

# 碳达峰与碳中和背景下 山东电力行业低碳转型路径研究 执行摘要

## 中国煤炭消费总量控制方案和政策研究 (煤控研究项目)

中国是世界煤炭生产和消费第一大国。以煤炭为主的能源结构支撑了中国经济的高速发展，但也对生态环境造成了严重的破坏。为了应对气候变化、保护环境和减少空气污染，国际环保组织自然资源保护协会 (NRDC) 作为课题协调单位，与政府智库、科研院所和行业协会等 20 多家有影响力的单位合作，于 2013 年 10 月共同启动了“中国煤炭消费总量控制方案和政策研究”项目（即“煤控研究项目”），为设定全国煤炭消费总量控制目标、实施路线图和行动计划提供政策建议和可操作措施，助力中国实现资源节约、环境保护、气候变化与经济可持续发展的多重目标。请访问网站了解更多详情 <http://coalcap.nrdc.cn/>



自然资源保护协会 (NRDC) 是一家国际公益环保组织，成立于 1970 年。NRDC 拥有 700 多名员工，以科学、法律、政策方面的专家为主力。NRDC 自上个世纪九十年代中起在中国开展环保工作，中国项目现有成员 40 多名。NRDC 主要通过开展政策研究，介绍和展示最佳实践，以及提供专业支持等方式，促进中国的绿色发展、循环发展和低碳发展。NRDC 在北京市公安局注册并设立北京代表处，业务主管部门为国家林业和草原局。请访问网站了解更多详情 <http://www.nrdc.cn/>



北京大学能源研究院是北京大学下属独立科研实体机构。研究院以国家能源发展战略需求为导向，立足能源领域全局及国际前沿，利用北京大学学科门类齐全的优势，聚焦制约我国能源行业发展的重大战略和科技问题，按照“需求导向、学科引领、软硬结合、交叉创新、突出重点、形成特色”的宗旨，推动能源科技进展，促进能源清洁转型，开展专业及公众教育，致力于打造国际水平的能源智库和能源科技研发推广平台。

研究院下设的气候变化与能源转型项目 (CCETP) 旨在助力中国应对气候变化和推动能源转型，实现 2030 年前碳达峰和 2060 年前碳中和的目标。该项目通过科学研究，设立有雄心的目标，制定清晰的路线图和有效的行动计划，为政府决策提供建议和支持。

封面图片: Nikola Johnny Mirkovic on Unsplash

## 煤控研究报告

《碳达峰与碳中和背景下山东电力行业低碳转型路径研究》执行摘要

《内蒙古煤炭生产和消费绿色转型研究》摘要报告

《霍林郭勒产业园绿色低碳发展研究》(简本)

