能制造产业创新基地。到 2020 年，智能制造产业产值 4000 亿元。这三大高新技术产业对产品加工生产的环境条件要求极为苛刻，大部分厂房、车间都要求全年恒温恒湿。所以，武汉市对这些产业的重点布局发展，会大大推动工业领域制冷需求的增长。

对于汽车制造、烟草食品加工、装备制造等制冷需求较大的产业，武汉市也提出了相应发展目标。装备制造业以提升系统集成和成套供应能力为重点，推进装备制造业集成化、智能化、服务化，提升装备制造业高端价值链，到 2020 年实现产值超过 5000 亿元。烟草食品重点打造卷烟制造、酿酒及饮料制造、特色食品制造等领域的产业链体系，提高粮食、油料、果蔬、乳制品等高科技、高附加值和深加工产品的比例，健全质量可追溯体系，到 2020 年实现产值超过 2500 亿元。此外，在武汉市现代物流“十三五”发展规划中也提出要大力推进冷链物流在餐饮服务、批发零售、生鲜电商、医药等领域的广泛应用，加大冷链物流基础投入，打造专业化、规模化的冷链物流体系。

2017 年，武汉市下发了《武汉制造 2025 行动纲要》、《武汉市工业发展“十三五”规划》等规划，文件中提出了到 2020 年，武汉市要基本建成国家先进制造中心初步框架，届时，武汉市全部工业增加值达到 7600 亿元，全部工业总产值达到 27000 亿元。到 2025 年，全面建成国家先进制造中心，届时，武汉市工业增加值达到 10000 亿元，工业总产值达到 35000 亿元。终上所述，武汉市工业领域制冷系统模型的基本参数设置如表 3.7 所示。

表 3.9 基本参数设置

工业增加值	2019-2025 年间名义增长率为 10%，至 2025 年达到 9900 亿元；2025-2030 年间名义增长率为 8%，至 2030 年达到 14500 亿元。
工业产业结构	产业结构由传统工业逐步向先进制造、信息技术、生命医药等领域倾斜；2025 年工业领域规模以上高新技术产业占比达到 60%；2030 年占比达到 65%。

工业用电量	2019-2025 年间增长率为 5%；2025-2030 年间增长率为 4%。

在工业体量、产业结构确定的情况下，制冷设备的能效、管理维护水平决定了工业制冷的能耗量。对武汉市工业领域制冷情况的调查表明，工业领域的制冷设备主要以二级、三级能效为主，能耗水平偏高，且部分企业的制冷设备存在老化、维护不当等问题。以数据中心为例，武汉市目前运行的数据中心 PUE 值普遍超过 2.0，其中制冷设备能耗占总能耗比超过 40%。若采取水侧节能、风侧自然冷却、液冷技术等节能手段，可将制冷能耗降低 30%-50%，将数据中心的 PUE 至降至 1.5 以下。对于其他工业行业，预计通过对现有设备的节能改造工作，可将制冷能效提高 10-30%。此外，武汉市的钢铁、燃煤发电等行业具有大量的余热资源，若采用溴化锂等吸收式制冷机组，以余热蒸汽为动力进行制冷，可节约大量电能。

《绿色高效制冷行动方案》中也明确指出，到 2022 年各类主要制冷设备的能效准入水平分别提升 20-40%，到 2030 年再提升 15%以上；并要求推进对工业厂房、数据中心、冷链物流等领域低效老旧制冷设备、系统的节能改造或淘汰。综上所述，模型的分情景设置如表 3.10 所示。

表 3.10 分情景设置

情景	情景描述
基准情景	工业领域制冷能效维持现有水平不变。
提升情景	至 2025 年，工业领域新增制冷设备总体能效提升 20%，现有制冷系统通过节能改造和淘汰总体能效提升 10%。 至 2030 年，工业领域新增制冷设备总体能效提升 30%，现

	有制冷系统通过节能改造和淘汰总体能效提升 20%。

3.2.2 节能潜力分析

如图 3.5 所示，在基准情景下，2030 年武汉市工业领域制冷用电将达到 48.52 亿万瓦时，相比 2018 年增长 79.78%。其中医药制造、信息技术、电子电气设备制造等武汉市重点布局发展的行业，制冷用电将快速增加，所占比重逐步增大；冷链物流行业制冷用电量也增长迅速，汽车制造行业和其他工业行业制冷用电的增长速度较慢。电子电气设备制造行业始终是武汉市工业领域制冷用电最大的行业，由于其本身体量增长速度较快，且产业结构逐渐向先进高端制方向发展，故制冷需求日益攀升，预计到 2030 年，该行业的制冷用电占整个工业领域的比重将超过 30%。在基准情景下，虽然武汉市工业本身的增长速度不快，但由于工业结构向信息技术、医药制造等制冷需求大的行业倾斜，加之制冷能效保持现有水平不变，所以工业领域的制冷用电仍保持较快的增速。

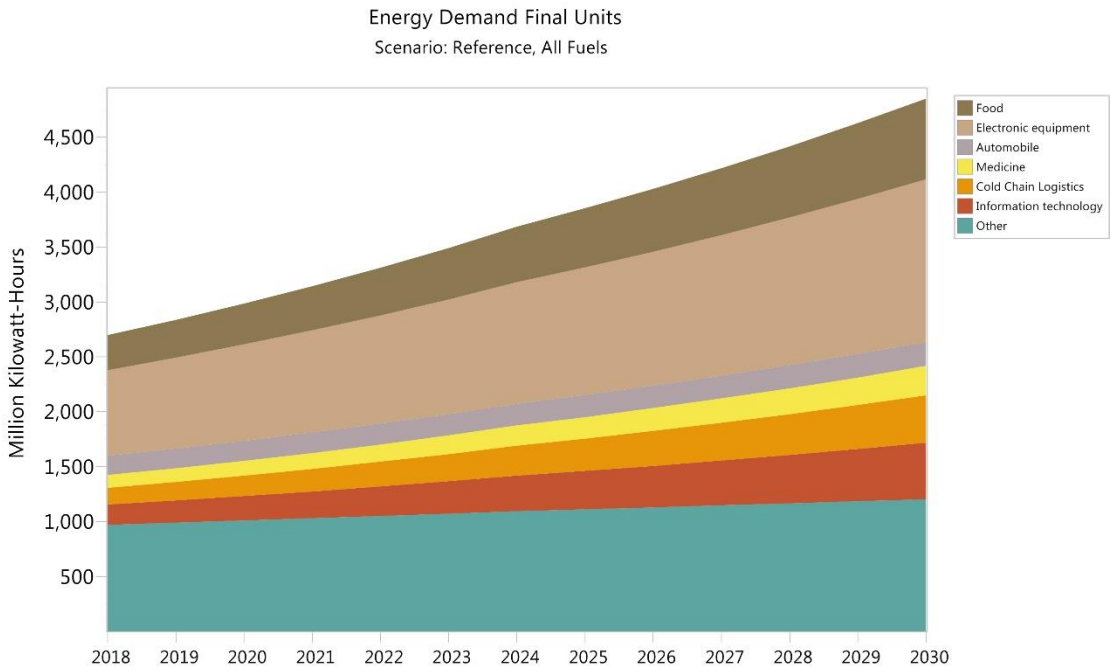


图 3.5 武汉市工业领域制冷用电（基准情景）

如图 3.6 所示，在提升情景下，2030 年武汉市工业领域制冷用电为 40.27 亿千瓦时，相比 2018 年仅增长 49.20%。在提升情景下，由于制冷设备能效的逐步提升以及对现有制冷设备、系统的节能改造工作，工业领域制冷用电增速显著减缓，其中汽车制造行业和其他工业行业的制冷用电量缓慢下降。

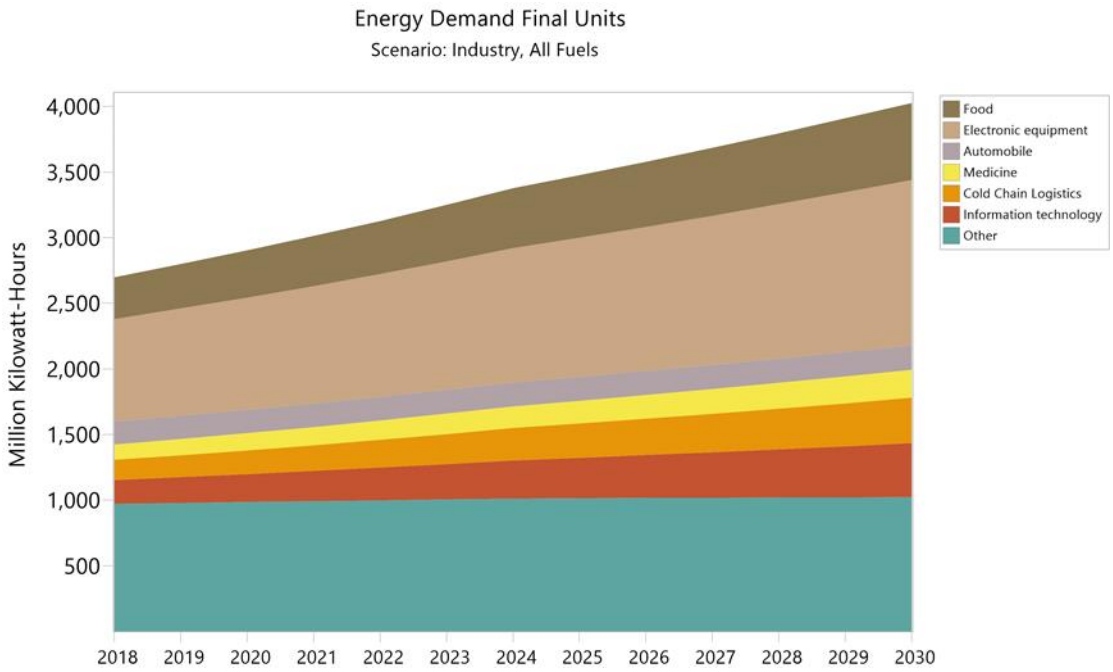


图 3.6 武汉市工业领域制冷用电（提升情景）

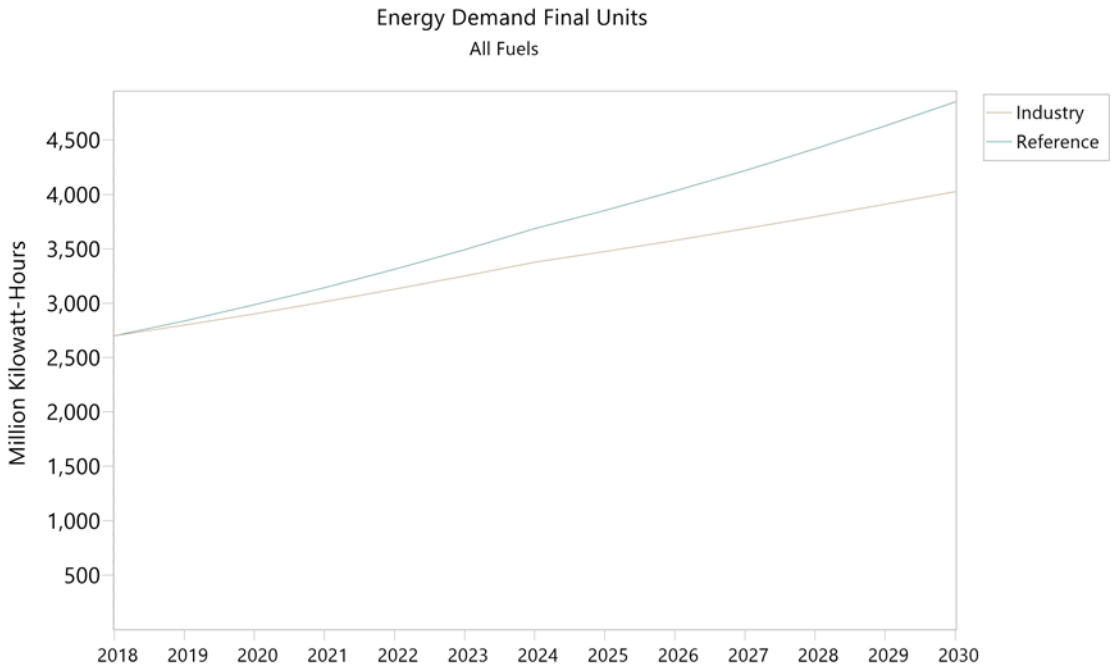


图 3.7 不同情景下武汉市工业领域制冷用电对比

如图 3.7 所示，在提升情景下武汉市工业领域的制冷用电增长速度明显小于基准情景。在 2025 年，提升情景下的用电量为基准情景下的 90.21%，节约电能 3.77 亿千瓦时；2030 年，提升情景下的用电量为基准情景下的 82.99%，节约电能 8.25 亿千瓦时，相当于 2018

年武汉市工业用电量的 3.0%。相比基准情景，在 2019-2030 年间提升情景可实现累计节电 45.19 亿千瓦时。

假设工业领域制冷用电均由燃煤发电机组供应，两种情景下由工业制冷用电造成的碳排放如图 3.8 所示。2025 年，基准情景下由武汉市工业领域制冷用电造成的碳排放量为 408.00 万吨，提升情景下为 368.64 万吨，减少 39.36 万吨；2030 年，基准情景下的碳排放量为 513.78 万吨，提升情景下为 426.24 万吨，减少 87.54 万吨，相当于 2018 年武汉市碳排放总量的 0.76%。相比基准情景，提升情景下 2019-2030 年间可实现累计减少碳排放 490.48 万吨。

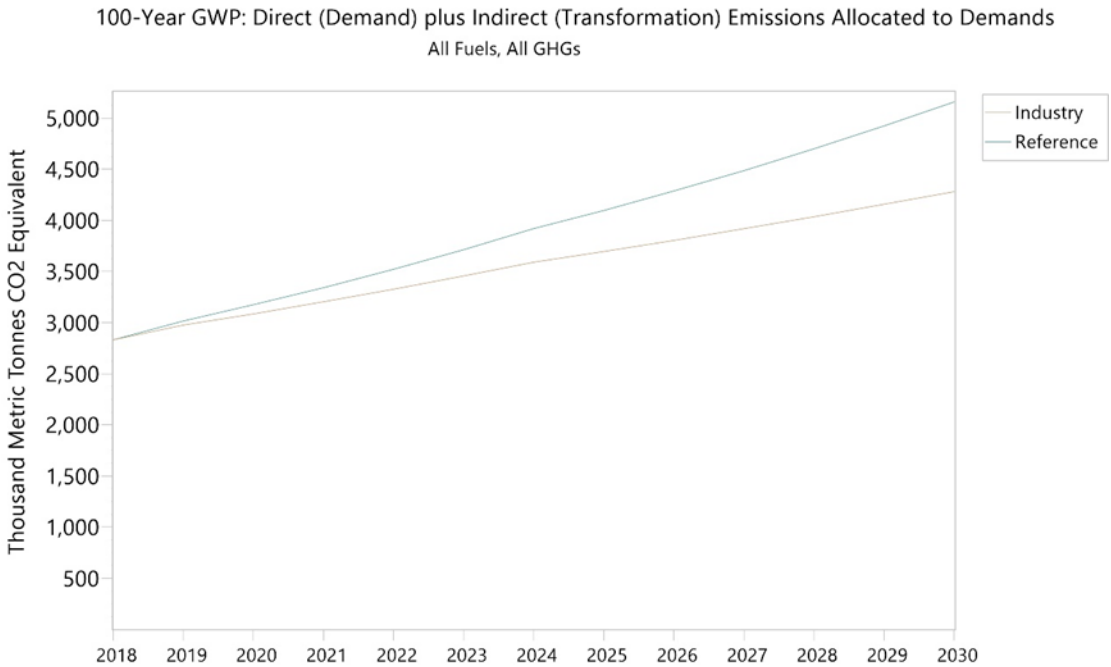


图 3.8 不同情景下的碳排放量对比

3.3 服务业领域

3.3.1 情景设置

2013-2018 年间，武汉市以服务业为主的第三产业在国民经济中的占比从 47.7%稳步提升至 54.6%，武汉市“十三五”发展规划中提出至2020年第三产业占比达到55%。武汉市城市总体规划（2016-2030）中明确要大力发展金融商务服务、商贸服务业、专业服务业等现代服务业，提供国际化综合服务平台，推动现代金融、现代商务、国际会展、国际旅游发展，建设区域金融中心和商务会展中心。

武汉市作为国家中心城市，其人口规模和用地规模也在不断扩张。预计到 2030 年武汉市常住人口规模在 1300-1500 万人，相比 2018 年将增加 20-30%；此外，预计 2030 年短期流动人口（半年以下流动人口）规模约为 450 万人，参照北京、上海的经验，对交通、商业、医疗等公共服务设施和基础设施供给等配置在常住人口基础上，为短期流动人口做必要弹性预留。在用地规模方面，预计到 2030 年市域城镇建设用地总量为1500平方公里，人均城镇建设用地为106平方米，考虑到流动人口，应增加 150 平方公里的用地需求。

服务业的快速发展和城市人口及用地规模的持续增长都将推动武汉市公共建筑面积的增长。如表 3.11 所示，2015-2018 年间，武汉市公共建筑面积从 93.33 百万平方米增长至 111.90 百万平方米，年均增长 6.2%；根据《武汉市统计年鉴》相关数据结合武汉市经济、社会发展趋势预测，至 2020 年、2025 年和 2030 年，武汉市公共建筑

面积将分别到达 126.33、162.43 和 204.08 百万平方米。

表 3.11 武汉市公共建筑面积增长情况

	2015 年	2018 年	2020 年（预计）	2025 年（预计）	2030 年（预计）
公共建筑面积（百万平方米）	93.33	111.90	126.33	162.43	204.08

众多节能改造的案例表明，当前武汉市各类公共建筑的制冷及供暖能耗偏高，具有极大的能效提升空间。如法国开发署贷款支持的武汉公共建筑节能改造项目，项目总建筑面积约 62.4 万平方米，包含 30 栋市直属机关办公建筑和市图书馆作为改造目标，改造后整体节能率达 24%，预计每年降低碳排放约 1.5 万吨，节电约 1700 万度；湖北瑞能华辉能源管理有限公司对湖北剧院空调系统进行节能改造，使用 RN-R518 制冷剂替代原有的氟利昂 R22 制冷剂，实现 25%的节电率；对武昌法院、武昌区机关保障中心、信访中心等公共建筑空调系统的节能改造也均实现了 20-30%的节电效果。综上所述，武汉市既有的公共建筑（尤其是大型公共建筑），在制冷领域普遍拥有 25-40%的能效提升潜力。但是，目前武汉市既有公共建筑的面积巨大，对所有公共建筑进行节能改造既不现实也不经济，应有针对性将重点放在部分公共机构、大型公建等建筑的改造上。

