

西安市碳锁定测算与碳解锁路径研究

王小辉 西安邮电大学

【摘要】城市是“节能减排”的主要体现者，故而考量西安市碳锁定现状并探究碳解锁路径，可为西安市实现低碳经济转型提供实证依据。基于IPCC推荐方法测算了西安市1995-2019年二氧化碳排放值，构建了碳锁定体系，据此提出西安市碳解锁路径。研究表明：西安市碳排放从1995年至2019年呈现了增长—下降—持平状态，其变化与产业结构和能源结构的调整密切相关。西安市碳锁定在“组织”领域值最高，其次为“技术领域”。可主要借助生产技术的升级与“共享经济”模式的推行发展进行碳解锁。

【关键词】西安市；碳锁定；碳解锁

【DOI】 10.12316/j.issn.1674-0831.2022.01.036

城市是省级行政单位的主要构成，也是“节能减排”的主要体现者。陕西省于2010年被国家批准为低碳试点发展省份，也是国内首批进行低碳试点的省份。西安市作为省会城市，低碳发展已经成为西安城市建设的重要课题。近年来，西安市采取了一系列措施，节能减排效果明显。但由于工业化、城市化加速发展，经济体量不断增加，导致碳减排难度加大。同时，碳排放交易制度让二氧化碳排放量产权化，在“碳市场”中可获得新的经济增长点。因此，考量西安市碳锁定现状，分析碳锁定效应中的“区域特色”，并探究碳锁定效应的关键影响因素，将为西安市实现碳解锁以及低碳经济转型提供理论和实证依据。

一、西安市碳排放测算与效率

1. 西安市碳排放测算

采用IPCC以及国家推荐的具体行业碳排放测算方法，将西安市碳排放划分为能源碳排放与非能源碳排放两部分，能源碳排放部分包括：工业生产，交通运输和居民生活三个模块；非能源碳排放部分包括工业过程，秸秆燃烧和废弃物处理三个模块。据此科学估量西安市1995-2019年碳排放水平。本文数据来源于《陕西统计年鉴》《中国环境统计年鉴》与《西安市统计年鉴》。具体测算结果，见图1。

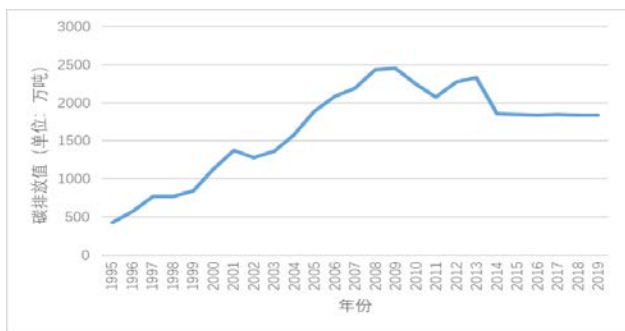


图1 西安市碳排放测算

据图1可知，西安市的碳排放从1995年至2010年，基本呈现增长趋势，到2011-2012年出现了降。在2013-2015年出现了波动，至2016年以后碳排放基本保持于约1900万吨水平。这与陕西省对产业结构和能源结构的调整密切相关，2010年陕西省推进“气化陕西”工程。西安市大力调整之前以煤炭为主的能源消费结构，除天然气外，积极开发太阳能、风能等新能源的使用，新能源的使用促使了碳减排工作的顺利进行。

2. 西安市碳排放效率

对于西安市碳排放效率测算采用DEA模型进行。其过程为：

- (1) 确定N个同类评价单元DMU_j (Decision Making Unit, 决策单元)；
- (2) 选择投入指标: $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$ ；
选择产出指标: $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ ；
- (3) 选择模型类型: CCR (投入导向型模型) 或 (产出导向型模型) BCC；
- (4) 对每一评价单元DMU求解其对应的模型得其有效性评价。