《内蒙古典型城市煤炭消费与大气质量的关联分析及政策建议》

《内蒙古采煤沉陷区生态修复与可再生能源利用研究》

《“十四五”山西省非煤经济发展研究》

《碳达峰碳中和背景下山西煤电行业转型发展研究》

《碳达峰碳中和背景下山西焦化行业转型发展研究》

《中国典型省份煤电转型优化潜力研究》

《碳达峰碳中和目标约束下重点行业的煤炭消费总量控制路线图研究》

《中国典型省份煤电转型优化潜力研究执行摘要》

《碳达峰碳中和目标约束下重点行业的煤炭消费总量控制路线图研究执行摘要》

《碳达峰碳中和目标约束下水泥行业的煤炭消费总量控制路线图研究》

《碳达峰碳中和目标约束下电力行业的煤炭消费总量控制路线图研究》

《碳达峰碳中和目标约束下钢铁行业的煤炭消费总量控制路线图研究》

《碳达峰碳中和目标约束下煤化工行业煤炭消费总量控制路线图研究》

《山西省“十四五”煤炭消费总量控制政策研究》

《“十四五”电力行业煤炭消费控制政策研究》

《新冠疫情后的中国电力战略路径抉择: 煤电还是电力新基建》

《中国散煤综合治理研究报告 2020》

《“十三五”时期重点部门煤控中期评估及后期展望》

《“十三五”电力煤控中期评估与后期展望》

《中国煤控项目“十三五”中期评估与后期展望研究报告》

《中国实现全球 1.5°C 目标下的能源排放情景研究》

《持续推进电力改革 提高可再生能源消纳执行报告》

《2012 煤炭的真实成本》

请访问网站了解更多详情 <http://www.nrdc.cn/>

煤控研究项目系列报告

# 碳达峰与碳中和背景下 山东电力行业低碳转型路径研究

## 执行摘要

北京大学能源研究院气候变化与能源转型项目

自然资源保护协会

2022.08



---

# 执行摘要

---

2020年9月22日，国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话时提出，中国将采取更加有力的政策和措施，力争二氧化碳排放于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和（以下简称“双碳”目标）。随后，在2021年初的领导人气候峰会上，习近平主席宣布，中国将严控煤电项目，“十四五”时期严控煤炭消费增长、“十五五”时期逐步减少。

山东省2020年碳排放9.36亿吨，约占全国碳排放量的9%左右，是全国第一碳排放大省。作为仅次于广东和江苏的经济第三大省，山东碳排放强度远远高于前两者，“双碳”之路任重道远。山东是全国第一煤电大省，装机容量占全国的9.5%。2020年山东电力行业碳排放总量4.13亿吨，占全省碳排放的比重约为44%。2013年以来，山东省一直实行煤炭消耗总量控制，有效地控制了煤电装机增长。此外，随着可再生能源的发展及“外电入鲁”政策的推进，山东电力行业有望提前实现“碳达峰”并尽快跨入向“碳中和”前进的轨道。因此，研究“双碳”背景下的山东电力行业转型路径不仅对山东尽快实现“双碳”目标有重要意义，对于其他省份电力行业的低碳转型也有重要的借鉴意义。

本报告首先对山东电力发展的现状进行了梳理，结合山东经济社会发展现状对未来山东用电需求进行了预测分析，对山东省风电、太阳能、核电、抽水蓄能等各类电源的发展潜力进行了分析和展望，对山东省外电入鲁的前景进行了预测。基于山东电力供需形势分析，本报告以山东省能源规划为基础设置了常规政策情景；在政策情景基础上考虑风电、光伏等清洁能源的非常规发展，设定了清洁能源情景；根据两种情景的约束条件对“碳达峰”阶段、“碳中和”阶段山东电力转型的情景进行了模拟分析，并根据分析结果提出了山东电力清洁化转型的路径。本报告的研究有以下发现。

**第一，山东煤电装机将在“十四五”时期达到峰值。**通过模型进行分析发现，在常规政策情景下，山东煤电在2025年达到装机峰值，峰值为11182万千瓦，较2021年装机增加546万千瓦；在清洁能源情景下，山东煤电在2023年达到峰值，峰值为10777万千瓦，较2021年装机增加141万千瓦。在两种情景下，山东煤电都将在“十四五”时期达到峰值，但清洁能源情景峰值年份较常规政策情景提前2年，峰值规模减少405万千瓦（图1）。

