



武汉工业领域 碳排放达峰路径研究报告

ANALYZING CARBON EMISSIONS PEAKING PATHWAY
OF THE INDUSTRIAL SECTOR IN WUHAN

落基山研究所 · 2018年6月
Rocky Mountain Institute, June, 2018



TABLE OF CONTENT



项目背景

达峰挑战与潜力

1. 摸清家底
 - a. 经济发展
 - b. 能耗与碳排放
2. 基准情景
3. 潜力初探
 - a. 优化产业结构
 - b. 加速产品升级
 - c. 提高能源效率
 - d. 低碳化能源结构

达峰路径

1. 达峰情景
2. 四大行动领域贡献

达峰行动

1. 优化产业结构
2. 加速产品升级
3. 提高能源效率
 - a. 钢铁行业
 - b. 石油化工
 - c. 水泥
 - d. 通用设备系统
 - e. 其他方面
4. 低碳化能源结构

达峰挑战与风险

达峰的社会经济影响 政策建议

作者：落基山研究所：陈济、Jon Creyts、李婷、李也、Robert McIntosh（按姓氏首字母排列）

联络人：落基山研究所：陈济 jchen@rmi.org

特别鸣谢：武汉市发改委、武汉市节能监察中心

本报告由能源基金会（Energy Foundation）提供资助

报告摘要 EXECUTIVE SUMMARY

研究背景

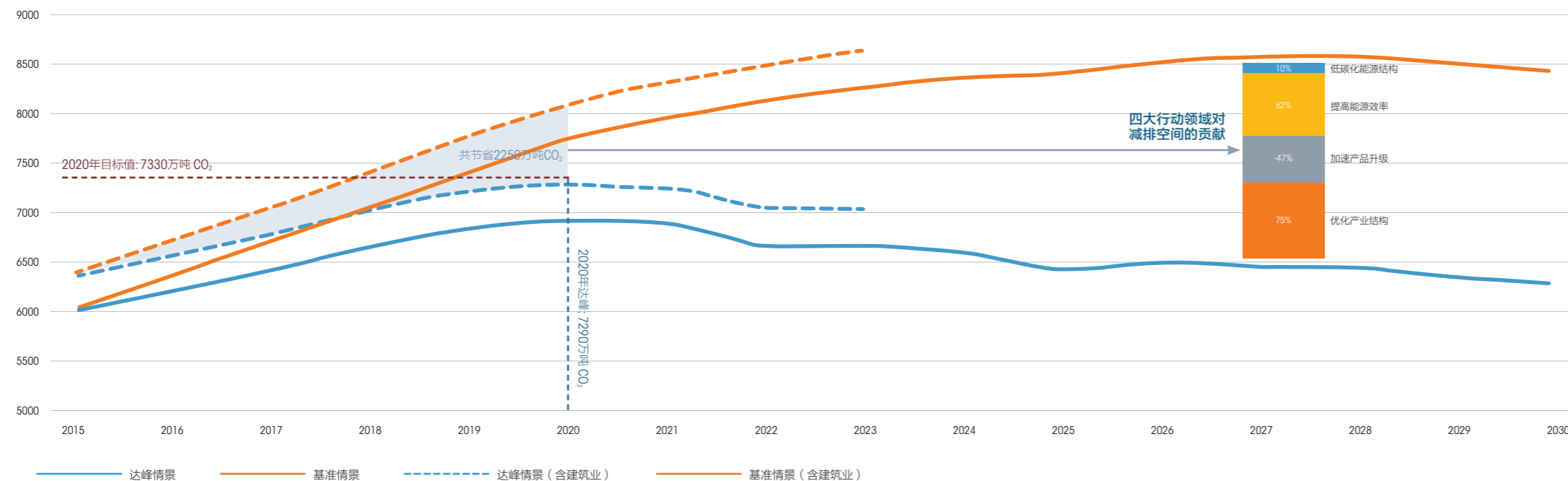
- 武汉市于2017年12月23日公布了《武汉市碳排放达峰行动计划（2017-2022）》（下称“行动计划”）。计划中提出，到2022年，全市碳排放将达峰，并不超过1.73亿吨。其中，工业领域（不含能源转换行业、含建筑业，下同）的碳排放放在2020年不超过7330万吨，2022年不超过7260万吨。
- 本研究旨在预测武汉市2015-2030年工业领域的碳排放，识别峰值年及峰值排放量，分析支持实现行动计划中工业领域碳排放达峰及达峰后下降目标的可行行动领域与措施。

研究结论

- 如果不采取额外行动，在GDP按照武汉市规划目标增长的情况下，武汉市工业领域的碳排放到2028年才会达峰，峰值为8930万吨，达峰行动计划目标无法实现。2022年工业领域碳排放将达到8480万吨，比目标值高出1220万吨。
- 如采取达峰行动措施，武汉市工业领域碳排放将于2020年达峰，峰值为7290万吨，其中建筑业碳排放约为365万吨。工业领域碳排放到2022年将降低到7045万吨。则达峰情景下，工业领域碳排放将实现武汉市达峰行动计划目标。



武汉市工业领域碳排放趋势 (2015-2030) 基准情景 & 达峰情景



本研究采取的措施分为四大行动领域：优化产业结构、加速产品升级、提高能源效率和低碳化能源结构。这四大行动领域的措施，在2015-2020年间，将累计为武汉市贡献2250万吨的碳减排，四大行动领域分别贡献75%、47%、62%、10%的碳减排。具体的行动有：

1 优化产业结构

- **两大碳排放源**——钢铁、水泥行业的总产值比重2015-2030年累计下降1.8%、1.4%，总产值绝对量依然稳步上升；
- **另一大碳排放源**——石化行业在乙烯产能扩大的情况下，总产值比重基本保持不变，总产值绝对量大步增高后保持稳定；
- **战略新兴产业**——医药制造业、汽车制造业、电气制造业的总产值比重2015-2030年分别累计上升5%、4%、4%，总产值绝对量快速成倍增长。

2 加速产品升级

- 产品升级在达峰前对达峰产生的贡献主要是由于钢铁行业通过延长生产链生产高附加值产品形成的能耗和碳排放增量大于其他行业通过其他方式升级产品的碳排放减量。贡献率将在达峰后明显减低，最终成为正贡献，贡献率将不断上升；
- 2025年前，武汉工业主要产品水平努力向美国、日本、德国

在不同的行业，四大行动领域对碳减排贡献各不相同，达峰前后也会有所变化。

主要行业

1 钢铁行业

- 钢铁行业是武汉碳排放最大的工业行业，2015年贡献了工业部门47.65%的碳排放，未来也将持续占据工业碳排放第一位的位置；
- 如果不采取措施，钢铁行业碳排放将在2022年前不会达峰，而是会持续增长，到2030年前趋于稳定；
- 如采取以下措施，武汉市钢铁行业的碳排放将在2020年达峰，峰值为3015万吨CO₂。四大行动领域措施在2015-2020年间，将累计带来1840万吨CO₂减排量。主要达峰措施包括：控制钢铁总产量，特别是粗钢产量；提高钢铁深加工高端产品比重；提高生产流程能效；生产过程煤改气。四大行动领域措施分别会为钢铁行业带来1377万吨、736万吨、984万吨、215万吨碳减排，淘汰落后产能等带来的行业结构优化带来的贡献最大；
- 提高能源效率

等国际先进水平靠拢（工业增加值率每年上升2-4%）。

3 提高能源效率

- 2025年前，各行业单位工业增加值能耗每年下降2-4%。
- A. 通用设备能效提高**：空压系统、泵系统等能为武汉工业制造部门带来7-10%的能效节约机会；
- B. 系统优化**：通过大数据、物联网等智能手段，工业制造部门仍能节约10-20%的能耗。

4 低碳化能源结构

- **煤改气**：2025年前，在钢铁、石化、水泥等重工业行业，煤炭消耗量以每年2%的比例实现天然气替代；
- **煤改电**：2025年前，在医药、汽车、电气等高新制造业，煤炭消费量以每年1.5%的比例实现电力替代；
- 2015-2020年间，能源转换总计能带来300万吨CO₂减排量。

- A. 技术措施**：烧结余热回收（每年12.1万吨CO₂减排）、转炉余气余热利用（每年4.7万吨CO₂减排）、蓄热式燃烧器（每年4.5万吨CO₂减排）、热轧轧线过程控制（每年2.0万吨CO₂减排）、安装润滑系统（每年0.7万吨CO₂减排）。这些技术对于武汉钢铁行业都是经济有效的；
- B. 系统优化**：利用大数据、物联网等的整体系统管理优化，可以带来10-15%的能源节约；

2 石化行业

- 石化行业是武汉碳排放第二大的工业行业，2015年贡献了工业部门14.9%的碳排放；
- 采取一系列措施，武汉市石化行业的碳排放将在2021年达峰，峰值为1017万吨CO₂。四大行动领域措施在2015-2020年间，将累计带来614万吨CO₂减排量；
- 武汉市石化行业主要有武汉石化公司大型炼油加工项目

和中韩石化80万吨乙烯生产项目，后者正在进行30万吨乙烯项目扩建，预计2020年投产；

- 受中韩石化产量扩大的影响，预计武汉石化行业将于2021年达峰，达峰后碳排放下降的主要驱动力是节能减碳技术措施带来的能源效率的提升。
- 提高能源效率
 - A.** 武汉石化已经处于行业技术领先地位，2015-2020年万元产值能耗预计可实现2%的下降；
 - B.** 中韩石化仍然可以采取蒸汽透平驱动发电机、使用替代能源等技术，并积极探索应用合同能源管理等系统优化措施，实现万元产值能耗5-10%的下降；
- 但是未来武汉石化行业的碳排放仍然面临着产能扩增、产品线延伸、市场影响等因素带来的很多不确定性

3 水泥行业

- 水泥行业是武汉碳排放第三大的工业行业，2015年贡献了工业部门7.46%的碳排放；
- 武汉现有两家水泥厂——湖北亚东水泥厂（482万吨年产量，105.8万吨年碳排放）、武汉亚鑫水泥厂（134万吨年产量，32万吨年碳排放）；另有3家粉磨厂（480万吨年产量；115.1万吨年碳排放）；
- 如果不采取措施，水泥行业碳排放将在2022年前不会达峰，而是会持续增长，2030年前趋于稳定；
- 采取一系列措施，武汉市水泥行业的碳排放将在2019年达峰，峰值为407.7万吨CO₂。四大行动领域措施在2015-2020年间，将累计带来475万吨CO₂减排量；
- 能效提高

- A. 湖北亚东水泥厂技术措施**：用立式辊磨机代替球磨机（每年3000吨CO₂减排）、高压辊压机配球磨机（每年2800吨CO₂减排）、低温余热回收发电（每年2800吨CO₂减排）、使用替代能源（每年5000吨CO₂减排）；
- B. 武汉亚鑫水泥厂技术措施**：用立式辊磨机代替球磨机（每年1700吨CO₂减排）、低温余热回收发电（每年800吨CO₂减排）、使用替代能源（每年1400吨CO₂减排）；
- C. 粉磨厂技术措施**：用立式辊磨机代替球磨机（每年3000吨CO₂减排）、高压辊压机配球磨机（每年2800吨CO₂减排）、使用替代能源（每年3000吨CO₂减排）、可调速驱动器（每年2100吨CO₂减排）、改进的球磨机研磨介质（每年1700吨CO₂减排）、高效分选器（每年1700吨CO₂减排）；
- D. 以上措施**对于武汉水泥行业都是经济有效的；

E. 系统优化：利用大数据、物联网等的整体系统管理优化，可以带来10-15%的能耗节约；

4 通用设备

- 提高能源效率
 - A. 工业泵系统技术措施**：更换更高效节能型电机（每年136.9万吨CO₂减排）、更换更高效节能型泵（每年133.6万吨CO₂减排）、安装变速驱动器（每年118.6万吨CO₂减排）、清楚管道中的沉积物/结垢物（每年92.2万吨CO₂减排）、使用压力开关关闭不必要的泵（每年82.5万吨CO₂减排）、修复泄漏、损坏的密封和包装（每年71.6万吨CO₂减排）、调整或更换叶轮以使输出达到要求（每年66.5万吨CO₂减排）；
 - B. 工业空压系统技术措施**：更换压缩机尺寸以满足需求（每年49.7万吨CO₂减排）、安装变速驱动器（每年46.8万吨CO₂减排）、按照需求要求进行空气处理（每年42.9万吨CO₂减排）、校正主管线分配管道中的过度压降（每年41.1万吨CO₂减排）、通过压力优化/控制/存储消除人工需求（每年39.9万吨CO₂减排）、消除不适当的压缩空气利用（每年37.3万吨CO₂减排）、安装压缩机定序器（每年31.1万吨CO₂减排）；

