

惯性发展情境下湖南省能否实现 2020 年减碳目标？

——基于 GM(1, 1) 模型预测^{*1}

邓荣荣

(南华大学经济管理学院, 湖南衡阳 421001)

【摘要】:依据 IPCC 碳排放计算方法, 对 1995—2014 年湖南省碳排放量和碳排放强度进行动态测度。结果表明: 研究期内湖南省碳排放强度值持续低于全国平均水平, 碳排放总量与行业值均呈现持续增长的趋势, 但在 2004 年前后呈现不同的增长态势, 碳排放量主要集中在第二产业, 尤其是碳排放强度最高的工业行业, 工业单位产值产生的碳排放量显著大于其对国民经济的贡献; 灰色 GM(1, 1) 模型预测进一步表明, 在碳排放与经济“惯性发展”情景下, 湖南省整体、第一产业、第二产业中的工业均能实现 2020 年碳减排目标, 第二产业中的建筑业和第三产业各行业距离碳减排目标实现具有一定差距。

【关键词】:惯性发展; 情境; 湖南省; 碳减排; GM(1, 1) 模型

【中图分类号】:X823. 4 **【文献标志码】:**A **【文章编号】:**1005—8141(2017)07—0802—05

为应对持续严峻的国际国内减排压力, 我国于 2009 年公布了碳减排目标, 即到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放量比 2005 年下降 40%—45%, 并将指标分解到各个地区。因此, 贯彻落实国家的低碳发展战略部署, 加快实施低碳建设与发展, 有效实现中长期碳减排目标, 已成为各级政府政策制定与关注的焦点问题, 也引发了学术界的广泛关注。

现有相关研究主要集中在以下议题: ①对区域低碳发展的内涵或概念界定。对低碳省份内涵的认识学术界有一个逐步深化的过程, 从最初强调经济生产和消费到综合考虑社会生活和管理等因素^[1, 2]。李健、郝珍珍综合国内外的相关研究结果, 将低碳省市的概念界定为: 以省份或城市空间来发展低碳经济, 以经济发展、产业结构、能源结构、消费方式等的优化为着力点, 实现经济发展、生态环境保护、居民生活水平提高的共赢, 构建可持续发展的宜居省份或城市^[3]。②区域碳排放量测算与分析。林涛等对 2001—2008 年天津市 34 个工业行业的排放量进行了研究^[4]; 刘海龙等以重工业城市兰州为研究对象, 从工业分行业结构减排和技术减排的视角对兰州市工业碳排放状况和减排潜力进行了研究^[5]。③区域碳排放影响因素研究。部分学者在区域碳排放量测算的基础上进一步研究碳排放总量或强度的影响因素, 如唐德才、吴梅^[6]运用 IDA 方法对江苏省碳排放影响因素进行了实证研究; 涂正革等^[7]运用 SDA 方法研究中国区域碳排放的影响因素。④区域低碳发展的政策建议。Wiedmann^[8]、石峰^[9]等学者分别以不同的区域为研究对象, 从不同的角度提出了区域增强低碳发展能力与加快低碳建设进程的政策建议。⑤区域经济发展与碳减排的协调发展。马涛等学者针对宁波市低碳发展与工业行业经济增长的研究结果表明, 根据低碳条件下的指标体

¹ 收稿日期: 2017—05—09; 修订日期: 2017—06—21

基金项目:国家社科基金青年项目“中国低碳城市试点的政策绩效评价及优化研究”(编号: 15CJY037); 湖南省教育厅优秀青年项目“经济增长与碳减排双重约束下湖南省低碳潜力情景预测及路径优化研究”(编号: 16B233); 湖南省哲学社会科学基金“百人工程”项目“‘互联网+’助推湖南农产品走出去路径研究”(编号: 15BR01)。

第一作者及通讯作者简介:邓荣荣(1981—), 女, 湖南省衡阳人, 博士, 副教授, 主要从事生态经济相关研究。

系进行战略产业选择,同时采用技术减排,可实现促进区域实现工业增长和低碳发展的双重目标^[10];王兵、杜敏哲研究了广东省 2000—2010 年工业产业边际减排成本与经济增长的双赢发展,表明低碳技术可在实现碳排放减少的同时增加工业产值,且低碳技术越强,双赢越大,这一效应在经济欠发达地区更为明显^[11]。

