

引用格式:韩海彬,牛可萌.技术异质性下中国三大城市群工业用地利用效率评价[J].资源科学,2021,43(6):1193-1207. [Han H B, Niu K M. Evaluation of industrial land use efficiency of China's three major urban agglomerations under technology heterogeneity[J]. Resources Science, 2021, 43(6): 1193-1207.] DOI: 10.18402/resci.2021.06.11

# 技术异质性下中国三大城市群工业用地利用效率评价

韩海彬,牛可萌

(天津商业大学公共管理学院,天津 300134)

**摘要:**提高工业用地利用效率、深入挖掘工业用地节约潜力是缓解城市群工业用地供需矛盾、推动城市群绿色可持续发展的重要途径。本文将非期望产出纳入工业用地利用效率评价体系,并在技术异质性框架下,采用共同前沿广义方向性距离函数模型,对2003—2016年京津冀、长三角、珠三角三大城市群的工业用地利用效率进行评价。研究表明:①共同前沿下,三大城市群工业用地利用效率间存在差异,珠三角城市群的工业用地利用效率最高,京津冀城市群次之,长三角城市群最低。②京津冀和珠三角城市群工业用地利用效率损失主要来源于管理无效率,而长三角城市群工业用地利用效率损失的来源无明显偏向性,管理无效率和技术差距无效率对其贡献度大致相当。③根据工业用地利用效率损失的根源,可将三大城市群内各城市划分为保持现状型、组内学习型、整体提升型和跨组学习型4种类型。本文结果有利于揭示三大城市群工业用地利用效率损失的根源,挖掘三大城市群工业用地节约潜力,从而为制定城市群工业用地高质量利用政策提供参考。

**关键词:**技术异质性;共同前沿;工业用地利用效率;广义方向性距离函数;非期望产出;城市群

DOI: 10.18402/resci.2021.06.11

## 1 引言

工业用地作为工业生产活动的重要载体,是促进工业发展的最基本投入要素,将影响工业长期发展的弹性和空间<sup>[1]</sup>。改革开放以来,中国工业经济取得长足发展,2019年中国工业增加值为31.71万亿元,在GDP中的占比达32%。与此同时,工业用地面积也呈现稳步增长趋势,2018年城市工业建设用地面积为110.27万hm<sup>2</sup>,相较于2003年增加了48.07万hm<sup>2</sup>,增幅高达77%<sup>[2]</sup>。然而,长期以来地方政府实施“以地引资”等策略,导致工业用地低效利用与盲目扩张现象并存<sup>[3]</sup>。研究表明,与发达国家相比,中国城市工业用地面积占建设用地面积比重明显偏高,而容积率则明显偏低<sup>[4]</sup>。工业用地低效、

粗放利用,既不利于工业企业转型升级,亦扰乱了城市空间结构的优化布局,甚至危及国家粮食安全。因此,在中国经济由高速增长阶段向高质量发展阶段迈进的转型期,在土地资源日益趋紧的新形势下,提升工业用地利用效率,转变工业用地利用方式是当前学术界和政策层关注的重要议题。

学者们倾向于借助无需预设具体函数形式并能解决多投入和多产出问题的数据包络分析方法(Data Envelopment Analysis, DEA),对工业用地利用效率进行测度和分析<sup>[5,6]</sup>。该方法的基本原理是先确定有效率的生产组合(即生产前沿面<sup>①</sup>),然后通过比较实际生产组合与生产前沿面的距离计算效率值<sup>[7,8]</sup>。例如,熊强等<sup>[9]</sup>运用DEA模型测算了

收稿日期:2020-09-11,修订日期:2021-01-19

基金项目:国家社会科学基金项目(14BTJ014)。

作者简介:韩海彬,男,河北满城人,博士,副教授,研究方向为资源与环境经济。E-mail: hshore@126.com

① 生产前沿面是由投入最小、产出最大为目标的Paerto最优解构建的面,是所有最优的投入、产出的集合,反映了最优的生产技术水平,位于生产前沿面上的决策单元均为技术有效。

2003—2009年间中国29个省份城市工业土地利用效率,发现中西部城市工业土地利用效率低于全国平均水平;冯长春等<sup>[10]</sup>利用DEA方法实证分析了中国262个地级及以上城市的工业土地利用情况,发现中国城市工业土地利用效率总体偏低,其中大城市和经济发达城市效率高,小城市及传统工矿城市效率低。总体来看,学者们对工业土地利用效率的研究已涵盖部分城市<sup>[11]</sup>、省域<sup>[12]</sup>以及经济区<sup>[13]</sup>等,并且得出有益结论,为提升城市工业土地利用效率,缩小区域间差异提供了政策支撑。但是,现有文献在对工业土地利用效率的科学测度方面仍然存在较大的改进空间。

首先,现有相关文献所构建的工业土地利用效率评价指标体系,通常仅考虑工业土地利用过程中的“好”产出(期望产出),却忽略了工业土地利用过程中产生的副产品,即“坏”产出(非期望产出),这不仅会造成评价结果的失真,也与工业土地可持续发展的目标相悖<sup>[14,15]</sup>。鉴于此,部分学者尝试通过方向性距离函数模型(Directional Distance Function, DDF)将非期望产出纳入工业土地利用效率评价体系,并对不同地区的工业土地利用效率进行评价<sup>[16,17]</sup>。DDF模型由Chambers<sup>[18]</sup>提出并进一步发展完善,该模型可以在保证期望产出增加的同时,实现非期望产出的减少,因此受到广大学者的青睐<sup>②</sup>。但是,基于DDF模型的测度结果可能无法与其他径向DEA模型的测度结果进行直接比较和有效兼容。为解决该问题,Cheng等<sup>[19]</sup>提出了广义方向性距离函数模型(Generalized Directional Distance Function, GDDF),该模型既可以综合考虑期望产出增加与非期望产出减少,又能保证测度结果与其他径向DEA模型具有可比性,而且效率值也不受方向向量长度的影响,从而有效克服了DDF模型的缺陷。

其次,现有相关文献在测度工业土地利用效率

时,通常都在“技术同质”假设下,基于同一生产前沿评价全部决策单元(Decision Making Units, DMUs)。事实上,不同决策单元由于在地理位置、资源禀赋、社会经济条件等方面存在客观差异,导致其可参考的生产前沿面不可能完全相同。如果忽略决策单元之间存在的技术异质性,可能导致测度结果出现偏差<sup>[20]</sup>。为解决该问题,部分学者尝试利用共同前沿分析方法(Meta-frontier)测度效率<sup>③</sup>,该方法既能考虑不同群组之间的技术异质性,又能对决策单元的无效率值进一步分解,从而能够探究无效率的来源<sup>[21-23]</sup>。目前,共同前沿分析方法已被广泛应用于工业效率、农业效率、能源效率以及碳排放效率等领域的研究<sup>[24-27]</sup>。但鲜有文献在技术异质性框架下,利用共同前沿分析方法对工业土地利用效率进行研究。

京津冀、长三角和珠三角是中国发育最成熟的三大城市群,同时也是中国经济最发达、人口最稠密的地区,对推动工业高质量发展和打造优势产业集群起到不可替代的作用。因此,越来越多的学者以三大城市群为研究对象从不同角度展开系列研究。其中,关于三大城市群土地利用效率的研究对实施新型工业化和新型城镇化战略具有重要意义<sup>[28]</sup>。然而,目前关于三大城市群运行效率的研究集中于经济增长效率<sup>[29]</sup>、产业效率<sup>[30]</sup>、环境治理效率<sup>[31]</sup>等方面,对三大城市群土地利用效率尤其是工业土地利用效率的相关研究还相对较少。

鉴于此,本文将从以下3个方面对现有研究做进一步拓展:①将环境因素纳入工业土地利用效率评价体系,并基于具有优良特性的GDDF模型对资源与环境双重约束下2003—2016年中国三大城市群工业土地利用效率进行综合评价。②充分考虑三大城市群间的技术异质性特征,将共同前沿分析方法与GDDF模型相结合,提出共同前沿广义方向性距离函数模型(Meta-frontier GDDF, MGDDF),

② 传统的DEA模型只允许投入减少和产出增加,因此无法实现令非期望产出减少的目标。为解决该问题,以往文献通常将非期望产出作为投入或者对非期望产出进行数据转换,然而这些处理方式的科学性和准确性均无法保证。DDF模型通过对各指标的方向向量的灵活设定,可以对期望产出与非期望产出进行有效区分,而且能够实现减少投入、增加期望产出、减少非期望产出的目标。

③ 共同前沿分析方法的基本思想是依据某种标准,将所有待考察的决策单元划分为具有异质性特征的不同群组,每个群组形成一个生产前沿面,即群组前沿。然后,通过对不同群组生产前沿面的包络形成一个共同的生产前沿面,即共同前沿。群组前沿反映了群组内决策单元的最优生产技术水平,而共同前沿则反映了位于不同群组的所有决策单元的潜在最优生产技术水平。