经济成本和社会影响

- 在工业领域采取达峰行动可能对就业环境带来一定影响。2015-2030年的累计节能量带来的工业行业总计损失的就业数约为20万人，平均每年减少1.3万人，达峰后就业下降速率将逐年减小。从更大的范围和更长的时间尺度来看，工业达峰行动将优化武汉就业岗位的结构，带来更多高端工作机会，并且相关产业的发展将带动交通、金融、物流、电子信息等行业的就业增长，弥补制造业的就业损失。
- 武汉工业部门2015-2020年间需要每年投资160亿以实现2020年达峰前的累计碳减排量，占工业部门每年投资的10%左右。

风险和不确定性

- 武汉工业领域及各行业是否能尽早达峰受全球市场需求和贸易环境、全国产业政策和自身关键产业和项目的重大调整。

项目背景 BACKGROUND



项目背景

BACK -GROUND

武汉于2012年成为第二批低碳试点城市后,加快绿色低碳发展转型步伐,逐步完善应对气候变化机制,不断提升控制碳排放的能力,并于2015年9月在第一届中美气候智慧型/低碳城市峰会上作为中国达峰先锋城市联盟(APPC)创始成员宣布将于2022年左右实现碳排放达峰的目标,将低碳发展的行动进一步聚焦。“十二五”以来,武汉市在温室气体排放清单编制、统计考核和数据报告机制建立、碳市场发展以及低碳产业园区/社区试点等方面取得了积极进展,为将后续相关工作转向以碳排放达峰为抓手打下了坚实的基础。

2017年12月,武汉市以国内外专家和研究系统的量化研究和认证为基础,综合考虑武汉经济社会发展、环境保护和绿色低碳转型需求等因素,出台了《武汉市碳排放达峰行动计划2017-2022》(以下简称达峰计划),提出了实现2022年达峰的具体量化目标,明确了完成达峰目标的路径和措施。达峰计划提出,到2022年,全市二氧化碳排放总量达到峰值,峰值不超过17300万吨;其中,工业领域的二氧化碳排放放在2018、2020和2022年(峰值年)分别不超过7060万吨、7330万吨和7260万吨。值得注意的是,本项目将达峰计划中提及的工业领域理解为涵盖了建筑业,而本项目的研究重点为不含建筑业的工业部门^①。

武汉是传统的工业城市,工业是经济发展的支柱,“十二五”以来随着工业倍增计划的实施推动武汉经济实现了跨越式发展。然而,工业部门也是主要的二氧化碳排放源,长期占全市排放的60%左右。武汉要实现达峰目标,工业必须做出重要贡献。根据发达国家城市的普遍发展规律,交通和建筑的碳排放占比将随着城市服务业比重的上升而持续增加,而工业部门的碳排放占比将逐渐减少。因此,武汉如要实现达峰,其工业部门必将先于城市达峰。本项目旨在测算在落实达峰计划目标的前提下,工业部门的达峰年和峰值,以及实现工业部门先于城市达峰的路径和相关优先政策措施,并评估这些政策措施的社会经济影响。

^①对建筑业的碳排放分析进行了独立处理。相关过程和结论见附件。

达峰挑战与潜力

ASSESSING THE GAP

01 摸清家底



经济发展

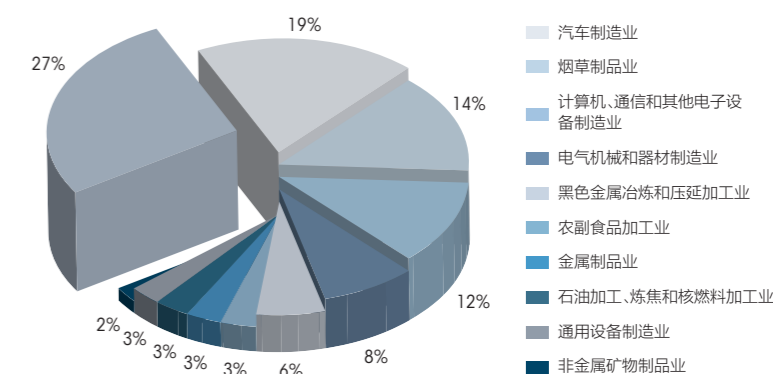
武汉GDP位于全国城市前十之列，第二产业占比略高于其他发达城市，是汽车制造、钢铁、电气机械制造重镇。在武汉工业部门中，工业总产值前十位的行业依次为：汽车制造、计算机和通信及其他电子设备制造、电器机械和器材制造、黑色金属冶炼和压延加工业、烟草制品业、农副食品加工业、金属制品业、化学原料和化学制品制造业、通用设备制造业以及石油加工、炼焦和核燃料加工业，工业增加值前十位行业基本一致（详见表1、表2）。

2015年，十大行业的工业总产值和工业增加值分别占工业部门的69.87%和77.26%。其中，汽车制造业作为第一大支柱产业，工业总产值和增加值分别占工业部门的21.33%和19.02%。东风日产、通用汽车等国内外大型汽车制造公司都在武汉设有分厂，每年总产量超过一百万辆汽车。碳排放第一大户钢铁行业作为四大产业之一，工业总产值和增加值占比仅为5.91%和7.52%。武汉钢铁集团（武钢）是新中国成立后兴建的第一个特大型钢铁联合企业，是武汉经济发展的重要驱动力，也是工业主要能源消费大户之一。2016年，武钢与宝钢实现重组，重组后成为全中国最大的钢铁制造企业，同时也是全球第二大的钢铁制造企业。

（表1）武汉市2015年工业分行业总产值（前十行业）

行业	工业总产值 (亿元人民币)	占整个工业部门的比例
汽车制造业	2596.55	21.96%
计算机、通信和其他电子设备制造业	1564.54	13.23%
电气机械和器材制造业	989.30	8.37%
黑色金属冶炼和压延加工业	719.64	6.09%
烟草制品业	674.78	5.71%
农副食品加工业	466.51	3.95%
金属制品业	390.95	3.31%
通用设备制造业	371.13	3.14%
石油加工、炼焦和核燃料加工业	359.18	3.00%
专用设备制造业	319.25	2.70%
总计	8506.25	69.87%

（表2）武汉市2015年工业增加值前十行业



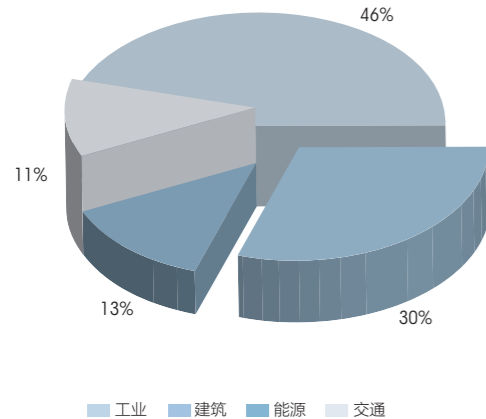


能耗与碳排放

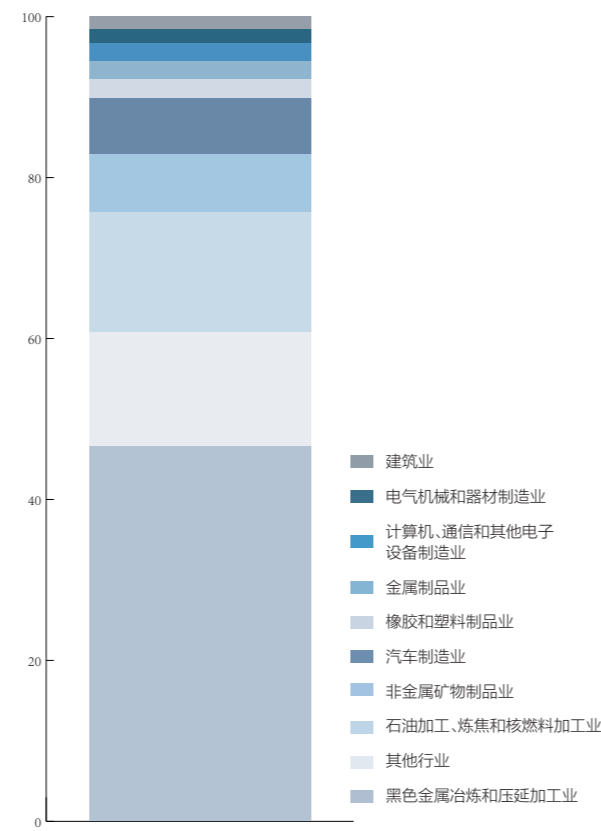
根据武汉政府发布的相关统计数据显示^②，2015年武汉市总能源消费达到4858万吨标准煤，其中，煤炭占50.03%（3390万吨标准煤），原油占23.55%（800万吨原油），成品油占6.17%（204万吨成品油），天然气占4.77%（19.1亿立方米天然气），电力占11.75%（464万千瓦时）。结合《武汉市统计年鉴2016》的数据，工业部门能源消费占全市总能源消费的49.8%，煤炭消费占全市总消费的86.14%，用电占全市用电的56.7%。从行业用能情况看，武汉工业部门的能耗绝大部分来自于能耗排名前十的行业。按照本项目分析计算，2015年，电耗前十行业占工业总电耗的87.28%，气耗前十行业占工业总气耗的79.89%，油耗前十行业占工业总油耗的93.16%，煤耗前十行业占工业总煤耗的91.99%。其中，钢铁行业的煤炭和电力消耗最高，石化行业是油耗和气耗最大的行业。需要说明的是，石化行业消耗的油和天然气主要是作为原料，汽车制造行业是将天然气作为能源消耗最大的行业，主要天然气消耗是用于涂装工序中的烘干过程^③。

根据《武汉市碳排放达峰行动计划2017-2022》，2015年武汉全社会二氧化碳排放总量为1.32亿吨，其中工业部门（不含能源）二氧化碳排放6100万吨，占全市的46.21%。工业碳排放也主要集中来自于前几大行业，排放前十大行业的排放量共占工业部门总排放量的85.9%，其中钢铁一个行业就贡献了工业部门46.7%的碳排放。

（图3）2015年武汉市二氧化碳排放分领域占比



将工业领域二氧化碳排放分解至各个行业



（图4）2015年武汉市工业领域二氧化碳分行业占比

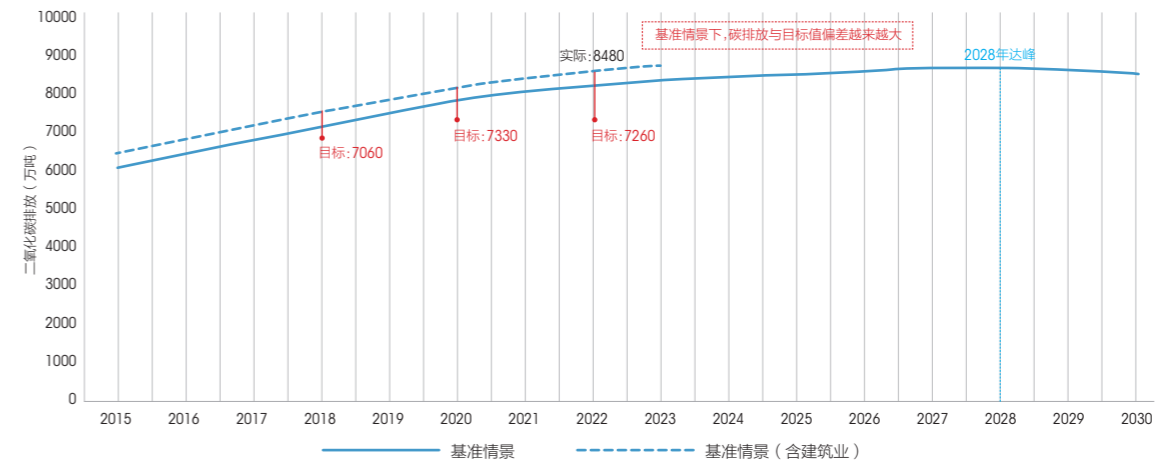
02 基准情景

考虑武汉市工业部门产业规模、产业结构、能效水平、能源结构等综合因素，设计不同的碳排放情景，分析武汉市工业领域未来的碳排放趋势，以验证武汉市2020年工业领域碳排放达峰的目标能否实现。