综上所述,现有文献丰富了区域低碳发展的研究成果,但有关区域经济发展与碳减排协调发展的文献较少,在各省经济发展与碳减排战略的实施进程中,一个不容忽视的重要议题是:增加减排投入一方面可能减少原本就稀缺的生产性投入(尤其是能源投入),另一方面将导致社会生产成本增加和经济结构的非货币利益最优化调整,两者可能在一定程度上影响经济增长目标的实现。即区域经济发展目标和碳减排目标可能存在一定程度冲突,因此进一步的研究需要对经济增长约束下区域碳排放发展趋势、低碳目标实现的可能性、碳排放影响因素进行定量分析。本文以湖南省为研究对象,对 1995—2014 年湖南省碳排放量及碳排放强度进行了动态测度与比较分析,并运用灰色 GM(1, 1) 预测法对 2020 年湖南省碳减排目标的实现程度进行了预测。湖南省既是全国“两型社会”建设示范区,也是传统的高碳省份,研究结论一方面能为湖南省进一步实施低碳与经济发展策略提供科学依据,另一方面,为全国其他省份制定低碳与经济协调发展策略提供参考与借鉴。

1 研究方法 with 数据来源

1. 1 碳排放量与碳排放强度计算

依据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》中提出的碳排放计算方法,一国(区域)碳排放量与碳排放强度的计算公式分别为:

$$C = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{16} E_{ij} \Psi_j \dots\dots\dots (1)$$

$$c = C/G = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{16} E_{ij} \Psi_j / G \dots\dots\dots (2)$$

式中,C 表示区域碳排放量;c 表示碳排放强度;i 表示区域能源平衡表中农业、工业、建筑业、交通运输仓储及邮电通讯业、批发零售及餐饮业、其他等 6 类终端能源消费产业;j 表示煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、天然气等 16 种主要终端能源消费种类; E_{ij} 表示第 i 类终端能源消费产业对第 j 类能源的实物消费量;G 表示 GDP 总量。上述数据来源于相关年份的《湖南省统计年鉴》和《湖南能源统计年鉴》。 Ψ_j 表示第 j 种能源的碳排放系数,计算公式为:

$$\Psi_j = NCV_j \times CEF_j \times COF_j \times (44/12) \dots\dots\dots (3)$$

式中, Ψ_j 为第 i 种能源的二氧化碳排放系数,NCV 为 2007 年《中国能源统计年鉴》附录 4 提供的中国各类能源的平均低位发热量(kJ/kg 或 kJ/m³);CEF 为 IPCC 提供的各类能源的缺省排放因子(kg/10⁶kJ);COF 是碳氧化因子(本文取值为 1);44 和 12 分别为二氧化碳和碳的分子量,44/12 即为将碳转化为二氧化碳的系数。

1. 2 碳排放预测模型构建

在实证研究中,主流的预测方法包括趋势外推预测法、时间序列预测法、回归预测法、灰色模型预测法、神经网络预测法。其中,灰色预测为对具有不确定因素的系统进行预测的方法,主要通过原始数据的处理来寻找系统变动的规律,生成有较强规律性的数据序列,并在对原始数据生成处理的基础上建立微分方程模型,从而对系统的未来状态做出科学的定量预测,所需建

模信息较少、运算简便、精度高、易于检验，是处理较小样本预测问题的有效工具。由于灰色预测模型为基于一阶常微分方程建立的，故称为一阶一元灰色模型，记为 GM(1, 1)。本文运用 GM(1, 1) 模型分别对 2020 年湖南省分产业碳排放量、增加值、碳排放强度进行预测，GM(1, 1) 的建模与预测：

设时间 t 序列 $(t = 1, 2, 3, \dots, n) X_{(t)}^{(0)}$ 有 n 个观察值， $X_{(t)}^{(0)} = \{X_{(1)}^{(0)}, X_{(2)}^{(0)}, \dots, X_{(n)}^{(0)}\}$ ，通过累加生成新序列， $X_{(t)}^{(1)} = \{X_{(1)}^{(1)}, X_{(2)}^{(1)}, \dots, X_{(n)}^{(1)}\}$ ，则 GM(1, 1) 预测模型微分方程为：

