陕西省高耗能制造业碳排放影响因素分解

——基于LMDI模型的分析

李清清[1]，孙健平[2]

（1. 西安交通工程学院人文与管理学院，西安 710300；2. 西安电子科技大学经济与管理学院，西安 710126）

摘要： 陕西省在实现“双碳”目标的进程中，高耗能制造业是碳排放的重要来源，是节能减排的关键环节和重要渠道。运用LMDI（对数平均迪氏指数）模型从经济、能源和社会等方面对陕西省高耗能制造业的碳排放影响因素进行确定并分析。结果表明：陕西省高耗能制造业碳排放情况虽有所缓解但仍处于高位；黑色金属冶炼及压延工业与石油煤炭及其燃料加工业对碳排放趋势的影响较大；从总体情况看，经济增长、能源强度、产业结构、能源结构促进高耗能制造业碳排放，行业规模抑制高耗能制造业碳排放。基于此，陕西应加强重点行业碳排放管控、调整经济增长与产业结构模式、多维度优化能源消费及结构，逐步降低高耗能制造业的碳排放。

关键词： 碳排放；LMDI（对数平均迪氏指数）；制造业；能源结构

中图分类号： F206 **文献标志码：** A **文章编号：** 1671－1807(2026)03－0098－08

中国的“双碳”政策对各个省份提出了具体要求，全国各省份减排政策措施的实施效果将很大程度上决定着中国能否按期实现减碳目标。陕西作为全国重要的工业大省、制造业大省，其2024年规模以上工业原煤产量为7.8亿t，同比增长2.0%，高于全国原煤增速0.7个百分点，规模以上工业煤炭消费量较同期增加2 213.97万t，增长8.8%，较上年加快4个百分点，表明煤炭在陕西省能源消费结构中仍然占据重要地位[1]。此外，《陕西省高耗能行业重点领域节能降碳实施方案》[2]指出，陕西省制造业能源消耗与碳排放量占比较大，制造业绿色低碳发展进程将直接影响行业自身乃至全省经济和社会的高质量发展。

现以陕西省制造业中5大高耗能行业作为主体展开研究，后文统称为陕西省高耗能制造业。具体包括石油煤炭及其燃料加工业、化学原料和化学制品制造业、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。做好碳排放相关研究工作是陕西省实现能源高效利用、经济与环境可持续发展的重要举措。而为了实现陕西省的“双碳”目标，把握好制造业中主要的高耗能行业的碳排放量变得极为关键。厘清陕西省高耗能制造业碳排放影响因素能够为陕西实现低碳发展提供经验参考。

1 文献综述

当前，关于碳排放影响因素的研究可以分为以下两类：一类是碳排放影响因素的研究方法，另一类是致力于通过历史排放数据寻找碳排放影响因素。

在碳排放影响因素的研究方法方面，学者们多运用对数平均迪氏分解法（log mean Divisia index，LMDI）、结构分解方法（structural decomposition analysis，SDA）和可拓展随机性环境影响评估模型（stochastic impacts by regression population affluence and technology，STIRPAT）。刘惠等[3]采用LMDI方法探讨了技术进步、结构调整对广东省工业减排的影响，表明在短期内以新建和改造减排设施，长期内应进行政策引导，以实现资源节约型生产方式的转变。杜少娟等[4]应用LMDI和STIRPAT模型，研究了长三角产业合作区的碳排放驱动因素。王文治和任暠凯[5]采用SDA分解法分析2005—2016年中国内资和外商直接投资的碳排放，发现国内最终产品需求变动是第一推动力，且国内最终产品出口变动表现出明显的促进效应。

收稿日期： 2025-07-23

基金项目： 陕西省哲学社会科学研究专项一般项目（2025YB0233）

作者简介： 李清清（1996—），女，河南洛阳人，硕士，助教，研究方向为数字经济与能源经济；孙健平（1998—），男，山东淄博人，博士研究生，研究方向为能源经济与管理。

黄怀玉等[6]综合运用 STIRPAT 模型和地理加权回归模型,探究了社会经济因素对碳排放的空间异质性影响。其中,LMDI 是一种基于指数分解分析的方法,它通过对数平均权重将碳排放总量的变化分解为多个影响因素的效应值,与其他分解法相比具有全分解、无残差、易使用的特点,被学者们广泛应用到能源、碳排放等领域[7]。

在碳排放影响因素方面,学者们主要从国家、地区、行业角度分析了规模因素、结构因素、技术因素和社会因素等对碳排放的影响。具体而言,González 等[8]研究发现,碳排放强度是驱动西班牙碳排放的主要因素。Alajmi[9]分析了沙特阿拉伯 9 个行业的碳排放驱动因素,发现能源强度是增加碳排放的重要因素。张馨[10]将陕西一次能源消费碳排放的影响因素分解为经济发展效应、能源强度效应和能源结构效应。刘浩东等[11]分析了土地面积、人口、能源结构和能源强度等因素对黑龙江省碳排放的影响程度。黄天阳等[12]分解出产业结构、经济发展水平、农业劳动力规模等是辽宁农业碳排放的主要驱动因素。张学志和王向前[13]研究结果表明,能源结构和能源强度促进安徽煤炭行业碳排放,经济发展和行业规模抑制其碳排放。李冰和初铭畅[14]研究发现,技术创新、能源结构、行业结构、企业规模是影响辽宁省制造业碳排放的重要因素。

