海南省绿色高效制冷行动方案研究

Research on The Action Plan for Green and Efficient Cooling for Hainan Province

海南省环境科学研究院

2022.6.30

Hainan Research Academy of Environmental Sciences

June 30, 2022

研究团队

项目负责人：吴晓晨

项目组成员：邬乐雅、王鸿浩、胡斐、李凯凯、杨宇升、黄婧蓼琦、张丽佳

致谢

本研究在海南省生态环境厅指导下，由海南省环境科学研究院统筹撰写，由能源基金会提供资金支持。

本研究是能源基金会工业组下的课题，海南省绿色高效制冷行动方案研究。

在本项目研究过程中，研究团队得到了罗牛山冷链物流园的大力支持，在此表示诚挚感谢。

研究团队同时感谢以下专家在项目研究过程中作出的贡献：

郭晓林 生态环境部对外合作与交流中心

李雄亚 生态环境部对外合作与交流中心
柴麒敏 国家气候战略中心
蔡博峰 生态环境部环境规划院
阳平坚 中国环境科学研究院
刘　猛 中国标准化研究院资源与环境研究分院
成建宏 中国标准化研究院资源与环境研究分院
陈　曦 中国建筑科学研究院
胡建信 北京大学
王宝龙 清华大学
窦艳伟 中国家用电器协会
陈建明 中国家用电器协会
张朝晖 中国制冷空调工业协会
陈敬良 中国制冷空调工业协会
王从飞 中国制冷学会
张　艳 琼台师范学院
宋　军 海口经济学院
马庆华 海南建设项目规划设计研究院
王善立 海南电网有限责任公司
刘　寒 海南生态软件园

----------报告正文----------

免责声明

- 若无特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果

目录

第一章绪论 - 1 -

1.1 研究背景 - 1 -

1.2 研究目的与意义 - 3 -

1.3 研究内容 - 4 -

1.4 技术路线 - 5 -

第二章研究进展 - 7 -

2.1 美国绿色制冷政策法规研究 - 7 -

2.2 欧盟绿色制冷政策法规研究 - 9 -

2.3 日本绿色制冷政策法规研究 - 11 -

2.4 我国绿色制冷政策法规研究 - 13 -

第三章海南省制冷行业发展现状研究 - 16 -

3.1 整体概况 - 16 -

3.1.1 海南区位概况 - 16 -

3.1.2 海南省经济概况 - 19 -

3.1.3 海南省电力消费概况 - 21 -

3.2 行业概况 - 24 -

3.2.1 居民生活制冷概况 - 24 -

3.2.1.1 居民家用空调概况 - 26 -

3.2.1.2 居民家用冰箱概况 - 29 -

3.2.1.3 居民制冷用电现状 - 32 -

3.2.2 批发零售住宿餐饮业制冷概况 - 35 -

3.2.3 冷链物流业制冷概况 - 40 -
3.2.4 海南省消耗臭氧层物质（ODS）现状 - 44 -
第四章海南省行业制冷发展趋势 - 45 -
4.1 居民生活制冷发展趋势 - 45 -
4.1.1 情景设置 - 45 -
4.1.2 节能减排潜力分析 - 50 -
4.2 批发零售住宿餐饮制冷发展趋势 - 55 -
4.2.1 情景设置 - 55 -
4.2.2 节能减排潜力分析 - 58 -
4.3 汽车空调制冷发展趋势 - 61 -
4.3.1 情景设置 - 61 -
4.3.2 节能减排潜力分析 - 65 -
4.4 冷链物流制冷发展趋势 - 66 -
4.4.1 情景设置 - 66 -
4.4.2 节能减排潜力分析 - 70 -
4.5 小结 - 72 -
第五章海南绿色高效制冷行动保障措施研究 - 73 -
5.1 明确行业目标 - 73 -
5.2 强化标准引领 - 74 -
5.3 鼓励补贴消费 - 74 -
5.4 加强宣传引导 - 75 -
5.5 促进国际合作 - 76 -

附件 1 海南绿色高效制冷行动方案（草案）..... - 77 -
附件 2 海南省居民家用制冷设备调查问卷..... - 83 -
附件 3 现场调研照片..... - 88 -

第一章绪论

1.1 研究背景

气候变化与臭氧层破坏均是全球性环境问题，各国政府为应对气候变化、保护臭氧层做出了不懈的努力。《联合国气候变化框架公约》作为应对气候变化问题上政府间合作和谈判的起点和基本框架，为全球气候治理发挥了重要作用，2015 年《联合国气候变化框架公约》第 21 次缔约方大会上 196 个缔约方（195 个国家+欧盟）签署了《巴黎协定》，正式对 2020 年后全球气候治理进行了制度性安排。《蒙特利尔议定书》缔结三十多年来，得到全球 197 个国家的广泛参与，淘汰了近 99%的消耗臭氧层物质生产和使用，实现了巨大的环境、健康和气候效益，被誉为全球环保合作的典范。

作为全球生态文明建设的参与者、贡献者、引领者，我国积极高度重视应对气候变化与臭氧层保护工作。经过 20 多年的努力，我国在履行《蒙特利尔议定书》、淘汰消耗臭氧层物质（以下简称“ODS”）方面取得了举世瞩目的成就，累计淘汰消耗臭氧层物质超过 27 万吨，占发展中国家淘汰量的 50%以上。截至 2018 年，我国共淘汰含全氢氯氟烃生产量 7.1 万吨，使用量 4.5 万吨，关闭生产能力 8.8 万吨，超额完成第一阶段含全氢氯氟烃淘汰目标，同时，第二阶段已进入收官

阶段，2020 年 HCFCs 生产总配额相比 2019 年降低了 17%，为国际履约成功贡献了重要的中国力量。2021 年 4 月 22 日，习近平主席在领导人气候峰会上指出，“力争 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和，这是中国基于推动构建人类命运共同体的责任担当和实现可持续发展的内在要求作出的重大战略决策”“已决定接受《〈蒙特利尔议定书〉基加利修正案》，加强非二氧化碳温室气体管控”。

由于特殊的区位因素及气候条件，海南地区人群对制冷需求相对较高。统计表明，2020 年，海南省总人口为 1012.34 万人，其中城镇人口为 610.14 万人，乡村人口为 402.20 万人，户均空调拥有量和冰箱拥有量均高于全国平均水平。较高的空调保有量和较长的空调使用时间导致海南地区空调用电量巨大。商业用冷同样关乎居民日常生产生活，伴随自贸港的发展，贸易自由便利与投资自由便利是未来自由贸易港发展的核心要义，批发零售与住宿餐饮业作为贸易的承载行业，未来制冷需求巨大，绿色制冷行动既有减排效果又有示范效益。作为自贸港发展的两大支撑产业，热带特色高效农业和先进医疗行业对冷链物流等需求较高，目前岛内配套的冷链设施难以满足未来高标准建设和发展的要求，寻找绿色的冷链物流发展模式和方向成为重中之重。

1.2 研究目的与意义

本研究是关于海南省绿色制冷、高效制冷政策及措施的研究，主要通过对国内外现有绿色制冷案例、措施和政策进行调研，同时总结海南制冷行业现状，探索形成节能降耗、绿色制冷的海南解决方案，为海南自由贸易港生态环境健康持久稳定发展提供科学依据。

按照海南自贸港建设总体方案要求，在 2025 年前后，海南将初步建立贸易自由便利和投资自由便利的自由贸易港。为服务抵境、出港或转运的易腐货物，建设功能完善、产业结构完整和配套设施齐全的冷链储藏、运输和销售体系，提升自贸港综合服务能力刻不容缓。同时，为了保障岛内热带特色高效农业、海洋渔业和先进医疗行业的持久稳定发展，冷链储存运输环节需要进一步提升服务质量。由于现存的冷链储存运输过程中管理较为分散，设备较为陈旧，高能耗高排放问题十分突出，因此对冷链物流资源要素进行规模化集聚、分拨、疏运等可以有效减少过程中的高碳排放问题。

海南作为热带岛屿地区，气候变化下的海平面上升、臭氧污染、生物多样性破坏等生态环境问题将对自由贸易港发展产生深远影响。“十三五”期间，海南省碳排放呈持续增加趋势，2020 年单位 GDP 二氧化碳排放相比 2015 年下降 27%，已超额完成国家下达的“十三五”下降目标（12%）。但随着自

由贸易港建设的深入，旅游业、现代服务业和高新技术产业拉动的能源增长与制冷需求，是海南实现碳达峰目标的重要挑战，ODS 管控也是海南实现碳中和愿景的重要任务。因此，在“十四五”海南碳达峰与清洁能源岛建设的关键期，海南必须在应对全球气候变化方面走在前列，通过制定海南绿色高效制冷行动方案，明确主要目标与重点任务，为开展绿色高效制冷重点工程提供政策支撑，推动实现应对气候变化与臭氧层保护协同增效，实现应对气候变化与高质量发展深度融合，为全世界热带地区及岛屿地区做出示范。

1.3 研究内容

本研究通过分析国内外绿色制冷相关领域的先进措施、先进政策及先进技术，并分析海南地区当前的商用、民用、车用和冷链物流领域的制冷现状，以及 ODS 物质的使用、管理和淘汰工作状况，结合海南地区的气候、区位、人口分布、产业结构等特点，提出现有制冷设施和行业的改进措施。同时结合增量对未来海南制冷规模做出合理预测，积极谋划未来新增制冷设备设施的绿色制冷。进而针对上述措施和政策做出节能减排量的合理预测，并从监管、资金、技术、宣传等方面提出保障措施。

1.4 技术路线

（一）梳理国内外绿色制冷相关政策、制冷设备能效提升方案，制冷剂替代计划等，为海南省开展绿色制冷行动提供先进参考经验。

（二）充分结合海南省区位现状与海南省主要制冷行业与制冷领域现状，进而为海南省需要开展绿色制冷行动的必要性提供依据。

（三）根据海南省现状与国际先进经验措施，针对海南省主要制冷行业和领域开展情景分析，初步判断海南省开展绿色制冷行动后的效益与节能减排空间，找准着力点。

（四）根据情景分析结果与海南省自身特点，制定海南省绿色高效制冷行动方案，从指导思想、主要目标、重点任务和保障措施方面研究海南省绿色制冷发展方向。

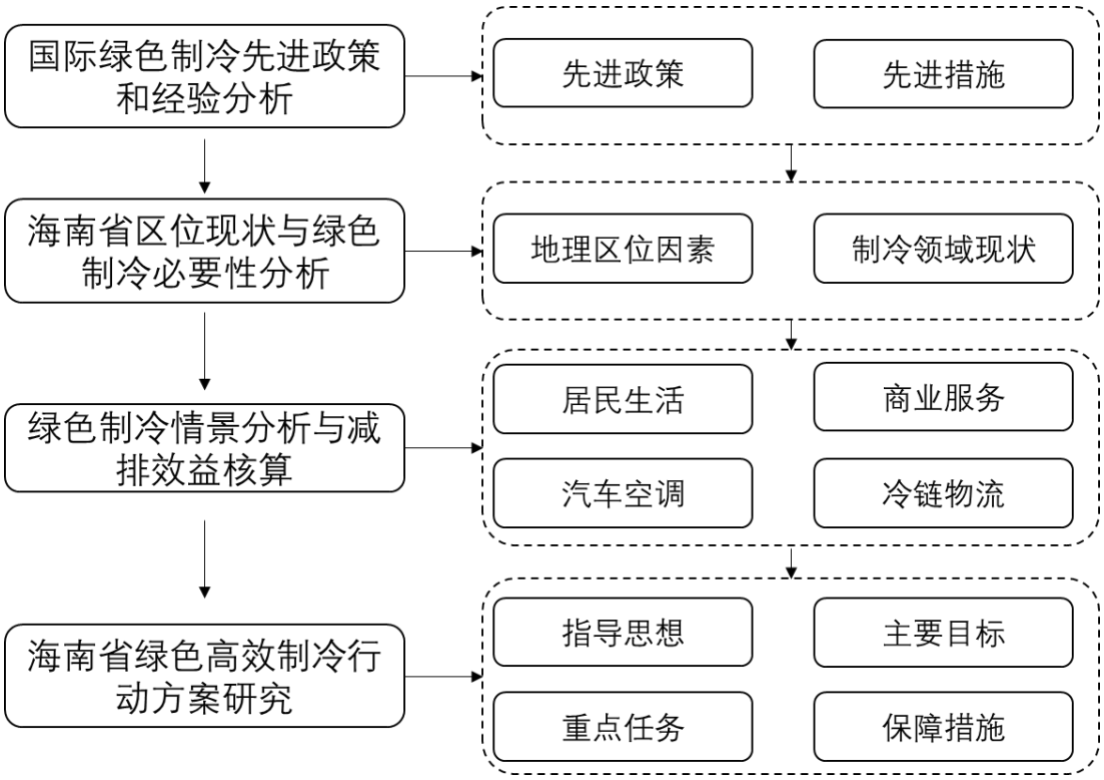
国际绿色制冷先进政策和经验分析
先进政策
先进措施
海南省区位现状与绿色制冷必要性分析
地理区位因素
制冷领域现状
绿色制冷情景分析与减排效益核算
居民生活
商业服务
汽车空调
冷链物流
海南省绿色高效制冷行动方案研究
指导思想
主要目标
重点任务
保障措施

图 1.4-1 技术路线图

第二章研究进展

为履行相关公约，实现绿色制冷，减少温室气体排放，国内外相继出台相关政策，承担相应义务，彰显国际责任担当。

2.1 美国绿色制冷政策法规研究

20世纪70年代的能源危机开始促使美国政府和民间关注能源的利用效率，并开始进行能效标准和节能标识的研究；80年代逐步制定各种用能设备的能效标准，并加大研究投入；90年代对80年代制定的能效标准进行修订更新，应用范围大幅度扩大，并继续扩大研究投入；2000年-2010年，能效标准再次修订更新，并将进一步扩大应用范围。

美国环保署（EPA）和能源部（DOE）最早于1992年联合推出了节能标志“能源之星”计划，该计划为自愿性，主要目的是推动消费性电子产品的能源节约。“能源之星”认证目前包括63类产品，涵盖的制冷产品包括：家用空调、空气源热泵、中央空调、地源热泵、小型商用空调、商用冰箱/冰柜、制冰机、热泵热水器。能源之星标准通常比美国联邦标准节能20-30%。

2009年通过的《美国清洁能源与安全法案》(亦称《气候法案》) 设置了碳排放总量控制限额：到2020年美国温室气体

排放量要在2005年的基础上减少17%，到2050年减少83%。该法案的出台进一步提高了制冷设施的减排要求。

自2011年以来，美国环境保护署建立重要新替代品政策（简称SNAP政策）根据不同的应用场合，发布了多批可使用的替代制冷剂和禁止使用的制冷剂。主要如下：

（1）允许使用的制冷剂：家用冰箱、冰柜、自动售货机等小型制冷系统允许使用R-290、R-600a制冷剂；汽车空调中允许使用R-1234yf、R-744制冷剂；家用和商用空调、热泵允许使用R-32制冷剂；冷水机组允许使用R-1233zd(E)、R-1234ze、R-513A等制冷剂。

（2）禁止使用的制冷剂：汽车空调从2021年起禁止使用R-134a制冷剂；零售业食品冷藏从2021年起禁止使用R-404A、R-507A制冷剂；冷库自2023年起禁止使用R-404A、R-507A制冷剂；冷水机组自2024年起禁止使用R-134a、R-407C、R-410A等制冷剂[1]。

在美国，制冷剂回收需要得到美国环境保护署的资质认证才能合法进行。ODS 应由经过适当培训的技术人员使用适当的设备从相应的产品或设备中回收，以尽量减少ODS在回收过程中遗散。从事维护、维修、修理或处置可能释放ODS 进入大气的设备的技术人员必须通过“清洁空气法案”（CAA）的认证，并通过EPA 的考核得到认证（认证证书没

[1]张朝晖，王若楠，刘慧成，等. 绿色高效制冷空调产业发展分析与展望[J]. 制冷与空调, 2020,20(01):1-6.

有期限要求）

2.2 欧盟绿色制冷政策法规研究

供热制冷是欧盟最大的能源部门，约占欧洲能源需求的一半。2009年的可再生能源指令对供热制冷部门和建筑物的可再生能源使用进行了规定。《促进可再生能源使用指令》（Directive 2009/28/EC）要求成员国通过国家可再生能源行动计划，为包括供热和制冷在内的三个相关子行业制定分部门目标。此外，第13条（4）、（5）、（6）和第16条（9）、（11）要求成员国有效促进在新建和翻新的建筑物、供暖系统和当地能源基础设施(包括区域供热)中使用可再生能源和能效指令。

2011年3月，欧盟可再生能源供热和制冷技术平台(RHC-Platform)发布了《2020－2030－2050欧盟可再生能源供热和制冷部门共同愿景》(2020-2030-2050 Common Vision forthe Renewable Heating & Cooling Sector in Eu-rope）报告，指出到2050年之前，生物质能、地热能、太阳热能和热泵一起可以满足欧盟100%的供热和制冷需求。为实现这个目标，可再生能源供热和制冷技术平台倡议大幅增加可再生能源供热和制冷研发预算。2012年，能源效率指令（Directive 2012/27/EU）制定了一系列有约束力的措施，以帮助欧盟在2020年实现其20%的能效目标。2050年可再生能源满足欧盟

100%的供热和制冷需求，倒逼能源效率指令规则的落实。

欧盟为了实现这些节能减排的气候目标，将产品和系统能效提升、削减HFCs等作为工作的重点，先后制定和实施了生态设计指令（Ecodesign）、含氟气体法规（简称F-Gas法规）及与之配套的相关措施、标准等，并不断进行更新。生态设计指令覆盖产品范围广泛，包括31类产品，涵盖的制冷空调产品包括：家用空调、家用冰箱、热泵和工商用制冷空调产品。强调和引导行业通过改善零部件获取、维修保养、重复使用、使用寿命、升级、合理废物处理等措施来促进循环经济的发展。

2015年1月，欧盟新的F-Gas法规生效，致力于在2015年到2030年，淘汰79%的HFCs。针对制冷空调产品的制冷剂使用做出了规定，如：对于制冷剂充注量3kg以下的分体式房间空调器，2025年1月1日起禁止使用GWP值大于750的制冷剂；对于商用冰箱和冰柜，2022年1月1日起禁止使用GWP值大于150的制冷剂；40kW以上的商用冷冻冷藏系统，2022年1月1日起禁止使用GWP值大于150的制冷剂。

目前，欧盟还采取了如下措施促进绿色制冷的实现：

（1）通过配额体系实现减排，确保淘汰目标的实现。从2017年开始，将进口欧盟设备的预充注用量纳入配额体系。

（2）淘汰85-90%冷水机组用R134a、HFO & R410A、HFO blends /R32有助于目标实现。

（3）100吨CO_2当量或1公吨以上含氟气体的进出口及生产必须报告委员会，年上市CO_2当量大于500吨时，也需要报告委员会。

（4）从2017年起，制冷、空调、热泵及有机朗肯循环设备的标识必须含有如下信息；含有HFCs的种类；制冷剂类型；制冷剂的重量、CO_2当量、制冷剂的GWP；制冷剂的重量；全密封设备也需要标识出。

2.3 日本绿色制冷政策法规研究

日本是一个能源极度匮乏的国家，石油、天然气、煤炭等能源98%依赖进口。经过上世纪70年代两次石油危机的冲击，举国上下为提高能源效率奋斗了几十年，积累了世界上最先进的节能技术，在世界上率先建立起首屈一指的节能型经济，成功地抵御了高油价的冲击，也为日本企业在国际市场上赢得了很多商机。目前，日本单位GDP的能耗与欧盟之比为1:1.6，与美国之比为1:2.7，与韩国之比为1:3.3，与中国之比为1:9。日本每百万美元GDP只消耗标准油90吨（欧盟约180吨，美国约250吨，我国为836吨），仅为世界平均水平的三分之一。从1980年到1993年，日本经济完成了GDP翻两番，与此同时能源消费只增加了31%。

日本拥有全球尖端的四大节能技术，其中之一便是家用电器节能技术。日本空调的耗电量是美国的1/2，冰箱是美国

的1/3。与十年前相比，日本公司空调耗电下降了50-70%，东芝公司系列空调耗电下降了75%，松下公司最新节能冰箱耗电下降了85%。早在1979年日本就颁布实施了能源方面的核心法律《节约能源法》，对实施对象、目标、职责、支持手段做出了明确规定，避免了对法律条文的不同解释。实施28年来，日本根据不同时期技术进步程度、市场需求的提高，对《节约能源法》及时进行了必要的修订，前后共计修订了8次。2002年的修改提高了空调、冰箱等产品的节能标准。

2009年日本环境省颁布了《绿色经济与社会变革》的政策草案，形成了一套完整、成熟的资源循环再利用和节能促进体系。其中，日本政府制定的“领跑者计划”，主要是通过推动节能环保标准的不断提升，鼓励企业以自我声明的方式向消费者推荐更为节能的产品，政府则对限期内不能达到节能要求的企业做出公示和处理。涵盖的制冷空调产品包括：家用空调、单元机、多联机、商用冰箱、冰柜、热泵热水器。

在HFCs管控方面，日本政府于2018年12月批准加入了《蒙特利尔议定书》基加利修正案。另外，日本制冷剂法规修订案还针对具体的制冷空调产品的制冷剂使用做出了的规定，比如针对家用空调使用的制冷剂，从2018年起平均GWP值不能高于750；单元机使用的制冷剂，从2020年起平均GWP值不能高于750；汽车空调使用的制冷剂，从2023年起平均GWP值不能高于150；大型冷库使用的制冷剂，从2019

