

资源型地区制造业碳排放及碳减排潜力研究

陈艳艳, 金继红

东华大学旭日工商管理学院, 上海

收稿日期: 2022年11月23日; 录用日期: 2022年12月5日; 发布日期: 2023年2月7日

摘要

本文以典型资源型地区——山西省为研究对象, 基于IPCC法和投入产出法测算2002~2017年制造业的直接碳排放和完全碳排放, 并通过构建碳减排潜力模型分析制造业分部门的碳减排潜力。研究表明, 山西省金属冶炼和压延加工业、石油、炼焦和核燃料加工业的直接碳排放量和完全碳排放强度远高于其他制造业部门, 直接碳排放强度均在1.27吨/万元以上。碳减排潜力方面, 纺织业、纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业等为弱潜力部门; 石油、炼焦和核燃料加工业、化学工业、非金属矿物制品业、金属冶炼和压延加工业等为强潜力部门。根据以上研究结论, 对山西省制造业各部门的碳减排提出针对性建议。

关键词

资源型地区, 碳排放, 制造业碳减排潜力, 投入产出

Research on Carbon Emission and Emission Reduction Potential of Manufacturing Industry in Resource-Based Regions

Yanyan Chen, Jihong Jin

Glorious Sun School of Business and Management, Donghua University, Shanghai

Received: Nov. 23rd, 2022; accepted: Dec. 5th, 2022; published: Feb. 7th, 2023

Abstract

This paper takes Shanxi Province, a typical resource-based region, as the research object. Based on the IPCC method and the input-output method, the direct carbon emission and complete carbon emission of the manufacturing industry from 2002 to 2017 are calculated, and the carbon emission reduction potential of the manufacturing sector is analyzed by constructing a carbon emission reduction potential model. The study shows that the direct carbon emission and complete

carbon intensity of metal smelting and rolling processing industry, petroleum, coking and nuclear fuel processing industry in Shanxi Province are much higher than those of other manufacturing sectors, and their direct carbon intensity are all above 1.27 tons per ten thousand Yuan. In terms of carbon emission reduction potential, the textile industry, textile, clothing, shoes, hats, leather, down and their products are weak potential sectors; the petroleum, coking and nuclear fuel processing industry, chemical industry, non-metallic mineral products industry, metal smelting and rolling processing industry are strong potential sectors. According to the above research conclusions, the paper puts forward specific suggestions for the carbon emission reduction of manufacturing departments in Shanxi Province.

Keywords

Resource-Based Regions, Manufacturing Carbon Reduction Potential, Carbon Intensity, Input and Output

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国已步入经济高质量发展阶段, 但对化石能源的依赖性仍较高, 碳排放总量仍持续增长, 面临着愈发严峻的碳减排压力。2009年我国政府向国际做出碳减排承诺, 在“十二五”和“十三五”规划期间又制订了详细的节能减排计划与目标, 促进了我国的碳减排进程。2020年碳达峰、碳中和目标的提出更体现了我国对碳减排的重视。“十四五”时期, 我国的生态文明建设进入了以降碳为重点战略方向的关键时期。但由于政策、区位等各种因素的影响, 我国资源型地区的经济发展水平与发达地区有一定差距, 且其经济大多依靠制造业拉动, 制造业的不断发展伴随着大量的能源消费和碳排放, 因此资源型地区的碳减排面临着更严峻的挑战。

2. 文献综述

现今, 对于碳排放量的测算国内外没有设定统一的标准。IPCC 清单法、投入产出法、生命周期法、模型因素分解法以及实测法等是国际上比较常用的碳排放量核算法, 有关碳排放核算的研究从国家层面逐步向城市以及行业层面不断深入。Jean Engo (2021)采用 IPCC 法, 结合多种化石燃料和碳排放因子测算碳排量, 并对埃及、摩洛哥等国家工业碳排放的影响因素进行分析[1]。Chaochao Gao 等(2021)同样依据 IPCC 指南的方法测算 1997~2017 年中各省的碳排放量来研究经济增长与碳排放的脱钩关系, 发现大部分省份碳排放与经济发展之间存在弱脱钩关系[2]。城市层面上, Yuli Shan 等(2017)根据 IPCC 提供的地域碳排放核算的方法, 研制出一套构建城市尺度的碳排放核算方法, 并通过能源平衡表计算出我国 24 个城市的碳排放清单[3]。从产业层面看, 旷爱萍等(2021)采用碳排放系数法测算产业碳排放量[4], 而曹俊文(2011)运用投入产出法并结合投入产出表, 测算了江西省产业部门的直接和完全碳排放强度, 认为隐含碳排放高的产业减排潜力大[5]。