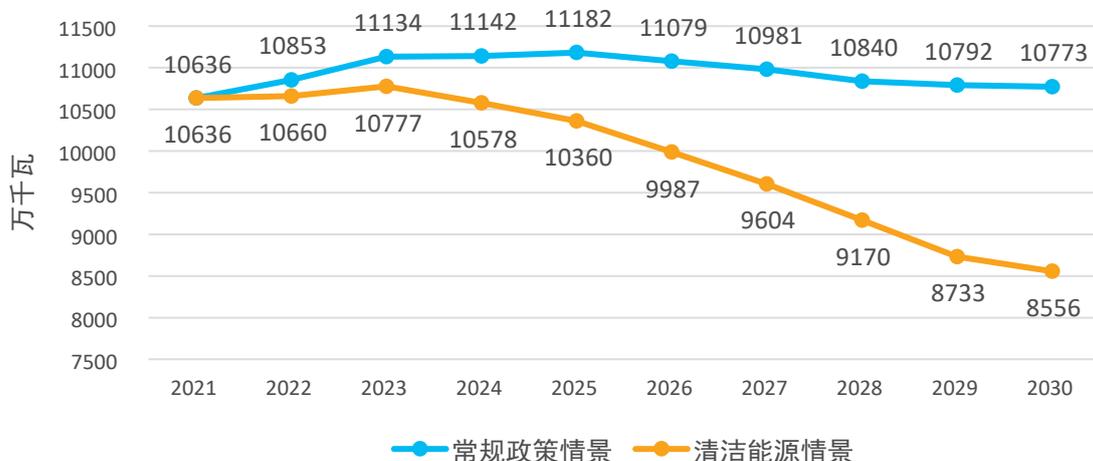


图 1 两种情景下山东省“碳达峰”阶段煤电装机量（2021-2030 年）

第二，山东发电行业煤耗量、二氧化碳排放量有望在 2021 年达到峰值后持续下降。如图 2、图 3 所示，在常规政策情景下，山东电力行业用于发电的煤耗量、二氧化碳排放量均在 2023 年达到峰值，峰值分别为 15292 万吨标煤、42396 万吨。但是如果坚持更具有雄心的清洁能源政策，山东电力行业发电的煤耗量、二氧化碳排放量均已经在 2021 年达到峰值，峰值为 14997 万吨标煤、41579 万吨，峰值平台期持续到 2023 年，之后呈现下降趋势。

