

参赛队号 : (由大赛组委会办公室填写)

2021 年 (第七届) 全国大学生统计建模大赛

参赛学校 : 西南财经大学

论文题目 : 四川省绿色新动能的统计测度及经济效应研究——基于 PVAR 模型

参赛队员 : 刘诗琦 , 彭晴 , 王奕雯

指导老师 : 林谦 , 郭斌

目录

一、	引言	2
(一)	研究背景与意义	2
(二)	国内外研究现状	3
(三)	研究思路与方法	4
(四)	创新与优点	6
二、	符号说明	6
三、	数据预处理	7
(一)	数据来源及建模工具	7
(二)	绿色新动能指数异常数据检测与处理	8
1.	异常数据检测与处理	9
2.	空缺数据处理	11
3.	数据相关检验与可视化结果	13
4.	极小化指标极大化处理	13
5.	数据归一化处理	14
四、	绿色新动能指数的量化研究	15
(一)	指标权重赋权	15
(二)	构建四川省绿色新动能综合评价体系	17
(三)	四川省绿色新动能测度结果及分析	17
1.	综合评价结果及分析	17
2.	各指标测度结果及分析	20
五、	四川省绿色新动能经济效应研究及实证分析	20
(一)	指标的选取	21
1.	产业结构升级	21
2.	经济增长	21
(二)	PVAR 模型介绍	21
(三)	构建 PVAR 模型及实证结果	22
1.	面板数据单位根检验	22
2.	滞后阶数选择	22
3.	模型稳定性检验	23
4.	格兰杰因果检验及 GMM 估计结果	23

5. 脉冲响应分析	24
6. 方差分解	26
六、 结论与建议	27
(一) 实证结论	27
1. 绿色新动能总体水平较低且区域发展差异明显	27
2. 二氧化硫排放和废水排放发挥重要作用	27
3. 工业粉尘和排放和建成区绿化覆盖上升空间明显	27
4. 第二产业增加与绿色新动能呈反向变动	28
5. 经济增长与绿色发展存在矛盾	28
(二) 建议与对策	28
1. 推动产业转型升级，夯实绿色城市基石	28
2. 调动市场主体的能动性，促进经济-绿色协调发展	29
3. 利用共建共享的数字经济，助力绿色城市建设	29
参考文献	30
附录	31
致谢	33

表格和插图清单

表格 1 处理前数据描述性统计量.....	8
表格 2 各指标异常数据个数统计.....	10
表格 3 各指标空缺数据个数统计.....	12
表格 4 空缺数据填补前数据描述性统计量	12
表格 5 空缺数据填补后数据描述性统计量	12
表格 6 处理后数据描述性统计量.....	15
表格 7 判断矩阵.....	15
表格 8 各指标权数结果	17
表格 9 2003-2028 年四川省各地级市绿色新动能指数	18
表格 10 2015-2018 年四川省各维指标总测度值及贡献率.....	20
表格 11 单位根检验结果	22
表格 12 滞后阶数选择.....	22
表格 13 模型特征值	23
表格 14 格兰杰因果检验结果	24
表格 15 预测误差方差分解结果	26
Figure 1 绿色新动能研究技术路线.....	5
Figure 2 各指标数据变化趋势	8
Figure 3 异常数据示意图举例.....	10
Figure 4 滑动窗口变化图	11
Figure 5 数据相关性矩阵	13

Figure 6 处理后数据各指标数据变化趋势	15
Figure 7 层次分析法确定权数流程图	16
Figure 8 四川省 2003、2007、2018 年各地级市绿色新动能指数分布	19
Figure 9 模型特征值与单位圆相对位置	23
Figure 10 绿色新动能、经济增长和产业结构脉冲响应图	25

摘要

自改革开放以来，中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，绿色发展走进人们视野；同时，由于后疫情时代经济的不确定性，绿色新动能也逐渐成为关注的重点。基于现有研究理论空白，本文选取单位 GDP 废水排放、单位 GDP 二氧化硫排放、单位 GDP 工业烟尘排放量、工业固体废物综合利用率、第二产业比重、建成区绿化覆盖率六大指标，基于 2003-2018 年四川省 18 个地级市的面板数据，运用滑动四分位差距法和 3σ 准则提出异常数据，采用二次指数平滑法和滑动窗口法填补空缺数据，结合层次分析法与熵权法进行赋权，建立绿色新动能综合量化模型。结果发现成都市、广元市、达州市、资阳市绿色新动能较高，攀枝花市、泸州市、德阳市、宜宾市绿色新动能相对较低；从 2007 年开始，自贡市、眉山市、泸州市、资阳市的绿色新动能发展速度较快，乐山市、德阳市、广安市的绿色新动能发展速度相对较慢。

为进一步探究四川省绿色发展新动能的经济效应，基于四川省各地级市绿色新动能量化结果的基础上，选取产业结构升级和经济增长变量，建立面板向量自回归模型（PVAR），依次进行面板数据单位根检验、滞后阶数选择、模型平稳性检验、格兰杰因果检验、GMM 参数估计、脉冲响应分析及方差分解，对模型进行实证分析。实证结果表明，二氧化硫排放和废水排放发挥重要作用，工业粉尘和排放和建成区绿化覆盖上升空间明显；但第二产业增加与绿色发展新动能呈反向变动，经济增长与绿色发展存在矛盾。因此我们仍需完善总体规划和顶层设计，全面引导绿色城市建设。

关键词：绿色新动能；PVAR 模型；脉冲响应；方差分解

一、 引言

(一) 研究背景与意义

随着经济全球化的发展，人类活动正对地球环境造成不可逆破坏，自然资源衰竭的负反馈抑制了经济体的发展。由此，各国经济体正面临着经济体系的调整与变革，试图进行绿色经济转型，同时也相应增加了可持续发展的不确定性；此外，席卷全球新型冠状病毒疫情也对国际贸易产生深远影响，全球一体化进程缓慢，对全球 GDP 负面影响将持续数季，导致全球经济倒退，由此也引出各国矛盾，在尖锐的矛盾下，曾一度消减的单边主义席卷重来，民族主义重回人们视野。世界经济面临着不可预知的诸多风险，世界的未来也隐含着巨大的不确定性。

着眼中国，从十八届五中全会首次提出绿色的概念，同时将其与发展一词结合，提出中国需要绿色发展；到党的十九大在社会矛盾转变的背景下，中国一直将绿色发展作为重要生产因素。在新型冠状病毒疫情因人民携手抗争的努力下得到全面控制的后疫情时代，中国经济虽然走向复苏，但发展动力主要依靠国内外双循环，未来的前景尚不明朗，现仍处于极大风险世界经济环境中。由此，我国迫切需要进一步明确经济发展的新动能。诸多国内外迹象表明，绿色发展是激发经济发展的驱动力，通过驱动绿色发展能够驱动经济的发展，在这一形势下，激发绿色新动能显得尤为重要。

2020 年 4 月，国务院推出《要素市场化配置意见》，明确将数据作为新时代中国社会主意的生产要素，在长期的实证研究中，数据对其他要素效率的倍增作用、扩大原生生产要素的社会价值贡献率逐渐被认可，如劳动力等。这使数据新动能推动绿色发展具有理论基础。自 2007 年我国出台《应对气候变化国家方案》来，我国已经在绿色技术研发、绿色数据开放共享等方面做出统筹布局。由此通过数据要素推动绿色发展和数字经济融合发展，运用绿色数据新

动能将数据孤岛链接成信息岛链，构建纵向联通、横向贯通的环境信息资源共享体系，提升国家环境治理现代化水平。

同时，由于我国各地经济基础差距，结合各省地级市情况对绿色发展背景下的数据新动能研究成为必然。四川一直以来是西部产业、西部投资的重点区域。新时代以来，四川经济逐渐成为西部地区的先驱，它的体量及产量保持全国发展大局中的重要地位。四川省与全国绿色发展步伐有相似之处，能作为我国绿色发展的缩影，对四川省各地级市进行绿色新动能统计测度研究和经济路径探索具有重要意义。由此可知，本课题极具理论意义和现实意义，本研究不仅能为四川省绿色发展提供相关建议，也能为刚开启数据元年的新时代中国特色社会主义提供有力的事实支撑和参考，同时对于我国深入推进绿色转型和全面打造全社会盼望的小康社会具有现实意义。

（二） 国内外研究现状

纵观国内外文献，关于绿色新动能的研究主要集中于以下三方面：一方面是研究绿色发展新动能相对于传统发展路径的鲜明特点与内涵（邵明振，2021）；另一方面是探索绿色新动能的统计测度，探索指标体系的建立；最后是绿色新动能与经济效应的关系，而主要的经济效应分为两个效应：第一是产业结构升级效应，第二是经济增长效应（赵立祥，2021）。

（1）绿色发展新动能特点与内涵

改革开放以来，我国经济进入了新时期，在短时间内创造中国奇迹，实现巨大飞跃，但随着经济的发展，改革开放后形成的粗放型经济模式弊端逐渐显现。粗放型经济容易形成发展瓶颈，在带来生态破坏等环境问题的同时，也逐渐扼杀了经济体的进一步发展（梁焱，2021）。同时，粗放型经济需要开采大量自然资源，尤其是矿产资源，资源约束也倒逼传统路径转变为绿色发展路径。而在绿色发展技术为支撑前提下，大数据作为新生产要素，能为绿色发展实现

乘数效应（张洪，2021）。对绿色发展产生新的推动力，为可持续经济发展打下基础。

（2）绿色新动能的统计测度

对于统计测度，现有研究大多集中于绿色发展指数水平测度，并未有权威文献构建绿色新动能指数，并对其水平进行测度。因此，本文以基于现有的研究留白，将绿色新动能指数作为研究基础元素，以绿色发展指数统测度的方法构建新动能指数体系（何泉吟，2021）。首先选取以绿色新动能（数据）为主的指标，并主要通过层次分析法和熵值法对指标赋权，最终得到指数评价结果。

（3）绿色新动能与经济效应的关系

现有大多研究主要集中于绿色新动能与经济效应的关系，其中主要的经济效应为：产业结构升级和经济增长。王建刚（2021）实证表明，绿色发展中的环境保护的标准倒逼工业结构升级，环境规制如对被引入水源中的废水、排放到自然环境中二氧化硫及工业烟尘排放的限制，和产业结构升级相辅相成。同时，绿色发展中环保投资也对经济增长有促进作用，且环保投资可通过固体废物综合利用率进行衡量。由邵明振（2021）的研究可知，绿色数据作为一种新辅助生产要素，是绿色新动能的主要来源。针对绿色新动能与产业结构、经济增长关系研究，大多学者，如梁焱（2021）选择使用模型对三者进行自回归研究。