同时，相比既有公共建筑，武汉市新建公共建筑由于采用更优化的建筑围护结构设计、更高效的制冷设备和能源管理体系，实现了 20-30%的能耗降幅。武汉市“十三五”建筑节能与绿色建筑发展规划中明确：新建建筑要严格执行《公共建筑节能设计标准》，相比 2015 年，

2020 年新建建筑能效水平提升 20%以上；同时要完善发展绿色建筑的相关政策法规和管理制度，到 2020 年新建建筑中绿色建筑的占比达到 55%。除建筑本身的设计优化外，制冷产品能效的逐步提升也能减少未来新建公共建筑的能耗水平。

综上所述，服务业领域模型的设置如表 3.12 所示。

表 3.12 情景设置

基本设置	至 2020 年，武汉市公共建筑面积达到 126.33 百万平方米，至 2025 年、2030 年分别达到 162.43 和 204.08 百万平方米。
	各类公共建筑面积份额保持不变。
基准情景	既有、新建公共建筑制冷及供暖能耗保持现有水平不变。
提升情景	至 2025 年，新建公共建筑制冷及供暖能效提升 20%；既有公共建筑通过节能改造能效提升 20%，改造率达到 10%。 至 2030 年，新建公共建筑制冷及供暖能效提升 30%；既有公共建筑通过节能改造能效提升 30%，改造率达到 20%。

3.3.2 节能潜力分析

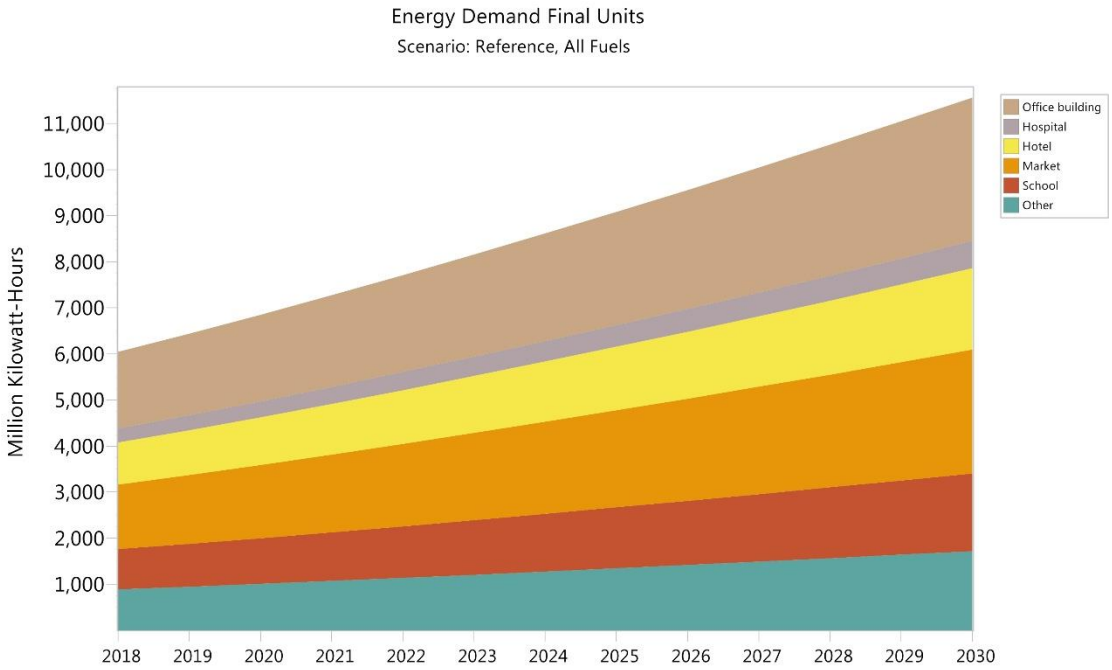


图 3.9 武汉市服务业领域制冷及供热用电（基准情景）

如图 3.9 所示，在基准情景下，2030 年武汉市服务业领域制冷及供热用电量将达到 115.65 亿万瓦时，相比 2018 年增长 91.17%。由于该情景下制冷及供暖能耗保持现有水平不变，随着武汉市各类公共建筑面积的增长，其总用电量也稳步增长，2019-2030 年间年均增长率约为 4..76%。

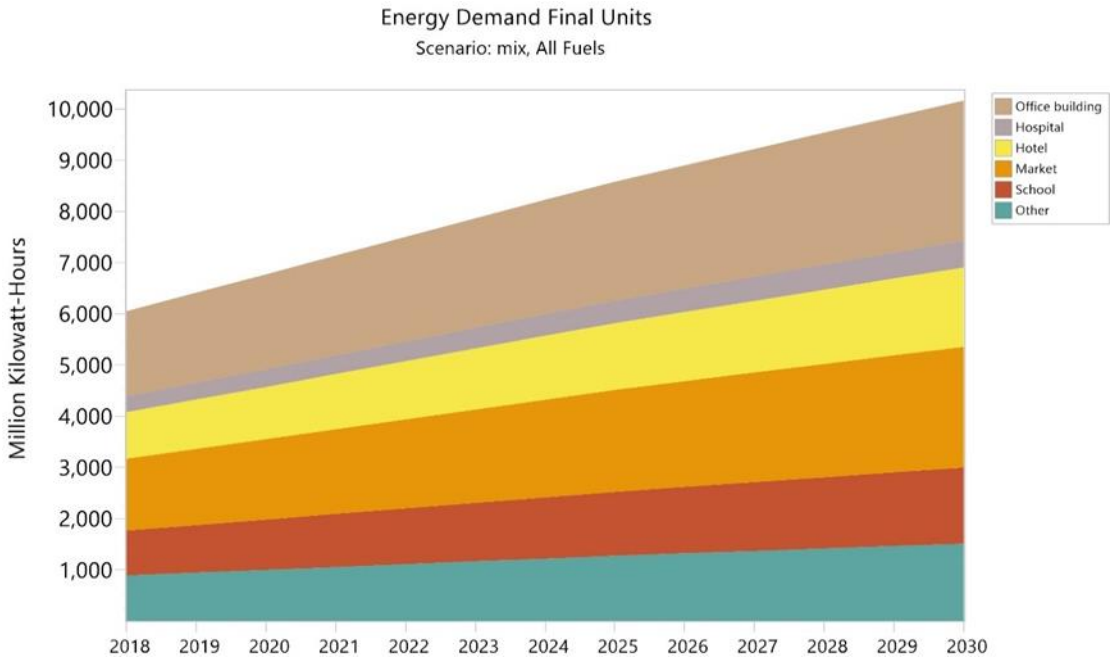


图 3.10 武汉市服务业领域制冷及供热用电（提升情景）

如图 3.10 所示，在提升情景下，2030 年武汉市服务业领域制冷及供热用电量为 101.69 亿万瓦时，相比 2018 年增长 68.11%。得益于新建公共建筑能效水平的提升以及部分既有公共建筑的节能改造，服务业领域制冷及供热用电量增速逐年放缓，2019-2025 年间年均增速为 4.97%，2026-2030 年间年均增速降至 2.8%。

如图 3.11 所示，在提升情景下武汉市服务业领域的制冷及供暖用电增长速度明显小于基准情景。在 2025 年，提升情景下的用电量为基准情景下的 94.48%，节约电能 5.02 亿千瓦时；2030 年，提升情景下的用电量为基准情景下的 87.93%，节约电能 13.94 亿千瓦时，相当于 2018 年武汉市全市用电量的 2.1%。相比基准情景，在 2019-2030 年间提升情景可实现累计节电 66.93 亿千瓦时。

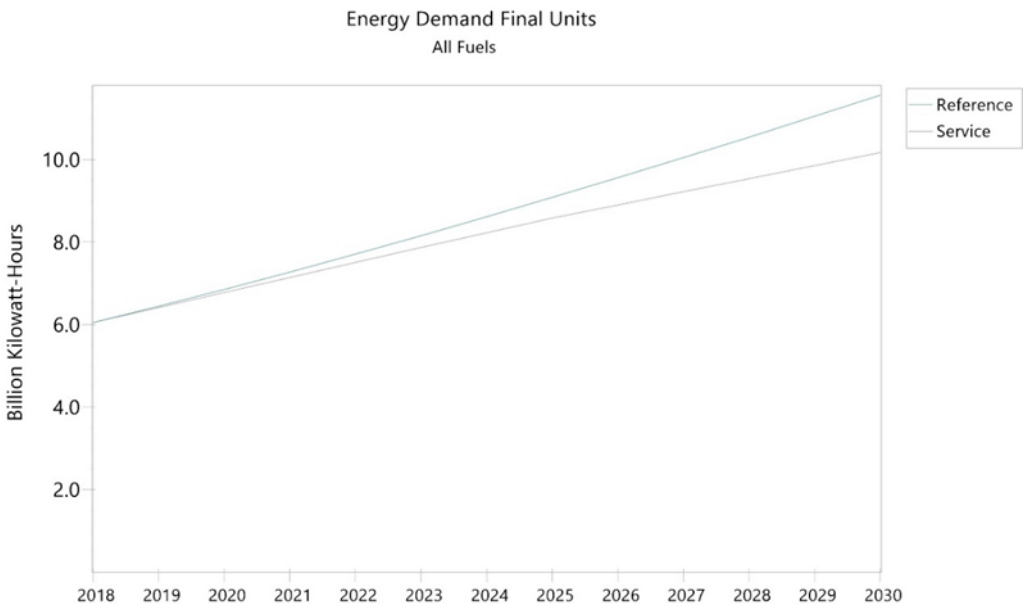


图 3.11 不同情景下武汉市服务业领域制冷及供暖用电对比

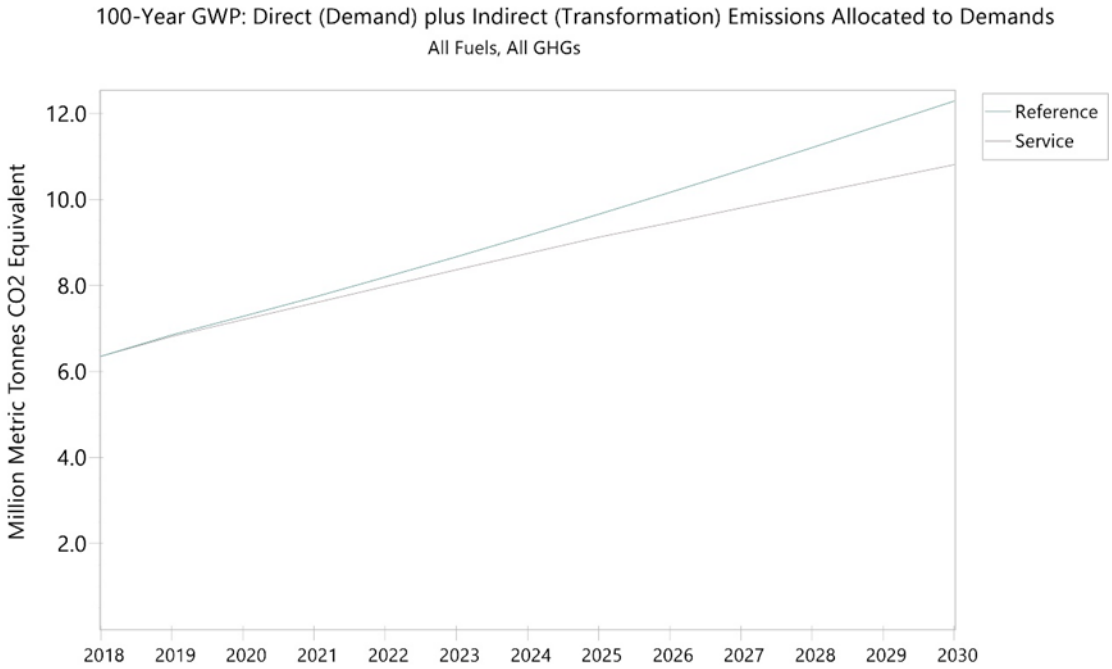


图 3.12 不同情境下的碳排放量对比

假设用电均由燃煤发电机组供应，则在 2018-2030 年间，不同情景下造成的碳排放总量如图 3.12 所示。2025 年，在基准情景下由武汉市服务业领域制冷及供暖用电造成的碳排放量为 965.86 万吨，提升情景下为 912.52 万吨，减少 53.34 万吨；2030 年，基准情景下的

碳排放量为 1229.75 万吨，提升情景下为 1081.37 万吨，减少 148.38 万吨，相当于 2018 年武汉市碳排放总量的 1.3%。相比基准情景，提升情景下 2019-2030 年间可实现累计减少碳排放 711.66 万吨。

3.4 交通领域

3.4.1 情景设置

根据交通预测模型预测结果，2025 年全市总出行为 3942 万人次/日，2030 年总出行为 4448 万人次/日。根据武汉市公交都市发展总目标，私人汽车出行占总出行的比例要逐步下降，至 2035 年达到 20%，综合考虑各种政策，预测 2025 年私人汽车出行总量为 1182 万人次/日，2030 年为 1223 万人次/日。同时，交通预测模型预测 2025 年使用私人汽车平均出行距离为 13.7 公里，平均载客率 2.1 人；2030 年使用私人汽车平均出行距离为 14.5 公里，平均载客率 1.8 人。综上，武汉市私人汽车的基本参数设置如表 3.13 所示。

表 3.13 武汉市私人汽车参数设置

	2025 年	2030 年
小汽车出行总量（万人次/日）	1182	1223
平均载客率（人/车）	2.1	1.8
平均出行距离（公里）	13.7	14.5
总车公里（万公里/日）	7711.1	9851.9

在 2018 年 12 月获国家发改委批复的《武汉市第四期轨道交通建设规划》中提出，至 2024 年武汉市将形成 606 公里的轨道交通线网，在前三期轨道线网的基础上，新建 12 号线（环线）、8 号线三期、6 号

线二期、11 号线三期（汉阳段和葛店段），7 号线北延线（前川线）、16 号线、19 号线和新港线，总计 8 个项目纳入轨道交通第四期建设规划，总长度 198.4 公里。在 2019 年 1 月获武汉市政府批复的《武汉市轨道交通线网规划修编(2018-2035 年)》中，提出至 2035 年轨道交通线网总规模达到 26 条线、总长 1318 公里（不含城际铁路和市郊铁路）；远景年轨道交通线网总规模达到 32 条线、总长 1565 公里（不含城际铁路和市郊铁路）。

根据第四期建设规划中批复的轨道线网以及第四轮轨道交通线网中提出的轨道交通线网，设定武汉市 2025 年、2030 年轨道交通基本参数，如表 3.14 所示。

表 3.14 武汉市轨道交通参数设置

	2019 年	2025 年	2030 年
运行车辆总数（列）	377	565	690
轨道线路长度（公里）	339	660	925
轨道站点个数（个）	228	393	503
总年行驶里程（公里）	33851072	46759000	53735000

2018 年武汉市出租车的数量为 1.79 万台。在市区大多数交通阻塞的地方，出租车占有较大的比例。根据战略规划，到 2020 年出租车的数量需控制在 2.0 万辆以内，出租车数量处于低速增长状态。考虑到 2020 年到 2030 年，城市发展速度会减缓，因此，2025 年到 2030 年，出租车数量的增长速度会进一步放缓。根据近 20 年的数据显示，武汉市出租车日均行驶里程在 350-400 公里左右。同时，根据武汉市现有政策以及出租车生产情况，预计到 2025、2030 年天然气和电动

出租车的比例将保持在 8:2 左右。综上，武汉市出租车的基本参数设置如表 3.15 所示。

表 3.15 武汉市出租车参数设置

	2025 年	2030 年
出租车数量（台）	2.1	2.25
天然气车：电动车	8：2	8：2
单车日行驶里程（公里）	375	375

根据交通运输部下发的新能源公交车更新比例要求，武汉市每年定期制定新能源公交车的发展计划，并按计划推进新能源公交车更新。武汉市每年滚动制定公交车辆更新计划，加快公交车辆报废更新，确保每年更新的公交车中节能和新能源车辆应用比例达到 60%以上。

目前全市公交车数目为 9710 辆，其中电动公交车辆 2936 辆、混合动力新能源车 200 辆，天然气车 3224 辆，柴油车 3350 辆；到 2022 年，全部柴油公交将被淘汰。根据武汉市的更新计划，预计至 2025 年公交车已经全部由电动车、混合动力、天然气车构成，各类型车辆比例大致为 0.45：0.05：0.5。同时，根据武汉市城市人口、用地发展趋势，估计到 2025 年武汉市公交车总数将达到 11060 量，日行车总里程达到 176.4 万公里/日；到 2030 年公交车总数将达到 13700 辆，日行车总里程达到 216.6 万公里/日。

综上，武汉市公交车的基本参数设置如表 3.16 所示。

表 3.16 武汉市公交车参数设置

	2025 年			2030 年		
	天然气车辆	混合动力	电动车	天然气车辆	混合动力	电动车

比例	0.5	0.05	0.45	0.5	0.05	0.45
车辆数	5530	553	4977	6850	680	6165
总日运营里程（公里）	882000	88000	794000	1083000	108000	975000

根据国家《绿色高效制冷行动方案》的要求（加快制定汽用空调的产品能效标准，淘汰 20%-30%的低效产品；到 2030 年大型公共建筑制冷能效提升 30%），对交通领域的制冷能效进行分情景设置，如表 3.17 所示。

表 3.17 分情景设置

情景	情景描述
基准情景	交通领域的制冷能耗保持不变
提升情景	至 2025 年，各类交通工具的制冷能效提升 10%，地铁站制冷能效提升 20%；至 2025 年，各类交通工具的制冷能效提升 20%，地铁站制冷能效提升 30%；