年起平均GWP值不能高于100；商业冷冻冷藏设备使用的制冷剂，从2025年起平均GWP值不能高于1500。

在宣传教育方面，日本政府加大宣传力度，动员全社会参与。如对节能产品进行排名，印发手册指导消费者购买节能产品等。夏季和冬季是能源消费的高峰期，日本规定了《夏季节能大检查日》（8月1日）和《冬季节能大检查日》（12月1日），并把2月定为“节能月”，集中开展节能综合展览等普及、宣传。为了培养下一代节能的能力，日本在中小学开展了“节能导航”，派遣讲师帮助学校办海报、组织节能小论文和节能实践比赛等。把孩子作为节能的未来希望，把家庭主妇作为节能的生力军，报刊杂志经常刊登诸多节能小窍门，比如打开煤气灶后不要让火苗窜出锅底，冰箱的温度随季节改变等。在机关，政府要求公务员夏天脱去西装领带，穿“节能装”即短裤衬衣上班，将办公大楼的空调温度设定在28℃节约电力。

2.4 我国绿色制冷政策法规研究

中国是制冷需求大国，也是制冷设备制造大国，空调产量占全球75%以上。作为制冷设备的最大消费国、制造国和出口国，制冷行业的二氧化碳当量排放约占全球制冷相关排放的33%。若按照现有趋势发展，到2050年，全球制冷二氧化碳排放当量预测将达到89亿吨二氧化碳当量，这约相当于

中国2012年的能源相关温室气体排放总量93亿吨的二氧化碳当量。因此，作为积极应对气候变化的中国高度重视制冷绿色低碳化。

为了实现节能减排的目标，我国政府先后出台了多项相关的政策措施。近年来先后实施的节能政策措施包括：能效标准、能效标识制度、节能产品认证、领跑者计划、绿色建筑认证、节能产品政府采购、煤改电补贴、节能技术改造财政奖励项目、节能产品惠民工程等。这些政策措施拉动了空调市场消费，推动空调产业结构升级和技术进步，缩小高能效与低能效空调之间的价格差距。其中“节能产品惠民工程”采取间接补贴方式，即消费者按补助后的较低价格从市场上购买高效节能产品，主要面向包括农民用户在内的城乡广大消费者，补贴产品为能效等级为1级或2级的高效节能产品，直接引导市场消费购买节能产品，可操作性强；“家电下乡”主要面向农民用户，帮助空调厂商开拓农村市场，但受农村购买能力的限制，空调要求3级能效；家电“以旧换新”则主要面向相对成熟的城市消费市场，刺激城市市场的升级换代，但由于空调产品拆装有特殊要求，操作上具有一定难度。2019年6月，国家发改委、工信部等七部门联合印发《绿色高效制冷行动方案》，将绿色、高效作为我国制冷产业未来的发展方向[2]。《方案》明确了以下主要任务：

[2]绿色高效制冷行动方案[J]. 轻工标准与质量, 2019(04):27-28

（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。

第三章海南省制冷行业发展现状研究

结合项目前期初步调研结果以及已有的海南省历史能源消费数据，对海南省主要用冷领域的制冷现状进行整理分析。其中主要包括居民生活、批发零售住宿餐饮业、冷链物流、消耗臭氧层物质四个部分。

3.1 整体概况

3.1.1 海南区位概况

海南省是我国最南端的省级行政区，是中国最大的经济特区，同时也是自由贸易试验区和中国特色自由贸易港。其地处我国华南地区，北以琼州海峡与广东划界，西临北部湾与广西、越南相对，东濒南海与台湾对望，东南和南部在南海与菲律宾、文莱、马来西亚为邻。海南省地势四周低平，中间高耸，呈穹隆山地形，以五指山、鹦哥岭为隆起核心，向外围逐级下降，由山地、丘陵、台地、平原等地貌构成。截至 2020 年末，海南省陆地总面积 3.54 万平方公里，其中海南岛 3.39 万平方公里，海域面积约 200 万平方公里。海南省下辖 4 个地级市，分别为海口市、三亚市、三沙市和儋州市，同时有 15 个省直辖县级行政单位，常住人口 1020 万人。19 个市县中，人口超过 100 万人的市县有 2 个，在 50 万人

至 100 万人之间的市县有 4 个，20 万人至 50 万人之间的市县有 8 个，在 20 万人以下的市县有 5 个。其中，人口居前三位的市县合计人口占全省人口比重的 48.20%。

图 3.1-1 中国建筑气候区划图

海南省介于东经 108°37′-111°03′，北纬 18°10′-20°10′之间，属于热带北缘地区，地处我国建筑气候区划的夏热冬暖地区，制冷需求大。由于其处于热带季风气候区，素来有“天然大温室”的美称，长夏无冬，年平均气温 22~27℃，大于或等于 10℃的积温为 8200℃，最冷的一月份温度仍达 17～24℃，年光照为 1750～2650 小时，光照率为 50%～60%，光温充足。海南岛入春早，升温快，日温差大，全年无霜冻，冬季温暖。2010-2021 年间，海南省全省平均温度最高月份主

要处于五月至七月，平均最高气温为 34℃，最低温度在十二月至二月，平均制冷度日数达到 688℃·d。

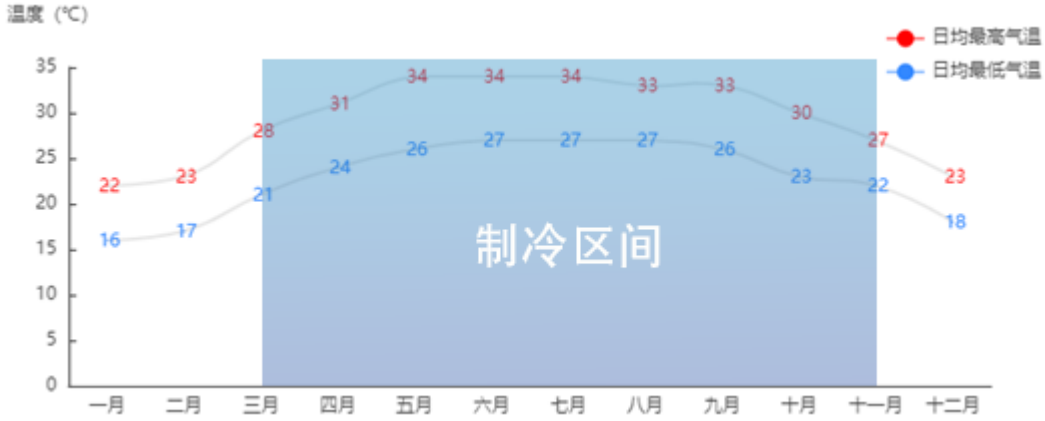

图 3.1-2 海南省 2010-2020 年月度平均气温

进一步分析海南省最北端的海口市 1951 年-2015 年平均气温变化情况，我们发现在全球气候变化以全球变暖为趋势的背景下，海口年平均气温不断升高，已较上世纪中旬升高近 1℃，预计未来这个升高趋势还将持续。因此海南省未来制冷需求将进一步放大，制冷区间将继续延长。

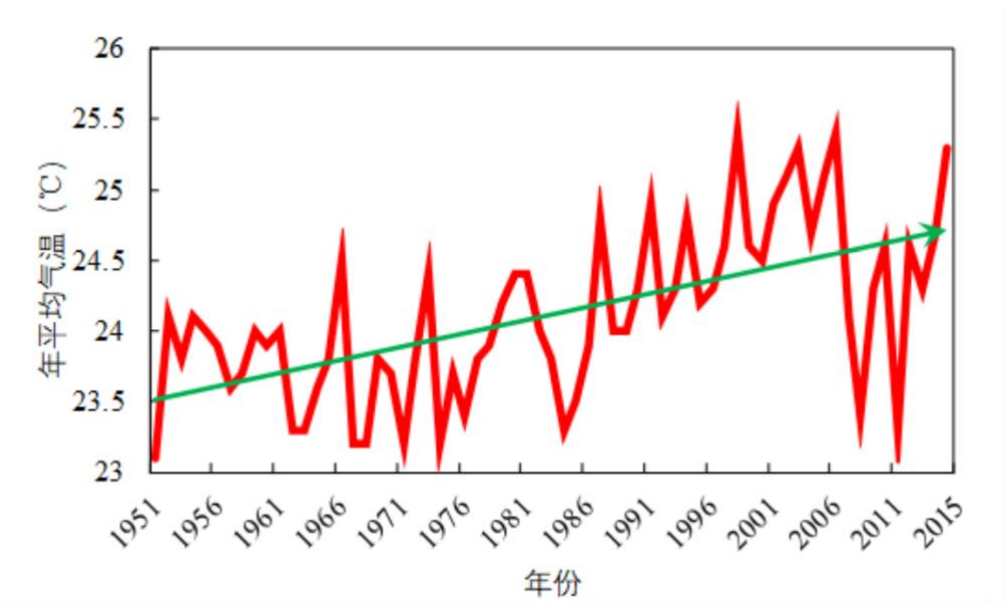

图 3.1-3 海口市 1951-2015 年平均气温变化

由于独特的气候条件，海南省全年高温持续时间较长，相比全国其他城市具有更大的制冷需求。

3.1.2 海南省经济概况

海南省过去十年经济始终保持快速增长。2021 年，海南省国民生产总值达到 6475 亿元，同比增长 11.2%。社会消费品零售总额同比增长 26.5%，增速在全国居优。全省城镇常住居民人均可支配收入达 4.02 万元，同比增长 8.4%，农村常住居民人均可支配收入达 1.81 万元，同比增长 11.0%。国民生产总值及居民可支配收入的快速增长促进海南省居民消费水平的提升，购买力增强促进制冷情景的普及，进而居民制冷需求将进一步增加。

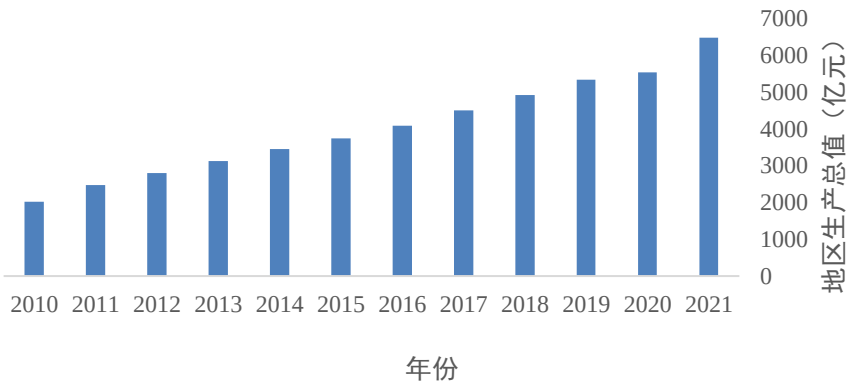

图 3.1-4 海南省 2010-2021 年国民生产总值变化

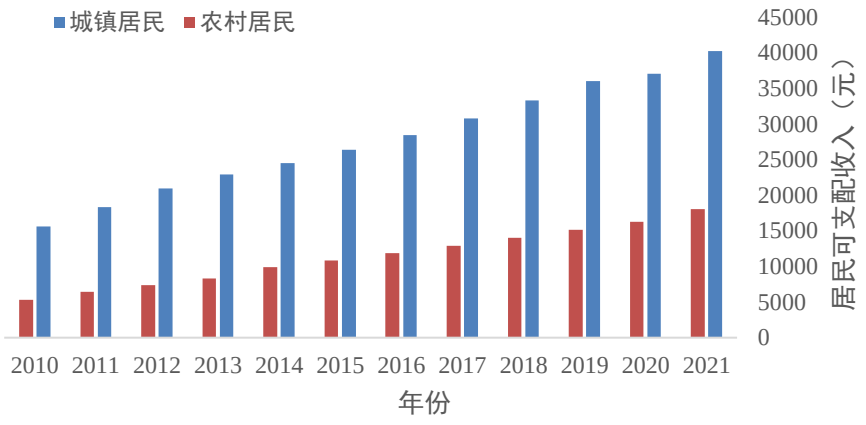

图 3.1-5 海南省 2010-2021 年居民可支配收入变化

如图 3.1-6 所示，2021 年，海南省第一产业占比 19%，第二产业占比 19%，第三产业（包含居民生活）占比 62%。其中第三产业产值相比上年同期增长 15.3%，达到 3982 亿元。

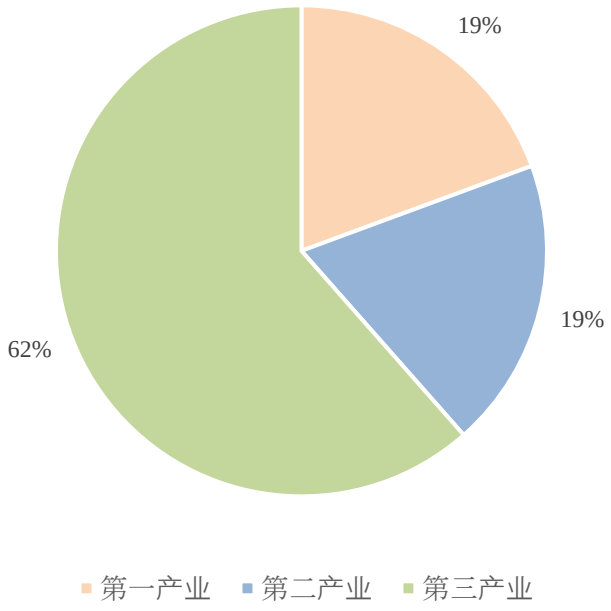

图 3.1-6 海南省 2021 年产业结构

深入剖析第三产业，如图 3.1-7 所示，其中制冷需求较

大的批发零售业、交通运输仓储邮政以及住宿餐饮业过去 10 年稳步增长，在 2021 年批发零售业和交通运输仓储邮政业的同比增长率更是高达 35.6%和 29.7%，处于快速增长期。而住宿和餐饮业则受疫情影响增速放缓，但同比增长率仍高达 10.8%。预计疫情后时代，海南省第三产业产值将整体保持在高速增长状态。伴随产值的不断提升，第三产业制冷需求将同步增加。

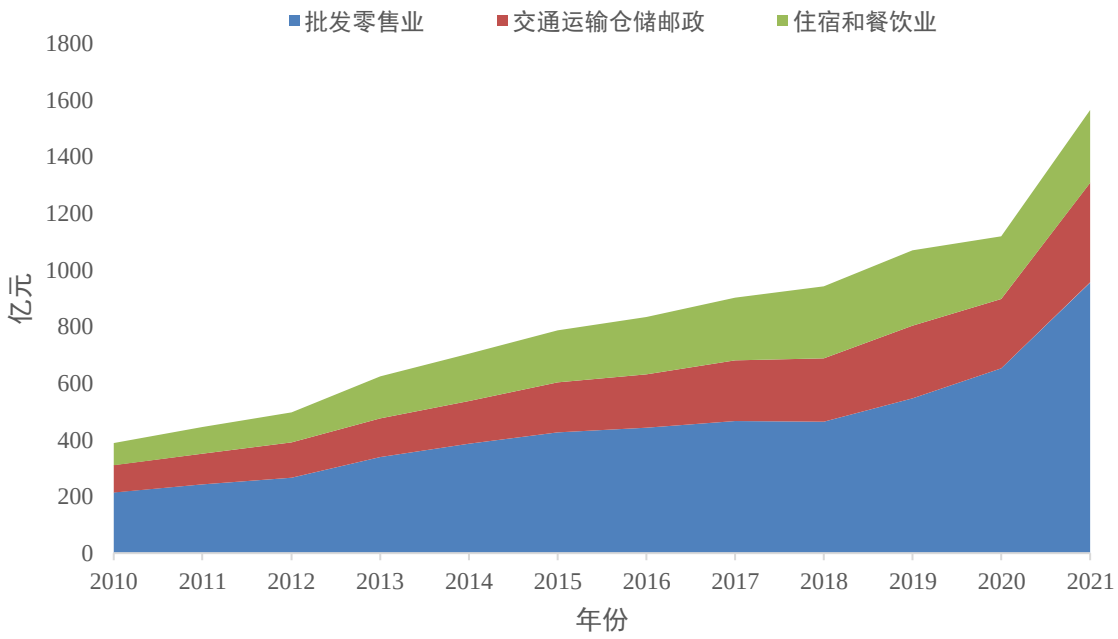

图 3.1-7 海南省第三产业产值变化

3.1.3 海南省电力消费概况

2015-2021 年，海南省全社会用电总量整体呈稳步增长形态，年均增长率达到 7%。2021 年海南省全社会用电量达

405.4亿千瓦时，相比2015年的270.9亿千瓦时增长了49.7%。但2020年全社会用电量受疫情影响，增速仅有1%。未来海南省全社会用电需求仍然保持较高的增速，预计到2035年，海南省全社会用电量将达975亿千瓦时。

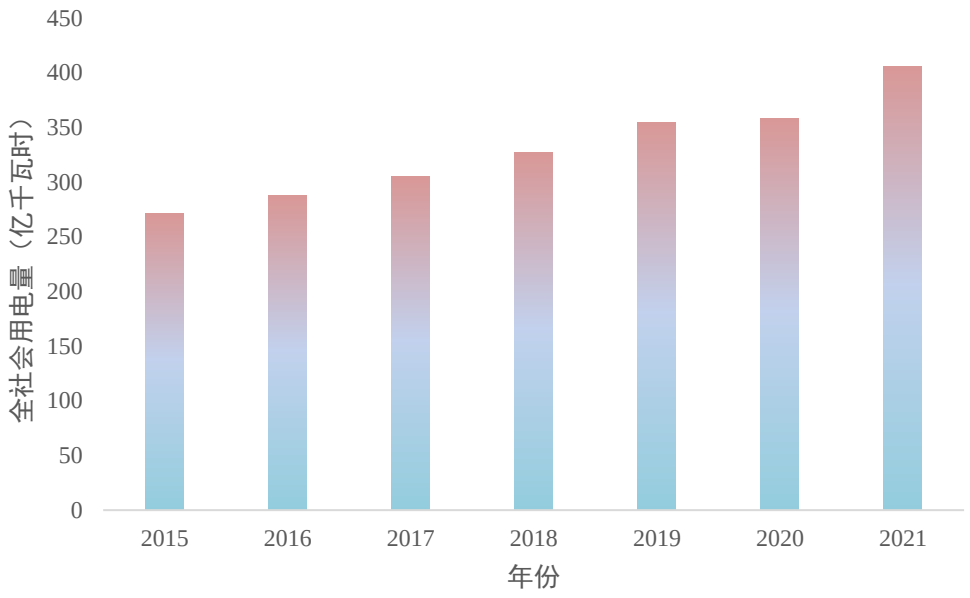

图 3.1-82015-2021年海南省全社会用电量

海南省全社会用电量在4月至11月期间均处于较高水平。如图3.1-9所示，其中用电量最高峰均出现在5月至7月之间，2021年最高峰月度用电量高达40.72亿千瓦时，相比2015年最高峰用电量增加了58%。如图3.1-10，电网最大用电负荷伴随着用电量的增加也呈不断提升的状态，2021年，海南电网最大用电负荷达到598万千瓦，未来用电负荷还将保持长期增长趋势。全年用电量最低的时间集中在1月至3月，主要原因为1月至3月气温较低，居民制冷需求较小。未来伴随居民生活水平的提高和电气化设备的

普及，全社会用电量将持续增加。同时，伴随温室效应的持续发展，未来制冷需求将同步增加。

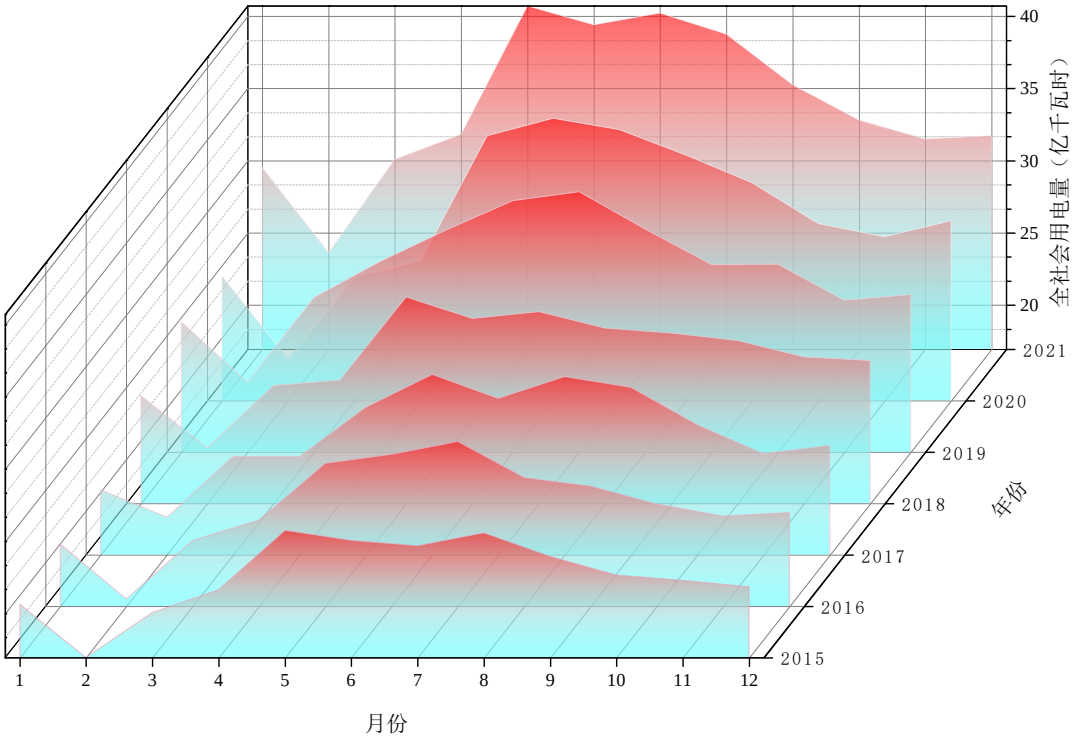

图 3.1-92015-2021 年海南省全社会月度用电量

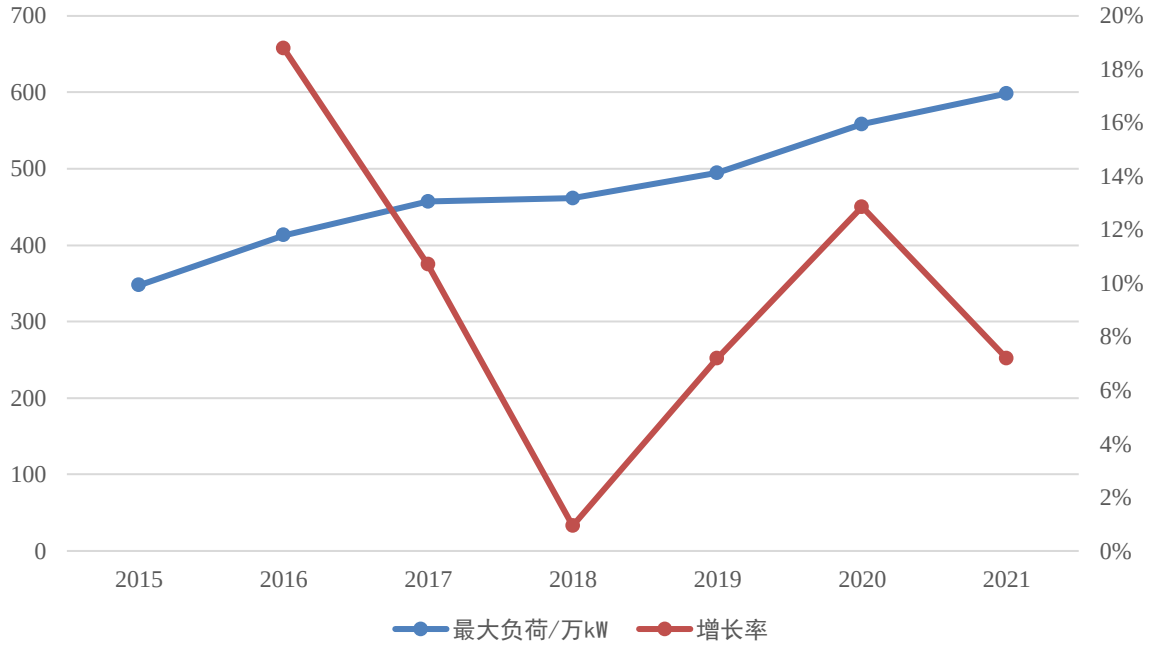

图 3.1-102015-2021 年海南省最大用电负荷变化趋势

3.2 行业概况

3.2.1 居民生活制冷概况

伴随海南省经济社会的不断发展，人民的物质需求和生活保障设施保有量不断提升，空调和冰箱已成为居民生活中不可或缺的家用电器。

人口的增长会带来制冷需求的不断增加。据统计在 2015 至 2020 年海南省常住人口增加了 7.1%，并在 2020 年底突破了 1000 万人大关，达到 1012 万人，与 2010 年第六次全国人口普查的 867 万人相比，增长 16.26%，比全国人口增长 5.38%快 10.88 个百分点，自贸港建设带来的人口流入得到充分显现。随着人才引进政策和力度的不断加码，未来海南人