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \dots\dots\dots (4)$$

预测模型为：

$$x_{(t+1)}^{(1)} = (x_{(1)}^{(0)} - \frac{u}{a}) e^{-at} + \frac{u}{a} \dots\dots\dots (5)$$

式中，a、u 为待确定的未知参数，由下式求出：

$$\left(\frac{a}{u}\right) = (B^T \times B)^{-1} \times B^T \times X \dots\dots\dots (6)$$

式(6)中：

$$B = \begin{bmatrix} -(1/2)(X_{(1)}^{(1)} + X_{(2)}^{(1)}) & 1 \\ -(1/2)(X_{(2)}^{(1)} + X_{(3)}^{(1)}) & 1 \\ \dots & \dots \\ -(1/2)(X_{(n-1)}^{(1)} + X_{(n)}^{(1)}) & 1 \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} X_{(2)}^{(0)} \\ X_{(3)}^{(0)} \\ \dots \\ X_{(n)}^{(0)} \end{bmatrix}$$

GM(1, 1) 模型须通过均方差比 C 值和小残差概率 P 值来判断模型的预测精度，均方差比 C 值的计算公式为：

$$C = \frac{S_1}{S_2} \dots\dots\dots (7)$$

$$S_1 = \left(\frac{\sum_{t=1}^n [\varepsilon_{(t)}^{(0)} - \bar{\varepsilon}^{(0)}]^2}{n} \right)^{1/2}$$

式中,

$$S_2 = \left(\frac{\sum_{t=1}^n [x_{(t)}^{(0)} - \bar{x}^{(0)}]^2}{n} \right)^{1/2}$$

$$\bar{m}^{(0)} = \frac{\sum_{t=1}^n \varepsilon_{(t)}^{(0)}}{n}, \quad \bar{x}^{(0)} = \frac{\sum_{t=1}^n x_{(t)}^{(0)}}{n}$$

小残差概率 P 值的计算公式为:

$$P = P\{|\varepsilon_{(t)}^{(0)} - \bar{\varepsilon}^{(0)}| < 0.6745 S_2\}, (t = 1, 2, \dots, n)$$

..... (8)

当 $P > 0.95$ 、 $C < 0.35$ 时, 预测精度为优; 当 $P > 0.80$ 、 $C < 0.50$ 时, 预测精度为合格; 当 $P > 0.80$ 、 $C < 0.50$ 时, 预测精度为合格; 当 $P > 0.70$ 、 $C < 0.65$ 时, 预测精度为勉强合格; 当 $P < 0.70$ 、 $C > 0.65$ 时, 预测精度为不合格。

