

基于 LMDI 方法我国工业废水排放分解因素效应考察

章 渊 吴凤平

(河海大学 商学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 利用 LMDI 方法, 分解分析 1998—2012 年我国工业废水排放变化的驱动因素, 结果表明: 技术进步对工业废水排放起到抑制作用, 同时, 也是排放强度下降的决定性因素; 工业经济增长是工业废水排放增加的主要推动力; 排放系数效应和产业结构效应对工业废水排放的影响存在地区差异性; 人口规模的扩大促进了工业废水排放的增加, 人口流动促进工业废水排放增加。另外, 还分析了东中西部地区工业废水排放变化的驱动因素。因此, 各省份需要加强技术创新, 提高工业节水技术, 尤其是中西部地区; 调整优化工业结构, 大力发展低耗水或低排放的行业, 促进工业用水的循环利用; 加快城市间和城乡人口流动; 东部发达地区加大对中西部欠发达地区资金、技术等支持。

关键词: 区域; 工业废水; 人口流动; LMDI

中图分类号: F224.9 文献标识码: A 文章编号: 1671-9301(2015)06-0099-12

DOI:10.13269/j.cnki.ier.2015.06.022

自 1978 年改革开放以来, 国内生产总值年均增长率为 9.77%, 其中, 工业增加值年均增长率超过国内生产总值, 达到 11.24%^①, 工业的高速发展背后隐藏着巨大的隐患, 尤其资源消耗和环境污染问题。其中, 水资源是国民经济可持续发展的重要资源基础, 也是重要的生产要素, 我国是水资源短缺、水污染严重和水生态环境恶化的国家, 人均水资源量约为 2 100m³, 不足世界人均水平的 1/3, 该时间段内工业用水量年均增长率为 3.47%, 作为工业用水的附属产品——工业废水排放年均下降率仅为 0.33%^②。2013 年工业废水排放占废水排放总量的比重仍为 30.17%, 说明工业是废水排放的重要来源。因此, 进一步减少工业废水排放以提高工业用水效率, 不仅是建设节水型社会的客观要求, 也是最严格水资源管理制度和《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)的重要内容, 相关研究将显得尤为重要。

一、文献述评

通过对既有相关文献的研究和梳理发现, 已有研究主要集中在两个方面: 一是研究经济增长对工业废水排放的影响, 主要研究方法为环境库兹涅茨曲线(Environmental Kuznets Curve, 简称 EKC), 验证工业废水排放与经济增长之间是否存在倒“U”型关系以及工业废水排放量何时出现转折, 周璇等^[1]利用 1997—2010 年省际面板数据检验我国经济增长与工业废水排放之间的关系, 发现只有部分省份存在 EKC 特征, 且不同地区的曲线形状、拐点与地区特点密切相关; 彭水军等^[2]运用 1996—2002 年省际面板数据, 研究发现工业废水排放量与人均 GDP 之间存在显著的倒“U”型曲线关系, 并且计算得到转折点位于人均 GDP 为 24 650 元处, 仅有上海处于曲线的右半段; 李惠娟等^[3]以 47 个

收稿日期: 2015-08-06; 修回日期: 2015-09-30

作者简介: 章渊(1988—), 男, 江苏南京人, 河海大学商学院博士研究生, 研究方向为水资源管理理论与方法研究; 吴凤平(1964—), 男, 河海大学商学院教授, 博士生导师, 研究方向为水利经济与管理、水运规划与管理。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271537)

地级资源型城市为研究对象,研究发现工业废水排放与人均 GDP 呈典型的倒“U”型关系,有一半以上的资源型城市处于曲线的右半段;王谦等^[4]利用 1998—2008 年我国 30 个省份面板数据,检验东、中和西部地区工业废水排放与人均收入的关系,发现仅有东部地区存在倒“U”型关系,中西部地区并不存在;张爱菊^[5]实证分析得到湖北省人均实际 GDP 与工业废水排放满足倒“U”型曲线关系,并且工业废水排放量处于下降阶段;彭立颖等^[6]采用上海市 1981—2005 年的时间序列数据,验证工业废水排放与人均 GDP 的关系,结果表明两者呈倒“U”型曲线关系,同时计算得到工业废水排放出现转折点为人均 GDP 为 5 700 元(1990 年不变价格);还有许多学者^[7-13]进行了此类研究。二是研究工业废水排放与经济增长之间的互动关系,研究方法主要为向量自回归模型(Vector Auto-regression Model,简称 VAR),陈桂月等^[14]采用山西省 1986—2009 年 GDP 和工业废水排放数据,建立 VAR 模型,通过变量平稳性检验、协整检验、格兰杰因果检验和脉冲响应分析方法,研究了经济增长与工业废水排放之间的关系,发现经济增长促进了工业废水排放的下降;彭水军等^[15]利用脉冲响应函数和方差分解法考察我国了 1985—2003 年包括工业废水排放在内的六类环境污染指标与人均 GDP 之间的长期动态影响特征,发现经济增长是影响污染排放的重要原因,同时环境污染对经济增长产生反向作用,后者具有一定的滞后效应,另外,人均 GDP 是解释污染排放预测方差的重要变量,而污染排放对经济增长的预测方差贡献较小;胡国良等^[16]利用 1981—2006 年新疆数据,验证经济增长与工业废水排放之间的互动关系,得出的结论与彭水军相似;张强等^[17]利用 1990—2006 年陕西省关中地区 GDP 和工业废水排放时间序列数据,建立 VAR 模型进行研究,结果表明工业废水排放对经济增长产生的总效应是负效应,已经成为关中地区经济增长的制约因素。而国外有关工业废水排放的相关研究主要从水文^[18]、化学^[19]、水质^[20]等角度考虑。

在使用 LMDI 方法考察方面,国内学者也有类似研究^[21-26]。张平淡等^[27]使用 LMDI 方法将二氧化硫排放强度降低的技术效应分解为能源消费结构效应、能源消耗强度效应和污染排放处理效应,发现 1998—2009 年期间,中国 SO₂ 排放强度的降低主要归功于污染排放处理效应,其次是能源消耗强度效应,最后是能源消费结构效应。庞军等^[28]在投入产出分析方法的基础上计算了我国 2002—2007 年出口贸易中隐含的 SO₂、COD 和氨氮排放量,然后利用 LMDI 方法将影响我国 2002—2007 年出口贸易中隐含的 SO₂、COD 和氨氮排放量的因素分解为规模效应、结构效应和技术效应,研究发现 2002—2007 年我国出口对国内 SO₂、COD 和氨氮排放量的贡献都在 20% 以上。与之对比,刘源等^[29]将考察对象设定为地级市,他们基于厦门市各部门终端消费数据对碳排放强度指标进行了因素分解,结果表明 2005—2010 年厦门市碳排放强度下降 17.29%,经济效率对碳排放强度下降贡献最大,碳排系数减排贡献最小。从全过程管理的角度,杜雯翠^[30]发现,2001—2010 年中国工业 COD 排放强度降低主要归于源头防治,其次是末端治理,过程控制对工业 COD 排放强度降低的贡献最小。