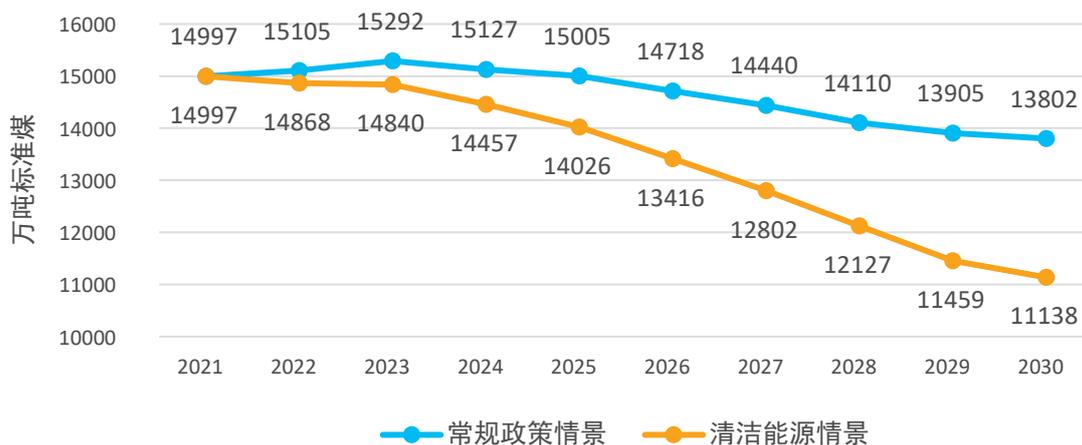


图 2 两种情景下山东省“碳达峰”阶段发电耗煤量（2021-2030 年）

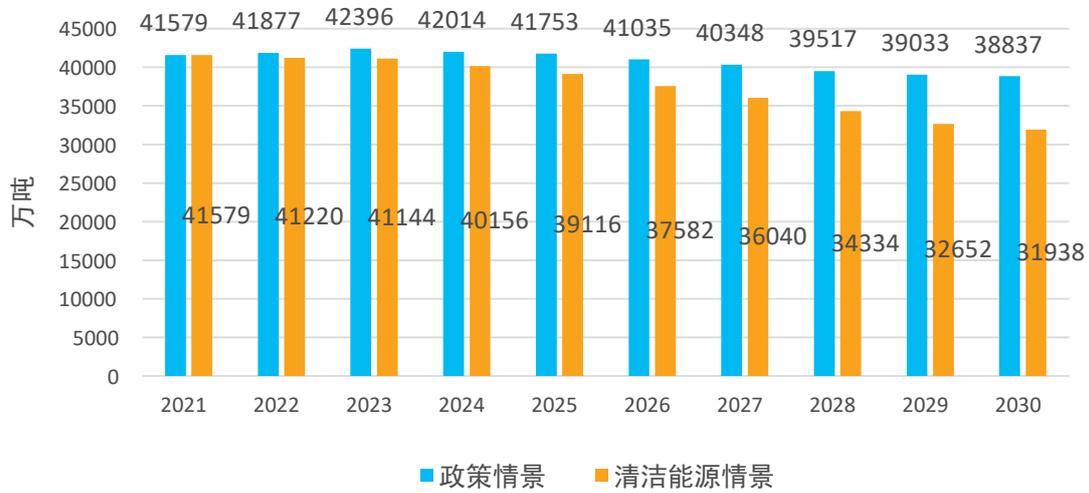


图 3 两种情景下山东省“碳达峰”阶段二氧化碳排放量（2021-2030 年）

第三，“碳达峰”阶段，两种情景下煤电装机量和发电量具有明显的差别。常规政策、清洁能源两种情景下，山东省的煤电都需要增长，但是增长的数量存在很大的不同。在常规政策情景下，煤电装机规模、发电量都需要增加，前者需要净增加 546 万千瓦，后者需增加 162 亿千瓦时，并且煤电装机在 2030 年之前一直保持较高的规模。但是在清洁能源情景下，煤电发电量一直是下降状态，煤电装机规模只需少量增加，并且达峰后迅速减少，2030 年所需装机降低到 8556 万千瓦，比峰值期降低了 2221 万千瓦，也比 2021 年实际装机降低了 2080 万千瓦（见前文图 1 所示）。各年发电量变化情况见图 4。