综上，本文将基于现有研究理论空白，构建绿色新动能指数，并加入绿色数据作为辅助生产要素研究其经济效应——经济增长及产业结构升级，最后，将基于实证结论，对绿色新动能发展路径提出相关建议。

（三）研究思路与方法

本文的研究思路以四川省各地级市单位 GDP 废水排放、单位 GDP 二氧化硫排放、单位 GDP 工业烟尘排放量、工业固体废物综合利用率、第二产业比重、

建成区绿化覆盖率信息为基础，构建绿色新动能指数体系，并利用层次分析法和熵权法共同对四川省绿色新动能进行测度和评价。最后通过实证分析，建立绿色新动能与经济效应互动关系为研究目的的面板向量自回归模型，最后本文还将提出绿色发展新动能后续建议。本文的研究技术路线如下所示：

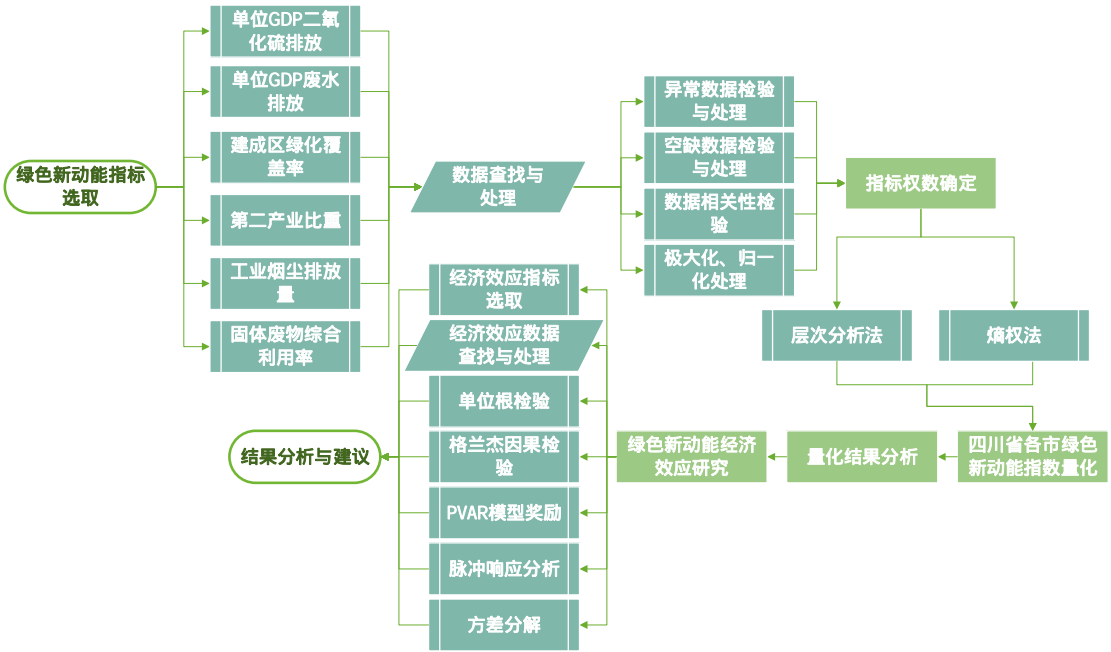


Figure 1 绿色新动能研究技术路线

第一部分：指标选取与数据获取。通过文献搜集与整理，选出 6 个绿色新动能的测度指标，并从国家统计局、四川统计局等权威网站查询并提取相应数据，通过计算得出对应的各指标的测度值。

第二部分：数据预处理。首先，通过对数据绘出预可视化图，对各个指标数据运用滑动四分位差距法进行异常数据检测，通过信号波动峰值的大小将异常数据剔除，视为空缺数据进行进一步处理。然后对缺失数据采用滑动窗口差值法或二次指数平滑法进行填补，对填补后的数据进行相关性检验，并将所有指标进行极大化处理和归一化处理。

第三部分：对绿色新动能指数进行量化研究。本文将采用主客观评价法：结合层次分析法和熵权法，运用一定比例对其进行赋权。本文为考虑赋权的权威性及创新型，将通过黄金分割比对各指标进行赋权，构建绿色新动能综合评价体系。最后得出 2003-2018 年四川省各地级市绿色新动能发展趋势。

第四部分：研究绿色新动能的经济效应。构建经济增长和产业结构变量对经济效应变化进行量化，检验并构建绿色新动能、经济增长和产业结构的 PVAR 模型，最终通过研究三变量间的互相影响关系，得出结论。

第五部分：最终将运用第四部分的实证分析及结果，提出四川省绿色新动能的发展路径及相关政策建议。

(四) 创新与优点

(1) 对绿色新动能的测度考虑全面。本研究选取了 6 个经济指标，从多方面对绿色新动能进行了测度和衡量，指标选用合理，数据具有科学性。

(2) 结合熵权法和层次分析法对绿色新动能进行综合评价，增加综合评价体系的可信度和客观性。

(3) 在现有研究基础上，将面板自回归模型理论原理应用到极具时代创新驱动力的绿色发展实践领域中，并探索其应用领域中具体事实策略，层次分明，逻辑清晰。

二、 符号说明

符号	意义	单位
$SO_2_PGDP_{ij}$	第 i 个地级市第 j 年份的单位 GDP 二氧化硫排放	千吨/十亿人民币
$Wwater_PGDP_{ij}$	第 i 个地级市第 j 年份的单位 GDP 废水排放	百万吨/十亿人民币
$Soem_PGDP_{ij}$	第 i 个地级市第 j 年份的单位 GDP 工业烟尘排放量	吨/十亿人民币
Com_Utili_{ij}	第 i 个地级市第 j 年份的固体废物综合利用率	%
Pro_Secon_{ij}	第 i 个地级市第 j 年份的第二产业比重	%
$Greco_Rate_{ij}$	第 i 个地级市第 j 年份的建成区绿化覆盖率	%
r	总指标个数	/
n	总地级市个数	/
m	总年份数	/
$x_{\theta ij}$	第 i 个地级市第 j 年份的第 θ 个指标实际观测值	/
$x'_{\theta ij}$	第 i 个地级市第 j 年份的第 θ 个指标处理后观测值	/

$w_{\theta}^{(1)}$	层次分析法得出的第 θ 个指标的权数	%
$w_{\theta}^{(2)}$	熵权法得出的第 θ 个指标的权数	%
$weight_{\theta}$	量化体系中第 θ 个指标的权数	%
$index$	绿色新动能指数	/
$structure$	第二产业增加值和第三产业增加值之比	/
$pgdp$	平减后人均 GDP 的对数值	/

注：此处仅给出全文通用的符号说明，具体的符号意义将在文中给出时说明。

三、 数据预处理

(一) 数据来源及建模工具

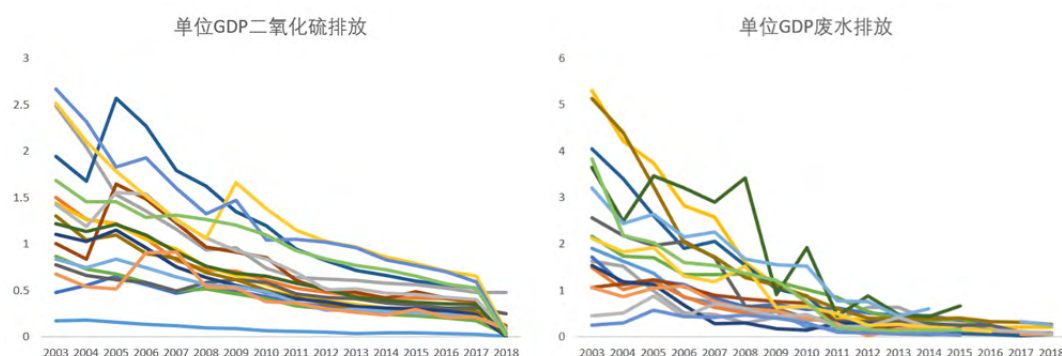
本研究主要从四川省各地级市入手进行数据调查，采用 Python，R，SPSS 以及 MATLAB 进行综合分析。为消除搜集数据中的主观因素影响，本研究主要通过数据网站确保其来源的真实性。本研究于以下权威数据网站进行数据调查：

国家统计局：<http://www.stats.gov.cn/>

四川统计局：<http://tjj.sc.gov.cn/>

CEIC 宏观经济数据库：<https://insights.ceicdata.com/>

通过大量的文献整理与阅读，本文选取 SO_2_PGDP 、 $Wwater_PGDP$ 、 $Soem_PGDP$ 、 Com_Utili 、 Pro_Secon 、 $Greco_Rate$ 六个指标对绿色新动能进行量化研究。所得各指标数据结构如下：