从现有研究可以看出,大多学者主要考虑工业废水排放与经济增长的单向关系或者双向关系,并没有深入全面地考虑工业废水排放的影响因素,同时我国是一个区域社会经济发展差距较大的国家,也忽略了区域异质性对工业废水排放产生的影响。由于研究工业废水排放影响因素的文献甚少,所以本文仅以污染物 CO₂ 排放为例,一些学者将其主要影响因素归结为产出规模、产业结构、能源消耗强度、能源消耗结构以及能源碳排放系数^[31-35],但是这些文献都忽略了区域人口流动对工业废水排放的影响,人口流动会引起地区经济增长、产业结构等变化,同时伴随着知识与技术的流动,因此对我国这样一个人口流动规模巨大的国家而言具有重要研究意义。

综上所述,本文利用对数均值迪氏指数分解法(Logarithmic Mean Divisia Index,简称 LMDI)将我国各省份工业废水排放变化的影响因素分解为排放系数效应、技术进步效应、产业结构效应、收入效应、人口流动效应和人口效应,同时,分析工业废水排放强度(单位工业增加值所产生的废水排放量)对工业废水排放的影响。定量研究全国及各省份工业废水排放变化的具体渠道和内在机制,尤其是

人口流动的影响,为政府相关部门控制地区工业废水排放,改善水生态环境提供可能的政策支持。基于此,本文结构安排如下:第一部分是文献述评,第二部分是工业废水排放变化的 LMDI 模型构建与数据说明,第三部分是工业废水排放变化的影响因素分析,第四部分是结论与政策建议。

二、模型设置与数据说明

(一) 模型设置

能源消耗与污染物排放变化的影响因素分析主要采用分解方法,主要包括指数分解方法(Index Decomposition Analysis,简称 IDA)和结构分解方法(Structure Decomposition Analysis,简称 SDA)。SDA 方法主要依赖于投入产出表而受到一定限制,而 IDA 方法的优势在于数据要求较小,既可以用于截面数据又可以用于时间序列数据,数学方法上严密可行,易于操作,因此比 SDA 应用更加普遍,被广泛地运用于能源消耗和污染物排放的影响因素分析^[31-37]。IDA 方法主要包括拉式指数分解法和迪式指数分解法并且各自包括若干种分解方法,Ang^[38]研究认为对数均值迪式指数分解法(简称 LMDI)是最优的方法,其包括加法模型和乘法模型,考虑到分解结果解释的难易程度,本文以加法模型为主。

工业废水排放总量 W 可以由式(1)来表示:

$$W = \sum_i W_i = \sum_i \frac{W_i}{E_i} \times \frac{E_i}{V_i} \times \frac{V_i}{G_i} \times \frac{G_i}{P_i} \times \frac{P_i}{P} \times P \quad (1)$$

其中, W_i 为第*i*个地区工业废水排放量(亿吨); E_i 为第*i*个地区工业用水量(亿 m^3); V_i 为第*i*个地区工业增加值(亿元); G_i 为第*i*个地区生产总值(亿元); P_i 为第*i*个地区人口数(万人); P 为总人口数(万人)。

对式(1)进一步整理,得到式(2):

$$W = \sum_i SDC_i \times INT_i \times SV_i \times INC_i \times SP_i \times P \quad (2)$$

其中, SDC_i 为第*i*个地区工业废水排放与工业用水量的比值,即废水排放系数; INT_i 为第*i*个地区工业用水强度; SV_i 为第*i*个地区工业增加值占地区生产总值的比重; INC_i 为第*i*个地区人均生产总值; SP_i 为第*i*个地区人口占全国总人口的比重。

引入时间因素,则式(2)变为式(3):

$$\begin{aligned} \dot{W} = & \sum_i \dot{S}DC_i \times INT_i \times SV_i \times INC_i \times SP_i \times P + \sum_i SDC_i \times \dot{I}NT_i \times SV_i \times INC_i \times SP_i \times P \\ & + \sum_i SDC_i \times INT_i \times \dot{S}V_i \times INC_i \times SP_i \times P + \sum_i SDC_i \times INT_i \times SV_i \times \dot{I}NC_i \times SP_i \times P \\ & + \sum_i SDC_i \times INT_i \times SV_i \times INC_i \times \dot{S}P_i \times P + \sum_i SDC_i \times INT_i \times SV_i \times INC_i \times SP_i \times \dot{P} \end{aligned} \quad (3)$$

将式(3)改成增长率的形式,则变成式(4):

$$\dot{W} = \sum_i g_{SDC_i} w_i + \sum_i g_{INT_i} w_i + \sum_i g_{SV_i} w_i + \sum_i g_{INC_i} w_i + \sum_i g_{SP_i} w_i + \sum_i g_p w_i \quad (4)$$

其中, g 表示增长率, w_i 表示权数,并且 $w_i = SDC_i \times INT_i \times SV_i \times INC_i \times SP_i \times P$ 。假定时间从 $t-1$ 变化到时间 t ,对式(4)进行积分,便得到式(5):

$$\begin{aligned} D = & \int_{t-1}^t \sum_i g_{SDC_i} w_i dt + \int_{t-1}^t \sum_i g_{INT_i} w_i dt + \int_{t-1}^t \sum_i g_{SV_i} w_i dt \\ & + \int_{t-1}^t \sum_i g_{INC_i} w_i dt + \int_{t-1}^t \sum_i g_{SP_i} w_i dt + \int_{t-1}^t \sum_i g_p w_i dt \end{aligned} \quad (5)$$

其中, D 表示工业废水排放变化量,权数 w_i 取对数均值权值函数,形式如式(6)所示:

$$\begin{cases} f(x, y) = (y - x) / \ln(y/x) & x \neq y \\ f(x, x) = x & x = y \\ f(0, y) = f(x, 0) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