由于CO₂的过量排出对经济和生态均带来不利影响，所以在探求碳效率时，文章选择CCR模型来对各城市的碳效率进行比较，也就是在不改变产出数量下，如何使投入最小，这与碳调控的基本思想一致，减少能源投入，减少碳排放量。

在西安市碳排放效率比较中，DMU分别代表城市；由于碳排放会受到劳动力、资本和能源因素的影响，所以选择投入指标 $X = (劳动力_1, 资本_2, 能源_3)$ ，其中，劳动力指当年城市就业人数，资本用全社会固定资产投资代表；能源则是城市当年度的能源消费量。有投入就有产出，产出主要选择国民生产总值和CO₂，故而产出

指标Y=(碳排放₁, 国民生产总值₂), 借助DEA6.18计量经济学软件, 分别计算西安市1995-2019年的相关效率值(见表1)。

表1 西安市1995-2019年碳排放效率测算结果

年份	技术效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬	年份	技术效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
1995	0.992	1	递增	0.992	2008	0.684	0.921	0.743	递减
1996	1	1	1	不变	2009	0.914	1	0.914	递增
1997	1	1	1	不变	2010	0.937	1	0.937	不变
1998	1	1	1	不变	2011	1	1	1	不变
1999	0.976	0.992	0.983	递增	2012	0.930	0.973	0.955	递减
2000	1	1	1	不变	2013	0.877	1	0.877	递减
2001	0.992	1	0.992	不变	2014	1	1	1	不变
2002	1	1	1	不变	2015	1	1	1	不变
2003	0.988	1	0.988	递增	2016	0.978	0.979	0.998	递减
2004	1	1	1	不变	2017	1	1	1	不变
2005	0.977	0.979	0.998	递减	2018	1	1	1	不变
2006	0.977	0.984	0.994	递增	2019	0.974	1	0.998	递增
2007	0.940	0.975	0.964	递增					

计算结果中, 技术效率反映在给定投入的情况下获取最大产出的能力; 纯技术效率是企业由于管理和技术等影响因素的生产效率; 规模效率反应是否在最优

的投资规模下进行经营, 当效率值为“1”时, 效率有效, 规模效率为“1”更是效率最优的表现, 投入增多或减少都会影响当年度的效率。若效率值不为“1”, 则效率值在(0, 1)之间, 表示当产出保持不变时, 可以减少(或浪费)投入的最大比例。

西安市技术效率与纯技术效率平均值分别为0.975和0.992, 说明企业管理和技术等因素对碳减排的影响较大, 同时, 西安市的产出能力仍有进一步发展的潜力。规模效率自2014年以后趋势较为稳定, 基本呈现有效状态, 说明随着产业结构的不断调整与优化, 其效率值也逐渐转变为有效。要探究城市发展碳减排的主要领域, 就需要具体分析城市与驱动因子的交互响应, 进而为城市碳减排提供理论依据。

二、西安市碳锁定体系构建

碳锁定概念最早由西班牙学者Gregory C. Unruh于2002年提出, 是指整个社会高度依赖于高碳化石能源, 产业经济锁定在以高碳化石能源为基础的能源体系中。但由于产业经济的发展会受到国家制度、技术革新等因素的综合影响, 所以本文构建的碳锁定体系与测量指标如表2所示。其中, 人口总数与城市化进程会受到国家政策的影响, 故而将其归纳为“制度与社会”领域; GDP总量主要依托于企业发展, 工业生产碳排放又约占到总碳排放量的80%, 所以二者在“组织”领域; 新能源的研发与使用离不开技术革新, 将其合并至“技术”领域; 产业结构调整为“产业”领域。