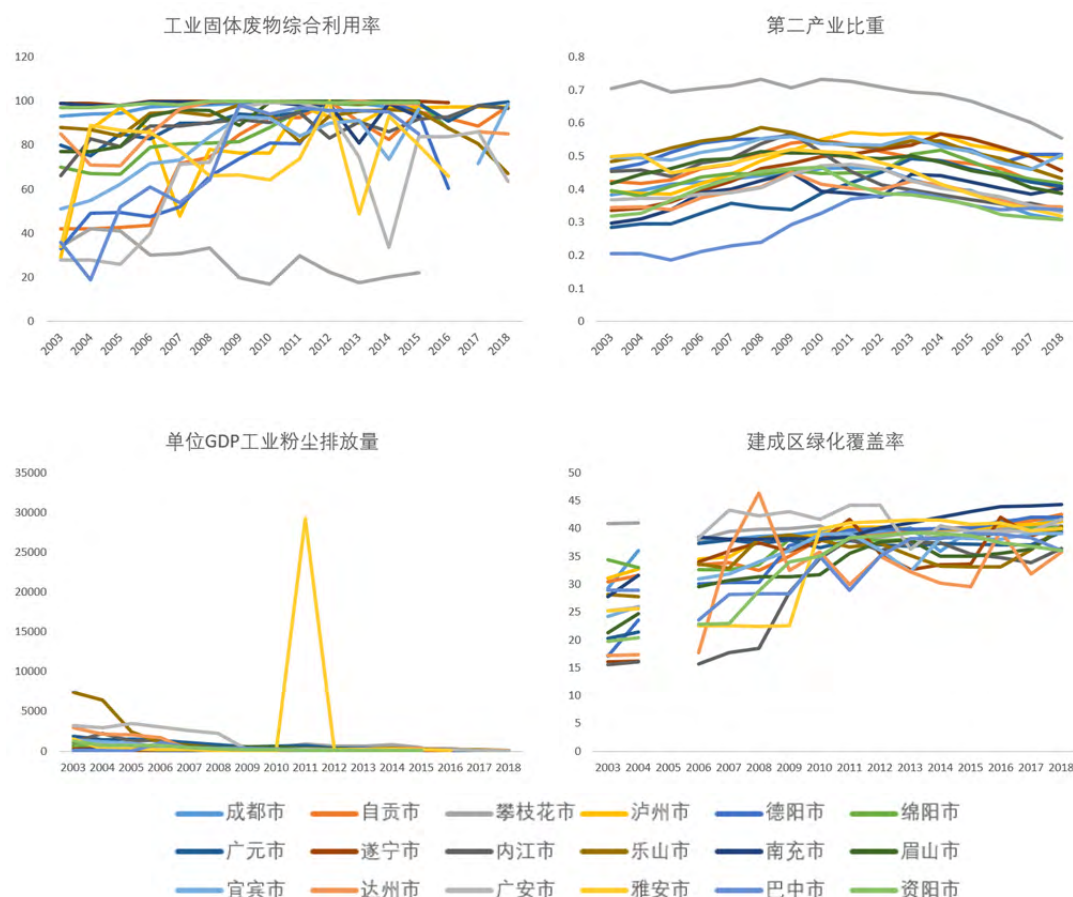


Figure 2 各指标数据变化趋势

表格 1 处理前数据描述性统计量

指标	最大值	75%分位数	50%分位数 数	25%分位数 数	最小值	方差	数据个数
<i>SO₂_PGDP</i>	2.66834	0.95797	0.571881	0.337854	0.004931	0.26834	287
<i>Wwater_PGDP</i>	5.30649	1.18714	0.479788	0.22172	0.016036	0.93507	271
<i>Soem_PGDP</i>	29259.69	458.197	179.927	73.00297	5.987732	3732615	270
<i>Com_Utili</i>	100	98.325	91.875	74.22	16.89	486.0711	268
<i>Pro_Secon</i>	0.733208	0.510176	0.450796	0.388133	0.186814	0.009192	288
<i>Greco_Rate</i>	46.42	39.5775	37.61	32.675	15.51	41.21327	270

由以上描述性统计量可得，除了*Pro_Secon*指标外其他指标均存在数据空缺，且部分指标明显存在异常数据，例如*Soem_PGDP*最大值过高，*Com_Utili*方差过高。

(二) 绿色新动能指数异常数据检测与处理

由于各项指标可能因年份原因存在一定登记性误差及对外信息披露透明度不足问题，需对数据中异常值进行检测和处理。绿色新动能指数的子指标选取

于四川省 18 个地级市 2003 - 2018 年面板数据，观测值有较大的时间跨度且可能存在相互关联的趋势，因此还需进行数据相关性等检验。此外，为提高数据处理精确度，本文将面板数据拆分为多个时间序列数据，针对每个时间序列数据分别进行数据的检验和处理。

1. 异常数据检测与处理

本文结合了两种方法对异常数据进行检测，在运用数据标准偏差的 3σ 准则剔除粗大误差的基础上，使用滑动四分位差距法对数据进行检测。

本文首先基于 3σ 准则，剔除异常大或异常小的异常值。由于测量时数据受到环境异常等因素的干扰，存在一定概率会导致记录在册的观测数据中包含不合理跳点，有多个野值。为尽力消除异常数据的影响，在剔除粗大误差值后，还进一步采用了滑动四分位差距法检验数据集。

本文将 2003 - 2018 年四川省地级市各指标观测值视为连续不断的信号，经研究组的测定取定信号区间，设定 $d = 4$ (year) 数据处理区间的滑动窗口。对窗口数据排序，取出每段信号的 75% 和 25% 的值，并求每段信号的中位数。运用每段中位数加上信号的 75% 数值并减去 25% 数值，将结果放在每段信号的中间位置作为时间序列信号区段上下四分值，最终对整个信号进行遍历，在上滑动四分位曲线和下滑动四分位曲线内的点作为正常点，超出值作为野值，将其剔除。经过检验，总体数据共存在 44 个异常数据，单个序列仅存在 1-3 个异常数据。部分异常数据检测图及各指标异常数据个数统计结果如下所示：

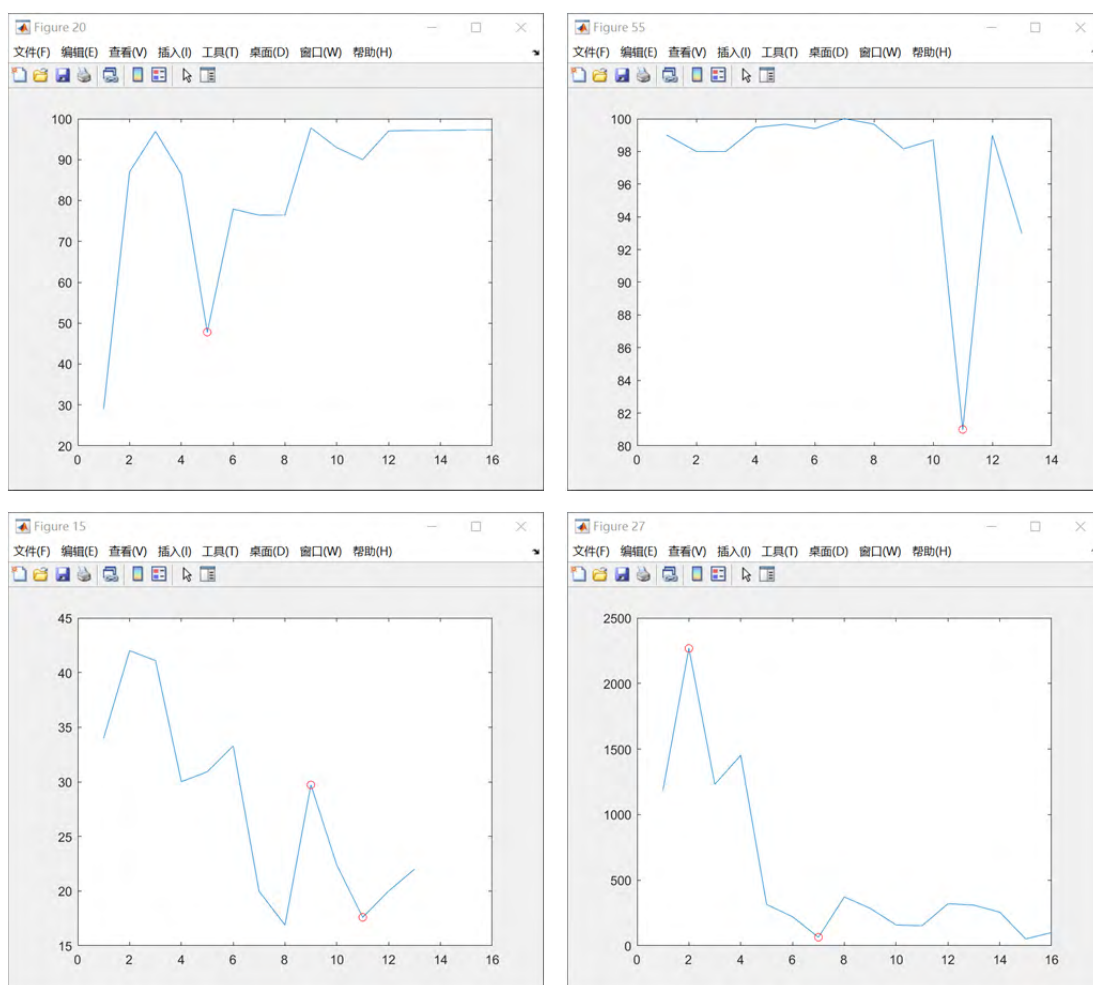


Figure 3 异常数据示意图举例

表格 2 各指标异常数据个数统计

地级市 变量名	成都市	自贡市	攀枝花市	泸州市	德阳市	绵阳市	广元市	遂宁市	内江市
SO_2_PGDP	0	0	0	0	0	0	0	1	1
$Wwater_PGDP$	0	0	0	0	0	0	0	1	0
$Soem_PGDP$	0	2	1	0	1	0	0	1	2
Com_Utili	0	0	2	0	1	1	0	0	0
Pro_Secon	1	1	2	1	0	1	1	2	1
$Greco_Rate$	1	0	0	0	0	0	1	0	1

(续上表)

地级市 变量名	乐山市	南充市	眉山市	宜宾市	达州市	广安市	雅安市	巴中市	资阳市
SO_2_PGDP	1	0	0	0	1	1	0	0	0
$Wwater_PGDP$	0	0	3	0	2	1	0	1	1
$Soem_PGDP$	1	1	0	1	0	1	1	1	0
Com_Utili	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Pro_Secon	1	1	1	1	1	1	1	0	0
$Greco_Rate$	0	0	0	1	2	1	0	1	0

2. 空缺数据处理

本文主要运用滑动窗口法和二次指数平滑法填补空缺数据。对于处于中间年份的空缺数据，采用滑动窗口分析法进行填补。运用多时间段信息，并把它们设定为窗口。当数据更新时，信息段的窗口将包含最新时间段的数据，保持时间段总值不变。定义数据时间序列为 $[T_0, T_1, T_2, \dots, T_n]$ ，并设定时间间隔等长。与此同时设定 $[T_i, T_{i+1}, T_{i+2}, \dots, T_{i+n}]$ 为具有 n 时间间隔的滑动窗口，如下图所示，当活动窗口前进到下一时间间隔时，数据将进行更新。由此填补上空缺的数据。

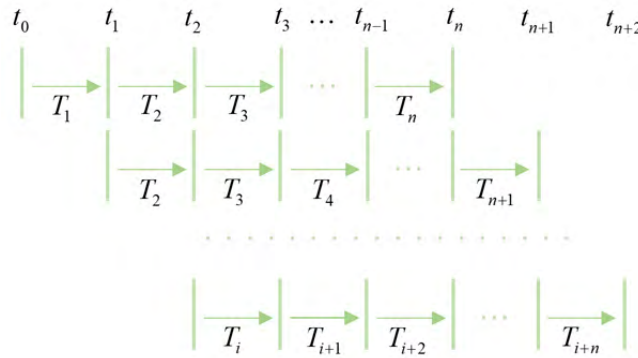


Figure 4 滑动窗口变化图

对于处于靠后年份的空缺数据，采用二次指数平滑进行填补。对数据观测值计算两次平滑值，并在此基础上建立预测模型，对数据进行预测。二次指数平滑法具体计算公式为：

$$\begin{aligned}
 x_{it}^{(1)} &= \alpha x_{it-1} + (1 - \alpha)x_{it-1}^{(1)} \\
 x_{it}^{(2)} &= \alpha x_{it}^{(1)} + (1 - \alpha)x_{it-1}^{(2)} \\
 \alpha_{it} &= 2x_{it}^{(1)} - x_{it}^{(2)} \\
 \beta_{it} &= \frac{\alpha}{1 - \alpha}(x_{it}^{(1)} - x_{it}^{(2)}) \\
 x_{it+m} &= \alpha_{it} + \beta_{it}m
 \end{aligned} \tag{1}$$