2021年6月

并进一步利用该模型探讨技术异质性下三大城市群间的工业土地利用效率差异。③从管理和技术两个维度对2003—2016年三大城市群工业土地利用无效率值进行解构,探究不同城市群工业土地利用效率损失的根源,并识别影响各城市群工业土地利用效率提升的关键内生因素,从而为制定差异化的工业用地政策提供参考。

## 2 研究方法、指标体系与样本选择

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 MGDDF 模型

利用传统DEA方法测度工业土地利用效率时,一个潜在假设条件是被评价决策单元均具有相同或类似的技术水平。然而,此种“技术同质”的假设条件通常与事实并不相符。以本文为例,中国三大城市群在地理位置、政策环境、工业产业结构以及工业用地状况等方面存在客观差异,因此位于不同城市群的城市所处的生产前沿并不同,所能达到的最优生产技术水平也不可能相同。在测度工业土地利用效率时如果不考虑城市群之间的技术差异,可能导致测度结果出现偏误。为此,本文利用O'Donnell等<sup>[32]</sup>提出的共同前沿分析框架,通过构造群组前沿和共同前沿识别不同城市群之间存在的技术异质性问题。

根据生产技术的不同,假定  $K(k=1, 2, \dots, K)$  个DMUs可划分为  $H(h=1, 2, \dots, H)$  个独立的群组,每个群组中包括  $K_h$  个观察值,其中  $\sum_{h=1}^H K_h = K$ 。可将第  $h$  个群组包含非期望产出的群组前沿生产技术集定义为:  $T_h = \{(x, y, b): x \text{ 可以生产 } (y, b), h=1, 2, \dots, H\}$ 。共同前沿是将不同群组的前沿面进行包络而形成的一个新的生产前沿面。因此,共同前沿生产技术集可表示为:  $T_m = \{T_1 \cup T_2 \cup \dots \cup T_H\}$ 。可见,共同前沿代表所有群组的潜在最优技术水平。鉴于GDDF模型的优良特性<sup>[19]</sup>,本文将共同前沿分析方法与GDDF模型相结合,构建共同前沿广义方向性距离函数模型(MGDDF),模型公式如下:

$$\begin{aligned} & 1 - \frac{1}{\sum_{n=1}^N w_n^1 \beta g_x / x_{no}} \\ \min & \frac{1}{1 + \frac{1}{\sum_{m=1}^M w_m^G \beta g_y / y_{mo} + \sum_{j=1}^J w_j^B \beta (-g_b) / b_{jo}}} \\ \text{s.t.} & \sum_{h=1}^H \sum_{k=1}^{K_h} \lambda_k^h x_{nk} + \beta g_x \leq x_{no}, n=1, 2, \dots, N \\ & \sum_{h=1}^H \sum_{k=1}^{K_h} \lambda_k^h y_{mk} - \beta g_y \geq y_{mo}, m=1, 2, \dots, M \\ & \sum_{h=1}^H \sum_{k=1}^{K_h} \lambda_k^h b_{jk} + \beta g_b = b_{jo}, j=1, 2, \dots, J \\ & \lambda_k^h \geq 0, k=1, 2, \dots, K_h, h=1, 2, \dots, H \end{aligned} \quad (1)$$

式中:  $w_n^1$ 、 $w_m^G$ 、 $w_j^B$  分别代表投入、期望产出和非期望产出的权重向量;  $g_x$ 、 $g_y$ 、 $g_b$  分别代表投入、期望产出和非期望产出的方向向量;  $\beta$  表示无效率值;  $x_{no}$ 、 $y_{mo}$ 、 $b_{jo}$  分别表示第  $o$  个被评价DMU的投入、期望产出和非期望产出值,  $o \in K$ ;  $\beta g_x / x_{no}$ 、 $\beta g_y / y_{mo}$  和  $\beta(-g_b) / b_{jo}$  则分别表示投入减少、期望产出增加和非期望产出减少的比例;  $N$ 、 $M$  和  $J$  则分别表示投入、期望产出和非期望产出的数量;  $\lambda_k^h$  为非负权重向量;  $H$  为群组的数量;  $K_h$  为每个群组中包括的观察值。

工业土地利用是多投入和多产出的复杂过程,仅有土地要素是无法满足工业生产的。因此,确定工业土地利用效率投入产出指标时,必须要按照工业土地利用真实、客观的生产场景综合考虑各种主要的投入和产出要素。本文在现有文献的基础上,将资本  $K$ 、劳动力  $L$ 、能源  $E$  和土地  $LD$  作为投入指标;将工业增加值  $Y$  作为期望产出指标;将工业废水排放量  $WA$  和工业  $SO_2$  排放量  $Sulfur$  作为非期望产出指标<sup>[33,34]</sup>。然而,这给工业土地利用效率测度带来了挑战,因为如果无法剥离资本、劳动和能源等非土地投入要素对工业土地利用效率的影响,测度结果将是工业生产系统的整体效率,而非工业土地利用效率<sup>④</sup>。

基于生产要素之间具有可替代性的假设,李江龙等<sup>[35]</sup>提出了解决该问题的有效办法,本文参照该思路,将资本、劳动和能源3种投入变量的权重设为

④ 传统的DEA模型无法解决该问题,而本文提出的MGDDF模型可以对各投入产出指标的方向向量和权重进行灵活设定,从而为有效解决该问题提供了方法支撑。



0,从而将资本、劳动和能源等非土地投入要素进行有效剥离,最终能够实现准确获知工业用地的浪费程度以及工业用地节约潜力。林伯强等<sup>[36]</sup>的研究表明,构建全要素投入产出指标时,如果没有先验性信息,应赋予各类投入和产出指标同等的重要性。因此,本文认为在工业用地利用过程中,投入、期望产出和非期望产出的重要性相同,三者的权重应该分别设定为1/3。具体来说,由于资本、劳动和能源3种投入变量的权重已设为0,土地投入变量的权重便为1/3。本文仅涉及工业增加值一种期望产出,因此其权重应为1/3。另外,根据Lin等<sup>[37]</sup>、Zhang等<sup>[38]</sup>以及林伯强等<sup>[39]</sup>的研究,如果没有明确的划分依据,将各非期望产出指标进行平均处理是合理的。故本文将非期望产出1/3的权重平均分配给工业废水排放量和工业SO<sub>2</sub>排放量两种污染物,即两种非期望产出的权重均为1/6。综上,本文投入产出变量的权重向量设定为 $w = (0, 0, 0, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6})$ 。另外,与权重向量相对应,各投入产出变量的方向向量设定为 $g = (0, 0, 0, -LD, Y, -WA, -Sulfer)$ 。

通过求解GDDF模型和MGDDF模型,可以得到群组前沿下的工业土地利用效率值GILUE和共同前沿下的工业土地利用效率值MILUE。其中, $0 < GILUE \leq 1$ ,  $0 < MILUE \leq 1$ 。

### 2.1.2 技术差距比

本文通过构建技术差距比(Technical Gap Ratio, TGR)指标衡量群组前沿与共同前沿之间的差距,从而进一步探讨三大城市群之间工业土地利用效率的技术异质性问题。技术差距比在数值上等于共同前沿下的工业土地利用效率与群组前沿下工业土地利用效率的比值,可由式(2)计算。

$$TGR = \frac{MILUE}{GILUE} \quad (2)$$

由于共同前沿是包络群组前沿的曲线,因此参照共同前沿测度的工业土地利用效率值不会高于参照群组前沿测度的效率值,即 $MILUE \leq GILUE$ 。故 $0 < TGR \leq 1$ 。TGR值越接近于1,表明两种前沿的技术差距越小,也就意味着共同前沿下的工业土地利用效率值越接近于群组前沿下的效率值,反之亦然。

图1刻画了群组前沿、共同前沿以及技术差距

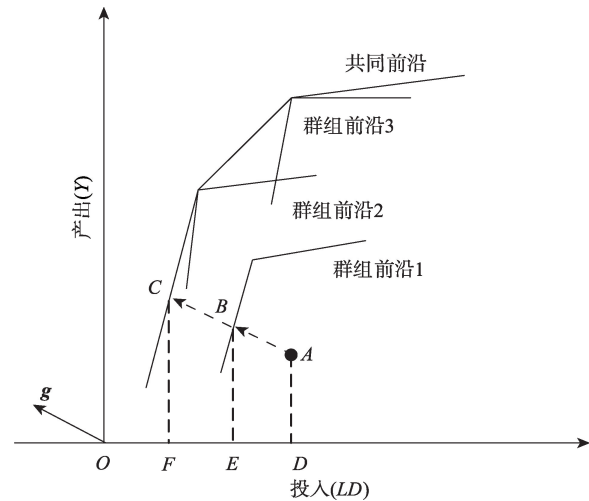


图1 群组前沿、共同前沿与技术差距比的图形描述

Figure 1 A diagram of group-frontier, meta-frontier, and technical gap ration

比之间的关系。群组前沿1、2和3分别代表三大城市群各自的生产前沿面,共同前沿则为3个群组前沿的包络曲线。此外,某特定群组前沿的生产技术水平相同,而不同群组则具有不同的生产技术水平,即不同群组之间存在技术异质性。以群组前沿1中的城市A为例,当以群组前沿1为参照集时,城市A要达到技术有效,其工业用地投入需减少ED,此时其工业用地的目标投入应为OE,群组前沿下的工业土地利用效率值为 $GILUE(A) = OE/OD$ ;当以共同前沿为参照集时,城市A要达到技术有效,其工业用地投入还需进一步减少FE,此时其工业用地的目标投入应为OF,共同前沿下的工业土地利用效率值表示为 $MILUE(A) = OF/OD$ 。OF和OE的比值即为 $TGR(A)$ ,该指标衡量了群组前沿和共同前沿之间的技术差距。