3.4.2 节能潜力分析

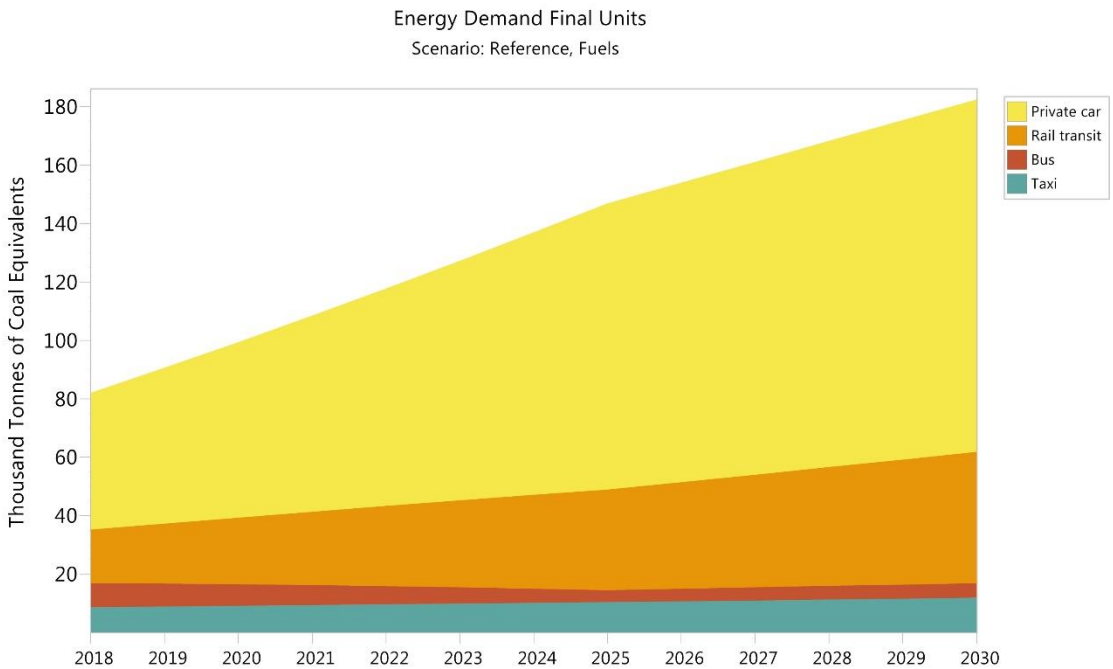


图 3.13 武汉市交通领域制冷能源消费量（基准情景）

根据上述情景设置，在基准情景下（假设各类交通工具的制冷能效水平不变）对未来武汉市交通领域制冷能源消费量进行模拟，结果如图 3.13 所示。到 2030 年，武汉市交通领域的制冷总能耗将达到 182452.7 吨标准煤，相比 2018 年增长 122.65%。其中私人汽车制冷能源消费量为 120618.8 吨标准煤，占比 66.11%；轨道交通制冷能源消费量为 44938 吨标准煤，占比 24.63%；公交车和出租车的制冷能源消费分别 5031、118649 吨标准煤，占比分别为 2.76%和 6.50%。

在该提升情景下未来武汉市交通领域制冷能源消费量如图 3.14 所示。在提升情景下，到 2030 年，武汉市交通领域的制冷总能耗将达到 142550.4 吨标准煤，相比 2018 年增长 73.95%。可见，制冷能效的提升能有效减缓交通领域制冷能源消费量的增长速度。

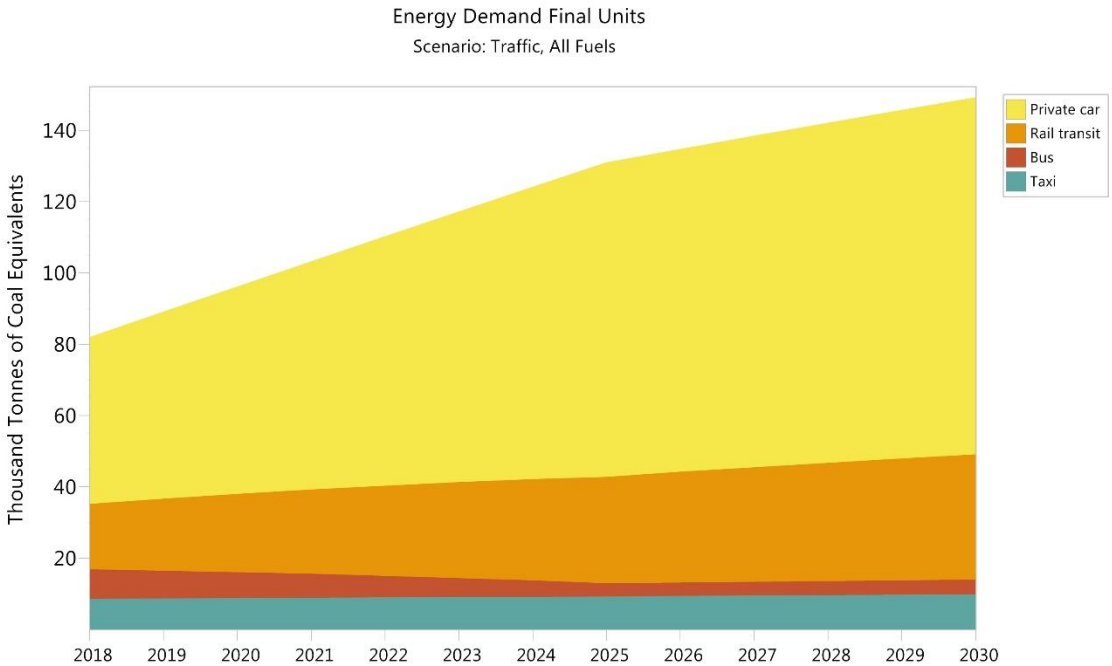


图 3.14 武汉市交通领域制冷能源消费量（提升情景）

如图 3.15 所示，在 2025 年，提升情景下武汉市交通领域的用能为基准情景下的 85.32%，实现节能 21561.6 吨标准煤；2030 年，提

升情景下的用电量为基准情景下的 78.13%，实现节能 39902.3 吨标准煤。相比基准情景，在 2019-2030 年间提升情景可实现累计节能 238174.0 吨标准煤。

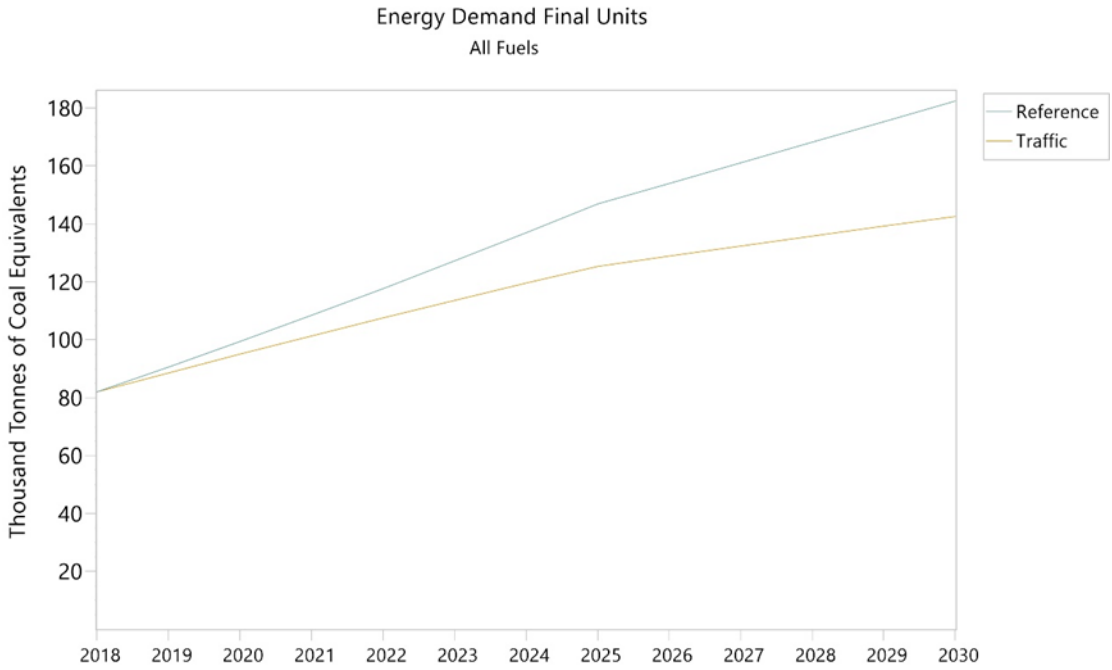


图 3.15 不同情景下武汉市交通领域制冷用能对比

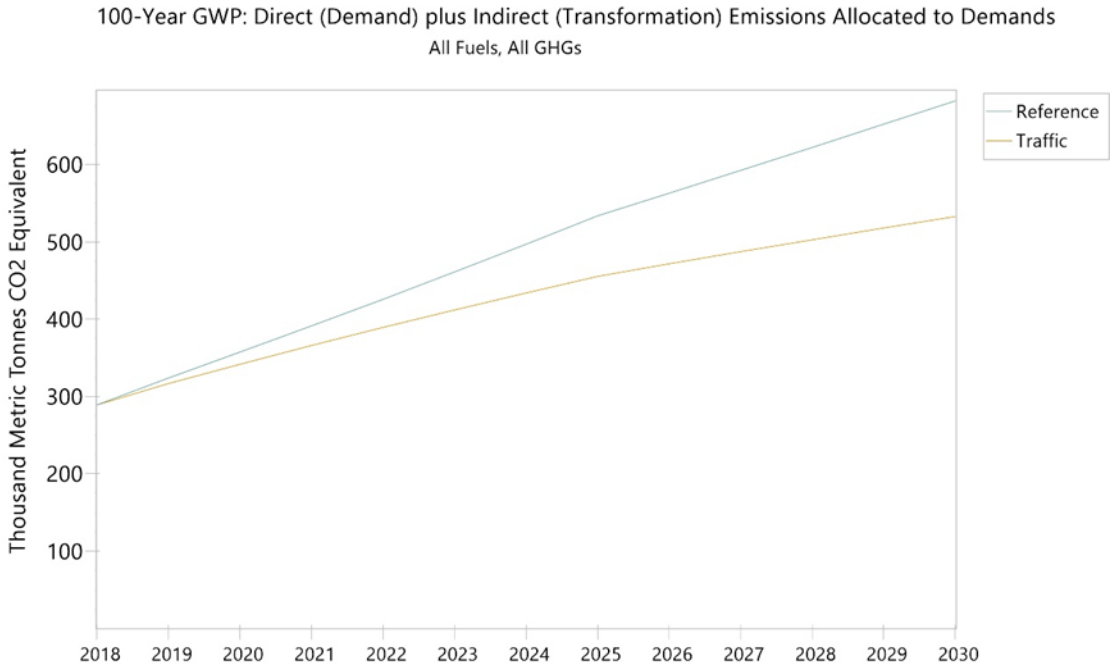


图 3.16 不同情境下的碳排放量对比

不同情景下由交通领域制冷用能造成的碳排放如图 3.16 所示。2025 年，在基准情景下的碳排放量为 53.38 万吨，提升情景下为 45.54 万吨，减少 7.84 万吨；2030 年，基准情景下的碳排放量为 68.26 万吨，提升情景下为 53.29 万吨，减少 14.97 万吨相比基准情景，提升情景下 2019-2030 年间可实现累计减少碳排放 87.53 万吨。

4 武汉市制冷能效提升线路图

分析了当前武汉市制冷领域存在的问题并提出应对措施，结合对未来制冷需求增长情况和节能潜力的预测分析，制定了武汉市制冷能效提升目标，并提出相应政策建议与能效提升措施。

4.1 措施分析

4.1.1 标准制定与推行

（1）制冷产品能效标准

现状：

我国对于某些制冷产品制定的能效标准过低，尤其是对多联机空调产品。当前多联机空调 IPLV 能效比的行业先进值（8.8-10.0）已经远远超过了国家规定的一级能效标准（3.6/3.55），从而导致市场上所销售的所有多联机均为一级能效产品。以大金品牌为例，其 2018 年间销售的多联机中有 98.82%为“超高能效产品”，即 IPLV 能效比超出国家一级能效标准 50%以上。在这种情况下，能效标准已经无法起到区分不同性能产品、引导市场健康发展的作用，导致目前市场上的多联机产品同质化严重，也严重削弱了企业研发高效产品的主观能动性。《房间空气调节器能效限定值及能效等级》GB21455-2019 于 2020 年正式实施，标准如何落实也是面临的一大难题。以高标准作为重要抓手，强化消费者绿色消费意识，做到选购高能效产品有据可依,同时抬高行业竞争门槛，让更具科技含量的高质量产品占领市场，有利于

具有核心竞争力、转型升级步伐快的企业创新发展。

建议措施：

积极推广国家制冷产品能效标准。在固定资产投资项目节能审查、工程建设项目区域节能评估中，对于重点项目、重要区域、能耗较高项目，明确要求其使用能效等级为一级的制冷产品，推进国家制冷产品能效标准在武汉市的实施。

（2）制冷剂标准

现状：

国内制冷剂行业缺乏相关标准，国际上通行的 ASHARE34 标准是由美国制定的，而新型制冷剂想进入这个标准无疑非常困难（尤其是中国的产品）。现如今，新型制冷剂层出不穷，各类宣传龙鱼混杂，没有统一标准去衡量制冷剂性能好坏，这就造成了客户在论证产品性能时缺乏参考依据，而全部依托企业自定标准让行业一直处于相对混乱的局面。

建议措施：

协助国家有关部门、行业协会等制定制冷剂标准。建议制定一套成熟的制冷剂申报体系，让每一个制冷剂的研发生产企业都有纳入标准体系的机会，在一个相对公平的环境下竞争。制定标准化时应考虑行业因素，将制冷剂应用行业划分为民用、商用、工业用、军用等级别。再根据各个级别的高中低要求进行二次分类，将常规行业及特种行业的应用需求作为核心参考标准，对制冷剂的节能性、环保性及安全性分别评级，再进行统一规划。执行标准化工作时，可以先通过组

织申报，将全国范围内制冷剂生产企业的产品及技术资料按照统一标准格式进行填报，通过专家评审整理出一批有一定技术含量或市场份额的制冷剂产品，直接将已经划分好的行业与已经整理好的制冷剂产品进行融合。鼓励武汉相关企业进行环保制冷剂的研发、申报和应用，推进制冷剂行业与节能行业的结合发展。

（3）制冷系统节能运行手册

现状：

制冷系统的节能包括设计、运行调节、维护等多个方面。设计方面有设计规范作为指导，但运行调节和维护方面的规范比较缺乏，国内的工业制冷系统没有统一的操作规程，通常是企业自行编制操作规程。这些操作规程的主要目的是保证制冷系统正常运行，对高效率节能运行关注不够。国外对制冷系统运行节能较为重视，制冷系统节能运行方面的规章主要以指南或者研究报告形式，由节能权威机构发布，且更提倡节能技术免费共享。

我国有不同版本的工业节能手册，但未见专门针对制冷领域的且覆盖范围较为齐全的节能手册。如 2014 年商务部发行的《冷库节能运行技术规范》虽然内容详尽但只针对于冷库制冷系统。2017 年编制的国家标准《制冷系统节能运行规程 第一部分：氨制冷系统》目前已经发布并公开，但是对于其他制冷系统节能运行的标准或规章手册则不完善。

建议措施：

通过过行业学会、协会的平台直接汇集行业技术专家的经验，加

快制定我国/武汉市《制冷系统节能运行手册》，该手册要注重实际运行操作，便于各行业人员直接应用，且覆盖范围要齐全，内容要不断更新完善。节能手册由政府部门发布，向全社会公开共享，并且出台一定的激励政策推动节能手册的实际推广应用或者强制相关企业遵守执行。

案例：

美国的《工业制冷最佳实践指南》、澳大利亚的《能效最佳实践指南—工业制冷》和新西兰的《良好实践指南—工业制冷》等，这些节能运行手册内容全面、注重实际操作层面，覆盖了实现制冷系统节能运行的能源管理体系、人员管理、规章制度、基础设施，还包括节能实例和能源审计内容等。并且这些规章手册会不断更新，免费共享。

（4）能耗定额标准

现状：

国家历来重视能耗限额标准的制定。在《“十二五”节能减排综合性工作方案》（国发〔2011〕26 号）就提出“加快制（修）订重点行业单位产品能耗限额、产品能效和污染物排放等强制性国家标准，以及建筑节能标准和设计规范，提高准入门槛。”进入“十三五”，国家印发《“十三五”节能减排综合工作方案》（国发〔2016〕74 号）提出健全节能标准体系，提高建筑节能标准，实现重点行业、设备节能标准全覆盖，继续实施百项能效标准推进工程。