其中 $x_{it}^{(1)}$ 、 $x_{it}^{(2)}$ 为第 i 个地级市第 t 年的一次、二次指数平滑值， α_{it} 、 β_{it} 为第 i 个地级市的线性平滑参数， $x_{it}^{(1)}$ 为第 i 个地级市第 t 年的指标实际观测值， α 为线性平滑参数， x_{it+m} 为第 i 个地级市第 $(t+m)$ 期的预测值。本文将根据不

同数据的具体表现设置 α 的取值，以尽可能的提高数据的准确性。空缺数据个数统计结果如下所示：

表格 3 各指标空缺数据个数统计

地级市 变量名	成都市	自贡市	攀枝花市	泸州市	德阳市	绵阳市	广元市	遂宁市	内江市
SO_2_PGDP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$Wwater_PGDP$	0	0	2	0	1	1	0	1	0
$Soem_PGDP$	2	0	2	0	1	1	0	1	0
Com_Utili	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pro_Secon	2	0	2	0	1	1	0	2	0
$Greco_Rate$	1	1	1	1	1	1	1	1	1

(续上表)

地级市 变量名	乐山市	南充市	眉山市	宜宾市	达州市	广安市	雅安市	巴中市	资阳市
SO_2_PGDP	0	0	1	0	0	0	0	0	0
$Wwater_PGDP$	0	2	2	2	1	0	1	2	2
$Soem_PGDP$	0	2	2	1	1	0	2	2	2
Com_Utili	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pro_Secon	0	3	2	1	1	0	1	2	2
$Greco_Rate$	1	1	1	1	1	1	1	1	1

空缺数据填补前后数据描述性统计分别如下表所示：

表格 4 空缺数据填补前数据描述性统计量

指标	最大值	75%分位数	50%分位数	25%分位数	最小值	方差	数据个数
SO_2_PGDP	2.6683	0.95797	0.57188	0.33785	0.00493	0.2683	287
$Wwater_PGDP$	5.3065	1.18714	0.47979	0.22172	0.01604	0.9351	271
$Soem_PGDP$	7409.6	458.167	177.642	72.7015	5.98773	660359	269
Com_Utili	0.7332	0.51018	0.4508	0.38813	0.18681	0.0092	288
Pro_Secon	100	98.325	91.875	74.22	16.89	486.07	268
$Greco_Rate$	46.42	39.5775	37.61	32.675	15.51	41.213	270

表格 5 空缺数据填补后数据描述性统计量

指标	最大值	75%分位数	50%分位数	25%分位数	最小值	方差	数据个数
SO_2_PGDP	2.66834	0.957085	0.568321	0.332046	0.004931	0.267949	288
$Wwater_PGDP$	5.30649	1.127535	0.44145	0.190558	0.008021	0.910048	288
$Soem_PGDP$	7409.576	416.0754	162.922	67.74226	1.596925	624955.3	288
Com_Utili	0.733208	0.510176	0.450796	0.388133	0.186814	0.009192	288
Pro_Secon	100	98.325	92.035	74.375	16.89	489.5801	288
$Greco_Rate$	46.42	39.4825	37.285	32.105	15.51	42.62945	288

空缺数据填补后数据个数均为 $18 \times 16 = 288$ 个，单位 GDP 废水排放量和单位 GDP 工业粉尘排放量的分位数和最小值明显减少，数据波动减小。工业固体废物综合利用率的 50% 和 25% 分位数增大，建成区绿化覆盖率的分位数均减小，

且两变量的数据波动均明显增大。单位 GDP 二氧化硫排放的空缺数据仅有 1 个，而第二产业比重无空缺数据，因而这两个变量填补空缺数据后统计性描述量并无明显变化。

3. 数据相关检验与可视化结果

由于涉及 $SO_2_PGDP_{ij}$ 等与绿色发展相关的六项指标，本文通过计算六项指标之间的相关系数矩阵对六项数据进行关联性分析。为方便说明，对相关矩阵进行可视化，最终得到以下相关性系数图：

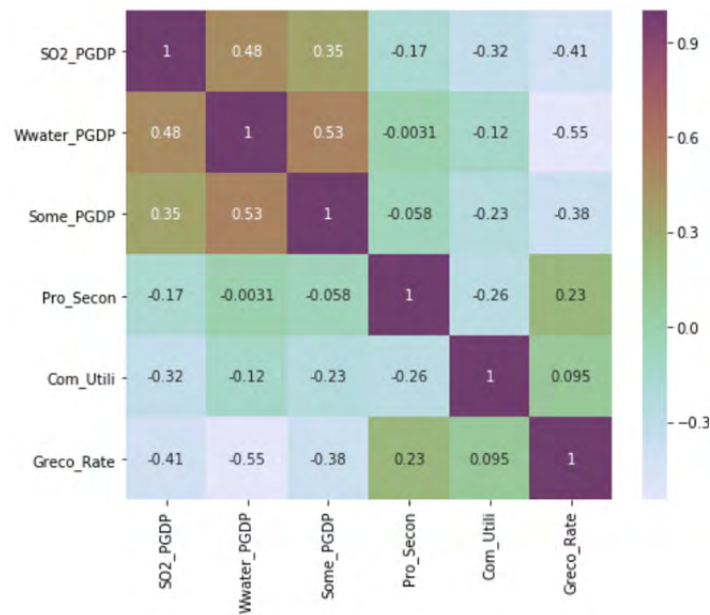


Figure 5 数据相关性矩阵

相关性矩阵通过颜色深浅判断线性程度高低，根据上图所示，颜色越深代表指数之间线性程度较高。由于并无明显深色图块，表明各个指标之间的相关系数均较小，可认为各指标之间不存在较大的相关性。由此可知本研究中所选取的六个指标无需进行相关性处理。

4. 极小化指标极大化处理

本文中用到的数据中同时含有极大型指标和极小型指标，在对数据进行分析处理前，需要对不同类型的指标统进行一致化处理。在本文中，我们将非极大型指标全部转化为极大型指标，具体公式：

$$x'_{\theta ij} = M_{\theta j} - x_{\theta ij} \quad (2)$$

其中 $M_j = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_{\theta ij}\}$ ， i 为地级市代码， j 为年份， θ 表示指标。

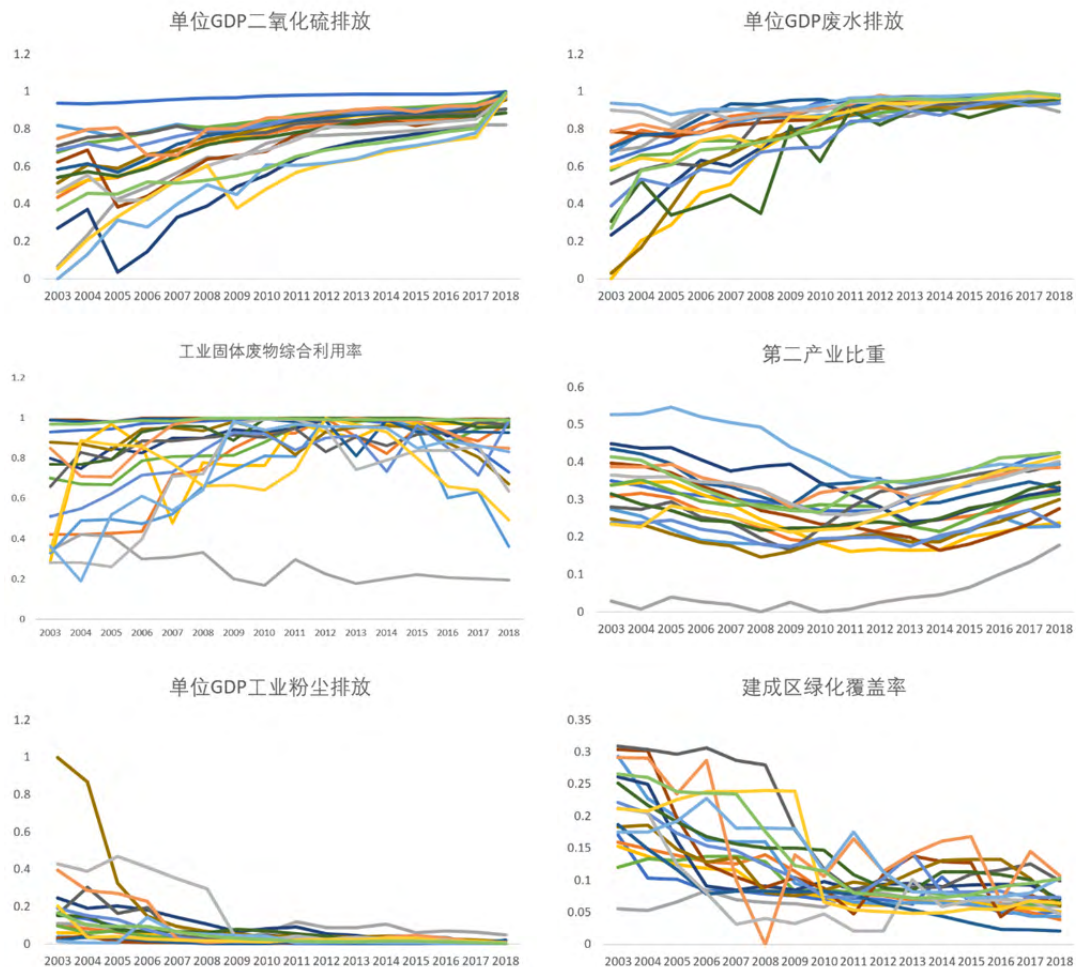
5. 数据归一化处理

除了上述的将指标类型一致化外，由于各自的度量单位及数量级的差别，本文所研究的各评价指标之间存在着不可共度性。为消除各指标之间的量纲影响，本文选取归一化方法，将单位不是百分比的指标进行无量纲化处理，具体公式为：

$$x'_{\theta ij} = \frac{x_{\theta ij} - m_{\theta j}}{M_{\theta j} - m_{\theta j}} \quad (3)$$

其中 $M_{\theta j} = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_{\theta ij}\}$ ， $m_{\theta j} = \min_{1 \leq i \leq n} \{x_{\theta ij}\}$ ， i 为地级市代码， j 为年份， θ 表示指标。

