

引用格式:张磊,高旭,边疆,等.基于层次模糊物元模型的工业用地空间安全评价——以天津市北辰区为例[J].资源科学,2017,39(9):1725-1738. [Zhang L, Gao X, Bian J, et al. Industrial land spatial security evaluation based on hierarchical fuzzy matter element modeling of Beichen District, Tianjin[J]. *Resources Science*, 2017, 39(9): 1725-1738.] DOI: 10.18402/resci.2017.09.11

基于层次模糊物元模型的工业用地空间安全评价 ——以天津市北辰区为例

张磊,高旭,边疆,王丽君,陈晓琴,黄秋

(天津工业大学管理学院,天津 300387)

摘要:当前,受城镇化和后工业化双重影响,工业用地和城镇用地逐步走向融合,导致产城用地矛盾日益尖锐,如何确保工业用地合理布局 and 有效供给,推动产城安全融合,已成为众多城市发展的瓶颈。作为京津冀一体化重点战略区域,京津廊道内工业用地的合理布局 and 有效供给已成为促进区域产业有序承接和安全生产的关键环节。本文以工业用地合理布局 and 有效供给为出发点,提出“红线控制初筛-单因素评价-空间综合评价”的空间安全诊断思路,构建了工业用地空间安全诊断评价指标体系,运用GIS技术和层次模糊物元模型等方法,对北辰区进行工业用地空间安全评价和等级划分。结果表明:2015年北辰区现状工业用地中有59.72%处于一般安全等级,11.59%处于高度安全区,低度安全区与不安全区比重达到28.69%。就单个指标看,风向干扰区、交通便捷度等区位优势条件和工业集聚度、高新科技辐射度等生产安全条件对评价结果影响较大。在确保区域生态安全基础上,结合工业用地合理规模和产业特色进行工业用地内部集约和空间布局优化,提出严格生态用地管控制度、工业园区向高安全区集聚以及明确产业类型的安全布局趋势等建议,以推动工业用地与区域社会、经济和环境协调发展,促进区域产城融合目标的实现。

关键词:工业用地;用地布局;空间安全评价;产城融合;层次模糊物元

DOI: 10.18402/resci.2017.09.11

1 引言

当前中国工业经济正走向速度趋缓、结构趋优的新常态,面临着产业结构调整与增长速度稳定、高新技术产业发展与资源环境约束趋紧等问题^[1]。作为产业承接的重要载体,中国工业用地保持迅猛增长,并经历了从散落布局到园区集聚的格局变化。同时,受城镇化和后工业化的双重影响,工业用地和城镇用地重叠交汇,工业用地缺乏规划、结构重复、布局混乱等问题凸显,导致产城用地的矛盾日益尖锐。确保工业用地的合理布局 and 有效供给,推动产城安全融合,已成为众多城市发展的瓶颈。京津廊道区域作为京津冀一体化战略的重要产业承接区,工业用地空间安全将直接关系到该区域的社

会经济安全和生态环境安全,对于工业用地空间安全的科学评估,将有利于优化土地资源配置,实现工业发展与用地空间安全“双赢”,最终实现城镇、人和产业三者 in 功能和空间上的融合发展,即产城融合^[2]。

土地生态安全是维持土地自然、社会、经济综合发展的本底和基质^[3],土地空间安全是表征土地生态安全的重要手段^[4]。工业用地作为对土地生态系统影响最大的地类,科学评价工业用地的空间安全将对土地生态安全产生决定性作用^[5,6]。本文认为,工业用地空间安全指在一定时空范围内,工业用地空间布局满足自身工业经济高效发展的同时,能够维护区域社会生活安全和保护土地生态系统

收稿日期:2016-07-15;修订日期:2017-05-08

基金项目:国家自然科学基金项目(41301189);天津市哲学社会科学规划项目(TJGL17-04)。

作者简介:张磊,女,天津蓟县人,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为土地可持续利用规划与评价。E-mail: zhanglei-nk@163.com

通讯作者:高旭, E-mail: 13132506621@163.com

稳定,不受或少受威胁,实现区域工业生产、社会生活和生态保护综合平衡的健康发展状态。其评价应从生产、生活和生态三生空间入手^[7],确保工业生产用地空间安全的同时,也能确保其周边生活用地和生态用地的空间安全,最终实现经济-社会-生态系统的协调发展和产城的融合发展。

关于工业用地生态安全的理论研究总是伴随着工业发展阶段进行的。在工业化初期,工业用地生态安全主要集中于适宜性评价,研究范围从单个工业园区^[8]到城市^[9-11]及更大区域^[12]均有涉及。如:王骏骏等对新加坡怀化工业园区进行用地适宜性定量分析^[8];刘志红从生态健康风险评价角度进行土地生态适宜性评价^[13]。随着工业园区爆炸式增长,工业用地内部集约节约利用逐渐成为研究重点^[14-16],学者们结合不同尺度提出多种评价指标^[17-21],主要涉及土地开发程度、土地投入程度、土地使用强度、土地利用效益和土地结构等。随着后工业化和全面城镇化时代来临,学者们多从城市建设用地整体入手,对城市空间结构演进^[22-25]、城市用地规模边界^[26-28]、土地利用格局优化^[29,30]等进行研究,为城镇用地安全高效利用提供技术支持^[31]。而对于工业用地与其他用地的布局关系和工业用地布局的空间安全性研究尚不多见。

为此,本文在引入生态红线一票否决机制^[32]的基础上,选取区位安全、生产安全、生活安全、生态安全和政策安全五个维度,筛选12个指标,建立了工业用地空间安全评价体系,以2015年为研究基期,应用层次模糊物元模型^[33,34]对天津市北辰区工业用地空间安全进行评价,划定工业用地空间安全等级,为工业用地空间安全布局实现精准定位和精确量化提供科学支撑。

2 研究区域概况与数据来源

2.1 北辰区概况

北辰区作为天津市唯一获批的国家级产城融合示范区,地处京津黄金廊道区,是京津唐高新产业带的重要节点^[35,36](图1)。北辰区总面积47 621.05 hm^2 ,其中工业用地面积3378.31 hm^2 ,占全市工业用地比重为6.84%,区内铁路、高速公路、国省干道纵横交错,高端制造、科技研发企业集聚,2015年实现工业增加值558.10亿元,对全区经济增长贡献率达



图1 研究区域位置

Figure 1 The location of study area

到71.20%,工业主导地位明显。北辰区城镇人口超过18万,城镇化率达47.69%,区内河流水系发达,农林资源丰富,依据《天津市生态用地保护红线划定方案》^[37]北辰区生态红线保护用地为22 108.47 hm^2 ,占全区总面积的46.43%,生态保护任务非常艰巨。作为国家级产城融合示范区,如何维持工业主导地位的同时优化产、城用地布局,促进生产、生活和生态三生空间健康发展,已成为北辰区用地空间安全的关键所在。

2.2 数据来源

(1)社会经济数据来自《天津市统计年鉴》(2016)^[38]、《北辰区统计年鉴》(2015)^[39]、《北辰区国民经济和社会统计公报》(2015)^[40]以及北辰界内开发区实地调研数据。

(2)土地利用数据来自北辰区2015年土地利用现状数据为底图,生态红线范围图、规划用地管制图、北辰区土地利用总体规划图(2006-2020年)^[41]以及空间分辨率为90m的北辰区坡度数据^[42]。