为引导各产业提高用能水平，武汉市早在 2007 年就制定了《武汉产业能效指南（2007 版）》，并在 2011 年进行了更新，发布《武汉

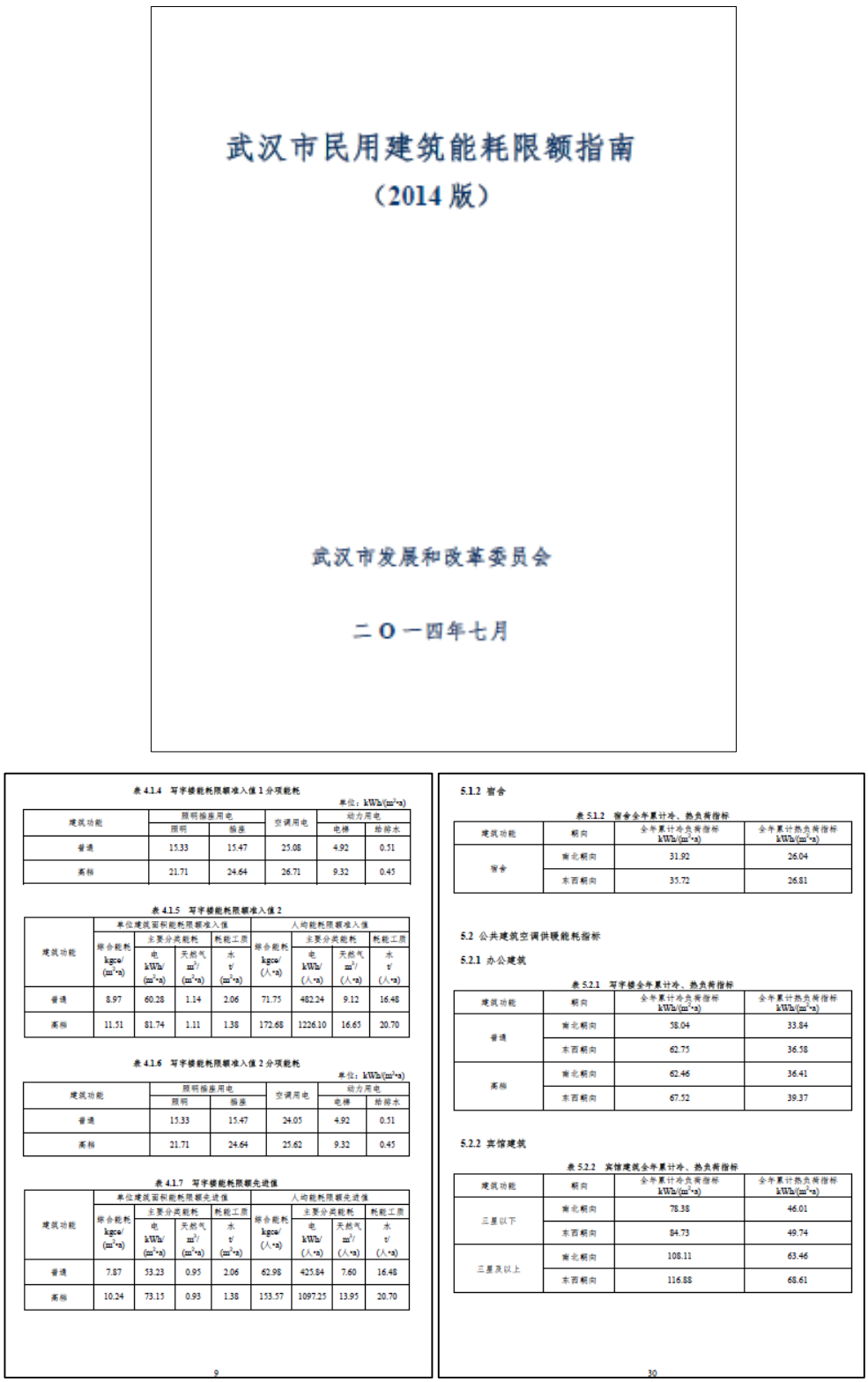
产业能效指南（2011 版）》；为指导全市建筑节能管理工作，武汉市在 2014 年制定了《武汉市民用建筑能耗限额指南》，该指南分别给出了 33 种建筑功能的能耗限额现行值、限定值，20 种建筑功能的能耗限额准入值、先进值，19 种建筑的空调供暖能耗指标；为进一步规范公共机构的用能工作，2019 年武汉市起草了地方标准《武汉市公共机构能耗定额标准》（征求意见稿），对党政机关、教育类机构、卫生医疗类机构、场馆类机构和公园共 5 个大类 12 个小类的公共机构能耗统计范围、定额指标、计算方法和管理措施进行了细致的要求。通过实施能耗定额标准，可以倒逼用能单位实施用能诊断，挖掘用能过程中的节能潜力。作为用能主要环节的空调系统，具有极大的优化空间，能耗限额标准的推行必将带动制冷能效的不断提升。

建议措施：

以能耗统计为基础，扩大能耗定额标准的涵盖范围，不断提高能耗定额标准编制和应用水平，促进用能单位节能管理精细化；实施强制能效对标，加强日常节能管理，采取节能技改等针对性措施，不断提高能源资源利用效率，争取达到更高能效水平。

案例：

I. 《武汉市民用建筑能耗限额指南》（2014 版）



武汉市民用建筑能耗限额指南

（2014 版）

武汉市发展和改革委员会

二〇一四年七月

表 4.1.4 写字楼能耗限额准入值 1 分项能耗

单位：kWh/(m²·a)

建筑功能	照明插座用电		空调用电	动力用电	
	照明	插座		电梯	给排水
普通	15.33	15.47	25.08	4.92	0.51
高档	21.71	24.64	26.71	9.32	0.45

表 4.1.5 写字楼能耗限额准入值 2

建筑功能	单位建筑面积能耗限额准入值				人均能耗限额准入值			
	综合能耗	主要分类能耗		耗能工质	综合能耗	主要分类能耗		耗能工质
	kgce/(m²·a)	电 kWh/(m²·a)	天然气 m³/(m²·a)	水 t/(m²·a)	kgce/(人·a)	电 kWh/(人·a)	天然气 m³/(人·a)	水 t/(人·a)
普通	8.97	60.28	1.14	2.06	71.75	482.24	9.12	16.48
高档	11.51	81.74	1.11	1.38	172.68	1226.10	16.65	20.70

表 4.1.6 写字楼能耗限额准入值 2 分项能耗

单位：kWh/(m²·a)

建筑功能	照明插座用电		空调用电	动力用电	
	照明	插座		电梯	给排水
普通	15.33	15.47	24.05	4.92	0.51
高档	21.71	24.64	25.62	9.32	0.45

表 4.1.7 写字楼能耗限额先进值

建筑功能	单位建筑面积能耗限额先进值				人均能耗限额先进值			
	综合能耗	主要分类能耗		耗能工质	综合能耗	主要分类能耗		耗能工质
	kgce/(m²·a)	电 kWh/(m²·a)	天然气 m³/(m²·a)	水 t/(m²·a)	kgce/(人·a)	电 kWh/(人·a)	天然气 m³/(人·a)	水 t/(人·a)
普通	7.87	53.23	0.95	2.06	62.98	425.84	7.60	16.48
高档	10.24	73.15	0.93	1.38	153.57	1097.25	13.95	20.70

9

5.1.2 宿舍

表 5.1.2 宿舍全年累计冷、热负荷指标

建筑功能	朝向	全年累计冷负荷指标 kWh/(m²·a)	全年累计热负荷指标 kWh/(m²·a)
宿舍	南北朝向	31.92	26.04
	东西朝向	35.72	26.81

5.2 公共建筑空调供暖能耗指标

5.2.1 办公建筑

表 5.2.1 写字楼全年累计冷、热负荷指标

建筑功能	朝向	全年累计冷负荷指标 kWh/(m²·a)	全年累计热负荷指标 kWh/(m²·a)
普通	南北朝向	58.04	33.84
	东西朝向	62.75	36.58
高档	南北朝向	62.46	36.41
	东西朝向	67.52	39.37

5.2.2 宾馆建筑

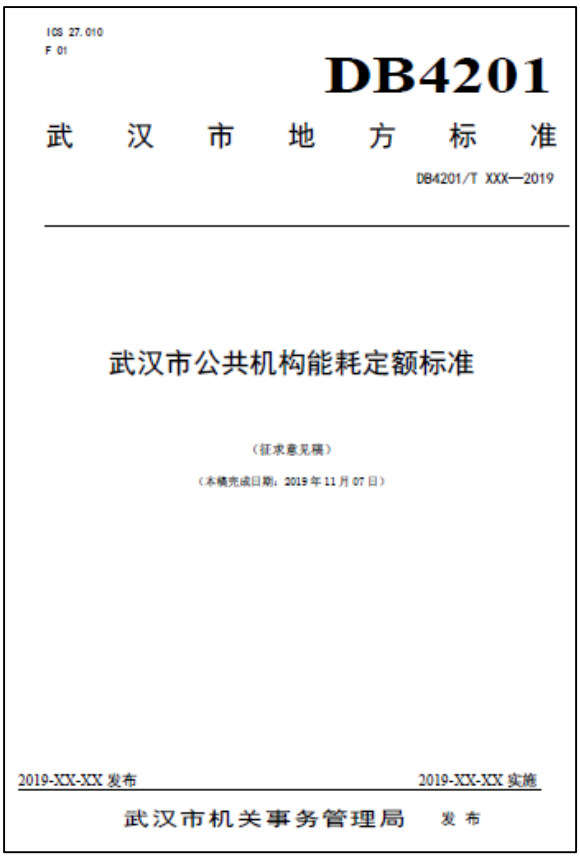
表 5.2.2 宾馆建筑全年累计冷、热负荷指标

建筑功能	朝向	全年累计冷负荷指标 kWh/(m²·a)	全年累计热负荷指标 kWh/(m²·a)
三星以下	南北朝向	78.38	46.01
	东西朝向	84.73	49.74
三星及以上	南北朝向	108.11	63.46
	东西朝向	116.88	68.61

30

图 4.1 《武汉市民用建筑能耗限额指南》（2014 版）

II. 《武汉市公共机构能耗定额标准》（征求意见稿）



ICS 27.010
F 01

DB4201

武 汉 市 地 方 标 准

DB4201/T XXX—2019

武汉市公共机构能耗定额标准

（征求意见稿）

（本稿完成日期：2019 年 11 月 07 日）

2019-XX-XX 发布　　2019-XX-XX 实施

武汉市机关事务管理局　发布

DB4201/T XXX—2019

统计周期内，教育类机构单位建筑面积能耗、人均综合能耗、人均用水量定额指标要求应符合表2规定。

表2　教育类机构能耗定额指标

公共机构类型	能耗定额指标	引导值	基准值	约束值
高等教育类机构[a]	单位建筑面积能耗（kgce/m²）	2.40	2.85	4.11
	人均综合能耗（kgce/p）	54.98	75.84	108.98
	人均用水量（m³/p）	23.93	37.31	48.69
中等教育类机构[b]	单位建筑面积能耗（kgce/m²）	1.71	3.79	8.33
	人均综合能耗（kgce/p）	41.79	56.39	91.61
	人均用水量（m³/p）	16.50	38.54	61.28
初等教育类机构[c]	单位建筑面积能耗（kgce/m²）	1.80	3.28	4.27
	人均综合能耗（kgce/p）	15.42	17.63	23.36
	人均用水量（m³/p）	6.68	11.30	13.79
学前教育类机构[d]	单位建筑面积能耗（kgce/m²）	2.94	4.09	8.24
	人均综合能耗（kgce/p）	22.31	26.11	31.79
	人均用水量（m³/p）	8.25	12.57	18.76

[a] 高等教育类机构包括大学、学院、高等职业技术学校、高等专科学校等。
[b] 中等教育类机构包括普通中等专业学校、中等师范学校、职业初中、职业高中、成人高中、成人中专、中等技工学校等。
[c] 初等教育类机构指小学。
[d] 学前教育类机构包括幼儿园、托儿所等。

6.3　卫生医疗类机构

统计周期内，卫生医疗类机构单位建筑面积能耗、人均综合能耗、人均用水量定额指标要求应符合表3规定。

表3　卫生医疗类机构能耗定额指标

公共机构类型	能耗定额指标	引导值	基准值	约束值
一级医院[a]	单位建筑面积能耗（kgce/m²）	2.64	3.06	3.84
	人均综合能耗（kgce/p）	74.42	78.52	90.27
	人均用水量（m³/p）	10.32	23.16	25.17
二级医院[b]	单位建筑面积能耗（kgce/m²）	4.43	6.40	11.92
	人均综合能耗（kgce/p）	89.94	157.29	191.01
	人均用水量（m³/p）	11.14	26.21	33.52
三级医院[a]	单位建筑面积能耗（kgce/m²）	14.45	22.51	39.09
	人均综合能耗（kgce/p）	245.20	368.64	950.98
	人均用水量（m³/p）	51.87	68.29	82.74

[a] 一级医院是直接向一定人口的社区提供预防、医疗、保健、康复服务的基层医院、卫生院。
[b] 二级医院是向多个社区提供综合医疗卫生服务和承担一定教学、科研任务的地区性医院。

4

图 4.2 《武汉市公共机构能耗定额标准》（征求意见稿）

4.1.2 政策支持

（1）绿色高效产品补贴减税

现状：

当前，企业购置并实际使用列入《节能节水专用设备企业所得税优惠目录》范围内的专用设备，可以按专用设备投资额的 10%抵免当年企业所得税应纳税额；企业当年应纳税额不足抵免的，可以向以后年度结转，但结转期不得超过 5 个纳税年度。但是这个政策的企业知晓度并不高，而且在申请过程中需要客户准备材料，流程相对繁杂，审批时间也没有明确，也可能会出现即使材料齐全也不一定能够获得

退税。

建议措施：

政府部门加大该政策的宣传力度，同时明确审批要求，实施一次性告知制，简化申请流程和及时完成退税，来引导客户购买高能效产品促进节能减排；实时更新目录，适当提高所得税减免比例。

（2）资金支持

现状：

武汉市目前有多种专项资金用于支持企业开展节能降耗项目，具体包括市发展改革委的循环经济引导资金，每年约 6000 万元；市经信局的工业节能项目专项资金，每年约 1000 万元；市城乡建设局的建筑节能以奖代补资金示范项目，每年约 600 万元。通过以上资金的支持，对于调动企业实施制冷能效提升行动积极性，缓解企业资金使用压力具有一定的积极作用。但目前在资金使用中仍存在一些问题：一是由于宣传力度不足，政企沟通渠道不够畅通等原因，部分企业并未知悉此类政策或对政策了解不足；二是资金使用的门槛较高，导致部分企业只能望而却步，如工业节能项目专项资金支持范围要求项目及能量在 300 吨标准煤以上；三是资金支持范围存在同质性交叉，同一个项目在不同部门申请，获得的奖励资金金额不同，增加了企业在选择时的难度。

建议措施：

加大涉企政策宣传力度，梳理汇编相关资金支持政策，并通过网络、APP、微信、微博等多渠道进行宣传，用好用足用活政策；降低

门槛，扩大政策扶持范围，最大限度地支持企业的相关节能降耗和能效提升行动；加强跨部门资金的清理整合，对同一工作事项，原则上应按照部门职责分工，明确由一个部门负责，资金相应列入其部门预算；确需分解为由多个部门负责的，应按照项目和资金性质明确牵头部门，制定统一的资金管理办法，减少部门间横向分配资金。

案例：

武汉市城乡建设局建筑节能以奖代补资金示范项目

表 4.1 武汉市城乡建设局 2019 年建筑节能以奖代补资金示范项目

序号	申报类型	项目名称	项目所在地	项目基本情况	建设进度
1	超低能耗建筑示范项目	武汉淩悦华府项目 5#楼	武汉经济技术开发区	建筑面积 7800.24 ㎡，定位于德国被动房研究所（PHI）Classic 标准被动房，同时兼顾住建部《被动式超低能耗绿色建筑技术导则（试行）》相关技术标准要求设计和建造。2018 年 8 月获得德国 PHI 设计预认证。	目前已完成主体结构，正在进行门窗及环境一体机等设备的安装、内部装修。
2	绿色建筑示范项目	黄陂区临空新城航空企业总部（核心区）	黄陂区	2017 年 11 月 24 日获评省级绿色生态城区示范项目。其中：一星级绿色建筑面积为 352498 ㎡，二星级绿色建筑面积为 430096 ㎡，三星级绿色建筑面积为 150000 ㎡。	施工中
3		武汉龙庭华府	蔡甸区	2016 年 9 月 28 日获评省级绿色建筑集中示范项目，2019 年 4 月 26 日获得二星级“绿色建筑设计标识”证书的建筑面积为 18.42 万㎡。	施工中
4		中建 光谷之星项目办公部分 H 地块	东湖高新区	建筑面积 11.53 万㎡，2018 年 1 月 31 日获得三星级“绿色建筑标识”证书。	已竣工投入使用
5		武汉光谷 188 国际社区二期 5~8 号楼	东湖高新区	建筑面积 10.87 万㎡，2019 年 4 月 26 日获得三星级“绿色建筑设计标识”证书。	项目主体结构已经完成，正在进行精装修施工。
6		武汉市民之家	江汉区	建筑面积 12.33 万㎡，2018 年 2 月 11 日获得三星级“绿色建筑标识”证书。	项目已竣工并于 2012 年投入使用

7		武汉保利常阳·天悦项目1-4号楼	武昌区	建筑面积9.86万㎡，2018年7月28日获得三星级“绿色建筑设计标识”证书。	施工中
8		铁投碳汇大厦项目	武昌区	建筑面积7.85万㎡，2019年8月14日获得三星级“绿色建筑设计标识”证书。	施工中
9		武汉航发金融创新基地	黄陂区	建筑面积15.2万㎡，2019年8月17日获得三星级“绿色建筑设计标识”证书。	施工中
10		湖北省科技馆新馆	东湖高新区	建筑面积7.03万㎡，2019年7月4日获得三星级“绿色建筑设计标识”证书。	施工中，计划2019年底竣工
11		武汉市盘龙城遗址博物馆	黄陂区	建筑面积1.66万㎡，2018年6月25日获得三星级“绿色建筑设计标识”证书。	已完工
12	绿色建材标识项目	武汉和平新龙新材料有限公司	江夏区	砌体材料，2018年11月15日获得三星级“绿色建材评价标识”证书，有效期3年。	
13		武汉市华宇泰新型墙体材料有限公司	东西湖区	砌体材料，2018年11月15日获得三星级“绿色建材评价标识”证书，有效期3年。	
14		武汉锦嘉新型墙体材料制品有限公司	蔡甸区	砌体材料，2017年12月5日获得三星级“绿色建材评价标识”证书，有效期3年。	
15		武汉市春笋新型墙体材料有限公司	青山区	砌体材料，2018年8月16日获得三星级“绿色建材评价标识”证书，有效期3年。	
16		武汉鑫云海混凝土有限公司	东西湖区	预拌混凝土，2018年7月23日获得三星级“绿色建材评价标识”证书，有效期3年。	
17		武汉娲石商砼有限公司	新洲区	预拌混凝土，2019年6月20日获得三星级“绿色建材评价标识”证书，有效期3年。	
18		武汉明华鸿昌新型建材有限责任公司	蔡甸区	预拌混凝土，2018年12月19日获得三星级“绿色建材评价标识”证书，有效期3年。	
19	可再生能源建筑应用示范项目	鄂旅投书院世家一期太阳能热水工程	武昌区	项目总建筑面积34.7305万方，合计863户，为34层高的居建项目，太阳能系统安装率100%。	2018年9月竣工
20		武汉丰泽园小区太阳能热水工程	东西湖区	项目总建筑面积约6.3万方，合计212户，太阳能系统安装率100%。	2018年10月竣工
21		磨山村城中村改造开发用地	汉阳区	项目总建筑面积约12.8万方，合计1256户，太阳能系统安装	2018年12月竣工

		D 地块二期太阳能热水工程		率 97.2%。	
22	公共建筑节能改造示范项目	武汉大学中南医院门诊大楼合同能源管理项目	武昌区	改造建筑面积为 3.4 万㎡，主要改造供暖通风空调与生活热水系统、弱电及自控系统，综合节能率为 21.15%。	2018 年 5 月份完工