目前,围绕碳排放影响因素的相关研究比较丰富且不同区域、行业之间的影响因素存在一定差异。然而,关于陕西的制造业碳排放的影响因素研究相对较少。因此,如何识别影响陕西高耗能制造业碳排放的主要因素,并量化分析其对碳排放的影响,对陕西制定节能减排政策具有重要意义。现以陕西省高耗能制造业为研究主体,使用 LMDI 分解法对行业的碳排放变动情况进行分解并分析,探明各因素对碳排放的影响情况,以期为陕西省乃至全国制造业的低碳发展提供借鉴与参考。

2 研究方法

依据 Kaya 恒等式两边恒等原理并结合已有研究成果,将陕西高耗能制造业碳排放总量分解成 6 个影响因素,分别是碳排放系数、能源结构、能源强度、产业结构、经济增长和行业规模。具体分解公式为

$$C=\sum_i C_i=\sum_i \frac{C_i}{E_i}\times\frac{E_i}{E}\times\frac{E}{Q}\times\frac{Q}{G}\times\frac{G}{P}\times P=\sum_i F_i\times \mathrm{ES_i}\times \mathrm{EI}\times \mathrm{QS}\times \mathrm{EO}\times \mathrm{PS} \quad (1)$$

式中:$F_i=\frac{C_i}{E_i}$、$\mathrm{ES}_i=\frac{E_i}{E}$、$\mathrm{EI}=\frac{E}{Q}$、$\mathrm{QS}=\frac{Q}{G}$、$\mathrm{EO}=\frac{G}{P}$、$\mathrm{PS}=P$,各变量含义见表 1。此外,陕西高耗能制造业生产过程中主要消耗的燃料为原煤、洗精煤、焦炭、天然气等 17 种,在公式中分别对应 $i=1,2,\cdots,17$。

表 1 分解模型中各变量的含义

变量	变量含义
C	行业碳排放总量
C_i	第 i 种燃料的碳排放量
E_i	第 i 种燃料的消耗量(标准煤)
E	所有燃料的消耗总量(标准煤)
Q	行业生产总值
G	地区生产总值
P	就业人员数
F_i	碳排放系数
ES_i	能源结构
EI	能源强度
QS	产业结构
EO	经济增长
PS	行业规模

依据式(1)将高耗能制造业能源消费碳排放总量从基期到第 T 期的变化 ΔC 分解为碳排放系数效应(ΔC_{Fi})、能源结构效应(ΔC_{ES})、能源强度效应(ΔC_{EI})、产业结构效应(ΔC_{QS})、经济增长效应(ΔC_{EO})和行业规模效应(ΔC_{PS})。令基期的能源消费碳排放总量为 C^0,T 期为 C^T,以 LMDI 加法分解的方式测算出高耗能制造业能源消费碳排放影响因素的效应值,分解过程为

$$\Delta C=C^T-C^0=\Delta C_{Fi}+\Delta C_{\mathrm{ES}}+\Delta C_{\mathrm{EI}}+\Delta C_{\mathrm{QS}}+\Delta C_{\mathrm{EO}}+\Delta C_{\mathrm{PS}} \quad (2)$$

由于在较长时间内各类能源消耗产生碳排放的能力,即碳排放系数基本保持不变,所以本文设定 ΔC_{Fi} 始终为 0,故不再分析碳排放系数效应,其余 5 个影响因素效应的表达式如下:

$$\Delta C_{\mathrm{ES}}=\sum_i \omega_i \ln\frac{\mathrm{ES}_i^T}{\mathrm{ES}_i^0} \quad (3)$$

$$\Delta C_{\mathrm{EI}}=\sum_i \omega_i \ln\frac{\mathrm{EI}^T}{\mathrm{EI}^0} \quad (4)$$

$$\Delta C_{\mathrm{QS}}=\sum_i \omega_i \ln\frac{\mathrm{QS}^T}{\mathrm{QS}^0} \quad (5)$$

$$\Delta C_{\mathrm{EO}}=\sum_i \omega_i \ln\frac{\mathrm{EO}^T}{\mathrm{EO}^0} \quad (6)$$

$$\Delta C_{\mathrm{PS}}=\sum_i \omega_i \ln\frac{\mathrm{PS}^T}{\mathrm{PS}^0} \quad (7)$$

式中:权重 ω_i 的计算公式为

$$\omega_i=\frac{C_i^T-C_i^0}{\ln C_i^T-\ln C_i^0} \quad (8)$$

3　实验与分析

3.1　数据来源与处理

由表 1 可知，涉及的数据类型包括 7 项，即陕西省高耗能制造业碳排放总量、消耗某种燃料所产生的碳排放量、某种燃料的消耗量（标准煤）、燃料的消耗总量（标准煤）、高耗能制造业生产总值、陕西省生产总值、陕西省制造业就业人员数。

关于碳排放总量，由于 2020 年以来《陕西统计年鉴》不再统计各行业能源消费的具体数据，而中国碳核算数据库（China Emissions Accounts and Datasets，CEADs）对各省的碳排放量测算口径更广，精度更高[15]，因此参考王世进和蒯乐伊[16]、赖文亭等[17]的研究，也采用中国碳排放数据库公布的最新数据，对 1998—2021 年陕西省高耗能制造业的各类能源消费及碳排放数据进行收集与整理，提高后续分解结果的可靠性。