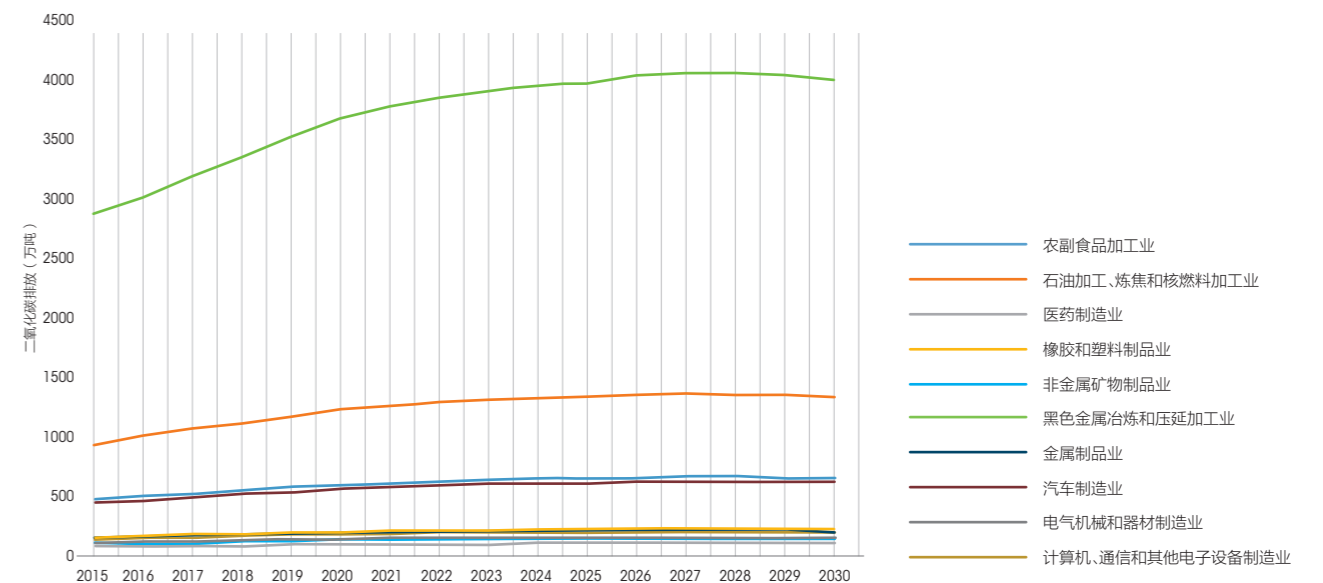
首先基准情景（即Business as usual, BAU），参数选取参考《武汉市“十三五”规划》等官方资料中的基本目标值，设定GDP，对武汉工业领域碳排放进行预测。

在基准情景下，武汉市工业领域碳排放将在2027年才能实现达峰。2022年工业领域碳排放将达到8480万吨二氧化碳，比目标值高出了1220万吨。在该情景下，高碳行业的碳排放也将不断上升，钢铁、石化、水泥等行业也将在2027左右才能达峰，并下降缓慢。其中，钢铁行业在2015-2025年间碳排放量将上升70%，且碳排放占整个工业领域排放的比例将不断增长，影响武汉市工业领域的低碳化发展进程。

（图5）武汉工业领域碳排放趋势（2015-2030）基准情景



（图6）武汉工业部门分行业碳排放趋势（2015-2030）基准情景



②《武汉市能源发展“十三五”规划》http://www.wh.gov.cn/hgovinfo_47/szfggxxml/zcfg/szfwj/201707/120170704_130276.html

③周亚兰、龚本刚、张孝琪，汽车生产过程中的能源消耗碳排放计算与分析，《巢湖学院学报》2014年第16卷第3期

03 潜力初探

推动武汉工业部门尽早达峰可从四个方面着力,包括优化产业结构、加速产品升级、提高能源效率和低碳化能源结构。

- **优化产业结构:** 是指工业部门内部各行业间的经济价值占比变化,即抑制高排放和低附加值产业的发展,促进低排放和高附加值产业的发展。具体行动措施可包括加速淘汰落后产能、提高产业集中度以及大力发展战略新兴产业特别是先进制造业等。
- **加速产品升级:** 是指在工业行业内部进行产品结构的优化,即提升产品竞争力,更多地生产附加值高的工业产品。值得说明的是,产品升级很有可能增加企业总体绝对量的排放,但由于单位产品附加值的提高,排放强度会降低。具体行动措施可包括支持产业链延伸和鼓励高端工业产品的开发与应用。
- **提高能源效率:** 是指通过技术和管理手段降低单位工业产品的能耗,提高能源和资源的循环利用率,并提升能源利用的效率。我国一直以来将节约能源作为重要的国家战略,采取了一系列措施,不断加大政策和资金扶持力度,先进节能减排技术的应用率取得了大幅度提升。下一阶段,高耗能重点工业企业应在继续深度挖掘技术节能潜力的同时,通过提高管理水平、优化运营挖掘管理节能的潜力。
- **低碳化能源结构:** 是指尽可能地提高清洁能源在工业生产中的比重,大力推进煤改气、煤改电,鼓励工业企业使用可再生能源。



值得一提的是,北京通过首都搬迁将钢铁行业在工业部门中的产值占比将至了目前的0.59%。在其搬迁过程中的2005-2010年期间,占比由约7.9%降至3.2%。武汉钢铁行业由于钢铁价格持续低迷以及国家淘汰落后产能政策的落地,产值占工业部门比例已经降至5.9%。与北京相比,武汉进一步优化钢铁行业产值占比的经济环境更为宽松。

优化产业结构

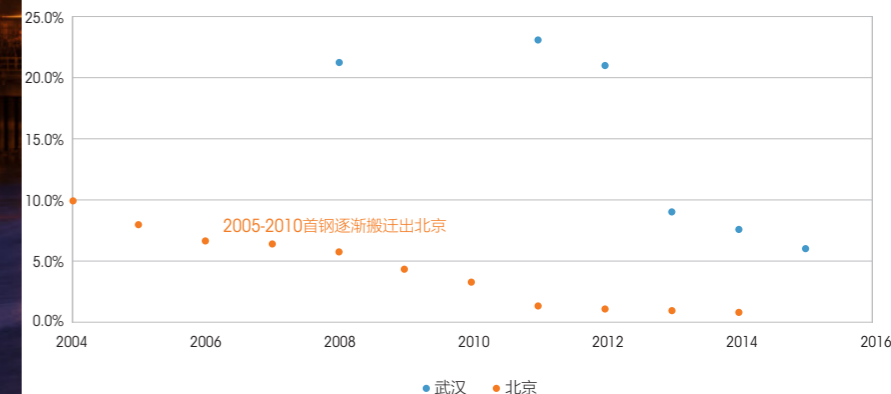
2015年,武汉市第二产业增加值占GDP的45.68%,远高于北京、上海等已逐步转向以服务业为主的一线城市,但低于同样以钢铁、汽车制造为主的唐山、长春等重工业城市。与首钢所在地唐山相比,钢铁行业为唐山市贡献了近50%的工业总产值,是重中之重,而武汉钢铁行业仅占工业总产值的6%左右。同时,与一汽集团总部所在地长春相比,汽车制造业为长春市贡献了56%的工业总产值,而武汉汽车制造业占工业总产值的21%。武汉市产业比重的方差已经接近上海等先进城市,产业间均衡发展较好。但是,产业升级仍然存在空间,医药产业、电子信息、专用设备的高端先进制造业的发展水平仍与上海、北京等城市存在差距。

(表7) 武汉市工业产业结构与其他城市比较

	武汉 Wuhan	上海 Shanghai	北京 Beijing	唐山 Tangshan	长春 Changchun
二产GDP占比	45.7%	31.8%	19.7%	55.2%	50.1%
三产GDP占比	51.0%	67.8%	70.9%	35.5%	43.7%
钢铁行业产值占工业比例	5.91%	3.79%	0.59%	46.47%	0.67%
汽车行业产值占工业比例	21.33%	16.68%	22.25%	1.04%	55.80%
计算机行业产值占工业比例	12.85%	17.00%	12.09%	0.05%	0.31%
工业行业产值占比方差	0.0016	0.0015	0.0027	0.0057	0.0078

数据来源: 由相关城市统计年鉴整理获得

(图8) 钢铁行业工业总产值占比变化



加速产品升级

工业部门中各行业的增加值率,即工业增加值占工业总产值的比率,受行业价值链全球分工影响较大^④,而一个地区的某一行业所生产的产品在全球生产链中的位置又决定了产品结构。因此行业的产品结构在某种程度上可以通过工业增加值率得以体现。随着武汉工业企业逐步从中国制造向中国创造转变,各行业工业增加值率会相应增高,经济增长的质量也得以提升。

目前,中国制造业的工业增加值率与美国、日本、德国等先进国家之间仍然存在一定差距(表9),医药制造业等行业甚至相差一倍以上,反映出了武汉工业产品类型、产品质量仍存在较大进步空间。为了创造更多新价值,提高经济增长的质量,加强企业技术改造、加快科技进步、提升产品质量和品牌创新能力都是有效的持续的方法。提高增加值率,与我国目前供给侧改革、制造业产品升级和技术创新的目标要求相一致。

(表9)工业增加值率比较

	武汉	美国	日本	德国
医药制造业	30%	60%以上	-	40%左右
非金属矿物制品业	25%	55%左右	50%左右	35%左右
金属制品业	23%	50%左右	40%左右	30%左右
通用设备制造业	24%	45%左右	35%左右	30%左右
汽车制造业	25%	30%左右	35%左右	25%左右
电气机械和器材制造业	29%	50%左右	30%左右	30%左右
计算机、通信和其他电子设备制造业	25%	50%左右	30%左右	30%左右

提高能源效率

《重塑能源·中国》研究表明,工业部门的能源生产力将在未来40年内增长5倍左右,2050年工业部门能源强度(单位工业增加值能耗)将比2010年水平下降80%以上,即在未来40年,工业能源强度平均每年下降4%以上。

根据发达国家历史经验,美国、日本、英国等国家在完成工业化之后,基本实现了工业部门能耗与工业增加值的“脱钩”——工业增加值保持增长同时工业部门能源消费量基本稳定。例如在1970-2010年间,日本产业部门能源消费量基本稳定,而增加值增长至1970年水平的3倍,能源强度提高了2倍,而英国工业部门能耗下降了2/3而增加值基本不变,也相当于能源强度提高了2倍^⑤。

我国在“十二五”期间,规模以上企业单位工业增加值能耗累计下降28%,实现节能量6.9亿吨标准煤。在“十三五”时期的节能规划中,也进一步提出了多个行业、产品的能耗水平目标值,工业能源强度仍然有提升的空间。

(表10)“十三五”时期工业绿色发展主要指标(工信部绿色发展规划)(2016-2020年)

规模以上企业单位工业增加值能耗	2015年	2020年
吨钢综合能耗(千克标准煤)	572	560
水泥熟料综合能耗(千克标准煤/吨)	112	105
炼油综合能耗(千克标准油/吨)	65	63
乙烯综合能耗(千克标准煤/吨)	816	790
合成氨综合能耗(千克标准煤/吨)	1331	1300
纸及纸板综合能耗(千克标准煤/吨)	530	480

低碳化能源结构

能源结构优化是中国能源消费和生产革命的重要任务和长期目标,如果不在工业化进程中对能源消费采取措施,经模型测算,2030年武汉工业部门能源需求将超过4500吨标准煤,是2015年水平的1.75倍,其中煤占全部工业能源消费的61.9%。这样以煤为主的传统工业能源消费结构,无论资源保障、生态环境,还是能源安全、经济代价等都将难以承受。在全国2030年前碳排放达峰、武汉市2022年碳排放达峰的目标下,工业用能结构必须做出变化。

根据《重塑能源·中国》测算,通过需求减量和燃料替代的一系列举措,中国化石能源利用比重将大幅下降,其中可再生能源占一次能源消费的比重将达到49%。工业部门煤炭和焦炭终端消费比重,经测算比2050年冻结情景可降低11个百分点。电气化水平大幅提高也是工业部门能源消费结构优化的重要表现,重塑情景下工业电力终端消费比重将由2010年的19%提升至2050年的39%。天然气消费比重也将由2010年的3%提升至2050年的15%,随着电力部门的不断低碳化和清洁化,工业部门的电气化水平提高可以显著减少二氧化碳和污染物排放。武汉市工业目前的煤炭用量仍然较高,电气化水平仍然可以提高,可再生能源占一次能源比例也可以随着太阳能、风能等利用项目而增大。

