



资源开发与市场
Resource Development & Market
ISSN 1005-8141, CN 51-1448/N

《资源开发与市场》网络首发论文

题目：广东省工业用地生态效率时空差异及影响因素研究
作者：邓丽敏，唐晓莲，易嘉兴
网络首发日期：2021-05-06
引用格式：邓丽敏，唐晓莲，易嘉兴. 广东省工业用地生态效率时空差异及影响因素研究. 资源开发与市场.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1448.N.20210506.1631.022.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

广东省工业用地生态效率时空差异及影响因素研究¹

邓丽敏，唐晓莲，易嘉兴
(广东工业大学 管理学院，广东 广州 510520)

摘要：运用基于非期望产出的 Super-SBM 模型测度 2008—2018 年广东工业用地生态效率，通过空间自相关模型分析其空间分异特征，并借助地理探测器研究其影响因素。研究结果表明：2008—2018 年广东省工业用地生态效率水平总体稳定，均值为 0.87，表现为粤东>粤西>珠三角>粤北的格局；各城市工业用地生态效率差距明显。广东省工业用地生态效率空间格局较稳定，沿海地区整体高于内陆地区；空间相关性总体增强，高高聚集与低低聚集明显，整体空间依赖性较强。不同时期，广东省工业用地生态效率空间分异的主导影响因子差异较大，工业聚集程度和科技投入水平是主要的影响因素。

关键词：工业用地生态效率；时空差异；影响因素；Super-SBM 模型；地理探测器

Spatio-temporal Differences and Influencing Factors of Eco-efficiency of Industrial Land in Guangdong Province

DENG Li-min, TANG Xiao-lian, YI Jia-xing

(School of Management, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China)

Abstract: Used the Super-SBM model based on undesired outputs to calculate the eco-efficiency of industrial land from 2008 to 2018, and analyzed its spatial differentiation characteristics through the spatial autocorrelation model, then we used geographic detectors to study its influencing factors. The results showed that: The eco-efficiency level of industrial land in Guangdong Province was generally stable from 2008 to 2018, with an average value of 0.87, showing a pattern of Eastern Guangdong> Western Guangdong> Pearl River Delta> Northern Guangdong, and the urban gap was obvious. The spatial pattern of industrial land eco-efficiency was relatively stable, and the eco-efficiency of industrial land in coastal areas was higher than that in inland areas. The spatial correlation of industrial land eco-efficiency in Guangdong was generally enhanced, with obvious high-high aggregation and low-low aggregation, and the overall spatial dependence was strong. In different periods, the main influencing factors of spatial differentiation of industrial land eco-efficiency in Guangdong Province were quite different, and the degree of industrial agglomeration and the level of scientific and technological investment were the main influencing factors.

Key words: industrial land eco-efficiency; spatio-temporal differences; influencing factors; Super-SBM model; geographic detector

改革开放四十年来，我国工业经济快速发展，规模不断扩大，工业生产总值从 1978 年的 1602 亿元增长到 2018 年的 305160 亿元，占当年 GDP 的 33.9%，工业发展成为中国经济增长的主要动力源泉。现阶段我国工业的发展能源消耗量巨大，但由于思想观念、技术水平、管理体制等因素的限制，工业经济发展仍然以高能耗、高污染、低效率的传统增长模式为主，引发了资源过度消耗、环境污染严重、生态系统失调等一系列问题，不利于经济可持续发展^[1]。WBCSD 和 OECD 对生态效率概念的阐述可以解释为经济产出和生态环境压力的比率。生态效率的核心思想是以更少的环境投入，使得经济效益最大化。目前国内外学者已经将生态效率广泛应用到产业^[2, 3]、工业园区^[4]、区域^[5]等范围的研究，主要运用的测算方法有两大类：一是建立指标体系，构建综合指数^[6]；二是采用数据包络分析方法^[7]。随着生态文明建设的

基金项目：教育部人文社会科学研究项目“乡村多元化下农村宅基地制度改革研究：演变、转型、冲突与治理”（编号：20YJA630055）。

第一作者简介：邓丽敏（1995-），女，广东省清远人，硕士研究生，主要研究方向为土地资源管理。

通讯作者简介：唐晓莲（1963-），女，四川省油江人，博士，教授，硕士生导师，研究方向为土地资源管理、房地产开发经营管理、房地产评估。

推进,产业转型升级的步伐加快,工业生态效率成为研究热点。关于工业生态效率,在研究角度上,学者们主要从工业生态效率的评价^[8]、空间分异^[9]和影响因素^[10]等方面进行。在研究方法上,学者们多采用非参数经济计量分析方法,主要以数据包络分析方法及其扩展方法为主^[10],如超效率 DEA 方法^[11]、SBM 方法^[12]、三阶段 DEA 方法^[13]等,采用这类方法的优点有避免主观因素的影响、考虑投入产出因素、需要的指标相对较少、适用范围较广泛等。在研究尺度上,全国、省域和城市等范围的研究居多^[14-16],也有些学者从工业企业等微观角度^[17-18]进行研究。