口还将保持高速增长，所带来的制冷需求仍将持续增加。

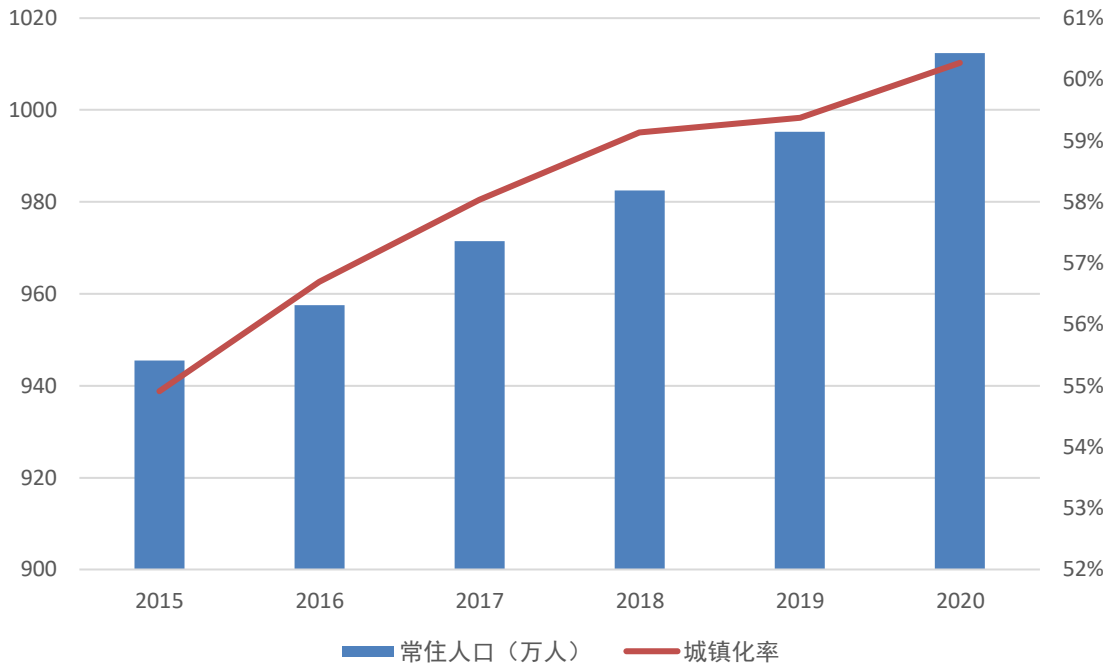

图 3.2-12015-2021 年海南省人口和城镇化率

人口城镇化率同样影响居民生活制冷规模。2015 年至 2020 年，海南省常住居民城镇化率从 55%提升至 60%，城镇化率每年稳步提升。未来伴随“海澄文定”、“大三亚”经济圈一体化发展增强，县城新型城镇化水平将显著提升。城乡基础设施通达水平、基本公共服务均等化水平、居民可支配收入水平等差距进一步缩小，乡村振兴取得积极进展，全岛同城化发展格局基本形成，常住人口城镇化率将提高到 65%。全岛居民制冷需求将会在城镇化率不断提升的过程中得到充分释放。

3.2.1.1 居民家用空调概况

如图 3.2-2，2010-2020 年期间，海南省每百户居民空调拥有量整体呈上升趋势。其中，城镇居民每百户拥有空调数量在过去 10 年间增加了一倍以上，在 2020 年每百户城镇居民拥有空调为 170.1 台，高于国家平均的 149.6 台。伴随现代化新农村建设进程，农村每百户空调拥有量在过去十年增长了 24 倍，从 2010 年每百户 3.1 台空调增加到 2020 年的每百户 78.7 台。按照过去 10 年的增长速率与未来海南人口经济增长趋势，预计至 2035 年，海南省城镇居民每百户空调拥有量将达到 356 台，农村居民每百户空调拥有量将达到 182 台。因此，未来提高空调能效标准，优化居民空调使用习惯，可以有效减少居民生活领域温室气体排放。

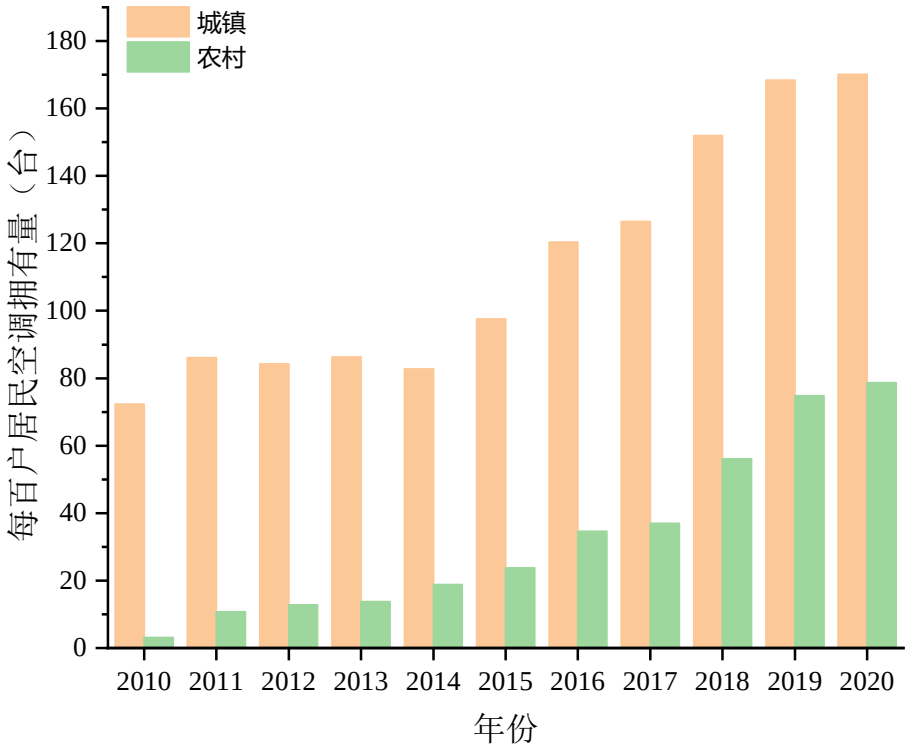

图 3.2-2 2010-2020 年海南省每百户居民空调拥有量

通过对海南省主要市县家庭开展走访、发放调查问卷等线上线下相结合的方式进行调研，进一步了解了海南省居民家庭空能效等级、制冷量和使用习惯等数据。2021 年海南省居民家庭空调能效等级占比分布如图 3.2-3 所示，海南省当前家用空调中，一级能效占比 32%，二级能效占比 38%，三级能效占比 31%[3]。海南省空调市场未来能效提升仍有巨大空间。深入分析居民不愿购买最节能产品的原因，其中超过 60%的居民认为过高的价格是影响他们选择一级能效空调的主

[3]由于符合 GB21455-2019《房间空气调节器能效限定值及能效等级》的空调市场保有量较小，因此根据 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》，划分为三级能效标准。

要原因，这与我们的市场调研结果一致。当前，海南省空调销售市场中同等冷量条件下一级能效空调相比三级能效空调的价格高出 500-1500 元不等，在相同的生命周期内，使用一级能效空调所减少的电能消耗与前期购买节能空调时所高出的价格几乎相等，部分型号甚至难以抵消高出的售价，因此难以在节约消费支出的层面上吸引消费者。同时，仍然有 30%的居民认为一级能效空调的制冷效果要劣于三级，说明还有较多的消费者对空调的能效等级存在误解，市场上的节能产品难以得到这部分消费者的认可。

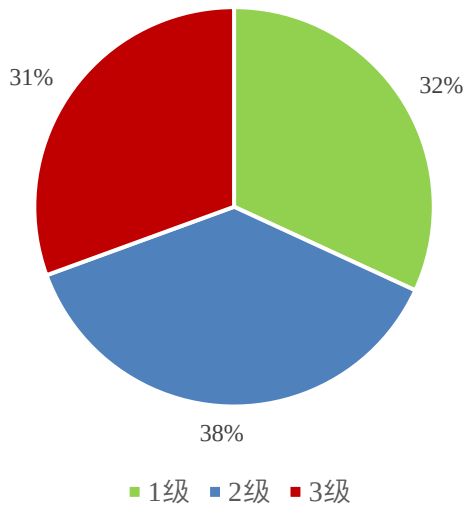

图 3. 2-3 海南省居民家庭空调能效等级占比

海南省现有居民家用空调保有量中，制冷量在 2 匹以下的空调占居民空调总保有量的 81%，其中保有量最多的为 1.5 匹空调，占比 35%。根据调研结果，海南省 77%的居民在购买空调选择功率时能够结合自己的空调使用空间选择合适

的匹数。同时约 35%的用户选择单冷型空调，仍有 65%的用户选择冷暖型空调。在选择冷暖型空调的用户中，有 52%的用户在空调安装后从未使用过制热功能。

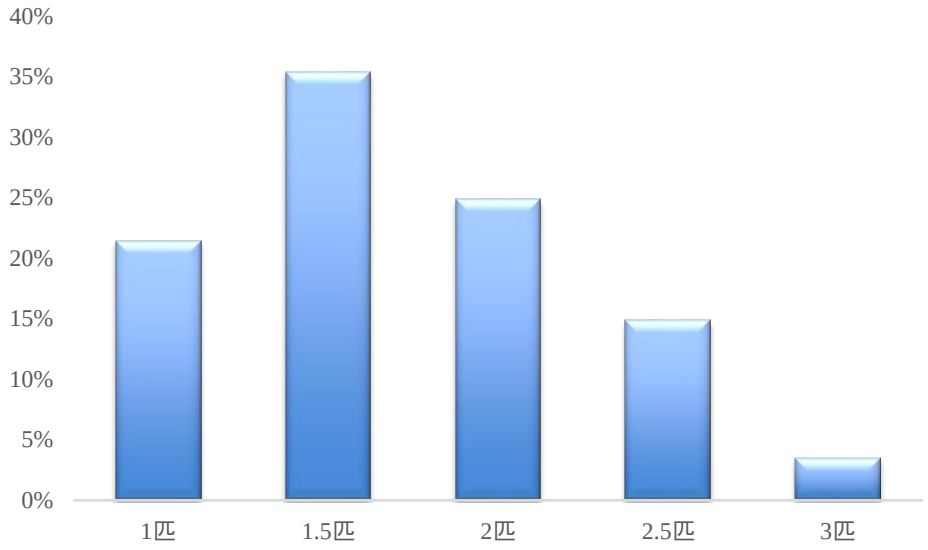

图 3. 2-4 海南省居民家庭空调制冷量占比

3.2.1.2 居民家用冰箱概况

除空调外，冰箱同样占据居民生活用电的重要部分。如图 3.2-5，2010-2020 年期间，海南省居民每百户冰箱拥有量整体呈上升趋势。其中，城镇居民每百户冰箱拥有量增长趋势较缓并逐渐趋于稳定，到 2020 年，城镇居民每百户拥有冰箱为 99.1 台，户均拥有 1 台冰箱，由于家庭对冰箱需求往往为每户 1 台，因此未来增量空间较小。农村居民在过去 10 年中每百户拥有冰箱数增速显著高于城镇居民，2010 年，农村居民每百户拥有冰箱 15 台，不及当年城镇居民百户拥有量的 20%。到 2020 年底，农村居民每百户冰箱拥有量增加到

了 85.2 台，未来仍然存在一定的增长空间。预计到 2022 年，农村居民将达到户均 1 台冰箱的水平。

图 3.2-5 2010-2020 年海南省每百户居民冰箱拥有量

如图 3.2-6，通过调研海南省居民冰箱保有量，我们发现居民家用冰箱中一级至五级能效分别占比 22%、30%、29%、11%和 7%。多数居民家用冰箱仍然以二级和三级能效为主，居民在选择冰箱的过程中多数会同时考虑冰箱的价格和节能效果，因此二级和三级能效冰箱占据了冰箱保有量的主导。仍然有五分之一的居民家用冰箱能效等级在三级以下。通过分析海南省居民冰箱使用年限，83%的居民冰箱使用年限在

6-15 年之间，其中 41%的用户冰箱使用年限在 9-12 年，单台冰箱替换周期较长。同时目前冰箱保有量市场中老旧冰箱存量较多，因此在未来，海南省居民冰箱使用过程中的温室气体减排应主要从提升冰箱能效标准、低能耗冰箱替换及老旧冰箱安全回收开展。

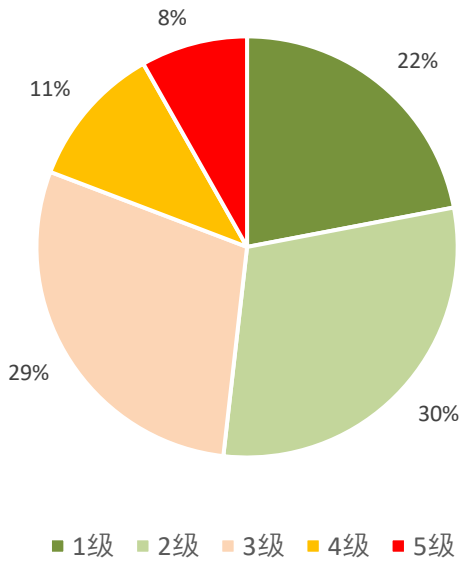

图 3. 2-6 海南省居民冰箱能效占比

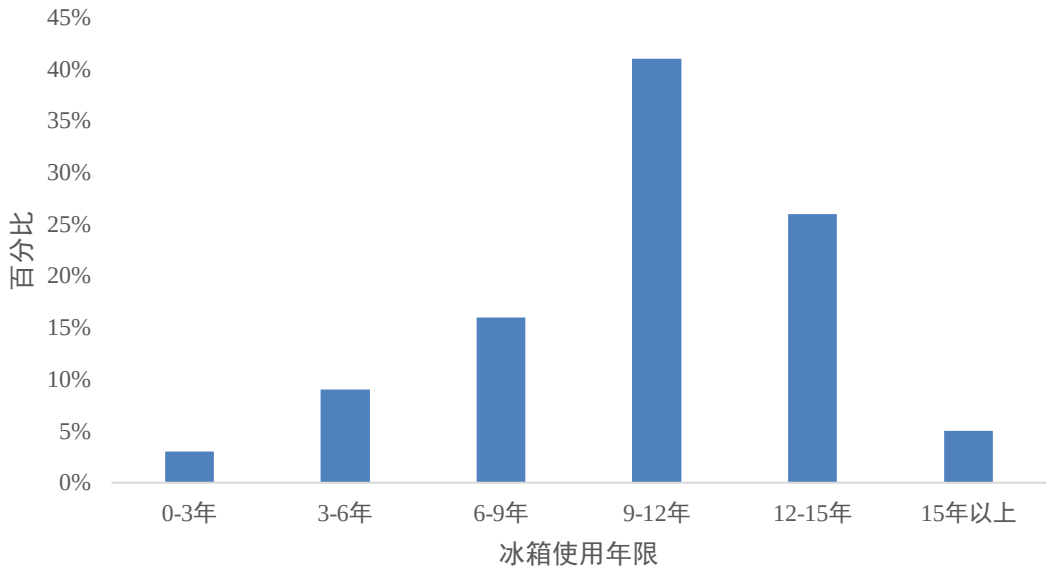

图 3. 2-7 海南省居民冰箱使用年限占比

3.2.1.3 居民制冷用电现状

海南处于夏热冬暖地区，夏季平均最高气温高达 34℃，冬季平均最低气温也达到 16℃，空调使用时长远高于我国大多数省份。研究表明我国全社会制冷需求占全社会用电量的 15%以上，其中居民生活冰箱空调的年用电量占居民生活总用电量的 40%以上。

随着电气化设备的普及，居民生活用电量也在逐年攀升。2015-2020 年期间，海南省居民生活用电量增加了 46%。由于海南省常年气温较高，南部市县每年仅有 1 个月左右空调用量较少，因此假设每年用电量最低的月份为全省居民均未开空调，其余月份相对于最低月的增量即为空调用电量，通过对电力数据进行逐月分析，我们发现过去 5 年中，居民空

调用电量在不断提升，2020 年居民空调用电占总用电量的比重达到了 27.6%，相比 2015 年空调用电量增加了 120%。

通过查阅相关资料，一级节能冰箱每天耗电量为 0.5-0.6 千瓦时，二级节能每天耗电量约为 0.75 千瓦时，但是该耗电量均为理想状态下测试的电耗。受存储量及气温等因素的影响，一般会高于这一数据，夏季一般会在 1-1.5 度电，冬季大约是 0.8 度，考虑到海南省春、冬两季温度处于 10-20℃左右，设定该季节冰箱每天耗电 1 千瓦时，而夏、秋两季温度较高，预计冰箱每天耗电量将会在 1-1.5 千瓦时，假设每天耗电量为 1.25 度电左右，根据上述假设计算得到每年每台冰箱耗电量为 440.19 千瓦时。过去 5 年，海南省居民冰箱用电量增长了 32%。到 2020 年居民冰箱用电量占居民生活用电量的 17.4%。

如图 3.2-8，到 2020 年底，海南省居民制冷用电占比已达到居民生活总用电量的 45%，未来随着空调拥有量的提升以及全球气候变暖，这个比例将持续增加。

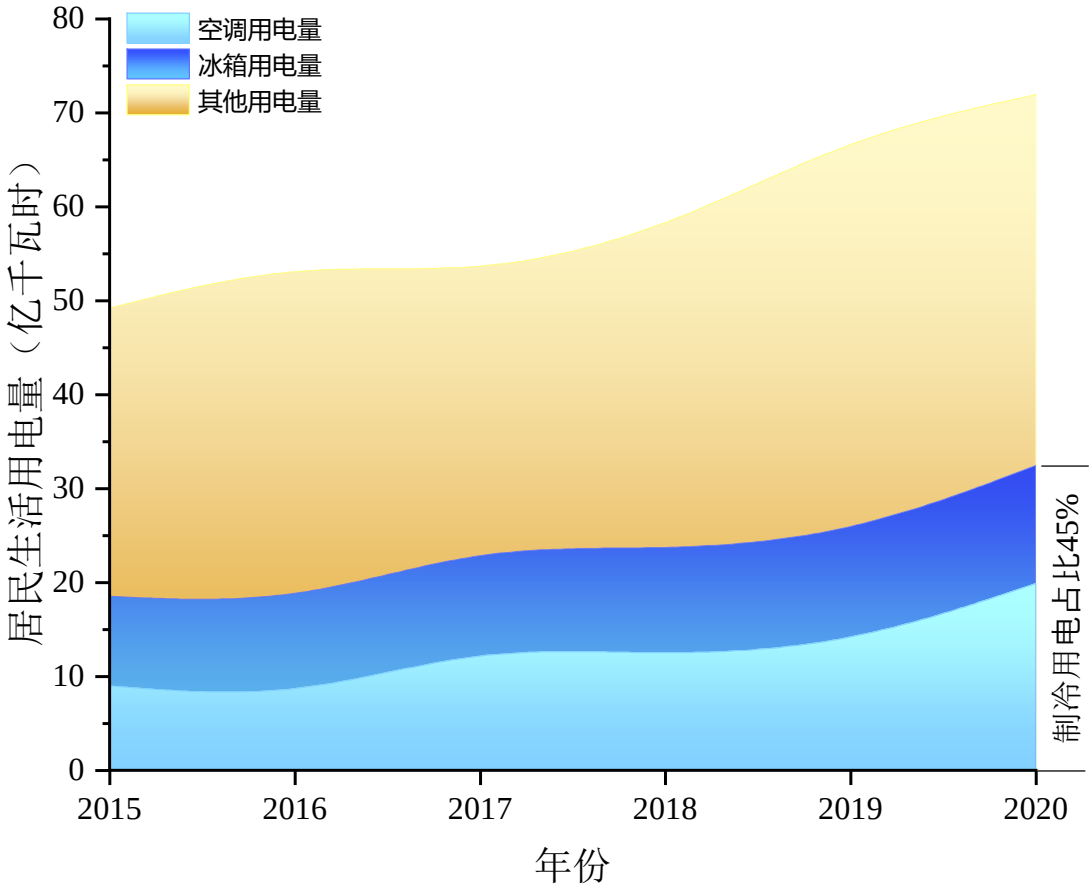

图 3.2-8 2015-2020 年海南省居民制冷用电量占总用电量百分比

3.2.2 批发零售住宿餐饮业制冷概况

为更好的服务消费者，海南地区批发零售业和餐饮住宿业制冷需求相对较高，未来开展绿色制冷行动可以更好的服务于行业的绿色发展，起到引领示范效果。

作为国际旅游岛和自由贸易港未来产业转型和升级的重点发展方向，批发零售业和住宿餐饮业发展迅速。如图 3.2-9，2010-2021 年海南省批发零售业和住宿餐饮业生产总值从 2010 年的 293 亿元增加至 2021 年的 1212 亿元，体量增长了 3 倍。其中批发零售业在 2018 年海南自由贸易港建设启动后进入快速上升期，2018-2021 年平均增长率高达 27.8%，成为第三产业产值提升的主要驱动力。受疫情影响，住宿餐饮业的增速在 2019-2020 年有所放缓。按照 2021 年增速，预计疫情结束后，餐饮住宿行业增速将保持 15%以上的增速增长。