3 研究方法

3.1 工业用地空间安全评价基本思路

在产城融合演化影响下,工业用地空间形态不仅影响着人类生产安全,对于生活安全和生态安全也同样有着重要影响。本文依据韦伯的工业区位论^[43]和叶文虎的“三生共赢”原理^[44],结合现代产业布局理论、工业分区理论和产业集聚理论等经济地理学经典理论,以工业用地空间安全为研究目标,提出“红线控制初筛-单因素评价-空间综合评价”的

2017年9月

诊断思路(见图2),综合考虑工业生产成本、工业极化-涓滴效应、工业功能分区以及科技创新环境等,遵循指标选取的可获得性、可比性、实用性等原则,在生态红线一票否决基础上,从工业用地的区位、生产、生活、生态和政策安全等层面构建工业用地空间安全评价指标体系,确定各指标的安全等级和阈值范围,借助GIS平台进行空间加权综合分析,划定区域工业用地空间安全综合等级。指标体系的构成见表1。

如表1所示,生态红线一票否决指标是法律限制因素,区位安全指标是工业用地选址安全的最基本要求。生产安全指标考虑了工业用地空间布局对于工业生产的支撑能力,生活安全指标着眼于工业用地空间布局对于居民生活的影响程度,生态安全指标着眼于工业用地空间布局对于生态环境的影响程度,政策安全指标则考虑了政策对于工业用地空间布局的导向作用。各指标评价等级划分标准见表2。

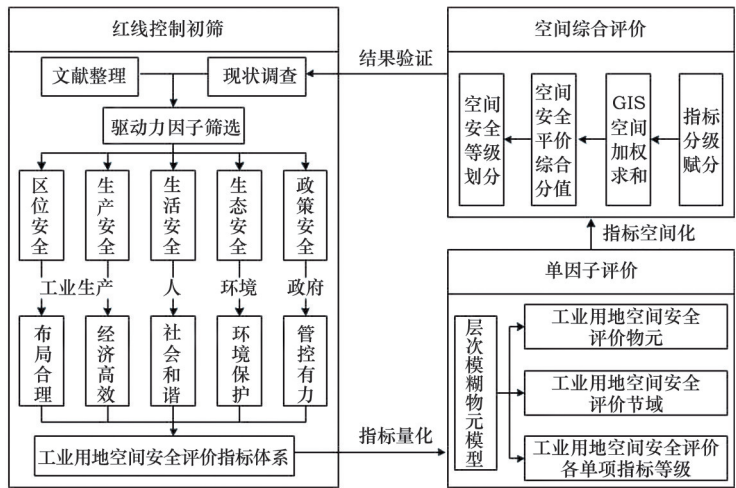


图2 研究思路示意

Figure 2 Schematic diagram of research ideas

表 1 工业用地空间安全诊断评价指标体系

Table 1 Index system of space security evaluation

目标层	准则层	指标层	解释	属性
工业用地空间布局安全诊断评价 A	一票否决 B ₀	生态红线控制区 C ₀	表征生态用地的影响,保障生态红线区和基本农田保护区的法律保护地位	-
		区位安全 B ₁	坡度干扰区 C ₁	-
	生产安全 B ₂	风向干扰区 C ₂	表征气象条件的影响,用空气污染系数表示,空气污染系数=风向频率/平均风速	-
		交通便捷度 C ₃	表征运输成本的影响,通过交通干线缓冲分析得到	-
		工业集聚度 C ₄	考虑工业集聚效应 ^[45] ,通过工业用地热点分析得到	+
	生活安全 B ₃	高新科技辐射度 C ₅	考虑工业创新能力 ^[46-47] ,通过高新技术企业缓冲分析得到	-
		居住区安全防护度 C ₆	考虑工业对居民区的影响,用安全防护距离表示	+
		公共生活服务设施敏感度 C ₇	考虑工业对幼儿园、学校和医院等敏感目标人群的影响,通过敏感目标缓冲分析得到	+
	生态安全 B ₄	对周边用地干扰度 C ₈	考虑工业用地对其他地类的干扰程度和占用难度 ^[48]	-
		工业碳排放消减度 C ₉	依据“零碳”原则 ^[49-51] ,通过InVEST模型结合用地类型核算工业碳排放消减程度	+
	政策安全 B ₅	规划用途管制区 C ₁₀	考虑工业用地与土地利用总体规划的一致性	+
		生态红线隔离区 C ₁₁	考虑工业区与红线区的安全防护距离	-

表 2 工业用地空间安全诊断评价等级

Table 2 Degree of space security evaluation					
目标层	准则层	指标层	等级	分值	
工业用地空间布局	一票否决 B_0	生态红线控制区 C_0	不安全区	0	
安全诊断评价 A	区位安全 B_1	坡度干扰区 C_1	0~5°	100	
			5~10°	60	
			10°~17°	0	
		风向干扰区 C_2	0.82~1.15	100	
			1.15~1.40	60	
			1.40~1.80	20	
		交通便捷度 C_3	0~300m	100	
			300~600m	70	
			600~2 500m	50	
		生产安全 B_2	工业集聚度 C_4	高工业集聚度	100
				一般工业集聚度	60
				低工业集聚度	20
			高新科技辐射度 C_5	0~2 500m	100
				2 500~5 000m	80
				5 000~7 500m	20
	生活安全 B_3	居住区安全防护度 C_6	600~5 500m	100	
			300~600m	60	
			0~300m	20	
		公共生活服务设施敏感度 C_7	2 000~7 800m	100	
			1 000~2 000m	60	
			0~1 000m	20	
		生态安全 B_4	对周边用地干扰度 C_8	不冲突区	100
				一般冲突区	80
				冲突区	20
			工业碳排放消减度 C_9	高碳排放消减区	100
				中碳排放消减区	60
				低碳排放消减区	20
政策安全 B_5	规划用途管制区 C_{10}		允许建设区	100	
			有条件建设区	70	
			限制建设区	20	
		禁止建设区	0		
	生态红线隔离区 C_{11}	800~1 200m	40		
		500~800m	20		
		0~500m	10		

注:表中 *C*₃、*C*₁₁分别为交通干线和生态红线的缓冲距离;*C*₅、*C*₆、*C*₇分别为高新企业、居住区和公共生活服务设施的辐射半径距离。

3.2 工业用地空间安全评价模型选择

3.2.1 单因子评价模型

选择模糊物元模型进行工业用地空间安全单因子评价,分析单个指标的安全等级及综合作用效果。

(1)构造工业用地空间安全评价模糊物元。物元分析中所描述的对象*N*、对象特征向量*C*(评价指

标)和对象特征向量值*V*(评价指标现值)共同构成。工业用地空间安全的物元矩阵可表示为:

$$R=(N_j, C_j, V_{ij})= \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & \cdots & N_m \\ C_1 & V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1m} \\ C_2 & V_{21} & V_{22} & \cdots & V_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ C_n & V_{n1} & V_{n2} & \cdots & V_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2017年9月

式中 $V_{ij}=[a_{ij}, b_{ij}]$; $N_j(j=1,2,\dots,m)$ 为工业用地空间安全评价所划分的第 j 个评价等级; $C_j(j=1,2,\dots,n)$ 为相对于评价等级的评价指标; V_{ij} 区间为各评价等级关于评价指标的分值范围。

工业用地空间安全节域物元矩阵表示为:

$$R_p=(N_p, C_i, V_{pi})=\begin{bmatrix} N_p & C_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & C_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 R_p 为节域物元; V_{pi} 为节域物元关于 i 特征 C_i 的量值范围 (a_{pi}, b_{pi}) 。