综上所述,目前国内关于工业生态效率的研究相对成熟,但大部分学者没有充分考虑到土地因素对于生态效率的影响,对于工业用地生态效率鲜有研究。本文通过研究广东省工业用地生态效率,构建工业用地生态效率指标体系,利用基于非期望产出的 Super-SBM 模型测算工业用地生态效率,通过空间自相关方法分析其空间聚集特征,并利用地理探测器,探究其空间分布格局的主导影响因素。通过本研究以期广东省工业用地生态效率的提高和工业用地的可持续发展提供有价值的参考。

1 研究方法

1.1 基于非期望产出的 Super-SBM 模型

DEA 模型是利用线性规划法对具有投入和产出的若干决策单元(DMU)进行相对效率评估的一种方法,具有多种优点,但传统 DEA 模型最大的缺点在于使用经济社会类的期望产出指标,而不适用于非期望产出指标。近年来城市经济社会发展暴露出各种各样的生态环境问题,人们越来越关注非期望产出对城市生态环境的影响^[19]。关于投入和产出的松弛变量,Tone K^[20]提出了非径向、非角度的 SBM 模型,随后,针对非期望产出问题的处理以及 SBM 模型无法对多个效率值为 1 的有效 DMU 继续进行排序的不足,Tone K^[21]提出了 Super-SBM 模型。本文采用基于非期望产出的 Super-SBM 模型,模型构建如下:

$$\begin{aligned} \rho = \min & \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i / x_{i0}}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \bar{y}_r / y_{r0} + \sum_{j=1}^{s_2} \bar{y}_j / y_{j0} \right)} \\ \text{s.t. } & x_0 = X \lambda + S^-, y_0 = Y^g \lambda - S^g, y_0^b = Y^b \lambda + S^b \\ & \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j x_j, \bar{y}^g \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^g, \bar{y}^b \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^b; \\ & \bar{x} \geq x_0, \bar{y}^g \leq y_0^g, \bar{y}^b \geq y_0^b; \\ & \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j = 1, \bar{y}^g \geq 0, \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中, ρ 为工业用地生态效率值; m 是投入指标数量; s_1 和 s_2 分别为期望和非期望产出指标的数量; x 为投入; y_g 和 y_b 分别为期望产出和非期望产出; λ 为权重向量。当 $\rho \geq 1$ 时,说明被评价的 DMU 是相对有效的;当 $\rho < 1$ 时,说明被评价的 DMU 是相对无效的^[22]。

1.2 空间自相关分析法

空间自相关是一定地域内,一个地域单元的某种地理要素与临近单元上的相同要素的关联性的重要指标,是研究要素空间分异的重要方法之一。包括全局自相关和局部自相关两种^[23]。全局空间自相关反映研究要素在全局范围内所表现出来的空间相关特性,本文使用全局 Moran's I 来表示,公式如下:

$$I = \frac{n \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq 1}^n W_{ij} \times (x_i - \bar{x}) \times (x_j - \bar{x}) \right]}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq 1}^n W_{ij} \right) \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中，n 为广东省内城市的数量； x_i 、 x_j 分别为城市 i 和 j 的工业用地生态效率； W_{ij} 为空间权重系数矩阵，表示各城市邻近关系。I 的取值范围为[-1, 1]。当 $I>0$ 时，广东各市工业用地生态效率整体呈正相关关系；当 $I<0$ 时，则表现为负相关关系；当 $I=0$ 时，表明没有相关性。

局部空间自相关是反映空间单元与其周围邻近单元的同一属性的相关性，通常采用 LASA 图表示。通过局部自相关分析，研究广东省工业用地生态效率局部地区的空间关联特征。

1.3 地理探测器

地理探测器是用于探究某地理属性的空间分异格局及其影响因素的一种新的分析方法^[24]，该方法由王劲峰老师提出，最早应用在医院领域，用于探测地方性疾病发生的风险影响因素。如今，地探测器已经广泛应用于各种领域，探测地理要素空间格局演变及空间分异的影响因素研究，既可以探测数值型数据，也可以探测定性数据。该模型由四个部分组成：因子探测、交互作用探测、风险探测和生态探测，本文主要运用因子探测。

根据因子探测，可得到单个自变量对因变量空间分异的影响能力，用 q 值表示，表达式为：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中，q 为自变量 X 对因变量 Y 的空间分异的影响能力；L 为层级个数； N_h 表示和 N 表示层 h 和全区域的样本个数； σ^2 表示全区的因变量 Y 值的方差。q 值越大，表明该因子对因变量的影响力越大。

2 指标体系构建与数据来源

2.1 生态效率指标体系构建

工业用地生态效率的实质是使用最少的投入，将对环境的影响降至最低，从而获取最大化的经济效益^[25]。本文遵循科学、全面、可操作等原则，从资源、资本、劳动力、土地 4 个方面选取了 5 个投入指标；产出方面综合考虑期望产出和非期望产出，选取单位面积工业生产总值为期望产出的指标，非期望产出的指标从工业污染方面选取 3 个指标，具体如表 1 所示。

表 1 广东省工业用地生态效率投入产出指标

类别	因素	指标
投入	资源投入	单位面积工业用水量
		单位面积工业用电量
指标	资本投入	单位面积工业固定资产投资
	劳动力投入	单位面积工业从业人员

产出 指标	土地投入	工业用地面积
	期望产出	单位面积工业生产总产值
		单位面积工业废气排放量
	非期望产出	单位面积工业废水排放量
		单位面积工业固体废弃物产生量

