珠江三角洲城市群工业生产空间格局、 形态特征及影响因素

丁俊^{1,2,3}, 王开泳^{1,2*}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:GIS空间分析技术为空间形态的精准判别提供了新的路径和研究视角。本文通过高分辨率Google Earth影像提取2013年珠江三角洲城市群的工业生产空间分布信息,运用分形模型、形态紧凑度、空间离散度、密度指数定量分析珠三角工业生产空间的形态特征,采用GIS空间分析并结合社会经济统计分析进一步探讨了影响其分布的主要因素。结果表明:①2013年珠江三角洲城市群的工业生产空间共有2604.71 km²,其空间分布呈现典型的“核心—边缘”结构,并且形成了交错式、零散式和集中式3种分布模式。②珠江三角洲城市群的工业生产空间具有很强的分形特征,核心区的分形维数整体小于外围地区,而空间结构的稳定性高于外围地区;珠三角各市中,工业生产空间形态紧凑度最高的为珠海、最低的为广州,而空间离散度最高的为惠州、最低的为中山;珠三角各市工业生产空间的规模差异显著,与经济规模、人口规模、工业企业数等呈较强的正相关关系,而东莞、深圳、中山、佛山的密度指数过高,需加强工业生产空间的集约高效利用。③自然因素与交通条件、城镇化与开发区的发展、政策的引导和调控以及经济全球化是珠江三角洲城市群工业生产空间分布的主要影响因素。

关键词:工业生产空间;空间形态;空间格局;形态特征;珠江三角洲城市群

1 引言

从功能空间的角度,可把城市空间划分为生产空间、生活空间和生态空间3部分。生产空间是国家或区域进行产品生产和生产服务的空间载体,以工业生产空间为主要表现形式。工业生产是工业化阶段区域发展的主导力量,其空间结构与演变反映了地区工业经济活动及其要素的空间格局和发展演化(夏丽丽等, 2009)。随着工业化和城镇化的快速推进,城市群地区的空间不断扩张,尤其以工业生产空间的变化最为剧烈,出现了无序扩张、用地混杂粗放等问题。在此背景下,党的十八大报告明确提出,要优化国土空间开发格局,控制开发强度,调整空间结构,促进“生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”。因

此,促进生产空间尤其是工业生产空间的集约高效地利用是生态文明建设背景下的一个重要课题。

目前,国内外学者对工业生产空间的有关内容已进行了广泛的研究。从研究内容看,主要包括工业集聚的区位因素及影响(Zhu, 2002; Fan et al, 2003; 叶玉瑶等, 2007; Lindsey et al, 2014a, 2014b)、空间重组(Liao et al, 2011; Tang et al, 2015)、空间分布与分异(李立勋等, 1997; 叶昌东等, 2010; 曹玉红等, 2015)、驱动机制(Scott, 1982; 申庆喜等, 2015),以及空间内部的产业转移(沈静等, 2012)、产业及土地利用政策(方忠权等, 2009; Howland, 2010)等。从研究方法看,主要以计量分析为主,大多通过构建一定的指标体系或模型来评价区内的工业发展水平及空间差异(伍世代等, 2011; 曾春水等, 2012; 洪俊杰等, 2014)。近年来,随着RS和GIS技术的迅

收稿日期:2015-11;修订日期:2016-03。

基金项目:国家自然科学基金项目(41371178) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41371178]。

作者简介:丁俊(1990-),男,云南曲靖人,硕士生,主要研究方向为城市地理、城市与区域规划,E-mail: dingj.14s@igsrr.ac.cn。

通讯作者:王开泳(1980-),男,山东滕州人,副研究员,主要从事城市地理与行政区划研究,E-mail: wangky@igsrr.ac.cn。

引用格式:丁俊,王开泳. 2016. 珠江三角洲城市群工业生产空间格局、形态特征及影响因素[J]. 地理科学进展, 35(5): 610-621. [Ding J, Wang K Y. 2016. Spatial pattern and morphological characteristics of industrial production space and influential factors in the Pearl River Delta urban agglomeration[J]. Progress in Geography, 35(5): 610-621.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.05.008

速发展,快速获得大范围的空间信息成为可能,为土地利用变化和空间演化有关的研究提供了新的思路和方法,因此成为地理科学研究的热门领域(黎夏等, 2009; Kuang, 2012),少数学者也利用RS和GIS技术对工业生产空间的开发特征(王智勇等, 2012)、时空演变(德力格尔等, 2014; 郭付友等, 2014)等进行了相关探索。从已有的研究来看,只是从计量和统计分析层面对工业生产空间进行过较多的分析,所刻画的工业生产空间格局较为模糊,很难直观地表达工业生产空间的实际分布状况,而对实体地域及其空间形态研究较少。

珠江三角洲(以下简称珠三角)作为中国改革开放的先行区及国家的优化开发地区,经济发达,工业实力雄厚,其城镇化和工业化发展在中国具有典型性和代表性(许学强等, 2009)。近年来,伴随土地资源紧张、劳动力成本上升、资源环境承载力告急等问题凸显,珠三角产业结构转型与空间结构调整迫在眉睫(樊杰等, 2009),工业生产空间的优化调控也成为其面临的迫切而重大的问题。而判别掌握工业生产空间的真实分布状况,是对其进行优化调控并推进集约高效利用的前提和基础。虽然珠三角的城镇化和工业化一直是学术界研究的热点,但研究的重点为珠三角整体的空间结构及土地利用(张文忠等, 2003; 王开泳等, 2008; Dai et al, 2010),很少从区域尺度专门对其工业实体空间的分布规律进行研究,相关的基础研究,如工业生产空间的空间边界与数量、空间形态及特征等也较为缺乏。为此,本文利用RS和GIS技术,通过高分辨率的Google Earth影像对珠三角工业生产空间的实体信息进行准确判别与提取,从空间形态学的角度并结合GIS空间分析对珠三角工业生产空间的分布格局与形态特征进行定性和定量分析,并在此基础上进一步揭示影响其分布的主要影响因素,以便为珠三角地区生产空间的优化与调控提供决策参考。