高耗能制造业所消耗的化石燃料种类主要包括原煤、洗精煤、原油、汽油、天然气等 17 种。具体能耗数据可查看 CEADs 官方网站。燃料的消耗总量为 17 种化石燃料消耗量的加总，各类能源消耗量需要根据《中国能源统计年鉴》和统计局网站提供的标准煤折算系数换算为标准煤形式。

陕西省高耗能制造业生产总值指标具体为制造业细分行业的生产总值数据。由于统计局只公布了工业整体的生产总值，并未公布细分行业的生产总值。因此借鉴贺勇等[18]、吴茜和陈强强[19]的方法，使用“（行业产值/工业总产值）×工业 GDP”计算出所需要的高耗能制造业生产总值。

1998—2021 年陕西省生产总值、制造业就业人员数、陕西工业 GDP 等数据均来源于历年《陕西统计年鉴》。为了保证数据的可比性，排除价格因素的影响，1998—2021 年的陕西省生产总值、高耗能制造业生产总值均以 1998 年不变价为基期进行了平减折算调整。

3.2　陕西省高耗能制造业碳排放情况

经过汇总整理 CEADs 中 1998—2021 年分省份分行业的碳排放数据，计算得到陕西省高耗能制造业的碳排放量变化趋势，如图 1 所示。

由图 1 可以看出，自 1998 年以来，陕西省高耗能制造业的碳排放总量从 1 240 万 t 增加到 2021 年的 4 581 万 t，其年均增长率为 5.85%。其中，2013 年之前，碳排放量整体呈现较快的波动上升态势，多个年份的增长率超过了 30%。自 2013 年开始，行业碳排放量有所下降，逐步转为负增长阶段，不再出现增速较快的情况。2016 年碳排放增长率为－19.10%，是陕西省高耗能制造业节能降碳成果最为明显的一年。

从碳排放的总体趋势可以看出，陕西省政府正在大力关注高耗能制造业的节能减排问题。近年来行业高碳排放的情况虽有所缓解，但是总体仍处于高位，高耗能制造业的绿色低碳发展进程任重道远，存在进一步改进的空间。