对于碳减排潜力的研究, 研究视角主要集中在省域层面和单一行业层面, 涉及的相关分析方法比较广泛, 主要有: 数据包络分析法、投入产出分析法、指标评价法以及情景分析法等。周迪(2019)等在 DEA 模型基础上考虑效率与公平原则设定相应的权重值构建碳减排潜力指数[6]。吴常艳等(2015)基于投入产出法构建碳减排潜力模型, 从碳减排总量和效应两方面综合评价碳减排潜力, 发现通信设备制造业等部

门的减排潜力较大[7]。王雅楠等(2019)、翁世梅等(2021)同样通过构建碳减排潜力模型计算减排总量和减排效应对碳减排潜力进行评价[8][9]。简晓彬等(2021)通过构建碳减排潜力指数, 用实际碳排放强度变化与参考碳排放强度变化的比值对苏北地区的碳减排潜力进行评价[10]。徐士莹等(2018)、王靖添等(2021)则采用情景分析法对碳排放潜力进行分析[11][12]。

3. 研究方法与数据来源

3.1. 直接碳排放

目前, 关于碳排放没有准确的直接监测数据, 主要是利用其他可获取的数据估算得来。本文通过比较, 选择 IPCC 法来计算直接碳排放, 具体的表达式如下:

$$\text{CO}_2 = \sum_i \times NCV_i \times CEF_i \times COF_i \times 44/12 \quad (1)$$

其中, CO_2 为直接碳排放量, 单位为万吨; E_i 为化石能源消费量, 单位为万吨或亿立方米; NCV_i 为平均低位发热量, 单位为千焦/千克或千焦/立方米; CEF_i 为碳排放系数, 单位为千克/ 10^6 千焦; COF_i 为碳氧化因子; 44/12 为碳转化为二氧化碳的系数。

直接碳排放强度是指一定时间内单位产值的二氧化碳直接排放量, 也叫直接碳排放系数, 用直接碳排放量与总产出之比来表示。本文选取 17 种化石能源进行直接碳排放的测算, 包括: 原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气、其他焦化产品、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、其他石油产品和天然气。能源消费量数据来自中国碳核算数据库, 能源的二氧化碳排放系数来源于《IPCC 国家温室气体清单指南》(2006); 《省级温室气体清单编制指南》(试行); 《上海市温室气体排放核算与报告指南》(试行)。

3.2. 完全碳排放

完全碳排放是一个行业最终产品生产中所直接和间接产生的碳排放量。基于投入产出分析能够更准确地测算出行业的碳排放量, 投入产出基础模型为:

$$X = AX + Y \quad (2)$$

整理得:

$$X = (I - A)^{-1} Y \quad (3)$$

其中, X 为总产出矩阵; Y 为最终产品矩阵; A 为直接消耗系数矩阵, 矩阵中元素 $a_{ij} = x_{ij} / X_j$ 表示每单位 j 产出对 i 部门产品直接消耗的数量; I 为主对角线上的元素全为 1 的单位矩阵; $(I - A)^{-1}$ 为完全需求系数矩阵。

直接碳排放系数的计算公式为: $R_j = C_j / X_j$, 其中, R_j 为直接碳排放系数, C_j 为 j 行业的直接碳排放量, X_j 为 j 行业总产出。直接碳排放系数矩阵用 R 表示, 可得到完全碳排放系数, 即:

$$\hat{R} = R(I - A)^{-1} \quad (4)$$

3.3. 碳减排潜力模型

完全消耗系数矩阵表示部门产值之间的直接和间接的投入产出关系。因此, 考虑部门产值的变化带来的直接和间接碳排放总量的变化构建碳减排潜力模型, 公式如下:

$$\Delta X_j = X_j \cdot \lambda_j + \sum_{i=1}^n b_{ij} \cdot X_j \cdot \lambda_j \quad (5)$$

其中, ΔX_j 表示 j 部门产值直接变化量, 加上由于间接影响导致的其他部门产值变化量; X_j 表示 j 部门产值; λ_j 是 j 部门总产值的变化率(假设产值变化率为 1%); b_{ij} 表示 j 部门在产出单位产品时需要 i 部门的直接投入量和间接投入量。碳减排总量的计算公式如下:

$$\Delta C = R_j \cdot X_j \cdot \lambda_j + \sum_{i=1}^n R_j \cdot b_{ij} X_j \cdot \lambda_j \quad (6)$$

其中, ΔC 表示产值变化带来的完全直接和间接碳排放之和; R_j 表示 j 部门直接碳排放强度, 即直接碳排放系数。碳减排效应为部门单位产值变化带来的碳减排总量, 公式如下:

$$CRE = \frac{\Delta C}{\Delta X_j} = \frac{R_j + \sum_{i=1}^n R_j \cdot b_{ij}}{1 + \sum_{i=1}^n b_{ij}} \quad (7)$$

