



基于大气污染防治目标的陕西省“十四五”能源 结构和产业结构调整对策研究

Study on the Countermeasures of Energy Structure and Industrial Layout
Adjustment in Shaanxi Province during the "14th Five-year Plan" Period
Based on the Goal of Air Pollution Prevention and Control

陕西省环境科学研究院

2022.6.30

Shaanxi Provincial Academy of Environmental Science

June 30, 2022

关于作者

刘大为，项目负责人，陕西省环境科学研究院副院长，高级工程师、经济师、会计师。多年来从事环境经济与环境管理领域相关研究，主持陕西省十三五、十四五生态环境保护规划编制工作，积极参与全省生态环境质量与经济形势分析工作，其主要研究成果为全面改善生态环境质量宏观政策、对策措施的制定提供了有力的技术支撑。

江川，项目主要完成人，陕西省环境科学研究院创新研究中心高级工程师。作为项目骨干成员，重点完成能源结构与环境质量相关性分析，能源、产业结构调整减排情景设计优化及成本效益分析等主要内容。

郭巍，项目主要完成人，陕西省环境科学研究院创新研究中心正高级工程师。主要完成产业结构与环境质量相关性分析、“十三五”期间能源产业结构政策梳理分析相关章节内容。

郭胜男，项目主要完成人，陕西省环境科学研究院创新研究中心工程师，主要完成区域概况梳理、“十三五”期间环境空气质量现状分析相关章节内容，并具体负责项目实施过程的联络协调工作。

致谢

本研究由陕西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环境管理项目/工作组下的课题，课题编号G-2009-32452。

在本项目研究过程中，研究团队得到了陕西省生态环境厅、陕西

省发展与改革委员会等相关部门的大力支持，在此向他们表示诚挚感谢。

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：

- | | |
|-----|-----------------------------|
| 柴发合 | 国家大气污染防治攻关联合中心 |
| 蒋洪强 | 生态环境部环境规划院 |
| 洪 涛 | 国务院发展研究中心资源与环境政策研究所能源政策研究室 |
| 柴麒敏 | 生态环境部国家应对气候变化战略研究和国际合作中心规划部 |
| 刘 强 | 儿童投资基金会中国办公室 |
| 熊华文 | 国家发改委能源所能源环境中心 |
| 宁 淼 | 生态环境部环境规划院大气所 |
| 冉新权 | 陕西省环境科学学会 |
| 魏 玮 | 西安市交通大学 |
| 曾昭宁 | 西安市石油大学 |
| 裴成荣 | 陕西省社会科学院 |
| 李江龙 | 西安交通大学 |

目 录

前 言	1
第一章 区域概况	2
1.1 行政区划及人口	2
1.2 地质地貌	2
1.3 气候	4
1.4 水文	5
1.5 矿产资源	5
第二章 现状分析	7
2.1 环境空气质量现状分析	7
2.1.1 优良天数分析	8
2.1.2 NO ₂ 年均浓度分析	9
2.1.3 PM _{2.5} 年均浓度分析	9
2.1.4 O ₃ 日最大 8 小时浓度分析	10
2.1.5 大气环境质量主成分分析	11
2.2 污染物及碳排放现状分析	13
2.2.1 大气主要污染物排放总量	13
2.2.2 大气主要污染物排放结构	15
2.2.3 大气主要污染排放空间分布	17
2.2.4 大气主要污染排放强度特征	18
2.2.5 重点区域大气主要污染源特征分析	24
2.3 产业现状分析	26

2.3.1 区域经济发展现状分析.....	26
2.3.2 三大产业结构现状分析.....	27
2.3.3 产业结构特征参数分析.....	29
2.3.4 产业布局分析.....	33
2.4 能源消费结构现状分析.....	39
2.4.1 能源生产消费总体情况.....	39
2.4.2 能源消费结构分析.....	40
2.4.3 三大产业主要能源消费情况.....	42
2.5 小结	44
第三章 能源产业结构调整政策梳理	47
3.1 “十三五”能源产业结构调整政策梳理	47
3.1.1 大气污染防治重要举措梳理.....	47
3.1.2 减排对策效果评估.....	47
3.2 “十四五”能源、产业结构政策梳理	52
3.2.1 “十四五”能源结构政策梳理	52
3.2.2 “十四五”产业结构政策梳理	59
第四章 能源结构、产业结构及环境质量相关性分析	63
4.1 能源结构与环境空气质量之间的关系.....	63
4.1.1 能源消费与环境质量的关联模型.....	63
4.1.2 灰色关联度计算.....	64
4.1.3 关联度分析.....	65
4.2 产业结构与环境空气质量之间的关系	66

4.3 能源结构、产业结构、环境空气质量之间的关系.....	68
4.3.1 能源消费结构与环境质量相关性分析.....	68
4.3.2 产业结构与环境质量相关性分析.....	84
4.3 小结	87
第五章 分阶段目标指标测算	89
5.1 大气环境质量目标测算.....	89
5.1.2 环境空气质量目标分级.....	89
5.1.2 各地市大气环境质量目标确定.....	90
5.2 煤炭消费总量控制目标测算.....	92
5.2.1 煤炭消费总量控制目标影响指标体系.....	92
5.2.2 煤炭消费总量控制目标测算结果.....	94
5.3 基于环境质量目标的大气污染物控制总量测算.....	95
5.4 小结	95
第六章 减排情景设定	96
6.1 电力行业污染减排情景分析.....	97
6.1.1 电源结构现状及需求分析.....	97
6.1.2 电力行业减排情景设定.....	99
6.1.3 电力行业煤炭、污染物及二氧化碳削减量测算.....	100
6.2 钢铁行业污染减排情景分析.....	101
6.2.1 经济发展对钢铁行业的需求分析.....	101
6.2.2 钢铁控煤措施情景设定.....	102
6.2.3 钢铁行业煤炭、污染物及二氧化碳削减量测算.....	103

6.3	水泥行业污染减排情景分析.....	104
6.3.1	经济发展对水泥行业的需求分析.....	104
6.3.2	水泥减排情景设定.....	105
6.3.3	水泥行业煤炭、污染物及二氧化碳削减量测算.....	106
6.4	炼焦行业污染减排情景分析.....	107
6.4.1	炼焦行业现状及需求分析.....	107
6.4.2	炼焦行业情景设置.....	107
6.4.3	炼焦行业煤炭、污染物及二氧化碳削减量测算.....	108
6.5	涉 VOCs 行业污染减排情景分析.....	109
6.5.1	VOCs 排放的主要行业.....	109
6.5.2	涉 VOCs 行业减排情景设定.....	110
6.5.3	VOCs 减排量测算.....	110
6.6	非重点行业工业炉窑减排情景分析.....	111
6.6.1	非重点行业工业炉窑现状.....	111
6.6.2	减排情景设定.....	112
6.6.3	煤炭削减量及污染物减排量测算.....	113
6.7	居民散煤治理减排情景分析.....	114
6.7.1	散煤消费现状.....	114
6.7.2	散煤污染治理情景设置.....	115
6.7.3	散煤及污染物削减量测算.....	115
6.8	交通运输结构调整情景分析.....	116
6.8.1	移动源污染物现状分析.....	116

6.8.2 减排情景设定.....	116
6.8.3 污染物减排量测算.....	117
6.9 小结	118
第七章 基于环境质量目标下成本效益分析	124
7.1 目标可达性分析.....	124
7.1.1 减排量计算.....	124
7.1.2 减排方案设定.....	124
7.2 基于费效比的减排方案比选.....	126
7.2.1 效益分析.....	126
7.2.2 成本分析.....	133
7.2.3 费效比分析.....	137
7.3 小结	138
第八章 研究结论及对策建议	140
8.1 研究结论	140
8.1.1 重点区域大气环境质量进一步改善难度大.....	140
8.1.2 大气结构性污染问题依旧突出.....	140
8.1.3 能源结构是影响环境质量最深层次因素.....	141
8.1.4 减煤控煤对减污降碳贡献显著.....	141
8.2 对策建议	142
8.2.1 能源结构优化调整对策建议.....	142
8.2.2 产业结构/产业布局优化调整对策建议.....	144
8.2.3 交通运输优化调整对策建议.....	146

参考文献..... 148

前 言

2013年国务院颁布《大气污染防治行动计划》(简称“大气十条”),以颗粒物浓度为约束对全国各地的大气污染防治工作提出了具体的要求,我国以大气环境质量改善为目标约束的战略行动全面启动。继“大气十条”颁布之后,生态环境部对《大气污染防治法》、陕西省生态环境厅对《陕西省大气污染防治条例》进行了修订、修正,中、省相继出台了《打赢蓝天保卫战三年行动计划》、《陕西省铁腕治霾打赢蓝天保卫战三年行动方案》,明确了十三五时期内大气污染防治的目标计划,旨在有效改善环境空气质量,增强人民的蓝天幸福感。

“十三五”期间,在全面推进产业、能源、运输、用地四大结构调整优化,进一步突出重点时段、空间、行业领域目标污染物的有效管控下,我省空气质量持续明显改善。“十四五”时期是“美丽中国”建设的关键时期,也是我省全面统筹生态环境保护各领域任务落地实施、实现绿色转型高质量发展的重要阶段。作为全国重要的能源化工战略生产基地,我省以重化工为主的产业结构、以煤为主的能源结构和以公路货运为主的运输结构性矛盾仍然突出,完成国家规定的大气环境质量改善目标任务艰巨。充分总结“十三五”时期蓝天保卫战的成功经验,深度挖掘结构调整对环境空气质量改善的内在潜力,对于“十四五”时期实现大气环境高水平保护与社会经济高质量发展具有积极的指导意义。鉴于此,项目对陕西省“十三五”期间能源结构、产业布局调整与空气质量改善幅度进行全面系统的分析,深入探究量化其两者的响应关系,并以此为基础对比产业升级、能源结构调整等不同情景方案下环境质量目标实现的经济成本效益,优化最优治理路径,进而为“十四五”期间实现减污降碳绿色高质量发展提供技术支撑。

第一章 区域概况

陕西省简称“陕”或“秦”，地处中国内陆腹地，位于北纬 31°42'-39°35'，东经 105°29'-111°15'之间。东邻山西、河南，西连宁夏、甘肃，南抵四川、重庆、湖北，北接内蒙古，处于连接中国东、中部地区和西北、西南的重要位置。陕西省行政区划面积 20.56 万平方公里，省域南北直线距离 878.0 公里，东西直线距离 517.3 公里，占全国陆地总面积的 2.1%。

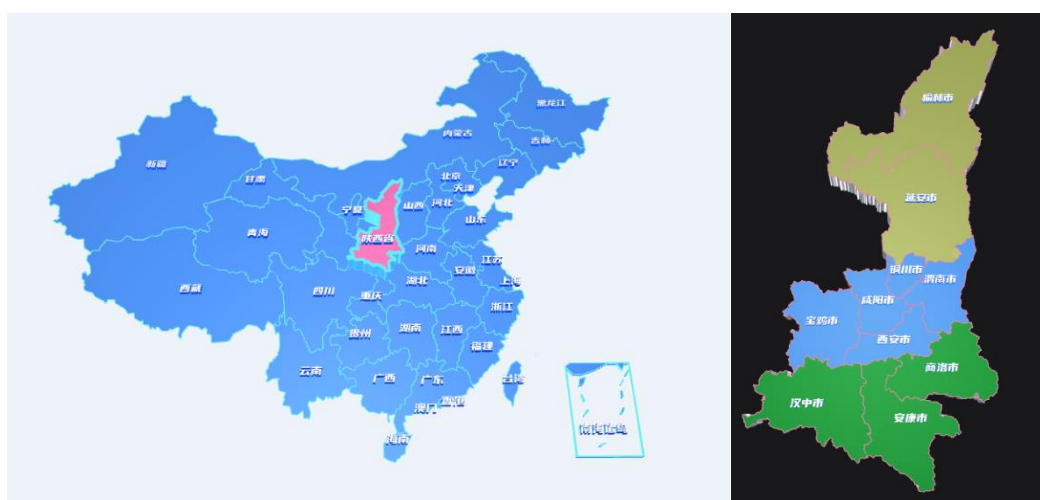


图 1 陕西省地理位置示意图

1.1 行政区划及人口

陕西省下设西安、宝鸡、咸阳、铜川、渭南、延安、榆林、汉中、安康、商洛 10 个地级市和一个示范区（杨凌示范区）、31 个市辖区、7 个县级市、69 个县。截至 2020 年末，陕西省常住人口 3955 万人，其中男性 2024 万人、女性 1931 万人。城镇人口 2478 万人，城镇化率 62.66%，略低于全国水平（64.7%）。

1.2 地质地貌

陕西省地跨三大地质构造单元：北属中朝准地台，南属扬子地台，中部为秦岭褶皱系。中朝准地台，省内仅涉及其西南部，南侧以八渡—虢镇—眉县—铁炉子—三要断裂带为界，由陕甘宁台坳、汾渭断陷

和豫西断隆组成。秦岭褶皱系，北与中朝准地台为邻，南以宽川铺—饶峰—麻柳坝—钟宝断裂与扬子准地台相隔，由六盘山断陷、北秦岭加里东褶皱带、礼县—柞水华里西褶皱带、南秦岭印支褶皱带、康县—略阳华力西褶皱带、北大巴山加里东褶皱带、摩天岭加里东褶皱带组成。扬子准地台，省内仅涉及其北缘。北与秦岭褶皱系为邻，南部延入重庆、湖北两省（市），由龙门—大巴台缘隆褶皱带、四川台坳组成。第三纪以来，新构造活动剧烈、复杂，类型多样，构成了独具特色的新构造景观。

陕西省地域狭长，地势南北高，中间低，有高原、山地、平原和盆地等多种地形。北山和秦岭将陕西由北向南分为陕北黄土高原、关中平原、陕南秦巴山地三个地貌类型区。

凤翔、铜川、韩城一线以北为陕北高原，以黄土高原为主体，海拔 900-1500 米，占全省总面积的 45%，地势西北高东南低，北接风沙高原、南连关中盆地。作为我国黄土高原最典型的区域，陕北高原黄土层深厚，地层完整，标志明显，地貌类型多样，有典型的黄土塬及复杂的沟壑系统。延安以南统称黄土塬沟壑区，以北统称黄土丘陵沟壑区。黄土丘陵沟壑区是水土流失最严重的区域，是黄河多沙、粗砂的主要分布区。

关中平原海拔 320-650 米，约占全省总面积的 19%，西起宝鸡，东至潼关，北与陕北高原北山为界、南与秦巴山地秦岭北坡大断裂带为界，属典型的地堑型河谷平原。关中平原以渭河为轴，向两侧呈台阶式结构，即河床—河漫滩—河流冲积阶地—黄土台塬—山前洪积扇，南窄北宽。平原北部渭河北为一断续低山，自西向东较高的山峰有岐山、五峰山、嵯峨山、将军山、尧山、梁山等。

陕西南部的秦巴山地主要由上升运动强烈的变质岩系构成，海拔 1500-3000 米，约占全省总面积的 36%。秦岭是我国南北方的地理分界线、也是南北方气候、自然景观、人文景观及生物资源的分界线。秦岭主峰太白山海拔 3767 米，是我国大陆东半部的最高峰，其自然垂直带谱在东亚地区具有一定代表性。巴山位于陕西最南端，是陕西与重庆、四川的交界线。在陕西境内的是大巴山的北坡，山势较缓，岩溶地貌比较发育。汉江把一连串的谷地和峡谷连接起来，谷地中较大的盆地有汉江盆地、石泉盆地、安康盆地等。

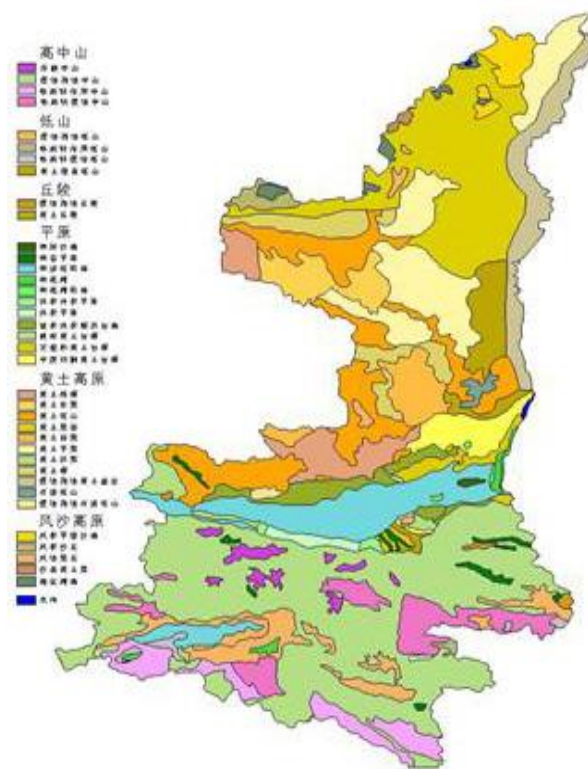


图 1.2-1 陕西省地貌类型图

汉江把一连串的谷地和峡谷连接起来，谷地中较大的盆地有汉江盆地、石泉盆地、安康盆地等。

1.3 气候

陕西省纵跨三个气候带，南北气候差异较大。秦岭是中国南北气候分界线，陕南属北亚热带气候，关中及陕北大部属暖温带气候，陕北北部长城沿线属中温带气候。陕西省气候总特点是：春暖干燥，降水较少，气温回升快而不稳定，多风沙天气；夏季炎热多雨，间有伏旱；秋季凉爽，较湿润，气温下降快；冬季寒冷干燥，气温低，雨雪稀少。全省年平均气温 9-16 摄氏度，自北向南、自西向东递增。

陕北黄土高原区属暖温带半干旱季风气候，年平均气温 8-12℃，≥10℃活动积温 3000-4000℃，无霜期 180-200 天，年降水量 400-650 毫米。降雨主要集中在 7-9 月，多暴雨。

关中平原属于暖温带半湿润 - 半干旱季风气候，年平均气温 9-

14°C， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温 3500-4500°C，无霜期 175-215 天，年降水量 500-650 毫米。西部比东部气温稍低，降水稍多，户县 - 西安 - 蓝田为全省的一个高温中心，西安夏季是全国有名的“火炉”之一。

秦巴山地的气候温暖湿润，年平均气温 10-16°C，年平均降雨量 800-1200 毫米，是全省最湿润的区域。东部暖于西部，安康 - 白河一带为该区的高温中心；河谷平原气温高于山地，秦岭高山区为低温中心； $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温 4500-5000°C，无霜期 220-270 天。降水主要集中在 7 月、8 月、9 月，占全年降水量的 50% 以上。暴雨是秦巴山地的灾害性气候之一，暴雨中心主要分布在米仓山、大巴山西段、洛南、商南、镇安县等地。

1.4 水文

陕西地跨长江、黄河两大流域。秦岭山脉东西横贯陕西，以北为黄河水系，主要支流从北向南有窟野河、无定河、延河、北洛河、泾河、渭河等，流域面积 133301 平方公里，河流总数计 2524 条；秦岭以南除南洛河外，均属长江水系，主要有嘉陵江、汉江和丹江，流域面积 72265 平方公里，河流总数计 1772 条。陕西境内湖泊稀少，除秦巴山地有散见湫池外，主要分布在陕北长城沿线风沙滩区。

1.5 矿产资源

陕西面积辽阔，大地构造居于中国南、北及东、西部衔接和转变的核心部位，地质发育史漫长，地质构造复杂多样，有良好的外生、内生和变质成矿地质条件，矿产资源丰富且颇具特色。陕北蕴藏优质煤、石油、天然气等矿产；关中有煤、钼、非金属建材、地热等矿产；陕南出产有色金属、贵金属、黑色金属及各类非金属矿产。全省已发现各类矿产 138 种（含亚矿种），已查明有资源储量的矿产 94 种。在占国民经济重要价值的 15 种重要矿产中，陕西省盐矿保有储量占

全国 67%，排全国第一位。石油排全国第三位，其他矿种排第 10-2 位。这些矿产中，石油、天然气、钼、金、石灰岩不仅储量可观，而且品级、质量较好，在国内市场有明显优势。

表 1.4-1 陕西省矿产保有储量居全国前十位的矿种

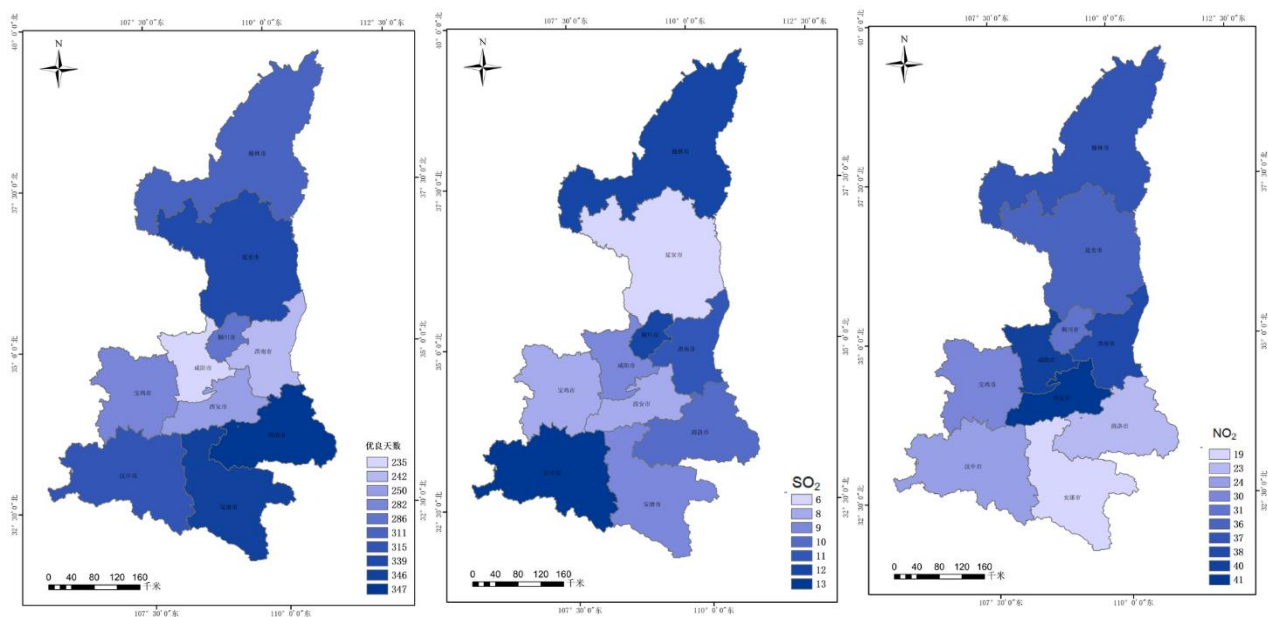
位次	矿种
1	盐矿(NaCl)、透辉石、水泥配料用黄土
2	毒重石、片麻岩
3	铀矿、锶矿(天青石)、镁盐(MgCl ₂)、蓝石棉、石榴子石(砂矿)、蛭石、透闪石、饰面用板岩
4	煤炭、钛矿(钛铁矿)、钛矿(金红石)、钒矿、汞矿、碲矿、电石用灰岩、制碱用灰岩、镁盐(MgSO ₄)、水泥用灰岩、陶粒页岩、高岭土、海泡石粘土
5	铼矿、砂线石、重晶石、玻璃用石英岩、玻璃用脉石英、陶瓷土、陶粒用粘土
6	化肥用蛇纹岩、石棉
7	石煤、钼矿、铍矿(绿柱石)、锆矿、硫铁矿(伴生硫)、磷矿(矿石)、石墨(晶质石墨)、石墨(隐晶质石墨)、饰面用大理岩
8	油页岩、铌矿(氧化铌)、自然硫、云母
9	金矿、冶金用白云岩、长石、石榴子石(矿石)
10	钛矿(钛铁矿砂矿)、镍矿、重稀土矿(重稀土氧化物砂矿)、冶金用脉石英、玻璃用白云岩

陕西省煤炭、石油和天然气三大矿产资源大都分布于延安和榆林地区。其中，神府煤田煤炭资源储量为全国第四，具有储量大、埋藏浅、煤层厚、易开采的特点，尤其是其特有的低灰分、特低硫、特低磷和高热值的特优质量，在国内外能源市场很有竞争力；陕西延长油田是我国开发最早的油田，我国大陆第一口油井于 1907 年诞生在这里，被誉为“中国石油之母”；以靖边县为中心的大型天然气田，已将优质能源输送到北京、银川、西安，并成为我国西气东送工程的重要组成部分。另外，陕西省地热资源也较丰富，关中有五个地热异常区、三个热水带，开发利用历史悠久。

第二章 现状分析

2.1 环境空气质量现状分析

2020 年陕西省 10 个国考城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度 41.27 微克/立方米（实现较 2015 年下降 15% 的国考目标）， SO_2 、 NO_2 年均浓度分别为 10 微克/立方米、32 微克/立方米， CO 24 小时平均第 95 百分位浓度均值为 1.4 毫克/立方米，该三项指标达到环境空气质量一级标准， PM_{10} 、 O_3 浓度达到环境空气质量二级标准；优良天数 295.3 天，同比增加 19.1 天，重污染天数 6.1 天，同比减少 8.9 天。延安、榆林、安康、商洛四市进入全国空气质量达标城市行列。但是全省国考城市优良天数低于全国平均水平 23 天， $PM_{2.5}$ 年均浓度高于全国平均水平 27.3%，相较于北京、天津、河北、内蒙古等省份，我省 $PM_{2.5}$ 浓度降幅偏低， $PM_{2.5}$ 浓度水平距离国家二级空气质量标准（ $35\mu g/m^3$ ）和 WHO 第三阶段过渡限值（ $15\mu g/m^3$ ）仍存在较大差距。 NO_2 和 O_3 浓度水平仍高于国家平均水平。关中地区仍是全国空气污染最为严重的重点区域，咸阳市、渭南市依然位居全国重点城市排名后 20 位。



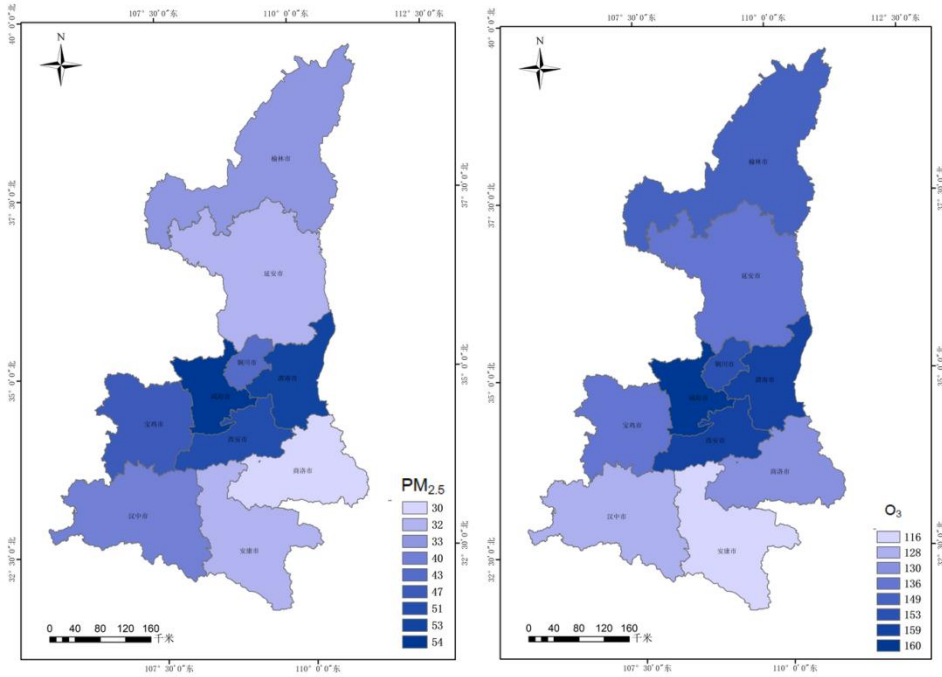


图 2.1-1 2020 年陕西省环境空气质量主要指标示意图

2.1.1 优良天数分析

“十三五”期间，陕西省优良天数持续增加，2020 年陕西省优良天数 295.3 天，优良天数占比 80.7%，较 2016 年优良天数占比提高 6.8%，但仍低于全国平均水平 7 个百分点。关中地区优良天数 259 天，优良天数占比 70.7%，低于全国平均水平 16 个百分点。

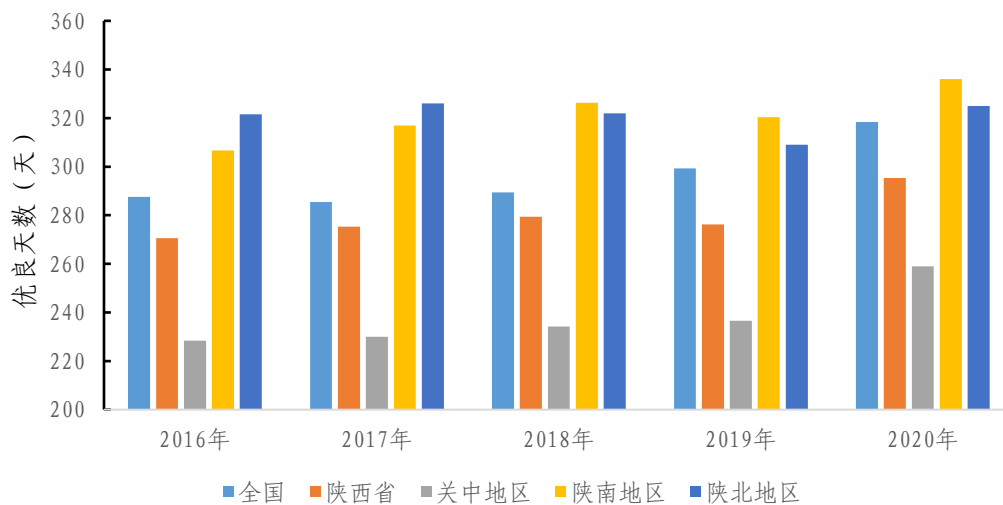


图 2.1-2 2016-2020 年全国、陕西省、关中、陕南、陕北地区优良天数对比图

2.1.2 NO₂ 年均浓度分析

“十三五”期间，陕西省 NO₂ 年均浓度呈现波动下降趋势，2020 年 NO₂ 年均浓度 32μg/m³，较 2015 年下降 3%，达到环境空气质量一级标准，但仍高出全国平均水平（24μg/m³）的三分之一，其中关中地区 NO₂ 年均浓度 36μg/m³，是全国平均水平（24μg/m³）的 1.5 倍。“十三五”期间，陕西省 NO₂ 年均浓度降低幅度为 8.6%，低于全国平均水平 11 个百分点。

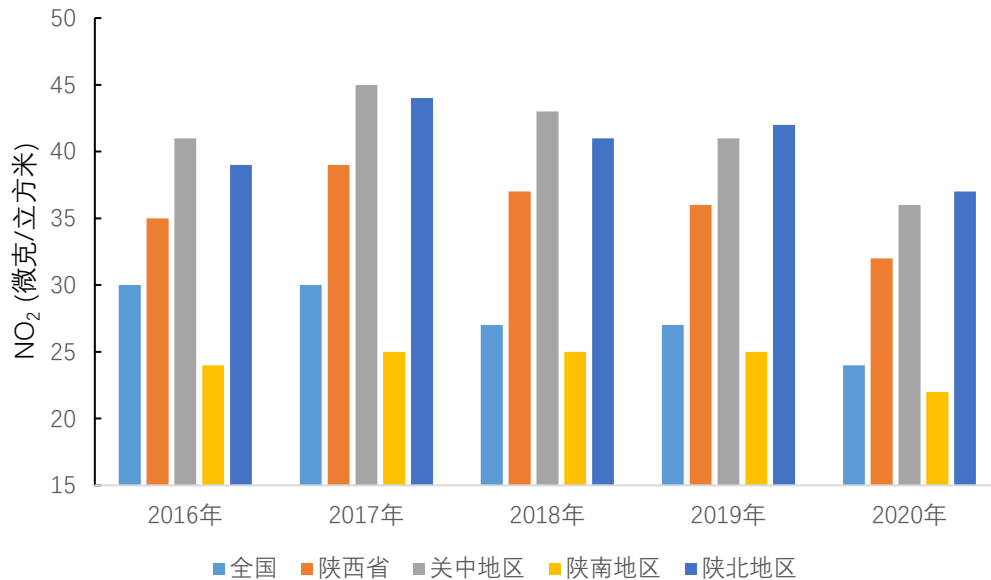


图 2.1-3 2016-2020 年全国、陕西省、关中、陕南、陕北地区 NO₂ 年均浓度对比图

2.1.3 PM_{2.5} 年均浓度分析

“十三五”期间，陕西省 PM_{2.5} 年均浓度下降明显，2020 年陕西省 PM_{2.5} 年均浓度 41.27μg/m³，较 2015 年下降 15%，未达到环境空气质量二级标准，其中关中地区 PM_{2.5} 年均浓度 50μg/m³，是全国平均水平（33μg/m³）的 1.5 倍。“十三五”期间，陕西省未达标地级及以上城市 PM_{2.5} 年均浓度比 2015 年下降 16%，低于全国未达标地级及以上城市 PM_{2.5} 年均浓度降幅水平（28.8%）12.8 个百分点。

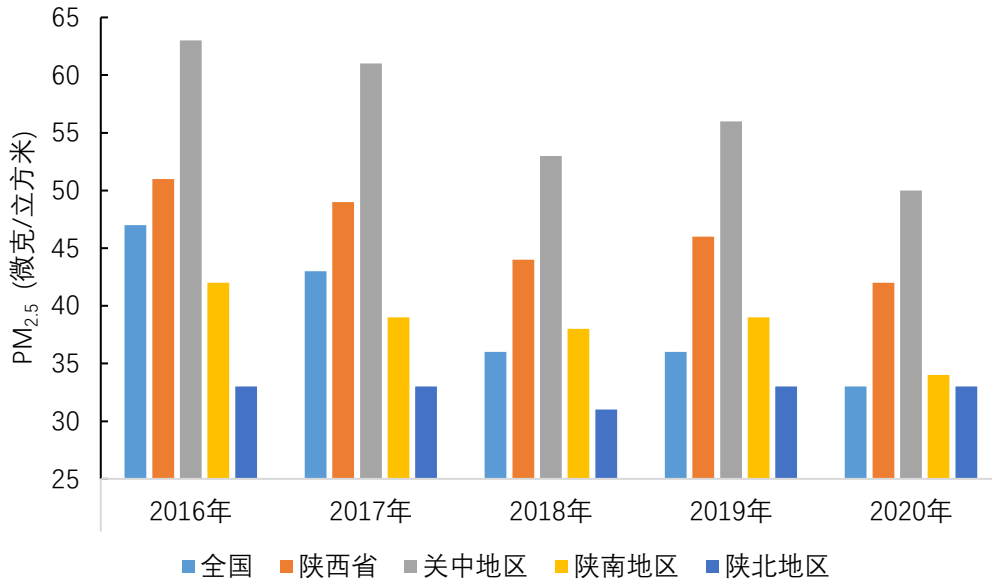


图 2.1-4 2016-2020 年全国、陕西省、关中、陕南、陕北地区 PM_{2.5} 年均浓度对比图

2.1.4 O₃ 日最大 8 小时浓度分析

“十三五”期间，陕西省 O₃ 日最大 8 小时平均浓度波动变化，2020 年 O₃ 日最大 8 小时平均浓度 142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，略高于全国平均水平 (138 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，关中地区 O₃ 日最大 8 小时平均浓度高出全国水平 10%。

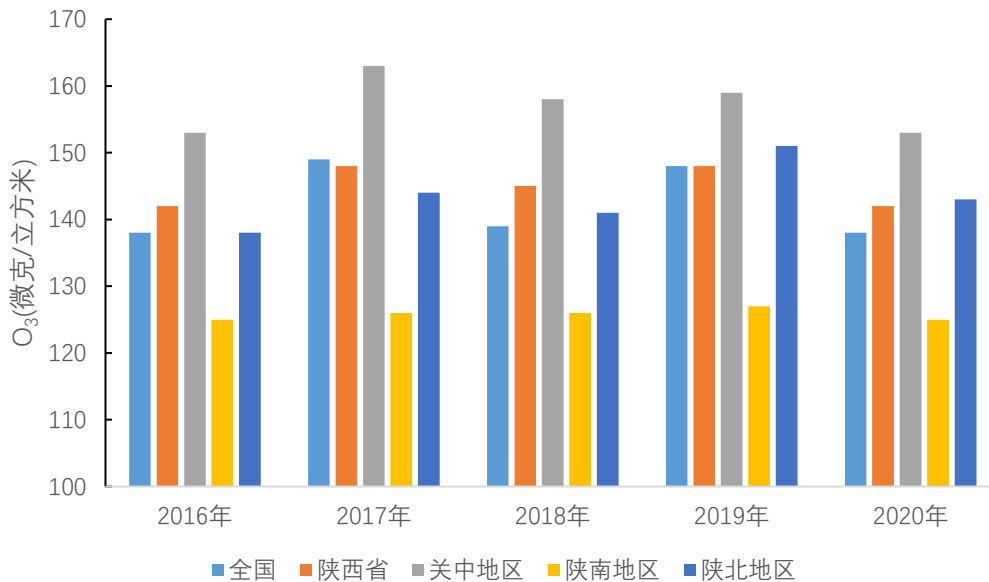


图 2.1-5 2016-2020 年全国、陕西省、关中、陕南、陕北地区 O₃ 年均浓度对比图

对比“十三五”期间陕西省、全国主要环境空气质量相关指标(优

良天数、NO₂年均浓度、PM_{2.5}年均浓度、O₃日最大8小时平均浓度)可知, 尽管“十三五”期间陕西省环境空气质量明显改善, 优良天数占比持续增加, NO₂和PM_{2.5}年均浓度持续下降, 但其改善的幅度距离全国平均水平存在一定的差距。以2020年同期数据为例, 陕西省环境空气质量总体水平低于全国平均水平, 尤其是关中地区, 优良天数占比仅为70.7%, PM_{2.5}、NO₂年均浓度均为全国平均水平的1.5倍, PM_{2.5}年均浓度尚未达到环境空气质量二级标准限值, O₃日最大8小时浓度接近环境空气质量二级标准限值, 存在超标的潜在风险。

2.1.5 大气环境质量主成分分析

为了全面掌握“十三五”期间大气环境质量变化及主要环境质量指标的相关性, 采用SPSS软件对全省大气环境主要指标(PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂年均浓度值、CO日均浓度及O₃日最大8小时平均浓度)进行主成分分析法。分析结果见表2.1-1、2.1-2所示。

表 2.1-1 陕西省大气环境质量指标解析

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比	累积%	总计	方差百分比	累积%
1	2.995	49.912	49.912	2.995	49.912	49.912
2	1.735	28.914	78.827	1.735	28.914	78.827
3	0.748	12.470	91.296			
4	0.278	4.638	95.935			
5	0.198	3.297	99.232			
6	0.046	0.768	100.000			

表 2.1-2 陕西省大气环境质量指标因子载荷矩阵

污染物指标	成分	
	1	2
PM ₁₀ 年均浓度	0.939	-0.032
PM _{2.5} 年均浓度	0.833	-0.173
SO ₂ 年均浓度	0.264	0.875
NO ₂ 年均浓度	0.804	-0.073

CO日均浓度	0.449	0.817
O ₃ 日最大8小时浓度	0.708	-0.515

从表2.1-1中可知，当主成分个数取2时，累计方差贡献率为78.8%，接近80%，由此可认为这两个主成分反映了原始变量提供的信息。从表2.1-2中可知，PM₁₀、PM_{2.5}年均浓度在第一主成分中载荷较大，而SO₂主成分载荷最小。第一主成分反映了以颗粒物（含细颗粒物）、氮氧化物、臭氧为主（光化学污染因子或前体物）的主要信息。第二主成分主要反映了二氧化硫、一氧化碳的信息。

“十三五”期间，陕西省大气环境质量主成分表达式表达如下：

$$Y_1 = 0.54 * Zscore(PM_{10} \text{ 年均浓度}) + 0.48 * Zscore(PM_{2.5} \text{ 年均浓度}) + 0.15 * Zscore(SO_2 \text{ 年均浓度}) + 0.46 * Zscore(NO_2 \text{ 年均浓度}) + 0.26 * Zscore(CO \text{ 日均浓度}) + 0.41 * Zscore(O_3 \text{ 日最大8小时浓度}) \quad (\text{式 2.1-1})$$

$$Y_2 = -0.02 * Zscore(PM_{10} \text{ 年均浓度}) - 0.13 * Zscore(PM_{2.5} \text{ 年均浓度}) + 0.66 * Zscore(SO_2 \text{ 年均浓度}) - 0.06 * Zscore(NO_2 \text{ 年均浓度}) + 0.62 * Zscore(CO \text{ 日均浓度}) - 0.39 * Zscore(O_3 \text{ 日最大8小时浓度}) \quad (\text{式 2.1-2})$$

$$Y = 0.633Y_1 + 0.367Y_2 \quad (\text{式 2.1-3})$$

陕西省环境空气质量第一主成分贡献率达到50%，第二主成分贡献率为29%，第一主成分的方差贡献率远大于第二主成分，对总变异起支配性作用。由此可以推断“十三五”期间，对于我省大气环境质量影响较大的主要指标为PM_{2.5}，PM₁₀，NO₂，O₃。

2.2 污染物及碳排放现状分析

2.2.1 大气主要污染物排放总量

(1) 主要污染物排放时间变化趋势

“十三五”期间，陕西省 SO₂、NO_x、颗粒物排放量显著下降。2020 年 SO₂、NO_x、颗粒物的排放量分别 9.37 万吨、26.62 万吨、28.43 万吨，较 2016 年分别降低 15.66 万吨、12.70 万吨和 28.03 万吨，下降比例分别为 62.58%，32.30%，50.13%。2020 年陕西省挥发性有机物排放量 16.18 万吨。

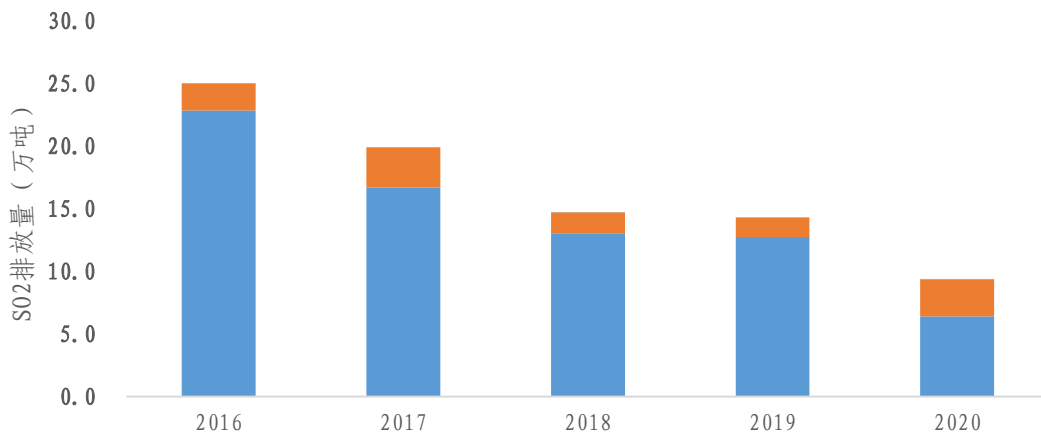


图 2.2-1 2016-2020 年陕西省 SO₂ 排放量图

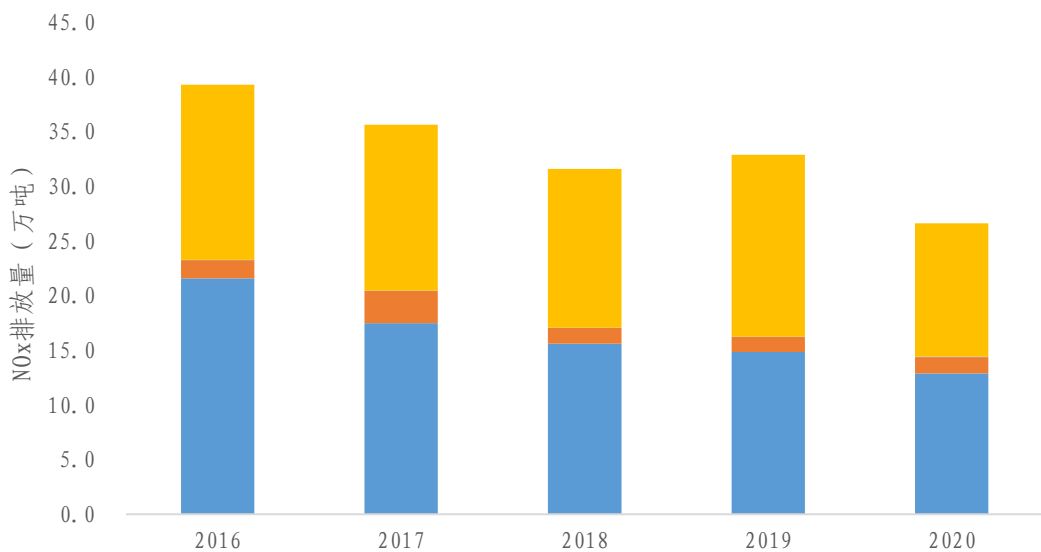


图 2.2-2 2016-2020 年陕西省 NO_x 排放量图

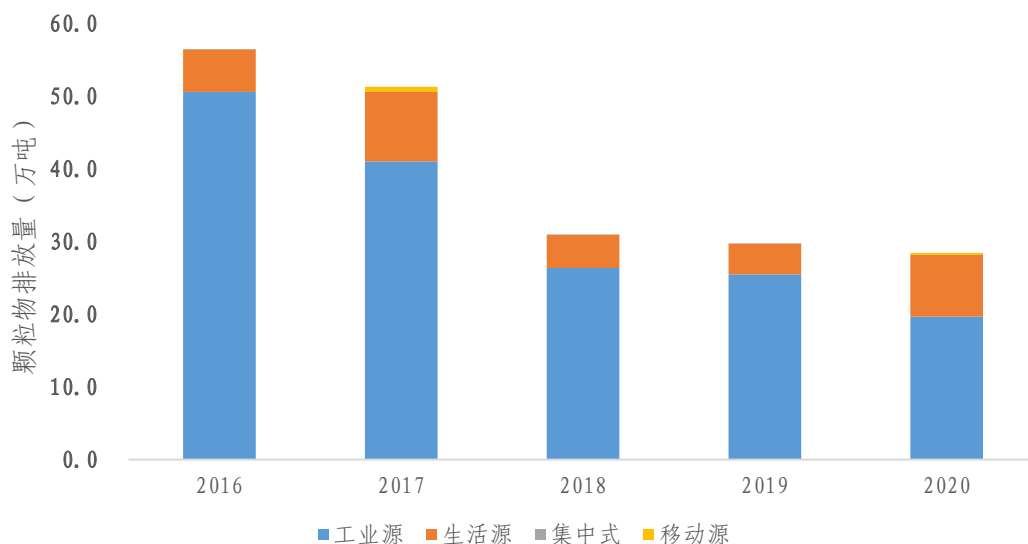


图 2.2-3 2016-2020 年陕西省颗粒物排放量图

以陕西省 2016-2020 年能源消费数据为基础，核算“十三五”期间全省碳排放情况。其中煤炭的二氧化碳排放系数为 2.66 吨 CO₂/吨标准煤，石油为 1.73 吨 CO₂/吨标准煤，天然气系数为 1.56 吨 CO₂/吨标准煤，一次电力及其他能源属于清洁能源排放系数取值为 0。2020 陕西省二氧化碳排放总量为 3.07 亿吨。