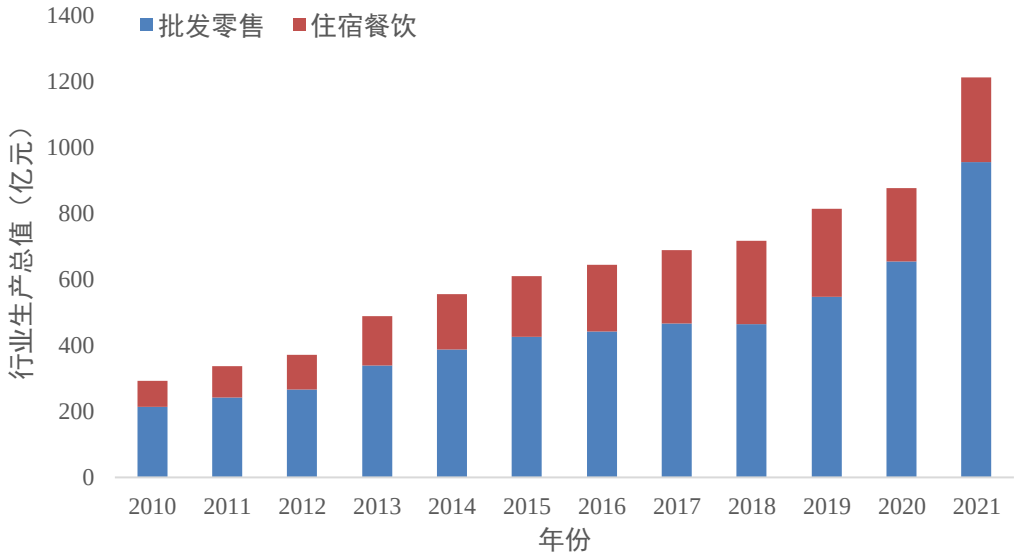

图 3.2-9 2010-2021 年海南省批发零售住宿餐饮业生产总值

如图 3.2-10，随着人口、城镇化率以及产业产值的不断提升，海南从事批发零售及住宿餐饮业的场所面积也在不断地增加。如图 3.2-10 所示，2014 年至 2019 年底[4]，海南省批发零售业营业面积从 115 万 m^2 增加至 174 万 m^2。未来为服务自贸港发展，营业场所面积预计将按照年增长率 10%稳步提升。

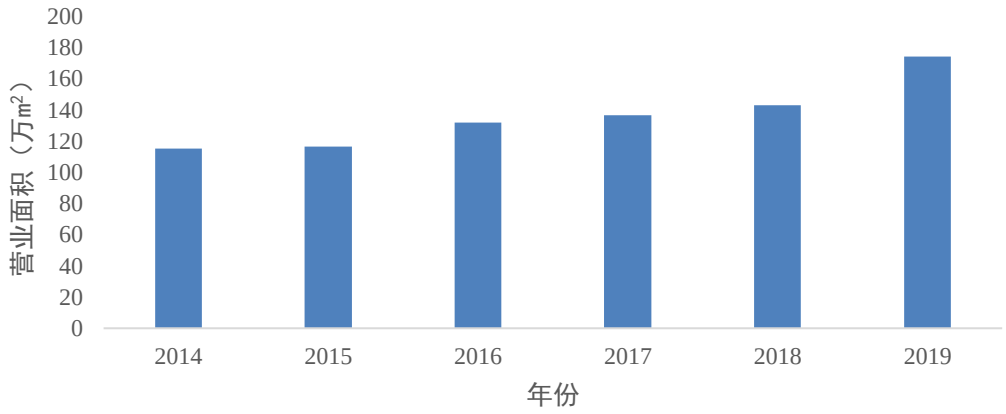

图 3. 2-102014-2019 年海南省批发零售业营业面积

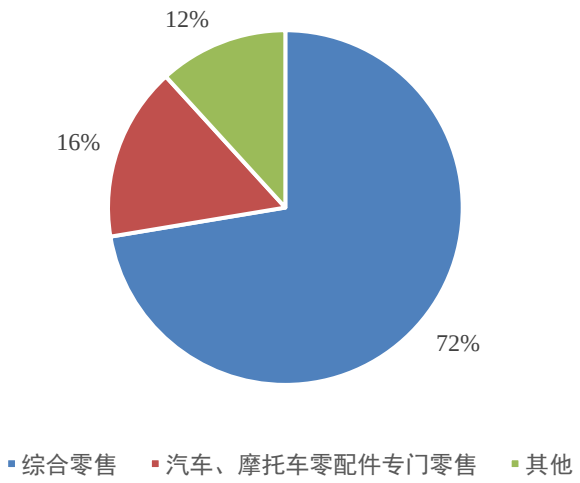

图 3. 2-11 2019 年海南省主要零售业营业面积占比

[4]海南省统计年鉴中关于该部分数据仅更新至 2019 年。

如图 3.2-11，到 2019 年底[5]，海南省综合零售业（包含百货零售和超级市场零售）和汽车、摩托车零配件专门零售营业面积占比较大，分别占比 72%和 16%[6]，其他批发零售占比 12%。上述零售业场景在海南地区具有长期的制冷需求。其中综合零售业的制冷需求几乎覆盖了一年所有时段，制冷需求较大。

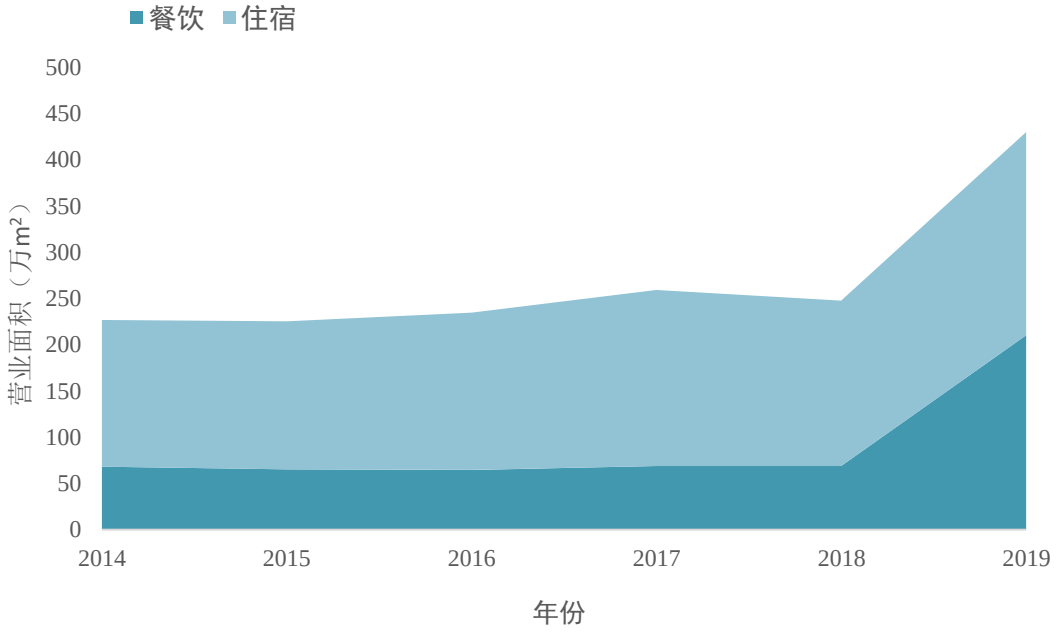

图 3. 2-122014-2019 年海南省餐饮住宿业营业面积

如图 3.2-12，2014-2018 年间，海南省住宿餐饮业营业面积相对保持平稳。随着 2018 年自贸港政策的实施，众多投资企业参与海南发展，在 2018-2019 年，海南省众多旅游酒店建成使用，新增住宿业营业面积 40 万 m^2，新增客房数 1.6 万间，增长迅猛。餐饮业营业面积在 2014-2018 年期间保持在

[5]海南省统计年鉴中行业营业面积仅更新至 2019 年。
[6]统计数据中该项为汽车、摩托车燃料及零配件专门零售，其中机动车燃油零售面积占比 69%，达到 37.8 万 m^2，由于其主要为开放空间，无制冷需求，在分析现状与未来在预测制冷需求时予以扣除。

60-70 万 m^2 之间，随着以服务业为主的产业转型加速，餐饮业营业面积在 2019 年底增长至 210 万 m^2。

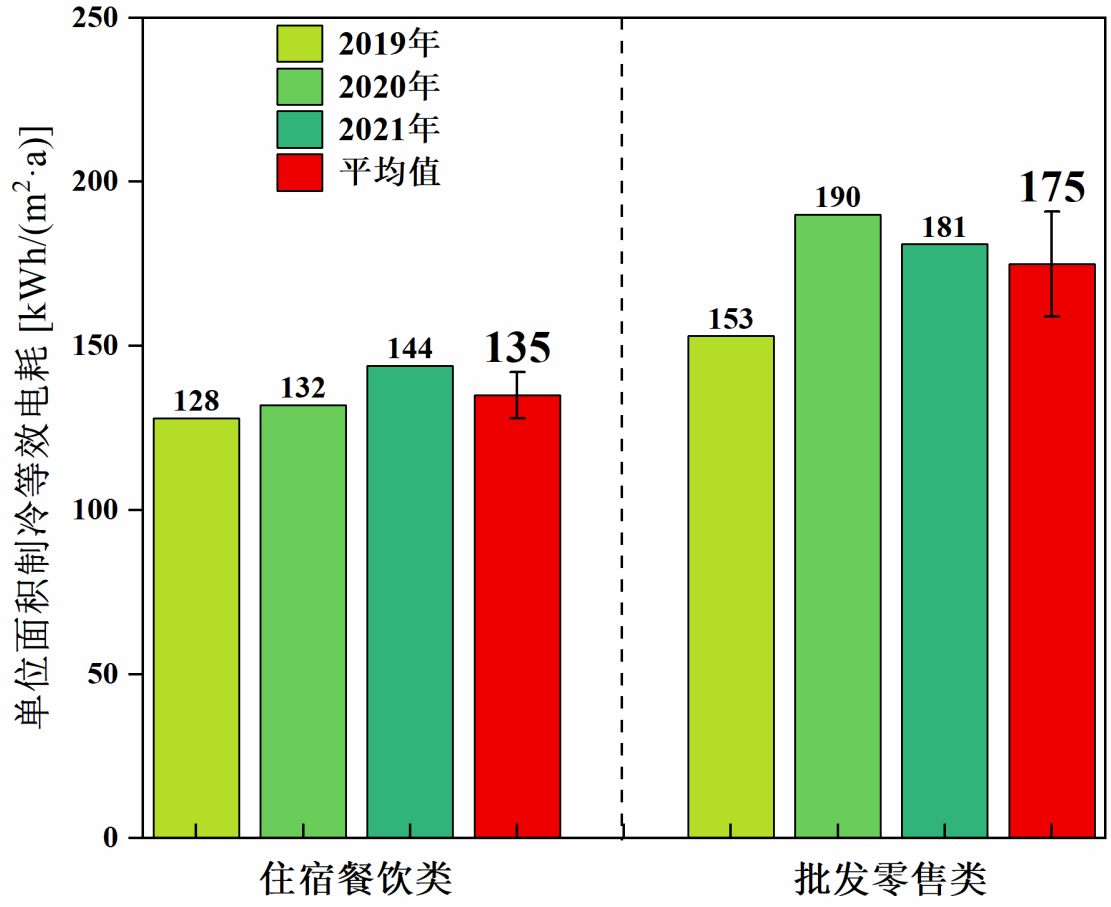

图 3.2-13 2019-2021 年批发零售住宿餐饮业单位面积制冷电耗

结合我省 2019 年批发零售业和住宿餐饮业营业面积，我们选取了 30 家行业对象对其 2019-2021 年单位面积制冷能耗进行调研，其中批发零售类 10 家，住宿餐饮类 20 家。结果如图 3.2-13 所示，其中住宿餐饮类营业场所过去三年的平均单位面积制冷等效电耗为 135kWh/（m^2a）。批发零售类在 2019-2021 年单位面积制冷等效耗电耗为 175kWh/（m^2a），批发零售业的单位面积制冷等效电耗高于住宿餐饮业，即单位面积制冷需求较高。

通过前期调研，结合相关文献，现阶段海南商业用电中空调制冷用电量占商业总用电量的 40%-60%，因此，本研究选取 50%水平作为计算标准。如图 3.2-14，2015-2019 年，海南省商业制冷用电量持续增加，2019 年，海南省商业制冷用电量达到 15.1 亿千瓦时，年均增长率高达 14%。而在 2020 年受疫情影响，商业制冷用电量相比 2019 年有所下降。因此，从整体趋势看，未来海南商业制冷用电量依然将保持较高的增长速度持续增加。

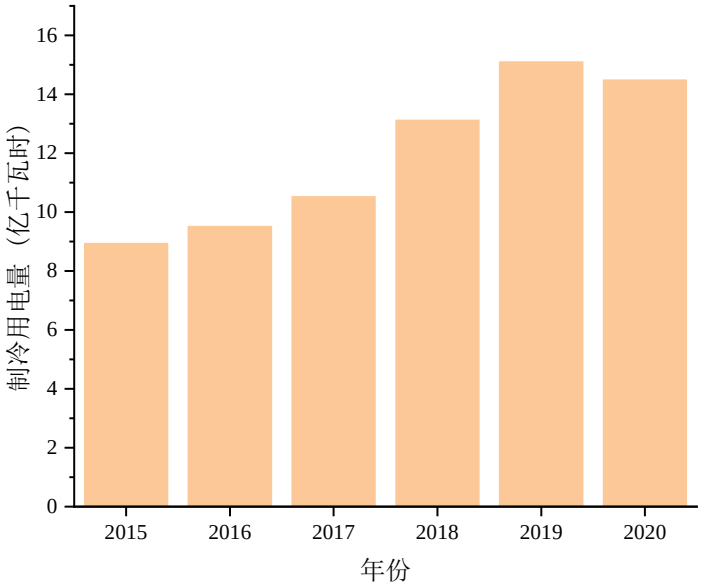

图 3.2-14 2015-2020 年海南省商业制冷用电量

根据 2020 年各市县商业用电总量，分析得到海南省各市县（未包含三沙市）商业制冷能耗排名。全省各市县中，商业制冷能耗较高的市县均属于人口集中、商业相对发达的城市。其中三亚市商业制冷能耗最高，主要是由于区位因素

导致的温度较高，制冷需求大，以及产业结构以旅游业和服务业为主导致的商业建筑较多，制冷能耗较高。由于人口和城市规模较为庞大，海口市商业制冷能耗同样较高，仅次于三亚。全省商业制冷能耗较低的市县主要集中于中部地区，主要原因是中部地区主要分布于山区，温度相对较低，同时人口和城市规模较小，商业制冷需求较少（图 3）。

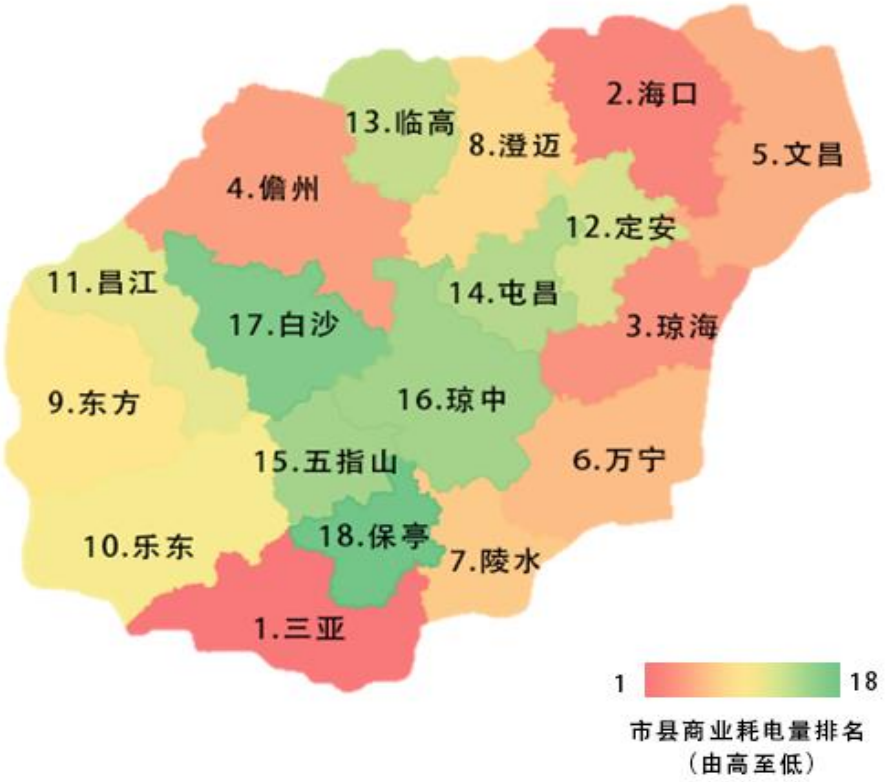

图 3.2-15 2020 年海南省各市县商业制冷用电量排名

3.2.3 冷链物流业制冷概况

冷链物流是海南自由贸易港建设、构建现代化流通体系和现代化产业体系的重要组成部分。《中国（海南）自由贸易

试验区总体方案》明确要求，加强冷链物流基础设施网络建设，打造出岛快速冷链通道，提供高质量的冷链物流快递服务。冷链物流服务体系建设是自由贸易港建设的重要任务之一。过去五年，海南省初步形成了以海口市、澄迈县和三亚市为核心的冷链物流发展布局，拥有海南罗牛山、国药控股、河马生鲜等众多冷链参与企业。

截至 2020 年底，海南省已建成冷库容量约 162 万 m^3，其中 2015-2020 年期间新增冷库库容约 55 万 m^3。商业冷库、田头预冷库已具有一定规模。其中，5000m^3以上冷库容积约占冷库总容量的 92.2%。2020 年，海南省通过冷链物流运输鲜活农产品出岛 42.4 万车次，相比 2015 年增长 38%，呈稳定增长趋势。

市场规模稳步增长。海南具有丰富的热带高效农业资源。如图 3.2-16，2020 年全省主要鲜活农产品（蔬菜、水果、肉类和水产品）总产量为 1292.67 万吨，比 2015 年增长 6.4%，整体呈现稳定增长的态势。其中，2020 年全省蔬菜和水果总产量分别为 572.75 万吨和 495.63 万吨，相比于 2015 年分别增长 3.9%和 22.8%；2020 年全省肉类和水产品总产量分别为 57.5 万吨和 166.79 万吨，相比于 2015 年分别降低 21.8%和 10.1%。在 2015-2020 年，蔬菜和水果总产量呈现增长的态势，而肉类和水产品总产量呈现下降态势，且蔬菜和水果占海南鲜活农产品比重高，因此，海南省 2015 年至 2020 年主要鲜