研究采用 2002、2007、2012 和 2017 年山西省投入产出表, 由于能源消耗及碳排放需不变价格准确地测算产量变化带来的碳排放量, 因此本文以 2012 年为基年, 利用指数缩减法编制得到可比价投入产出表, 投入产出表和能源消耗量来源于中国碳核算数据库, 价格指数来自国家统计局网站和《中国统计年鉴》, 主要参考《国民经济行业分类》(GB/T 4574-2017)对部门进行调整合并, 本文所研究的制造业部门如表 1 所示。

Table 1. Manufacturing sectors of comparable input-output table
表 1. 可比价投入产出表的制造业部门

编号	部门	2002 代码	2007 代码	2012 代码	2017 代码
6	食品和烟草加工业	06	06	06	06
7	纺织业	07	07	06	07
8	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	08	08	08	08
9	木材加工和家具制造业	09	09	09	09
10	造纸印刷和文教体育用品制造业	10	10	10	10
11	石油、炼焦和核燃料加工业	11	11	11	11
12	化学工业	12	12	12	12
13	非金属矿物制品业	13	13	13	13
14	金属冶炼和压延加工业	14	14	14	14
15	金属制品业	15	15	15	15
16	通用、专用设备制造业	16	16	16 17	16 17
17	交通运输设备制造业	17	17	18	18
18	电气机械和器材制造业	18	18	19	19
19	通信设备、计算机和其他电子设备制造业	19	19	20	20
20	仪器仪表制造业	20	20	21	21
21	其他制造业和废品废料	21 22	21 22	22 23	22

4. 实证结果分析

4.1. 制造业分部门的直接碳排放分析

图 1 为山西省 2002~2017 年制造业分部门的直接碳排放量。金属冶炼和压延加工业的直接碳排放量

在 2002~2017 年间始终最高, 平均高达 6931.20 万吨, 其次是石油、炼焦和核燃料加工业, 两部门的直接碳排放量远高于其他制造业部门, 属于高排放部门。其中, 金属冶炼和压延加工业的直接碳排放量在 2012 年达到最高水平, 为 8781.80 万吨, 总体上呈现较平缓的增长趋势; 石油、炼焦和核燃料加工业的直接碳排放量在 2014 年高达 4688.96 万吨, 之后不断减少。非金属矿物制品业、化学工业、其他制造业和废品废料三个部门的直接碳排放量处于居中水平, 其中, 非金属矿物制品业的直接碳排放量呈现较为明显增长趋势。直接碳排放量处于较低水平的部门主要涉及纺织服装、木材、电器和仪表等相关制造业。

