

经济增长与环境污染之间的相互作用对可持续发展的影响

——以攀枝花市为例

何雯睿

北京林业大学经济管理学院 北京

【摘要】本文通过使用向量自回归（VAR）模型分析攀枝花市的废水、废气和固体废物排放与经济增长之间的关系，以探讨该市在城市转型过程中的可持续发展策略。研究表明，废水、废气和固体废物的排在短期内对经济增长产生一定的负面影响，但随着时间的推移，经济增长与污染排放之间的关系逐渐趋于平衡。为了推动可持续发展，攀枝花市应加大污染治理力度，发展绿色产业，优化产业结构，并实施循环经济模式。通过调整政策和技术创新，攀枝花市能够在实现经济增长的同时，减缓环境污染，推动绿色转型，为其他资源型城市提供了可行的转型路径。

【关键词】环境质量；VAR 模型；可持续发展；经济增长

【基金项目】北京市通州区园林绿化局项目（LMZN230517）

【收稿日期】2024 年 10 月 25 日

【出刊日期】2024 年 12 月 3 日

【DOI】10.12208/j.aee.20240001

The impact of the interaction between economic growth and environmental pollution on sustainable development - a case study of Panzhihua City

Wenrui He

School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing

【Abstract】 This paper uses the Vector Autoregression (VAR) model to analyze the relationship between wastewater, air pollution (emissions of industrial gases), solid waste, and economic growth in Panzhihua, exploring the city's strategies for urban transformation and sustainable development. The results indicate that, in the short term, wastewater, air pollution, and solid waste emissions negatively impact economic growth. However, over time, the relationship between economic growth and pollution emissions gradually stabilizes. To promote sustainable development, Panzhihua should enhance pollution control, develop green industries, optimize its industrial structure, and implement a circular economy model. Through policy adjustments and technological innovation, Panzhihua can reduce environmental pollution while achieving economic growth, offering a feasible transformation path for other resource-based cities.

【Keywords】 Environmental quality; VAR model; Sustainable development; Economic growth

1 引言

随着中国经济的快速增长，许多资源型城市在经历了几十年的高速发展后，面临着资源枯竭、环境污染和经济发展方式单一的问题。攀枝花市作为中国西南部的资源型城市，矿产资源的开发曾是其经济发展的主要动力，钢铁、化工和矿产加工等产业曾是其经济结构的主导。然而，随着资源的逐渐

枯竭以及环境污染问题的加剧，攀枝花市的资源型发展模式面临着可持续性挑战，矿产资源开发导致的生态破坏和能源消耗使得该市需要重新审视发展模式，推动城市转型。

由于攀枝花独特的地理位置和气候条件，城市具备了转型的自然优势。攀枝花位于亚热带和温带的过渡带，年均气温在 17°C 至 20°C 之间，具有较

作者简介：何雯睿，女，四川人，北京林业大学，经济管理学院，硕士研究生，研究方向：统计学。

长的生长季节和丰富的太阳能资源，这为发展清洁能源和绿色农业提供了有力支撑。此外，攀枝花市境内的丰富山地和森林资源为发展生态旅游和绿色产业提供了独特的自然条件。

如今，攀枝花市正在积极推动从资源型城市向绿色可持续城市的转型，依托其丰富的自然资源、优越的气候条件以及地理位置的优势，发展清洁能源、高新技术产业、循环经济和生态旅游等新兴产业。这种转型不仅有助于提高经济的可持续性，还能减少对环境的负面影响，推动城市实现绿色发展。如何实现经济增长与环境保护的协调，成为攀枝花市可持续发展的重大课题。

本研究通过 VAR 模型，分析了攀枝花市的经济增长与环境污染（废水、废气、固体废物排放）之间的关系，利用脉冲响应分析探讨了不同污染物排放对经济增长的短期和长期影响。研究结果旨在为攀枝花市在推进绿色转型和可持续发展过程中提供政策建议，同时为其他资源型城市的转型过程提供借鉴。

论文的结构如下：文献综述——分析经济增长与环境污染作为环境质量核心指标之间关系的理论框架；研究方法和模型——解释研究经济增长与环境污染之间相互关系的方法和工具；结果——解释调查的核心发现；讨论和结论——将获得的数据与先前调查进行比较的分析；政策启示、研究限制和未来研究方向。

2 文献综述

2.1 国内研究现状

在中国经济增长与环境保护的协调问题尤为突出。国内学者普遍认为，经济发展在一定阶段内会加剧资源消耗和环境污染，缺乏有效法规的经济增长可能导致生态系统退化。蔡昉等人（2008）通过实证分析表明，中国经济增长模式的转变需要以节能减排为内在动力^[1]。李琳等（2009）基于 VAR 模型的研究也证实，重庆市经济增长与环境污染之间存在复杂的动态关系，说明有效的环境政策对于实现可持续增长至关重要^[2]。

此外，李国柱（2007）的计量分析表明，中国经济增长与环境协调发展之间的关系具有显著的非线性特征^[3]。他指出，通过加强环保法规和绿色技术创新，可以在实现经济增长的同时减少环境污染。基

于环境库兹涅茨曲线（EKC）理论的研究也得出类似结论，认为经济增长在初期会导致污染增加，但在达到一定水平后，污染会逐渐减少^[4]。

2.2 国外研究现状

国际上，Dasgupta 和 Heal（1979）提出了经济与生态发展可以共同进步的观点，认为经济发展不应以牺牲环境为代价^[5]。Mani 等（2000）的研究强调，通过严格的管理机制，可以在减少环境污染的同时促进经济发展^[6]。此外，Khan 等（2021）研究了能源消耗、经济增长和环境质量之间的关系^[7]，证实了经济发展与环境保护之间存在长期的平衡关系。

针对固体废物管理问题，Namlis 和 Komilis（2019）在欧盟国家的案例研究中证明，城市垃圾的产生与经济增长之间存在显著的相关性^[8]。Madden 等（2019）则通过废弃物库兹涅茨曲线验证了废物生成与社会经济指标之间的关系，认为具有高社会经济指标的地区能够更有效地管理废物，从而减少环境污染^[9]。

