



中国人口未来消费行为及其碳排放含义研究

**Research on the future consumption behavior of Chinese
population and its carbon emission implications**

中国人民大学

2023 年 3 月

Renmin University of China

关于作者

王 克 中国人民大学环境学院副教授

刘俊伶 哈尔滨工业大学（深圳）助理教授

王艳华 中国人民大学博士研究生

张宇宁 中国人民大学博士研究生

王甜甜 中国人民大学博士研究生

王佳邓 中国人民大学博士研究生

刘芳名 中国人民大学博士研究生

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承担责任。
- 凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。

Disclaimer

- Unless otherwise specified, the views expressed in this report are those of the authors and do not necessarily represent the views of Energy Foundation China. Energy Foundation China does not guarantee the accuracy of the information and data included in this report and will not be responsible for any liabilities resulted from or related to using this report by any third party.
- The mention of specific companies, products and services does not imply that they are

摘 要

中国人口特征正在发生重大变化,人口总量首次迎来负增长,城镇人口比重、老龄人口占比、中等收入群体持续增加,但贫富差距依然很大。未来中国人口总量将呈下降趋势,城镇化进程继续深入,90%以上农村人口流向大型、中型和小型城市,老龄化趋势逐步加深,65岁以上人口数量占比2060年达到22.6%,收入结构向着共同富裕的目标迈进,2050年中等收入人数达到9亿。

不同人口特征产生的消费行为不同。城镇化进程将提升人均居住面积和公共建筑面积、家电保有量和交通出行水平,并会影响冬季取暖方式选择。由于不同年龄人群的消费需求差异,人口老龄化将产生消费需求降低和消费结构调整,取暖需求增长而制冷需求降低,对电梯等配套设施以及智能门锁、烟雾报警器、温度传感器等智能家居需求增加,交通部门的能源需求下降,医疗需求增长。收入增长和共同富裕将提高居民各方面的能源服务需求,提高居民的人均住房面积和家电保有量,产生更高的取暖和制冷需求,提升交通部门的能源需求。

中国式现代化强调了以人为本的中心思想,也是我国落实“碳达峰、碳中和”战略目标的根本要求。人民日益增长的美好生活需要必然带来更高的能源消费需求,给中国实现“双碳”目标带来极大挑战。三种人口结构变化都将影响居民消费需求,城镇化和共同富裕对消费和能源消耗提升的驱动作用抵消了老龄化降低能源需求的效应,在整体上提高了能源需求,推动全社会能源消费总量在近中期持续上升,给碳达峰、碳中和目标实现带来巨大挑战。保持当前的能源消费趋势,未来全社会一次能源消费持续增长,到2050年达到峰值80.4亿吨标煤,到2060年下降至76.1亿吨标煤,相对2020年增长50.8%。在碳中和情景下,总体碳排放将在2025年达到峰值,然后迅速下降,到2060年实现碳中和目标。

为实现碳中和目标,中国应从需求端和供给端同时发力,加强能源消费总量控制,加快能源结构调整,尽早实现碳达峰。在需求端需要构建低碳、智慧、安全、高效的基础设施体系,开展低碳生活方式教育宣传,形成低碳消费理念和绿色文化,促进低碳出行、低碳产品消费,降低居民消费行为的碳足迹。在供给端中要求工业、建筑部门立即达峰,电力部门在和交通部门分别“十四五”末期和“十五五”末期达峰,达峰后各部门加快电气化进程和电力系统脱碳,推动氢能、太阳能、生物质能应用,加快CCS在钢铁、水泥、电力部门的应用。

目 录

第一章 中国人口发展特征与未来发展趋势.....	1
1.1 中国人口发展特征.....	1
1.1.1 人口总量特征.....	1
1.1.2 人口空间分布特征.....	1
1.1.3 人口年龄分布特征.....	2
1.1.4 人口收入分布特征.....	3
1.2 中国人口未来发展趋势.....	5
1.2.1 人口总量未来变化趋势.....	5
1.2.2 人口城乡分布未来变化趋势.....	6
1.2.3 人口年龄分布未来变化趋势.....	7
1.2.4 人口收入分布未来变化趋势.....	8
第二章 人口结构特征与消费行为关系.....	10
2.1 人口城乡分布与消费行为关系.....	10
2.1.1 城乡人均建筑面积变化趋势.....	10
2.1.2 城乡居民家电保有量变化趋势.....	11
2.1.3 不同规模城市交通基础设施差异.....	12
2.1.4 城乡供暖差异.....	13
2.2 人口年龄结构与消费行为关系.....	14
2.2.1 不同年龄结构人群居住用能差异.....	15
2.2.2 不同年龄结构人群交通用能差异.....	18
2.2.3 不同年龄结构人群医疗用能差异.....	18
2.3 人口收入分布与消费行为关系.....	19
2.3.1 不同收入群体人均能源消耗.....	19
2.3.2 不同收入群体家电保有量差异.....	20
2.3.3 不同收入群体供暖和制冷能耗差异.....	21
2.3.4 不同收入群体的能源使用结构差异.....	22
2.3.5 不同收入群体的交通出行差异.....	22
第三章 人口未来需求与碳排放趋势.....	24

3.1 人口发展趋势的能源消费需求和碳排放影响分析框架	24
3.2 人口未来需求预测	25
3.2.1 建筑部门需求预测	26
3.2.2 交通部门需求预测	27
3.2.3 工业部门需求预测	30
3.3 情景设置	31
3.4 中长期能源消费	32
3.5 中长期碳排放趋势和碳中和路径分析	36
第四章 结论与政策建议	40
4.1 结论	40
4.2 政策建议	42
4.2.1 明确需求端关键能源需求规模和结构变动	42
4.2.2 供给端尽快达峰，加速脱碳	43

第一章 中国人口发展特征与未来发展趋势

1.1 中国人口发展特征

1.1.1 人口总量特征

随着长期累积的人口负增长势能进一步释放，总人口增速明显放缓，2022 年中国人口出现近 61 年来首次负增长，进入了新发展阶段。统计数据显示，1953 至 2021 年，全国人口保持增长趋势。2022 年末，全国人口为 141175 万人，比 2021 年减少 85 万人；人口年平均增长率呈下降趋势，2022 年下降至-0.60‰。与此同时，家庭规模逐步变小，平均每个家庭户的人口为 2.62 人。

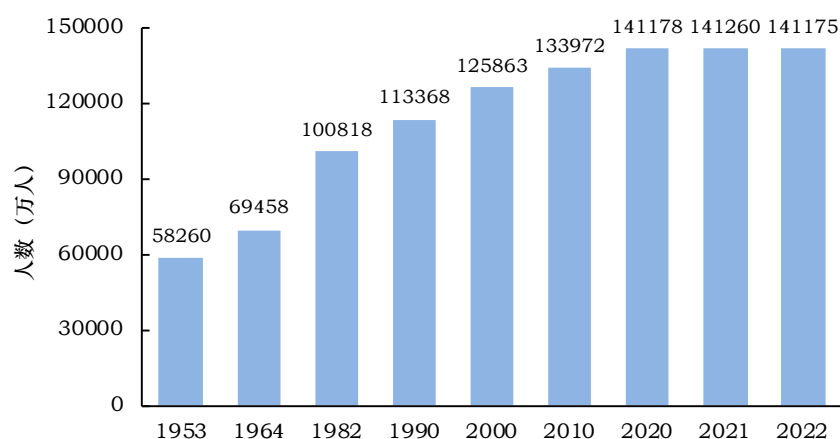


图 1-1 历次普查及 2021、2022 年全国人口¹

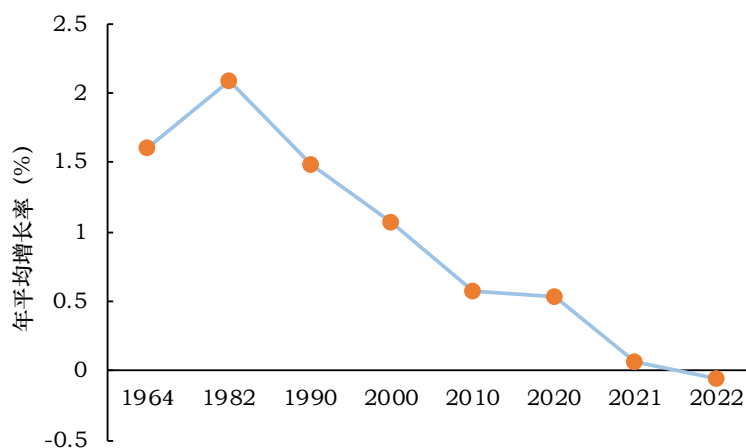


图 1-2 历次普查及 2021、2022 人口年平均增长率²

1.1.2 人口空间分布特征

1 来源：第七次人口普查公报、国家统计局数据发布

2 来源：第七次人口普查公报、国家统计局数据发布

城市群成为中国城镇化的主要载体，城镇人口向（特）大城市（地区）与县市域两端集聚趋势仍将持续，城镇人口比重持续增长，与 2010 年相比，2022 年城镇人口比重上升 15.54 个百分点，占 65.22%。人口还呈现出向经济发达区域集聚的趋势，中西部地区人口向东部地区流动。2010-2022 年间，东部地区人口所占比重上升 2.15 个百分点，中部地区下降 0.79 个百分点，西部地区上升 0.22 个百分点，东北地区下降 1.20 个百分点。此外，人口流动趋势放缓、呈现就地就近流动，城乡双向流动等新趋势。

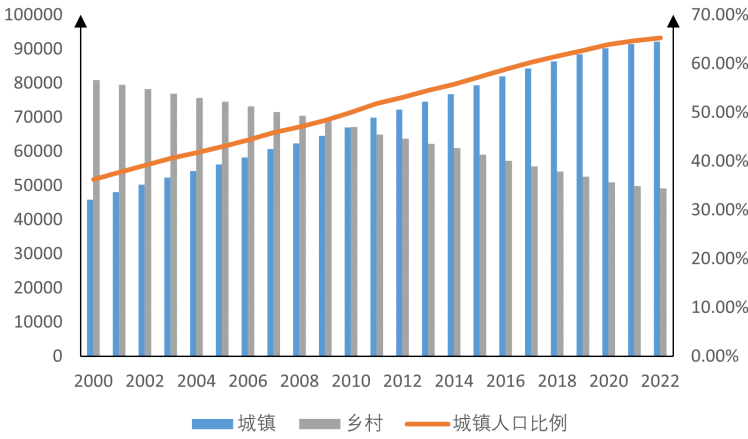


图 1-3 2000-2022 年城乡人口分布³

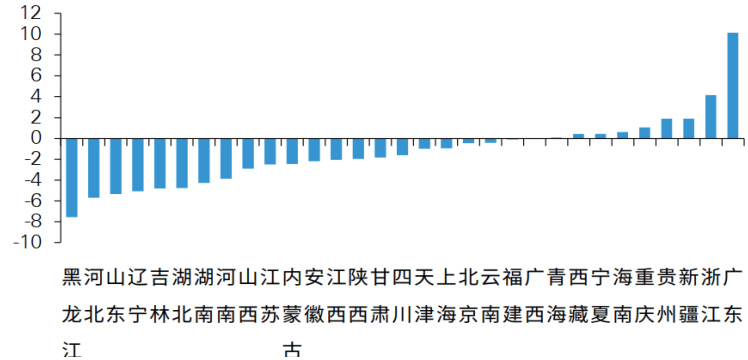


图 1-4 2010-2020 年间各省市 15-59 岁人口数量变化⁴

1.1.3 人口年龄分布特征

中国老龄化趋势日趋显著，老龄人口的数量增速加快，占比持续增长。第七次人口普查数据显示，与 2010 年相比，60 岁及以上人口的比重上升 5.44 个百分点，占比达 18.70%。2021 年，65 岁及以上人口突破 20056 万人，首次达到 14.20%，根据联合国划分标准，中国已经进入“中度老龄化”社会。

3 来源：第七次人口普查公报、国家统计局数据发布
 4 来源：KMPG，从七普看中国人口变化的趋势和机遇。

中国新出生人口数量占比逐步降低，少子化将进一步加速中国的老龄化进程。中国当前的人口年龄结构表现为青少年人口较少，中老年人口较多。人口总量将持续减少，老龄人口占比持续增长。结合历次人口普查数据的人口年龄结构统计，69 岁以上人群以及 65 岁以上人群占比自 1953 年以来稳步增长，增长速率有加快的趋势。而 0-14 岁人群占比总体呈下降趋势，尽管在 2010 年到 2021 年有所增加，但是相对老年人口占比的增加变化较小。

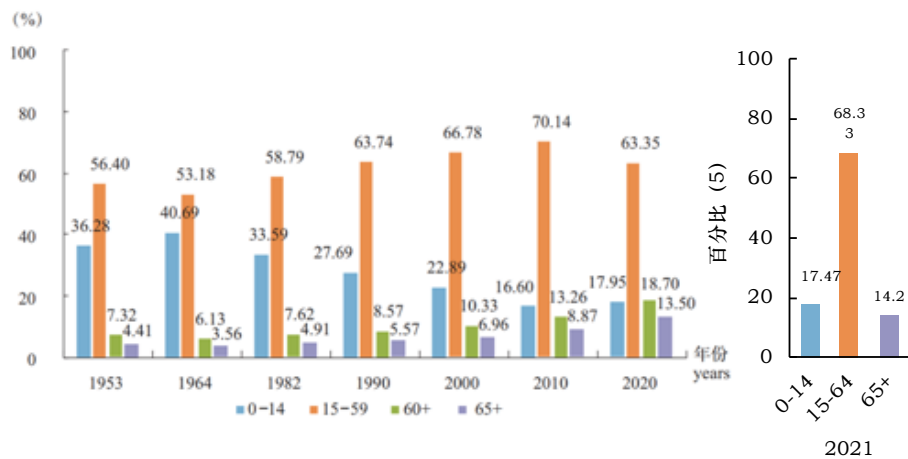


图 1-5 中国历次人口普查及 2021 年各年龄段人口占比⁵

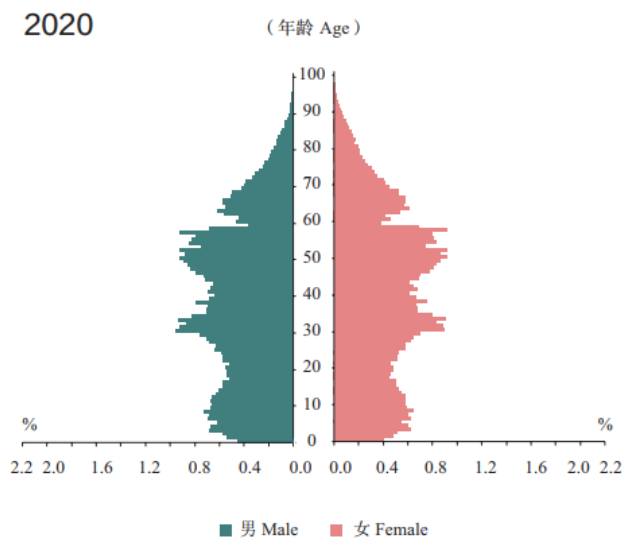


图 1-6 第七次人口普查分年龄段人口占比⁶

1.1.4 人口收入分布特征

我国进入中等收入的人口超过 4 亿人，形成了全球规模最大、最具成长性的

⁵ 来源：第七次人口普查主要数据情况、国家统计局数据

⁶ 来源：第七次人口普查主要数据情况

中等收入群体。2014-2020 年，中国居民人均可支配收入从 20167.1 元上升为 32188.8 元，增长 59.61%，其中，城镇居民人均可支配收入从 28843.9 元上升为 43833.8 元，增长 51.96%，农村居民人均可支配收入从 10488.9 元上升为 17131.5 元，增长 63.33%。中西部地区居民收入较快增长，地区收入相对差距不断缩小。与 2012 年相比，2021 年，东部、中部、西部和东北地区居民人均可支配收入分别累计增长 110.1%、116.2%、123.5%和 89.5%，年均增长 8.6%、8.9%、9.3%和 7.4%，西部地区居民收入年均增速最快，中部次之。2014-2020 年中国居民人均可支配收入变化情况如图 1-7 所示。

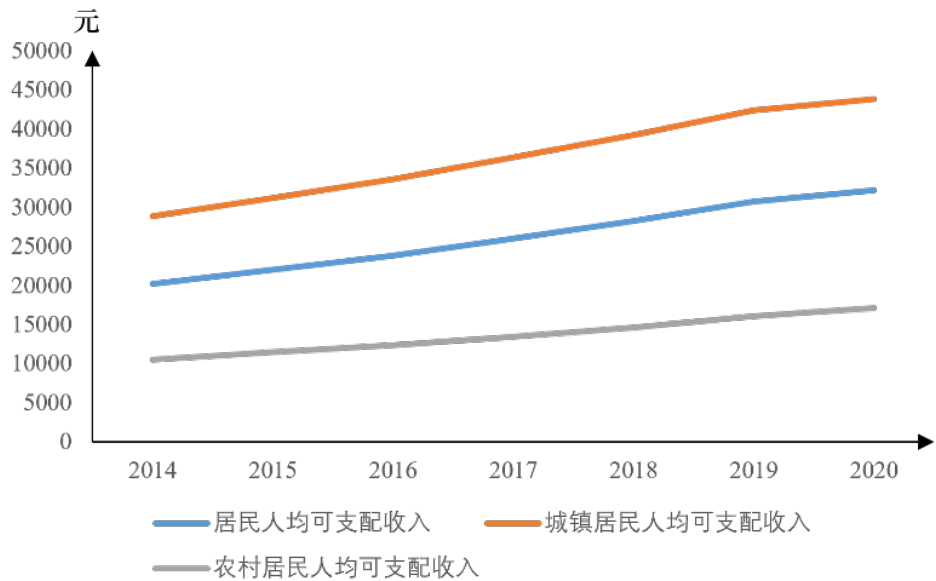


图 1-7 2014-2020 年中国居民人均可支配收入⁷

但是，2014 年中国低收入组家庭人均可支配收入为 4747.3 元，高收入组家庭人均可支配收入为 50968.0 元，而 2020 年中国低收入组家庭人均可支配收入为 7868.8 元，高收入组家庭人均可支配收入为 80293.8 元，收入差距进一步拉大。2014-2020 年，中国基尼系数仅仅从 41.0 降为 40.5，降幅并不明显。根据联合国有关组织规定，基尼系数在 0.4~0.5，表示收入差距较大。这表明中国收入不平等的现象依然存在，未来要实现共同富裕目标，任重而道远。2014-2020 年中国五等分收入组人均可支配收入与基尼系数变化情况如图 1-8 和 1-9 所示。