为明确陕西省高耗能制造业中细分行业的碳排放量分布情况，对石油煤炭及其燃料加工业、化学原料和化学制品制造业等 5 个子行业进行统计，具体碳排放情况如图 2 所示。

由图 2 可知，统计期内，黑色金属冶炼及压延工业与石油煤炭及其燃料加工业在整个高耗能制造

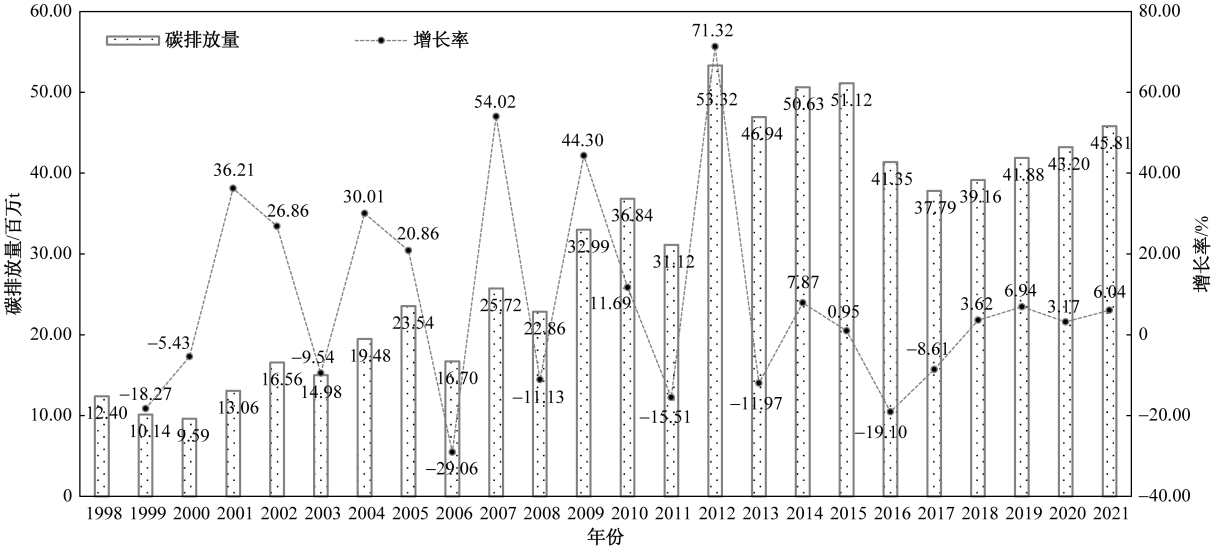


图 1　1998—2021 年陕西省高耗能制造业碳排放量与增长趋势

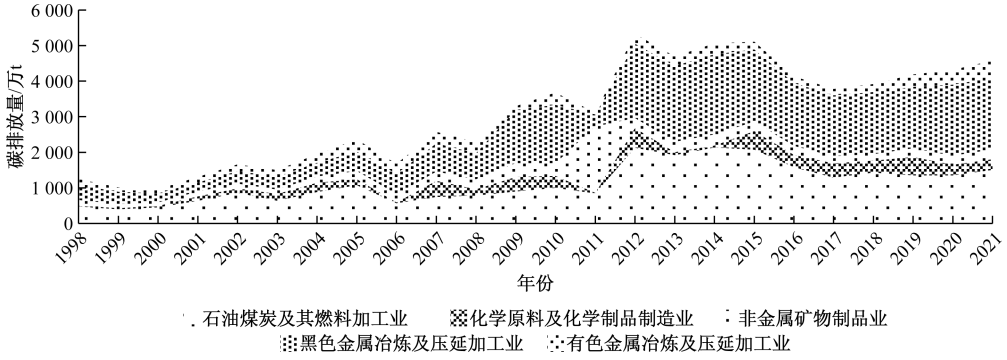


图 2　1998—2021 年细分行业碳排放情况

业碳排放量的占比较大,处于前两位,这主要跟陕西省富煤缺气的资源结构、长期以重工业为主的产业结构,及能源利用效率偏低密切相关[20]。自2006 年开始,黑色金属冶炼及压延工业的碳排放量逐渐超过石油煤炭及其燃料加工业,且于 2013 年后基本稳定在 40%以上。

同时注意到,化学原料及化学制品制造业、有色金属冶炼及压延加工业与非金属矿物制品业在统计期内碳排放量均呈现波动上升的态势。其中,化学原料及化学制品制造业的碳排放量由 1998 年的约 25 万 t 逐渐上升至 2021 年的约 297 万 t,且在整个高耗能制造业碳排放量的占比也有上升;非金属矿物制品业的碳排放量由 1998 年的约 154 万 t 逐渐上升至 2021 年的约 278 万 t,但在整个高耗能制造业碳排放量的占比有所下降;有色金属冶炼及压延加工业的碳排放量由 1998 年的约 164 万 t 逐渐上升至 2021 年的约 488 万 t,但在整个高耗能制造业碳排放量的占比有较大下降趋势。

3.3　碳排放影响因素分解

为了对陕西省高耗能制造业碳排放变化的影响因素进行进一步分析,根据 LMDI 分解公式对陕西省高耗能制造业 1998—2021 年的碳排放影响因素进行分解实验,测定能源结构效应、能源强度效应、产业结构效应、经济增长效应、行业规模效应 5 类指标对陕西省高耗能制造业碳排放量变动的影响情况。

由表 2 可知,1998—2021 年,能源结构、能源强度、产业结构和经济增长对高耗能制造业碳排放起促进作用,行业规模对高耗能制造业碳排放起抑制作用,碳排放总效应值为 3 341.3 万 t。

3.3.1　能源结构效应

图 3 为陕西省高耗能制造业统计期内能源结构效应值的变化情况。从整体情况分析,能源结构在统计期内对高耗能制造业碳排放呈现的正向效应最小,20 余年来能源结构效应增加碳排放80.6 万 t。

表 2　1998—2021 年碳排放影响因素分解结果

年份	效应值/百万 t					
	碳排放总效应 ΔC	能源结构效应 ΔC_{ES}	能源强度效应 ΔC_{EI}	产业结构效应 ΔC_{QS}	经济增长效应 ΔC_{EO}	行业规模效应 ΔC_{PS}
1998—1999	−2.266	0.371	−1.844	−0.682	−0.025	−0.087
1999—2000	−0.550	0.052	−1.706	0.856	0.661	−0.413
2000—2001	3.471	0.067	3.225	0.012	0.423	−0.256
2001—2002	3.507	0.339	2.051	0.990	−0.028	0.155
2002—2003	−1.581	−0.205	−5.319	3.532	0.366	0.045
2003—2004	4.497	0.069	1.364	1.850	0.409	0.804
2004—2005	4.063	0.264	0.308	1.805	−0.867	2.553
2005—2006	−6.842	−1.289	−11.077	4.203	0.738	0.583
2006—2007	9.022	0.216	7.500	−0.307	0.659	0.955
2007—2008	−2.864	−0.271	−6.041	1.192	1.738	0.519
2008—2009	10.126	0.342	12.313	−2.341	−4.508	4.319
2009—2010	3.855	0.204	−1.187	2.144	−1.265	3.960
2010—2011	−5.716	−0.450	−11.905	3.812	1.964	0.863
2011—2012	22.199	4.406	15.042	1.454	23.573	−22.276
2012—2013	−6.384	−1.287	−4.451	−1.525	2.002	−1.123
2013—2014	3.694	−0.508	5.330	−1.045	−1.033	0.950
2014—2015	0.483	0.573	8.748	−6.500	−3.221	0.882
2015—2016	−9.762	−0.835	−6.228	−2.237	−1.076	0.614
2016—2017	−3.561	−1.106	−0.956	−3.249	−0.058	1.809
2017—2018	1.369	−0.079	0.310	−0.049	3.716	−2.529
2018—2019	2.716	−0.366	4.746	−2.319	3.142	−2.487
2019—2020	1.326	0.455	2.849	−1.465	2.639	−3.153
2020—2021	2.610	−0.157	−6.736	5.827	2.238	1.438
1998—2021	33.413	0.806	6.335	5.959	32.187	−11.874