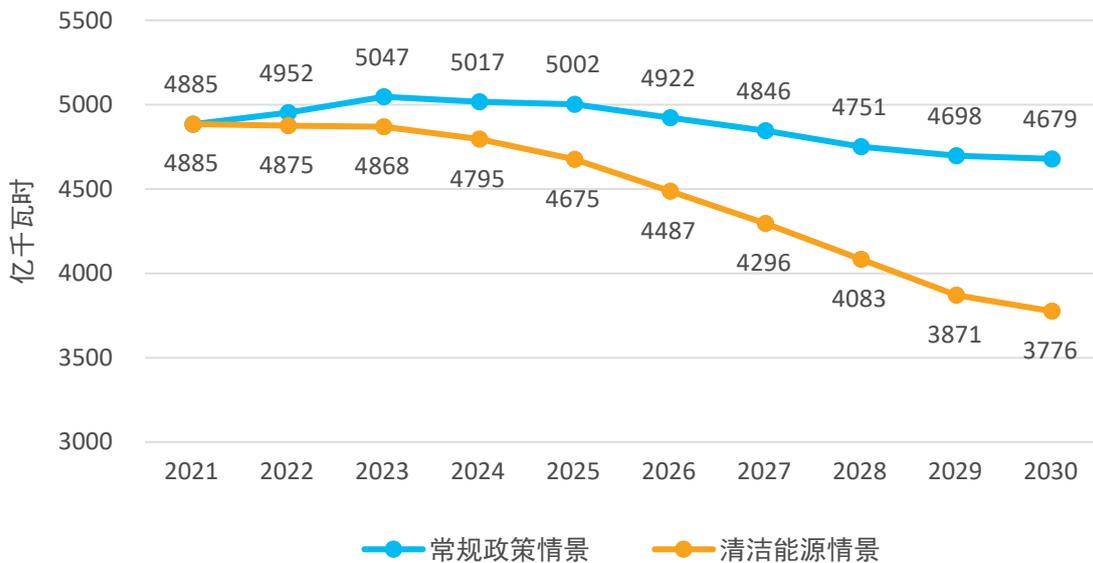


图 4 两种情景下山东省“碳达峰”阶段煤电发电量（2021-2030 年）

第四，清洁能源情景路径将是山东电力转型发展的必然选择。在“碳达峰”阶段，常规政策路径和清洁能源路径对于规划的结果影响不大，只影响到煤电装机、煤炭消耗和碳排放的峰值、峰值年份，对于达峰的结果影响不大。但是在“碳中和”阶段，不同路径下的碳排放量存在很大的差距。常规政策情景下（图 5），2060 年电力行业二氧化碳排放量为 13293 万吨，降低到峰值期的 34%。清洁能源情景下，2060 年电力行业二氧化碳排放量为 4559 万吨，降低到峰值期的 11% 左右。在常规政策情景下，山东电力行业仍然有 1.33 亿吨二氧化碳排放量，很难采用 CCUS、碳汇等方式来处理。而清洁能源情景下，2060 年电力行业二氧化碳排放量能够降低到 0.46 亿吨的水平，仅为常规政策情景的三分之一左右，这一部分的二氧化碳排放量比较容易通过 CCUS、碳汇等方式实现碳中和。因此，按照清洁能源情景进行转型发展是山东电力的必然选择。

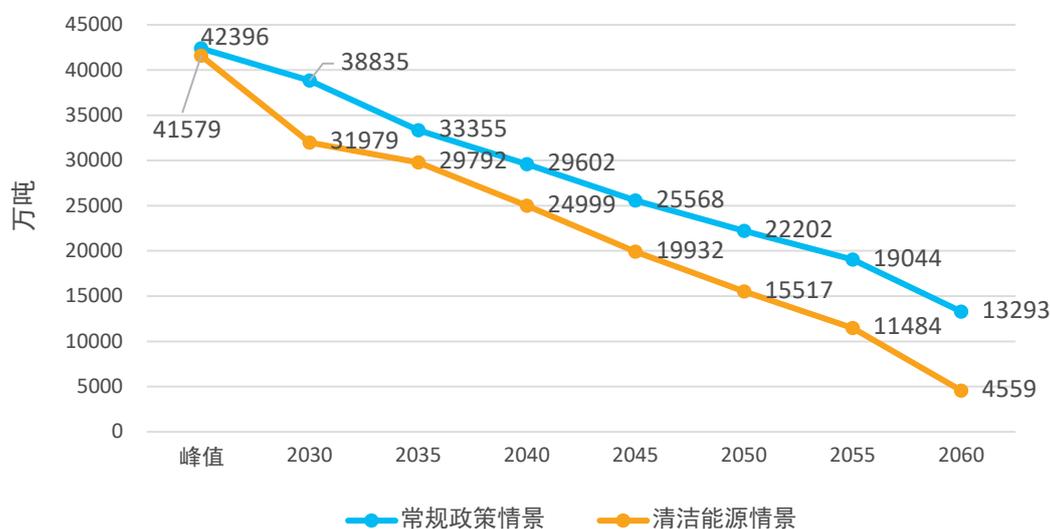


图 5 两种情景下山东省“碳中和”阶段二氧化碳排放量

第五，供热问题将极大地影响“碳中和”阶段的规划结果。当前，山东热力需求 99% 以上由煤炭来满足，剩余的来自石油和天然气。在实现“碳中和”的过程中，煤炭必然要大规模地退出。依据目前的形势来判断，大规模煤炭退出留下的缺口很大一部分需要清洁电力来补充，这将大大影响“碳中和”阶段的规划结果。在“碳中和”阶段，即使考虑供电满足 50% 的热力需求，清洁能源情景中，考虑供热的电量消耗，风电、太阳能装机分别增加 6900 万千瓦和 1.38 亿千瓦，超过非供热情景的 60%，具体见图 6 所示。如果完全用风电发电量来补充，所需的风电装机接近 3 亿千瓦，如果完全用光伏来满足，所需的光伏装机将超过 5 亿千瓦。依照目前的条件来看，这个发展目标是远远实现不了的。

