

doi:10.12006/j.issn.1673-1719.2018.074

张强, 黎楠, 陈文颖, 等. 基于省区协调发展的 GDP 预测模型 [J]. 气候变化研究进展, 2019, 15 (1): 54-61

Zhang Q, Li N, Chen W Y, et al. Provincial GDP projection model based on balanced development [J]. Climate Change Research, 2019, 15 (1): 54-61

基于省区协调发展的 GDP 预测模型

张强¹, 黎楠¹, 陈文颖¹, 单葆国²,
张成龙², 尹硕³

1 清华大学能源环境经济研究所, 北京 100084;

2 国网能源研究院有限公司, 北京 102209;

3 国网河南省电力公司经济技术研究院, 郑州 450052

摘要: 基于柯布-道格拉斯生产函数与自回归移动平均模型 (ARIMA) 构建出一个 GDP 综合预测模型, 并且考虑十九大全面建成小康社会与实现共同富裕的精神与国家关于技术、资本、劳动力等方面的区域平衡发展战略调整模型的参数, 计算了 2016—2050 年中国分省的 GDP 总量与人均 GDP, 进一步通过计算省区间人均 GDP 的基尼系数来分析省区协调发展的水平。研究表明, 在考虑省区协调发展时, 各省区在 2016—2050 年间的 GDP 总量与人均 GDP 的差距逐渐缩小, 省区间人均 GDP 的基尼系数将从 2015 年的 0.219 下降到 2030 年的 0.176 和 2050 年的 0.137, 未来区域间发展不均衡的态势在实现经济稳步增长同时可以得到缓解。

关键词: GDP; 省区协调发展; 基尼系数; 柯布-道格拉斯函数; ARIMA 模型

引言

改革开放到 2010 年中国 GDP 保持着 10% 的年均增长。随之而来的问题是各省份间发展的不均衡日益增加^[1]。面对这种情况, 政府提出了多个促进区域间均衡发展的发展战略与指导意见^[2-5]。其中包括西部大开发、东北等老工业基地振兴与中部地区崛起等重要战略。在 2004 年后, 各省份间的发展不均衡程度有所下降, 人均收入之间的差距得到了一定的缓解。未来国家将更加关注省区间发展不平衡的问题, 进一步缩小省区间经济发展的差距, 促进省区间协调发展。

人类排放温室气体的主要途径是化石燃料的燃烧, 在气候变化的研究中国内生产总值 (GDP) 作

为衡量一段时间内国家 (或地区) 经济综合发展水平的重要指标, 对工业活动、交通运输、居民生活等方面能源消耗的预测有着重要的参考作用。GDP 的增长表明人类对于能源需求的增长, 化石能源的消费产生的二氧化碳对气候变化有着重要的影响。故此, 关于 GDP 的研究与气候变化有着紧密的联系。

现有的 GDP 预测方法分为两类, 一类是数学模型方法, 另一类是宏观经济模型方法。有些学者使用 ARIMA 模型对中国某一个省份的 GDP 进行了分析预测^[6-9]; 魏宁^[10]、郝香芝等^[11]使用时间序列分析方法对 GDP 数据进行建模与预测; 还有学者使用组合预测模型对 GDP 数据进行预测^[12-14]。在使用数学模型预测 GDP 的方法中, 通常使用

收稿日期: 2018-05-21; 修回日期: 2018-09-02

资助项目: 国家电网公司科技项目 (5217L017000N); 科技部课题“减缓气候变化评估”

作者简介: 张强, 男, 博士研究生; 陈文颖 (通信作者), 女, 教授, chenwy@mail.tsinghua.edu.cn

ARIMA 模型、多元回归分析模型、神经网络模型和灰色预测模型等方法的某一种或组合进行预测。使用数学模型预测 GDP 的研究通常预测期较短, 短期内效果较好, 远期预测存在较大误差。如本研究应用文献中的数学模型方法预测 2016—2050 年的 GDP 总量, 发现上述方法的远期预测是可能存在 GDP 增速不断增加或者将历史序列中的噪声放大, 出现较大波动。Leimbach 等^[15]使用柯布—道格拉斯生产函数基于共享社会经济路径 (SSPs) 对世界的 GDP 变化进行了预测, 姜彤等^[16]也使用了柯布—道格拉斯生产函数并基于 SSPs 对中国的省区 GDP 进行了预测。现有使用宏观经济模型预测 GDP 的研究没有使用精确的数学模型对部分参数进行预测, 预测结果在已知年份与真实数据存在着一定误差。已有的研究并没有将数学模型方法和宏观经济预测模型方法很好地结合起来。