表2 西安市碳锁定来源

碳锁定领域	指标/代码	指标值计算	指标意义	单位
	西安市碳排放/y	IPCC测算方法	——	10 ⁴ t
制度与社会	总人口/x ₁	常住人口总数	人口效应	万人
	城市化/x ₄	城镇人口/常住人口总数	城市化水平	%
组织	人均GDP/x ₂	GDP/常住人口数	经济效应	元
	碳强度/x ₃	碳排放总量/GDP	技术效应	吨/万元
技术	能源结构/x ₅	化石能源/能源消费总量	能源结构效应	%
	能源强度/x ₆	能源消耗总量/GDP	能源强度	吨标准煤/万元
产业	产业结构/x ₇	产业结构层次系数	产业结构效应	——

三、西安市碳锁定领域测度方法与现状

1. 西安市碳锁定领域测度方法

(1) 确定分析序列

首先确定因变量因素和多个自变量因素。设因变量数据构成参考序列x¹。各自变量数据构成比较序列xⁱ (i=1,2,...,n), n+1个数据序列构成以下矩阵:

$$(X_0, X_1, \dots, X_n) = \begin{Bmatrix} x_0^1(1) & x_1^1(1) & \dots & x_n^1(1) \\ x_0^1(2) & x_1^1(2) & \dots & x_n^1(2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_0^1(N) & x_1^1(N) & \dots & x_n^1(N) \end{Bmatrix}_{N \times (n+1)} \quad (1)$$

其中, X_i¹=(x_i¹(1), x_i¹(2), ..., x_i¹(N))^T, i=0,1,2,...,n, N为变量序列的长度。

(2) 对变量序列进行无量纲化

为了保证分析结果的可靠性, 需要对变量序列进行无量纲化。无量纲化序列形成以下矩阵:

$$(X_0, X_1, \dots, X_n) = \begin{Bmatrix} x_0(1) & x_1(1) & \dots & x_n(1) \\ x_0(2) & x_1(2) & \dots & x_n(2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_0(N) & x_1(N) & \dots & x_n(N) \end{Bmatrix}_{N \times (n+1)} \quad (2)$$

常用的无量纲化方法有均值法、初值法法等。

(3) 求差序列、最大值和最小值

计算矩阵②中参考序列与比较序列对应期的绝对差值, 形成绝对差值矩阵:

$$\begin{Bmatrix} \Delta_0(1) & \Delta_1(1) & \dots & \Delta_n(1) \\ \Delta_0(2) & \Delta_1(2) & \dots & \Delta_n(2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \Delta_0(N) & \Delta_1(N) & \dots & \Delta_n(N) \end{Bmatrix}_{N \times n} \quad (3)$$

其中, Δ_{0i}(k)=|x₀(k)-x_i(k)|, i=0,1,2,...,N。

绝对差值阵中最大数和最小数即为最大差和最小差:

$$\begin{aligned} & \max_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq k \leq N}} \{\Delta_{0i}(k)\} \Delta(\max) \\ & \min_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 1 \leq k \leq N}} \{\Delta_{0i}(k)\} \Delta(\min) \end{aligned} \quad (4)$$

(4) 计算锁定系数和关联度

根据绝对差值矩阵中数据进行关联系数计算：

$$\xi_{0i}(k) = \frac{\Delta(\min) + \rho\Delta(\max)}{\Delta_{0i}(k) + \rho\Delta(\max)} \quad (5)$$

其中， $\xi_{0i}(k)$ 为关联系数且不大于1，表示比较序列和参考序列的关联程度； ρ 为分辨系数，在(0, 1)之间取值，一般多为0.5。

对比较序列和参考序列的关联程度就是多个关联系数的平均值：

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_{0i}(k) \quad (6)$$

关联度越大，说明比较序列和参考序列变化的态势越一致。

2.西安市碳锁定现状

基于以上方法，测算出西安市碳锁定现状见表2：

表2 西安市碳锁定现状

关联度	制度与社会		组织		技术		产业
	总人口	城市化	人均GDP	碳强度	能源结构	能源强度	产业结构
西安市	0.609	0.559	0.865	0.554	0.525	0.751	0.518