### 2.1.3 工业土地利用无效率分解

为进一步揭示工业土地利用效率损失的缘由,本文参照Wang等<sup>[22]</sup>的思路,将h群组内城市k在共同前沿下的工业土地利用无效率值( $MIT_k^h$ )分解为技术差距无效率( $TGI_k^h$ )和管理无效率( $MI_k^h$ )。

$$MIT_k^h = TGI_k^h + MI_k^h \quad (3)$$

$$TGI_k^h = GILUE_k^h(1 - TGR_k^h) \quad (4)$$

$$MI_k^h = 1 - GILUE_k^h \quad (5)$$

式中: $TGI_k^h$ 表示因群组前沿和共同前沿之间的技术差距而产生的效率损失,在图1中可用FE/OD表

2021年6月

示; $MI_k^h$ 则表示因管理不当导致某个城市在群组前沿下的工业土地利用效率未达到群组最优而产生的效率损失,在图1中可用 $ED/OD$ 表示。

此外,根据工业土地利用无效率的分解结果,可以计算出各城市总体的工业用地节约潜力,并进一步将其归因于由技术差距和管理不当造成的工业用地节约潜力,相应计算公式如下所示<sup>[40]</sup>。

$$ILSP_k^h = MIT_k^h \times LD_k^h \quad (6)$$

$$ILSPT_k^h = TGI_k^h \times LD_k^h \quad (7)$$

$$ILSPM_k^h = MI_k^h \times LD_k^h \quad (8)$$

式中: $LD_k^h$ 表示 $h$ 群组内城市 $k$ 实际投入的工业用地面积; $ILSP_k^h$ 表示 $h$ 群组内城市 $k$ 总的工业用地节约潜力; $ILSPT_k^h$ 表示 $h$ 群组内城市 $k$ 因技术差距造成的工业用地节约潜力; $ILSPM_k^h$ 则表示 $h$ 群组内城市 $k$ 因管理不当造成的工业用地节约潜力。

## 2.2 指标体系构建

本文构建的工业土地利用效率指标体系主要体现内嵌于工业生产系统中的土地投入和产出关系。首先,资本、劳动和能源是社会经济活动的重要投入,而且在经济增长模型中以此三要素作为投入已被众多学者采纳<sup>[41]</sup>,本文借鉴该思路;其次,本文主要测度工业土地利用效率,所以土地是不可或缺的一项重要投入;最后,在工业土地利用过程中,投入一定的生产要素后,除了获得以工业增加值为代表的期望产出之外,同时还会产生对环境造成危害的工业污染排放物,即非期望产出。因此,需要将期望产出和非期望产出同时纳入工业土地利用效率评价体系。综上,本文遵循指标的代表性、可获取性等原则,并参照现有文献的研究思路<sup>[42,43]</sup>,构建工业土地利用效率投入产出指标体系如下:

(1)投入指标。①土地投入。土地既是工业生产活动的承载物,亦是重要的生产要素。但是,相较于农业生产而言,工业生产活动对土地质量的要求相对较低。因此,本文仅考虑工业土地总量投

入,选取工业用地面积作为土地投入指标。②劳动力投入。由于中国官方未直接公布工业从业人员数据,故本文按照现有文献的作法,通过第二产业从业人员与建筑业从业人员之差,间接计算得到工业从业人员数,并以此代表劳动力投入指标。③资本投入。由于固定资产净值年平均余额能够反映出工业企业真实的资产状况,因此本文参照张海洋<sup>[44]</sup>和姚志毅等<sup>[45]</sup>的思路,选取工业固定资产净值年平均余额作为资本投入的衡量指标。④能源投入。本文以工业用电量表示能源投入指标。

(2)产出指标。①期望产出。相较于工业总产值,工业增加值因剔除了“中间消耗”而能更加真实地反映工业产出情况<sup>[46]</sup>。因此,本文选用工业增加值作为期望产出指标,用来反映工业土地利用过程产生的经济效益。②非期望产出。本文选取工业废水排放量和工业 $SO_2$ 排放量作为非期望产出,用来反映工业土地利用过程中的环境污染。

## 2.3 样本选择

城市群日益成为未来经济发展格局中承载发展要素的主要空间形式,京津冀、长三角和珠三角三大城市群作为其中的佼佼者,在承担推进新型城镇化主体责任,提升区域和国家经济竞争力方面具有至关重要的作用<sup>[47]</sup>。然而,伴随着城镇化的快速推进,三大城市群城市空间盲目扩张,工业用地粗放利用、耕地侵占、环境污染等问题频现,严重制约了区域可持续发展<sup>[48,49]</sup>。鉴于此,对三大城市群工业土地利用效率进行研究将具有重要的理论意义和现实价值。

考虑到数据的可获得性,本文以2003—2016年为考察期,将京津冀、长三角和珠三角三大城市群及其所包含的47个城市作为样本观测单元<sup>⑤</sup>,三大城市群空间范围参照中央和地方出台的相关规划文件界定<sup>⑥</sup>。如无特殊说明,文中各指标的原始数据均来源于EPS(Economy Prediction System)数据

⑤ 根据国家和地方统计局公开的统计资料,上海的工业用地面积缺失将近10年的数据,无法利用统计方法补充缺失数据。由于三大城市群剔除上海市之后还剩余47个城市,对DEA方法而言样本量足够大;且本文研究效率指标,并不研究城市群的经济总量指标;因此,本文参考文献[9,16]的做法,实证研究中未纳入上海市。

⑥ 京津冀城市群包括:北京、天津、石家庄、唐山、秦皇岛、邯郸、邢台、保定、张家口、承德、沧州、廊坊、衡水;长三角城市群包括:南京、无锡、常州、苏州、南通、盐城、扬州、镇江、泰州、杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、金华、舟山、台州、合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、滁州、池州、宣城;珠三角城市群包括:广州、深圳、珠海、佛山、江门、肇庆、惠州、东莞、中山。

库、《中国城市统计年鉴》、《中国城市建设统计年鉴》和《中国区域经济统计年鉴》等。此外,为消除价格因素的影响,本文将工业固定资产净值、工业增加值等以货币为单位的指标均以2003年为基期进行消胀处理。

## 2.4 群组划分

在技术异质性视角下测度效率,首先需要根据先验信息对研究对象进行群组划分。地理邻近性是划分群组时需要考虑的一个重要因素,因为地理位置在很大程度上影响知识溢出和技术扩散的速度<sup>[50]</sup>。因此,本文将以地理邻近性特征作为重要划分标准的京津冀、长三角和珠三角三大城市群视为具备异质性特征的三大群组。这一方面可以避免人为划分群组的主观性和随意性,从而保证评价结果的客观性;另一方面还可根据群组特征提出更有针对性的对策建议<sup>[51]</sup>。

2003—2016年三大城市群工业用地利用效率投入产出指标数据的均值如表1所示。由表1可知,珠三角城市群的工业增加值远高于长三角城市群,京津冀城市群的工业增加值居于两者之间;珠三角城市群的工业生产更多依赖于土地和劳动力投入,京津冀城市群的工业生产更多依赖于资本和能源投入;长三角城市群的工业生产中劳动力、资本和能源投入相对较少,但土地投入相对较多且工业废水排放量居于三大城市群之首。由此可见,中国三大城市群工业用地利用过程中的投入产出差异较大,存在明显的区域异质性特征。因此,本文以研究对象所处地理位置为依据划分群组具备合理性与可行性。

## 3 结果与分析

### 3.1 三大城市群工业用地利用效率差异

本文在共同前沿和群组前沿下对中国三大城市群的工业用地利用效率进行测度。图2和表2分别从城市个体层面和城市群整体层面刻画城市群工业用地利用效率的特征。由图2可知,在不同前沿下各城市的工业用地利用效率发生了分异,主要表现为共同前沿下的工业用地利用效率值不会大于群组前沿下的效率值。以北京市和常州市为例,在群组前沿下两个城市的工业用地利用效率值均为1,但在共同前沿下分别下降至0.603和0.849。可见,如果参照群组前沿,北京市和常州市均为群组内最优决策单元,代表群组内最优工业用地利用技术水平;然而,如果参照共同前沿,北京市和常州市的工业用地利用效率并非最优,而且分别尚有39.7%和15.1%的改进空间。