7 来源：2021 年中国统计年鉴

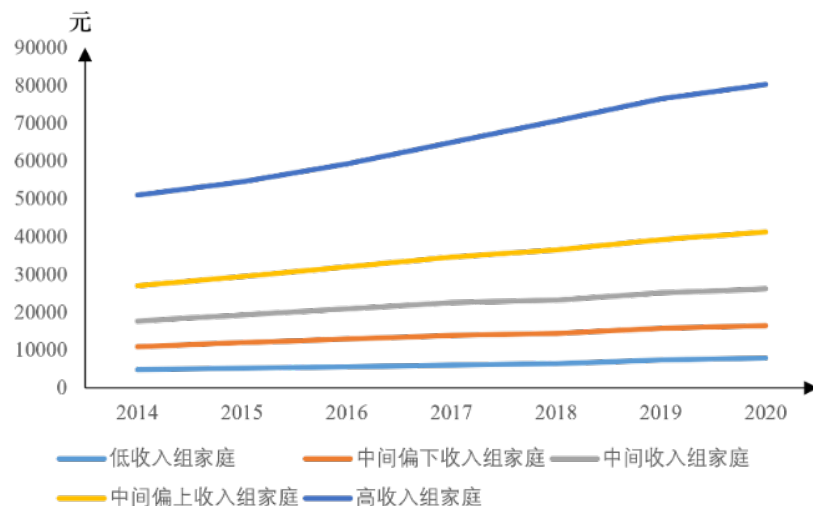


图 1-8 2014-2020 年中国五等分收入组人均可支配收入⁸

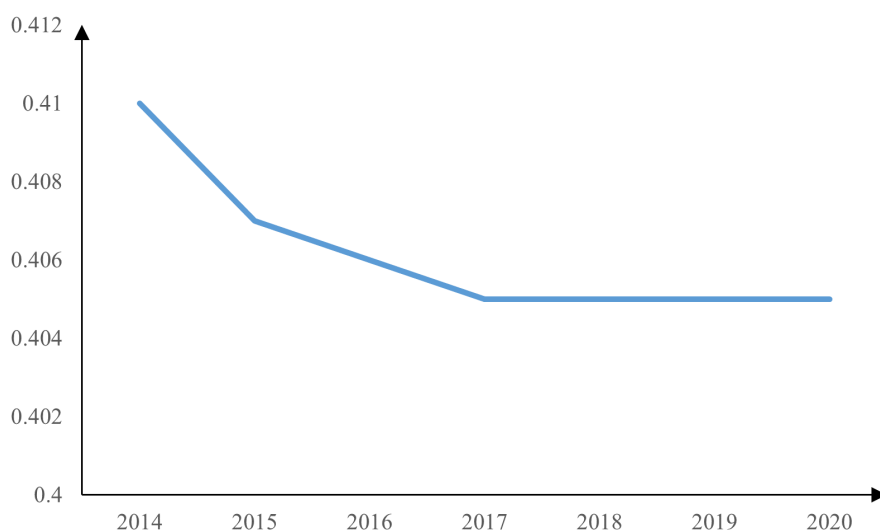


图 1-9 2014-2020 年中国基尼系数⁹

1.2 中国人口未来发展趋势

1.2.1 人口总量未来变化趋势

根据清华大学龙瀛团队研究成果，未来中国人口总量将呈下降趋势。2020 年至 2060 年，中国人口数量先略微增长，在 2025 年附近达到峰值 14.1 亿人口，然后保持下降趋势，到 2060 年下降至 12.0 亿人口。人口数量的下降主要源于较低的生育率预期，总体上将带来消费和碳排放量的降低。中国未来人口总量变化预测如图 1-10 所示。

⁸ 来源：2021 年中国统计年鉴

⁹ 来源：Standardized World Income Inequality Database

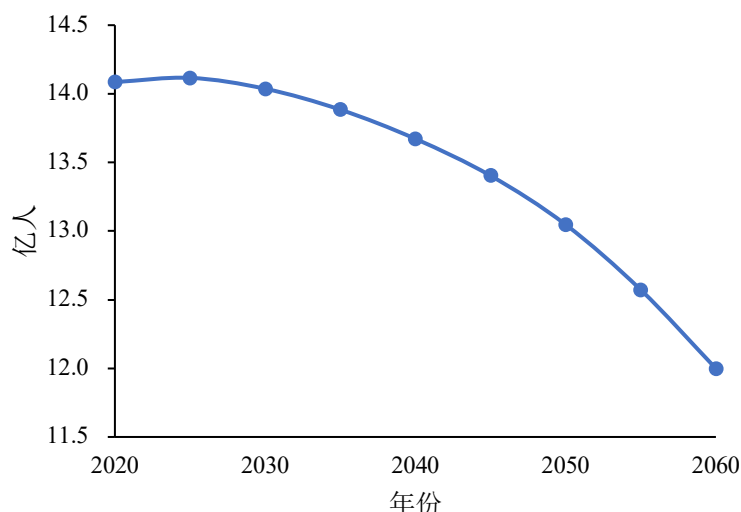


图 1-10 未来人口数量预测

1.2.2 人口城乡分布未来变化趋势

人口城乡分布是动态变化的，按照国务院标准将城市分为超大城市、特大城市、大城市、中等城市和小城市以及建制镇，参考各级城镇的新型城镇化规划和国家宏观人口调整政策（如户籍制度改革），模拟中长期农村人口向各级城市的动态流动过程及城市结构变化。

农村人口将逐渐流向六种类型城市，同时六类城市的人口也不断流动。根据各个省市城镇化规划和未来城市规模、人口总量预期目标，预计未来将有 2 亿农村人口转移到城镇，90%以上农村人口流向大型、中型和小型城市。大型城市是最主要农村人口流入地区，到 2050 年大型城市人口占全国总人口 44%，其次是城镇（12%）、特大城市（12%）、小型城市（11%）（图 1-11，1-12）。城市结构将发生显著变化，特大城市、大型城市数量几乎翻番，中小型城市数量萎缩。城镇化过程将持续拉动交通、建筑领域基础设施投资。

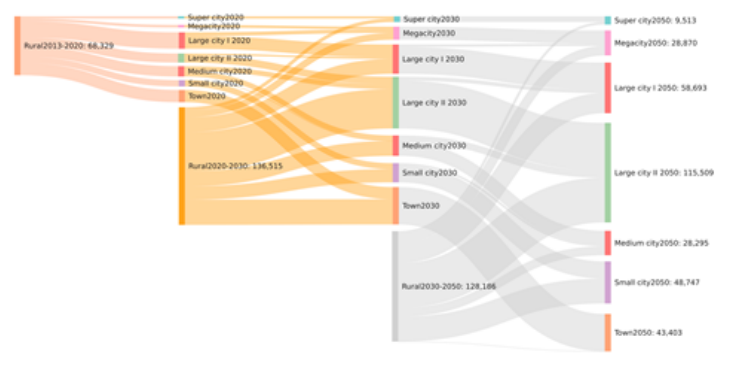


图 1-11 2013-2050 年农村人口流动图

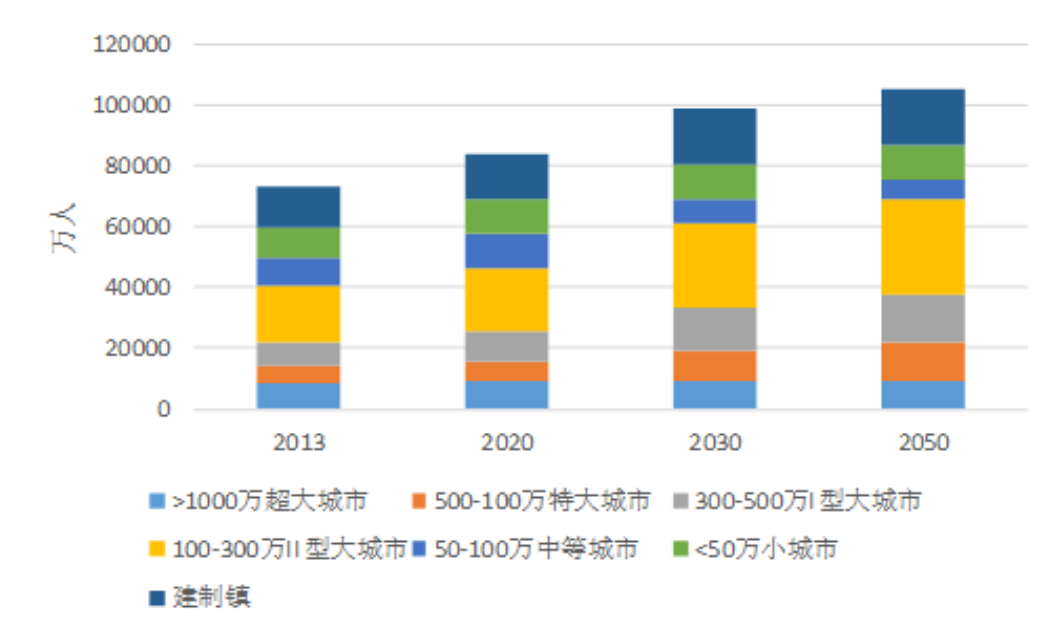


图 1-12 未来城镇人口分布

1.2.3 人口年龄分布未来变化趋势

结合清华大学的人口数量未来预测，中国在未来老龄化趋势逐步加深，基于当前人口分年龄段数量，考虑预期老龄化不断发展的人口的生育率、死亡率、迁入和迁出等因素，中国人口逐步走向老龄化。在人口结构方面，由于长期相对较低生育率水平和人口平均寿命的增长，65 岁以上人口数量占比逐步增加，到 2060 年达到 22.6%，进入一个老龄化严峻的社会。

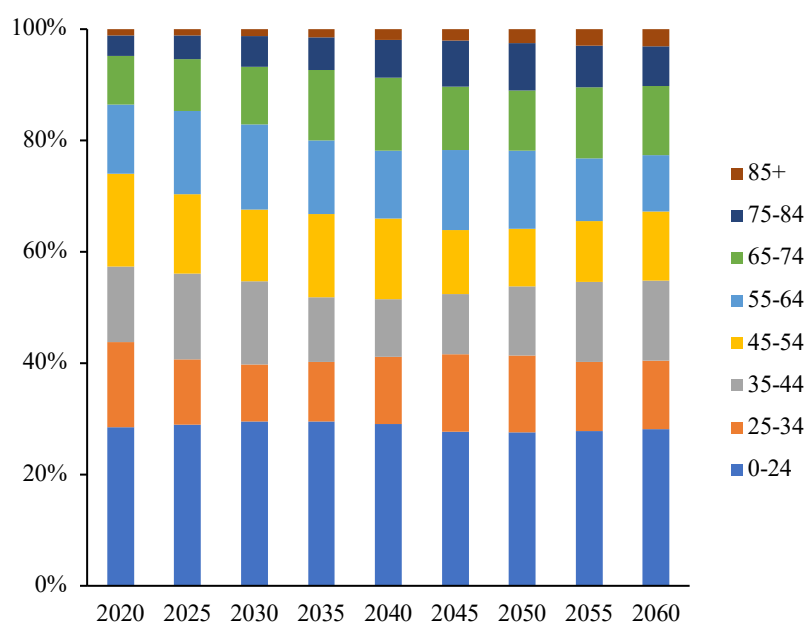


图 1-13 老龄化情景中的预期人口年龄结构

1.2.4 人口收入分布未来变化趋势

“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要提出，2035 年我国人均 GDP 将达到中等发达国家水平，中等收入群体显著扩大。共同富裕是社会主义的本质要求，也是中国式现代化的社会保障，意味着中等收入阶层在数量上占主体。这是一种和谐而稳定的橄榄形社会结构，大部分人口有体面、稳定、高质量的就业，有较高的收入和消费水平，享有良好的社会保障。壮大中等收入群体规模、提升中等收入群体富裕程度将有助于实现共同富裕目标，需要收入增长与经济增长同步，也需要初次分配和再分配要叠加发力，通过调整国民收入分配结构，提高居民收入份额。

根据收入水平高低，将城乡居民分为低收入、中等收入和高收入三个群体。参考 Markus 等人（2016 年）的研究成果，界定中等收入群体的收入范围为收入中位数的 67%—200%。这可以解决由于人均收入上升带来的绝对收入标准无法准确反映当年中等收入群体真实情况的问题。设定 2030 年中等收入群体比例达到 50%，2035 和 2050 年中等收入人数分别达到 8 亿和 9 亿。2020—2060 年不同收入群体人数比例和对应人数如图 1-14 和 1-15 所示。

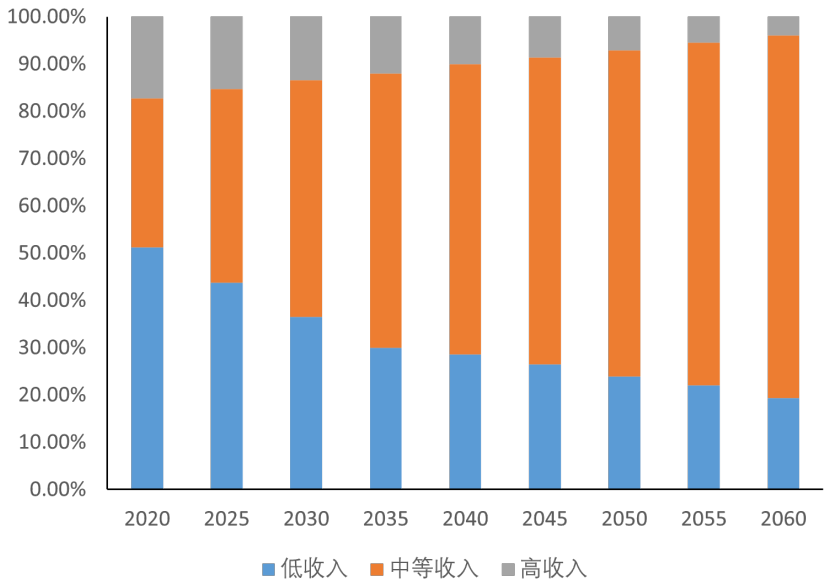


图 1-14 2020-2060 年不同收入群体人数比例

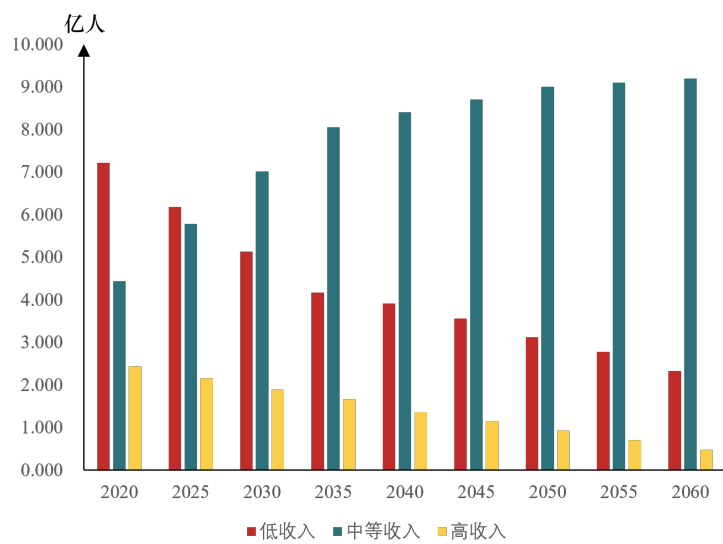


图 1-15 2020-2060 年不同收入群体人数变化

第二章 人口结构特征与消费行为关系

2.1 人口城乡分布与消费行为关系

2.1.1 城乡人均建筑面积变化趋势

2014 年，我国城镇人均住房建筑面积为 $28.43\text{m}^2/\text{人}$ ，农村人均住房建筑面积为 $38.96\text{m}^2/\text{人}$ （清华大学建筑节能研究中心，2015），而 2020 年，我国城镇人均住房建筑面积为 $32.37\text{m}^2/\text{人}$ ，农村人均住房建筑面积为 $44.52\text{m}^2/\text{人}$ ，分别比 2014 年增加 13.85% 和 14.27%（清华大学建筑节能研究中心，2022）。我国城镇与农村人均住房建筑面积具体变化情况如图 2-1 所示。

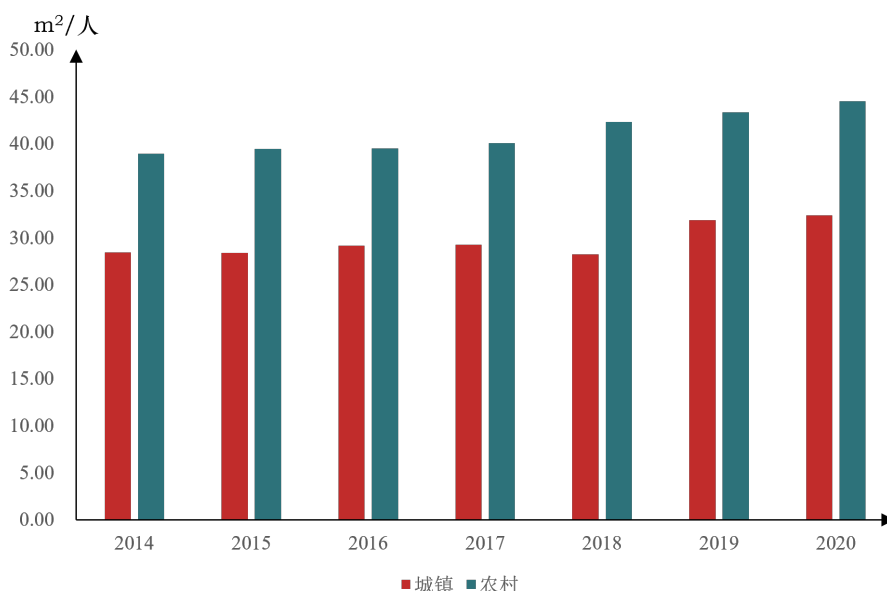


图 2-1 2014-2020 年中国城镇与农村人均住房建筑面积¹⁰

近五年来，我国城镇和农村居民人均住房面积一直处于上升趋势，表明改革与发展的红利越来越惠及民生，国家的建设步伐极大改善了人民住房条件。当前美国人均住房面积为 70.03 平方米，英国人均住房面积为 49.4 平方米，我国的人均住房面积与发达国家相比，依然有较大差距。未来随着我国经济和社会的快速发展，我国的人均住房面积也会向发达国家看齐，处于继续增加的趋势。

2020 年，城镇人均公共建筑面积为 $15.52\text{m}^2/\text{人}$ ，与 2014 年相比，增加了 11.26%。虽然我国在 2014-2020 年城镇人口增加了 13482 万人，但 2020 年城镇公共建筑面积比 2015 年增加了 32.97 亿 m^2 ，增长速度快于城镇人口，因而城镇

¹⁰ 清华大学建筑节能研究中心, 2022.