工业用地空间安全待判物元矩阵表示为:

$$R_i=(N, C_i, v_i)=\begin{bmatrix} N & C_1 & v_1 \\ & C_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & v_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中 R_i 为待判物元; v_i 为待判物元关于 i 特征 C_i 现状值。

(2)确定工业用地空间安全评价指标关联函数及关联度:

$$K_{(C_i)j}=\begin{cases} \frac{-\rho_{ij}(v_i, V_{ij})}{|V_{ij}|} & v_i \in V_{ij} \\ \frac{\rho_{ij}(v_i, V_{ij})}{\rho_{pi}(v_i, V_{pi}) - \rho_{ij}(v_i, V_{ij})} & v_i \notin V_{ij} \end{cases} \quad (4)$$

式中 $K_{(C_i)j}$ 为第 i 项指标相应于第 j 安全等级的关联度; v_i 和 V_{ij} 分别为工业用地空间安全物元的现值、量值范围。

$$\begin{cases} \rho_{ij}(v_i, V_{ij}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{ij} + b_{ij}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ij} - a_{ij}) \\ \rho_{pi}(v_i, V_{pi}) = \left| v_i - \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi}) \end{cases} \quad (5)$$

式中 $\rho_{ij}(v_i, V_{ij})$ 为点 v_i 与对应指标有限区间 $V_{ij}=[a_{ij}, b_{ij}]$ 的距离; $\rho_{pi}(v_i, V_{pi})$ 为点 v_i 与对应特征向量节域 $V_{pi}=[a_{pi}, b_{pi}]$ 的距离; $|V_{ij}|=|b_{ij}-a_{ij}|$; V_{pi} 为工业用地空间安全物元节域的量值范围。

(3)权重确定方法。依据物元模型中单因子评价结果,对各指标重要性进行排序,运用层次分析法确定综合评价中相关指标权重值。

(4)计算综合关联度确定安全等级。待评对象工业用地空间安全 N 属于 j 等级的综合关联度为:

$$K_j(N)=\sum_{i=1}^m \omega_i K_{(C_i)j} \quad (6)$$

式中 ω_i 为第 i 项评价指标的权重。按照最大关联度原则,若 $K_{ij}=\max[K_{(C_i)j}]$, 则第 i 指标属于 j 等级;若 $K_j=\max\{K_j(N)\}$ ($j=1,2,\dots,n$), 则 N 属于第 j 级。 K 值越大,表明该评价指标在对应等级中越稳定。若 K 值较小,则该评价指标有向仅次于该等级 k 值的等级转化趋势,两等级值越接近,转化的可能性越大。若 K 值在所有等级中均为负值,表明评价指标质量在设定标准等级之外,并向最大 K 值对应等级转化。

3.2.2 空间综合评价模型

采用 $90m \times 90m$ 的栅格单元作为基本评价单元,运用 ArcGIS 空间分析功能得到每个评价单元的相关指标得分,以每一个评价单元作为安全分值信息的空间载体。根据每个指标对应的权重进行空间加权叠加,得到综合评价分值。综合评价分值计算采用因子分值加权求和法,其计算公式为:

$$S=\sum_{i=1}^n W_i V_{ij}=\{S_1, S_2, S_3, S_4\}=\{\text{不安全区, 低度安全区, 一般安全区, 高度安全区}\} \quad (7)$$

$$=\{0, (0, 55], (55, 75], (75, 100]\}$$

式中 S 为综合评价分值; W_i 为第 i 个评价指标的权重; n 为影响因子总数。

4 结果与分析

依据一票否决指标,将北辰区基本农田保护区和生态红线直接划为不安全区,综合评价分值为 0 分。扣除一票否决区域后,结合工业用地空间安全评价指标体系,基于 GIS 平台得到北辰区工业用地空间安全评价的影响因子(见图 3)。

4.1 单因子评价

工业用地空间安全具有较强的模糊性和可拓性,将非红线范围划分为高度安全、一般安全和低度安全三个等级。通过参考国家工程项目建设标准、生态建设指标标准及北辰区 2015 年产业发展现状,结合专家咨询意见,确定工业用地空间安全评价经典域 R_{ij} 与节域 R_p , 如下:

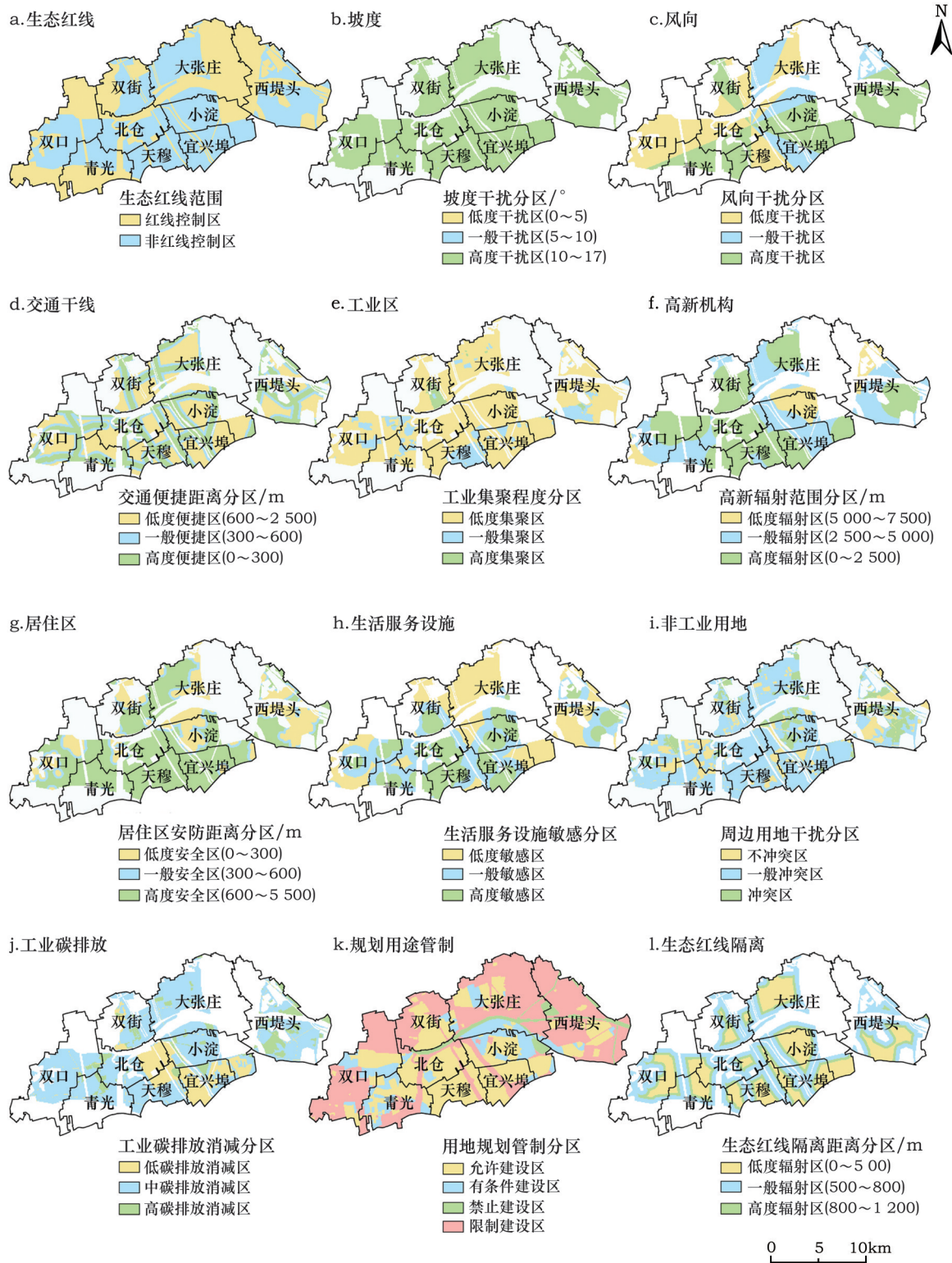


图3 北辰区工业用地空间安全评价影响因子分布

Figure 3 Influence factors of industrial land space security evaluation in Beichen District