对于其他城市而言,也存在类似的结论。究其原因,主要在于群组前沿和共同前沿的生产技术集不同,群组前沿的生产技术集仅包括单个群组的决策单元,代表的是群组内的潜在最优生产技术;而共同前沿是群组前沿的包络曲线,共同前沿的生产技术集包括了所有群组的全部决策单元,代表的是所有群组的潜在最优生产技术。由各城市工业用地利用投入和产出数据所决定的实际生产点与群组前沿的距离,不会大于其与共同前沿的距离<sup>[52]</sup>。故而,各城市参照共同前沿测度的工业用地利用效率值不会高于参照群组前沿测度的效率值。

表2呈现了2003—2016年三大城市群在共同前沿和群组前沿下的工业用地利用效率。由表2可

表1 2003—2016年三大城市群工业用地利用效率投入产出指标数据均值

Table 1 Average value of input-output indicators of industrial land use efficiency in China's major urban agglomerations, 2003-2016

	指标变量	京津冀城市群	长三角城市群	珠三角城市群
投入	工业从业人员/万人	31	27	56
	固定资产净值年平均余额/亿元	1566.903	1271.783	1551.620
	工业用电量/亿 kWh	221.213	161.690	203.890
	工业用地面积/万 hm <sup>2</sup>	0.745	0.834	1.128
产出	工业增加值/亿元	1233	1199	1818
	工业废水排放量/亿 t	1.101	1.618	1.386
	工业 SO <sub>2</sub> 排放量/亿 t	10.613	6.108	5.502



2021年6月

知,考察期内三大城市群在共同前沿下的工业土地利用效率平均值均小于或者等于在群组前沿下的工业土地利用效率平均值,再次验证了前文的结论。由于三大城市群参照各自的群组前沿测度的

工业土地利用效率不具可比性,因此,本文参照共同前沿比较三大城市群工业土地利用效率之间的差异。2003—2016年京津冀、长三角和珠三角三大城市群在共同前沿下的工业土地利用效率平均值分别为0.716、0.694和0.885。整体来看,珠三角城市群工业土地利用效率最高,存在11.5%的效率改进空间;京津冀城市群次之,存在28.4%的改进空间;长三角城市群最低,存在30.6%的改进空间。另外,具体到不同年份,珠三角城市群在大部分年度的工业土地利用效率值都领先于另外两个城市群。可见,中国三大城市群工业土地利用效率之间存在明显差异。

### 3.2 三大城市群工业土地利用效率的技术差距比

为进一步探讨三大城市群之间工业土地利用效率的技术异质性问题,本文利用技术差距比指标考察单个城市群内的最优生产技术(群组前沿)与所有城市群的潜在最优生产技术(共同前沿)之间的差距。如图3所示,2003—2016年京津冀、长三角和珠三角三大城市群的TGR均值分别为0.87、0.80和0.98,说明长三角城市群内各城市构成的群组前沿与三大城市群所有城市构成的共同前沿之间的技术差距最大,京津冀城市群次之,珠三角城市群最小。珠三角城市群已达到共同前沿下潜在最优

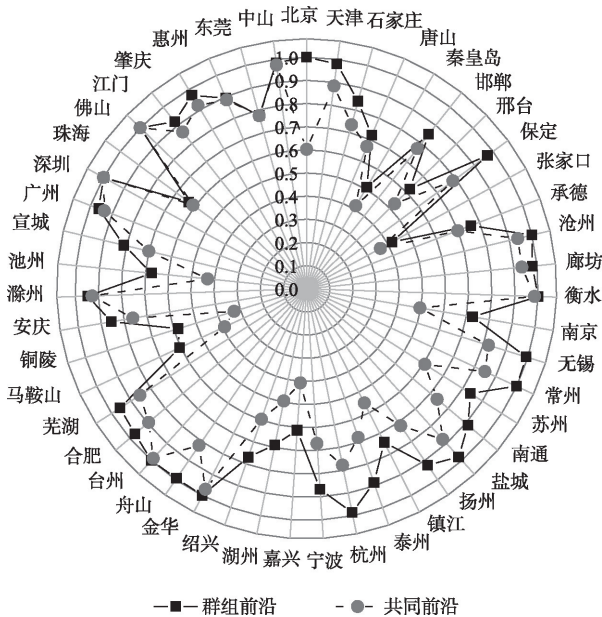


图2 2003—2016年群组前沿和共同前沿下各城市工业土地利用效率均值

Figure 2 Average value of industrial land use efficiency of each city under group-frontier and meta-frontier, 2003-2016

表2 2003—2016年共同前沿和群组前沿下三大城市群工业土地利用效率

Table 2 Industrial land use efficiency of China's three major urban agglomerations under meta-frontier and group-frontier, 2003-2016

年份	京津冀城市群		长三角城市群		珠三角城市群	
	GILUE	MILUE	GILUE	MILUE	GILUE	MILUE
2003	0.818	0.611	0.761	0.624	0.863	0.825
2004	0.823	0.657	0.800	0.665	0.947	0.869
2005	0.723	0.653	0.831	0.681	0.994	0.949
2006	0.734	0.621	0.842	0.667	0.964	0.942
2007	0.742	0.696	0.839	0.688	0.951	0.933
2008	0.780	0.688	0.851	0.678	0.918	0.912
2009	0.804	0.696	0.874	0.687	0.923	0.902
2010	0.828	0.717	0.869	0.702	0.956	0.932
2011	0.887	0.686	0.875	0.666	0.920	0.917
2012	0.857	0.698	0.851	0.701	0.895	0.891
2013	0.868	0.830	0.872	0.735	0.831	0.831
2014	0.884	0.824	0.865	0.770	0.844	0.841
2015	0.864	0.851	0.889	0.742	0.842	0.840
2016	0.849	0.799	0.924	0.709	0.814	0.808
均值	0.819	0.716	0.853	0.694	0.904	0.885

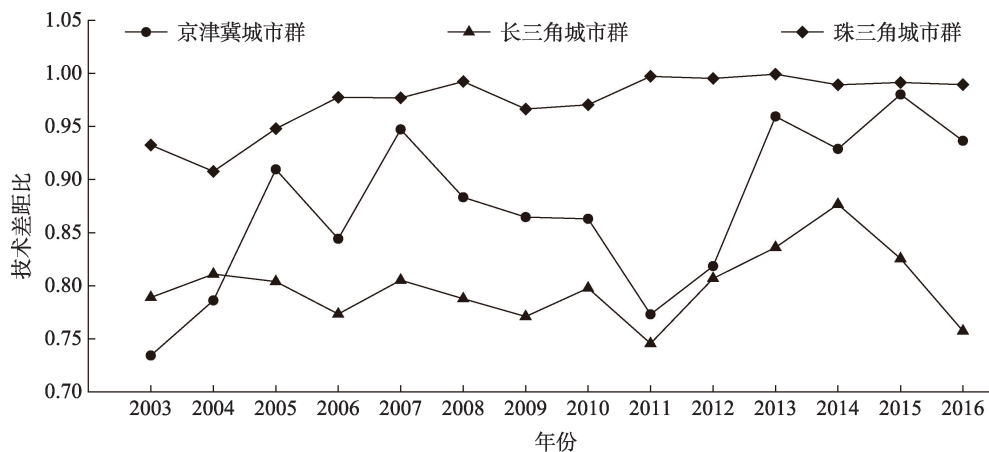


图3 2003—2016年三大城市群技术差距比变化趋势

Figure 3 Technical gap ratio in China's three major urban agglomerations, 2003-2016

工业土地利用技术水平的98%,基本代表了三大城市群的潜在最优生产技术水平。

从动态视角来看,珠三角城市群的TGR值总体呈上升趋势,并且波动幅度较小,基本稳定在0.9~1.0范围内,表明珠三角城市群的工业土地利用技术一直处于领先地位,且内部各城市间的工业土地利用技术差距较小。京津冀城市群的TGR值整体呈波动上升趋势,由2003年的0.73上升到2016年的0.94,年均增长1.96%,表明京津冀城市群的工业土地利用技术正向共同前沿下的潜在最优技术逼近。相比之下,长三角城市群的TGR值长期处于低位,并且整体呈微弱下降趋势,由2003年的0.79下降到2016年的0.76,年均下降0.30%,表明长三角城市群的工业土地利用技术水平有偏离潜在最优技术边界的倾向。可能的原因是该区域工业用地的粗放利用对土地生态系统造成冲击,工业经济增长的背后是高昂的环境代价。

### 3.3 三大城市群工业土地利用效率损失

通过前文分析可知,中国三大城市群之间的工业土地利用效率存在一定程度差异,整体上尚未达到效率最优状态,仍然存在较大的效率改进空间。为探究三大城市群工业土地利用效率损失的根源,本文根据式(3)~(5),将共同前沿下的工业土地利用无效率进一步分解为技术差距无效率(TGI)与管理无效率(MI)。其中,技术差距无效率具体表现为某个城市群的工业用地技术水平与所有城市群潜在最优技术水平间的差距,属于外源性障碍;管理