人均公共建筑面积处于上升趋势。这体现出我国医疗、教育、卫生等公共基础设施逐步完善，人民日益增长的对公共基础设施需求得到极大满足。当前加拿大人均公共建筑面积为 $21\text{m}^2/\text{人}$ ，美国为 $24\text{m}^2/\text{人}$ ，与这些发达国家相比，我国的城镇人均公共建筑面积较低。未来随着经济社会发展，我国的城镇人均公共建筑面积将依然处于上升趋势，并逐步接近发达国家水平。我国 2014-2020 年城镇人均公共建筑面积如图 2-2 所示。

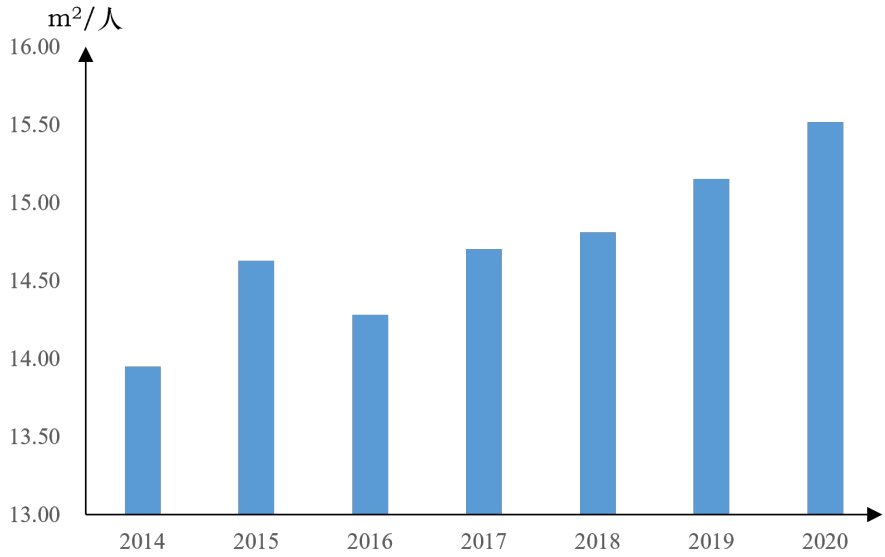


图 2-2 2014-2020 年中国城镇人均公共建筑面积

2.2.2 城乡居民家电保有量变化趋势

从 2015-2020 年我国城镇和农村每百户家电拥有量来看，冰箱、电视、洗衣机等绝大多数家电的每百户拥有量处于上升趋势，且农村的上升幅度大于城镇，体现出随着我国国民经济发展，居民尤其是农村居民的生活水平得到了极大提高。但是城镇和农村每百户计算机拥有量却处于下降趋势。这可能是因为手机、平板电脑等新型电子产品与计算机互为替代品，而这些电子产品具有便携、功能全面等优点，使得居民更愿意选择电子产品，减少了对计算机的需求。

中国家电拥有量还有继续增长的空间，冰箱、洗衣机、热水器等基本家用电器还没有实现完全普及，城乡每百户家庭家电保有量依然有较大差距。2020 年农村地区每百户家庭拥有 73.8 台空调、76.2 台热水器，而城市地区每百户家庭则拥有 149.6 台空调、100.7 台热水器。未来随着更多农村人口流向城市以及农村生活水平的持续提高，中国家电拥有量还将继续增加。2015-2020 年我国城镇和农村居民每百户家电拥有量变化趋势如图 2-3 和图 2-4 所示。

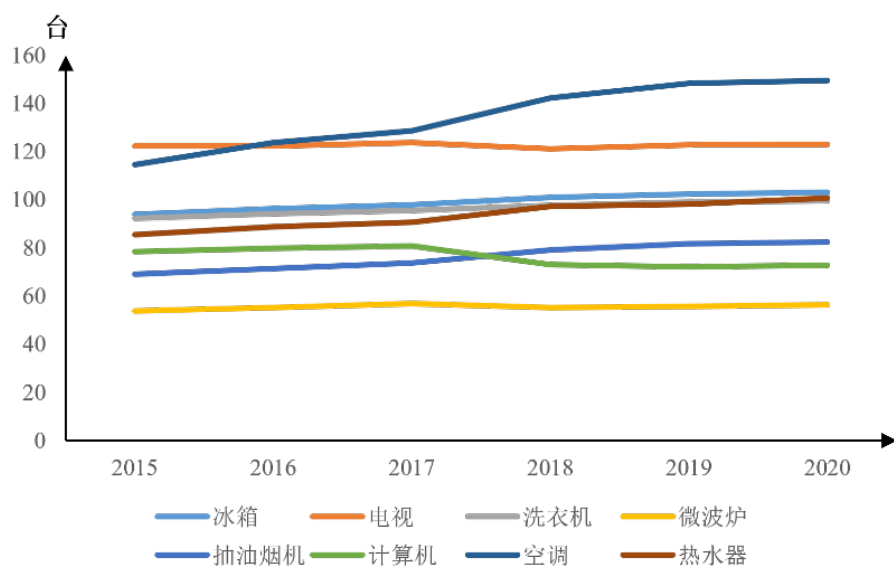


图 2-3 中国城镇居民每百户家电拥有量¹¹

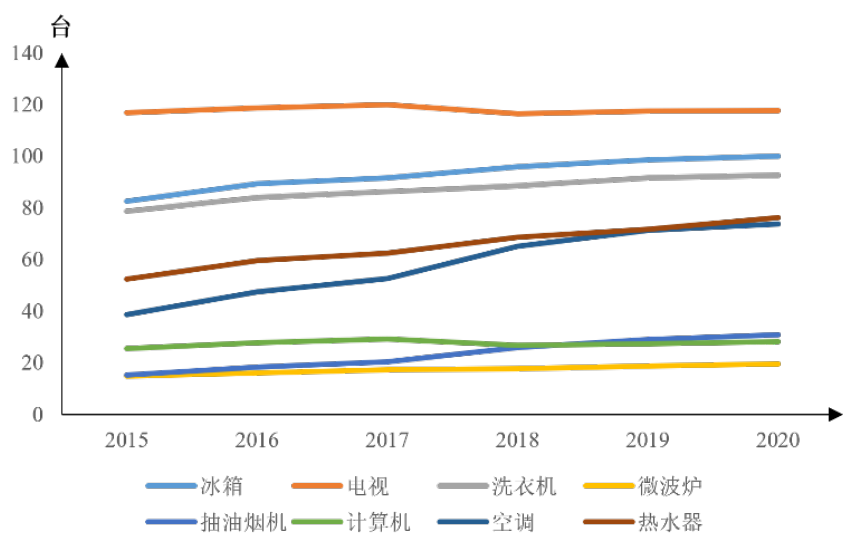


图 2-4 中国农村居民每百户家电拥有量

2.2.3 不同规模城市交通基础设施差异

不同规模城市在出租车、公共汽车保有量水平不同，通常城市规模越大，出租车、公共汽车供应越多；300 万人口以上城市具有开发城市轨道交通的经济性。不同规模城市每千人城市轨道里程、出租车与公共汽车拥有量如图 2-5 所示。

¹¹ 国家统计局, 2021.

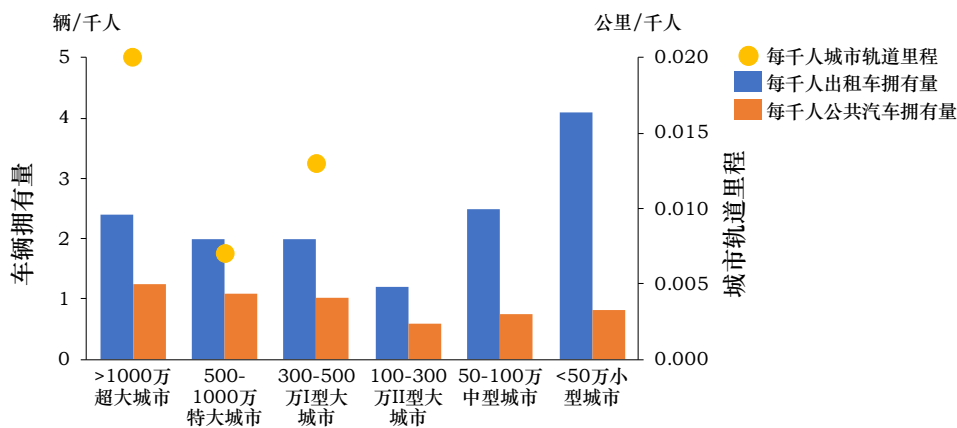


图 2-5 不同规模城市每千人城市轨道里程、出租车与公共汽车拥有量

不同规模城市居民的出行特征也存在显著差异。北京和上海工作日单次平均出行距离为 13.2 和 12.4 公里/次。深圳工作日单次平均出行距离为 8.7 公里/次，比北京和上海分别少 34.09%和 29.84%。南昌工作日单次平均出行距离为 5.3 公里/次，比北京和上海分别少 60.77%和 57.26%。

2.2.4 城乡供暖差异

居民冬季采暖方式上存在着明显的南北差异和城乡差异。自然条件导致北方地区采暖时长远远高于南方地区，采暖的方式较为多样。北方的采暖方式包括集中式供暖和分户自供暖，两者的比例接近 1: 1，但是在北方城市，集中式供暖的户数远大于分户式自供暖，而在北方农村，分户式自供暖的户数远大于集中式供暖。未来随着城镇化进程进一步推进，越来越多的人口来到城市，北方集中式供暖的户数将会更多，分户式自供暖的户数将会减少，这会减少北方散煤的使用，有助于北方环境空气质量改善。

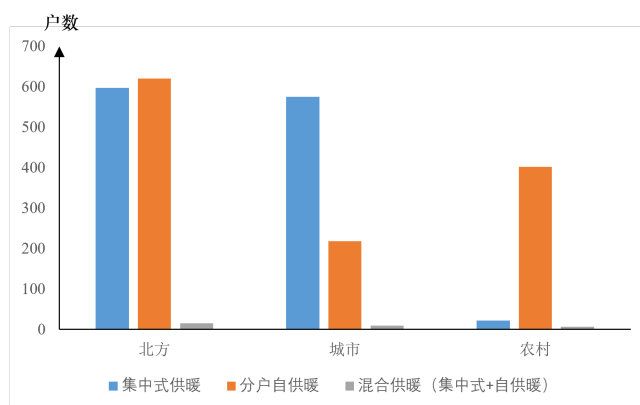


图 2-6 北方及北方城市 and 农村供暖方式¹²

¹² 数据来源 CGSS2015

而在南方，居民主要采用分户式自供暖方式取暖，但是城市家庭偏好节能环保等类型的电器取暖或空调，农村则更偏好采用煤、木材等的取暖火炉，这主要是因为城乡收入差距较大，造成了取暖方式差异。未来随着城乡收入差距缩小，居民将更多采用空调取暖。

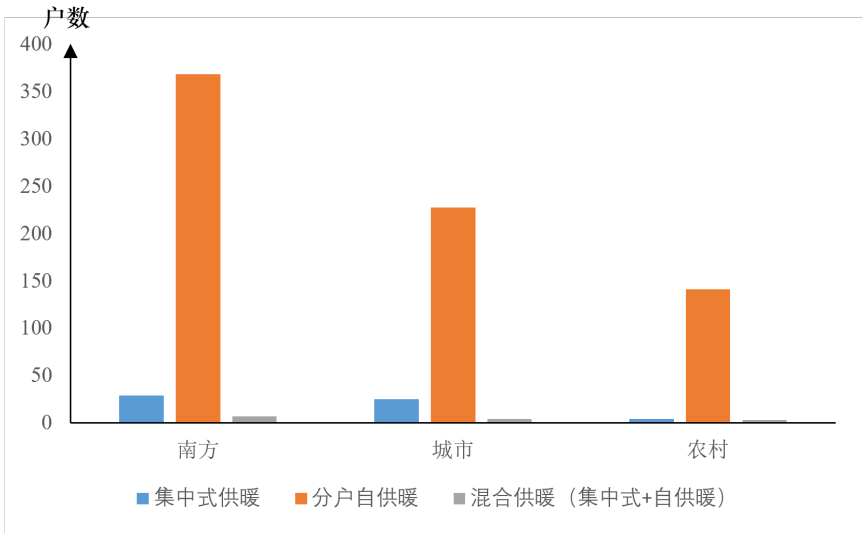


图 2-7 南方及南方城市和农村供暖方式¹³

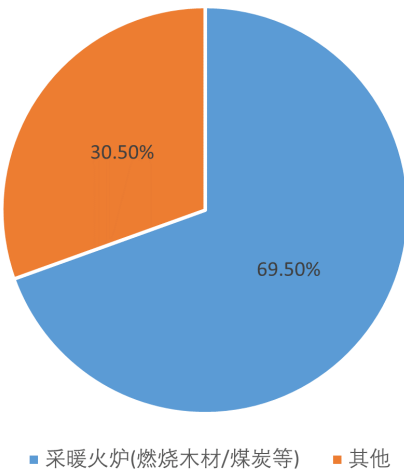


图 2-8 南方农村供暖方式比例¹⁴

2.2 人口年龄结构与消费行为关系

老龄化的能源和碳排放影响，主要集中在住宅、交通和医疗三个方面，这同样也是主要的居民直接用能领域。大量文献研究结果表明老龄化对居住、交通和医疗保健方面的能源消耗行为可能存在如下影响（图 2-9）。

13 数据来源 CGSS2015
14 数据来源 CGSS2015

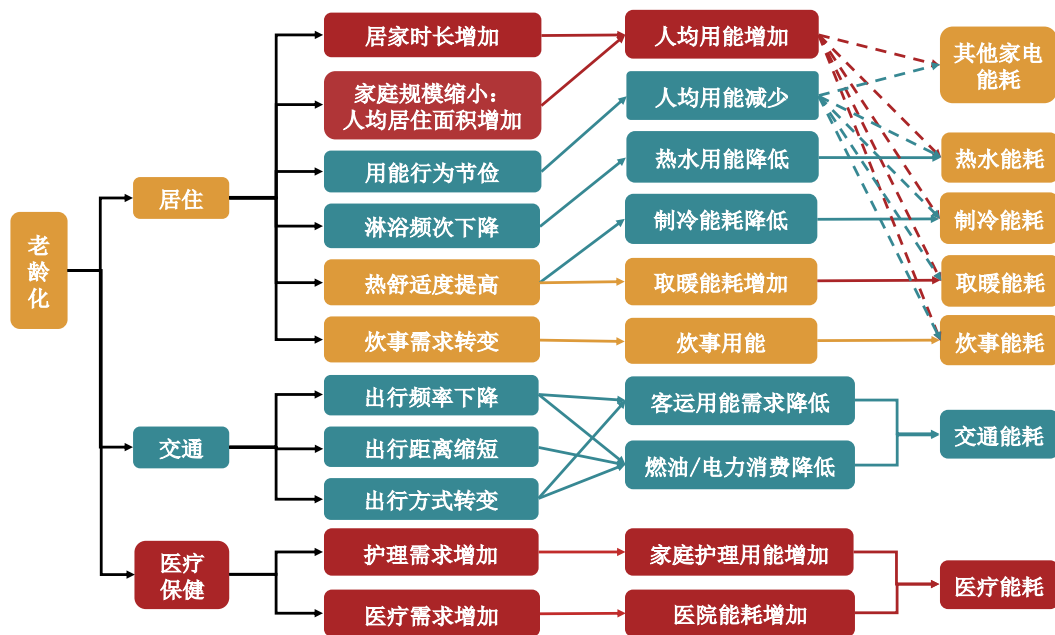


图 2-9 老龄化的消费行为影响

基于以上可能的消费行为影响，同时考虑到人在一个时间点上的消费受到出生时间决定的基期消费水平（队列影响）、年龄和不同时期宏观社会经济环境的影响。本研究结合多项调查数据，将年龄-时期-队列分析的结果与分年龄段分析的结果相结合，同时结合现有文献的分析结果，获取不同年龄人群在居住、交通和医疗方面的消费特征。

2.2.1 不同年龄结构人群居住用能差异

在取暖方面，一些研究认为老年人对温度有更高的敏感度，偏好选择更高的取暖温度，这可能造成老年人在取暖方面的能源增加。(Barnicoat 等, 2015; Kok,2012; Liddle 等, 2010; Yagita 等, 2021; Zhang 等, 2019)。还有研究显示，在取暖用能方面老年人由于收入更低等原因具有更节俭的消费习惯(Chen 等, 2013; Huang 等, 2015)，这可能带来老年群体整体用能水平的下降 (Kotani 等, 2018; Merve 等, 2013)。

数据显示，随年龄增长，取暖需求整体表现为先下降后上升的 U 型，这表明年轻人群有更高的取暖能源消费，而进入老年时，居民的取暖需求又表现出随年龄增长增加。年轻一代成长和生活在社会经济更富足的年代，有更高的取暖消费习惯和需求，同时随着年龄增长家庭规模扩大，人均消费水平有所降低。老年人可能由于平均收入相对更低和年轻时期消费习惯影响，整体能源消费水平较低，但是老龄人群整体中，受自身生理特征影响，随年龄增长有更高的取暖温度和时

间需求，同时也在家中度过更长的时间，以及具有更小的家庭规模，取暖需求增加。同时可以预计在当前的年轻一代进入老年后，在随生命周期产生取暖需求增加的同时，由于其年轻时的高能耗基数水平和当前年轻人群的数量规模产生更高的能源需求。