2017年9月

$$R_{ij} = \begin{Bmatrix} \begin{matrix} \text{高度安全} & \text{一般安全} & \text{低度安全} \\ C_1 & (0,5) & (5,10) & (10,17) \\ C_2 & (0.82,1.15) & (1.15,1.40) & (1.40,1.80) \\ C_3 & (0,300) & (300,600) & (600,2\ 500) \\ C_4 & (1.50,4.82) & (0.50,1.50) & (0.13,0.50) \\ C_5 & (0,2\ 500) & (2\ 500,5\ 000) & (5\ 000,7\ 500) \\ C_6 & (600,5\ 500) & (300,600) & (0,300) \\ C_7 & (2\ 000,7\ 800) & (1\ 000,2\ 000) & (0,1\ 000) \\ C_8 & (80,100) & (20,80) & (0,20) \\ C_9 & (0,5.23) & (-39.46,0) & (-39.47,-39.46) \\ C_{10} & (70,100) & (20,70) & (0,20) \\ C_{11} & (800,1\ 200) & (500,800) & (0,500) \end{matrix} \end{Bmatrix}$$

$$R_p = \begin{Bmatrix} \begin{matrix} C_1 & (0,17) \\ C_2 & (0.82,1.80) \\ C_3 & (0,2\ 500) \\ C_4 & (1.50,0.50) \\ C_5 & (0,7\ 500) \\ C_6 & (600,300) \\ C_7 & (2\ 000,1\ 000) \\ C_8 & (80,20) \\ C_9 & (0,-39.46) \\ C_{10} & (70,20) \\ C_{11} & (800,500) \end{matrix} \end{Bmatrix}$$

$$R_i = \begin{Bmatrix} \begin{matrix} C_1 & 1.14 \\ C_2 & 1.25 \\ C_3 & 1\ 000 \\ C_4 & 0.71 \\ C_5 & 5\ 000 \\ C_6 & 2\ 000 \\ C_7 & 6\ 000 \\ C_8 & 77.22 \\ C_9 & -5.35 \\ C_{10} & 53.14 \\ C_{11} & 800 \end{matrix} \end{Bmatrix}$$

将待判物元 R_i 所列的 2015 年北辰区工业用地空间安全评价指标现状值分别带入公式(4)和公式(5),得到各指标工业用地空间安全评价指标关联度,以 C_1 (坡度)指标为例,将 $v_1 = 1.14$ 输入相应的计算公式,得到对应评价等级关联度为:

$$K_{(C_1)1} = 0.229, K_{(C_1)2} = -0.771, K_{(C_1)3} = -0.886$$

可以判定该指标属于高安全度级别,同理可得到其它指标关联值;然后,依据层次分析法确定的工业用地空间安全评价各指标权重,运用公式(6),计算得到综合关联度 $K_1(N) = -0.335$, $K_2(N) = 0.940$, $K_3(N) = -1.261$,可以判定 2015 年北辰区现状工业用地空间安全评价综合级别为一般安全(Ⅱ级),见表 3。

如表 3 所示,从 2015 年北辰区现状工业用地空间安全物元单个指标的评价结果看,由于区域整体地势平坦,坡度干扰区处于高度安全级别;通过分析工业碳排放消减度、对周边用地干扰度和规划用途管制等指标,北辰区生态安全状况较好,处于高度安全级别;通过对居住区安全防护距离、公共服务设施敏感度、风向干扰区、生态红线隔离区和高科技辐射度等指标分析,发现北辰区生产安全和生活安全状况处于一般安全级别;由于北辰区现状工业用地中存在一定比例的农村集体产业,且分布在靠近农村居民点的红线范围内,距主要交通干道和高科技辐射区较远,产业技术革新和产出水平提高的能力受限,导致北辰区工业集聚度和交通便捷度两项指标处于低度安全级别。

4.2 空间综合评价

4.2.1 北辰区工业用地空间安全适宜度分析

依据单因子评价结果和图 3,通过 ArcGIS 空间加权分析工具,得到北辰区工业用地空间安全评价结果及工业用地空间安全适宜度分区(见图 4),根

表 3 2015 年北辰区现状工业用地空间安全物元评价结果

Table 3 The evaluation results of security matter element of Beichen in 2015

指标关联度	适宜等级			等级	权重
	高度安全	一般安全	低度安全		
坡度干扰区 C_1	0.229	-0.771	-0.886	I	0.014
风向干扰区 C_2	-0.189	0.303	-0.375	II	0.108
交通便捷度 C_3	-0.412	-0.286	0.211	III	0.264
工业集聚度 C_4	-0.791	0.209	0.359	III	0.196
高新科技辐射度 C_5	-0.500	0.000	0.000	II	0.046
居住安全防护度 C_6	-0.061	4.667	-5.667	II	0.085
公共生活服务设施敏感度 C_7	-0.172	4.000	-5.000	II	0.145
对周边用地干扰度 C_8	0.661	-0.954	-0.954	I	0.019
工业碳排放消减度 C_9	0.186	0.136	-0.864	I	0.033
规划用途管制区 C_{10}	1.035	-0.400	-0.663	I	0.027
生态红线隔离区 C_{11}	-0.750	0.000	-1.000	II	0.063
综合关联度 k	-0.335	0.940	-1.261	II	1.000

据总分频率曲线并结合综合评价分值将工业用地空间安全适宜度分为四个等级,分别为:高度安全区、一般安全区、低度安全区和不安全区的区域(见表4)。

如表4和图4所示,从数量结构和空间布局上来看,宜作为工业用地的高度安全区域面积798.03hm²,占总面积比重为1.68%,主要分布在工业基础雄厚,建设有工业开发区,交通便捷度较高的天穆镇、双口镇、大张庄镇和西堤头镇。可作为工业用地的一般安全区面积14 840.77hm²,所占比重为31.16%,这些区域多集中在大张庄镇、双口镇、西堤头镇和北仓镇等经济发展条件一般,土地类别多样性高的区域。由于需要综合平衡各种地类的协调利用关系,导致该类工业用地空间安全度略低

于基础设施完备的高度安全区。不宜作为工业用地的低度安全区面积为9873.78hm²,所占比重为20.73%,这些区域自然环境本底较好,发展为工业用地会对生态环境形成较大安全隐患。综上,虽然北辰区工业基础和区位优势明显,但由于区内大范围土地处于生态红线范围,适宜发展工业的土地资源十分有限,合理的空间布局 and 有效的土地供给已成为今后工业发展的关键。

4.2.2 北辰区现状工业用地空间安全分析

基于ArcGIS操作平台,将得到的北辰区工业用地空间安全适宜度分区图(图4)与2015年现状工业用地进行叠加分析,得到2015年北辰区现状工业用地空间安全布局评价等级,见图5a。

如图5a所示,2015年北辰区现状工业用地面积为3378.31hm²,其中处于高度安全区、一般安全区、低度安全区和不安全区的面积分别为391.49hm²、2017.72hm²、132.69hm²和836.41hm²,结果见表5。