经过数据预处理后的各项指标测度数据如下所示：



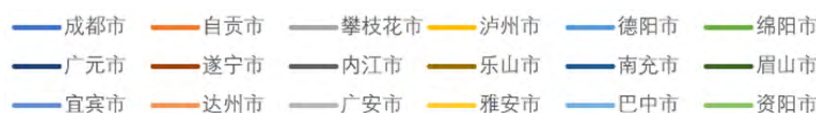


Figure 6 处理后数据各指标数据变化趋势

表格 6 处理后数据描述性统计量

指标	最大值	75%分位数	50%分位数	25%分位数	最小值	方差	数据个数
<i>SO₂_PGDP</i>	1	0.877182	0.78847	0.642506	0	0.037773	288
<i>Wwater_PGDP</i>	1	0.950563	0.903946	0.776468	0	0.031471	288
<i>Soem_PGDP</i>	1	0.05595	0.021777	0.008929	0	0.011388	288
<i>Com_Utili</i>	1	0.98325	0.92035	0.74375	0	0.048958	288
<i>Pro_Secon</i>	0.546395	0.345075	0.282412	0.223033	0	0.009192	288
<i>Greco_Rate</i>	0.3091	0.14315	0.09135	0.069375	0	0.004263	288

四、绿色新动能指数的量化研究

(一) 指标权重赋权

在选取指标后，为保证绿色新动能指数最终测度结果的客观性和科学性。

本研究采用层次分析法和熵值法来确定权数。层次分析法依据赋权者的历史经验信息进行赋权，本研究主要采用调查问卷的方式对四川统计局五位专家进行问卷调查，降低了由于数据误差、客观赋权错误的风险。熵值法具有一定客观优势，有较强的理论依据，各指标的权重将由客观权重设定规则自动设置，但并无权威赋权者的历史信息。本文将两种方法结合，运用主观赋权法确定各权重,反应出权威赋权者的历史经验信息,在此基础上结合以规则为基础的客观赋权法,能更准确描述各指标权重。

在运用层次分析法时，本研究采用电话访问的方式征求五名四川统计局相关指标测度专家的意见，并取专家统一打分意见的均值作为最终结果构造了判断矩阵，所得结果如下：

表格 7 判断矩阵

绿色新动能	<i>SO₂_PGDP</i>	<i>Wwater_PGDP</i>	<i>Soem_PGDP</i>	<i>Pro_Secon</i>	<i>Com_Utili</i>	<i>Greco_Rate</i>
<i>SO₂_PGDP</i>	1	1/3	2	1/5	1/2	1/3
<i>Wwater_PGDP</i>	3	1	3	1/2	2	1
<i>Soem_PGDP</i>	1/2	1/3	1	1/6	1/2	1/3
<i>Pro_Secon</i>	5	2	6	1	3	2
<i>Com_Utili</i>	2	1/2	2	1/3	1	1/2

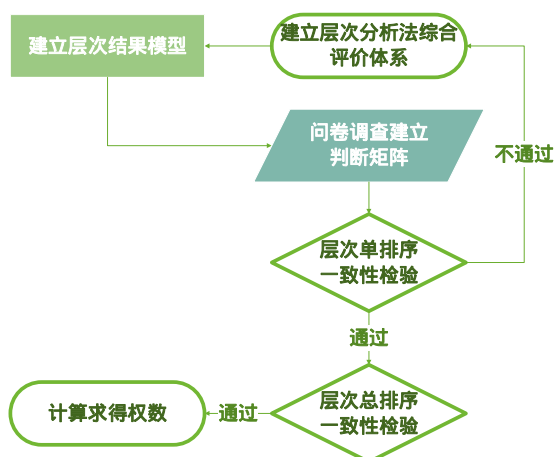


Figure 7 层次分析法确定权数流程图

熵值法可以判断各个相关指标的离散程度，离散程度越大的指标权重越大，表明其对绿色新动能的影响越大。为实现研究对象横向和纵向的可比性，本文还重新加入时间变量改进熵值法。计算过程如下：

- a) 对标准化处理后的数据计算在第 θ 项指标下，地级市 i 的第 j 年所占该指标比重：

$$P_{\theta ij} = \frac{x'_{\theta ij}}{\sum_{\theta=1}^r \sum_{i=1}^n x'_{\theta ij}} \quad (4)$$

- b) 计算第 θ 项指标的熵值：

$$e_{\theta} = -\frac{1}{\ln(mn)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{\theta ij} \ln(P_{\theta ij}) \quad (5)$$

- c) 计算第 θ 项指标的权重：

$$w_{\theta}^{(1)} = \frac{1 - e_{\theta}}{\sum_{\theta=1}^r (1 - e_{\theta})} \quad (6)$$

基于以上结果，各指标权数计算公式为：

$$weight_{\theta} = \rho w_{\theta}^{(1)} + (1 - \rho) w_{\theta}^{(2)} \quad (7)$$

其中 ρ 为 AHP 算子，考虑到历史经验信息的重要性，本文采用黄金分割比中较大的权重对 ρ 进行赋值，所得结果综合权重结果如下：

表格 8 各指标权数结果

一级指标	二级指标	AHP 权重	熵权法权重	综合权重
绿色新动能	单位 GDP 二氧化硫排放	7.37%	3.58%	5.92%
	单位 GDP 废水排放	19.67%	2.44%	13.09%
	单位 GDP 工业粉尘排放量	5.64%	72.21%	31.07%
	第二产业比重	36.25%	5.85%	24.63%
	工业固体废物综合利用率	11.41%	3.70%	8.46%
	建成区绿化覆盖率	19.67%	12.22%	16.83%

$Soem_PGDP$ 权重最大为 0.311，体现工业粉尘是影响绿色新动能最重要因素； Pro_Secon 权重为 0.246，表明第二产业在绿色新动能中的重要作用； $Greco_Rate$ 权重为 0.168，作为衡量城市环境质量及居民生活福利水平的重要指标，其对绿色新动能有重要作用； $Wwater_PGDP$ 权重为 0.131，水资源作为地球生物的生命之源对于绿色新动能有重要作用； Com_Utili 权重为 0.084，工业废物消极堆存不仅占用大量土地，易造资源浪费和土壤、水体的污染，对工业废物进行综合利用对绿色新动能有重要作用； SO_2_PGDP 权重为 0.059，二氧化硫作为大气主要污染物之一，影响着绿色发展。

(二) 构建四川省绿色新动能综合评价体系

绿色发展包括但不限于环境保护，还包含绿色生产、绿色消费等体系等，是一个多维度、多层次的概率。基于以上权数分析结果，四川省各地级市绿色新动能指数计算公式为：

$$\begin{aligned}
 index_{ij} = & weight_1 \times SO_2_PGDP'_{ij} + weight_2 \times Wwater_PGDP'_{ij} \\
 & + weight_3 \times Soem_PGDP'_{ij} + weight_4 \times Pro_Secon'_{ij} \quad (8) \\
 & + weight_5 \times Com_Utili'_{ij} + weight_6 \times Greco_Rate'_{ij}
 \end{aligned}$$

其中 $x'_{\theta ij}$ 表示各指标极大化、归一化处理后的测度值。

(三) 四川省绿色新动能测度结果及分析

1. 综合评价结果及分析

根据以上四川省绿色新动能综合评价体系，对每个指标进行加权求和，最终得到 2003-2018 年四川省 18 个地级市绿色新动能的综合评价得分，得分情况如下表所示：

表格 9 2003-2028 年四川省各地级市绿色新动能指数

年份 地区	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
成都市	0.381	0.367	0.356	0.346	0.345	0.346	0.344	0.346
自贡市	0.289	0.300	0.287	0.282	0.302	0.309	0.305	0.311
攀枝花市	0.173	0.186	0.211	0.209	0.204	0.206	0.197	0.208
泸州市	0.181	0.258	0.282	0.283	0.249	0.282	0.284	0.282
德阳市	0.293	0.302	0.283	0.270	0.278	0.290	0.283	0.295
绵阳市	0.310	0.316	0.312	0.318	0.317	0.315	0.310	0.323
广元市	0.346	0.341	0.339	0.334	0.326	0.335	0.346	0.347
遂宁市	0.383	0.387	0.334	0.321	0.321	0.315	0.322	0.310
内江市	0.336	0.405	0.368	0.375	0.332	0.340	0.310	0.332
乐山市	0.512	0.491	0.334	0.313	0.305	0.292	0.301	0.309
南充市	0.355	0.361	0.346	0.338	0.348	0.342	0.341	0.357
眉山市	0.305	0.322	0.268	0.275	0.286	0.268	0.331	0.313
宜宾市	0.291	0.299	0.289	0.284	0.269	0.278	0.282	0.283
达州市	0.487	0.449	0.433	0.422	0.341	0.329	0.345	0.355
广安市	0.429	0.418	0.410	0.404	0.403	0.391	0.324	0.322
雅安市	0.266	0.275	0.295	0.311	0.306	0.287	0.290	0.265
巴中市	0.318	0.308	0.346	0.398	0.362	0.370	0.383	0.370
资阳市	0.339	0.360	0.349	0.354	0.339	0.323	0.313	0.323

(续上表)

年份 地区	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
成都市	0.346	0.347	0.355	0.367	0.361	0.366	0.367	0.362
自贡市	0.314	0.325	0.322	0.319	0.332	0.332	0.338	0.358
攀枝花市	0.243	0.225	0.224	0.239	0.233	0.244	0.251	0.252
泸州市	0.308	0.304	0.303	0.312	0.320	0.324	0.328	0.333
德阳市	0.299	0.320	0.315	0.321	0.323	0.303	0.299	0.280
绵阳市	0.331	0.339	0.328	0.327	0.336	0.339	0.351	0.360
广元市	0.361	0.354	0.345	0.340	0.346	0.342	0.353	0.364
遂宁市	0.319	0.330	0.332	0.323	0.326	0.319	0.333	0.349
内江市	0.345	0.344	0.351	0.361	0.373	0.377	0.378	0.381
乐山市	0.314	0.327	0.329	0.336	0.342	0.339	0.334	0.326
南充市	0.358	0.357	0.325	0.341	0.340	0.344	0.349	0.358
眉山市	0.343	0.328	0.329	0.341	0.343	0.348	0.357	0.357
宜宾市	0.303	0.313	0.320	0.300	0.328	0.331	0.318	0.334

达州市	0.374	0.372	0.367	0.380	0.389	0.371	0.378	0.373
广安市	0.332	0.331	0.334	0.301	0.348	0.352	0.358	0.348
雅安市	0.284	0.323	0.286	0.339	0.339	0.332	0.341	0.342
巴中市	0.366	0.353	0.347	0.353	0.351	0.359	0.359	0.373
资阳市	0.344	0.352	0.355	0.359	0.366	0.380	0.385	0.394