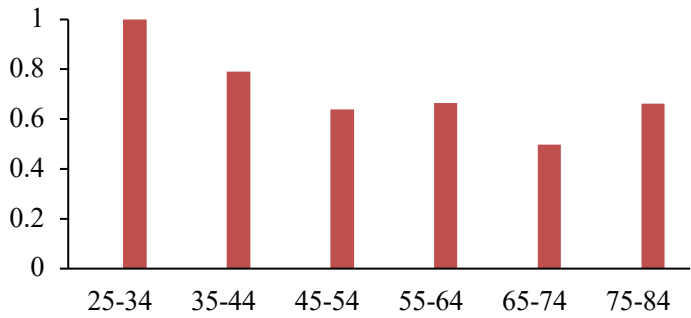


图 2-10 取暖分年龄段消费特征

在制冷能源需求方面，与老年人有更高的对热量的需求相对应，多项研究显示老年人倾向于在夏天保持更高温度(Chen 等, 2013; Huang 等, 2015; Madhavi 等, 2015; Steemers 等, 2009)。有调查研究显示(Chen 等, 2013)，在平均制冷温度需求方面，老年人(>55 岁)夏天开空调的温度平均为 28° C，年轻人(<35 岁)在夏季将空调平均设置为 26° C；而在制冷时间使用中老年人(>55 岁)平均每天使用空调约 10 小时，这比年轻人的平均(<35 岁)使用时间低 7 小时。此外，Steemers 等认为，户主年龄增加 1 岁，平均将产生 1.1%的制冷能耗下降；同时印度的研究显示，25 岁以上人群适宜的空调温度比 25 岁以下人群低 0.7° C(Madhavi 等, 2015)

通过分析调研数据，年轻的人群日均使用空调时间相对更长，具有更低制冷温度设定，日均相对制冷能耗更高。这主要是由于年轻人群首先具有更多空调制冷使用习惯，同时也由于各自生理特征的影响，有更低的制冷温度需求。

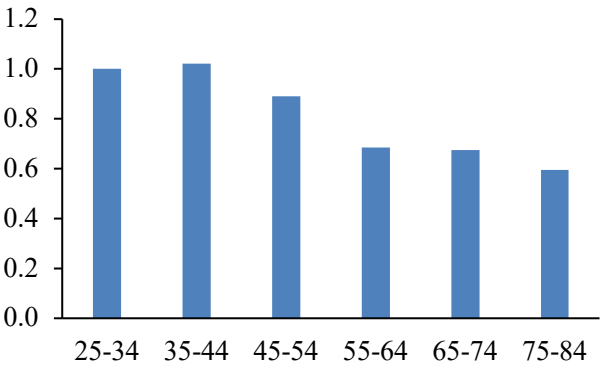


图 2-11 不同年龄段人群的相对制冷能耗

在炊事能源使用方面，Yu 等(Yu 等, 2018)认为从工作年龄进入老年后，在家时更长的老年人花费更多时间进行烹饪，消耗更多能源。数据结果显示，随着年龄的增长，人们倾向于在炊事方面产生更多的能耗。年轻人更多的选择外卖或者外出吃饭等饮食方式，这受到社会文化和潮流的影响，年轻人将倾向于花费更少的时间进行家庭中的烹饪活动。随着年龄的增长，有孩子的家庭将更多的进行烹饪活动。受到社会文化和消费习惯的影响，老年人群更少的选择外卖等方式，同时由于社会活动的减少和身体机能的下降，老年人更多的在家吃饭，且拥有更长闲暇居家时间的老年人将更有可能花费更长的时间在烹饪中。

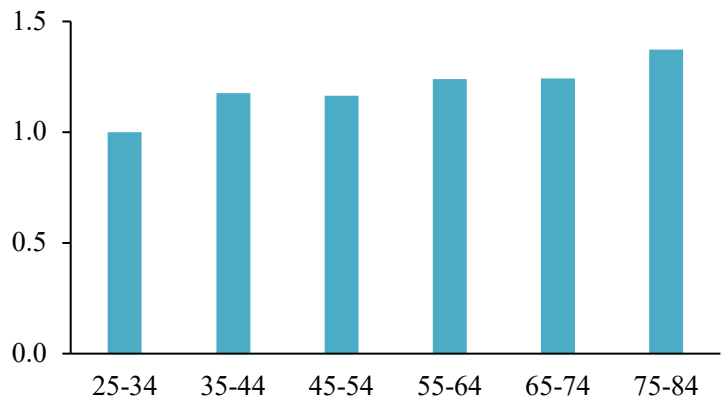


图 2-12 不同年龄段人群相对炊事能耗

老年人在淋浴热水中所使用的能源更少。随着年龄的增长，各年龄段人群表现出下降的淋浴热水需求，35-54 岁的人群可能受到居家时间较短和家庭规模较大影响表现出最低的淋浴热水需求；进入老年后，热水需求有所增加，可能是由于老年人拥有更小的家庭规模，平均热水需求相对提升，随着年龄进一步增长，外出活动减少，新陈代谢速率下降，热水能耗随年龄增长呈下降趋势。

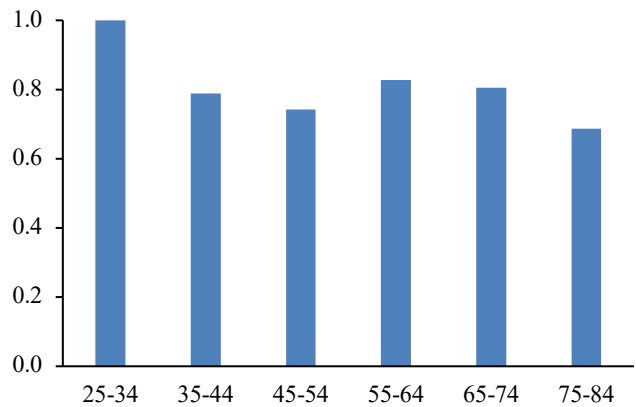


图 2-13 不同年龄段人群相对淋浴热水能耗

2.2.2 不同年龄结构人群交通用能差异

老年人在退休后不需要上班，有更少的通勤需求，同时也有更低频率的社交和社会活动，同时家庭成员尤其是子女的成年和离开家庭，这些都降低了老龄人群的交通需求。多数研究认为老年人将具有更少的交通出行能源消耗(Feng 等, 2020; Liddle, 2004; Bardazzi 等, 2018)，主要表现为老年人将具有频率更低、距离更短的出行活动(Yu 等 2018; Yagita 等, 2021; Zhang 等, 2021)。

同时，老年人由于年龄的增长，生理机能的衰退减少了老年人的驾驶行为；而出行距离的缩短也降低了机动车驾驶的必要性。有研究显示，老年人更多的选择步行、自行车等非机动车出行方式，在机动车出行中则更多的选择公共交通(Hu 等, 2013; Cheng 等, 2017)，即老年人在交通出行活动下降的同时，所采取的交通方式也更偏向于非机动的低碳出行方式。

调查数据也支持以上结论，从年轻到中年时期，交通的能源消耗保持较高的水平，而在进入 55 岁后的老年时期后，交通能源消费迅速下降。

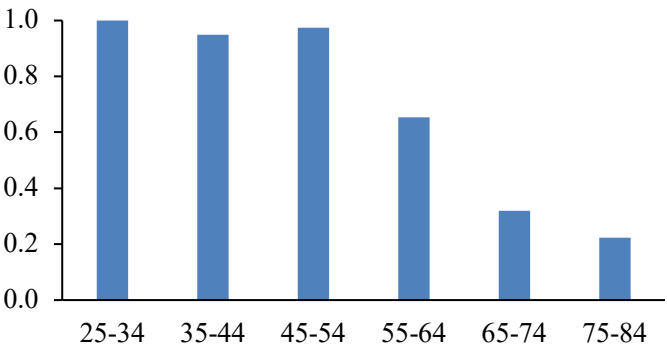


图 2-14 不同年龄段人群相对交通能耗

2.2.3 不同年龄结构人群医疗用能差异

医疗服务需求将随年龄增长而增加，这可能带来对医院等公共建筑需求的增长。由于身体机能的衰退，老年人相对于年轻人具有相对更差的健康水平，也更容易受到损伤和疾病的感染，因此需要更多的医疗服务资源。尤其是医院的门诊和病床需求等。随着老龄化的加深，老龄人群规模的扩大带来对于医疗资源的需求增长(Palangkaraya, 2009; 国家卫生与计划生育委员会等, 2016; 乐章等, 2021; 李乐乐等, 2017)

结合调查数据以及医院建设的相关标准、当前医院的人均床位数量和对比发达国家的水平，结果显示随着年龄的增长，整体的医疗消费水平迅速增加，尤其

是在 55 岁后，医疗费用增速加快，这表明老龄人群有更高的就医需求和费用支出，老龄化将带来医疗需求尤其是医院能耗的增加。

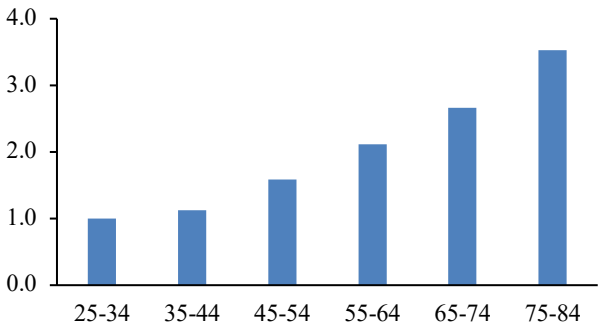


图 2-15 不同年龄段人群相对医疗消费

此外，家庭中的医疗需求尤其是护理需求和支出也将随年龄增长而增加 (Batljan 等, 2005; 彭希哲等, 2017)，这将带来家庭护理中主要的能源需求来源家用医疗器械需求的增长。家用医疗器械需求量近年来表现出强劲增长趋势，2019 年的市场规模相对于 2015 年增长率 147.7%，在未来将随老龄化的加剧护理需求增加，进而将产生进一步增长的家医疗器械需求增加，带来居民家庭用电增加。

在 55 岁后，随年龄的增加护理支出增长，而在最老的群体中，护理支出远高于其他年龄段人群。现实中年龄较大的老年人往往具有更高比例的卧床休养需求，带来更高的护理支出。

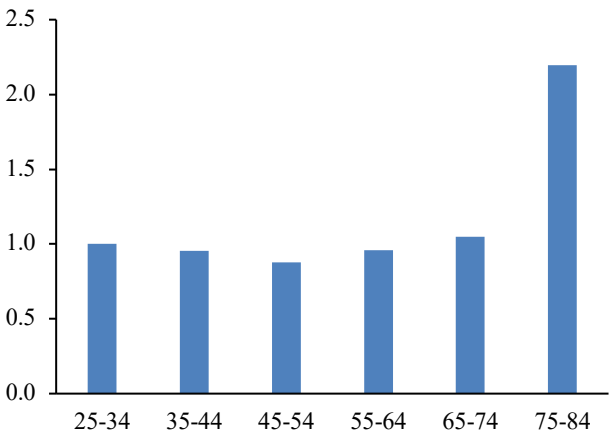


图 2-16 不同年龄段人群相对护理支出

2.3 人口收入分布与消费行为关系

2.3.1 不同收入群体人均能源消耗

从全球来看，社会为每个人提供基本需求所需的能源数量存在差异。目前，

世界上近三分之一的人口“能源匮乏”，在获取和负担能力方面都面临挑战，即超过 26 亿人几乎没有或根本没有获得清洁烹饪所需的能源。约 12 亿人缺乏清洁、卫生和供水、照明和基本生计任务所需的能源。不同国家和不同收入群体在获得和提供人类福祉服务方面的不平等程度不同。在发展中国家，最底层的 50% 的人获得了约 10% 的陆运能源，而空运能源不足 5%，而最顶层的 10% 则使用了约 45% 的陆运能源和约 75% 的空运能源。

从不同国家来看，发达国家的人均能源消耗高于发展中国家，发达国家的低收入和高收入群体的人均能源消耗也高于发展中国家对应收入群体。而且，在发达国家和发展中国家，不同收入群体的人均能源消耗存在很大差异，并且这种差异随着收入层级的提高而逐渐拉大。世界各地能源消耗差异如图 2-17 所示。

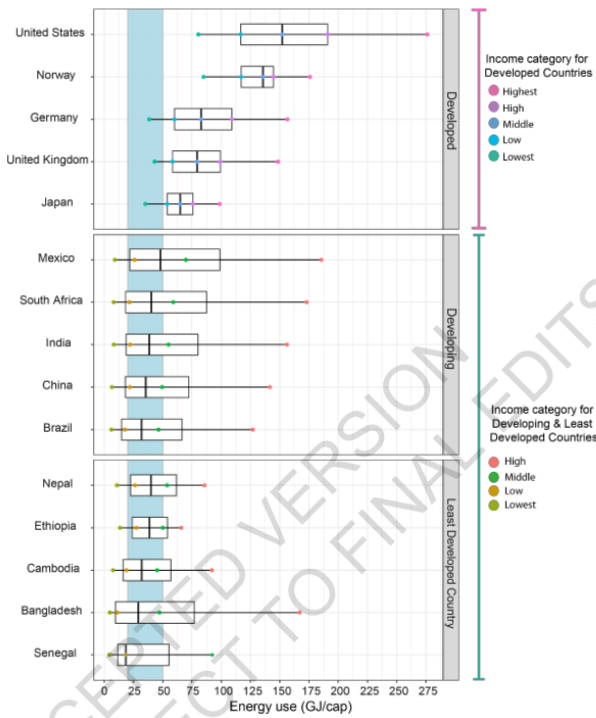


图 2-17 世界各地能源消耗差异

2.3.2 不同收入群体家电保有量差异

在家用电器使用方面，随着收入上升，电视、洗衣机、空调等家电拥有量将上升，导致家电使用的相关碳排放增加。更富裕家庭需要更多能源密集型家用电器，如空气净化器和智能电器。家庭收入和储蓄的快速增长将刺激对各种家用电器需求，并增加其使用时间，导致电力的碳排放增加。

法雷尔（1954 年）在对耐用商品消费的研究中指出，家庭收入水平与家电保

有量的关系呈 S 形曲线。在家庭收入超过某一门槛之前，家电保有量一直保持较低水平，但一旦超过门槛水平，家电的收入弹性逐渐增大，家电保有量会迅速增加。而随着收入的继续增加，家电的收入弹性逐渐减小，高收入人群的家电保有量趋于饱和。

一些研究显示，由于不同家电的价格和必需品属性不同，不同家电的收入弹性系数也不一样。Xiaobing Zhang 发现家庭收入每增加一个单位（对数值），预期的电视拥有量增加 0.104，预期的冰箱拥有量增加 0.0821，预期的洗衣机拥有量增加 0.0904，预期的空调拥有量增加 0.213；Chuan-Zhong Li 发现人均收入增长 1%，空调存量增长 1.10%。个人电脑、冰箱和微波炉的收入弹性分别为 1.54、0.22 和 0.73。

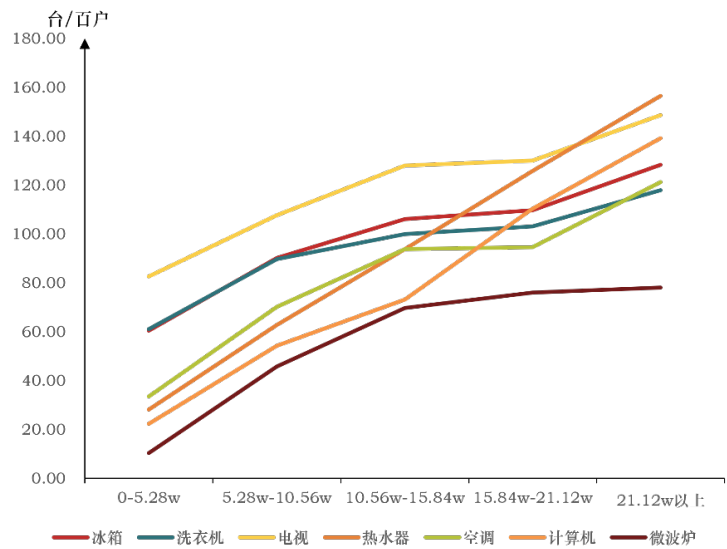


图 2-18 不同家庭收入组的每百户家电保有量情况¹⁵

2.3.3 不同收入群体供暖和制冷能耗差异

一些研究认为，更高收入的家庭，居住舒适度需求更高。Zhou 发现在四川，低收入家庭（家庭收入<60000 元）的供暖能耗为 0-400kwh，中等收入家庭（60000 元<家庭收入<200000 元）的供暖能耗为 500kwh 左右，高收入家庭（家庭收入>200000 元）的供暖能耗为 1000kwh 左右。TengfeiHuo 发现在重庆，当家庭收入从低水平变为中等水平时，每增加 1%的收入，供暖能耗需求就会增加 12.4%。而当家庭收入从低水平变为高水平时，每增加 1%的收入，供暖能耗需求就会增加 28.3%。

¹⁵ 数据来源 CGSS2015

但是由于城市居民对提高室内供暖舒适度和制冷舒适度有明显的需求，收入的调节效应也表现为挤出效应。居民可以调整供暖能耗结构，将其电气设备升级为高能效设备，从而减少居民用电量。也有多项研究显示，更高收入的家庭会选择节能高效的空调，因而减少取暖和制冷能耗。一方面，节能高效的空调虽然价格更高，但制冷降噪效果好，更受高收入家庭青睐；另一方面，收入越高的家庭，环保意识更强，更会选择节能环保的空调。

2.3.4 不同收入群体的能源使用结构差异

随着收入增加，人们将改善家庭燃气结构，并显著减少城市家庭燃气消费产生的碳排放。由于更依赖煤炭，贫穷家庭排放更加密集，而当收入增长时，贫困家庭会减少对煤炭的依赖，因而收入更公平会减少碳排放。因此，家庭部门能源消费的结构调整为减少能源消费和碳排放提供了独特思路。