2 数据与方法

2.1 研究区域概况

本文所指的珠三角城市群包括广州、深圳、珠海、佛山、江门、东莞、中山7市和惠州市的市辖区、惠东县、博罗县以及肇庆的市辖区、高要市、四会市,总面积约4.17万km²。2013年,常住人口为5715.19万人,城镇化率为84.03%;地区生产总值

5.3万亿元,约占全国经济总量的9%;第二产业增加值为2.4万亿元,工业总产值达9.07万亿元。

2.2 数据来源与处理

本文的社会经济统计数据来源于《广东统计年鉴2014》,空间信息数据主要通过对2013年底珠三角Google Earth卫星影像矢量化而来。首先,利用Google卫星地图下载器获取珠三角高分辨率的Google Earth卫星影像(可看清建筑物);其次,通过ENVY软件对卫星影像和珠三角行政区划矢量图进行空间配准,使图像校正的误差控制在半个像元内;最后,将配准后的图像导入ArcGIS中,通过人工判读和目视解译对工业生产空间进行矢量化。为获取珠三角较为精准的工业生产空间布局,本文矢量化的范围不仅包括集聚的各类工业园区,也包括大量零散的独立工厂及乡镇工厂。在矢量化过程中,大部分工业生产空间能够清晰地识别出来,个别难以识别或不好确认的区域通过最新的地图或实地勘察进行校正和补充。通过以上步骤得到的珠三角城市群工业生产空间分布的矢量图,经GIS空间统计,工业生产空间总面积为2604.71km²,占整个城市群地区总面积的6.25%。

运用人工判读和目视解译方法进行工业生产空间的矢量化处理,虽工作量较大,但优点也非常明显,不仅能将集中连片的工业生产空间提取出来,而且能将那些分散、零碎、边缘的工业生产空间进行精准提取。珠三角城市群地区乡镇工业尤为发达,分布较为零散,利用该方法提取出的工业生产空间基本接近其实际的分布状况,精确性和实效性也比一般的遥感图像解译方法高很多。

2.3 研究方法

基于GIS空间分析技术,通过引入分形模型、形态紧凑度、空间离散度和密度指数等参数来定性、定量综合分析珠三角城市群工业生产空间的格局与形态特征。其中,前3个指数分别反映工业生产空间实体的复杂稳定程度、紧凑程度和离散程度,三者相互补充,充分表达了空间形态的不同侧面;密度指数则可进一步反映工业生产空间的开发强度。各参数的含义及计算方式如下所述。

2.3.1 分形特征模型

分形理论广泛应用于城市空间形态(赵萍等, 2003)、城市土地利用分形(贾文臣等, 2009)等方面的研究。因此,本文引入分形维数来定量分析工业生产空间的形态特征。分形维数不仅能反映用地

边界形状的复杂程度,还能反映用地的破碎程度和图形的空间填充能力(王青, 2002)。一般根据斑块周长和面积之间的关系来计算分形维数,其关系式为(杨涵等, 2009):

$$\ln A = \frac{2}{D} \ln P + C \quad (1)$$

式中: A 为工业生产空间的斑块面积; P 为斑块总周长; C 为常数(截距); D 为分形维数。 D 值的理论值为1.0~2.0, D 值越大,表示图形形状越复杂,边界越不规则,反之亦然。当 $D=1.5$ 时,表示斑块图形处于布朗随机运动状态,越接近该值,则稳定性越差。据此可以定义工业生产空间的稳定性指数(SK)如下(徐建华, 2002):

$$SK = |1.5 - D| \quad (2)$$

式中: SK 的理论值为0~0.5, SK 值越大,表明工业生产空间越稳定,反之亦然。

2.3.2 形态紧凑度

形态紧凑度被认为是反映城市空间形态的一个十分重要的概念(王新生等, 2005),其计算公式为:

$$C = 2\sqrt{\pi A} / P \quad (3)$$

式中: C 为形态紧凑度; A 和 P 同式(1)。 C 值越大,工业生产空间的形态紧凑性越高;反之,形态紧凑性越低。

2.3.3 空间离散度

空间离散度指数是区域差异程度的定量表达,反映了面状区域上离散点的分布情况。由于珠三角城市群工业生产空间的单体斑块相对于城市乃至整个区域的尺度来说非常小,因此可将其抽象为区域上的点来研究其空间离散度。衡量空间离散度的指标有很多(郭仁忠, 2001; 李新运, 2004),本文引入加权平均重心距离和加权平均间距2个指标来综合评价。

(1) 加权平均重心距离

加权平均重心距离反映的是空间点集相对于分布重心的径向离散程度,具有长度量纲。设空间点 $p_i(x_i, y_i)$ 的属性值为 a_i ,则点集的分布重心坐标(x_g, y_g)为:

$$x_g = \sum(a_i \times x_i) / \sum a_i \quad (4)$$

$$y_g = \sum(a_i \times y_i) / \sum a_i \quad (5)$$

点集到分布重心的加权平均距离为:

$$\bar{d}_1 = \sum(a_i \times d_i) / \sum a_i \quad (6)$$

式(4)-(6)中:属性值 a_i 为相应工业生产空间的面积; d_i 为点 p_i 到分布重心的距离; $\bar{d}_1$ 为加权平均重心距

离; $i(i=1, 2, \dots, n)$ 为区域内点的数量。

(2) 加权平均间距

由于空间点集既有位置坐标又有属性特征,因此点与点之间的相对距离具有不对称性(李新运, 2004)。定义从点 p_i 到 p_j 的距离为 d_{ij} ,从点 p_j 到 p_i 的距离为 d_{ji} ,即

$$d_{ij} = a_j \times \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (7)$$

$$d_{ji} = a_i \times \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (8)$$

则点集之间的加权平均间距为:

$$\bar{d}_2 = \sum_i \sum_j d_{ij} / \sum(n \times a_i) \quad (9)$$

式中: $\bar{d}_2$ 为加权平均间距; $i, j(i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n; i \neq j)$ 为区域内点的数量。