④王金照、王金石,工业增加值率的国际比较及启示,《经济纵横》2012年08期

⑤《重塑能源·中国》工业卷 第四章·四大途径引领工业部门重塑能源

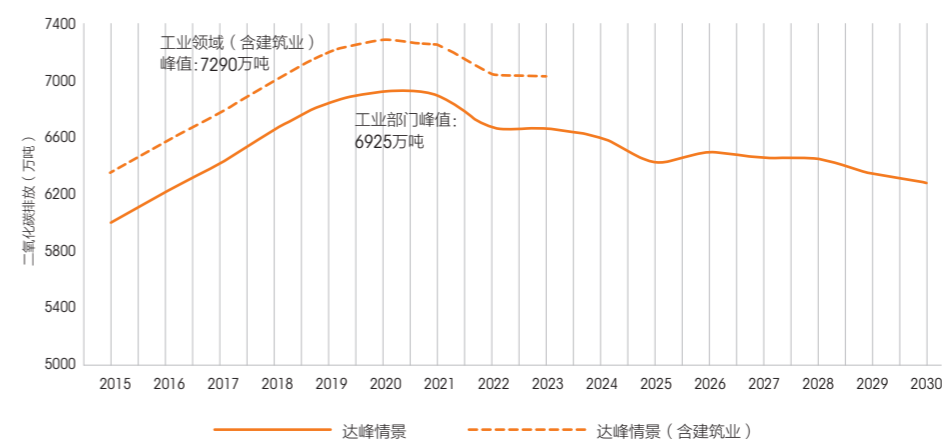
达峰路径

SETTING
THE VISION

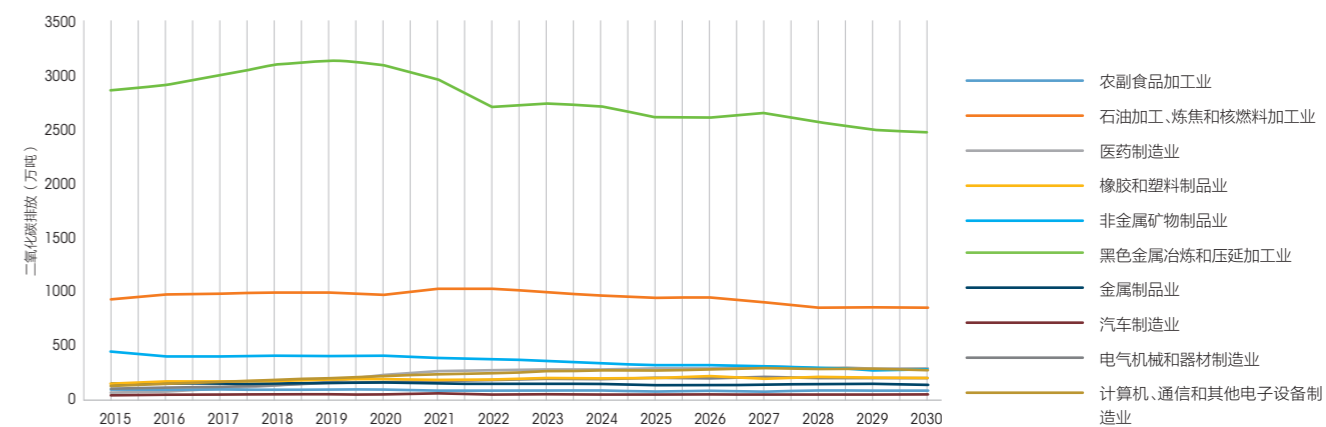
01 达峰情景

根据《武汉市低碳城市试点工业实施方案》《武汉市碳排放达峰行动计划（2017-2022年）》等战略规划文件进行武汉市工业部门碳排放达峰情景的设定和趋势分析。在达峰情景下，武汉工业部门如采取持续的优化产业结构、加速产品升级、提高能源效率、低碳化能源结构等四方面的措施，可在2020年实现碳排放达峰，工业部门峰值为6925万吨二氧化碳，工业领域（含建筑业）峰值为7290万吨二氧化碳^{⑥⑦}。从2015年到2020年实现达峰，武汉工业部门将累计减少2250万吨二氧化碳排放。二氧化碳排在2020年后有小幅波动，但总体将呈逐渐下降的趋势。钢铁行业碳排放也将在2019年达到峰值，2019年后持续下降。其他主要高碳行业也将在2020年前后陆续达峰。

(图11) 武汉工业领域碳排放趋势（2015-2030）达峰情景



(图12) 武汉工业部门分行业碳排放趋势（2015-2030）达峰情景

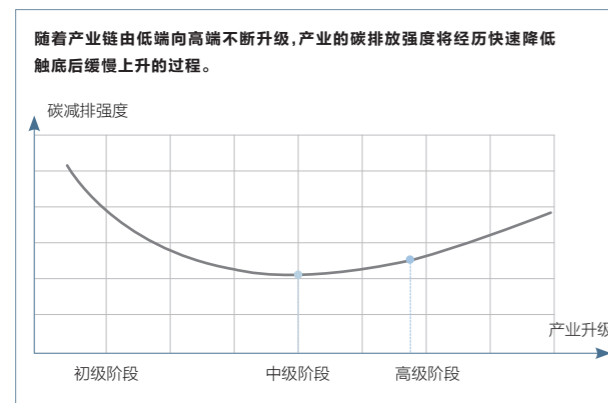


⑥ 武汉石化乙烯年产30万吨新项目将于2020年投产，我们将此项目带来的碳排放增量计入模型中。

⑦ 该研究测算中不包括建筑行业，武汉建筑行业2020年碳排放约365万吨，则含建筑行业的总工业部门碳排放峰值约为7290万吨，满足武汉市工业部门二氧化碳排在2020年达峰，且不超过7330万吨的目标。

02 四大行动领域贡献

2015-2020年间,为实现达峰累计减排的 2250万吨二氧化碳中,优化产业结构的贡献可达 75.1%,提高能源效率的贡献为 61.6%,低碳化能源结构也可贡献 9.8%,但是加速产品升级措施将造成 46.6%的累计碳排放上升。值得重点说明的是,产品升级在武汉工业部门达峰前对碳减排产生负贡献并不意味着产品升级不是一项碳减排行动,而只是特定时期、特定环境的暂时性结果。具体而言,在 2015-2020年这个相对较短的达峰前时期,经对武汉主要行业的调研结果进行分析,对武汉工业部门碳排放影响较大的潜在产品升级措施是武汉钢铁行业增加轨钢、电工钢等高端产品,这需要在原有生产链不变的情况下增加深加工工序,也就意味着可能导致行业能源消费和碳排放的增加。根据本项目模型的测算,当武汉工业部门于 2020 达峰后,产品升级对碳减排的负贡献将逐步减少,并最终实现正贡献,且贡献率将逐步上升。这说明,随着武汉钢铁行业通过延长生产链升级产品过程的完成,其他行业依靠工艺流程再造、材料更新换代等措施形成碳减排将逐步占主导地位,从而对碳排放达峰后推动进一步减排形成正向推动。相关理论^⑧和实践数据^⑨分析也得出类似的结论。

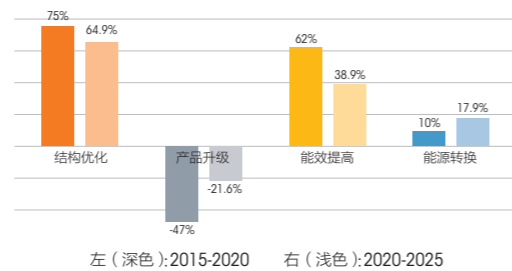


⑧ 张伟、游建民,全球价值链下产业链绿色低碳化升级研究,《江西财经大学学报》2017年第4期。

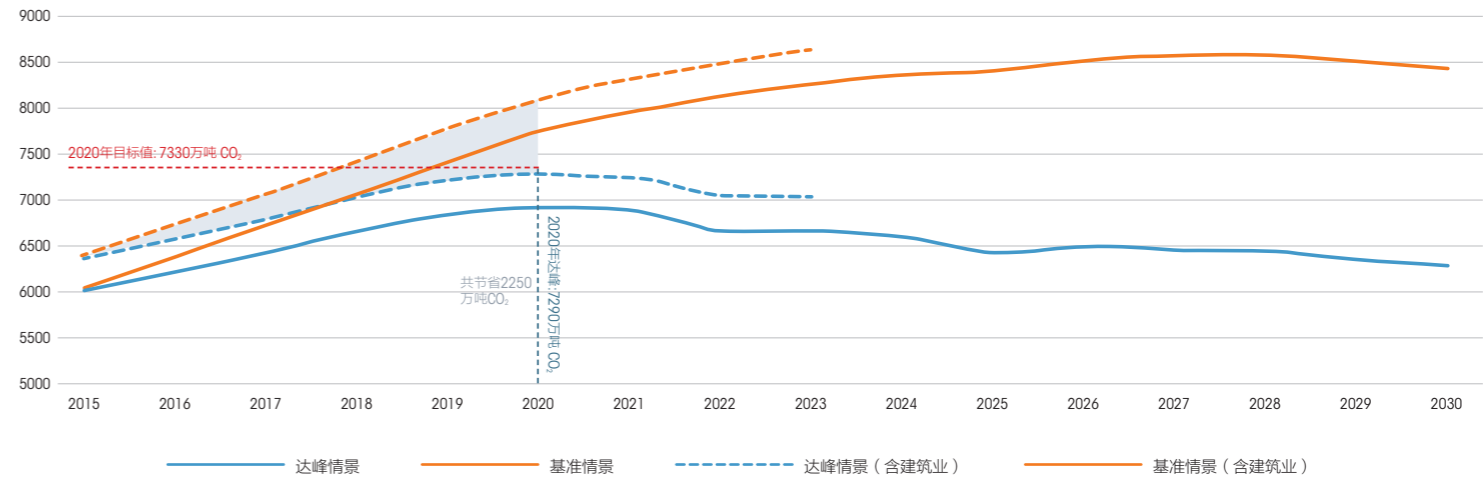
⑨ 本项目的四大行动领域贡献率使用因素分解法计算,即将各因素拆解开,分别计算各因素变化对总碳排放变化量的作用比重。因素分解法在很多类似研究中被使用,结果也经常会出现负贡献量。如《中国能源强度变化的结构与效率因素贡献》(周勇、李廉水,2006)和《产业结构变动对我国能源消费的影响》(陈首丽、马立平,2009)等文中结果,产业结构变化对我国 20 世纪末和 21 世纪初的能源节约的影响也可能为负向的,甚至是由正向转为负向的。负向影响的原因也比较复杂,涉及到各行业产业结构的相对占比和相对变化量、高耗能产业结构与低耗能产业结构的平衡等等。本文中,产品结构对碳排放负贡献这个问题,也值得我们进一步的关注、分析与研究。但四大行动领域的相对绝对值大小已在一定程度上体现武汉市工业碳排放工作的重点。

四大行动领域对各重点行业的碳排放变化的影响也各有不同。对于钢铁、石化、水泥三大传统且能源消耗比重大的行业而言,武汉工业结构优化升级导致的(保证工业产值稳定前提下)工业产值比重降低对碳排放减少的贡献很大;行业生产的能效提高也有贡献,但是由于生产技术流程较为固定、技术很难突破,能效提高对石化、水泥行业带来的碳减排空间有限;产品升级方面,武汉市石化、水泥行业的产品已经较为领先、基本成型,对碳排放影响不大,而武汉的钢铁行业未来仍然计划进行精钢和特种钢材的生产,生产线的延长将导致碳减排的减小。对于医药、汽车制造等行业而言,作为武汉市未来制造业发展的重点,产值增大及产品附加值的增大,都将带来碳排放的增加,可以通过能效提高和能源转换来抵消碳排放的增加,但是行业总体碳排放仍然可能上升。