无效率则具体表现为特定城市群内某个城市的工业用地管理水平低下导致该城市工业土地资源未达到最优配置,属于内生性阻力。图4展示了考察期内三大城市群工业土地利用无效率中技术差距无效率与管理无效率的占比。

由图4可知,考察期内中国三大城市群工业土地利用无效率均值为0.26,其中技术差距无效率和管理无效率的占比分别为44%和56%。据此可知,中国三大城市群工业土地利用效率损失主要来源于管理无效率。究其原因,主要在于城市群涉及多元化行政主体,增加了工业用地统筹规划、协调管理的难度。虽然国家通过完善相关法律法规,严控工业用地审批、供应、使用等各个环节,但城市群是

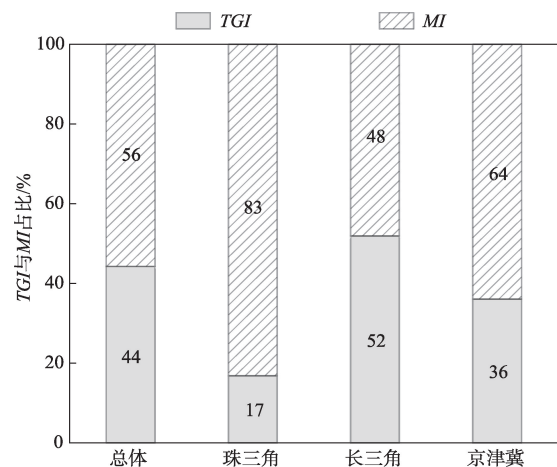


图4 2003—2016年三大城市群工业土地利用无效率来源

Figure 4 Inefficiency sources of industrial land utilization in the three major urban agglomerations of China, 2003-2016



2021年6月

特定区域范围内的城市集合体,行政权属的复杂性和内部发展的不均衡性等问题客观存在,为城市工业用地管理增加了障碍。

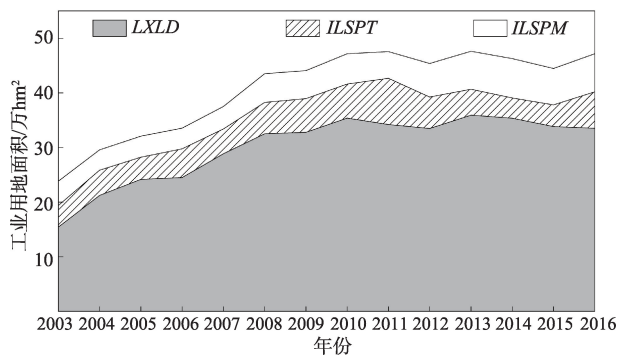
从不同城市群角度来看,考察期内京津冀城市群工业土地利用无效率均值为0.28,其中技术差距无效率和管理无效率的占比分别为36%和64%。由此可见,京津冀城市群工业土地利用效率损失主要源于管理无效率。可能的原因:相较于其他城市群,京津冀城市群产业结构中重化工业比重颇高,环境污染治理任务相对繁重。结合2003—2016年投入产出数据可知,京津冀城市群工业用地投入面积虽少,工业增加值也不低,但工业SO<sub>2</sub>等污染物的排放量相对较高,这反映出其环境污染管控工作存在缺失。例如,在京津冀协同发展的初期,河北省在承接来自北京、天津的产业转移过程中对省域内产业用地安排缺乏统筹规划,忽略产业项目的环境评估,弱化项目落地后的动态监管,致使工业污染问题愈发严重,增加了工业用地的环境成本。考察期内珠三角城市群工业土地利用无效率均值为0.11,其中技术差距无效率和管理无效率的占比分别为17%和83%。可见,该城市群工业土地利用效率损失也主要来源于管理无效率。可能的原因在于,在珠三角城市群发展初期,建设用地无序扩张问题比较严重,致使有限的土地资源被大量消耗,且伴随着工业用地闲置和浪费现象。目前,珠三角城市群试图通过存量工业用地再开发等措施,消化低效利用的工业用地,挖掘工业用地利用潜力,但这无疑增加了工业用地管理难度。此外,技术差距无效率在珠三角城市群工业土地利用效率损失中占比较低的原因主要在于:珠三角城市群作为改革开放先行区,受益于外资引进带来的技术外溢效应;而且该城市群土地市场发育较为完善,有益于生产要素的充分流动;故而该城市群的工业土地利用技术水平相对较高。考察期内长三角城市群工业土地利用无效率均值为0.31,其中技术差距无效率和管理无效率的占比分别为52%和48%,说明两者对该城市群的工业土地利用效率损失的贡献度大致相当。因此,长三角城市群需要内外兼修,全面提高工业土地利用技术水平和工业用地管理水

平,方能改善其工业土地利用效率。具体来看,长三角城市群横跨“三省一市”<sup>⑦</sup>,涉及多方主体的权力互动和利益协调,这既易形成工业用地技术溢出的壁垒,又易滋生工业用地管理方面的问题和摩擦。长三角城市群可通过促进各城市间的技术交流与合作,加快先进工业用地集约利用技术的外溢,着力破解多源工业用地信息数据融合等技术难题;同时也需要通过建构各行政主体间的协调机制,统筹全域工业用地规划,实现工业用地的区域协同治理。

### 3.4 三大城市群工业用地节约潜力

前文通过对中国三大城市群工业土地利用无效率的分解,剖析了各城市群工业土地利用效率损失的根源,但是仍未知因工业土地利用无效率而浪费的工业用地面积,以及通过提高工业土地利用技术水平和管理水平可释放的工业用地节约潜力。接下来,本文根据式(6)–(8)的计算结果,进一步分析中国三大城市群工业用地节约潜力。

图5反映了通过工业土地利用技术水平的提升可释放的工业用地节约潜力(ILSPT)以及运用先进的工业用地管理手段可释放的工业用地节约潜力(ILSPM)。总体来看,2003—2016年中国三大城市群实际投入的工业用地面积呈上升趋势,这其中既有中国工业化推进所必须的工业用地投入,亦有因工业土地利用技术水平低下和工业用地管理不当所导致的工业用地额外投入。具体来说,2003—



注:LXLD表示各城市在共同前沿下的最优工业用地投入。

图5 2003—2016年三大城市群工业用地节约潜力构成  
Figure 5 Composition of industrial land conservation potential in China's three major urban agglomerations, 2003-2016

⑦“三省一市”包括:浙江省、江苏省、安徽省、上海市。

2016年中国三大城市群额外耗费的工业用地面积累计为148.6万 $\text{hm}^2$ ,是2016年中国三大城市群全年投入工业用地面积(47.1万 $\text{hm}^2$ )的3.15倍。由此可见,因工业用地利用无效率所额外耗费的工业用地面积巨大。换言之,通过提升工业用地利用技术水平和改善工业用地管理水平所能释放的工业用地节约潜力巨大。

从时间维度来看,2016年中国三大城市群工业用地节约潜力为13.6万 $\text{hm}^2$ ,占当年所实际投入工业用地面积的29%,明显低于2003年35%的占比。这说明考察期内中国三大城市群工业用地低效利用状况总体有所改善。另外,通过进一步探究中国三大城市群工业用地节约潜力来源发现,2012年之前三大城市群工业用地节约潜力的主要来源是工业用地利用技术水平提升;而自2012年开始,工业用地管理水平的精进成为三大城市群工业用地节约潜力的主要来源。究其原因,可能与中国工业化和经济发展的阶段特征息息相关。陶长琪等<sup>[53]</sup>认为,2002—2011年是中国工业与经济高速发展期,该时期工业化与经济发展面临的突出问题是技术水平低下,工业发展采用的是科技含量低、资源消

耗大、环境污染高的粗放型发展模式;2012年以后是中国工业与经济高质量发展的换挡期,该时期工业科技创新能力有了显著提升。正是在此时期,管理无效率替代技术差距无效率成为中国三大城市群工业用地节约潜力的主要来源。以2016年为例,由技术差距无效率所导致的三大城市群工业用地节约潜力为6.65万 $\text{hm}^2$ ,占当年工业用地投入的14.10%,在总的工业用地节约潜力中的占比为48.79%;由管理无效率所造成的三大城市群工业用地节约潜力为6.98万 $\text{hm}^2$ ,占当年工业用地的14.80%,在总的工业用地节约潜力中的占比为51.21%。可见,提高工业用地管理水平是当前改善三大城市群工业土地利用效率最为迫切和有效的措施。

### 3.5 三大城市群内各城市工业土地利用效率分类改善路径

为进一步分析中国三大城市群内各城市工业土地利用效率的改善策略和路径,参考Hang等<sup>[54]</sup>的思路,根据各城市群工业土地利用效率损失两大来源所占比例不同,取管理无效率均值( $MI=0.15$ )和技术差距无效率均值( $TGI=0.12$ )为分割线,将全部城市划分为4种类型,结果如图6所示。