(3) 空间离散度

由于 $\bar{d}_1$ 和 $\bar{d}_2$ 对空间离散度的贡献程度差不多,故采用等权重的方法对其赋权(李贺颖等, 2014)。利用Z-score标准化方法分别对 $\bar{d}_1$ 和 $\bar{d}_2$ 进行标准化处理为 d_1 和 d_2 ,最终利用式(10)计算得到空间离散度 DCI 。 DCI 数值越大,工业生产空间分布越离散;反之亦然。

$$DCI = (d_1 + d_2) / 2 \quad (10)$$

2.3.4 密度指数

密度指数即工业生产空间面积与城市总面积的比值,反映了工业生产空间的开发强度,计算公式如下:

$$\rho = (A/A_0) \times 100\% \quad (11)$$

式中: ρ 为密度指数; A 为工业生产空间面积; A_0 为城市总面积。

3 珠三角城市群工业生产空间的总体分布格局与形态特征

3.1 总体分布格局

改革开放以来,珠三角城市群通过“三来一补”和发达的乡镇企业率先实现自下而上的工业化和城镇化,形成了许多高度专业化的工业城镇,工业遍地开花,呈现“村村点火,户户冒烟”的全域式工业化景象。经过30多年的发展,珠三角城市群工业生产空间逐渐形成了特有的分布格局。从区域的总体布局可以直观看出(图1),珠三角城市群的工业生产空间在珠江入海口两岸分布最为密集,并形成了集中连片的发展态势,体现了珠三角城市群一体

化的发展趋势。而在珠三角城市群的外围地区,工业生产空间分布较为零散,只在一些区位条件较好或重要的交通沿线呈小规模集聚。另外,珠三角城市群的工业生产空间大多围绕城市核心节点进行空间布局,距离城市核心节点越近,工业生产空间分布越集中,规模越大;距离城市核心节点越远,工业生产空间分布则相对松散。总体上看,珠三角城市群工业生产空间的分布格局呈现出比较典型的“核心—边缘”结构,内圈层为工业生产空间密集区,外圈层为工业生产空间松散带。

珠三角城市群的工业生产空间与城市生活空间、生态空间相互交织和相互影响,根据三者之间的空间关系,可将其归纳为以下3种空间分布模式(图2):

模式Ⅰ:交错分布模式。这类模式的主要特点是工业生产空间与生活空间、生态空间交错分布,3种空间的面积比例相差不大,均呈集中连片的发展

态势,主要位于城市核心区的周边。在这类分布模式中,工业生产空间往往与城市郊区的居住区、生态绿地等相邻,并且距离城市中心区较近,一些“三高”工业企业的存在,在一定程度上会给生活环境和生态环境造成污染,影响城市的人居环境和可持续发展。在城市群空间的优化调控中,对于这类空间分布模式应重点协调好生产、生活、生态三者之间的比例与空间分布关系,促进其协调发展。

模式Ⅱ:零散分布模式。这类模式主要位于珠三角城市群核心区的外围,以森林、农田等大面积的生态空间为主体,工业生产空间的规模较小,沿高速公路、国道、省道等主要交通干道两侧零散分布,多为镇办或村办的小型工厂。这类工业生产空间没有经过统一的规划和规范的管控,占用农用地、林地等现象非常普遍,不仅用地粗放、效率低下、呈破碎化分布,而且在一定程度上给当地造成了空气污染、水体污染和土壤污染。

模式Ⅲ:集中分布模式。这类模式多为大中型开发区,城市核心区周边或外围均有分布,以工业生产空间为主体,生活空间、生态空间(多为绿地)、空地零散分布。此类型也反映出了开发区的内部结构特征和土地的利用程度。珠三角城市群有众多的开发区和工业园区,大部分开发区呈现规模化布局,空间形态较为紧凑集中。但也有一些开发区存在盲目圈地的现象,产业用地较为粗放,大片土地空置,利用效率较低。

3.2 形态特征

3.2.1 分形特征

利用ArcGIS 10.0提取2013年珠三角城市群各市工业生产空间各斑块的面积(A)与周长(P)的属性值,利用SPSS对各市工业生产空间的斑块周长—面积双对数绘制散点图,并进行线性回归分析,进

图1 珠三角城市群工业生产空间总体分布图

Fig.1 Overall distribution of industrial production space in the Pearl River Delta region

图2 珠三角城市群工业生产空间分布模式

Fig.2 Spatial distribution patterns of industrial production space in the Pearl River Delta region

而根据式(1)和式(2)计算得到各市工业生产空间的分形维数和稳定性指数(表1)。分析可知,各市工业生产空间的周长(P)—面积(A)关系模型的相关系数均较高,并且通过了显著性检验,说明具有很强的分形特征。

2013年珠三角城市群各市工业生产空间分形维数最大的城市为肇庆,其次为江门和惠州,表明其空间结构较为复杂,工业生产空间分布较为破碎;分形维数最小的城市为东莞,其次为佛山和珠海,表明其空间结构相对简单,工业生产空间分布相对规整。由此可见,珠三角城市群核心区工业生产空间的分形维数整体小于外围地区。这是由于珠三角城市群核心地区的工业化和城镇化水平较高,城市建设用地较为紧张,许多工业生产空间得到了统一规划而使其边界相对整齐、规则;而外围地区工业化和城镇水平相对较低,并处于快速发展时期,工业生产空间规模小且分布杂,呈现快速扩张趋势,使其边界形状较为复杂且不规则。

从稳定性指数来看,2013年工业生产空间结构最稳定的是东莞,其次为佛山和珠海;而工业生产空间结构最不稳定的是肇庆,其次为江门和惠州。这与分形维数的排序正好相反,一方面表明珠三角城市群核心区工业生产空间受规划控制和建设用地紧张的影响,其空间结构较为稳定;另一方面也表明核心区工业生产空间用地扩张态势减缓,空间范围相对稳定,而外围地区的工业生产空间处于快速扩张阶段而使其空间结构不稳定。

3.2.2 形态紧凑性与空间离散程度

根据式(3)计算得到珠三角城市群各市工业生产空间的形态紧凑度(表2),结果表明:珠三角城市群工业生产空间整体的形态紧凑性不高,范围在

0.0200~0.0697之间。其中,形态紧凑度最高的为珠海,最低的为广州,说明珠海工业生产空间外围轮廓的形态较为紧凑,而广州工业生产空间外围轮廓的形态较为分散。