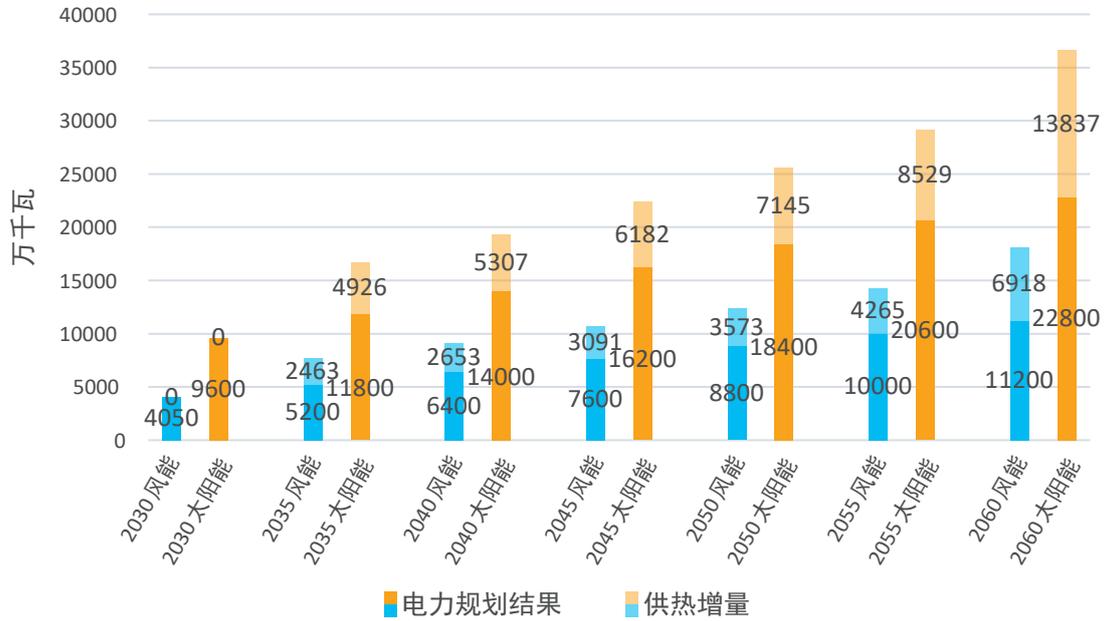


图 6 “碳中和”阶段考虑供热需求的清洁能源情景规划结果

第六，未来电力系统将逐步转向以电量型电力为主体。当前，山东电力系统中煤电、核电、气电、生物质发电、余热发电、外接电等在电力系统中的作用是既提供电力（负荷）支撑也提供电量支撑，电力电量型电源在系统中占据绝对主要地位，以提供电量为主的风电、光伏为主的电量型电源处于次要地位，而以提供电力为主的抽水蓄能、新型储能、氢氨能等电力型电源占比非常低。但到 2060 年，电量型电源则占据电力系统的主体地位，电力型电源也占据一定的规模，而电力电量型电源成为次要电源。电量、电力脱钩的发电方式对电力系统的安全性、稳定性带来了巨大的挑战，包括电网在内的电力系统整体性能需要进行重大提升、电网调度需要进行升级优化后才能适应这种形态，整个电力系统的形态将发生巨大的改变。2021、2060 年电源结构对比如图 6 所示。