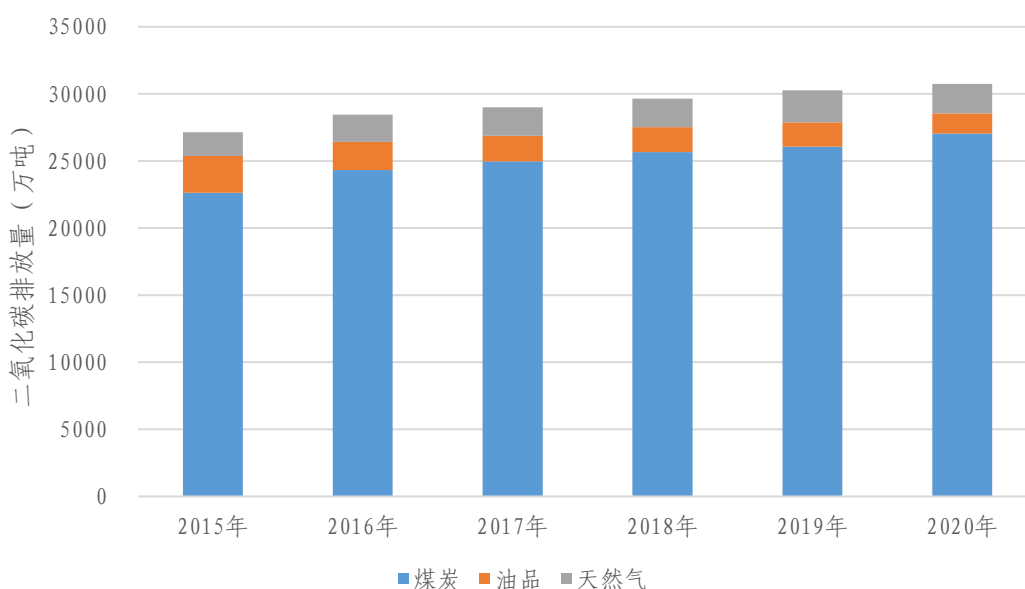
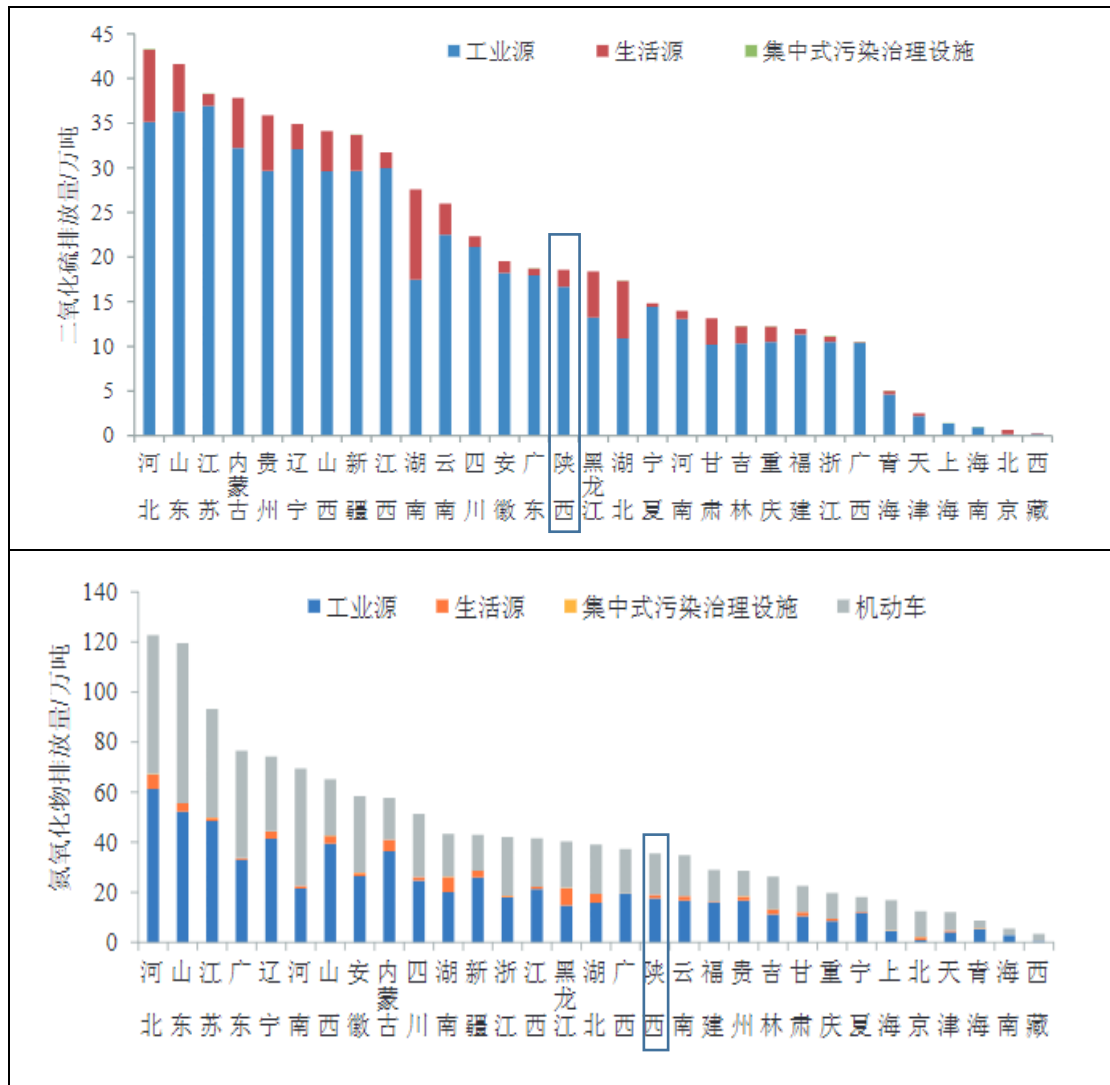


图 2.2-4 2016-2020 年陕西省 CO₂ 排放量图

2.2.2 大气主要污染物排放结构

“十三五”时期，陕西省大气主要污染物排放量居全国中游水平，且大气污染物排放结构与全国整体情况基本一致，排放结构主要呈现以下特点： SO_2 排放逐渐从以工业源为主要排放来源转变为工业源和生活源排放量相当。机动车 NO_x 排放量占比逐年上升，成为与工业源并重的 NO_x 两大主要排放来源，颗粒物最主要的排放来源仍然是工业源。 VOC_S 排放以工业、生活、移动源为主。



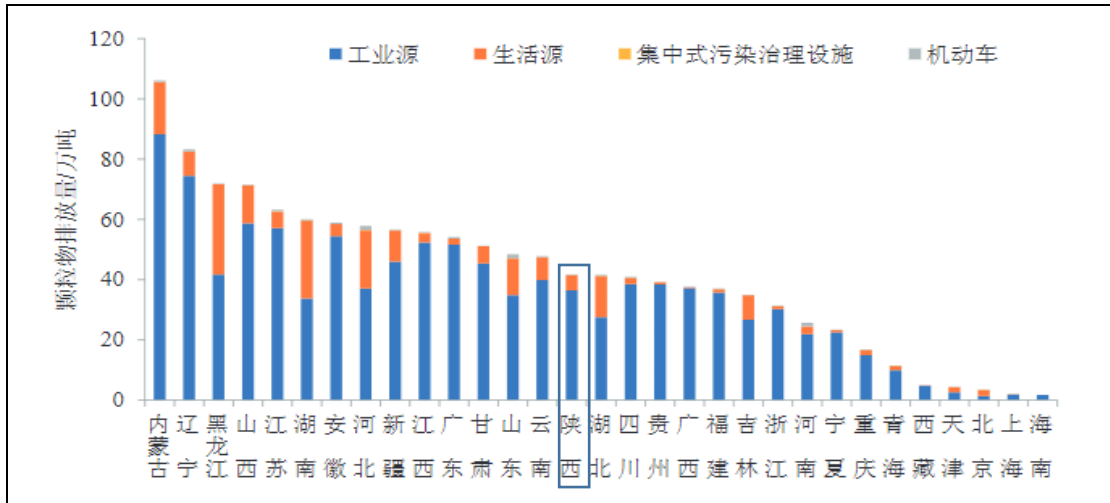


图 2.2-5 2017 年陕西省大气主要污染物排放量在全国排名情况

污染物	陕西省	全国
SO ₂		
NO _x		
VOCs		

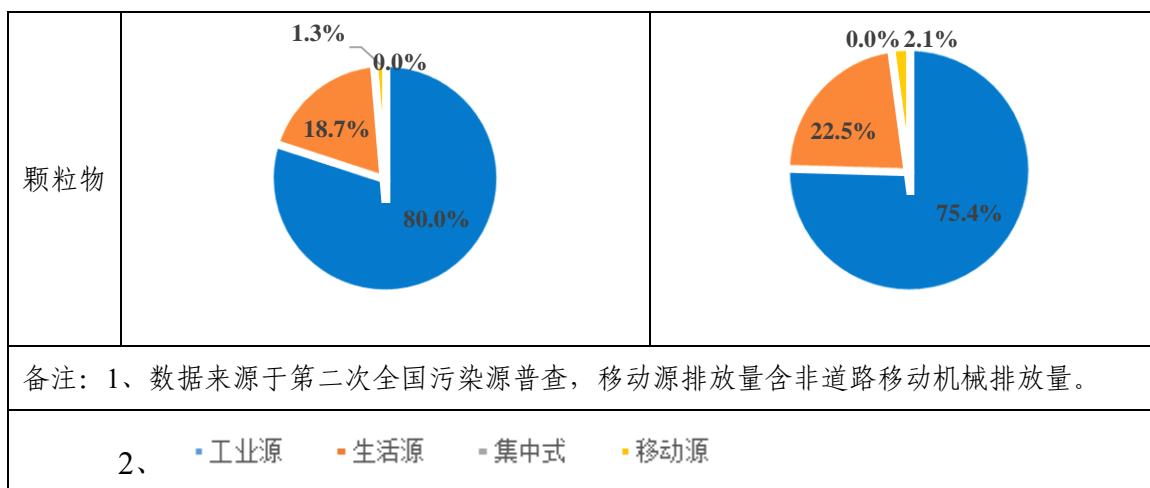


图 2.2-6 2017 年全国和陕西省大气主要污染物排放结构图

2.2.3 大气主要污染排放空间分布

陕西省大气主要污染物排放量存在空间差异。各地市 SO_2 、 NO_x 、颗粒物、挥发性有机物排放量如图 2.2-7 所示。

榆林市大气主要污染物的排放量位居全省之首，其中 SO_2 、颗粒物、 NO_x 排放量分别占全省 SO_2 、颗粒物、 NO_x 总排放量的 50%、39%、29%。榆林市 VOCs 排放量仅低于西安市 VOCs 排放量，占全省 VOCs 总排放量的 18%。与榆林市类似，渭南市 SO_2 、 NO_x 、颗粒物、VOCs 四项主要污染物排放量基本都为全省第四名，占各项污染物排放总量的比例范围 6%~14%。

SO_2 与颗粒物排放的空间分布特征具有较高的类似性，榆林、宝鸡、渭南、汉中四市排放量较大，铜川、咸阳、西安、商洛、安康等市相对较小。 NO_x 、VOCs 的排放量的空间分布特征也有一定的相似性， NO_x 、VOCs 相对集中在榆林、西安、渭南、咸阳。

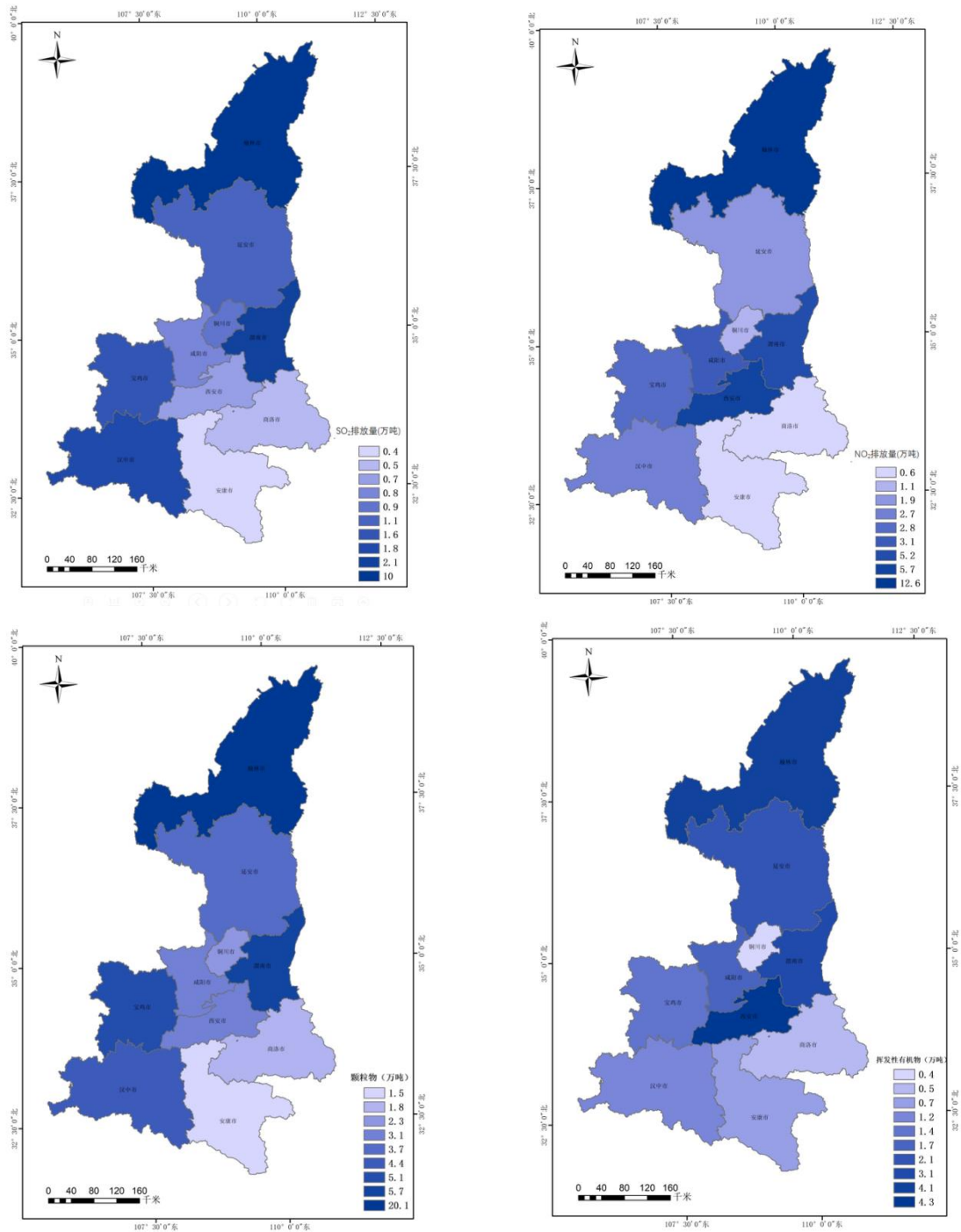


图 2.2-7 2017 年陕西省大气主要污染物排放空间变化示意图

2.2.4 大气主要污染排放强度特征

(1) 单位面积排放强度分析

以第二次全国污染源普查大气主要污染物排放数据，以及各市(区)建成区和工业园区面积(数据来源于陕西省住建年鉴)为基础，

对各市（区）大气主要污染物单位面积排放强度进行分析。

陕西省 SO₂、NO_x、颗粒物和 VOCs 的单位面积排放强度分别为 83.21t/km².a, 193.69t/km².a, 214.56t/km².a, 97.88t/km².a, 低于全国水平。榆林市、汉中市、宝鸡市单位面积污染物排放量位列全省前三，其中榆林市单位面积 SO₂、NO_x、颗粒物排放强度高于同期全国水平。西安市、商洛市和杨凌示范区单位面积污染物排放量相对较低。

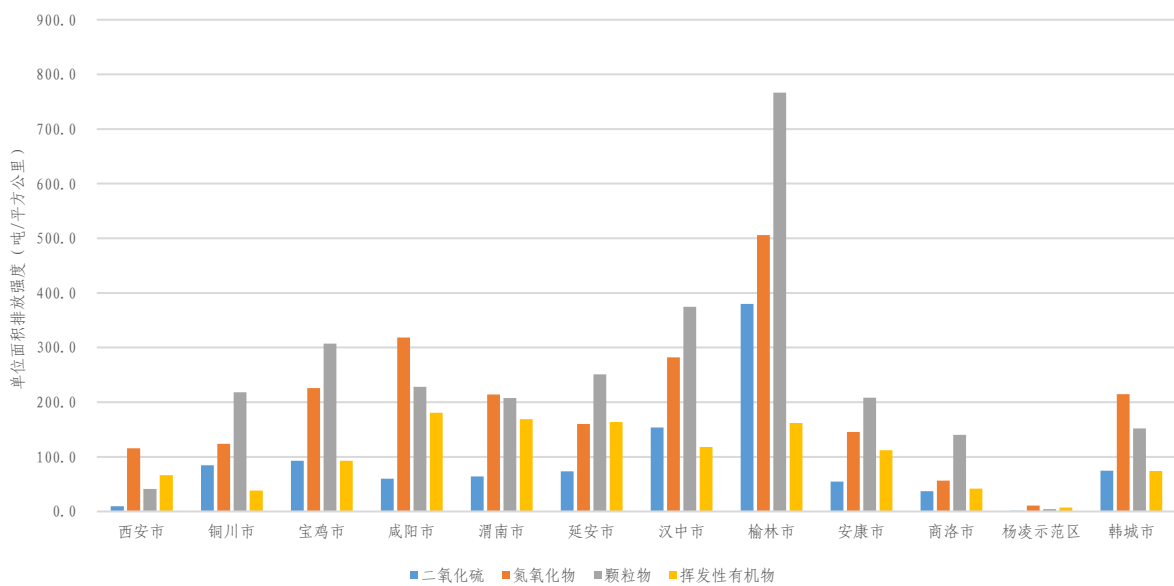


图 2.2-8 陕西省各市（区）单位面积大气主要污染物排放强度

(2) 单位生产总值排放强度分析

以第二次全国污染源普查大气主要污染物排放数据和各市（区）2017 年生产总值(数据来源于陕西省统计年鉴)为基础,对各市(区)万元 GDP 大气主要污染物排放强度进行分析。

表 2.2-1 陕西省各市（区）单位生产总值大气主要污染物排放强度

行政区划名称	二氧化硫 (千克/万元)	氮氧化物 (千克/万元)	颗粒物 (千克/万元)	挥发性 有机物 (千克/万元)
西安市	0.100	1.214	0.432	0.700
铜川市	2.957	4.343	7.646	1.338
宝鸡市	0.817	1.981	2.698	0.817

咸阳市	0.430	2.285	1.639	1.299
渭南市	0.825	2.752	2.670	2.174
延安市	0.840	1.830	2.863	1.870
汉中市	1.399	2.570	3.414	1.077
榆林市	3.033	4.038	6.120	1.294
安康市	0.427	1.129	1.618	0.869
商洛市	0.723	1.108	2.738	0.819
杨凌示范区	0.169	1.275	0.498	0.822
韩城市	2.347	6.722	4.768	2.320
陕西省	0.927	1.660	2.390	1.042
全国水平	0.838	2.148	2.027	1.224

陕西省 SO₂、NO_x、颗粒物和 VOCs 的万元生产总值排放强度分别为 0.927kg/万元 GDP，1.660kg/万元 GDP，2.390kg/万元 GDP，1.042kg/万元 GDP，其中 SO₂、颗粒物的单位产值排放量高于同期全国平均水平，NO_x、VOCs 的单位产值排放量低于同期全国平均水平。

结果显示，铜川市、榆林市和韩城市万元 GDP 主要污染物排放强度均居于高位，其中，铜川市和榆林市万元 GDP 颗粒物排放强度远高于其他市（区），韩城市万元 GDP 氮氧化物、挥发性有机物排放强度远高于其他市（区）。

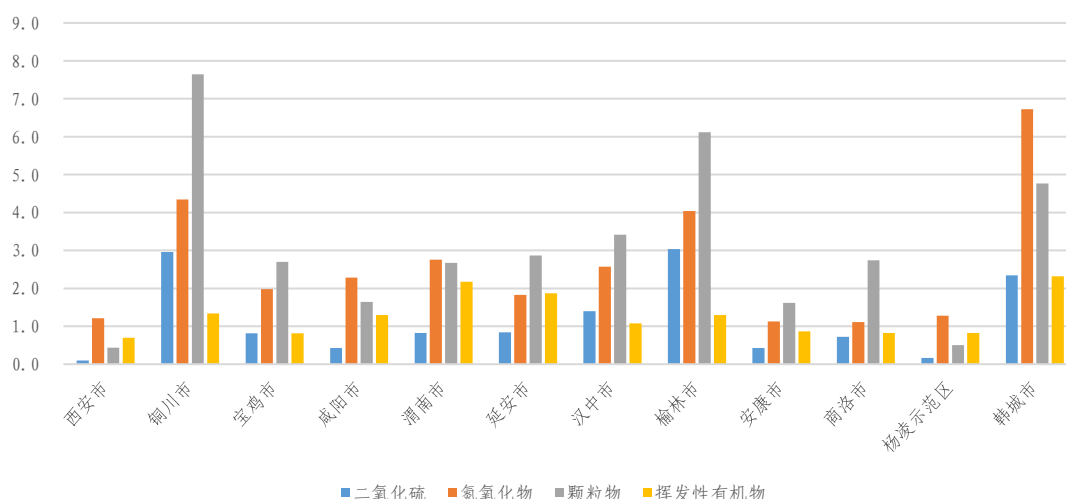


图 2.2-9 陕西省各市（区）万元 GDP 大气主要污染物排放强度

(3) 单位工业生产总产值排放强度分析

以第二次全国污染源普查大气主要污染物排放数据和各市（区）2017年工业生产总产值为基础，对各市（区）万元工业生产总产值大气主要污染物排放强度进行分析。

表 2.2-2 陕西省各市（区）单位工业生产总产值大气主要污染物排放强度

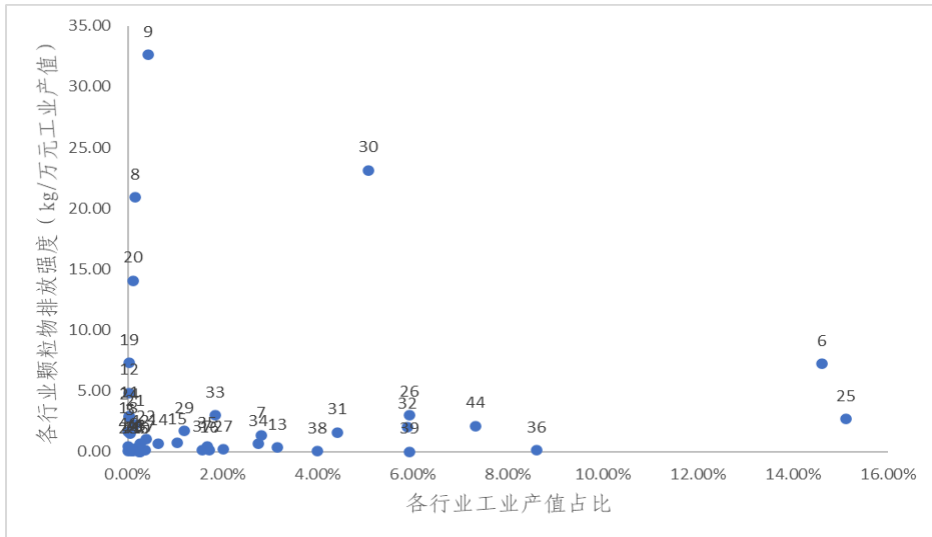
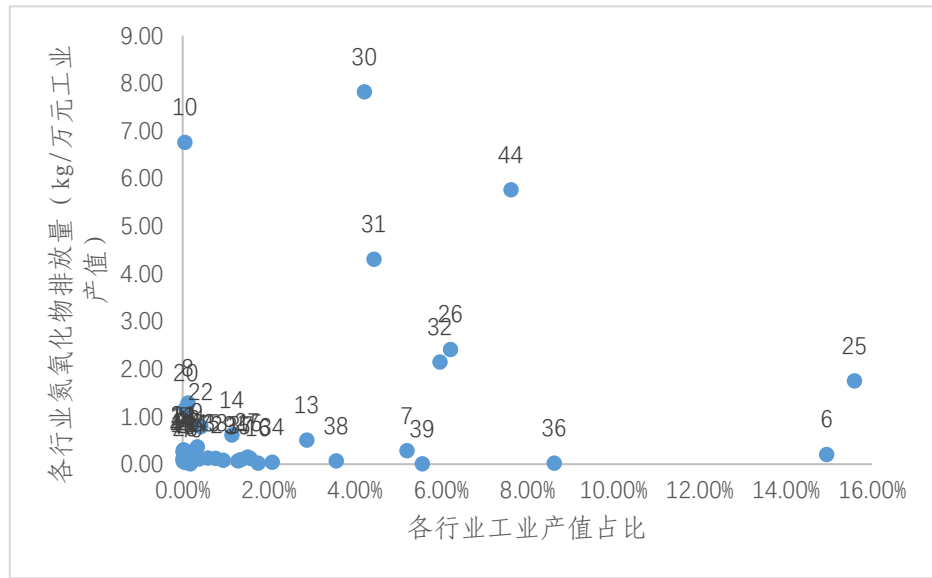
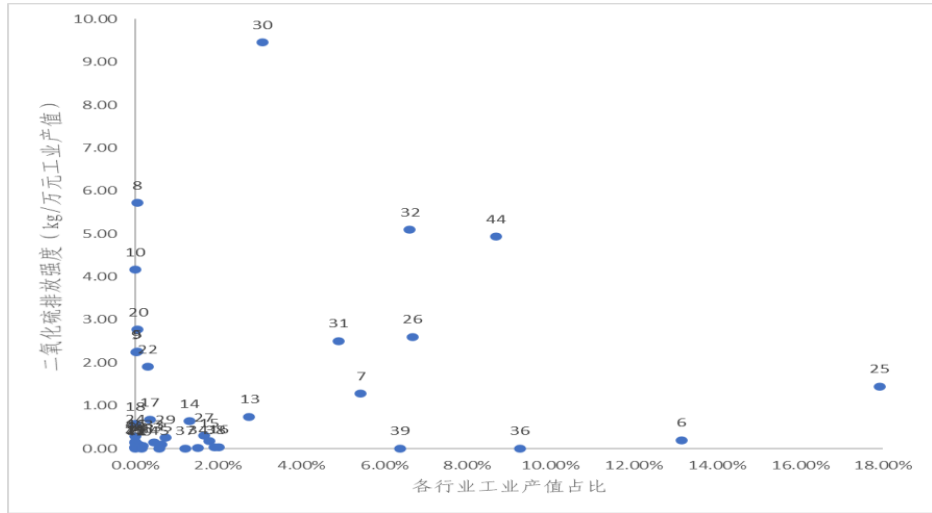
行政区划名称	工业二氧化硫 (千克/万元)	工业氮氧化物 (千克/万元)	工业颗粒物 (千克/万元)	工业挥发性 有机物 (千克/万元)
西安市	0.296	0.637	1.502	0.597
铜川市	7.008	7.739	21.257	0.499
宝鸡市	1.342	1.674	4.327	0.429
咸阳市	0.727	1.601	2.890	0.604
渭南市	3.240	6.496	8.308	4.821
延安市	1.019	1.328	3.271	0.937
汉中市	3.441	4.740	7.719	0.383
榆林市	4.616	3.077	9.054	1.260
安康市	0.741	0.664	2.937	0.118
商洛市	1.618	1.411	6.573	0.202
杨凌示范区	0.572	1.344	1.617	0.916
陕西省	2.224	2.331	5.473	1.024

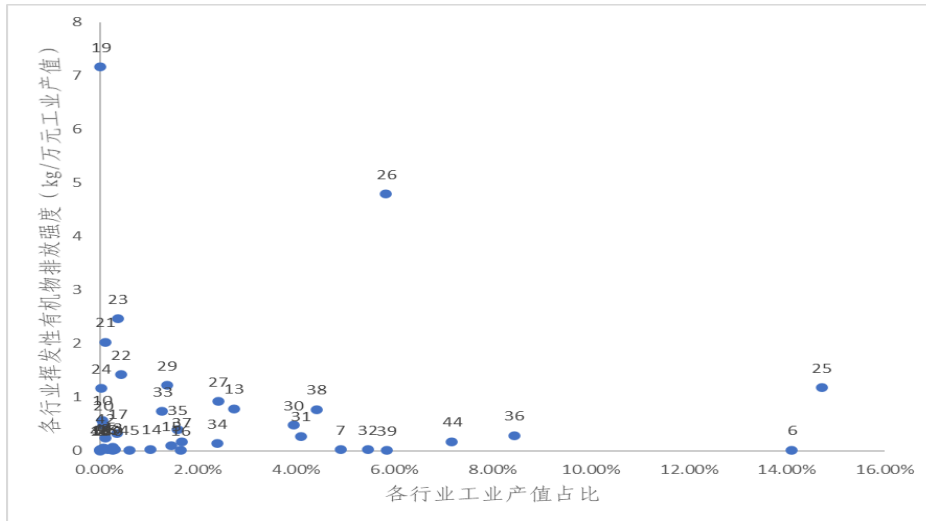
陕西省 SO₂、NO_x、颗粒物和 VOCs 的万元工业生产总产值排放强度分别为 2.224kg/万元工业生产总产值，2.331kg/万元工业生产总产值，5.473kg/万元工业生产总产值，1.024kg/万元工业生产总产值。

(4) 不同行业工业生产总产值排放强度分析

以不同行业工业生产总产值占比为横坐标，行业污染物排放强度为纵坐标，绘制陕西省主要工业行业类别大气污染物排放强度分布图。

(见图 2.2-10)





注：图中序号为国民经济行业代码。

表 2.2-10 陕西省各市（区）不同行业大气主要污染物排放强度

根据图形分布情况可知，经济贡献越高、污染排放强度越低的行业越趋于图形右下方分布，反之图形左上角分布的行业经济贡献低、污染排放强度高。以 2017 年污染源普查的行业数据分析，黑色金属矿采选（08）、非金属矿采选（10）、木材加工及木、竹、草制品业（20）、造纸（22）等行业二氧化硫、氮氧化物、颗粒物污染排放强度大，经济贡献率偏低；皮革、毛皮、羽毛制品制造业（19）、印刷（23）、木材加工及木、竹、草制品业（20）、家具制造（21）等行业挥发性有机物污染排放强度大，经济贡献率低；非金属矿物制品（30）、黑色金属（31）、有色金属冶炼压延（32）、化学原料及化学品制造（26）、电力供应（44）二氧化硫、氮氧化物、颗粒物主要污染物排放强度与经济贡献同属省内行业的中游；汽车制造（36）、计算机、通信及其他电子设备制造业（39）经济贡献中等，二氧化硫、氮氧化物、颗粒物、挥发性有机物等主要污染物排放强度较低；煤炭开采洗选（06）、石油煤炭及其燃料加工（25）属于经济贡献较大、

主要污染物排放强度较小的行业。

2.2.5 重点区域大气主要污染源特征分析

(1) 重点区域主要污染源行业特征情况

由关中地区源排放清单数据分析结果可知，该地区不同污染物排放来源各不相同。 SO_2 排放主要来源于工业源、居民散煤燃烧，分别占 53.1%和 40.7%； NO_x 排放的主要贡献源是道路移动源和工业源，分别占 42.1%和 39.0%，其次为非道路移动源，占比为 10.2%； $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 排放的贡献源主要是工业源和道路扬尘源，分别为 37.5%和 31.0%、20.3%和 50.2%；VOCs 排放来源较分散，主要贡献源为工业源，其次为道路移动源，道路沥青铺装、建筑涂装、生物质燃烧对 VOCs 排放的也有一定的贡献； NH_3 的主要贡献源是农业源排放，占 88.5%其次为工业源，仅占 6.6%。

从工业源主要污染物排放看，不同污染物的主要贡献源有所差别。 SO_2 主要来源于水泥、钢铁、工业锅炉，其次为电力、砖瓦等； NO_x 主要来源于水泥、电力、工业锅炉，其次为钢铁、炼焦等行业； PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 主要来源于水泥制造、煤炭开采、水泥制品、炼钢及铅锌矿开采等行业；VOCs 主要来源于炼焦、炼钢、煤化工、汽车制造、设备制造、其次为工业锅炉、水泥制造、橡胶塑料制品、食用油、原油加工、专用化学品、金属制品业和包装印刷等，VOCs 涉及行业较多，化工生产、工业溶剂使用过程 VOCs 排放量较大。

从道路移动源主要污染物排放看， NO_x 主要来源于重型货车、小型客车和低速车，贡献率分别为 52.2%、12.8%和 11.6%；VOCs 贡献率较高的为小型客车、重型车和摩托车，分别为 47.8%、17.0%和 16.5%； $\text{PM}_{2.5}$ 主要是重型货车和低速车的贡献较高，贡献率分别为 52.2%和 16.9%；CO 主要来源于小型客车和摩托车，贡献率分别

为 63.6%和 11.4%。由此可见，重型货车、低速车、小型客车和摩托车是关中地区机动车污染物排放的主要贡献源。重型货车有 98%为柴油车，其中国三及以下重型柴油货车保有量占比约为 67.4%，主要污染物的排放的分担率均较高，在 74.5%-90%之间。小型客车国二及国二以前保有量占比仅为 10%，但其 VOCs 和 NO_x 排放量的分担率均在 40%以上，国三车的保有量分担率在 20%，但其 VOCs 和 NO_x 排放量的分担率均在达 31.3%和 27.1%。

(2) 重点区域主要污染源空间特征情况

从地市分布看，污染物排放主要集中于西安、渭南和咸阳。其中 SO₂ 主要分布在渭南（27.3%）、宝鸡（17.9%）、咸阳（15.9%）、韩城（15.4%）；NO_x 主要分布在西安（32.6%）、渭南（20.6%）、咸阳（15.1%）；PM_{2.5} 主要分布在西安（35.6%）、渭南（17.7%）、宝鸡（17.3%）、咸阳（13.4%）；VOCs 主要分布在西安（36.6%）、渭南（20.6%）、咸阳（16.7%）、宝鸡（14.3%）；NH₃ 主要集中于渭南（27.4%）、宝鸡（23.0%）、咸阳（21.8%）、西安（21.2%）。从主要污染物排放强度的空间分布看，在西安及周边地区形成 NO_x、PM₁₀、PM_{2.5}、VOCs、CO 高强度排放区，这主要与道路移动源尾气排放和道路扬尘源排放密切相关；在渭南北部与铜川接壤区域的 SO₂、NO_x、PM₁₀ 和 CO 排放强度较高，主要与该区域的水泥制造、陶瓷和焦化行业有关；韩城市由于焦化、钢铁行业的聚集，各类污染物排放强度均较高；宝鸡和渭南 CO 出现高强度排放区与两个区域居民散煤燃烧和生物质燃料燃烧量较大有关。

工业污染源排放主要集中在韩城、渭南和宝鸡。韩城工业大气污染物排放量相对较高，主要来源于钢铁、焦化行业的排放；宝鸡工业 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 排放量排在关中地区首位，其铅锌矿采选、煤矿采选和

水泥制品贡献较大；宝鸡工业 SO₂、NO₂ 排放也相对较高，主要来自于水泥制造、铅锌冶炼和火电行业的贡献。渭南市工业各项污染物排在关中地区均占有较大比重，其中 SO₂ 主要来源于水泥、火电、煤化工；NO_x 主要是水泥、陶瓷、火电、煤化工和焦化的贡献较大；VOCs 主要来源于农药制造、煤基烯烃、和焦化；PM_{2.5} 主要为水泥制品、焦化、水泥制造、钼矿采选和煤炭采选行业的贡献较高。道路移动源污染物排放主要集中在西安市，其次为渭南市。民用散煤主要在渭南市，占比约为 40%，西安、咸阳、宝鸡和铜川市占比基本在 10%~20% 之间；民用生物质燃料主要在咸阳、宝鸡和渭南，占比分别为 33%、27% 和 25%；开放燃烧生物质主要集中在渭南、西安、咸阳和宝鸡，占比分别为 29%、25%、23% 和 19%。

2.3 产业现状分析

2.3.1 区域经济发展现状分析

陕西省 2020 年国内生产总值 2.62 万亿元，占全国总额的 2.7%，全国排名 14，是西部经济规模较大、活力较强的地区。但其 GDP 增速 2.2%，人均生产总值 6.63 万元，均低于同期全国平均水平。

陕西省地级及以上城市中除西安市生产总值突破万亿元水平，其他城市生产总值均低于 5000 亿元。全省人均生产总值高于全国平均水平的仅有榆林、西安两市，其中作为能源资源型工业城市，榆林市人均生产总值为 11.3 万元，与福建、浙江发达省份水平相近。

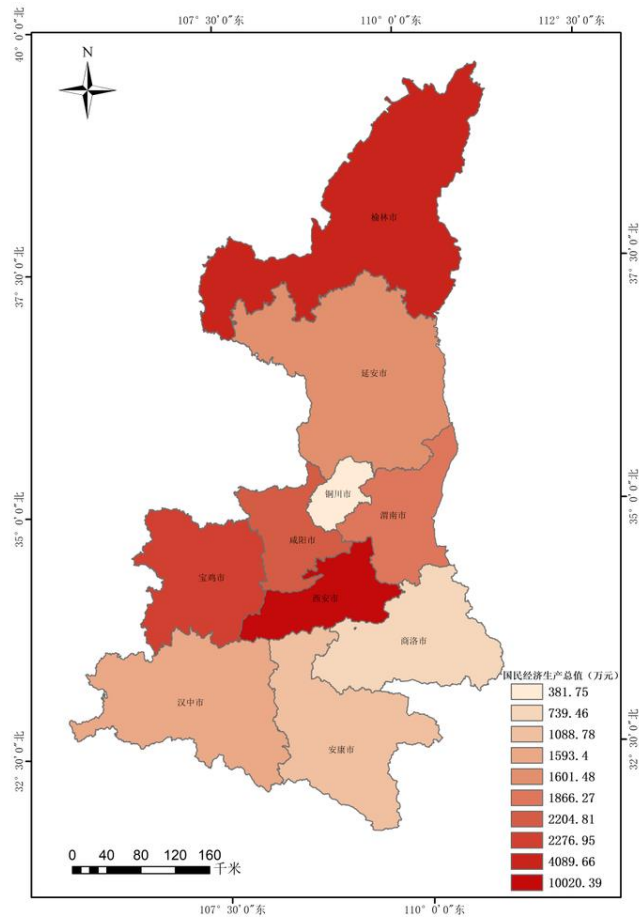


图 2.3-1 2020 年陕西省各地市国民生产总值

2.3.2 三大产业结构现状分析

自 2000 年以来，陕西省第一产业占比持续下降，2020 年陕西省一产占比 8.7，与全国平均水平相近。2000 年以来，陕西省二、三产占比的变化趋势以 2012 年为时间节点分为两个阶段，其中 2000~2012 年二产占比持续增加，而三产占比持续减少；2012~2020 年二产占比呈现为下降趋势，三产占比呈明显上升趋势。2020 年陕西省三产结构比例为 8.7: 43.4: 47.9，呈现出“三二一”的产业结构态势，但二产比重仍高于全国平均水平 5.6 个百分点。

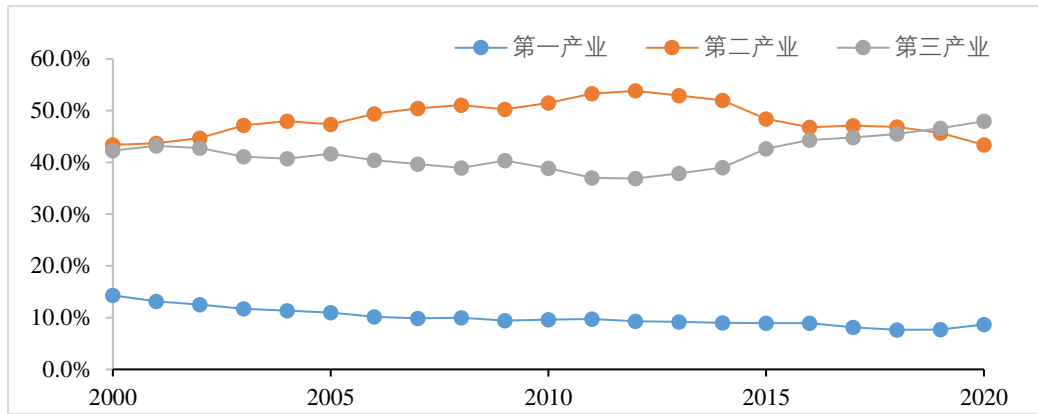


图 2.3-2 2000-2020 年陕西省三次产业产值比重变化趋势图

陕西省各地市三产结构比例有所差异。其中西安、铜川、渭南、汉中、安康、商洛呈现为“三二一”产业结构态势，榆林、延安、宝鸡、咸阳呈现为“二三一”产业结构态势，第二产业占据主导地位。渭南、汉中、咸阳、商洛四个地市一产占比 15%~20%，榆林、延安、宝鸡三个地市二产占比 55%~60%，西安、铜川两地市三产占比超过 55%。陕西省各地市产业结构的空间分布总体呈现为纵向三区。西北区——榆林、延安、宝鸡、咸阳以第二产业结构为主导，属于典型的工业城市，核心区——西安、铜川三产占比高于全国平均水平，东南区——渭南、汉中、安康、商洛以第三产业结构为主导，但是这四个地市的第一产业占比为全国平均水平的 1.9~2.6 倍，为陕西省农副产品的主产地。

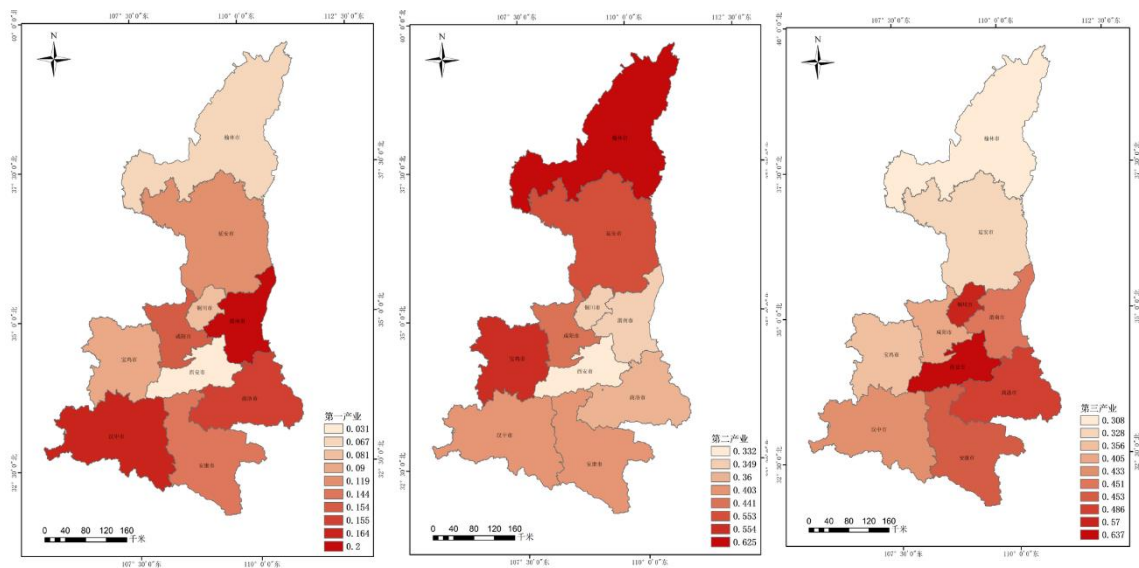


图 2.3-3 2020 年陕西省各地市三产结构比例空间分布

2.3.3 产业结构特征参数分析

(1) 合理化程度分析

产业结构合理化程度是产业结构调整 and 协调过程的一个量化指标。本研究借鉴于春晖等的研究方法将泰尔指数的倒数作为产业结构合理化程度指标。计算公式如式 2.3-1。TL 越大，说明产业结构合理化程度越高；TL 越小，则产业结构合理化程序越低。

$$TL = 1 / \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \ln \left(\frac{Y_i / Y}{L_i / L} \right) \right] \text{ (式 2.3-1)}$$

式中 TL——产业结构合理化指数

Y——生产总值（亿元）

L——就业人数（万人）

Y_i/Y ——产出结构

Y/L ——生产率

陕西省产业结构合理化指数变化以 2011 年分为两个阶段，2000~2011 年期间，产业结构合理化指数表现为缓慢上升的总体趋势，

变化范围为 0.346~0.981，2012 年产业结构合理化指数出现拐点，明显下降至 0.185，“十三五”期间逐年上升至 2020 年达到 0.899，接近 20 年来最高值。产业结构合理化指数变化趋势与产业层次结构表现为较强的相关性，自 2012 年三产结构自“二三一”趋于“三二一”结构变化方向后，产业结构合理化指数重新趋于上升，在 2019 年实现“三二一”结构后再次达到峰值。