（3）合同能源管理模式

现状：

近些年来，节能服务产业在我国快速发展，其主要指由专业的第三方机构（能源管理机构）帮助自身机构解决节能运营改造的技术和执行问题的服务。节能服务的优势在于使用能企业再不投入资金不承担风险的前提下通过与节能服务公司的合作由节能投资公司来规划，设计，投资，管理达到企业节能减排，降低能耗，能源深度利用的效益。这种节能专项领域的投资模式大大加强了用能企业在节能项目上的积极性有利于推动整个节能行业的发展。为推进合同能源管理模式，武汉市于 2014 年印发了《关于加快推行合同能源管理的意见》(武政办〔2014〕134 号)，并配套制定了相关财政奖励、税收减免、融资信贷的三项政策。

第三方节能服务机构一般采用合同能源管理的方式提供相关服务，主要有五种商务模式：（1）节能效益分享型（2）能源费用托管型（3）节能量保证型（4）融资租赁型（5）混合型。但目前只有节能效益分享型合同可以申请合同能源管理财政奖励、税收减免、融资信贷。随着社会发展，目前社会上以能源费用托管型、节能量保证型模式的合同能源管理项目日趋增多，尤其是制冷能效提升类项目，由于冷量产品的特殊性，十分适合采用此两种模式。

建议措施：

深入调研，针对合同能源管理项目不同模式的风险点，制定相应限制措施进行控制，以扩大合同能源管理项目支持模式。

案例：

I. 武汉市第五医院合同能源管理项目

图 4.3 武汉市第五医院合同能源管理项目

武汉市第五医院地处汉阳，是一所集三级综合性医院。医院占地面积 2.11 万 m^2，建筑面积 3.49 万 m^2，医疗业务用房建筑面积 6.5 万 m^2。将 2 台溴化锂机组更换成 1 台风冷热泵热回收机组及 2 台高效风冷热泵机组，以空气能回收再利用的方式配合热储蓄系统来供应院生活热水，从而提高能源利用效率，实施后实际节能量为 206.5tce/年，节能率为 28.5%。

II. 合同能源管理类项目支持

表 4.2 武汉市发展改革委近年合同能源管理类项目支持汇总

序号	节能服务公司	用能单位	项目名称	项目内容	节能量/tce	认定时间	支持类型	
1	湖北贝格能源科技有限公司	武汉市第五医院	武汉市第五医院采暖空调及热水热源系统节能改造	将 2 台溴化锂机组更换成 1 台风冷热泵热回收机组及 2 台高效风冷热泵机组，以空气能回收再利用的方式配合热储蓄系统来供应院生活热水。	207	2015	资金补贴	
2	武汉鸿图节能技术服务公司	武汉万景物业管理有限公司	万景国际水源热泵中央空调系统节能效益分享型合同能源管理项目	对武汉万景物业管理有限公司的万景国际项目水源热泵中央空调系统进行改造	158	2016		所得税优惠
3	武汉新同恒科技有限公司	武汉市第一医院	武汉市第一医院中央空调节能改造项目	对空调系统主机、冷冻水泵、冷却水泵采用集中控制系统进行节能控制，使中央空调系统保持高效率运行。	483	2018	资金补贴	
4	武汉捷高技术有限公司	武汉市第九医院	合同能源管理建筑节能改造项目	为空调系统实施硬件改造和软件改造。硬件改造主要为增加电动阀、变频器、控制器、传感器等；软件改造为建设 iSave 中央空调 AI 节能系统。	90	2019	资金补贴	
合计					**937**			

备注：1. 资金补贴支持标准为按年节能量计算的，市财政给予 600 元/吨标准煤的支持；按照年节能率计算的，给予不超过项目投资额 30%的支持。

2. 所得税优惠为自项目取得第一笔生产经营收入所属纳税年度起，第一年至第三年免征企业所得税，第四年至第六年按照 25%的法定税率减半征收企业所得税。

4.1.3 宣传推广

（1）绿色高效制冷产品的推广

现状:

当前新技术制冷产品、绿色高效制冷产品的市场推广效果不尽如人意，一方面是其价格较高所致，另一方面企业在购买相关产品时不好比选。因为目前对绿色高效制冷产品没有严格的界定，导致市场上

各种产品龙鱼混杂，甚至存在产品虚标，以次充好等不诚信问题。

建议措施：

制定武汉市绿色高效制冷产品清单，此清单需要严格把关，提高标准门槛，同时提供真实的产品检测报告和第三方权威检测报告，并对材料的真实性负责。此清单应该为行业内顶尖产品，政府应积极引导供建筑使用产品，为有意愿购买此类产品的企业提供参考依据。对使用武汉市绿色高效制冷产品清单上产品的工程项目和企业用户，政府可以给予电力补贴（如使用的电力比例反补、电费打折、赠送电力额度等），并大力推广财政部绿色高效产品抵税制度，引导企业使用高能效产品。同时要严厉打击产品虚标、以次充好等不诚信问题。招投标文件更公平公正，多注重机组能效参数，少纠结尺寸参数等。

案例：

武汉市节能宣传周

图 4.4 武汉市 2020 年节能宣传周

自 1991 年至今，武汉市节能宣传周已举办 30 届。通过举办形式多样的节能宣传周活动，已经让普及生态文明、绿色发展理念，形成崇尚节约、合理消费与绿色环保的社会风尚，推动普及绿色生产生活方式，渐入人心。

（2）社会公众认知度

现状：

当前社会公众对绿色高效制冷产品的认知度不足，尤其是普通居民用户。调查结果表明，当前居民购买家用空调最关心的三个因素为品牌、价格、售后，大部分消费者仅停留在基础功能阶段，对能效等级的概念一知半解，甚至完全不了解。对于绝大部分用户，对绿色高效制冷产品的认知仅停留在“比其他产品更加省电”这一范畴，至于能省多少电以及产品的智能性、舒适性等则没有概念，这也导致了相关产品的用户认可度不足。

建议措施：

政府和空调厂商应该通过各种渠道向用户推广和宣传绿色、高效制冷产品。对于政府，除了对购买绿色高效产品的用户提供补贴之外，还应该加大宣传力度，向公众普及绿色节能、能效等级等相关概念。例如，可以在制冷产品能效等级标识处增添一个二维码，用户通过扫描二维码的方式就可以了解更多关于能效等级的知识。对于空调厂商，可以加大各类广告、自媒体的投入，积极向用户推荐高能效空调产品；建立完善的服务体系，向用户提供专业的产品介绍、技术咨询、系统提案等服务，以专业的技术答疑获得用户认可；有条件的厂商可以建

立专门的智能高效制冷产品展示厅或体验空间，向公众开发，通过亲身体验提高用户对智能、高效制冷产品的认可度；同时，也可以通过购买高能效空调产品达到相应金额赠送高价值礼品等活动进行产品推广。

案例：

大金武汉展厅

图 4.5 大金武汉 DAIKIN NEW LIFE STATION 展厅

大金武汉 DAIKIN NEW LIFE STATION 展厅是迄今为止大金在国内规模最大、体验全面升级的综合提案展示厅。占地面积超 1500 ㎡，共有两层，包括了空气四大要素体验、样板间、沙龙洽谈区、核心技术揭秘、大金之城 VIP 室和产品陈列等区域。展厅搭载大数据识别、智能传感等高科技设备，将看不见的空气可视化，打造全新沉浸式互动体验中心，用户可以亲身参与互动，对大金独有的技术和舒适品质生活，有更身临其境的全感官享受。

（3）政府示范工程

现状：

绿色高效制冷产品的高价格往往使许多客户退而求其次，选择其他产品，尤其是对价格比较敏感的民用项目。很多客户对价格昂贵的绿色高效产品的实用性、节能性存在疑虑，在其尚未大规模推广应用的情况下不愿意“以身试险”，只有需要通过绿色建筑认证或者对能效要求高的用户才会正视高能效的制冷设备。

建议措施：

政府应该起到带头引领的示范作用，通过更多示范性工程带动其他客户选择绿色高效制冷产品。对于地铁站、火车站、机场、博物馆、政府办公楼、大型综合公共场所等归属政府管理的建筑设施，应制定政策强制采用绿色高效制冷产品；对于有代表性的、完成得好的工程项目，应该联合媒体单位进行宣传推广，在政府工作会议上公开表扬等。

案例：

武汉市民之家

图 4.6 武汉市民之家

武汉市民之家位于武汉三环线与金桥大道交汇处，总建筑面积为 123423m^2。该项目为武汉市重要标志性建筑，是集市民办事、规划展示、市民教育、培训讲座、商务洽谈、文化休闲于一体的多功能服务平台，也是全市的首家三星绿色公共建筑。

整个项目确定了 6 大技术体系、22 项绿色生态技术，采用节能围护技术、地源热泵空调系统、太阳能光伏系统、全热回收系统、室内空气监测、智能监控、置换式新风系统等技术。项目节能率达到 60%，年节省运行费用 227 万元，减少碳排放 1913 吨。

4.1.4 专项工程

（1）地热能开发

现状：

武汉市来具有独特的水文地质条件，拥有丰富的地表水和地下水资源，长江汉江一级阶地的松散岩类孔隙承压水极为适宜地下水式地

源热泵的运行，以岗状平原为主，地形起伏不大，热物性参数稳定，地埋管式地源热泵在武汉都市发展区亦具有较好的应用前景。地源热泵系统比空气源热泵能效高出近 40%，节能率约 30%，节能效果显著。实际使用运行费用仅约 0.10～0.17 元/m2·天，且大部分在 0.10 元/m2·天左右，利用情况最好的住宅地源热泵项目一户中等面积（建筑面积80m2）家庭全年制冷和供暖的费用为2200元左右，费用低廉，与用电、天然气、烧油进行中央空调系统制冷或小区供暖相比，户均可节省 1500～5000 元/年。

武汉市浅层地热能可开采量见表 4.3。

表 4.3 武汉市浅层地热能可利用资源量

种类	制热量与制冷量之和（10^9MJ）	制冷/供暖面积（万 m^2）		传统系统总能耗（万 tce）	热泵系统总能耗（万 tce）	传统能源替代量（万 tce）	
		夏季	冬季				占比（%）
地源	450	66100	77800	1766	1157	609	83.2
地表水源	54	9053	7445	206	102	104	14.23
污水源	10	1415	1937	41	22	19	2.57
合计	515	76568	87182	2012	1281	732	100

自 2000 年汉口凌云集团办公楼地下水地源热泵项目建成投用以来，汉市已建成投运武汉火车站、汉口火车站主站房、武昌火车站、武汉杂技厅、湖北大学、华中智谷等项目，截止 2019 年底，地源热泵建筑应用面积已超过 900 万 m^2。从目前武汉市地源热泵技术发展水平和工程应用情况来看，地源热泵技术已基本成熟，运行经济性较好，投资回收期已控制在合理的范围内。

但是由于缺乏专项开发规划、统筹协调机构和系统规范的项目管理制度，武汉市地源热泵技术普及度尚不理想。同时在具体应用中也

存在一些问题，如长江、汉江沿线一级阶地上大部分地下水地源热泵项目运行 1～2 年后出现不能 100%回灌，出现回灌井作废、地下水排入市政管网现象，有的施工质量低劣，出现回灌水漫溢等问题，考虑到这些方面问题，政府职能管理部门目前实际上已基本停批地下水地源热泵项目。普遍存在实际系统能效低于设计系统能效的问题，如 2011 年武汉市建筑节能办组织专业机构对约 20 个项目地源热泵系统系统能效进行了实测，实测结果地下水系统平均能效比为 3.07，地埋管系统平均能效比为 3.20，明显低于对应的设计值（地下水系统 3.56、地埋管系统 3.80），有的地埋管系统平均能效比仅 2.0 左右。。

建议措施：

加强地热资源勘查评价；编制地热能利用发展规划，明确地热能开发利用总体目标和基本思路，制定地热能开发利用管理办法；大力推行浅层地热能利用，优先发展可再生水源热泵（含工业废水、污水等），积极发展地埋管地源热泵、地表水（江、河、湖、海等）水源热泵，适度发展地下水水源热泵；积极推广中深层无干扰地热能利用；建设水热型地热供热示范工程；加强关键技术研发，推进产业化建设；加强地热能监管平台建设；完善地热能产业服务体系；培育地热能开发利用商业模式。

案例：

I. 武汉市近年建成或拟建项目如表 4.4 所示。

表 4.4 武汉市近年地热利用项目

序号	项目名称	建设地点	实施时间	总建筑面积（㎡）	应用面积 (m^2)	地源热泵系统类型
1	湖北省地质矿产勘查开发局 AB 栋高层住宅	航空路 684 号		30000	30000	地下水地源热泵

2	汉口福星惠誉办公综合楼、会所	汉口江汉区新华路		10000	10000	地下水地源热泵
3	武汉市塔子湖体育中心健身大楼	武汉市江岸区		44000	44000	地下水地源热泵
4	中南剧场	汉口京汉大道		14600	14600	地下水地源热泵
5	香榭里花园小区	汉口香港路		40000	40000	地下水地源热泵
6	湖北省地调院科研大楼	桥口区古田五路	2008.3-2009.8	29600	28200	地下水地源热泵
7	正远铁路电器研发中心	武汉黄浦科技园	2005.2-2012.12	73800	52000	地下水地源热泵
8	湖北大学图书馆	武昌友谊大道湖北大学		45000	45000	地下水地源热泵
9	湖北警官学院图馆及体育馆	武汉市解放大道86号		20000	20000	地下水地源热泵
10	湖北警官学院学生食堂	武汉市解放大道86号		14300	14300	地下水地源热泵
11	泰跃•金河小区5栋多层	东西湖环湖路		10800	10800	地下水地源热泵
12	泰跃•金河小区3栋连排别墅	东西湖环湖路		5500	5500	地下水地源热泵
13	武汉市美术馆	汉口黄石路与中山大道交汇处		12000	12000	地下水地源热泵
14	武汉市杂技厅	汉口建设大道与台北路交汇处		17000	17000	地下水地源热泵
15	三金•鑫城国际汇景苑	江汉区发展大道新华路口		211000	211000	地下水地源热泵
16	百步亭花园小区综合楼	武汉市江岸区百步亭		10000	10000	地下水地源热泵
17	汉口百步亭花园酒店，会所，医院	武汉市江岸区百步亭		17000	17000	地下水地源热泵
18	百步亭新港苑超市、会所	武汉市东西湖区东流港		7600	7600	地下水地源热泵
19	湖北第二师范学院图书馆	武汉市江夏区流芳		46000	46000	地下水地源热泵
20	都市经典花园会所	徐东路		4000	4000	地下水地源热泵
21	都市经典售楼部	徐东路		2500	2500	地下水地源热泵
22	武汉市建筑节能检测中心办公楼	汉口唐蔡路		2000	2000	地下水地源热泵
23	铁四院生产科研综合楼	武汉市武昌区杨园	2006-2011.3	55000	55000	地下水地源热泵
24	武汉凌云科技集团办公楼	建设大道417号		11000	11000	地下水地源热泵
25	天与地音乐城	汉口循礼门		5000	5000	地下水地源热泵
26	晋合世家会所	建设大道和江大路交界处22		2000	2000	地下水地源热泵
27	武汉凤凰实业有限公司大韩宫水源热泵工程	福星国际商业大楼裙楼		7500	7500	地下水地源热泵
28	武汉航达公司厂房综合楼	汉口东西湖金银湖		18000	18000	地下水地源热泵

29	空军雷达学院教研楼	江岸区赵家条南侧		26100	26100	地下水地源热泵
30	淘金广场（地温）中央空调	武汉市汉口友谊路		80000	80000	地下水地源热泵
31	百步亭现代城一期	汉口百步亭路		100000	100000	地下水地源热泵
32	Acura 讴歌武汉江城店----长丰汽车展厅	硚口区长丰大道		8000	8000	地下水地源热泵
33	万国愿景广场	武汉市江岸区青年路 378 号	2009.3-2011.12	200028.15	200028.15	地下水地源热泵
34	华润置地 橡树湾售楼处	武昌长江江畔杨园段		2900	2900	地下水地源热泵
35	普仁医院新建门诊住院大楼	武汉市青山区红卫路本溪街 1 号	2009.12-2011.3	50100	50066	地下水地源热泵
36	奥山世纪城 K-2-1 地块工程 E1-E5 及裙楼及二期	武昌区余家头	2011.7-2013.2	448000	347000	地下水地源热泵
37	武汉市委机关办公楼维修改造工程	武汉市江岸区解放公园路市委大院	2010.4-2011.6	9610	9610	地下水地源热泵
38	老干部活动中心	武汉市惠济路 38 号	2013	17095	17095	地下水地源热泵
39	新荣村客运站	汉黄路新荣村特 1 号	2008	11513	11513	地下水地源热泵
40	湖北出入境检验检疫局综合实验楼	武汉市汉阳区	2006.11-2009.9	26800	27200	地埋管地源热泵
41	军事经济学院图书馆	武汉市古田三路		15600	15600	地埋管地源热泵
42	东风阳光城丹桂苑	武汉经济技术开发区	2008.2-2010.4	51000	51000	地埋管地源热泵
43	蓝晶国际小区（A1+A2）	武昌光谷大道以西雄楚大道以南		203300	203300	地埋管地源热泵
44	武汉火车站	武汉市青山区	2006.1-2010.5	115000	115000	地埋管地源热泵
45	武昌火车站	武昌区中山北路	2006.6-2009.12	32700	32700	地埋管地源热泵
46	武汉中华奇石馆	汉阳翠微路		4500	4500	地埋管地源热泵
47	省公安厅驾校办公大楼	武昌南湖		6500	6500	地埋管地源热泵
48	清江花园小区	中南三路 58 号		38000	38000	地埋管地源热泵
49	武汉地税局木兰湖培训中心	木兰湖		1500	1500	地埋管地源热泵
50	首义园十八星旗花坛地源热泵工程	武昌区首义广场		1500	1500	地埋管地源热泵
51	南车集团长江公司总部行政办公楼	武汉市江夏区南车大道		25000	25000	地埋管地源热泵
52	东湖高新区荷田会所 5 号别墅	武汉东湖高新区		700	700	地埋管地源热泵
53	湖北省国土资源厅资料馆	武昌沙湖		32000	32000	地埋管地源热泵
54	湖北移动 3G 试验中心大楼	东西湖金银湖商务东路	2010.4-2011.7	19600	4200	地埋管地源热泵
55	干休所老干部住房和新建综合楼	武汉武昌区	2009.6-2010.1	8500	8500	地埋管地源热泵