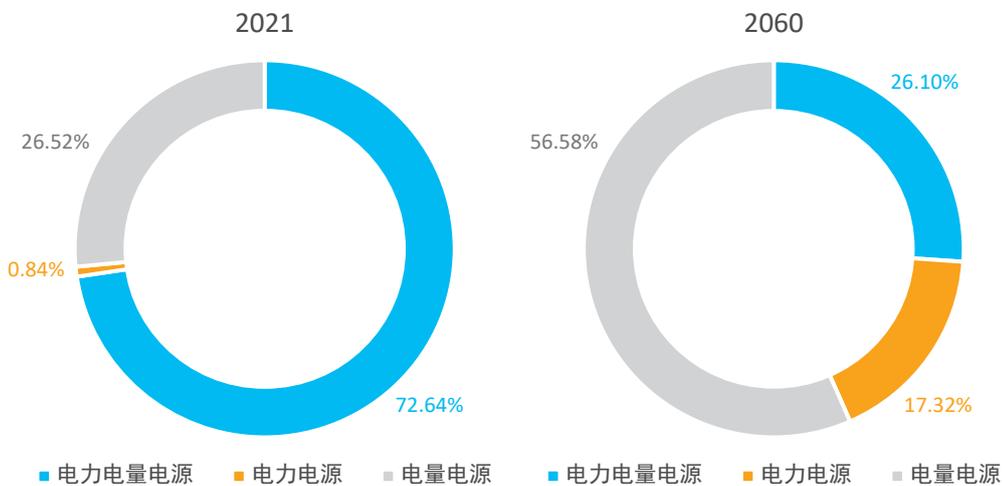


图 7 2021、2060 年电源结构对比图

根据研究发现，本报告针对在清洁能源情景下山东电力转型路径提出以下政策建议。

**第一，严控新增煤电项目，确保不突破 1.08 亿千瓦的煤电装机上限。**在清洁能源路径下，山东省的煤电装机峰值为 1.08 亿千瓦，因此应该严格控制煤电的发展，确保不突破装机上限。首先是要禁止新项目立项上马，考虑到山东仍有在建煤电项目，要以“煤炭消耗总量控制”为硬性约束，不再审批新的普通商用煤电机组。其次是规划的 1000 万千瓦煤电全部采取“上大压小”“上新压旧”“上高压低”方式建设，实现等量和减量替代。对确实有现实供热、供电需求的中小机组，综合考虑用能及当地电网、热网规划，采取用一个或两个容量大、水平高的机组来代替周边多个中小机组，实现区域内多个煤电项目的优化和整合。

**第二，加大落后煤电机组的淘汰力度，对部分过剩煤电机组进行战略封存。**在清洁能源情景下，2025 年以后煤电应该逐步减少。首先从污染物排放水平、煤耗水平、效率水平、当地供热需求、周边大容量机组布局、投资主体、经济效益等方面进行实地排查，建立落后煤电机组淘汰路线图。其次是“上大压小”、直接关停、新能源或天然气指标置换、政府赎买等方式推动中高年龄中小煤电机组的尽快退出。再次是将部分地区过剩的煤电机组，进行战略封存，作为应急电源提供备用以应对夏季高温、冬季供热期间可能出现的时段性电力短缺。

**第三，综合利用技术和管理手段，提高煤电的发电和供热效率。**一是严格落实“三改联动”（煤电机组节能降碳改造、灵活性改造、供热改造）的要求，加快煤电的改造步伐。二是优化供热管网改造，实现长距离供热管网优化运行。三是制定竞争性的发电政策，实现煤电的优胜劣汰。四是采用“发电权交易”的方式推动大机组对于小机组的替代，提高发电效率。五是利用节能监控平台的监管优势，推动煤电企业节能降耗。

**第四，按照“能建尽建”原则推动风电、光伏的发展。**一是海陆并举，推动风电的连片开发。二是集散并举，大力发展光伏发电。三是创新发展模式，推动分散式风电、分布式光伏与微网的融合发展。四是要持续提高风光发电的技术水平。

**第四，适度发展气电，发挥稳定电源、灵活调峰的作用。**随着煤电规模保持稳定和风电、光伏的大规模发展以及外来电的大规模接入，山东电力在“碳达峰”阶段的关键问题不再是缺乏基础电量供应能力，而是用电负荷尖峰化和可再生能源出力波动性多重因素叠加影响下尖峰电力保障能力不足。天然气发电具有启停快、运行灵活的优点，而且可以供电、供热兼顾，在实现山东省“碳达峰”、“碳中和”的过程中应该起到重要的过渡作用。目前山东天然气发电规模仍然是零，与广东、江苏等电力大省存在巨大的差距。因此山东应该落实“十四五”规划中提出的天然气发电目标，以沿海的青岛、烟台、日照和省会济南为重点，规划布局一批天然气发电项目，以起到稳定电力系统、改善电源的效果。