2.3.5 不同收入群体的交通出行差异

在交通出行方面，收入增加会带来出行距离与汽车数量上升，因而增加交通方面的能源消耗和碳排放。Yoo 等人使用通过调查收集的数据，探讨影响日本旅行距离的因素，发现收入水平与旅行距离呈正相关，因此收入水平越高，交通出行产生的能源消耗和碳排放越多。Dargay 认为汽车最开始是一个奢侈品，随着收入增加，变为了必需品。即随着收入增加，汽车数量会增加，汽车相关的能源消耗和碳排放也会增加。但汽车数量会趋于饱和，因而汽车收入弹性会下降，汽车相关的能源消耗和碳排放的增速也会变慢。

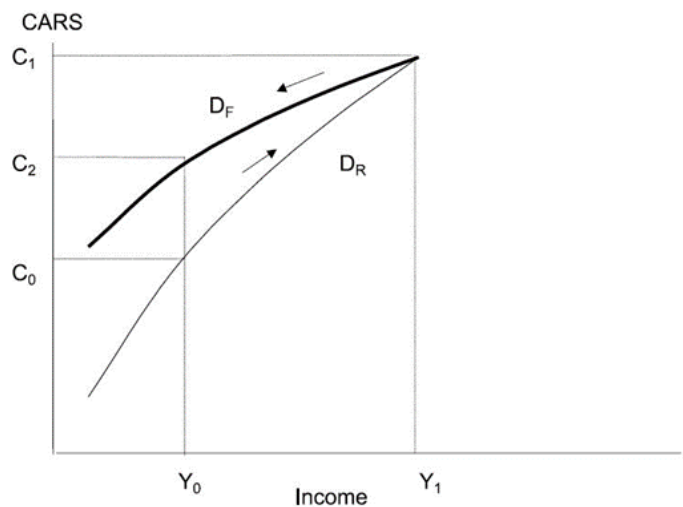


图 2-19 收入与汽车保有量关系

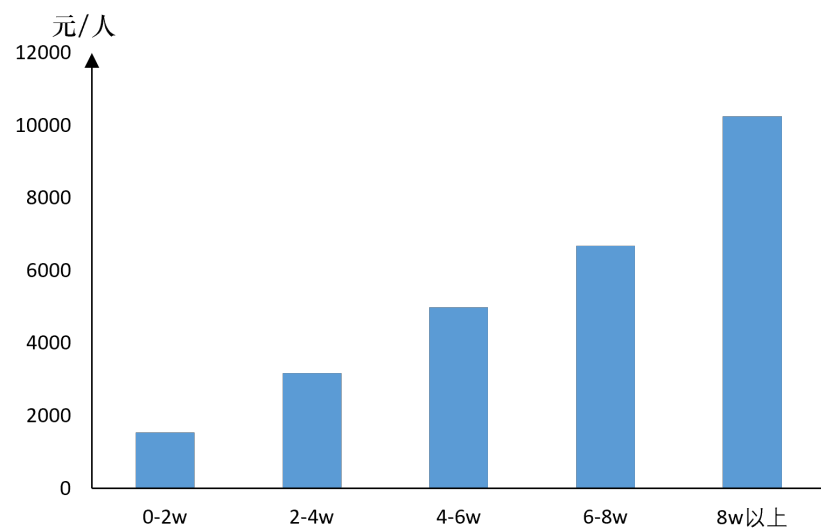


图 2-20 不同人均家庭收入分组的人均交通支出

第三章 人口未来需求与碳排放趋势

党的二十大报告指出中国式现代化是人口规模巨大、全体人民共同富裕、物质文明和精神文明相协调、人与自然和谐共生、走和平发展道路的现代化，强调了以人为本的中心思想，也成为我国落实“碳达峰、碳中和”战略目标的根本要求。当前，中国仍处于快速城镇化、工业现代化阶段，人均收入和能源消费水平显著低于发达经济体，中国在“十四五”时期末将跨越高收入国家的门槛水平，人民日益增长的美好生活需要必然带来更高的能源消费需求, 给中国实现“双碳目标带来极大挑战。因此，在我国人口现状和未来城镇化、老龄化和共同富裕的发展趋势下，明确未来满足人民的美好生活需要的消费规模和结构转变，科学分析中国中长期能源消费需求和碳排放含义，对促进绿色生产生活方式的形成，制定碳中和路线图和时间表具有重要意义。

3.1 人口发展趋势的能源消费需求和碳排放影响分析框架

人口的空间分布、年龄结构和收入结构等特征变化将影响衣、食、住、行、医疗、教育等消费的规模和结构。这些消费需求变化会影响直接能源消耗，也会影响工业制品和原材料需求，进而影响间接能源消耗。本研究围绕人口这一关键驱动因素，通过依次分析人口消费行为特征、消费需求、直接和间接能源需求，明确了人口驱动下的消费影响和能源需求变化。分析框架如图 3-1 所示。

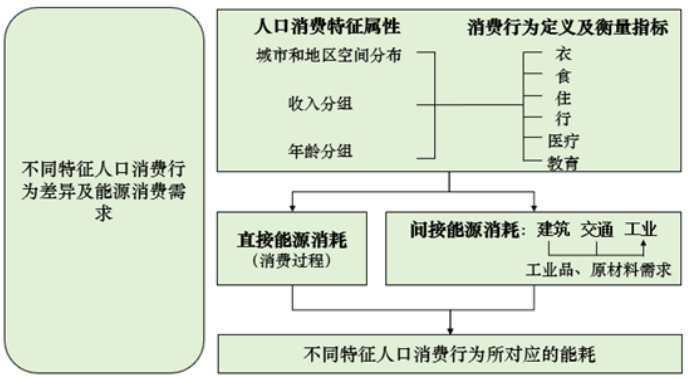


图 3-1 人口驱动下的消费影响和能源需求分析框架

为进一步细化人口驱动因子对各部门产品和不同能源品种的消费需求，本研究结合自下而上的 PECE-LIU 能源-环境-经济系统模型，获取人口驱动下消费影响变化产生的未来能源消费需求和碳排放结果，探讨碳中和目标下满足预期需求

的能源系统转型路径和化石能源退出路径。作为能源技术模型，PECE-LIU 模型以丰富的技术信息为基础，遵守能流过程，涵盖能源开采、加工转换、运输和最终使用全流程，包含能源系统所有部门，并重点构建了主要包括工业、建筑、交通等主要能源消耗与排放行业。

模型首先对城乡分布、收入水平和年龄分组进行刻画，结合人口模块中得到的不同特征人群的消费差异，确定不同消费品种类下，不同特征人群的消费特征值。然后区分能源服务需求、耐用消费品需求和基础设施需求等直接能源需求，其中后两者将进一步影响工业原材料生产、工业主要产品产量需求等间接能源需求。最后在能源技术模块中得到能源消费需求量、能源结构和碳排放信息。整体模型输入主要包括人口特征、经济、技术、资源等参数，模型产出包括详细的分时段、分部门、分燃料品种的能源消费、能源结构、碳排放。技术路线图如图 3-2 所示。

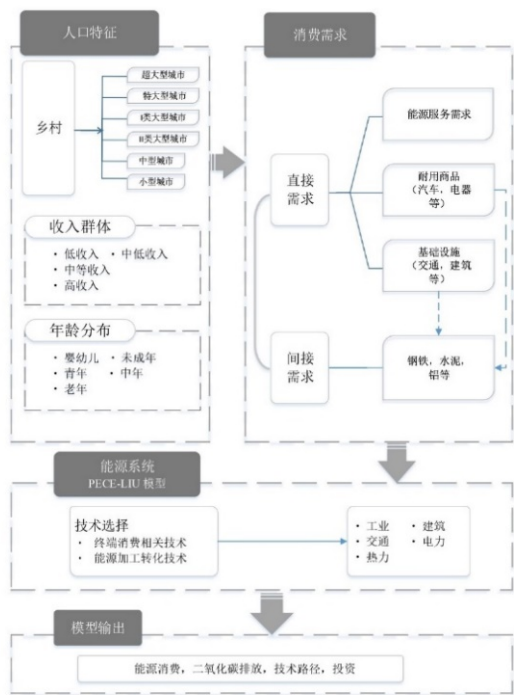


图 3-2 人口驱动下能源需求和碳排放分析模型

注：在人口驱动因子分析和终端能源消费需求模拟基础上，为了满足碳中和排放路径和化石能源退出路径分析要求，研究进一步利用 PECE-LIU 模型的加工转换模块，对电力、热力等加工转换部门进行模拟，得到化石能源退出及影响的完整结果。

3.2 人口未来需求预测

基于以上分析框架，在明确不同人口结构特征与消费行为关系后，结合未来人口发展趋势，获取未来的居民消费需求，并进一步通过分析消费对直接和间

接能耗的影响，确定在未来人口发展趋势下建筑、交通和工业部门三大主要能源部门的未来能源需求。其中城镇化和共同富裕对需求的提升将抵消老龄化降低人均需求的影响，近中期全面提升建筑、交通和工业部门的消费需求，长期中随着人口总量的下降产生需求量的下降。

3.2.1 建筑部门需求预测

随着城镇化和共同富裕的进程推进，未来我国人均住宅面积将达到发达国家水平，而法国、德国、英国和日本等经济强国人均住宅面积约为 40-45m²。如果要想实现比较舒适的居住环境，假设到 2060 年，城镇居民人均住宅面积为 45m²/人。中产阶级及以上收入人群是主要的多套房需求来源，若平均到每户拥有多套房面积约 100m²，则各情景到 2060 年城镇住房建筑面积将达到 421.15 亿 m²。

城镇住房建筑和公共建筑总面积还会继续增长，但受人口下降和市场环境的影响，新增建筑面积从 2020 年新增约 38 亿 m² 逐渐下降至 2041-2050 年平均新增 27.49 亿 m²，2051-2060 年年均新增面积仅为 24.37 亿 m²。未来分时段年均新增房屋建筑面积如下图所示。

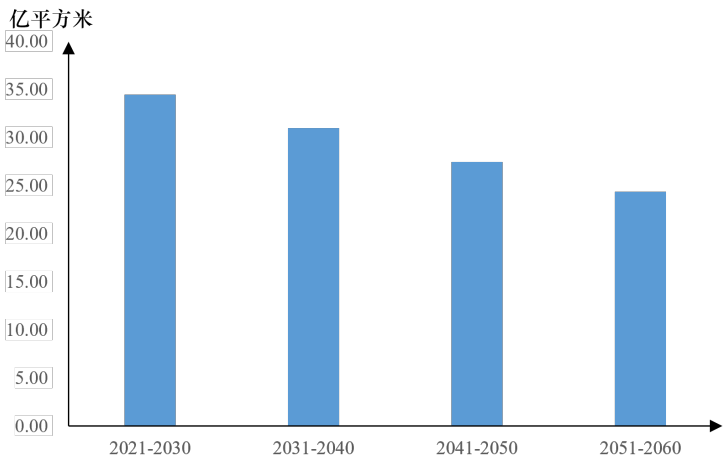


图 3-3 年均住宅建筑面积增长趋势假设

中国家电拥有量还有继续增长的空间，冰箱、洗衣机、热水器等基础家用电器还没有实现完全普及。伴随城镇化过程，家电数量会继续上升，且城乡差距逐渐消除。未来将有更多家庭拥有多台电视机，以满足不同家庭成员的休闲需求，电视机新技术新功能发明应用也会加快家庭电视机的更新速度。越来越多的家庭会在卧室、客厅分别安装空调；随着收入水平提高，也会有更多的农村居民购买和使用空调，改善室内热环境。计算机将实现全面普及，成为办公娱乐必不可少

的工具，使用频率也会持续上升。对未来城镇和农村家电拥有量假设如下表所示。

表 3-1 未来家电拥有量假设

城镇	2020	2030	2050	农村	2020	2030	2050
冰箱	103.1	103.1	103.1	冰箱	100.1	100.1	100.1
电视	123.0	130	150	电视	117.8	126.67	140
洗衣机	99.7	100	100	洗衣机	92.6	100	100
微波炉	56.5	60	90	微波炉	19.7	40	100
抽油烟机	82.6	100	100	抽油烟机	30.9	53.93	100
电饭锅	100	100	100	电饭锅	100	100	100
计算机	72.9	100	150	计算机	28.3	56	100

3.2.2 交通部门需求预测

随着城镇化率的提升和收入水平的提高，居民的出行需求和里程数增长，中国全社会客运周转量会快速增长，向发达国家水平靠近。同时老龄化也将提升对公共交通的需求，与城镇化进程共同提升对出租车和城镇轨道交通的需求，要求配套交通基础设施进一步完善。考虑中国国土面积以及对未来人口的预测，到 2050 年中国居民人均出行距离将超过当前德国和日本水平，达到 18000 km，约为 2013 年中国居民人均出行面积的 2.8 倍。届时中国全社会客运周转量将超过 24 万亿人公里，约为 2013 年的 2.76 倍。

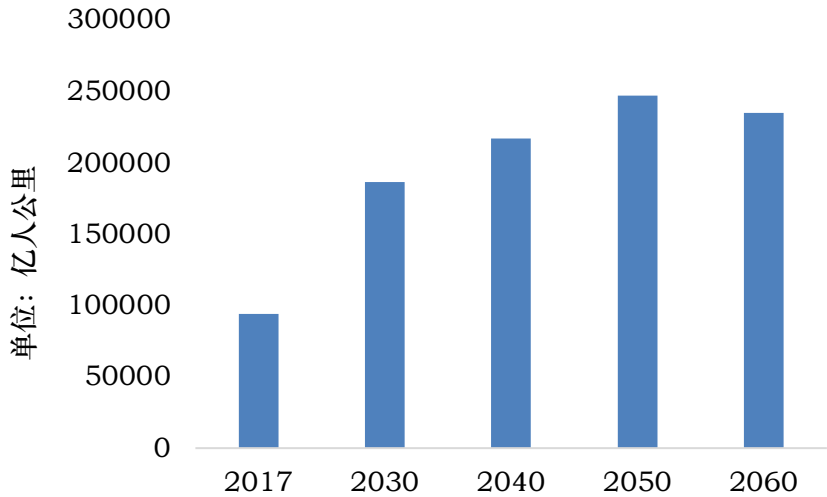


图 3-4 中国全社会客运周转量增长趋势

客运周转量整体提升的同时，出行结构也将发生变化，其中居民人均年航空出行距离将从当前的 416 公里增长到 2050 年的约 2000 公里，中国航空客运周

转量占社会客运周转量比重从将在 2050 年增长到约 11%。同时，考虑到中长期铁路网络规划和新型城镇化规划都大力推动城市群内铁路网络建设，预计铁路依然是城际间重要的出行方式，铁路客运周转量比重基本维持不变。受航空出行的快速上升和铁路网络不断完善的影响，公路客运周转量的占比将略有下降，但在未来依然占绝对主导地位。预计 2050 年航空客运周转量占比将提升至 11%，公路客运周转量降低至 76%。

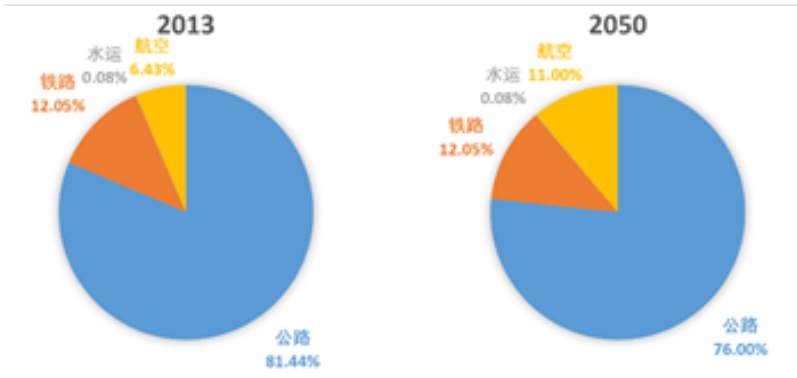


图 3-5 中国客运周转量结构变化趋势

受建筑和交通部门需求增长的影响，工业部门相关工业品和建材需求不断增长，生产和消费的增长将进一步提升未来中国货运周转量，2030 年后伴随经济发展进入成熟期，我国货运业也将迈入稳定期。2030 年以后，由于中国经济进入新常态，经济增速逐渐放缓，经济结构开始由工业主导向服务业主导变化，工业部门各类“去产能”政策使得货运周转量增速明显下降，预计 2030-2060 年中国货运周转量年均增长 0.29%，2060 年全国货运周转量 30.50 万亿吨公里，比 2020 年增加 9.5 万亿吨公里，提升 45.28%。

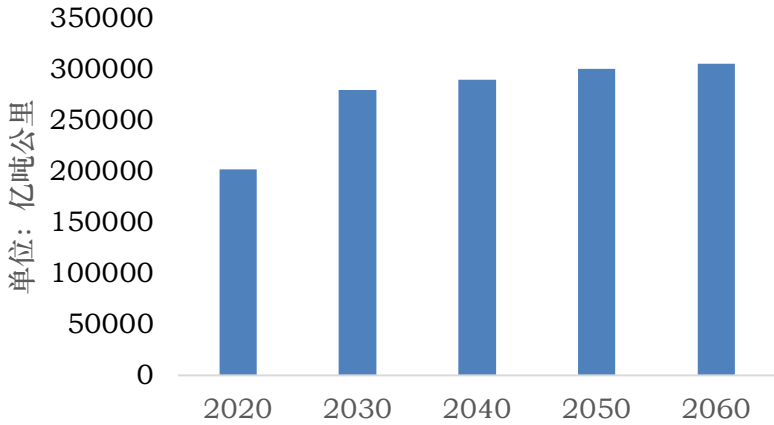


图 3-6 中国货运周转量变化趋势

人均收入水平提高以及汽车价格降低带来的汽车购买力增长会导致中短期汽车保有量的快速上升，而随着城镇化进程趋于稳定，城市人口密度过高和交通过载等问题出现，汽车保有量增速会明显放缓并最终达到城市的饱和水平。预计汽车保有量从2020年2.8亿辆增加到2030年4.9亿辆，2050年5.7亿辆和2060年5.56亿辆。