关于中国 GDP 的预测研究中, 大多是关注全国 GDP 总量^[11-14]或是关注单一省份或地区的 GDP 总量研究^[6-10]。少有全国分省的 GDP 预测研究^[16], 特别是未检索到有考虑省区间协调发展的中国分省 GDP 变化预测。

中国目前进入了新的发展阶段, “十三五”规划为全面改革和经济发展腾出空间, 释放中国经济发展的新潜力。本文提出的预测模型基于未来中国经济保持现有稳定发展的态势这一假设。该模型结合了宏观经济模型预测方法灵活性强、可调整性好与数学模型预测方法精度高的优点。本文基于该模型进一步考虑省区间协调发展, 做出了基于省区间协调发展的中国分省 GDP 预测。

1 预测模型基本架构

本文使用的预测模型结合了宏观经济预测模型与时间序列的数学预测模型。如图 1 所示, 首先使用柯布—道格拉斯模型将 GDP 分解为资本存量、劳动投入、资本弹性系数、劳动力弹性系数与技术进步率。劳动投入可以被进一步分解为教育程度、工作年龄人口与劳动参与率。选取 1996—2008 年作为历史年份, 在分解过程中参考已有的数据与相

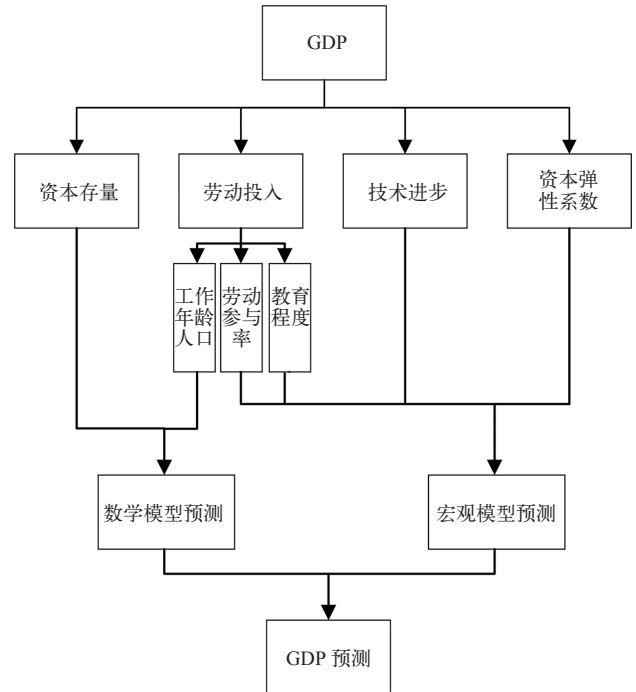


图 1 模型的总体结构
Fig. 1 Framework of the model

关研究^[16-20]确定参数的数值, 使得模型在历史年份中符合已有数据。选取 2009—2015 年作为虚拟预测年份。在虚拟预测的过程中, 资本存量与工作年龄人口通过 ARIMA 模型进行预测, 其余的资本弹性系数、劳动力弹性系数与技术进步率等宏观经济参数则通过历年数据外推并参考社会经济发展情景来进行调整。通过虚拟预测年份的各个参数计算出虚拟预测年份的 GDP, 与真实值进行对比, 观察虚拟预测效果。当虚拟预测结果与真实结果误差较小, 验证模型有效后, 对未来的 GDP 进行预测, 预测方法与虚拟预测中的方法相同。使用预测得到的参数得出 GDP 在未来的预测值。本文对中国未来经济稳定增长的假设保证了时间序列分析与参数外推的有效性。最后使用中国的区域基尼系数来分析省区间发展的均衡程度。