因此,得到工业废水排放的权数函数,如式(7)所示:

$$\ln(w_i^{t-1} \mu_i^t) = \frac{W_i^t - W_i^{t-1}}{\ln W_i^t - \ln W_i^{t-1}} \quad (7)$$

将式(7)代入式(5),便得到工业废水排放变化的六个驱动因素,分别如式(8)至式(14)所示。

$$D = D_{SDC} + D_{INT} + D_{SV} + D_{INC} + D_{SP} + D_P \quad (8)$$

$$D_{SDC} = \sum_i \frac{W_i^t - W_i^0}{\ln W_i^t - \ln W_i^0} \ln \frac{SDC_i^t}{SDC_i^0} \quad (9)$$

$$D_{INT} = \sum_i \frac{W_i^t - W_i^0}{\ln W_i^t - \ln W_i^0} \ln \frac{INT_i^t}{INT_i^0} \quad (10)$$

$$D_{SV} = \sum_i \frac{W_i^t - W_i^0}{\ln W_i^t - \ln W_i^0} \ln \frac{SV_i^t}{SV_i^0} \quad (11)$$

$$D_{INC} = \sum_i \frac{W_i^t - W_i^0}{\ln W_i^t - \ln W_i^0} \ln \frac{INC_i^t}{INC_i^0} \quad (12)$$

$$D_{SP} = \sum_i \frac{W_i^t - W_i^0}{\ln W_i^t - \ln W_i^0} \ln \frac{SP_i^t}{SP_i^0} \quad (13)$$

$$D_P = \sum_i \frac{W_i^t - W_i^0}{\ln W_i^t - \ln W_i^0} \ln \frac{P^t}{P^0} \quad (14)$$

其中 D 表示工业废水排放的变化,即 $D = W^t - W^0$; D_{SDC} 、 D_{INT} 、 D_{SV} 、 D_{INC} 、 D_{SP} 和 D_P 分别表示排放系数效应、技术进步效应、产业结构效应、收入效应、人口流动效应和人口效应,分别反映废水排放系数、技术进步、产业结构、收入水平、人口流动和总人口变化对工业废水排放总量变化的贡献。

工业废水排放的 LMDI 乘法模型如式(15)所示:

$$R = R_{SDC} \times R_{INT} \times R_{SV} \times R_{INC} \times R_{SP} \times R_P \quad (15)$$

其中 R 表示工业废水排放的变化率,即 $R = W^t / W^0$,模型右边变量依次表示排放系数效应、技术进步效应、产业结构效应、收入效应、人口流动效应和人口效应^③。

(二) 数据说明

本文所用数据跨度为 1998—2012 年,现对数据来源及处理进行说明。

(1) 工业废水排放数据来源于《中国环境年鉴》,工业用水量数据来源于《中国统计年鉴》和《中国水资源公报》,工业废水排放系数由工业废水排放除以工业用水量计算得到。

(2) 工业增加值和地区生产总值数据均来源于《中国统计年鉴》,为了消除价格因素影响,工业增加值和地区生产总值均按照 1998 年不变价格进行调整,工业用水强度由工业用水量除以调整后的工业增加值得到;工业增加值占地区生产总值的比重按照调整后的产值计算。

(3) 人口数据来源于《中国统计年鉴》,总人口指标常使用常住人口和户籍人口两种口径,随着社会经济的快速发展,人口流动的规模逐渐扩大,但很多流动人口的户籍并未发生改变,常住人口更能真实反映一个地区的人口状况,因此,本文选择常住人口作为人口指标。用各省份人口数占总人口数的比重表示该地区的人口流动,Ma^[39]曾使用该指标表示区域人口流动。

三、工业废水排放变化影响因素分析

(一) 全国工业废水排放影响因素分析

利用加法模型和乘法模型分解 1998—2012 年我国工业废水排放变化的影响因素,分解结果如

表 1 所示。

表 1 1998—2012 年我国工业废水排放变化的分解因素效应

	排放系数效应	技术进步效应	产业结构效应	收入效应	人口流动效应	人口效应	总效应
加法模型	-14.40	-345.98	56.42	302.70	3.78	18.60	21.11
乘法模型	0.934 0	0.193 8	1.306 8	4.201 7	1.018 1	1.092 2	1.105 3

注: 加法模型的单位是亿吨, 乘法模型的单位是%。

全国工业废水排放累计增加 21.11 亿吨, 其中, 技术进步效应累计达到 -345.98 亿吨, 是抑制工业废水排放增加的主要影响因素, 即工业用水效率提高有利于减少用水量, 从而降低废水排放; 排放系数效应累计达到 -14.40 亿吨, 也是促进工业废水排放下降的影响因素, 说明工业废水排放效率的提高, 或水资源的循环利用有利于废水排放的减少。工业经济增长、工业增加值占 GDP 比重的上升 (工业化水平提高)、人口流动及人口规模扩大对工业废水排放的增加都起到正向促进作用, 其中, 工业经济增长的促进作用最显著, 也是工业废水排放于 2007 年出现转折的主要原因。收入效应、产业结构效应、人口流动效应和人口效应对工业废水排放的增加大于技术进步效应和排放系数效应对工业废水排放的减少, 最终导致工业废水排放增加。图 1 左半部分显示了工业废水排放变化的加法模型分解因素效应。

通过乘法模型可知, 1998—2012 年工业废水排放累计增加 10.53%, 技术进步效应和排放系数效应对抑制工业废水排放增加都起到积极作用, 分别促进其下降 80.62% 和 6.6%, 产业结构效应、收入效应、人口流动效应和人口效应对工业废水排放的增加都起到正向作用, 其中, 收入效应是总效应的 30 倍, 是工业废水排放增加的主要驱动因素。图 1 右半部分显示了工业废水排放变化的乘法模型分解因素效应。