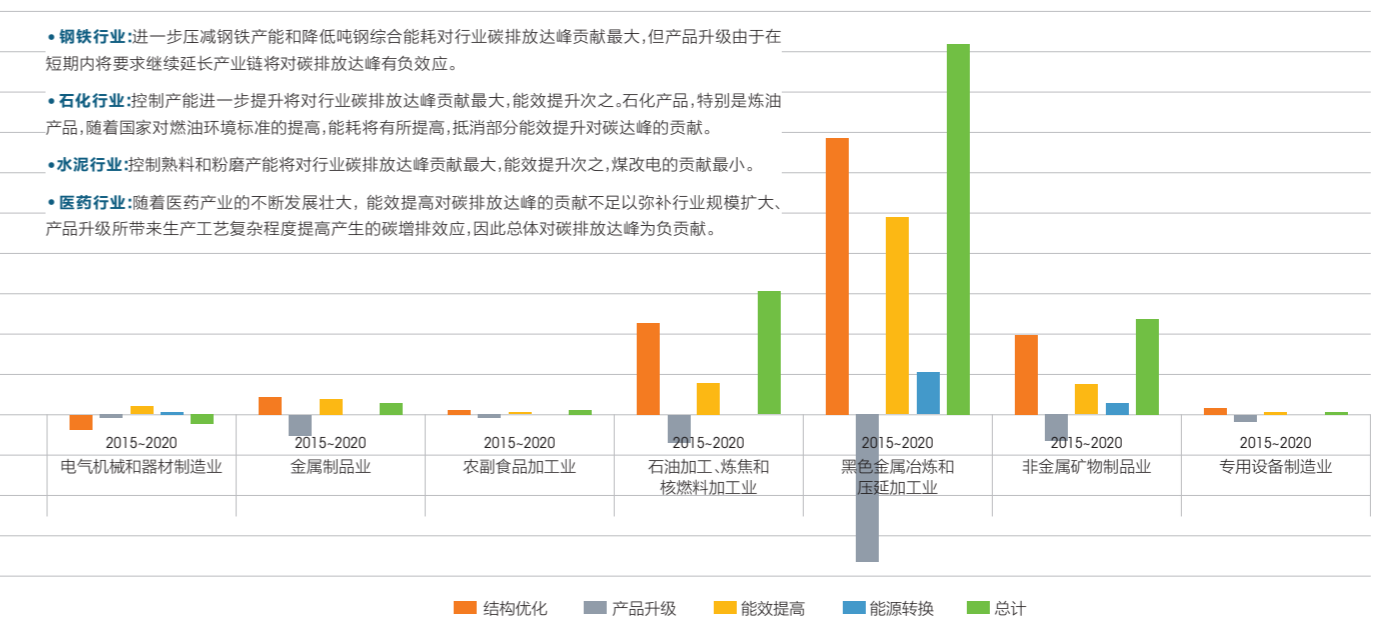
(图13) 四大行动领域对武汉工业部门达峰情景减排的贡献(2015-2020,2020-2025)



(图14) 武汉市工业领域碳排放趋势(2015-2030) 基准情景 & 达峰情景



(图15) 四大行动领域对武汉工业重点行业达峰情景减排的贡献(2015-2020)





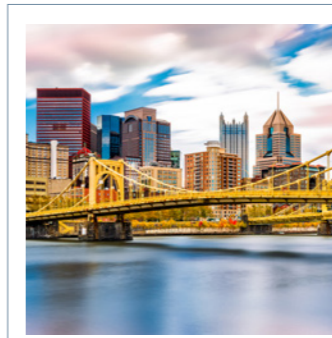
达峰行动

ACTIONS

01 四大行动领域具体行动

优化产业结构

产业升级,是我国“十三五”以来的工作重点,利用已有的制造业基础,大力发展战略性新兴产业,是支持我国持续经济发展的重要行动。武汉市,作为制造业重镇,更是在不断探索产业升级的途径。《武汉制造 2025》中即提出,武汉市要加强核心技术开发,以“互联网+先进制造业”为抓手,围绕信息技术、生命健康、智能制造等重点领域,在结构调整中壮大战略性新兴产业,加快打造智能制造新体系,提升服务型制造能力,构建创新能力强、结构布局合理、国际竞争力显著增强的产业新体系。

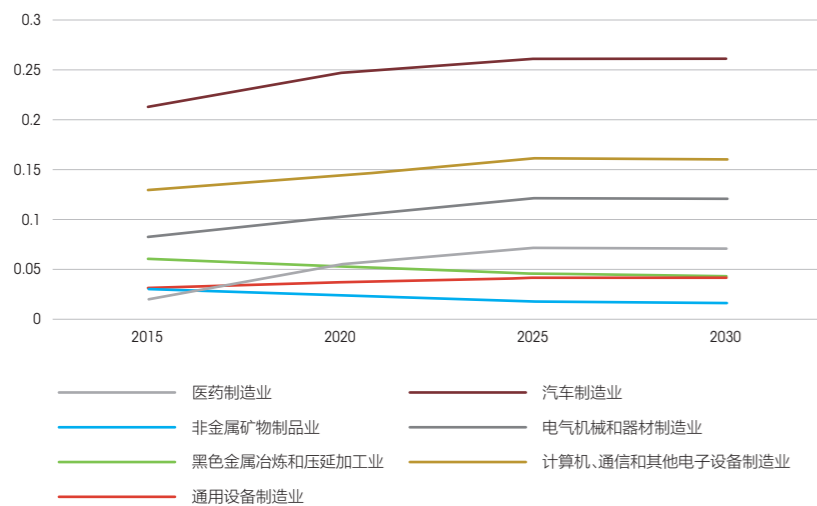


匹茨堡工业转型

匹茨堡 (Pittsburgh) 位于美国宾夕法尼亚州西南部,是宾州仅次于费城的第二大城市。匹茨堡曾是美国著名的钢铁工业城市,有“世界钢都”之称。但20世纪80年代后,随着中国钢铁产量上升,匹茨堡的钢铁业务逐渐衰退,一度失业率达到8%。90年代,匹茨堡采取多项措施,以服务业与科研区为城市发展的新核心,充分发挥当地高校人才优势,大量投资科研创新项目,并采用公私合作、区域协作的新模型,由产业孵化、产业集群带动区域整体发展,逐步实现产业转型。现已转型为以医疗、金融及高科技工业为主之都市。市内最大企业为匹茨堡大学医学中心,其产业集群作用巨大,带动宾州西南部生物医药产业链的发展。

支持武汉的产业升级,传统行业工业产值占比需要逐渐缩小,钢铁行业产值占比每年下降0.15%,由2015年的5.91%降到4.2%;水泥行业产值占比每年下降0.15%,由2015年的2.79%降到1.5%。大力发展战略性新兴产业、智能制造行业,工业产值占比需要不断上升,医药行业产值占比每年上升0.45%,由2015年的1.98%升至7%;计算机、电子设备行业产值占比每年上升0.3%,由2015年的12.85%升至16%;汽车制造业产值占比每年上升0.6%,由2015年的21.3%升至26%;电气设备行业产值占比每年上升0.4%,由2015年的8.13%升至12%。在这样一系列的结构优化措施下,2025年武汉全市工业总产值预计可达到24130亿元,医药行业产值达到1700亿元,信息技术行业产值达到6000亿元,均实现《武汉制造2025》《武汉“十三五”规划》中对新兴战略产业定下的目标值。同时,钢铁、水泥等传统行业的总产值依然保持在1000亿元、410亿元的水平,较2015年水平仍有上升,实现了产业结构的“创新、协调、优化与发展”。

(图16)重点行业工业总产值占比趋势(2015-2030)



02 加速产品升级

武汉市制造业,在产品质量、品牌影响力等方面仍然与先进城市、国际水平存在着一定的差距。《武汉制造2025》中也指出,要整合产业和资源要素优势,强化工业基础能力,更大力度地改造提升汽车、装备制造、钢铁、石化、食品烟草、日用轻工等传统支柱产业,加强质量技术攻关、自主品牌培育,走以质取胜的道路,推动传统产业向中高端跃升。各大行业也相应制定了产品升级的计划,如武钢将加大硅钢、电工钢、特种钢等增加值较大的产品产量。因此,在产品质量提高、品牌效应加强的过程中,各大行业的增加值率将有所上升,在2025年前,向国际先进水平靠拢(表17)。增加值率的上升,将直接带来碳排放的增加,但是也将有助于能源强度的降低,间接带来碳排放的降低。

(表17)达峰情景下武汉各大行业增加值率未来目标

行业 Industry	增加值率(2015) Added Value Percentage	增加值率(2025) Added Value Percentage
食品制造业 Food Production	0.28	0.35
纺织业 Textile Industry	0.23	0.30
纺织服装、服饰业 Textile, Garments, and Fashion Industry	0.27	0.35
皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业 Leather, Furs, Down and Related Products	0.27	0.35
家具制造业 Furniture Manufacturing	0.22	0.30
化学原料和化学制品制造业 Raw Chemical Material and Chemical Products	0.22	0.30
医药制造业 Medical and pharmaceutical Products	0.30	0.40
橡胶和塑料制品业 Rubber and Plastic Products	0.24	0.35
非金属矿物制品业 Nonmetal Material Products	0.25	0.30
黑色金属冶炼和压延加工业 Smelting and Pressing of Ferrous Metals	0.30	0.35
金属制品业 Metal Products	0.23	0.35
通用设备制造业 Ordinary Machinery Manufacturing	0.24	0.35
专用设备制造业 Special Purpose Equipment Manufacturing	0.24	0.35
电气机械和器材制造业 Electric Machinery and Equipment	0.29	0.32
计算机、通信和其他电子设备制造业 Telecommunication Computer, Equipment and	0.25	0.35
其他制造业 Other Manufacturing	0.22	0.30



日本钢铁行业去产能、钢铁产品升级

二战后日本钢企在困境时充分利用了低成本优势,钢铁产量爆发式增长。到了20世纪70年代,日本钢铁产能过剩、能耗过多、污染过重、创新不足等供给侧各种矛盾和弊端日益凸显。在石油危机的低迷下,日本主动采取钢铁业供给侧改革,通过产品结构优化,增加高附加值产品出口有效地抵消了低端品种的减少。特别是钢铁行业,开始短流程炼钢代替长流程炼钢、高端钢材出口,缓解国内产能过剩,也实现了钢铁产品的升级和钢铁行业的节能。1973-1983的十年间,日本粗钢产量下滑约18.6%,而特钢产量则大幅增长41.46%,特钢产量占比从7.96%增至13.82%,目前日本高端合金钢产量占比达25%。使用废钢可减少排放废气86%。使用废钢进行短流程炼钢具有工序短、投资省、建设快、节能减排效果突出等优势。据测算,炼钢使用1吨废钢,可以减少1.7吨精矿的消耗,比使用生铁节省60%能源、40%新水,可减少排放废气86%、废水76%、废渣72%、固体排放物(含矿山部分的废石和尾矿)97%。

03 提高能源效率

钢铁行业

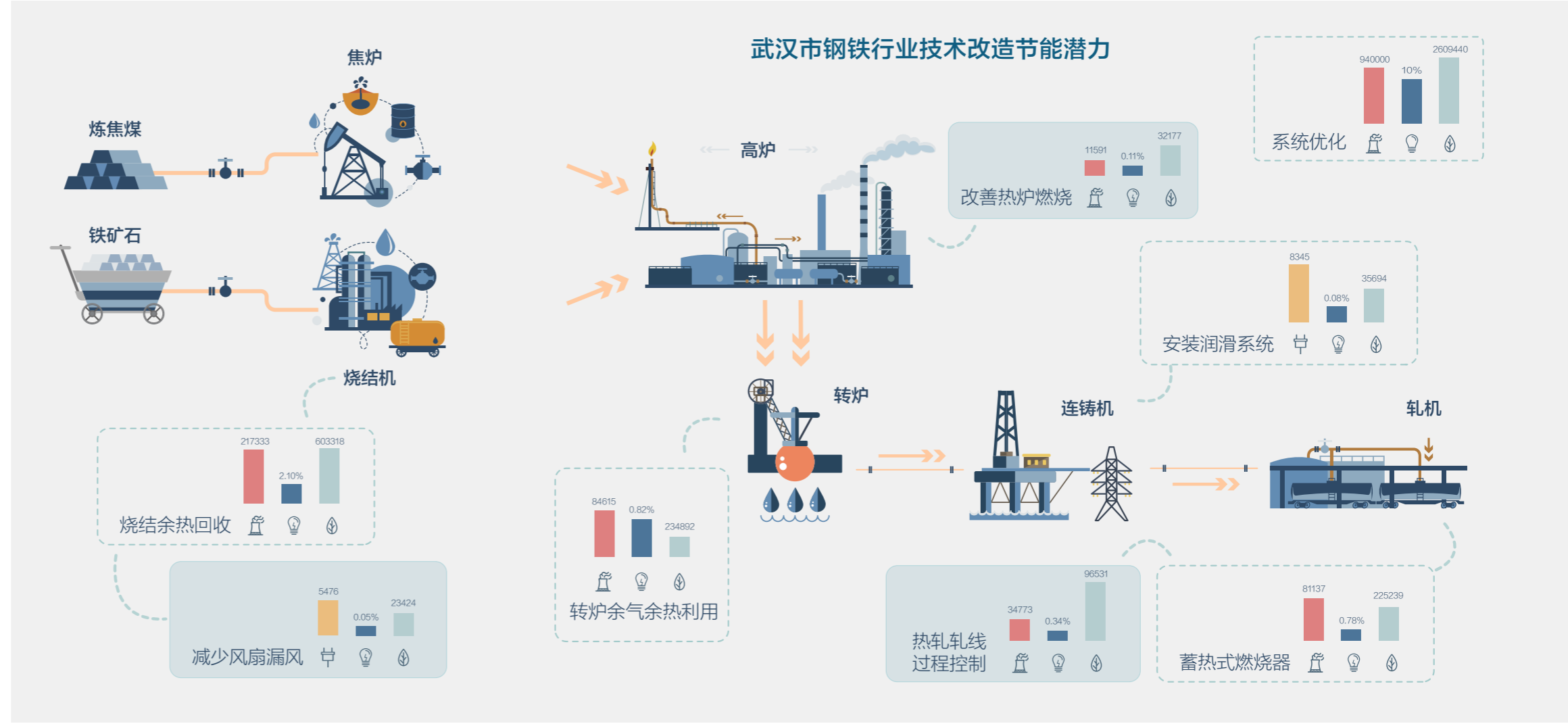
武汉钢铁行业主要依靠武汉钢铁工业，目前年产量为1500万吨左右，总产值约为720亿元。经测算，2015年综合用能超过1000万吨标准煤，主要能源类型为煤炭，产生2.8万吨二氧化碳排放。在研究中，我们对武汉钢铁的产量和节能潜力进行了预测。