从局部情况看,能源结构只在 2011—2012 年对高耗能制造业碳排放有相对较大的正向效应,其余年份效应值的绝对值均较小,且在 2015 年以来多次呈现负向作用,表明近年来高耗能制造业低碳或清洁能源(如天然气、可再生能源)的使用比例有一定提高,抑制了碳排放增长。但是,陕西省高耗能制造业整体的能源使用结构仍存在一定的改进空间,有待进一步向低碳化方向调整。

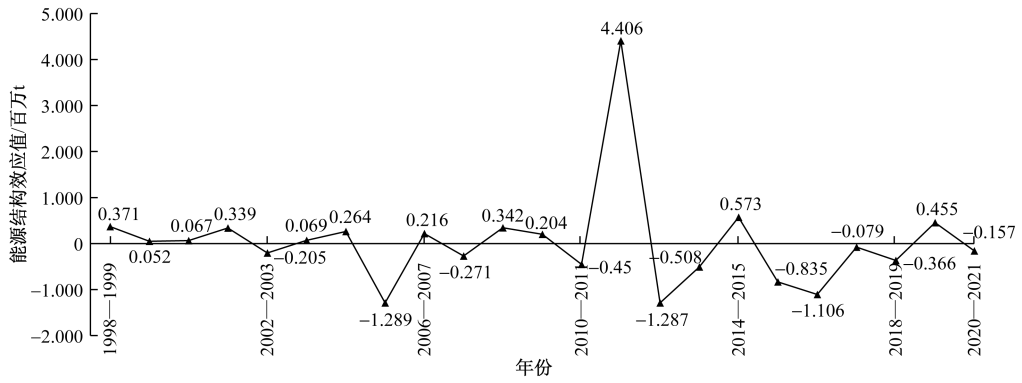


图 3　1998—2021 年陕西省高耗能制造业能源结构效应变化情况

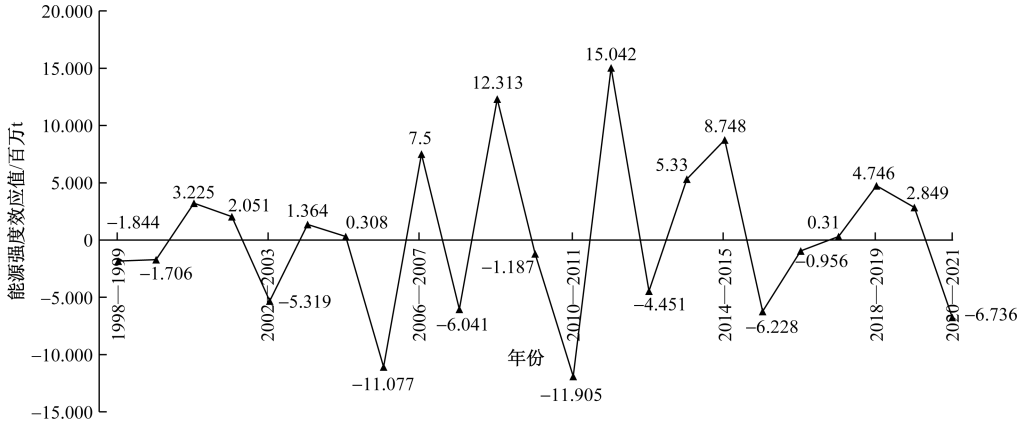


图 4　1998—2021 年陕西省高耗能制造业能源强度效应变化情况

3.3.2　能源强度效应

图 4 为陕西省高耗能制造业统计期内能源强度效应值的变化情况。从长期趋势来看，能源强度对碳排放的影响波动较大且并不稳定，反映出能源强度在碳减排方面的复杂性。能源强度效应值在统计期内的变化情况可以分为以下两个阶段。

1998—2012 年的能源强度效应值呈现上升的趋势，并在 2011—2012 年达到最大值。此阶段陕西高耗能制造业虽迅速发展，但能源利用效率较低，可能是由于部分企业生产工艺落后、设备老化等原因导致能源浪费，进而增加了碳排放。

2012 年后能源强度效应值快速下降并在多个时间段表现为负向作用，抑制碳排放的增长。表明该阶段陕西省高耗能制造业采用了更先进的生产技术、设备，或者加强了能源管理，在能源利用效率方面有所提高。同时，近年来能源强度效应值的波动情况也说明，陕西省在落实国家关于推动重点领域节能降碳要求，推动高耗能制造业绿色转型的过程中有效提升了本省的能源利用效率。

3.3.3　产业结构效应

图 5 为陕西省高耗能制造业统计期内产业结构变化情况。通过对比表 2 中产业结构效应的碳排放分解结果与图 5 的变化情况，发现产业结构的调整情况与表 2 中的产业结构效应值的正负一致，高耗能产业在制造业中的比重每次下降都会在表 2 中该变量的碳排放效应值上产生明显的负向影响，由此可推论优化产业结构将是减少高耗能制造业碳排放的关键方法之一。