根据式(4)-(10)计算得到珠三角城市群各市工业生产空间的空间离散度(表2),结果表明:惠州工业生产空间的空间离散度最高,其次为广州和江门,表明其工业生产空间分布较为离散;而中山工业生产空间的空间离散度最低,其次为珠海和深圳,表明其工业生产空间分布相对集中。由于惠州、江门的区域空间较大,除靠近珠三角城市群核心区有少量集中分布外,其余工业生产空间主要沿外围地区的交通干道零散分布,使得其空间离散程度较高;广州南部的工业生产空间分布相对集中,但其北部由于地形等影响,工业生产空间分布较为零散且稀少,使得其整体的空间离散程度较高。而中山、珠海和深圳均位于珠三角城市群核心地区,地域空间相对较小且城市建设用地较为紧张,工业生产空间的分布相对集中。可以看出,珠三角城市群核心区工业生产空间的空间离散度较低,而外围地区工业生产空间的空间离散度较高。

3.2.3 密度与规模特征

利用ArcGIS 10.0对珠三角城市群各市工业生产空间的规模进行空间统计,并根据式(11)计算得到工业生产空间的密度指数(图3)。从工业生产空间的规模来看,珠三角的工业生产空间共有2604.71 km²。其中,佛山的规模最大,为525.24 km²;肇庆的规模最小,为74.66 km²。广州、佛山、深圳、东莞4市的工业生产空间规模占整个珠三角的70.65%。可以看出,珠三角各市工业生产空间的规模差异显著。进一步利用SPSS对珠三角各市2013

表1 2013年珠三角城市群各市工业生产空间分形维数与稳定性指数

Tab.1 Fractal dimensions and stability indices of industrial production space of cities in the Pearl River Delta region in 2013

城市	斑块数/个	周长(P)—面积(A)关系模型	相关系数 r	分形维数 D	稳定性指数 SK
广州	1859	$\ln A = 1.8727 \ln P - 2.3413$	0.9098	1.0680	0.4320
佛山	1569	$\ln A = 1.9339 \ln P - 2.7536$	0.9377	1.0342	0.4658
肇庆	250	$\ln A = 1.7527 \ln P - 1.2625$	0.9831	1.1411	0.3589
深圳	970	$\ln A = 1.8932 \ln P - 2.4360$	0.8836	1.0564	0.4436
东莞	1635	$\ln A = 1.9822 \ln P - 3.1968$	0.8991	1.0090	0.4910
惠州	1043	$\ln A = 1.8038 \ln P - 1.7002$	0.9148	1.1088	0.3912
珠海	214	$\ln A = 1.9010 \ln P - 2.5133$	0.9178	1.0521	0.4479
中山	761	$\ln A = 1.8571 \ln P - 2.2528$	0.9017	1.0769	0.4231
江门	1025	$\ln A = 1.7646 \ln P - 1.4556$	0.9624	1.1334	0.3666

年的工业生产空间规模与工业总产值、经济规模、人口规模、工业增加值和工业企业数进行相关分析(表3),结果表明:工业生产空间规模与各指标均呈正相关关系,并且与工业企业数、工业总产值、人口规模和工业增加值显著相关。这说明工业生产空间与各指标间存在相关促进的关系,工业生产空间规模的扩大可以促进工业产值的提高和经济的增长,工业企业数量的增加和人口的集聚在一定程度上也会促进工业生产空间规模的扩大。

从工业生产空间的密度指数来看,东莞最高,达21.85%,深圳次之(16.56%),中山(13.41%)和佛山(13.29%)也相对较高;而肇庆最小,为1.83%。由此也可以反映出东莞、深圳、中山、佛山的开发强度高。尤其是东莞,仅是工业生产空间就占总面积的21.85%,再加上生活空间,其开发强度早已超过30%。按照国际惯例,一个地区国土开发强度的警戒线为30%,超过该强度,人的生存环境就会受到影响。而事实上,东莞、深圳、中山、佛山的国土开发强度已超过了国际警戒线,珠海、广州也已逼近该强度。珠三角城市群土地开发与需求的矛盾已十分尖锐,在以后的国土空间开发中应以盘活存量为主,提高土地的集约利用效率。

表2 2013年珠三角城市群各市工业生产空间形态紧凑度与空间离散度

Tab.2 Compact ratios and discrete degrees of industrial production space of cities in the Pearl River Delta region in 2013

城市	紧凑度 C	加权重心 距离/km	加权平均 距离/km	空间离散度 DCI
广州	0.0200	24.41	35.64	1.1483
佛山	0.0219	20.08	27.89	-0.2143
肇庆	0.0621	20.62	29.30	-0.0011
深圳	0.0272	18.54	26.14	-0.5998
东莞	0.0204	20.64	27.90	-0.1336
惠州	0.0277	27.47	38.21	1.8292
珠海	0.0697	17.10	23.88	-1.0222
中山	0.0312	15.02	21.16	-1.5800
江门	0.0278	22.41	32.61	0.5735

表3 工业生产空间规模与不同指标的相关分析

Tab.3 Correlation analysis between the scale of industrial production space and other indices

指标	工业总产值	经济规模	人口规模	工业增加值	工业企业数
相关系数	0.722*	0.634	0.763*	0.681*	0.863**
Sig.	0.028	0.067	0.017	0.044	0.003

注:*表示在0.05水平上显著相关;**表示在0.01水平上显著相关。

4 珠三角城市群工业生产空间形成的主要影响因素

作为改革开放的前沿阵地,珠三角城市群工业生产空间的大规模集聚具有一定的特殊性,其当前的分布格局与形态特征是自然/空间因子及政治、经济、社会等人文因子共同作用的结果(闫小培等,2006;叶玉瑶等,2010)(图4)。总体而言,自然基础和交通条件为珠三角城市群工业生产空间的形成和布局奠定了基础框架,提供了空间载体;城镇化和开发区的设置则为工业生产空间的布局提供了根本动力,并连锁性带动周边地区用地向工业生产空间转变;政策引导与调控规定了工业生产空间的发展方向,并影响其开发进程;经济全球化和要素流动是工业生产空间大规模集聚的外部动力,也为工业生产空间的扩展提供了外部环境。