2 预测模型的基本方法

2.1 柯布—道格拉斯 GDP 预测模型

柯布—道格拉斯生产函数是美国数学家柯布和经济学家道格拉斯于 20 世纪提出的一种生产函

数模型^[18,21]。使用柯布—道格拉斯生产函数表达国内生产总值如下：

$$Y(t) = A(t) \cdot K(t)^\alpha \cdot L(t)^\beta \quad (1)$$

其中： $Y(t)$ 为 t 年的国内生产总值； $A(t)$ 为科技发展水平； $K(t)$ 为资本的投入量，在 GDP 的计算中使用资本存量作为资本投入量； α 为资本弹性系数，表明国民生产总值增长与资本存量增加的弹性关系； $L(t)$ 为当年的劳动力投入； β 为劳动力弹性系数，表明劳动投入增长与国民生产总值的弹性关系。

在柯布—道格拉斯函数中资本弹性系数 α 与劳动力弹性系数 β 的关系与规模报酬相关。当规模报酬不变时有 $\alpha + \beta = 1$ ，此时柯布—道格拉斯函数为齐次函数；当规模报酬递增时有 $\alpha + \beta > 1$ ；当规模报酬递减时有 $\alpha + \beta < 1$ 。

劳动力投入 L 可以分解为不同年龄组的教育程度、劳动参与率与工作年龄人口间乘积的和。在已有的统计数据中，工作年龄人口被分为两组，一组为 15 ~ 64 岁，一组为 ≥ 65 岁。记 t 年时教育程度为 $E(t)$ ，组别为 h 的劳动参与率与工作年龄人口分别为 $L_p(h, t)$ 和 $W_p(h, t)$ 。劳动投入的计算方式如下：

$$L(t) = \sum_h E(t) \cdot L_p(h, t) \cdot W_p(h, t) \quad (2)$$

其中教育程度 E 采用平均受教育年限进行计算，记平均受教育年限为 y ，计算公式如下所示：

$$E = \begin{cases} e^{0.134y} & y \leq 4 \\ e^{[0.536 + 0.101(y-4)]} & 4 < y \leq 8 \\ e^{[0.94 + 0.068(y-8)]} & y > 8 \end{cases} \quad (3)$$

资本存量是指在一定区域内某一时间上的经济社会资本存量，本文使用永续存盘法对资本存量进行计算，采用 2010 年不变价计算中国的资本存量^[17]。记 t 年时区域内资本存量为 $K(t)$ ，计算资本存量的方法如下：

$$K(t+1) = (1-r) \cdot K(t) + I(t) \quad (4)$$

其中 r 为折旧率， $I(t)$ 为固定资本形成额。使用

1952 年为基准年，计算得出资本存量数据的历史值。

2.2 基于 ARIMA 模型的 GDP 分量预测

ARIMA 模型的全称是自回归积分滑动平均模型，是时间序列预测中一种常用方法^[22]。

对于经济时间序列 M_t ，记滞后算子为 B ，差分算子为 ∇ ，有：

$$BM_t = M_{t-1}; \quad (5)$$

$$\nabla M_t = M_t - M_{t-1} \quad (6)$$

两种算子均可以连续运算， B^n 与 ∇^n 均指进行 n 次相应运算。

ARIMA 方法能够在数据模式未知的情况下找到合适的模型。ARIMA(p, d, q) 通常被称为差分自回归移动平均模型， p 是自回归项， q 是移动平均项数， d 是时间序列稳定时的差分次数。

对于存在自回归与移动平均的经济时间序列 M_t ，白噪声序列为 ε_t ，记参数为 Φ_p, Θ_q 可以表示为：

$$\Phi_p = [1, \phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n]; \quad (7)$$

$$\Theta_q = [1, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n]; \quad (8)$$

$$M_t = \varphi_0 + \varphi_1 M_{t-1} + \varphi_2 M_{t-2} + \dots + \varphi_p M_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (9)$$

当经济时间序列加入差分环节，可以化为

$$(1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p) \nabla^d M_t = (1 + \theta_1 B + \theta_2 B^2 + \dots + \theta_q B^q) \varepsilon_t \quad (10)$$