2 实证结果分析

2.1 增长态势与产业分布

从表 1 可见, 研究期内湖南省碳排放量呈现持续增长的趋势, 年均增长率为 7.9%。从碳排放量的变动轨迹来看, 湖南省碳排放可分为两个阶段: 第一阶段湖南省碳排放量由 1995 年的 7908.3 万 t 增加到 2004 年的 13786.1 万 t, 年均增长率仅为 6.4%; 第二阶段湖南省的碳排放量规模与增速均显著高于第一阶段, 由 2005 年的 14046.7 万 t 增加到 2014 年的 33851.2 万 t, 年均增长率高达 10.27%。存在上述两阶段特性的主要原因可能在于: ①湖南省第二阶段的经济规模与增长速度显著高于第一阶段。1995—2004 年, 湖南省 GDP 年均增长速度为 11.4%, 而 2005—2014 年湖南省 GDP 年均增长速度高达 17.0%, 长期以来中国各省域粗放型经济增长模式尚未从根本上得到改变的背景下, 较高的经济规模与经济增长速度意味着能源消耗总量与速度的迅速增长, 引致碳排放量的加速增长。②产业结构特征引致。相较于第一阶段较为缓慢的第二产业增长态势与较为迅速的第三产业发展速度, 2004 年后随着湖南省城镇化与工业化进程的不断加快, 第二产业成为经济增长的主导产业, 占地区生产总值的比重由 2005 年的 39.6% 迅速增至 2014 年的 46.2%, 而第三产业比重则不增反降, 由 2005 年的 43.7% 降至 2014 年的 42.2%, 第二阶段产业结构的变化导致更密集的能源消耗, 引致更快的碳排放增长速度。③湖南省第二阶段消费模式的变化加快了碳排放增速。相较于第一阶段, 湖南省第二阶段呈现两个不利于碳排放节约的消费特征: 一是服务型消费比重较第一阶段有所降低。第一阶段湖南省城镇居民服务性消费支出比重由 14.8% 上升为 19.3%, 但第二阶段湖南省城镇居民服务性消费支出比重不升反降, 由 2005 年的 18.7% 下降到 2014 年的 16.1%; 二是碳排放密集型产品消费增长。如湖南省城镇化进程在第二阶段显著加快, 城镇化率由 37% 增至 49%, 由此导致房地产、工业园区建设、旧城区改造、道路建设等投资迅速增加, 引致对钢筋、混凝土、水泥等高碳排放建筑类行业产品的需求增加; 2004 年后汽车消费在湖南省呈现较大幅度的增长, 相较于第一阶段城镇居民每百户汽车拥有量的 7.7% 的年均增长率, 第二阶段城镇居民每百户汽车拥有量从 2005 年的 122.9 辆增至 2014 年的 615.7 辆, 年均增长率高达 19.6%。

表1 1995—2014 年湖南省碳排放总量与产业分布

年份	第一产业		第二产业				第三产业						总计 (万t)
	农林牧渔业 (万t)	占比 (%)	工业 (万t)	占比 (%)	建筑业 (万t)	占比 (%)	交通运输仓储 及邮电通讯业 (万t)	占比 (%)	批发零售 及餐饮业 (万t)	占比 (%)	其他 (万t)	占比 (%)	
1995	721.1	9.12	6921.6	87.52	4.5	0.06	152.8	1.93	40.8	0.52	67.6	0.85	7908.3
1996	858.7	9.81	7580.2	86.63	11.6	0.13	170.2	1.94	49.9	0.57	79.6	0.91	8750.2
1997	1387.4	13.97	8166.7	82.24	15.7	0.16	230.0	2.32	54.5	0.55	75.9	0.76	9930.1
1998	1544.2	14.18	8940.0	82.10	17.5	0.16	256.3	2.35	60.5	0.56	71.3	0.65	10889.7
1999	1471.0	13.41	9017.6	82.18	24.9	0.23	363.6	3.31	42.3	0.39	53.2	0.48	10972.6
2000	1348.4	11.11	10113.6	83.32	36.0	0.30	527.8	4.35	52.5	0.43	59.2	0.49	12137.6
2001	1050.0	8.45	10778.4	86.78	31.3	0.25	414.4	3.34	105.2	0.85	40.7	0.33	12419.9
2002	904.4	7.06	11089.1	86.62	32.4	0.25	516.7	4.04	170.7	1.33	88.7	0.69	12801.9
2003	1185.5	8.89	11292.6	84.68	50.2	0.38	531.8	3.99	265.5	1.99	10.8	0.08	13336.4
2004	900.3	6.53	12006.0	87.09	60.0	0.44	435.6	3.16	286.5	2.08	97.8	0.71	13786.1
2005	865.4	6.16	12154.8	86.53	102.8	0.73	375.2	2.67	449.9	3.20	98.6	0.70	14046.7
2006	924.1	4.90	16552.0	87.75	115.9	0.61	459.0	2.43	650.7	3.45	160.3	0.85	18862.0
2007	963.4	4.76	17553.7	86.72	127.1	0.63	507.9	2.51	851.5	4.21	238.2	1.18	20241.7
2008	1166.6	5.03	19871.8	85.61	150.7	0.65	531.9	2.29	1065.3	4.59	425.7	1.83	23212.0
2009	1195.6	4.84	20912.4	84.74	161.4	0.65	683.1	2.77	1313.2	5.32	414.0	1.68	24679.6
2010	1330.3	5.07	22564.0	86.05	189.9	0.72	831.6	3.17	912.0	3.48	394.9	1.51	26222.7
2011	1545.9	5.56	23658.5	85.14	333.1	1.20	935.7	3.37	951.0	3.42	363.2	1.31	27787.4
2012	1694.5	5.67	25475.3	85.24	372.7	1.25	855.6	2.86	1073.9	3.59	415.9	1.39	29887.9
2013	2324.5	7.31	23902.8	75.20	924.2	2.91	1938.0	6.10	1144.7	3.60	1550.1	4.88	31784.4
2014	2143.4	6.33	25811.5	76.25	954.1	2.82	2316.3	6.84	1111.9	3.28	1514.1	4.47	33851.2