4.1 自然因素与交通条件

自然条件是珠三角城市群工业生产空间产生和形成的空间载体,地形和地貌条件不仅影响工业生产空间分布的基本框架,也影响其区位选择和开发次序,具有明显的空间指向性(叶玉瑶等,2010)。珠江三角洲是一个发育在海湾内的丘陵性三角洲,地形以平原为主,其间山丘散布,河道纵横。珠三角的地势北高南低,核心区主要是地势低平的平原和河谷地带,外围则以山地和丘陵为主,形成了一

图3 珠三角城市群各市工业生产空间规模和密度指数

Fig.3 Scale and density index of industrial production space of cities in the Pearl River Delta region

图4 珠三角城市群工业生产空间形成的主要影响因素

Fig.4 Influencing factors of industrial production space formation in the Pearl River Delta region

个相对闭合的空间格局。受地形条件的影响,珠三角城市群的工业生产空间基本上分布于地形平坦、海拔较低的平原和浅山地带(图5),以方便工业生产活动的合理布局 and 人们的生活与交通。此外,工业生产需要大量的用水,珠江作为珠三角地区的主要河流,也对工业生产空间的分布产生重要影响。利用 ArcGIS 10.0 对珠江干流进行缓冲分析和叠置分析(图6),结果表明:在珠江干流两侧 5 km 范围内分布的工业生产空间达 951.31 km², 占总面积的 36.52%。

珠三角城市群的工业生产空间与主要交通干道有着紧密的共生关系。良好的交通条件很容易形成具有竞争力的区位优势,吸引产业和人口集聚,尤其是在一些主要交通干道的两侧,工业生产

空间分布最为密集。以高速公路为例,利用软件 ArcGIS 10.0 对其进行缓冲分析和叠置分析(图7),研究发现,在高速公路两侧 2 km 范围内分布的工业生产空间 1041.79 km², 占工业生产空间总面积的 40%;而在高速公路两侧 5 km 范围内分布的工业生产空间 1870.66 km², 占工业生产空间总面积的比例高达 71.82%。可以看出,交通条件对珠三角城市群工业生产空间的分布具有较强的导向作用。

4.2 城镇化及开发区的带动效应

城镇化过程与工业生产空间组织既同步变化又相互影响(许学强等, 2009)。改革开放以来,珠三角地区通过自下而上的工业化有力推动了城镇化的进程,而城镇化的发展也为工业生产空间的布局提供了根本动力,并影响其空间形态。对珠三角各

图5 珠三角地形与工业生产空间分布图

Fig.5 Industrial production space and topography of the Pearl River Delta region

图6 珠江干流 5 km 缓冲区内工业生产空间

Fig.6 Industrial production space within the 5 km buffer on both sides of the Pearl River

地区的城镇化率与分形维数进行曲线拟合(图8),结果表明:城镇化率与分形维数呈现指数变化关系,工业生产空间的分形维数随城镇化率的提高呈指数缓慢下降。一方面,这说明随着城镇化水平的提高,工业生产空间的空间形态趋于规则和稳定;另一方面,这也印证了前文珠三角城市群工业生产空间分形特征的结果,即珠三角城市群核心区的城镇化率高于外围地区,而分形维数小于外围地区。

近年来,随着工业化和城镇化进程的快速推进,各类开发区作为工业企业的空间载体快速兴起,并得到大规模开发建设,不仅加速了城市空间的扩张,而且也带动了工业生产空间的集聚与扩散。截至2013年底,珠三角城市群共有27个各类国家级开发区,20个各类省级开发区,以及上百个市级工业园区(图9)。可以看出,许多工业企业均在各类开发区和工业园区集聚发展,工业生产空间的

集聚状态也与开发区和工业园区的区位保持一致。

4.3 政策的引导和调控作用

政策的引导和调控对珠三角城市群工业生产空间的形成影响巨大。率先推行的改革开放政策为珠三角地区带来了良好的发展机遇,以土地为载体吸引了大量的“三来一补”企业和“三资”企业,并通过“前店后厂”的发展模式(Sit, 1998),极大促进了乡镇企业和地方工业的发展,形成了范围广阔的工业生产空间。深圳与珠海的特区制度及其招商引资政策,以及各市优惠的人口和土地政策,也吸引了大量产业集聚,逐渐形成了珠三角地区工业生产空间的区域布局。地方政府为了各自的发展目标与竞合关系,通过城市规划手段及产业发展政策对工业布局进行干预,从而影响工业生产空间的发展方向与空间形态。另外,从城市内部来看,一些重大工业项目的布局和行政区划调整也影响了工业生产空间的分布(叶昌东等, 2010)。例如2000年,广州提出“南拓”发展战略后,包括广州钢铁厂在内的许多项目纷纷南迁,推动了广州南部工业的发展;2005年广州新设南沙区、萝岗区作为工业集聚区,加快发展步伐,促进了两地工业生产空间的集聚。

4.4 经济全球化的影响

经济全球化作为一种经济发展潮流深刻影响着世界范围内的经济联系与空间格局。改革开放以来,珠三角地区凭借良好的区位优势和政策环境吸引了大量外资(Yang, 2006),并通过劳动力成本和土地成本低廉的比较优势,极大地促进了制造业的发展,成为了全球最大的制造业生产基地和名副其实

图7 珠三角城市群高速公路2 km和5 km缓冲区内工业生产空间

Fig.7 Industrial production space within the 2 km and 5 km buffers of highways in the Pearl River Delta region

图8 珠三角地区工业生产空间与城镇化率的曲线拟合
Fig.8 Fitting curve of industrial production space and urbanization rate of the Pearl River Delta region

图9 珠三角城市群各类国家级和省级开发区分布图
Fig.9 Distribution of national-level and provincial-level development zones in the Pearl River Delta region

实的“世界工厂”(李燕等, 2013)。外商投资将全球的资金、人才、管理技术等输送到珠三角产业的各个生产和服务环节, 推动并促进了工业企业的发展和集聚, 间接影响了工业生产空间的布局与调整, 尤其是香港与珠三角地区跨行政区紧密的经济联系对珠三角地区的工业格局影响深远(Lin, 1997; Smart et al, 2004)。从实际利用外资的空间分布来看(图 10), 珠三角地区的外商直接投资主要集中于靠近珠江入海口岸的核心地区。若将图 10 和图 1 进行对比, 可直观地看出, 珠三角地区外资利用与工业生产空间的分布具有十分相似的空间特征。由此可见, 外资的流向对于珠三角城市群工业生产空间的集聚具有重要的影响。