构成完整的 ARIMA 模型，即

$$\Phi_p(B) \nabla^d M_t = \Theta_q(B) \varepsilon_t \quad (11)$$

ARIMA 模型通过时间序列的自相关图和偏自相关图进行定阶，采用最小二乘估计的方法进行参数估计。通常采用 ACF 检验与 Ljung-Box 测试来分析残差的自相关性与是否为白噪声。

2.3 区域间发展均衡程度的衡量

现有研究^[1]使用计算人均 GDP、恩格尔系数、基尼系数等方法衡量区域间发展不平衡的程度。本文使用计算区域间人均 GDP 的基尼系数的方法衡

量区域间发展的不平衡程度。基尼系数是一种国际通行的、用以衡量国家或地区收入差距的计算指标。赫希曼根据洛伦兹曲线提出了这个判断分配平均程度的指标, 将实际分配收入曲线下的面积与绝对公平线下的面积相比得出的值即为基尼系数。

本文将中国各省区间人均 GDP 的基尼系数称为中国的区域基尼系数。在计算区域基尼系数时, 使用各省的数据累加来近似代替对洛伦兹曲线的积分。将计算得到的各省人均 GDP 从小到大排序记为 C_i , 洛伦兹曲线下的每个柱形的面积依次为 S_i , 有

$$S_i = \sum_{j=1}^i C_j, \quad (12)$$

即有洛伦兹曲线下的面积为

$$S = \sum_{i=1}^{30} S_i, \quad (13)$$

绝对公平线下的面积为

$$P = \frac{30}{2} (C_1 + C_{30}), \quad (14)$$

区域基尼系数可以表示为

$$f_{GN} = 1 - \frac{S}{P}. \quad (15)$$

3 宏观经济模型的参数与情景设定

3.1 参数设定

在国内外研究中, 柯布-道格拉斯经济预测模型中的参数基本保持着以下规律^[15-16]。

资本弹性系数与社会经济发展水平相关, 当社会发展与经济增长速度较快时收敛于较高的值, 资本弹性系数收敛于 0.35; 当存在着较强国家合作与资本的积累影响时, 资本弹性系数收敛于 0.45; 当发展速度较低时, 资本弹性系数收敛于 0.25。

劳动力弹性系数的值根据模型研究区域经济的规模报酬情况与资本弹性系数的值进行设定。

随着社会发展的进步, 教育程度逐渐上升, 例如北京在 2009 年的人均受教育年限已经达到了 10.04 年。随着受教育年限的增加, 15 ~ 64 岁年龄组的劳动参与率会相应下降。同时中国面临着老

龄化问题, 人口结构中老年人比例逐渐上升, 国家推行的延迟退休政策会使 ≥ 65 岁年龄组的劳动参与率有所增加。

在对技术进步率的现有研究中, 技术进步率在历史年份的变化规律可以使用指数函数拟合^[15]。

3.2 考虑省区平衡发展的参数设定

在全面建设小康社会的过程中, 在国家区域均衡发展政策的激励下, 各省区发展态势将趋于均衡。均衡发展不仅体现在经济上, 人均 GDP 的差距逐渐缩小, 各省份的教育水平和科技水平的差距也将会逐渐缩小。

经济发达省份由于资本积累、国际化经贸合作水平提高, 资本弹性系数逐渐增长。资本对于 GDP 的贡献将会更大。而经济欠发达省份资本的积累不足, 资本弹性系数增长缓慢。考虑省区协调发展时, 经济欠发达省份通过出台优惠政策吸引资本的流入, 增加资本积累, 资本弹性系数增长速度有所增加。根据现有研究^[23], 在中国现阶段的发展情况下, 设定各省份的规模报酬效应均保持不变, 故劳动力弹性系数与资本弹性系数的和为 1, 劳动力弹性系数根据资本弹性系数设定。