在能源创新与环境保护领域，Balsalobre-Lorente 等（2019）指出，能源创新有助于减少温室气体排放，并促进经济增长^[10]。他们通过对 OECD 国家的实证研究，发现能源创新对环境质量的长期改善具有重要作用。此外，Bildirici（2017）通过 MS-VAR 模型分析了 G7 国家中经济增长与 CO₂ 排放之间的双向因果关系，进一步证明了绿色技术在可持续发展中的重要性^[11]。

综上所述，国内外研究表明，经济增长与环境污染之间存在复杂的动态关系。在缺乏有效环境政策的情况下，经济增长往往加剧环境污染。然而，通过实施严格的环保法规、发展绿色产业和推动能源创新，可以实现经济与生态的双赢发展。基于这些研究成果，本文利用 VAR 模型对攀枝花市的经济增长与环境污染之间的关系进行实证分析，旨在为资源型城市的可持续发展提供理论依据。

3 研究方法与模型

3.1 数据

选择了 2002 年至 2022 年间攀枝花市的人均国内生产总值（GDP）、废水排放（WW）、废气排放（WG）和固体废物排放（SW）进行分析，数据取自攀枝花统计局^[12]。为避免数据中可能存在的异方差和急剧波动，并便于获取不改变时间序列数据特

征的稳定序列，对各种时间序列变量进行了对数标准化处理，最终得到了新的序列数据。

攀枝花市位于中国四川省南部，地处四川盆地与滇池盆地的交界地带，是四川省的重要地级市。攀枝花市东邻雅安市，西接西藏昌都，南界云南省，

北邻四川省凉山彝族自治州。地处横断山脉的南端，地势复杂，山脉纵横，峡谷深邃，拥有典型的高原山地气候和资源丰富的地理优势。攀枝花市的矿产资源非常丰富，特别以钒钛矿、煤炭、铁矿等为代表，是我国重要的资源型城市之一。

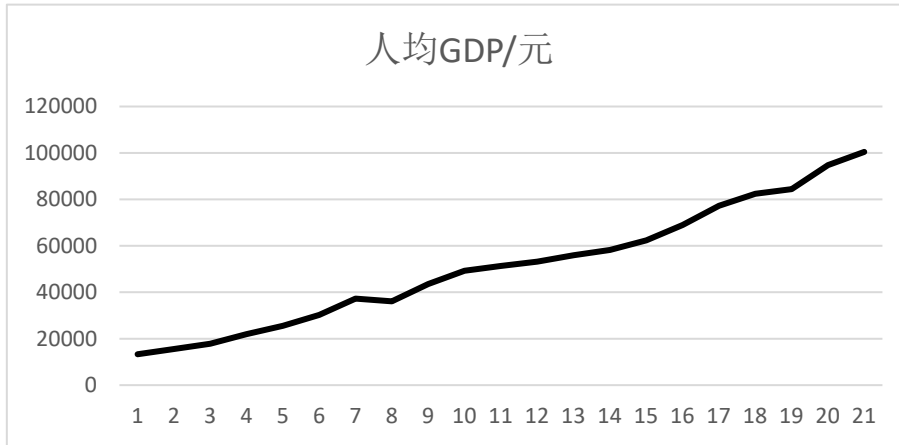


图 1 2002 年至 2022 年攀枝花市人均 GDP

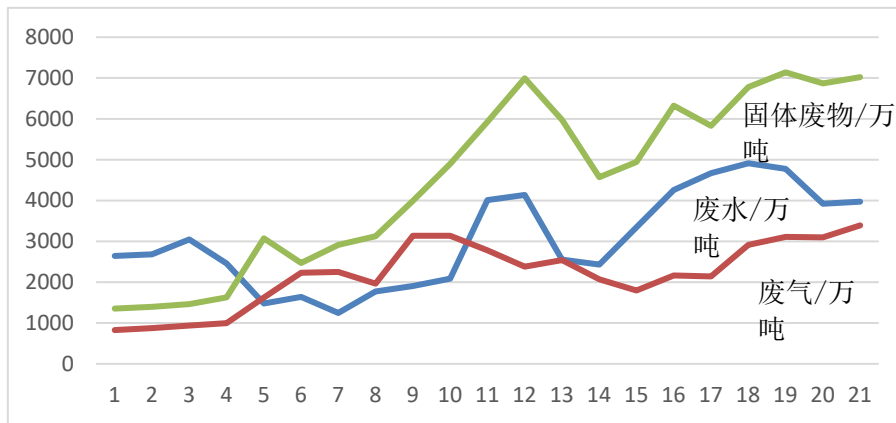


图 2 2002 年至 2022 年攀枝花市的废水、废气和固体废物排放

从上图 1 中，我们可以看到，攀枝花市的人均 GDP 在 2002 年至 2022 年间经历了显著增长，从 2002 年的 13388 元增长到 2022 年的 100454 元。

从图 2 中，我们可以看到废水排放和固体废物排放一直呈现出缓慢增加的趋势，在 2015 年后有所下降，但下降速度很快，后续又继续上升。

废气排在 2002 年至 2007 年间呈上升趋势，从 2007 年至 2013 年，呈现出缓慢的下降趋势，后续又快速上升，表明环境污染问题严重。因此，政府开始采取相应的措施，以实现可持续发展。

3.2 模型构建

1890 年，辛斯提出了矢量自回归模型 (VAR)

作为宏观经济学分析的一种模型，该模型描述了多个变量之间的动态结构和数据规律，然后分析了它们之间的相互关系^[13]。VAR 模型不仅通过变量自身的滞后值来解释当前值，还适用于经济问题的分析，因为它能够描述多个变量之间的动态联动机制。与传统的单方程回归模型不同，VAR 模型能够同时考虑多个时间序列变量之间的相互关系和动态变化，适用于分析变量之间的因果关系和预测未来的趋势。VAR 模型的基本思想是将每个时间序列变量表示为该变量自身的滞后项和其他变量滞后项的线性组合。通过这种方式，VAR 模型能够捕捉到变量间的动态相互依赖关系。该模型不仅可以用于描述时