5 结论与讨论

5.1 结论

本文利用 RS 和 GIS 技术准确判别与提取了珠三角城市群工业生产空间的实体信息, 从空间形态学的角度对其分布格局与形态特征进行了定性与定量分析, 并进一步揭示了影响其分布的主要因素。主要结论如下:

(1) 2013 年珠三角城市群的工业生产空间总规模为 2604.71 km²。工业生产空间总体上呈现“核心—边缘”的结构特征, 在珠三角城市群内圈层分布较为密集, 外圈层则相对松散。工业生产空间与城市生活空间、生态空间相互交织, 形成了 3 种不同的

空间分布模式, 分别是交错分布模式、零散分布模式和集中分布模式。

(2) 珠三角城市群工业生产空间具有很强的分形特征, 核心区的分形维数整体小于外围地区, 而空间结构的稳定性高于外围地区。珠三角城市群各市中, 工业生产空间形态紧凑度最高的为珠海、最低的为广州, 而空间离散度最高的为惠州、最低的为中山。珠三角各市工业生产空间的规模差异显著, 与经济规模、人口规模、工业企业数等呈较强的正相关, 而东莞、深圳、中山、佛山的密度指数过高, 在今后的发展中应注意控制增量。

(3) 珠三角城市群工业生产空间的形成与分布具有一定的特殊性, 主要受自然因素与交通条件、城镇化和开发区的发展、政策的引导和调控以及经济全球化等因素影响。

5.2 讨论

工业生产空间的分布是由特定发展阶段决定的, 作为改革开放的前沿, 珠三角地区的工业化的确带动了整个区域的发展, 但也存在工业生产空间用地粗放、密度过高等问题。在经济全球化和新型城镇化背景下, 全球出口压力增大、劳动力成本上升、环境质量要求越来越严格等问题使得珠三角地区原来粗放式的发展方式难以为继。未来应严格控制珠三角城市群工业生产空间的量的增长, 并更加关注质的提升, 加快推进传统工业企业的转型升级, 优化调控工业生产空间的布局, 塑造更加集约高效的生产空间分布格局。而要对工业生产空间进行优化调控, 判别掌握其真实分布状况既是前提也是基础。本文通过 RS 和 GIS 技术弄清了珠三角城市群工业生产空间规模、空间分布及空间形态特征等问题, 这对于下一步进行工业生产空间的优化调控具有重要的参考价值。

当然, 不足的是, 由于图像处理的工作量较大, 本文主要是静态的研究, 未来将进一步增加时间维度探讨其空间演化过程及机理。生产空间的优化调控已经纳入国家战略, 但在研究层面的相关成果相对较少, 对于生产空间的优化调控和空间政策研究也亟需加强。另外, 生产空间是一个内涵较为广泛的概念, 其类型不仅包括工业生产空间, 还有仓储物流空间、农业生产空间等, 各类生产空间之间的关系如何, 工业生产空间与城市生活空间和生态空间之间如何协调? 这些均是今后需要深入研究的课题。

图 10 2013 年珠三角地区各区县外商直接投资空间分异图

Fig. 10 Foreign direct investment by county in the Pearl River Delta region in 2013

参考文献(References)