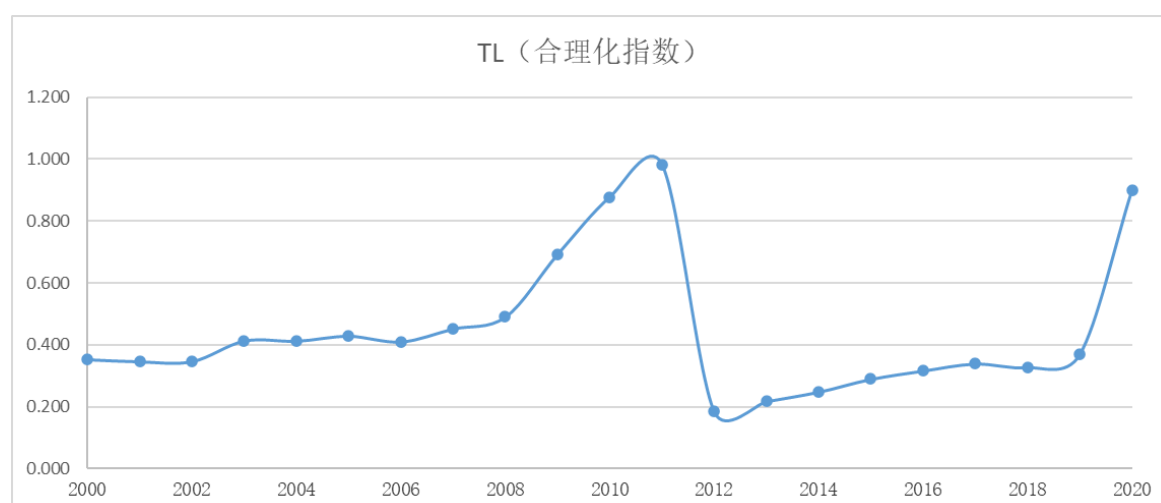


图 2.3-4 陕西省产业结构合理化指数变化趋势图

(2) 高度化水平分析

产业结构高度化水平是指产业结构从低层次向高层次结构不断演进的过程的度量指标。本研究采用第三产值与第二产值之比（简记 TS）作为产业结构高级化的度量，可清楚的反映出经济结构服务化倾向。TS 值处于上升状态，即说明经济向服务化方向推进，产业结构处于升级状态。

自 2000 年以来，陕西省产业结构高度化水平指数呈现先降后升的变化趋势，高度化水平指数自 2000 年的 0.975 逐年下降至 2012 年的 0.685，达到近 20 年以来的最低值。自 2012 年出现拐点后，逐年

上升至 2020 年的 1.105，达到近 20 年以来的最高值，表现为明显的经济结构服务化倾向。

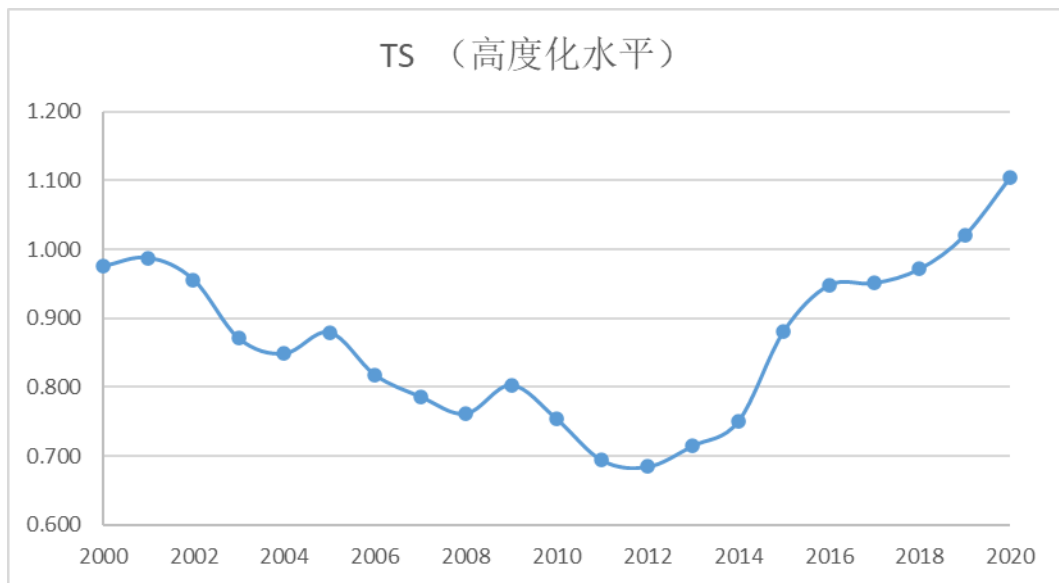


图 2.3-5 陕西省产业结构高度化指数变化趋势图

(3) 产业结构升级系数分析

$$IUC = \sum_{i=1}^3 A_i * i = A_1 * 1 + A_2 * 2 + A_3 * 3 \quad (\text{式 2.3-2})$$

式中 IUC——产业结构升级系数，取值范围 [1,3]。

A_1 ， A_2 ， A_3 分别代表三次产业产值在国民生产总值中所占比例；

IUC 的取值等于 1 或接近于 1，表明产业结构层次偏低，这一阶段经济社会以第一产业为主；IUC 的取值位于 2 附近，说明经济有所发展，产业结构层次有所提升，经济社会处于工业化阶段；IUC 的取值位于 3 附近，表明第三产业占据主导地位，产业结构较为优化。

陕西省产业结构升级系数呈现逐年上升的趋势，但自 2005 年以来总体低于全国水平，变化范围为 2.27~2.39。其中西安市高于全省、全国水平，达到 2.61，接近 3，已进入后工业化阶段；铜川市、杨陵区产业结构升级系数高于全省水平，与全国水平持平。其他地市的产业结构升级系数变化范围为 2.21~2.39，低于全省水平。

表 2.3-1 陕西省产业结构升级系数变化

地市	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
西安市	2.51	2.52	2.53	2.55	2.59	2.60	2.60	2.60	2.61	2.61
铜川市	2.26	2.26	2.29	2.30	2.40	2.45	2.47	2.48	2.48	2.49
宝鸡市	2.20	2.20	2.21	2.22	2.24	2.24	2.25	2.26	2.27	2.27
咸阳市	2.11	2.12	2.15	2.16	2.19	2.21	2.24	2.25	2.26	2.25
渭南市	2.15	2.16	2.17	2.18	2.22	2.24	2.26	2.27	2.27	2.25
延安市	2.09	2.09	2.12	2.12	2.18	2.22	2.22	2.21	2.22	2.21
汉中市	2.16	2.17	2.21	2.21	2.25	2.26	2.27	2.28	2.28	2.27
榆林市	2.16	2.15	2.18	2.19	2.23	2.23	2.22	2.23	2.23	2.24
安康市	2.19	2.19	2.20	2.21	2.25	2.26	2.29	2.31	2.30	2.31
商洛市	2.19	2.21	2.22	2.23	2.28	2.29	2.32	2.31	2.31	2.33
杨陵区	2.33	2.35	2.35	2.35	2.42	2.42	2.42	2.41	2.42	2.46
陕西省	2.27	2.28	2.29	2.30	2.34	2.35	2.37	2.38	2.39	2.39
全国	2.35	2.36	2.38	2.40	2.42	2.44	2.45	2.46	2.47	2.47

(4) 工业结构特征

针对与环境质量关系较密切的工业行业进行分析，2015-2019 年陕西省产值前十大行业，排名整体较稳定，前十行业产值占比全省工业行业总产值基本维持在 64%左右，主要以重工业、能源开采、能源化工为主，工业产业表现为结构偏重、倚能明显。行业排名及占比变化幅度方面，电力、热力生产和供应业、石油、煤炭及其他燃料加工业排名逐年提升，产值占比逐年增加，倚能程度提高；电器机械和器材制造业、黑色金属冶炼和压延加工业排名下降，占比降低。

表 2.3-2 2015-2019 年陕西省前十行业占比情况

行业	2019 年	2018 年	2017 年	2016 年	2015 年
	排序	排序	排序	排序	排序
煤炭开采和洗选业	1	1	1	1	1

汽车制造业	2	3	3	5	2
石油、煤炭及其他燃料加工业	3	2	2	8	9
非金属矿物制品业	4	6	6	7	5
石油和天然气开采业	5	5	8	9	3
电力、热力生产和供应业	6	8	11	12	17
农副食品加工业	7	7	7	6	7
计算机、通信和其他电子设备制造业	8	11	10	11	11
化学原料及化学制品制造业	9	4	9	3	6
有色金属冶炼和压延加工业	10	9	4	4	8
电气机械和器材制造业	11	10	5	2	4
黑色金属冶炼和压延加工业	12	12	14	10	10
排名前 10 行业占比	64.4%	65.2%	64.8%	62.0%	63.9%

2.3.4 产业布局分析

陕西省在地域上分为陕南、陕北、关中三部分。分析“十一五”至“十三五”末三大区域产业情况发现，三大片区占 GDP 比重基本稳定，其中关中作为全省人口、经济中心，产值占比达到 60%以上；陕北具有丰富的煤炭、石油、天然气等资源，形成了以煤化工、石油化工为主导产业的能源化工基地，工业产业发展良好，产值占比稳定保持在 22%左右；陕南地区是南水北调中线工程的主要水源涵养区，水资源丰富，但受限于交通、资源、能源等因素产业发展相对滞后，近 5 年通过不断的结构调整，陕南经济有略微回暖，但截至到 2020 年总产值占比仍不足 15%。总体来看，陕西省三大区域产业发展不均衡，陕南地区发展不充分。

(1) 第一产业

第一产业包含农业、林业、牧业、渔业及服务业等五大类。2020 年农林牧渔业增加值 2381.64 亿元，渭南、咸阳作为全省的农业大市，两市增加值占比均超过全省第一产业总产值的 15%。从产业内部（农林牧渔）的区域分布来看，农业主要的分布区域为渭南、咸阳、西安，

牧业的主要分布区域为榆林、渭南、汉中；林业主要分布在西安、宝鸡、汉中、商洛；渔业主要分布在安康、商洛、渭南；农林牧渔服务业主要分布在西安、咸阳。

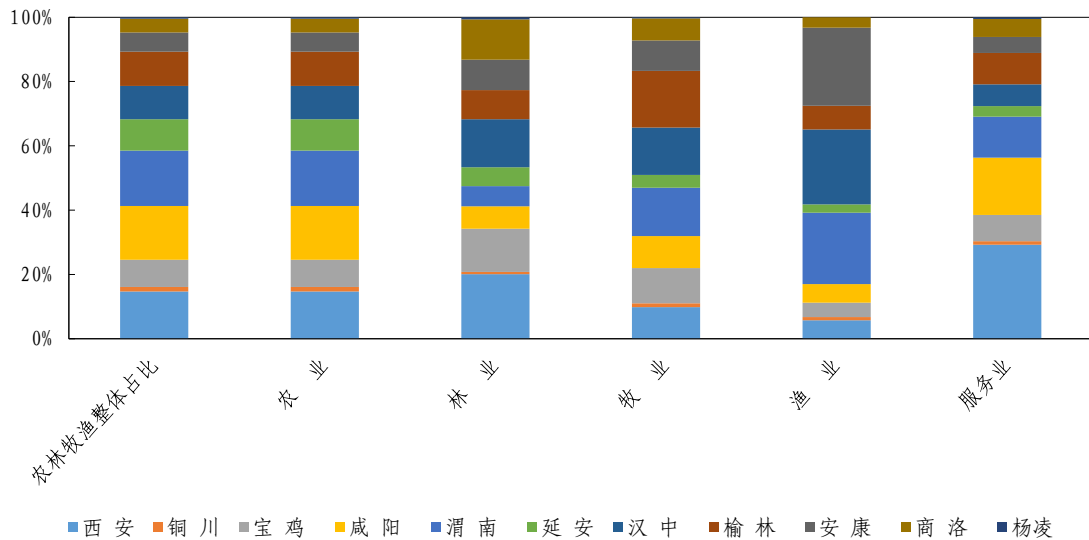


图 2.3-6 2020 年各地市第一产业生产总值分布情况

2005-2020 年，陕西省大部分地市第一产业占全省第一产业总产值比例保持稳定。其中咸阳市第一产业占全省比重下降明显；渭南市、延安市第一产业占比逐年增加。从三大片区的第一产业布局变化来看，关中、陕北、陕南第一产业产值由 2000 年的 61: 13: 26 调整为 56: 20: 24, 关中地区第一产业产值比重持续下降, 陕北比重则逐年增加。总体来看，陕西省第一产业聚集度下降，布局逐渐趋于合理，各地市农业产业对于全市产值的贡献逐渐趋于平衡。

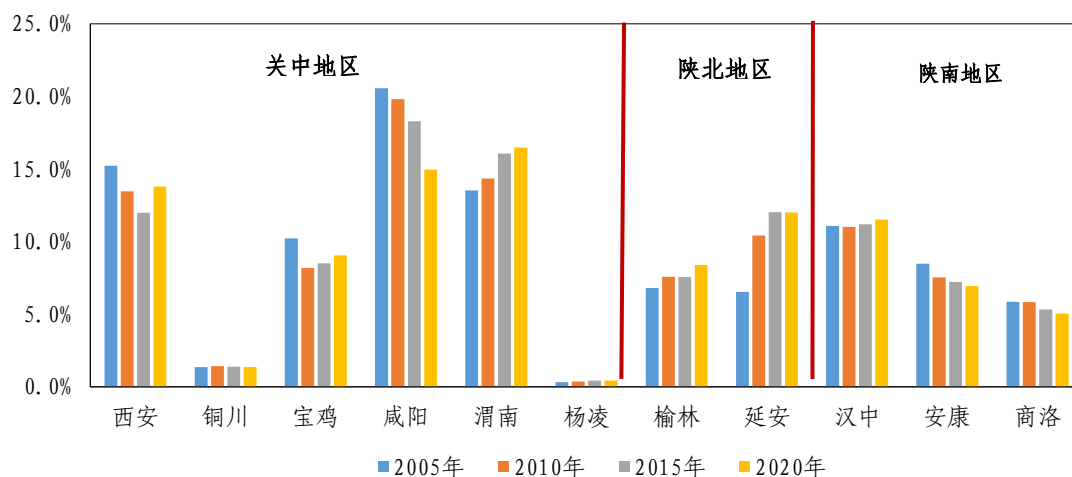


图 2.3-7 2005-2020 年各地市第一产业占全省比例变化情况

(2) 第二产业

本节内容中重点关注与环境质量相关的工业，对于建筑业产值区域分布在此不做分析。

A、总体情况

由图可知西安市、榆林市、延安市是陕西省工业产值贡献最大的三个地市，2020 年三市工业产值占全省工业总产值的比例为 58.6%，从不同地市工业产值变化情况来看，关中地区宝鸡、咸阳两市工业产值贡献相对稳定，铜川、渭南两市存在轻微下降趋势，西安市 15 年间工业产值占比下降 6 个百分点，目前保持在 21%左右；陕北地区延安市呈现明显的下降趋势，随着榆林能源化工基地的建设，榆林市工业产业占比逐年增高，截至 2020 年占比已达到 27.9%；陕南三市工业产值占比均呈现逐年递增的趋势。总体来看，陕西省经过 15 年的发展，陕西省工业主要分布于关中地区的西安、宝鸡、咸阳、渭南及陕北地区的榆林、延安，从区域产值占比的变化趋势上看，关中受产

业结构及布局调整影响，工业产值占比逐年下降，陕北能源基地的建设促使其占比略微增加，陕南工业产业发展逐渐复苏，占比逐年增大。综合来看，陕西省工业产业产值集中度逐渐下降，产业布局逐渐趋于合理。

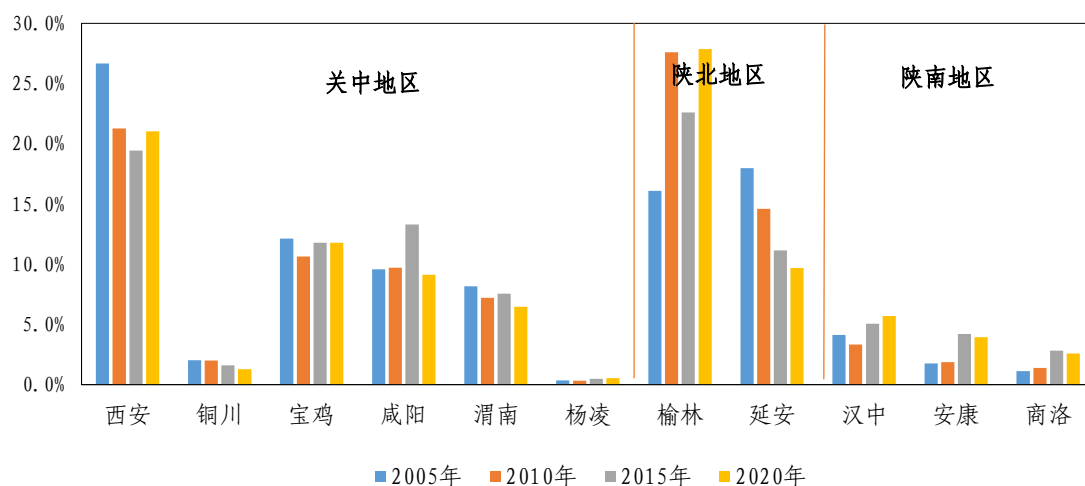


图 2.3-8 2005-2020 年各地市工业占全省工业 GDP 比例变化情况

B、重点工业企业分布情况

以陕西省第二次全国污染源普查数据为基础，对全省煤炭开采和洗选业、汽车制造业、石油、煤炭及其他燃料加工业等产值排名前十的工业行业(具体行业见 1.3.1)等产值分布情况进行分析，结果如下。

由下表可知，陕西省工业产业布局具有明显的区域特征：陕北地区以煤、石油、天然气开采及能源化工产业等重工业为主，其中石油和天然气开采业占全省同行业总产值的 99.8%，石油、煤炭及其他燃料加工业、化学原料及化学制品制造业行业产值占比也超过全省同行业总产值的一半以上。关中地区以农副食品加工业、非金属矿物制品业、汽车制造业、电气机械和器材制造业、计算机、通信和其他电子设备制造业等轻工业及制造业为主，其中西安市设备制造业聚集度高，

汽车制造业产值占全省同行业 91.5%。陕南地区黑色金属冶炼和压延加工业、有色金属冶炼和压延加工业较为发达。

表 2.3-3 产值排名前十行业各地市产值占比情况表 (%)

地市	煤炭开采和洗选业	石油和天然气开采业	农副食品加工业	石油、煤炭及其他燃料加工业	化学原料及化学制品制造业	非金属矿物制品业	黑色金属冶炼和压延加工业	有色金属冶炼和压延加工业	汽车制造业	电气机械和器材制造业	计算机、通信和其他电子设备制造业	电力、热力生产和供应业
西安(含西咸)	--	--	26.1	1.1	13.3	35.4	2.7	9.2	91.5	77.8	88.6	11.5
宝鸡	2.2	--	8.1	2.4	1.5	10.4	3.7	31.2	7.1	6.7	4.0	38.4
咸阳	9.0	--	33.6	15.3	5.8	12.6	2.6	0.3	0.7	2.6	5.9	3.3
铜川	2.5	--	0.3	--	0.1	6.2	--	4.0	0.2	--	--	2.8
渭南(含韩城)	3.8	0.2	11.3	13.6	24.0	10.5	51.8	6.6	0.1	3.5	0.4	11.9
延安	11.0	48.8	0.5	37.5	0.5	2.6	--	--	--	0.1	--	2.5
榆林	71.5	51.0	1.4	30.1	51.9	5.4	4.6	25.3	--	--	--	27.7
汉中	--	--	5.4	--	1.8	7.3	33.2	6.1	0.1	1.2	0.9	0.4
安康	--	--	2.0	--	0.2	5.3	0.1	1.0	0.2	0.1	0.1	--
商洛	--	--	2.9	--	0.6	3.9	1.3	16.3	--	7.7	--	0.4
杨凌示范区	--	--	8.5	--	0.2	0.4	--	--	0.1	0.3	--	1.2
关中地区	17.5	0.2	87.9	32.4	44.9	75.5	60.8	51.3	99.7	90.9	98.9	69.1
陕北地区	82.5	99.8	1.9	67.6	52.4	8	4.6	25.3	0	0.1	0	30.2
陕南地区	0	0	10.3	0	2.6	16.5	34.6	23.4	0.3	9	1	0.8

备注：--表示占比不足 0.1%，可忽略不计。

(3) 第三产业

第三产业包括批发和零售业、交通运输、仓储和邮政业、住宿和餐饮业、金融业、房地产业及其他服务业。2020年陕西省第三产业生产总值12551.36亿元，仅西安市第三产业生产总值达到6379.37亿元，占比达到全省总量的50.8%，其中批发零售业占比为43.4%，交通运输、仓储和邮政业占比31.1%，住宿和餐饮业占比42.5%，金融业占比58.8%，房地产业占比55.2%，是全省第三产业分布最为密集的地市。

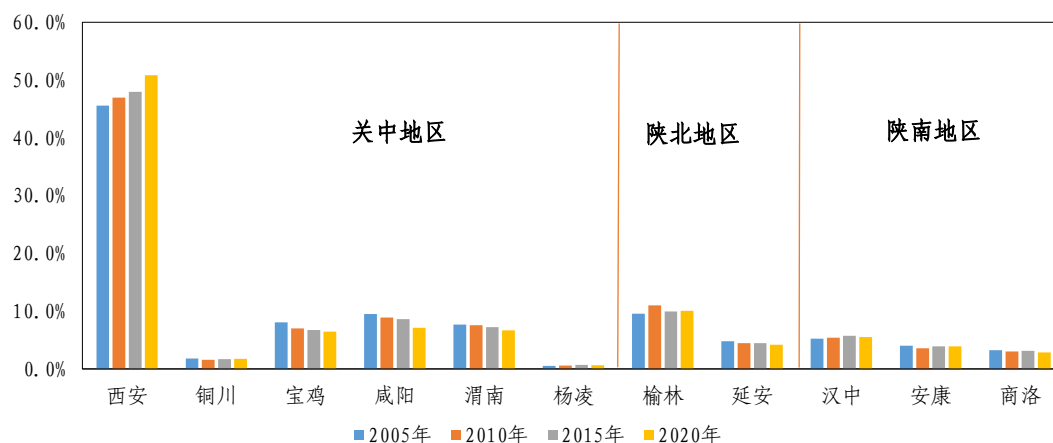


图 2.3-9 2020 年各地市第三产业产值分布情况

2.4 能源消费结构现状分析

2.4.1 能源生产消费总体情况

“十三五”时期，陕西能源在全国能源供应格局中的地位进一步提升。2020年一次能源生产总量5.53亿吨标准煤，占全国13.5%，居全国第三。其中，原煤产量6.79亿吨，居全国第三；在陕原油、天然气产量分别为2534万吨和274亿立方米，油气当量居全国第一。电力外送能力1435万千瓦，外送电量504亿千瓦时，煤炭外销量达到4.43亿吨，天然气外送146亿立方米。

2015-2020 年期间，陕西省能源消费总量及煤炭消费总量均呈递增趋势，全省能源消费总量从 2015 年的 1.17 亿吨增长到 2020 年的 1.38 亿吨，煤炭消费总量从 2015 年的 0.85 亿吨标准煤增长到了 2020 年的 1 亿吨标准煤。从陕西省能源消费在国家消费总量的占比来看，2016-2020 年全省能源消费总量占全国比重稳定保持在 2.7%左右，说明近 5 年陕西省能源消费总量增长速率与国家基本保持一致。

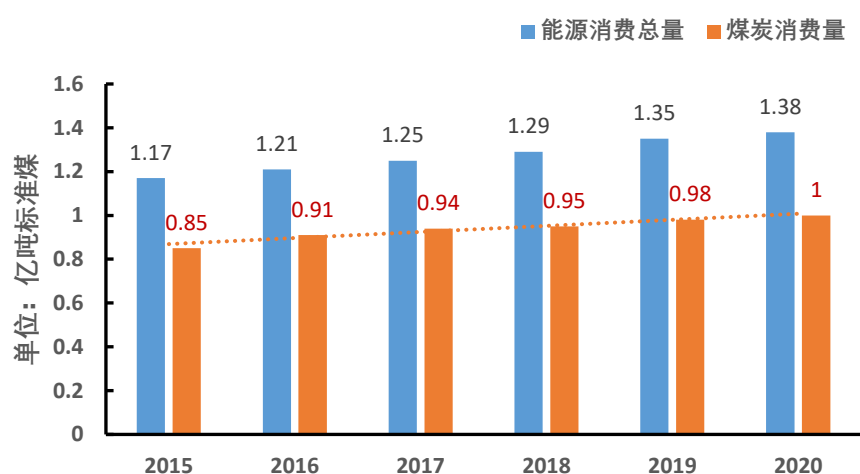
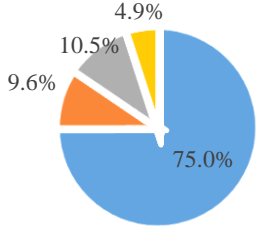
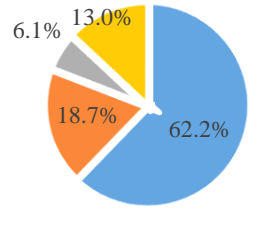
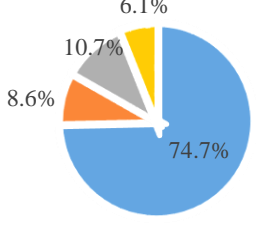
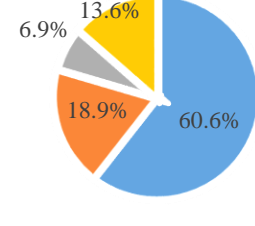
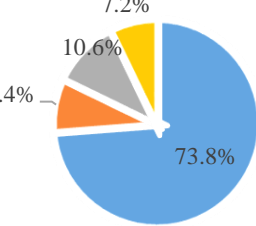
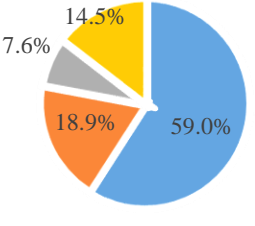
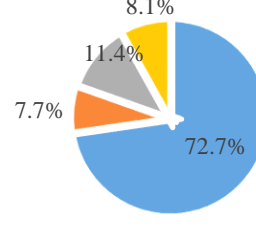
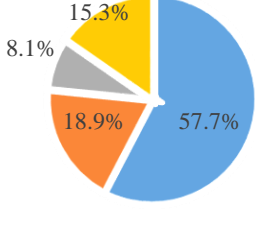
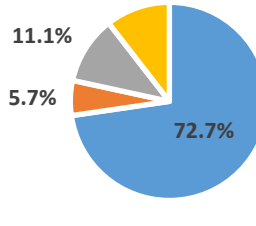
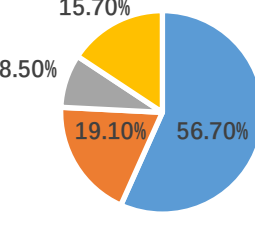


图 2.4-12015-2020 年陕西省能源消费总量、煤炭消费总量图

2.4.2 能源消费结构分析

比对分析陕西省、全国能源消费结构发现，陕西省能源消费“一煤独大”特征显著，2020 年煤炭消费占全省能源消费比重高达 72.7%。虽然“十三五”期间煤炭消费占比不断下降，但截至 2020 年煤炭消费占比仍高于全国平均水平 16 个百分点，水电、风能及其他清洁能源消费占比低于全国平均水平 5.2 个百分点。在“碳达峰”、“碳中和”的大背景，陕西省能源消费结构急需调整和优化。

年份	陕西省	全国
----	-----	----

2016	 <p>Pie chart for 2016 (left):</p> <ul style="list-style-type: none"> Blue: 75.0% Grey: 10.5% Orange: 9.6% Yellow: 4.9% White: 1.0% 	 <p>Pie chart for 2016 (right):</p> <ul style="list-style-type: none"> Blue: 62.2% Orange: 18.7% Yellow: 13.0% Grey: 6.1% White: 1.0%
2017	 <p>Pie chart for 2017 (left):</p> <ul style="list-style-type: none"> Blue: 74.7% Grey: 10.7% Orange: 8.6% Yellow: 6.1% White: 1.0% 	 <p>Pie chart for 2017 (right):</p> <ul style="list-style-type: none"> Blue: 60.6% Orange: 18.9% Yellow: 13.6% Grey: 6.9% White: 1.0%
2018	 <p>Pie chart for 2018 (left):</p> <ul style="list-style-type: none"> Blue: 73.8% Grey: 10.6% Orange: 8.4% Yellow: 7.2% White: 1.0% 	 <p>Pie chart for 2018 (right):</p> <ul style="list-style-type: none"> Blue: 59.0% Orange: 18.9% Yellow: 14.5% Grey: 7.6% White: 1.0%
2019	 <p>Pie chart for 2019 (left):</p> <ul style="list-style-type: none"> Blue: 72.7% Grey: 11.4% Orange: 7.7% Yellow: 8.1% White: 1.0% 	 <p>Pie chart for 2019 (right):</p> <ul style="list-style-type: none"> Blue: 57.7% Orange: 18.9% Yellow: 15.3% Grey: 8.1% White: 1.0%
2020	 <p>Pie chart for 2020 (left):</p> <ul style="list-style-type: none"> Blue: 72.7% Grey: 11.1% Orange: 5.7% Yellow: 10.5% White: 1.0% 	 <p>Pie chart for 2020 (right):</p> <ul style="list-style-type: none"> Blue: 56.70% Orange: 19.10% Yellow: 15.70% Grey: 8.50% White: 1.0%

备注：1、数据来源于 2016-2020 年陕西省、中国统计年鉴；
 2、■ 煤 品 ■ 油 品 ■ 天 然 气 ■ 水 电、风 电 及 其 他 能 发 电

图 2.4-22016-2020 年陕西省、全国能源消费结构对比图

2.4.3 三大产业主要能源消费情况

从三大产业主要能源消费情况来看，第二产业是煤炭、天然气及电力的消费主力，2020 年占比分别达到全省同类别能源消费量的 88.33%、58.03%、66.98%，其中工业领域煤炭、天然气、电力消费总量分别占全省同类别能源消费量的 87.96%、57.76%、65.37%。第三产业消费以天然气、电力为主，消费占比分别为 14.25%、17.08%。生活消费煤炭、天然气、电力消费量占全省同类别能源消费量的比例分别 7.60%、27.72%、14.08%。从二产、三产的能源消费强度来看，第二产业万元产值能源消费量约是第三产业的 4.35 倍。

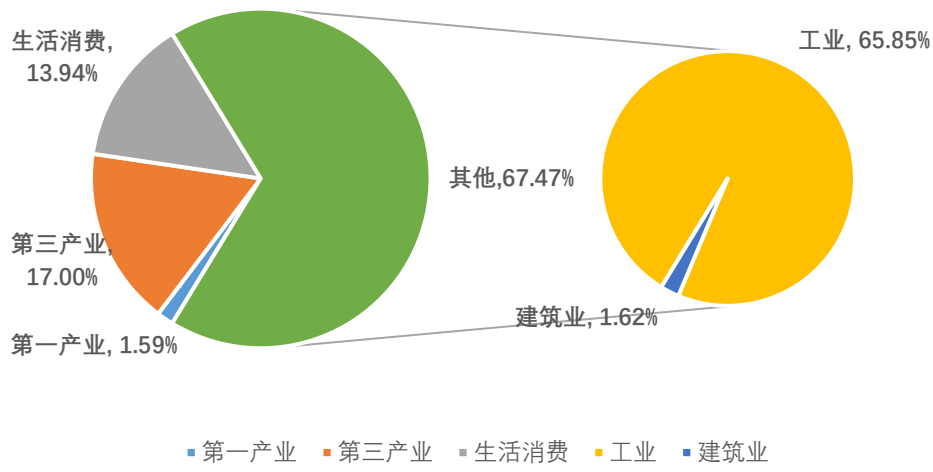


图 2.4-32020 年各产业煤炭消费量占比情况

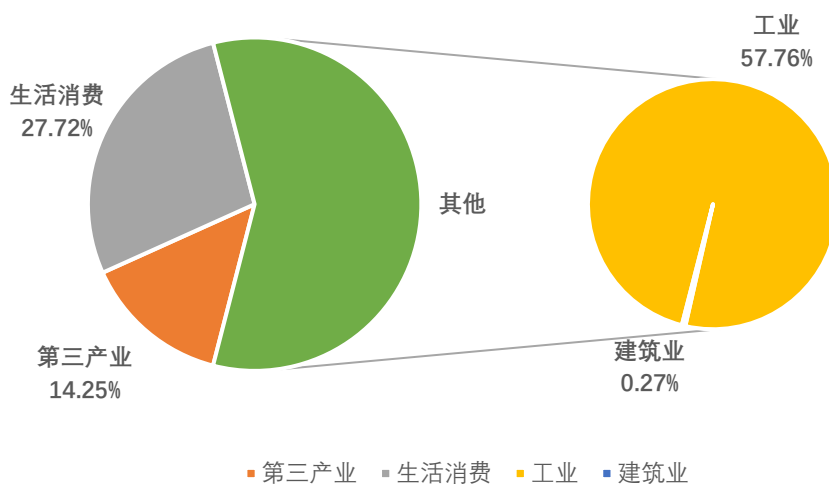


图 2.4-4 2020 年各产业天然气消费量占比情况

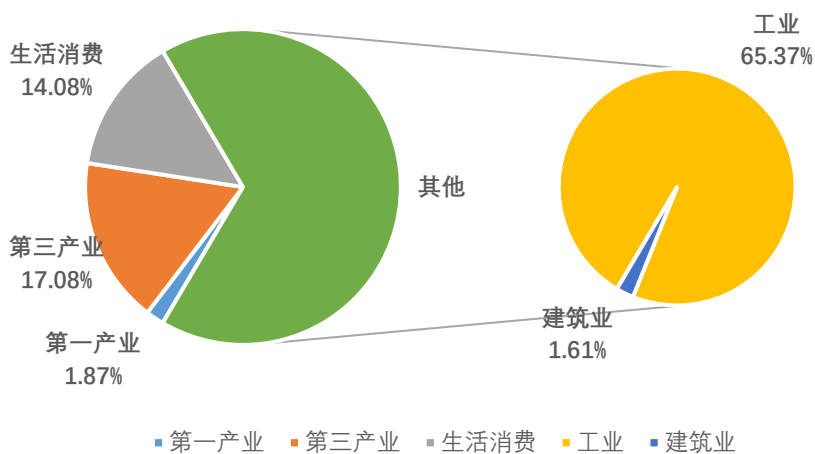


图 2.4-5 2020 年各产业电力消费量占比情况

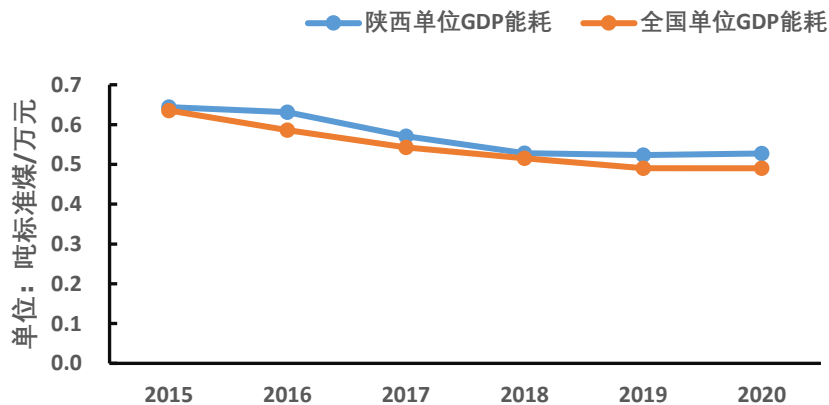


图 2.4-6 全国和陕西单位 GDP 能耗情况

根据中国和陕西省统计年鉴，2015 年-2020 年期间全国和陕西万元 GDP 能耗均有所下降，但陕西下降幅度小于全国，2020 年陕西万

元 GDP 能耗仍高于全国平均水平。全省能源消费量排名前 5 的工业行业能源消费情况如表 2.4-1。

表 2.4-12019 年全省能源消费量排名前 5 工业行业能源消费情况

序号	行业名称	能源消费量 (万吨标准煤)	产值能耗 (吨标准煤/万元)
1	电力、热力的生产和供应业	3015.34	1.93
2	化学原料及化学制品制造业	2371.42	1.69
3	石油、煤炭及其他燃料加工业	1083.44	0.60
4	黑色金属冶炼及压延加工业	669.35	0.69
5	石油和天然气开采业	627.69	0.40

2.5 小结

(1) 环境质量方面：2020 年陕西省 10 个国考城市 PM_{2.5} 年均浓度 41.27 微克/立方米（实现较 2015 年下降 15% 的国考目标），SO₂、NO₂、CO 年均浓度达到环境空气质量一级标准，PM₁₀、O₃ 浓度达到环境空气质量二级标准；优良天数 295.3 天，同比增加 19.1 天，重污染天数 6.1 天，同比减少 8.9 天，环境质量明显改善。但是相较于北京、天津、河北、内蒙古等省份，我省 PM_{2.5} 浓度降幅偏低，且主要污染物如 NO₂、PM_{2.5}、和 O₃ 浓度水平仍高于国家平均水平，PM_{2.5} 距离国家二级空气质量标准（35μg/m³）和 WHO 第三阶段过渡限值（15μg/m³）仍存在较大差距。尤其是关中地区，优良天数占比仅为 70.7%，PM_{2.5}、NO₂ 年均浓度均为全国平均水平的 1.5 倍，O₃ 日最大 8 小时浓度接近环境空气质量二级标准限值，存在超标的潜在风险。

(2) 污染物排放情况：“十三五”时期，我省大气污染物排放主要呈现以下几个特征。一是二氧化硫、氮氧化物和颗粒物排放量均大幅下降，且排放来源发生结构性变化。SO₂ 排放从以工业源为主要排放来源转变为工业源和生活源排放量相当。NO_x 机动车排放占比逐年上升成为最主要排放来源，工业源排放量占比虽逐渐下降但仍占比较

高。颗粒物最主要的排放来源仍然是工业源。二是“十三五”时期，CO₂排放呈逐年递增趋势，煤炭为绝对主要排放来源，占比从83%增长到88%，油品排放则呈现逐年递减趋势，从10%递减至5%。三是从地市角度来看，榆林市作为全省乃至全国重要的能源化工基地，各项大气污染物排放量均在全省范围内处于高位，且主要排放来源为工业源。虽然基于其优良的扩散条件，环境空气质量仍处于相对较好的水平，但通过能源结构和产业结构的调整，仍可释放一定减排空间。四是从排放强度来看，榆林市、铜川市、韩城市万元GDP排放强度远高于其他市（区），且主要排放来源为工业源，产业结构还需优化，工艺技术水平亟需提升。关中地区环境空气质量在全省乃至全国仍处于较差水平，基于其大气污染物排放现状和地形地势，大气污染联防联控源头治理仍需深入推进，水泥、电力、钢铁、焦化、煤化工等行业大气污染贡献率仍相对较高，渭南市和宝鸡市居民散煤燃烧和生物质燃料燃烧管控仍需深入推进。五是移动源已逐渐成为大气污染的重要来源，关中地区大部分地区重型载货汽车对NO_x的贡献相对较大，西安市小型汽车尾气成为VOCs的主要来源，关中地区已从煤烟型污染转变为复合型污染，交通运输结构的调整也迫在眉睫。

（3）产业结构方面：陕西省从2000年到2020年，第一产业占比基本呈现逐年减小的趋势；第二产业占比呈现先增加后减小的变化趋势，第三产业比重呈现先下降后上升的变化趋势。从近5年的产值占比来看，第三产业占比与第二产业差距逐年缩小，并在2019年占比超过了第二产业，2020年占比进一步拉大。陕西省产业目前呈现三二一结构，但第二产业的占比仍然较大。

（4）能源结构方面：“十三五”时期，陕西作为全国能源供应大省

的地位进一步提升。煤炭作为陕西支柱性能源的主导地位未发生变化，2020年煤炭消费占全省能源消费比重高达72.7%，工业领域煤炭消费量高达全省总量的87.96%。电力、热力的生产和供应业、化学原料及化学制品制造业等重点行业万元工业产值能耗较高，产业结构偏重，能耗强度偏高。全省万元GDP能耗在“十三五”时期较全国下降幅度略小，能源结构和产业结构优化程度低于全国平均水平。

第三章 能源产业结构调整政策梳理

3.1“十三五”能源产业结构调整政策梳理

3.1.1 大气污染防治重要举措梳理

表 3.1-1 梳理总结了自 2013 年以来中、省主要的大气污染防治措施，重点列举出涉及能源结构、产业结构调整的相关内容。

3.1.2 减排对策效果评估

(1) 2013 年~2017 年

《陕西省“治污降霾·保卫蓝天”五年行动计划(2013-2017年)》提出了“减煤、控车、抑尘、治源、禁燃、增绿”等大气污染物控制的六大举措。利用本地化的 WRF-Chem 模型，在排除气象因素的影响前提下，对冬季关中地区各项措施的有效性进行评估。结果表明，“减煤”措施对整个关中地区 PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO 浓度的降低均有非常明显的效果，分别减少 24.5%、11.9%、18.5%、23.8%，然而对 O₃ 浓度有 2.7% 的增加。“控车”措施对 PM_{2.5}、SO₂ 和 CO 浓度的影响较小，基本可忽略（0.5%左右），虽然关中地区冬防期实行限行，但机动车保有量急剧增加，导致 NO₂ 浓度增加 1.3%，由于 NO_x 的增加，引起 O₃ 浓度 1.7% 的降低。“抑尘”措施减排效果不显著（小于 0.2%）。“治源”措施对 SO₂ 减排效果显著，对颗粒物、NO₂、CO 的减排效果相对较弱，同时导致 O₃ 浓度有小幅升高。“禁燃”措施对所有污染物均有一定的降低，对 PM_{2.5} 和 CO 浓度降低相对明显。总体来看，关中地区“减煤”的减排效果最明显，其次为“禁燃”，“治源”措施虽对 SO₂ 减排效果明显，但其他污染物下降趋势不明显。

表 3.1-1 中、省大气污染防治重大政策梳理

	《大气污染防治行动计划》	《“打赢蓝天保卫战”三年行动计划》	陕西省“治污降霾保卫蓝天”五年行动计划	铁腕治霾打赢蓝天保卫战三年行动方案
覆盖时段	2013-2017	2018-2020	2013-2017	2018-2020
综合目标	<p>全国地级及以上城市 PM₁₀ 浓度比 2012 年下降 10% 以上, 优良天数逐年提高; 京津冀、长三角、珠三角等区域 PM_{2.5} 浓度分别下降 25%、20%、15% 左右, 其中北京市 PM_{2.5} 年均浓度控制在 60 微克/立方米左右。</p>	<p>SO₂、NO_x 排放总量分别比 2015 年下降 15% 以上; PM_{2.5} 未达标地级及以上城市浓度比 2015 年下降 18% 以上, 地级及以上城市空气质量优良天数比率达到 80%, 重度及以上污染天数比率比 2015 年下降 25% 以上</p> <p>(明确了重点区域范围: 京津冀及周边地区; 长三角地区; 汾渭平原)</p>	<p>关中城市 PM₁₀ 年均浓度下降 15% 以上, NO₂ 年均浓度下降 10% 以上, SO₂ 年均浓度零增长, 西安市 PM_{2.5} 年均浓度下降 10% 以上; 陕北城市 PM₁₀ 年均浓度下降 10% 以上, NO₂ 年均浓度确保达到国家二级新标准要求, SO₂ 年均浓度零增长; 陕南城市 PM₁₀ 年均浓度下降 10% 以上, NO₂、SO₂ 年均浓度确保达到国家二级新标准要求</p>	<p>全省设区市优良天数比率和 PM_{2.5} 浓度完成国家下达目标, 重度及以上污染天数比率较 2015 年下降 25% 以上, PM₁₀ 浓度明显下降, NO₂ 浓度上升和 O₃ 污染加重的趋势得到遏制, SO₂、CO 年均浓度基本达到国家环境空气质量二级标准。</p>
能源结构政策	<p>(1) 控制煤炭消费总量。到 2017 年, 煤炭占能源消费总量比重降低到 65% 以下。京津冀、长三角、珠三角等区域力争实现煤炭消费总量负增长, 通过逐步提高接受外输电比例、增加天然气供应、加大非化石能源利用强度等措施替代燃煤。</p> <p>(2) 加快清洁能源替代。到 2015 年, 新增天然气干线管输能力 1500 亿立方米以上,</p>	<p>(1) 有效推进北方地区清洁取暖。京津冀及周边地区、汾渭平原的平原地区基本完成生活和冬季取暖散煤替代; 天然气站能源消费总量比重达到 10% 以上。</p> <p>(2) 重点区域继续实施煤炭消费总量控制。全国煤炭占能源消费总量比重下降到 58% 以下; 北京、天津、河北、山东、河南五省(直辖市)煤炭消费总量比 2015 年下降 10%, 长三角地区下降 5%, 分为平原实现负增长。全国电力用煤占煤炭消费总量比重达 55% 以上。推</p>	<p>(1) 加快燃煤锅炉拆改。各设区市、杨凌示范区、西咸新区、韩城市城市建成区禁止新建每小时 20 蒸吨以下的燃煤锅炉, 其他地区原则上不再新建每小时 10 蒸吨以下的燃煤锅炉。在 2014 年底前, 西安市、咸阳市、渭南市拆除城市建成区内所有每小时 20 蒸吨以下燃煤锅炉; 到 2017 年, 除必要保留的外, 其他地级城市拆除建成区内所有每小时 10 蒸吨及以下的燃煤锅炉。西安周边 100 公里范围内新安装锅炉必须使用天然气或煤制天然气、煤层气等清洁能源。在化工、造纸、印染、制革、制药等产业集聚区, 通过集中建设热电联</p>	<p>(1) 建设高污染燃料禁燃区。</p> <p>(2) 关中地区实施煤炭消费总量控制。关中地区煤炭消费实现负增长, 新建耗煤项目实行煤炭减量替代。继续推进电能替代燃煤和燃油, 替代规模达到 150 亿千瓦时以上。</p> <p>(3) 深入推进散煤治理。关中地区完成农村散煤治理定村确户清单。</p> <p>(4) 对关中地区火电企业进行改造。在保障电力系统安全稳定运行的前提下, 关中地区新增用电量主要依靠区域内非化石能源发电和外</p>