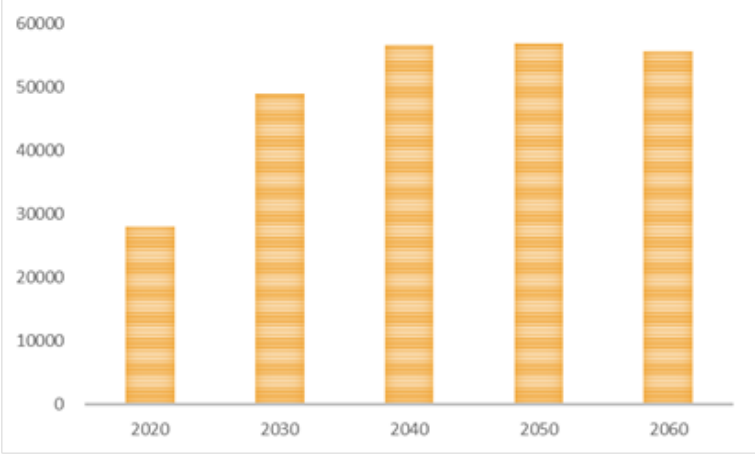


图 3-7 汽车保有量预测

汽车保有量的需求将促进汽车销量总体趋势在2045年以前波动上升，2030年有一个小高峰，之后汽车销量有所下降，在2050年之后稳定在3200万辆左右。这主要是因为汽车销量中私人乘用车销量影响较大，而私人乘用车在年龄达到8岁之后淘汰速率会快速增加，2020年时寿命分布在0-4岁的私人乘用车占比超过50%，这一部分乘用车在2030年的加速淘汰带来了汽车销售的小高峰。

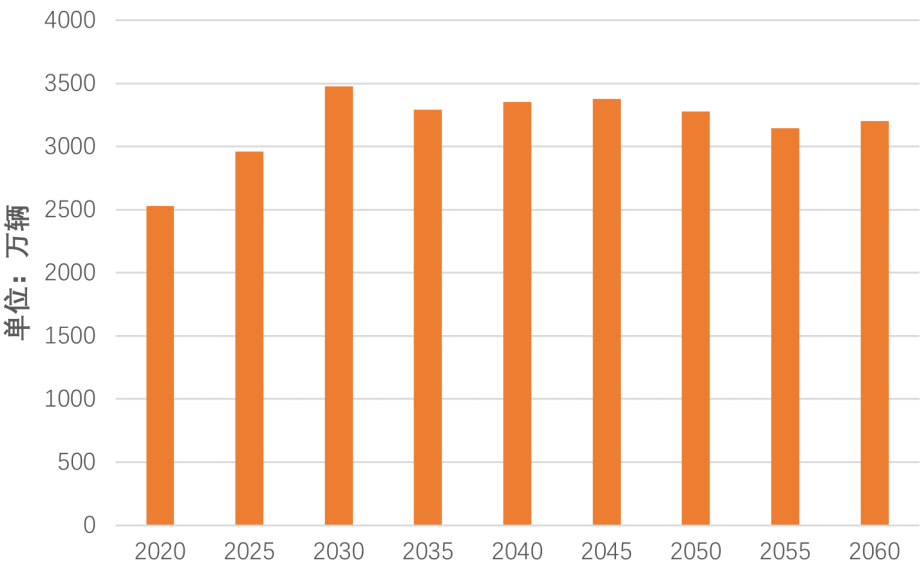


图 3-8 未来汽车销量预计

3.2.3 工业部门需求预测

工业部门的生产受到下游建筑和交通部门以及居民消费的影响，受人口总量下降和去产能等因素的影响，整体增长潜势较低。粗钢、水泥产量总体上稳步下降，分别从 2020 年 10.5 亿和 23.9 亿吨稳步下降至 2050 年的 8 亿吨和 15.2 亿吨，2060 年进一步下降至 6.5 亿吨、11.1 亿吨。在铝工业方面，随着“以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进”的发展格局逐步形成，国内原铝消费占产量的比重预计在 2035 年上升至 70%，再生铝比重由 2020 年 17%提升至 2035 年的 40%，电解铝产量在持续上升的同时增速逐步放缓，会经历一个产量峰值，从 2020 年 3708 万吨增加到 2050 年 4836 万吨，再到 2060 年下降至 4080 万吨。

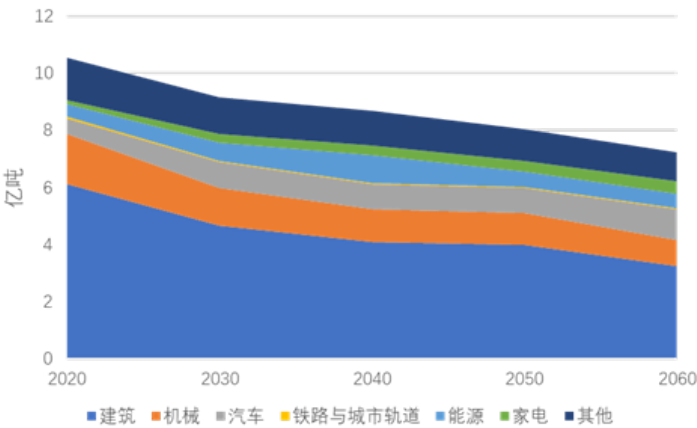


图 3-9 未来粗钢产量和下游行业消费结构

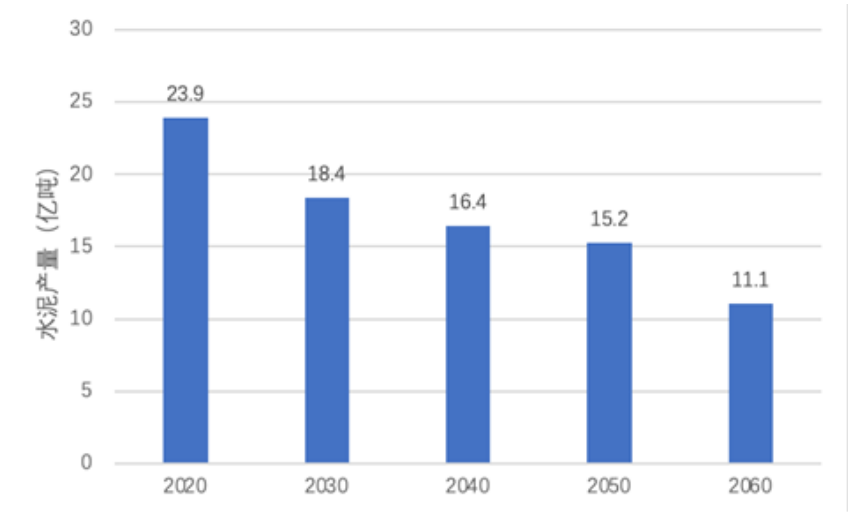


图 3-10 未来水泥产量变化趋势

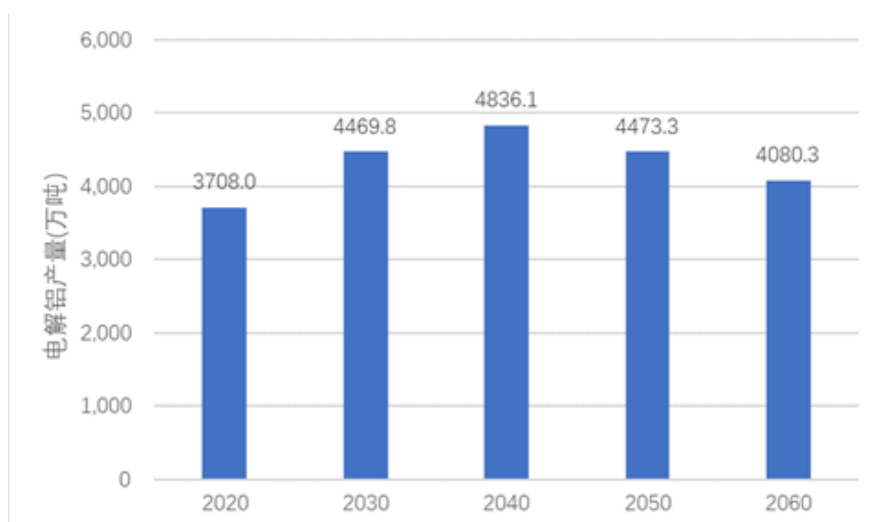


图 3-11 未来电解铝产量变化趋势

当前中国人均乙烯消费量与发达国家仍有较大差距，预计到 2060 年中国乙烯产量将增加至 6085 万吨，而合成氨、烧碱、纯碱当前存在一定的产能过剩问题，根据合成氨、烧碱、纯碱的上下游产业链需求关系，预计在 2060 年将分别降低至 4829 万吨、3043 万吨和 2455 万吨左右。

表 3-2 主要石化和化工产品未来产量假设

产品-万吨	2020	2030	2040	2050	2060
乙烯	2160.02	3047.05	4094.38	4991.86	6084.95
合成氨	5117.07	5471.82	5336.44	5076.24	4828.72
烧碱	3673.85	3739.63	3699.32	3576.74	3403.08
纯碱	2812.4	2700.01	2672.17	2583.56	2455.45

3.3 情景设置

基于未来人口发展趋势分析，结合 2060 年碳中和目标，本研究设定了两种情景：保持历史发展趋势的基准情景和实现双碳目标的碳中和情景，并模拟两种情景下中国中长期能源发展与转型路径，明确在中国当前的人口和经济发展驱动下，未来的重点减排领域和中长期的 CO₂ 排放路径。

在基准情景中，到 2060 年，城镇化率达到 80%，65 岁以上人口的占比达到 22.63%，中等收入群体人数达到 9 亿。并且保持减排技术推广、化石能源消费控制和 CO₂ 减排控制等相关政策力度保持当前政策水平，能源效率提升、减排技术

进步等保持历史发展趋势缓慢进步，综合能耗降低、碳强度下降速率缓慢，能源结构转型速率基于历史趋势和市场要求缓慢提升。

碳中和情景则是在城镇化、老龄化与共同富裕假设与基准情景一致的基础上，保持与双碳相关的国家发展战略一致，重点行业、重点企业率先实现碳达峰，严控燃煤电厂装机，严控“双高”工程；推动钢铁、有色金属、水泥、石化、化工等行业提前达峰，最终实现 CO₂ 净零排放。

3.4 中长期能源消费

根据未来人口发展趋势下的需求预测，本研究进一步分析了未来的能源消费需求，结合基准情景和碳中和情景明确未来实现碳中和目标所需要的能效提升和能源结构转型需求。

基准情景中保持当前的减排政策强度，没有采取额外的减排措施，主要反映了人口驱动的需求变化带来的能源消费变化，总一次能耗自 2020 年持续增长，到 2050 年达到峰值 80.4 亿吨标煤，到 2060 年下降至 76.1 亿吨标煤，相对 2020 年增长 50.8%。基准情景中，由于城镇化、老龄化与共同富裕带来的未来能源消耗增加，工业、建筑、交通部门的 2060 年终端能源消耗均高于 2020 年，给碳中和目标带来巨大挑战。其中，2060 年工业部门的终端能源消耗为 30.59 亿吨标准煤，比 2020 年增长 30.17%；建筑部门的终端能源消耗为 10.83 亿吨标准煤，比 2020 年增长 53.18%；交通部门的终端能源消耗为 10.31 亿吨标准煤，比 2020 年增长 114.79%。2020 与 2060 年基准情景工业、建筑、交通部门终端能源消耗如下图所示。

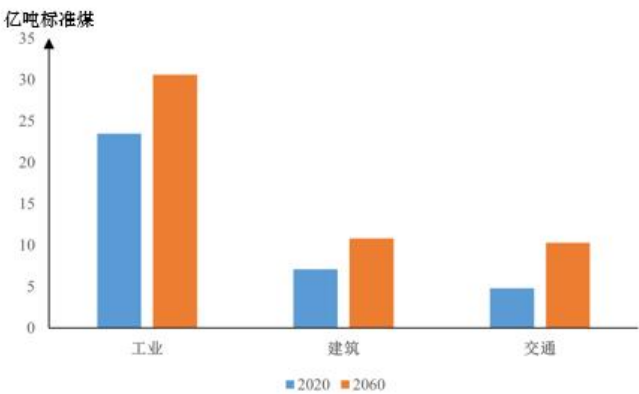


图 3-12 2020 与 2060 年基准情景工业、建筑、交通部门终端能源

需求变化带来的总能耗大幅增长对于 2060 年前实现碳中和的目标提出了

巨大挑战，为实现碳中和目标，在碳中和情景中采取了严控煤电装机，促进可再生能源装机迅速增长，要求钢铁、有色金属、水泥、石化、化工等行业尽早达峰，促进电动汽车和氢燃料电池车应用，推动节能技术使用等一系列能效提升、能源结构转型、新兴技术替代措施，最终需要实现一次能耗在 2050 年达到峰值 67.0 亿吨标煤，并在 2060 年下降至 55.0 亿吨标煤，相对于 2020 年仅增长不足 10%，相对于基准情景减少 28%。

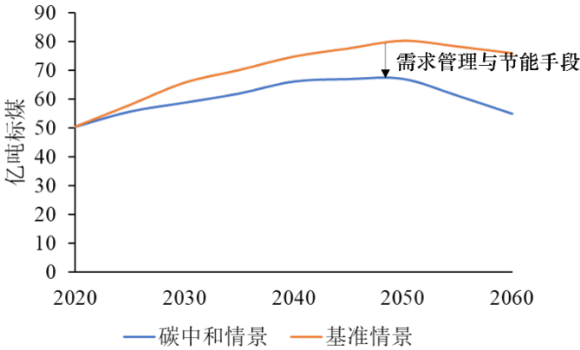


图 3-13 2020-2060 年不同情景中一次能源消耗总量

基准情景下，一次能源消费以煤炭、石油和天然气等化石能源为主，自 2020 至 2060 年占总能耗的比重保持在 80%左右。化石能源消费总量在 2050 年达到峰值 64.9 亿吨标煤， 2060 年下降至 60.9 亿吨标煤，相对 2020 年增长了 45%。

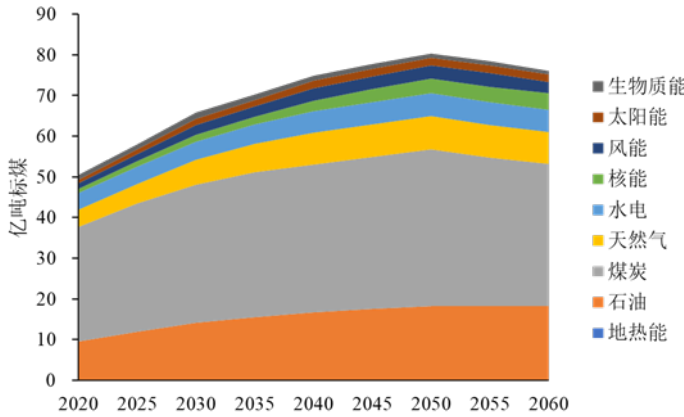


图 3-14 2020-2060 年基准情景下一次能源消费量及消费结构

相对于基准情景，碳中和情景中要求化石能源逐步退出，并增加对风能和太阳能等可再生能源的消费。化石能源消费总量在 2025 年达到峰值 45.2 亿吨标煤，然后保持下降态势直至 2060 年达到 11.27 亿吨标煤，相对 2020 年下降超过 70%；非化石能源消费总量和占比不断增长，从 2020 年的 8.6 亿吨标煤，占比不足 10%，增长到 2060 年达到 43.7 亿吨标煤，占比达到 80%，相对 2020 年增长超

过 5 倍。

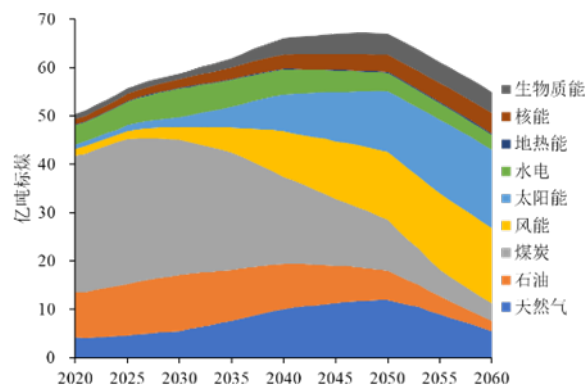


图 3-15 2020-2060 年碳中和情景下一次能源消费量及消费、结构

基准情景中，各部门的终端能源总需求到 2050 年达到峰值 55.9 亿吨标煤，到 2060 年下降至 52.8 亿吨标煤。而碳中和情景中，由于终端部门化石能源逐步被电力替代，各部门的终端能源消费在 2060 年降为 28.9 亿吨标煤，比 2020 年下降 20.78%。2020 年与 2060 年基准情景、碳中和情景的各部门终端能源需求如下图所示。

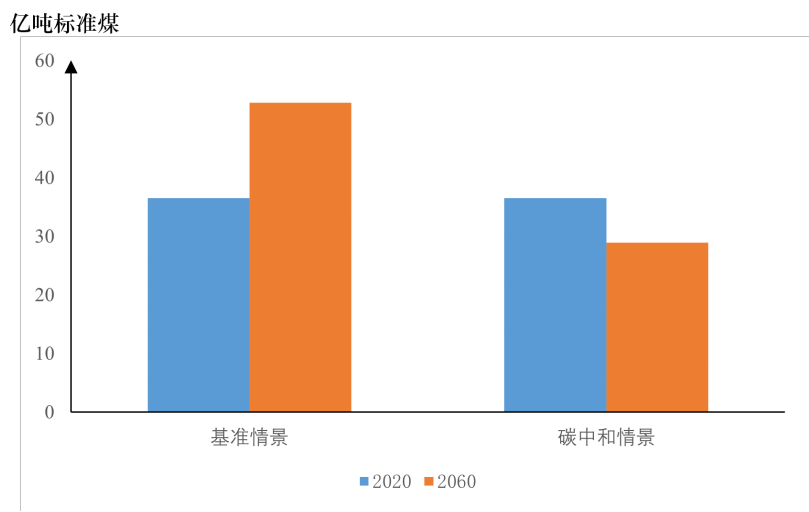


图 3-16 2020 年、2060 年基准情景与碳中和情景各部门终端能源需求

基准情景中，终端能源消耗占比最大的是工业部门，自 2020 至 2060 年占比保持在 60%左右。工业部门终端能源需求在 2050 年达到峰值 34.1 亿吨标煤，到 2060 年下降至 30.6 亿吨标煤，相对于 2020 年增长 30%。建筑部门的能源需求保持增长态势，到 2060 年达到 10.8 亿吨标煤，相对 2020 年增长 53%。交通部门同样呈增长趋势，到 2060 年达到 10.3 亿吨标煤，相对 2020 年增长 115%。