- 曹玉红, 宋艳卿, 朱胜清, 等. 2015. 基于点状数据的上海都市型工业空间格局研究[J]. 地理研究, 34(9): 1708-1720. [Cao Y H, Song Y Q, Zhu S Q, et al. 2015. The spatial pattern of Shanghai urban industry based on point data [J]. Geographical Research, 34(9): 1708-1720.]
- 德力格尔, 袁家冬, 李媛媛. 2014. 长春市工业空间格局时空演变特征[J]. 经济地理, 34(11): 81-86. [Deligeer, Yuan J D, Li Y Y. 2014. The spatial-temporal evolution characteristics of the industrial spatial in Changchun[J]. Economic Geography, 34(11): 81-86.]
- 樊杰, 陈东. 2009. 珠江三角洲产业结构转型与空间结构调整的战略思考[J]. 中国科学院院刊, 24(2): 138-144. [Fan J, Chen D. 2009. Strategic consideration on the industrial structure transformation and spatial structure adjustment in Pearl River Delta[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 24(2): 138-144.]
- 方忠权, 余国扬. 2009. 珠江三角洲产业空间协调的政策取向[J]. 热带地理, 29(6): 539-543. [Fang Z Q, Yu G Y. 2009. Policy orientation of industrial spatial coordination in the Pearl River Delta[J]. Tropical Geography, 29(6): 539-543.]
- 郭付友, 陈才, 刘继生. 2014. 1990年以来长春市工业空间扩展的驱动力分析[J]. 人文地理, (6): 88-94. [Guo F Y, Chen C, Liu J S. 2014. Research on the extension characteristics and driving forces of industrial space in Changchun since 1990[J]. Human Geography, (6): 88-94.]
- 郭仁忠. 2001. 空间分析[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社. [Guo R Z. 2001. Spacial analysis[M]. 2nd ed. Beijing, China: Higher Education Press.]
- 洪俊杰, 刘志强, 黄薇. 2014. 区域振兴战略与中国工业空间结构变动: 对中国工业企业调查数据的实证分析[J]. 经济研究, (8): 28-40. [Hong J J, Liu Z Q, Huang W. 2014. Regional revitalization strategies and the industrial spatial structure changes in China: Evidence based on China industrial survey database[J]. Economic Research Journal, (8): 28-40.]
- 贾文臣, 贾香云, 李福印, 等. 2009. 威海市土地利用分形特征动态变化[J]. 地理科学进展, 28(2): 193-198. [Jia W C, Jia X Y, Li F Y, et al. 2009. Dynamic changes of land use fractal characteristic in Weihai, China[J]. Progress in Geography, 28(2): 193-198.]
- 黎夏, 叶嘉安. 1999. 基于遥感和GIS的辅助规划模型: 以珠江三角洲可持续土地开发为例[J]. 遥感学报, 3(3): 215-219. [Li X, Yeh A G. 1999. A planning support model for sustainable land development using remote sensing and GIS: A case study in the Pearl River Delta[J]. Journal of Remote Sensing, 3(3): 215-219.]
- 李贺颖, 王艳慧. 2014. 贫困县村级居民点空间分布离散度与农村居民纯收入关联格局分析[J]. 地理研究, 33(9): 1617-1628. [Li H Y, Wang Y H. 2014. Discrete degree on village settlement's spatial distribution and its correlation with net income of rural residents in poverty county[J]. Geographical Research, 33(9): 1617-1628.]
- 李立勋. 1997. 珠江三角洲乡镇企业发展的地域特征[J]. 热带地理, 17(1): 47-52. [Li L X. 1997. The development features of the township enterprises in the Pearl River Delta[J]. Tropical Geography, 17(1): 47-52.]
- 李新运. 2004. 城市空间数据挖掘方法与应用研究[D]. 青岛: 山东科技大学. [Li X Y. 2004. Research on the method and application of urban spatial data mining[D]. Qingdao, China: Shandong University of Science and Technology.]
- 李燕, 贺灿飞. 2013. 1998-2009年珠江三角洲制造业空间转移特征及其机制[J]. 地理科学进展, 32(5): 777-787. [Li Y, He C F. 2013. Characteristics and mechanism of manufacturing industry shift in the Pearl River Delta during 1998-2009[J]. Progress in Geography, 32(5): 777-787.]
- 申庆喜, 李诚固, 周国磊. 2015. 基于工业空间视角的长春市1995-2011年城市功能空间耦合特征与机制研究[J]. 地理科学, 35(7): 882-889. [Shen Q X, Li C G, Zhou G L. 2015. Coupling characteristics and mechanism of urban functional space of Changchun based on the perspective of industrial space in 1995-2011[J]. Scientia Geographica Sinica, 35(7): 882-889.]
- 沈静, 向澄, 柳意云. 2012. 广东省污染密集型产业转移机制: 基于2000-2009年面板数据模型的实证[J]. 地理研究, 31(2): 357-368. [Shen J, Xiang C, Liu Y Y. 2012. The mechanism of pollution-intensive industry relocation in Guangdong Province, 2000-2009[J]. Geographical Research, 31(2): 357-368.]
- 王开泳, 陈田. 2008. 珠江三角洲都市经济区地域构成的判别与分析[J]. 地理学报, 63(8): 820-828. [Wang K Y, Chen T. 2008. The classification and analysis of areal topology in extended metropolitan area of Pearl River Delta [J]. Acta Geographica Sinica, 63(8): 820-828.]
- 王青. 2002. 城市形态空间演变定量研究初探: 以太原市为例[J]. 经济地理, 22(3): 339-341. [Wang Q. 2002. A quantitative study on the change of urban structure based on Taiyuan City[J]. Economic Geography, 22(3): 339-341.]
- 王新生, 刘纪远, 庄大方, 等. 2005. 中国特大城市空间形态变化的时空特征[J]. 地理学报, 60(3): 392-400. [Wang X S, Liu J Y, Zhuang D F, et al. 2005. Spatial-temporal changes of urban spatial morphology in China[J]. Acta Geographica Sinica, 60(3): 392-400.]
- 王智勇, 黄亚平, 张毅. 2012. 基于GIS的武汉城市工业空间发展的实证研究[J]. 华中建筑, (3): 132-138. [Wang Z Y,