56	武汉地质工程勘察院综合实验楼	武汉市汉阳区十里铺夏家湾特	2009.4-2009.12	4000	4000	地埋管地源热泵
57	南车长江车辆有限公司武汉分部行政办公楼	武汉江夏区		19673	19673	地埋管地源热泵
58	武汉经济技术开发区科技服务中心	汉阳经济开发区	2009.1- 2011.4	59400	59400	地埋管地源热泵
59	湖北省图书馆新馆	武汉洪山区沙湖	2008.11-2011.6	100523	100523	地埋管地源热泵
60	百步亭花园世博园	武汉口江岸区	2009.10-2011.6	165300	54499	地埋管地源热泵
61	轩盛鑫龙湾（一期）	武汉东湖新技术开发区	2010.3-2010.12	89741.13	89741.13	地埋管地源热泵
62	武汉新城国际博览中心展馆及会议中心	武汉汉阳区鹦鹉大道 619 号	2009.8- 2010.12	555000	100500	地埋管地源热泵
63	长航蓝晶绿洲	洪山区洪山乡中北路	2008.10-2014.12	216000	216000	地埋管地源热泵
64	武昌行车公寓	武昌火车站东广场		36767.74	36767.74	地埋管地源热泵
65	中国移动汉口客服生产中心	江汉经济开发区	2007.3-2011.6	46800	40700	地埋管地源热泵
66	海山.金谷	中北路和东湖西路	2010.1-2011-12	127000	105000	地埋管地源热泵
67	武汉光谷生物医药产业园 3 号地块（桃花源）住宅项目	武汉东湖新技术开发区	2010.1- 2011.8	210000	210000	地埋管地源热泵
68	湖北省新华医院脑科中心综合楼	武汉市江汉区新天门墩 5 号	2010.2-2012.5	47225	47225	地埋管地源热泵
69	武汉国家生物产业（九峰）创新基地	东湖高新区	2010.2- 2013.12	626000	12500	地埋管地源热泵
70	湖北省食品药品安全评价中心建设项目	武汉东湖高新技术开发区		10000	10000	地埋管地源热泵
71	七二二研究所通信系统联调试验楼	江夏区藏龙岛开发区藏龙大道 3 号	2005.10-2011.8	13000	11275	地埋管地源热泵
72	沿海赛洛城五期会所	武汉市东西湖区	2010.10-2011.10	2900	2900	地埋管地源热泵
73	高科技电子装备研发和生产基地项目 101#建筑	武汉市东湖高新技术开发区		12780	12780	地埋管地源热泵
74	武汉交通职业学院新区学生公寓	黄家湖大学城	2011.4-2011.9	46900	46900	地埋管地源热泵
75	武汉生态碧桂园会议中心酒店	武汉市东湖新技术开发区	2010.2-2012.12	107910	107910	地埋管地源热泵
76	市民之家	江岸区	2010.6-2012.3	123300	5000	地埋管地源热泵
77	吴家湾 御院	洪山区珞瑜路 560 号	2013	126417	126417	地埋管地源热泵
78	CBD 楚世家	武汉市建设大道营房村	2013.11～2016.12	100000	100000	地埋管地源热泵
79	花山艺术馆	花山新城启动区		18000	18000	地埋管地源热泵
80	湖北省科技馆新馆	武汉东湖新技术开发区高新大道	2017-2019	70308	70308	地埋管地源热泵
81	朗诗绿色街区	汉阳龙阳大道 68 号		153700	57577	地埋管地源热泵

82	朗诗里程	东湖高新区高新大道光谷六路		388701	388701	地埋管地源热泵
83	湖北省武汉市合众人寿健康社区 一期工程	湖北省武汉市蔡甸区大集街张家渡村		176617	60204	地埋管地源热泵
84	武汉天河机场交通中心	武汉天河机场路	2013-2014	50540	50540	地埋管地源热泵
85	湖北省地税局还建楼	武汉市武昌区东湖路 101 号	2013-2014	40000	32110.47	地埋管地源热泵
86	开发区国际学校	武汉经济技术开发区	2013-2014	31018	21580	地埋管地源热泵
87	中冶武勘综合楼	武汉冶金大道 17 号	2012-2013	5600	3400	地埋管地源热泵
88	武汉理工大科技园研发中心	武汉东湖新技术开发区	2011.3-2011.12	5600	3400	地埋管地源热泵
89	光谷软件新城	花山生态新城	2012-2013	125941.48	102044.72	地埋管地源热泵
90	中南花园酒店南苑楼	中南路	2007-2008	34300	34300	地埋管地源热泵
91	清江泓景	珞狮南路延长线文化大道 32 号	2013-2014	25000	25000	地埋管地源热泵
92	湖北（国家）宽带研发中心	武汉未来科技城	2012-2014	16000	16000	地埋管地源热泵
93	知音半岛别墅地源热泵系统工程	沌口经济技术开发区	2013-2015	60000	60000	地埋管地源热泵
94	华侨城运动中心、办公楼	武汉市青山区和平大道罗家桥	2013	29072.12	10650	地埋管地源热泵
95	湖北省纪委监察厅花山工作基地	花山生态新城	2010-2014	40010	40010	地埋管地源热泵
96	中铁大桥局集团桥梁科技产业园	武汉市汉阳四新区	2015-2017	70000	70000	地埋管地源热泵
97	华中智谷	湖北省武汉市汉阳区芙蓉路 1 号	2014-2015	113000	113000	地埋管地源热泵
98	武汉航发金融创新基地	武汉市黄陂区盘龙城经济开发区	2018-2019	152565	45200	地埋管地源热泵
99	凡谷电子研发中心	武汉江夏区纸坊街复江道 117 号	2008.11-2010.5	20700	20700	地表水地源热泵
100	武汉凯迪思特	武汉市新洲区阳逻开发区		28825	28825	地表水地源热泵
101	中国科学院武汉病毒研究所	湖北省武汉市武昌区小洪山中区 44 号	2004-2005	11000	11000	地表水地源热泵
102	武汉凤翔岛度假村	武汉凤翔岛度假村		10000	10000	地表水地源热泵
103	武汉湖居天下	大集街塔尔山村	2013-2014	40000	40000	地表水地源热泵
104	武汉市人防疏散指挥所	武汉市黄陂区木兰乡丰天路		12000	12000	地表水地源热泵
105	武汉二七滨江国际总部商务区	武汉市二七滨江	2018-2020	2700000	2700000	地表水地源热泵

II. 长江新城

长江新城包括黄陂、新洲两区南部地区和江岸区部分区域，起步区面积 30 平方公里，范围涵盖武湖、谌家矶地区，中期发展区面积 100 平方公里，远期控制区 500 平方公里。

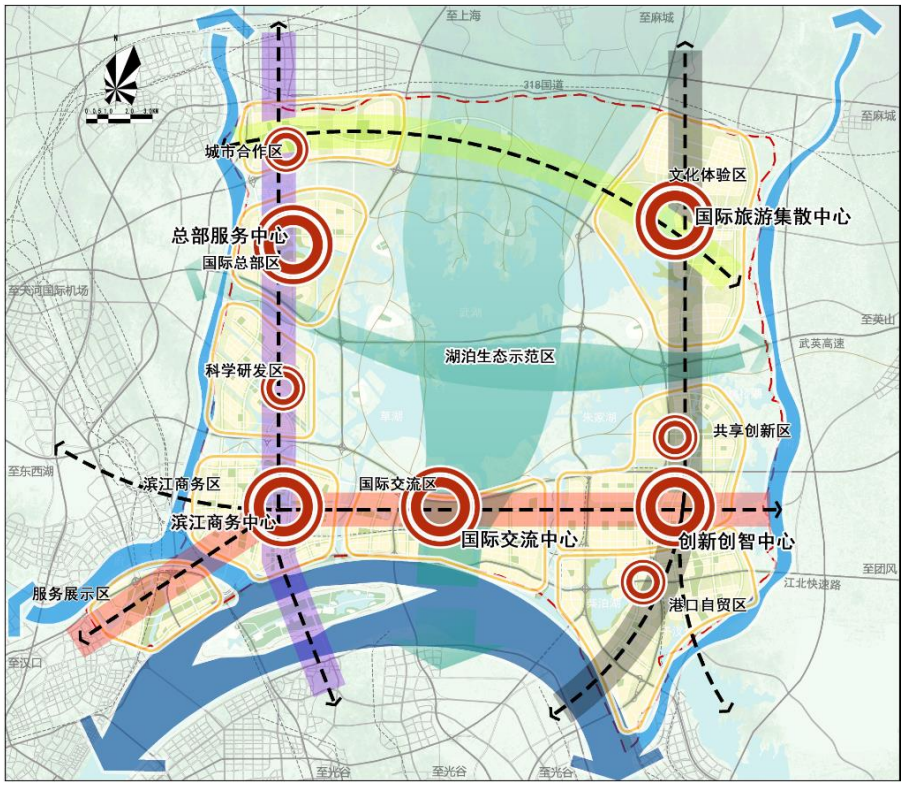


图 4.7 武汉长江新城规划图

长江新城从“生态轴、数据轴、空间轴、时间轴”四个维度构建能源体系。充分挖掘长江新城规划区域内的地表水和浅层、中深层地热资源禀赋，利用各种热泵技术，建设地表水（江水、湖水、污水尾水、自来水原水）、浅层和中深层地热冷热站，多极化开发利用、多形式互联互补、多方位集散结合的供冷供热系统，共享调度冷热能源，打造分布式、可生长、可调控的能源供给网络。

（2）建筑节能与绿色建筑

现状和存在问题：

推进建筑节能和绿色建筑发展，是落实国家能源生产和消费革命

战略的客观要求，是加快生态文明建设、走新型城镇化道路的重要体现，是推进节能减排和应对气候变化的有效手段。在建筑总量持续增加以及人民群众改善居住舒适度需求、用能需求不断增长的情况下，通过提高建筑节能标准，实施既有居住建筑节能改造，加大公共建筑节能监管力度，积极推广可再生能源，使建筑能源利用效率进一步提升，能源消费结构进一步优化，可以有效遏制建筑能耗的增长趋势。为推进建筑节能与绿色建筑发展，国家住建部于 2017 年 3 月印发了《建筑节能与绿色建筑发展“十三五”规划的通知》（建科[2017]53 号）。湖北省也于 2017 年 4 月印发了《湖北省“十三五”建筑节能与绿色建筑发展规划》（鄂建墙[2017]3 号）。为落实该规划的有关要求，武汉市自 2017 年起，每年均会制定全市年度建筑节能和绿色建筑发展目标任务及工作要点，并在年底对当年实施情况进行考核通报，近年的执行情况如表 4.5 所示。

表 4.5 武汉市建筑节能和绿色建筑推进情况

类型	具体指标	2017	2018	2019	2020（目标）
绿色建筑	项目个数	2666	1461	1550	
	建筑面积/m²	2378.13	2442.03	3133.33	533.5
	占全部新建建筑面积比例/%	78.91	93.3	99.26	
可再生能	项目个数	1147	1439	1440	
	应用面积/m²	742.95	1115.82	827.19	740
	完成目标任务比例/%	123.8	183.8	113.31	
既有建筑节能改造	项目个数	57	73	55	
	建筑面积/m²	175.74	141.87	119.03	82.6
	完成目标任务比例/%	246	188.7	150.3	

经过多年的推进，武汉市建筑节能和绿色建筑成绩显著，各项指标均超额完成，但仍存在一些问题和薄弱环节：部分区认识不到位，节能意识有待提高；发展绿色建筑还缺乏法律层面的强制性要求，支

持建筑节能与绿色建筑发展的长效激励机制和政策法规有待完善；市场主体作用发挥不够，市场机制有待培育；适合武汉市气候特点、资源条件的技术标准体系有待健全；随着建筑能耗总量和强度上行压力不断加大，建筑能效水平还有待进一步提升等。

建议措施：

加强监督检查，提升建筑能效，严格执行建筑节能六个专项（设计、图审、施工、监理、监督、验收）闭合管理工作要求；新建建筑全面执行国家、省、市绿色建筑相关标准和政策，强化绿色建筑工程验收管理，严格执行《绿色建筑设计与工程验收标准》(DB42/T 1319-2017)，将绿色建筑工程验收资料纳入工程竣工验收备案资料和工程档案资料管理。全年组织开展绿色建筑专项检查不少于 1 次；鼓励以合同能源管理、政府和社会资本合作等模式推进民用建筑节能改造；加强对国家、省、市建筑节能、绿色建筑政策的学习，组织设计、图审、施工、监理、质监等相关人员开展专业技术培训。

案例：

I. 武汉图书馆

图 4.8 武汉图书馆

武汉图书馆建于 2000 年 12 月，建筑面积 32975m^2。2014 年实施节能改造，2016 年底竣工验收完成，项目总投资额约 619 万元。武汉图书馆空调系统改造前冷热源为 MHS285.2FST2 型号螺杆式风冷热泵机组 4 台，单台机组的制冷量为 1000kW，制热量为 1050kW，额定功率 313kW；设置 6 台 Y2-225S-4 型号空调循环水泵（4 用 2 备）；设有 2 台 HF-52、HF-38 型号恒温恒湿机组，作为 6 层书库和阅览室空调系统的备用空调；末端形式 1-5 层主要为组合式空调机组，6-13 层主要为空调柜，部分空调房间为风机盘管加新风机组，部分房间使用分体空调。空调系统改造方案包括更换 6-13 层空调机组，将原来的 6 台空调循环水泵更换 5 台卧式离心变频水泵，与空调主机 1 对 1 配置，增设变频控制及 BA 系统，对水泵和风机采用变频优化控制等。项目改造后，实际年节能量为 973339kWh，实际节能率为 31.2%。

II. 中建·光谷之星项目办公部分 H 地块

图 4.9 中建·光谷之星项目办公部分 H 地块

项目位于武汉市东湖高新技术开发区，全长约 95m，共 20 层，建筑面积为 11.53 万 m^2，2018 年 1 月 31 日获得三星级“绿色建筑标识”证书，并于 2020 年获得美国 LEED 金级认证。项目空调系统的智能触摸面板自带温度探测器，能够智能探测室内当前温度，并且做到时刻监测。

（3）数据中心建设

现状和存在问题：

随着以互联网+、云计算和大数据为代表的信息经济的迅速发展，数据中心已成为信息社会重要的基础设施，迎来了快速发展期，国内外纷纷布局发展数据中心。目前，武汉市在用数据中心共有 19 个，设计机架数约 22038 个；基本竣工或已开工项目 6 个，意向性项目 2 个，设计机架数 99736 架。

相关研究表明，数据中心中的制冷系统是整个中心中耗电量最大

的部分，其所占数据中心总耗能的 30%~45%。武汉市 2018 年全市在用数据中心耗电约 10.6 亿 kWh，约占全市用电总量的 1.8%。结合武汉市在建项目情况，预计到下一个 5 年末 2023 年，全市数据中心耗电将超过 60 亿 kWh，占全市用电总量将超过 7%。

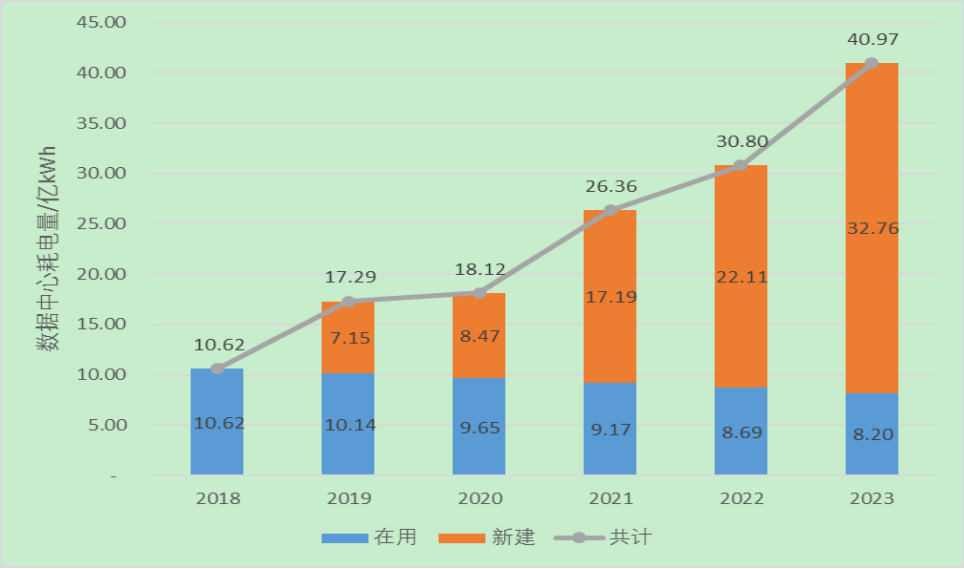


图 4.10 武汉市目前及未来数据中心用电量

目前，PUE(电源使用效率)值已经成为国际上比较通行的数据中心电力使用效率的衡量指标。PUE 值是指数据中心消耗的所有能源与 IT 负载消耗的能源之比。PUE 值越接近于 1，表示一个数据中心的绿色化程度越高。当前，国外先进的数据中心机房 PUE 值通常小于 2，部分国外机构调研测算结果近三年（2018~2020）的平均水平更达到了 1.58~1.67。而调查显示，武汉市目前在运营的数据中心 PUE 普遍超过 2.0，具有巨大的节能空间。由于制冷系统的能耗占比极大，所以提升制冷系统的能效是减小 PUE 值的主要措施。

建议措施：

设定能源效率准入条件，坚持用能限额，新建数据中心 PUE 值严格控制在 1.3 以下，改建数据中心 PUE 值严格控制在 1.4 以下；加

强对存量数据中心节能技术改造，开展试点示范，引入优秀的节能产品、方案和案例，促进节能减排绿色发展；建立和完善包括建筑、能耗、技术、设计、运维管理、单位产出等在内的综合评价指标；鼓励采用错峰储能、余热利用、自然冷源等技术。

推荐采取的制冷节能技术如下：

（1）水侧节能技术（含氟泵系统）。水侧冷冻系统是通过室外环境来降低数据中心温度的效果，主要是通过室外环境来供给数据中心的冷水（或冷媒），这种技术在不耗费机械压缩制冷能源的情况下，将水（或冷媒）冷却到适当的温度。在水侧节能系统中，冷水机组（或氟泵机组）系统上安装有附加风扇的换热器以及独立的自然冷却盘管回路，当数据中心运行环境中的温度可以通过制冷的方式实现散热的目的时，节能系统就会切换到以换热器为主的模式，并对环境中的温度进行自动化监测。在系统实际运行过程中，当数据中心外界的环境温度达到所设置的范围时，常规的蒸汽压缩电制冷功能会进入暂停状态，水侧（氟侧）节能系统的节能功能将会启动。