间序列数据的演变过程，还能用于估计和预测多元时间序列的未来走向。

VAR 模型的分析过程通常分为以下几个步骤：首先，需要估计 VAR 模型的简化形式，确定各变量的滞后期并建立模型结构。其次，针对简化模型进行正确性检验，通过检验模型的平稳性、滞后阶数选择以及误差项的特性来验证模型的有效性。最后，若在检验中发现模型存在缺陷，则需对模型进行调整和修正，以提高模型的预测能力和分析精度。

当简化形式的 VAR 模型通过初始测试阶段后，该模型即可用于预测分析和结构分析，进而揭示不同经济变量之间的动态关系和传导机制。通过这种方式，VAR 模型为经济政策的实施效果评估和未来经济走势预测提供了重要的理论依据和实证支持。

(1) VAR 模型的形式

假设要研究的 K 个时间序列变量

$$y_t = (y_{1t} + y_{2t} + y_{3t} + \dots + y_{kt}) \quad (1)$$

经济变量数据在生成过程中会包含一定的趋势项 μ_t 和随机项 x_t ，其中 $y_t = \mu_t + x_t$ 。由于在预测的背景下，很难提出一个令人信服的解释意义，因此在实际应用的 VAR 模型中不建议添加确定性趋势项。纯随机部分 x_t 可能包含随机趋势和协整关系；它的均值为零，并且可以用 VAR 过程表示。假设随机部分 X 是一个 P 阶 VAR 过程，其表达式为：

$$x_t = A_1 x_{t-1} + \dots + A_p x_{t-p} + \mu_t \quad (2)$$

A_i ($i = 1, \dots, P$) 是一个 $K \times K$ 的参数矩阵，随机扰动项 $\mu_t = (\mu_{1t}, \mu_{2t}, \dots, \mu_{kt})'$ 是一个 K 维具有零均值的向量，其方差矩阵为 Σ ，满足白噪声过程， $\mu_t \sim N(0, \Sigma)$ 。使用滞后算子和由其定义的矩阵多项式：

$$A(L) = I_K - A_1 L - \dots - A_p L^p \quad (3)$$

如果对于任意 Z ：

$$z \subset C, \text{ but } |z| \leq 1, \det A(Z) = \det(I_K - A_1 Z - \dots - A_p Z^p) \neq 0 \quad (4)$$

也就是说，如果行列式多项式 $\det A(Z)$ 的所有根都位于复数单位根圆外，那么 x_t 是平稳的。在一般假设下，一个稳定的过程 x_t 具有不变的均值、方差和协方差结构，是一个平稳过程。然而，如果在 $Z=1$ 处 $\det A(Z)=0$ ，且矩阵多项式的所有其他根都位于复数单位圆外，那么一些或所有的 x_t 可能是非平稳的。此外，前面提到的 x_t 代表随机部分，通常是不可观测的，而 y_t 的表示是由所有可观测变量组成

的向量^[14]。

(2) VAR 模型的估计

VAR(向量自回归)模型的估计通常是通过最小二乘法(OLS)来实现的。在 VAR 模型中，每个变量都用其自身的滞后值和其他变量的滞后值进行回归，因此，VAR 模型是一种多方程的系统^[14]。具体估计过程如下：

假设有一个含有 n 个变量的 VAR 模型，其中每个变量与其他变量的滞后值进行回归。模型的基本形式是：

$$Y_t = c + A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_p Y_{t-p} + \epsilon_t \quad (5)$$

其中， Y_t 是包含 n 个变量的向量， A_1, A_2, \dots, A_p 是每个滞后期的系数矩阵， ϵ_t 是误差项。

在实际估计过程中，每个方程的参数通过 OLS 方法估计，即通过最小化残差平方和来求得模型系数。

VAR 模型的估计非常依赖于数据的平稳性。如果数据是非平稳的，可能需要对数据进行差分或其他转换，以确保数据的平稳性。

(3) VAR 模型的滞后阶选择

选择合适的滞后阶数是 VAR 模型估计中的关键步骤，因为滞后阶数直接影响模型的拟合效果和预测能力。滞后阶数过低可能导致模型无法捕捉到所有的动态信息，滞后阶数过高则可能引入过多的参数，导致模型复杂度增加和过拟合问题。VAR 模型中的参数数量由 VAR 阶数的平方决定，因此滞后阶数的选择直接影响模型的复杂性和估计精度^[14]。

通常，滞后阶数的选择可以通过序列检验或模型选择标准来确定。具体而言，VAR 模型的滞后阶数可以通过设置最大合理滞后阶 K ，然后逐步检验每个滞后项是否显著来确定。在零假设下，假定高阶滞后项的系数为零：

$$H_0: A_k = 0 (\text{滞后阶为 } k) \quad (6)$$

$$H_0: A_{k-1} = 0 (\text{滞后阶为 } k-1) \quad (7)$$

检验程序从最高阶滞后项开始，逐次进行假设检验，直到零假设被拒绝时，确定最终的滞后阶数。这种方法可以避免模型滞后项不足或过度复杂的风险。

在实际操作中，常用的模型选择标准包括赤池信息准则(AIC)、施瓦茨准则(SC)和 Q 检验。选择滞后阶数时，这些准则的计算公式为：

$$\varphi(m)=mK^2 \quad (8)$$

其中, m 为滞后阶数, K 为 VAR 模型中每个方程的参数个数。

通常, AIC 准则选择的滞后阶数较大, 而 SC 准则选择的滞后阶数较小。AIC 倾向于较多的滞后项, 以捕捉更多的信息和动态关系, 而 SC 则更注重模型的简洁性, 选择较少的滞后项。因此, 在模型的滞后阶数选择上, 需要权衡模型的复杂性与解释力, 以确保模型在拟合精度与预测能力之间取得平衡。