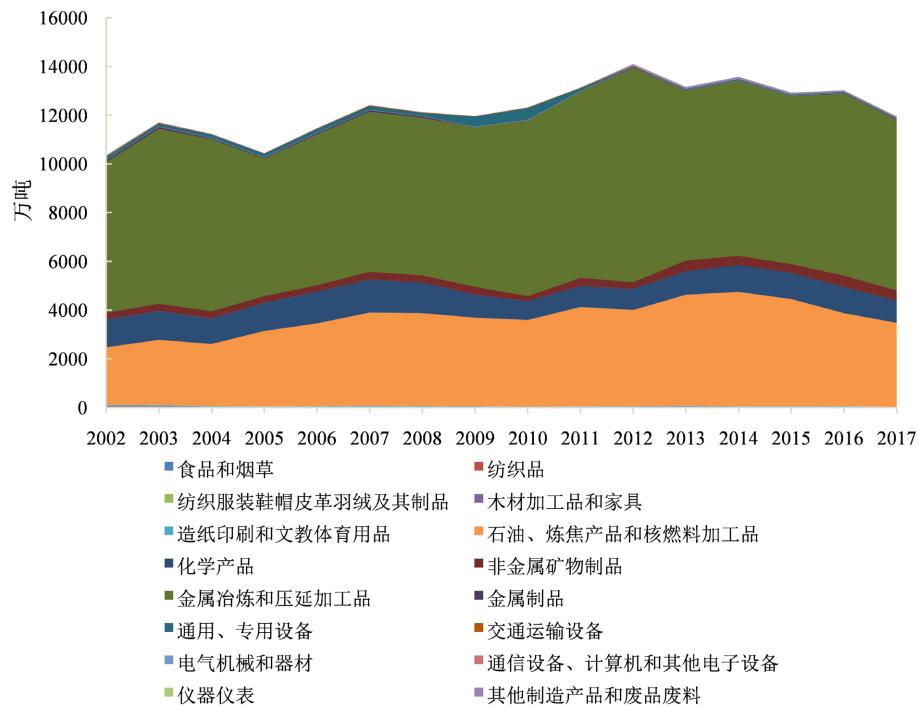


Figure 1. Direct carbon emission of manufacturing sectors in Shanxi Province

图 1. 山西省制造业分部门的直接碳排放量

通过公式计算出制造业各部门的直接碳排放强度, 2002、2007、2012 和 2017 年山西省制造业分部门直接碳排放强度如表 2 所示。可以看出, 金属冶炼和压延加工业处于最前列且其直接碳排放强度均在 2.21 吨/万元以上。该部门与石油、炼焦和核燃料加工业的直接碳排放强度同其他制造业部门相差较大, 原因在于金属冶炼和压延加工品为其他部门的生产提供材料, 其能耗上升势头并未得到根本遏制。虽然山西具有丰富的炼焦煤资源优势, 但大多数的焦化企业规模并不大, 因此研发投入不足, 能源利用效率仍不高, 导致两部门的直接碳排放强度一直较高。这四年化学工业的直接碳排放强度平均为 1.97 吨/万元, 也处于较前列。纺织服装、电气机械等相关制造业的直接碳排放强度处于低水平。从总体趋势上来看, 制造业各部门的直接碳排放强度呈现下降趋势, 其中直接碳排放强度最大的两部门, 从 2007 年开始其强度保持在一个较稳定的水平, 呈较缓慢的波动下降趋势, 说明这两个行业的节能减排问题尚未从根本上得到解决, 碳减排工作举步维艰。

4.2. 制造业分部门的完全碳排放分析

根据式(2)~式(4)计算出制造业分部门的完全碳排放强度, 如表 3 所示。总体来看, 各部门的完全碳排放强度不断下降。其中, 金属冶炼和压延加工业的完全碳排放强度最大, 平均达 7.03 吨/万元。处于

Table 2. Direct carbon intensity of manufacturing sectors in Shanxi Province
表 2. 山西省制造业分部门直接碳排放强度

部门	2002	2007	2012	2017
食品和烟草加工业	0.2678	0.0901	0.0472	0.0190
纺织业	0.3687	0.0985	0.1058	0.0832
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	0.1731	0.0211	0.0245	0.0197
木材加工和家具制造业	0.2837	0.0666	0.0203	0.0011
造纸印刷和文教体育用品制造业	0.9040	0.3914	0.2546	0.2612
石油、炼焦和核燃料加工业	4.0799	2.4495	2.5307	2.2127
化学工业	4.0573	2.1257	0.8049	0.8984
非金属矿物制品业	1.1473	0.5558	0.5890	0.8560
金属冶炼和压延加工业	8.3413	2.2718	2.6299	2.2135
金属制品业	0.6544	0.2388	0.2343	0.1043
通用、专用设备制造业	0.8085	0.4078	0.0397	0.1340
交通运输设备制造业	0.7924	0.3118	0.1353	0.0190
电气机械和器材制造业	0.2378	0.0227	0.0047	0.0016
通信设备、计算机和其他电子设备制造业	0.7002	1.4127	0.0095	0.0240
仪器仪表制造业	0.9369	0.0097	0.0039	0.0035
其他制造业和废品废料	0.4727	0.0370	0.3345	0.2316

较高水平的还有平均完全碳排放强度为 4.31 吨/万元的金属制品业, 平均完全碳排放强度为 4.12 吨/万元的化学工业, 平均完全碳排放强度为 3.58 吨/万元的石油、炼焦和核燃料加工业。食品和烟草加工业的完全碳排放强度最低, 平均仅 0.65 吨/万元。无论是直接还是完全碳排放强度, 山西省制造业部门中处于高水平有金属冶炼和压延加工业, 表明该部门不仅自身产生的碳排放很多, 受其他制造业部门影响产生的间接碳排放也较多, 石油、炼焦和核燃料加工业也是如此。非金属矿物制品业的直接碳排放强度较高, 但其完全碳排放强度却较低, 说明其他制造业部门间接影响产生的碳排放较少。与此相反, 直接碳排放强度较低的金属制品业、交通运输设备以及电气机械和器材制造业的完全碳排放强度却较高, 说明这三个部门自身产生的碳排放较少而间接碳排放较多。

Table 3. Complete carbon intensity of manufacturing sectors in Shanxi Province
表 3. 山西省制造业分部门完全碳排放强度

部门	2002	2007	2012	2017
食品和烟草加工业	1.2390	0.5647	0.5175	0.2605
纺织业	1.7137	0.9977	0.6519	0.4321
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	1.9492	1.0172	0.5878	0.3363
木材加工和家具制造业	2.9848	1.1211	0.8548	0.3534
造纸印刷和文教体育用品制造业	3.9146	1.6798	1.4506	1.0042
石油、炼焦和核燃料加工业	5.1179	3.2028	3.4400	2.5406