注：单位面积即单位工业用地面积。

2.2 影响因素指标体系构建

本文参考相关的研究^[19, 22]，综合研究区的实际情况和数据的获取的难易程度，从经济发展、工业化、工业聚集、科技投入、生态环境、利用外资、环境规制 7 个方面选取工业用地生态效率影响因素指标，其中环境规制强度采用“工业三废”与工业生产总产值的比率进行线性标准化，再加权求和的方式获得。具体指标解释如表 2 所示。

表 2 广东省工业用地生态效率影响因素指标

因素	指标
经济发展水平	人均 GDP
工业化程度	工业生产总产值/地区生产总值
科技投入水平	工业 R&D 经费/工业生产总产值
工业聚集程度	工业生产总产值/工业用地面积
生态环境禀赋	建成区绿化覆盖率
利用外资水平	外商直接投资/地区生产总值
环境规制强度	“工业三废”综合指标

2.3 数据来源

本文使用的指标数据主要来源于《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《广东省统计年鉴》和广东省各地级市统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报、广东省水资源公报。对于部分缺失数据采用插值法或滑动平均窗口法进行补充。

3 实证分析

3.1 时空差异分析

本文根据公式（1），利用 MAXDEA8.0 软件，计算 2008—2018 年广东省各城市的工业用地生态效率值（表 3）。从表 3 可见：全省工业用地生态效率水平稳定。2008—2018 年，广东省工业用地生态效率值整体维持在稳定水平，平均值为 0.87，总体接近有效水平。总体变化为：“上升—下降—再上升—再下降”，2018 年为 0.84，与 2008 年相比仅下降 0.01，基本维持稳定，最高值是 2015 年的 0.93，最低值是 2012 年的 0.80。分区域来看，工业用地生态效率均值表现为粤东>粤西>珠三角>粤北的格局。珠三角地区工业用地生态效率水平整体有小幅增长，平均值为 0.81，较接近全省平均水平，整体可分为两阶段的变化：2008—2015 年为上升阶段，2015—2018 年为下降阶段。粤东地区的工业用地生态效率整体水平较高，各年份均在全省平均水平之上，但较不稳定，呈波动变化，整体提高 0.05。粤西地区表现为波动上涨的态势，2018 年比 2008 年提高了 14%；2008—2014 年在波动中提高，2014-2018 年稳步提高。粤北地区工业用地生态效率变化波动较大，总体水平提高，但低于全省平均水

平，具体变化为 2008-2012 年下降明显，2013 年之后维持稳定的水平。粤北地区的经济发展水平不仅制约着工业生产资金的投入水平，也限制着技术和环境管理水平，进而对工业用地生态效率产生影响。