- Huang Y P, Zhang Y. 2012. An empirical study of the industrial space development in Wuhan City based on GIS[J]. *Huazhong Architecture*, (3): 132-138.]
- 伍世代, 李婷婷. 2011. 海西城市群工业空间格局与演化分析[J]. *地理科学*, 31(3): 309-315. [Wu S D, Li T T. 2011. Evolution of spatial structure of industry on urban agglomeration in western coastal China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 31(3): 309-315.]
- 夏丽丽, 闫小培. 2009. 基于重化工业发展的珠江三角洲工业空间结构演变研究[J]. *人文地理*, 24(6): 68-72. [Xia L L, Yan X P. 2009. A study on the evolution of industrial spatial structure of Pearl River Delta based on the heavy industry development[J]. *Human Geography*, 24(6): 68-72.]
- 徐建华. 2002. 现代地理学中的数学方法[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社. [Xu J H. 2002. *Mathematical methods in contemporary geography*[M]. 2nd ed. Beijing, China: Higher Education Press.]
- 许学强, 李郁. 2009. 改革开放30年珠江三角洲城镇化的回顾与展望[J]. *经济地理*, 29(1): 13-18. [Xu X Q, Li X. 2009. Review and preview of the urbanization in Pearl River Delta in the past 30 years of reform and opening up[J]. *Economic Geography*, 29(1): 13-18.]
- 闫小培, 毛蒋兴, 普军. 2006. 巨型城市区域土地利用变化的人文因素分析: 以珠江三角洲地区为例[J]. *地理学报*, 61(6): 613-623. [Yan X P, Mao J X, Pu J. 2006. Research on the human dimensions of land use changes in the mega-urban region: A case study of the Pearl River Delta[J]. *Acta Geographica Sinica*, 61(6): 613-623.]
- 杨涵, 王芳芳, 吴世新, 等. 2009. 基于分形理论的新疆土地利用空间格局分析[J]. *干旱区研究*, 26(2): 194-199. [Yang H, Wang F F, Wu S X, et al. 2009. Evaluation of the spatial pattern of land use in Xinjiang in the last 15 years based on fractal theory[J]. *Arid Zone Research*, 26(2): 194-199.]
- 叶昌东, 周春山, 刘艳艳. 2010. 近10年来广州工业空间分异及其演进机制研究[J]. *经济地理*, 30(10): 1664-1669. [Ye C D, Zhou C S, Liu Y Y. 2010. The industrial spatial differentiation and its evolution mechanism of Guangzhou in recent ten years[J]. *Economic Geography*, 30(10): 1664-1669.]
- 叶玉瑶, 张虹鸥. 2007. 珠江三角洲城市群空间集聚与扩散[J]. *经济地理*, 27(5): 773-776. [Ye Y Y, Zhang H O. 2007. The spatial agglomeration and dispersion in the Pearl River Delta[J]. *Economic Geography*, 27(5): 773-776.]
- 叶玉瑶, 张虹鸥, 刘凯, 等. 2010. 地理区位因子对建设用地扩展的影响分析: 以珠江三角洲为例[J]. *地理科学进展*, 29(11): 1433-1441. [Ye Y Y, Zhang H O, Liu K, et al. 2010. Impact of site factors on expansion of construction land: A case study in the Pearl River Delta[J]. *Progress in Geography*, 29(11): 1433-1441.]
- 曾春水, 蔺雪芹, 王开泳, 等. 2012. 中国八大经济区工业竞争力空间格局及投入产出分析[J]. *地理科学进展*, 31(8): 1005-1012. [Zeng C S, Lin X Q, Wang K Y, et al. 2012. Research on spatial patterns and input-output analysis of industrial competitiveness of economic regions in China[J]. *Progress in Geography*, 31(8): 1005-1012.]
- 张文忠, 王传胜, 吕昕, 等. 2003. 珠江三角洲土地利用变化与工业化和城市化的耦合关系[J]. *地理学报*, 58(5): 677-685. [Zhang W Z, Wang C S, Lv X, et al. 2003. Coupling relationship between land use change and industrialization & urbanization in the Zhujiang River Delta[J]. *Acta Geographica Sinica*, 58(5): 677-685.]
- 赵萍, 冯学智. 2003. 基于遥感与GIS技术的城镇体系空间特征的分形分析: 以绍兴市为例[J]. *地理科学*, 23(6): 721-727. [Zhao P, Feng X Z. 2003. Fractal analysis of urban system spatial characteristics based on remote sensing and GIS: A case study of Shaoxing[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 23(6): 721-727.]
- Dai J L, Wang K Y, Gao X L. 2010. Spatial structure and land use control in extended metropolitan region of Zhujiang River Delta, China[J]. *Chinese Geographical Science*, 20(4): 298-308.
- Fan C C, Scott A J. 2003. Industrial agglomeration and development: A survey of spatial economic issues in East Asia and a statistical analysis of Chinese regions[J]. *Economic Geography*, 79(3): 295-319.
- Howland M. 2010. Planning for industry in a post-industrial world: Assessing industrial land in a suburban economy[J]. *Journal of the American Planning Association*, 77(1): 39-53.
- Kuang W H. 2012. Spatio-temporal patterns of intra-urban land use change in Beijing, China between 1984 and 2008[J]. *Chinese Geographical Science*, 22(2): 210-220.
- Liao H F, Chan R C K. 2011. Industrial relocation of Hong Kong manufacturing firms: Towards an expanding industrial space beyond the Pearl River Delta[J]. *GeoJournal*, 76(6): 623-639.
- Lin G C S. 1997. Red capitalism in South China: Growth and development of the Pearl River Delta[M]. Vancouver, Canada: University of British Columbia Press.
- Lindsey C, Mahmassani H S, Mullarkey M, et al. 2014a. Industrial space demand and freight transportation activity: Exploring the connection[J]. *Journal of Transport Geography*, 37: 93-101.
- Lindsey C, Mahmassani H S, Mullarkey M, et al. 2014b. Re-

- gional logistics hubs, freight activity and industrial space demand: Econometric analysis[J]. *Research in Transportation Business & Management*, 11: 98-104.
- Scott A J. 1982. Locational patterns and dynamics of industrial activity in the modern metropolis[J]. *Urban Study*, 19(2): 111-141.
- Sit V F S. 1998. Hong Kong's "transferred" industrialization and industrial geography[J]. *Asian Survey*, 38(9): 880-904.
- Smart A, Hsu J-Y. 2004. The Chinese diaspora, foreign investment and economic development in China[J]. *The Review of International Affairs*, 3(4): 544-566.
- Tang B-S, Ho W K O. 2015. Land-use planning and market adjustment under de-industrialization: Restructuring of industrial space in Hong Kong[J]. *Land Use Policy*, 43: 28-36.
- Yang C. 2006. Overseas Chinese investments in transition: The case of Dongguan[J]. *Eurasian Geography and Economics*, 47(5): 604-621.
- Zhu J M. 2002. Industrial globalisation and its impact on Singapore's industrial landscape[J]. *Habitat International*, 26(2): 177-190.

Spatial pattern and morphological characteristics of industrial production space and influential factors in the Pearl River Delta urban agglomeration

DING Jun^{1,2,3}, WANG Kaiyong^{1,2*}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: GIS spatial analysis technology provides new path and research perspectives for accurately classifying spatial morphology. Extracting the industrial production space information of the Pearl River Delta region in 2013 through high resolution Google Earth image and summarizing the overall distribution pattern of the industrial production space, this study quantitatively analyzed the morphological characteristics of the industrial production space by introducing the fractal model, compact ratio, discrete degree, and density index, then analyzed the main influencing factors of industrial production space distribution by GIS spatial analysis and statistical analysis tools. The results show that: (1) The total area of industrial production space in the Pearl River Delta region in 2013 was 2604.71 km². Its spatial distribution presents a typical core-peripheral structure. The industrial production spaces mainly distributed in the flat plain area and formed three spatial distribution models, that is, interlaced, scattered, and concentrated. (2) The industrial production space in the Pearl River Delta urban agglomeration showed clear fractal characteristics, and the fractal dimensions in the core area were smaller than that in the periphery area, but the stability of spatial structure in the core area was higher than that in the periphery area. Among the cities of the Pearl River Delta region, Zhuhai had the highest compact ratio of industrial production space, but Guangzhou had the lowest value; Huizhou had the highest discrete degree of industrial production space, whereas Zhongshan had the lowest value. The scale of each city's industrial production space significant differed, and was positively correlated with economic scale, population, and the number of enterprises. The density index values of Dongguan, Shenzhen, Zhongshan, and Foshan were too high and these cities should promote efficient and intensive use of industrial production spaces. (3) On the basis of a comprehensive analysis, the article concludes that natural environment and traffic conditions, urbanization and economic development zone, policy guidance and regulation, and economic globalization were the main influencing factors of the distribution of industrial production space in the Pearl River Delta urban agglomeration.

Key words: industrial production space; spatial morphology; spatial pattern; morphological characteristics; Pearl River Delta urban agglomeration