Continued

化学工业	8.3714	4.3889	2.0816	1.6231
非金属矿物制品业	4.7979	2.3419	1.7974	1.5458
金属冶炼和压延加工业	14.8035	4.6009	5.1165	3.6164
金属制品业	10.3550	3.1532	2.4471	1.2801
通用、专用设备制造业	8.5392	2.5158	1.9587	1.0958
交通运输设备制造业	8.4350	2.8314	2.4524	1.0301
电气机械和器材制造业	9.4714	2.8403	2.0271	1.0392
通信设备、计算机和其他电子设备制造业	8.0474	3.3594	2.0198	1.0578
仪器仪表制造业	6.9362	2.6081	1.3800	0.7545
其他制造业和废品废料	4.9022	1.4179	2.3987	1.2758

4.3. 制造业分部门的碳减排潜力分析

根据式(5)~式(7)计算出山西省 2002、2007、2012 和 2017 年制造业部门的碳减排总量和碳减排效应。碳减排效应表示对其余部门经济产出产生单位影响所引发的碳减排量, 与碳减排总量没有直接关系。

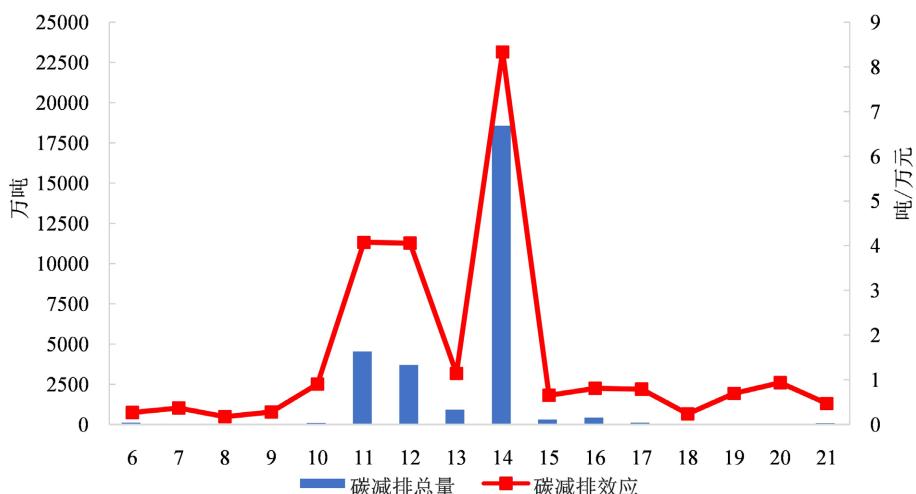


Figure 2. Total carbon reduction and carbon reduction effect of sectors in 2002

图 2. 2002 年各部门的碳减排总量和碳减排效应

图 2 显示了 2002 年山西省制造业各部门的碳减排总量和碳减排效应, 当产值变化 1% 时, 碳减排总量最大的是金属冶炼及压延加工业, 高达 18574.31 万吨, 是排名第二位的石油、炼焦和核燃料加工业碳减排总量的 4.09 倍。化学工业和非金属矿物制品业的碳减排总量则分别排在第三、四位。碳减排效应方面, 金属冶炼及压延加工业为 8.34 吨/万元, 在 16 个部门中排第一位。石油、炼焦和核燃料加工业的碳减排效应为 4.08 吨/万元。化学工业和非金属矿物制品业的碳减排效应与碳减排总量排名一致, 分别为 4.06 吨/万元和 1.15 吨/万元。服装皮革羽绒及其制品业的碳减排总量和碳减排效应都是最低的, 分别为 8.94 万吨和 0.17 吨/万元。

与 2002 年相比, 当产值变化 1% 时, 2007 年石油、炼焦和核燃料加工业、化学工业的等 6 个制造业部门的碳减排总量有所增加, 其他部门则有所减少, 通信设备、计算机和其他电子设备制造业的增长率

达 95.9%，在所有部门中增长速度最快，石油、炼焦和核燃料加工业的增长率为 84.1%。碳减排总量排在前两位的部门仍保持不变，仪器仪表制造业的碳减排总量则变为最低，仅有 0.49 万吨，并且其碳减排效应也最低。石油、炼焦和核燃料加工业的碳减排效应上升到第一位，为 2.45 吨/万元。