**第五，适度加快核能的开发和利用速度。**山东已经完成勘探开发 3 个沿海核电厂址，装机潜力突破 2000 万千瓦，但山东目前在运和在运的项目不到 600 万千瓦，还有很大的发展潜力和空间。考虑到山东“碳达峰”阶段缺负荷、“碳中和”阶段缺电量的规划情景，未来应秉承“审慎细实、积极高效”的核安全理念，适度加快核电项目的建设步伐，确保超前实现规模目标。一方面加快推动规划核电项目的推进。尽快推动荣成一期、海阳二期项目的建设，尽快推动荣成二期、海阳三期、荣成三期项目的开工和建设。另一方面加快核能综合利用步伐。依托沿海核电项目，在实现海阳市 450 万平方米核能供热“全覆盖”的基础上向青岛、烟台、威海三个城市进行供热延伸。另外，要提前进行陆上小堆项目的预研，力争多用途小型核能堆项目尽快落地。

**第六，推动“外电入鲁”提质增效，实现 2030 年规模倍增。**一是围绕提升既有通道送电能力和可再生能源比例，加快上海庙 - 临沂直流通道千万千瓦级“风光火储一体化”电源基地建设。二是充分利用扎鲁特换流站近区现役及已纳入国家电力发展规划的煤电项目，在吉林白城、松原和内蒙古通辽、兴安盟等地，布局建设扎鲁特 - 青州直流通道



千万千瓦级“风光火储一体化”电源基地建设，力争 2025 年线路达到设计输送能力，并使可再生能源的输送比例提高到 40% 以上。三是与宁夏自治区政府和国网西北分部进行对接，利用宁夏建设“风光火储一体化”大型电源基地的契机，优化调整银东直流通道配套电源结构。四是推动陇东 - 山东特高压直流通道工程在 2022 年核准并开工建设，形成三条直流、三条交流特高压共同受电格局。五是提前谋划新的外电入鲁规划线路，并探索“风光水、热（光热）、火储一体化”建设的新模式，确保送鲁线路中可再生能源电量比例不低于 50%。

**第七，高度重视节能和需求响应手段的应用。**本报告按照 2060 年山东人均用电量 1.5 万千瓦时设定情景，高于国网能源院、华北电力大学等机构设置的全国人均用电情景 20% 以上。实际上山东需求侧具有很大的节能潜力，通过节能手段减少用电需求能大大减少实现“双碳”目标的压力。报告对于山东最高用电负荷的情景也是按照连续增加设定的，实际中山东省最大负荷因天气等原因经常出现大的波动，出现断续、超短期的突高尖峰负荷。满足这部分尖峰负荷最经济的手段是利用市场化的手段提高需求侧响应能力，通过盲目增加煤电、储能等满足这部分尖峰负荷需求将造成巨大的投资浪费。

**第八，推动前瞻性电力技术尽快取得突破。**以开放的态度对待每一种前瞻性技术，并在几种关键领域进行重点布局。一是在技术、市场、管理等多方面发力，尽快实现储能的大规模商业化应用。二是超前进行氢、氨等新型二次能源的技术和产业布局。三是推动远海浮动风电、高空对流层风电、四代核能堆、地热能、潮汐能等非常规电源实现突破并大规模的应用。四是积极利用氢能、储能、氨能等能源储存转换技术，发挥电力多元转换（Power-to-X）的互补效应，使电能更多具有普通能源易于储运、分割的属性。五是推动分布式能源与微电网快速融合发展，尽快形成大电网与微网协同发展的格局。六是着重推动 CCS/CCUS 技术的研发和工程应用。

## 联系我们

地址：中国北京市朝阳区东三环北路 38 号泰康金融大厦 1706

邮编：100026

电话：+86 (10) 5927-0688

传真：+86 (10) 5927-0699