注：依据式(1)与式(3)计算得到。

从碳排放的产业分布来看，表1显示：①在研究期内湖南省碳排放量主要集中在第二产业，尤其是第二产业中的工业，且工业行业碳排放量占比显著高于其增加值占比。如1995—2014年，湖南省工业增加值占地区生产总值的比重由30.9%增长到39.8%，但工业碳排放量占湖南省碳排放的比重维持在80%左右，由87.52%略降至76.25%。上述结果表明，工业单位产值产生的碳排放量显著大于它对国民经济的贡献，属于区域节能减排要重点关注的行业。此外，工业碳排放比重有所下降，表明湖南省长期以来实行的工业领域节能减排举措初现成效。②湖南省第二产业中的建筑业碳排放量呈现持续快速增长趋势，但建筑业碳排放量占比显著低于其增加值占比。如1995—2014年碳排放量占湖南省碳排放总量的比重由0.06%增加至2.82%，占比年均增长率高达22.5%，但建筑业碳排放量占比显著低于其增加值占比(建筑业增加值占地区生产总值的比重由4.84%增加至6.45%)，一方面表明第二产业中的建筑业并非高碳排放行业，另一方面表明现阶段节能减排技术在湖南省建筑领域尚未发挥效果，建筑业存在较大的节能减排空间。③湖南省第一产业与第三产业碳排放占比均显著低于两者在国民经济中的比重，表明第一产业与第三产业均为低碳排放行业，属于低碳化发展背景下实现区域产业结构优化的重点目标行业。

3.2 国内比较与产业特征

湖南省各年份整体碳排放强度及分产业碳排放强度见表2。结果显示：首先，研究期内湖南省碳排放强度由1995年的3.71t/万元持续降低到2014年的1.25t/万元，年均降幅为5.9%，与全国碳排放强度平均水平相比，除少数年份外湖南省碳排放强度均持续低于全国平均水平。为了进一步判断研究期内湖南省碳减排绩效是否优于全国平均水平，本文计算了湖南省各年份的碳排放量占全国碳排放量比重，以及各年份湖南省GDP占全国GDP的比重。结果表明，除少数年份外，湖南省碳排放量占全国的比重持续低于湖南省GDP占全国比重，表明研究期内湖南省节能减排工作取得了一定的成效。其次，分产业碳排放强度的数据显示，湖南省碳排放强度最高的行业为第二产业中的工业，但近年来工业行业的碳排放强度呈现较快的下降趋势，由1995年的10.51%下降到2014年的2.4%。值得引起重视的是：尽管湖南省第二产业中的建筑业及第三产业的交通运输仓储及邮电通讯业的碳排放强度值较小，属于低碳排放行业，但一方面建筑业的碳排放强度呈持续快速增长的趋势，2014年比1995年增长了13.75倍；另一方面，湖南省交通运输仓储及邮电通讯业在第三产业中碳排放强度最高，未来随着中国区域物流行业的发展，如何在交通运输仓储及邮电通讯业实施节能减排值得重视。

表 2 1995—2014 年湖南省碳排放强度 (t/万元,%)