活农产品产量呈现稳步增长态势。

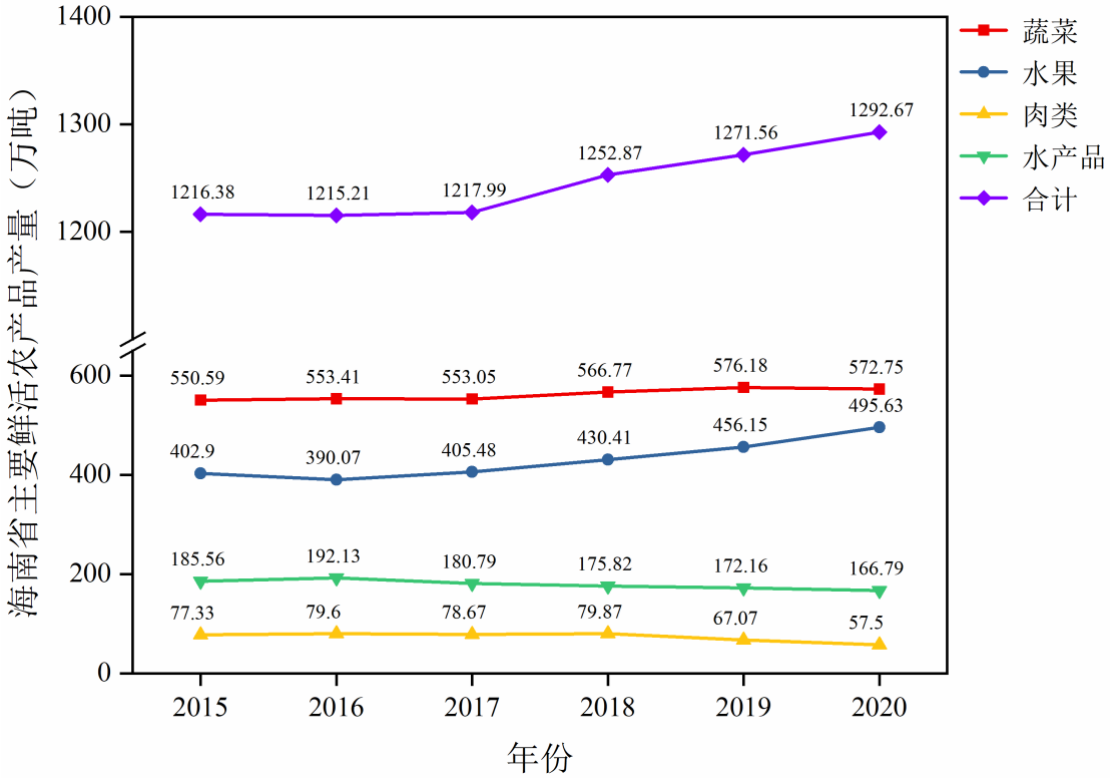

图 3.2-16 2015-2020 年海南省主要鲜活农产品产量

2019 年，海南省人均冷库保有量约 0.17m³，略高于全国人均的 0.11m³，但低于发达国家平均水平。冷藏车数量不足，据统计，目前全省拥有营运性冷藏运输车辆 195 辆，每万人 0.19 辆，全国每万人 1.5 辆，低于全国平均水平。产地预冷设施缺乏或老旧，全省田头预冷库设备老旧、利用率低，缺乏现代化冷库。冷库结构不合理，肉类冷库少、果蔬冷库多，大型冷库少、冷链设施闲置与供给不足并存等一系列问题需要在未来得到解决，冷链能效提升空间巨大。

农副产品作为冷链的主要需求者仍然需要提高冷链运输保障。如图 3.2-17，2020 年，海南省蔬菜、水果、肉类和

水产品冷链运输率分别占其门类总量的 7%、19%、15%和29%，占比较低。因此而导致的腐损率约为 20%，显著高于发达国家 5%的水平，冷链物流建设亟需加强。

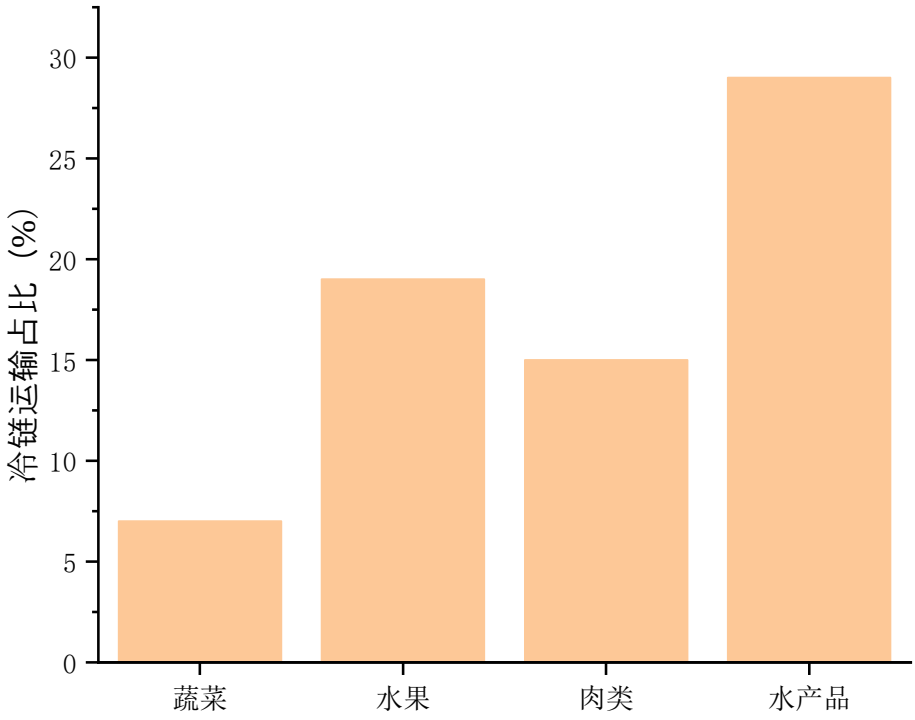

图 3.2-17 2015-2020 海南省农产品冷链运输占比

冷链信息化程度较低。全省缺乏冷链物流公共信息平台，冷链运营服务效率较低。大多数企业尚未建设冷链物流资源交易运营平台或管理系统，冷链数据的动态采集、处理及决策分析功能缺失。操作流程不规范，制度化管理缺位。冷链物流服务标准化、数字化、智能化有待加大投入和提升。冷链物流专业人才紧缺。海南省冷链物流管理和物流工程人才缺乏。国际冷链物流专业人才严重不足，普通高校、职业院校冷链物流专业设置不足，制约了全省冷链物流的发展。

3.2.4 海南省消耗臭氧层物质（ODS）现状

目前，海南省无 HCFCs 和甲基溴等消耗臭氧层物质的生产企业，省内使用和流通的含 HCFCs 商品均从省外购入，涉及使用行业为工商制冷和制冷维修行业。海南省制冷维修产业数量较少，规模大小不一，管理水平较差，大部分维修制冷企业没有配备 ODS 制冷剂回收或储存设备，维修产生的废制冷剂基本直接排空处理，存在较大的 ODS 泄露和温室气体增排风险。

以 2016 年调查数据为例，海南省在用的工商制冷设备中，使用的制冷剂主要有 HCFC-22、液氨、R-134a、R-404a、乙二醇；2016 年全省 HCFCs 销售企业购买量为 30.13 吨，销售量为 29.70 吨，工商制冷和制冷维修行业 HCFCs 使用量为 11.70 吨，由于 HCFCs 使用导致的 CO_2 年排放量为 2.12 万吨（HCFC-22 的综合增温潜势值为 1810）。

第四章海南省行业制冷发展趋势

本研究运用情景分析法结合 LEAP 模型，预测 2021 至 2035 年海南省不同领域行业制冷发展趋势，同时对未来制冷需求和节能潜势进行模拟，为海南开展绿色制冷行动提供合理参考依据。

4.1 居民生活制冷发展趋势

4.1.1 情景设置

2015-2020 年，海南省常住人口变化如表 4-1 所示。过去五年，海南省常住人口增速不断加快，《海南省人口发展规划（2030 年)》预测在 2030 年海南省人口规模将达到 1248 万左右，按照 2020 年的常住人口增长速度，预测至 2035 年海南省常住人口将达到 1303 万人。城镇化率在过去数年也从 54.9%提升至 60.3%，按照《海南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》规划目标，2035 年海南省常住人口城镇化率将达到 65%。因此，本研究以 2035 年海南省常住人口 1303 万，常住人口城镇化率为 65% 作为 LEAP 模型人口基本参数。

表 4-1 2016-2020 年海南省人口和城镇化率

	2016	2017	2018	2019	2020
常住人口（万）	957.48	971.5	982.48	995.27	1012.34
增长率	1.3%	1.5%	1.1%	1.3%	1.7%
城镇化率	56.7%	58.0%	59.1%	59.4%	60.3%

表 4-2 2016-2020 年海南省百户居民空调、冰箱保有量

百户居民空调保有量	2016	2017	2018	2019	2020
城镇居民	120.4	126.5	152	168.4	170.1
农村居民	34.6	37	56.1	74.8	78.7
百户居民冰箱保有量	2016	2017	2018	2019	2020
城镇居民	93	94.7	96.7	98.4	99.1
农村居民	67.2	69.5	76.8	84.7	85.2

如表 4-2 所示，前期统计分析表明在 2016 至 2020 年间海南省城镇家庭和农村家庭空调保有量均呈快速增长趋势。到 2020 年底，城镇居民和农村居民每百户空调保有量分别达到 170.1 台和 78.7 台。随着海南省居民收入的不断提高，生活水平日益改善，同时结合过去十年空调保有量增长率，预计到 2035 年，海南省城镇居民每百户空调拥有量将达到 356.1 台，农村居民每百户空调拥有量将达到 182.9 台。由于居民家庭冰箱的需求量相对较稳定，海南省百户居民冰箱拥有量增速较缓，预计到 2035 年，海南省城镇和农村百户居民冰箱保有量均将达到 100 台。

因此在 LEAP 模型人口参数和需求参数设置如下：

表 4-3 LEAP 模型基础参数设置

参数名称	参数设置
人口增长率	1.7%
2035 年城镇化率	65%
2035 年城镇居民每百户空调保有量	356.1
2035 年农村居民每百户空调保有量	182.9
2035 年城镇居民每百户冰箱保有量	100
2035 年农村居民每百户冰箱保有量	100
2020 年清洁电力占比（下同）	45%
2025 年清洁电力占比（下同）	56%
2035 年清洁电力占比（下同）	74%

在基础参数确定的情况下，针对海南省现有的居民制冷情景进行能耗分析。当前海南省居民空调保有量中，一级、二级和三级能效空调分别占比 32%、38%和 31%。据项目调研结果，海南省居民单个制冷日使用空调平均时长达 7.79 小时，全年制冷日约 140 天。按照海南省空调平均制冷量 3200W 计算，一级能效 3.6 相比二级能效 3.4 和三级能效 3.2 每年分别节约 57 千瓦时和 121 千瓦时。海南省居民家用冰箱几乎全年不间断使用，初步测算一级能效冰箱一年比三级能效冰箱节省约 140 千瓦时，比五级能效节约 290 千瓦时。同时，通过文献汇总和市场调研，海南省空调和冰箱的使用寿命平均约为 8 年和 15 年，因此未来提高能效标准，增加市场节能产品占比可以有效减少居民用冷能耗总量和碳排放总量。

根据 2018 年国家颁布的《绿色高效制冷行动方案》目标要求，到 2022 年，家用空调能效准入水平提升 30%，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%，绿色高效制冷产品市场占有率 40%以上。

基于当前海南省空调冰箱存量现状和未来市场增量趋势，分别设置以下情景。其中基准情景默认按照国家《绿色制冷行动方案》目标要求进行能效场景设置。提升情景则是基于海南低碳发展要求在国家目标基础上拔高。

由于现阶段海南空调保有量多数是基于 GB12021 3 2010

和 GB 21455-2013 旧国标划分的能效等级，且上述能效等级的空调预期能够服役至 2030 年，因此场景预测中空调能效等级划分采用 3 级。

综上所示，情景设置见表 4-4。

表 4-4 居民生活制冷情景描述

情景名称	参数设置	
	空调	冰箱
基准情景：基本完成国家目标	到 2025 年，家用空调一级、二级、三级能效保有量占比分别为 38%、34%和 27%，空调能效水平保持不变；2035 年家用空调一级、二级、三级能效保有量占比分别为 53%、26%和 21%，能效水平提升 30%。	到 2025 年，家用冰箱一级、二级、三级、四级、五级能效保有量占比分别为 28%、36%、22%、8%、6%，能效水平保持不变；到 2035 年，家用冰箱一级、二级、三级、四级、五级能效保有量占比分别为 39%、50%、7%、3%、1%，能效提升 15%。
提升情景：树立海南样板	到 2025 年，家用空调一级、二级、三级能效保有量占比分别为 48%、28%和 23%，空调能效水平提升 30%；2035 年家用空调一级、二级、三级能效保有量占比分别为 63%、20%和 17%，能效水平再提升 20%。	到 2025 年，家用冰箱一级、二级、三级、四级、五级能效保有量占比分别为 33%、41%、16%、6%、4%，能效水平提升 5%；到 2035 年，家用冰箱一级、二级、三级、四级、五级能效保有量占比分别为 43%、57%、0%、0%、0%，能效提升 20%。

注：为保持前后一致性，分析过程空调能效等级划分采用 GB 12021 3 2010 和 GB 21455-2013，冰箱能效等级划分采用 GB 12021.2-2015，由于国家《绿色制冷行动方案》发布于 GB 21455-2019 之前，因此能效水平提升预测采用旧国标为基准。考虑到现有空调、冰箱市场为逐步替换，因此保有量占比相较市场份额占比相比政策实施时间延后。

鉴于海南省尚未建立起完整的废旧电子电器拆解及制冷剂回收与再生处理产业，同时海南省居民空调更换周期较短，海南省在减少居民生活制冷领域非二氧化碳类温室气体（HCFC-22 与 HFCs）排放方面具有较大的潜力和操作空间。当前海南省家用空调市场主要制冷剂类型为 R-22、R-410A 和 R-407C，平均 GWP 值 1766。根据《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》及其《基加利修正案》的要求，中国家用空调行业在 2030 年应在新生产的产品上完全禁用 HCFC-22；2029 年应将 HFCs 消费量在基线水平上削减 10%，到 2035 年削减 30%。该时间表意味着，到 2035 年，采用中高 GWP 制冷剂的家用空调产品供给将相应减少。因此海南省应针对 GWP 制冷剂家用空调市场设定相应的目标，以推动海南省居民生活制冷领域家用空调向低 GWP 制冷剂转型。目前欧盟《含氟气体法案》提出的到 2027 年 12kW 以下的家用空调禁用 GWP > 150 的制冷剂，作为国家生态文明试验区，海南应主动担当，因此家用空调制冷剂替代目标设置如下：

表 4-5 居民家用空调制冷剂替代情景设置

基础参数	海南省 2020 年空调保有量 323 万台；海南省 2035 年空调保有量 1028 万台；家用空调制冷剂加注量 800g，空调使用年限 8 年。
基准情景	现有空调和新增空调继续使用 R-22 和 HFCs 作为制冷剂
提升情景	到 2035 年用 GWP 不高于 150 的制冷剂的家用空调在当年海南省家用空调的市场供应比例不低于 30%。

4.1.2 节能减排潜力分析

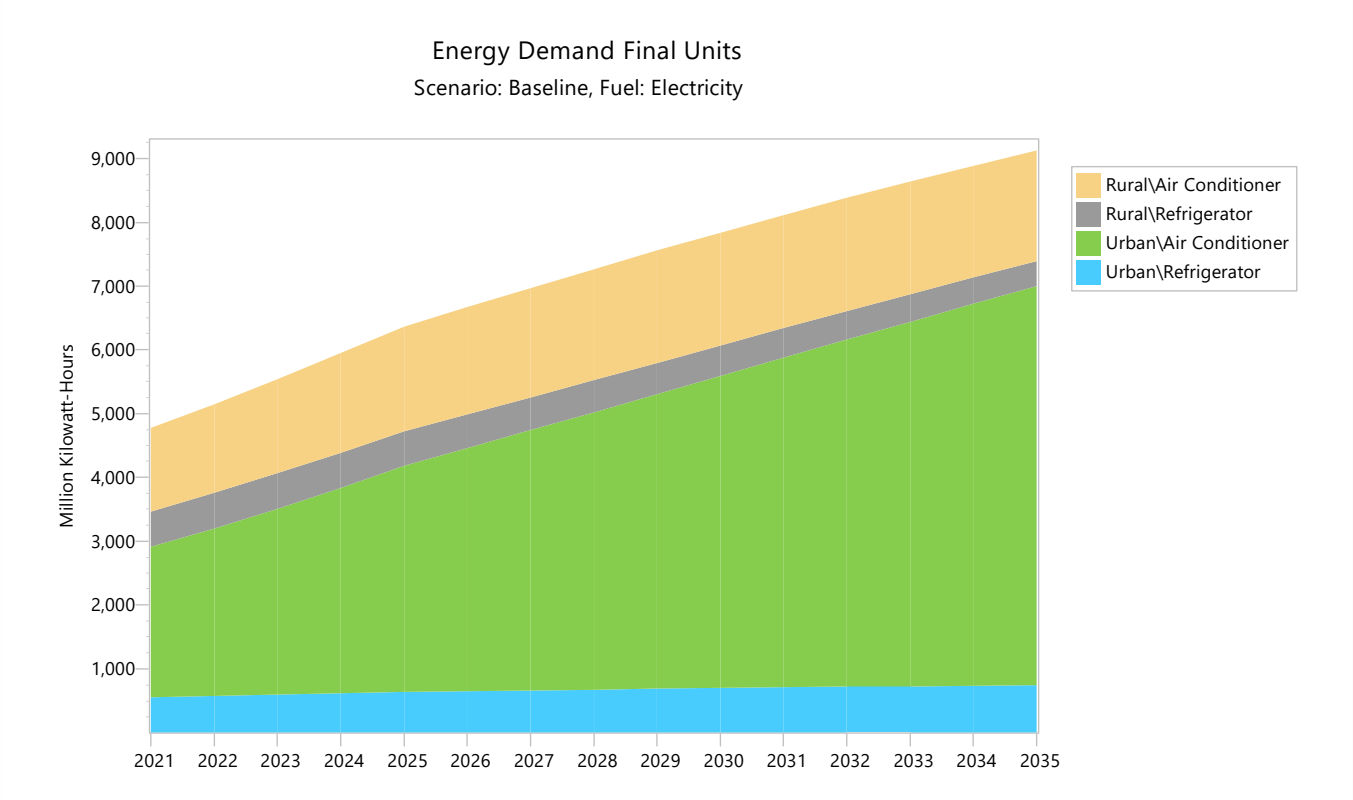

图 4. 1-1 海南省居民生活制冷用电量预测（基准情景）

如图 4.1-1，在基准情景下，未来伴随海南省人口的不断增长、城镇化率的提升以及居民可支配收入的不断提升，居民制冷用电量不断攀升。根据模拟结果，2021 年海南省居民生活制冷总用电量达到 47.7 亿千瓦时，占全社会用电量的 11%。其中城镇居民制冷用电量 29.1 亿千瓦时，占比 61%，农村居民制冷用电量 18.6 亿千瓦时，占比 39%。在基准情景下，预测至 2035 年，海南省居民生活制冷用电量将提升至 91.3 亿千瓦时，相比 2021 年增长 91%。城镇居民制冷用电量伴随城镇化的发展迅速攀升，到 2035 年达到 70 亿千瓦时，

占比 77%。农村居民制冷用电量增量较小，相对保持稳定，为 21.3 亿千瓦时。由于在基准情景中，能效提升缓慢，绿色产品市场占有率较低，因此在未来居民家用空调保有量的迅速增加成为了居民生活电力消费的主要增长点，城镇和农村居民的空调用电总量也从 2021 年的 36.7 亿千瓦时增长至 2035 年的 79.9 亿千瓦时，增长 118%。所以未来海南在城镇化率与人民物质需求不断提升的背景下，居民制冷用能呈快速增长趋势，居民生活制冷用电需求的不断攀升给海南电力保障提出更高要求。

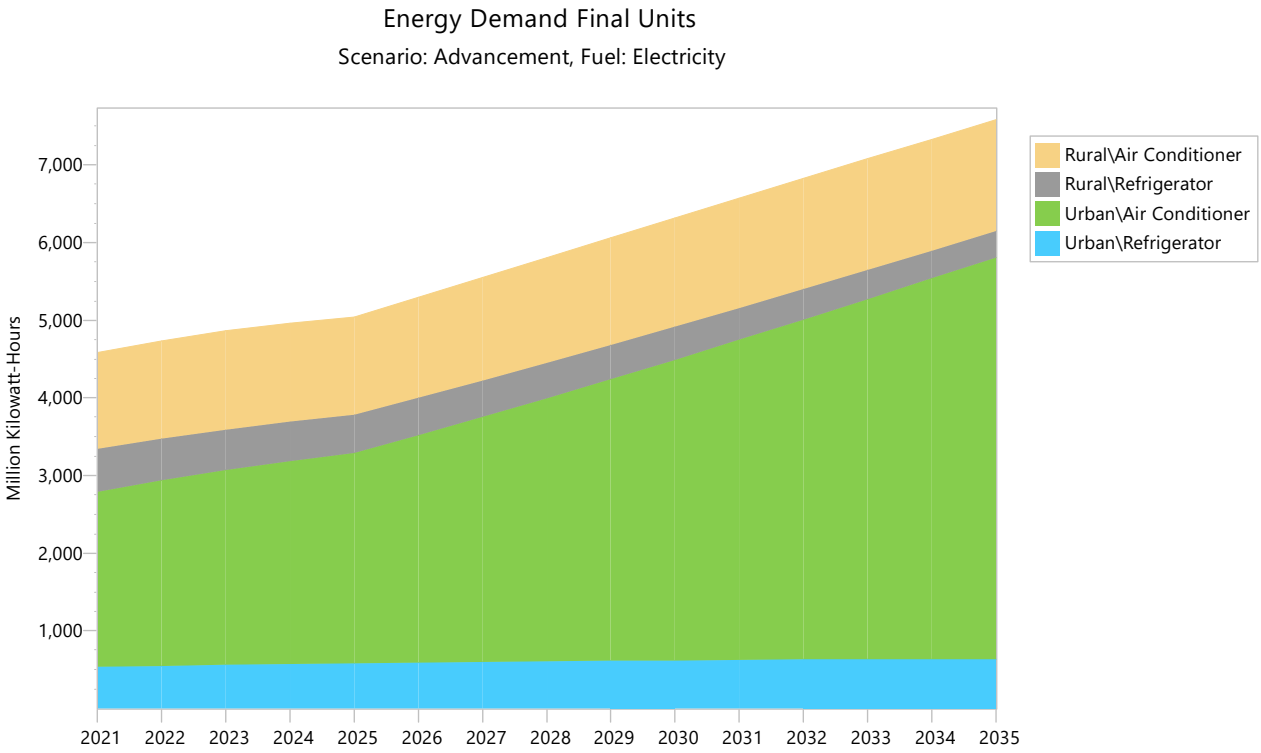

图 4.1-2 海南省居民生活制冷用电量预测（提升情景）

如图 4.1-2，在提升情景下，海南省居民制冷用电量在 2035 年达到 75.81 亿千瓦时，相比 2021 年增长 65.5%。城镇居民制冷用电量在 2035 年达到 58.08 亿千瓦时，相比 2021 年增加 30.19 亿千瓦时。随着城镇化进程加速，农村居民人口不断减少，虽然制冷需求有所增加，但总制冷用电量变化较小，到 2035 年达到 17.73 亿千瓦时，与 2021 年基本持平。在提升情景下，空调和冰箱的绿色产品市场占有率与能效标准均有较大提升，预测至 2035 年，海南省家用空调用电量为 66.02 亿千瓦时，相比 2021 年增长了 89%，用电量增加主要缘于空调保有量的不断增加。在提升情景下，到 2035 年居民冰箱用电量为 9.79 亿千瓦时，相比 2021 年的 10.88 亿千瓦时降低 10%。冰箱能耗的降低主要缘于较稳定的冰箱保有量、绿色产品占比提升以及能效水平的不断提升。总体来看，未来在提升情景下海南省居民制冷用电量增速明显放缓。