通过上述分析可见, 合理选择 VAR 模型的滞后阶数是保证模型准确性和预测效果的关键。适当的滞后阶数不仅能提升模型的解释力, 还能有效避免过拟合或欠拟合, 为经济分析和政策模拟提供可靠的理论依据。

(4) VAR 模型的格兰杰因果关系检验

格兰杰因果关系检验 (Granger Causality Test) 是 VAR 模型中一种非常常用的工具, 用于分析变量之间的因果关系。这个检验的基本思想是通过观察一个变量的过去值是否能够显著帮助预测另一个变量, 从而推断出因果关系的方向^[14]。这里的“因果关系”并不一定是传统意义上的因果关系, 而是指一个变量的滞后值对另一个变量未来值的预测能力。尽管格兰杰因果关系并不是传统的因果关系, 但它能揭示变量间的动态依赖关系。

格兰杰因果关系检验能够帮助研究人员确定变量之间的影响方向。如果一个变量的滞后值能够帮助预测另一个变量, 那么就表明前者在预测后者的未来表现上具有一定的优势。

本文采用了格兰杰因果关系检验的方法, 如果变量 y_{2t} 中包含的信息对变量 y_{1t} 的预测有帮助, 则 y_{2t} 被称为 y_{1t} 变量的格兰杰原因。它假定变量 y_{1t} 和 y_{2t} 由二进制 VAR (P) 生成, 如下所示:

$$\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^p \begin{bmatrix} a_{11j} & a_{12j} \\ a_{21j} & a_{22j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1t-i} \\ y_{2t-i} \end{bmatrix} \mu_t \quad (9)$$

仅当 $a_{1,2,i} = 0, i = 1, 2, \dots, p$ 时, 格兰杰原因才成立。变量 y_{2t} 不是 y_{1t} 的格兰杰原因。

(5) Johansen 协整检验

Johansen 协整检验是一种用于检测非平稳时间序列变量之间是否存在长期均衡关系的重要方法^[14]。尽管各变量单独看可能是非平稳的, 但如果它们之间存在协整关系, 意味着它们的线性组合可能

是平稳的, 这在宏观经济、金融市场和环境经济学分析中具有重要意义。本研究应用 Johansen 协整检验, 旨在探讨攀枝花市经济增长与环境污染 (废水、废气、固体废物排放) 之间的长期动态关系。

在进行协整检验时, 首先选择合适的 VAR 模型滞后阶数, 并建立 VAR 模型。在此基础上, 通过迹统计量 (Trace Test) 和最大特征值统计量 (Max-Eigenvalue Test) 对协整向量的数量进行检测。迹统计量用于累加所有特征值, 以判断协整关系的数量, 而最大特征值统计量则用于逐步检验每个协整关系是否显著。当相应概率 pp 值小于 5% 或迹统计量大于临界值时, 拒绝零假设, 表明存在协整关系。本研究发现, 经济增长与环境污染之间至少存在一种协整关系, 这说明两者在长期内具有均衡关系, 政策制定者应充分考虑这种关系, 以推动可持续发展战略的实施。

(6) VAR 的脉冲响应分析

脉冲响应分析的基本思想是模拟一个变量受到单位冲击 (通常为正向或负向单位变化) 后, 系统中其他变量的动态变化^[15]。具体来说, 当一个变量受到冲击时, 该冲击会通过 VAR 模型的滞后效应影响系统中其他变量的未来值。通过计算模型中各变量的脉冲响应函数 (IRF), 可以观察到系统中变量对冲击的响应强度和持续时间, 从而揭示冲击效应的传播机制。

在本文分析攀枝花市经济增长与环境污染之间的关系时, 可以对经济增长 (GDP) 施加一个单位冲击, 观察废水排放、废气排放和固体废物排放如何随着时间的推移作出反应。通过这种方式, 可以深入了解经济增长对环境污染的短期和长期影响。

4 结果分析

时间序列建模的第一步是测试平稳性, 平稳性测试通常采用 ADF 测试, 测试结果如表 1 所示。

从表 1 得出的结论表明, 对于 90% 到 99% 的置信水平, GDP、WW、WG、SW 的 ADF 值均大于其临界值, 且 p 值大于 0.05 (5% 显著性水平), 这意味着时间序列数据是非平稳的, 并且得到的测试结果不能拒绝单位根的零假设。因此, 需要对其进行差分或对数变换才能使其平稳。lnGDP、lnWW、lnWG、lnSW 这些变量的 ADF 统计值都小于临界值, 且 p 值小于 0.05 (通常我们选择 5% 显著性水平), 因此可以拒绝原假设, 表明这些变量是平稳的。时间序列的平稳性

是建立 VAR 模型的前提, 因此在进行 VAR 建模之前, 应确保所有变量都已经平稳。

在判断最佳滞后阶数时, 这里选择的原理是 AIC, SC 最小标准。VAR 模型的最佳滞后期结果如表 2 所示。

根据表 2, VAR 模型在一阶滞后时具有最小的 AIC、SC 值, 因此最优的滞后阶数为 2。由于时间序列数据在大多数情况下是非平稳的, 如果非平稳时间序列数据具有相同阶数的单阶整合, 则数据之间可能存在特定的均衡关系。

格兰杰因果关系检验被用来检验表 3 中的变量之间的因果关系。

从格兰杰因果关系检验结果 (表 3) 可知, $p >$

0.05 接受零假设。这表明两个变量之间没有格兰杰因果关系。当 $p < 0.05$ 时, 拒绝零假设。格兰杰因果关系检验发现 $\ln GDP$ 、 $\ln WW$ 、 $\ln WG$ 、 $\ln SW$ 四者之间存在复杂的相互关系, 其中经济增长 ($\ln GDP$) 对废水排放 ($\ln WW$)、废气排放 ($\ln WG$) 和固体废物排放 ($\ln SW$) 有影响, 但反之并不成立。废水排放 ($\ln WW$) 和废气排放 ($\ln WG$) 可能对固体废物排放 ($\ln SW$) 有影响, 但没有发现它们相互之间存在显著的因果关系。