如表5所示,2015年北辰区现状工业用地处于一般安全级别比重最高,达到59.72%,说明现状工业用地布局基本上是合理的;但仍有132.69hm²的现状工业用地处于低度安全区,甚至有24.76%的现状工业用地处于生态红线范围所在的不安全区,说明现状工业用地空间分布存在局部不合理的情况,需进行结构调整和空间优化。

4.2.3 北辰区规划工业用地空间安全分析

基于ArcGIS操作平台,将得到的北辰区工业用地空间安全适宜度分区(图4)与2020年规划工业

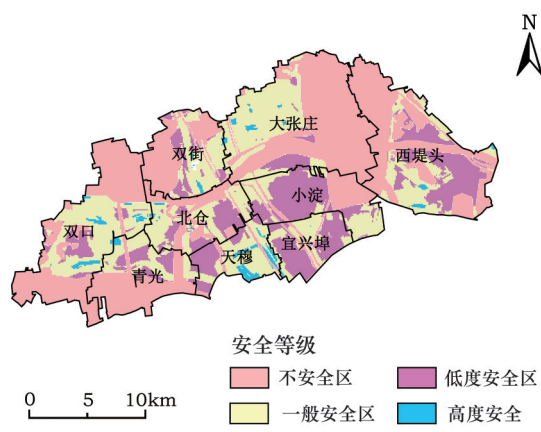


图4 北辰区工业用地空间安全适宜度分区
Figure 4 Suitability of security pattern of industrial land use in Beichen District

表4 北辰区工业用地空间安全适宜度等级划分结果

Table 4 The evaluation results of suitability of security pattern in Beichen of its industries									(hm ² , %)
	高度安全区(80~100)		一般安全区(60~80)		低度安全区(0~60)		不安全区(0)		总计
	面积	比重	面积	比重	面积	比重	面积	比重	
北仓镇	26.34	3.30	1 520.22	10.24	918.69	9.31	1 226.82	5.55	3 692.07
大张庄镇	100.77	12.63	3 180.09	21.43	502.01	5.08	6 011.27	27.19	9 794.14
青光镇	42.16	5.28	1 018.16	6.86	680.59	6.89	2 281.83	10.32	4 022.74
双街镇	51.04	6.40	1 368.69	9.22	593.04	6.01	2 074.97	9.39	4 087.74
双口镇	216.96	27.19	2 636.76	17.77	606.55	6.14	4 244.80	19.20	7 705.07
天穆镇	278.77	34.93	1 332.78	8.98	737.77	7.47	267.79	1.22	2 617.11
西堤头镇	69.71	8.73	1 731.62	11.67	2 287.77	23.17	4 661.48	21.08	8 750.58
小淀镇	0.00	0.00	1 173.10	7.90	2 071.51	20.98	1 079.98	4.88	4 324.59
宜兴埠镇	12.28	1.54	879.35	5.93	1 475.85	14.95	259.53	1.17	2 627.01
总计	798.03	1.68	14 840.77	31.16	9 873.78	20.73	22 108.47	46.43	47 621.05

2017年9月

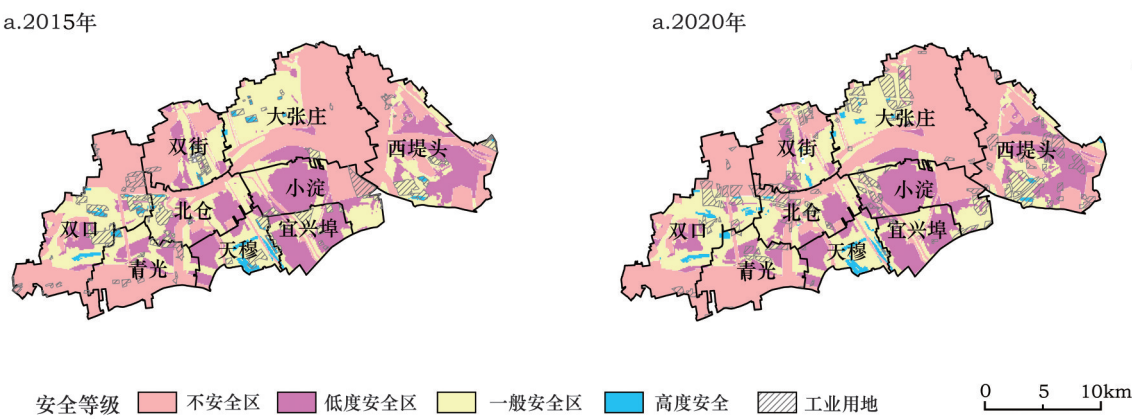


图5 2015年与2020年北辰区工业用地空间安全布局评价等级

Figure 5 The ranking of security space layout evaluation in Beichen of its industries in 2015 and 2020

表5 2015年北辰区现状工业用地各安全等级面积及分布情况

Table 5 The distribution of industrial land security of Beichen in 2015					(hm ²)
	高度安全区	一般安全区	低度安全区	不安全区	总计
北仓镇	24.43	285.73	8.01	5.20	323.37
大张庄镇	79.34	117.12	12.08	13.25	221.79
青光镇	39.29	75.59	19.62	155.53	290.03
双街镇	12.56	122.33	11.02	75.33	221.24
双口镇	120.53	526.21	13.56	261.72	922.02
天穆镇	61.26	231.92	0.59	1.52	295.29
西堤头镇	53.63	350.88	10.54	71.97	487.02
小淀镇	0.00	58.12	23.89	250.99	333.00
宜兴埠镇	0.45	249.82	33.38	0.90	284.55
总计	391.49	2 017.72	132.69	836.41	3 378.31
比重/%	11.59	59.72	3.93	24.76	100.00

用地进行叠加分析,得到2020年北辰区规划工业用地空间安全布局评价等级,见图5b。

如图5b所示,2020年北辰区规划工业用地面积为4681.30hm²,整体处于低度安全级别;其中高度安全区、一般安全区、低度安全区和不安全区的面积分别为91.09hm²、2202.77hm²、965.53hm²和1421.91hm²,结果见表6。

通过与2015年北辰区现状工业用地空间安全布局评价等级对比发现,2020年北辰区规划工业用地的高度安全等级和一般安全等级比重下降明显,分别仅占总体规划工业用地的1.95%和47.05%,说明北辰区未来工业用地存在扩张和转移趋势,且主要发生在低度安全区和高度安全区范围内。考虑到北辰区未来尚可提供的高度安全和一般安全的

工业用地面积为15 638.80hm²,基本可以满足北辰区规划中净增工业用地1302.99hm²的增量需求。但从规划结果看,将有832.84hm²的新增工业用地分布在低度安全区,585.50hm²的新增工业用地分布在不安全区范围,仅有185.05hm²的新增工业用地分布在一般安全区;同时,将有300.40hm²的工业用地从高度安全区向外转移。可见,本轮土地利用总体规划并未考虑工业用地空间安全的影响,也说明在规划中考虑工业用地空间安全布局是很有必要的,可以实现工业用地规划的导向性调整。此外,生态红线范围划定相对于规划的滞后性,也对评价结果产生一定影响。

4.2.4 北辰区工业用地空间安全布局调整建议

(1)严格生态用地管控制度。北辰区生态用地

表 6 2020 年北辰区规划工业用地各安全等级面积及分布情况

Table 6 The distribution of planning-used industrial land security of Beichen in 2020 (hm²)