表 3 2008—2018 年广东省各市工业用地生态效率值

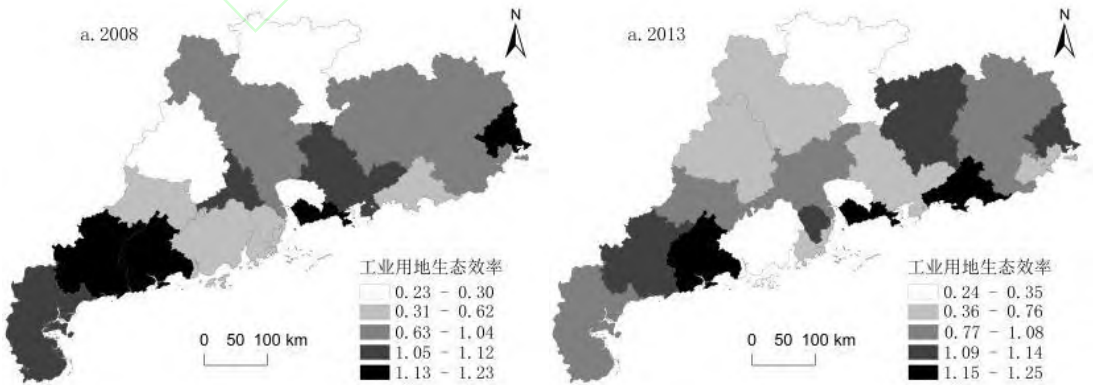
城市	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	均值	排名
广州	1.01	1.02	1.02	1.14	1.05	1.06	1.08	1.09	1.09	1.08	1.06	1.06	7
深圳	1.23	1.22	1.21	1.25	1.24	1.25	1.22	1.23	1.24	1.26	1.24	1.24	1
珠海	0.62	1.01	0.59	0.57	0.51	0.54	0.59	1.00	0.56	0.54	0.49	0.64	16
汕头	1.04	1.04	1.04	0.50	0.56	0.50	1.04	1.06	1.09	1.08	1.08	0.91	14
佛山	1.12	1.09	1.12	1.13	1.11	1.08	1.11	1.15	1.11	1.15	1.15	1.12	5
韶关	0.23	0.22	0.18	0.20	0.20	0.24	0.27	0.29	0.31	0.32	0.25	0.25	21
河源	1.04	1.03	1.06	1.05	1.04	1.10	1.10	1.12	1.15	1.15	1.14	1.09	6
梅州	1.02	1.01	0.55	1.02	0.61	1.02	1.03	1.05	1.07	1.07	1.07	0.96	12
惠州	1.11	1.16	1.12	1.05	1.00	0.76	1.05	1.04	1.02	0.68	0.67	0.97	11
汕尾	0.49	0.54	1.02	1.06	1.22	1.17	1.23	1.16	1.11	1.12	1.13	1.02	9
东莞	0.30	0.29	0.31	0.28	0.27	0.24	0.27	0.27	0.25	0.23	0.25	0.27	20
中山	0.58	1.02	1.03	1.04	1.07	1.11	1.08	1.05	1.07	1.09	1.09	1.02	8
江门	0.43	0.53	0.46	0.36	0.31	0.35	0.41	0.43	0.45	0.48	0.38	0.42	19
阳江	1.15	1.15	1.13	1.13	1.15	1.17	1.13	1.12	1.08	1.07	1.09	1.12	3
湛江	1.07	1.04	1.08	1.01	0.59	1.03	0.74	0.74	1.02	1.05	1.02	0.94	13
茂名	1.15	1.14	1.11	1.14	1.13	1.12	1.08	1.07	1.12	1.12	1.14	1.12	4
肇庆	0.28	0.36	0.39	0.44	0.55	0.54	1.05	1.00	0.49	0.34	0.30	0.52	18
清远	1.00	1.05	1.07	0.31	0.38	0.43	0.41	0.37	0.43	0.29	0.35	0.55	17
潮州	1.18	1.14	1.23	1.20	1.18	1.14	1.14	1.12	1.07	1.08	1.13	1.15	2
揭阳	1.04	1.04	1.06	1.06	1.13	1.07	1.06	1.05	1.03	0.54	0.61	0.97	10
云浮	0.42	1.01	0.38	0.38	0.42	1.08	1.04	1.17	1.06	1.05	1.06	0.82	15
全省	0.83	0.91	0.87	0.83	0.80	0.86	0.91	0.93	0.90	0.85	0.84	0.87	
珠三角	0.73	0.84	0.74	0.80	0.75	0.80	0.87	0.92	0.81	0.80	0.78	0.81	
粤东	0.94	0.94	1.09	0.96	1.02	0.97	1.12	1.10	1.08	0.95	0.99	1.01	
粤西	0.95	1.08	0.92	0.91	0.82	1.10	1.00	1.02	1.07	1.07	1.08	1.00	
粤北	0.82	0.83	0.72	0.64	0.56	0.70	0.70	0.71	0.74	0.71	0.70	0.71	

不同城市工业用地生态效率值差异明显。工业用地生态效率值按均值排名，为深圳>潮州>阳江>茂名>佛山>河源>广州>中山>汕尾>揭阳>惠州>梅州>湛江>汕头>云浮>珠海>清远>肇庆>江门>东莞>韶关，前五名中，珠三角和粤西地区各有 2 个城市，粤东地区有 1 个城市；排名后五位的是清远、肇庆、江门、东莞、韶关，有 3 个属于珠三角地区，2 个属于粤北地区。可见，珠三角地区各城市的工业用地生态效率两极分化较严重，粤北地区的城市多为中

等及以下水平。从各城市来看，深圳、佛山、河源、广州、中山、汕尾、梅州、汕头、云浮、肇庆和韶关的工业用地生态效率值均有所提高，其他城市均有所下降。深圳市的工业用地生态效率值稳居第一位，这与其发达的经济和以高科技产业为主有很大的关系。深圳是国家重要的创新型城市，工业以高科技智能化产业和新型产业为主，资金投入量大，单位工业用地的产出高，对环境的污染远低于传统的工业。此外，当地政府高度重视环境保护，污染物排放少，产出高、污染少成就了深圳市较高的工业用地生态效率。广州市工业用地生态效率均值排名第七位，整体效率水平提高。广州工业经济发达，政府及相关部门不断地推进各种政策促进工业转型升级，减少工业环境污染，积极落实生态文明建设。韶关、清远等城市的工业用地生态效率水平低下与其经济水平低有密切的关系，由于经济较落后、工业投资少，造成生产技术水平低，工业用地利用效率和管理水平也较低。另外，落后的经济限制了对工业污染治理的投资和设施配套，工业污染较大。东莞市工业用地上生态效率水平低，这主要归因于其产业结构与产业类型。东莞市工业比重较大，工业主要以电子信息、电气机械、纺织服装等劳动密集型产业为主，尽管工业投资大，工业生产总值水平也较高，但伴随而来的环境方面的非期望产出更大，因而工业用地生态效率水平较低。