2012 年，金属冶炼和压延加工业、石油、炼焦和核燃料加工业的碳减排总量较 2007 年实现增长，分别高达 30336.94 万吨和 11517.76 万吨，保持在前两位。与人们生产生活联系较为紧密的制造业部门，即食品、纺织服装以及交通运输等行业的碳减排总量较 2007 年有所增长，其他部门则下降。碳减排效应排在前两位的部门与碳减排总量前两位相同，碳减排效应较 2007 年均增加，第一名 2.63 吨/万元，第二名为 2.53 吨/万元。总体来看，除个别部门外，多数制造业各部门的碳减排效应较 2007 年是下降的。

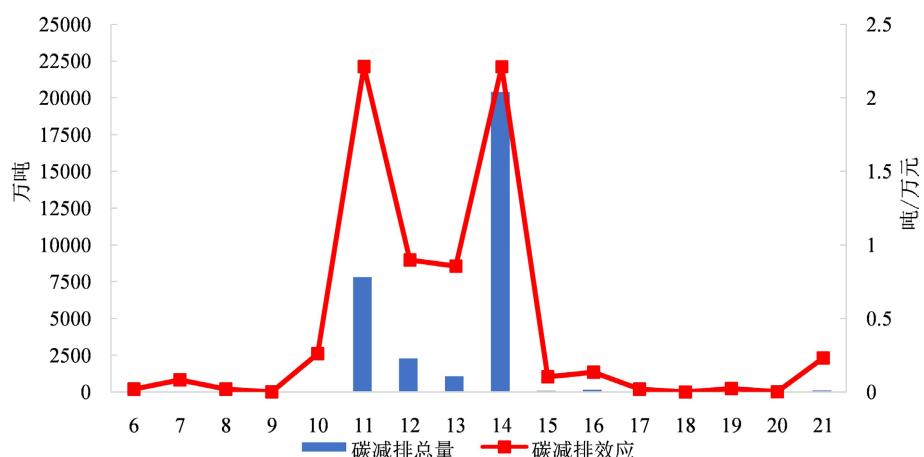


Figure 3. Total carbon reduction and carbon reduction effect of sectors in 2017
图 3. 2017 年各部门的碳减排总量和碳减排效应

图 3 显示的是 2017 年山西省制造业各部门的碳减排总量和碳减排效应，从中可以看出，当产值变化 1% 时，金属冶炼和压延加工业的碳减排总量最高，为 20397.06 万吨，且与其他制造业部门的差距很大，碳减排效应也最大，达到了 2.21 吨/万元。石油、炼焦和核燃料加工业的碳减排总量为 7818.46 万吨，排在第二位，虽与第一位的碳减排总量相差较大，但碳减排效应却相差很小。与 2012 年相比，造纸印刷和文教体育用品制造业、非金属矿物制品业、通用、专用设备制造业、通信设备、计算机和其他电子设备制造业的碳减排总量增加，其他部门则减少。化学工业和非金属矿物制品业的碳减排总量排在第三、四位，分别为 2292.87 万吨、1087.22 万吨。同时可知，除碳减排总量增加的四个部门外，化学工业碳减排效应也是增加的，其余部门皆减少。当产值变化 1% 时，木材加工和家具制造业的碳减排总量最少，只有 0.11 万吨，其碳减排效应也是最小的。

为了更好地比较分析部门间的碳减排总量和碳减排效应，将山西省 16 个制造业部门的碳减排总量和碳减排效应排名后进行象限划分，图 4 显示的是 2017 年山西省各部门碳减排总量和效应的划分情况，其中，第一象限为弱潜力，碳减排总量和碳减排效应均较小；第二、四象限为中等潜力，碳减排总量排名和碳减排效应排名一高一低；第三象限的特点是无论碳减排总量还是碳减排效应在部门中的排名均靠前，划分为强潜力。

对 2002、2007、2012 和 2017 年山西省制造业各部门的碳减排总量和碳减排效应排名进行象限划分，得到结果如表 4 所示。总体来看，纺织业、纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业、木材加工和家具制造业、电气机械和器材制造业、仪器仪表制造业均为弱潜力部门，其特点是当产值变化 1% 时，碳减排总量和碳

减排效应均比较低, 这些部门的总产值也相对较低, 直接和间接碳排放量也不高, 整改这些部门对碳减排目标的实现不会产生很大的边际效应, 因此可不必投入巨大精力去整改。