研究发现，武汉钢铁在未来15年内的不确定因素来自于是否进行搬迁。如果不予搬迁，那么产量则将保持相对稳定，产品结构可能朝着高附加值钢材倾斜，努力实现“增值不增产”。并且在“十一五”、“十二五”时期工业节能的大背景下，武汉钢铁在节能技术应用方面已经做出了很多的努力，节能效果良好，未来仍然可以采用的生产步骤节能措施较为有限（右图：武汉市钢铁行业技术改造节能潜力）。但是，武汉钢铁产业仍然可以通过能源管理、数字监控等方式实现系统优化，一般认为，系统优化可以实现10-15%的综合能源强度降低。

另外，武汉钢铁目前的生产流程为“高炉—转炉”的长流程，相对于美国等发达国家较多使用的“高炉—电炉”的短流程，步骤多、耗能大。如果在国内废钢市场成熟、废钢价格降低、逐渐减少长流程生产的情况下，未来可以实现短流程生产，则为武汉钢铁的整体用能创造了新的大幅降低的空间。

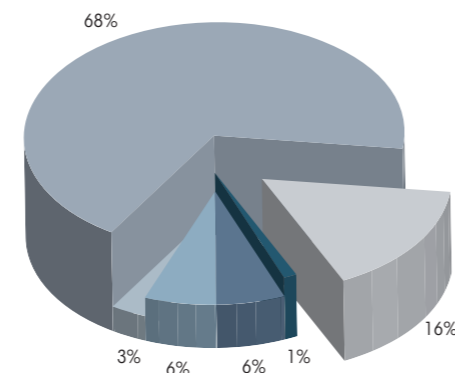


烧结废气余热循环利用工艺技术
 烧结低温废气自烧结支管风箱/环冷机排出后，再次被引入烧结料层时，因热交换和烧结料层的自动蓄热作用，可将其中的低温显热供给烧结混合料。同时，热废气中的二噁英、PAHs、VOC等有机污染物在通过烧结料层中高达1200℃以上的烧结带时被分解。因此，利用废气循环烧结不仅可以实现余热的利用，而且可以大幅度削减废气排放总量。该技术预计需要投入4500万元，可实现节能每年8173吨标准煤、二氧化碳减排量每年18000吨二氧化碳。

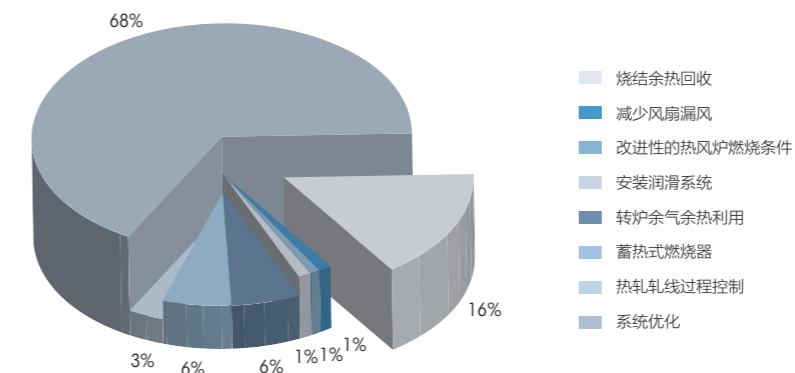


武汉市钢铁行业各项技术改造、系统优化对单位产品能耗下降的贡献

(图18) 武汉钢铁行业燃料节约措施 (2015-2020)



(图19) 武汉钢铁行业CO₂减排措施 (2015-2020)



石油化工

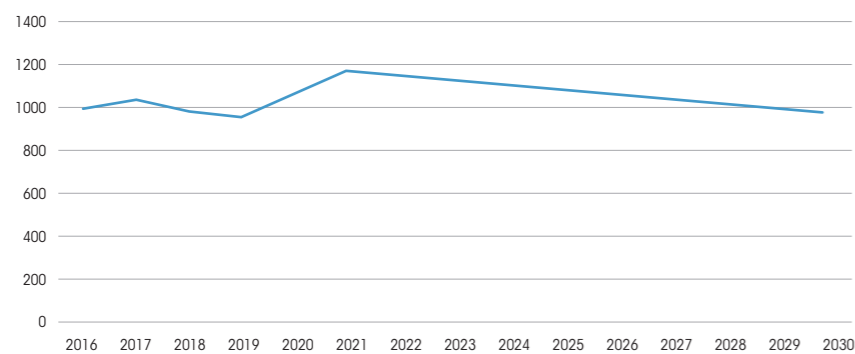
石油化工行业是武汉市工业部门第二大碳排放行业，2015年占工业部门碳排放的14.9%。武汉石油化工行业主要依托中国石化武汉分公司（武汉石化）的大型炼油加工产业及与韩国SK公司（中韩石化）合资投建的年产80万吨大型乙烯生产项目。武汉也成为了我国中部地区最大的炼油化工一体化生产基地。

武汉石化的炼油项目，年加工原有能力达到850万吨，装置生产结构已经趋于稳定，目前仍朝着产品质量升级的方向发展。能源消耗方面，近年来，武汉石化已经做出了很多的努力，在中石化集团炼化企业中能耗水平已处于领先地位。2017年，武汉石化进行了电机更换、S Zorb装置增上余隙调节系统等节能改造项目。另外，武汉石化积极引入系统优化的观念，建立装置漏点统计治理平台，实施跟踪装置漏电，鼓励装置间能量互供，努力从各方面做到能源高效使用^⑩。“十三五”期间，预计武汉石化还可以逐批进行电机更换，推行机电余气调节、永磁调速、压缩机软件控制、加热炉余热回收改造等节能技术，并加强系统优化节能的应用。但是，由于武汉石化现处于先进位置以及节能技术的有限性、市场的不稳定性和对产品质量的要求，预计武汉石化万元产值能耗在2015-2025年间的节能空间比较有限，2015-2020年可能实现2%的万元产值能耗下降。

中韩石化于2013年投产，目前年产量80万吨乙烯，扩建年产30万吨乙烯项目已经在建，预计2020年投产，2021年全面达到满负荷。节能减碳方面，中韩石化也逐年进行了很多节能改造项目。2017年，通过优化全厂蒸汽系统管理，采取提升汽轮机组供热、降低锅炉水压力等措施，提升热力系统能效，全年累计供电标煤耗同比下降20克/千瓦时^⑪。但是包括产能扩张的规模效应在内，中韩石化的生产仍然存在着一一定的节能空间。“十三五”期间，可以采用蒸汽透平驱动发电机、使用替代能源等技术，并积极探索应用合同能源管理等系统优化措施，预计万元产值能耗可以下降5%-10%。2020年产量扩大，预计将使全厂总综合能耗提高26%，“十四五”期间仍然需要积极应用节能减碳措施，促进能耗节约。

受中韩石化产量扩大的影响，预计武汉石化行业将于2021年达峰，达峰后碳排放下降的主要驱动力是节能减碳技术措施带来的能源效率的提升。但是武汉的石化行业未来碳排放仍然面临着产能扩增、产品线延伸、市场影响等因素带来的很多的不确定性。

(图20) 武汉石化行业碳排放趋势示意图 (2015-2030)



永磁调速技术
 永磁调速技术采用无物理连接传递扭矩，可实现转速平滑调节，允许低负载启动，冲击电流小，减少了电机绕组、铁芯发热量，降低了电机减速箱及风机的振动，减轻了机械磨损，可延长电机本体、减速箱及轴承等部件的使用寿命。国内石化行业已有应用先例，可实现节电量高达40%。

^⑩ http://www.sinopecnews.com.cn/news/content/2017-06/26/content_1680112.shtml

^⑪ http://www.sinopecnews.com.cn/news/content/2018-01/22/content_1699331.htm

水泥

水泥行业是武汉市工业部门第三大碳排放行业。武汉水泥行业共有两家水泥厂（湖北亚东、武汉亚鑫）和3-4家粉磨厂（2013关停一家），湖北亚东水泥厂产量约为每年480万吨熟料，武汉亚鑫产量约为每年134万吨熟料，粉磨厂总产量约为每年480万吨水泥。经测算，2015年武汉市水泥行业总能耗约100万吨标准煤，总碳排放约250万吨二氧化碳。

在2030年前，武汉的水泥产量会有所下降但变化不大，两家水泥厂、粉磨厂仍然可以采用一些技术措施（表21）降低用能和用电，降低生产中的单位产品能耗，进一步向国家节能目标值靠拢。这些技术措施中，除将预热器从5级改为6级之外，节能成本均小于节能收益（图22-26），满足经济有效性。此外，与钢铁行业情况类似，武汉的水泥行业在节能减排方面已经做出很多的努力，单纯生产流程上技术改造升级的潜力有限，但是整个生产线的系统效率仍有提高的空间，通过信息诊断、数据管理等系统优化改造措施，仍然可以使综合单位产品能耗降低10%至15%。

(表21) 武汉市水泥行业技术改造节能潜力

技术措施	燃料节约潜力 (吨标准煤)	燃料节约潜力 (%/能源强度)	用电节约潜力 (吨标准煤)	用电节约潜力 (%/能源强度)
低温余热回收发电			24.35	5.18%
将预热器从5级改为6级	17434	3.6%	-4.62	-0.98%
烧熟料过程能源管理和过程控制系统			9.45	2.01%
用立式辊磨机代替球磨机			51.57	10.97%
高压辊压机配球磨机			38.11	8.11%
改进的球磨机研磨介质			11.52	2.45%
高效分选器			11.52	2.45%
高效的水泥粉磨通风机			0.20	0.04%
使用替代能源	188471.67	39.4%	0	
高效率电机			8.65	1.84%
可调速驱动器			14.39	3.06%

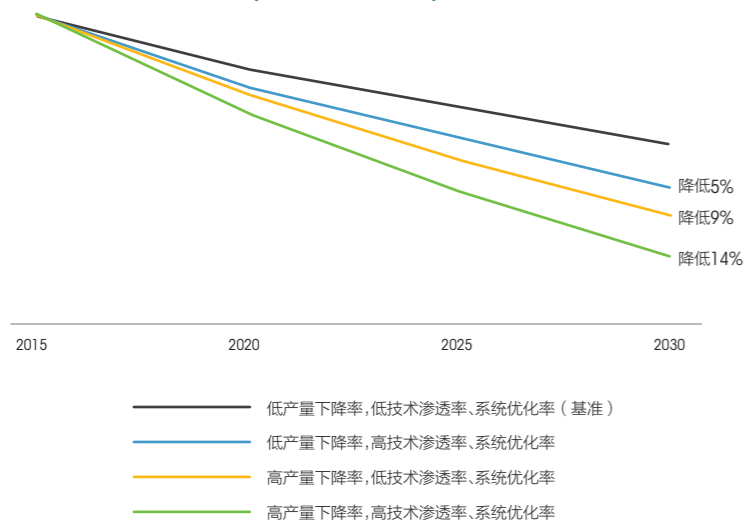
在产量下降、技术改造、系统优化的三重作用下,我们预测武汉市水泥行业在2015-2030年间,行业总能耗可以下降14%,其中产量下降贡献5%,单位产品能耗(技术改造、系统优化)贡献9%。但是,此处产量预测仍然是稳健下降的,如果武汉水泥产量有持续更快下降的可能性,则水泥行业总能耗将加快降低。