年份	第一产业	第二产业		第三产业			全省碳排放强度	全国平均碳排放强度	是否优于全国平均水平	全省碳排放量占全国比重	全省 GDP 占全国比重	碳排放比重是否低于 GDP 比重
	农林牧渔业	工业	建筑业	交通运输仓储及邮电通讯业	批发零售及餐饮业	其他						
1995	1.05	10.51	0.04	1.14	0.19	0.20	3.71	5.43	是	2.38	3.49	是
1996	1.08	9.59	0.09	0.99	0.20	0.19	3.44	4.84	是	2.53	3.55	是
1997	1.62	9.03	0.11	1.16	0.20	0.16	3.49	4.37	是	2.86	3.59	是
1998	1.86	9.31	0.11	1.16	0.21	0.13	3.60	3.92	是	3.28	3.56	是
1999	1.89	8.92	0.14	1.48	0.14	0.08	3.41	3.68	是	3.31	3.56	是
2000	1.72	9.24	0.18	1.83	0.15	0.07	3.42	3.41	否	3.56	3.56	否
2001	1.27	9.13	0.13	1.36	0.28	0.04	3.24	3.16	否	3.56	3.48	否
2002	1.07	8.76	0.13	1.55	0.41	0.09	3.08	3.05	否	3.47	3.43	否
2003	1.34	7.60	0.17	1.42	0.58	0.01	2.86	3.31	是	2.95	3.41	是
2004	0.88	6.58	0.16	1.05	0.49	0.07	2.44	3.29	是	2.61	3.51	是
2005	0.79	5.54	0.25	0.97	0.77	0.05	2.13	3.11	是	2.43	3.55	是
2006	0.73	6.11	0.24	1.04	1.03	0.07	2.45	2.95	是	2.94	3.53	是
2007	0.59	5.17	0.22	0.98	1.10	0.09	2.14	2.53	是	2.98	3.52	是
2008	0.62	4.61	0.21	0.85	1.09	0.14	2.01	2.27	是	3.23	3.65	是
2009	0.61	4.34	0.19	0.97	1.08	0.12	1.89	2.20	是	3.24	3.78	是
2010	0.57	3.58	0.18	1	0.64	0.10	1.64	2.14	是	2.99	3.92	是
2011	0.56	2.91	0.27	0.99	0.57	0.07	1.41	2.01	是	2.86	4.06	是
2012	0.56	2.79	0.27	0.79	0.58	0.07	1.35	1.88	是	2.98	4.15	是
2013	0.75	2.39	0.59	1.65	0.56	0.23	1.29	1.74	是	3.10	4.19	是
2014	0.66	2.40	0.55	1.84	0.50	0.19	1.25	1.52	是	3.14	4.25	是

注:依据式(2)与式(3)计算得到。其中,计算所需的能源消费碳排放数据来自美国橡树岭国家实验室二氧化碳信息中心(CDIAC)网站。

2. 3 湖南省 2020 年碳排放趋势预测

假设湖南省碳排放驱动因子的边际贡献维持于 1995—2014 年的水平,即处于“惯性发展”情境下,以湖南省 1995—2014 年分产业碳排放量、增加值为原始序列,依据式(4)—(8),应用 Matlab7.0 软件运行建模计算,可分别获得分产业碳排放量与增加值的 α 值、 μ 值、预测方程(表 3),以及 2020 年湖南省分产业碳排放量、增加值的预测数据,并相应计算得到 2020 年湖南省碳排放强度预测数据(表 4)。表 4 的结果表明,依据现有的碳排放增长轨迹和经济发展速度,湖南省 2020 年碳排放总量预计达 63480.79 万 t,地区生产总值预计为 71949.10 亿元,由此计算得到 2020 年湖南省碳排放强度预计值为 0.88t/万元,与湖南省减碳目标设定基期 2005 年相比,降低了 58.58%,能实现国家与湖南省政府设定的单位 GDP 碳排放量(碳排放强度)比 2005 年下降 40%—45%的目标。若将碳减排目标分解至各个产业,从产业碳减排的角度而言,依据湖南省现有各产业的发展模式,第一产业、第二产业中的工业均能完成碳减排目标。鉴于工业为湖南省碳排放总量与强度最大的行业,工业碳减排目标的实现将成为湖南省整体碳减排目标实现的关键因素;第二产业中的建筑业以及第三产业各行业均距离实现 2020 年碳减排目标具有一定的差距,但这些产业均属于碳排放强度较低的低碳排放行业,并非区域内节能减排的重点关注与治理行业,故未对湖南省整体碳减排目标实现产生实质性的影响。