特别是在 2012 年后，陕西省逐渐加大了对高科技产业的扶持力度，减少了对传统高耗能制造业的依赖，使产业结构效应值连续 8 年均为负值，对高耗能制造业碳排放起到了明显的抑制作用，说明随着经济发展和消费者需求的变化，一些低附加值、高能耗的产品市场需求逐渐减少，而高附加值、低能耗的产品需求增加。同时，政府的产业政策也对产业结构调整起到了重要的引导作用，推动了产业结构向低碳化转型。

3.3.4　经济增长效应

图 6 为陕西省高耗能制造业统计期内经济增长效应值的变化情况。通常情况下，经济增长会带动能源需求的增加，从而导致碳排放上升，但深圳、广州发达地区，经济增长已伴随着产业结构优化和能

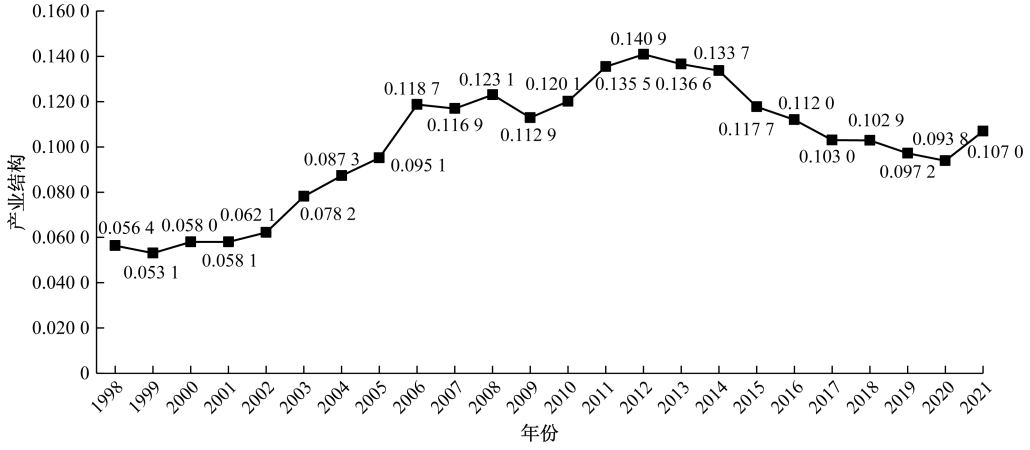


图 5　1998—2021 年陕西省高耗能制造业产业结构变化情况

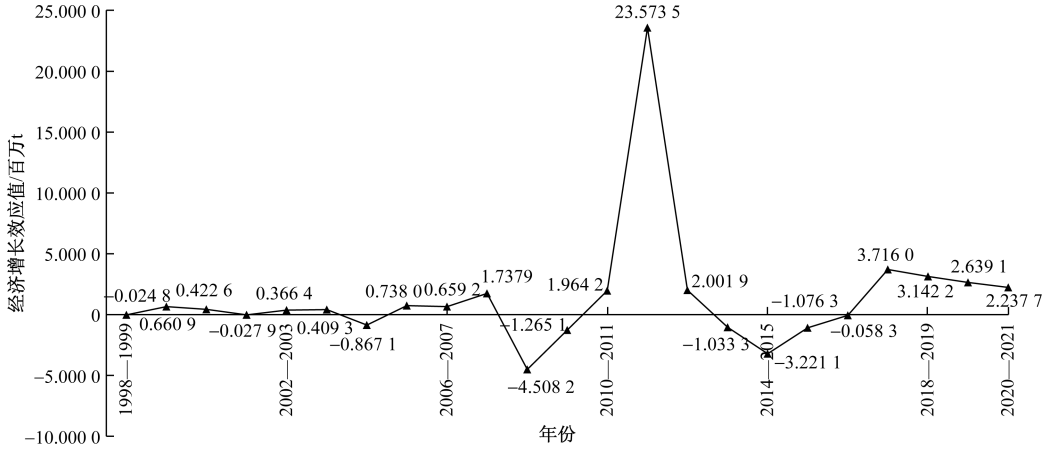


图 6　1998—2021 年陕西省高耗能制造业经济增长效应变化情况

源效率提升,实现与碳排放“脱钩”[21]。表 2 显示,经济增长这一因素对陕西高耗能制造业碳排放的促进作用最为明显,统计期内的总效应值达到了最高的 2 357.3 万 t。其中,经济增长在 23 年的时间间隔中有 14 个年份呈现正效应,表现出了对碳排放量增加较为明显的促进作用。陕西省高耗能制造业在过去的发展中,一定程度上依赖粗放型增长模式,导致经济增长与碳排放同步上升。而随着时间的向后推移,经济增长在 2012 年后对碳排放的增加效果开始降低,呈现下降趋势。

同时,从表 2 发现,经济增长效应在 2013—2021 年也存在一定范围的波动。这一不稳定性也表明了在现阶段经济增长的变动仍为影响碳排放变化的重要因素,需要进一步探索绿色经济发展模式以降低经济增长对碳排放的拉动作用。

3.3.5　行业规模效应

图 7 为陕西省高耗能制造业统计期内制造业就业人员数的变化情况。陕西省制造业就业人员数自 2011 年以来呈下降趋势,特别是在 2011 年后,出现了大幅度的下降,与表 2 中行业规模效应值的变化相吻合。这主要与陕西在制造业转型升级的过程中引入自动化生产替代了部分人力劳动,且加强环保监管,淘汰高污染、落后产能企业,使制造业就业岗位减少,单位产出能耗降低相关。表明随着制造业自动化和绿色发展,部分低效率产能退出,单位产出所需劳动力减少,能源消耗和碳排放需求也会随之降低,从而抑制了碳排放增长。