曲叶型系列离心风机技术

采取等减速流型设计的曲叶片,从而其附面层损失、流动损失、出口混合损失和出口截面突扩损失均比普通叶片小,经初步验证可以达到提高2%-4%的效果。此技术预计需要投入248万元,可实现节能量每年968吨标准煤、二氧化碳减排量每年2556吨二氧化碳。

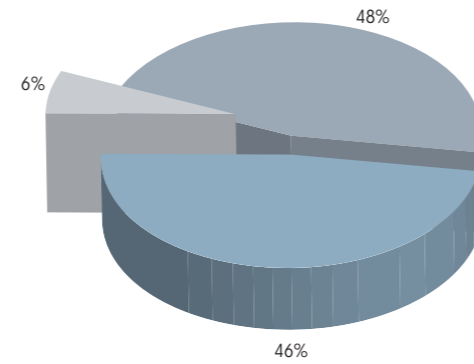


(图27) 不同情景下的武汉水泥行业总能耗趋势 (2015-2030)

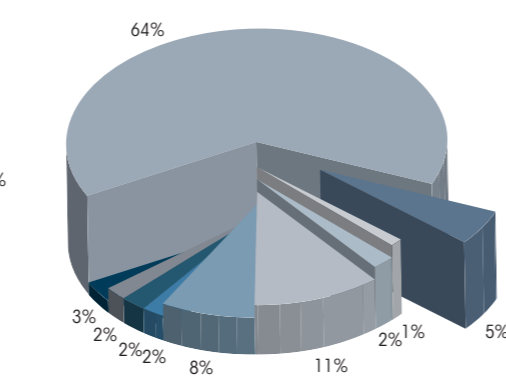


(图22-24) 武汉市水泥行业各项技术改造、系统优化对单位产品能耗下降的贡献

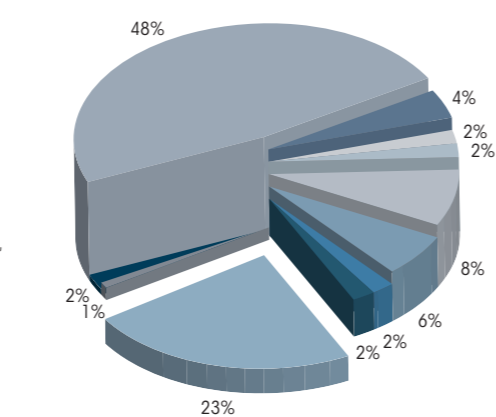
(图22) 武汉水泥行业燃料节约措施 (2015-2020)



(图23) 武汉水泥行业用电节约措施 (2015-2020)

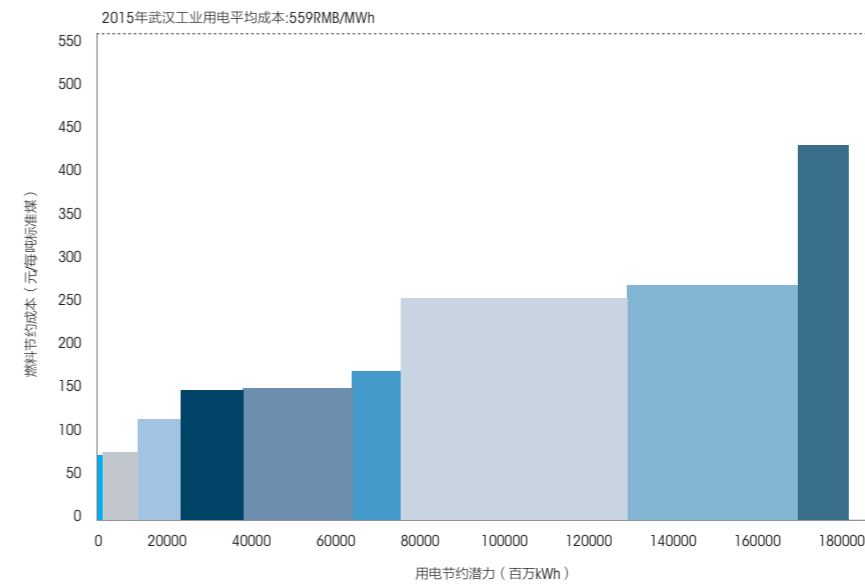


(图24) 武汉水泥行业CO₂减排措施 (2015-2020)

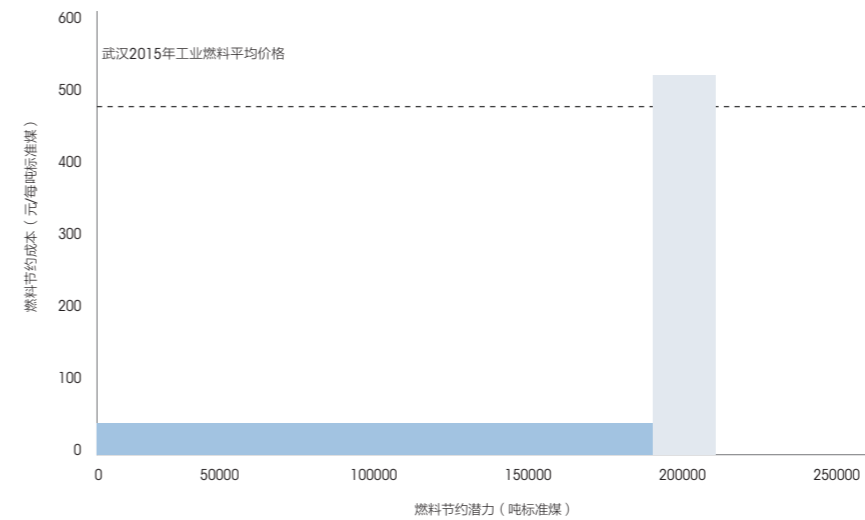


- 低温余热回收发电
- 将预热器从5级改为6级
- 烧熟料过程能源管理和过程控制系统
- 用立式辊磨机代替球磨机
- 高压辊压机配球磨机
- 改进的球磨机研磨介质
- 高效分选器
- 高效的水泥粉磨通风机
- 使用替代能源
- 高效率电机
- 可调速驱动器
- 系统优化

(图25) 武汉水泥行业用电节约技术措施成本曲线 (2015-2025)



(图26) 武汉水泥行业燃料节约技术措施成本曲线 (2015-2025)



通用设备系统

工业行业中，有通用的设备系统，如电机系统。根据国际能源署（IEA）统计，电机系统用电大约占到全球全部用电的50%，全球工业用电的70%。电机系统中，泵系统、空压机系统是最典型的两种，占到工业电机系统用电的50%。在中国，压缩空气的耗电量占全国发电量的9%到10%，90%的工业企业会用到空压机系统，空压机系统的耗电量约占用气企业总耗电量的15%到35%不等。对于制造业来说，虽然电机系统的用电比例在各个行业间有所差别（表28），但是我们可以从泵系统、空压机系统等通用系统层面进行打包分析，研究工业用电的能效提高和空间节约。

根据武汉工业中制造业的比例结构、用电情况和技术水平，我们进行了测算，并同时考虑了经济有效性，对措施进行了筛选。结果表明，泵系统、空压机系统共可为武汉市工业带来13%左右的电力消费下降，每年减少约180万吨二氧化碳排放。以2015年能效消耗为基准，则可降低2.8%的工业总能源消耗，以及降低3%的工业二氧化碳排放。两个系统具体的数据及可采取的措施见表29—表32。

（表28）各行业电机系统用电比例

行业	电机系统用电占该行业用电比例（%）	泵系统用电占该行业电机系统用电比例（%）	空气压缩系统用电占该行业电机系统用电比例（%）
食品、酒水、烟草制造业	83%	15%	7%
纺织业、服装业、皮革业	75%	16%	12%
木材加工、草制品业	88%	43%	6%
石化和煤炭产品相关行业	91%	47%	25%
化工行业	69%	35%	37%
橡胶和塑料制品业	66%	14%	11%
非金属矿物制品业	64%	13%	11%
金属制品业	36%	8%	14%
金属装配业	57%	16%	12%
机械制造业	64%	16%	11%
电子、电气产品制造业	63%	9%	7%
交通运输设备业	62%	13%	11%
总体制造业	68%	32%	17%



（表29）武汉工业泵系统节能减排潜力

	经济有效潜力	技术可行潜力
武汉工业泵系统节电潜力 (GWh/年)	2,540	2,602
相对泵系统总能耗的节能比例 (基准:2015年)	46%	47%
相对武汉工业总用电量的节电比例 (基准:2015年)	10.0%	10.3%
二氧化碳排放降低潜力 (万吨 CO ₂ /年)	133.6	136.9

（表30）武汉工业泵系统节能措施年度节电减排潜力
(进行节约能源成本调整后)

节能措施	节电潜力 (GWh/年)	最终节省能源成本 (元/每MWh节电量)	二氧化碳排放降低潜力 (万吨 CO ₂ /年)
1. 隔离不必要的或非运行设备的通流	664	0	34.9
2. 调整或更换叶轮以使输出达到要求	1,263	136	66.5
3. 修复泄漏、损坏的密封和包装	1,362	162.5	71.6
4. 使用压力开关关闭不必要的泵	1,568	195	82.5
5. 清除管道中的沉积物/结垢物	1,753	214.5	92.2
6. 安装变速驱动器	2,255	338	118.6
7. 更换更高效节能型泵	2,540	474.5	133.6
8. 更换更高效节能型电机	2,602	1020.5	136.9

其中措施8，更换更高效节能型电机不符合经济性要求

（表31）武汉工业空压机系统节能减排潜力

	经济有效潜力	技术可行潜力
空压机系统节电潜力 (GWh/年)	781	946
相对空压机系统总能耗的节能比例 (基准:2015年)	27%	32%
相对武汉工业总用电量的节电比例 (基准:2015年)	3.1%	3.7%
二氧化碳排放降低潜力 (万吨 CO ₂ /年)	41.1	49.7

(表32) 武汉工业空压机系统节能措施年度节电减排潜力
(进行节约能源成本调整后)

节能措施	节电潜力 (GWh/年)	最终节省 能源成本 (元/每MWh节电量)	二氧化碳排放 降低潜力 (万吨 CO ₂ /年)
1. 修复泄漏, 调整压缩机控制	272	7	14.3
2. 启动预测性维护程序	376	12	19.8
3. 提高最终使用效率; 关闭闲置设备, 工程喷嘴等	482	18	25.4
4. 安装压缩机定序器	592	20	31.1
5. 消除不适当的压缩空气利用	709	30	37.3
6. 通过压力优化/控制 /存储消除人工需求	759	49	39.9
7. 校正主管线分配管道中的过度压降	781	66	41.1
8. 按照需求要求进行空气处理	815	102	42.9
9. 安装变速驱动器	890	131	46.8
10. 更换压缩机尺寸以满足需求	946	147	49.7

其中措施8, 9, 10不符合经济性要求

其他方面

在钢铁、水泥行业中我们已经提出, 利用大数据、物联网等技术的制造业生产系统优化升级, 是节能新潜力挖掘的重要方向。对于所有行业, 都可以综合利用大数据、云计算、物联网、IPv6等信息通信技术对各种能源生产、输配、储能、用能系统进行监测控制、操作运营、能效管理, 使得行业达到综合节能效果。这种“智慧能源”技术服务, 通过节能环保和信息消费的跨界融合, 衍生出的新模式、新服务、新业态, 在欧洲、美国、日本等发达国家都已经有了很成功的推广应用, 而目前我国仍处于成长期, 仍然有很大的发展空间, 这满足我国调整和优化能源结构实现清洁低碳发展的要求。

《武汉制造2025》中, 提出了万元工业增加值综合能耗2015到2025年间每年下降4%, 10年累计下降34%的要求, 这个目标具有一定挑战性, 但是各行业的产业升级、节能改造、智能能源综合管理可以合力帮助实现目标。