	《大气污染防治行动计划》	《“打赢蓝天保卫战”三年行动计划》	陕西省“治污降霾保卫蓝天”五年行动计划	铁腕治霾打赢蓝天保卫战三年行动方案
	<p>覆盖京津冀、长三角、珠三角等区域。到 2017 年，非化石能源消费比重提高到 13%。</p> <p>(3) 推进煤炭清洁利用。到 2017 年，原煤入选率达到 70%以上。扩大城市高污染燃料禁燃区范围，逐步由城市建成区扩展到近郊。</p> <p>(4) 提高能源使用效率。京津冀、长三角、珠三角等区域，新建高耗能项目单位产品(产值)能耗要达到国际先进水平。</p>	<p>进电能替代燃煤和燃油，替代规模达到 1000 亿度以上。</p> <p>(3) 开展燃煤锅炉综合整治。重点区域基本淘汰每小时 35 蒸吨以下燃煤锅炉，每小时 65 蒸吨及以上燃煤锅炉全部完成节能和超低排放改造；燃气锅炉基本完成低氮改造；城市建成区生物质锅炉实施超低排放改造。重点区域 30 万千瓦及以上热电联产电厂供热半径 15 公里范围内的燃煤锅炉和落后燃煤小热电全部关停整合。</p> <p>(4) 加快发展清洁能源和新能源。非石化能源占能源消费总量比重达到 15%。</p>	<p>产机组淘汰分散燃煤锅炉。</p> <p>(2)到 2017 年，全省煤炭消费总量控制在 1.38 亿吨以内，煤炭占能源消费总量比重降低到 67%以下。</p> <p>(3)积极发展城市集中供热。到 2017 年，关中、陕北各市(区)城市建成区集中供热(或清洁能源供热)普及率达到 85%以上，县城达到 65%以上，所有工业园区实现集中热源供热。自 2015 年起，西安市、咸阳市、西咸新区城市建成区除集中供暖外，实行全面禁煤，其他设区城市和杨凌示范区高污染燃料禁燃区面积要达到城市建成区面积的 80%以上。</p> <p>(4)到 2015 年，完成西安市周边 100 公里范围以内的所有分散燃煤锅炉天然气替代改造，各设区城市气化率由 81%提高到 88%以上，县级由 42%提高到 60%以上，乡镇由 30%提高到 40%以上，实现气化总人口 1500 万人，天然气消费总量达到 120 亿立方。到 2017 年，地热能、风电、光伏发电等非化石能源消费比重提高到 10%以上。原煤入洗率要达到 70%以上。</p>	<p>送电满足。</p> <p>(5)禁止新建燃煤集中供热站。优化热源点规划布局，对关中地区现有燃煤集中供热站实施清洁化改造。</p> <p>(6)全省不再新建每小时 35 蒸吨以下的燃煤锅炉，每小时 65 蒸吨及以上燃煤锅炉全部完成节能和超低排放改造。陕南、陕北淘汰每小时 10 蒸吨及以下燃煤锅炉。2019 年底，关中地区所有每小时 35 蒸吨以下燃煤锅炉(每小时 20 蒸吨及以上已完成超低排放改造的除外)全部拆除或实行清洁能源改造，其中，2018 年不少于 60%。开展燃气锅炉低氮燃烧改造。2019 年底前，完成关中地区现有燃气锅炉低氮燃烧改造，其中生产经营类天然气锅炉 2018 年全部完成。改造后的氮氧化物排放不高于 80 毫克/立方米。城市建成区生物质锅炉实施超低排放改造。</p> <p>(7)全省秸秆综合利用率达到 85%，关中地区力争达到 95%。</p>

	《大气污染防治行动计划》	《“打赢蓝天保卫战”三年行动计划》	陕西省“治污降霾保卫蓝天”五年行动计划	铁腕治霾打赢蓝天保卫战三年行动方案
产业布局或产业结构调整政策	<p>(1) 严控“两高”行业新增产能。修订高耗能、高污染和资源性行业准入条件。严格控制“两高”行业新增产能，新、改、扩建项目要实行产能等量或减量置换。</p> <p>(2) 加快淘汰落后产能。提前一年完成钢铁、水泥、电解铝、平板玻璃等 21 个重点行业的“十二五”落后产能淘汰任务。2015 年再淘汰炼铁 1500 万吨、炼钢 1500 万吨、水泥（熟料及粉磨能力）1 亿吨、平板玻璃 2000 万重量箱。</p> <p>(3) 压缩过剩产能。</p> <p>(4) 坚决停建产能严重过剩行业违规在建项目。</p> <p>(5) 全面推行清洁生产。</p> <p>(6) 大力发展循环经济。</p> <p>(7) 大力培育节能环保产业。</p>	<p>(1) 优化产业布局。新、改、扩建钢铁、石化、化工、焦化、建材、有色等项目的环境影响评价，应满足区域、规划环评要求。</p> <p>(2) 严控“两高”行业产能。重点区域严禁新增钢铁、焦化、电解铝、铸造、水泥和平板玻璃等产能；严格执行钢铁、水泥、平板玻璃等行业产能置换实施办法。加大落后产能淘汰和过剩产能压减力度。修订《产业结构调整指导目录》，提高重点区域过剩产能淘汰标准。重点区域加大独立焦化企业淘汰力度，京津冀及周边地区实施“以钢定焦”，力争 2020 年炼焦产能与钢铁产能比达到 0.4 左右。严防“地条钢”死灰复燃。2020 年，河北省钢铁产能控制在 2 亿吨以内；列入去产能计划的钢铁企业，需一并退出配套的烧结、焦炉、高炉等设备。</p> <p>(3) 强化散乱污企业综合整治</p> <p>(4) 大力培育绿色环保产业。</p>	<p>(1) 加快产业结构调整步伐。严格控制“两高”行业新增产能，坚决遏制产能过剩行业盲目扩张。提前一年完成钢铁、水泥、电解铝、平板玻璃等 19 个重点行业的“十二五”落后产能淘汰任务。2015—2017 年，按照范围更宽、标准更高的原则，再淘汰一批落后产能。</p> <p>(2) 推进产业体制机制创新。完善扩大内需政策，发挥市场主体作用，加快科技创新，加强产品创新、品牌创新、产业组织创新、商业模式创新。充分发挥市场机制作用，调节供需，实现优胜劣汰，化解阶段性产能过剩和结构性产能过剩。</p> <p>(3) 全面推行清洁生产。全面推进钢铁、水泥、化工、石化、有色金属冶炼等行业的清洁生产审核。</p> <p>(4) 大力发展循环经济。推进企业、行业、产业之间共生耦合，形成循环链接的产业体系。鼓励产业集聚发展，实施园区循环化改造，实现能源梯级利用、水资源循环利用、废物交换利用、土地节约集约利用，促进企业循环式生产、园区循环式发展、产业循环式组合，</p>	<p>(1) 强化源头管控。明确禁止和限制发展的行业、生产工艺和产业目录。环境空气质量未达标城市应制定更严格的产业准入门槛。新、改、扩建化工、石化、焦化、建材、有色、钢铁等项目的环境影响评价，应满足区域、规划环评要求。</p> <p>(2) 优化产业布局。严格执行《关中地区治污降霾重点行业项目建设指导目录（2017 年本）》，关中核心防治区域禁止新建、扩建燃煤发电、燃煤热电联产和燃煤集中供热项目，禁止新建、扩建和改建石油化工、煤化工项目。</p> <p>(3) 严控“两高”行业产能。制订关中地区高耗能、高排放行业企业退出工作方案，加快城市建成区重污染企业搬迁改造或关闭退出。重点压减水泥（不含粉磨站）、焦化、石油化工、煤化工、防水材料（不含以天然气为燃料）、陶瓷（不含以天然气为燃料）、保温材料（不含以天然气为燃料）等行业企业产能。关中地区禁止新增化工园区，加大现</p>

	《大气污染防治行动计划》	《“打赢蓝天保卫战”三年行动计划》	陕西省“治污降霾保卫蓝天”五年行动计划	铁腕治霾打赢蓝天保卫战三年行动方案
			<p>构建循环型工业体系。</p> <p>(5) 优化产业结构布局。在关中地区,制定实施差别化的产业政策,提出更高的节能环保要求。控制火电、钢铁、造纸等高污染项目在生态脆弱或环境敏感地区布局建设。</p> <p>(6) 优化产业园区布局。结合控制总量、淘汰落后、节能减排和企业兼并重组,有序推进钢铁、石化、化工、有色金属冶炼、水泥、平板玻璃等城区重污染企业的搬迁、改造。</p> <p>(7) 出台关中地区产业准入目录。严格控制“两高”行业新增产能,关中地区除热电联产外,禁止审批新建燃煤发电机组。出台关中地区产业淘汰目录。制订并严格实施关中地区落后产能淘汰方案及热电厂以热定产的限制性生产措施。对未按期完成淘汰任务的地区,暂停对该地区火电、钢铁、有色、石化、水泥、化工等重点行业建设项目办理核准、审批和备案手续。</p>	<p>有化工园区整治力度。关中地区严禁新增焦化、水泥、铸造、钢铁、电解铝和平板玻璃等产能。</p> <p>(4) 加大落后产能淘汰和过剩产能压减力度。关中地区依法依规加大独立焦化企业淘汰力度,严防“地条钢”死灰复燃。</p> <p>(5) 强化“散乱污”企业综合整治。</p> <p>(6) 推进各类园区循环化改造、规范发展和提质增效。</p> <p>(7) 大力培育绿色环保产业。</p>

表 3.1-2 模拟 2013-2017 年冬季关中地区不同减排措施的减排效果

措施	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	SO ₂	CO
减煤	-24.5%	2.7%	-11.9%	-18.5%	-23.8%
控车	0.5%	-1.7%	1.3%	0.0%	0.5%
抑尘	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%
治源	-2.5%	1.4%	-2.9%	-26.1%	-2.7%
禁燃	-9.3%	-2.4%	-2.6%	-3.5%	-9.7%

(2) 2018 年~2020 年

为持续推动大气污染防治行动、坚决打赢蓝天保卫战，陕西省印发了《陕西省铁腕治霾打赢蓝天保卫战三年行动方案（2018—2020 年）》，从四大结构调整出发，多举措并重。2020 年，关中地区 PM_{2.5}、NO₂、SO₂ 浓度呈不同程度下降，SO₂ 降幅最大，下降 15.3%，PM_{2.5} 浓度仅下降 0.4%，O₃ 浓度不降反升，升高 3.8%。

3.2“十四五”能源、产业结构政策梳理

3.2.1“十四五”能源结构政策梳理

（一）把清洁低碳发展作为能源政策的导向。继续坚持发展非化石能源与清洁高效利用化石能源并举，逐步降低煤炭消费比重，提高天然暖气和非化石能源消费比重，大幅降低二氧化碳排放强度和污染物排放水平，优化能源生产布局 and 结构，促进生态文明建设。

（二）把建立多元供应体系作为能源政策的重点。加快建立多元供应保障体系。大力推进煤炭清洁高效利用，着力发展非煤能源，形成煤、油、气、核、新能源、可再生能源多元驱动的能源供应体系，同步加强能源输配网络核储备设施建设等。继续加大国内油气勘探开发力度，促进增储上产，提高油气自给能力；增强油气安全储备和应急保障能力；大力发展水电、风电、光电等可再生能源，提高清洁能源消纳水平。

（三）把提高能效、节能减排作为能源政策的杠杆。把节能贯穿于经济社会发展全过程，倡导绿色生活方式和消费文化，推广应用节能产品，推行国际先进能效标准和节能制度，推动形成全社会节能型生产方式和消费模式。

（四）陕西“十四五”能源发展重点任务

加快建设榆林能源革命创新示范区:充分发挥榆林能源资源和产业基础优势，集聚中科院、西安交大、西北大学等科研力量，通过技术创新，依托合成气、储能、氢能三大平台，围绕“可再生能源多能互补与规模应用、化石能源清洁高效开发利用与耦合替代、低碳化智能化多能融合”三条路线，加大能源关键技术研发示范，培育能源创新中心和产业示范基地，打造政产学研用创新全链条，推动榆林能源化工产业向低碳化、高端化转型。创建以多能融合为特征、以能源技术革命为引领、以能源体制革命为支撑，协同推动能源供给和消费革命的能源革命创新示范区，建成多能融合科技创新试验田、国家重要的清洁能源供应地、高比例可再生能源示范城市和能源资源要素市场化配置改革先行区。

打造六大能化基地:**西安能源科技创新基地**。以科技创新为推动能源高质量发展的第一动力，发挥企业和科研院校在技术创新中的主体作用，依托“秦创原”创新驱动平台、国家级能源研发中心、重点企业研究院等，发挥科教资源优势，在西安及周边地区完善以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的能源技术创新体系。积极实施国家重大科技专项，建设国家级能源重点实验室，培育技术创新示范企业，加快能源新产品新技术研发，推动科技成果转化和产业化，打造能源科技创新和成果转化基地。**延安综合能源基地**。以资源集约化开

发利用为主线，推进延安煤炭、油气、可再生等能源资源绿色开发，提高资源利用效率。加强科技攻关，加大勘探投入，增加资源探明储量，有序释放煤炭先进产能，促进原油产量稳中有升，天然气产量稳步增长。大幅度提高可再生能源比例，积极扩大能源外送规模，推进能源智慧绿色发展。大力培育新技术新产业新业态，示范推进电能应用开发应用，打造国家重要的综合能源供应保障支点城市、能源绿色发展的领跑者城市和国家级能源应急储备基地。**关中能化装备制造服务基地**。以产业体系优化和技术服务升级为目标，积极拓展和延伸能源相关产业链条，在西安、宝鸡、渭南等地加快发展输变电、煤炭采选、油气钻采、新能源汽车、化工、储能电池、氢能、安全与应急等先进装备制造业，壮大节能环保产业。加强可再生能源、核能、智慧能源等重点领域能源装备自主创新，突破关键技术、材料和零部件等瓶颈，加快形成重大装备自主成套能力，打造集装备生产、节能环保改造、运维服务于一体的高端装备制造服务基地。**渭北多能互补示范基地**。以加速推进绿色清洁低碳转型为目标，因地制宜发展光伏、风电和综合能源利用，加快建设眉南碳达峰绿色转型示范基地、铜川风光储多产融合示范基地等。加快生物质能、地热能和地热伴生气开发利用，推广地源热泵清洁供暖，推进光储氢一体化示范项目建设，推动氢能应用试点示范，构建综合能源供应体系，形成多能互补、能源大数据、能源互联岛、新能源微电网等新业态新模式，打造黄河金三角地区能源绿色转型示范基地。**彬长旬麟清洁低碳能化基地**。以清洁化、高端化为主攻方向，探索差异化、一体化的资源综合利用新路径。在新民、长武、两亭等园区，发展适度规模的有机原料、高端精细化工、新材料、资源循环利用等产业，促进资源清洁高效利用。大力发

展农光互补、地热、氢能等产业，配套发展光伏组件等装备制造业和生产性服务业。推动彬州、长武、旬邑、麟游协同互补发展，连片打造清洁低碳能化基地。**陕南绿色能源基地。**以能源绿色发展为基调，加快镇巴页岩气开发，建成镇安抽水蓄能电站和白河、旬阳水电站，开工建设佛坪、勉县等抽水蓄能电站，推动汉江流域实现梯级联合调度。因地制宜发展分布式光伏发电和分散式风电，大力发展户用光伏，有序推动生物质发电项目建设，提高农村能源清洁利用水平。加强储能技术、材料和装备研发示范，推动储能产业发展，打造陕南绿色能源基地。

（四）陕西“十四五”能源发展重点工程

1、新能源跨越式发展工程

按照“集散并举、高效利用”的原则，统筹开发建设与市场消纳，依托陕北、关中丰富的新能源资源，扩大风电、光伏等新能源开发利用规模，大幅提高新能源在能源消费中的比重，促进新能源技术进步和成本降低。因地制宜发展生物质能发电，加快地热能开发利用和储能示范工程建设。推广新能源在工业领域的示范应用，加快能源供给清洁转型。2025年新能源装机规模达到5900万千瓦左右，超过2020年装机容量三倍。

2、新型电力系统工程

努力实现新能源大规模、高比例、多元化发展，按照优化存量、严控增量的原则，加快推进煤电由主体电源向基础性、调节性电源转变，积极开展煤电灵活性改造、节能降碳改造。加快电网设施升级，强化需求侧响应能力建设，提升智能调度运行水平，构建源网荷储协同消纳体系，建立健全适应新能源发展的市场机制。培育构建新型商

业模式，创新完善源网荷储一体化、增量配电业务、综合能源服务等新模式新业态。全面实施电力系统各环节的数字化升级改造，大幅提升系统整体技术水平和运行效率，实现源网荷双向安全高效互动。

3、油气增储上产工程

大力提升油气勘探开发力度，推动油气增储上产。按照多元开发、企地共赢的发展模式，加大致密气、页岩气、煤层气开采力度，强化资源战略接替。加快天然气干线管网建设，形成覆盖城镇区域的管网体系。提升油气储备能力，大力建设储气调峰设施，稳妥推进榆林煤制油气战略基地建设，建立产能和技术储备。建成以油气勘探、开采、输送、炼化、储备为一体的油气供给保障集群，油气生产当量超过6000万吨。

4、清洁能源外送工程

利用陕北丰富的风能、太阳能、煤炭等资源组合优势，积极扩大榆林、延安电力外送规模，开工建设陕西至河南、陕北至安徽等直流输电外送工程。按照源网荷储一体化开发模式，优化各类电源规模配比，结合送受端负荷特性，合理确定送电曲线，努力提高清洁能源占比和输电通道利用效率。力争“十四五”末形成外送能力超过3100万千瓦、外送电量1400亿千瓦时。

5、能源提效降碳工程

坚决落实能耗“双控”目标，以化石能源为重点合理控制能源消费总量，严控煤炭消费增长。加强产业布局和能耗“双控”衔接，严格控制高耗能项目规模和数量。对不符合国家产业规划、产业政策、“三线一单”、规划环评、产能置换、煤炭消费减量替代和污染物排放区域削减等要求的项目坚决停批、停建。加强重点领域节能降碳和能效

提升，新建项目全部执行国家先进能效标准，加快形成绿色生产生活方式。2025年，全省能源消费总量控制在1.51亿吨标准煤左右。

6、能源安全保障工程

以安全、高效、绿色为原则，持续优化煤炭产业结构，统筹生态环境承载力和煤炭资源赋存条件，合理控制煤炭开发强度，鼓励通过产能置换释放优质产能，推进资源接续的现代化矿井建设，推动大型煤矿智能化改造，打造一批绿色智能煤矿。

“十四五”关闭退出产能约2000万吨/年，到2025年全省煤炭产能增加到8亿吨以上，产量达到7.4亿吨。“十四五”严控新增煤电项目，通过煤炭等量替代适当增加支撑性电源和调节性电源，新增自用煤电装机控制在600万千瓦以内。

7、能源产业链延伸工程

坚持集约、高端、绿色的原则，充分发挥我省基础化工产业优势，以榆神、榆横、靖边能化园区为核心，积极推进煤炭分质利用、煤制芳经等示范工程及下游高端化学品生产；依托榆林、宝鸡、咸阳、商洛等高端材料产业园，加快有机硅材料、高性能树脂、特种橡胶及弹性体、高性能纤维及其复合材料、功能性膜材料、可降解材料、合成橡胶、工程塑料、电子化学品以及清洁油品、高性能润滑油等发展，实现从原料向材料转化、从大宗化学品向终端应用品拓展、从产业链中低端向高端迈进。

8、智慧能源示范工程

紧抓碳达峰、碳中和、能源革命、新一轮西部大开发及新基建契机，以能源互联网催生智慧能源产业，以一区（榆林能源革命创新示范区）、一基地（大西安能源科技创新基地）为引领，在全省推进分

布式能源发电、微电网建设、虚拟电厂、电动汽车、碳交易等智慧能源产业，实施新型电力系统、大规模高效储能、氢能和燃料电池、二氧化碳捕集利用和封存等一批智慧能源示范工程，实现信息产业和能源产业的深度融合，形成集源网荷储、互联网能源信息管理、能源监测预警等为一体的能源管理新体系。

9、高端能化装备制造工程

依托关中能化装备制造服务基地及西安高新区国家安全产业示范园、延安高新区国家应急产业示范基地，以输（配）变电、油气钻采输送、煤炭开采洗选、大型化工、新能源、节能等设备生产及电力、化工、矿山安全应急产业等为重点，实施装备制造、安全应急等产业链延伸工程。集中力量突破一批能源装备“卡脖子”关键技术，提升能源装备制造业自主研发及国产化替代水平，推动重大技术装备集成化、高端化发展。

10、氢能储能创新示范工程

按照“围绕产业链部署创新链，围绕创新链培育产业链”的总体要求，立足陕西产业基础，营造良好发展环境，吸引优质资源要素聚集，构建先进创新体系，打造齐备氢能产业链，依托技术创新、模式创新构建氢能产业核心竞争力，将氢能产业打造为引领传统能化产业升级，推动全省“碳达峰、碳中和”的新引擎。到 2025 年，陕西氢能产业链实现齐备发展，副产氢纯化、绿氢制备、氢原料应用技术国内领先；产业基础优势进一步做大做强，氢能成本竞争优势全国领先，基础设施与应用推广成效显著；形成涵盖技术研发、装备制造、示范应用的布局合理，各有侧重，协同发展的特色氢能产业生态雏形；市场发展初具规模，全产业链规模达千亿元。



3.2.2“十四五”产业结构政策梳理

加快推进产业结构调整，坚决遏制“两高”项目盲目发展，依法依规推动落实产能退出，发展战略性新兴产业，高技术产业，持续优化重点区域、流域产业布局，全面推进产业绿色低碳转型。

（一）提升制造业产业链现代化水平。

围绕全省重点产业链研究建立省级领导牵头的链长制，分行业做好产业链发展战略设计，围绕新一代信息技术、光伏、新材料、汽车、现代化工、生物医药等重点领域，编制产业链全图景规划，大力补齐产业链供应链短板，锻造产业链供应链长板，加快培育新兴产业链，

提升产业链整体竞争优势。支持省内企业加强协同发展、资源整合，以汽车、光伏、半导体、机床等为重点，着力提高本地配套率，实现上下游、产供销有效衔接。大力支持具备条件的省属企业“走出去”，充分利用国际国内两个市场两种资源，积极参与全球产业链供应链整合和治理，加大战略并购力度，不断提升产业链供应链竞争能级。

（二）推动传统产业转型升级。

立足产业升级和做大做强，坚持淘汰与改造提升并举，着力推动食品加工、石油（煤炭）化工、冶金钢铁、建筑建材、纺织服装等传统产业向高端化、智能化、绿色化发展，着力提升发展效率和效益。实施传统产业智能化改造和转型升级专项行动，加强数字赋能，推动新一代信息技术与传统产业深度融合。实施传统产业转型升级改造专项行动，加大企业设备更新和技术改造力度，力争五年实施项目 4000 个以上。实施传统制造业绿色改造升级行动计划，加快行业结构低碳化、制造过程清洁化、资源能源利用高效化、园区建设绿色化，构建覆盖全产业链和全生命周期的绿色制造体系。实施传统企业发展壮大行动，支持大企业做强做优，加大行业兼并重组力度，变革生产、管理和营销模式，探索“制造+服务”“产品+服务”转型，培育一批竞争力强的一流企业，支持有条件的企业上市融资。实施老工业基地转型发展行动，推动老工业区改造升级，加快振兴发展。

（三）实施煤化工高端化精细化发展行动。

加快煤炭清洁高效转化，推进煤油气盐综合利用，延伸高端能化产业链，强化多能融合，全面提升煤化工产业链现代化水平。积极推进煤炭分级分质梯级利用、煤油共炼示范等，加速培育高端化、差异化的聚烯烃“产品树”，合理控制煤制乙二醇规模，加快突破煤制芳烃

(PX)技术瓶颈,积极推动向下游聚酯、工程塑料、特种橡胶、高分子复合材料等精细化工和高附加值产业链延伸,带动相关高端专用化学品和医药中间体、高端碳材料、服装面料、化纤包装等产业一体化发展。

(四) 加快推进产业结构调整。

坚决遏制“两高”项目盲目发展,依法依规推动落后产能退出,发展战略性新兴产业、高技术产业,持续优化重点区域、流域产业布局,全面推进产业绿色低碳转型。推动传统行业绿色低碳发展。加快钢铁、有色金属、石化、化工、建材、纺织、轻工、机械等行业实施绿色化升级改造,推进城镇人口密集区危险化学品生产企业搬迁改造。落实能耗“双控”目标和碳排放强度控制要求,推动重工业减量化、集约化、绿色化发展。对于市场已饱和的“两高”项目,主要产品设计能效水平要对标行业能耗限额先进值或国际先进水平。严格执行钢铁、水泥、平板玻璃、电解铝等行业产能置换政策,严控尿素、磷铵、电石、烧碱、黄磷等行业新增产能,新建项目应实施产能等量或减量置换。强化环保、能耗、水耗等要素约束,依法依规推动落后产能退出。壮大绿色环保战略性新兴产业。着力打造能源资源消耗低、环境污染少、附加值高、市场需求旺盛的产业发展新引擎,加快发展新能源、新材料、新能源汽车、绿色智能船舶、绿色环保、高端装备、能源电子等战略性新兴产业,带动整个经济社会的绿色低碳发展。推动绿色制造领域战略性新兴产业融合化、集群化、生态化发展,做大做强一批龙头骨干企业,培育一批专精特新“小巨人”企业和制造业单项冠军企业。

陕西省“十四五”先进制造业布局图

构建以西安为中心，以宝鸡为副中心，横贯关中平原的先进制造业大走廊，打造我省工业发展的“主脊梁”

西安市、咸阳市、宝鸡市
制造业



渭南市、铜川市、杨凌示范区、西咸新区
先进制造业

陕西省“十四五”战略性新兴产业布局图



第四章 能源结构、产业结构及环境质量相关性分析

4.1 能源结构与环境空气质量之间的关系

在城市化进程中，能源消费过程的环境问题逐步得到关注和重视，环境保护已成为能源消费和经济发展过程中需要考虑的一个重要因素。基于相关研究，70%以上的环境问题直接或者间接与能源利用有关，本小结主要通过建立一个能够反映能源消费结构和环境质量的关联模型，定性分析陕西省能源消费结构对于大气环境质量的影响。

4.1.1 能源消费与环境质量的关联模型

灰色系统理论 GST(Grey System Theory)是我国控制论专家邓聚龙教授于 1982 年创立的，其主要内容包括灰色建模、灰色预测、灰色统计、灰色关联分析、灰色聚类、灰色决策和灰色控制。灰色关联分析是灰色系统分析的一个重要组成部分，它是对一系统动态发展变化态势定量描述和比较分析的一种方法，而关联度则是描述系统发展过程中各个因素之间相对变化的情况和相关程度。灰色关联分析实质是对根据因素变化的时间序列数据，进行几何关系比较，旨在判断系统发展过程中的主要影响因素，并对其影响程度的大小进行定量测定。其中影响程度的大小用关联度表示，关联度数值越大，表明影响程度越大；反之，则表明影响程度小。因此，可以通过影响因素关联度排序来找出影响关键变量变化发展各个因素的序列。通过关联度分析，可以准确的反映各个因素的远近次序和空间分布规律，为分析和评价打好基础。

基于能源消费对环境的影响主要通过废水、废气等排放造成的，本研究重点讨论 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 年均浓度和环境空气综合指数。运用灰色关系分析法，就原煤、焦炭、原油、柴油、汽油、天然气油等消

费量对陕西省大气环境质量因子的影响进行测定，主要步骤如下：

- (a) 选取反映系统行为特征的数据序列，即确定参考 $\{X_0(t), t=1, 2, \dots, n\}$ 和比较数列 $\{X_i(t), t=1, 2, \dots, m\}$ 。
- (b) 对数据进行无量纲化处理。因为系统中各因素的物理意义不同，数据的量纲不同，为了便于处理，故要对数据序列进行无量纲化处理。
- (c) 计算在时刻 $t=j$ 时，参考数据与比较数列的灰色关联系数。

$$\xi(i) = \frac{\min_j \min_i |x_0(j) - x_i(j)| + \rho \max_j \max_i |x_0(j) - x_i(j)|}{|x_0(j) - x_i(j)| + \rho \max_j \max_i |x_0(j) - x_i(j)|}$$

公式中的 ρ 为分辨系数， $\rho \in (0, 1)$ ，通常取 0.5。

- (d) 在求出灰色关系系数的基础上，计算参考列和比较列之间的关联度。

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \xi(i), (i = 1, 2, \dots, m)$$

4.1.2 灰色关联度计算

本研究选取 2016-2020 年陕西省主要能源消费量以及大气环境质量因子为研究对象，研究了陕西省环境质量与能源消费的关联度。其中 X 序列为体系母指标，即研究目标；Y 序列为体系子指标，即影响 X 序列的因素。利用 DPS 软件求解关联系数，经过系统分析后，得到如下结果：

表 4.1-1 陕西省主要能源品种消费和影响环境指标的灰色关联度矩阵表

关联矩阵	原煤 Y1	焦炭 Y2	原油 Y3	汽油 Y4	柴油 Y5	天然气 Y6
PM _{2.5} 年均浓度 X1	0.6284	0.7141	0.6106	0.5173	0.7042	0.5008
SO ₂ 年均浓度 X2	0.5529	0.5891	0.5596	0.5111	0.5692	0.5093
NO ₂ 年均浓度 X3	0.6237	0.6761	0.6617	0.5668	0.7767	0.4395
环境空气综合指数 X4	0.6115	0.6963	0.6496	0.5865	0.7882	0.4770

4.1.3 关联度分析

从上表可以看出，总体上陕西省主要能源品种的能源消费量与环境质量指标的关联程度较高。这些能源的消费对环境质量的影响都是比较显著，通过计算得出的灰色关联度矩阵表，可以将各能源品种的消费对大气主要污染物排放量和环境空气综合指数的影响程度分别进行灰色关联排序结果如下：

PM_{2.5} 年均浓度： $\gamma(\text{焦炭}) > \gamma(\text{柴油}) > \gamma(\text{原煤}) > \gamma(\text{原油}) > \gamma(\text{汽油}) > \gamma(\text{天然气})$ 。从数值上看，焦炭、柴油与 PM_{2.5} 年均浓度的关联度较大，超过 0.6，主要是因为焦炭在燃烧过程中会产生大量的颗粒物，导致环境空气 PM_{2.5} 浓度增加；柴油作为载货汽车的主要燃料，据相关研究机动车等移动源对细颗粒物（PM_{2.5}）的贡献高达 10%-50%，而柴油货车又是机动车污染排放的主要贡献者，其排放的氮氧化物和颗粒物分别占机动车排放总量的 57.3% 和 77.8%。故柴油消费量与 PM_{2.5} 年均浓度关联度较高。天然气消费量与 PM_{2.5} 年均浓度关联度较小，对 PM_{2.5} 年均浓度影响较小。

SO₂ 年均浓度： $\gamma(\text{焦炭}) > \gamma(\text{柴油}) > \gamma(\text{原油}) > \gamma(\text{原煤}) > \gamma(\text{汽油}) > \gamma(\text{天然气})$ ；从数值上看，SO₂ 年均浓度与各类能源的相关度均比较小。虽然煤炭燃烧会产生大量的 SO₂，但经过高效率的末端治理措施，排放的 SO₂ 大幅减少，故煤炭消费量与 SO₂ 年均浓度表现为较弱的关联度。

NO₂ 年均浓度： $\gamma(\text{柴油}) > \gamma(\text{焦炭}) > \gamma(\text{原油}) > \gamma(\text{原煤}) > \gamma(\text{汽油}) > \gamma(\text{天然气})$ ；从数值看，焦炭、原油、柴油与 NO₂ 年均浓度关联度较大，均高于 0.7，天然气对 NO₂ 年均浓度影响最小。

环境空气综合指数： $\gamma(\text{柴油}) > \gamma(\text{焦炭}) > \gamma(\text{原油}) > \gamma(\text{原煤})$

煤) > γ (汽油) > γ (天然气)。从排序来看, 柴油、焦炭对环境空气综合指数影响较大, 天然气对环境空气综合指数影响最小。

4.2 产业结构与环境空气质量之间的关系

典型相关分析(Canonical Correlation Analysis)于1936年首先由 Hotelling 提出, 是从整体出发来研究两组变量间相关关系的一种多元统计分析方法。即根据变量间的相关关系, 寻找一个或少数几个综合变量(变量的线性组合)来替代原变量, 用这些指标的相关关系来表示原来两组变量的相关关系, 从而简化变量。提取时要求第一对综合变量间的相关性最大, 第二对次之, 依此类推。

本研究采用典型相关分析法对产业结构要素与大气环境质量要素两变量之间的关系。产业结构要素变量组包括一产产值 X1、二产产值 X2、三产产值 X3、人均 GDP X4, 大气环境质量要素变量组包括 PM₁₀ 年均浓度 Y1、PM_{2.5} 年均浓度 Y2、SO₂ 年均浓度 Y3、NO₂ 年均浓度 Y4、CO 日均浓度 Y5、O₃ 日最大 8 小时浓度均值 Y6。选取陕西省各地市 2015-2020 年产业结构要素和环境空气质量要素变量数据, 数据分析通过 SPSS26.0 软件进行。

(1) 典型相关系数与检验

如表 4.2-1 所示, 在 5% 的显著性水平下, 4 组典型变量中前 2 组典型变量之间相关关系显著, 相关系数分别为 0.750、0.593。产业结构要素变量与大气环境质量要素变量影响明显, 能够通过产业结构要素组的典型变量来解释大气环境质量要素变量组的典型变量。

表 4.2-1 典型相关系数与显著性检验值结果

	相关性	特征值	威尔克统计	F	分子自由度	分母自由度	显著性
1	0.750	1.285	0.203	4.747	24.000	196.571	0.000
2	0.593	0.543	0.464	3.376	15.000	157.753	0.000
3	0.521	0.372	0.716	2.640	8.000	116.000	0.011
4	0.135	0.018	0.982	0.363	3.000	59.000	0.780

(2) 典型相关模型

选取标准化的典型变量系数反映相关变量在典型函数中的相对作用，建立产业结构要素变量与大气环境质量要素变量的典型相关模型。

$$U1=-0.852X1+1.086X2-0.820X3-0.998X4 \quad (\text{式 4.2-1})$$

$$V1=0.356Y1-0.050Y2+0.628Y3-0.995Y4-0.146Y5-0.112Y6 \quad (\text{式 4.2-2})$$

$$U1=-0.729X1+1.705 X2-1.320X3+0.100X4 \quad (\text{式 4.2-3})$$

$$V1=0.436Y1-1.546Y2-0.004Y3-0.176Y4+0.330Y5+0.568Y6 \quad (\text{式 4.2-4})$$

第一对典型变量分析结果表明，二产产值和人均 GDP 对于产业结构要素的贡献较大，SO₂、NO₂ 年均浓度值对于大气环境质量要素的影响作用较大。第二对典型变量分析结果表明，二产产值和三产产值对于产业结构的要素贡献较大，PM_{2.5} 年均浓度值和 O₃ 日最大 8 小时浓度值均值对于大气环境质量要素的影响作用较大。

(3) 典型结构分析

典型结构分析通过计算典型相关系数(即载荷系数)来衡量典型变量的代表性，其中典型载荷反映典型变量对原始变量的解释能力，交叉载荷则体现典型变量对另一组原始变量的解释能力，载荷系数绝对值越大，意味着典型变量的代表性越好。

表 4.2-2 典型结构分析结果

变量	典型载荷		交叉载荷		变量	典型载荷		交叉载荷	
	U1	U2	V1	V2		V1	V2	U1	U2
X1	-0.757	-0.282	-0.568	-0.168	Y1	-0.321	-0.645	-0.241	-0.383
X2	-0.822	0.264	-0.616	0.157	Y2	-0.232	-0.860	-0.174	-0.510
X3	-0.695	-0.207	-0.521	-0.123	Y3	0.403	0.170	0.302	0.101
X4	-0.680	0.699	-0.510	0.415	Y4	-0.802	-0.074	-0.601	-0.044
					Y5	0.135	0.031	0.101	0.019
					Y6	-0.709	-0.126	-0.532	-0.075

第一对典型变量中，一产产值、二产产值对于 NO₂ 年均浓度值、O₃ 日最大 8 小时浓度值均值影响作用较大，且为正相关。第二对典型变量中，人均 GDP 对 PM_{2.5} 年均浓度值影响作用较大，为负相关。

(4) 典型冗余分析

检验典型相关分析结果的另一个指标是典型冗余指数，即分析每组变量提取出来的典型变量所能解释或预测跟它相应的那组变量的能力大小，是对构建的典型相关模型解释能力的判定。

表 4.2-3 典型冗余度分析结果

典型变量	典型相关系数的平方	产业结构要素变量组的方差被自身典型变量解释程度的方差比率	产业结构要素变量组的方差被大气环境质量要素变量组典型变量解释程度的方差比率	大气环境质量要素变量组的方差被自身典型变量解释程度的方差比率	大气环境质量要素变量组的方差被产业结构要素变量组典型变量解释程度的方差比率
1	0.562	0.548	0.308	0.247	0.139
2	0.352	0.170	0.060	0.201	0.071

4.3 能源结构、产业结构、环境空气质量之间的关系

本部分内容通过 Eviews11.0 建立 VAR 模型，对陕西省能源结构、产业结构变动对大气环境质量指标的动态演进过程进行分析。首先通过 ADF 检验法、协整分析对所有变量进行平稳性检验，随后运用格兰杰因果检验法考察能源结构、产业结构变动与大气环境质量之间的逻辑因果关系，通过脉冲响应分析能源结构、产业结构变动对大气环境质量水平的驱动方向。

4.3.1 能源消费结构与环境质量相关性分析

(1) SO₂ 与能源消费结构的关系

将 SO₂ 作为大气环境质量的衡量指标，研究 SO₂ 和电力、煤炭、天然气、油品的相关关系，分别为单位根、协整、格兰杰、VAR 的脉冲响应。

(一) 单位根检验

电力变量的单位根一阶差分

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on D(DL)		
Null Hypothesis: D(DL) has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=1)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.004268	0.0377
Test critical values:	1% level	-5.604618
	5% level	-3.694851
	10% level	-2.982813

煤炭变量的单位根一阶差分

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on D(MT)		
Null Hypothesis: D(MT) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=1)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.172873	0.0019
Test critical values:	1% level	-3.007406
	5% level	-2.021193
	10% level	-1.597291

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.
Warning: Probabilities and critical values calculated for 20 observations and may not be accurate for a sample size of 6

天然气变量的单位根一阶差分

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on D(TRQ)		
Null Hypothesis: D(TRQ) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=1)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.197578	0.0088
Test critical values:	1% level	-3.109582
	5% level	-2.043968
	10% level	-1.597318

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.
Warning: Probabilities and critical values calculated for 20 observations and may not be accurate for a sample size of 5

油品变量的单位根一阶差分

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on YP		
Null Hypothesis: YP has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=1)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.841344	0.0662
Test critical values:		
1% level	-2.937216	
5% level	-2.006292	
10% level	-1.598068	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Warning: Probabilities and critical values calculated for 20 observations and may not be accurate for a sample size of 7		

SO₂变量的单位根一阶差分

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on D(SO2)		
Null Hypothesis: D(SO2) has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=1)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.181967	0.0139
Test critical values:		
1% level	-5.604618	
5% level	-3.694851	
10% level	-2.982813	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Warning: Probabilities and critical values calculated for 20 observations and may not be accurate for a sample size of 5		

(二) 协整检验

电力和 SO₂ 的协整

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.606639	10.37092	15.49471	0.2533
At most 1	0.422202	3.839722	3.841466	0.0500

Trace test indicates no cointegration at the 0.05 level
* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.606639	6.531197	14.26460	0.5460
At most 1	0.422202	3.839722	3.841466	0.0500

煤炭和 SO₂ 的协整

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.979991	35.27896	15.49471	0.0000
At most 1 *	0.676414	7.898037	3.841466	0.0049

Trace test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 **MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.979991	27.38092	14.26460	0.0003
At most 1 *	0.676414	7.898037	3.841466	0.0049

天然气和 SO₂ 的协整

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.699222	11.47139	15.49471	0.1841
At most 1	0.354279	3.061710	3.841466	0.0802

Trace test indicates no cointegration at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 **MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.699222	8.409679	14.26460	0.3386
At most 1	0.354279	3.061710	3.841466	0.0802

油品和 SO₂ 的协整

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.668515	9.888756	15.49471	0.2894
At most 1	0.265457	2.159550	3.841466	0.1417

Trace test indicates no cointegration at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 **MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.668515	7.729206	14.26460	0.4069
At most 1	0.265457	2.159550	3.841466	0.1417

(三) 格兰杰因果检验

电力和 SO₂ 的格兰杰因果检验

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
SO2 does not Granger Cause DL	7	5.64128	0.0764
DL does not Granger Cause SO2		1.13330	0.3471

煤炭和 SO₂ 的格兰杰因果检验

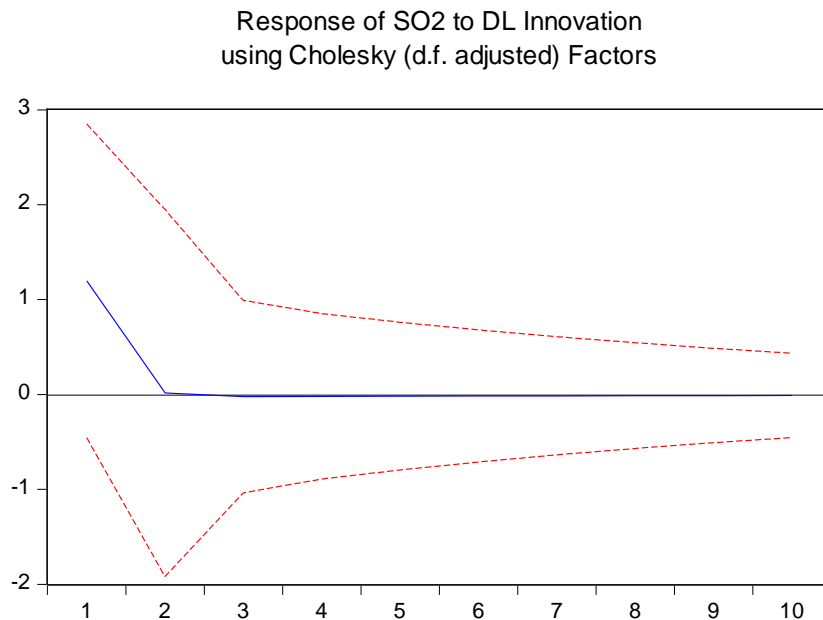
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
SO2 does not Granger Cause MT	7	0.28929	0.6192
MT does not Granger Cause SO2		11.8229	0.0263

天然气和 SO₂ 的格兰杰因果检验

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
TRQ does not Granger Cause SO2	6	4.56795	0.3141
SO2 does not Granger Cause TRQ		434.242	0.0339

(四) VAR 模型的脉冲响应

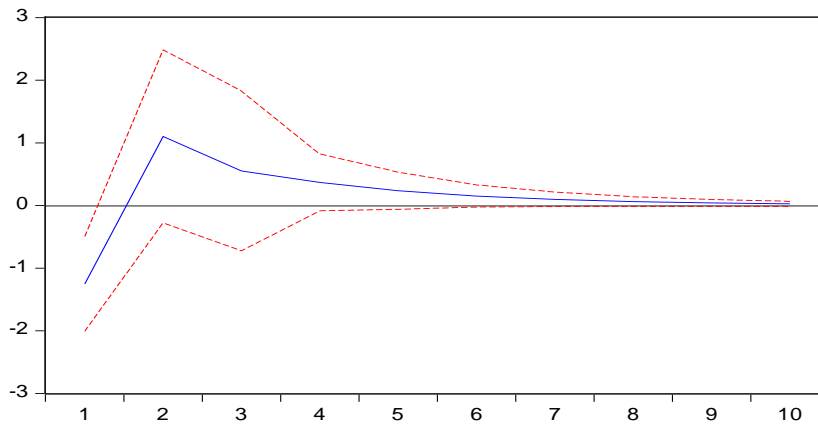
电力和 SO₂ 的脉冲响应和方差分解



Variance Decomposition of SO2:			
Period	S.E.	DL	SO2
1	2.345393	26.10065	73.89935
2	2.535894	22.33107	77.66893
3	2.668917	20.16714	79.83286
4	2.770214	18.72482	81.27518
5	2.848451	17.71458	82.28542
6	2.909369	16.98376	83.01624
7	2.957077	16.44267	83.55733
8	2.994600	16.03514	83.96486
9	3.024207	15.72424	84.27576
10	3.047624	15.48473	84.51527

煤炭和 SO₂ 的脉冲响应和方差分解

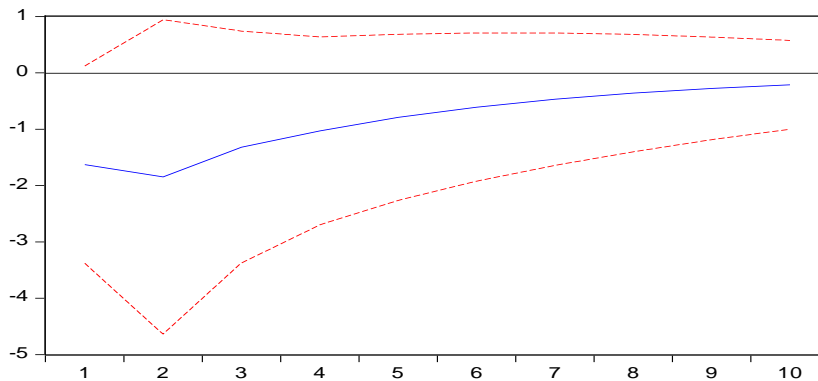
Response of SO2 to MT Innovation using Cholesky (d.f. adjusted) Factors



Variance Decomposition of SO2:			
Period	S.E.	MT	SO2
1	1.335893	87.82123	12.17877
2	1.748572	91.02867	8.971332
3	1.840492	91.16292	8.837080
4	1.879540	91.23609	8.763911
5	1.895287	91.26324	8.736758
6	1.901752	91.27425	8.725747
7	1.904413	91.27875	8.721251
8	1.905509	91.28060	8.719403
9	1.905962	91.28136	8.718642
10	1.906148	91.28167	8.718328

天然气和 SO₂ 的脉冲响应和方差分解

Response of SO2 to TRQ Innovation using Cholesky (d.f. adjusted) Factors



Period	S.E.	TRQ	SO2
1	7.074801	39.65465	60.34535
2	7.132877	49.67568	50.32432
3	7.202205	51.23658	48.76342
4	7.231523	52.01563	47.98437
5	7.250120	52.38851	47.61149
6	7.260924	52.59092	47.40908
7	7.267333	52.70413	47.29587
8	7.271119	52.76907	47.23093
9	7.273359	52.80680	47.19320
10	7.274684	52.82889	47.17111

(2) NO₂ 与能源消费结构的关系

(一) 单位根检验

NO₂ 单位根二阶差分后显著

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on D(NO2,2)		
Null Hypothesis: D(NO2,2) has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=1)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.663219	0.0190
Test critical values:		
1% level	-3.109582	
5% level	-2.043968	
10% level	-1.597318	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.		
Warning: Probabilities and critical values calculated for 20 observations and may not be accurate for a sample size of 5		

(二) 协整检验

电力、煤炭、天然气、油品与 NO₂ 都不存在协整关系。

电力和 NO₂ 的协整

Johansen Cointegration Test				
Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.298161	2.485798	15.49471	0.9854
At most 1	0.001062	0.007438	3.841466	0.9308

Trace test indicates no cointegration at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 **MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.298161	2.478360	14.26460	0.9753
At most 1	0.001062	0.007438	3.841466	0.9308

煤炭和 NO₂ 的协整

Johansen Cointegration Test				
Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.981982	30.07142	15.49471	0.0002
At most 1	0.243846	1.956570	3.841466	0.1619

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 **MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.981982	28.11485	14.26460	0.0002
At most 1	0.243846	1.956570	3.841466	0.1619

天然气和 NO₂ 的协整

Johansen Cointegration Test				
Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.635486	9.222566	15.49471	0.3452
At most 1	0.265319	2.158233	3.841466	0.1418

Trace test indicates no cointegration at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 **MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.635486	7.064333	14.26460	0.4816
At most 1	0.265319	2.158233	3.841466	0.1418

油品和 NO₂ 的协整

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.939114	21.39108	15.49471	0.0057
At most 1	0.226720	1.799802	3.841466	0.1797

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 **MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.939114	19.59128	14.26460	0.0065
At most 1	0.226720	1.799802	3.841466	0.1797

(3) PM_{2.5} 与能源消费结构的关系

(一) 单位根检验

PM_{2.5} 变量的单位根一阶差分后通过单位根检验。

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on D(PM25)		
Null Hypothesis: D(PM25) has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=1)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.913565	0.0330
Test critical values: 1% level	-5.119808	
5% level	-3.519595	
10% level	-2.898418	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.
 Warning: Probabilities and critical values calculated for 20 observations and may not be accurate for a sample size of 6

(二) 协整检验

煤炭、天然气、油品都与 PM_{2.5} 存在协整关系。

电力和 PM_{2.5} 的协整

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.996200	39.84971	15.49471	0.0000
At most 1	0.113164	0.840664	3.841466	0.3592

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.996200	39.00905	14.26460	0.0000
At most 1	0.113164	0.840664	3.841466	0.3592

煤炭和 PM_{2.5} 的协整

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.973745	29.64490	15.49471	0.0002
At most 1 *	0.448481	4.165557	3.841466	0.0412

Trace test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 **MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.973745	25.47934	14.26460	0.0006
At most 1 *	0.448481	4.165557	3.841466	0.0412

天然气和 PM_{2.5} 的协整

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.956379	27.40466	15.49471	0.0005
At most 1 *	0.542849	5.479187	3.841466	0.0192

Trace test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.956379	21.92547	14.26460	0.0026
At most 1 *	0.542849	5.479187	3.841466	0.0192

油品和 PM_{2.5} 的协整

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.960047	28.41857	15.49471	0.0003
At most 1 *	0.568182	5.878262	3.841466	0.0153

Trace test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.960047	22.54031	14.26460	0.0020
At most 1 *	0.568182	5.878262	3.841466	0.0153

(三) 格兰杰因果检验

煤炭和 PM_{2.5} 的格兰杰因果检验

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
PM25 does not Granger Cause MT	7	0.00479	0.9481
MT does not Granger Cause PM25		2.00913	0.2293

天然气和 PM_{2.5} 的格兰杰因果检验

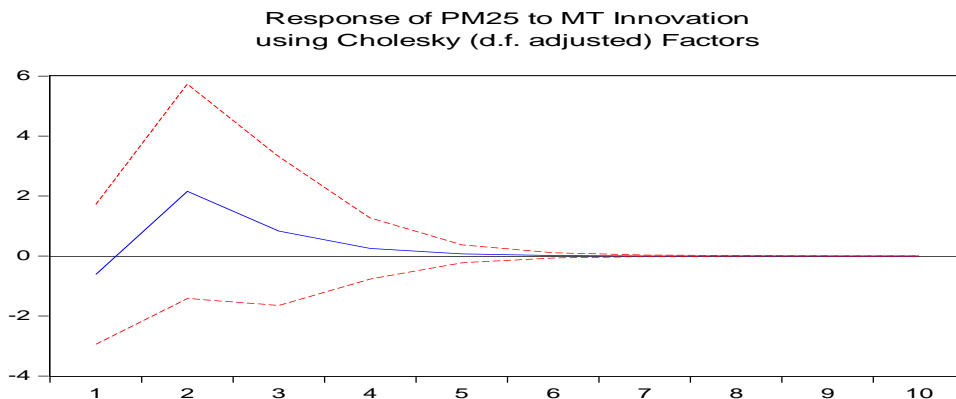
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
PM25 does not Granger Cause TRQ	7	0.52641	0.5083
TRQ does not Granger Cause PM25		0.23983	0.6500

油品和 PM_{2.5} 的格兰杰因果检验

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
PM25 does not Granger Cause YP	7	2.39427	0.1967
YP does not Granger Cause PM25		0.01246	0.9165

(四) VAR 模型的脉冲响应

煤炭和 PM_{2.5} 的脉冲响应和方差分解

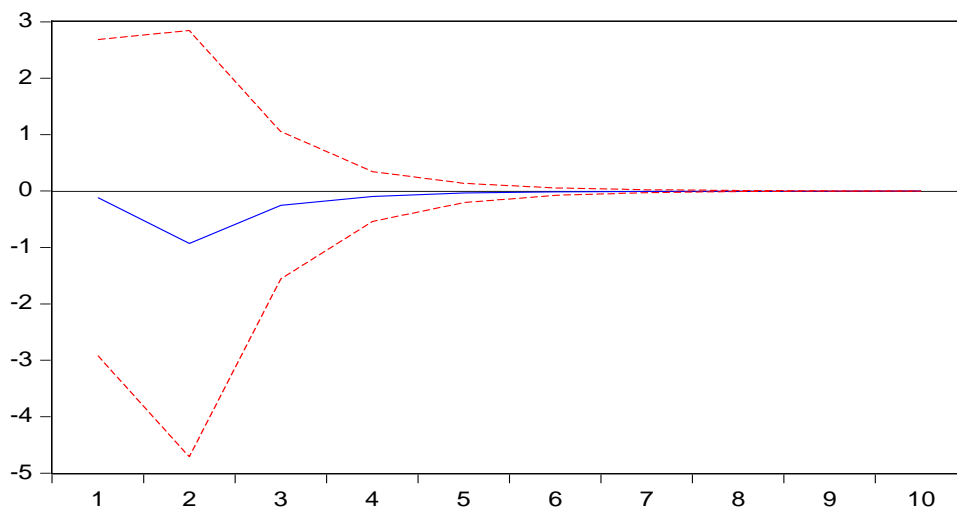


Period	S.E.	MT	PM25
1	168.0259	3.850666	96.14933
2	170.4471	34.13078	65.86922
3	170.5487	37.04206	62.95794
4	170.5543	37.29503	62.70497
5	170.5546	37.31484	62.68516
6	170.5546	37.31632	62.68368
7	170.5547	37.31643	62.68357
8	170.5547	37.31644	62.68356
9	170.5547	37.31644	62.68356
10	170.5547	37.31644	62.68356

Cholesky Ordering: MT PM25

天然气和 PM_{2.5} 的脉冲响应和方差分解

Response of PM25 to TRQ Innovation using Cholesky (d.f. adjusted) Factors

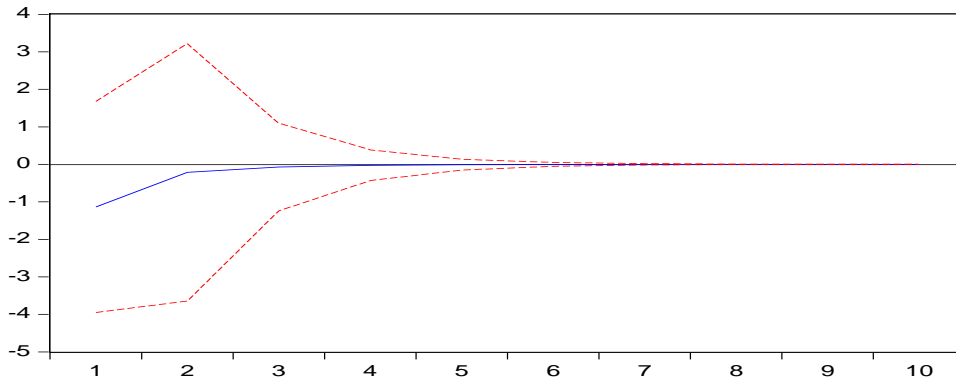


Period	S.E.	TRQ	PM25
1	7.112711	0.099356	99.90064
2	7.138085	5.507468	94.49253
3	7.140686	5.815539	94.18446
4	7.140919	5.863007	94.13699
5	7.140952	5.868849	94.13115
6	7.140956	5.869613	94.13039
7	7.140956	5.869712	94.13029
8	7.140956	5.869724	94.13028
9	7.140956	5.869726	94.13027
10	7.140956	5.869726	94.13027

Cholesky Ordering: TRQ PM25

油品和 PM_{2.5} 的脉冲响应和方差分解

Response of PM25 to YP Innovation
using Cholesky (d.f. adjusted) Factors



Period	S.E.	YP	PM25
1	58.27042	8.898671	91.10133
2	59.31077	8.319127	91.68087
3	59.47445	8.246027	91.75397
4	59.49679	8.236270	91.76373
5	59.49981	8.234955	91.76504
6	59.50022	8.234778	91.76522
7	59.50027	8.234754	91.76525
8	59.50028	8.234751	91.76525
9	59.50028	8.234750	91.76525
10	59.50028	8.234750	91.76525

Cholesky Ordering: YP PM25

(4) O₃ 与能源消费结构的关系

(一) 单位根检验

O₃ 变量的单位根一阶差分后通过单位根检验

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.233373	0.0308
Test critical values:		
1% level	-5.604618	
5% level	-3.694851	
10% level	-2.982813	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Warning: Probabilities and critical values calculated for 20 observations and may not be accurate for a sample size of 5

(二) 协整检验

天然气和油品与 O₃ 之间存在协整关系。

电力和 O₃ 的协整

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.961401	23.12952	15.49471	0.0029
At most 1	0.048479	0.347858	3.841466	0.5553

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.961401	22.78166	14.26460	0.0018
At most 1	0.048479	0.347858	3.841466	0.5553

煤炭和 O₃ 的协整

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.957156	24.19476	15.49471	0.0019
At most 1	0.263762	2.143411	3.841466	0.1432

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.957156	22.05135	14.26460	0.0024
At most 1	0.263762	2.143411	3.841466	0.1432

天然气和 O₃ 的协整

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.839509	16.56859	15.49471	0.0343
At most 1	0.415747	3.761947	3.841466	0.0524

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.839509	12.80664	14.26460	0.0839
At most 1	0.415747	3.761947	3.841466	0.0524

油品和 O₃ 的协整

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.942811	25.07347	15.49471	0.0014
At most 1 *	0.513504	5.043681	3.841466	0.0247

Trace test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 **MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.942811	20.02979	14.26460	0.0055
At most 1 *	0.513504	5.043681	3.841466	0.0247

(三) 格兰杰因果检验

天然气和 O₃ 的格兰杰因果检验

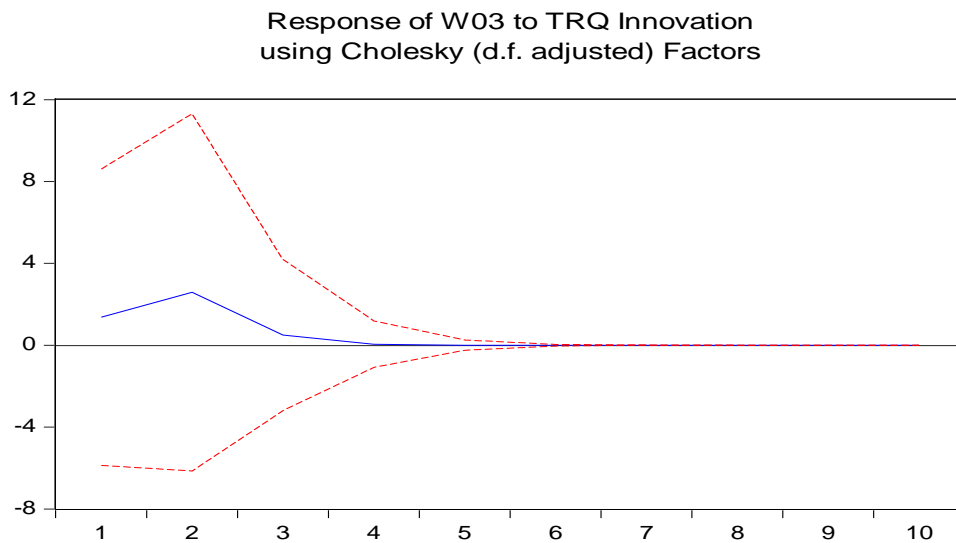
Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
W03 does not Granger Cause TRQ	7	0.02925	0.8725
TRQ does not Granger Cause W03		0.37555	0.5731

油品和 O₃ 的格兰杰因果检验

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
W03 does not Granger Cause YP	7	1.47188	0.2918
YP does not Granger Cause W03		7.50812	0.0519

(四) VAR 模型的脉冲响应

天然气和 O₃ 的脉冲响应和方差分解

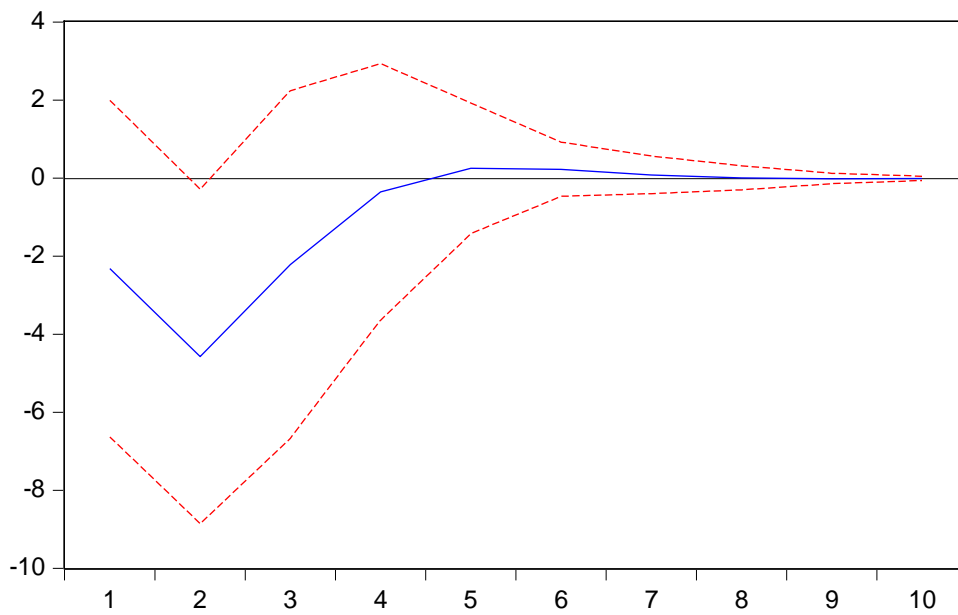


Period	S.E.	TRQ	W03
1	7.538759	2.019689	97.98031
2	7.634256	8.594879	91.40512
3	7.635085	8.819628	91.18037
4	7.635090	8.821861	91.17814
5	7.635091	8.821860	91.17814
6	7.635091	8.821861	91.17814
7	7.635091	8.821861	91.17814
8	7.635091	8.821861	91.17814
9	7.635091	8.821861	91.17814
10	7.635091	8.821861	91.17814

Cholesky Ordering: TRQ W03

油品和 O₃ 的脉冲响应和方差分解

Response of W03 to YP Innovation using Cholesky (d.f. adjusted) Factors



Period	S.E.	YP	W03
1	62.99057	15.30370	84.69630
2	68.19135	46.37029	53.62971
3	68.54502	50.26456	49.73544
4	68.70930	50.11171	49.88829
5	68.76668	50.13259	49.86741
6	68.77311	50.17173	49.82827
7	68.77381	50.17525	49.82475
8	68.77424	50.17479	49.82521
9	68.77434	50.17497	49.82503
10	68.77435	50.17504	49.82496

Cholesky Ordering: YP W03

4.3.2 产业结构与环境质量相关性分析

(一) 单位根检验

产业结构变量的单位根一阶差分后通过单位根检验。

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.739106	0.0200
Test critical values:		
1% level	-5.604618	
5% level	-3.694851	
10% level	-2.982813	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Warning: Probabilities and critical values calculated for 20 observations and may not be accurate for a sample size of 5

(二) 协整检验

产业结构与 SO₂、PM_{2.5} 之间存在协整关系。

产业结构和 SO₂ 的协整

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.778905	14.38388	15.49471	0.0730
At most 1	0.420552	3.819754	3.841466	0.0506

Trace test indicates no cointegration at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.778905	10.56413	14.26460	0.1775
At most 1	0.420552	3.819754	3.841466	0.0506

产业结构和 NO₂ 的协整

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.692193	8.347468	15.49471	0.4290
At most 1	0.014113	0.099497	3.841466	0.7524

Trace test indicates no cointegration at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None	0.692193	8.247971	14.26460	0.3540
At most 1	0.014113	0.099497	3.841466	0.7524

产业结构和 PM_{2.5} 的协整

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.969903	27.34839	15.49471	0.0005
At most 1	0.332073	2.825035	3.841466	0.0928

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 **MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.969903	24.52335	14.26460	0.0009
At most 1	0.332073	2.825035	3.841466	0.0928

产业结构和 O₃ 的协整

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.988650	33.63259	15.49471	0.0000
At most 1	0.278289	2.282915	3.841466	0.1308

Trace test indicates 1 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level
 * denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level
 **MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.988650	31.34968	14.26460	0.0000
At most 1	0.278289	2.282915	3.841466	0.1308

(三) 格兰杰因果检验

产业结构和 SO₂ 的格兰杰因果检验

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
SO2 does not Granger Cause CY	7	7.97317	0.0476
CY does not Granger Cause SO2		0.93432	0.3885

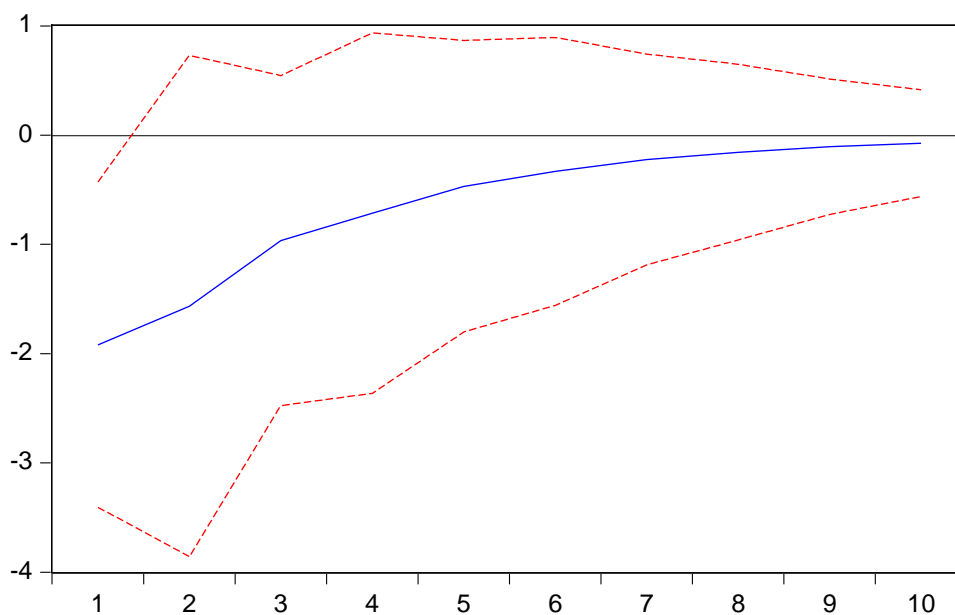
产业结构和 PM_{2.5} 的格兰杰因果检验

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
PM25 does not Granger Cause CY	6	1110.29	0.0212
CY does not Granger Cause PM25		3.99919	0.3334

(四) VAR 模型的脉冲响应

产业结构和 SO₂ 的脉冲响应和方差分解

Response of SO₂ to CY Innovation
using Cholesky (d.f. adjusted) Factors

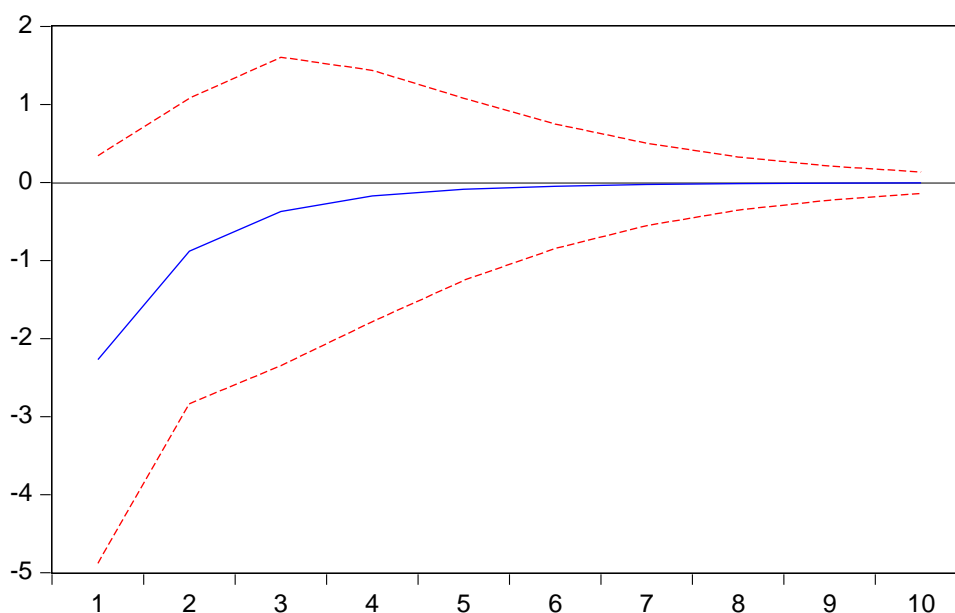


Period	S.E.	CY	SO ₂
1	0.028805	64.35320	35.64680
2	0.069519	39.02766	60.97234
3	0.072468	39.61327	60.38673
4	0.076401	38.68916	61.31084
5	0.077322	38.66436	61.33564
6	0.078005	38.54770	61.45230
7	0.078244	38.52736	61.47264
8	0.078382	38.50765	61.49235
9	0.078439	38.50159	61.49841
10	0.078469	38.49773	61.50227

Cholesky Ordering: CY SO₂

产业结构和 PM_{2.5} 的脉冲响应和方差分解

Response of PM25 to CY Innovation
using Cholesky (d.f. adjusted) Factors



Period	S.E.	CY	PM25
1	0.042606	35.51667	64.48333
2	0.051934	36.23432	63.76568
3	0.055430	36.47683	63.52317
4	0.056748	36.55150	63.44850
5	0.057237	36.57466	63.42534
6	0.057417	36.58214	63.41786
7	0.057483	36.58465	63.41535
8	0.057507	36.58552	63.41448
9	0.057515	36.58582	63.41418
10	0.057518	36.58593	63.41407

Cholesky Ordering: CY PM25

如图所示，陕西省产业结构变动对 SO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 环境质量浓度的影响具有明确的负效应，三产与二产业比值上升， SO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 环境质量浓度有所下降，产业结构变化对陕西省大气空气质量改善起到明显的促进作用。相比较而言，产业结构变动对于 SO_2 浓度的影响较对于 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响更为迟缓，时滞效应偏长。

4.3 小结

(1) 通过对能源结构与环境质量的定性关系研究发现，原煤、焦炭、柴油相对于其它能源而言是与环境质量关联程度最大的，是影

响环境质量最重要的 3 个因素。天然气消费对环境质量的影响程度最小，这与天然气本身是清洁能源以及其在能源消费结构的比重较小有关。

(2) 产业结构对于环境质量的影响具有明确的负效应，产业结构高级化指数越大，环境质量改善越明显，产业结构变化对大气空气质量改善起到明显的促进作用。通过分析，产业结构中真正对环境质量改善起到正效应的因素是二产增长缓慢，表现为传统产业升级转型慢，新兴高端再制造产业发展不足。陕西省传统产业是污染物排放的主体，其倚能特点明显，受产业优化调整政策及环保执法监管的影响，传统耗能型行业/领域发展受到较大限制，工业产业能源消费总量及能源消费强度的下降是导致环境质量改善的最重要的深层次因素。

(3) 根据能源结构、产业结构与环境质量的定性定量关系分析结果，产业结构对环境的影响归根到底也是工业能源结构对环境质量的影响。因此“十四五”期间，为确保大气环境质量不断改善，能源结构方面，陕西省重点关注领域应为焦炭、煤炭及柴油等消费量较大行业，其中焦炭聚焦钢铁行业，煤炭聚焦煤电、建材、焦化等工业行业及生活源散煤领域，柴油聚焦中重型柴油货车及交通运输领域。产业结构方面，一方面推进传统倚能行业（化工、钢铁、建材等）低碳转型发展，另一方面加快推动新兴高端再制造产业（新材料、装备制造等）高质量发展。

第五章 分阶段目标指标测算

5.1 大气环境质量目标测算

5.1.2 环境空气质量目标分级

以《环境空气质量标准》（GB3095—2012）为依据，将SO₂、NO₂、PM_{2.5}和O₃的环境空气质量目标等级划分成“一级（优秀级别）”、“二级（良好级别）”、“三级（预警级别）”和“四级（底线级别）”四个不同等级。

在不考虑陕西省大气环境质量现状的情景下，对不同污染物目标值进行划分，具体划分依据如下：

SO₂：以环境空气质量年均一级标准值和二级标准值分别作为SO₂“一级（优秀级别）”和“四级（底线级别）”环境质量目标的浓度限值，然后对两者的差值进行均等划分，作为“二级（良好级别）”和“三级（预警级别）”浓度限值。

NO₂：以环境空气质量年均二级标准值作为NO₂“四级（底线级别）”浓度限值，由于NO₂的年均一级标准值和二级标准值相等，这里取二级标准值的50%作为“一级（优秀级别）”浓度限值，然后对两者的差值进行均等划分，作为“二级（良好级别）”和“三级（预警级别）”浓度限值。

PM_{2.5}：以环境空气质量年均一级标准值和二级标准值分别作为PM_{2.5}“一级（优秀级别）”和“四级（底线级别）”环境质量目标的浓度限值，然后对两者的差值进行均等划分，作为“二级（良好级别）”和“三级（预警级别）”浓度限值。

O₃：以环境空气质量日最大8小时平均一级标准值和二级标准值分别作为O₃“一级（优秀级别）”和“四级（底线级别）”环境质量

目标的浓度限值，然后对两者的差值进行均等划分，作为“二级（良好级别）”和“三级（预警级别）”浓度限值。

表 5.1-1 不考虑大气环境质量现状下环境质量目标分级表单位：mg/m³

污染因子	一级 (优秀)	二级 (良好)	三级 (预警)	四级 (底线)
SO ₂	0.02	0.033	0.046	0.06
NO ₂	0.02	0.027	0.034	0.040
PM _{2.5}	0.015	0.022	0.029	0.035
O ₃	0.100	0.120	0.140	0.160

根据陕西省 2020 年环境质量现状对标 5.1-1 进行适当调整。2020 年全省 SO₂ 年均浓度为 10μg/m³ 远低于一级标准；NO₂ 年均浓度为 31μg/m³、O₃ 最大 8 小时平均浓度为 145μg/m³ 均低于二级标准限值，故对上述 3 个指标的分级不予调整。PM_{2.5} 年均浓度为 43μg/m³，超过年均值二级标准限值（35μg/m³）0.23 倍，这里以年均二级标准值以及二级标准值的 75% 分别作为 PM_{2.5} 的“四级（底线级别）”和“一级（优秀级别）”环境质量目标浓度限值，对两者的差值进行均等划分，作为“二级（良好级别）”和“三级（预警级别）”浓度限值。调整后环境质量目标分级表见表 5.1-2。

表 5.1-2 环境质量目标分级表单位：mg/m³

污染因子	一级 (优秀)	二级 (良好)	三级 (预警)	四级 (底线)
SO ₂	0.02	0.033	0.046	0.06
NO ₂	0.02	0.027	0.034	0.040
PM _{2.5}	0.026	0.029	0.032	0.035
O ₃	0.100	0.120	0.140	0.160

5.1.2 各地市大气环境质量目标确定

以 2035 年美丽中国建设目标为导向，以大气环境质量根本改变为落脚点，针对各地市大气环境质量现状，合理确定各地市不同阶段环境质量目标。SO₂ 在“十三五”期间已全面达标，且低于一级标准（优秀）限值，故在“十四五”期间不再对其设置明确的环境质量达标

要求。针对未达标的大气环境因子，分阶段实施达标计划。其中对于未达到四级（底线）标准的地市以目标年 2035 年达标为主；对于已经达到四级标准的地市，2035 年目标以达到一级（优秀）、二级（良好）为主，具体各地市不同阶段环境质量目标见表 5.1-3。

5.1-3 陕西省地级以上城市不同阶段环境质量目标分解表单位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$

地市	PM _{2.5}				NO ₂				O ₃			
	2020	2025	2030	2035	2020	2025	2030	2035	2020	2025	2030	2035
西安	51	45	38	35	41	36	31	27	159	145	132	120
宝鸡	47	35	32	35	30	26	23	20	136	124	112	100
咸阳	54	47	41	35	40	35	31	27	160	146	133	120
铜川	43	35	32	29	31	27	23	20	153	142	131	120
渭南	53	46	40	35	38	34	30	27	159	145	132	120
延安	32	30	28	26	36	33	31	27	136	124	112	100
榆林	33	30	28	26	37	33	30	27	149	139	129	120
汉中	40	35	32	29	24	22	20	/	128	118	109	100
安康	32	30	28	26	19	/	/	/	116	110	105	100
商洛	30	28	27	26	23	21	20	/	130	120	110	100
全省	41.5	36.1	32.6	30.2	31.9	28.6	25.8	23.4	143	131	121	110

优良天数比例基于 2020 年 PM_{2.5} 和 O₃ 超标天数及污染因子超标比例，结合陕西省地级以上城市不同阶段环境质量目标分解表，测算在不同阶段地级及以上城市优良天数目标，具体如下：

5.1-4 陕西省地级以上城市不同阶段优良天数目标分解表

年份	优良天数（天）	优良天数比例
2020 年（基准）	287.8	78.6%
2025 年	302.6	82.9%
2030 年	317.4	87.0%
2035 年	328.5	90%以上

5.2 煤炭消费总量控制目标测算

在深入剖析全省 10 个地级及以上城市的经济、社会、能源、环境现状的基础上，本研究利用熵权法与聚类分析方法，合理确定陕西省各市煤炭消费总量控制目标。根据公平原则，从减煤责任、减煤能力和减煤潜力 3 个维度选取代表性指标，构建陕西省煤炭消费总量控制目标分解评价体系。

5.2.1 煤炭消费总量控制目标影响指标体系

(1) 指标选取

按照整体性、可获得性、代表性及科学性原则，立足实际构建陕西省煤炭总量控制指标体系，具体见下表。其中**减煤责任**：从公平角度来看，煤炭消费总量高、煤炭消费强度大、贡献占比高的城市应该承担更多的减煤责任，减煤目标任务相对要重。从改善环境空气质量角度，环境空气质量现状较差的区域，减煤责任更大。因而减煤责任需重点考虑煤炭消费总量、煤炭消费贡献程度和环境空气质量现状等因素。**减煤潜力**：减煤潜力反映出一个地区煤炭消费总量的降低空间，可从能源利用效率水平、产业结构优化等方面考虑。**减煤能力**：GDP 占全省比重和人均 GDP 代表一个地区的经济实力，同时也表明地区的减煤能力，经济实力强大的地区有能力投入更多资金用于煤炭消费控制，同时人均 GDP 以及第三产业占 GDP 比重较高的地区在一定程度上可以改变经济发展方式，在资源的调配上也可以更多向减煤方面倾斜，而人均 GDP 较为落后的地区首要任务是解决当地经济发展问题，对于煤炭消费总量控制的动力较为欠缺。

表 5.2-1 煤炭总量控制指标体系

序号	一级指标	二级指标	单位	指标属性	权重
1	减煤责任	人均煤炭消费量	吨/人	正向	17%
2		煤炭消费占全省比重	%	正向	17%

3		SO ₂ 年均浓度	μg/m ³	正向	6%
4		PM _{2.5} 年均浓度	μg/m ³	正向	17%
5	减煤潜力	能源消耗强度	吨标煤/万元	正向	12%
6		单位GDP能耗下降率	%	正向	8%
7		第二产业占GDP比重	%	正向	4%
8	减煤能力	GDP占全省比例	%	正向	9%
9		人均GDP	元/人	正向	10%

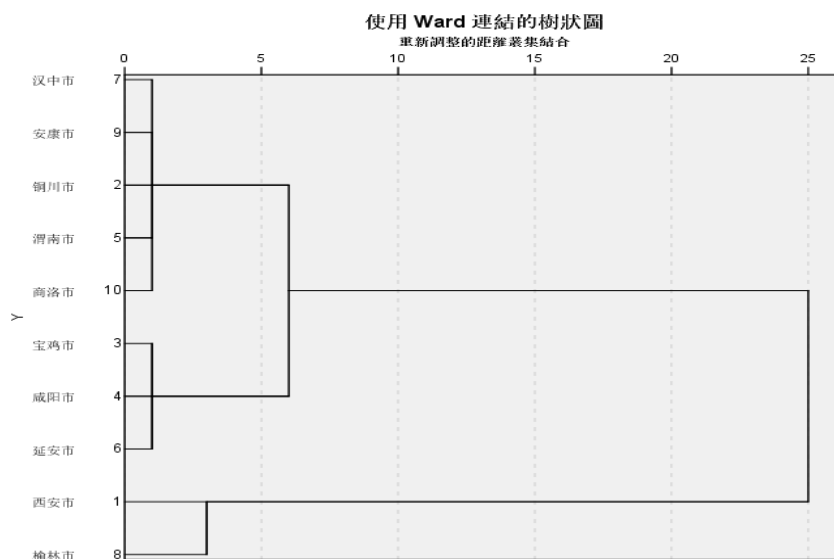
注：正向指标代表该指标越大对一级指标的促进作用越大。

(2) 熵权法

采用熵权法、聚类分析法对全省 10 个地级市、三大区域控煤、减煤潜力进行分析。结果如下：

表5.2-2各地市综合指数计算结果

序号	地市	综合指数	排名
1	西安	0.414	2
2	铜川	0.366	4
3	宝鸡	0.266	6
4	咸阳	0.307	5
5	渭南	0.371	3
6	延安	0.247	7
7	汉中	0.208	8
8	榆林	0.639	1
9	安康	0.090	10
10	商洛	0.129	9



SPSS 系统聚类分析

5.2.2 煤炭消费总量控制目标测算结果

从计算结果可知，陕西省煤炭消费控制的主要区域集中在陕北及关中地区，其中排名前三的地市依次为榆林、西安、渭南。陕北地区作为能源化工基地，聚集了全省煤化工、石油化工等高耗能产业，上述产业在产生巨大经济效应的同时也消耗了大量的能源，故陕北地区具备煤炭消费总量控制的潜力及能力。关中地区是全省人口最为密集的地区，承载了全省 64%的人口，贡献了 65%的 GDP，但因地理位置及气候的原因，大气环境质量改善难度较大，故关中地区对全省煤炭总量控制具有较大削减责任，同时也具备煤炭削减的能力。反观陕南三市，综合指数较小，作为“南水北调”水源涵养区，同时受地理位置及交通的限制，陕南整体经济发展缓慢，第二产业发展动力不足，煤炭消费总量低，大气环境质量优良，不具备进行大幅度煤炭削减的条件。按照上述控煤思路及“十四五”汾渭平原煤炭总量负增长的要求，分地市设置控制目标。

根据趋势预测法，全省 2025 年煤炭消费总量将达到 2.6 亿吨左右，为确保陕西省“十四五”期间环境质量不断改善，同时在 2030 年之前顺利实现碳达峰，建议 2025 年全省煤炭消费总量控制在 2.3 亿吨以下，煤炭增长比例控制在 3%左右。

表 5.2-3“十四五”三大区域煤炭消费总量控制目标测算

地区	煤炭增减比例	消费总量(万吨)	GDP 增速(%)	单位国内生产总值二氧化碳排放下降比例
关中	-1%	6935	-	-
陕北	3.5%	-	-	-
陕南	-	-	-	-
陕西省	3%	23234	6%	23%

5.3 基于环境质量目标的大气污染物控制总量测算

以陕西省 2020 年污染源动态更新清单为基础，基于大气污染物来源解析研究，通过数学测算、模型模拟等方式，按最不利气象条件测算在达到表 5.1-3 环境质量目标分解表要求下，不同阶段大气污染物减排比例，具体如下：

表 5.3-1 不同阶段大气污染物减排比例

年份	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	VOCs
2025 年	13%	-	15.6%	10%
2030 年	8.4%	-	13.3%	10%
2035 年	5.8%	-	11.4%	10%
合计	27.2%	-	40.2%	30%

5.4 小结

通过对全省大气环境质量目标、煤炭控制目标及大气污染物总量减排目标的测算，初步确定基于大气污染防治目标的陕西省“十四五”大气环境主要指标目标，该目标指标严于我省“十四五”生态环境保护规划指标，具体指标体系见表 5.4-1。

表 5.4-1 基于大气污染防治目标的陕西省“十四五”大气环境主要指标目标

序号	指标名称	指标值	指标类型
1	地级及以上城市PM _{2.5} 年均浓度	36.1ug/m ³	环境空气质量指标
2	地级及以上城市NO ₂ 年均浓度	28.6ug/m ³	环境空气质量指标
3	地级及以上城市O ₃ 年均浓度	131ug/m ³	环境空气质量指标
4	地级及以上城市优良天数比例	82.9%	环境空气质量指标
5	地级及以上城市NO _x 减排量	15.6%	总量控制指标
6	地级及以上城市SO ₂ 减排量	-	总量控制指标
7	地级及以上城市VOCs减排量	10%	总量控制指标
8	单位国内生产总值二氧化碳排放下降比例	23%	总量控制指标
9	全省煤炭消费总量目标	2.32 亿吨	总量控制指标
10	汾渭平原（陕西地区）各地市散煤控制目标	清零	总量控制指标

第六章 减排情景设定

根据能源结构与环境质量、产业结构与环境质量关联关系分析结果（第四章），基于陕西省大气污染物排放现状及政策支撑情况，选取能源结构及产业结构中与环境质量关联较大行业及领域开展减排，减排行业选取思路如图 6-1 所示，选取减排行业及领域具体为煤电行业、建材行业、钢铁行业、焦化行业及交通运输领域、生活源散煤领域等。



图 6-1 减排行业筛选技术路线图

本研究将基于“双碳”目标约束，考虑控煤措施力度不同、环境质量改善要求不同及环境政策的支撑情况，从小到大依次设置基准、减排、强化减排三个情景，提出陕西省重点行业及重点领域控煤减污降碳目标及措施。

6.1 电力行业污染减排情景分析

6.1.1 电源结构现状及需求分析

(1) 电力生产结构

陕西省 2020 年发电总量 2426 亿千万时，占全国发电总量的 3.18%，位居第 15 位。从电力生产结构来看，火电、水电、新能源（光伏+风电）占比分别为 85.9%、5.3%、8.8%，其火力发电比重高于全国平均水平 18 个百分点，陕西省总体的电力生产主要依靠火力发电。

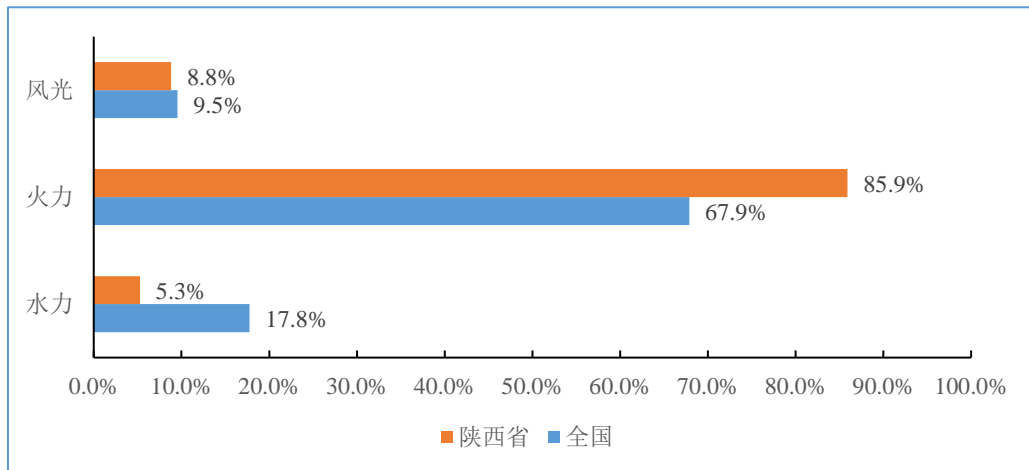


图 6.1-1 陕西省电力生产结构与全国平均情况对比

(2) 电力装机结构

2020 年全省发电装机容量 7366 万千瓦，占总装机容量的 3.35%，从装机类型来看，火电、水电、新能源（光伏+风电）占比分别为 67.8%、5.3%、26.9%。

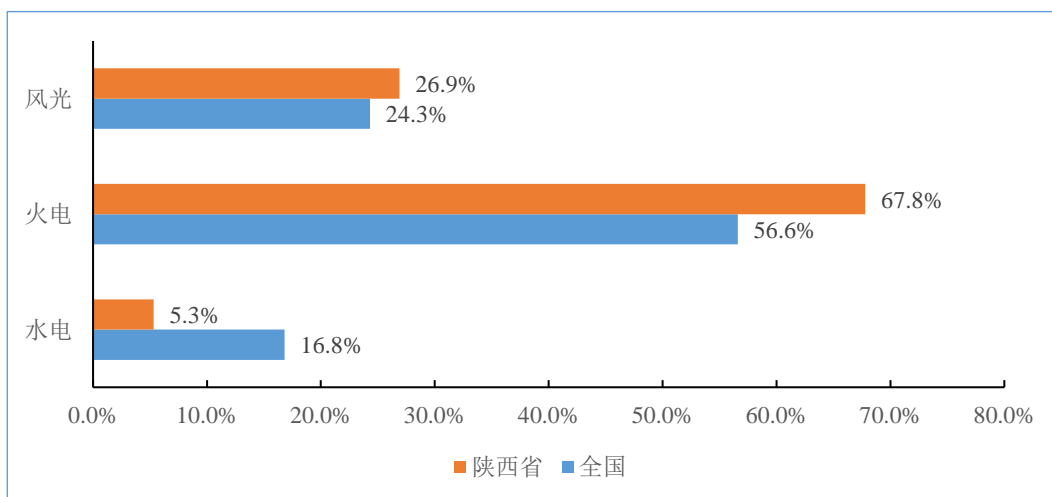


图 6.1-2 陕西省电力装机结构与全国平均情况对比

(3) 发电煤耗情况

从发电煤耗情况来看，2020 年陕西省电力行业平均煤耗为 300.8 克/标煤/千瓦时，高出全国平均水平 5 个百分点，是全国发电煤耗第二高省份。

(4) 电力企业分布情况

以 2020 年陕西省动态更新企业清单为基础，共计筛选出火力发电企业 77 家，其中关中地区 34 家，陕北地区 38 家，陕南地区 5 家，占比分别为 44.2%、49.5%和 6.5%。

(5) 电力需求预测

陕西省 2020 年发电总量 2426 亿千瓦时，根据趋势预测及部门需求预测法，若电力需求保持稳定增长，至 2025 年预计全省电力生产量将达到 3500 亿千瓦时（含外送电力）。

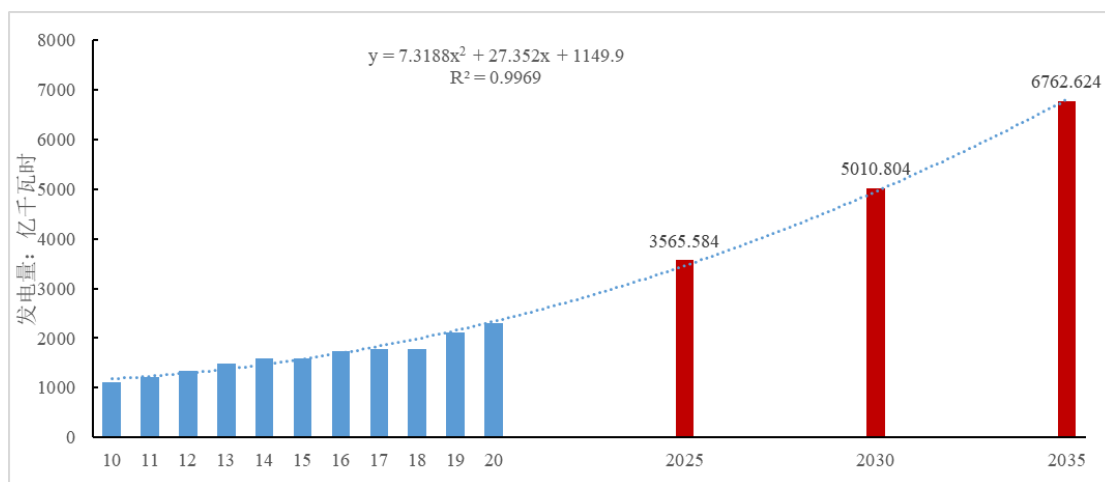


图 6.1-3 陕西省 2025-2035 年电力需求预测图

6.1.2 电力行业减排情景设定

电力行业情景设置依据电源结构（装机/生产）、节能降耗、布局优化等技术措施，考虑控煤降碳措施力度和区域环境改善要求不同，从小到大依次设置基准、减排、强化减排三个情景。电源结构方面，考虑未来清洁能源的可开发量、电源项目建设周期、能源价格等方面因素，确定了水电、风电、光电的开发规模，重点以调整清洁电力装机容量及占比为手段，从硬件上保障电源生产结构的清洁化调整。节能降耗方面，考虑未来高耗能行业占比下降和能耗双控及“关小上大”等因素，以现有技术可达性结合能耗下降趋势分析，确定了三个情景下不同的能耗指标。布局优化方面，以《陕西省国民经济和社会发展规划第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》相关规划为基础，确定关中地区达到不同环境改善目标情况下火电企业的搬迁规模。

表 6.1-1 电力行业结构调整及布局优化情景设置

情景设置	基准情景	减排情景	强化减排情景
情景描述	按现有规划发展	关中大部分地市环境空气不断改善要求	考虑 2035 年关中地区环境空气根本改善要求

电源装机结构	到 2025 年，风电、光伏总装机容量达到 5800 万千瓦时，占电源总装机的比例提升至 43%	到 2025 年，风电、光伏总装机容量达到 6600 万千瓦时，占电源总装机的比例提升至 45%	到 2025 年，风电、光伏总装机容量达到 7100 万千瓦时，占电源总装机的比例提升至 49%
电源生产结构	到 2025 年，风电、光伏发电量达到 650 万千瓦时，占总电量的比例提升至 21.7%	到 2025 年，风电、光伏发电量达到 720 万千瓦时，占总电量的比例提升至 24%	到 2025 年，风电、光伏发电量达到 800 万千瓦时，占总电量的比例提升至 26.7%
发电煤耗	保持现状 300.8 克/标煤/千瓦时	持续降低，关停 10 万千瓦以下燃煤小热电机组，到 2025 年发电煤耗下降 3%，达到 292 克/标煤/千瓦时	持续降低，探索关停 30 万千瓦以下燃煤机组，到 2025 年发电煤耗下降 5%，达到 286 克/标煤/千瓦时
布局优化	现有布局	关中 30% 火电企业搬迁至陕北	关中 50% 的火电企业搬迁至陕北

6.1.3 电力行业煤炭、污染物及二氧化碳削减量测算

“十四五”期间陕西省电力需求增长旺盛，其煤炭消费量也呈现增长态势，在最大限度控制煤电装机容量的基础上，通过优化陕西省电力生产结构、提高非煤电力占比、降低煤耗和调整火电布局等措施，测算基准情景、减排情景及强化减排情景煤炭削减及污染物增减情况。具体结果如下：

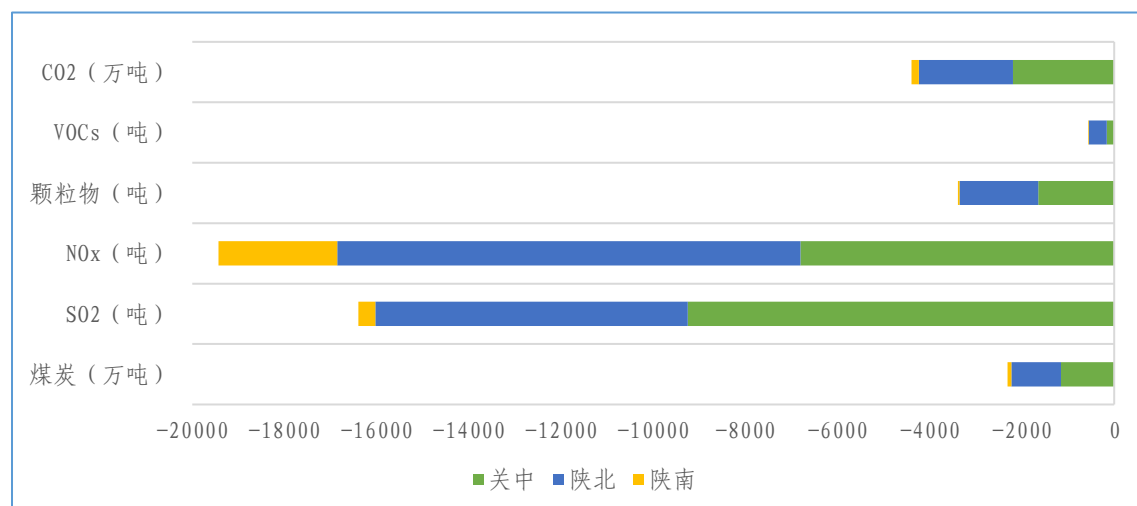


图6.1-4 基准情景下不同区域电力行业十四五煤炭削减量及污染物增减情况

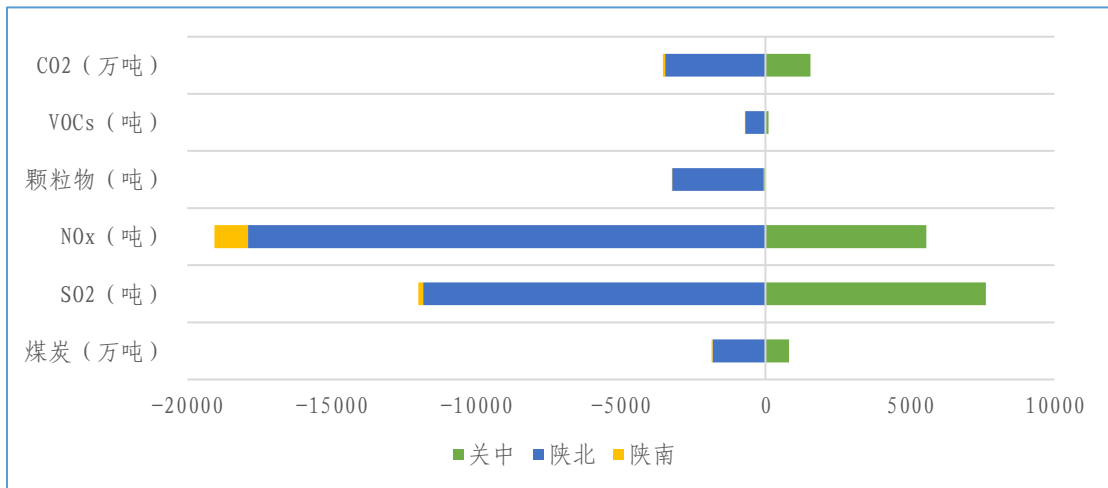


图6.1-5 减排情景下不同区域电力行业十四五煤炭削减量及污染物增减情况

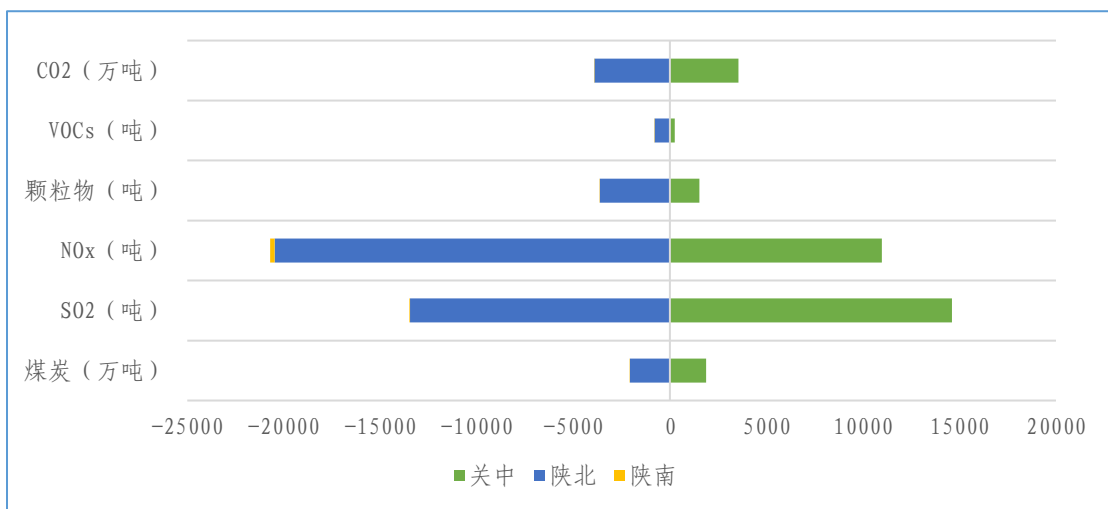


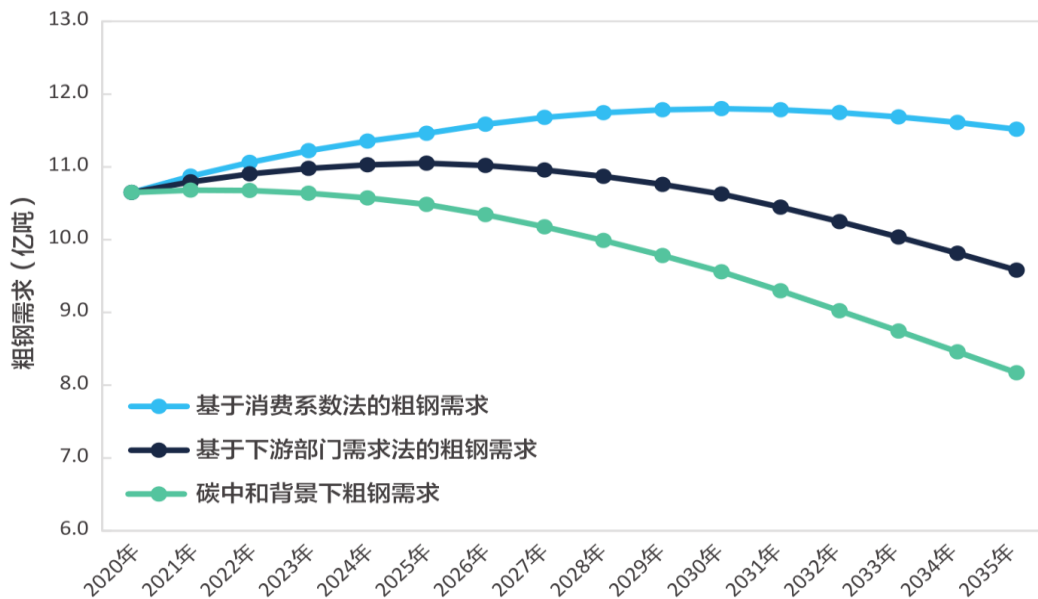
图6.1-6 强化减排情景下不同区域电力行业十四五煤炭削减量及污染物增减情况
备注：负数表明污染物有新增量。

6.2 钢铁行业污染减排情景分析

6.2.1 经济发展对钢铁行业的需求分析

借鉴 2021 年生态环境部规划院及自然资源保护协会《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》相关成果，该研究通过钢铁行业消费系数和下游部门需求两种方法，并结合我国处于工业化中后期的发展阶段和 2021 年开始实施的压减粗钢产量政策，预测了我国未来粗钢需求。此外，考虑碳中和的长远目标，同时采用戴翰程等人基于 IMED/CGE 模型的预测结果作为碳中和背景下

的我国粗钢需求。本研究考虑到 2020 年钢铁行业煤炭消费达到峰值，以碳中和背景下预测的粗钢需求作为项目预测结果，即粗钢需求逐渐下降。2020 年陕西省粗钢产量占全国总产量的 1.4%，不是我国主要的粗钢生产省份，预计“十四五”期间陕西粗钢产量产能基本维持稳定，保持在 1500 万吨左右。



6.2-1不同方法预测的我国未来粗钢需求

6.2.2 钢铁控煤措施情景设定

钢铁行业减排情景设定依据末端治理及节能降耗、产业结构调整等技术措施，考虑控煤降碳措施力度和区域环境改善要求不同，从小到大依次设置基准、减排、强化减排三个情景。末端治理方面，落实《陕西省钢铁行业超低排放改造方案》(以下简称《方案》)，对全省纳入改造范围的钢铁企业全部完成超低排放改造任务；产业结构调整方面，严格落实钢铁行业产能置换要求，按照《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》推进全省钢铁企业产业结构不断优化，有序发展电炉炼钢，提高短流程炼钢产能；节能降耗方面，考虑未来高耗能行业占比下降和能耗双控、煤耗现状水

平等因素，以现有技术可达性结合能耗下降趋势分析，确定了三个情景下不同的能耗指标。

表 6.2-1 钢铁行业减排情景设置

情景设置	基准情景	减排情景	强化减排情景
情景描述	按现有规划发展	环境空气不断改善要求	考虑 2035 年环境空气根本改善要求
超低排放改造	烧结机机头、球团焙烧烟气颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度小时均值分别不高于 10 毫克/立方米、35 毫克/立方米、50 毫克/立方米，其他主要污染源原则上分别不高于 10 毫克/立方米、50 毫克/立方米、200 毫克/立方米；		
产业结构调整	到 2025 年，全省短流程炼钢产能达到 260 万吨左右，占比 17%	到 2025 年，全省短流程炼钢产能达到 300 万吨左右，占比 20%，其中韩城新增短流程炼钢产能 40 万吨。	到 2025 年，全省短流程炼钢产能达到 330 万吨左右，占比 22%，其中韩城新增短流程炼钢产能 70 万吨。
吨钢能耗	吨钢综合能耗降低 2%（关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见）	吨钢综合能耗降低 3%	吨钢综合能耗降低 5%

6.2.3 钢铁行业煤炭、污染物及二氧化碳削减量测算

“十四五”钢铁需求量基本保持稳定，基于技术可行性，实施超低排放改造、结构调整及能效提升行动，基准情景、减排情景及强化减排情景煤炭削减及污染物增减情况如下：

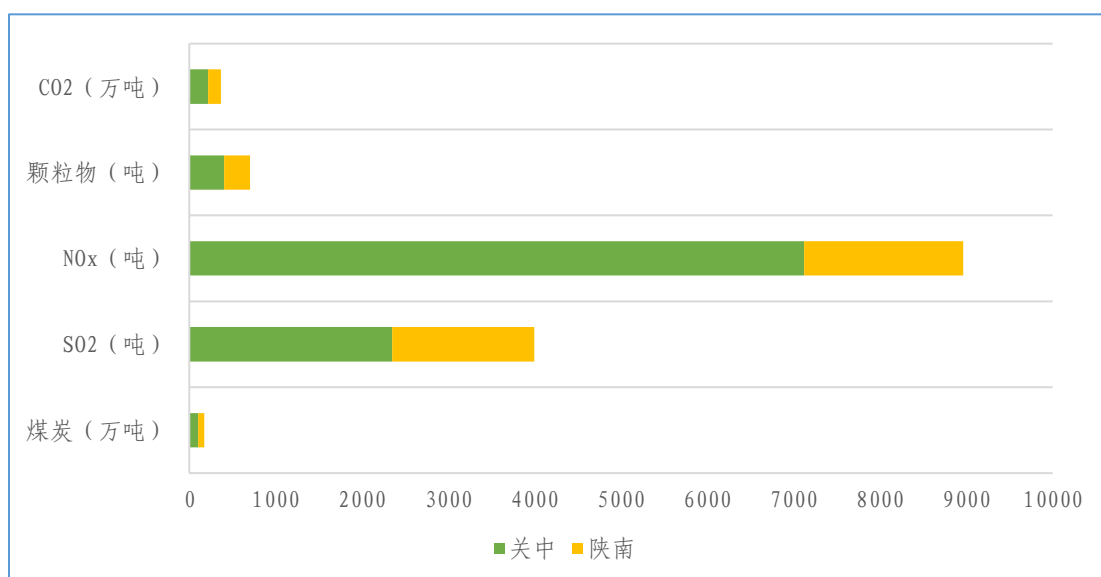


图 6.2-2 基准情景下不同区域钢铁行业煤炭削减及大气污染物减排情况

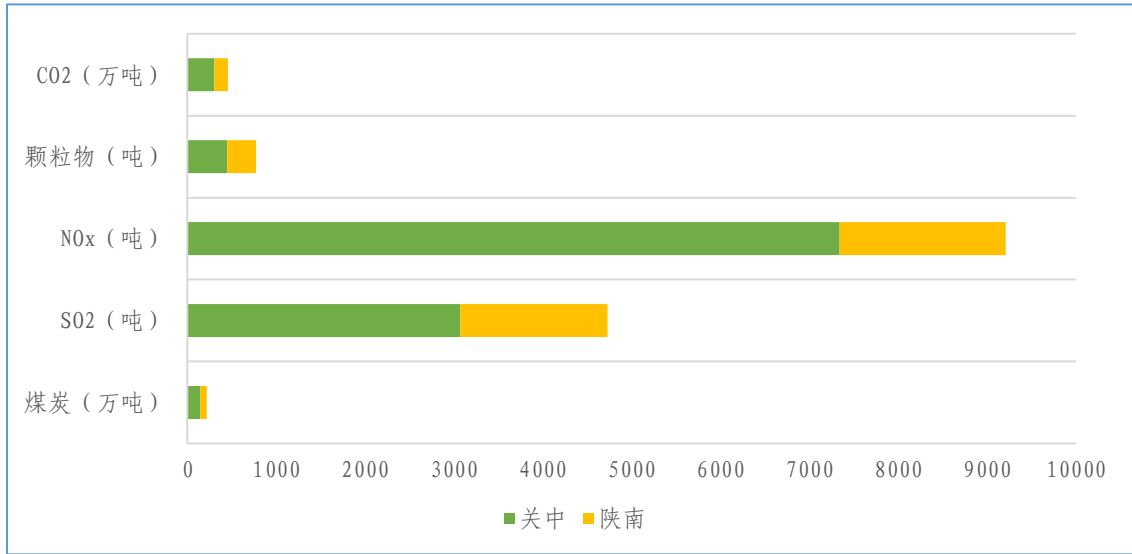


图6.2-3 减排情景下不同区域钢铁行业煤炭削减及大气污染物减排情况

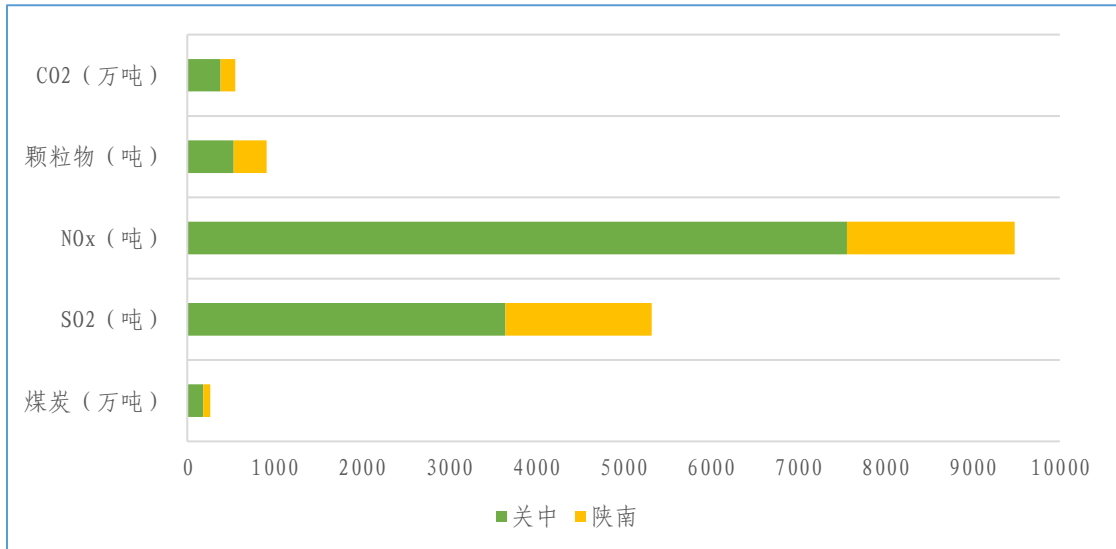


图6.2-4 强化减排情景下不同区域钢铁行业煤炭削减及大气污染物减排情况

6.3 水泥行业污染减排情景分析

6.3.1 经济发展对水泥行业的需求分析

2021年生态环境部规划院及自然资源保护协会采用多因素拟合分析法+类比分析法、需求预测法和需求侧管理法预测了全国2020-2035年的水泥熟料消费量。通过预测发现，目前全国水泥需求量已达到饱和，并逐渐呈现下降趋势。

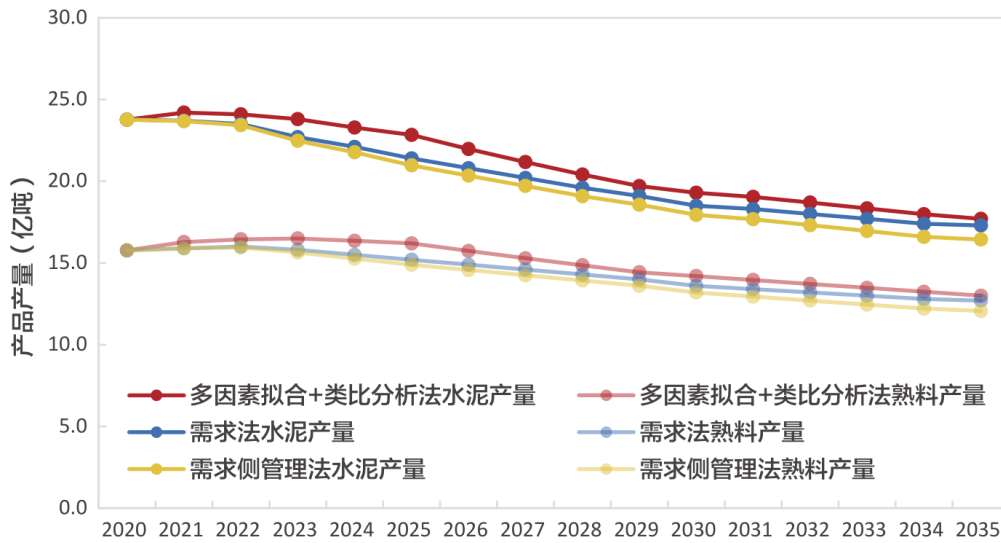


图6.3-1我国水泥熟料和水泥产量预测

6.3.2 水泥减排情景设定

水泥行业减排情景设定依据末端治理及节能降耗等技术措施，考虑控煤降碳措施力度和区域环境改善要求不同，从小到大依次设置基准、减排、强化减排三个情景。末端治理方面，考虑陕西省“十四五”水泥行业超低排放改造要求、水泥行业绩效评级情况和主要排放口污染排放现状等因素，在技术可行性下确定三种情景下超低排放改造方案；节能降耗方面，考虑未来高耗能行业占比下降和能耗双控、煤耗现状水平等因素，以现有技术可达性结合能耗下降趋势分析，确定了三个情景下不同的煤耗指标。

表 6.3-1 水泥行业减排情景设置

情景设置	基准情景	减排情景	强化减排情景
情景描述	按现有规划发展	环境空气不断改善要求	考虑 2035 年环境空气根本改善要求
超低排放改造	关中继续执行 DB61/941 排放限值，陕南陕北执行 GB4915 中水泥行业特别排放限值。2025 年全省基本达到超低排放水平。	关中水泥企业氮氧化物排放浓度达到 B 级以上企业排放限值标准；陕南陕北氮氧化物排放浓度达到 C 级企业特别排放限值。	关中水泥企业达到 A 级企业排放限值标准；陕南陕北水泥企业达到 B 级企业排放限值标准。
单位产品煤炭消耗	维持现有煤耗水平	到 2025 年，煤耗下降至 108kgce/t 熟料	到 2025 年，煤耗下降至 103kgce/t 熟料

注：A、B、C 级标准参照重污染天气重点行业应急减排措施制定技术指南，单位产品煤耗指标参照水泥行业清洁生产评价指标体系。

6.3.3 水泥行业煤炭、污染物及二氧化碳削减量测算

“十四五”期间水泥熟料需求量基本保持稳定，在现有污染防治措施下，基本可以满足超低排放的要求，基准情景下减排空间极其有限，减排情景及强化减排情景煤炭削减及污染物增减情况如下：

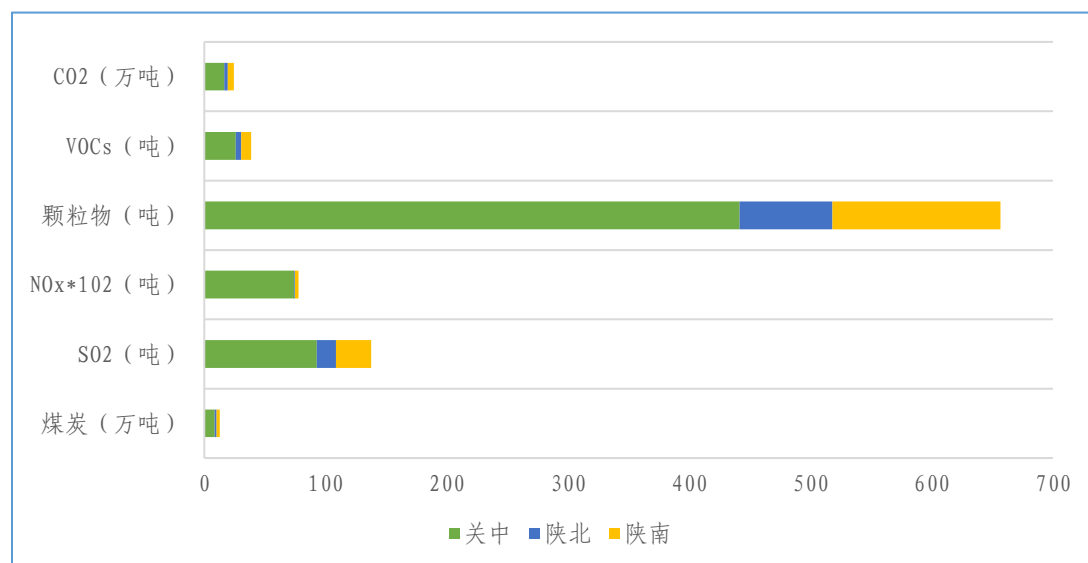


图 6.3-2 减排情境下不同区域水泥行业煤炭及污染物的减排情况

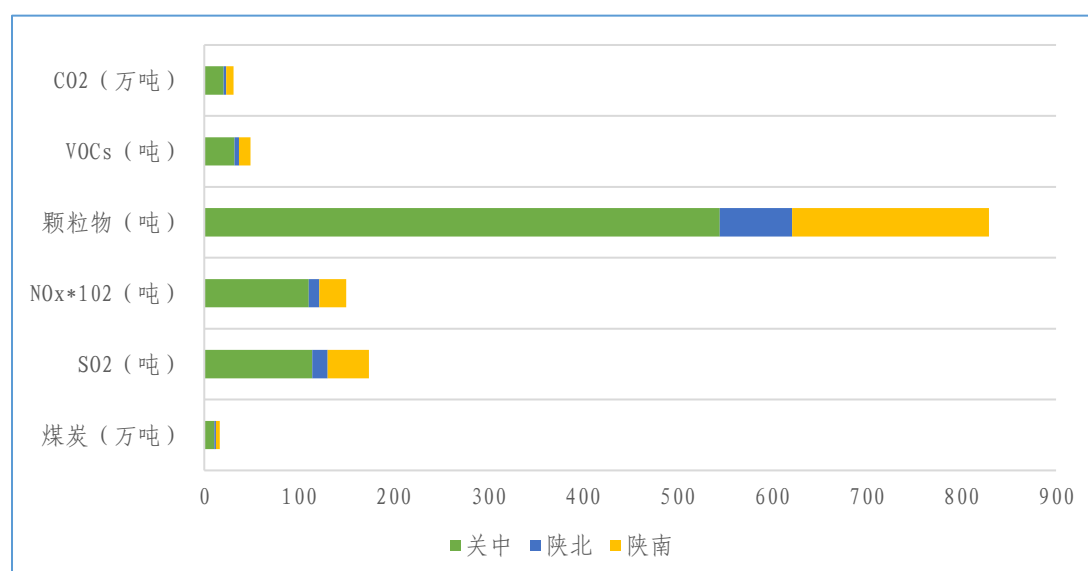


图 6.3-3 强化减排情境下不同区域水泥行业煤炭及污染物的减排情况

6.4 炼焦行业污染减排情景分析

6.4.1 炼焦行业现状及需求分析

陕西省炼焦化学产业包括半焦(兰炭)和焦化(全焦)两种类型,其中半焦企业主要分布在陕北榆林,焦化行业分布在关中宝鸡、渭南、韩城及陕北延安四市。从产品的用途来看,焦炭主要用于钢铁冶炼,半焦主要用于电石、铁合金、硅铁、碳化硅等产品的生产。

从全省钢铁行业焦炭消费情况来看,焦炭消费量占比不足其产量的一半;兰炭作为我省特色产业,主要集中在陕北榆林,2021年兰炭实际产量达不到产能的50%。总体来看,我省炼焦行业无论是焦炭或者半焦均存在不同程度的产能过剩现象。为进一步改善全省大气环境质量,根据《2019年产业结构调整目录》及相关鼓励性政策,探索实施落后产能淘汰及焦化行业超低排放改造工作。

6.4.2 炼焦行业情景设置

炼焦行业减排情景设定依据落后产能淘汰、过剩产能压减及末端治理等措施,考虑区域环境改善要求不同,从小到大依次设置基准、减排、强化减排三个情景。末端治理方面,考虑陕西省“十四五”焦化行业超低排放改造要求,在技术可行性下确定三种情景下超低排放改造方案;落后产能淘汰及过剩产能压减方面,依据《2019年产业结构调整目录》,一是对省内半焦(兰炭)行业单炉规模<7.5万吨产能全部淘汰,并且探索对单炉规模7.5万吨的半焦炉进行淘汰;二是参照钢铁冶炼大省落实“以钢定焦”政策,对省内焦化行业炭化炉高度4.3米及以下的捣鼓焦炉进行淘汰,分别设置三种情景下不同的钢焦比,进一步压减焦化行业过剩产能。

表 6.4-1 炼焦行业减排情景设置

情景设置	基准情景	减排情景	强化减排情景
------	------	------	--------

情景描述	按现有规划发展	环境空气不断改善要求	考虑 2035 年环境空气根本改善要求
半焦（兰炭）行业（淘汰落后产能）	淘汰单炉规模 < 7.5 万吨产能	淘汰单炉规模 < 7.5 万吨产能及 50% 的单炉规模 7.5 万吨产能	全部淘汰单炉规模 ≤ 7.5 万吨产能
焦化行业	超低排放改造	维持现状	实施超低排放改造
	淘汰落后产能	维持现状（钢焦比 0.6）	全部淘汰 4.3m 捣固焦炉产能（钢焦比 0.4）
		淘汰 50% 的 4.3m 捣固焦炉产能（钢焦比 0.5）	

注：钢焦比指炼焦产能与钢铁产能比，情景设置参照 2018 年 6 月 28 日国务院《打赢蓝天保卫战三年行动计划》京津冀及周边地区实施“以钢定焦”要求。

6.4.3 炼焦行业煤炭、污染物及二氧化碳削减量测算

“十四五”期间，通过实施超低排放改造、结构调整等措施，基准情景、减排情景及强化减排情景煤炭削减及污染物削减情况如下：

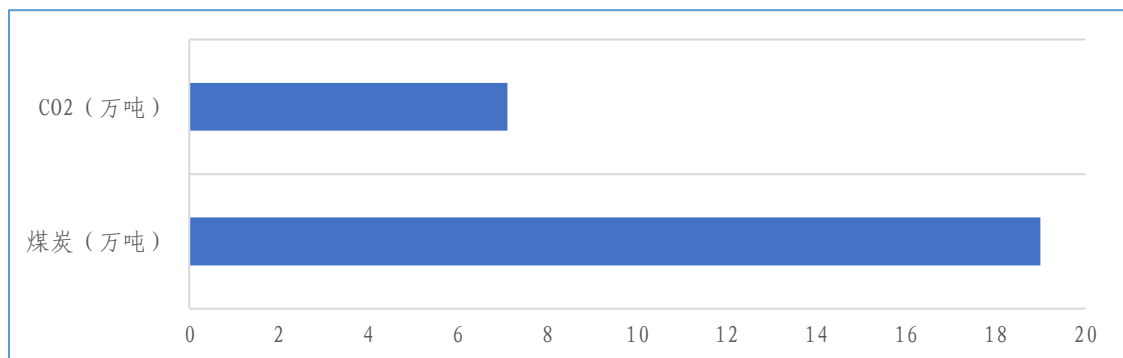


图 6.4-1 基准情景下陕北焦化行业煤炭及污染物减排情况

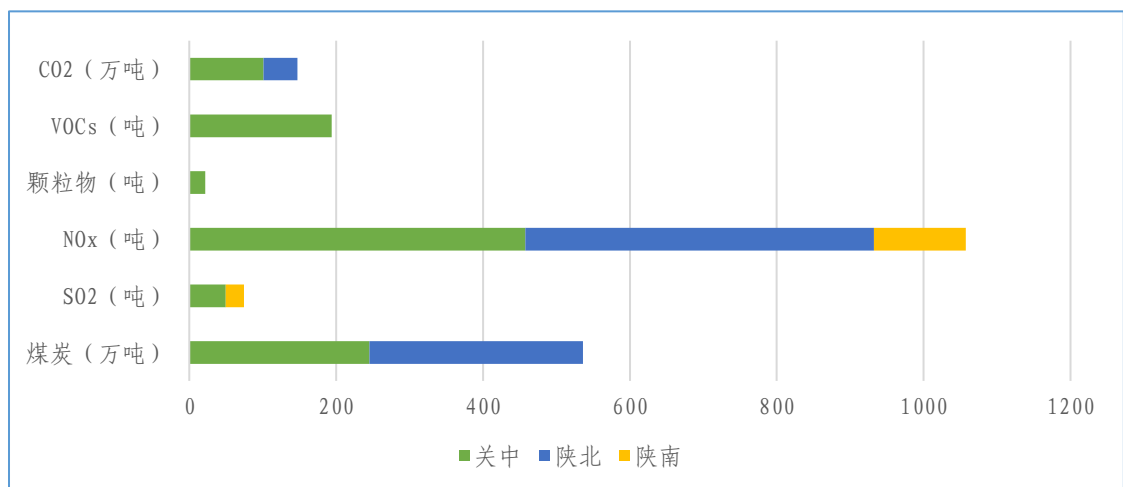


图 6.4-2 减排情景下不同区域焦化行业煤炭及污染物减排情况

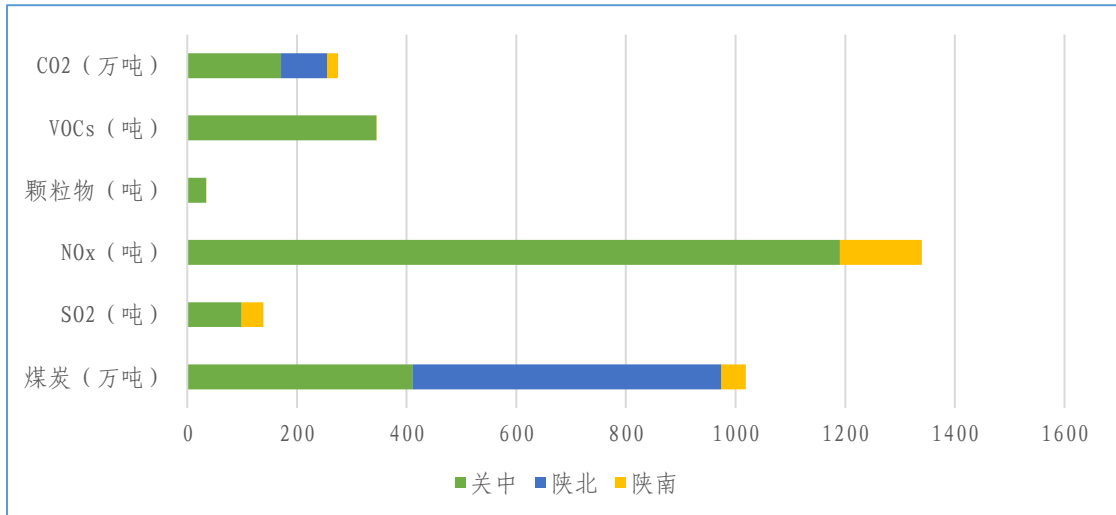


图 6.4-3 强化减排情景下不同区域焦化行业煤炭及污染物减排情况

6.5 涉 VOCs 行业污染减排情景分析

6.5.1 VOCs 排放的主要行业

全省 VOCs 排放行业分散，不仅包括石油化工、煤化工、橡胶制品加工等重化工产业，同时也涉及到含工业涂装、电镀、胶粘等工艺的轻加工产业，但排放量却表现出高度的集中性，其中 25（石油、煤炭及其他燃料加工业）和 26（化学原料和化学制品制造业）行业排放量占全省工业源排放总量的 70%左右，但处理效率偏低，是“十四五”需要重点管控的行业。

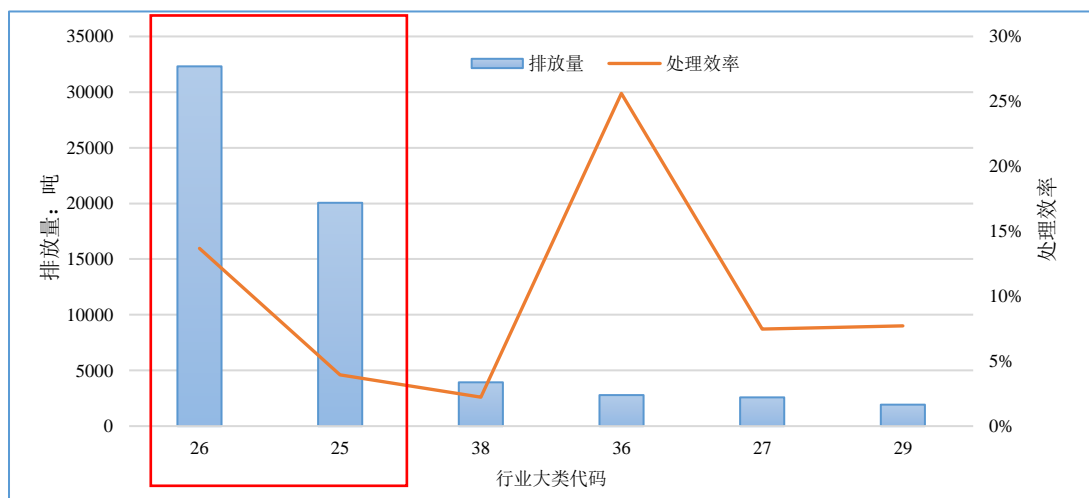


图6.5-1 VOCs主要排放行业及对应的处理效率

6.5.2 涉 VOCs 行业减排情景设定

涉 VOCs 行业减排情景主要包括两部分内容，一是**源头替代方面**，根据《“十四五”节能减排工作方案》，推动使用低挥发性有机物含量的涂料、油墨、胶粘剂、清洗剂；二是**深度治理方面**，以石化、化工等行业挥发性有机物污染治理为重点，全面提升废气收集率、治理设施同步运行率和去除率。本研究根据节能减排方案对全省涉 VOCs 行业进行梳理，因目前无更严格的政策出台，考虑到技术及措施的可行性，暂不对替代比例及重点行业深度治理效率进一步提高，基准情景减排量即为“十四五”期间我省最大减排量。

表 6.5-1 涉 VOCs 行业减排情景设置

情景设置	基准情景	减排情景	强化减排情景
情景描述	按现有规划发展	关中地市环境空气不断改善要求	考虑 2035 年关中地区环境空气根本改善要求
源头替代	到 2025 年溶剂型汽车原厂漆、木器涂料、工程机械涂料、通用性防腐涂料、建筑钢构涂料使用比例分别降低 10、49、50、48、33 个百分点，溶剂型油墨使用比例降低 15 个百分点，溶剂型胶黏剂使用量下降 20 个百分点。		
深度治理	石化、化工行业综合治理效率提升至 60%，其余行业综合治理效率提升至 50%。		

6.5.3 VOCs 减排量测算

“十四五”期间，通过对涉 VOCs 行业进行源头替代及重点行业深度治理预计减排 VOCs 1.99 万吨。

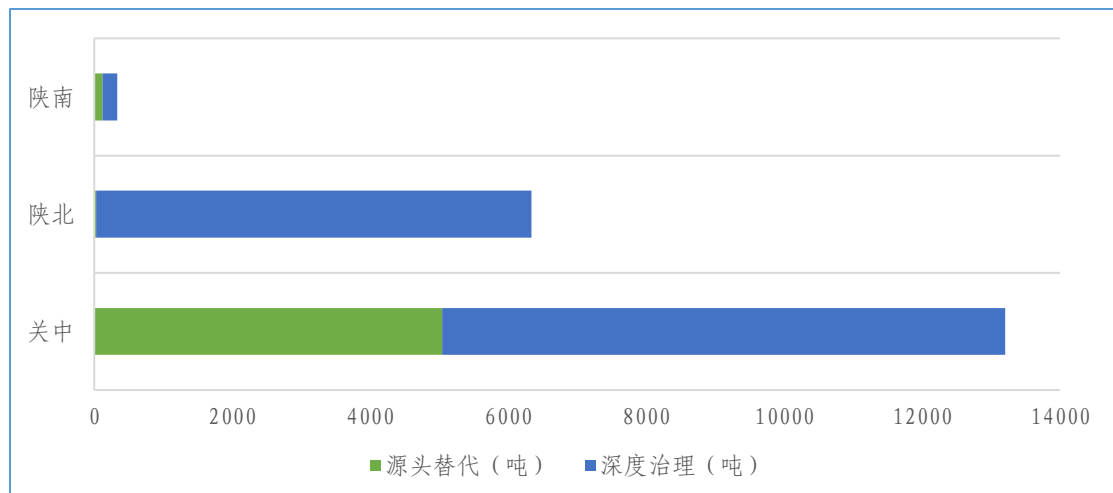


图 6.5-2 不同区域涉 VOCs 主要排放行业减排情况

6.6 非重点行业工业炉窑减排情景分析

6.6.1 非重点行业工业炉窑现状

工业炉窑指在工业生产中用燃料燃烧或电能转换产生的热量，将物料或工件进行冶炼、焙烧、熔化、加热等工序的热工设备，广泛应用于钢铁、焦化、建材、石化、化工、机械制造等行业，对工业发展具有重要支撑作用，同时，也是工业领域大气污染的主要排放源。根据陕西省污染源动态更新调查结果，2020 年全省非重点行业工业炉窑 1500 余台，主要大气污染物二氧化硫、氮氧化物、颗粒物排放量分别为 3.4 万吨、4.7 万吨和 1.9 万吨。从炉窑类型来看，主要集中在加热炉、烧成窑、干燥炉(窑)等类型，行业上主要集中在非金属矿物制品(不包括水泥烧成窑，下同)、石油和天然气开采、有色金属冶炼与加工业等行业。

工业炉窑作为行业覆盖度较高的工业设备，相对于电站锅炉和工业锅炉，工业炉窑污染治理明显滞后，对环境空气质量产生重要影响。相关研究结果表明，细颗粒物（PM_{2.5}）污染来源中工业炉窑占 20% 左右。工业炉窑装备和污染治理技术水平存在大量落后生产工艺，环保治理设施简易，甚至没有环保设施，行业发展水平参差不齐。尤其是在砖瓦、玻璃、耐火材料、陶瓷、铸造、铁合金、再生有色金属等涉工业炉窑的非重点行业，“散乱污”企业数量多，环境影响大，严重影响产业转型升级和高质量发展。