	高度安全区	一般安全区	低度安全区	不安全区	总计
北仓镇	12.34	164.67	84.32	271.46	532.79
大张庄镇	11.48	659.42	39.55	115.36	825.81
青光镇	0.00	115.04	71.77	50.46	237.27
双街镇	0.00	99.28	102.40	170.48	372.16
双口镇	12.71	329.77	26.75	336.89	706.11
天穆镇	5.50	5.04	21.31	0.39	32.24
西堤头镇	49.06	467.24	460.62	346.07	1 323.00
小淀镇	0.00	326.68	121.91	121.38	569.97
宜兴埠镇	0.00	35.63	36.90	9.42	81.95
总计	91.09	2 202.77	965.53	1 421.91	4 681.30
比重/%	1.95	47.05	20.63	30.37	100.00

比重较大,进行工业用地布局时要注意对生态用地的保护。参考工业用地空间安全评价结果,结合城市发展规划和土地利用规划,尽可能将红线范围内的工业进行有条件转移。

(2)考虑到未来工业发展的集约式趋势,应对零星分布的工业企业进行归并整理,并将工业区集中优先布置在安全等级较高区域。避免发生因布局在低度安全范围内,加重对区域生态环境的破坏,影响区域整体工业用地空间安全级别的问题。

(3)明确产业类型,充分利用资源和区位优势。北辰区位于京津唐廊道中心地带,具备交通和科技的便利条件,应对对资源和交通依赖性较高的食品生产和物流产业布局在交通便捷区域;高产值高科技投入的产业布局在距离高校和科研机构较近的区域,便于知识成果转化;高污染高能耗产业布局在远离居住生活区,避免对人们生活造成重大影响。

5 结论

运用层次模糊物元模型对北辰区工业用地现状布局进行单因子空间安全评价,结果表明:北辰区工业用地空间安全综合级别为一般安全等级,与空间综合评价结果基本一致。就单个指标看,交通便捷度和风向干扰区等区位安全条件,工业集聚度和高新科技辐射度等生产安全条件及公共生活服务设施敏感度和居住区安全防护度等生活安全条件对北辰区工业用地空间安全评价结果影响较大。

通过将北辰区现状和规划工业用地与空间安

全等级范围叠加进行空间综合评价分析,结果表明:北辰区现状和规划工业用地综合安全等级分别处于一般安全级别和低度安全级别。北辰区工业用地有扩张和转移发展趋势,导致各安全级别内工业用地面积变动较大。且由于生态红线控制区划定时间滞后于规划调整时间,现状和规划工业用地中均有较大比例处于生态红线范围,需要参考评价结果,合理调整工业用地布局,实现有效的土地供给,推动区域产业发展。同时,当前工业化和城镇化和城镇化发展迅速,用地空间安全评价和相关规划都应结合区域实际情况和生态环境状况及时更新,确保安全评价结果的准确性及相关规划的时效性。

本文通过层次模糊物元模型和空间加权综合分析进行北辰区工业用地空间安全评价,既可以对单个影响因子进行评价和等级判定,也实现了整体空间定位和等级划分。研究表明,层次模糊物元模型还可以实现多个评价对象的比较分析,应在后续研究中,从多区域对比和评价指标选取及等级划分等方面继续创新,使评价结果更具实践价值。

参考文献(References):

- [1] 李鹏飞. 经济新常态下的中国工业-“第三届中国工业发展论坛”综述[J]. 中国工业经济, 2015, (1): 45-51. [Li P F. China's industry in "new normal" of Chinese economy- survey of "the 3rd China's industrial development forum"[J]. *China Industrial Economics*, 2015, (1): 45-51.]
- [2] 李文彬, 陈浩. 产城融合内涵解析与规划建议[J]. 城市规划学

2017年9月

- 刊, 2012, (7): 99-103. [Li W B, Chen H. Analysis of city-industry integration and planning strategies[J]. *Urban Planning Forum*, 2012, (7): 99-103.]
- [3] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 354-358. [Xiao D N, Chen W B, Guo F L. The basic concepts and research contents of ecological security[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(3): 354-358.]
- [4] 李玉平, 蔡运龙. 河北省土地生态安全评价[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2007, 43(6): 784-789. [Li Y P, Cai Y L. Security evaluation of land ecology in Hebei Province[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2007, 43(6): 784-789.]
- [5] 潘竟虎, 刘晓. 基于空间主成分和最小累积阻力模型的内陆河景观生态安全评价与格局优化-以张掖市甘州区为例[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(10): 3126-3136. [Pan J H, Liu X. Assessment of landscape ecological security and optimization of landscape pattern based on spatial principal component analysis and resistance model in arid inland area: a case study of Ganzhou District, Zhangye City, Northwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(10): 3126-3136.]
- [6] 谭敏, 孔祥斌, 段建南, 等. 基于生态安全角度的城镇村建设用地空间预警-以北京市房山区为例[J]. *中国土地科学*, 2010, 24(2): 31-37. [Tan M, Kong X B, Duan J N, et al. Early-warning system for spatial allocation of the rural-urban construction land in terms of ecological security: a case study on Fangshan District, Beijing[J]. *China Land Science*, 2010, 24(2): 31-37.]
- [7] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局[J]. *资源科学*, 2015, 37(7): 1332-1338. [Zhang H Q, Xu E Q, Zhu H Y. An ecological- living- industrial land classification system and its spatial distribution in China[J]. *Resources Science*, 2015, 37(7): 1332-1338.]
- [8] 王骏骥, 江滢, 赵国庆, 等. 基于GIS的用地适宜性评价方法及应用-以新加坡怀化生态工业园概念规划为例[J]. *规划师*, 2011, 27(4): 52-56. [Wang Q Q, Jiang Y, Zhao G Q, et al. Method and application of land use suitability evaluation based on GIS: Singapore- Huaihua industrial park example[J]. *Planners*, 2011, 27(4): 52-56.]
- [9] 丁庆, 张杨, 刘艳芳. 基于RS和GIS的武汉市工业用地生态适宜性评价[J]. *国土与自然资源研究*, 2011, (5): 56-58. [Ding Q, Zhang Y, Liu Y F. Ecological suitability evaluation on industrial land based on RS and GIS in Wuhan City[J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2011, (5): 56-58.]
- [10] 秦贤宏, 段学军, 杨剑. 基于GIS的城市用地布局多情景模拟与方案评价-以江苏省太仓市为例[J]. *地理学报*, 2010, 65(9): 1121-1129. [Qin X H, Duan X J, Yang J. Scenario simulation of urban land use allocation and scheme evaluation based on GIS: a case study of Taicang City[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(9): 1121-1129.]
- [11] 刘孝富, 舒俭民, 张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用研究-以厦门为例[J]. *生态学报*, 2010, 30(2): 421-428. [Liu X F, Shu J M, Zhang L B. Research on applying minimal cumulative resistance model in urban land ecological suitability assessment: As an example of Xiamen City[J]. *Actaologica Sinica*, 2010, 30(2): 421-428.]
- [12] 张丽, 龙翔, 苏晶文, 等. 长江三角洲经济区工业用地地质环境适宜性评价[J]. *水文地质工程地质*, 2011, 38(3): 124-128. [Zhang L, Long X, Su J W, et al. Geo-environmental suitability assessment of industrial land in the Yangtze River Delta Economic Zone[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2011, 38(3): 124-128.]
- [13] 刘志红. 基于生态健康风险评价的土地生态适宜性评价研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013. [Liu Z H. Study on Land Ecological Suitability Assessment Based on the Ecological and Health Risk Assessment[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013.]
- [14] 顾湘, 姜海, 王铁成, 等. 工业用地集约利用评价与产业结构调整-以江苏省为例[J]. *资源科学*, 2009, 31(4): 612-618. [Gu X, Jiang H, Wang T C, et al. Evaluation of intensive use of industrial land and industrial structure adjustment: a case study of Jiangsu Province [J]. *Resources Science*, 2009, 31(4): 612-618.]
- [15] 赵小凤, 黄贤金, 李衡, 等. 基于RAGA-AHP的工业行业土地集约利用评价-以江苏省为例[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(8): 1269-1277. [Zhao X F, Huang X J, Li H, et al. Evaluation of industrial trades land intensive use with RAGA- AHP: a case study of Jiangsu Province [J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(8): 1269-1277.]
- [16] 费罗成, 吴次芳, 程久苗, 等. 资源城市转型期工业用地集约利用评价-以枣庄市为例[J]. *城市问题*, 2013, (2): 29-36. [Fei L C, Wu C F, Cheng J M, et al. Evaluation on the intensive use of industrial land in the transition period of resource cities: a case study of Zaozhuang City[J]. *Urban problems*, 2013, (2): 29-36.]
- [17] 黄金升, 陈利根, 张耀宇. 基于评价指标性状差异的工业用地集约利用评价研究-以义乌市为例[J]. *资源科学*, 2015, 37(4): 680-689. [Huang J S, Chen L G, Zhang Y Y. Evaluation of industrial land intensive use based evaluation indicator character difference in Yiwu [J]. *Resources Science*, 2015, 37(4): 680-689.]
- [18] 孟鹏, 郝晋珉, 周宁, 等. 新型城镇化背景下的工业用地集约利用评价研究-以北京亦庄新城为例[J]. *中国土地科学*, 2014, (2): 83-89. [Meng P, Hao J M, Zhou N, et al. Research on evaluation of industrial land intensive use in the context of new urbanization: a case study in Yizhuang New Town[J]. *China*