根据 2010 年第六次全国人口普查数据, 平均受教育年限为 9.04 年, 经济发达省份的平均受教育年限要大于经济欠发达省区。考虑省区协调发展时, 国家加大对落后地区的教育投入, 改善经济欠发达省区的教育条件, 各省份间平均受教育年限的差距逐渐缩小。工作年龄人口参考国家统计局的人口分年龄组统计结果。15 ~ 64 岁年龄组人口的劳动参与率为 77%, ≥ 65 岁年龄组人口的劳动参与率为 19%^[16]。随着中国人口老龄化程度的增加, 以及受教育年限的增加, 15 ~ 64 岁年龄组人口的劳动参与率下降至 75%, ≥ 65 岁年龄组人口的劳动参与率有所上升, 本文设定其上升至 21%^[19, 24-25]。

技术进步率参数在历史拟合数据的基础上进行外推。在区域间均衡发展战略的影响下, 发展程度较低的地区能够有更大的机会得到先进的技术与经验, 获得更好的发展条件。并且经济发达省份在技术发展的过程中可能还存在着技术壁垒, 技术进步

率增长的速度会受到影响。本模型考虑在未来年份的预测中，欠发达省份受到发达省份带动，技术进步率的增长速度要大于经济发达省份。

通过假设各省份的资本弹性系数来预测各省经济发展差距逐渐缩小的情景，通过假设教育水平与劳动参与率来预测各省教育水平差距逐渐缩小的情景，通过假设技术进步率参数来预测各省区技术水平差距逐渐减小的情景。基于这些假设，本文提出的预测方法从经济、教育与技术这三方面考虑省区平衡发展，进行参数设定。

4 研究结果

首先使用 1996—2008 年已知的社会经济数据和预测模型来拟合参数。在取得比较好的拟合效果后根据社会发展情景进行参数外推得到资本弹性系数与劳动力弹性系数等参数在 2009—2015 年的预测结果。同时使用 ARIMA 模型得出 2009—2015 年的资本存量与工作年龄人口，进而得出 2009—2015 年的 GDP 预测值，与真实数据进行对比。

1996—2015 年中国 GDP 总量如图 2 所示，在 1996—2008 年的拟合阶段，中国的 GDP 总量拟合效果良好，平均误差为 0.81%。在 2009—2015 年的虚拟预测阶段，中国 GDP 总量的预测平均误差为 0.95%，预测效果良好。以 2005、2010、2015 年为例，中国实际 GDP 总量分别为（2010 年价格，下同）3.57 万亿美元、6.10 万亿美元、8.91 万亿美元，模型预测结果中相应的值为 3.50 万亿美元、6.14 万亿美元、8.90 万亿美元。

1996—2008 年，分省 GDP 拟合的平均误差为 1.65%，拟合效果良好；2009—2015 年虚拟预测阶段，中国分省 GDP 预测平均误差为 3.9%：参考同类研究^[11]预测效果良好。依据各省的经济发展水平分类，以浙江省、重庆市、宁夏回族自治区为例（图 3），选取 2005、2010、2015 年进行比较：浙江省 GDP 总量在这 3 年的预测结果分别为 2361 亿美元、3901 亿美元、5362 亿美元，统计数据中相应 GDP 总量为 2407 亿美元、3874 亿美元、5363 亿美元；重庆市 GDP 总量在这 3 年的预测结果分别