通过测算结果可知，西安市碳锁定在“组织”领域平均值最高，约为0.710，其次为“技术领域”的0.638。也就意味着西安市要促进企业发展，进行技术革新，控制能源消费碳排放将成为碳解锁的主要工作。

四、西安市碳解锁路径

西安市近年来第二产业占比相对下降，第三产业增长，第一产业基本平稳。总体呈现出人口密集，高新技术产业集聚的特点。加之碳锁定现状，所以西安市碳解锁路径重点应在于生产技术的升级与“共享经济”模式的推行发展。

1.生产技术升级

生产技术升级是强调高新技术与各产业的更进一步结合。西安市近年来在城市化进程中，城市空间的不断扩大，基础设施的低碳建设应是其控制碳排放的主要策略；同时加强工业产业配套建设，适度提速生产性服务业，为工业产品提供便捷的物流链与现代化技术支持；加强技术改造，依靠良好的农产品资源打造农业产业链。西安市可凭借其优势的地理区位条件和产业基础，深化产业技术改造，提高能源转化效率，形成“低碳经济”发展模式。

2.“共享经济”模式的推行发展

“共享经济”目前的主要表现为交通运输方面“共享单车”“共享汽车”的投放。人口的增加使得民用汽

车拥有量不断提高，导致交通运输单元碳排放的增加。而“共享经济”则是较好的解决途径，低碳出行可有效抑制交通运输单元的CO₂排放。

参考文献：

- [1]李少林, 杨文彤. “碳达峰、碳中和”理论研究新进展与推进路径探索[J]. 东北财经大学学报, 2021(08):1-14.
- [2]张巍. 基于STIRPAT模型的西安市碳足迹预测和情景分析[J]. 生态经济, 2021, 364(04):25-29.
- [3]王小辉, 陈报章, 张慧芳. 省级碳清单不确定性分析—基于陕西省2000-2012年碳排放测算[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 203(07):7-11.
- [4]Yuanyuan, sunXintong. An analysis of the correlation between urbanization, industrial structure, energy consumption, economic growth and carbon emission s: An Empirical Study Based on the heterogeneity of China's provincial income level[J]. Research progress of climate change, 2020(7):1-12.
- [4]王瑛, 何艳芬. 西部地区中心城市碳排放与经济发展关系研究—以西安市为例[J]. 生态科学, 2019, 142(04):217-224.
- [6]Chulee Ong, Gabrielle Deprés, Jean-Eudes Hollebecq, et al. Quantifying the effect of landscape structure on transport costs for biorefinery of agricultural and forestry wastes in Malaysia[J]. GCB Bioenergy, 2020, 12(11):910-922.
- [7]Yuanyuan, sunXintong. An analysis of the correlation between urbanization, industrial structure, energy consumption, economic growth and carbon emission s: An Empirical Study Based on the heterogeneity of China's provincial income level[J]. Research progress of climate change, 2020(7):1-12.
- [8]唐晓灵, 康铭敏. 我国东西部城市碳排放差异性比较研究—基于对上海市和西安市的数据分析[J]. 价格理论与实践, 2020, 431(05):169-172+176.
- [9]SunPan, WuYuming, BaoShuming. Study on the Effects of Industrial Structure on Carbon Reduction—An Empirical Study Based on Spatial Econometrics Model[J]. Economic Survey, 2018, 35(02):93-98.
- [10]梁中, 昂昊, 胡登峰. “区域碳解锁”的微观驱动机制研究[J]. 中国软科学, 2020, 352(04):132-141.
- [11]梁中, 胡俊康. 多主体合作的“碳解锁”治理: 价值逻辑与行动策略[J]. 社会科学, 2019, (08):36-45.

基金项目：西安市科技局软科学项目“碳达峰、碳中和”目标下西安市碳锁定空间溢出测度与解锁路径研究”（项目编号：2021-0013）。