04 低碳化能源结构

能源清洁化、低碳化是未来工业部门能源结构优化的方向, 也是智能化生产方式变革的必然结果。发达国家大多经历了从煤到油, 再到电气的过程。我国目前, 也在积极“压煤”, 改变以煤为主的能源消费结构, 以电力和天然气为依托, 推进工业电气化。从生产工艺特点来看, 许多工业领域都可以通过电气化来实现脱碳。首先是加快推进工业企业生产过程的信息化、自动化, 通过新一代自动控制系统等先进生产技术改进来提高工业电气化水平。其次是提高用电生产工艺的应用比例, 如钢铁行业以电炉炼钢替代传统炼钢工艺。第三是将传统使用化石燃料的工艺, 如加热烘干等, 改造为电气化生产工艺。

研究中, 我们也认为, 在钢铁、石化、水泥、机械制造等行业应在2030年前进行“煤改气”、“煤改电”等改造, 推动武汉工业部门能源供应的低碳化进程。根据项目分析计算, 2015-2025年之间, 钢铁、石化、水泥三大重工业, 每年需要分别实现煤改气1.5%、0.8%、1.5% (煤炭消费比重的减少值, 也是天然气消费比重的增加值), 医药制造、汽车制造、电气机械与器械制造业三大制造行业, 每年需要分别实现煤改电1%、0.2%、0.2% (煤炭消费比重的减少值, 也是电力消费比重的增加值), 并且在2025年后, 继续推行煤改电政策。此外, 未来中国电力将更多来自于可再生能源, 与工业电气化进程相配合, 更能够实现能源结构优化, 工业部门碳排放将更有效得到降低。武汉市“十三五”期间计划, 非化石能源的消费量将达到880万吨标煤, 约占全社会能源消费总量的15.6%, 较2015年提高4.1个百分点, 完成国家及省下达的目标。

达峰挑战与风险

CHALLENGE

01 全球市场与国际贸易

2015年,武汉外贸的对外依存度是15.4%,自2006年以来基本成持续下降趋势。从出口产品结构看,手机、电脑设备及部件、液晶显示板、家电等电子产品出口逐渐成为出口产品的新增长点,相对传统的汽车制造及汽车零配件也始终保持一定增幅^②。武汉碳排放最大的钢铁行业也对东南亚、欧美、澳洲和南美洲等地区有一定量的钢材出口。相关行业的产量在某种程度上会受全球市场需求以及国际贸易趋势的影响,进而影响这些行业的碳排放水平。如武汉的外贸依存度持续走低,对工业部门整体碳排放达峰带来的风险也将不断弱化。

02 国内产业政策和市场需求

武汉的钢铁和石化行业的生产力水平处在全国同行业的先进水平。随着两个行业全国范围内淘汰落后产能措施的进一步实施,武汉的相关企业可能承接更多的生产任务;另外,由于武汉的大多数其他产业也主要服务于全国市场,相关产品的全国需求将对产量产生影响。产量浮动将影响武汉工业部门总体碳排放达峰。

03 武汉自身重点行业和项目调整

与国家层面相比,城市碳排放达峰受重大产业调整和重大项目的影响极大。武汉面临的宝武钢生产线搬迁、工业倍增计划升级等不确定因素将对武汉工业领域达峰产生影响。

^②唐亚维、董平,外资外贸对武汉经济增长贡献的经验分析,《华中师范大学研究生学报》2016年第23卷第1期

01 达峰的社会影响

工业领域达峰行动对于工业就业有着正向和负向的双向作用。一方面，产业结构升级，低碳产业得到快速发展、新能源产业的扩张、低碳技术的开发等都能够促进就业的增加。另一方面，高碳产业被替代，淘汰落后产能、技术提升对劳动力的替代又会对就业造成负面的影响。

有研究表明，湖北省工业行业就业对能源消耗的弹性为1.2^{⑬⑭}，即工业部门能源消费量每降低1%，就业机会会相应减少1.2%。则对于武汉市达峰情景下，我们可以估算，达峰后，2020-2030年的累计节能量带来的工业行业总计损失的就业数约为60万人，平均每年减少6万人。从短期来看，节能减排增加了工业部门和传统能源部门的投资与就业压力。然而，从长期来看，通过采用先进的能效技术，淘汰落后产能，能够从整体上优化中国的经济结构，提高能源利用效率，因此，对中国工业的未来发展具有非常积极的促进作用。

同时，除了工业部门和传统能源部门之外，其他行业总体上会受益于节能减排带来的技术进步、成本下降等间接作用，例如建筑行业对能源消耗水平的弹性、交通运输行业就业对经济能源强度的弹性均为负值。则总体上，武汉实施节能减排对于整个经济的就业总效应很可能为正向，即工业节能减排政策有助于武汉就业的增长。

达峰的 社会经济影响

SOCIAL & ECONOMIC IMPACT

案例^⑮

• 在美国，据测算，在新能源领域每投资10亿美元，能够为美国创造约2万-3万个就业岗位，同时每年可减少60万吨温室气体排放。

• 德国政府为该计划提供的资金支持接近100亿美元。该计划目前已经创造了20多万个就业机会，减排二氧化碳200万吨。为了应对气候变化、经济危机和失业，德国政府还将在2009年和2010年推出110亿美元的经济刺激计划继续实施建筑节能改造，届时绿色就业岗位将达到60万个，每年可减排二氧化碳300万吨。

• 韩国提出了380亿美元的绿色新政计划（约占GDP的1.2%），其中包括流域治理、公共交通网络、绿色信息基础设施建设、水利基础设施、绿色汽车与清洁能源、资源回收再利用、森林再造与恢复工程、乡村、学校建筑节能改造九大项目。据估算，该项目在流域治理、森林保护和能效建筑等主要领域的投资将带动约50多万人的就业。

• 此外，2009年3月，欧盟宣布将在2013年之前投资1050亿欧元支持发展绿色经济，促进就业和经济增长。日本宣布将于2015年之前把绿色经济规模扩大至100万亿日元（约合1.08万亿美元）。中国提出的4万亿元（约5860亿美元）投资计划中，有230亿美元将用于节能减排和生态环保领域。这些绿色的低碳投资将会带动各国相关就业的增加。



^⑬ http://www.china.com.cn/international/txt/2009-12/11/content_19050870_2.htm

^⑭ 周文. 稳增长、促就业和低碳转型可以兼顾吗?——基于湖北省社会核算矩阵的分析[J]. 生态经济, 2017,33(01):67-72+96.

^⑮ http://www.china.com.cn/international/txt/2009-12/11/content_19050870.htm

02 达峰的经济投资成本

依照国际能源署、联合国开发计划署 (UNDP) 等机构研究方法, 经测算, 武汉工业部门 2015-2020 年间需要投资约 800 亿元以实现 2020 年达峰前的累计碳减排量, 平均每年投资 160 亿元, 约占武汉市工业投资的 10%。然而, 根据目前的研究, 由于随着节能的深入, 节能难度的不断提高, 节能投资边际成本也会加倍增长, 2020 年-2030 年前平均每年需要投资 250 亿元用于工业部门节能减排。在这种情况下, 可能需要强力的技术性突破实现工业工艺改造、能源品种替换才能突破工业节能的瓶颈。同时也需要政府在行业低碳改造、扶持新兴节能绿色行业等方面提供有力政策引导, 调度更多社会资本。

中国低碳资金需求相关研究

• 在预计 2005-2020 年中国能源环保投资需求将达 18 万亿元, 其中可再生能源 2 万亿元, 节能环保 5 万亿到 6 万亿元。

——能源基金会

• 预计中国 2011-2015 年低碳资金需求为 350 亿欧元/年 (3500 亿人民币/年), 2016-2020 年为 1450 亿欧元/年 (1.45 万亿人民币/年)

——麦肯锡

• 预计 2020 年前, 平均每年能源建设投入将在 1 万亿元到 1.2 万亿元。

——发改委能源研究所

• 预计中国 2010-2050 年需要 9.5 万亿美元 (66.5 万亿元) 的增量投资, 其中 2010-2030 年每年需要的增量投资约为 1850 亿美元 (1.3 万亿元), 2030 年后每年需要的增量投资为 2900 亿美元 (2.0 万亿元)

——UNDP/人民大学

• 中国要实现到 2020 年单位 GDP 二氧化碳排放比 2005 年下降 40%-45% 需要每年支出 780 亿美元 (约 5070 亿元) 的增量成, 到 2020 年总计约 5 万亿元的投入。

——邹骥

• 发展中国家每年所需的投资就可能超过 800 亿美元, 约 5.2 万亿元。

——世界银行

资料来源: 气候组织《中国的清洁革命IV: 财金战略》, 2011年

政策建议

RECOMMENDATIONS

01 政策建议

优化产业结构

加快发展高新技术产业,实施战略性新兴产业倍增计划,推动医药制造业、汽车制造业、电气制造业、智能制造装备等领域总产值比重上升4-5%,总产值在2030年前成倍增长;推动传统产业向中高端跃升,钢铁、化工、水泥等行业总产值稳步上升但总产值比重逐渐下降。

加速产品升级

增强优势行业竞争力,提升制造业自主创新能力,加强质量技术攻关、自主品牌培育;支持钢铁、石化等传统行业向深加工延伸、发展高附加值产品。使工业增加值率努力向国际先进水平靠拢(工业增加值率每年上升2-4%)。

提高能源效率

推进工业生产能效提升工作,推行低碳制造和清洁生产工艺技术,钢铁行业实行烧结余热回收等技术措施、水泥行业实行辊磨机替换,支持企业实施锅炉、热泵、空压系统等设备节能改造,重点推进企业能源管理优化系统应用;严格执行企业能效达标,淘汰落后产能,有序推动高耗能产业搬迁腾退工作实现各行业单位工业增加值能耗每年下降2-4%。

低碳化能源结构

合理控制能源消费总量,依靠技术改造和能源调配,有序推进制造业煤改气、煤改电工程,推广工业园区热电联产,积极促进工业可再生能源利用比例提高,支持制造业循环经济发展。

(表33)模型参数设定

模块	模型参数		基准情景			达峰情景		
			2016-2020	2021-2025	2025-2030	2016-2020	2021-2025	2025-2030
宏观经济	GDP增速		11.74%	9%-7.87%	7.87%-6.5%	11.74%	9%-7.87%	7.87%-6.5%
	第三产业占比		55%(2020)		68%(2030)	55%(2020)		68%(2030)
产业结构	高耗能行业产值占比	钢铁行业	5.9%	5.9%	5.9%	5.9%-5.2%	5.2%-4.5%	4.5%
		非金属矿物制品业	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%-2.2%	2.2%-2%	2%
		石油加工行业	6%	6%	6%	6%	6%	6%
	高端制造行业产值占比	汽车制造业	21%	21.3%	21.3%	21.3%-23.9%	23.9%-26%	26%
		医药制造业	2%	2%	2%	2%-7%	7%	7%
		通用设备制造业	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%-3.5%	3.5%-4%	
产品结构	增加值率	电气机械和器材制造业	8.4%	8.4%	8.4%	8.4%-10.2%	10.2%-12%	12%
		计算机、通信和其他电子设备制造业	13.2%	13.2%	13.2%	13.2%-14.4%	14.4%-16%	16%
		食品制造业	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28-0.35	0.35
		纺织服装、服饰业	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27-0.35	0.35
能源效率	单位工业增加值能耗下降率	医药制造业	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30-0.40	0.40
		橡胶和塑料制品业	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24-0.35	0.35
		非金属矿物制品业	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25-0.30	0.30
		钢铁行业	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30-0.35	0.35
		金属制品业	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23-0.35	0.35
		通用设备制造业	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24-0.35	0.35
		电气机械和器材制造业	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29-0.32	0.32
		计算机、通信和其他电子设备制造业	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25-0.35	0.35
燃料结构	煤炭消耗中被天然气替代的比例	钢铁行业	2%	2%	2%	4%	4%	4%
		非金属矿物制品业	2%	2%	2%	4%	4%	2.5%
		石油加工行业	2%	2%	2%	3%	3%	2%
		其他行业	2%	2%	2%	2%-6%	2%-6%	2%
燃料结构	煤炭消耗中被电力替代的比例	钢铁行业	0%	0%	0%	10%(2020)		25%(2026)
		非金属矿物制品业	0%	0%	0%	10%(2020)		25%(2026)
		石油加工行业	0%	0%	0%	10%(2020)		25%(2026)
	煤炭消耗中被天然气替代的比例	医药制造业	0%	0%	0%	7.5%(2020)	13%(2025)	
		汽车制造业	0%	0%	0%	7.5%(2020)	13%(2025)	
		电气机械和器材制造业	0%	0%	0%	7.5%(2020)	13%(2025)	



推动全球能源变革, 创造一个清洁、
安全、繁荣的低碳未来
transforms global energy use to
create a clean, prosperous, and
secure low-carbon future
www.rmi-china.com