表 3 预测方程及 a、u 值

项目	碳排放量			增加值		
	预测方程	a 值	u 值	预测方程	a 值	u 值
农林牧渔业	$x_{(t+1)}^{(1)} = 26548.2e^{0.075t} - 25827.7$	-0.035	891.42	$x_{(t+1)}^{(1)} = 4707.1e^{0.103t} - 4021.8$	-0.103	413.32
工业	$x_{(t+1)}^{(1)} = 100512.9e^{0.073t} - 93591.3$	-0.073	6796.91	$x_{(t+1)}^{(1)} = 2925.6e^{0.17t} - 2266.9$	-0.170	385.17
建筑业	$x_{(t+1)}^{(1)} = 103.4e^{0.349t} - 0.556$	-0.349	0.194	$x_{(t+1)}^{(1)} = 653.3e^{0.156t} - 540.3$	-0.156	84.44
交通运输仓储及邮电通讯业	$x_{(t+1)}^{(1)} = 416.4e^{0.148t} - 263.64$	-0.148	-39.01	$x_{(t+1)}^{(1)} = 1252.3e^{0.116t} - 1118.5$	-0.116	130.12
批发零售及餐饮业	$x_{(t+1)}^{(1)} = 1618e^{0.121t} - 1577.20$	-0.121	191.54	$x_{(t+1)}^{(1)} = 1206.5e^{0.14t} - 996.1$	-0.140	139.22
其他	$x_{(t+1)}^{(1)} = 159.7e^{0.312t} - 61.92$	-0.312	19.29	$x_{(t+1)}^{(1)} = 2263.4e^{0.165t} - 1931.3$	-0.165	319.48

表 4 湖南省 2020 年碳排放量、增加值与碳排放强度预测结果

项目	2020 年碳排放量				2020 年增加值				碳排放强度 (t/万元)		
	预测值 (万 t)	平均相对误差 (%)	C 值	P 值	预测值 (亿元)	平均相对误差 (%)	C 值	P 值	2020 年预测值	2005 年值	2020 年较 2005 年 (%)
农林牧渔业	2134.58	9.83	0.11	1	6002	12.27	0.18	1	0.360	0.79	-54.98
工业	43263.46	6.18	0.25	1	31976.52	12.12	0.12	1	1.356	5.54	-75.58
建筑业	5671.42	12.82	0.33	1	4694.74	5.98	0.23	1	1.210	0.25	383.21
交通运输仓储及邮电通讯业	2314.05	5.49	0.08	1	2519.92	7.72	0.33	1	0.920	0.97	-5.33
批发零售及餐饮业	3853.35	16.25	0.30	1	5179.85	9.40	0.28	1	0.740	0.77	-3.39
其他	6243.93	4.06	0.20	1	21576.07	2.82	0.20	1	0.290	0.05	478.78
总计		63480.79				71949.10			0.880	2.13	-58.58

4 政策建议

虽然在“惯性发展”情景下预测湖南省能够实现 2020 年的碳减排目标，但是上述预测为依据湖南省低碳发展与经济发展现状对中期减排目标实现情况的一种预测。为保持或提升现有低碳发展速度，确保低碳发展目标如期或加速完成，湖南省应该继续因地制宜地探索低碳发展保障与长效机制，加快低碳发展进程。