4　结论与建议

4.1　研究结论

(1)陕西省高耗能制造业碳排放情况虽有所缓解但仍处于高位,其年均增长率为 5.85%,反映出其产业结构调整相对滞后,高耗能制造业在经济构成中占比较大,能源转型面临挑战。

(2)不同地区由于资源禀赋和产业布局差异,重点排放行业不同,陕西省黑色金属冶炼及压延工业与石油煤炭及其燃料加工业在高耗能制造业碳

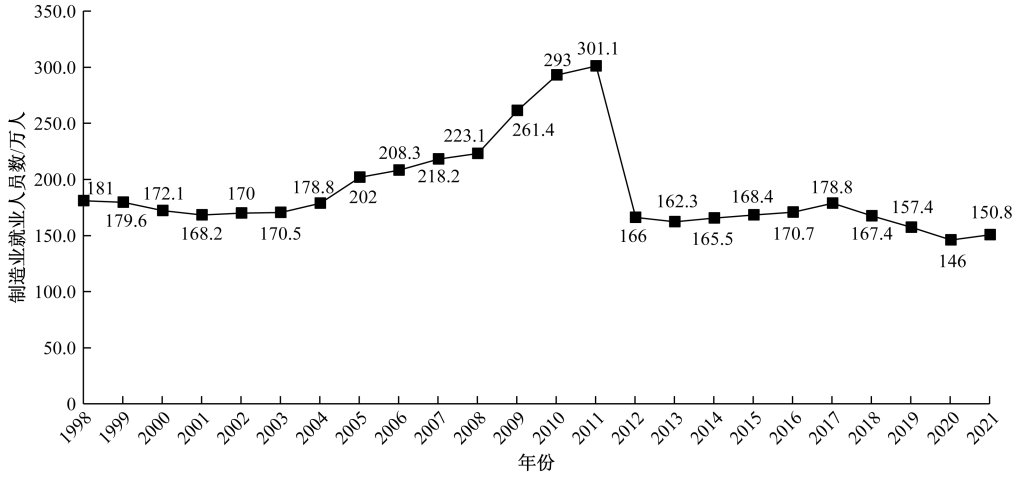


图 7　1998—2021 年陕西省高耗能制造业就业人员数变化情况

排放量占比居前 2，对碳排放趋势有较大影响，这与陕西丰富的矿产资源以及以此为基础发展的重工业体系有关。

(3)从 1998—2021 年总体情况看，经济增长、能源强度、产业结构、能源结构这 4 类因素促进了陕西高耗能制造业碳排放增长，行业规模对陕西高耗能制造业碳排放呈现抑制作用。

4.2　政策建议

(1)加强重点行业碳排放管控。由于黑色金属冶炼及压延工业与石油煤炭及其燃料加工业在陕西高耗能制造业中对碳排放趋势影响较大，应通过提供专项资金支持、税收优惠等政策，引导企业采用先进的生产工艺和设备，鼓励这些行业的企业加大节能减排技术研发和应用力度，降低碳排放强度。同时，针对这两个行业制定针对性的碳排放限额标准和减排目标，要求企业严格执行。此外，还可以推动这两个行业的企业整合重组，提高产业集中度，实现规模经济和节能减排的协同效应。

(2)调整经济增长与产业结构模式。由于经济增长是促进陕西高耗能制造业碳排放增加的首要因素，在推动经济发展的同时，要注重经济增长模式的转变。一方面要通过产业政策引导，鼓励发展低能耗、高附加值的新兴产业和服务业，逐步降低高耗能制造业在产业结构中的比重；另一方面应优化高耗能制造业内部的产业结构，推动产业升级，鼓励企业向高端化、智能化、绿色化方向发展，提高产品的科技含量和附加值，促进低碳经济的发展。

(3)多维度优化能源消费及结构。能源强度、能源结构也是促进陕西高耗能制造业碳排放增加的重要因素。在降低能源强度方面，建立健全能源消耗监测体系，对高耗能企业进行实时监测和评估，并推广节能技术和产品，开展节能宣传教育活动，提高全社会的节能意识。在优化能源结构方面，陕西应一方面推广清洁煤技术，加大对清洁能源的开发和利用力度，逐步提高清洁能源在能源消费结构中的比重，另一方面要深化陕北气田勘探，推广水平井、压裂技术提高采收率，弥补供应缺口，从而降低高耗能制造业的碳排放量。

参考文献

[1] 易煤. 2024 年陕西新增在产煤矿产能 2420 万吨 煤炭消费量增长 8.8%[EB/OL]. (2025-03-13)[2025-04-29]. https://www.yimei180.com/news/article/39359.

[2] 陕西省发展和改革委员会. 陕西省高耗能行业重点领域节能降碳实施方案[EB/OL]. (2022-09-09)[2025-04-17]. http://sndrc.shaanxi.gov.cn/fgyw/tzgg/IjaAVv.htm.