3.2 时空分布分析

为了更加直观地表现广东各地市工业用地生态效率在空间上的分布情况，本文利用 ArcGIS 软件平台，采用自然断点法将工业用地生态效率水平分为 5 个水平，对 2008 年、2013 年和 2018 年广东省各地级市工业用地生态效率进行可视化（图 1）。从图 1 可见，广东省各地市工业用地生态效率空间上的分布差异明显，3 个时段间的格局变动强度不大。工业用地生态效率高水平和中高水平城市较少，分布差异较明显，主要以沿海城市为主，2008 年有 7 个城市（粤西地区 3 个、珠三角地区 3 个、粤东地区 1 个）；2013 年数量相同，仍主要分布在粤东、珠三角及粤西三地；2018 年数量减少 1 个，主要分布在珠三角和粤东。中等水平城市的分布中，2008 年以粤东和粤北地区为主，2013 年及 2018 年格局相似，各地区皆有分布，分布较分散。中低效率和低效率城市在全省范围内分布以珠三角及粤北地区为主，分布格局变化不大。总体而言，沿海地区的工业用地生态效率整体高于内陆地区。由于地理位置的优势，沿海地区经济相对于内陆地区发展得更好，对外来投资的吸引力更大，技术创新与研发能力强，注重对城市的形象和生态环境的整治。



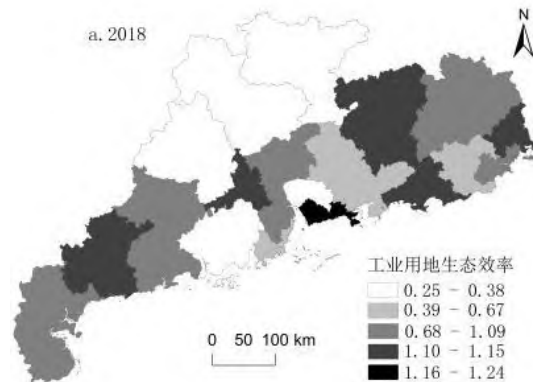


图 1 2008 年、2013 年和 2018 年广东省工业用地生态效率空间分布

3.3 广东工业用地生态效率空间分异分析

根据地理学第一定律，空间上任何事物与其他事物都有一定的相关性，且相关性的强弱与距离有关，距离越近，相关性越强，即空间依赖性强。本文利用 GeoDa 软件分析了广东省城市工业用地生态效率空间相关性。①全局空间自相关。从表 4 可见，全局 Moran's I 除 2009 年和 2010 年为外，其他年份皆是正数，表明广东省各市工业用地生态效率在空间上为正相关关系，P 值通过显著性水平检验的年份表明空间相关性显著，其中 2011 年、2013 年、2016-2018 年均通过至少 10%水平下的显著性检验。Moran's I 总体提高，但其间有较大的波动，说明广东各地市工业用地生态效率空间相关显著性虽有所增强，但不稳定，空间分布格局容易发生变动。②局部空间自相关。为了更好地体现空间格局的变化，揭示工业用地生态效率的局部集聚特征，结合莫兰散点图，绘制 LISA 图（图 2），显示各城市空间局部聚集分类（包括显著与不显著）^[15]。本文选取 2008 年、2013 年和 2018 年的 LISA 图，H-H（高高）聚类即高值的区域周围也是高值；L-L（低低）聚类表示低值区域周围也是低值；H-L（高低）聚类表示高值的区域周围为低值；L-H（低高）聚类表示低值的区域周围是高值。从图 2 可见，高高聚集城市主要集中于粤东、粤西地区，如湛江、阳江、汕头、揭阳等，随时间推移，该类型的分布有明显的增加且呈向珠三角地区扩展的趋势。低低聚集城市主要分布在粤北和珠三角地区，如肇庆、东莞、清远等。低高聚集城市较少，分散分布于珠三角和粤西，如惠州、江门等。高低聚集城市多分布在珠三角和粤北地区，如佛山、中山、河源等。从不同年份空间格局的变化来看，2013 年与 2008 年相比变化较大，高低聚集城市明显减少，主要转变为高高聚集，说明这些工业用地生态效率水平较高的城市对周围城市的辐射作用增强，带动周围城市的工业用地生态效率提高；2018 年和 2013 年的聚集分布格局基本不变，整体格局趋于稳定。从上述分析可看出，工业用地生态效率高高聚集和低低聚集的城市较多，以空间依赖性为主，其中粤东和粤西地区空间依赖性较强，珠三角和粤北地区空间依赖性较弱，差异性较强。

表 4 2008-2018 年广东省工业用地生态效率全局 Moran's I

年份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
I	0.0109	-0.0579	-0.049	0.1314	0.0325	0.1273	0.1067	0.1137	0.2108	0.1479	0.1444
z	0.5727	-0.0546	-0.0211	1.4055	0.6954	1.3776	1.2551	1.2925	2.2374	1.5739	1.4916