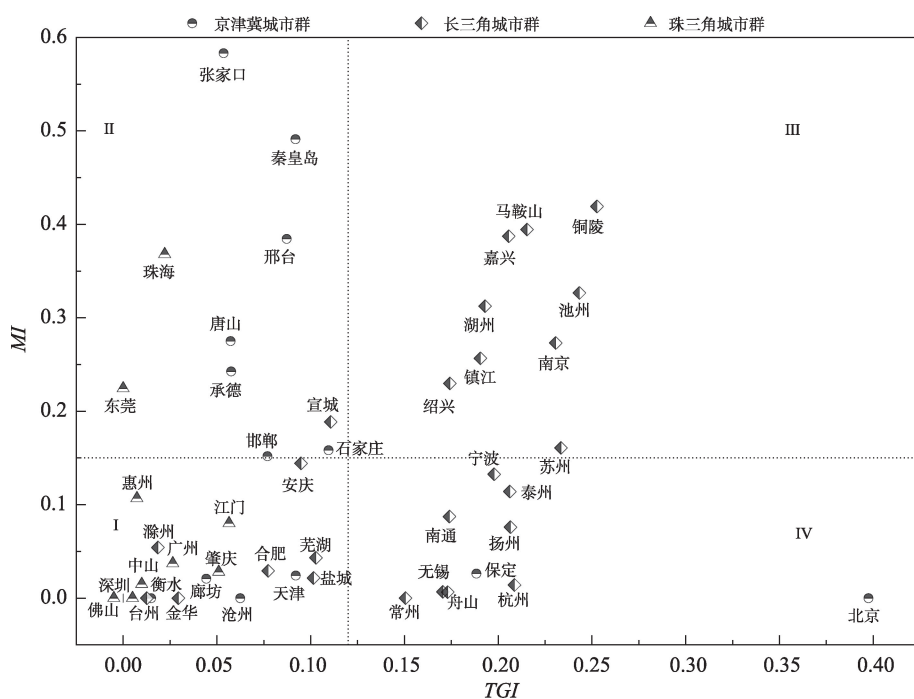


图6 2003—2016年城市工业土地利用无效率均值分类

Figure 6 Classification of average values of urban industrial land use inefficiency, 2003-2016

2021年6月

(1)保持现状型(Ⅰ)。该类城市工业用地的管理无效率值( $MI$ )和技术差距无效率值( $TGI$ )均低于平均水平。具体包括18个城市,京津冀城市群4个(天津、沧州、廊坊、衡水),长三角城市群7个(盐城、金华、台州、合肥、芜湖、安庆、滁州)和珠三角城市群7个(广州、深圳、佛山、江门、肇庆、惠州、中山)。该类城市工业土地利用效率损失较少,其改善策略和路径可概括为“保持现状”,即应保持先进的工业土地利用技术水平和管理水平。

(2)组内学习型(Ⅱ)。该类城市工业用地的管理无效率值( $MI$ )高于平均水平,而技术差距无效率值( $TGI$ )低于平均水平。具体包括10个城市,京津冀城市群7个(石家庄、唐山、秦皇岛、邯郸、邢台、张家口、承德),长三角城市群1个(宣城),珠三角城市群2个(珠海、东莞)。对于此类城市而言,改善策略和路径可概括为“组内学习”,在保持现有工业用地技术水平的同时,应注重培育内生动力,提升工业用地管理水平。

(3)整体提升型(Ⅲ)。该类城市工业用地的管理无效率值( $MI$ )和技术差距无效率值( $TGI$ )均高于平均水平。此类城市既无先进的工业土地利用技术,亦无成熟的土地管理经验。具体包括9个城市(南京、苏州、镇江、嘉兴、湖州、绍兴、马鞍山、铜陵、池州),全部位于长三角城市群,该结果验证了前文长三角城市群工业土地利用效率相对偏低的结论<sup>⑧</sup>。对于此类城市,改善策略和路径可概括为“整体提升”,既要努力提升工业土地利用技术水平,亦要弥补土地管理方面的缺失和短板,只有双管齐下,才能有效提升该类城市的工业土地利用效率。

(4)跨组学习型(Ⅳ)。该类城市工业用地的管理无效率值( $MI$ )低于平均水平,但技术差距无效率值( $TGI$ )高于平均水平。具体包括10个城市,京津冀城市群2个(北京、保定),长三角城市群8个(无锡、常州、南通、扬州、泰州、杭州、宁波、舟山)。对于此类城市而言,改善策略和路径可概括为“跨组学习”,需在保持管理优势的同时,着力缩小与共同前沿潜在最优技术水平间的差距,以提升工业土地利用效率。

## 4 结论与政策建议

### 4.1 结论

在资源与环境约束趋紧的现实背景下,本文将工业污染排放作为非期望产出纳入工业土地利用效率评价体系,并在技术异质性框架下,利用MGDDF模型对2003—2016年中国三大城市群工业土地利用效率进行综合评价。研究发现:

(1)在共同前沿下,京津冀城市群、长三角城市群和珠三角城市群工业土地利用效率分别为0.716、0.694和0.885,各自存在28.4%、30.6%和11.5%的效率改进空间。此外,技术差距比率分析结果进一步表明,三大城市群工业土地利用存在显著的技术异质性特征,珠三角城市群接近潜在最优工业土地利用技术,而京津冀和长三角城市群与潜在最优工业土地利用技术相距较远。

(2)京津冀和珠三角城市群工业土地利用效率损失主要源于管理无效率,而长三角城市群工业土地利用效率损失是管理无效率和技术差距无效率的共同作用所致。此外,考察期内中国三大城市群工业用地节约潜力累计高达148.6万 $\text{hm}^2$ ,其中,2003—2011年节约潜力主要来源于工业土地利用技术水平提升;2012—2016年节约潜力主要来源于工业用地管理水平的精进。

(3)中国三大城市群内各城市根据其工业土地利用效率损失的根源,可划分为保持现状型、组内学习型、整体提升型和跨组学习型4种类型,并分别对应差异化的工业土地利用效率改善策略和路径。

### 4.2 政策建议

实证结果表明,技术异质性下中国三大城市群工业土地利用效率存在不同程度的改进空间,效率损失来源亦有所不同。因此,本文提出如下建议以提升城市群工业土地利用效率:

(1)基于三大城市群工业土地利用效率存在差异的现状,应加速技术扩散效应,缩小城市群间的技术差距,以达到共同提升工业土地利用效率的目标。政府应加强城市群间的交流合作,出台“一对一”“一对多”的城市群帮扶政策,为技术溢出的正向效应创造良好的环境。例如,珠三角城市群拥有

⑧以南京为例,造成其效率损失比较严重的原因主要在于,其工业用地面积(1.660万 $\text{hm}^2$ )与效率表现优异并处于“保持现状型”的天津(1.653万 $\text{hm}^2$ )大致相当,但其工业增加值(1796亿元)仅为天津(3935亿元)的46%,而工业废水排放量(3.384亿t)却为天津(2.085亿t)的1.6倍。



相对较高的工业用地利用效率,可以扮演“帮扶者”的角色,与京津冀、长三角城市群共享工业用地高效绿色利用的先进经验。

(2)基于三大城市群工业用地利用效率损失来源各异的情况,应精准识别效率损失的根源,从管理与技术两大维度进行突破,充分释放工业用地节约潜力,同时要做到因城施策、分类指导。①要落实管理水平提升带动工业用地利用效率改善的路径,以整体提升型和组内学习型城市为例,在宏观层面,需搭建和完善可协调全域的城市群综合管理框架,凝聚共识,畅通沟通渠道,加速城市群协同治理体系的形成,以减少因行政权属复杂所带来的管理障碍;在微观层面,地方政府要探索完善工业用地弹性出让、先租后让等新型供应方式,以工业用地供应引领工业行业结构优化,带动区域工业整体转型升级,从而提升工业用地利用效率。同时应强化工业用地的经营监管力度,查处低效用地项目,对于关停企业闲置用地等及时实现再利用。②要落实技术水平提升带动工业用地利用效率改善的路径,以跨组学习型和整体提升型城市为例,需增加集约型土地利用技术的研发投入,探索工业土地的立体开发利用模式,合理提高工业项目的建筑密度、容积率,以实现工业土地集约节约利用;充分发挥3S技术在工业用地动态监测等方面的应用,着力破解现存技术难题,构建包含工业用地规划、工业用地评价、违规查处等环节的工业用地利用综合监管信息系统,为工业用地高效绿色利用保驾护航。

需要指出的是,本文虽然在中国三大城市群工业用地利用效率评价方面取得部分进展,但仍存在不足。例如,本文按照现有文献的通用作法,在假设没有先验性信息的前提下赋予工业用地利用效率各投入和产出指标相同的权重。这种处理方式虽然简单易行,但是却忽略了投入和产出指标之间具有明显差异的客观事实。如何考虑不同产业类型和不同城市群资源环境承载力的差异对投入和产出指标的影响,并对各种投入和产出指标进行客观赋权是后续研究需要解决的技术问题。

## 参考文献(References):

[1] 王克强, 李国祥, 刘红梅. 工业用地减量化、经济高质量发展与

地方财政收入[J]. 财政研究, 2019, (9): 33-46. [Wang K Q, Li G X, Liu H M. Industrial land reduction, high-quality economic development and local fiscal revenue[J]. Public Finance Research, 2019, (9): 33-46.]