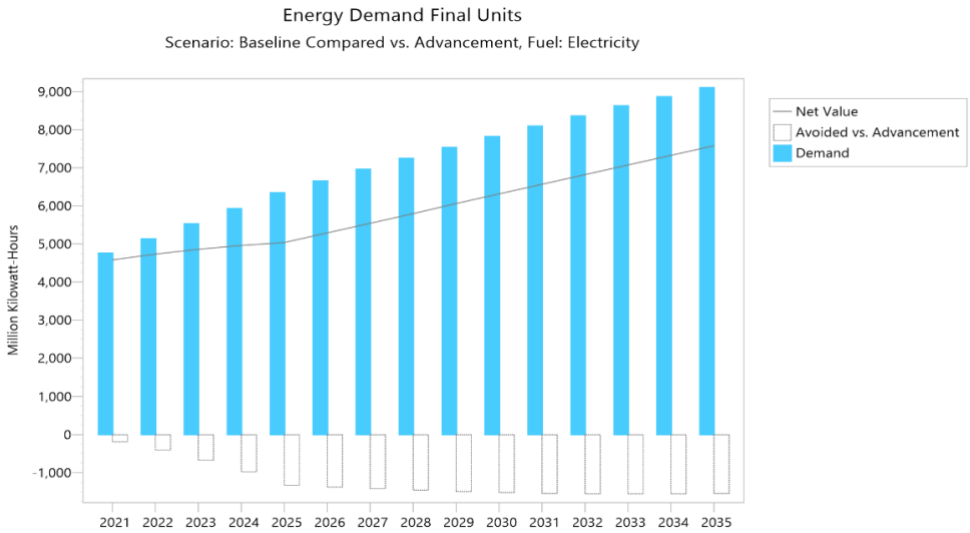

图 4.1-3 不同情景下海南省居民生活制冷用电量对比

如图 4.1-3 所示，其中蓝色部分为 2021-2035 年基准情景下的居民生活制冷用电量，黑色线条为提升情景下的居民生活制冷用电量，空心区域为提升情景相比基准情景的节电量。我们可以发现 2035 年，提升情景下居民制冷耗电量为 75.81 亿千瓦时，仅相当于基准情景的 83%，节约电力 15.45 亿千瓦时。而 2021 年，提升情景下制冷用电量相当于基准情景下的 96%。因此伴随着未来一系列绿色制冷政策的出台，随着时间的推移，居民生活制冷基准情景与提升情景的耗电量差距将被逐渐扩大，绿色制冷行动效果凸显。预计未来 15 年，提升情景下居民制冷用电量相比基准情景累计将节电 186.5 亿千瓦时，相当于 2021 年海南省全社会用电量的一半。

居民制冷用电同样会产生大量的二氧化碳排放。如图 4.1-4 所示，根据海南能源综合改革方案，预计至 2035 年海南省清洁电力占比将达 74%，2021 年海南省居民制冷用电所产生的二氧化碳排放量约 240 万吨，占全省碳排放总量的 6.5% 左右。由于电力清洁化水平不断提高，到 2035 年，预计在基准情景下，居民制冷用电产生的二氧化碳将达到 220 万吨，而按照提升情景发展，预计在 2035 年，碳排放量仅为 180 万吨。在提升情景下，未来 15 年，海南省居民制冷用电产生的二氧化碳排放将减少 630 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。）

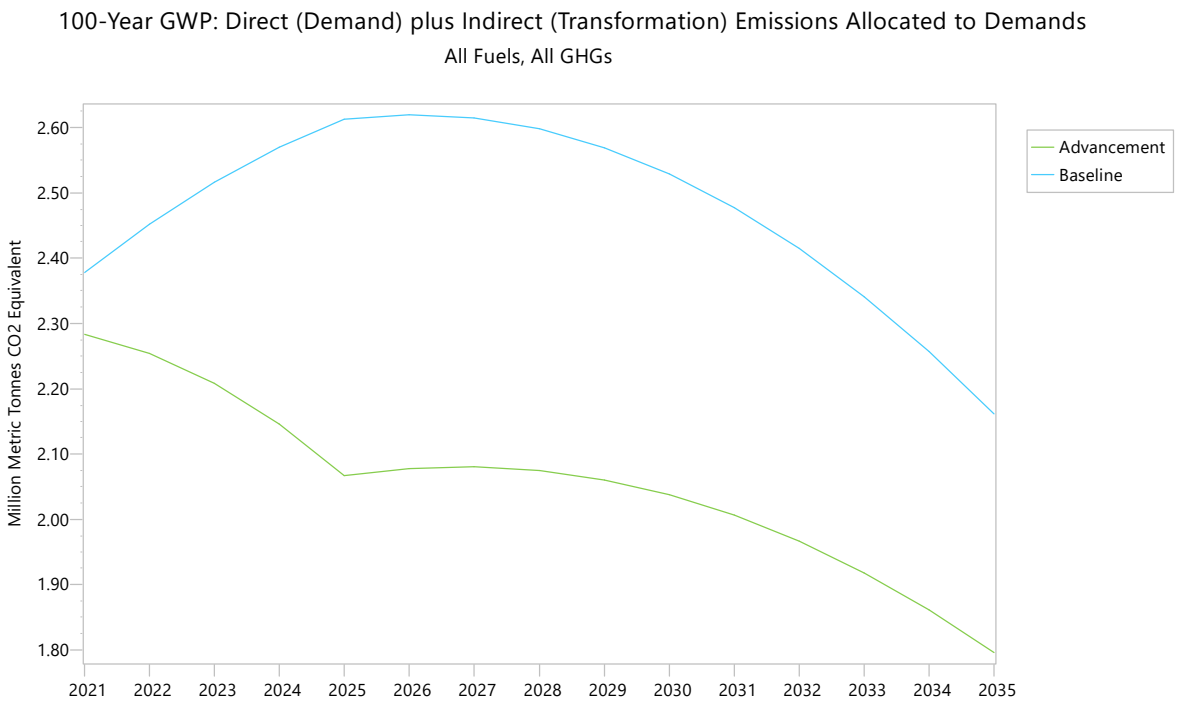

图 4.1-4 不同情景下海南省居民生活制冷碳排放量对比

制冷剂管控是除能耗控制外最有效的减少温室气体排放的手段。在基准情景下，2020 年海南省居民空调制冷剂产生的温室气体排放折合 CO_2 约 240 万吨[7]，随着居民生活水平的提高，空调保有量不断增加，未来每年新增空调数和报废空调数量逐年剧增，到 2035 年，居民空调制冷剂碳排放量将达到 1000 万吨以上。在提升情景下，到 2035 年制冷剂 GWP 低于 150 的空调将占当年空调销售市场的 30%以上，因此预计 2035 年，空调制冷剂产生的碳排放为 760 万吨。预计在提升情景下通过制冷剂类型的管控，未来 15 年内累计将减少碳排放 1600 万吨。

[7]年度制冷剂碳排放量为当年居民新购置空调数量×空调制冷剂质量×碳排放系数

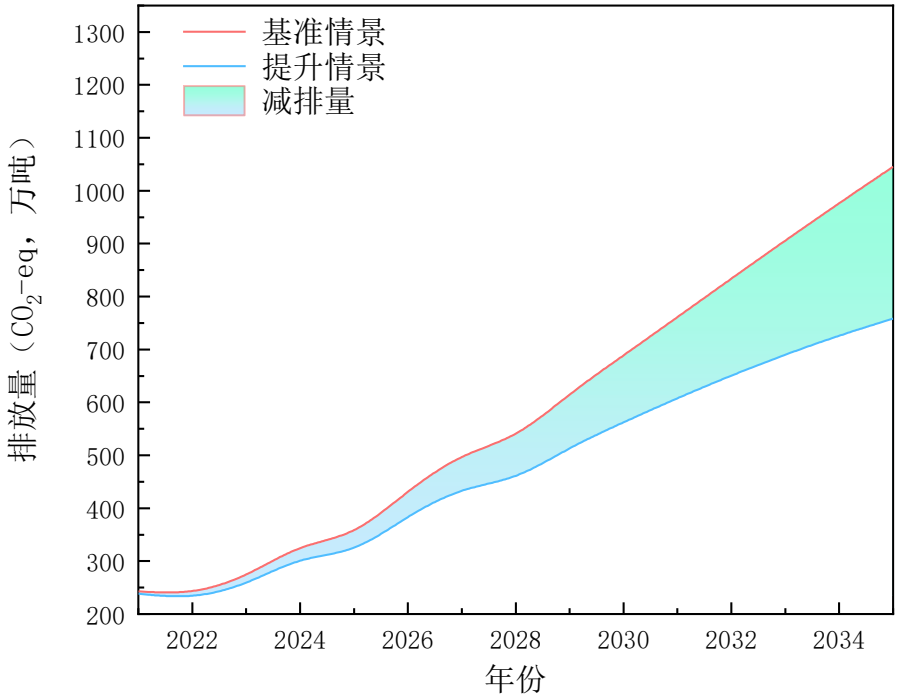

图 4.1-5 不同情景下海南省居民空调制冷剂碳排放量对比

4.2 批发零售住宿餐饮制冷发展趋势

4.2.1 情景设置

伴随海南省产业转型步伐的加速，批发零售、餐饮住宿业的行业产值逐年提升。2015-2020 年，海南省上述两个行业的总产值从 644.76 亿元增加至 875.15 亿元，年平均增长率高达 8%。结合自贸港整体发展规划，未来海南将坚持特色化、国际化、高端化、全域化、标准化、智能化的发展理念，推动旅游业高质量发展，积极发展旅游消费新热点、新业态，形成以海洋旅游、购物旅游、医疗康养旅游、生态旅游、会展旅游为主，多种旅游形式聚集的全业态旅游消费模式，不

断拓展旅游消费空间。预计未来海南批发零售、住宿餐饮业将持续保持年增长率 8%以上高速增长。

表 4-6 2016-2020 年海南省批发零售住宿餐饮业产值与增长率

	2016	2017	2018	2019	2020
行业产值（亿元）	644.76	688.16	716.61	813.73	875.15
增长率	-	6.7%	4.1%	13.6%	7.5%

结合《海南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》，未来将大力发展旅游业、现代服务业，在 2035 年前第三产业产值占比将长期保持高速增长。伴随行业产值的快速增加和海南省人口规模的持续膨胀，批发零售、餐饮住宿业的营业面积预期会保持稳定增长。结合过去 5 年的批发零售业年均增长率预测未来海南省批发零售业营业面积将保持 10%的增速增长。伴随自贸港的发展，住宿餐饮业营业面积在过去五年平均增长率达 20.9%，但住宿餐饮业营业面积基数较大，难以维持长期的高速增长，因此预测未来住宿餐饮业营业面积增长率保持 5%。

表 4-7 2014-2019 年海南省批发零售住宿餐饮业营业面积

	2015	2016	2017	2018	2019
批发零售业（万 m²）	116.42	131.68	136.57	143.07	174.40
增长率	-	13.1%	3.7%	4.8%	21.9%
住宿餐饮业（万 m²）	225.16	234.68	259.37	247.97	429.93
增长率	-	4.2%	10.5%	-4.4%	73.4%

根据《海南省建筑业“十四五”发展规划》要求，未来海南将主动对接国际先进建筑节能理念，开展超低能耗建筑、

近零能耗、零能耗建筑示范，建立公共建筑能耗限额标准，加强公共建筑能耗限额管理，推动既有公共建筑和居住建筑绿色节能改造。到 2022 年，全省城镇新建建筑中绿色建筑面积占比达到 70%，到“十四五”末期，城镇新建建筑设计和施工阶段全面执行现行国家、行业及地方节能标准。同时 2021 年发布的《海南省绿色建筑创建行动实施方案》中提出对既有高能耗公共建筑实施绿色节能改造，提升能效水平。通过调研，同时参考《公共建筑节能设计标准》与节能改造案例，在 2025 年新建公共建筑能效水平将提高 20%以上，到 2030 年提升 30%以上，相应的营业场所能效水平应同步提升。

综上所示，LEAP 模型中基础参数与情景设置如下：

表 4-8 批发零售住宿餐饮业制冷情景描述

基础参数	批发零售业营业面积增长率 10%； 住宿餐饮业营业面积增长率 5%，
基准情景	既有和新增行业营业场所能效水平保持不变。
提升情景	到 2022 年新增营业场所中，70%的场所制冷能效水平提升 10%； 到 2025 年新增营业场所制冷能效水平提升 20%；既有营业面积节能改造率达 10%，改造后制冷能效提升 20%； 到 2030 年新增营业场所制冷能效提升 30%，既有营业场所节能改造率达 20%，改造后制冷能效提升 30%; 到 2035 年新增营业场所能效提升 35%，既有营业场所改造率达 30%，改造后能效提升至 35%。

4.2.2 节能减排潜力分析

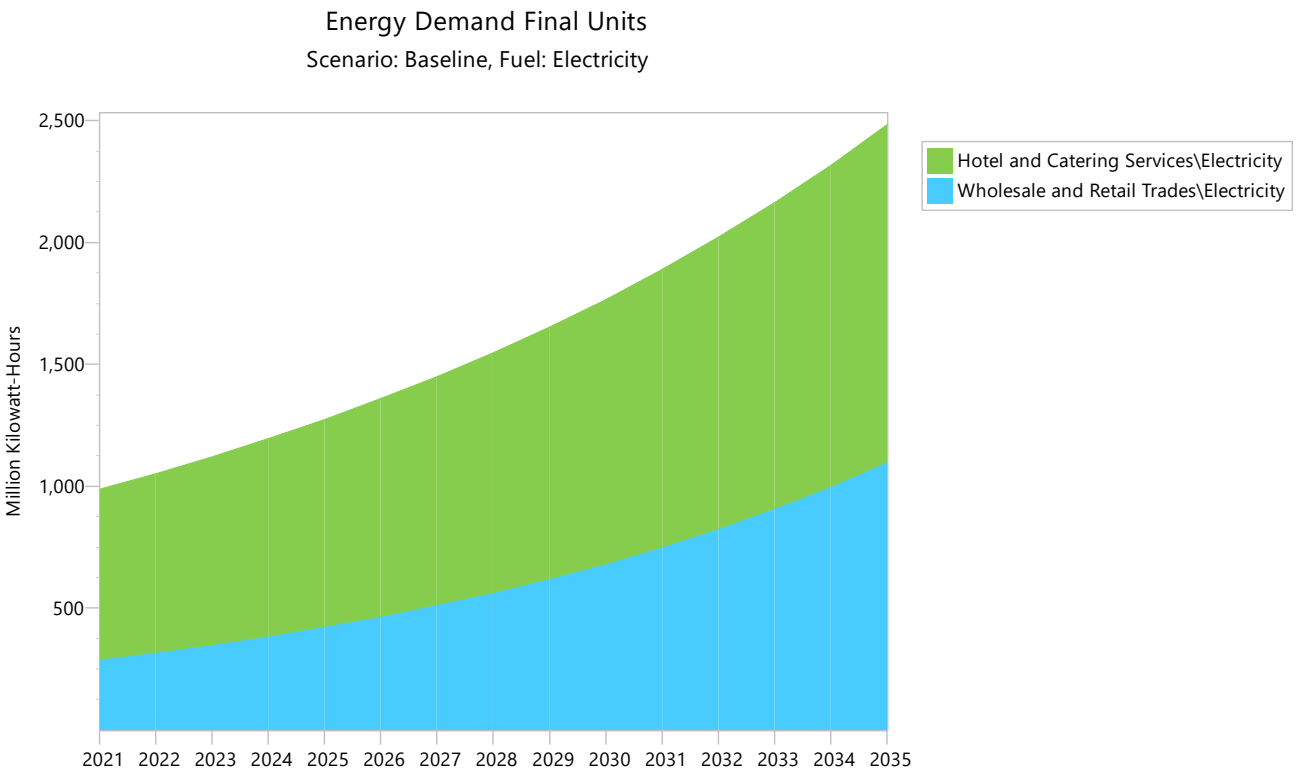

图 4. 2-1 批发零售住宿餐饮业制冷用电量预测（基准情景）

如图 4.2-1，在基准情景下，结合海南省未来产业结构调整目标与第三产业发展目标，根据海南省现阶段批发零售住宿餐饮行业制冷能耗，未来海南省批发零售住宿餐饮业的制冷能耗在自由贸易港的环境下将持续攀升。根据模型模拟结果，2021 年，批发零售业与住宿餐饮业的制冷用电量为 10 亿千瓦时，其中住宿餐饮业占比 71%，批发零售业占比 29%。由于在基准情景下缺少必要的绿色制冷行动措施与能效提升方案，商业制冷能能耗始终保持较高水平，预期至 2035 年该项制冷需求将增长至 25 亿千瓦时。

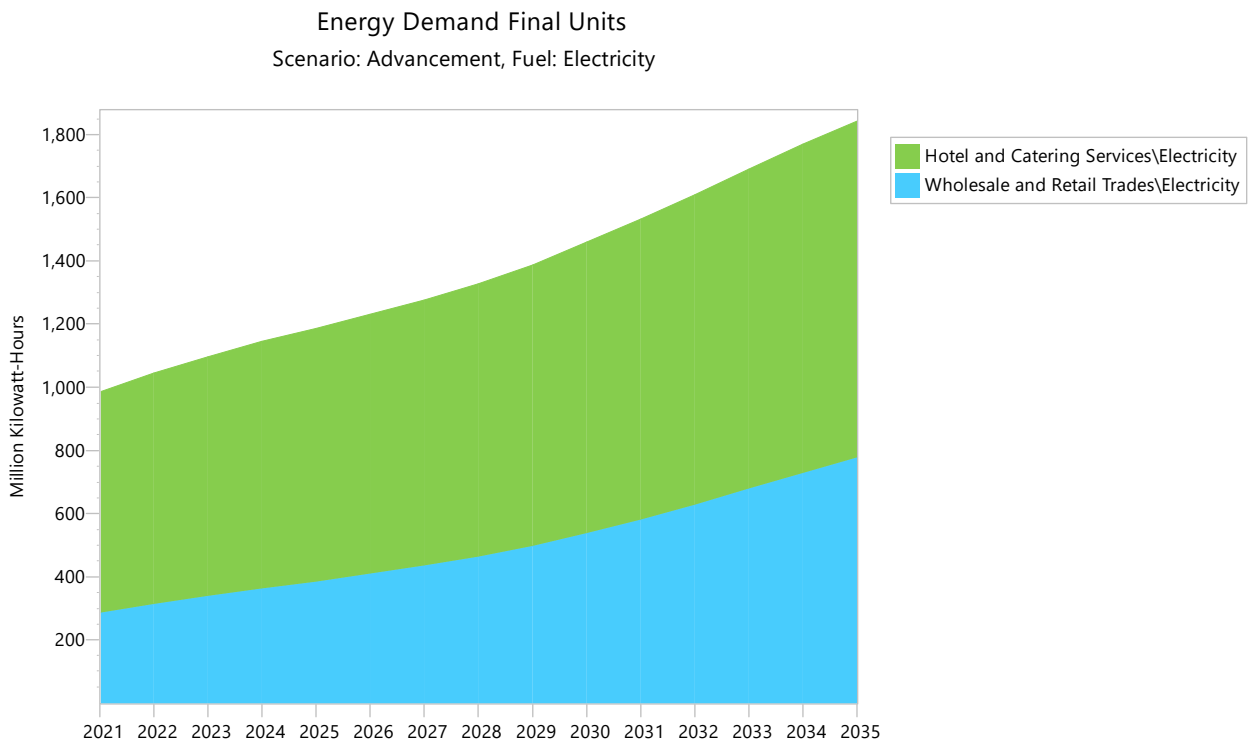

图 4. 2-2 批发零售住宿餐饮业制冷用电量预测（基准情景）

通过提高新增营业面积的节能水平，同时对现有区域进行节能改造，我们得到提升情景下的批发零售住宿餐饮业的制冷用电量预测值。如图 4.2-2，相较于基准情景，提升情景下的用电量增速较缓。到 2025 年，行业制冷用电量预计达到 11.86 亿千瓦时，相较 2021 年增长 20%。预计到 2035 年行业用电量将达到 18.42 亿千瓦时。未来随着自贸港人口和经济的发展，对海南省批发零售住宿餐饮业的需求也将进一步扩大。因此在绿色制冷行动实施后可以有效减少商业领域的基础能耗，在提升情景下商业制冷用电量的增长主要来自于行业规模的不断扩大。