- Land Science*, 2014, (2): 83-89.]
- [19] 陈昱, 陈银蓉, 马文博. 基于Bayes判别的工业用地集约利用评价与潜力挖掘分析-以湖北省典型企业为例[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 433-441. [Chen Y, Chen Y R, Ma W B. Evaluation of industrial land's intensive use and analysis of potential mining with Bayes discrimination: a case study of typical enterprises in Hubei Province[J]. *Resources Science*, 2012, 34(3): 433-441.]
- [20] 周杨, 张军连, 李林, 等. 基于宗地层次的合肥市产业用地集约利用评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(7): 140-148. [Zhou Y, Zhang J L, Li L, et al. Evaluation of intensive use of urban industrial land based on micro-scale[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(7): 140-148.]
- [21] 周杨. 基于宗地尺度的城市产业用地集约利用评价研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014. [Zhou Y. Research on Assessing the Intensity of Urban Industrial Land Use Based on Parcels of Land: A Case Study in Hefei City[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.]
- [22] 高宜程, 申玉铭, 邱灵. 山西省晋城市空间结构演化与重构[J]. 地理研究, 2013, 32(7): 1231-1242. [Gao Y C, Shen Y M, Qiu L. The evolvement and restructuring of the urban spatial structure of Jincheng City, Shanxi Province[J]. *Geographical Research*, 2013, 32(7): 1231-1242.]
- [23] 胡毅, 张京祥. 基于县域尺度的长三角城市群经济空间演变特征研究[J]. 经济地理, 2010, 30(7): 1112-1117. [Hu Y, Zhang J X. Economic space evolution of Yangtze River Delta City group based on county scale[J]. *Economic Geography*, 2010, 30(7): 1112-1117.]
- [24] 李培祥. 城市土地利用结构转换与产业结构演变关系分析-以广东城市为例[J]. 资源与产业, 2010, 12(2): 140-144. [Li P X. Analysis on relationship between land utilization structure conversion and industrial structure evolution: a case study on Guang Dong cities[J]. *Resources & Industries*, 2010, 12(2): 140-144.]
- [25] 尚正永, 张小林, 周晓钟. 基于RS/GIS的城市空间扩展与外部形态演变研究-以江苏省淮安市为例[J]. 经济地理, 2012, 32(8): 64-70. [Shang Z Y, Zhang X L, Zhou X Z. Study on urban spatial expansion and external morphology evolution based on RS/GIS: a case of Huai'an City[J]. *Economic Geography*, 2012, 32(8): 64-70.]
- [26] 钮心毅, 李时锦, 宋小冬, 等. 城市工业用地调整的空间决策支持-以广州为例[J]. 城市规划, 2011, 35(7): 24-29. [Niu X Y, Li S J, Song X D, et al. Spatial decision support to adjustment of urban industrial land: a case of Guangzhou[J]. *City Planning Review*, 2011, 35(7): 24-29.]
- [27] 潘洪义, 周介铭, 何伟, 等. 唐山市主城区工业用地布局与空间结构分析[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2012, 35(4): 567-572. [Pan H Y, Zhou J M, He W, et al. The analysis of industrial land layout and space structure in the downtown areas of Tangshan [J]. *Journal of Sichuan Normal University (Natural Science)*, 2012, 35(4): 567-572.]
- [28] 叶琪. 我国区域产业转移的态势与承接的竞争格局[J]. 经济地理, 2013, 34(6): 38-45. [Ye Q. The transfer trend and undertaking competitive situation of China's regional industry [J]. *Economic Geography*, 2013, 34(6): 38-45.]
- [29] 谢花林. 土地利用生态安全格局研究进展[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6305-6311. [Xie H L. Review and the outlook of land use ecological security pattern[J]. *Acta ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 6305-6311.]
- [30] 喻锋, 李晓兵, 王宏. 生态安全条件下土地利用格局优化-以皇甫川流域为例[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3198-3210. [Yu F, Li X B, Wang H. Optimization of land use pattern based on eco-security: a case study in the Huangfuchuan watershed[J]. *Acta ecologica Sinica*, 2014, 34(12): 3198-3210.]
- [31] 刘庆, 陈利根. 长株潭地区土地可持续利用综合评价及空间分区[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 245-253. [Liu Q, Chen L G. Comprehensive evaluation and spatial partition of sustainable utilization of land in Chang-Zhu-Tan region[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(6): 245-253.]
- [32] 李力, 王景福. 生态红线制度建设的理论和实践[J]. 生态经济(中文版), 2014, 30(8): 138-140. [Li L, Wang J F. Institutional construction of ecological red line: theory and practice[J]. *Ecological Economy*, 2014, 30(8): 138-140.]
- [33] 黄辉玲, 罗文斌, 吴次芳, 等. 基于物元分析的土地生态安全评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 316-322. [Huang H L, Luo W B, Wu C F, et al. Evaluation of land eco-security based on matter element analysis[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(3): 316-322.]
- [34] 范树平, 刘友兆, 张红梅, 等. 基于层次模糊物元模型的承接产业用地空间适宜评价[J]. 农业工程学报, 2015, 31(6): 266-276. [Fan S P, Liu Y Z, Zhang H M, et al. Undertaking industrial land spatial suitability evaluation based on hierarchical fuzzy matter element model [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(6): 266-276.]
- [35] 文魁, 祝尔娟, 叶堂林, 等. 京津冀发展报告(2015)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2015. [Wen K, Zhu E J, Ye T L, et al. Beijing, Tianjin and Hebei Development Report (2015) [M]. Beijing: Social Scientific Documentation Publishing House, 2015.]
- [36] 张志玲. 坚持“双轮驱动”加快“两个转型”-天津市北辰区全面融入京津冀协同发展[J]. 求知, 2016, (1): 56-58. [Zhang Z L. Fully integrated into the coordinated development of Beijing Tianjin Hebei Adhere to the "two wheel drive" to speed up the "two transformation" of Beichen District in Tianjin[J]. *Seeking*