从综合评价结果可知，四川省绿色新动能总体水平从 2003 年至 2007 年呈下降趋势，2007 年开始呈上升趋势，年均值由 2003 年的 0.333 下降至 2007 年的 0.313 再变到 2018 年的 0.347。

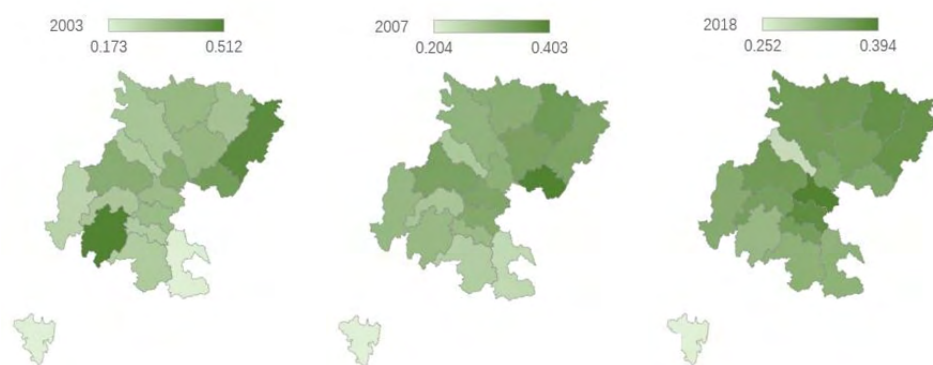


Figure 8 四川省 2003、2007、2018 年各地级市绿色新动能指数分布

由上图可以直观的看出，从 2003-2018 年绿色新动能指数总体上呈现上升趋势。可能因为 2007 年，党的十七大报告在全面建设小康社会奋斗目标的新要求中第一次明确提出建设生态文明。但总体来说四川省各地级市的绿色新动能指数还是偏低，仍存在较大提升空间。从地域差异来看，成都市、广元市、达州市、资阳市 4 个地级市的绿色新动能指数测度值偏高，属于绿色新动能相对较发达的地区；与此相反，攀枝花市、泸州市、德阳市、宜宾市的绿色新动能指数测度值偏低，属于新动能相对欠发达的地区。从绿色新动能增长速度来看，自 2007 年开始，自贡市、眉山市、泸州市、资阳市的增长率大于全省地级市绿色新动能均值的增长率，属于绿色新动能发展较快的地区；与此相反，德阳市、乐山市、广安市的增长率小于绿色新动能均值的增长率，属于绿色新动能发展速度相对较慢的地区。

2. 各指标测度结果及分析

为了解四川省绿色新动能内部各指标测度值的变化及贡献，本文计算出四川省 2003-2018 年 SO_2_PGDP 等六项指标的平均得分及贡献度，结果如下表所示：
(限于篇幅，文中仅展示 2015-2018 年结果，完整结果详见数据包)

表格 10 2015-2018 年四川省各维指标总测度值及贡献率

指标	2015		2016		2017		2018	
	测度值	贡献度	测度值	贡献度	测度值	贡献度	测度值	贡献度
SO_2_PGDP	0.904	14.84%	0.918	15.05%	0.931	15.07%	1.031	16.51%
$Wwater_PGDP$	2.217	36.37%	2.250	36.88%	2.271	36.78%	2.270	36.36%
$Soem_PGDP$	0.114	1.88%	0.087	1.43%	0.059	0.95%	0.050	0.80%
Pro_Secon	1.225	20.09%	1.331	21.81%	1.409	22.82%	1.465	23.47%
Com_Utili	1.376	22.58%	1.293	21.19%	1.273	20.62%	1.228	19.67%
$Greco_Rate$	0.258	4.24%	0.222	3.64%	0.232	3.76%	0.200	3.20%
总和	6.095	100.0%	6.101	100.0%	6.176	100.0%	6.243	100.0%

总体上看， SO_2_PGDP 、 $Wwater_PGDP$ 及 Pro_Secon 的测度值呈现增长的趋势，其中 SO_2_PGDP 和 $Wwater_PGDP$ 的测度值上升速度相对较快，2007-2018 年测度值增长速率分别为 49.34%和 28.71%，贡献率分别由 2007 年的 12.25%、31.30%上升到 2018 年的 16.51%、36.36%，该结果表明四川省二氧化硫排放和废水排放治理在绿色新动能中的作用越来越重要。另一方面， $Soem_PGDP$ 和 $Greco_Rate$ 总体上呈现下降的趋势，2007-2018 年测度值下降速率分别为 85.10%和 52.13%，贡献率分别由 2007 年的 5.93%、7.41%上升到 2018 年的 0.80%、3.20%，该结果表明在工业粉尘排放和建成区绿化覆盖在绿色新动能中还有较大的上升空间和发展潜力，这两方面应该成为促进绿色新动能发展的重点治理方向。而 Com_Utili 测度值先上升后下降，总体呈现拱形的变化趋势，这表明自 15 年以来，工业固体废物综合利用的方面还有较大的上升空间和潜力。

五、四川省绿色新动能经济效应研究及实证分析

在对四川省各地级市绿色新动能进行量化分析的基础上，本文将选取相关指标，构造面板向量自回归模型对四川省绿色新动能的经济效应进行实证分析。

(一) 指标的选取

将第四部分中求得的四川省绿色新动能指数结果记为 $index$ 。除了该变量外，本文将从产业结构升级和经济增长两方面对绿色新动能的经济效应进行衡量。

1. 产业结构升级

产业结构是指农业、工业和服务业在一个国家的经济结构中所占的不同比重。经济发展的主要结果之一表现为产业结构的优化。故本文选用产业结构升级作为衡量经济效应的指标之一。为了能够更准确地反映四川省各地级市第二产业和第三产业的相对发展速度，本文将产业结构优化定义为第二产业增加值和第三产业增加值之比，将该变量记为 $structure$ 。

2. 经济增长

GDP 是反映经济增长的最直观的变量之一。为了消除各市区在人口规模上的差异，本文采用人均 GDP 来对经济增长进行量化。此外，为了通货膨胀的影响，本文将各年份 GDP 以 2003 年为基期进行了平减，以得到的实际 GDP 作为最终实验数据。

$$RGDP_n = PGDP_0 \cdot \prod_{i=1}^n \frac{p_i}{100} \quad (9)$$

其中, $PGDP_0$ 是 2003 年的名义人均 GDP, p_i 是第 i 期的人均 GDP 指数, $PGDP_n$ 是第 n 期的不变价人均 GDP。为了增加数据的平稳并且在一定程度上消除异方差性，我们对人均 GDP 取对数处理，将取完对数后的变量记为 $pgdp$ 。

(二) PVAR 模型介绍

PVAR 面板自回归向量模型是可兼顾多元回归模型和相关变量滞后影响动态关系的非结构化模型分析方法，本文基于 Stata 的 PVAR2 程序包对模型进行估计。此次回归中的两个变量 $structure$ 和 $pgdp$ 同样经过了第三部分的数据预处理过程，在此不再累述。

本文包括 3 个变量，绿色新动能指数 ($index$)、产业结构 ($structure$) 和

经济增长(*pgdp*)，建立模型如下：

$$Y_{ij} = \sum_{k=1}^P \gamma_k Y_{i,j-k} + \varepsilon_{ij} \quad (10)$$

$Y_{it} = \{index_{it}, pgdp_{it}, structure_{it}\}^T$ 表示 3×1 维列向量的系统变量矩阵，其中 γ_k 表示的是滞后第 k 阶参数矩阵， P 表示总滞后阶数， i 表示不同地区， j 表示不同年份， ε_{ij} 表示随机干扰项。

(三) 构建 PVAR 模型及实证结果

本文借助前文中得到的四川省各地级市绿色新动能量化结果，构建了绿色新动能、产业结构、经济增长的 PVAR 面板数据模型来探究三个变量之间的互相关系。

1. 面板数据单位根检验

通过对各序列的平稳性进行检验可有效避免“伪回归”现象以增强实证结果的有效性。本文通过 ADF 检验、LLC 检验和 IPS 检验来检验各个序列的平稳性。由下表可得，在 1% 的显著性水平下，各序列均拒绝原假设，即 *structure*、*index* 和 *pgdp* 均为平稳序列。

表格 11 单位根检验结果

变量名	差分阶数	ADF	LLC	IPS	平稳性
<i>structure</i>	原序列	13.108***	-7.609***	-3.287***	平稳
<i>index</i>	原序列	12.002***	-0.428	-7.427***	平稳
<i>pgdp</i>	原序列	12.800***	-11.267***	-3.080***	平稳

2. 滞后阶数选择

本文采用 Andrews 和 Lu 于 2001 年提出的基于 Hansen's J 统计量的三个信息准则：MMSCaic、MMSCbic、MMSChqic，简称 MAIC、MBIC、MQIC，对最优滞后阶数进行选择。检验结果如下所示：

表格 12 滞后阶数选择

阶数	J	J pvalue	MBIC	MAIC	MQIC
1	42.75624	0.0276797	-97.45359*	-11.24376*	-46.19813*

2	24.77939	0.1311147	-68.69384	-11.22061	-34.52353
3	10.22407	0.3326521	-36.51254	-7.775931	-19.42739

从上表可以看出，在 5% 的置信水平下，三个信息准均支持选择滞后 1 阶，且 J pvalue 为 0.0276797，表明不拒绝原假设，选择滞后 1 阶数是合适的。因此，综合各信息准则的结果，本文最终选择滞后阶为 1 阶。