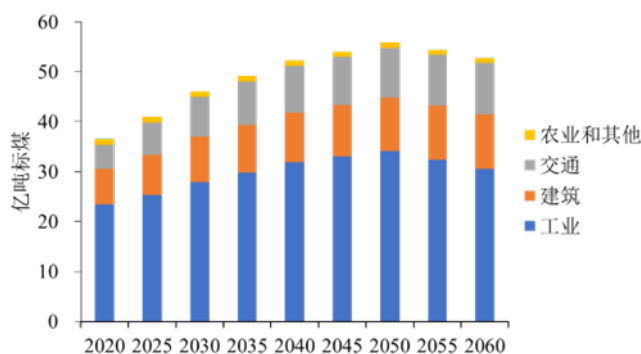


图 3-17 2020-2060 年基准情景下分部门终端能源需求

碳中和情景下要求各部门尽早达峰，且要求工业部门能耗需求大量削减。终端能源总需求量表现出先上升后下降的趋势，各部门总需求量在 2040 年达到峰值，然后迅速下降。工业部门的需求量占比最大，在 2040 年达到峰值，此时占比达到 64%，然后迅速下降，到 2060 年能源需求占比不足 50%。其他部门的能源需求变化相对较小。

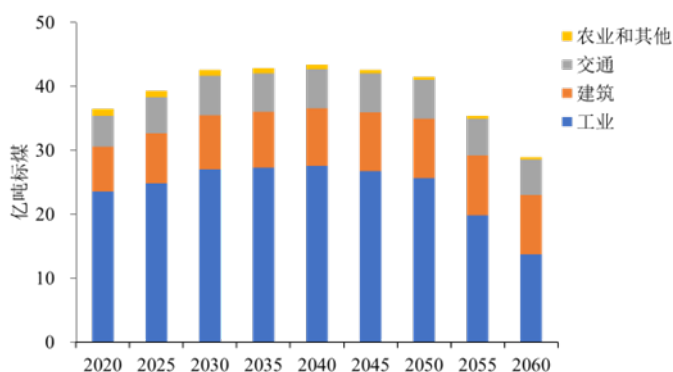


图 3-18 2020-2060 年碳中和情景下分部门终端能源需求

基准情景下，终端能源消费仍以煤炭、石油和天然气等化石能源为主，在整体终端能耗中的占比保持在 60%左右，化石能源需求在 2050 年达到峰值 33.1 亿吨标煤，到 2060 年略有降低到 31.2 亿吨标煤，相对于 2020 年水平增长接近 34%。电力需求占比从 2020 年的 25%缓慢增长到 2060 年的 29%，在 2060 年终端电力需求为 15.1 亿吨标煤，相对 2020 年电力消费需求增长 65%。

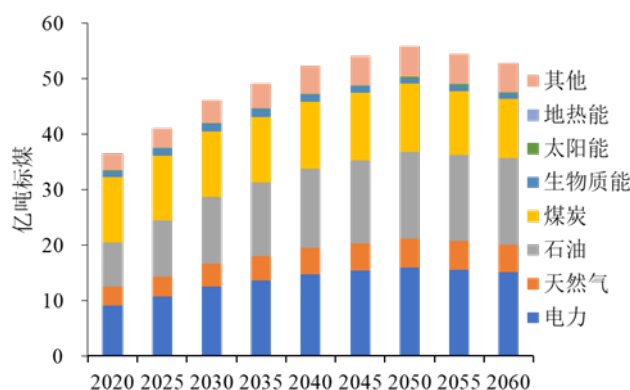


图 3-19 2020-2060 年基准情景下分品种终端能源需求

为实现碳中和目标，要求化石能源消费迅速下降，电力占比迅速提升。碳中和情景下，煤炭、石油和天然气需求呈下降趋势，占比从 2020 年的 66% 下降到 2060 年的 20%，需求量相对 2020 年下降 76%。随着电气化率的不断提高，电力逐步替代化石能源，电力需求量和占比迅速增长，占比从 2020 年的 25% 增长到 2060 年接近 60%，需求量相对 2020 年增长超过 80%。

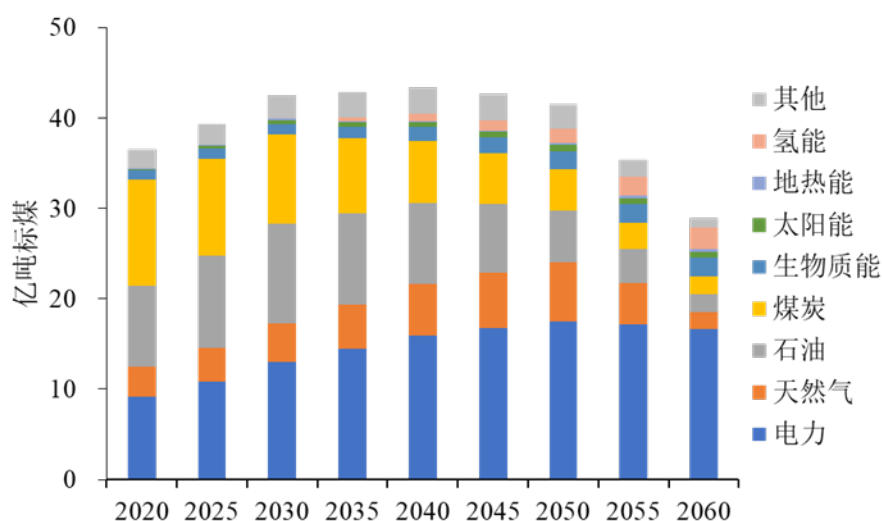


图 3-20 2020-2060 年碳中和情景下分品种终端能源需求

3.5 中长期碳排放趋势和碳中和路径分析

基于以上通过对不同人口结构特征的消费影响分析，结合未来的人口发展趋势获取未来的消费需求，进而通过直接能耗和间接能耗分析建筑、交通和工业部门能源需求影响和整体能源消费规模和结构影响，未来人口发展趋势下的碳排放影响和碳中和路径逐步明晰。

城镇化和共同富裕的人口发展趋势将在整体上抵消老龄化降低碳排放的效应，具有提高碳排放量的潜势，但在长期中人口数量的逐步下降将降低能源需求

和碳排放，但是这种降低仍不足以实现碳中和目标，需要从需求端和供给端同时发力，在满足居民美好生活需要的基础上科学制定碳中和路径。

城镇化将产生用能需求增加，具有推动碳排放增长的潜势。城镇化将提高取暖碳排放，并通过提高对消费品、建筑面积和交通出行需求增加建筑、交通和工业部门的碳排放。尽管在未来农村居民的人均碳排放可能超过城镇居民，但由于城镇居民总量的提升，城镇居民在建筑部门炊事、制冷、照明等过程中产生的碳排放将进一步增长；居民取暖需求和用能增加；与此同时，医疗、教育和娱乐等公共建筑需求增长，建筑用能和碳排放增加；同时部分大城市人口将进一步集聚，对出租车和城镇轨道需求将推动交通部门的碳排放增长。

老龄化将改变建筑和交通部门的碳排放规模和结构。老龄化首先将产生建筑取暖的增加，对电梯等配套设施以及智能门锁、烟雾报警器、温度传感器等智能安全系统和智能社交互动协助设备等智能家居需求增加，对取冷、炊事和热水需求降低；降低了私家车出行的碳排放，增加了公共交通出行的需求；产生了对医疗公共建筑需求的增加。整体上将产生建筑和交通部门的碳排放降低，但是又可能会增加建筑部门取暖碳排放和公共交通碳排放。

收入增长和共同富裕进程将全面促进碳排放的增长。居民的人均住房面积和家电保有量提升，产生更高的取暖和制冷需求，建筑需求和建筑用能及碳排放将进一步增长；居民汽车保有量和人均出行里程也将进一步增长，进而提高交通部门的碳排放，拉动交通部门的基础设施建设和相关工业品需求，有推动工业部门碳排放增长的趋势。但是与此同时，更高的收入水平将改变居民的家庭能源消费结构，尤其是高收入群体将更少使用天然气和煤炭等化石能源，改善建筑部门用能结构。

为实现碳中和目标，必须基于以上人口发展趋势对碳排放的可能影响，在需求端促进低碳出行、低碳产品消费，降低居民消费行为的碳足迹，在供给端推动能源结构调整和技术转型升级。在碳中和情景下，总体碳排放需要 2025 年达到峰值，然后迅速下降，到 2060 年实现碳中和目标。而在基准情景中，碳排放将在 2050 年达到峰值，随后缓慢下降。相对于基准情景下的碳排放，2060 年两个情景之间的碳排放差异达到接近 150 亿吨 CO₂。

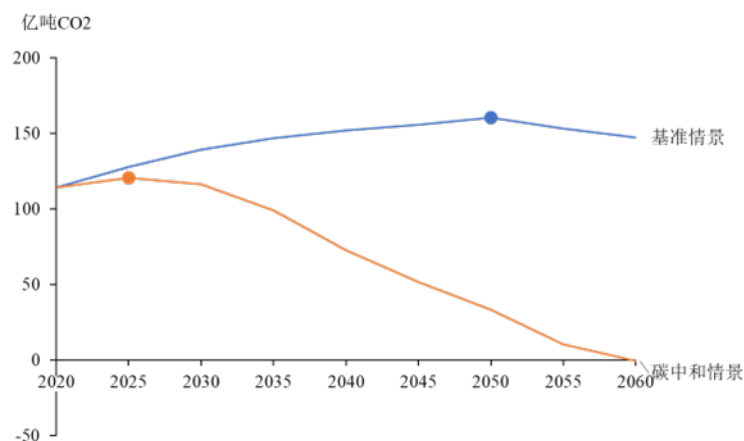


图 3-21 2020-2060 年两种情景下的碳排放路径

为实现碳中和目标，各部门都需要尽快达峰并迅速减排。其中工业部门、建筑部门和农业和其他部门的碳排放需要立即达峰；而电力部门预计在 2025 年达峰，并在 2050 年后实现负排放；尽管交通部门的能耗低于建筑部门，但是由于建筑部门的高度电气化，交通部门将产生更高的碳排放。由于社会经济的发展，交通需求迅速增加，交通部门的碳排放晚于其他部门，预计在 2030 年达峰。

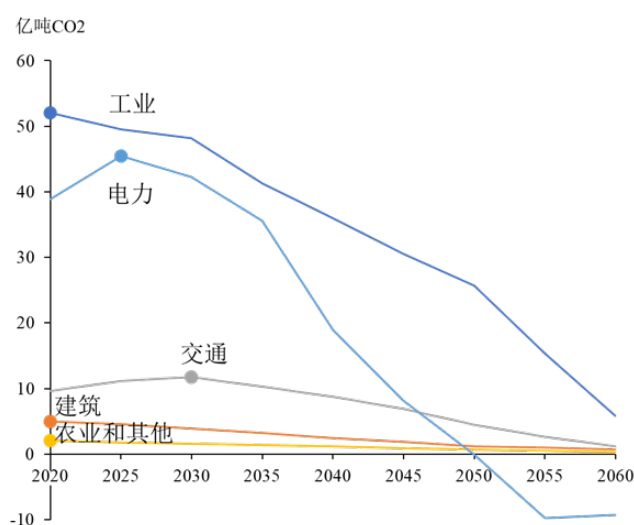


图 3-22 2020-2060 年碳中和路径下分部门碳排放

电力部门需要实现煤炭等化石能源有序退出，大力发展光伏和风电等新能源，同时应用 BECCS 等负排放技术。当前煤炭是主要的发电能源，在 2020 年来自煤炭的发电量占比超过 60%，为实现碳中和目标，当前已经存在的煤电机组在电力系统中的角色需要从基础电源转变为调峰、调频等灵活性资源，发电小时数逐渐下降，到 2060 年，预计煤电发电量占比低于 5%。同时光伏和风电装机迅速提升，

到 2060 年来自风电和光伏的发电量达到 65%。结合 CCS 技术的天然气和生物质发电新增装机到 2060 年达到 18%。

工业部门同样需要推动能源结构转型和创新技术的迅速应用。钢铁行业当前煤炭消费占比超过 80%，要求当前的主要技术高炉炼钢迅速转型，转向电炉和氢基直接还原铁技术，电炉炼钢占比从当前 9.2% 上升至 2060 年 50%。剩余尚未退役的长流程炼钢工艺将配备 CCS 技术对 CO₂ 排放进行捕获。水泥行业电气化迅速提升，推动水泥窑废弃物协同处置等技术的应用，剩余水泥工艺将通过加装 CCS 进行控排。推动石化和化工行业应用来自可再生能源发电的绿氢作为原料的比例，推动原料和燃料脱碳。

交通部门当前主要依赖于石油作为关键燃料，碳中和路径中，需要电动汽车使用比例迅速提升，氢燃料电池汽车在货运过程中广泛应用，生物燃料规模迅速扩大。到 2060 年，交通部门的石油需求占交通部门总能源需求的比重仅为 10%，主要集中在货运的重型货车和低速汽车；电力需求占比上升至 23%，主要应用于乘用车领域和部分轻型货车；氢能需求和生物汽油占比分别达到 36% 和 30%，分别应用于中长距离货车和水运、航运。

建筑部门需要电气化率逐步提升，加强对太阳能等可再生能源的利用，天然气使用在 2020 年达到峰值，并保持下降趋势，到 2060 年下降到不足 5%。

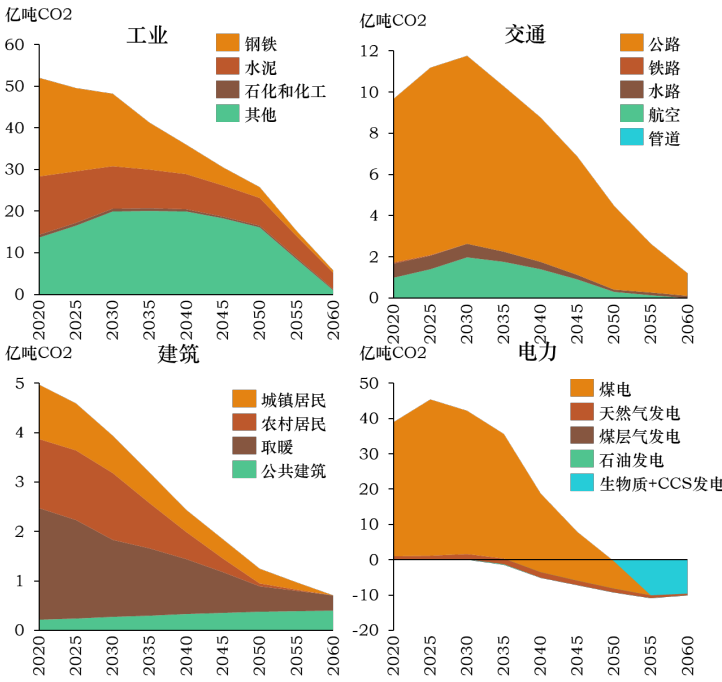


图 3-23 2020-2060 年碳中和路径下分部门碳排放

第四章 结论与政策建议

4.1 结论

中国人口总量和结构特征正在发生重大变化，人口总量在 2021 年达到峰值 14.13 亿，并在 2022 年出现近 61 年来首次负增长，进入新发展阶段。城镇化仍持续发展，城镇人口向（特）大城市（地区）与县市域两端集聚，在区域层面表现出中西部地区人口向东部地区流动，人口向经济发达区域集聚的趋势。中国老龄化趋势日趋显著，老龄人口的数量增速加快，占比持续增长。收入结构方面人均可支配收入持续增长，中国已经具有全球规模最大、最具成长性的中等收入群体，但同时收入不平等的现象依然存在，未来需要向着共同富裕的目标持续迈进。

在人口总量和结构发生重大变化的同时，党的二十大提出的中国式现代化内涵要求双碳目标的实现要落到满足人民对美好生活向往的合理需求上，终端能源需求规模和结构将决定双碳目标的实现难度。因此分析不同人口结构下的消费特征以及中国未来中长期城镇化、老龄化和共同富裕的人口发展趋势下的能源消费及碳排放趋势是科学制定碳中和路径的基础。

研究结果表明中国人口结构特征变化对我国生产、生活、能源消费需求和碳排放将产生根本影响。城镇化进程将提升居民的消费水平，尤其是在能耗强度较高的建筑和交通领域，能够提升人均居住面积、家电保有量和交通出行水平，进而带来持续的工业生产需求，产生新的建筑和交通公共基础设施建设。城镇化的发展首先将提升人均居住面积和医疗、教育和卫生等公共建筑面积，这将拉动建筑需求，产生对钢铁、水泥等相关工业品的需求增长，同时由于人均居住面积和公共建筑面积的增加，将带来建筑取暖、制冷和照明等总能耗的增长，进而对工业、建筑和交通部门产生系统性影响。城镇化同样将提升居民的冰箱、电视、洗衣机等家电保有量水平，进而增加建筑能耗和相关家电工业品制造的需求。在交通领域，出租车、公共汽车和城市轨道交通需求增加，居民的人均出行里程增长，交通能源直接消费提升，交通基础设施建设和交通工具相关工业制造需求增长。

人口老龄化将由于不同年龄人群的消费需求差异产生消费需求降低和消费结构调整，尤其是在居住、交通和医疗部门。老龄化趋势下居民的取暖需求增长而制冷需求降低，更大规模的老龄群体伴随生命周期中取暖需求的增加将会产生

更高的取暖能耗，这将对南方和农村地区等非集中供暖区域的能耗控制产生较大的挑战，要求加强建筑保温和超低能耗清洁取暖设施的大规模推广；占比更高的老龄人群在夏天同样需要更高的温度，将降低总体制冷需求，缓解未来不确定性增加的季节温度变化中的制冷能耗压力。同时炊事和热水的能源需求降低，建筑部门需要更多关注电梯等配套设施以及智能门锁、烟雾报警器、温度传感器等智能安全系统和智能社交互动协助设备等智能家居的影响。老龄化将降低交通部门的能源需求，老龄人群出行频率下降同时出行距离缩短，更多采用步行、自行车等非机动车和公共交通出行方式。这要求老龄化社区周边具有完善的保障性基础设施建设，例如商场、银行、健身和娱乐设施等配套设施等，同时要求加强交通基础设施建设，提高公共交通的便利性。老龄人群的医疗需求增长产生对医疗公共建筑和家庭护理器械的需求增长，带来相关基础设施建设需求、相关工业行业生产和建筑用能的增加。