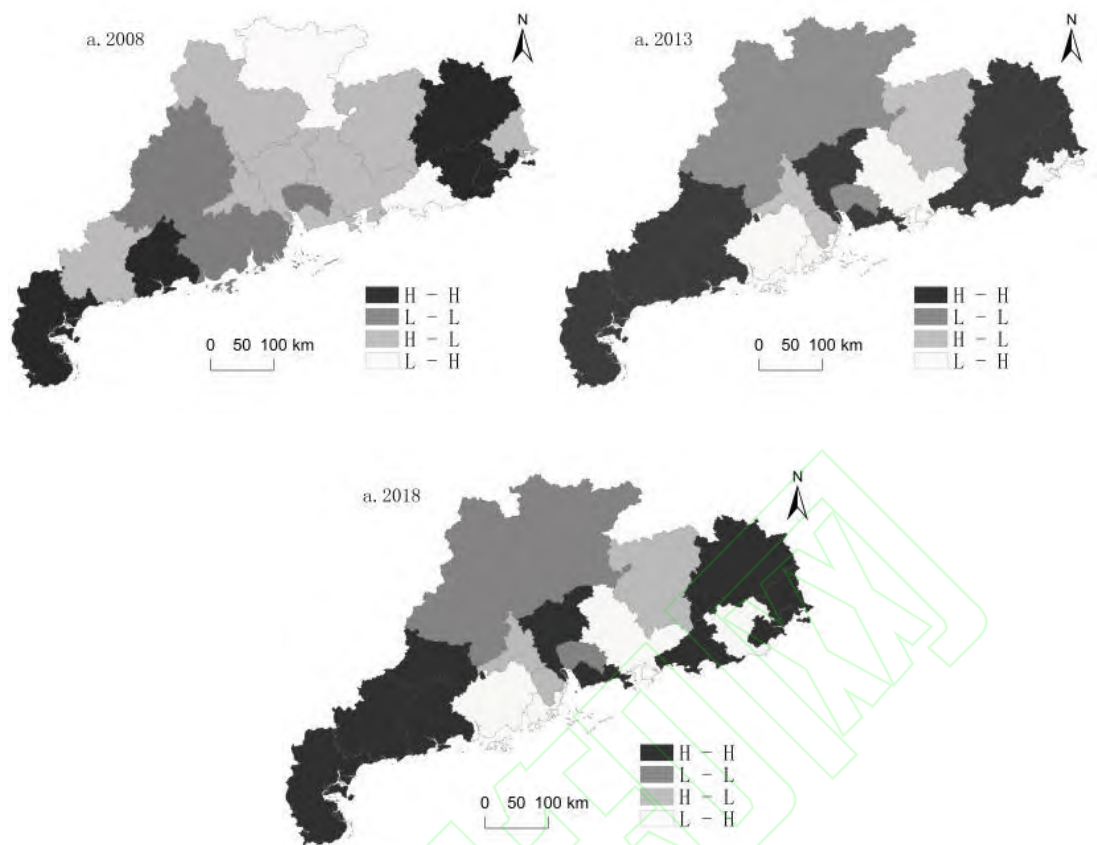


图 2 2008 年、2013 年和 2018 年广东省工业用地生态效率 LISA 图

4 影响因素分析

广东省工业用地生态效率的时空演变是一个复杂的过程，是多种因素共同作用的结果。本文选取经济发展水平、工业化程度、工业聚集程度、科技投入水平、生态环境禀赋、利用外资水平和环境规制强度 7 个指标作为影响因子，采用地理探测器分析广东省工业用地生态效率空间差异的影响因素。同时，在 ArcGIS 软件中利用自然断点法将影响因子分类，将连续变量转变成分类变量，使变量数据符合要求。

从表 5 可见，各影响因子在不同年份中对工业用地生态效率空间分异的影响力度存在一定的差异，显著性水平也随之变化。2008 年，影响广东省工业用地生态效率的主导因素是工业聚集程度、科技投入水平、生态环境禀赋和环境规制强度， q 值分别为 0.6671、0.5025、0.5480 和 0.6206，经济发展水平和利用外资水平的影响力度不大，在 0.23—0.34 之间，工业化程度影响力不显著。2013 年主导因子包括经济发展水平、工业聚集程度、科技投入水平和利用外资水平，其次是生态环境禀赋，工业化程度和环境规制强度影响力小，与 2008 年相比除生态环境禀赋和环境规制强度的影响力有所下降外，其他影响因素的影响力均提高。2018 年主要受工业聚集程度和科技投入水平的影响， q 值均在 0.65 以上，利用外资水平、经济发展水平、生态环境禀赋以及环境规制强度与 2013 年相比影响力度下降，工业化程度没有通过显著性水平检验。

表 5 广东省工业用地生态效率空间分异的影响因素 q 值水平

年份	经济发展水平	工业化程度	工业聚集程度	科技投入水平	生态环境禀赋	利用外资水平	环境规制强度
2008	0.2303**	0.1150	0.6671***	0.5025***	0.5480***	0.3331***	0.6206***
2013	0.6212***	0.2419***	0.7914***	0.7256***	0.3920***	0.6181***	0.2898***
2018	0.3956***	0.1498	0.7565***	0.6597***	0.3908***	0.4641***	0.2696***