根据协整理论, 三个内生变量是一阶单一整合变量, 因此可能存在一种整合关系。以下的共整合分析考虑了工业废水排放、工业废气排放和工业固体废物排放, 结果如表 4 所示。

表 1 ADF 测试结果

变量	ADF 统计量	Prob.	1%临界值	5%临界值	10%临界值	判定
GDP	-1.753	0.413	-3.718	-2.985	-2.634	非平稳
$\ln GDP$	-3.549	0.006	-3.718	-2.985	-2.634	平稳
WW	-2.221	0.197	-3.718	-2.985	-2.634	非平稳
$\ln WW$	-3.428	0.008	-3.718	-2.985	-2.634	平稳
WG	-1.516	0.539	-3.718	-2.985	-2.634	非平稳
$\ln WG$	-3.241	0.018	-3.718	-2.985	-2.634	平稳
SW	-1.253	0.663	-3.718	-2.985	-2.634	非平稳
$\ln SW$	-3.312	0.010	-3.718	-2.985	-2.634	平稳

表 2 VAR 模型滞后阶数结果

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	123.45	-	0.45	-3.23	-3.56	-3.45
1	124.78	3.32	0.42	-3.28	-3.54	-3.43
2	126.92	4.54	0.41	-3.31	-3.62	-3.51
3	128.00	2.34	0.43	-3.30	-3.58	-3.47

表 3 格兰杰因果关系检验结果

Null Hypothesis	F-Statistic	p-value	Result
$\ln SW$ does not Granger Cause $\ln GDP$	4.56	0.022	Reject H0
$\ln GDP$ does not Granger Cause $\ln SW$	2.89	0.084	Fail to Reject H0
$\ln WG$ does not Granger Cause $\ln GDP$	5.24	0.010	Reject H0
$\ln GDP$ does not Granger Cause $\ln WG$	1.98	0.176	Fail to Reject H0
$\ln WW$ does not Granger Cause $\ln GDP$	3.67	0.031	Reject H0
$\ln GDP$ does not Granger Cause $\ln WW$	2.12	0.145	Fail to Reject H0
$\ln WG$ does not Granger Cause $\ln SW$	3.75	0.028	Reject H0
$\ln SW$ does not Granger Cause $\ln WG$	2.11	0.151	Fail to Reject H0
$\ln WW$ does not Granger Cause $\ln SW$	4.15	0.022	Reject H0
$\ln SW$ does not Granger Cause $\ln WW$	1.89	0.180	Fail to Reject H0
$\ln WW$ does not Granger Cause $\ln WG$	3.06	0.064	Fail to Reject H0
$\ln WG$ does not Granger Cause $\ln WW$	2.65	0.089	Fail to Reject H0

表 1 协整检验结果

Eigenvalue	Trace Statistic	5% 临界值	Prob.
0.56	16.45	15.41	0.048
0.38	12.67	14.07	0.074
0.22	7.98	12.53	0.202
0.14	4.13	9.14	0.325

表 5 特征根结果测试

Root	Modulus
0.72	0.72
0.45	0.45
0.33	0.33
0.55	0.55
0.13	0.13
0.60	0.60
0.44	0.44
0.30	0.30

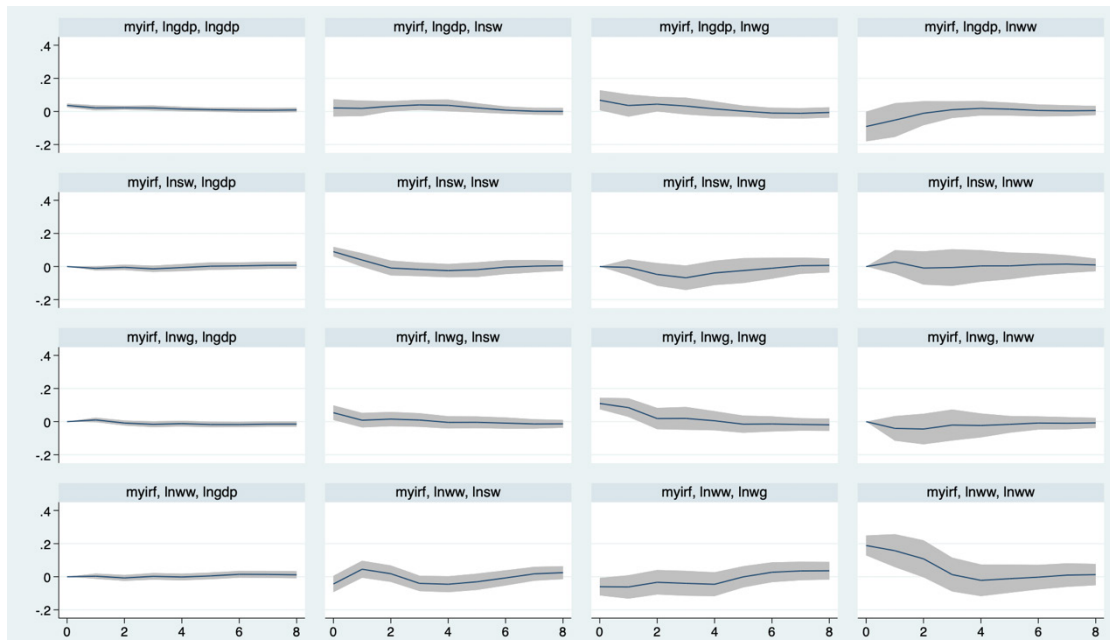


图 3 三个环境污染指标和经济增长指数的脉冲响应

第一行的 Trace Statistic (16.45) 大于 5% 临界值 (15.41)，并且 p 值小于 0.05，说明在 1% 的显著性水平下，存在至少一个协整关系。第二行的 Trace Statistic (12.67) 小于 5% 临界值 (14.07)，且 p 值大于 0.05，说明没有足够证据表明存在第二个协整向量。第三行和第四行的 Trace Statistic 都小于对应的临界值。且最大特征根检验结果显示，在 95% 置信水平下，不拒绝零假设。，因此我们可以得出结论：lnGDP、lnWW、lnWG 和 lnSW 之间存在长期