（2）风侧自然冷却技术。风侧自然冷却系统是指数据中心建设中，室外空气直接通过滤网或间接通过换热器将室外的空气冷量带入数据机房内，进而对 IT 设备进行降温的冷却技术。与水侧自然冷却系统相比，风侧自然冷却系统的节能效果更加直接和明显，该系统在运行过程中会减少能量之间的转换和传递环节，从而避免不必要的能量损耗，提升数据中心制冷的效果。在技术层面，风侧自然冷却技术实现了冷源与负荷中心的直接接触，使得系统运行不再依赖于传统空

调系统中的制冷机组的辅助降温，从而减少数据中心空调系统的能耗。

（3）液冷技术。液冷就是被处理过的液体送到机架/机柜/服务器的入口，对机架内的电子设备所产生的热量进行热力冷却。在常规工况下，水的体积携热量远远高于空气上千倍，随着风冷系统正趋于极限，液冷系统将越来越受到云计算数据中心的青睐。

案例：

国家网络安全人才与创新基地（一期）

图 4.11 国家网络安全人才与创新基地（一期）

国家网络安全人才与创新基地（一期）位于武汉市东西湖区，建筑面积 2008684m^2，计划建设包括中金数据中心、网络安全学院、展示中心等在内的大型建筑。依照功能布局和建设时序规划建筑供冷供热和生活热水系统。夏季以冷却塔、泾河水为主要冷源，经热泵机组

后为基地供冷；冬季以中金数据中心 18℃的余热作为热源，经热泵机组后为基地供热和提供生活热水；同时热泵机组为中金提供 12℃的中温冷冻水，作为超算中心的免费冷源。

（4）工业余热制冷

现状：

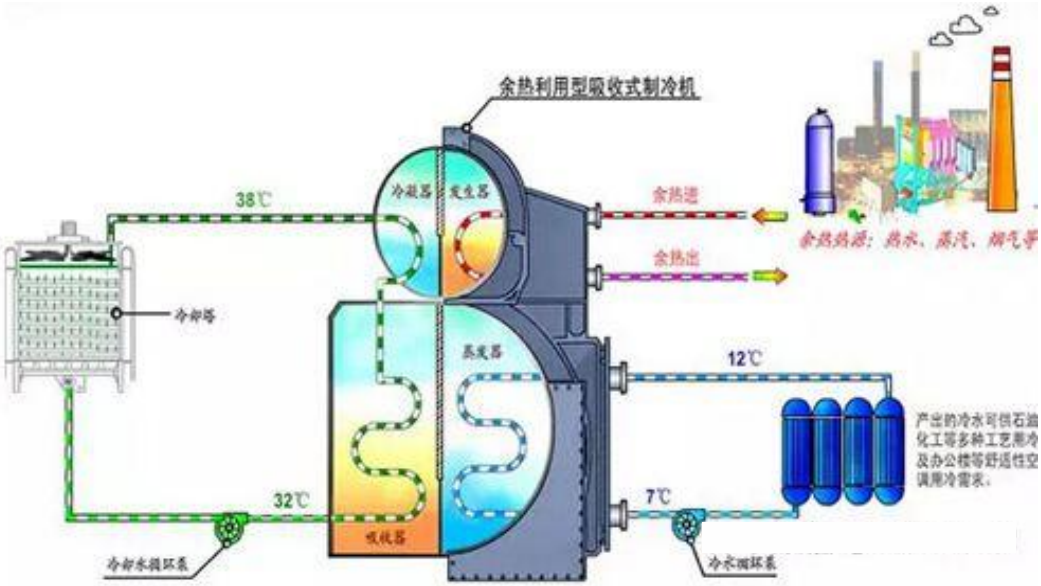


图 4.12 工业余热制冷工艺流程图

余热制冷就是利用生产过程中的气体或废气、废液，以及某些动力机械排出的热量作能源，驱动吸收式制冷机制冷的技术，可制取 5℃以上的冷水，其中蒸汽型溴化锂吸收式制冷机可利用 0.006MPa-0.8MPa 的蒸汽；热水型溴化锂吸收式制冷机可利用 70-150℃的热水；直燃型溴化锂吸收式冷水机组可利用燃料种类包括天然气、人工煤气、轻油、重油；烟气型溴化锂吸收式制冷机可利用 350℃以上的烟气。

表 4.6 武汉市主要钢铁、火力发电企业名单

序号	企业名称	2018 年用煤量/吨
1	武汉钢铁有限公司	12510000
2	华能武汉发电有限责任公司	4162958
3	国电青山热电有限公司	1517741
4	中韩（武汉）石油化工有限公司	950000

5	武汉钢铁（集团）公司	787430
6	湖北省长源第一发电有限责任公司	706210
7	武汉金凤凰纸业有限公司	114488
8	武汉晨鸣乾能热电有限责任公司	106489
9	武汉汉口绿色能源有限公司	28918
10	武汉博瑞环保能源发展有限公司	26500

武汉市钢铁、火力发电企业能耗量大，2018 年总用电量为 112.9 亿 kWh，占全社会用电量的 19.4%；总用煤量为 2091 万吨，占全社会用煤量的 76.1%。钢铁、火力发电企业均有制冷需求，但其目前安装的制冷设备均以常规的用电设备为主，若用溴化锂等吸收式制冷机组代替，利用钢铁、火力发电企业生产过程中的余热蒸汽进行制冷，同时为附近有需求的用户提供冷量，则可节约大量电能。目前，武汉市利用青山和武昌热电厂的余热建设有集中供热管网，为周边的居住区和建筑进行冬季供暖，供热负荷小、供热时间短、供热管网利用率低，夏季的余热资源完全没有得到利用。如果能利用工业余热在周边供热供冷负荷需求较大的区域建设区域能源站，为周边建筑供冷供热，既能够充分利用工业余热，又能够有效提高供热管网的利用效率，实现资源的循环和综合利用，拉长制冷供热产业链，提升城市综合服务功能。

以钢铁企业为例，钢铁企业的蒸汽来源主要有中压和低压两种汽源，中压蒸汽由热电厂锅炉及焦化厂的干熄焦设备产生，低压蒸汽主要来自烧结、转炉及加热炉的余热回收。炼钢厂每炼一吨钢可产生约 90kg 的蒸汽，一座大型的钢厂每月可产生近万吨的蒸汽，这些回收蒸汽除生产工艺消耗及冬天一部分用于取暖以外，一般都直接放散了。此外，钢铁企业冬夏季的低压蒸汽峰谷差较大，这主要是因为冬季产

生的蒸汽需供给工业生产用汽及民用采暖生活用汽；而夏季只供工业生产用汽。平衡冬、夏季的负荷差，增加夏季蒸汽负荷为有效的方式之一就是大力发展蒸汽制冷，推广使用溴化锂蒸汽制冷机组不但可以有效提高夏季的低压蒸汽负荷，减少蒸汽资源的浪费，还可以节约大量电能。

与常规电力驱动的制冷设备不同，溴化锂稀释是制冷机组以低压蒸汽为动力进行驱动，总投资和维护费用分别占电气空调的二分之一、和四分之一，且噪音小，制冷效果好，具有显著的经济效益和社会效益，尤其适合有热源的电厂和钢铁厂使用。采用溴化锂制冷机组来取代现有的电空调,对于相同制冷量的机组,溴化锂机组可节电 95%以上。对于火电厂，同样可考虑使用吸收式制冷机组替代常规的用电制冷设备，利用余热蒸汽进行制冷。

建议措施：

在武汉市钢铁、火力发电等工业行业中推广溴化锂等吸收式制冷设备，利用工业生产过程中的余热蒸汽进行制冷。其他有余热排放的工业领域，也可以根据条件推广余热制冷技术，包括蒸汽制冷、热水制冷、烟气制冷等。

案例：

I. 南京钢铁溴化锂机组

图 4.13 南京钢铁公司

以南京钢铁高线厂为例，其产蒸汽量为 7t/h，生活用汽为 2t/h，保留 1t 蒸汽富裕量，可利用其余 4t 蒸汽制冷。南京钢铁厂在高线厂和棒材厂分别安装溴化锂吸收式制冷机组，按照小时消耗蒸汽量为 4.0t 计算得:制冷量为 3200kW，制冷面积可达 14000m^2；按每年运行 2400 小时计算，可节约电能约 200-260 万 kWh。

II. 齐鲁石化热电厂溴化锂机组

图 4.14 齐鲁石化热电厂

以齐鲁石化热电厂为例，齐鲁石化热电厂原有三台上海冷气机厂生产的制冷量为 52.76kJ/h 的压缩式氟里昂制冷机，原设计供主厂房各主控室使用。由于设备老化等原因，三台制冷机的负荷远远低于额定值。为保证安全生产，改善广大职工的工作环境，各主要控制室又分别安装了立柜式或窗式空调器，导致电厂的制冷系统繁杂低效，能耗巨大。后齐鲁石化热电厂对其制冷系统进行改造，采用溴化锂制冷技术，并改暖气片为风机盘管，实现冬季采暖、夏季供冷一体化，节能效果显著。

（5）分布式天然气冷热电联产

现状：

当前，我国的能源结构正处于油气替代煤炭、非化石能源替代化石能源的双重更替期。但由于太阳能、风能等可再生能源受资源、技术、地域等条件影响，短期内难以实现规模性替代。而天然气作为低碳化石能源是能源转型的战略选择。

分布式天然气冷热电联产（CCHP）主要指的是设备中的主要燃料是天然气，通过天然气的有效供给，进而带动燃气轮和内燃气中的电动机等天然气发电设备的正常运行，这样设备产生的电力能源可以直接供给用户，满足用户关于电力的需求。系统中排出的废弃热量可以经过余热的回收通过设备给用户供热或者供冷。CCHP 系统实现了对天然气燃烧后的热量进行阶梯利用的设想：高品位的热能推动燃气轮机进行发电，然后利用燃气轮机尾气中所含热量推动制冷、热设备制冷、热。所产生的冷、热能源直接就近供应，产生经济效益。CCHP

系统既可以一台独立运行，也可以多台并联运行，以应对不同功率负荷情况下的用户需求。由于不需要远距离输送所产出的能源，以及对热能的充分利用，CCHP 系统的能源综合利用效率高达 80%以上。不仅能源利用效率高，而且 CCHP 系统具有节能减排、对电网和天然气管网双重削峰填谷的作用，能增强能源供应的安全性，具有较好的经济效益，同时节省社会公共成本，具有非常好的应用效果和发展潜力。

从 2010 年 8 月住房和城乡建设部发布为 CCHP 发展建设提供相关建设技术指标参考依据的技术规程文件，到国家发改委、能源局、住房和城乡建设部联合颁发为分布式天然气能源示范项目提供相关激励和优惠政策的实施细则，这些文件为 CCHP 能源系统的初步发展奠定了基础。中国共产党第十八届中央委员会第五次全体会议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》中的相关建议，进一步明确了政府对发展 CCHP 能源系统的重视程度。在相关政策的推动下，我国 CCHP 的应用规模正稳步增长。

“十三五”以来，武汉市大力削减煤炭消费的同时逐步加大天然气的消费和供应能力。目前在建的武汉市天然气输气管道所具备的输气能力为 46.5 亿 m^3/年，天然气储气调峰设施储气能力约为 1.12 亿 m^3/年。到 2020 年，预计武汉市天然气稳健型供气 46.8 亿 m^3/年、潜在需求量将达 55.5 亿 m^3/年。进入“十四五”以后发展速度将会进一步加快，预计武汉市 2025 年天然气需求量将会增加至 83 亿 m^3，2030 年天然气需求量将会增加至 113 亿 m^3。在武汉市大力推进天然气替代进程的背景下，建议推进分布式天然气冷热电联产系统的实际应用，

建设示范工程，逐步累积运行经验，因地制宜适度推广。重点在机场、火车站、医院、大型宾馆、中心商务区等冷热负荷需求较稳定的楼宇群建设一批分布式天然气冷热电联产示范项目。《武汉市能源发展“十三五”规划》提出“十三五”期间，规划建设15—20个分布式能源项目，装机规模达到15万kW，力争成为国家天然气分布式能源示范城市。

建议措施：

优化天然气管网布局，增强天然气应急储备；在中心城区重点发展以商业公共服务为主的分布式能源项目，包括以高校、政府机关为主导的武昌片区，以商务会展为主导的汉阳片区，以商贸商务、金融为主导的汉口片区。在开发区重点发展以工业园区为主的分布式能源系统，包括三大国家级开发区内的产业园区和部分都市工业园区。

案例：

武汉国博中心二期工程分布式能源站

图 4.15 武汉国际博览中心

武汉国际博览中心二期工程分布式能源站项目解决国际会议中心、假日酒店、洲际酒店、海洋乐园的供电、采暖、制冷及生活热水

负荷。能源站位于洲际酒店地下层，总建筑面积 6834m^2，主要由内燃机房、锅炉区、制冷站及辅助用房组成，发电机组选择燃气内燃发电机组（进口燃气内燃机 3 台），使用烟气热水型溴化锂机组为余热利用设备，采用电制冷机组+锅炉的调峰形式。

（5）能耗在线监测系统

现状：

国家发展改革委和质检总局于 2017 年印发《重点用能单位能耗在线监测系统推广建设工作方案》的通知（发改环资〔2017〕1711 号），提出要大力推动重点用能单位能耗在线监测系统建设，提高能源管理精细化水平，促进互联网与节能工作深度融合。武汉市自 2013 年就开始建设武汉市低碳节能智慧管理系统，并制定了一系列配套支持政策，支持企业建设各自的能耗在线监测系统，截至 2020 年 6 月底，全市接入市级平台的企业子系统共计 50 家，财政支持金额 1000 万元。

空调制冷系统作为企业重要的用能环节，使用能耗在线监测系统可以帮助企业迅速了解空调制冷系统的用能情况，通过对比分析、智能计算等方法挖掘其能效提升潜力，同时该系统可与空调智能管理系统实现对接融合，实现使用空间温度、湿度的智能、精准控制，最大限度地提高空调能量利用效率，达到能效最大化的目的。

武汉市目前仍有部分企业存在害怕企业数据泄露风险，对系统节能潜力信心不足等问题，导致其建设积极性不高；同时系统承接方市场混乱，建设水平参差不齐，企业在选择时难度较大。

建议措施：

政府加大系统建设的宣传力度，召开专项推介会，由已建设单位现身说法，介绍系统运行的优点；加强市场管理，适时制定系统承接方推荐名单。

案例：

I. 武汉市低碳节能智慧管理系统

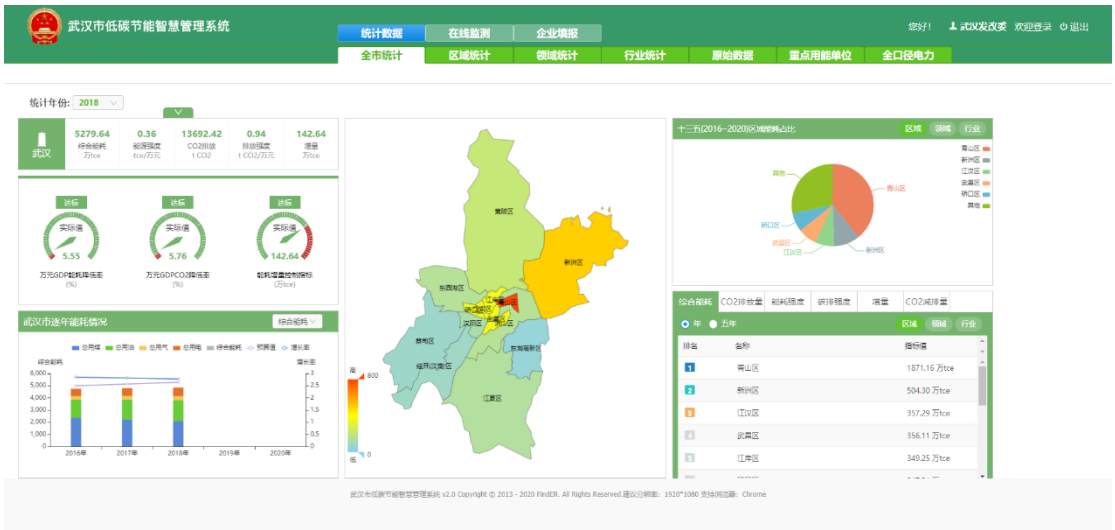


图 4.16 武汉市低碳节能智慧管理系统

II. 武汉新芯集成电路制造有限公司设施管理系统

图 4.17 武汉新芯集成电路制造有限公司设施管理系统

武汉新芯集成电路制造有限公司设置设施管理系统（FMCS），对全厂公用辅助系统中电机、风机、水泵等进行统一的控制管理，并可根据人流、温度情况自动控制中央空调功率、监测空气质量和自动调节通风。

（6）交通领域能效提升

现状：

I. 武汉市私人机动化交通仍处于快速发展阶段，呈现“三高一低”的现象：增速高、使用率高、短距离使用比例高、拥车用车成本低。机动车持续增长与道路有限供给之间的矛盾逐渐凸显，由此带来的环境恶化、交通拥堵、温室气体排放等一系列问题，具体到制冷能耗方面，全市交通出行中小汽车仅提供 23.2%出行量，但小汽车年制冷需求总量占到全市交通年制冷需求的 50.27%，呈现出制冷利用率低的现象。