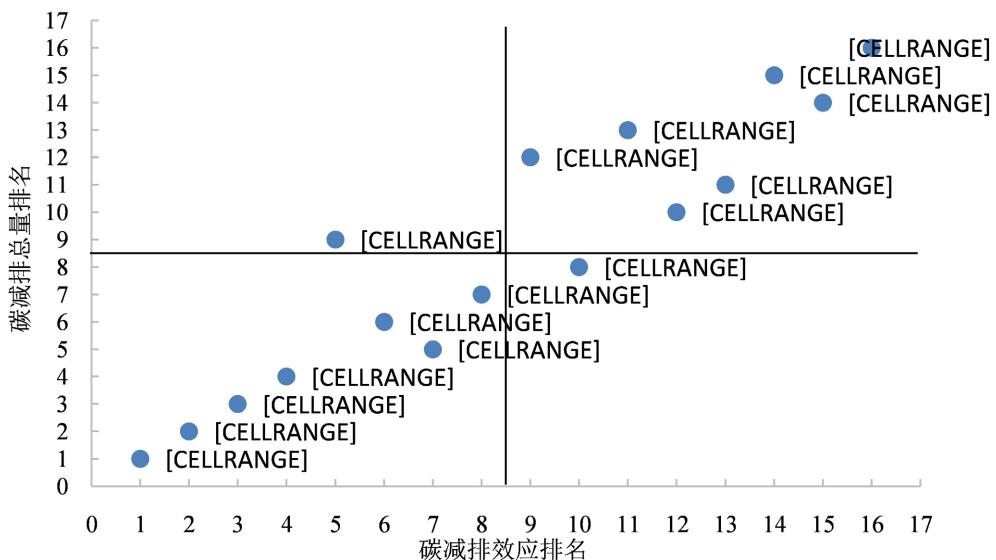


Figure 4. Distribution of carbon emission reduction potential by sector in Shanxi Province in 2017
图 4. 2017 年山西省各部门碳减排潜力分布

Table 4. Classification of carbon emission reduction potential of manufacturing sectors in Shanxi Province
表 4. 山西省制造业各部门碳减排潜力分类

年份	弱潜力部门	中等潜力部门	强潜力部门
2002	7 8 9 18 19 21	6 10 15 20	11 12 13 14 16 17
2007	6 7 8 9 18 20 21	15 19	10 11 12 13 14 16 17
2012	7 8 9 16 18 19 20	6 10	11 12 13 14 15 17 21
2017	6 7 8 9 17 18 20	10 19	11 12 13 14 15 16 21

可知, 造纸印刷和文教体育用品制造业属于中等潜力部门, 其特点是碳减排总量较低, 但碳减排效应较高, 因此在减排时要考虑对其产生间接影响较大的制造业部门的碳排放量。石油、炼焦和核燃料加工业、化学工业、非金属矿物制品业、金属冶炼和压延加工业、通用、专用设备制造业、交通运输设备制造业属于强潜力部门, 这些部门的碳减排总量和碳减排效应都较高, 对其采取减排措施不仅碳减排量减少的较多, 同时还能不过多影响经济产出, 因此是需要重点整改的对象。

5. 结论与建议

5.1. 研究结论

本文采用 IPCC 法和投入产出法分别计算 2002~2017 年山西省制造业的直接碳排放和完全碳排放, 对制造业分部门的碳排放量和碳排放强度进行分析。通过构建碳减排潜力模型对 2002 年、2007 年、2012 年和 2017 年制造业各部门的碳减排总量和碳减排效应进行测算, 并根据两者在各省的排名对部门进行潜力划分, 对制造业分部门的碳减排潜力进行分析, 得出的主要结论有:

- 1) 直接碳排放方面, 山西省金属冶炼和压延加工业、石油、炼焦和核燃料加工业的直接碳排放量居

于前两位, 且直接碳排放强度均在 2.10 吨/万元以上, 总量和强度均远高于其他制造业部门, 属于高碳排部门。纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业、电气机械和器材制造业的直接碳排放量和直接碳排放强度均较低。

2) 完全碳排放强度方面, 金属冶炼和压延加工业的完全碳排放强度最高, 平均为 7.03 吨/万元, 该部门的直接碳排放强度也最高, 说明其不仅自身产生的碳排放较高, 受其他部门影响产生的间接碳排放也较高。非金属矿物制品业虽然直接碳排放强度较高, 其完全碳排放强度却较靠后, 说明其他制造业部门间接影响产生的碳排放较少, 而直接碳排放强度较高的金属制品业、交通运输设备制造业、电气机械和器材制造业的完全碳排放强度却较低。

3) 碳减排潜力方面, 山西省制造业的各部门中, 强潜力和弱潜力部门分类变化不大。金属冶炼和压延加工业、石油、炼焦和核燃料加工业的碳减排总量和碳减排效应远高于其他制造业部门, 2017 年金属冶炼和压延加工业的碳减排总量达到 20397.06 万吨, 碳减排效应达到了 2.21 吨/万元, 石油、炼焦和核燃料加工业的碳减排总量为 7818.46 万吨, 碳减排效应与金属冶炼和压延加工业相差很小。木材加工和家具制造业、电气机械和器材制造业、仪器仪表制造业的碳减排总量和碳减排效应均处于较低水平。