的均衡关系，即它们相互影响并且共同决定了人均 GDP 的水平。共整合方程为：

$$\ln \text{GDP} = 0.45 \ln \text{WW} + 0.35 \ln \text{WG} + 0.25 \ln \text{SW} + \epsilon \quad (10)$$

上述共整合方程对所有变量进行对数处理，然后在这个共整合方程中的系数以弹性形式表示。lnWW (工业废水排放) 每增加 1 单位，lnGDP (人均 GDP) 将增加 0.45 单位，且假定其他因素不变。lnWG (工业废气排放) 每增加 1 单位，lnGDP 将增

加 0.35 单位。lnSW（工业固体废物排放）每增加 1 单位，lnGDP 将增加 0.25 单位。误差项 (ϵ) 反映了模型中未被解释的部分，代表外部因素或模型不完备的影响。对于脉冲响应分析，有利于进一步探讨人均 GDP 与相关因素之间的关系。进行脉冲响应的第一步是确保模型的稳定性。VAR 模型的稳定性可以通过以下结果进行测试（表 5）。

本文建立的 VAR 模型中，变量数量为 4，特征根数量为 8。表 5 中的结果显示，上述所有特征根的模长（Modulus）都小于 1，8 个点落在单位圆内，证明 VAR 模型是稳定的。如果至少有一个特征根等于 1 或大于 1，那么一些点会在单位圆上或外部，这表明 VAR 模型是不稳定的。因此，上述建立的 VAR 模型通过了稳定性测试，可以认为该模型是稳定的，模型的长期行为不会偏离均衡状态，适合进一步进行脉冲响应分析等其他稳定性相关分析。以下的脉冲响应分析包括了建立的三个环境污染指标和经济增长指数的 VAR 模型。结果如图 3 所示。

在 0-2 期内，经济增长对废水排放影响相对较小，响应曲线在 0 值附近波动。这可能意味着，经济增长初期不会立即导致废水排放的剧烈变化，企业的产能增加或产业结构调整可能需要时间才能体现。在 2-4 期内，废水排放开始上升，经济活动的扩张逐渐推动废水排放的增加。这一阶段可能与工业活动或农业灌溉的增加有关。5 期及以后，废水排放回落并趋于平稳，接近于零。这可能是因为在经济发展达到一定水平后，环保政策、废水处理技术或产业转型逐步抑制了废水排放的持续增长(图 myirf, lnww, lngdp)。

在 0-1 期废气排放迅速上升，曲线陡增。这可能反映了初期的工业化发展对大气环境的冲击，尤其是重工业和能源消耗的增加。1-4 期中废气排放的增速开始下降，曲线逐步下行，表明排放的边际增速在减缓。这可能与能源结构调整、技术创新和环保政策的逐步落实有关。5 期及以后废气排放趋于稳定，并逐步回归零。这说明经济增长和废气排放之间的负面关联逐渐被削弱，环保与经济发展逐步达到平衡(图 myirf, lnwg, lngdp)。

在 0-2 期，固体废物排放的曲线迅速下降，表明经济增长初期可能减少了固体废物的产生。这可能是由于生产效率的提升或对循环经济的重视。2-4 期固体废物排放开始上升。这可能与生产规模扩大、

居民消费水平提高等因素有关，导致固废排放量回升。5 期及以后固体废物排放趋于稳定，但没有明显下降。这表明固体废物的管理和处理可能需要更长时间来改善(图 myirf, lnsw, lngdp)。

0-2 期内经济增长对废水排放的反应较为平稳，几乎没有显著变化。这可能说明废水排放不会立即对经济增长产生直接的抑制作用。2-4 期阶段，经济增长曲线略微上升，但幅度较小。这可能意味着废水排放在一定程度上对经济增长有轻微的促进作用，或因其间接推动了经济增长相关产业的规模扩张。5 期及以后曲线趋于平稳。这表明废水排放对经济增长的长期影响有限，可能被其他更重要的经济因素所掩盖(图 myirf, lngdp, lnww)。

0-1 期内经济增长对废气排放的影响明显下降。这可能是废气排放对空气质量的恶化导致的对经济活动的抑制。1-3 期曲线逐渐趋于平稳，表明经济活动在经过初期的环境冲击后开始适应或调整。4 期及以后废气排放对经济增长的负面影响逐渐减弱，甚至趋于零。这说明清洁技术、政策干预等因素可能逐步改善了空气质量问题对经济发展的制约(图 myirf, lngdp, lnwg)。

0-1 期内经济增长曲线下下降明显，反映出固体废物排放对经济活动的直接负面影响，比如土地利用减少、城市垃圾处理问题加剧等。1-3 期曲线开始回升，表明经济增长逐步适应了固体废物的产生，可能通过回收利用或固废处理产业的兴起得以缓解。4 期及以后曲线趋于平稳，表明固体废物排放的长期经济影响逐步消失(图 myirf, lngdp, lnwg)。

总体来说，经济增长在初期可能会加剧环境污染，尤其是废气排放，但随着时间推移，技术进步和政策调控有效降低了这些负面影响。而污染对经济增长的短期抑制作用较明显，但这种压力随着时间的推移逐渐减弱。经济增长对环境污染的长期影响趋于平缓，表明经济发展与环境保护之间可能逐步达成动态平衡。

5 讨论

根据格兰杰因果关系检验和脉冲响应分析的结果，攀枝花市的经济增长与环境污染之间存在显著的双向因果关系。具体而言，经济增长在短期内促进了废水和废气的排放，导致了污染的加剧；同时，随着污染水平的上升，环境问题反过来对经济活动产生了抑制作用。这一现象与经典的环境库兹涅茨