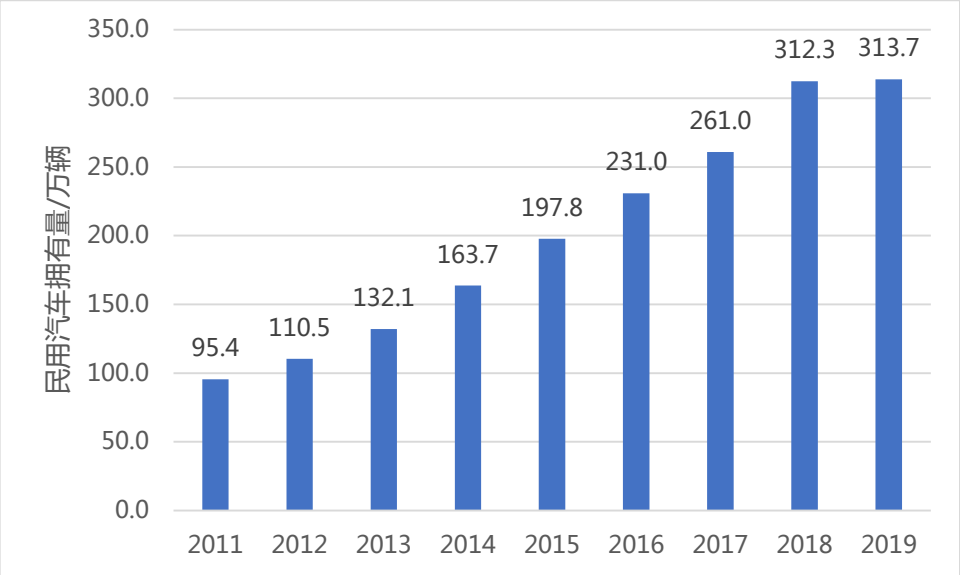


图 4.18 武汉市近年民用汽车拥有量变化

II. 近年来武汉市轨道交通发展迅速，但轨道交通能耗较大，轨道行车和车站的制冷能耗占总能耗的比例也高于小汽车和常规公交。其中中央空调的能耗就占到车站总能耗 30%以上，而在中央空调能耗中，约 60%~80%能耗消耗在制冷通风系统内。城市轨道交通是城市交通的主动脉，对城市具有多方位的影响，城市轨道交通通风空调系统也需要受到高度关注。从城市景观角度考虑，凸出地面的风亭和设置在地面的冷却塔、风冷机组等设施与设备无疑会对城市景观造成影响。在一些敏感区域和道路、建筑物布局紧张地段，以及居民集中地区，这些矛盾极为突出。

图 4.19 武汉市现有轨道交通图

建议措施：

I. 合理控制小汽车的使用，加快调整城市交通客运结构，朝向绿色、集约、高效的公共交通+慢行交通系统转变，实现城市交通绿色低碳发展。

II. 轨道交通车站具有空间大、客流量大、波动性大、能耗大、环境复杂等特点，配套的空调设备必须满足换气能力强、空气通透性好、节能舒适等要求，根据人流量合理设计车站规模；科学规划，合理选择风亭位置、尺寸、建筑形式。

4.2 制冷能效提升路径制定

4.2.1 总体目标

全面贯彻落实《绿色高效制冷行动方案》等相关文件要求，坚持“节约、情景、安全、高效”的发展方针，扩大绿色高效制冷产品的供给消费，着力提升武汉市制冷能效水平，打造绿色高效制冷典范城市。

对于居民生活领域，到 2025 年，家用分体式空调的能效水平提升 30%，多联机空调提升 40%，家用空调一级、二级能效产品市场占有率合计不少于 60%；到 2030 年，家用分体式空调的能效水平提升 50%以上，多联机空调提升 60%以上，家用空调一级、二级能效产品市场占有率合计不少于 80%，实现年节电 18 亿千瓦时左右。

对于工业领域，到 2025 年，工业新增制冷能效设备能效水平提升 20%；到 2030 年，工业新增制冷设备能效水平总体提升 30%，现有制冷系统通过节能改造或淘汰，制冷能效提升 20%，实现年节电 8 亿千瓦时左右。

对于服务业领域，到 2025 年，新建公共建筑制冷（供暖）能效提升 20%；到 2030 年，新建公共建筑制冷（供暖）能效提升 30%，现有公共建筑通过节能改造能效提升 30%，实现年节电 14 亿千瓦时左右。

对于交通领域，到 2025 年，各类交通工具制冷能效提升 20%；到 2030 年各类交通工具制冷能效提升 30%，地铁站制冷能效提升 30%，实现年节能 4 万吨标准煤。

4.2.2 主要任务

（1）扩大绿色高效制冷产品的供给与消费

扩大武汉市绿色高效制冷产品的供给与消费，建立完善的绿色高效制冷产品的研发、供应和消费体系。

制定武汉市家用空调、中央空调等主要制冷产品的新能效标准，该标准应有尖端性、引领性、前瞻性，通过大幅提高市场准入水平来强制淘汰低能效产品，引导市场健康发展。实现到 2030 年家用分体式空调、中央空调等主要制冷产品的市场准入水平提升 50%以上，其中多联机产品提升 70%以上。

通过制定《武汉市绿色高效制冷产品清单》，对采购绿色高效制冷产品的项目客户进行资金补贴、税收优惠，政府和空调厂商加大宣传力度，建设示范性工程等方式推广绿色高效制冷产品，实现到 2030 年，其市场占有率提高 50%以上。

鼓励武汉市相关企业进行环保制冷剂的研发、申报和应用，推进制冷剂行业与节能行业的结合发展。加强能效等级标识管理，优化标识内容，提高公众认知度。严厉打击产品虚标、以次充好等不诚信问题。

（2）推进制冷领域的节能改造

推进对现有制冷设备、系统的节能改造工作。重点支持大型公共建筑、数据中心、冷链物流、工业领域的节能改造工作，更新升级制冷技术、设备，淘汰老旧、低效产品，优化制冷系统运行管理模式，实现制冷能效的提升，同时推进节能服务产业的发展。

对于归属政府管理的高能耗公共建筑，采取必要措施对其制冷系统进行强制性整改，运用智能管理、管路优化、余热回收利用、自然

通风等技术实施节能改造。对于其他公共建筑，鼓励发展围护结构隔热保温、高效照明系统、新风联动系统等被动式技能技术，以及冰蓄能、冷却塔供冷等技术，同时大力发展太阳能、生物质能、水地源能等可再生能源制冷在建筑中的应用。普及能源管理系统在大型商业、办公楼、公建中的应用。实现到 2030 年，大型公共建筑制冷能效提升 30%以上。

对现有的老旧数据中心开展节能改造工作，鼓励采用液冷技术、风侧自然冷却技术、水侧节能技术等提高数据中心制冷能效，实现到 2030 年所有数据中心的 PUE 值小于 1.4。

对于工业领域，推广工业余热制冷技术的应用规模，如蒸汽制冷、热水制冷、烟气制冷等。对于钢铁、火力发电等有大量行业工业余热的行业，鼓励采用溴化锂等吸收式制冷设备代替现有的电气制冷设备，并为附近的有需求的建筑制冷供暖。实现到 2030 年，工业领域总体制冷能效提高 30%以上。

对冷链物流进行绿色改造工程，在农产品、食品加工、医药、烟草等领域支持龙头企业集中更换绿色高效冰箱、冷藏陈列柜、冷库、冷藏车等制冷设备。建立能耗管控中心，通过物联网、温湿控制等技术，实现成本和腐损率双降。

编制武汉市不同行业能耗限额标准，实施强制能效对标，加强日常节能管理，倒逼企业采取节能技改等针对性措施，不断提高能源资源利用效率，争取达到更高能效水平。

（3）做好区域能源规划

做好区域能源规划，结合周边能源供应、使用情况，做到多能互补，充分挖掘武汉市水源、地源热能，因地制宜，在有条件的地区建设集中式能源站。

推进分布式天然气冷热电联产系统的实际应用，建设示范工程，逐步累积运行经验。重点在机场、火车站、医院、大型宾馆、中心商务区等冷热负荷需求较稳定的楼宇群建设一批分布式天然气冷热电联产示范项目。

大力发展可再生能源制冷技术。以品位对等，多能互补，高效利用，智能供给为原则，构建清洁、安全、高效、绿色的能源供应系统。优先发展水地源热能、太阳能、生物质能等可再生能源技术，形成与常规能源相互衔接、相互补充的能源利用模式。实现到 2030 年，可再生能源建筑应用替代率不低于 10%。

充分挖掘长江新城规划区域内的地表水和浅层、中深层地热资源禀赋，利用各种热泵技术，建设地表水（江水、湖水、污水尾水、自来水原水）、浅层和中深层地热冷热站，多极化开发利用、多形式互联互补、多方位集散结合的供冷供热系统，共享调度冷热能源，打造分布式、可生长、可调控的能源供给网络。

（4）推进建筑节能与绿色建筑发展

通过提升居民居住、公共建筑自身节能设计水平，推进绿色建筑发展从而提高建筑制冷及供暖能效。

全市新建、改建、扩建的民用居住和公共建筑全面执行 65%的湖北省《低能耗居住建筑节能设计标准》和《公共建筑节能设计标准》，

在建筑设计阶段进一步优化提升门窗部件、外墙和屋面系统的隔热保温性能。加快推进公共建筑节能监管体系建设，对重点用能建筑实行监测和约束，严格控制超大、超高、超限公共建筑建设，鼓励高校、医院积极实施“绿色校园”“绿色医院”的建设。

完善发展绿色建筑政策法规、标准规范、管理制度和技术支撑，加强绿色建筑关键技术的集成、创新研究，形成适合武汉市可推广、可复制、成本可承担的关键技术体系，到 2030 年绿色建筑占新建建筑比例不小于 80%。切实提高太阳能、浅层地热能、空气热能、生物质能等可再生能源在建筑用能中的占比，研究被动式超低能耗建筑设计技术，开展试点示范工程。

推进现有居住、公共建筑的绿色改造工作，鼓励使用合同管理模式，对大型公共建筑和国家机关办公建筑进行节能改造，充分利用老旧小区翻新和环境综合整治、既有建筑抗震加固等时机，同步推动屋面、外墙、门窗、楼道等部位的节能改造。

按照《关于加快推进湖北省公共建筑能耗动态监测平台建设的实施意见》要求，对单体建筑面积 1 万平方米以上的国家机关建筑和 2 万平方米以上的公共建筑，安装用能分项计量装置并与全省公共建筑能耗监测平台量网。提升公共建筑节能监管体系覆盖程度，到 2025 年，全面建成覆盖国家机关办建筑和大型公共建筑的能耗监测平台，根据监测数据优化节能运行策略。

（5）实施交通领域能效提升

合理控制小汽车的使用，加快调整城市交通客运结构，朝向绿色、

集约、高效的公共交通+慢行交通系统转变，实现城市交通绿色低碳发展。

根据人流量合理设计轨道交通车站规模；车站配套的空调设备必须满足换气能力强、空气通透性好、节能舒适等要求；科学规划，合理选择风亭位置、尺寸、建筑形式。

（6）完善政策配套

制定完善相应的政策措施，简化审批流程、扩大优惠范畴、提高知晓度，从政策层面鼓励绿色高效制冷产品的推广应用。

对于采购并使用列入《节能节水专用设备企业所得税优惠目录》范围内的专用设备从而获得专用设备投资额的 10％抵免当年企业所得税应纳税额的政策，应简化申请流程、明确审批要求并及时完成退税；对于使用水地源热泵等节能产品的用户，明确相应补贴政策，鼓励用户多采多用；制定武汉市绿色高效制冷产品清单，为用户提供相应产品采购的参考依据，对于使用清单上制冷产品的工程项目和用户，给予电力补贴（如使用的电力比例反补、电费打折、赠送电力额度等）或税收优惠；扩大合同能源管理项目财政奖励和税收优惠所支持类型，促进节能服务产业的发展；对采购高能效家用分体式空调、中央空调的城乡居民进行节能补贴，鼓励其对绿色高效制冷产品的采购。

加大涉企政策宣传力度，梳理汇编相关资金支持政策，并通过网络、APP、微信、微博等多渠道进行宣传；扩大政策扶持范围，最大限度地支持企业的相关节能降耗和能效提升行动；加强跨部门资金的清理整合，制定统一的资金管理办法，减少部门间横向分配资金。

通过行业学会、协会的平台直接汇集行业技术专家的经验，制定武汉市《制冷系统节能运行手册》，由政府部门发布向全社会公开共享，并且出台一定的激励政策推动节能手册的实际推广应用或者强制相关企业遵守执行。

5 结论

5.1 武汉市制冷用能总量大、增速快

武汉市地处冬冷夏热地区，夏季高温湿热、冬季低温湿冷，常年相对湿度大，在居民生活、工业生产、服务业和交通运输等不同领域均有极大的制冷（供暖）需求，且几年来家用空调、水冷机组、商用冷柜等主要制冷产品的销售总量也在稳步提升。总体而言，武汉市制冷用能已成为全社会能源消费的重要组成部分，且仍会保持较快的增长趋势。

据估算，2018 年武汉市居民生活、工业、服务业大三领域制冷（供暖）总用电量约为 124 亿千瓦时，约占全社会用电量的 21%左右。在居民生活领域，家用空调耗电量约为 37 亿千瓦时，占居民生活总用电量的 32%；在工业领域，制冷用电约为 27 亿千瓦时，占工业总用电量的 10%；在服务业领域，制冷及供暖用电约为 60 亿千瓦时，占第三产业总用电量的 35%。此外，交通领域制冷用电 15798 千瓦时、汽油 4128 万升、柴油 294 万升、天然气 1034 万立方米，折合能源消费量为 81947 吨标准煤。

随着武汉市城市和人口规模逐步扩张以及社会经济的持续发展，预计未来一段时间内制冷用能将保持较快速度的增长。据估计，在制冷能效保持现有水平基本不变的情况下，到 2030 年武汉市居民生活、工业、服务业三大领域制冷（供暖）总用电量将超过 240 亿千瓦时，相比 2018 年增长超过 90%。目前，武汉市电力供应对外依存度逐年

增加，2018 年外购电力占比已超过 60%，所以在未来制冷用电的快速增长将对武汉市的电力供应提出严峻考验。

5.2 武汉市制冷领域问题与节能潜力并存

当前武汉市制冷领域存在诸多亟待解决的问题，同时也显示出武汉市制冷空调领域具有极大的节能减排潜力。主要问题如下：（1）对各类制冷空调需求特性认识不足，对制冷空调供应的技术路径缺乏研究，特别是缺乏基于城市能源禀赋和未来发展的包含制冷空调需求的能源综合利用的顶层设计，缺乏适应城市未来能源需求不同前景的系统研究和针对性地制定出相关的发展规划与政策措施；（2）在缺乏能源综合利用顶层设计的情况下，制冷空调产业和市场发展缺乏相关规划，也未能主动谋划建立适合自身特点的规范标准体系，制冷产品和制冷剂的相关标准门槛过低或不够完善，难以对市场起到规范引领的作用；（3）本地制冷空调行业发展明显落后于经济发展相当的先进城市，缺少龙头企业，缺少行业发展政策支持，产业链不完整，绿色高效制冷产品的生产和供应不足，且相关产品的补贴减税政策不够完善或未较好落实；（4）居住建筑和公共建筑的制冷（供暖）能耗较大，制冷空调系统形式和能源利用方式的选择存在被动和盲目性，制冷空调系统存在设计不合理、负荷供需不匹配、运行管理简单粗放、设备低效老化等问题，能源管理系统在工业生产、大型公建中的普及率不高；（5）政府对制冷空调领域节能减排的重要意义认识不足，重视程度不够，缺少相配套的支持政策和引导路径，对社会公众的宣传引导

不足，消费者对绿色高效制冷产品的认知度较低，缺乏采用和推广绿色高效制冷产品的积极性。通过推进制冷能效提升工作，在顶层设计、专项规划标准制定、政策配套、产品生产与供给、消费引导、节能改造、推广宣传等不同方面采取相应措施手段，能有效提高武汉市制冷能效水平，创造巨大的节能减排效益。根据情景分析，在制冷能效提升情况下，2030 年武汉市居民生活、工业、服务业三大领域制冷总用电为 201 亿千瓦时左右，相比基准情景下降近 16.25%，实现年节电超过 40 亿千瓦时，温室气体年减排超过 420 万吨。此外在交通领域能也能实现节能 4 万吨标准煤，温室气体减排约 15 万吨。

随着我国经济发展进入该治理发展阶段，以及能源生产与供给生态环境治理、应对气候变化形势的日益严峻，武汉市对能源消费总量进行了严格的控制，并在 2015 年向全世界做出 2022 年实现碳排放达峰的郑重承诺。在此背景下，推进制冷能效提升工作对武汉市实现高质量可持续发展、生态环境和气候的协同治理具有重要意义。

5.3 武汉市需科学推进制冷能效提升

5.3.1 出台制冷能效提升专项政策规划

目前，武汉市在煤炭消费总量控制、天然气发展、新能源汽车等领域均出台了专项政策规划，但是在制冷能效提升方面尚未有专项政策出台。制冷能效提升工作涉及技术路径、标准制定、产品生产与供给、消费引导、现有设备与系统节能改造和新技术推广应用等不同方面，覆盖领域广、产业链长、技术性强、资金投入需求大，若缺乏专

项规划和配套支持与管理政策，则法定推动力不足，难以真正落实到实处、取得实际成效。建议政府就制冷能效提升工作出台专项政策规划，通过研究技术路径、完善政策措施、强化监督管理、积极宣传引导、明确各责任单位、提供资金支持、建立示范工程等手段逐步提升武汉市制冷能效水平。

5.3.2 建设绿色高效制冷示范区域

做好长江新城规划区域内的绿色高效制冷系统的规划建设工作。利用水地源热泵技术，充分挖掘地表水、污水和浅层、中深层地热资源；推广太阳能、生物质能、空气热能等可再生能源及工业余热在建筑制冷(供暖)中的应用，提高可再生能源建筑替代率；严格把控新建建筑自身的节能和绿色建筑建设标准，普及能源管理系统在各类建筑中的应用，鼓励超低能耗建筑和近零能耗建筑的建设；因地制宜，建设分布式天然气冷热电联产示范项目；充分分析研究区域的各类能源需求，按照品味对应、温度对口、互联互通、资源共享、高效利用的原则，有效利用大数据和物联网技术实现区域的智能互联能源微网。通过以上手段，在长江新区形成可再生能源与常规能源相互衔接，主动与被动节能技术相互补充的绿色高效多能互补、多源共享的智慧制冷（供暖）体系，打造绿色高效制冷示范区域。

5.3.3 加快高效制冷技术的研发和应用

加快完善政府引导、企业主导、高校和科研院所深度参与的高效

制冷技术研发创新体系，对接国家重大科研专项，对制冷产品、制冷剂、制冷空调系统高效利用的关键技术进行联合攻关、协同创新，同时促进高效制冷技术的成果转化和实际推广应用。充分利用武汉市众多高校和科研研究所的科研优势，结合“黄鹤英才计划”、“百万大学生留汉工程”、湖北省“百人计划”等人才引进政策，加快引进制冷领域国际一流人才和研发团队，大力推进绿色高效制冷剂、高效压缩机、磁悬浮冷水机组、高效空调制冷机房、集成式能源站、高效数据机房、多能互补综合利用和新型蓄冷技术等关键共性技术的研究，推动革命性技术的探索与储备。