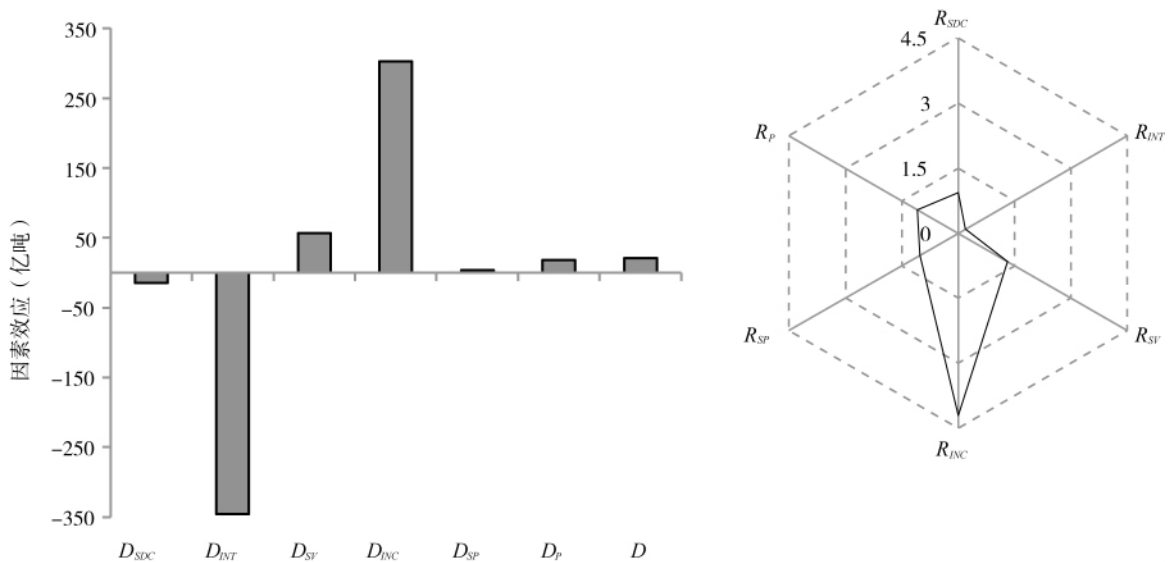


图 1 1998—2012 年我国工业废水排放变化的因素分解

(二) 区域工业废水排放影响因素分析

表 2 和图 2 显示了 1998—2012 年我国 31 个省份工业废水排放变化的分解因素效应, 省际工业废水排放的变化存在较大差异, 标准差为 3.00 亿吨, 广东、山东等 17 个省份工业废水排放有所增加, 增加最多的省份是广东, 达到 6.84 亿吨, 剩下的省份出现了下降, 下降最多的省份是上海, 达到 4.36 亿吨。

31 个省份的技术进步效应都为负值, 说明全国范围内工业用水效率普遍提高, 促进工业用水量

减少,从而推动工业废水排放的下降,但是各省份之间存在较大差异,东部地区的山东、江苏、广东、辽宁、河北、浙江的技术进步效应的绝对值位于前六位,绝对值最大和最小的省份分别是山东(-34.34 亿吨)和西藏(-0.06 亿吨),标准差达到9.22 亿吨,表明各省份工业节水技术与管理水平存在较大差距,这与我国的社会经济区域差异特征相符合。

各省份的排放系数效应也存在较大差异,湖南、湖北等 18 个省份为负值,说明工业废水排放效率提高,直接对废水排放的下降起到正向作用,累计达到-48.53 亿吨,剩下的 13 个省份都为正值,对废水排放的下降起到负向作用,其中,广东的排放系数效应最大,达到 13.08 亿吨,主要因为废水排放系数从 0.2699 上升到 0.6534。

所有省份的收入效应都是正值,说明工业经济增长是促进工业废水排放增加的主要推动力,且各省份之间存在较大差异,标准差为 7.72 亿吨,收入效应最大和最小的省份分别是江苏(33.42 亿吨)和西藏(0.16 亿吨)。

表 2 1998—2012 年区域工业废水排放变化的分解因素效应

	排放系数效应	技术进步效应	产业结构效应	收入效应	人口流动效应	人口效应	总效应
北京	-0.97	-4.15	-0.17	1.84	0.79	0.17	-2.48
天津	0.35	-4.56	0.57	2.87	0.58	0.17	-0.02
河北	2.39	-19.83	2.35	15.52	0.17	1.02	1.62
山西	-0.41	-7.72	0.88	6.71	0.19	0.43	0.08
内蒙古	-2.23	-4.10	1.50	5.62	-0.08	0.25	0.96
辽宁	-0.51	-21.07	1.98	15.56	-0.36	0.92	-3.47
吉林	-1.07	-6.46	1.53	6.50	-0.21	0.37	0.66
黑龙江	3.03	-12.56	0.76	8.44	-0.44	0.53	-0.23
上海	-4.24	-9.48	-0.17	6.34	2.61	0.59	-4.36
江苏	-2.41	-33.70	4.33	33.42	0.19	1.93	3.77
浙江	2.78	-19.40	1.05	18.88	1.66	1.27	6.24
安徽	-5.73	-6.42	2.83	10.07	-0.78	0.57	0.55
福建	0.70	-9.86	2.60	10.97	0.29	0.68	5.38
江西	0.06	-9.67	3.18	8.25	-0.10	0.50	2.22
山东	13.08	-34.34	3.97	22.59	0.03	1.32	6.64
河南	-0.96	-15.43	3.82	17.07	-0.90	1.01	4.61
湖北	-8.42	-14.35	3.12	16.62	-1.19	0.96	-3.26
湖南	-10.44	-14.86	4.41	17.24	-0.77	1.01	-3.41
广东	7.18	-27.79	3.72	17.84	4.55	1.33	6.84
广西	2.05	-18.86	4.05	15.12	-0.86	0.88	2.38
海南	-0.03	-1.40	0.32	0.99	0.06	0.07	0.00
重庆	-1.99	-5.30	1.63	5.47	-0.41	0.29	-0.32
四川	-4.23	-17.10	4.59	13.88	-1.19	0.76	-3.29
贵州	-2.33	-2.97	0.42	4.25	-0.37	0.24	-0.77
云南	-1.21	-5.39	0.61	5.43	0.12	0.38	-0.05
西藏	-0.32	-0.06	-0.01	0.16	0.01	0.01	-0.20
陕西	0.17	-7.06	1.09	6.00	-0.17	0.32	0.35
甘肃	-1.03	-4.61	0.39	3.71	-0.17	0.23	-1.48
青海	0.68	-1.47	0.28	0.90	0.03	0.06	0.48
宁夏	0.94	-2.72	0.50	1.72	0.12	0.11	0.68
新疆	0.70	-3.28	0.29	2.71	0.38	0.22	1.02

仅有北京、上海和西藏的产业结构效应为负值,说明工业增加值占地区生产总值的比重有所下降,分别下降 2.35%、1.13% 和 0.64%,从而减少对水资源的需求,进一步对工业废水排放的下降起

到正向作用,剩下省份的产业结构效应都是正值,将促进工业废水排放的增加,最大的省份是四川,其工业增加值占地区生产总值的比重上升了22.07%(1998年价格)。

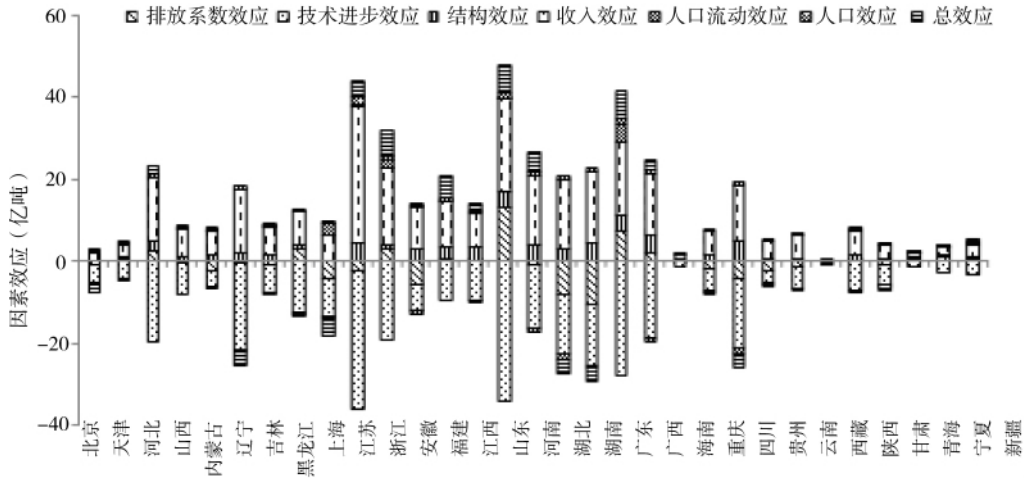


图2 1998—2012年区域工业废水变化的分解因素效应

图3显示了31个省份的累计人口流动效应,其中,广东、上海等16个省份的人口流动效应为正值,表明是人口流入地,对工业废水排放的增加起到正向作用,湖北、四川等15个省份的人口流动效应是负值,说明是人口流出地。人口流动对工业废水排放的影响可以从工业用水强度和工业经济增长角度考虑:(1)人口流出地多为中西部省份,虽然工业用水强度普遍降低,但是相对于东部发达省份,还存在较大的差距,所以人口流出可以减少对工业产品的需求,从而减少工业用水,进一步降低工业废水排放;(2)人口流入地多为东部省份,经济比较发达,工业经济发展水平也很高,人口流入会引起流入地工业经济增长(工业从业人员增加),工业经济增长对应的收入效应对工业废水排放的增加起到正向作用,其中,新疆人口流动效应为正值,说明是人口流入地,主要因为丰富的土地资源、棉花生产及与中亚国家繁荣的边境贸易吸引了中西部一些贫困地区的人口迁入^[40]。

所有省份的人口效应都为正值,说明人口规模的扩大将促进工业废水排放的增加,由于人口规模扩大,势必增加对工业产品的需求,从而带动工业经济增长,增加对水资源的需求,促进工业废水排放的增加。

表3显示了东中西部三个地区的工业废水排放变化的影响因素分解结果,可以从中得出:(1)全国

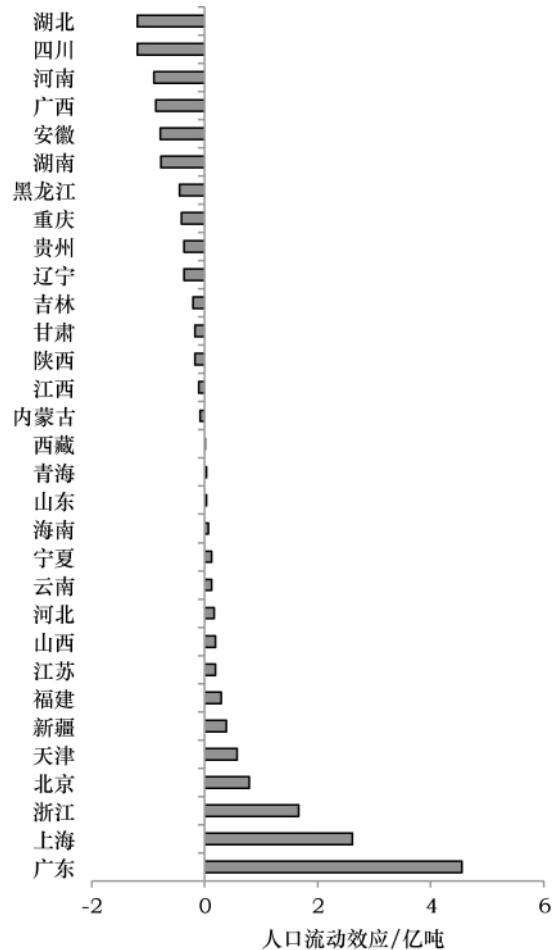


图3 1998—2012年区域累计人口流动效应

工业废水排放的增加主要由东部地区引起,所占比重达到 95.36%,工业经济增长是主要驱动因素,而技术进步对工业废水排放增加的抑制作用十分显著;(2)工业经济增长、工业增加值占地区生产总值比重及人口规模对东中西部地区工业废水排放的影响是一致的,都促进了工业废水排放的增加,尤其是东部地区,收入效应的巨大差异是中西部地区工业废水排放变化不显著的重要原因;(3)三个地区的技术进步效应都是负值,说明工业用水效率普遍提高,工业节水技术和管理水平都取得显著进展,东部地区比中西部地区具有较大的优势,也说明中西部地区具有巨大的节水潜力,三个地区技术进步效应比是 2.55:1.20:1;(4)东部地区的排放系数效应为正值,说明其废水排放效率有所降低,主要由山东和广东的排放效率降低引起,排放系数效应合计达到 20.26 亿吨,中西部地区的排放系数效应为负值,废水排放效率提高;(5)东部地区人口流动效应为正值,说明是人口流入地,中西部地区的人口流动效应是负值,说明是人口流出地。

表 3 1998—2012 年东中西部地区工业废水排放变化的分解因素效应

	排放系数效应	技术进步效应	产业结构效应	收入效应	人口流动效应	人口效应	总效应
东部地区	18.32	-185.59	20.55	146.81	10.57	9.47	20.14
中部地区	-23.94	-87.47	20.5	90.91	-4.19	5.38	1.21
西部地区	-8.79	-72.92	15.35	64.98	-2.60	3.76	-0.23

(三) 进一步分析

Geng *et al.*^[41] 将工业废水排放分解为含有排放强度的模型,本文为了考虑工业废水排放强度变化对工业废水排放的影响,对式(1)稍作变化,得到式(16),如下所示:

$$W = \sum_i W_i = \sum_i \frac{W_i}{V_i} \times \frac{V_i}{G_i} \times \frac{G_i}{P_i} \times \frac{P_i}{P} \times P \quad (16)$$

式(16)与式(1)的区别在于, W_i/V_i 由 W_i/E_i 与 E_i/V_i 合并所得,表示工业废水排放强度,因此工业废水排放影响因素的加法分解模型如式(17)所示,公式(18)表示排放强度效应,产业结构效应、收入效应、人口流动效应和人口效应与前文相同,此处不再赘述。

$$D = W_{WINT} + D_{SV} + D_{INC} + D_{SP} + D_P \quad (17)$$

$$D_{WINT} = \sum_i \frac{W_i^t - W_i^0}{\ln W_i^t - \ln W_i^0} \ln \frac{WINT_i^t}{WINT_i^0} \quad (18)$$

其中 D_{WINT} 表示工业废水排放强度效应,即单位工业增加值所产生的废水排放量的变化对工业废水排放带来的影响。利用公式(16)至(18)计算得到工业废水排放强度效应,当然也可以由公式(4)和(5)加总得到排放系数效应和技术进步效应。

1998—2012 年期间,全国累计排放强度效应为 -360.39 亿吨,对工业废水排放的下降起到正向作用,其中,技术进步效应为 -345.98 亿吨,所占比重达到 96%,说明技术进步对排放强度下降起到决定性作用。

所有省份的排放强度效应都为负值,如图 4 所示,说明排放强度普遍下降,但是存在较大差异,标准差达到 8.62 亿吨;各省份排放强度下降的主要原因是工业用水效率的提高引起工业用水量下降(技术进步效应),并不是废水排放系数下降引起的废水排放减少(排放系数效应),排放强度效应与技术进步效应的相关系数达到 0.89,说明各地区需要致力于工业生产过程中水资源的循环利用,降低排放系数。

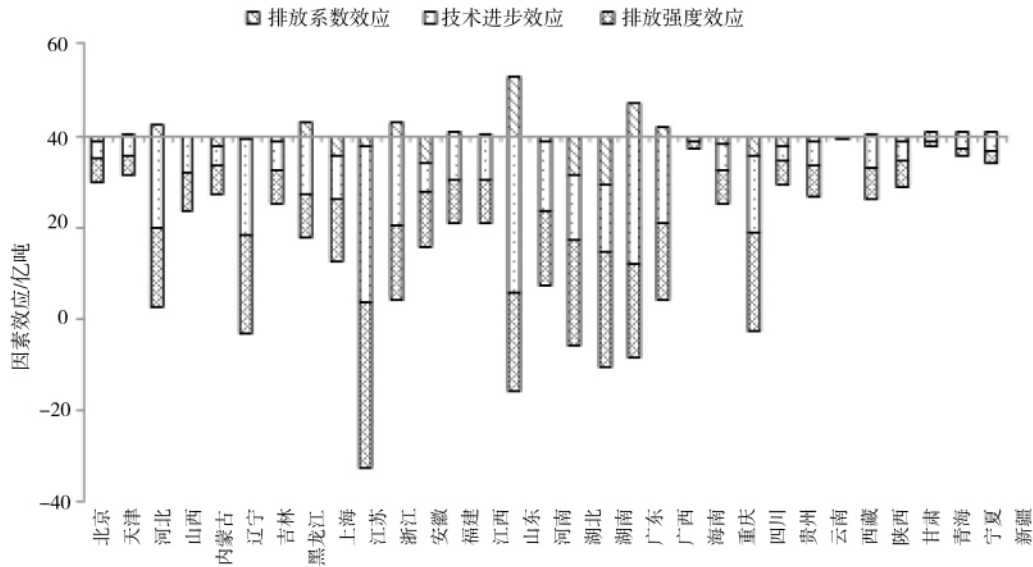


图4 1998—2012年区域累计排放强度效应

四、结论与建议

本文基于LMDI方法分解分析1998—2012年我国工业废水排放变化的影响因素,将其分解为排放系数效应、技术进步效应、产业结构效应、收入效应、人口流动效应和人口效应,得出以下结论:

(1) 从全国工业废水排放变化的影响因素来看:技术进步(工业用水效率提高)是抑制工业废水排放增加的主要影响因素,排放效率提高也有利于减少工业废水排放,工业经济增长是废水排放增加的主要驱动力,人口流动和人口规模扩大都对工业废水排放增加起到促进作用,在6个效应的综合作用下,工业废水排放累计增加21.11亿吨。

(2) 从区域工业废水排放变化的影响因素来看:区域工业废水排放的变化存在较大差异;所有省份的技术进步效应都是负值,即工业用水效率的普遍提高促进工业废水排放的下降;湖南、湖北等18个省份的排放系数效应为负值,废水排放效率的提高有利于减少废水排放,剩下的13个省份的排放系数效应为正值,将对废水排放的下降起到负向作用;各省份工业经济增长是废水排放增加的主要推动力;仅有北京、上海和西藏的产业结构效应为负值,即工业增加值占地区生产总值比重的下降,减少对水资源的需求,进一步降低工业废水排放;从工业用水强度和工业经济增长两个角度分析人口流动对工业废水排放变化的影响,人口流入增加了工业废水排放,人口流出降低了工业废水排放,两者相互作用,人口流动最终促进了全国工业废水排放的增加;人口规模扩大促进了工业废水排放的增加,但是影响较小。

(3) 从东中西部三个地区来看:全国工业废水排放的增加主要由东部地区引起,而工业经济增长是主要驱动因素,同时,也是中西部地区工业废水排放变化不显著的重要原因;技术进步对工业废水排放的增加起到抑制作用,其中,中西部地区具有更强的节水潜力;由于山东和广东的排放效率降低促进了工业废水排放的增加;东部地区是人口流入地,促进工业废水排放的增加,中西部地区是人口流出地,促进工业废水排放的下降。

(4) 进一步分析工业废水排放强度对工业废水排放的影响,废水排放强度的下降促进了工业废水排放的下降,其中,工业用水效率提高起到决定性作用,而不是废水排放系数的下降。

基于以上结论,提出如下政策建议:(1) 由于技术进步是抑制工业废水排放增加的主要影响因

素,因此,各省份需要不断地进行技术创新,提高工业节水技术与管理水平,尤其是中西部地区;(2)调整优化工业内部结构,大力发展低耗水或低排放的行业,促进工业用水的循环利用;(3)人口流动效应为正值,但是人口流出有利于流出地(主要为中西部地区)废水排放的下降,因此需要进一步贯彻落实《关于进一步推进户籍制度改革的意见》,从而加快城市间和城乡人口流动,同时也会促进产业结构的优化;(4)东部发达地区要加强对中西部欠发达地区的技术、管理和资金等支持,从而充分挖掘中西部地区的节水潜力。

参考文献:

- [1]周璇,孙慧.中国工业废水排放量与经济增长关系的区域分异研究[J].干旱区资源与环境,2013(12):15-19.
- [2]彭水军,包群.经济增长与环境污染——环境库兹涅茨曲线假说的中国检验[J].财经问题研究,2006(8):3-17.
- [3]李惠娟,龙如银.资源型城市环境库兹涅茨曲线研究——基于面板数据的实证分析[J].自然资源学报,2013(1):19-27.
- [4]王谦,高军.我国不同地区“环境库兹涅茨曲线”假说的检验[J].科研管理,2011(7):157-164.
- [5]张爱菊.湖北省环境变量与人均GDP关系的实证检验[J].统计与决策,2013(19):88-91.
- [6]彭立颖,童行伟,沈永林.上海市经济增长与环境污染的关系研究[J].中国人口·资源与环境,2008(3):186-194.
- [7]刘铁鹰,李京梅.基于环境容量的中国沿海地区工业废水排放与经济增长关系的区域分异研究[J].软科学,2013(8):11-14.
- [8]张成,朱乾龙,于同申.环境污染和经济增长的关系[J].统计研究,2011(1):59-67.
- [9]李飞,董锁成,李泽红.中国经济增长与环境污染关系的再检验——基于全国省级数据的面板协整分析[J].自然资源学报,2009(11):1912-1920.
- [10]刘华军,杨骞.环境污染、时空依赖与经济增长[J].产业经济研究,2014(1):81-91.
- [11]李小胖,宋马林,安庆贤.中国经济增长对环境污染影响的异质性研究[J].南开经济研究,2013(5):96-114.
- [12]韩君.中国区域环境库兹涅茨曲线的稳定性检验——基于省际面板数据[J].统计与信息论坛,2012(8):56-62.
- [13]丁焕峰,李佩仪.中国区域污染影响因素:基于EKC曲线的面板数据分析[J].中国人口·资源与环境,2010(10):117-122.
- [14]陈桂月,李海涛,梁涛.山西省工业废弃物排放与经济增长之间的关系分析[J].资源科学,2013(6):1184-1193.
- [15]彭水军,包群.中国经济增长与环境污染——基于广义脉冲响应函数法的实证研究[J].中国工业经济,2006(5):15-23.
- [16]胡国良,朱晓.新疆地区经济增长与环境污染关系的实证分析[J].当代财经,2009(5):19-23.
- [17]张强,薛惠锋,董会忠,等.区域经济发展与环境污染关系的实证研究[J].统计与决策,2009(7):77-79.
- [18]Duarte, C. L., Sampa, M. H. O., Rela, P. R., et al. 2002, “Advanced Oxidation Process by Electron-Beam-Irradiation-Induced Decomposition of Pollutants in Industrial Effluents”, *Radiation Physics and Chemistry*, 63(3-6): 647-651.
- [19]Mendas, A., Errih, M., Bouchenak, F. 2008, “Hydrologic Model Combined with a GIS for Estimating Hydrologic Balance at Watershed Scale: Application to the Macta Watershed (North-Western Algeria)”, *Journal of Water Supply Research and Technology-Aqua*, 57(5): 361-368.
- [20]Cochran, B., Logue, C. 2011, “A Watershed Approach to Improve Water Quality: Case Study of Clean Water Services’ Tualatin River Program”, *Journal of the American Water Resources Association*, 47(1): 29-38.
- [21]欧育辉,刘轶芳,满讲义.基于LMDI的我国能耗增长总量分解[J].经济管理,2007(7):91-95.
- [22]邓吉祥,刘晓,王铮.中国碳排放的区域差异及演变特征分析与因素分解[J].自然资源学报,2014(2):189-200.
- [23]张陈俊,章恒全,龚雅云.中国结构升级、技术进步与水资源消耗——基于改进的LMDI方法[J].资源科学,2014(10):1993-2002.
- [24]董锋,杨庆亮,龙如银,等.中国碳排放分解与动态模拟[J].中国人口·资源与环境,2015(4):1-8.
- [25]刘满芝,杨继贤,马丁,等.基于LMDI模型的中国主要大气污染物的空间差异及其影响因素分析[J].资源科学,

- 2015(2): 333-341.
- [26]王常凯,谢宏佐.中国电力碳排放动态特征及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2015(4):21-27.
- [27]张平淡,朱松,朱艳春.环保投资对中国SO₂减排的影响——基于LMDI的分解结果[J].经济理论与经济管理,2012(7):84-94.
- [28]庞军,石媛昌,胡涛,等.我国出口贸易隐含污染排放变化的结构分解分析[J].中国环境科学,2013(12):2274-2285.
- [29]刘源,李向阳,林剑艺,等.基于LMDI分解的厦门市碳排放强度影响因素分析[J].生态学报,2014(9):2378-2387.
- [30]杜雯翠.中国工业COD全过程管理效果检验——来自LMDI的分解结果[J].中国软科学,2013(7):77-85.
- [31]林伯强,蒋竺均.中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J].管理世界,2009(4):27-36.
- [32]赵选民,卞腾锐.基于LMDI的能源消费碳排放因素分解——以陕西省为例[J].经济问题,2015(2):35-39.
- [33]O'Mahony, T., Zhou, P., Sweeney, J. 2012, "The Driving Forces of Change in Energy-Related CO₂ Emissions in Ireland: A Multi-Sectoral Decomposition From 1990 to 2007", *Energy Policy* 44: 256-267.
- [34]Fernández González, P., Landajo, M., Presno, M. J. 2014, "The Driving Forces Behind Changes in CO₂ Emission Levels in EU - 27. Differences Between Member States", *Environmental Science & Policy* 38: 11-16.
- [35]魏楚,余冬筠.生产性行业温室气体排放的产业结构效应研究[J].产业经济研究,2013(1):22-32.
- [36]周勇,李廉水.中国能源强度变化的结构与效率因素贡献——基于AWD的实证分析[J].产业经济研究,2006(4):68-74.
- [37]Zhang, M., Li, H., Zhou, M., et al. 2011, "Decomposition Analysis of Energy Consumption in Chinese Transportation Sector", *Applied Energy* 88(6): 2279-2285.
- [38]Ang, B. W. 2004, "Decomposition Analysis for Policymaking in Energy: Which is the Preferred Method?", *Energy Policy* 32(9): 1131-1139.
- [39]Ma, C. B. 2014, "A Multi-Fuel, Multi-Sector and Multi-Region Approach to Index Decomposition: An Application to China's Energy Consumption 1995-2010", *Energy Economics* 42: 9-16.
- [40]杨传开,宁越敏.中国省际人口迁移格局演变及其对城镇化发展的影响[J].地理研究,2015(8):1492-1506.
- [41]Geng, Y., Wang, M., Sarkis, J., et al. 2014, "Spatial-Temporal Patterns and Driving Factors for Industrial Wastewater Emission in China", *Journal of Cleaner Production* 76: 116-124.

注释:

- ①国内生产总值和工业增加值年均增长率都是按照1978年不变价格计算得到。
- ②由于缺乏1978年数据,所以工业用水和工业废水排放年均增长率的计算时段为1980—2013年,1980年工业用水量来自《中国21世纪水问题方略》(由刘昌明,何希吾等著,科学出版社出版,2001年),1980—1997年工业废水排放来自《新中国六十年统计资料汇编》,其他年份数据分别来自各年《中国水资源公报》和《中国环境年鉴》。GDP和工业增加值的计算时段都为1978—2013年,数据均来自各年《中国统计年鉴》。
- ③工业废水排放的LMDI乘法模型的六个效应的表达式如下:

$$R_{SDC} = \exp\left(\sum_i \frac{(W_i^t - W_i^0) / (\ln W_i^t - \ln W_i^0)}{(W^t - W^0) / (\ln W^t - \ln W^0)} \ln \frac{SDC_i^t}{SDC_i^0}\right); R_{INT} = \exp\left(\sum_i \frac{(W_i^t - W_i^0) / (\ln W_i^t - \ln W_i^0)}{(W^t - W^0) / (\ln W^t - \ln W^0)} \ln \frac{INT_i^t}{INT_i^0}\right);$$

$$R_{SV} = \exp\left(\sum_i \frac{(W_i^t - W_i^0) / (\ln W_i^t - \ln W_i^0)}{(W^t - W^0) / (\ln W^t - \ln W^0)} \ln \frac{SV_i^t}{SV_i^0}\right); R_{INC} = \exp\left(\sum_i \frac{(W_i^t - W_i^0) / (\ln W_i^t - \ln W_i^0)}{(W^t - W^0) / (\ln W^t - \ln W^0)} \ln \frac{INC_i^t}{INC_i^0}\right);$$

$$R_{SP} = \exp\left(\sum_i \frac{(W_i^t - W_i^0) / (\ln W_i^t - \ln W_i^0)}{(W^t - W^0) / (\ln W^t - \ln W^0)} \ln \frac{SP_i^t}{SP_i^0}\right); R_P = \exp\left(\sum_i \frac{(W_i^t - W_i^0) / (\ln W_i^t - \ln W_i^0)}{(W^t - W^0) / (\ln W^t - \ln W^0)} \ln \frac{P^t}{P^0}\right).$$

(责任编辑:禾 日)

Study on the Effect of Decomposition Factors of Industrial Wastewater Discharge in China Based on LMDI Method

ZHANG Yuan , WU Fengping

(School of Business , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract: By using LMDI method , this paper analyzes the driving factors of the changing discharge of industrial wastewater in China from 1998 to 2012. The result shows that technology progress inhibits the discharge of industrial wastewater , as well as the dominating factors of the decreasing intensity of discharge. The industrial economic growth is the main impulse of the rise of industrial wastewater discharge. The coefficient effect of discharge and structural effects have regional discrepancy towards the influence of emission of industrial wastewater. The extension of population promotes the rise of industrial wastewater emission and population flow makes contribution to the increase of the industrial wastewater discharge. What ' s more , the paper also analyzes the driving factors of varying industrial effluents of eastern , middle and western regions of China. Eventually , it puts forward relevant political proposals. The provinces need technical innovation to improve industrial water saving technology , especially the Central and West region. The country should optimize and upgrade industrial structure , vigorously develop low water consumption or low emission industries to promote industrial water recycling. Our country should accelerate the flow of population between the cities and also between rural and urban areas. What ' s more , the eastern region needs to reinforce the financial and technical supports towards the central and western regions where are still less developed.

Key words: regional; industrial wastewater; population flow; LMDI

.....
(上接第 98 页)

Analysis on China ' s High-tech Industry Innovation Efficiency Based on Hicks-Moorsteen Index

WANG Xiaohong , CHEN Fanhong

(Department of Economics , Jiangsu Provincial Party School , Nanjing 210009 , China)

Abstract: Accurate measurement of innovation efficiency is the foundation of objective evaluation of high-tech industry development in China. In this paper , innovation process of high-tech industry has been divided into technology development stage and technology achievements transformation stage. On the basis of modified Hicks-Moorsteen index method , innovation efficiency of high-tech industry in China has been reestimated using provincial panel data. Empirical analysis results show that average growth rate of total factor productivity of high-tech industry in China is 6.63% in technology development stage from 1997 to 2010. This mainly benefits from rapid improvement of technical efficiency , while technological progress plays a blocking role. In technical achievements transformation stage , average growth rate of total factor productivity of high-tech industry in China is 20.75% , which is mainly due to obvious growth of technological progress and small growth of technical efficiency. Before policies have been designed , intrinsic differences should be specially considered to improve innovation efficiency of high-tech industry.

Key words: high-tech industry; innovation efficiency; technology development stage; technology achievements transformation stage; Hicks-Moorsteen index