收入增长和共同富裕将直接提升居民的消费水平，整体性的提高居民各方面的能源服务需求。共同富裕将降低收入不平等的程度，提高居民的人均住房面积和家电保有量，同时提高居住舒适度需求，进而产生更高的取暖和制冷需求，提高建筑需求和建筑用能。更高的收入水平将改变居民的家庭能源消费结构，尤其是高收入群体将更少使用天然气和煤炭等化石能源。收入增长将提升居民汽车保有量和人均出行里程，进而提高用于交通的能源消费量，拉动交通部门的基础设施建设和相关工业品需求。

三种人口结构变化都将影响居民消费需求，城镇化和共同富裕对消费和能源消耗提升的驱动作用抵消了老龄化降低能源需求的效应，在整体上提高了能源需求，推动全社会能源消费总量在近中期持续上升，给碳达峰、碳中和目标实现带来巨大挑战。保持当前的能源消费趋势，未来全社会一次能源消费持续增长，到2050年达到峰值80.4亿吨标煤，到2060年下降至76.1亿吨标煤，相对2020年增长50.8%。其中一次能耗以煤炭、石油和天然气等化石能源为主，自2020至2060年占总能耗的比重保持在80%左右。终端能源需求同样呈现上升趋势，工业部门的终端能源需求占比最大，在2050年达到峰值34.1亿吨标煤，到2060年略微下降至30.6亿吨标煤，相对于2020年增长30%，交通部门增长最快，到2060年达到10.3亿吨标煤，相对2020年增长115%。

4.2 政策建议

党的二十大提出的中国式现代化内涵要求双碳目标的实现要落到满足人民对美好生活向往的合理需求上，因此必须重视人口转型尤其是城乡分布、年龄结构、收入结构变化对能源消费需求的影响，从供需两端同时发力，识别需求端终端能源需求规模和结构变动，在清晰的需求基础上推动供给端加速脱碳，准确制定面向碳中和目标的能源系统转型路径。

4.2.1 明确需求端关键能源需求规模和结构变动

（1）关注能源结构空间调整和农村地区用能增长，避免能源基础设施布局路径锁定。城镇化发展将进一步产生对人口流动和集聚趋势的影响，考虑到城镇化发展可能带来的人均建筑面积增长、人均家电保有量增长、交通需求增加和供暖用变化，以及所产生的建筑、交通和工业用能增长，必须明确可能的人口流动趋势，关注能源需求和供给空间布局，提前布局能源基础设施，关注分布式可再生能源结合氢储能应用，为低碳城市化发展奠定基础。对比当前发达国家的城乡用能差异，未来中国农村的用能需求将随着农村居民生活质量要求不断提升，伴随城镇化发展带来的规模效应和集约效应发展，未来农村用能可能超过城镇居民人均用能，有较大的能源增长潜力，必须关注农村节能炉具和节能电器推广，推动农村电气化率提升，加强农村低碳基础设施建设。

（2）开展低碳生活方式教育宣传，形成低碳消费理念和绿色文化，促进低碳出行、低碳产品消费，降低居民消费行为的碳足迹。未来收入增长和共同富裕收入结构转型将全面推动居民消费水平提升，低碳消费是满足人民美好生活需要和低碳发展需求的必由之路。积极发展绿色低碳消费市场，健全绿色低碳产品生产和推广机制，推动耐用消费品转型升级，坚持发展节能低碳建筑，倡导绿色低碳出行，完善公共交通基础设施，同时注重引导消费者形成理性消费、绿色消费、低碳消费的消费习惯，倡导节约集约的绿色生活方式，从根本上降低居民消费增长产生的用能增长潜力。实现能源消费需求在 2050 年达到峰值 67.0 亿吨标煤，并在 2060 年下降至 55.0 亿吨标煤，相对基准情景降低 28%。

（3）关注老龄化对居民用能习惯和需求的影响，加强建筑保温和取暖能效提升，关注电梯等配套设施以及智能门锁、烟雾报警器、温度传感器等智能安全系统和智能社交互动协助设备等智能家居使用及能耗影响；完善公共交通基础设

施建设，推进老龄化社区周边绿色低碳保障性功能区建设；完善基层社区卫生保健服务，关注医疗行业能耗提升。

4.2.2 供给端尽快达峰，加速脱碳

在供给端中要求工业、建筑部门立即达峰，电力部门在和交通部门分别“十四五”末期和“十五五”末期达峰，达峰后各部门加快脱碳，这需要各部门实现深度电气化，推动氢能、太阳能、生物质能应用，加快 CCS 技术在钢铁、水泥、电力部门的应用。

（1）电力行业必须尽快脱碳，要求风电和光伏等可再生能源发电装机量迅速提升，推动煤电有序退出，结合 CCS 等负排放技术，实现电力行业深度脱碳并最终实现负排放。

（2）考虑到人口结构变动产生的建筑、交通两大直接用能领域能源需求增长，建筑材料、交通工具、耐用消费品需求量的提升将影响整个工业系统的能源需求。工业部门首先需要提升能效，加速电气化进程，转向低碳生产工艺，例如钢铁行业的高炉炼钢转向电炉和氢基直接还原铁技术、水泥行业加速水泥窑废弃物协同处置等技术，同时注重发展循环经济以延长材料的生命周期。

（3）交通部门首先应做好顶层设计，结合城镇化布局减少交通需求；加强低碳公共交通基础设施建设，发展低碳轨道交通，提高公共交通便利性；实现能源结构深度转型，促进生物燃料使用，推动电动汽车和氢燃料电池汽车的广泛应用。

（4）建筑部门大力发展绿色建筑；提高建筑部门用能电气化率，推动电力替代传统能源；推广高效电器，加强建筑围护结构建设，推广智能空调、照明等智能化能源管理系统应用，提高用能效率。

参考文献

- [1] 李实.共同富裕的目标和实现路径选择[J].经济研究,2021,56(11):4-13.
- [2] 刘培林,钱滔,黄先海,董雪兵.共同富裕的内涵、实现路径与测度方法[J].管理世界, 2021, 37(08):117-129.
- [3] 蔡昉.实现共同富裕的三个路径[J].中国外资,2021(20):5.
- [4] 宁吉喆.中国式现代化的方向路径和重点任务[J].管理世界,2023,39(03):1-19.
- [5] 刘世锦,王子豪,姜淑佳等.实现中等收入群体倍增的潜力、时间与路径研究[J].管理世界, 2022,38(08):54-67.
- [6] 李实,朱梦冰.推进收入分配制度改革 促进共同富裕实现[J].管理世界,2022,38(01):52-61+76+62.
- [7] Laurie Simon Bagwell, B. Douglas Bernheim. Veblen Effects in a Theory of Conspicuous Consumption[J]. The American Economic Review, 1996, 83(3): 349-373.
- [8] Wang Yan, Shi Minjun. CO₂ Emission Induced by Urban Household Consumption in China[J]. Chinese Journal of Population Resources and Environment, 2009(7).
- [9] Chuanwang Sun, Xiaoling Ouyang. Price and expenditure elasticities of residential energy demand during urbanization: An empirical analysis based on the household-level survey data in China[J]. Energy Policy, 2016(88): 56-63.
- [10] Dynan, Karen, E., Skinner, Jonathan, Zeldes, et al. Do The Rich Save More?[J]. Working Papers U.s.federal Reserve Boards Finance & Economic Discussion, 2000, 9.
- [11] Li Y , Fei Y , Zhang X B , et al. Household appliance ownership and income inequality: Evidence from micro data in China[J]. China Economic Review, 2019, 56: 101309.
- [12] Xiaobing Zhang, Ping Qin, Naiyuan Hu, et al. Household Appliance Ownership and Income Inequality[C]. Xinye Zheng, Chu Wei. Household Energy Consumption in China: 2016 Report. Springer, Singapore, 2019: 195–217.
- [13] Li C Z , Wei C , Yu Y , et al. Income threshold, household appliance ownership and residential energy consumption in urban China[J]. China Economic Review, 2020, 60(4): 101397.
- [14] Sim A , Rra B , Ahj A , et al. Implications of COVID-19 pandemic for energy-use and energy saving household electrical appliances consumption behaviour in Malaysia[J]. Energy Strategy Reviews, 2021, 38(11): 100765.
- [15] Ke Li, Boqiang Lin. Impacts of urbanization and industrialization on energy consumption/ CO₂ emissions: Does the level of development matter?[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015(52): 1107-1122.
- [16] Choi Y , Cho W , Ozaki A , et al. Influence of the moisture driving force of moisture adsorption and desorption on indoor hygrothermal environment and building thermal load[J]. Energy and buildings, 2021, 253(12): 111501.
- [17] Bissiri M , Reis I , Figueiredo N C , et al. An econometric analysis of the drivers for residential heating consumption in the UK and Germany[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 228(8): 557-569.

- [18] Th A , Wc B , Wz C , et al. How does income level impact residential-building heating energy consumption? Micro-level evidence from household surveys[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2021(91):106659.
- [19] Zhang M , Chen Y , Hu W , et al. Exploring the impact of temperature change on residential electricity consumption in China: The 'crowding-out' effect of income growth[J]. *Energy and Buildings*, 2021, 245(8):111040.
- [20] James B.Ang. CO₂ emissions, research and technology transfer in China[J]. *Ecological Economics*, 2009(10): 2658-2665.
- [21] Jorge Rojas-Vallejos, Amy Lastuka. The income inequality and carbon emissions trade-off revisited[J]. *Energy Policy*, 2020(139): 111302.
- [22] 刘俊伶. 中国中长期低碳发展战略目标与实现路径研究[D]. 中国人民大学, 2017.
- [23] Sunbin Yoo, Arum Cho, Faris Salman, Yoshikuni Yoshida. Green paradox: Factors affecting travel distances and fuel usages, evidence from Japanese survey[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 273(9): 122280.
- [24] Dargay J M, Clark S, Rose J. The determinants of long distance travel in Great Britain[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2012, 46(3): 576-587.
- [25] Joyce M Dargay. The effect of income on car ownership: evidence of asymmetry[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2001, 35(11): 807-821.
- [26] 世界卫生组织, 国家卫生与计划生育委员会. 中国老龄化与健康国家评估报告[R]. 2016.
- [27] 彭希哲, 宋靓璐, 黄剑焜. 中国失能老人长期照护服务使用的影响因素分析——基于安德森健康行为模型的实证研究[J]. 2021(2017-4):46-59.
- [28] 李乐乐, 杨燕绥. 人口老龄化对医疗费用的影响研究——基于北京市的实证分析[J]. *社会保障研究*, 2017(3):13.
- [29] 乐章, 秦习岗. 人口老龄化与医疗费用增长——基于医疗费用集中度和持续性的视角[J]. *人口研究*, 2021, 45(5):104-116.
- [30] ZHOU Y, LIU Y. Does population have a larger impact on carbon dioxide emissions than income? Evidence from a cross-regional panel analysis in China[J]. *Applied Energy*, 2016, 180: 800-809.
- [31] ZHANG H, CHEN J, YAN J, et al. Urban power load profiles under ageing transition integrated with future EVs charging[J]. *Advances in Applied Energy*, 2021, 1: 100007. DOI:10.1016/j.adapen.2020.100007.
- [32] YU B, WEI Y M, KEI G, et al. Future scenarios for energy consumption and carbon emissions due to demographic transitions in Chinese households[J]. *Nature Energy*, 2018, 3(2): 109-118. DOI:10.1038/s41560-017-0053-4.
- [33] YORK R. Demographic trends and energy consumption in European Union Nations, 1960–2025[J]. *Social Science Research*, 2007, 36(3): 855-872.

- [34] YANG T, WANG Q. The nonlinear effect of population aging on carbon emission-Empirical analysis of ten selected provinces in China[J]. *Science of The Total Environment*, 2020, 740: 140057. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.140057.
- [35] YAGITA Y, IWAFUNE Y. Residential energy use and energy-saving of older adults: A case from Japan, the fastest-aging country[J]. *Energy Research & Social Science*, 2021, 75: 102022. DOI:10.1016/j.erss.2021.102022.
- [36] STEEMERS K, YUN G Y. Household energy consumption: a study of the role of occupants[J]. *Building Research & Information*, 2009, 37(5-6): 625-637.
- [37] PALANGKARAYA A, YONG J. Population ageing and its implications on aggregate health care demand: empirical evidence from 22 OECD countries[J/OL]. *International Journal of Health Care Finance and Economics*, 2009, 9(4): 391-402. DOI:10.1007/s10754-009-9057-3.
- [38] OTA T, KAKINAKA M, KOTANI K. Demographic effects on residential electricity and city gas consumption in the aging society of Japan[J]. *Energy Policy*, 2018, 115: 503-513. DOI:10.1016/j.enpol.2018.01.016.
- [39] MENZ T, WELSCH H. Population aging and carbon emissions in OECD countries: Accounting for life-cycle and cohort effects[J]. *Energy Economics*, 2012, 34(3): 842-849. DOI:10.1016/j.eneco.2011.07.016.
- [40] LONG Y, YOSHIDA Y, MENG J, et al. Unequal age-based household emission and its monthly variation embodied in energy consumption – A cases study of Tokyo, Japan[J]. *Applied Energy*, 2019, 247: 350-362. DOI:10.1016/j.apenergy.2019.04.019.
- [41] LIDDLE B. Demographic Dynamics and Per Capita Environmental Impact: Using Panel Regressions and Household Decompositions to Examine Population and Transport[J]. *Population and Environment*, 2004, 26(1): 23-39.
- [42] LIDDLE B. Consumption-Driven Environmental Impact and Age Structure Change in OECD Countries: A Cointegration-STIRPAT Analysis[J]. *Demographic Research*, 2011, 24: 749-770.
- [43] LIDDLE B, LUNG S. Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts[J]. *Population and Environment*, 2010, 31(5): 317-343. DOI:10.1007/s11111-010-0101-5.
- [44] LIAO H C, CHANG T F. Space-heating and water-heating energy demands of the aged in the US[J]. *Energy Economics*, 2002, 24(3): 267-284. DOI:10.1016/S0140-9883(02)00014-2.
- [45] LEE R, MASON A. Population aging and the generational economy: a global perspective[M]. Cheltenham: Edward Elgar, 2011. <https://0-dx-doi-org.oasis.unisa.ac.za/10.4337/9780857930583>.
- [46] LEE R, MASON A, AMPORFU E, et al. Is low fertility really a problem? Population aging, dependency, and consumption[J]. *Science*, 2014, 346(6206): 229-234. DOI:10.1126/science.1250542.

- [47] KOK R, BENDERS R M J, MOLL H C. Measuring the environmental load of household consumption using some methods based on input–output energy analysis: A comparison of methods and a discussion of results[J]. *Energy Policy*, 2006, 34(17): 2744-2761. DOI:10.1016/j.enpol.2005.04.006.
- [48] KLUGE F A, GOLDSTEIN J R, VOGT T C. Transfers in an aging European Union[J]. *The Journal of the Economics of Ageing*, 2019, 13: 45-54. DOI:10.1016/j.jeo.2018.07.004.
- [49] Indraganti M , Ooka R , Rijal H B . Thermal Comfort in Offices in India: Behavioral Adaptation and the Effect of Age and Gender[J]. *Energy and Buildings*, 2015, 103:284-295.
- [50] Huang, Wen-Hsiu. The determinants of household electricity consumption in Taiwan: Evidence from quantile regression[J]. *Energy*, 2015, 87:120-133.
- [51] Hu X , Wang J , Wang L . Understanding the Travel Behavior of Elderly People in the Developing Country: A Case Study of Changchun, China[J]. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2013, 96:873-880.
- [52] FENG C, XIA Y S, SUN L X. Structural and social-economic determinants of China’s transport low-carbon development under the background of aging and industrial migration[J]. *Environmental Research*, 2020, 188: 109701. DOI:10.1016/j.envres.2020.109701.
- [53] ESTIRI H, ZAGHENI E. Age matters: Ageing and household energy demand in the United States[J]. *Energy Research & Social Science*, 2019, 55: 62-70. DOI:10.1016/j.erss.2019.05.006.
- [54] EHRLICH P R, HOLDREN J P. Impact of Population Growth[J]. *Science*, 1971, 171(3977): 1212-1217. DOI:10.1126/science.171.3977.1212.
- [55] CHENG L, CHEN X, LAM W H K, 等. Improving travel quality of low-income commuters in China: Demand-side perspective[J/OL]. *Transportation Research Record*, 2017, 2605(1): 99-108.
- [56] CHEN J, WANG X, STEEMERS K. A statistical analysis of a residential energy consumption survey study in Hangzhou, China[J]. *Energy and Buildings*, 2013, 66: 193-202. DOI:10.1016/j.enbuild.2013.07.045.
- [57] BROUNEN D, KOK N, QUIGLEY J M. Residential energy use and conservation: Economics and demographics[J]. *Green Building, the Economy, and Public Policy*, 2012, 56(5): 931-945. DOI:10.1016/j.euroecorev.2012.02.007.
- [58] Bedir M , Hasselaar E , Itard L . Determinants of electricity consumption in Dutch dwellings[J]. *Energy & Buildings*, 2013, 58(Mar.):194-207.
- [59] Batljan I, Lagergren M. Future demand for formal long-term care in Sweden. *Eur J Ageing*. 2005 Aug 16;2(3):216-224.
- [60] BARNICOAT G, DANSON M. The ageing population and smart metering: A field study of householders’ attitudes and behaviours towards energy use in Scotland[J]. *Special Issue on Smart Grids and the Social Sciences*, 2015, 9: 107-115. DOI:10.1016/j.erss.2015.08.020.

- [61] BARDAZZI R, PAZIENZA M G. When I was your age: Generational effects on long-run residential energy consumption in Italy[J]. Energy Research & Social Science, 2020, 70: 101611. DOI:10.1016/j.erss.2020.101611.
- [62] BARDAZZI R, PAZIENZA M G. Switch off the light, please! Energy use, aging population and consumption habits[J]. Energy Economics, 2017, 65: 161-171. DOI: 0.1016/j.eneco.2017.04.025.
- [63] BARDAZZI R, PAZIENZA M G. Ageing and private transport fuel expenditure: Do generations matter?[J]. Energy Policy, 2018, 117: 396-405. DOI:10.1016/j.enpol.2018.03.026.