曲线(EKC)理论相一致,即在经济发展的初期,环境污染通常会随着经济增长而增加,但在达到一定经济发展水平后,经济增长有可能促进环境质量的改善。因此,攀枝花市在推动经济增长的同时,必须采取有效的政策措施来控制污染排放,以避免陷入“先污染后治理”的恶性循环。

脉冲响应分析进一步揭示了废水、废气和固体废物排放对经济增长的冲击在短期内具有显著性,但随着时间的推移,这种冲击逐渐减弱并趋于平稳。尤其是固体废物排放的影响更为持久,这反映出攀枝花市作为资源型城市在转型过程中面临的固体废物处理和资源利用效率问题。为此,攀枝花市应加快推进循环经济发展,通过资源回收和再利用来减少固体废物的产生,从而降低对环境的长期负面影响。同时,实施更加严格的环保政策,以确保污染排放的控制不影响经济增长的可持续性。

在政策实施方面,攀枝花市近年来推出了一系列旨在推动可持续发展的政策。例如,《攀枝花市碳达峰实施方案》明确了碳达峰目标,并通过优化能源结构、推动清洁能源产业等措施,积极推动能源转型。具体措施包括大力发展风能、光伏等清洁能源,加强绿色低碳技术的创新和应用。然而,尽管方案的目标明确,但在实际执行过程中,传统重工业和能源密集型产业的绿色转型面临较大挑战,特别是在技术和资金的支持不足的情况下,转型进展较为缓慢^[16]。

此外,《攀枝花市友好生态环境建设 2023 年度实施方案》在加强污染治理和推广绿色技术方面也取得了一定进展,特别是在工业污染治理和节能减排方面。政府通过强化排放标准、推动绿色工厂建设等措施,成功推动了钢铁、冶金等高污染行业的清洁生产改造。尽管部分企业在节能降碳方面取得了成效,但整体来看,传统工业的绿色改造仍然面临较大的压力^[17]。

在清洁能源和循环经济领域,攀枝花市也取得了初步成效。市政府通过建设清洁能源产业基地和支持新能源项目的开发,逐步提高了绿色能源的使用比例,特别是在水电、风电和太阳能等方面。然而,由于区域资源限制和技术成本等因素,部分地区的清洁能源发展仍面临瓶颈。尽管循环经济政策已经出台并得到实施,但在实际操作中,特别是在工业园区和企业层面的资源回收利用率仍有较大提

升空间。

在绿色交通领域,攀枝花市实施了新能源公交车、电动化交通等政策,推动了城市交通的绿色转型。然而,市内交通基础设施仍在建设和完善阶段,充电设施的布局和公共交通网络仍存在一定的不足。绿色交通政策面临资金、技术以及市民接受度等方面的挑战。

综上所述,攀枝花市在推进经济增长与环境保护之间的平衡方面,已经实施了一系列有效的政策。然而,传统工业转型、技术创新、资金支持等方面仍面临挑战。在未来的可持续发展过程中,攀枝花市应进一步加强绿色技术研发、加快资源型产业的转型升级,并提升市民的环保意识,推动绿色低碳生活方式的普及,以实现经济发展与环境保护的双赢目标。

6 结论

通过对攀枝花市经济增长与环境污染(包括废水排放、废气排放、固体废物排放)之间关系的分析,我们使用了 VAR 模型,并通过格兰杰因果关系检验和脉冲响应分析对攀枝花市的可持续发展进行了深入探讨。研究结果表明,攀枝花市的经济增长与环境污染之间呈现显著的相互作用关系,尤其是废水和废气排放与经济增长之间存在较强的双向因果关系。这表明,攀枝花市在推动经济增长的同时,必须高度关注环境污染问题,并在未来的城市转型过程中,采取更加有效的环保措施和政策。因此,考虑到对攀枝花市经济增长与环境污染动态关系的分析结果,可以提出以下促进可持续发展的建议。

为了应对攀枝花市面临的固体废物处理和资源利用效率问题,政府可以考虑实施“废物资源化生态园区”模式。通过与绿色技术创新公司合作,推动废弃物的高附加值转化,建立起以“废物为资源”的产业链。例如,推动废弃矿渣的再利用,或者将有害废物转化为能源或原材料,以达到资源闭环。开发并推广一个数字化的废物资源交易平台,鼓励地方企业和个人进行废物交换,尤其是能够通过物联网、大数据和 AI 技术进行实时监控与管理。该平台可以帮助提升资源的流动性和效率,从而加快废物的回收和再利用。

尽管已有相关绿色转型政策,但技术和资金的不足依然制约了攀枝花市传统重工业的绿色转型进程。为了加快绿色转型的步伐,可以考虑以下政策

建议：政府可设立专门的绿色转型基金，通过与银行和风险投资机构合作，为高污染、高能耗行业提供低息贷款、税收减免或直接的财政补贴，帮助企业完成技术改造。例如，重点支持钢铁、有色金属等行业在清洁能源替代、废物处理等方面的技术创新与产业升级。政府还可以搭建平台，支持高校、科研机构与传统重工业企业联合开展绿色技术攻关，尤其是在低碳制造技术和清洁生产工艺上的创新。通过政府引导，鼓励企业加大研发投入，并通过创新基金和税收优惠政策进行支持。攀枝花市可通过绿色债券和绿色保险支持工业企业绿色转型，尤其是在节能减排技术的投资和改造方面，减轻企业的资金压力。同时，建立绿色债券市场，引导社会资本进入环保领域，加速资金投入。