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中国城乡建设统计年鉴 2003-2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018. [Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. China Urban-Rural Construction Statistical Yearbook 2003-2018[M]. Beijing: China Statistic Press, 2018.]

[3] 张立新, 毕旭, 黄志基. 经济转型背景下城市工业用地利用效率: 以长江经济带城市为例[J]. 资源科学, 2020, 42(9): 1728-1738. [Zhang L X, Bi X, Huang Z J. Urban industrial land use efficiency under the background of economic transformation in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources Science, 2020, 42(9): 1728-1738.]

[4] 严思齐, 彭建超. 财政分权对工业用地利用效率影响的门槛效应: 基于省级面板数据的实证研究[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2019, 19(1): 118-129. [Yan S Q, Peng J C. The threshold effect in the impact of fiscal decentralization on industrial land use efficiency: Empirical research based on provincial-level panel data[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2019, 19(1): 118-129.]

[5] 郭贯成, 彭紫新, 周志伟. 工业企业类型对工业用地利用效率的影响研究: 基于企业类型宏观视角的分类[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(2): 241-249. [Guo G C, Peng Z X, Zhou Z W. Impact of industrial enterprise type of macro perspective on industrial land use efficiency[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(2): 241-249.]

[6] Chen W, Chen W J, Ning S Y, et al. Exploring the industrial land use efficiency of China's resource-based cities[J]. Cities, 2019, 93: 215-223.

[7] 郝珍珍, 李健, 韩海彬. 中国工业行业环境绩效测度与实证研究[J]. 系统工程, 2014, 32(7): 1-11. [Hao Z Z, Li J, Han H B. Measurement of and empirical study on environmental performance of China's industry sectors[J]. Systems Engineering, 2014, 32(7): 1-11.]

[8] 王建林, 赵佳佳, 宋马林. 基于内生方向距离函数的中国城市土地利用效率分析[J]. 地理研究, 2017, 36(7): 1386-1398. [Wang J L, Zhao J J, Song M L. Analysis of urban land use efficiency in China based on endogenous directional distance function model[J]. Geographical Research, 2017, 36(7): 1386-1398.]

[9] 熊强, 郭贯成. 中国各省区城市工业用地生产效率差异研究[J]. 资源科学, 2013, 35(5): 910-917. [Xiong Q, Guo G C. Productive efficiency of regional urban industrial land in China[J]. Resources Science, 2013, 35(5): 910-917.]

[10] 冯长春, 刘思君, 李荣威. 我国地级及以上城市工业用地效率评价[J]. 现代城市研究, 2014, (4): 45-49. [Feng C C, Liu S J, Li R W. Evaluation of prefecture-level city industrial land efficiency in China[J]. Modern Urban Research, 2014, (4): 45-49.]

2021年6月

- [11] Meng Y, Zhang F R, An P L, et al. Industrial land-use efficiency and planning in Shunyi, Beijing[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2008, 85(1): 40-48.
- [12] 朱于珂, 黄毅. 财政分权与市场整合对工业用地利用效率影响的异质性研究[J]. *技术经济*, 2020, 39(8): 21-34. [Zhu Y K, Huang Y. Study on heterogeneous effects of market integration on the utilization efficiency of industrial land under the background of fiscal decentralization[J]. *Journal of Technology Economics*, 2020, 39(8): 21-34.]
- [13] 谢花林, 王伟, 姚冠荣, 等. 中国主要经济区城市工业用地效率的时空差异和收敛性分析[J]. *地理学报*, 2015, 70(8): 1327-1338. [Xie H L, Wang W, Yao G R, et al. Spatial and temporal differences and convergence of China's main economic zones[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(8): 1327-1338.]
- [14] Xie H L, Wang W, Yang Z H, et al. Measuring the sustainable performance of industrial land utilization in major industrial zones of China[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2016, 112: 207-219.
- [15] Tu F, Yu X F, Ruan J Q. Industrial land use efficiency under government intervention: Evidence from Hangzhou, China[J]. *Habitat International*, 2014, 43: 1-10.
- [16] 郭贯成, 温其玉. 环境约束下工业用地生产效率研究: 基于中国33个典型城市非期望产出的考量[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(6): 121-127. [Guo G C, Wen Q Y. Industrial land productivity research under the environmental restriction based on unexpected outputs of 33 typical cities in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(6): 121-127.]
- [17] 朱孟珏, 庄大昌, 李涛. 基于环境约束的中国矿业城市工业用地效率评价[J]. *中国土地科学*, 2018, 32(10): 59-66. [Zhu M J, Zhuang D C, Li T. Evaluation on industrial land use efficiency of mining cities in China based on environmental constraints[J]. *China Land Science*, 2018, 32(10): 59-66.]
- [18] Chambers R G, Chuang Y H, Fare R. Benefit and distance functions[J]. *Journal of Economic Theory*, 1996, 70(2): 407-419.
- [19] Cheng G, Zervopoulos P D. Estimating the technical efficiency of health care systems: A cross-country comparison using the directional distance function[J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 238(3): 899-910.
- [20] 李德山, 张郑秋, 付磊, 等. 中国城市PM(2.5)减排效率的区域差异及其影响机制[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(4): 74-85. [Li D S, Zhang Z Q, Fu L, et al. Regional differences in PM 2.5 emission reduction efficiency and their influencing mechanism in Chinese cities[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(4): 74-85.]
- [21] 刘海英, 刘晴晴. 中国省级绿色全要素能源效率测度及技术差距研究: 基于共同前沿的非径向方向性距离函数估算[J]. *西安交通大学学报(社会科学版)*, 2020, 40(2): 73-84. [Liu H Y, Liu Q Q. Research on the provincial green total factor energy efficiency measurement and technology gap in China: Based on meta-frontier non-radial directional distance function[J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences)*, 2020, 40(2): 73-84.]
- [22] Wang Q W, Zhao Z Y, Shen N, et al. Have Chinese cities achieved the win-win between environmental protection and economic development? From the perspective of environmental efficiency[J]. *Ecological Indicators*, 2015, 51: 151-158.
- [23] 闫庆友, 桂增侃, 张文华, 等. 中国能源影子价格和能源环境效率省际差异[J]. *资源科学*, 2020, 42(6): 1040-1051. [Yan Q Y, Gui Z K, Zhang W H, et al. The heterogeneity of regional energy shadow price and energy environment efficiency in China[J]. *Resources Science*, 2020, 42(6): 1040-1051.]
- [24] 侯建朝, 王海铖. 中国工业用电效率影响因素研究: 基于空间面板模型[J]. *科技管理研究*, 2019, (23): 131-141. [Hou J C, Wang H C. Research on influencing factors of industrial electricity efficiency in China: Based on spatial panel model[J]. *Science and Technology Management Research*, 2019, (23): 131-141.]
- [25] 方国柱, 祁春节, 雷权勇, 等. 技术异质视角下农业细分产业全要素生产率的比较研究[J]. *统计与信息论坛*, 2021, 36(4): 51-59. [Fang G Z, Qi C J, Lei Q Y, et al. A comparative study on total factor productivity of agricultural segmented industries from the perspective of technological heterogeneity[J]. *Journal of Statistics and Information*, 2021, 36(4): 51-59.]
- [26] 田泽, 张怀娟, 任芳容. 环境约束下中国三大城市群能源效率评价与影响因素比较研究[J]. *软科学*, 2020, 34(12): 87-95. [Tian Z, Zhang H J, Ren F R. Comparative study on energy efficiency evaluation and influencing factors of China's three major urban agglomerations under environmental constraints[J]. *Soft Science*, 2020, 34(12): 87-95.]
- [27] 李健旋. 农村金融发展与农业绿色全要素生产率提升研究[J]. *管理评论*, 2021, 33(3): 84-95. [Li J X. Rural financial development and the improvement of agricultural green total factor productivity[J]. *Management Review*, 2021, 33(3): 84-95.]
- [28] 王德起, 庞晓庆. 京津冀城市群绿色土地利用效率研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(4): 68-76. [Wang D Q, Pang X Q. Research on green land-use efficiency of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(4): 68-76.]
- [29] 李健, 刘召. 中国三大城市群绿色全要素生产率空间差异及影响因素[J]. *软科学*, 2019, 33(2): 61-64. [Li J, Liu Z. Spatial differences and influential factors of GTFP in Chinese three major urban agglomerations[J]. *Soft Science*, 2019, 33(2): 61-64.]
- [30] 巨虹, 李同昇, 翟洲燕. 基于ETFP的黄河流域工业高质量发展水平时空分异研究[J]. *资源科学*, 2020, 42(6): 1099-1109. [Ju H, Li T S, Zhai Z Y. Spatial-temporal differentiation of high-quality industrial development level in the Yellow River Basin based on ecological total factor productivity[J]. *Resources Science*, 2020, 42(6): 1099-1109.]
- [31] 孙静, 马海涛, 王红梅. 财政分权、政策协同与大气污染治理效率: 基于京津冀及周边地区城市群面板数据分析[J]. *中国软科*