注：***、**分别表示影响力在 0.01、0.05 水平上显著。

不同影响因子的作用机理不同，具体分析如下：①工业聚集程度对广东省工业用地生态效率的空间分异发挥着重要的作用， q 值均在 0.65 以上，影响力度大。产业的分散不利于生产效率的提高，而工业园区的建立，通过集中生产、管理与治理，有利于提高工业生产的效率，实现工业规模化效益。②科技投入水平影响力度较大，在 3 个年份均作为主导因子影响着广东各市工业用地生态效率的空间格局。研发创新对工业生产技术、生态治理技术等方面起着重要的作用，生产技术的提高，不仅能减少生产过程中原材料的投入，还能降低对能源的消耗。此外，科学技术的创新能减少各种污染废物的产生和排放，有助于工业用地生态效率的提高。③经济发展水平对广东各市工业用地生态效率的空间差异影响在 2013 年较大，为主导因子之一。一般而言，一个地方的经济水平越高，工业用地生态效率也相应得到提高。经济发展水平影响着广东各地区工业用地生态效率的水平，由于不同城市之间经济发展不平衡，造成工业用地生态效率存在较明显的差距。④生态环境禀赋从 2008 年的主导因子变为非主导因子，影响力度下降。城市绿化覆盖有助于改善城市的环境，减少环境污染，在此基础上，各地方绿化工程兴起，城市绿化覆盖率均明显增加，生态环境得到明显改善，城市绿化覆盖率对地区间工业用地生态效率差异作用逐渐减弱。⑤利用外资水平在 2013 年的是主导因子，在 2008 年和 2018 年为非主导因子。“污染避难假说”指出各国污染密集型产业更倾向于往环境污染控制标准较低的国家或区域转移，这些企业会对转入国家的生态环境造成严重污染，但也有研究表明，吸引外来投资有利于引入先进的技术和设备，从而降低能耗、改善环境。广东省对外开放程度高，在充分使用外资发展自身经济的同时，应严格控制工业污染排放，加大环境规制强度和监测力度。⑥环境规制强度在 2008 年为主导因子，2013 年和 2018 年 q 值逐渐减小，影响力逐渐减弱。国家重视生态环境的发展，严格要求政府及企业加大对污染的治理力度，减少工业污染物的排放。随着工业非期望产出的大幅减少，各地工业用地生态效率水平提高，尤其是原来对工业环境污染缺乏足够的重视的城市，经过较大力度的治理之后，工业用地生态效率的提高幅度更大，因而城市间的差距缩小。⑦工业化程度对广东各市的工业用地生态效率的影响力较小。广东工业经济发达，各地市的工业化程度都较高，因而其对广东工业用地生态效率空间差异的影响程度较小。

5 结论、讨论与建议

5.1 结论与讨论

本文通过基于非期望产出的 Super-SBM 模型，对 2008-2018 年广东省工业用地生态效率进行测算，采用空间自相关分析方法进行空间格局演变分析，利用地理探测器识别影响城市工业用地生态效率空间分异的影响因子，得到以下主要结论：①从整体水平上看，广东省工业用地生态效率水平稳定在 0.83~0.93，分区域来看，粤东地区最高，其次是粤西地区和珠三角地区，最低的是粤北地区，珠三角地区城市工业用地生态效率两集分化较严重，粤北地

区城市工业用地生态效率值均较低。工业用地生态效率均值前五名为深圳、潮州、阳江、茂名、佛山，后五名为清远、肇庆、江门、东莞、韶关，不同城市工业用地生态效率值差异明显。②利用 ArcGIS 软件对广东省工业用地生态效率进行空间可视化，结果表明广东省各城市工业用地生态效率空间上的分布差异明显，高效率和中高效率城市较少，主要为沿海城市；中等效率城市 2013 年和 2018 年分布较为分散，多分布于粤东及粤北地区；中低效率和低效率城市多分布在珠三角和粤北地区，格局较稳定。③广东省工业用地生态效率空间相关性总体增强，但空间分布格局不稳定，全局 Moran's I 呈波动上升。根据 LISA 图，广东省工业用地生态效率高高聚集与低低聚集明显，整体空间依赖性较强，高高聚集城市主要集中于粤东、粤西地区，且向珠三角地区扩展，低低聚集城市主要分布在粤北和珠三角。④不同时期影响广东省工业用地生态效率的空间分异的主导因子差异较大。其中，工业聚集程度和科技投入水平的作用显著，3 个年份均为主导因子。生态环境禀赋、环境规制强度仅在 2008 年为主导因子，经济发展水平和利用外资水平仅在 2013 年为主导因子，工业化程度的影响力度不大。

本文以工业用地生态效率为研究对象，与区域整体生态效率的研究相比，结果更具有针对性。Super-SBM 模型能够有效的区分期望产出与非期望产出，弥补了传统方法将非期望产出作为投入的不足，而地理探测器方法从更深的层次分析影响因素对工业用地生态效率的空间分异的影响。但本文也存在着一些不足之处，如由于统计年鉴中部分数据的缺失，本文采用插值法及滑动平均窗口法对缺失数据进行填补，可能会对研究结果产生一定的影响。此外，工业用地生态效率测算指标和影响因素指标是在已有研究的成果上，结合研究区实际情况构建，指标可能存在针对性不足的问题，因此打破数据的局限，进一步完善指标体系是今后研究的重点。