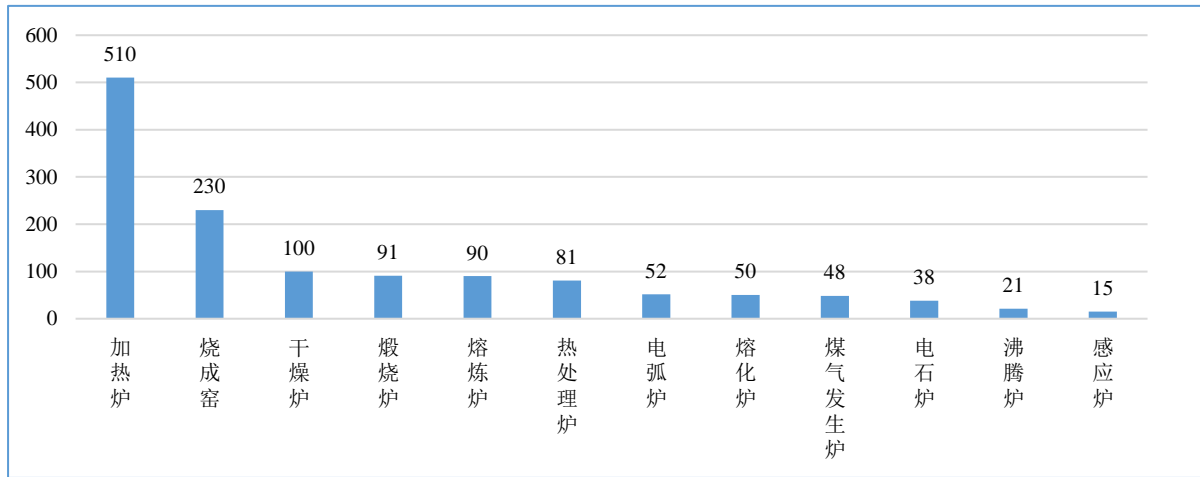


图 6.6-1 陕西省非重点行业工业炉窑主要类型及数量

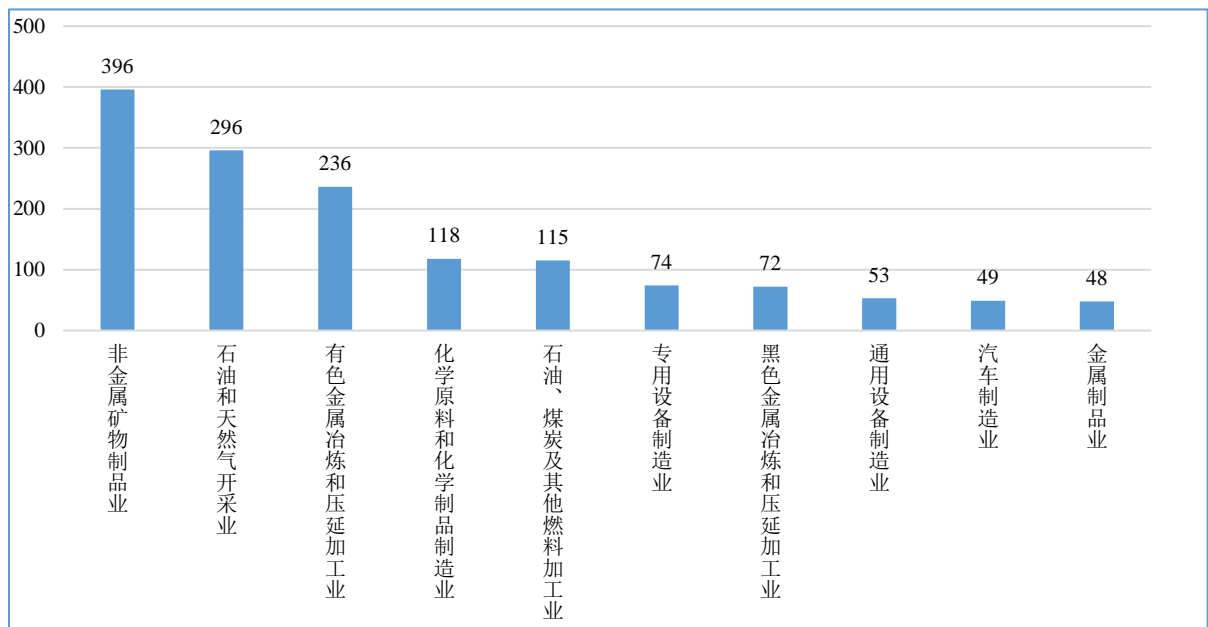


图 6.6-2 陕西省非重点行业工业炉窑主要分布行业

6.6.2 减排情景设定

为全面落实《陕西省工业炉窑大气污染综合治理实施方案》(陕环函[2019]247号)要求，加快淘汰落后产能和不达标工业炉窑，实施燃料清洁低碳化替代，通过“淘汰一批、替代一批、治理一批”，提升产业总体发展水平。本研究非重点行业工业炉窑减排情景设定依据落后产能淘汰、末端治理等措施，考虑区域环境改善要求不同，从小到大

依次设置基准、减排、强化减排三个情景。落后工艺淘汰方面，根据燃煤炉窑的煤炭消费量，划分 100 以下、500 以下、1000 以下三个等级，分情景淘汰小型燃煤炉窑并实施煤改电。末端治理方面，考虑目前非重点行业炉窑污染治理水平偏低的现状，以工业炉窑平均水平为标杆，同时对标重点行业先进污染治理水平，在技术可行性下分情景设置效率提升比例。具体情景设置如下：

表 6.6-1 非重点行业工业炉窑治理减排情景设置

情景设置	基准情景	减排情景	强化减排情景
情景描述	按现有规划发展	环境空气不断改善要求	考虑 2035 年环境空气根本改善要求
淘汰落后工艺	淘汰煤炭用量 100 吨标煤以下的小型燃煤炉窑，实施煤改电	淘汰煤炭用量 500 吨标煤以下的小型燃煤炉窑，实施煤改电	淘汰煤炭用量 1000 吨标煤以下的小型燃煤炉窑，实施煤改电
提升污染治理水平	保持现有水平	炉窑治理水平二氧化硫、氮氧化物、颗粒物的去除率分别达到 81.9%、49.7% 和 95.6%；	炉窑治理水平二氧化硫、氮氧化物、颗粒物的去除率分别达到 94.9%、66.5% 和 98.8%；（工业源 2020 年平均水平）

6.6.3 煤炭削减量及污染物减排量测算

“十四五”期间，通过实施小型燃煤炉窑淘汰及工业炉窑污染治理效率提升工作，基准情景、减排情景及强化减排情景煤炭削减及污染物减排情况如下：

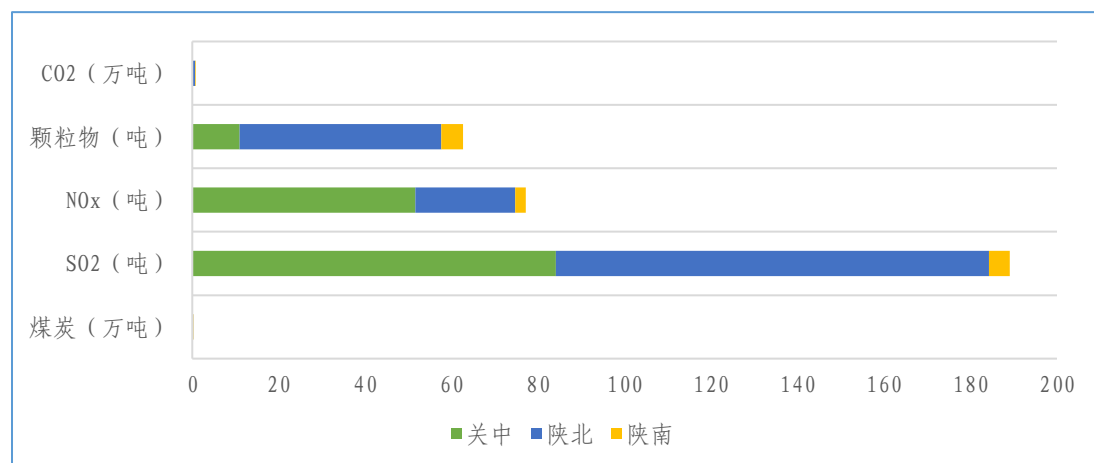


图 6.6-3 基准情景下各区域非重点行业工业炉窑煤炭及污染物削减量

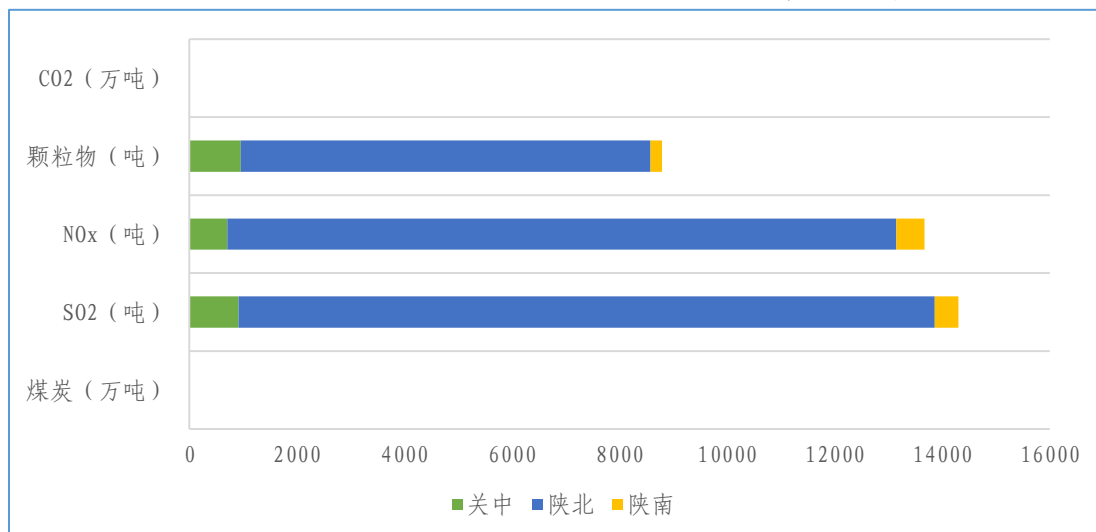


图 6.6-4 减排情景下各区域非重点行业工业炉窑煤炭及污染物削减量

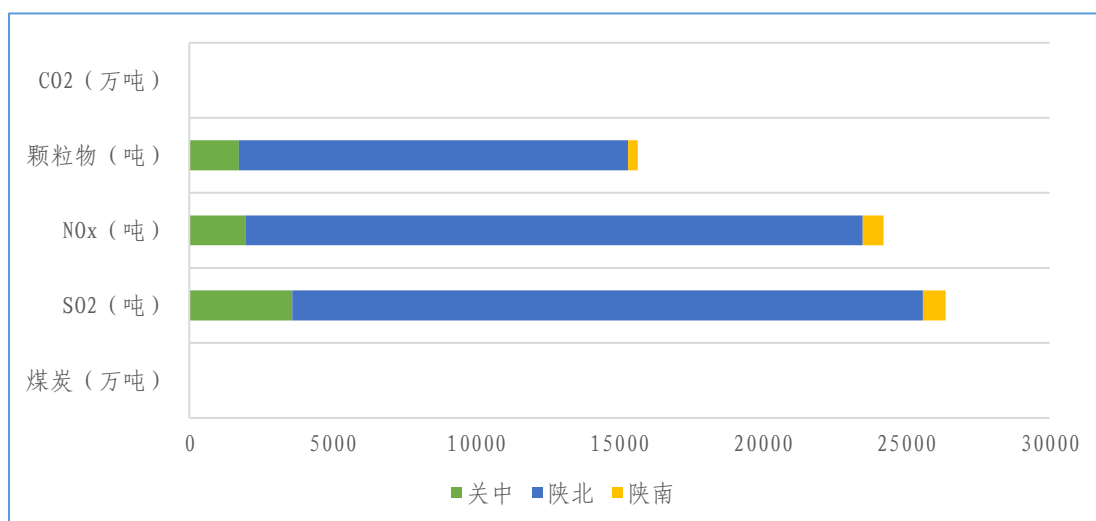


图 6.6-5 强化减排情景下各区域非重点行业工业炉窑煤炭及污染物削减量

6.7 居民散煤治理减排情景分析

6.7.1 散煤消费现状

陕西省能源消费结构表现为高煤化，煤炭作为我省最主要也是最重要的能源，工业领域消费量占比达到 98%以上，生活领域的煤炭消费量占比不足 1.5%。虽然生活源煤炭消费量低，但由于其使用方式多为分散式燃烧，且燃烧终端绝大多数不采取任何的脱硫、除尘措施，燃烧产生的污染物基本直接排放，尤其在原煤消费量较高的农村地区，由于民用燃煤的使用方式多为散烧且农村煤炭市场缺乏统一监管，使

用高灰分高硫分劣质煤作为生活用煤的单位排放强度远高于集中燃煤。而且，相比于相同排放量的工业源，民用燃煤相对粗犷的燃烧方式也使得其对空气质量和人体健康的危害要更直接、更明显。鉴于此，陕西省于 2018 年制定了《陕西省关中地区散煤治理行动方案（2019-2020 年）》，并提出 2020 年底关中地区基本已实现散煤清零目标。从 2021 年调研情况来看，我省关中地区散煤已基本清零，目前全省散煤消费主要集中在陕北农村及陕南地区。2020 年全省民用煤炭消费量 286.86 万吨，其中城镇 46.27 万吨，乡村 240.59 万吨，煤炭消费结构以原煤为主，原煤消费又以农村为主要消费源。

6.7.2 散煤污染治理情景设置

散煤污染治理情景设定依据煤改气、煤改电等政策，考虑区域环境改善要求不同，从小到大依次设置基准、减排、强化减排三个情景。从前期调研工作来看，2021 年关中地区散煤已基本清零，目前正在积极推进陕北、陕南地区清洁取暖工作，从而逐步实现全省散煤基本清零目标。

表 6.7-1 散煤治理减排情景设置

情景设置	基准情景	减排情景	强化减排情景
情景描述	按现有规划发展	环境空气不断改善要求	考虑 2035 年关中地区环境空气根本改善要求
散煤治理	关中地区散煤清零（已完成）	关中+陕北散煤清零	全省散煤基本清零

6.7.3 散煤及污染物削减量测算

减排情景及强化减排情景煤炭削减量及污染物减排量如下（污染物排放系数参考：陕西省民用散煤燃烧气态污染物排放因子研究）。

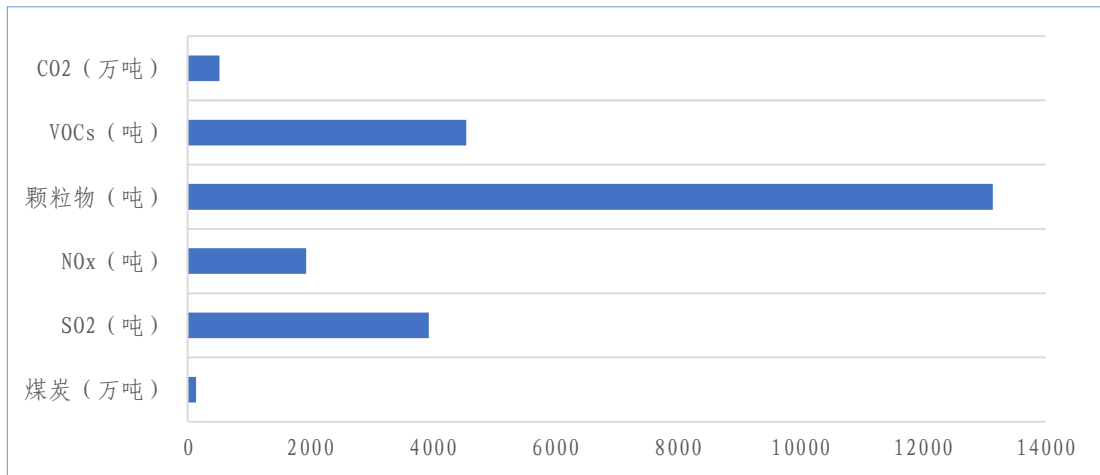


图 6.7-1 减排情景下陕北散煤治理污染物减排量

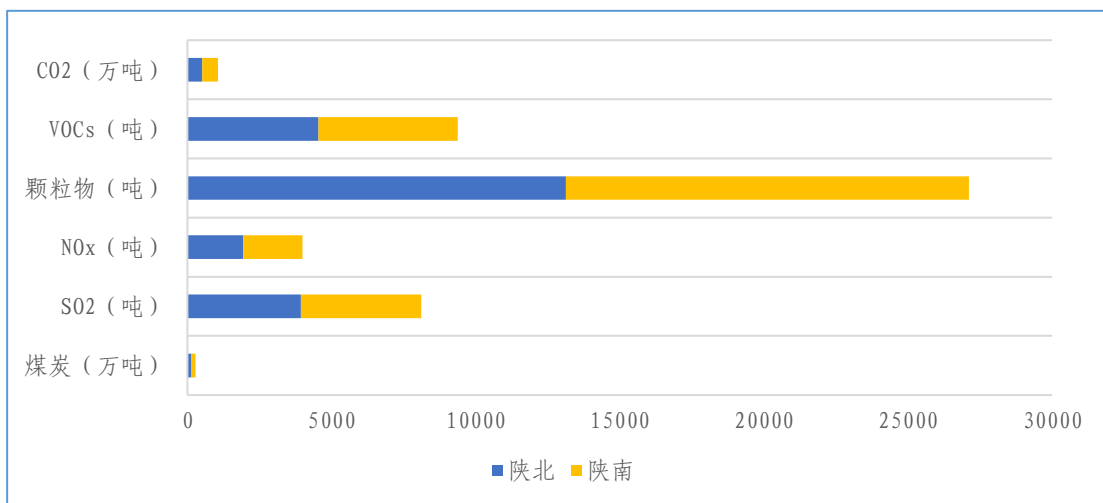


图 6.7-2 强化减排情景下陕北散煤治理污染物减排量

6.8. 交通运输结构调整情景分析

6.8.1 移动源污染物现状分析

基于陕西省污染物排放结构分析结果，交通运输已成为我省氮氧化物、挥发性有机物排放的主要来源，排放量分别占总排放量 55.83%、27.14%，同时，移动源污染排放问题在局部较为突出，在这一背景下，实施“车-油-路”体系化治理是我省实现生态环境高水平保护的必然之举。

6.8.2 减排情景设定

交通运输结构调整减排情景设定依据淘汰高排放柴油车、公转铁

替代比例及油气回收效率提升等技术措施，考虑区域环境改善要求不同，从小到大依次设置基准、减排、强化减排三个情景

表 6.8-1 交通运输结构调整减排情景设置

情景设置	基准情景	减排情景	强化减排情景
情景描述	按现有规划发展	环境空气不断改善要求	考虑 2035 年环境空气根本改善要求
老旧货车淘汰	全省范围内淘汰国三及以下中、重型柴油货车		
公转铁	大宗货物周转量公路运输比例提升 1%	大宗货物周转量公路运输比例提升 2%	大宗货物周转量公路运输比例提升 3%
油气回收效率提升	储油库油气回收系统回收效率应提升至 60% 以上		

6.8.3 污染物减排量测算

“十四五”期间，通过调整优化交通运输结构，基准情景、减排情景及强化减排情景煤炭削减及污染物减排情况如下：

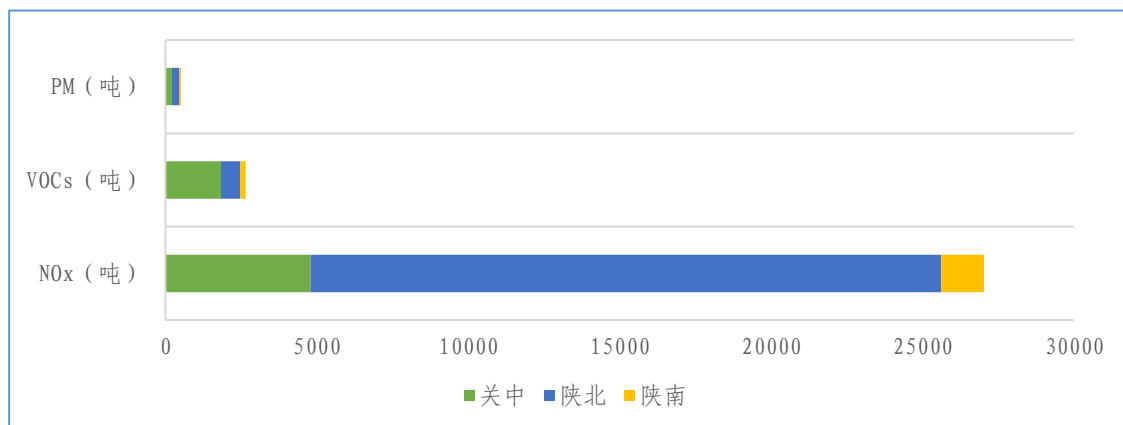


图 6.8-1 基准情景下不同区域交通运输结构调整污染减排情况

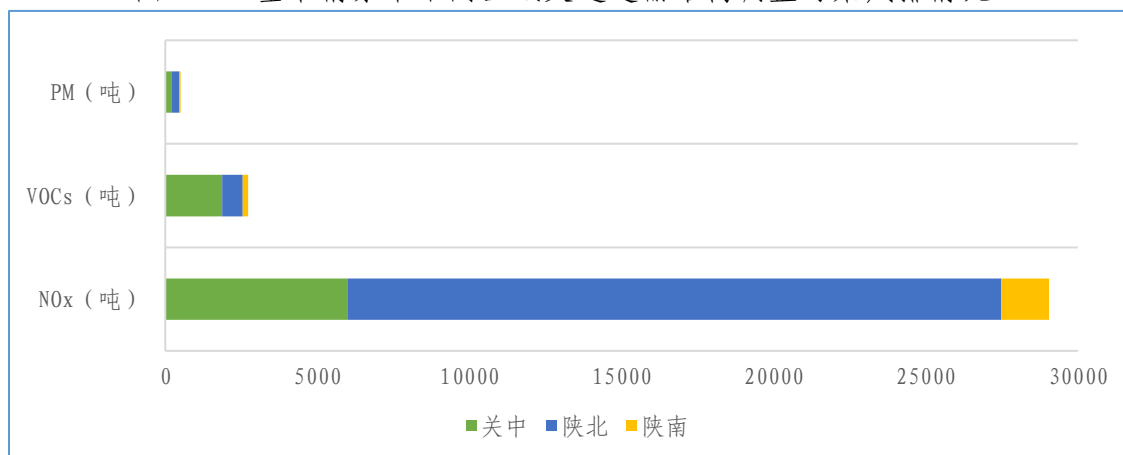


图 6.8-2 减排情景下不同区域交通运输结构调整污染减排情况

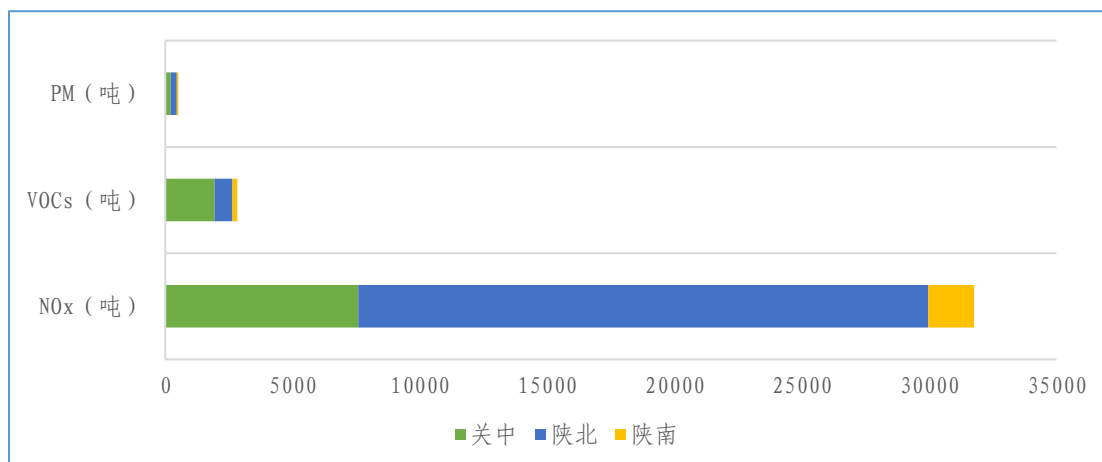


图 6.8-3 强化减排情景下不同区域交通运输结构调整污染减排情况

6.9 小结

(1) 从区域层面来看，煤炭削减及污染物减排有以下特点：一是考虑电力需求增长的因素，在基准情景下各项指标均无法达到“十四五”目标指标要求；二是区域性特点明显，陕西省“十四五”大气污染物减排空间主要集中在陕北、关中地区；三是减排潜力与减排需求存在不一致性，即陕北地区环境空气质量好，同时具备较大的减排潜力；而关中地区环境空气质量不优，但减排空间偏小。

(2) 从各项减排措施的减排情况来看，以强化减排情景为例，产业结构、能源结构优化有助于煤炭和二氧化碳削减，末端治理则对SO₂、NO_x、颗粒物、VOCs减排有利，交通运输结构调整有助于NO_x减排。

(3) 总体来看，“十四五”期间全省减排空间主要集中在散煤治理、非重点行业工业炉窑深度治理、重点行业超低排放改造、涉VOCs行业深度治理、国三及以下柴油货车淘汰等领域。

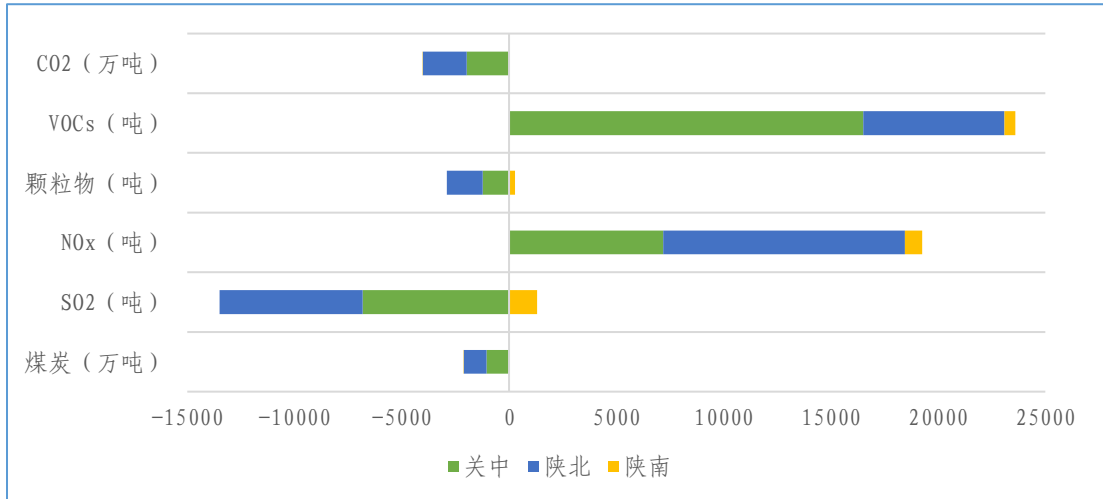


图 6.9-1 基准情景下不同区域煤炭及污染物削减量

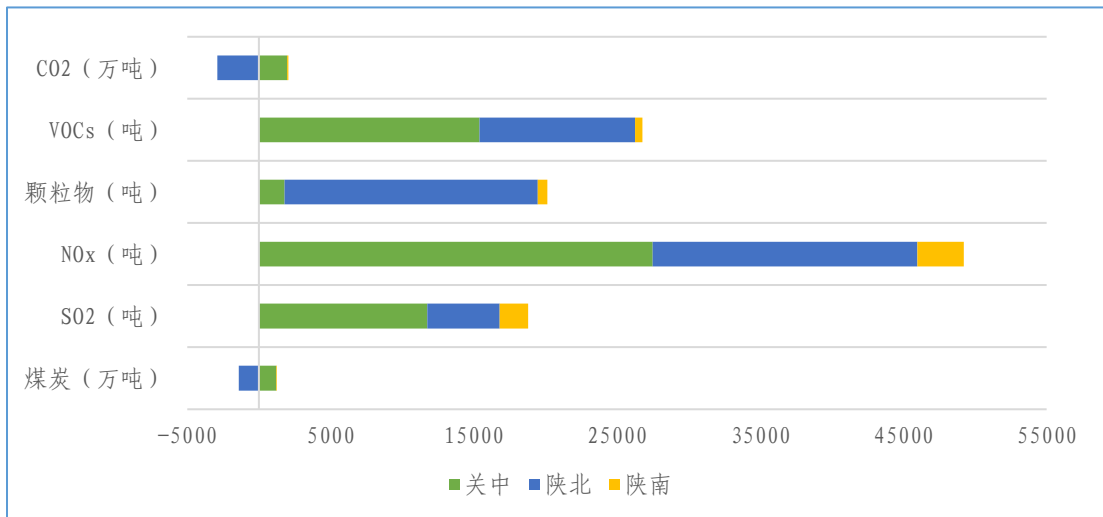


图 6.9-2 减排情景下不同区域煤炭及污染物削减量

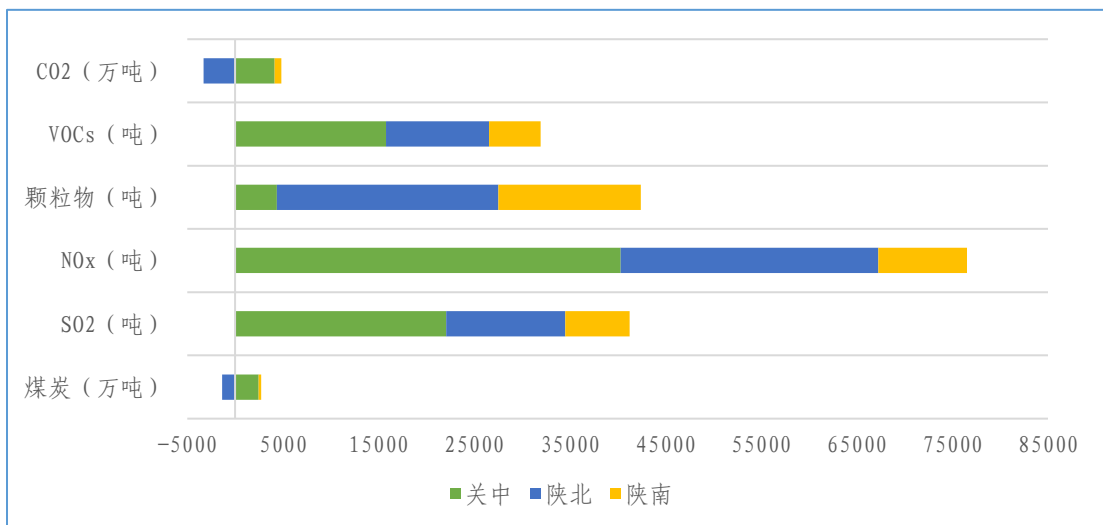


图 6.9-3 强化减排情景下不同区域煤炭及污染物削减量

备注：坐标轴左侧说明存在新增量；

表 6.9-1 基准情景：不同措施下煤炭及污染物削减量

大类	小类	措施代码	煤炭 (万吨)	SO ₂ (吨)	NO _x (吨)	颗粒物 (吨)	VOCs (吨)	CO ₂ (万吨)
能源结构调整 (A1)	降低煤电占比	A1-1	-2317	-16397	-19433	-3388	-559	-4402
	散煤治理	A1-2	-	-	-	-	-	-
产业结构优化 (B1)	电力企业布局调整	B1-1	-	-	-	-	-	-
	推进电炉短流程炼钢	B1-2	158	2106	552	13.5	-	333
	兰炭过剩产能压减	B1-3	19.0	-	-	-	-	7.1
	焦化落后产能压减	B1-4	-	-	-	-	-	-
	非重点行业工业炉窑淘汰	B1-5	0.3	189.1	77.1	62.7	-	0.8
	涉 VOCs 行业源头替代	B1-6	-	-	-	-	5185.5	-
末端治理 (C1)	水泥行业超低排放改造	C1-1	-	-	-	-	-	-
	焦化行业超低排放改造	C1-2	-	-	-	-	-	-
	钢铁行业超低排放改造	C1-3	-	1835	8283	661	-	-
	涉 VOCs 行业污染深度治理	C1-4	-	-	-	-	14687.4	-
	非重点行业工业炉窑污染治理水平提升	C1-5	-	-	-	-	-	-
节能技术改造 (D1)	煤电节能改造	D1-1	-	-	-	-	-	-
	水泥行业节能改造	D1-2	-	-	-	-	-	-
	钢铁行业节能改造	D1-3	17.1	54.87	127.99	131.07	-	32.5

交通运输结构调整(E1)	淘汰国三及以下柴油货车	E1-1			25913.1	475.6	1013.8	
	公转铁	E1-2			2031.3		77.6	
	提升油气回收效率	E1-3					1559.6	
合计		/	-2122.6	-12212	17551.4	-2044.1	21965	-4028.6

备注：-表示煤炭或污染物的新增；-表示该措施在本情景下无减排量或新增量；

表 6.9-2 减排情景：不同措施下煤炭及污染物削减量

大类	小类	措施代码	煤炭(万吨)	SO ₂ (吨)	NO _x (吨)	颗粒物(吨)	VOCs(吨)	CO ₂ (万吨)
能源结构调整(A2)	降低煤电占比	A2-1	-1317	-9317	-11041	-1923	-317	-2502
	散煤治理	A2-2	139.01	3933	1934	13136	4546	517.66
产业结构优化(B2)	电力企业布局调整	B2-1	-	3026	-4725	-1712	-346	-
	推进电炉短流程炼钢	B2-2	194	2813	737	17.5	-	409
	兰炭过剩产能压减	B2-3	290.9	-	-	-	-	45.9
	焦化落后产能压减	B2-4	245.4	49.7	457.5	21.7	193.9	101.2
	非重点行业工业炉窑淘汰	B2-5	2.6	897.5	207.4	425.9	-	7.0
	涉 VOCs 行业源头替代	B2-6	-	-	-	-	5185.5	-
末端治理(C2)	水泥行业超低排放改造	C2-1	-	-	7270.6	-	-	-
	焦化行业超低排放改造	C2-2	-	25	600	-	-	-
	钢铁行业超低排放改造	C2-3	-	1835	8283	661	-	-
	涉 VOCs 行业污染深度治理	C2-4	-	-	-	-	14687.4	-
	非重点行业工业炉窑污染治理水平提升	C2-5	-	13400	13464.8	8365.6	-	-

节能技术改造 (D2)	煤电节能改造	D2-1	270	1912.5	2270.9	395.0	65.1	513
	水泥行业节能改造	D2-2	12.88	137.80	502.25	656.79	38.63	24.47
	钢铁行业节能改造	D2-3	25.7	82.31	191.99	196.60	-	48.8
交通运输结构调整 (E2)	淘汰国三及以下柴油货车	E2-1			25913.1	475.6	1013.8	
	公转铁	E2-2			4062.6		155.2	
	提升油气回收效率	E2-3					1559.6	
合计			-135	18795	50129.7	20716.6	26781.6	-833

表 6.9-3 强化减排情景：不同措施下煤炭及污染物削减量

大类	小类	措施代码	煤炭 (万吨)	SO ₂ (吨)	NO _x (吨)	颗粒物 (吨)	VOCs (吨)	CO ₂ (万吨)
能源结构调整 (A3)	降低煤电占比	A3-1	-617	-4347	-5170	-894	-148	-1172
	散煤治理	A3-2	286.9	8116	3990	27109	9381	1068.2
产业结构优化 (B3)	电力企业布局调整	B3-1	-	2525	-8049	-1816	-500	-
	推进电炉短流程炼钢	B3-2	221.7	3352	879	20.5	-	467
	兰炭过剩产能压减	B3-3	562.8	-	-	-	-	84.7
	焦化落后产能压减	B3-4	455.6	113.9	1214.9	34.8	345.9	190.1
	非重点行业工业炉窑淘汰	B3-5	4.7	1762.3	331.6	658.1	-	12.6
	涉 VOCs 行业源头替代	B3-6	-	-	-	-	5185.5	-
末端治理 (C3)	水泥行业超低排放改造	C3-1	-	-	14370	-	-	-
	焦化行业超低排放改造	C3-2	-	25	600	-	-	-
	钢铁行业超低排放改造	C3-3	-	1835	8283	661	-	-

	涉 VOCs 行业污染深度治理	C3-4	-	-	-	-	14687.4	-
	非重点行业工业炉窑污染治理水平提升	C3-5	-	24609.3	23870	14975.7	-	-
节能技术改造 (D3)	煤电节能改造	D3-1	415	2939.6	3490.4	607.1	100.1	789
	水泥行业节能改造	D3-2	16.26	173.94	633.99	829.06	48.77	30.9
	钢铁行业节能改造	D3-3	42.8	137.18	319.98	327.67	-	81.3
交通运输结构调整 (E3)	淘汰国三及以下柴油货车	E3-1	-	-	25913.1	475.6	1013.8	-
	公转铁	E3-2	-	-	6764.3	-	258.4	-
	提升油气回收效率	E3-3	-	-	-	-	1559.6	-
合计		-	1391	41243	74441.4	42986.6	31932.8	1552

第七章 基于环境质量目标下成本效益分析

7.1 目标可达性分析

7.1.1 减排量计算

根据表 5.3-1 大气主要污染减排比例，结合 2020 年陕西省大气污染物排放现状，“十四五”期间陕西省一次 $PM_{2.5}$ 需减排 3.05 万吨、 NO_x 需减排 4.4 万吨，VOCs 需减排 1.84 万吨。

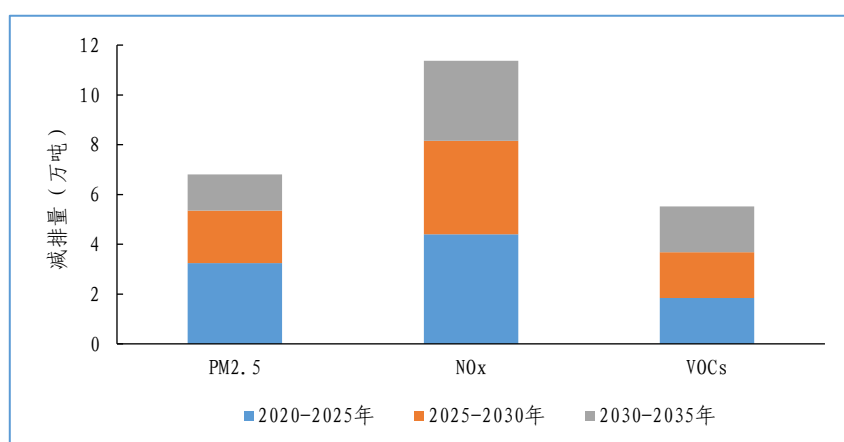


图 7.1-1 不同时期大气污染物减排量

7.1.2 减排方案设定

本研究减排方案设定依据目前全省最关注的 $PM_{2.5}$ 因子，以 2025 年 $PM_{2.5}$ 年均浓度达到目标要求下的减排量为主，分类别设置减排方案。其中各方案中 $PM_{2.5}$ 减排量根据表 7.1-1 中各行业/领域占比进行折算。

表 7.1-1 不同行业/领域烟尘中 $PM_{2.5}$ 占比

行业/领域	电力行业	黑色金属冶炼行业	非金属矿制品业	其他工业行业	散煤燃烧	柴油货车烟气
$PM_{2.5}$ 占比	52%	50%	18%	35%	85% ^[6]	57% ^[7]

根据初步的方案比选发现，在基准情景及减排情景下，各情景内部无论如何组合均无法达到 3.05 万吨的 $PM_{2.5}$ 减排量，故本研究将通过跨情景组合的方式设置不同的减排方案。具体如下：

—减排方案 1(侧重于能源结构调整、产业结构优化及末端治理):

(A3-1)+(A3-2)+(B3-2)+(B3-4)+(B3-5)+(C3-1)+(C3-3)+(C3-4)+(C3-5)

按上述减排方案,一次 PM_{2.5} 可减排 3.106 万吨,NO_x 可减排 4.777 万吨,VOCs 可减排 2.441 万吨,SO₂ 可减排 3.544 万吨,CO₂ 排放量减少 565.9 万吨,煤炭消费量削减 351 万吨。满足“十四五”各项预期目标。

—减排方案 2(侧重于能源结构、交通运输结构调整及末端治理)

(A2-1)+(A3-2)+(C3-3)+(C3-4)+(C3-5)+(D3-1)+(E3-1)+(E2-2)

按上述减排方案,一次 PM_{2.5} 可减排 3.075 万吨,NO_x 可减排 5.857 万吨,VOCs 可减排 2.401 万吨,SO₂ 可减排 2.82 万吨,CO₂ 排放量新增 645 万吨,煤炭消费量新增 615 万吨。满足“十四五”各项预期目标。

—减排方案 3(侧重于能源结构调整、末端治理及节能改造)

(A2-1)+(A3-2)+(C3-1)+(C3-2)+(C3-3)+(C3-4)+(C3-5)+(D3-1)+(D3-2)+(D3-3)

按上述减排方案,一次 PM_{2.5} 可减排 3.079 万吨,NO_x 可减排 4.452 万吨,VOCs 可减排 2.39 万吨,SO₂ 可减排 2.85 万吨,CO₂ 排放量新增 533 万吨,煤炭消费量新增 556 万吨。满足“十四五”各项预期目标。

7.2 基于费效比的减排方案比选

7.2.1 效益分析

(1) 环境效益

减排效益：根据环境交易所最新交易价格，二氧化硫成交价约为 7000 元/吨，氮氧化物成交价约为 30000 元/吨。

低碳效益：目前，全球 SCC 基准值为 40 美元/每吨 CO₂。本文参考 Nordhaus^[10]的研究，将中国的 SCC 值设置为全球 SCC 的 1/4，即 67 元/吨 CO₂。

根据上述污染物价格计算其实施后的环境效益，方案 1、2、3 的货币化环境效益分别为 20.60、15.22、11.78 亿元。

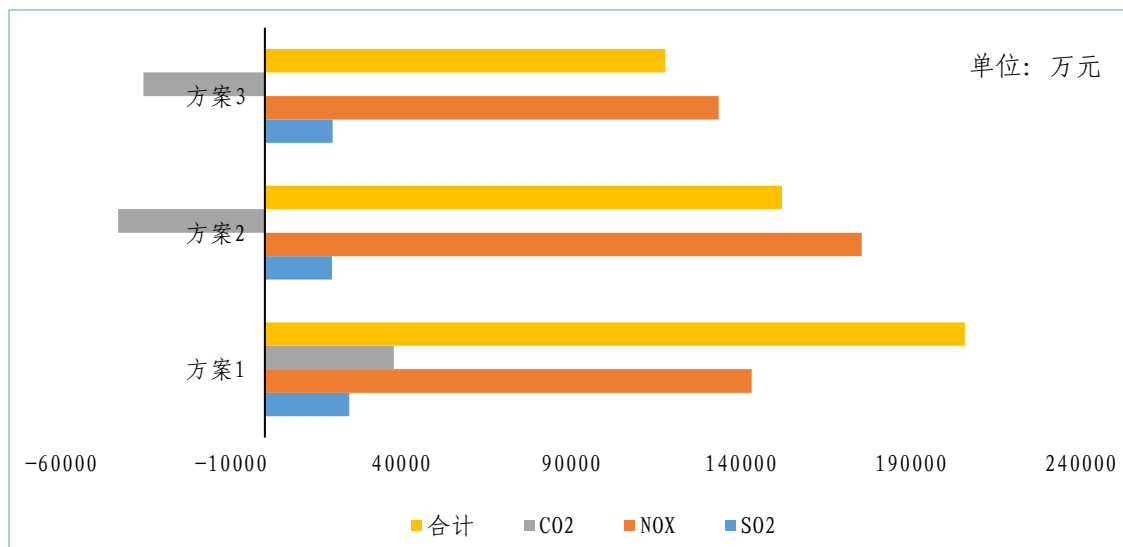


图 7.2-1 三种减排方案实施后环境效益比较

注：图中纵坐标轴左侧的柱子表示为环境负效益，即碳排放治理费用增加。

(2) 健康效益

目前，我国大气环境质量整体还处于对人体健康有损失的阶段，因此，大气环境质量改善的健康效益通过各年度之间大气环境污染损

失减少进行核算。本研究通过支付意愿法量化过早死亡的健康影响，通过疾病成本法量化其他健康终端的健康影响。

A、环境空气污染贡献

一减排方案健康终端贡献计算

根据刘泓汛等^[8-9]人的研究成果，本研究量化了污染物减排量与健康终端的关系。通过计算减排方案 1 实施后预计减少因大气污染导致的过早死亡人数 2903 人，心血管疾病住院人数 1674 人，呼吸系统疾病 1420 人；方案 2 实施后预计减少过早死亡人数 2911 人，心血管疾病住院人数 1778 人，呼吸系统疾病 1513 人；方案 3 实施后预计减少过早死亡人数 2867 人，心血管疾病住院人数 1621 人，呼吸系统疾病 1376 人；通过支付意愿法计算方案 1、2、3 的健康效应分别为：110.03 亿元、109.61 亿元、108.88 亿元。