3. 模型稳定性检验

在建立 PVAR 自回归模型时，我们需要对模型进行稳定性检验。模型各特征值结果如下所示：

表格 13 模型特征值

特征值		模长
实部	虚部	
0.853715	0	0.0276797
0.7846581	0	0.1311147
0.0085673	0	0.3326521

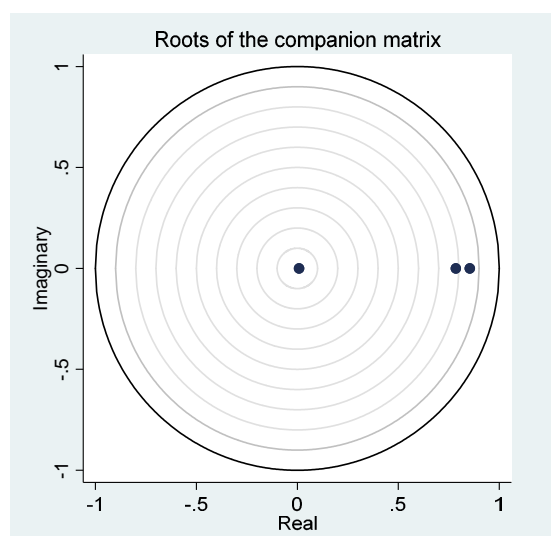


Figure 9 模型特征值与单位圆相对位置

由上图可得，模型所有特征值均在单位圆内，故本研究建立的 PVAR 自回归模型是稳定的，可以进行进一步研究。

4. 格兰杰因果检验及 GMM 估计结果

格兰杰因果检验通过加入自变量的滞后项是否能改进对因变量的预测结果从而检验一个变量是否能预测另一变量。本文中每个因素都存在一定滞后期，

故初步确定变量间是否存在因果关系选用此方法较为合适。其检验结果如下：

表格 14 格兰杰因果检验结果

原假设	chi2	df	Prob > chi2
<i>index</i> 不是 <i>structure</i> 的格兰杰原因	3.2326	1	0.072
<i>structure</i> 不是 <i>index</i> 的格兰杰原因	1.6199	1	0.203
<i>index</i> 不是 <i>pgdp</i> 的格兰杰原因	34.651	1	0
<i>pgdp</i> 不是 <i>index</i> 的格兰杰原因	12.582	1	0
<i>pgdp</i> 不是 <i>structure</i> 的格兰杰原因	3.8298	1	0.05
<i>structure</i> 不是 <i>pgdp</i> 的格兰杰原因	2.0157	1	0.156

从结果来看，*index*是*structure*的格兰杰原因。*pgdp*是*structure*的格兰杰原因。而*index*和*pgdp*互为因果关系。

由于本次实验构建的面板模型中包含了滞后项，因此有必要控制可能的内生问题，于是分别将*structure*、*index*和*pgdp*作为因变量，将另外两个变量作为自变量进行动态 GMM 模型估计，估计结果如下：

$$\begin{aligned}
 structure_{it} &= 0.0529846structure_{i,t-1} - 20.15567index_{i,t-1} - 0.5198563pgdp_{i,t-1} \\
 index_{it} &= -0.0010662structure_{i,t-1} + 0.5242261index_{i,t-1} + 0.0086818pgdp_{i,t-1} \quad (11) \\
 pgdp_{i,t} &= -0.0087422structure_{i,t-1} - 3.921886index_{i,t-1} + 0.8911056pgdp_{i,t-1}
 \end{aligned}$$

结果显示*structure*、*index*和*pgdp*的滞后一期均能够显著改变当期各项变量的水平，表明四川省地级市当期的绿色新动能、经济增长和产业结构存在一定路径依赖。

5. 脉冲响应分析

PVAR 模型是一种动态模型。脉冲响应函数（IRF）可以反映其他变量保持不变的情况下，一个变量受另一个变量影响的动态响应路径。在本次研究中，运用 SPSS 通过 500 次蒙特卡罗模拟来获得各个变量间的脉冲响应图，结果如下所示。其中上下曲线代表 95%的置信区间，中间曲线代表（IRF）点的估计值。

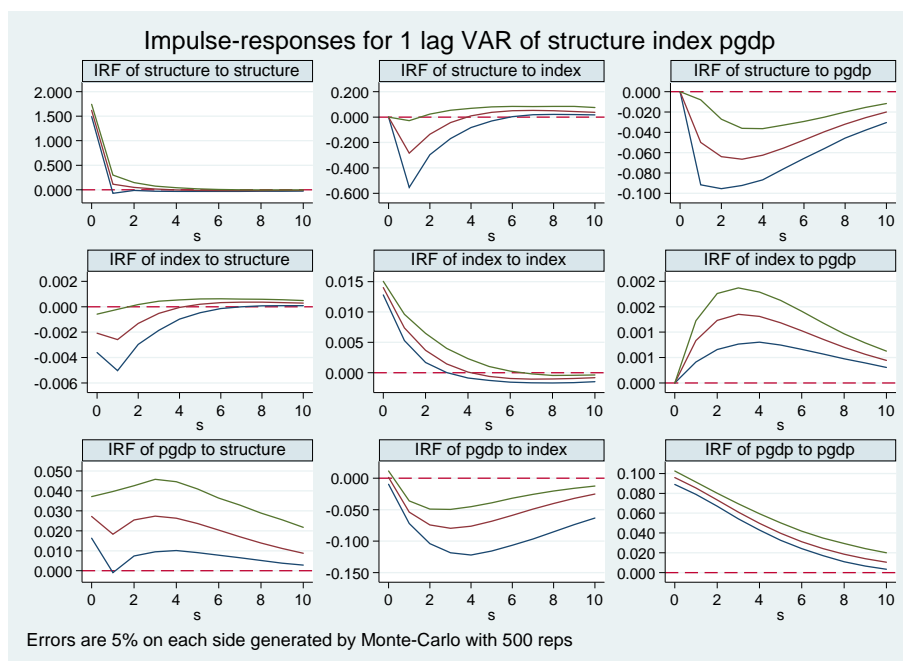


Figure 10 绿色新动能、经济增长和产业结构脉冲响应图

在上面的脉冲响应图中，每一行代表同一冲击对不同变量的影响，每一列代表不同冲击对同一变量的影响。由第一行的图形可得，当 $structure$ 受到一单位标准差的冲击时， $index$ 会受到负冲击，此影响在 4 期左右就会消散； $pgdp$ 会受到负冲击，此影响将随着期数的增加逐渐消散。由于产业结构指数为第二产业的增加值同第三产业增加值之比，该结果说明第二产业比重的增加将会降低绿色新动能，由此可能对经济的可持续发展带来负面影响。

由第二行的图形可得，当 $index$ 受到一单位标准差的冲击时， $structure$ 会受到负冲击，此影响在 5 期左右就会消散； $pgdp$ 会受到正冲击，此影响将随着期数的增加逐渐消散。该结果说明绿色新动能的增大将会对第二产业比重带来冲击，并且绿色新动能在四川省的经济可持续发展过程中起到了重要作用。

由第三行的图形可得，当 $pgdp$ 受到一单位标准差的冲击时， $structure$ 会受到正冲击，而 $index$ 会受到负冲击，且冲击带来的影响将随着期数的增加逐渐消散。根据三个变量的定义，可以将该结果理解为四川省各地级市的经济增长将伴随着第二产业比重的增加，而第二产业比重的增加可能意味着绿色新动能

增速的放缓。

6. 方差分解

在 PVAR 模型中，作为脉冲响应分析补充的方差分解可以解释各内生变量对预测变量随机扰动项的贡献，从而判断各变量对预测变量扰动项的相对重要性。本研究运用 SPSS 进行 500 次蒙特卡罗模拟，期数为 10，得到方差分解结果如下表所示。

表格 15 预测误差方差分解结果

被冲击变量	期数	冲击变量		
		<i>index</i>	<i>pgdp</i>	<i>structure</i>
<i>index</i>	1	0.978	0.000	0.022
	5	0.934	0.020	0.046
	10	0.921	0.033	0.046
<i>pgdp</i>	1	0.000	0.925	0.074
	5	0.396	0.543	0.061
	10	0.480	0.453	0.068
<i>structure</i>	1	0.000	0.000	1.000
	5	0.037	0.005	0.958
	10	0.040	0.008	0.951

从上表的结果可以看出，四川省绿色新动能的变化主要受自身冲击的影响。随着期数的增加，第 10 期下降到 92.1%，自身贡献仍占很大比重，即四川省绿色新动能发展的影响主要来自其自身而非另外两个变量。对于经济增长而言，在第 1 期，绿色新动能指数和产业结构对其影响极小，分别为 0%和 7.4%。随着期数的增加，在第 10 期时绿色新动能和产业结构对经济增长的影响分别变化到 48%和 6.8%的水平，自身贡献下降到 45.3%。产业结构的变化也同样主要受其自身影响，自身的贡献率占到了 100%。而随着期数的增加，第 10 期自身的贡献率仅下降到 95.1%，仍占到了很大比重。因而四川省产业结构的变化主要受自身影响。从各期的结果来看，第 10 期的结果与第 5 期的结果有很大的一致性，表明系统在 5 期甚至更早时已经达到了稳定状态。

六、 结论与建议

(一) 实证结论

1. 绿色新动能总体水平较低且区域发展差异明显

四川省绿色发展新动能总体水平从 2003 年至 2007 年呈现出下降趋势，从 2007 年开始呈现上升趋势，这是因为在 2007 年，在党的十七大报告中，第一次将建设生态文明作为全面建设小康社会奋斗目标的新要求。但总体来说四川省绿色新动能水平还是偏低，还有较大提升空间。从地域差异来看，成都市、广元市、达州市、资阳市 4 个地级市属于绿色新动能较高的地区，而攀枝花市、泸州市、德阳市、宜宾市属于新动能相对较低的地区。从绿色新动能发展速度看，从 2007 年开始，自贡市、眉山市、泸州市、资阳市的绿色新动能发展速度较快，而乐山市、德阳市、广安市的绿色新动能发展速度相对较慢。

2. 二氧化硫排放和废水排放发挥重要作用

总体上看，单位 GDP 二氧化硫排放、单位 GDP 废水排放及第二产业比重的平均得分呈现增长的趋势，其中单位 GDP 二氧化硫排放和单位 GDP 废水排放的得分上升速度相对较快，2007-2018 年测度值增长速率分别为 49.34% 和 28.71%，贡献率分别由 2007 年的 12.25%、31.30% 上升到 2018 年的 16.51%、36.36%，表明四川省二氧化硫排放和废水排放治理在绿色发展新动能中发挥着越来越重要的作用。

3. 工业粉尘和排放和建成区绿化覆盖上升空间明显

单位 GDP 工业粉尘排放量和建成区绿化覆盖率总体上呈现下降的趋势，2007-2018 年测度值下降速率分别为 85.10% 和 52.13%，贡献率分别由 2007 年的 5.93%、7.41% 上升到 2018 年的 0.80%、3.20%，该结果表明在工业粉尘排放和建成区绿化覆盖在绿色发展新动能中还有较大的上升空间和发展潜力，这两方面应该成为促进绿色发展新动能发展的重点治理方向。而工业固体废物综合

利用率测度值先上升后下降，总体呈现拱形的变化趋势，表明工业固体废物综合利用的方面还有较大的一定上升空间和发展潜力。

4. 第二产业增加与绿色新动能呈反向变动

当产业结构指数受到一个单位标准差的冲击时，产业结构指数会收到正冲击，绿色发展新动能会受到负冲击；人均 GDP 会收到负冲击，此影响将随着期数的增加逐渐消散。同时绿色发展新动能受到一个单位标准差的冲击时，产业结构指数会收到负冲击，这个影响大约在 5 期会消散。由于产业结构指数是第二产业的增加值比上第三产业的增加值，该结果说明第二产业比重的增加将会降低绿色发展新动能，由此可能对经济的可持续发展带来负面影响。