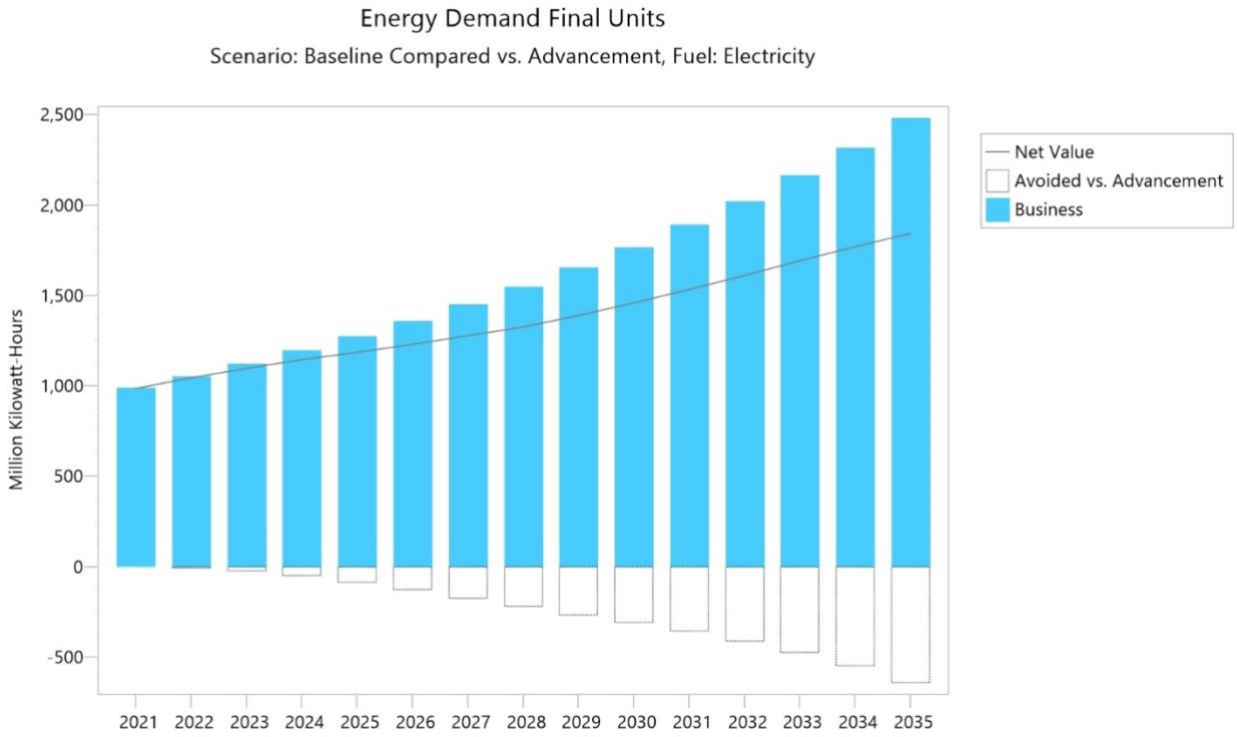

图 4.2-3 不同情景下批发零售住宿餐饮业制冷用电量对比

如图 4.2-3 所示，其中蓝色部分为 2021-2035 年基准情景下海南省批发零售住宿餐饮业制冷用电量，黑色线条为提升情景下行业制冷用电量，空心区域为提升情景相比基准情景的节电量。我们可以发现随着实施绿色制冷行动时间的推移，两种情景下制冷耗电量差距逐渐扩大。2035 年，提升情景下的行业用电量相比基准情景减少了 6.4 亿千瓦时每年。

能耗的降低间接导致了行业碳排放量的降低。如图 4.2-4，根据场景预测，在基准情景下海南省批发零售住宿餐饮业的制冷用能碳排放量将在 2021 年达到 35 万吨，在基准情景下由于能效提升较小，到 2035 年，预计批发零售住宿餐饮业营业场所的碳排放将达到 33 万吨左右。在提升情景下，随着

能效的提升与电力碳排放的降低，到 2035 年碳排放量下降 28%，仅为 25 万吨。开展绿色制冷行动促进节能减排工作刻不容缓。相比基准情景，在提升情景下，到 2035 年批发零售住宿餐饮制冷累计碳排放总量为 461 万吨，累计减少了约 110 万吨的二氧化碳排放。

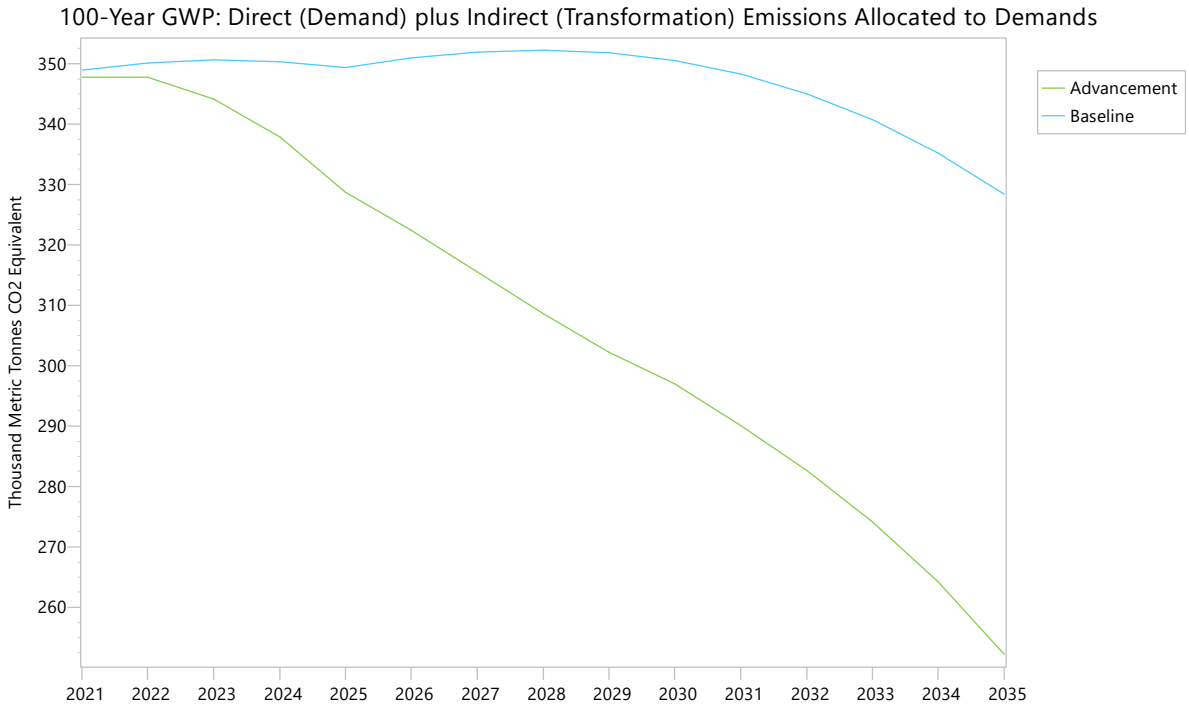

图 4. 2-4 不同情景下批发零售住宿餐饮业制冷碳排放量对比

4.3 汽车空调制冷发展趋势

4.3.1 情景设置

汽车空调（MAC）是海南省制冷体系中的重要组成部分。如图 4.3-1 所示，2021 年海南省机动车保有量约 170 余万辆，

其中，私人汽车和小型货车占比达 95%以上。通过 Gompertz 模型预测至 2035 年海南省机动车总保有量约 340 万辆，汽车空调保有量和未来需求量巨大。

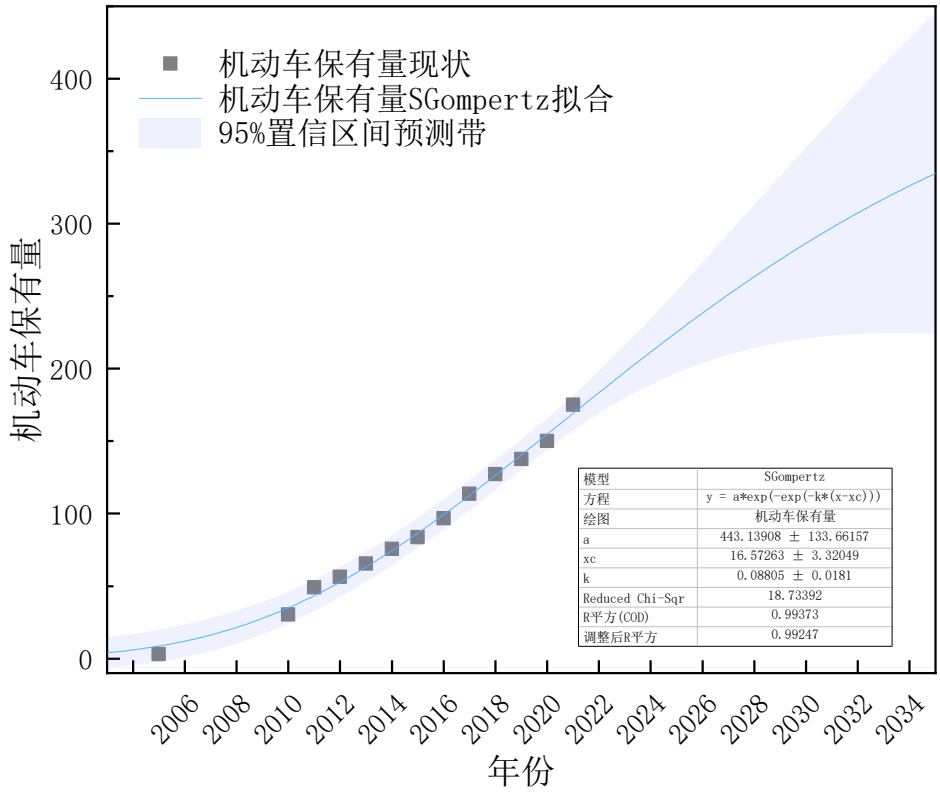

图 4.3-1 海南省机动车保有量现状及预测

汽车空调系统的温室气体直接排放包括空调制冷剂加注泄漏、运行泄漏、维修和报废排放。伴随上世纪《蒙特利尔议定书》的颁布，各国开始出台相应政策，禁止消耗臭氧层物质（ODS）的使用。2002 年后，中国开始禁止 R-12 作为汽车空调的制冷剂，如今，R-12 在当前存量汽车中已几乎

停用。目前汽车空调中，使用较多的空调制冷剂主要类型为HFC-134a（ODP=0，GWP=1430），占比超过 95%。虽然其对臭氧层友好，但由于其具有较高的增温潜势，因此在《基加利修正案》中再次提出全球合作共同减少氢氟碳化物(HFCs)的生产和使用。自 2017 年 1 月 1 日起，在欧洲境内生产和销售的所有新车，禁止使用 GWP > 150 的制冷剂。可以看出广泛作为汽车空调制冷剂的 HFCs 的逐步淘汰将成为必然趋势。根据修正案要求，中国在 2029 年应将 HFCs 消费量在基线水平上削减 10%，到 2035 年削减 30%。该时间表意味着，到 2035 年，采用中高 GWP 制冷剂的产品供给将相应减少。当前汽车空调主流的制冷剂替代产品为 HFO-1234yf(ODP=0，GWP < 1)、R-744（ODP=0，GWP=1）等。研究表明，HFO-1234yf 制热性能不足，但海南地区车辆制热需求较少，同时 HFO-1234yf 具有和 HFC-134a 相近的单位容积制冷量，压缩机无需做出较大改动，压比和排气温度较低。因此 HFO-1234yf 作为新一代低 GWP 环保类工质,是替代 HFC-134a 的较好工质，其在欧洲市场已广泛使用，与目前国内市场使用的氢氟碳化物（HFC）制冷剂相比，其全球变暖潜值降低达 99.9%，在海南地区新能源车辆上应用具有得天独厚的优势。

由于车辆行驶过程中的机械振动，导致车载空调制冷剂相比其他类型制冷剂更容易泄漏。通过调研，海南地区汽车空调生命周期内平均加注 2-3 次制冷剂，每 4-5 年加注一次。

通常私人汽车和小型货车制冷剂加注量在 600-800g。由于收集难度较大，成本高，海南省报废汽车在处理过程中 HFCs 制冷剂往往采用直接排空处理，难以回收。

综上所述，未来海南汽车空调情景设置如下：

表 4-9 机动车制冷剂提升情景描述

基础参数	机动车保有量 2035 年达到 340 万辆；机动车使用年限 15 年，机动车维修率 5%，每次维修加注制冷剂 700g。
基准情景	现有车辆和新增车辆继续使用 HFC-134a 作为制冷剂
提升情景	到 2025 年后所有岛内销售车辆应使用 GWP＜150 且臭氧层友好型制冷剂；存量车不做要求； 到 2030 年后，岛内新增车辆和存量车空调制冷剂加注均应使用 GWP＜150 且臭氧层友好型制冷剂。

4.3.2 节能减排潜力分析

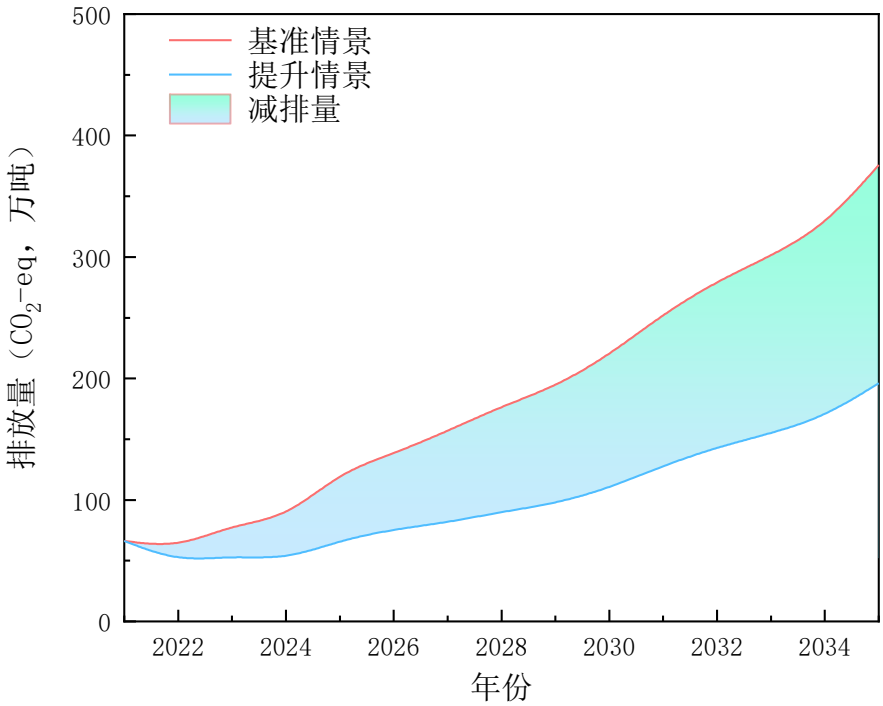

图 4. 3-2 海南省机动车制冷剂碳排放预测

通过初步分析汽车空调直接排放导致的温室气体排放，我们发现在基准情景和提升情景下，汽车空调直接排放导致的温室气体排放量差异巨大。在基准情景下，由于 HFCs 制冷剂较高的 GWP 值，使得海南省汽车空调温室气体直接排放随着机动车保有量的增加逐年攀升，车辆维修与报废数量的增加同样是导致温室气体排放量增加的原因。若保持现状不采取任何措施，预计到 2035 年海南省汽车空调直接排放的温室气体折合 CO_2 将达到 380 万吨/年。

在提升情景下，由于新型制冷剂的采用与 HFCs 的淘汰，

汽车空调温室气体直接排放量增速放缓。预计到 2035 年，汽车空调温室气体直接排放量折合 CO_2 会达到 200 万吨/年，相比基准情景下降 47%。通过提升情景的实施，预计未来 15 年内汽车空调温室气体直接排放量折合 CO_2 将累计减少 1300 万吨，减排潜力巨大。

4.4 冷链物流制冷发展趋势

4.4.1 情景设置

《中国（海南）自由贸易试验区总体方案》明确要求，加强冷链物流基础设施网络建设，打造出岛快速冷链通道，提供高质量的冷链物流快递服务。冷链物流服务体系建设是自由贸易港建设的重要任务之一。据统计，至 2020 年底，海南全省已建成冷库容量约 162 万 m^3，5000m^2 以上中大型冷库占比 92%以上。通过往年海南省 ODS 专项执法检查统计，海南省冷链物流企业中大型冷库多采用了 R-717（ODP=0，GWP=0）制冷剂，剩余的中小冷库采用 R-502、R-404A、R-407C、R-410A、R-134A、R-744 等制冷剂为主。其中 R-22 属于 HCFC 类制冷剂，根据《蒙特利尔议定书》，将于 2030 年前全面淘汰，在专项执法检查过程中发现少数采用 R-22 制冷剂的冷库均已停用。未来海南省将继续推广低碳制冷技术、新型制冷剂应用。建设节能型绿色仓储设施。鼓励综合利用冷能，积极开展 LNG 冷能可再生资源的应用研究。

海南省冷链物流温室气体排放主要来源于冷库电能消耗。因此，冷库能否节能降耗，是降低成本、提高效益、实现绿色制冷的关键。降低冷库能耗可以从以下几个方面入手：

1.减少冷库热负荷：海南省全年高温，省内冷库的一般温度保持在-25℃左右，与室外温差常年保持在 50℃-60℃，同时伴随强烈的日照，使得从墙体和顶棚向库内传热形成的热负荷相当可观，是整个库内热负荷的重要组成部分。增强围护结构的保温性能主要通过加厚隔热层，应用优质隔热层，和应用合理的设计方案等。同时冷库外墙应尽量使用白色或浅色，增强外墙反射能力。由于冷库内货物的流动性，冷库易通过库门与外界进行热量交换，如果没有在库门这个环节做好隔热工作，那么由于库外高温空气渗入和人员的热量带入也将产生一定的热负荷，因此合理的冷库门与封闭式的月台设计同样可以减少冷库与外界的热量交换。冷库内照明设备同样是热量的来源，因此在冷库建设过程中应使用能效高，发热量低的 LED 灯作为主要照明设备。

2.提高制冷系统工作效率：冷库压缩机是主要的用能设备，使用带有经济器的压缩机可以适应负荷变化，实现高效节能。据估算，一个大型冷库中，一台冷量 233kW 的带有经济器的螺杆式机组，按年运行 4380 小时计算(单日运行 12 小时)，一年可节电 11 万千瓦时。同时应以高效换热设备替代水冷的壳管式冷凝器，选择无极调速冷风机替代蒸发排管，

提升换热效率，降低能耗。定期处理换热设备中的杂质同样可以大幅提升制冷效率，降低电耗。研究表明当制冷系统中混有空气时其分压力达到 0.2MPa，系统耗电将增加 18%，制冷量下降 8%，当蒸发器管内有 0.1mm 厚的油膜，为保持设定的温度要求，蒸发温度就要下降 2.5℃，耗电量增加 11%，当冷凝器内水管壁结水垢 1.5mm 时，冷凝温度就要比原来的温度上升 2.8℃，耗电量增加 9.7%。

3.蒸发设备除霜：蒸发设备定期除霜可以大幅降低冷库能耗，增加热传导效率。研究表明当霜层厚度 > 10mm 时，其热传递效率降低 30%。优先选用热气融霜代替电加热融霜，减少耗电。可以利用压缩机排热作为融霜热源。冲霜回水的温度一般比冷凝器进水温度低 7-10℃，经过处理后可以作为冷凝器的冷却水，降低冷凝温度。

4.蒸发温度调节：蒸发温度与库房内温度温差的缩小，蒸发温度就能相应的提高，此时，如果冷凝温度保持不变，则就意味着制冷压缩机制冷量的提高，也可以说在获得相同的制冷量的情况下，可以减少电能的消耗。根据估算，当蒸发温度每降低 1℃，则要多耗电 2~3%。另外，缩小温差值对降低库房内贮藏食品的干耗亦是极为有利的。

5.利用峰谷电价调节和冰蓄冷：海南省峰谷电价差距达到 2 倍以上。同时夜间温度比日间温度低 6-10℃，因此利用夜间温度较低，电价较低的条件可以充分发挥冰蓄冷的优势，

降低能耗与制冷成本。

6.其他设备的自动控制：伴随着数控技术和信息技术的不断发展，智能冷库的更新迭代同样日新月异。目前冷库常用的自动控制设备和功能包括电子膨胀阀、按需除霜功能、夜间回置库温设定、冷风机风扇自动控制、库门防结露控制、压缩机组和冷凝风扇控制等。

综上，通过查阅相关资料，若冷库能够实现上述节能措施，可以有效节能 15%-35%，因此选取 25%作为长期节能提升目标。未来海南冷链情景设置如下：

表 4-10 冷链物流提升情景描述

基础参数	2020 海南省冷库容量 162 万 m^3，到 2025 年冷库容量 1607 万 m^3，2030 年冷库容量 2096 万 m^3，2035 年冷库容量 2398 万 m^3，冷库平均能耗 0.12 千瓦时/$m^3 \cdot d^{-1}$。
基准情景	冷库平均能耗保持现状不变。
提升情景	到 2025 年全省冷库平均能效相比 2020 年现状提升 5%； 到2030年全省冷库平均能效相比2020年现状提升15%； 到2035年全省冷库平均能效相比2020年现状提升25%。