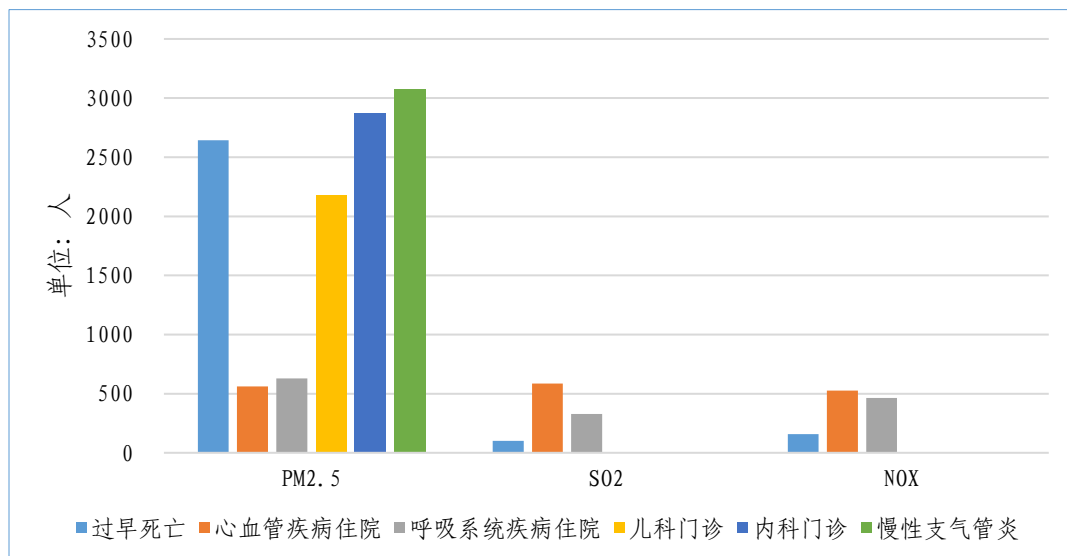


图 7.2-2 减排方案 1 实施后健康效益

注:图中每个条形柱代表每种污染物减排对某一种特定健康终端的贡献，即减少的死亡或发病人数。

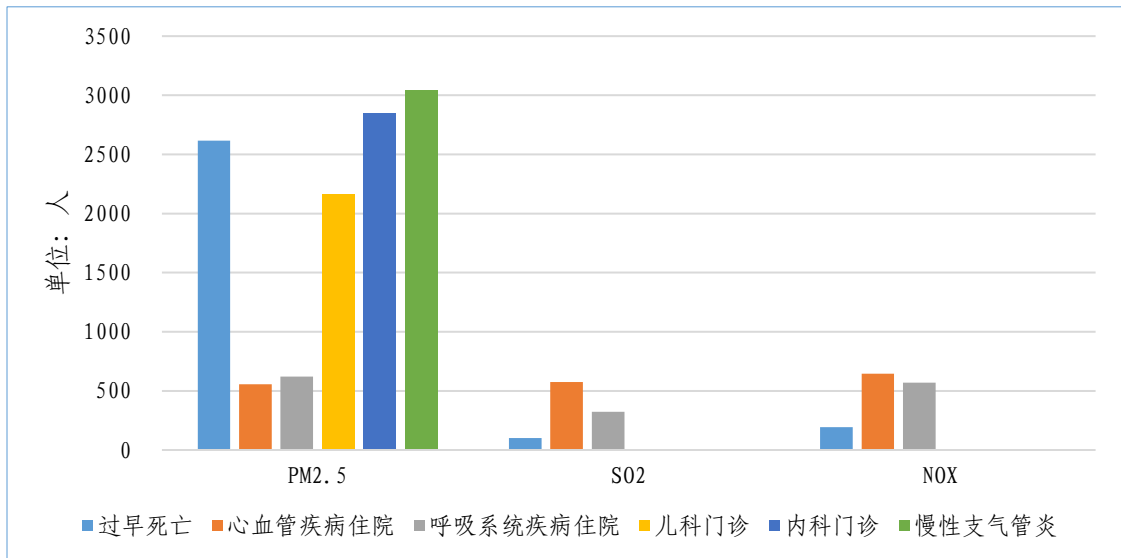


图 7.2-3 减排方案 2 实施后健康效益

注:图中每个条形柱代表每种污染物减排对某一种特定健康终端的贡献,即减少的死亡或发病人数。

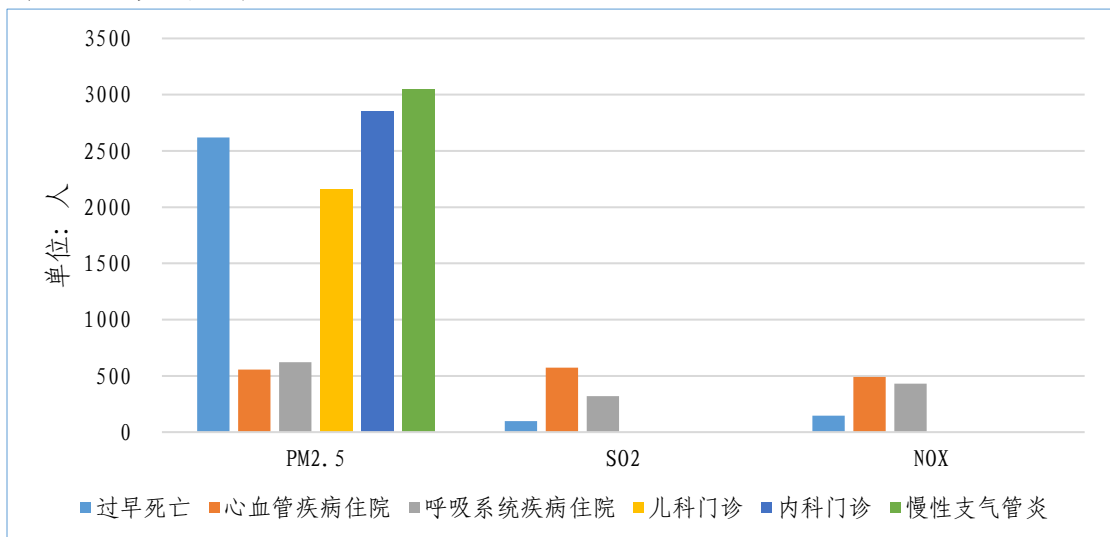


图 7.2-4 减排方案 3 实施后健康效益

注:图中每个条形柱代表每种污染物减排对某一种特定健康终端的贡献,即减少的死亡或发病人数。

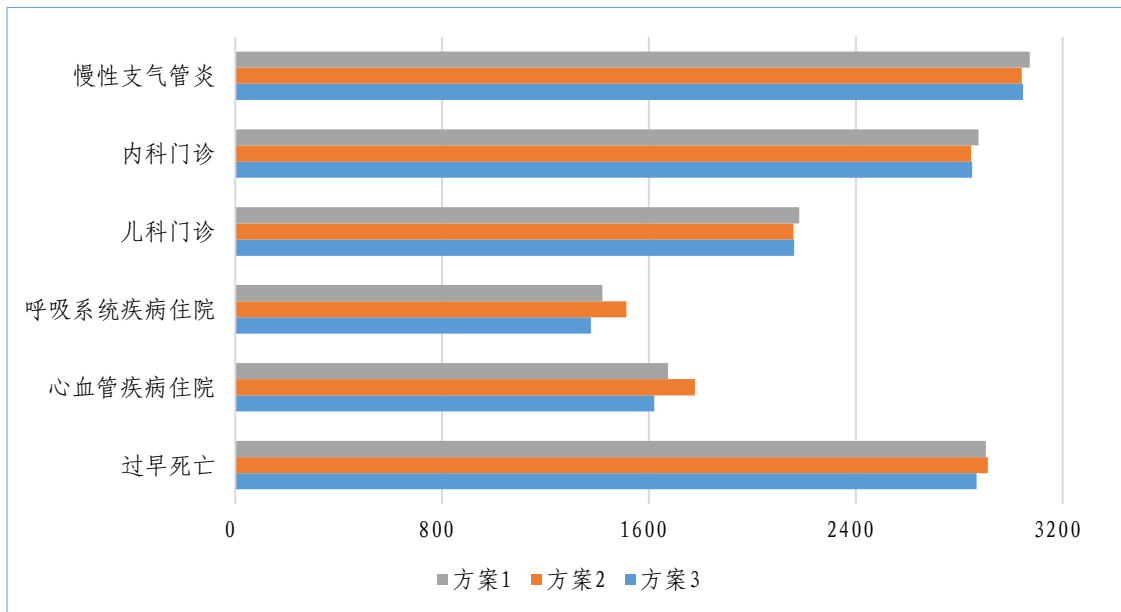


图 7.2-5 三种减排方案实施后健康效益比较

注:图中每个条形柱代表每种污染物减排对某一种特定健康终端的贡献,即减少的死亡或发病人数。

—健康效益货币化计算

表 7.2-1 减排方案健康效益比较

健康终端	方案 1 健康效益货币化 (万元)				方案 2 健康效益货币化 (万元)				方案 3 健康效益货币化 (万元)			
	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	小计	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	小计	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	小计
过早死亡	1020354	18363	28501	1067218	1010170	18062	34944	1063177	1011484	17979	26562	1056025
心血管	377	408	362	1146	373	401	443	1217	373	399	337	1110
呼吸	426	229	318	973	422	225	390	1037	423	224	297	943
儿科	50	0	0	50	49	0	0	49	49	0	0	49
内科	63	0	0	63	62	0	0	62	62	0	0	62
慢性支气管	30888	0	0	30888	30580	0	0	30580	30620	0	0	30620
合计	1052158	18999	29181	1100338	1041656	18688	35778	1096122	1043011	18603	27195	1088809

B、室内空气污染贡献

2020年陕西省散煤消费量约为286.86万吨，户均散煤消费量按4吨/年计算，需对71.5万户家庭进行清洁取暖改造（煤改气、煤改电），通过实施改造所产生的健康效益如表7.2-2。数据显示，冬季取暖散煤替代可极大地减少慢阻肺疾病的患病和死亡人数，分别约为32696例和283例，二者合计所对应的货币化收益相当于人民币22.7亿元。再将因避免急性下呼吸道感染和肺癌产生的健康效益考虑在内，实现家庭清洁取暖，仅因减少室内空气污染(未考虑对环境空气污染的贡献)即可产生人民币效益约25亿元/年。

表 7.2-2 散煤替代的健康效益

类别	下呼吸道感染		慢阻肺疾病		肺癌		小计
	人数	货币化健康效益	人数	货币化健康效益	人数	货币化健康效益	
患病	479	9.5	30673	196003	-	-	196012
死亡	15	2647	286	31117	207	22549	56313
合计	494	2656.5	30959.2	227119.5	207	22549	252325

(3) 节能效益

节约能源、减少能源消耗，是降低污染物排放最现实、最有效的途径。通过优化调整电源生产结构，降低煤电占比，提高绿电比例，大幅减少煤炭作为燃料的消耗量，将对全省能源结构调整起到举足轻重的作用。受国际形势及经济复苏资源需求，煤炭单价上涨至1500元/吨。火电机组平均服役期限按30年计算，其三种方案的货币化节能效益如下：

表 7.2-3 减排方案节能效益比较

类别	发电量 (万千瓦)	发电煤耗 (g/千瓦)	机组服役期 (年)	煤炭单价 (元/吨)	节能效益 (亿元)
方案1	958	300	30	1500	1.2933
方案2	738	300	30	1500	0.9963
方案3	738	300	30	1500	0.9963

(4) 其他效益

大气环境质量改善除了给人体健康带来效益外，对农作物、室外建筑材料、清洁方面也将带来好处。大气环境质量改善引起的其他效益主要包括农业作物减少损失、室外建筑材料减少损失和清洁成本减少损失等三部分组成。大气环境质量改善除了给人体健康带来效益外，对农作物、建筑材料、清洁费用方面也将带来益处。根据研究成果，因大气环境质量改善带来的其他效益为 3599 万元/当量污染物。三种方案的其他效益具体如下：

表 7.2-4 减排方案其他效益比较

污染因子	方案 1	方案 2	方案 3	当量值	备注
PM (万吨)	4.19	4.19	4.26	2.18	环境保护税法附表 2
SO ₂ (万吨)	3.54	2.82	2.85	0.95	
NO _x (万吨)	4.77	5.86	4.45	0.95	
VOCs (万吨)	2.44	2.40	2.39	0.95	《挥发性有机物排污收费试点办法》
当量合计	19.35	19.66	18.49	-	-
效益 (亿元)	6.96	7.08	6.66	-	-

(5) 效益合计

由下图可知方案 1 货币化效益最高达到 164.11 亿元，其次为方案 2 货币化效益为 158.13 亿元，方案 3 货币化效益最低为 153.54 亿元。

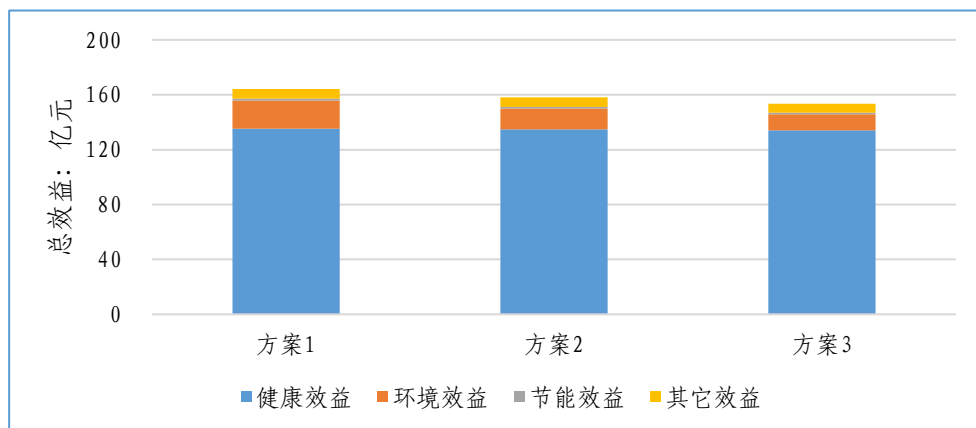


图 7.2-6 三种减排方案总效益比较

7.2.2 成本分析

本研究基于生态环境部环境规划院对《大气十条》各项措施的实施费用估算研究及目前最新的政策补偿成本、企业升级改造实际成本等估算减排方案中各项措施的成本。

(1) 能源结构调整^[a]

根据目前其他省份在建及拟建的光伏及水利发电项目投资计划，其光伏发电项目投资单价约为 0.58 亿元/万千瓦时，水力发电项目投资单价约为 0.6 亿元/万千瓦时；散煤替代成本计算蓄热式电暖炉、空气热源泵投资成本，单户改造成本为 4300 元/户。三种方案改造的成本如图 7.2-7，其中减排方案 1 改造成本为 591.4 亿元，方案 2、方案 3 的改造成本为 462 亿元。

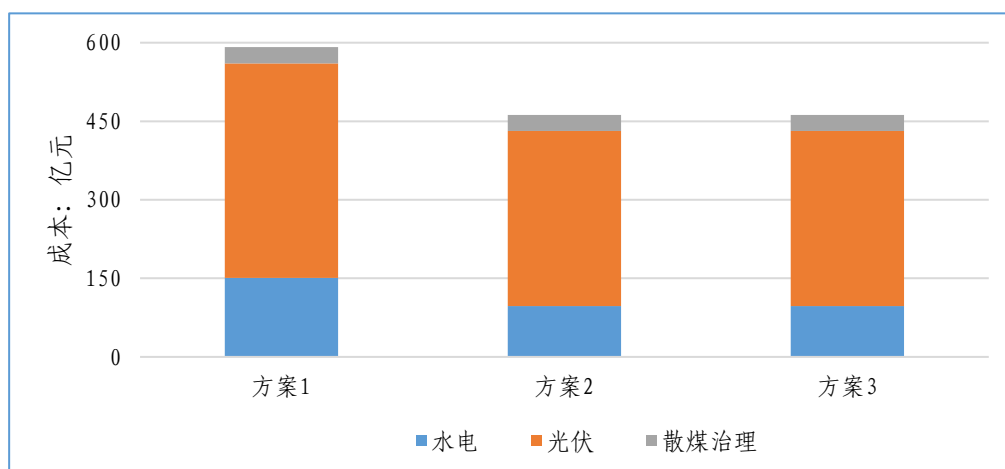


图 7.2-7 三种减排方案能源结构调整成本比较

(2) 产业结构调整

电力企业布局调整^[a]：关中地区电厂搬迁至陕北，假设电厂建设规模均在 300 万千瓦以上，按照 4000 元/千瓦造价算，减排情景下需投入资金 289 亿元，强化减排情景下需投入资金 480 亿元。

电炉短流程炼钢^[a]：短流程炼钢投资成本约为 1500 元/吨钢，减

排情景下新增 40 万吨短流程炼钢产能需投入资金 6 亿元，强化减排情景下新增 70 万吨短炉炼钢产能需投入资金 10.5 亿元。

炼焦行业淘汰落后产能^[b]：落后产能淘汰仅计算政府针对淘汰产能的补助费用，其补助标准按 30 元/吨计算，减排情景下淘汰焦炭（含半焦）产能 387 万吨，政府补贴成本为 1.16 亿元，强化减排情景下淘汰焦炭（含半焦）产能 775 万吨，政府补贴成本为 3.32 亿元。

工业燃煤炉窑淘汰^[b]：按照单台炉窑补助 30 万元计算，减排情境下淘汰 150 台小型燃煤炉窑政府补贴成本为 0.45 亿元，强化减排情境下淘汰 275 台小型燃煤炉窑政府补贴成本为 0.83 亿元。¹

按照上述各项措施投资费用计算，减排方案 1 的成本为 14.65 亿元，因减排方案 2、3 不涉及产业结构优化模块，故在此不做计算。

（3）末端治理

水泥行业超低排放改造：水泥行业超低排放改造费用在 1000-2000 万/家不等，为匡算全省水泥行业超低排放改造费用，按 1500 万元/家的水泥企业超低排放改造费用计算，关中地区水泥厂全部达到超低排放水平预计需投入资金 5.1 亿元。

焦化行业超低排放改造：全省需实施超低排放改造企业共计 2 家，且产能规模较小，参照水泥行业超低排放改造费用，预计需投入 0.3 亿。

钢铁行业超低排放改造：根据调研情况来看，钢铁厂规模不同，其超低排放改造费用不同，根据 7 家钢厂超低排放改造方案，全部实施超低排放改造预计需投入资金 14.88 亿元。

涉 VOCs 行业深度治理：VOCs 深度治理技术费用在 40-350 万元

¹[a]相关数据来源行业投资分析；[b]相关数据来源于其他省份淘汰补贴。

之间，根据陕西省工业行业类别及挥发性有机物排放特征，采用不同的治理工艺，其中对石化、化工行业拟采用蓄热式燃烧技术，印刷、工业涂装采用费用较低的光催化+吸附技术，其改造费用预计 51.85 亿元。

燃煤工业炉窑深度治理²：不同规模炉窑深度治理费用不同，从调研情况来看我省大型炉窑数量少，且基本已根据要求安装污染治理设施，本研究仅测算新安装污染治理设施费用及原未达标装置升级改造费用。单台工业炉窑深度治理费用按 50 万元计算，保守估计全省燃煤工业炉窑实施深度治理需要投入资金 1.5 亿元左右。

根据上述各项措施投入资金，三种方案的成本如图 7.2-8，减排方案 1 改造成本为 73.33 亿元，方案 2 改造成本为 68.23 亿元，方案 3 的改造成本为 73.63 亿元。

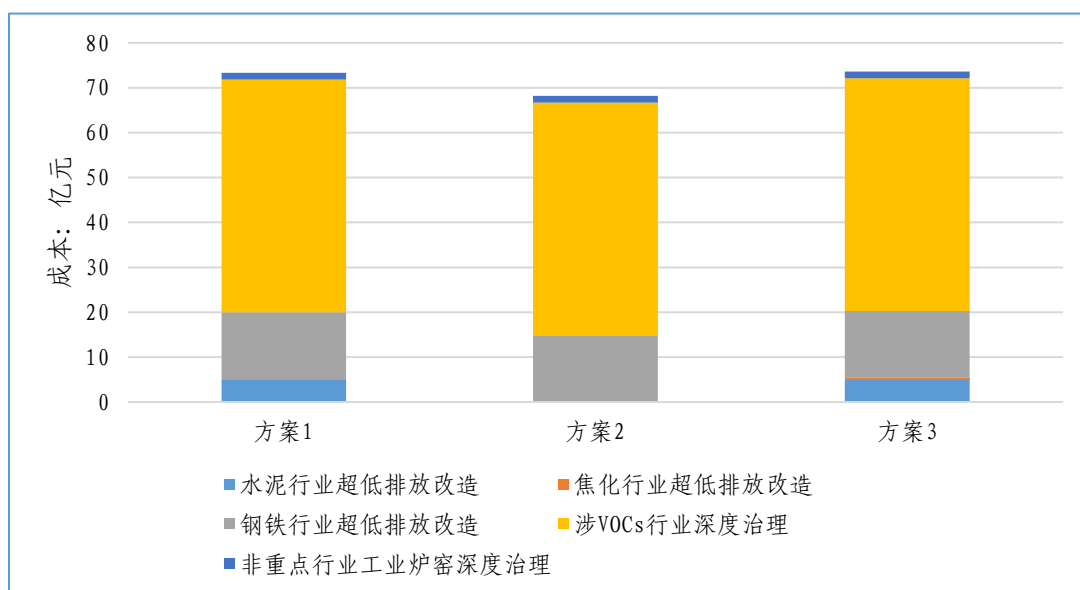


图 7.2-8 三种减排方案末端治理成本比较

(4) 节能改造

节能改造以优化企业的管理模式、提高管理水平为重点，不考虑

²治理费用根据其他省份补贴数据及治理设施设备购置费用估算

企业设备更新导致的新增成本，在企业管理人员配置不变的情况下，节能改造无成本增加。

(5) 交通运输结构调整

淘汰国三及以下柴油货车：陕西省国三及以下柴油货车淘汰补贴 2.6 万/辆，淘汰 7.1 万辆预计成本为 18.46 亿元。在运输力度不减弱的情况下，综合考虑公转铁运输量，保守估计减排情景下国五及以上柴油货车增加 3.5 万辆，柴油货车单价按 25 万/辆计算，预计需要投入资金 87.5 亿元。合计淘汰国三以及下柴油货车减排情景下需投入资金 105.96 亿元。

公转铁：根据《国家发改委等部门关于加快推进 2022-2023 年铁路专用线等重点项目建设的通知》，陕西省涉及项目 7 个，线路总里程 67.8 公里。以上述年修建里程数为参考，同时考虑铁路线路的饱和情况，保守估计基准情景下“十四五”预计修建专用铁路 120 公里，减排情景下预计修建专用铁路 200 公里，强化减排情景下预计修建专用铁路 260 公里。如修建 1 公里普通铁路投资按 3000 万计算，基准情景、减排情景和强化减排情景投资分别为 36 亿元、60 亿元和 78 亿元。

油气回收改造：储油库油气回收改造费用按 360 万/家³计算，完成全省所有储油库油气回收改造项目预计需要资金 17.10 亿元。

按照上述各项措施投资费用计算，减排方案 2 的成本为 183.9 亿元，因减排方案 1、3 不涉及交通结构调整模块，故在此不做计算。

(6) 成本合计

由下图可知方案 1 改造成本最高达到 679.38 亿元，其次为方案 2

³ 数据来源于油气田环境保护·技术研究与应用

改造成本为 714.19 亿元，方案 3 改造成本为 535.63 亿元。

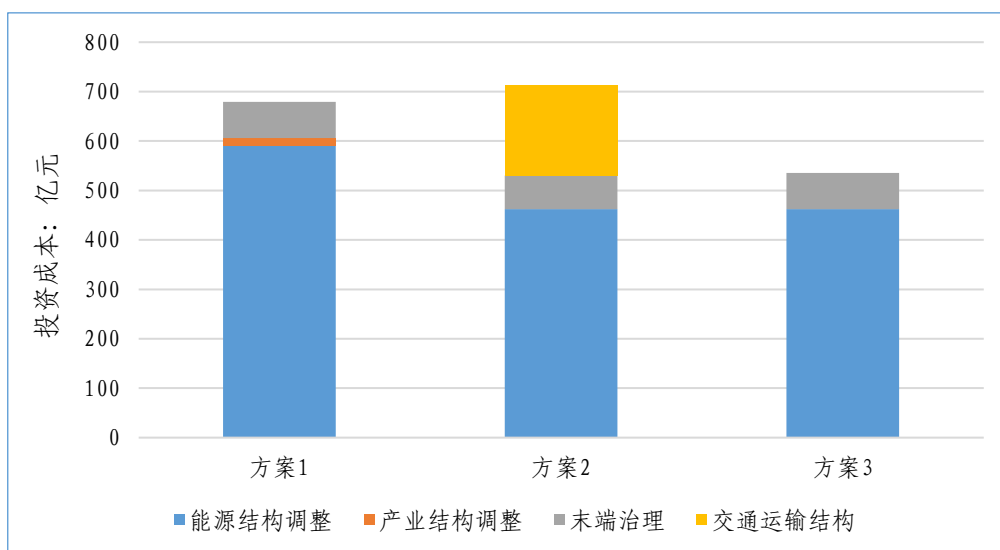


图 7.2-9 三种减排方案改造成本比较

7.2.3 费效比分析

整体来看，三种方案费效比均比较低，即投入大产出小，主要是因为“十三五”期间末端治理实施力度大，减排效果突出，目前末端治理减排空间逐步压缩，以产业结构、能源结构、交通运输结构、用地结构等四大结构调整作为“十四五”减排的着力点和工作重点，中省均出台了一系列措施促进结构优化与调整，但结构调整是牵一发而动全身的工程，其资金投入巨大，在达到相同减排量的情况下，结构调整资金投入要远远大于末端治理，故而导致费效比偏低。

相对来看，方案 3 费效比较高为 0.287，即每投资 1 万元带来的效益为 2867 元；其次为方案 1 费效比为 0.242，每投资 1 万元带来的环境效益为 2416 元；方案 2 费效比最低为 0.221，每投资 1 万元带来的环境效益为 2214 元。故针对本研究推荐减排方案 3。

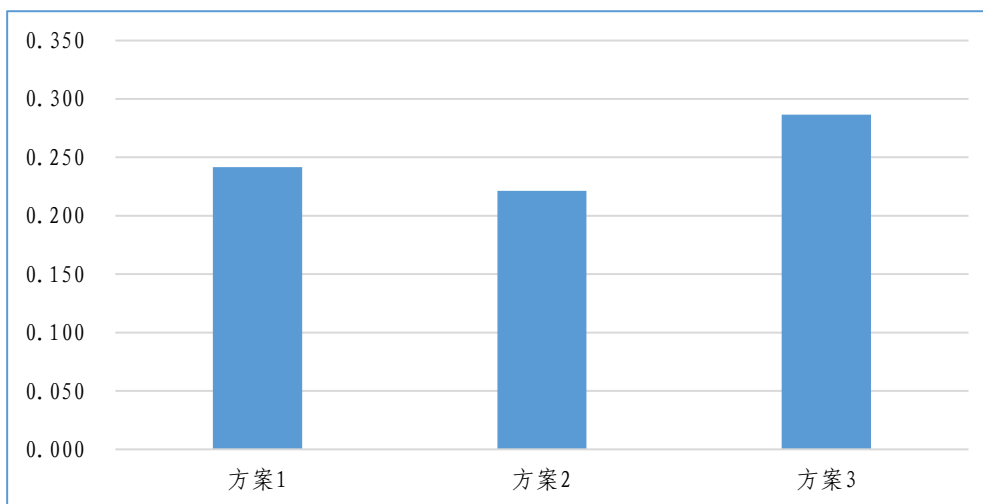


图 7.2-10 三种减排方案成本效益比较（费效比）

7.3 小结

（1）达到目标年大气环境质量要求，“十四五”期间陕西省一次PM2.5需减排3.05万吨、NO_x需减排4.4万吨，VOCs需减排1.84万吨。通过情景间各减排措施自由组合的方式，筛选出3个减排方案可满足“十四五”总量减排目标，各方案减排侧重领域不同，其中方案1侧重于能源结构调整、产业结构优化及末端治理，方案2侧重于能源结构、交通运输结构调整及末端治理，方案3侧重于能源结构调整、末端治理及节能改造。总体来看能源结构调整（散煤治理）、末端治理（工业炉窑深度治理、涉VOCs行业治理效率提升）是我省“十四五”减排的重点行业及领域，存在较大的减排潜力。

（2）效益方面综合考虑了污染物减排带来的环境效益、环境质量改善带来的健康效益、能源结构调整及节能改造带来的节能效益及大气环境质量改善引起的农业作物减少损失、室外建筑材料减少损失和清洁成本减少损失等其它效益。经测算方案1货币化效益最高达到164.11亿元，方案2货币化效益为158.13亿元，方案3货币化效益

为 153.54 亿元。

(3) 成本方面综合考虑能源结构调整、产业布局优化、末端治理、交通运输结构调整中各项具体措施的実施成本，总体来看能源结构调整、产业布局优化、交通运输结构调整三大模块的投资成本较大，具体到小类措施上，则是电源结构调整、电厂布局优化、国三及以下柴油货车淘汰更新等措施成本较高。从投入产出比来看，末端治理各项措施、散煤治理工作及节能改造等措施，在有限的资金投入下可产生较大的减排效应，而结构调整则是资金投入巨大但产生的减排效益微小。

(4) 三种方案费效比均较低，即投入大产出小，目前末端治理减排空间逐步压缩，以产业结构、能源结构、交通运输结构、用地结构等四大结构调整作为“十四五”减排的着力点和工作重点，但结构调整资金投入巨大，在达到相同减排量的情况下，结构调整资金投入要远远大于末端治理，故而导致费效比偏低。相对来看，方案 3 费效比较高为 0.287，即每投资 1 万元带来的效益为 2867 元；其次为方案 1 费效比为 0.242，每投资 1 万元带来的环境效益为 2416 元；方案 2 费效比最低为 0.221，每投资 1 万元带来的环境效益为 2214 元。故针对本研究推荐减排方案 3。

第八章 研究结论及对策建议

8.1 研究结论

8.1.1 重点区域大气环境质量进一步改善难度大

本研究通过对陕西省大气环境质量现状、大气污染物排放现状、产业结构现状及能源结构现状等系统分析，全面梳理了“十三五”期间陕西省生态环境、产业结构、能源结构存在的问题，深入剖析了影响陕西省大气环境质量的因素。研究表明“十三五”期间陕西省大气环境质量有了较大改善，但产业结构偏重、能源结构偏煤、交通运输结构偏公路等生态环境结构性、根源性问题尚未根本缓解。关中地区受地理位置及气候影响，加之三大结构不优等因素，随着末端治理减排空间压减，关中地区减排潜力进一步压缩，但关中地区作为汾渭平原重要组成部分，环境质量总体不优，大气环境质量改善需求迫切，污染防治压力大。结合三大区域减排潜力测算情况，关中地区减排量（尤其是颗粒物）不足以支撑区域环境质量大幅改善要求。总体来看，关中地区环境质量不优但减排潜力有限，在现行措施下区域大气环境质量进一步改善难度增大。

8.1.2 大气结构性污染问题依旧突出

陕西省结构性污染问题突出，2020 年全省第二产业占经济总量的比重为 43.4%，高于全国平均水平 5.6 个百分点；煤炭占一次能源的比重高于全国平均水平 16 个百分点；货物周转量公路运输比例高于全国平均水平近 20 个百分点。产业、能源、交通运输结构整体不优，导致复合型大气污染特征明显，污染防治形势严峻。基于陕西省省情，结构性污染治理难度要远大于固定污染源末端治理，一方面是因为陕西省作为能源化工大省，其中重点产业基本都存在倚能发展特

点,以能源化工为主的上下游产业链经济产值约占到全省总产值的 40% 左右,是陕西省 GDP 的重要贡献者,大规模转型困难;另一方面结构调整投资成本较高,在末端治理减排空间逐渐压缩的情况下,污染减排向结构调整转变,从成效分析结果看在达到相同减排量的情况下,结构调整资金投入是末端治理及其他措施的数倍或数百倍。为实现区域大气环境质量的全面改善,结构性污染治理是陕西省必须面对和解决的难题。

8.1.3 能源结构是影响环境质量最深层因素

为研究能源结构、产业结构对环境质量的相关性,精准定位影响大气环境质量的主要因素及领域,本研究通过灰色关联度模型、英格兰因果检验、面板 VAR 模型定性定量研究了产业结构与环境质量、能源结构与环境质量的关系。研究表明,能源结构中原煤、焦炭、柴油与环境质量关联程度最大,是影响环境质量最重要的 3 个因素;产业结构中传统倚煤耗能工业行业发展与环境质量关联程度最大,产业结构对环境质量的影响归根结底是工业能源结构对环境质量的影响。交通运输作为柴油消费的最主要领域,实施“中重型柴油货车淘汰更新”“货物运输公转铁”等措施其最终的目的是通过推进交通运输结构电气化实现能源消费结构调整优化。换言之,产业结构/交通运输结构对环境质量产生影响的最本质最深层的机制仍然是能源消费对环境质量的影响。

8.1.4 减煤控煤对减污降碳贡献显著

从能源结构来看,陕西省能源结构偏煤明显,煤炭在工业生产中作为燃料的消费量约占到煤炭消费总量的 80% 以上,煤炭燃烧不仅是

对资源能源的极大浪费同时在燃烧过程中伴随着大量大气污染物和CO₂的排放，据调查减少1标吨煤炭燃烧将同时削减8.5kgSO₂、7.4kgNO_x（考虑大气污染物平均治理效率）和2.66吨CO₂，同时利用本地化的WRF-Chem模型，在排除气象因素的影响前提下，测算了“十三五”各项减排措施对环境质量的改善贡献，结果显示“减煤”对PM_{2.5}、SO₂、NO₂、CO浓度的降低均有非常明显的效果。以“碳中和”远景为目标倒推2060年煤炭削减量，在充分考虑碳汇能力提升、CCUS等碳封存、利用技术革新，陕西省要全面实现“碳中和”，大规模的煤炭压减也是必然趋势。通过测算当煤炭（燃料）消费比重下降10%，预计削减11.49万吨SO₂、9.99万吨NO_x（考虑污染治理设施处理效率）和3593.66万吨CO₂。鉴于工业行业大气污染物与碳排放行业高度同源性的特点，推进能源结构低煤化、绿色化发展对减污降碳协同治理具有显著的贡献，从源头实现了污染治理与碳减排。

8.2 对策建议

8.2.1 能源结构优化调整对策建议

（1）提升电力系统清洁化水平

充分发挥煤电的电力平衡保障作用，加快推进煤电由主体电源向基础性、调节性电源转变，积极开展煤电灵活性改造。从保障用电安全、可再生能源灵活性角度出发，分区域、分地市对未来电力系统的安全裕度进行准确评估，建立合理的收益和成本分摊机制，因地制宜、一地一策解决煤电企业政策性亏损，确保煤电基础性兜底作用的落实。严控煤电新增规模，深入开发陕北长城沿线风电资源，陕北、关中地区光伏资源，陕南地区水电资源，推动电力生产结构低碳化、清洁化发展。完善煤电退出机制和新能源发展政策，建立完善电力容量市场、

辅助服务市场和煤电容量回收机制，对承担调峰任务的煤电机组、非供暖季停发的高背压机组给予合理补偿。推动电价政策改革，深化钢铁、煤化工、水泥等重点行业差别化电价政策。基于能源安全条件下开展跨区域输电。完善调峰、调频、备用等辅助服务价格，激发其他常规电源参与调峰的积极性，打破省间壁垒，充分发挥跨省跨区联网输电通道的调峰作用。

（2）推进重点领域煤炭清洁高效利用

围绕煤炭洗选、燃煤发电、燃煤锅炉供热、煤化工等重点领域，推进煤炭清洁高效利用。以煤炭清洁高效转化重点，拓展煤油气盐多元综合循环利用途径，发展精细化工材料和终端应用产品，延伸产业链、提高附加值，强化多能融合，全面提升能源化工产业链现代化水平。有序推进煤炭分级分质梯级利用、煤油共炼等示范工程，发展高端化、差异化聚烯烃产品，合理控制煤制乙二醇规模，突破煤制芳烃技术瓶颈，推动向下游聚酯、工程塑料、特种橡胶、高分子复合材料等高附加值产业延伸，带动相关专用化学品和医药中间体、高端碳材料、服装面料、化纤包装等产业一体化发展。进一步发挥绿色金融支持作用，引导金融机构加大信贷支持力度。严格落实与煤炭清洁高效利用相关的税收优惠政策，充分激发企业开展煤炭清洁高效利用改造的内生动力。

（3）实施节能优先战略

把提高能效、节能减排作为能源政策的杠杆。把节能贯穿于经济社会发展全过程，倡导绿色生活方式和消费文化，推广应用节能产品，推行国际先进能效标准和节能制度，推动形成全社会节能型生产方式和消费模式。以火电、焦化、钢铁、水泥等行业为重点，瞄准国际先

进水平，通过实施重点用能设备能效、能量系统优化、余热余压深度利用等节能重点工程，推动能源利用效率提升。加快重点耗能企业技术改造，提升主要耗能行业能效水平。大力发展节能低碳建筑，推动绿色建筑规模化发展。提高既有居住建筑节能水平，严格管控高耗能公共建筑建设。按照煤炭集中使用、清洁利用的原则，大力推进关中地区散煤清零，有序推进陕北、陕南地区散煤治理，新增天然气气量优先用于居民生活用气和冬季取暖散煤替代。

8.2.2 产业结构/产业布局优化调整对策建议

（1）开展重点行业污染治理与落后产能淘汰

实施重点行业氮氧化物污染深度治理，推进钢铁、水泥企业超低排放改造，探索开展焦化行业超低排放改造，推进玻璃、陶瓷、砖瓦、铸造、有色等行业工业炉窑深度治理。开展重点行业 VOCs 综合整治，建立石化、化工、工业涂装、包装印刷、家具、电子制造、工程制造等重点行业源头、过程和末端全过程控制体系。加快落后产能淘汰，全面淘汰陕北地区半焦（兰炭）行业单炉规模小于 7.5 万吨产能，有序开展单炉规模 7.5 万吨的半焦炉淘汰工作；实施“以钢定焦”政策，淘汰焦化行业炭化炉高度 4.3 米及以下的捣鼓焦炉，加快“上大关小”大型焦化项目建设。加大废钢资源回收利用，鼓励长流程钢铁企业通过就地改造转型发展电弧炉短流程炼钢。坚决执行钢铁、水泥等产能置换政策，落实高耗能行业有序用电工作，建立以区域环境质量改善和碳达峰目标为导向的产业准入及退出清单制度。严控传统煤化工新增产能，控制现代煤化工发展规模。

（2）优化产业内部结构

巩固农业基础地位，加快农业产业化步伐，鼓励发展优质、生态、

安全的现代农业，支持建设绿色、无公害农产品，以及有机食品优势产业带。积极调整农业种植结构、优化种养模式，激发农业碳汇潜力。立足工业产业现状，坚持淘汰与改造提升并举，推动食品加工、石油（煤炭）化工、冶金钢铁、建筑建材等传统产业向高端化、智能化、绿色化发展。实施传统产业转型升级改造专项行动，加大企业设备更新和技术改造力度，推动传统制造业绿色改造升级，加快行业结构低碳化、制造过程清洁化、资源能源利用高效化、园区建设绿色化，构建覆盖全产业链的绿色制造体系。围绕新一代信息技术、光伏、新材料、汽车、现代化工、生物医药等重点领域，补齐产业链供应链短板，锻造产业链供应链长板，提升产业链整体竞争优势。以汽车、光伏、半导体、机床等为重点，支持省内企业加强协同发展，提高本地配套率，实现上下游、产供销有效衔接。推动一二三产业深度融合。

（3）优化区域产业发展布局

以关中产业布局一体化为目标，优化要素资源配置，引导西安非中心城市核心功能向关中地区有序疏解转移，支持关中各市区加强与西安产业协作配套。建设关中先进制造业大走廊，以陇海交通线为主轴，集中布局一批军民、央地、部省、省市共建先进制造项目和平台，承接国内外高端制造业转移，加大资金、土地等保障，推进产业发展空间相对集聚、功能适度错位、产业链相互配套，构建以西安为中心、以宝鸡为副中心、横贯关中平原的先进制造业大走廊和国防科技工业产业带，打造陕西省工业发展的“主脊梁”。以能源革命为引领，优化“一区六基地”能源发展格局，加速推动陕北转型升级发展，高水平建设榆林能源革命创新示范区和延安综合

能源基地，强化创新引领，推进能源技术创新和产业化示范，打造世界一流高端能源化工基地。坚持绿色化发展，加快转变能源发展方式，加强能源资源一体化开发利用，推动能源化工产业向精深加工、高端化延伸，带动能源偏好型制造业、现代服务业集聚，建立以能源为主导、多元支撑的现代化产业体系。加快电源空间布局优化，统筹城市和工业园区供热、煤矸石煤泥资源综合利用、先进载能工业协同发展，推进电源布局战略北移，严格控制关中煤电规模，加大煤电淘汰关停和升级改造。以经济生态化、生态经济化为路径，夯实陕南绿色循环发展基础。进一步挖掘陕南绿色生态优势，扩大生态有机绿色产品供给，培育生态康养、休闲度假、绿色食品等新增长点，建设现代化生态经济体系，打造全国优质生态产品基地。以主体功能区为引领，开展各类绿色循环发展试点示范，发展“飞地经济”。完善生态多元化补偿机制，加快实现生态经济化和经济生态化。

8.2.3 交通运输优化调整对策建议

(1) 加快实施大宗货物“公转铁”

针对钢铁、焦化、煤炭开采等重点行业，持续优化货物运输结构，推进大宗物料的清洁运输。全面提高既有铁路运输通道潜力，主动承接“公转铁”物资运输。加大货运铁路建设投入力度，优化铁路专用线建设和接轨审批流程，提高前期手续办理效率，加快建设煤炭、煤化工、焦化、石油等重点企业以及大型物流园区铁路专用线项目，并充分利用已有铁路专用线增加大宗货物中长距离运输

量。规划筹建货物运转枢纽场站或相关配套基础设施，构建货物集中、疏导与运输体系，实现公路与铁路联运无缝接驳，降低货物运输成本，提高货物运输效率。积极构建运输信息共享平台，打破原有公路与铁路各自为战的运输格局。规制配套财税政策。在现有国家税收政策基础上，依据公路与铁路运输领域合理诉求，对承揽货物铁路运输业务较多的企业，实施必要的税收奖励政策，促进“公转铁”进程的不断加快。

（2）推广低碳高效运输装备

开展柴油车淘汰工作，从源头推进交通体系清洁化，淘汰国三及以下柴油车。督促落实新能源汽车与清洁能源汽车推广应用主体责任，严格执行国家新能源汽车免征车辆购置税和车船税有关政策，用足用好中央财政基础设施奖励补贴政策，做好城市公交充电基础设施配套建设。推广使用新能源汽车，加快推进城市建成区新增和更新的公交、环卫、邮政、出租、轻型物流配送车辆使用新能源或清洁能源汽车，关中地区使用比例达到 80%；关中地区机场、铁路货场等新增或更换作业车辆主要使用新能源或清洁能源汽车。

参考文献

- [1] 卢一伦 韩湘涛 李陶然. 陕西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [2] 陕西省统计年鉴-2021[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [3] 陕西省生态环境状况公报 2020.
- [4] 陕西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[M]. 西安: 陕西新华出版传媒集团 陕西人民出版社, 2021.
- [5] 王晓丽 刘畅 关文玲. 基于主成分分析法的城市大气主要污染物关系研究[J]. 天津理工大学学报, 2015, 31(2): 20-23.
- [6] 段凤魁 贺克斌 刘咸德. 北京 PM_{2.5} 中有机酸的污染特征及来源[J]. 环境科学学报, 2009, 29(6): 1139-1143.
- [7] 王明杰, 王维. 产业结构变化与环境污染排放的动态关系研究——以长江经济带为例[J]. 资源开发与市场, 2020, 36(06): 572-578.
- [8] 郑悠. 产业结构调整对中国雾霾污染的影响研究[D]. 中国地质大学, 2021[2022-06-04].
- [9] 倪琳, 郭小雨. 产业结构升级、城镇化发展与空气质量——来自中部地区的经验证据[J]. 生态经济, 2022, 38(05): 183-189+214.
- [10] 周弘, 夏鸣. 产业结构与环境污染的灰色关联分析——来自淮河流域的例证[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2020, 36(03): 25-29.
- [11] 闫兰玲. 杭州市产业结构与环境污染间的灰色关联度分析研究[J]. 环境科学与管理, 2013, 38(10): 112-115+142.
- [12] 严太华, 朱梦成. 技术创新、产业结构升级对环境污染的影响[J]. 重庆大学学报(社会科学版): 1-15.
- [13] 张樨樨, 曹正旭, 董会忠. 京津冀地区产业结构、城镇化与生态环境耦合关联与动态响应研究[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版), 2021, 42(12): 121-128.
- [14] 崔江龙. 空气质量视角下的京津冀产业结构调整研究[D/OL]. 首都经济贸易大学, 2020[2022-06-04].
- [15] 方琳, 吴凤平, 张庆海. 流域内经济结构性调整对水环境质量的长短期效应分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(11): 176-184.
- [16] 刘艺. 南四湖流域水环境质量与社会经济协调发展研究[D/OL]. 济南大学, 2020[2022-06-04].
- [17] 谢南, 刘馨语, 季浩宇, 等. 攀枝花市经济发展对环境空气质量

- 的影响[J]. 环境科学导刊, 2021, 40(05): 52-59.
- [18] 揣小伟, 黄贤金, 王婉晶, 等. 社会经济与水环境质量协调发展研究[J]. 生态经济, 2012(07): 57-61+69.
- [19] 姜林君. 云南省产业结构与环境污染关系的实证研究[D/OL]. 江西财经大学, 2021[2022-06-04].
- [20] 张群. 云南省产业结构与生态环境质量的典型相关分析[J/OL]. 现代商业, 2018(05): 106-107.
- [21] 刘伟明, 王明, 吴志军, 等. 长江经济带环境质量和经济增长的双向互动关系及空间分异[J]. 经济地理, 2022, 42(04): 54-64.
- [22] 张军, 郭希宇. 中国产业结构变迁、能源效率与环境污染——基于能源效率门槛的视角[J]. 南京财经大学学报, 2020(04): 45-55.
- [23] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 2011, 46(05): 4-16+31.
- [24] 韩楠. 中国经济增长、产业结构与环境污染的空间计量研究[J]. 环境工程, 2016, 34(07): 155-159+139.
- [25] 张佳健, 马倩. 包头市三次产业结构与生态环境的典型相关分析[J]. 科技经济市场, 2014(01): 60-62.
- [26] 王文哲, 韩玉刚. 安徽省产业结构演变对生态环境影响的实证分析[J]. 统计与决策, 2017(08): 142-145.
- [27] 刘泓汛, 陈佳琪, 李江龙. 电厂排放改造和居民散煤替代的成本效益分析——以陕西省为例[J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2019(06): 107-121.
- [28] 王赫婧, 吴琼, 白璐, 等. 非重点行业炉窑典型大气污染物“十四五”减排潜力研究[J/OL]. 环境科学研究, 2020, 33(12): 2647-2656.
- [29] 张诗培. 基于环境质量的大气污染物控制总量核算方法研究[D]. 吉林大学, 2020[2022-07-10].
- [30] 基于 DEA 效率与度量方法的生命价值评估 - 中国知网 [EB/OL]. [2022-07-10].
- [31] 吉红洁. 炼焦行业温室气体排放核算及影响因素研究[D]. 太原科技大学, 2015.
- [32] 孔少飞, 白志鹏, 陆炳. 民用燃料燃烧排放 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中碳组分排放因子对比[J]. 中国环境科学, 2014, 34(11): 2749-2756.
- [33] 杨彬, 吴健, 周卫青, 等. 散煤燃烧的 PM_{2.5} 排放特征及排放清单[J]. 中国粉体技术, 2021, 27(04): 138-146.
- [34] 郝国朝, 曹国良, 马丽萍. 陕西省民用散煤燃烧气态污染物排放因子研究[J]. 环境与可持续发展, 2018, 43(02): 57-60.

[35] 沈阳市国三和国四排放标准不同车型柴油车 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 排放因子及碳组分源谱 - 中国知网[EB/OL]. [2022-07-10].

[36] NordhausWD, "Estimates of the Social Cost of Carbon: Background and Results from the RICE - 2011Model, National bureau of economic research, 2011.