5. 经济增长与绿色发展存在矛盾

人均 GDP 受到冲击时，产业结构指数和人均 GDP 会收到正冲击，而绿色发展新动能会受到负冲击，且冲击带来的影响将随着期数的增加逐渐消散。根据三变量的定义，可以理解为四川省经济的经济增长伴随着第二产业比重的增加，同时第二产业比重的增加意味着绿色发展新动能增长的放缓。目前经济增长和绿色发展之间还存在着矛盾。

(二) 建议与对策

1. 推动产业转型升级，夯实绿色城市基石

绿色城市规划注重以人为本，但经济发展是前提。首先要加强经济、社会和环境建设，才能提高生活质量。而经济发展和环境的改善很大程度上取决于产业结构的调整，协调之后的产业能够适应市场需求的变化，从而带来最好的效益。同时全面普及绿色循环产业的高效运行和绿色消费理念，从源头上切断制约绿色城市发展的不和谐因素。同时市场主体也应将政府的监管与市场化杠杆的引导相结合来构建高效的绿色城市发展新模式。同时结合税收优惠等激励机制来鼓励地方城市更加积极地投入到绿色城市的建设之中。

2. 调动市场主体的能动性，促进经济-绿色协调发展

绿色城市建设强调绿色，然而绿色文化、绿色社会作为核心组成部分，却常常被忽视。加强绿色文化方面的建设，既能深入贯彻习近平总书记的生态文明思想和新发展理念，做好“共抓大保护、不搞大开发”要求的具体实践，又能贯彻落实党组打好“三大污染防治攻坚战”的部署，更是实现企业基业长青、打造“世界领先”的内在要求。与发展经济相比，价值观的培育和文化建设虽然需要更长的周期，但其丰富的内涵与外延却能发挥极大的正外部性。主管部门应以现实问题和需求为导向，将文化建设渗透到经济、社会和环境提升的各项政策制定中并保证落实。尤其要注重文化相关产业的孵化及推广，积极推动将理念切实转化为行动。同时企业也应当牢固树立“不是企业消灭污染，就是污染消灭企业”的绿色价值观，不断增强员工的绿色意识、提高其绿色技能、规范其绿色行为，推动全员、全过程、全方位、全天候落实绿色发展、绿色生产、绿色办公、绿色生活。不断提高企业的清洁生产水平和绿色发展水平，实现企业经济和社会双重效益，使企业发展和生态文明建设和谐共存。

3. 利用共建共享的数字经济，助力绿色城市建设

在大数据时代，数字经济与绿色发展的有效结合，既是推进传统产业绿色化的重要途径，也是绿色科技产业不断走向现代化的必由之路。我们要以开放的数字经济理念，来推动数字产业转型和智能化升级。通过推动旧动能转化为新动能来打造动能发展的新引擎。我们要为数字经济的发展营造专属的“数字土壤”，通过借助数字经济，继续“绿化”城市空间布局和产业发展。只有数字发展与绿色发展深度融合、相互促进，才能真正创造“数字与绿色共舞，经济同社会并进”的绿色数字化发展新模式。

参考文献

- [1]邵明振,马舒瑞,屈小芳,张瑜.河南省经济新动能统计测度、经济效应及发展路径研究[J].统计理论与实践,2021(03):15-22.
- [2]赵立祥,赵蓉.健康城市发展影响因素动态交互研究——来自地级市的经验证据[J/OL].企业经济,2021(05):130-141
- [3]梁垚.数字化发展水平对陕西省产业结构升级的影响研究[J].现代商贸工业,2021,42(17):12-13.
- [4]张洪,陶柳延,方文杰.长江经济带旅游技术创新、产业升级与绿色全要素生产率关系研究——基于 GML 指数与 PVAR 模型分析[J/OL].河北科技大学学报(社会科学版):1-13[2021-05-20]
- [5]梁垚.数字化发展水平对陕西省产业结构升级的影响研究[J].现代商贸工业,2021,42(17):12-13
- [6]何泉吟,成天婷.数字经济推动经济高质量发展的战略抉择[J].商业经济研究,2021(10):189-192.
- [7]王建刚.江西绿色城市建设面临的问题与对策建议[J].现代商业,2021(03):97-102.
- [8]王翔宇,张引琼.基于 MATLAB 的时间序列异常检测方法探讨[J].电脑知识与技术,2012,8(04):866-872.
- [9]姜启源,谢金星,叶俊.数学模型(第四版)[M],北京:高等教育出版社.2011
- [10]Saaty T L , Vargas L G. Inconsistency and rank preservation[J]. Journal of Mathematical Psychology, 1984, 20(2):205-214.

附录

1. 专家打分意见表：

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9
单位 GDP 废水排放/ 单位 GDP 二氧化硫排放																	
单位 GDP 废水排放/ 单位 GDP 工业烟尘排放量																	
单位 GDP 废水排放/ 工业固体废物综合利用率																	
单位 GDP 废水排放/ 第二产业比重																	
单位 GDP 废水排放/ 建成区绿化覆盖率																	
单位 GDP 二氧化硫排放/ 单位 GDP 工业烟尘排放量																	
单位 GDP 二氧化硫排放/ 工业固体废物综合利用率																	
单位 GDP 二氧化硫排放/ 第二产业比重																	
单位 GDP 二氧化硫排放/ 建成区绿化覆盖率																	
单位 GDP 工业烟尘排放量/ 工业固体废物综合利用率																	
单位 GDP 工业烟尘排放量/ 第二产业比重																	
单位 GDP 工业烟尘排放量/ 建成区绿化覆盖率																	
工业固体废物综合利用率/ 第二产业比重																	
工业固体废物综合利用率/ 建成区绿化覆盖率																	
第二产业比重/ 建成区绿化覆盖率																	

2. 2003-2018 年四川省各维指标总测度值及贡献率完整结果

指标	2003		2004		2005		2006	
	测度值	贡献度	测度值	贡献度	测度值	贡献度	测度值	贡献度
<i>SO₂_PGDP</i>	0.532	8.88%	0.607	9.87%	0.585	10.02%	0.624	10.69%
<i>Wwater_PGDP</i>	1.273	21.25%	1.492	24.28%	1.522	26.05%	1.702	29.16%
<i>Soem_PGDP</i>	1.115	18.61%	0.949	15.44%	0.696	11.91%	0.574	9.83%
<i>Pro_Secon</i>	1.462	24.40%	1.432	23.31%	1.413	24.19%	1.290	22.09%
<i>Com_Utili</i>	0.965	16.11%	1.065	17.34%	1.110	18.99%	1.171	20.05%
<i>Greco_Rate</i>	0.644	10.75%	0.599	9.75%	0.516	8.84%	0.478	8.19%
总和	5.993	100.0%	6.143	100.0%	5.842	100.0%	5.839	100.0%

(续上表)

指标	2007		2008		2009		2010	
	测度值	贡献度	测度值	贡献度	测度值	贡献度	测度值	贡献度
<i>SO₂_PGDP</i>	0.690	12.25%	0.743	13.23%	0.748	13.32%	0.795	14.07%
<i>Wwater_PGDP</i>	1.763	31.30%	1.856	33.03%	1.988	35.42%	2.017	35.70%
<i>Soem_PGDP</i>	0.334	5.93%	0.259	4.61%	0.150	2.67%	0.165	2.91%
<i>Pro_Secon</i>	1.226	21.76%	1.134	20.18%	1.065	18.98%	1.069	18.92%
<i>Com_Utili</i>	1.202	21.34%	1.257	22.37%	1.323	23.57%	1.337	23.66%
<i>Greco_Rate</i>	0.417	7.41%	0.370	6.58%	0.339	6.04%	0.268	4.75%
总和	5.633	100.0%	5.619	100.0%	5.612	100.0%	5.651	100.0%

(续上表)

指标	2011		2012		2013		2014	
	测度值	贡献度	测度值	贡献度	测度值	贡献度	测度值	贡献度
<i>SO₂_PGDP</i>	0.838	14.25%	0.865	14.55%	0.882	15.03%	0.898	15.06%
<i>Wwater_PGDP</i>	2.149	36.53%	2.172	36.54%	2.192	37.37%	2.210	37.08%
<i>Soem_PGDP</i>	0.184	3.12%	0.130	2.18%	0.113	1.93%	0.134	2.24%
<i>Pro_Secon</i>	1.089	18.50%	1.121	18.86%	1.085	18.49%	1.129	18.94%
<i>Com_Utili</i>	1.369	23.26%	1.410	23.71%	1.329	22.65%	1.329	22.30%
<i>Greco_Rate</i>	0.255	4.33%	0.247	4.15%	0.266	4.54%	0.261	4.38%
总和	5.884	100.0%	5.945	100.0%	5.867	100.0%	5.961	100.0%

(续上表)

指标	2015		2016		2017		2018	
	测度值	贡献度	测度值	贡献度	测度值	贡献度	测度值	贡献度
<i>SO₂_PGDP</i>	0.904	14.84%	0.918	15.05%	0.931	15.07%	1.031	16.51%
<i>Wwater_PGDP</i>	2.217	36.37%	2.250	36.88%	2.271	36.78%	2.270	36.36%
<i>Soem_PGDP</i>	0.114	1.88%	0.087	1.43%	0.059	0.95%	0.050	0.80%
<i>Pro_Secon</i>	1.225	20.09%	1.331	21.81%	1.409	22.82%	1.465	23.47%
<i>Com_Utili</i>	1.376	22.58%	1.293	21.19%	1.273	20.62%	1.228	19.67%
<i>Greco_Rate</i>	0.258	4.24%	0.222	3.64%	0.232	3.76%	0.200	3.20%
总和	6.095	100.0%	6.101	100.0%	6.176	100.0%	6.243	100.0%

相关代码与数据结果请见数据包

致谢

这里，我们三人首先想感谢参与教学管理的各位老师，感谢你们在我们学业上的指导与生活上的关心。尤其要感谢指导老师对本文的悉心指导，他们给予了我们三人无数宝贵经验，推动我们不断修改完善论文。还有四川统计局的五位专家，他们对于调查问卷的耐心填写，帮助我们得到科学权重。此外我们还想感谢在论文写作过程中给予过帮助的老师、同学，感谢在遇到困难时你们的启发帮助。最后，我们想感谢各自的家人、朋友，感谢你们对论文写作的不断支持。

我们三人会时刻铭记“经世济民，孜孜以求”的精神，将严谨勤俭求实开拓的校训贯彻到未来的学习生活之中。