4.4.2 节能减排潜力分析

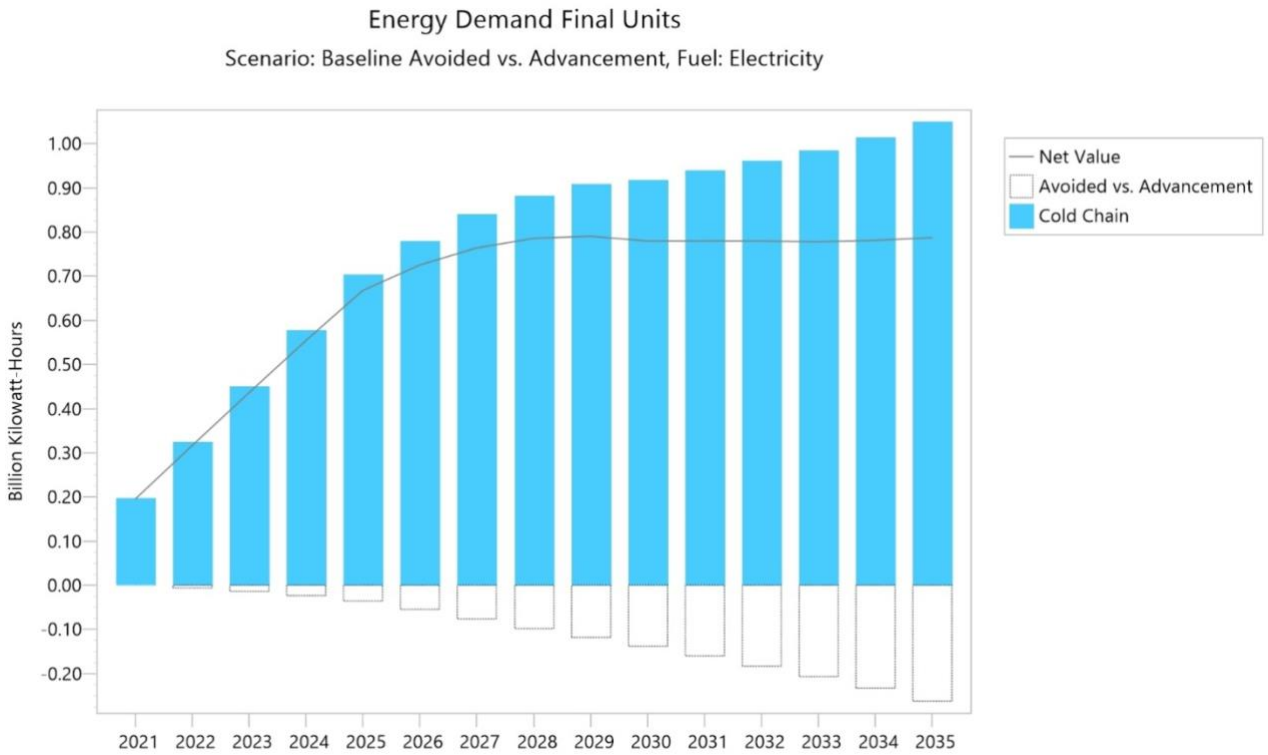

图 4. 4-1 不同情景下冷链物流业制冷用电量对比

通过分析基准情景和提升情景下冷链物流快速发展后的制冷用能需求，我们发现在基准情景下，由于目前海南省冷链规模较小，在 2021 年海南省冷链物流制冷用电量仅为 2 亿千瓦时，伴随着冷链物流规模的迅速增长，在 2035 年海南省冷链物流制冷用电量将达到 11 亿千瓦时。通过冷库能效提升与节能设施建设，预计在提升情景下，冷链物流用电量将在 2027 年达到峰值并保持至 2035 年，用电量为 8 亿千瓦时。通过对比基准情景，在提升情景下，海南省未来 15 年冷

链物流制冷将累计减少 32 亿千瓦时的电能消耗。

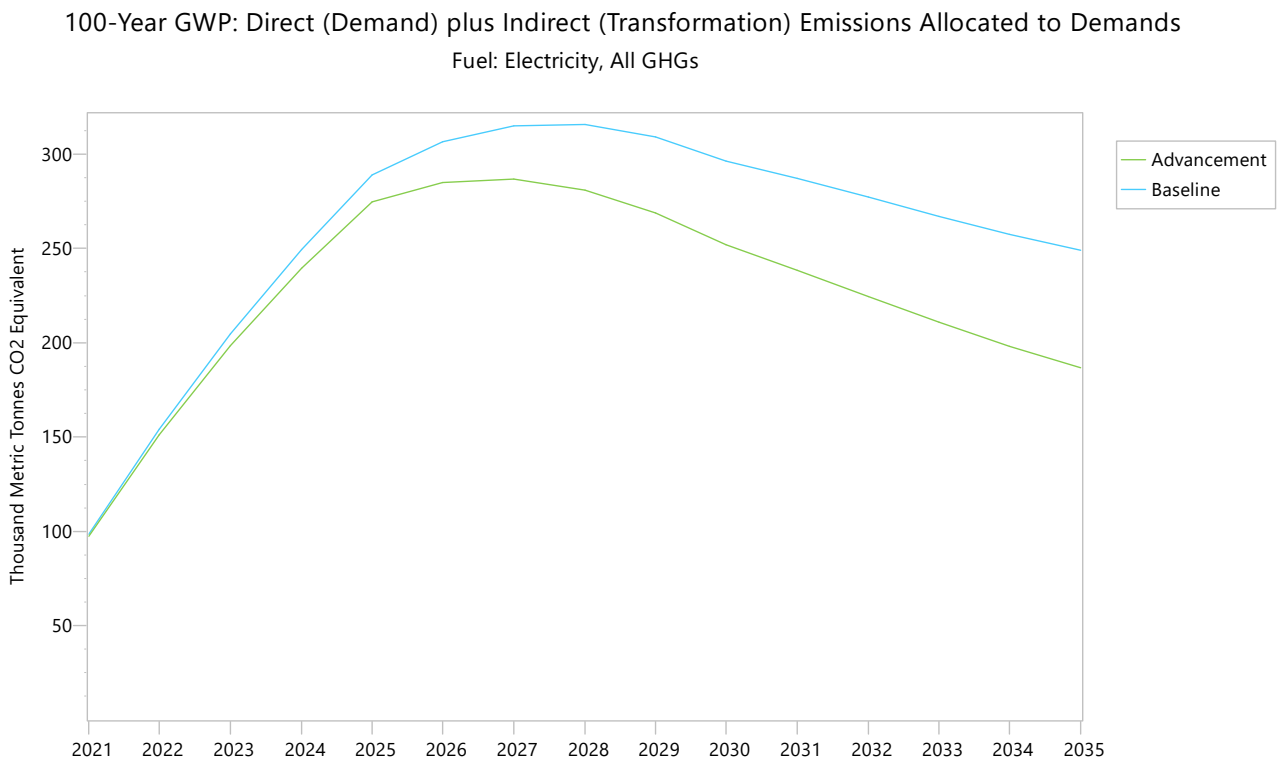

图 4. 4-2 不同情景下冷链物流业制冷用电量对比

结合海南省电力清洁化路径分析未来海南冷链物流行业电力消耗导致的碳排放，2021 年海南省冷链物流企业用电产生的碳排放约 10 万吨。在基准情景下，2028 年海南省冷链物流企业碳排放将达到峰值 32 万吨，后逐步下降，在 2035 年下降至 25 万吨。在提升情景下，2027 年海南省冷链物流制冷用能碳排放将达到峰值 29 万吨，相比基准情景提前一年达峰，在 2035 年，提升情景下的制冷用能温室气体排放为 19 万吨。通过能效提升与节能改造，预计未来 15 年海南省冷链物流制冷碳排放将累计减少 73 万吨，同样是海南省未

来实现碳中和路径上的减排重点。

4.5 小结

通过制冷领域各项节能措施与低 GWP 值制冷剂替代，海南省未来制冷领域碳排放将大幅度降低。

在居民生活领域提升情景下，预计未来 15 年可以减少电能消耗 186.5 亿千瓦时，减少二氧化碳排放 630 万吨。通过制冷剂替代，预计未来 15 年内将累计减少温室气体折合二氧化碳排放 1600 万吨。因此通过居民生活领域绿色制冷行动可以在未来 15 年内有效减少 2230 万吨二氧化碳排放。

商业领域中的批发零售住宿餐饮业在提升情景下，通过既有和新能建筑节能改造，提高制冷设备能效，预计至 2035 年累计可以减少电能消耗 74 亿千瓦时，累计减少二氧化碳排放约 110 万吨。

在汽车空调领域，提升情景下通过制冷剂管控与替代，逐步限制 GWP 高于 150 的制冷剂使用，未来 15 年内预计可以减少温室气体折合二氧化碳排放 1300 万吨。

冷链物流业提升情景主要从冷库能效提升方面进行，预计未来 15 年内将累计减少电能消耗 32 亿千瓦时，累计减少二氧化碳排放约 73 万吨。

第五章 海南绿色高效制冷行动保障措施研究

通过对居民生活、现代服务业、汽车空调行业和冷链物流行业制冷的发展现状的研究，结合情景设置，聚焦终端用户后发现，能效水平的提升有助于减少用电需求，为高效低碳自贸港建设提供重要支撑。

5.1 明确行业目标

为此，结合多方需求，识别重点解决问题，与双碳目标呼应，明确绿色制冷发展目标。

在居民生活制冷方面通过制冷设备绿色化、使用过程的绿色化、终端回收绿色化的角度出发提升消费者对节能产品的认可。合理设置节能产品补贴，促进绿色消费。提升空调、冰箱能效等级准入市场。开展节能替换及老旧冰箱空调安全回收。

在住宿、餐饮、批发零售领域提升营业场所公共建筑节能标准，对新增营业场所的能耗水平做出评判与规定，提升行业制冷空调等能效标准，制定商业制冷节能设备采购目录清单。同时对处于老旧建筑中的现有营业场所进行节能改造，实现制冷能效提升。

在汽车空调领域，针对海南发展新能源车的地理区位优势，结合海南电动车发展规划，逐步淘汰老旧车辆，重点发展低 GWP 汽车制冷剂推广、应用与替换。

在冷链物流领域，提升冷库能效水平，优化冷库仓储结构，建立高效便捷的冷链配送体系，充分发挥货源优势和海运、空运、铁路运输优势，建设辐射国内消费端市场的冷链物流分拨基地。

5.2 强化标准引领

加快修订制冷行业环保制冷剂产品标准和安全标准，促进低GWP值制冷剂的推广应用。加强能效标准采信，在政府采购、工程招标、节能技改、检测认证、市场监管等政策措施的重要技术依据，探索制定海南能效标准。

加强制冷剂回收后处理和再生过程研究。对于制冷剂违法排放要严格管理，推动生产者责任延伸制度（EPR），利用征收和补贴的办法鼓励制冷剂回收利用，减少制冷剂排放，加速制冷剂的清洁化替代与转型。对维修人员进行培训和资质认证，减少维修过程中制冷剂消耗量。减少运行过程泄漏，在运行管理中进行远程监测。加强制冷剂回收利用，建立回收与再生、销毁体系，不断提升我省制冷剂的回收控制率。

5.3 鼓励补贴消费

针对家用制冷建立高于国家标准的能效标准，提供以旧换新等政策的支持。开展多渠道回收工作，增加科研投入和信息化管理投入。争取在制冷设备制造和试验过程中、工商

制冷维修和拆废过程中、包装余气控制过程中开展更多的回收利用工作，提高回收数量、回收质量和管理技术。争取回收再生制冷剂的更广阔的市场空间，利用推动碳交易或者以旧换新等方式提高经济效益，用经济杠杆提高企业主动开展制冷剂回收的积极性。通过政策鼓励消费者选购高能效产品，对节能产品提供节能补贴，结合碳积分和碳足迹促进居民购买绿色产品。针对相关产品制定绿色采购政策。对重点领域提出亮点工作，做出具有引领性的工作，比如制定高标准的政府采购目录等。

5.4 加强宣传引导

加强制冷剂规范管理和回收的科普宣传。为进一步提高企业经营者和普通群众的环保意识，提高国民环境风险意识，让更多的人主动参与到生态环境保护的队列中来，加强制冷剂排放污染的宣传。依据我省实际，选择受众面大、群众普遍关注的宣传载体，及时推送加强制冷剂规范管理和回收的工作动态信息和科普知识，提升公众对我省绿色高效制冷行动的工作政策知晓度和认同感。

加强制冷剂回收技术的培训，加强相关技术人员与执法人员的培训，规范安装维修流程，完善技术人员资质认证服务。

5.5 促进国际合作

利用海南自贸港区位优势，举办热带岛屿地区制冷学术研讨活动，聚焦区域制冷典型案例，促进跨区域间开展绿色制冷技术交流、重大项目论证、海外人才智力引进合作等，推动东盟间国家绿色制冷技术标准化设立，打造行业标杆。

附件 1

海南绿色高效制冷行动方案（草案）

为贯彻落实《海南省“十四五”应对气候变化规划》《海南省减污降碳协同增效专项行动方案》等文件要求，推动自贸港制冷产业绿色低碳发展，促进绿色消费，争做“双碳”工作优等生，制定本方案。

一、重要意义

气候变化与臭氧层破坏均是全球性环境问题。海南作为热带岛屿地区，气候变化下的海平面上升、臭氧污染、生物多样性破坏等生态环境问题将对自由贸易港发展产生深远影响。我省户均空调和冰箱拥有量均高于全国平均水平，且使用时间长，居民制冷用电占生活总用电量的 45%左右。随着自贸港建设的深入，以冷链物流为代表的现代服务业拉动的商业制冷需求将不断增长，制冷产业节能空间较大。实施绿色高效制冷行动，是海南落实《巴黎协定》和《〈蒙特利尔议定书〉基加利修正案》、践行碳达峰碳中和战略的责任担当，是推动国家生态文明试验区建设、实现应对气候变化与臭氧层保护协同增效的重要举措。

二、主要目标

到 2025 年，家用空调能效水平提升 30%以上，新增营业场所制冷能效水平提升 20%以上，绿色高效制冷产品市场占有率提高 20%，实现年节电约 14 亿千瓦时。到 2035 年，家用空调能效水平累计提升 50%，新增营业场所制冷能效水平提升 35%以上，绿色高效制冷产品市场占有率提高 50%，采用 GWP 不高于 150 的制冷剂的家用空调市场供应比例不低于 30%，实现年节电约 22 亿千瓦时。

三、重点任务

（一）节能优先，强化标准引领

加强既有建筑节能改造。结合我省热带海岛气候环境特点，将高效制冷纳入绿色建筑标准体系。主动对接国际先进建筑节能理念，在装配式建筑设计指南中关注绿色高效制冷能耗标准，建立公共建筑能耗限额标准，加强公共建筑能耗限额管理，推动超过能耗限额的公共建筑的节能改造。

全面开展绿色建筑创建。探索建筑隔热、通风等绿色建筑相关的技术，出台绿色建造技术导则和计价依据，规范设计文件的自查和审查工作，制定绿色建筑设计及施工图审查要点，到“十四五”期末，城镇新建建筑设计和施工阶段全面执行现行国家、行业及地方节能标准。

严格执行制冷产品能效标准。结合终端用户需求，在市场准入层面提高制冷产品能效标准水平，强制淘汰低效制冷

产品，在园区、景区、酒店等公共区域，推动建筑制冷可持续性方向转型。加快修订制冷行业环保制冷剂产品标准和安全，促进低温室效应潜能值（GWP）制冷剂的推广应用。

加强能效标准采信。开展制冷产品能效“领跑者”试点，将制冷剂 GWP 与能效信息作为政府采购、工程招标、节能技改、检测认证、市场监管等政策措施的重要技术依据。根据海南应对气候变化与碳达峰碳中和工作要求，探索逐步制定海南绿色高效制冷能效标准。

（二）科技支撑，推广低碳技术

实施制冷关键技术研发与应用。重点围绕低 GWP 制冷剂替代、变频控制、高效压缩机、新型蓄冷材料、综合能源利用等技术，加强适合海南热带海洋岛屿环境下的绿色制冷技术和产品研发，将先进适用的绿色高效制冷技术纳入《海南省节能技术、产品（设备）推荐目录》，引导适宜本省的绿色制冷产品。

探索建立绿色高效制冷技术创新试验区。发挥海南区域优势与气候特点，推动建设企业技术创新中心、企业技术研究院、联合重点实验室等产业创新平台和设立院士创新平台，把海南作为多种绿色高效制冷技术的应用场所。在石化、数据中心、冷链、旅游等领域加强制冷技术创新应用，力争在制冷新材料、能源资源高效循环利用等方面突破一批关键技术，建立绿色制冷研发体系和服务体系。

（三）项目引领，深化节能降碳

推动居民生活制冷绿色高效。从制冷设备、使用过程、终端回收等环节的绿色化角度出发，提升消费者对节能产品的认可。提升空调、冰箱能效等级准入市场。开展节能替换及老旧冰箱空调安全回收。

推动重点园区绿色高效制冷。探索在海口江东新区、三亚崖州湾科技城、博鳌乐城国际医疗旅游先行区等自贸港重点园区，采用多能互补集成优化的方式，建设区域供冷能源站及配套管网，建设高效绿色供冷系统。

推动冷链物流绿色发展。推广低碳制冷技术、新型制冷剂应用。支持罗牛山等冷链物流龙头企业建设节能型绿色仓储设施。鼓励综合利用冷能，积极开展LNG冷能可再生资源的应用研究。

推动汽车空调制冷绿色发展。结合海南清洁能源汽车发展规划，逐步淘汰老旧车辆，积极推广、应用与替换低 GWP 汽车制冷剂。加强汽车空调的资源化回收利用，有效防止制冷剂泄漏。

（四）制度创新，鼓励绿色消费

拓展绿色制冷消费渠道。加大绿色高效制冷创新产品政府采购支持力。鼓励大宗采购企业通过节能自愿承诺、参与推广倡议等方式提高绿色高效制冷产品采购比例。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。鼓励零售企业、电商平台开辟绿色产品销售专区，集中展示销售绿色高效产品。

创新制冷剂回收模式。依托零售企业、电商平台的服务网点，探索建立制冷剂回收利用模式。结合碳普惠机制，积极运用“互联网+”，推动专业废旧家电回收机构与商场超市合作，提高回收便捷性。

加强制冷剂回收处理。推行生产者责任延伸制度，减少制冷剂排放，加速制冷剂的清洁化替代与转型。对维修人员进行培训和资质认证，减少维修过程中制冷剂消费量。减少运行过程泄漏，在运行管理中进行远程监测。

（五）宣传引导，营造良好氛围

开展绿色高效制冷科普宣传。在全国低碳日、世界环境日、博鳌亚洲论坛等重要节点，及时推送加强制冷剂规范管理和回收的工作动态信息和科普知识，提升公众对我省绿色高效制冷行动的知晓度和认同感。

加强制冷剂回收能力建设。加强相关技术人员与执法人员的培训，规范安装维修流程，完善技术人员资质认证服务。不断提升我省制冷剂的回收率。

四、保障措施

（一）加强组织领导

深入贯彻落实国家应对气候变化战略，在碳达峰碳中和

工作领导小组领导下，加强省级部门和各市县人民政府的统筹协调，指导行动方案落地。

（二）加大资金投入

采取财政、税收、价格、政府采购等方面的措施，鼓励、支持制冷剂替代品和替代技术，以及制冷剂监测技术和方法的科学研究、技术开发和推广应用。加大绿色金融支持力度，鼓励对制冷剂进行回收、循环利用和转化利用。

（三）强化监督考核

建立健全科技制冷剂使用监测评估与考核机制，定期组织开展专项监督检查，及时发现问题，协调解决问题。在制冷维修行业设立职业技能培训与持证上岗，规范制冷剂使用和回收。

（四）加强交流合作

利用海南自贸港区位优势，举办绿色制冷国际论坛，开展热带岛屿地区制冷学术研讨活动，聚焦区域制冷典型案例，促进跨区域间的绿色制冷技术交流，探索推动“一带一路”国家绿色高效制冷项目合作。

附件 2

海南省居民家用制冷设备使用状况调查

尊敬的市民朋友您好：

本问卷是关于海南省居民家用制冷设备现状的调研，旨在为未来提升海南省居民家用制冷设备能效水平、促进节能减排提供参考依据，十分感谢您积极参与本问卷的填写，您的帮助对我们十分重要。

1.您所在的城市: [填空题] *

_____

2.您家安装的空调数量 [单选题] *

o1 台

o2 台

o3 台

o4 台及以上

3.您家空调能效等级[矩阵文本题] [输入 0 到 3 的数字] *

空调上方“中国能效标识”字样的彩色标签，分为 1、2、3 级，同等制冷量条件下，能效等级越低越省电

空调 1	_____
空调 2	_____
空调 3	_____
空调 4	_____

4 您家空调的制冷量[矩阵单选题] *

额定制冷量：1 匹：2300W~2600W；1.5 匹：3200W~3500W；2 匹：4600W~5100W；2.5 匹：6100W；3 匹：7200W。

	1 匹	1.5 匹	2 匹	2.5 匹	3 匹
空调 1	o	o	o	o	o
空调 2	o	o	o	o	o
空调 3	o	o	o	o	o
空调 4	o	o	o	o	o

5.您家空调的基本功能 [单选题] *

o单冷式空调

o冷暖式空调

6.您是否使用过制暖功能 [单选题] *

o是

o否

7.您家空调平均使用年龄 [单选题] *

o0-2 年

o2-4 年

o4-6 年

o6 年以上

8.您家在使用空调期间每天平均使用时长
[填写 0 小时到 24 小时]*

_____

9.您家空调使用年限内维修次数 [单选题] *

o0 次

o1~2 次

o3~4 次

o5 次以上

10.您家空调维修方式 [单选题] *

o联系空调售后服务

o联系家电维修公司

o其他

11.您家废旧空调的主要处置方式 [多选题] *

□以旧换新

□废品回收

□二手转卖

□维修后继续使用

□暂无废旧空调

□其他

您家废旧空调的处置方式是 [填空题] *

_____

12.您认为最可能让您主动更换老旧空调的因素是 [多选题] *

□老旧空调损坏

□节能空调补贴

□以旧换新补贴

□功能外观升级

13.您家空调购买途径 [多选题] *

□网上商城

□家电商场

□品牌专卖店

□其他

您家的空调购买途径是 [填空题] *

_____

14.您在选择空调时考虑的因素[矩阵量表题] *

非常重要：5 分，重要：4 分，比较重要：3 分，一般重要：2 分，不重要：1 分

	1	2	3	4	5
外观	o	o	o	o	o
功能	o	o	o	o	o
能效	o	o	o	o	o
品牌	o	o	o	o	o
价格	o	o	o	o	o

15.您是否会主动购买节能空调 [单选题] *

o是

o否

16.您不购买节能空调的主要顾虑是 [多选题] *

□使用效果

□产品质量

□产品价格

□其他

17.若对节能空调实施优惠补贴政策，您是否会更换老旧空调 [单选题] *

o是

o否

o不确定

18.您家冰箱的能耗等级 [单选题] *

o1 级

o2 级

o3 级

o4 级

o5 级

19.您家冰箱使用年限 [单选题] *

o0-3 年

o3-6 年

o6-9 年

o9-12 年

o12-15 年

o15 年以上

20.您对开展家用制冷设备节能换购补贴有什么建议和意见 [填空题] *

_____

附件 3

附件 3-1 罗牛山冷链物流园区调研

附件 3-2 省内商业场所调研

附件 3-3 澄迈软件园绿色制冷调研

附件 3-4 重点园区绿色制冷研讨会