5.2 建议

基于上述分析，本文提出以下建议：①坚定不移走新型工业化道路，加快产业转型升级，加快高污染、高消耗、低产出的粗放型发展模式转向低污染、低消耗，高产出的绿色发展与可持续发展模式。政府通过税收或补贴等方式鼓励支持企业构建绿色、可持续的生产体系。企业自主加大科技研发经费投入，提高研发和创新能力，加快生产和生态技术研发和应用。同时，企业结合自身实际有针对性的学习管理经验，引进国外先进的技术与设备，在软硬件方面提升自身实力，提高生产效率，减少污染物产生和排放，减轻工业污染对环境造成的压力。②提高企业的环境准入门槛，尤其是对于非珠三角地区，在外来资金的引进，各地方政府严格遵守环境准入标准，坚决拒绝高污染、高消耗、低效率的企业进驻，避免落入“污染天堂”的陷阱。积极引进和发展环境友好型企业，发展高科技产业，带动经济发展。③制定科学合理的产业发展规划，各地合理引导产业发展与转移，将地区产业聚集程度控制在合理的范围内，防止产业聚集程度过高。④政府加强环境规制力度，加大工业污染治理投资，加强工业污染治理监督，确保资金用的使用效率，使工业污染得到有效治理。此外，政府应提高企业污染排放的成本，加大执法力度，对违规排放等行为严惩不贷，从源头处有效控制，摒弃先污染后治理的治理思想。政府治理与严格管控双管齐下，提高工业污染治理水平。

参考文献：

[1] Wu Q Y, Zhang X L, Shang Z Y, et al. Political-economy Based Institutional Industry Complex and Sustainable Development: The

- Case of the Salt-chemical Sndustry in Huai'an, China[J]. Energy Policy, 2015, 87(DEC.): 39-47.
- [2] Zhang B, Bi J, Fan Z Y, et al. Eco-efficiency Analysis of Industrial System in China: A Data Envelopment Analysis Approach[J]. Ecological Economics, 2008, 68(1): 306-316.
- [3] 关伟, 许淑婷. 中国能源生态效率的空间格局与空间效应[J]. 地理学报, 2015, 70(6): 980-992.
- [4] 徐凌星, 杨德伟, 高雪莉, 等. 工业园区循环经济关联与生态效率评价——以福建省蛟洋循环经济示范园区为例[J]. 生态学报, 2019, 39(12): 4328-4336.
- [5] 任宇飞, 方创琳, 蔺雪芹. 中国东部沿海地区四大城市群生态效率评价[J]. 地理学报, 2017, 72(11): 2047-2063.
- [6] 王震, 石磊, 刘晶茹, 等. 区域工业生态效率的测算方法及应用[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(6): 121-126.
- [7] 胡彪, 付业腾. 中国生态效率测度与空间差异实证——基于 SBM 模型与空间自相关性的分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(6): 6-12.
- [8] 戴志敏, 曾宇航, 郭露. 华东地区工业生态效率面板数据研究——基于整合超效率 DEA 模型分析[J]. 软科学, 2016, 30(7): 35-39.
- [9] 任胜钢, 张如波, 袁宝龙. 长江经济带工业生态效率评价及区域差异研究[J]. 生态学报, 2018, 38(15): 5485-5497.
- [10] 杨亦民, 王梓龙. 湖南工业生态效率评价及影响因素实证分析——基于 DEA 方法[J]. 经济地理, 2017, 37(10): 151-156.
- [11] 郭露, 徐诗倩. 基于超效率 DEA 的工业生态效率——以中部六省 2003—2013 年数据为例[J]. 经济地理, 2016, 36(6): 116-121.
- [12] 王楠, 盖美. 基于非期望产出 SBM 模型的环渤海地区生态效率与影响因素研究[J]. 资源开发与市场, 2018, 34(6): 741-746.
- [13] 赵爽, 刘红. 基于三阶段 DEA 模型的我国工业企业生态效率研究[J]. 生态经济, 2016, 32(11): 88-91.
- [14] 张新林, 仇方道, 王长建, 等. 长三角城市群工业生态效率空间溢出效应及其影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8): 1791-1800.
- [15] 李在军, 胡美娟, 周年兴. 中国地级市工业生态效率空间格局及影响因素[J]. 经济地理, 2018, 38(12): 126-134.
- [16] 卢燕群, 袁鹏. 中国省域工业生态效率及影响因素的空间计量分析[J]. 资源科学, 2017, 39(7): 1326-1337.
- [17] 高文. 我国工业企业生态效率及污染治理研究[J]. 生态经济, 2017, 33(1): 21-27.
- [18] 谢琨, 刘思峰. 基于灰色评估的钢铁企业生态效率评价[J]. 生态经济, 2016, 32(5): 111-116.
- [19] 陆砚池, 方世明. 基于 SBM-DEA 和 Malmquist 模型的武汉城市圈城市建设用地生态效率时空演变及其影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(10): 1575-1586.
- [20] Tone K.A Slacks-based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis[J].European Journal of Operational Research,2001,130(3) 498-509.
- [21] Tone K.A Slacks-based Measure of Super-efficiency in Data Envelopment Analysis[J].European Journal of Operational Research,2002,143(1):32-41.
- [22] 黄和平, 李亚丽, 王智鹏. 基于 Super-SBM 模型的中国省域城市工业用地生态效率时空演变及影响因素研究[J]. 生态学报, 2020, (1): 1-12.
- [23] 金贵, 邓祥征, 赵晓东, 等. 2005-2014 年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征[J]. 地理学报, 2018, 73(7): 1242-1252.
- [24] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.
- [25] 成金华, 孙琼, 郭明晶, 等. 中国生态效率的区域差异及动态演化研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(1): 47-54.