- 学, 2019, (8): 154–165. [Sun J, Ma H T, Wang H M. Fiscal decentralization, policy synergy and efficiency of air pollution governance: Analysis based on the panel data of urban agglomeration in Beijing–Tianjin–Hebei and the surrounding areas[J]. *China Soft Science*, 2019, (8): 154–165.]
- [32] O'Donnell C J, Rao D S P, Battese G E. Meta-frontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios[J]. *Empirical Economics*, 2008, 34(2): 231–255.
- [33] 卢新海, 杨喜, 陈泽秀. 中国城市土地绿色利用效率测度及其时空演变特征[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(8): 83–91. [Lu X H, Yang X, Chen Z X. Measurement and temporal-spatial evolution characteristics of urban land green use efficiency in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(8): 83–91.]
- [34] Xie H L, Chen Q R, Lu F C, et al. Spatial-temporal disparities and influencing factors of total-factor green use efficiency of industrial land in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 207: 1047–1058.
- [35] 李江龙, 徐斌. “诅咒”还是“福音”: 资源丰裕程度如何影响中国绿色经济增长?[J]. *经济研究*, 2018, 53(9): 151–167. [Li J L, Xu B. Curse or blessing: How does natural resource abundance affect green economic growth in China?[J]. *Economic Research Journal*, 2018, 53(9): 151–167.]
- [36] 林伯强, 刘泓汛. 对外贸易是否有利于提高能源环境效率: 以中国工业行业为例[J]. *经济研究*, 2015, 50(9): 127–141. [Lin B Q, Liu H X. Do energy and environment efficiency benefit from foreign trade? The case of China's industrial sectors[J]. *Economic Research Journal*, 2015, 50(9): 127–141.]
- [37] Lin B Q, Benjamin N I. Green development determinants in China: A non-radial quantile outlook[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 162: 764–775.
- [38] Zhang N, Kong F B, Choi Y, et al. The effect of size-control policy on unified energy and carbon efficiency for Chinese fossil fuel power plants[J]. *Energy Policy*, 2014, 70: 193–200.
- [39] 林伯强, 谭睿鹏. 中国经济集聚与绿色经济效率[J]. *经济研究*, 2019, (2): 119–132. [Lin B Q, Tan R P. Economic agglomeration and green economy efficiency in China[J]. *Economic Research Journal*, 2019, (2): 119–132.]
- [40] Du K R, Huang L, Yu K. Sources of the potential CO<sub>2</sub> emission reduction in China: A nonparametric metafrontier approach[J]. *Applied Energy*, 2014, 115: 491–501.
- [41] 黄大全, 洪丽璇, 梁进社. 福建省工业用地效率分析与集约利用评价[J]. *地理学报*, 2009, 64(4): 479–486. [Huang D Q, Hong L X, Liang J S. Analysis and evaluation of industrial land efficiency and intensive use in Fujian Province[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(4): 479–486.]
- [42] 严思齐, 彭建超, 吴群. 中国工业用地利用效率收敛特征[J]. *资源科学*, 2018, 40(6): 1163–1174. [Yan S Q, Peng J C, Wu Q. The convergence characteristics of industrial land use efficiency in China[J]. *Resources Science*, 2018, 40(6): 1163–1174.]
- [43] Xie H L, Chen Q R, Lu F C, et al. Spatial-temporal disparities, saving potential and influential factors of industrial land use efficiency: A case study in urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River[J]. *Land Use Policy*, 2018, 75(75): 518–529.
- [44] 张海洋. R&D两面性、外资活动与中国工业生产率增长[J]. *经济研究*, 2005, (5): 107–117. [Zhang H Y. Two faces of R&D, activity of FDI and the growth of productivity of domestic in China [J]. *Economic Research Journal*, 2005, (5): 107–117.]
- [45] 姚志毅, 张亚斌, 李德阳. 参与国际分工对中国技术进步和技术效率的长期均衡效应[J]. *数量经济技术经济研究*, 2010, 27(6): 72–83. [Yao Z Y, Zhang Y B, Li D Y. To participate the international division of labor to the Chinese long-term balanced effect of technology advancement and the technical efficiency[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2010, 27(6): 72–83.]
- [46] 高帆. 我国区域农业全要素生产率的演变趋势与影响因素: 基于省际面板数据的实证分析[J]. *数量经济技术经济研究*, 2015, (5): 3–19. [Gao F. Evolution trend and internal mechanism of regional total factor productivity in Chinese agriculture[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2015, (5): 3–19.]
- [47] 曾鹏, 王俊俊, 陈嘉浩. 动态视角下中国城市群土地利用TFP测度及影响因素研究[J/OL]. *重庆大学学报(社会科学版)*, (2019–09–25) [2020–09–11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1023.C.20190925.1103.002.html>. [Zeng P, Wang J J, Chen J H. Research on the measurement and influencing factors for TFP of land utilization in Chinese urban agglomerations from dynamic perspective[J]. *Journal of Chongqing University (Social Science Edition)*, (2019–09–25) [2020–09–11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1023.C.20190925.1103.002.html>.]
- [48] Wang X D, Shen X Q, Pei T. Efficiency loss and intensification potential of urban industrial land use in three major urban agglomerations in China[J]. *Sustainability*, 2020, DOI: 10.37247/PAS.1.2020.7.
- [49] 任梅, 王小敏, 刘雷, 等. 中国沿海城市群环境规制效率时空变化及影响因素分析[J]. *地理科学*, 2019, 39(7): 1119–1128. [Ren M, Wang X M, Liu L, et al. Spatio-temporal change and influencing factors of environmental regulation in China's coastal urban agglomerations[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(7): 1119–1128.]
- [50] 李胜文, 李大胜, 邱俊杰, 等. 中西部效率低于东部吗? 基于技术集差异和共同前沿生产函数的分析[J]. *经济学(季刊)*, 2013, 12(3): 777–798. [Li S W, Li D S, Qiu J J, et al. Is the middle-west less efficient than the east?[J]. *China Economic Quarterly*, 2013, 12(3): 777–798.]
- [51] Shi X A, Li L S. Green total factor productivity and its decomposition of Chinese manufacturing based on the MML index: 2003–2015[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 222: 998–1008.
- [52] Han H B, Ding T, Nie L, et al. Agricultural eco-efficiency loss un-



- der technology heterogeneity given regional differences in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119511.
- [53] 陶长琪, 陈伟, 郭毅. 新中国成立70年中国工业化进程与经济发展[J]. *数量经济技术经济研究*, 2019, 36(8): 3–26. [Tao C Q, Chen W, Guo Y. China's industrialization process and economic development since the founding of the People's Republic of China for 70 years[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2019, 36(8): 3–26.]
- [54] Hang Y, Sun J S, Wang Q W, et al. Measuring energy inefficiency with undesirable outputs and technology heterogeneity in Chinese cities[J]. *Economic Modelling*, 2015, 49: 46–52.

## Evaluation of industrial land use efficiency of China's three major urban agglomerations under technology heterogeneity

HAN Haibin, NIU Kemeng

(School of Public Administration, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

**Abstract:** Improving the industrial land use efficiency and tapping into the potential for conserving industrial land are feasible ways to alleviate the conflict between the supply and demand of industrial land in urban agglomerations and promote green and sustainable development. This study incorporated undesirable outputs into the evaluation system of industrial land use efficiency. Using the meta-frontier generalized directional distance function model (MGDDF), this study explored the industrial land use efficiency in the Beijing-Tianjin-Hebei, Yangtze River Delta, and Pearl River Delta urban agglomerations with consideration of technology heterogeneity in these regions from 2003 to 2016. The results show that: (1) Under the meta-frontier, there are differences in industrial land use efficiency among the three urban agglomerations. The industrial land use efficiency of the Pearl River Delta is the highest, followed by the Beijing-Tianjin-Hebei region, and the Yangtze River Delta has the lowest efficiency. (2) The loss of industrial land use efficiency in the Beijing-Tianjin-Hebei and Pearl River Delta urban agglomerations mainly stem from management inefficiency, while the source of the loss of industrial land use efficiency in the Yangtze River Delta urban agglomeration has no obvious bias and the contribution of management inefficiency and technical inefficiency is roughly the same. (3) According to the decomposition results of industrial land use efficiency loss, the cities in the three urban agglomerations are divided into four types: maintaining the status quo, intra-group learning, overall improvement, and cross-group learning. This study would be useful for revealing the source of the loss of industrial land use efficiency in the three urban agglomerations and for tapping into the potential of industrial land conservation in the three urban agglomerations, which may have practical implications to formulating high-quality industrial land utilization policies in urban agglomerations.

**Key words:** technology heterogeneity; meta-frontier; industrial land use efficiency; generalized directional distance function; undesirable output; urban agglomerations