[3] 刘惠，赵卉卉，王明旭，等. 技术进步、结构调整对广东省工业减排的影响：基于 LMDI 的实证分析[J]. 环境科学研究，2024，37(8)：1654-1665.

[4] 杜少娟，刘臣炜，姚国慧，等. 长三角产业合作区碳排放时空特征及影响因素[J]. 生态与农村环境学报，2025，41(1)：41-51.

[5] 王文治，任曷凯. 中国内资和外资企业隐含碳排放及其影响因素研究：基于 OECD-AMNE 数据的 MRIO-SDA 分解[J]. 电子科技大学学报(社科版)，2023，25(6)：11-24.

[6] 黄怀玉，唐园清，龚直文，等. 基于 STIRPAT-GWR 模型的重庆市土地利用碳排放动态演进及影响因素[J]. 环境工程技术学报，2024，14(4)：1195-1205.

[7] ANG B W，LIU N. Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach[J]. Energy Policy，2007，35(1)：238-246.

[8] GONZÁLEZ P F，PRESNO M J，LANDAJO M. Trac-

king the change in Spanish greenhouse gas emissions through an LMDI decomposition model: a global and sectoral approach[J]. Journal of Environmental Sciences, 2024, 139: 114-122.

[9] ALAJMI R G. Factors that impact greenhouse gas emissions in Saudi Arabia: decomposition analysis using LMDI [J]. Energy Policy, 2021, 156: 112454.

[10] 张馨. 改革开放以来陕西能源消费碳排放演进特征及影响因素研究[J]. 生态经济, 2021, 37(12): 37-42, 53.

[11] 刘浩东, 李思涛, 张翔, 等. 黑龙江省碳排放量核算及驱动因素分析[J/OL]. 环境科学, (2025-04-03)[2025-04-15]. https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202412186.

[12] 黄天阳, 谢立勇, 邓天乐, 等. 基于LMDI模型的辽宁省农业碳排放效率及驱动因素分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2025, 33(3): 424-434.

[13] 张学志, 王向前. 基于LMDI的安徽省煤炭行业碳排放影响因素分析[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2024, 43(3): 75-81.

[14] 李冰, 初铭畅. "双碳"目标下辽宁省制造业碳减排影响因素研究[J]. 环境保护科学, 2023, 49(2): 1-6.

[15] 胡雨朦, 杨丹辉. "双碳"目标下数字化投入对我国工业碳排放的影响研究: 基于LMDI分解模型的分析[J]. 价格理论与实践, 2024(1): 203-208.

[16] 王世进, 蒯乐伊. 中国交通运输业碳排放驱动因素与达峰路径[J]. 资源科学, 2022, 44(12): 2415-2427.

[17] 赖文亭, 王远, 黄琳琳, 等. 福建省行业碳排放驱动因素分解及其与经济增长脱钩关系[J]. 应用生态学报, 2020, 31(10): 3529-3538.

[18] 贺勇, 傅飞飞, 廖诺. 基于STIRPAT模型的工业研发投入对碳排放影响效应分析[J]. 科技管理研究, 2021, 41(17): 206-212.

[19] 吴茜, 陈强强. 甘肃省行业碳排放影响因素及脱钩努力研究[J]. 干旱区地理, 2023, 46(2): 274-283.

[20] 陕西省工业和信息化厅. 能效分级 精准管理 推动工业重点领域绿色低碳高质量发展[EB/OL]. (2025-02-20)[2025-06-19]. https://gxt.shaanxi.gov.cn/cyfz/jnly/202503/t20250303_3455573.html.

[21] 钟薇薇, 高海, 徐维军, 等. 多聚类视角下的碳达峰路径探索与趋势研判: 基于广东省21个地级市面板数据的分析[J]. 南方经济, 2021(12): 58-79.

Decomposition on Factors of Carbon Emissions in High Energy-consuming Manufacturing Industry in Shaanxi Province: Analysis Based on LMDI

LI Qingqing[1], SUN Jianping[2]

(1. School of Humanities and Management, Xi'an Traffic Engineering University, Xi'an 710300, China;
2. School of Economics and Management, Xidian University, Xi'an 710126, China)

Abstract: In the process of achieving the dual carbon goals in Shaanxi Province, high energy consuming manufacturing is an important source of carbon emissions and a key link and channel for energy conservation and emission reduction. The LMDI(logarithmic mean Divisia index) model was used to determine and analyze the factors affecting carbon emissions in high energy consuming manufacturing industries in Shaanxi Province from economic, energy, and social perspectives. The results indicate that although the carbon emissions of high energy consuming manufacturing industries in Shaanxi Province have eased to some extent, they are still at a high level. The ferrous metal smelting and rolling industry, as well as the petroleum, coal, and fuel processing industries, has a significant impact on carbon emission trends. Overall, economic growth, energy intensity, industrial structure, and energy structure promote carbon emissions in energy-intensive manufacturing, and industry size restrains emissions in energy-intensive manufacturing. Based on this, Shaanxi should strengthen carbon emission control, adjusting economic growth and industrial structure models, multi-dimensional optimization of energy consumption and structure, gradually reducing carbon emissions from high energy consuming manufacturing industries.

Keywords: carbon emission; LMDI(logarithmic mean Divisia index); manufacturing industry; energy structures