纺织业、纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业、木材加工和家具制造业、电气机械和器材制造业、仪器仪表制造业均为弱潜力部门; 造纸印刷和文教体育用品制造业属于中等潜力部门; 石油、炼焦和核燃料加工业、化学工业、非金属矿物制品业、金属冶炼和压延加工业、通用、专用设备制造业、交通运输设备制造业属于强潜力部门。

5.2. 政策建议

作为资源型地区的典型省份, 山西省制造业各部门的直接碳排放量和完全碳排放强度存在较大的差异, 各部门的碳排放潜力也具有不同的表现。针对这种情况若采用“一刀切”的减排措施明显不太合理, 因此, 提出以下几点差异化的碳减排措施的建议:

1) 优化能源消费结构, 提升能源效率水平

对于强碳减排潜力的制造业部门, 因其碳减排总量和碳减排较大, 降碳效果比较明显且对经济产出影响较小, 故应优先实施碳减排。政府应对这类行业应给予更多碳减排相关的资金倾斜和精力投入, 制定完善的能源政策, 执行碳排放限额标准。在遵循产业发展规律的前提下, 将重点放在优化能源消费结构上, 不断提升能源效率水平, 使其向优质化的方向发展。

2) 兼顾行业经济发展, 实行业联动减排

对于碳减排总量较高或者碳减排效应优势显著的中等碳减排潜力行业, 需要有针对性的进行碳减排。例如食品和烟草加工业的碳减排效应较高, 这类行业与人们的生活联系紧密, 在进行碳减排时应兼顾经济发展, 注重增加产品的附加值; 碳减排总量较高的行业在进行碳减排时, 应考虑对其碳排放量产生间接影响显著的行业, 关联性较强的制造业间可进行碳减排合作, 制定整体可行的碳减排方案。

3) 提升自主创新能力, 减少自身碳排放量

处于弱碳减排潜力行列的行业, 其直接碳排放和间接碳排放都比较低, 由于调整产出对其碳排放总量影响效果并不明显, 因此该类行业应重点提升自主创新能力, 通过建立产业集群扩大产业影响力, 提升技术水平以减少碳排放, 政府可不必投入过多的精力对此类行业实施碳减排。

参考文献

- [1] Engo, J. (2021) Driving Forces and Decoupling Indicators for Carbon Emissions from the Industrial Sector in Egypt, Morocco, Algeria, and Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research*, **28**, 14329-14342.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-11531-3>

-
- [2] Gao, C., Ge, H., Lu, Y., *et al.* (2021) Decoupling of Provincial Energy-Related CO₂ Emissions from Economic Growth in China and Its Convergence from 1995 to 2017. *Journal of Cleaner Production*, **297**, Article ID: 126627. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126627>
 - [3] Shan, Y., Guan, D., Liu, J., *et al.* (2017) Methodology and Applications of City Level CO₂ Emission Accounts in China. *Journal of Cleaner Production*, **161**, 1215-1225. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.075>
 - [4] 旷爱萍, 胡超. 广西农业碳排放驱动因素及脱钩效应研究[J]. 内蒙古农业大学学报(社会科学版), 2021, 23(2): 56-63.
 - [5] 曹俊文. 江西省产业部门碳排放特征及减排途径——基于1992-2007年投入产出分析[J]. 经济地理, 2011, 31(12): 2111-2115.
 - [6] 周迪, 郑楚鹏, 华诗润, 黄宇森. 公平与效率协调视角下的中国碳减排潜力与路径[J]. 自然资源学报, 2019, 34(1): 80-91.
 - [7] 吴常艳, 黄贤金, 端小伟, 徐国良, 於冉, 李丽. 基于EIO-LCA的江苏省产业结构调整与碳减排潜力分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(4): 43-51.
 - [8] 王雅楠, 罗岚, 陈伟, 王博文. 中国产业结构调整视角下的碳减排潜力分析——基于EIO-LCA模型[J]. 生态经济, 2019, 35(11): 21-27.
 - [9] 翁世梅, 陶伟良. 安徽省行业隐含碳及碳减排潜力分析[J]. 河北环境工程学院学报, 2021, 31(2): 17-21.
 - [10] 简晓彬, 陈伟博, 赵洁. 欠发达地区工业发展的碳排放效应、影响因素及减排潜力——以苏北为例[J]. 资源与产业, 2021, 23(1): 35-45.
 - [11] 徐士莹, 杨加猛, 刘梅娟. 中国造纸及纸制品业碳排放因素分解与减排潜力分析[J]. 资源开发与市场, 2018, 34(5): 638-643.
 - [12] 王靖添, 闫琰, 黄全胜, 宋媛媛. 中国交通运输碳减排潜力分析[J]. 科技管理研究, 2021, 41(2): 200-210.