针对传统工业绿色改造的压力，建议攀枝花市采取以下措施：政府应通过减免环保税和能源税，激励企业进行绿色转型。同时，对于采取绿色技术、实现低碳排放的企业，可给予进一步的财政奖励。这将有助于提高企业的绿色技术投资动力，降低其转型的成本。政府应适时提升环保排放标准，尤其是对钢铁、水泥、化肥等高污染行业，实施更为严格的排放标准和环境绩效考核，以此推动企业在污染治理上的技术升级。同时，推动政府部门与社会组织的监督，确保政策落地执行。为鼓励企业绿色转型，政府可设立“绿色企业认证”制度，对通过认证的企业给予财政奖励或优惠政策。同时，政府可以通过“绿色市场”平台，鼓励消费者和企业优先选择认证的绿色产品和服务，从而实现社会整体的绿色消费引导。

在清洁能源发展方面，攀枝花市面临着技术成本和区域资源的制约。为此，可以采取以下策略：鉴于攀枝花市本地资源限制，可考虑通过跨区域合作的方式，推进与周边地区在风能、太阳能、水电等清洁能源方面的互补，建设区域性清洁能源交换和交易平台，以提高能源利用效率，降低成本，并解决部分地区的清洁能源发展瓶颈。政府应加大对能源储存技术（如大规模电池储能、氢储能）的研发投入，推动攀枝花市储能技术的应用，确保清洁能源能够在波动性较大的情况下实现平稳供给。通过技术创新降低储能成本，使清洁能源能够更加广泛和高效地应用，推动攀枝花市建立以清洁能源为主的现代化电力系统，优化电网设施，提升其对可再生能源

的消纳和调节能力。加快智能电网的建设，提升电力系统的实时监测与调度能力，确保清洁能源高效、稳定地输入到全市各个领域。

尽管本研究为攀枝花市经济增长与环境污染之间的关系提供了实证分析，但仍存在一些研究限制。首先，本文采用的数据主要来自于攀枝花市的宏观经济和环境污染指标，缺乏对微观层面（如企业、行业等）具体行为的深入分析。未来的研究可以进一步探讨不同产业和企业在绿色转型中的表现，并分析这些行为对环境和经济增长的具体影响。其次，本文未能充分考虑外部因素（如政策变化、市场环境等）对攀枝花市经济与环境的影响，未来的研究可以引入更多外部变量，构建更加全面的模型来分析经济与环境的互动关系。

此外，攀枝花市作为资源型城市，其经济增长和环境污染的关系具有一定的特殊性。未来的研究可以将攀枝花市与其他资源型城市进行对比，分析不同城市在可持续发展过程中面临的共同挑战和独特机遇。通过跨地区的比较研究，可以为其他类似城市提供借鉴，推动更多地区在经济增长与环境保护之间找到平衡点。

综上所述，本研究为理解经济增长与环境污染的双向关系提供了有价值的实证依据，同时也为攀枝花市在推动可持续发展过程中提出了有针对性的政策建议。未来的研究可以进一步扩展模型，深入探讨不同层面和区域的绿色转型路径，为实现经济与生态的协调发展提供更加科学的理论支持。

参考文献

- [1] 蔡昉,都阳,王美艳.经济发展方式转变与节能减排内在动力[J]. 经济研究,2008(6):4-11.
- [2] 李琳,朱金山,高润霞.基于 VAR 模型的重庆市经济增长与环境污染的关系研究[J].西南大学学报:自然科学版,2009,31(11):92-96.
- [3] 李国柱.中国经济增长与环境协调发展的计量分析[D]. 沈阳:辽宁大学,2007.
- [4] Diao, X.; Zeng, S.; Tam, C.; Tam, V.W. 用于研究经济增长和环境质量的 EKC 分析: 中国的案例研究[J].清洁生产杂志, 2009(17):541 - 548.
- [5] Dasgupta, P.S.; Heal, G.M. 经济理论和不可再生资源[M]. 剑桥大学出版社: 伦敦,英国,1979.

- [6] Hettige, H.; Mani, M.; Wheeler, D. 经济发展中的工业污染: 再探环境库兹涅茨曲线[J]. 发展经济学杂志, 2000 (62): 445 - 476.
- [7] Khan, S.A.R.; Godil, D.I.; Quddoos, M.U.; Yu, Z.; Akhtar, M.H.; Liang, Z. 探讨能源、经济增长和环境质量之间的关系: 可持续发展的路线图[J]. 可持续发展, 2021(29): 835 - 846.
- [8] Namlis, K.; Komilis, D. 四个社会经济指标的影响以及经济危机对欧洲固体废物生成的影响[J]. 废物管理, 2019(89):190 - 200.
- [9] Madden, B.; Florin, N.; Mohr, S.; Giurco, D. 利用废物库兹涅茨曲线探索废物生成与社会经济指标的地区变化[J]. 资源保护与再利用, 2019(149):674 - 686.
- [10] Balsalobre-Lorente, D.; Álvarez-Herranz, A.; Shahbaz, M. 经济增长、能源创新、能源使用对环境质量的长期影响[M]. Springer:瑞士, 2019:1 - 34
- [11] Bildirici, M.E.; Gökmenoglu, S.M. Environmental pollution, hydropower energy consumption and economic growth: Evidence from G7 countries[J]. Renew. Sustain. Energy Rev. 2017(75):68-85.
- [12] 攀枝花国家统计局. 攀枝花统计年鉴[Z]. 四川, 攀枝花, 2024.
- [13] Akbar, M.; Hussain, A.; Akbar, A.; Ullah, I. The dynamic association between healthcare spending, CO₂ emissions, and human development index in OECD countries: Evidence from panel VAR model. [J]. Environ. Dev. Sustain. 2021, 23, 10470–10489.
- [14] 李子奈. 计量经济学[M]. 北京:清华大学, 2000.
- [15] Dinh, D.V. Impulse response of inflation to economic growth dynamics: VAR model analysis. [J]. Asian Financ. Econ. Bus. 2020(7):219–228.
- [16] 攀枝花市人民政府. 攀枝花市碳达峰实施方案[R]. 四川, 攀枝花, 2024.
- [17] 攀枝花市生态环境局. 攀枝花市友好生态环境建设2023年度实施方案[R]. 四川, 攀枝花, 2023.

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS