

Calculation of Carbon Emission Reduction Effect of Technological Progress in Hubei Province

Ruili Luo

School of Economics and Environmental Resources, Hubei University of Economics, Wuhan Hubei
Email: 1458688754@qq.com

Received: May 2nd, 2018; accepted: May 17th, 2018; published: Jun. 4th, 2018

Abstract

Based on previous studies, this paper adopts grey relational analysis method, which is based on the data of Hubei province from 2006 to 2016. By technicians/general practitioners, R&D expenditure/two indicators of GDP, the technological progress in Hubei province has been measured. By calculating the grey absolute correlation degree, the grey relative relational grade and the grey comprehensive relationship degree, between the growth rates of the two sequences and the reduction rates in carbon intensity, the correlation degree between technological progress and carbon emission reduction in Hubei province has been obtained. Results show that the technical personnel/general practitioners, R & D funding/gross domestic product (GDP) growth and reduction of carbon intensity, have very strong connection between the relational grade of 0.9586, 0.8682, respectively. This shows that technological progress has a catalytic effect on carbon emission reduction, which further promotes the low-carbon economy. Therefore, Hubei provincial government should increase investment in technology research, encourage enterprises and research, develop high and new technology applied talents, and increase capital investment in technology innovation, to provide decision-making reference for promoting the development of low carbon economy in Hubei province.

Keywords

Technological Progress, Carbon Intensity, The Gray Correlation Analysis Method, Hubei Province

湖北省技术进步的碳减排效应测算

洛瑞丽

湖北经济学院经济与环境资源学院, 湖北 武汉
Email: 1458688754@qq.com

收稿日期: 2018年5月2日; 录用日期: 2018年5月17日; 发布日期: 2018年6月4日

摘要

本文基于前人的研究,采用灰色关联度分析法,以湖北省2006~2016年的数据为基础,通过技术人员/总从业人员、R & D经费/GDP两个指标来测算湖北省技术进步,分别计算两个序列的增长幅度与碳排放强度的降低幅度之间的灰色绝对关联度、灰色相对关联度以及灰色综合关联度,得到湖北省技术进步与碳减排的关联程度。结果显示:技术人员/总从业人员、R & D经费/国内生产总值的增长幅度与碳排放强度的降低幅度之间具有非常强的关联性,综合关联度分别为0.9586、0.8682。这表明技术进步对碳减排具有促进作用,碳减排又进一步促进低碳经济。因此,湖北省政府应加大与鼓励企业在技术研究方面的投入和研究,在技术创新方面加大资金投入,为促进湖北省低碳经济的发展提供决策参考。

关键词

技术进步,碳排放强度,灰色关联度分析法,湖北省

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

可持续发展作为我国的基本国策,建设低碳经济已是未来发展趋势。湖北省作为我国低碳经济发展试点,调整产业结构,降低碳排放,是其发展的重要目标。而碳排放强度是衡量经济发展与碳排放量之间关系的重要指标。Johnston等[1]、Treffers等[2]对其当地的碳排放强度进行了系统的测算评价,并发现利用相关科技和相关政策可以降低碳排放强度,因此开始大力提倡发展低碳技术。IPCC报告也提出,技术进步是解决温室气体排放和气候变化等问题的重要途径。早在1999年外国学者Goulder和Schneider就对技术进步与CO₂排放之间的关系进行了大量相关研究,得出了技术研发活动可以降低实际的碳减排的GDP成本的结论,同时强调技术进步是碳减排的重要因素[3]。赵子勋[4]、何建坤[5]等研究发现,新能源技术是我国碳减排的核心动力,若想要减缓CO₂排放可以通过增加能源利用率来实现。未来的经济增长的主要发展方向就是逐渐实现以科技替代化石能源为主要投入的经济增长方式。

王中英、王礼茂等研究了我国国内生产总值与碳排放强度的关系,指出我国应调整企业发展模式,促进技术进步,降低二氧化碳的排放[6]。陈凯等运用灰色关联度模型测算技术进步、产业结构、能源和人口对CO₂排放强度的影响,得到结论:在技术进步、产业结构和人口三个因素中,前者是影响碳排放强度的关键因素,后两者次之[7]。张兵兵等以我国的不同地区、不同阶段的数据,采用DEA法进行测算,考虑各种因素验证了技术进步对碳排放具有明显的抑制作用[8]。程云鹤等采用ML指数法,测算我国1987~2009年间,28个省的技术进步,对节能减排工作中技术进步所做出的贡献进行了面板数据的实证分析,结论是,目标省份在测算期间技术进步增幅较大,科技进步对降低能耗和碳排放都起到了正影响,同时提出建议:我国应尽可能从技术进步、能源结构调整等方面进行节能减排的工作[9]。李沙沙和牛莉使用DEA指数法测算生产率,用总要素生产率(TFP)来衡量技术进步,探索技术进步对碳排放的影响分析,因变量为CO₂排放强度的自然对数、CO₂排放总量,用面板模型从静态、动态两个方面进行数据分析和比对,得出结论,上期的技术进步对本期的CO₂排放有抑制作用,因此要加快技术创新,加大基础设施建设和研发的投入[10]。

国内外学者采用不同的研究方法对影响碳排放的因素进行了研究,以寻求促进碳减排的可实施措施。其主要成果主要是技术进步、能源结构及人口等因素对碳排放的影响较大。因此,湖北省作为我国低碳经济建设试点之一,采用灰色关联度分析法(Grey Relational Analysis, GRA),以湖北省 2006~2016 年的数据为基础研究测算湖北省技术进步对碳减排的具体影响,为决策部门制定低碳经济建设提供政策参考。

2. 相关概念

我国低碳经济研究正处于初级阶段,探索适合我国基本国情的低碳经济可持续发展道路是必要的。技术进步是影响低碳经济的核心因素,而发展低碳经济的关键就是降低碳排放强度,所以先介绍与技术进步、碳排放强度相关的概念,为后面模型及相关指标测算分析奠定基础。

2.1. 与技术进步相关的概念

2.1.1. 技术进步

技术进步的概念有广义和狭义的区别。广义技术进步是指技术所包括的各种形式知识的积累和改进,一般用各种生产要素来衡量。狭义技术进步是指对设备、工艺、产品、能源等的改进与革新[11]。而技术进步是依靠大量的实验发掘的,所以需要投入大量的人力和资金。从狭义的角度,以总业人员中技术研发人员所占的比例和地区生产总值中 R & D 经费所占的比例两个指标作为湖北省技术进步指标。这两个指标可以很直观的反映出湖北省政府为本省的科学技术研究所做的努力[12],湖北省要加大科技研究的投入,促进低碳经济的发展。

2.1.2. 低碳经济

“低碳经济”是减少高碳能源消耗的经济发展的—种模式,是指以可持续发展的理念指导,通过技术和制度方面进行创新以及新能源开发,实现产业转型,减少高碳能源消耗与温室气体排放,在保护生态环境的同时促进经济的快速发展,从而形成—种良性循环。

湖北省是工业大省,煤炭、石油等化石能源的高消耗量对湖北低碳经济的发展提出巨大挑战,探寻低碳经济发展道路对湖北省意义重大,测算湖北省近年来技术进步对碳减排的影响可为湖北省的碳减排工作提供参考,具有一定的指导作用。

2.2. 与碳排放强度相关的概念

2.2.1. 碳排放强度

碳排放强度等于国内生产总值(GDP)带来的 CO₂ 排放除以国内生产总值。如国—个国家在经济增长时,每单位 GDP 产生的 CO₂ 排放量在下降,说明这个国家就是—种低碳发展模式。本文测算湖北省单位 GDP 的增长所带来的 CO₂ 排放量,来衡量技术进步湖北 2006~2015 年为低碳经济发展的影响。

2.2.2. 碳排放系数

碳排放系数等于能源燃烧 CO₂ 排放量除以能源总量,根据 IPCC (2006)发布的数据可知,各种能源的 CO₂ 排放系数是固定的。本文通过测算湖北省消耗的主要能源的碳排放量,计算出湖北省 2006~2015 的碳排放强度,进行比较分析,可以很真实客观的反映出湖北省近—十年的碳减排工作情况。

3. 基于 GRA 模型的湖北省技术进步碳减排效应测算

3.1. 数据选取及相关指标测算

3.1.1. 技术进步指标选取及数据选取

本文以湖北省技术人员/总从业人员和 R & D 经费/地区总产值来作为测算湖北省技术进步的指标,

通过湖北省统计局官网查找湖北省 2007~2017 年的统计年鉴,《中国能源统计年鉴》(2007~2017),以 2006 年为基数,计算相关指标的变化率。

1) 技术研发人员。湖北省 2006~2016 年的技术研发人员相关指标见表 1。

由表 1 可知,湖北省 2016 年的技术研发人员为 21.83 万人,相比 2006 年的 6.26 万人增加了 248%有余;技术人员/总从业人数与上年相比也有增长的趋势,这种增长趋势是湖北省积极响应国家政策,加大技术进步财政投资的结果,也为湖北省以后企业的生产技术奠定了基础。为更直观的反应湖北省近十一年技术研发人员的增长情况,绘制了基础研发人员增长情况柱形图,如图 1 所示。

2) R & D 经费。根据湖北省 2007~2017 年统计年鉴有关 R & D 经费的数据,如表 2 所示。

Table 1. Relevant indicators of Hubei technology R & D personnel from 2006 to 2016

表 1. 2006 年~2016 年湖北省技术研发人员相关指标

年份	总从业人数(万人)	技术研发人员(万人)	技术人员/总从业人数	增长幅度
2006	3564.00	6.2616	0.0018	-
2007	3584.00	6.7902	0.0019	7.84%
2008	3607.00	7.3042	0.0020	6.88%
2009	3622.00	13.168	0.0036	79.53%
2010	3645.00	14.2683	0.0039	7.67%
2011	3672.00	16.6357	0.0045	15.73%
2012	3687.00	18.5703	0.0050	11.18%
2013	3692.00	20.5172	0.0056	10.33%
2014	3687.50	21.8094	0.0059	6.43%
2015	3658.00	22.0977	0.0060	2.14%
2016	3633.00	21.8322	0.0060	0.00%

注: *2004 年全国高校扩招,湖北省作为全国高校数量排名第五的大省,大学生招生数量大幅度增加,故在 2009 年 R & D 人员占总从业人员的比重同上年相比增长幅度过大。

Table 2. Relevant indicators of R & D expenditure in Hubei province from 2006 to 2016

表 2. 2006~2016 年湖北省 R & D 经费相关指标

年份	GDP	R & D 经费支出(亿元)	R & D 经费/GDP	变化幅度
2006	7617.47	94.7512	0.012439	
2007	9333.40	112.4990	0.012053	-3.10%
2008	11328.92	149.0636	0.013158	9.16%
2009	12961.10	213.4490	0.016468	25.16%
2010	15967.61	263.7885	0.016520	0.31%
2011	19632.26	323.0128	0.016453	-0.41%
2012	22250.45	384.5239	0.017282	5.04%
2013	24791.83	446.2690	0.018001	4.16%
2014	27379.22	510.8973	0.018660	3.66%
2015	29550.19	561.7415	0.019010	1.87%
2016	32297.91	600.0422	0.018578	-2.27%

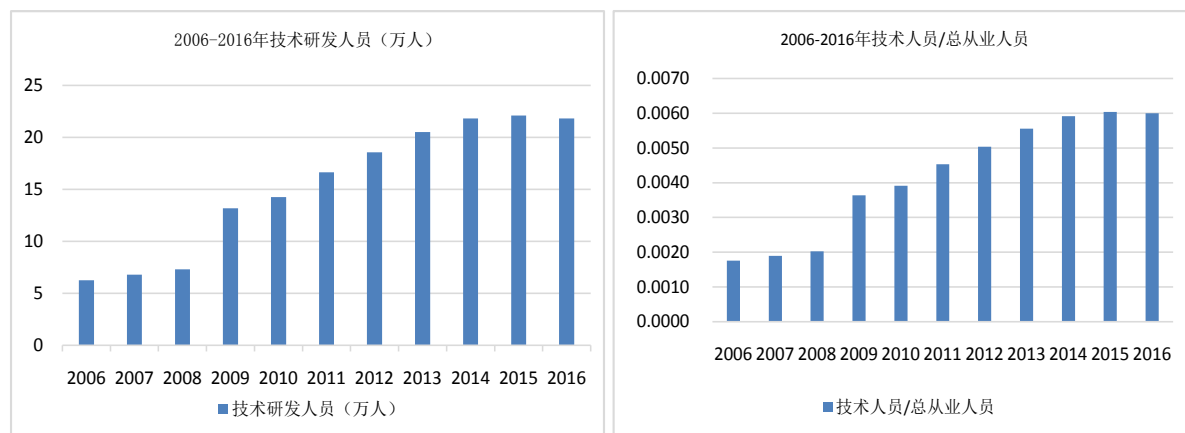


Figure 1. The relevant index bar chart of Hubei technical R & D personnel

图 1. 湖北省技术研发人员相关指标柱形图

由表 2 可知, R & D 经费内部支出从 2006 年的 94.75 亿元增加到 2016 年 600.04 亿元, 增加了 533%, 可以看出湖北省政府对科学技术研发方面的重视和努力, 同时也说明技术进步在湖北省企业的生产进程中发挥了重要作用。根据图表, 可以绘制出如图 2 的柱形图, 湖北省近十一年在技术研发费用方面的投入呈现明显的上升趋势。

3.1.2. 碳排强度测算及数据选取

碳排放强度的测算。计算碳排放强度的公式如下:

$$\text{碳排放强度} = \frac{\text{碳排放总量}}{\text{工业总产值}} \quad (1)$$

根据 IPCC 发布的碳排放总量计算指南, 公式(1)中的碳排放总量采用如下公式(2)计算:

$$C = \sum C_i = \sum E_i F_i \quad (2)$$

其中: C ——CO₂ 排放总量;

C_i ——能源 i 的 CO₂ 排放量;

E_i ——能源 i 的消费量;

F_i ——能源 i 的碳排放系数。

因为各种能源消费量的单位不同, 为了使单位统一便于计算比较, 将各能源消费量的单位转化为同一单位标准煤, 其折算系数见表 3。

各类能源的碳排放系数如表 4 所示。

根据公式(1)、(2)和表 3、表 4 所列出的能源折算标准煤的参考系数和 CO₂ 排放系数, 可以计算出湖北省 2006~2016 年的碳排放强度指标值, 如表 5 所示。

根据表 5 的数据显示, 湖北省 2006~2016 年的碳排放强度值呈下降趋势(趋势图见图 3), 特别是 2008 年比 2007 年的碳排放强度下降了 39.34%, 这是湖北省在近十一年中降低幅度最大的一年, 说明了 2008 年湖北省及各下级政府和企业领导为降低 CO₂ 排放所做出的努力成果; 2015 年降低的幅度稍缓, 但是总体来说, 湖北省每年的 CO₂ 排放强度都有所降低, 碳排放强度很直观可以看出该地区节能减排效果, 该指标是政府、企业对低碳经济发展重视程度的客观体现, 也鼓励我们为进一步研究发展低碳经济做贡献。

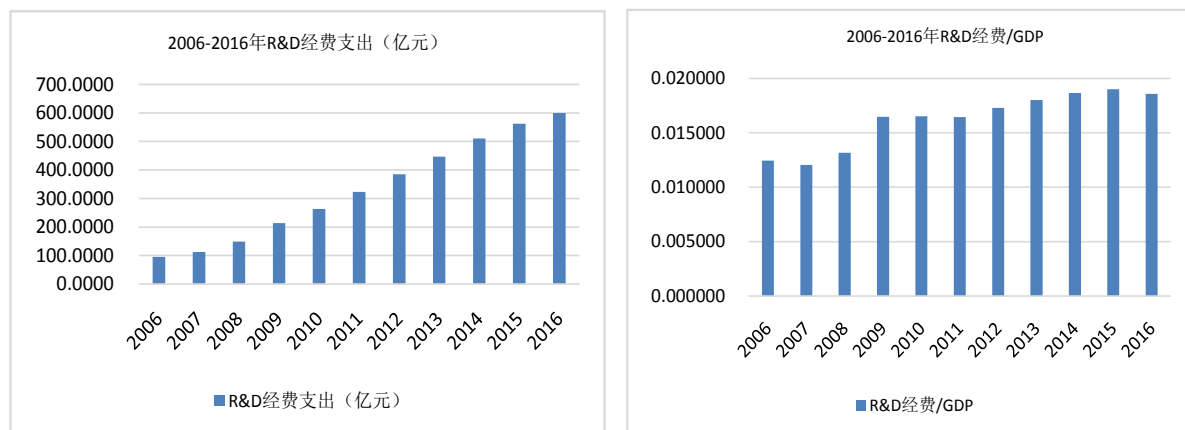


Figure 2. Column chart of relevant indicators of R & D in Hubei province

图 2. 湖北省 R & D 经费相关指标柱形图

Table 3. Reference coefficients of various energy conversion standard coal

表 3. 各类能源折算标准煤参考系数

能源种类	折标准煤系数	能源种类	折标准煤系数
原煤(kg)	0.7143	柴油(kg)	1.4571
焦炭(kg)	0.9714	燃料油(kg)	1.4286
原油(kg)	1.4286	天然气(m ³)	1.33
汽油(kg)	1.4714	电力(kw·h)	0.1299
煤油(kg)	0.5714		

Table 4. Carbon emission coefficients of various types of energy

表 4. 各类能源的碳排放系数

能源种类	碳排放系数	能源种类	碳排放系数
原煤(kg)	0.7559	柴油(kg)	0.5921
焦炭(kg)	0.8550	燃料油(kg)	0.6185
原油(kg)	0.5857	天然气(m ³)	0.4483
汽油(kg)	0.5538	电力(kw·h)	0.5800
煤油(kg)	0.5714		

3.2. 碳减排效应测算的 GRA 模型

3.2.1. 灰色关联分析(GRA)方法

本文选用的是基于灰色相对关联度模型的灰色关联分析方法,是由刘思峰[13]发展完善的一种被广泛应用的灰色关联分析方法,主要研究两个序列相对于起始点变化速率接近的程度,这个数量指标能表征差异较大的数据序列之间是否有紧密联系[12]。它的基本思路是依据序列曲线几何形状的相似程度来看其联系是否密[14],曲线重合度越高,表示相应序列之间的关联度越大,反之则越小。而且即使统计数据是有限的,也不会出现定向分析的结论和量化分析的结果不相符的情况。

本文运用灰色关联分析方法研究碳排放与技术研发人员/总从业人员和 R & D 经费/地区生产总值关联关系,建立 GRA 的对应时间序列数据,来测算湖北省 CO₂ 排放强度和技术进步的动态关联度,然后

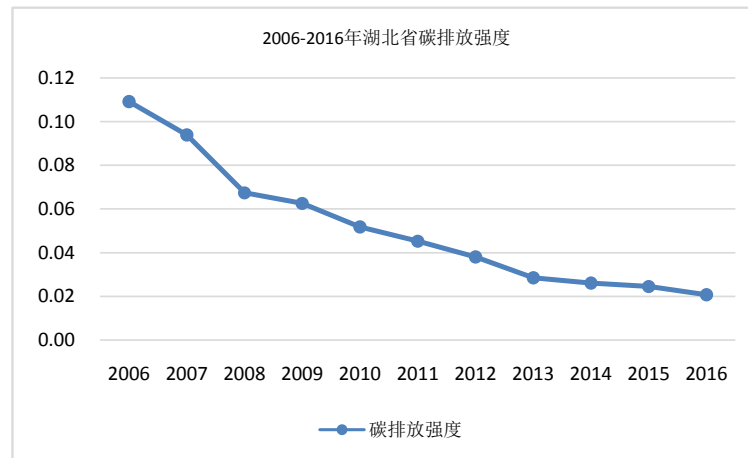


Figure 3. Carbon intensity of Hubei province from 2006 to 2016
图 3. 2006~2016 年湖北省碳排放强度

Table 5. Carbon intensity of Hubei province from 2006 to 2016
表 5. 2006~2016 年湖北省碳排放强度

年份	碳排放总量(10^7 kg)	工业总产值(10^7 元)	碳排放强度	降低幅度
2006	8142.818043	74,540.70	0.11	—
2007	9023.703492	96,015.20	0.09	16.23%
2008	9075.281917	134,549.40	0.07	39.34%
2009	9745.154487	155,670.20	0.06	7.74%
2010	11,215.38061	216,231.20	0.05	20.69%
2011	12,717.21124	280,727.30	0.05	14.50%
2012	12,762.19259	334,506.60	0.04	18.74%
2013	11,220.67247	392,089.80	0.03	33.32%
2014	11,344.9763	433,938.70	0.03	9.46%
2015	11,255.58479	458,095.70	0.02	6.41%
2016	10,141.30201	487,667.10	0.02	18.15%

计算湖北省 CO_2 排放强度与技术进步的综合关联度，从整体上分析它们之间的关系。

3.2.2. 灰色绝对关联度模型

假设 X_i 与 Y 的长度相同且都为同一时距之和序列 $X = [X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)]$ ， $Y = [Y(1), Y(2), \dots, Y(n)]$ 分别是 X_i 与 Y 的初值像， X_i 与 Y 的灰色绝对关联度用 α_{ij} 表示：

$$\alpha_{ij} = \frac{1 + |s_i| + |s_j|}{1 + |s_i| + |s_j| + |s_i - s_j|} \quad (3)$$

$$|s_i| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} X_i(k) + \frac{1}{2} X_i(n) \right| \quad (4)$$

$$|s_j| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} Y(k) + \frac{1}{2} Y(n) \right| \quad (5)$$

$$|s_i - s_j| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (X_i(k) - Y(k)) + \frac{1}{2}(X_i(n) - Y(n)) \right| \quad (6)$$

灰色绝对关联度可以反映折线 X_i 与 X_j 的相似程度，在本文中可表示碳排放强度与技术进步之间的近似程度。若关联度 $\alpha_{ij} > 0.6$ ，说明关联度强，反之，则关联度弱[15]。

3.2.3. 灰色相对关联度模型

假设 X_i 与 Y 的长度相同且初值都不为零， X'_i 与 Y' 的分别是 X_i 与 Y 的始点零化像，则 X'_i 与 Y' 的灰色绝对关联度就为 X_i 与 Y 的灰色相对关联度，用 β_{ij} 表示：

$$\beta_{ij} = \frac{1 + |s'_i| + |s'_j|}{1 + |s'_i| + |s'_j| + |s'_i - s'_j|} \quad (7)$$

其中：

$$s'_i = \left| \sum_{k=2}^{n-1} X'_i(k) + \frac{1}{2} X'_i(n) \right| \quad (8)$$

$$|s'_j| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} Y'(k) + \frac{1}{2} Y'(n) \right| \quad (9)$$

$$|s'_i - s'_j| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (X'_i(k) - Y'(k)) + \frac{1}{2} (X'_i(n) - Y'(n)) \right| \quad (10)$$

灰色相对关联度是序列 X_i 与 Y 相对于始点的变化速率联系的表征。它剔除了初始情况对序列 X_i 与 Y 的影响，动态的分析碳排放强度与技术进步，若 X_i 与 Y 的变化速率越接近， β_{ij} 越大，相应的变量之间的关系就越密切，反之，则越低[16]。

3.2.4. 灰色综合关联度模型

假设序列 X_i 与 Y 长度相同且初值都不为 0， α_{ij} ， β_{ij} 分别为 X_i 与 Y 的灰色绝对关联度和灰色相对关联度， $\theta \in [0, 1]$ 。则根据公式(3)和公式(7)，可以计算灰色综合关联度：

$$\gamma_{ij} = \theta \alpha_{ij} + (1 - \theta) \beta_{ij}$$

灰色综合关联度既能体现折线 X_i 与 Y 的相似程度，又能反映出 X_i 与 Y 相对于始点的变化速率的接近程度，是较为全面的反映湖北省碳排放强度与技术进步之间紧密程度的一个数量指标[17]。一般情况下取 $\theta = 0.5$ ，可以得到：

$$\gamma_{ij} = 0.5 \alpha_{ij} + 0.5 \beta_{ij} \quad (11)$$

3.3. 减排效应测算研究

碳排放强度下降与技术的进步指标有无密切关系？下面运用 GRA 模型计算碳排放强度与技术的进步的相关指标的 GRA，通过其值大小分析湖北省技术进步与碳排放之间的关系，百分比指标这一统一单位来计算目标值大小，用湖北省技术人员/总从业人员的增长幅度、R & D 经费/GDP 的增长幅度来表示技术进步的相关指标，碳排放强度的降低幅度来表示碳排放的相关指标，通过 GRA 的计算公式分别计算技术人员/总从业人员的增加幅度和碳排放强度降低幅度的关联度，R & D 经费/GDP 的增加幅度与碳排放强度降低幅度的关联度。

由此，根据收集和统计得到的数据，计算灰色绝对关联度，计算过程如下：根据表 6 中的数据和公式： $X_i^0 = (x_i(1), x_i(2), x_i(3), \dots, x_i(n)) (i=1, 2)$ ，计算 X_1 、 X_2 和 Y 的初值像，结果如表 7 所示。

Table 6. Indicators data of Hubei province from 2006 to 2016
表 6. 2006~2016 年湖北省各项指标数据

年份	碳排放强度降低幅度 Y	研发人员比重增长幅度 X ₁	R & D 经费占国内生产总值增长幅度 X ₂
2006	1	1	1
2007	10.53%	7.84%	-3.10%
2008	21.69%	6.88%	9.16%
2009	9.93%	79.53%	25.16%
2010	12.75%	7.67%	0.31%
2011	11.94%	15.73%	-0.41%
2012	13.62%	11.18%	5.04%
2013	18.46%	10.33%	4.16%
2014	7.23%	6.43%	3.66%
2015	5.74%	2.14%	1.87%
2016	18.15%	0.00%	-2.27%

Table 7. The initial value of absolute correlation
表 7. 绝对关联度的初值像

年份	Y ⁰	X ₁ ⁰	X ₂ ⁰
2006	1.0000	1.0000	1.0000
2007	0.1053	0.0784	-0.0310
2008	0.2169	0.0688	0.0916
2009	0.0993	0.7953	0.2516
2010	0.1275	0.0767	0.0031
2011	0.1194	0.1573	-0.0041
2012	0.1362	0.1118	0.0504
2013	0.1846	0.1033	0.0416
2014	0.0723	0.0643	0.0366
2015	0.0574	0.0214	0.0187
2016	0.1815	0.0000	-0.0227

根据公式(4)和公式(5)分别计算 $|s_i|$ 和 $|s_j|$ ，结果如下：

$$|s_1| = 1.4773, |s_2| = 0.4447, |s_j| = 1.2097$$

根据公式(6)计算 $|s_i - s_j|$ ，结果如下：

$$|s_1 - s_j| = 0.2676, |s_2 - s_j| = 0.7650$$

根据灰色绝对关联度公式(3)

$$\alpha_{ij} = \frac{1 + |s_i| + |s_j|}{1 + |s_i| + |s_j| + |s_i - s_j|}$$

得出 X₁、X₂ 和 Y 的灰色绝对关联度分别为：

$$\alpha_{1j} = 0.9323, \alpha_{2j} = 0.7763$$

由于 R & D/GDP 的增长幅度在 2007 年、2011 年和 2016 年均均为负数，所以 α_{2j} 较低。

计算 X_1 、 X_2 和 Y 的灰色相对关联度，过程如下：

根据表 7 的数据， X_i 和 Y 是长度相同并且初值都不为零的序列，根据公式：

$X'_i = ((x_i(1) - x_i(1))/x_i(1), (x_i(2) - x_i(1))/x_i(1), \dots, (x_i(n) - x_i(1))/x_i(1)) (i=1,2)$ 计算 X_1 、 X_2 和 Y 初值像的始点零化像，结果如表 8 所示。

根据公式(8)和公式(9)分别计算 $|s'_i|$ 和 $|s'_j|$ ，结果如下：

$$|s'_1| = 8.0227, |s'_2| = 9.05285, |s'_j| = 8.29035$$

根据公式(10)计算 $|s'_i - s'_j|$ ，结果如下：

$$|s'_1 - s'_j| = 0.26765, |s'_2 - s'_j| = 0.7625$$

根据灰色相对关联度公式(7)

$$\beta_{ij} = \frac{1 + |s'_i| + |s'_j|}{1 + |s'_i| + |s'_j| + |s'_i - s'_j|}$$

得出 X_1 、 X_2 和 Y 的灰色相对关联度分别为：

$$\beta_{1j} = 0.9848, \beta_{2j} = 0.9601$$

根据灰色综合关联度公式(11) $\gamma_{ij} = 0.5\alpha_{ij} + 0.5\beta_{ij}$ ，将求得的灰色绝对关联度和灰色关相对联度带入得出 X_1 、 X_2 和 Y 的灰色综合关联度分别为：

$$\gamma_{1j} = 0.9586, \gamma_{2j} = 0.8682$$

4. 结论与讨论

由前文计算可得出湖北省技术进步与碳排放强度的灰色绝对关联度、灰色相对关联度和灰色综合关联度，如表 9 所示。

Table 8. The initial zero image of relative correlation degree

表 8. 相对关联度的始点零化像

年份	Y'	X_1'	X_2'
2006	0.0000	0.0000	0.0000
2007	-0.8947	-0.9216	-1.0310
2008	-0.7831	-0.9312	-0.9084
2009	-0.9007	-0.2047	-0.7484
2010	-0.8725	-0.9233	-0.9969
2011	-0.8806	-0.8427	-1.0041
2012	-0.8638	-0.8882	-0.9496
2013	-0.8154	-0.8967	-0.9584
2014	-0.9277	-0.9357	-0.9634
2015	-0.9426	-0.9786	-0.9813
2016	-0.8185	-1.0000	-1.0227

Table 9. Correlation index between the two indexes of technological progress in Hubei province and the reduction of carbon emission intensity**表 9.** 湖北省技术进步两项指标与碳排放强度降低幅度的关联度指数

指标	灰色绝对关联度	灰色相对关联度	灰色综合关联度
研发人员	0.9323	0.9848	0.9586
R & D 经费	0.7763	0.9601	0.8682

由结果可知：

1) 2006~2016 年间湖北省研发人员与总从业人员的比值的的增长幅度，与湖北省碳排放强度下降幅度的灰色综合关联度为 $0.9586 > 0.7$ ，呈现非常强的关联性。比 R & D 经费/国内生产总值的增长幅度与二氧化碳排放强度降低幅度的灰色综合关联度还要大一些，说明高新技术科研人员对于降低 CO₂ 排放具有更大的影响。建议湖北省各级政府制定吸引与留住人才政策，吸纳高新技术科研人员，对高素质的科研人员的培养给予足够重视，为今后大力发展低碳经济奠定基础。

2) R & D 经费/国内生产总值的增长幅度与二氧化碳排放强度降低幅度的灰色综合关联度为 0.8682，说明技术进步对于降低二氧化碳排放具有很大的促进作用。所以笔者建议湖北省政府加大在技术方面的资本投入和研究，加大在技术创新方面的资金投入。湖北省技术进步与碳排放强度之间虽然表现为强相关，但影响 CO₂ 排放的因素还有产业结构、能源与人口等，本文只对技术进步这一因素进行了研究测算，所以碳减排工作还可在这几个方面进行深入研究。

3) 我国传统经济模式多为高碳型的工业经济，湖北省作为我国的低碳经济发展试点之一，应该积极调整产业结构，向低碳型工业经济转变，以高新技术产业为重点，充分发挥政府的引导职能和金融机构导向资金流动方向的作用，将社会闲散资金及储蓄资本通过市场配置流向可持续发展性更大的低碳企业，鼓励更多的企业走向低碳发展道路，建立低碳经济企业集群，实现产业结构调整与能源结构升级，走可持续发展道路。

参考文献

- [1] Johnston, D., Lowe, R. and Bell, M. (2005) An Exploration of the Technical Feasibility of Achieving CO₂ Emission Reductions in Excess of 60% within the UK Housing Stock by the Year 2050. *Energy Policy*, **33**, 1643-1659. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.02.003>
- [2] Treffers, D.J., Faaij, A.P.C., Spakman, J. and Seebregts, A. (2005) Exploring the Possibilities for Setting Up Sustainable Energy Systems for the Long-Term: Two Visions for the Ditch Energy System in 2050. *Energy Policy*, **33**, 1723-1743. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.02.011>
- [3] Goulder, L.H. and Schneider, S.H. (1999) Induced Technological Change and the Attractiveness of CO₂ Abatement Policies. *Resource & Energy Economics*, **21**, 211-253. [https://doi.org/10.1016/S0928-7655\(99\)00004-4](https://doi.org/10.1016/S0928-7655(99)00004-4)
- [4] 赵子勋. 中国低碳经济发展的途径与潜力分析[J]. 长江丛刊, 2018(1): 32-132.
- [5] 何建坤. 发展低碳经济, 关键在于低碳技术创新[J]. 绿叶, 2009(1): 46-50.
- [6] 王中英, 王礼茂. 中国经济增长对碳排放的影响分析[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(5): 88-91.
- [7] 陈凯, 佟昕. 中国碳排放强度与影响因素的关联分析[J]. 技术经济与管理研究, 2014(11): 9-12.
- [8] 张兵兵, 徐康宁, 陈庭强. 技术进步对二氧化碳排放强度的影响研究[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 567-576.
- [9] 程云鹤, 齐晓安, 汪克亮, 等. 技术进步、节能减排与低碳经济发展——基于 1985~2009 年中国 28 个省际面板数据的实证考察[J]. 山西财经大学学报, 2013, 35(1): 51-60.
- [10] 李沙沙, 牛莉. 技术进步对二氧化碳排放的影响分析——基于静态和动态面板数据模型[J]. 经济与管理研究, 2014(10): 19-26.
- [11] 张艳. 技术进步对我国碳排放强度的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 蚌埠: 安徽财经大学, 2016.

-
- [12] 魏洁. 企业技术进步的低碳经济贡献度研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北方工业大学, 2015.
- [13] 刘思峰, 杨英杰, 吴利丰. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [14] 李健, 周慧. 中国碳排放强度与产业结构的关联分析[J]. 中国人口资源与环境, 2012, 22(1): 7-14.
- [15] 韦保磊. 灰关联与灰预测建模方法[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 华北水利水电大学, 2017.
- [16] 张阳, 张橙. 基于 TOPSIS-灰色关联度分析的水资源配置方案综合评价[J]. 统计与决策, 2017(18): 62-65.
- [17] 樊元, 李丽媛, 同小歌, 等. 财税政策和金融政策对中国高技术产业集聚效应分析——基于五大行业灰色综合关联度[J]. 科技管理研究, 2014, 34(7): 177-180.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7540, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: sd@hanspub.org