具体而言，根据研究结果尝试提出以下政策建议：首先，在区域经济、城镇化及工业化进程加速发展的现实背景下，城镇居民人口总量、城市居民人均可支配收入、全社会固定资产投资额等变量将呈现持续增长的态势，直接对碳排放的绝对规模进行控制和削弱将与区域基于生存与发展的温室气体排放需求量产生冲突，影响区域经济的发展与人民生活质量的提高，因此现阶段我国区域经济的发展特征决定了相较于降低碳排放规模，实现碳排放强度的降低更为实际。其次，技术进步与产业结构因素可成为区域节能减排政策实施的重点关注对象。从提升节能减排技术的角度而言，一方面，政府需继续加大资金投入与政策支持，鼓励企业（尤其是目前不可或缺但碳排放系数较高的行业企业）实施节能减排技术与工艺的自主创新，同时对国际先进技术进行引进、消化与吸收，并重视节能减排技术与市场需求的实际对接，促进节能减排技术的市场应用，以提升各部门的能源效率；另一方面，随着节能减排技术的深入推广与能源效率的提升，未来各部门将逐步面临节能减排技术的边际效应递减等问题。因此，进一步的节能减排技术方向应重点关注国民经济各部门的技术联系，降低各部门单位产出对高碳排放行业产品与服务的直接与间接消耗，降低碳密集型中间投入需求，使中间生产技术的变化朝有利于节能减排的方向发展。从产业结构调整的角度而言，鉴于中国目前正经历难以逾越的快速工业化进程，盲目对第二产业的规模与比重加以限制将引致劳动密集型比较优势行业发展受阻、经济增长受限、失业率增加、社会问题加剧等一系列问题，也难以具体实施，故进一步的结构优化调整方向可立足于对第三产业的扶持，大力发展第三产业行业的比重和发展水平，实现其对第二产业落后行业的逐步替代，并适度控制第二产业尤其是第二产业中工业的比重，进一步改变制造业重型化和高加工度化发展趋势。第三，在国内市场需求进一步扩大的背景下，从消费侧的角度协调消费增长与碳减排的关系具有重要的意义。

从居民消费角度而言，需要重视低碳建设的公众认识与参与，重点关注居民（尤其是城镇居民）的消费模式与消费结构，通过各类媒体开展低碳宣传教育活动及社会动员活动，并通过运用适当的财税政策与宣传手段引导居民消费向绿色、低碳、可持续发展的模式转变，增强居民对清洁、绿色、低碳产品的消费比重；从政府的消费角度而言，需要逐步建立低碳产品政府采购制度，可依据实际情况对企业的能耗指标进行年度考核，对节能减排领先的企业在政府采购中予以优先支持，并对节能减排自主创新

产品、列入节能减排产品目录的产品实施优先采购，同时加强对在建的政府建筑与公共基础设施工程的低碳化监督、政府建筑采购及公共建筑改造环节的低碳化招标，推动建筑行业的低碳化发展。

参考文献:

- [1] 夏堃堡. 发展低碳经济实现城市可持续发展 [J]. 环境保护, 2008, (3): 33—35.
- [2] Price. Development of aLow-carbon Indicator System for China [J]. Habitat International, 2013, (37): 4—21.
- [3] 李健, 郝珍珍. 基于产业影响和空间重构的低碳城市建设研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, (7): 65—72.
- [4] 林涛. 天津市工业碳排放测算与影响因素分析 [J]. 城市环境与城市生态, 2012, (8): 22—24.
- [5] 刘海龙. 西北地区重工业城市工业行业碳排放分析——以兰州市为例 [J]. 生态经济, 2014, (5): 41—45.
- [6] 唐德才, 吴梅. 2013—2020 年江苏省碳排放驱动因素趋势预测 [J]. 生态经济, 2016, (1): 63—67.
- [7] 涂正革, 谌仁俊, 韩生贵. 中国区域二氧化碳排放增长的驱动因素——工业化、城镇化发展的视角 [J]. 华中师范大学学报(人文社会科学版), 2015, (1): 46—59.
- [8] Wiedmann T, Chen G, Barrett J. The Concept of City Carbon Maps: A Case Study of Melbourne, Australia [J]. Journal of Industrial Ecology, 2016, 20(4): 676—691.
- [9] 石峰. 我国低碳经济的发展及政策研究 [J]. 宏观经济管理, 2016, (2): 70—74.
- [10] 马涛. 工业增长与低碳双重约束下的产业发展及减排路径 [J]. 世界经济, 2011, 34(8): 39—43.
- [11] 王兵, 杜敏哲. 低碳技术下边际减排成本与工业经济的双赢 [J]. 南方经济, 2015(2): 17—36.