2017年9月

- Knowledge*, 2016, (1): 56-58.]
- [37] 李彤. 天津市生态用地保护红线划定方案向市民征求意见[EB/OL]. (2014-01-22) [2016-07-15]. <http://news.enorth.com.cn/system/2014/01/22/011630596.shtml>. [Li T. Solicit Opinions of the Tianjin Ecological Red-line Delineation Scheme[EB/OL]. (2014-01-22) [2016-07-15]. <http://news.enorth.com.cn/system/2014/01/22/011630596.shtml>.]
- [38] 天津市统计局. 天津市统计年鉴[M]. 天津: 天津市统计局, 2016. [Tianjin City Bureau of Statistics. Tianjin Municipal Statistical Yearbook[M]. Tianjin: Tianjin Municipal Bureau of Statistics, 2016.]
- [39] 天津市北辰区统计局. 北辰区统计年鉴[M]. 北辰: 北辰区统计局, 2015. [Beichen District Bureau of Statistics. Beichen District Statistical Yearbook[M]. Beichen: Beichen District Bureau of Statistics, 2015.]
- [40] 天津市北辰区统计局. 北辰区国民经济和社会统计公报[M]. 北辰: 北辰区统计局, 2015. [Beichen District Bureau of Statistics. Beichen District national economic and Social Statistics Bulletin[M]. Beichen: Beichen District Bureau of Statistics, 2015.]
- [41] 天津市北辰区人民政府. 《天津市北辰区土地利用总体规划(2006-2020年)》公告[EB/OL]. (2012-04-19) [2016-07-15]. <http://news.enorth.com.cn/system/2012/04/19/009072374.shtml>. [People's Government of Beichen District. Tianjin. Announcement of general plan of land use in Beichen District of Tianjin (2006-2020 years)[EB/OL]. (2012-04-19) [2016-07-15]. <http://news.enorth.com.cn/system/2012/04/19/009072374.shtml>.]
- [42] 中国科学院计算机网络信息中心. 航天飞机雷达地形测绘任务(SRTM)数据服务[EB/OL]. [2015-10-11]. http://www.cnica.cas.cn/zcfw/sjfw/gjksjxx/xxfw_sdb05/200909/t20090916_2486164.html. [Computer Network Information Center of the Chinese Academy of Sciences. Data services of Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) [EB/OL]. [2015-10-11]. http://www.cnica.cas.cn/zcfw/sjfw/gjksjxx/xxfw_sdb05/200909/t20090916_2486164.html.]
- [43] 韦伯. 工业区位论[M]. 北京: 商务印书馆, 1997. [Weber A. Theory of industrial location[M]. Beijing: The Commercial Press, 1997.]
- [44] 田大庆, 王奇, 叶文虎. 三生共赢: 可持续发展的根本目标与行为准则[J]. 中国人口资源与环境, 2004, 14(2): 8-11. [Tian D Q, Wang Q, Ye W H. Common development of life, production and environment: basic goal and behavior norms of sustainable development[J]. China Population, Resources and Environment, 2004, 14(2): 8-11.]
- [45] 吕岩威, 孙慧. 中国战略性新兴产业集聚度演变与空间布局构想[J]. 地域研究与开发, 2013, 32(4): 15-21. [Lv Y W, Sun H. Study on agglomeration degree trend and spatial layout conception of China's strategic emerging industries[J]. Areal Research and Development, 2013, 32(4): 15-21.]
- [46] 王兰英, 杨帆. 创新驱动发展战略与中国的未来城镇化建设[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(9): 163-169. [Wang L Y, Yang F. On innovation-driven development strategy and urbanization construction in the future[J]. China Population Resources and Environment, 2014, 24(9): 163-169.]
- [47] 李冬生, 陈秉钊. 上海市杨浦老工业区工业用地更新对策-从“工业杨浦”到“知识杨浦”[J]. 城市规划学刊, 2005, (1): 44-50. [Li D S, Chen B Z. The strategy of the re-use of the old industry land in the Yangpu old industry area-from “Industry Yangpu To Knowledge Yangpu”[J]. Urban Planning Forum, 2005, (1): 44-50.]
- [48] 韩岑好. 基于空间布局优化的城市工业用地调整研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013. [Han C Y. Adjustment of Urban Industrial Land for Optimization of Spatial Layout: a Case Study of Yiwu City[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.]
- [49] 罗巧灵, 胡忆东, 丘永东. 国际低碳城市规划的理论、实践和研究展望[J]. 规划师, 2011, 27(5): 5-10. [Luo Q L, Hu Y D, Qiu Y D. The theory, practice and prospect of the low carbon City Planning[J]. Planners, 2011, 27(5): 5-10.]
- [50] 杨文博, 董玉香. 低碳城市之下的住宅区规划策略[J]. 城市建设, 2010, (2): 38-38. [Yang W B, Dong Y X. Residential planning strategy under low carbon city[J]. City Construction, 2010, (2): 38-38.]
- [51] 周小玲. 低碳社区典范: 零能耗的贝丁顿社区[J]. 世界科学, 2010, (4): 26-27. [Zhou X L. Low carbon community paradigm: zero energy Beddington community[J]. World Science, 2010, (4): 26-27.]

Industrial land spatial security evaluation based on hierarchical fuzzy matter element modeling of Beichen District, Tianjin

ZHANG Lei, GAO Xu, BIAN Jiang, WANG Lijun, CHEN Xiaoqin, HUANG Qiu

(School of Management, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

Abstract: Affected by urbanization and post-industrialization, industrial land-use and urban land-use are moving towards integration and the contradictions between land and people are becoming increasingly acute. How to ensure a reasonable layout and effective supply and improve the integration of land-use remain important questions for the field. Beijing-Tianjin-Hebei is a critical strategic area of integration and the reasonable layout and effective supply of industrial land-use in the Beijing-Tianjin corridor has become a key link to promote the ordered undertaking and safe production of regional industries. Based on the starting point of a reasonable layout and effective supply of industrial land, we developed a space security diagnosis method: the red line control initial screen- single factor evaluation- spatial comprehensive evaluation. Using GIS and hierarchical fuzzy matter-element modeling, we conducted space layout security appraisal and grade division for industrial land-use in Beichen District. We found that there are 59.72% current industrial land-use of Beichen District is at a general security level in 2015, 11.59% of land-use has a high level of security, the proportion of low security zone and unsafe zone reached 28.69%. In terms of a single indicator, location security conditions such as wind interference area, and traffic convenience, as well as production security conditions (e.g. industrial agglomeration degree and high-tech radiation) have a great influence on evaluation results. On the basis of ensuring regional ecological security, combining with a reasonable scale of industrial land-use and industrial characteristics, the internal intensivism and spatial layout optimization of industrial land-use are realized. This study offers some valuable proposals: strictly control ecological land-use, aggregate in high-security areas and identify industry type. These measures will help achieve the coordinated development of industrial land-use among regional social, economic, environmental and city-industry integration.

Key words: industrial land-use; land-use layout; spatial security evaluation; city-industry integration; hierarchical fuzzy matter element