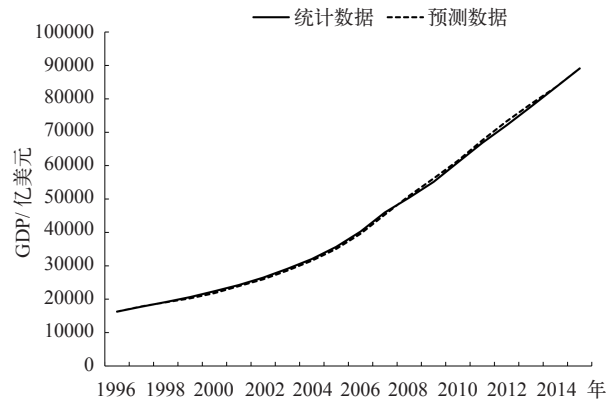


图 2 中国 GDP 总量拟合与预测结果
Fig. 2 Fitting and forecasting result of Chinese GDP

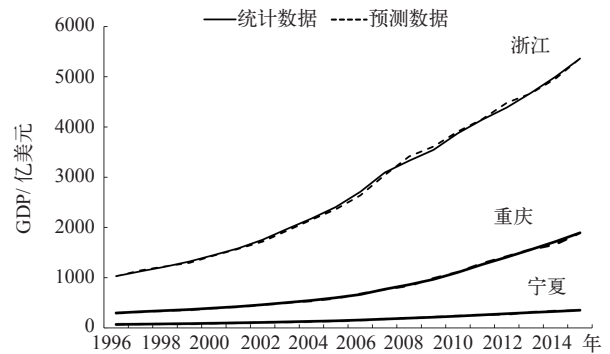


图 3 省级 GDP 数据的拟合与预测结果
Fig. 3 Fitting and forecasting result of provincial GDP

为 593 亿美元、1107 亿美元、1894 亿美元，统计数据中相应 GDP 总量为 600 亿美元、1109 亿美元、1892 亿美元；宁夏回族自治区 GDP 总量在 2005、2010、2015 年的预测结果为 141 亿美元、236 亿美元、354 亿美元，统计数据中相应 GDP 总量为 139 亿美元、238 亿美元、353 亿美元。

以上结果说明本文提出的 GDP 预测模型有效且参数设定合理。

对 2016—2050 年中国总体及 30 省区（不包括西藏、台湾、香港和澳门，下同）GDP 数据进行预测。参数外推结果如下：2020 年各省区的资本弹性系数在 0.330 ~ 0.380 之间，技术进步率在 0.029 ~ 0.069 之间；2050 年各省区的资本弹性系数在 0.365 ~ 0.393 之间，技术进步率在 0.080 ~ 0.156 之间。使用 ACF 检验与 Ljung-box 测试对 ARIMA 模型的残差进行分析，ACF 检验

中残差均不具有明显的自相关性, 在 Ljung-box 测试中 p 值均 >0.5 , 说明残差为白噪声, 模型可以使用。

中国在 2020 年时 GDP 总量达到 12.2 万亿美元, 2030 年时达到 21.9 万亿美元, 2040 年和 2050 年时分别达到 33.9 万亿和 45.6 万亿美元。各省份在 2016—2020 年间年均增长率为 6.60%; 2021—2030 年间年均增长率为 6.17%; 2031—2040 年间年均增长率为 4.60%; 2041—2050 年间年均增长率为 3.15%。

2020—2050 年在考虑区域间均衡发展的情景下各省区经济保持稳步增长。各省区的 GDP 位次基本保持不变, 其中广东、江苏、山东省在 2016—2050 年一直保持在全国 GDP 排名的前三位, 在 2050 年分别达到 3.96 万亿、3.84 万亿和 3.27 万亿美元。以江苏省为例, 2016—2020 年 GDP 年均增长率为 5.87%, 2021—2030 年 GDP 年均增长率为 5.75%, 2031—2040 年 GDP 年均增长率为 4.14%, 2041—2050 年 GDP 年均增长率为 2.54%, 均低于同期全国 GDP 增长速度。而以 GDP 排名一直处于全国后四位的贵州省为例, 以上 4 个时段 GDP 年均增长率分别为 9.33%、7.26%、5.62%、3.92%, 均高于同期全国 GDP 增长速度。由上述结果可知, 在本研究的预测结果中, 各省区的 GDP 总量差距逐渐缩小, 体现出了协调发展的趋势。

2016—2020 年全国人均 GDP 年平均增长率为 5.86%, 2021—2030 年全国人均 GDP 年平均增长率为 5.74%, 2031—2040 年全国人均 GDP 年平均

增长率为 4.58%, 2041—2050 年全国人均 GDP 年平均增长率为 3.29%。2016—2050 年全国的人均 GDP 稳定增长。2020 年与 2050 年全国各省区的人均 GDP 如图 4 所示。

各省区的人均 GDP 位次基本保持不变, 但差距不断缩小。其中上海市、江苏省、北京市在 2020—2050 年一直保持在全国人均 GDP 排名的前三位, 它们的人均 GDP 在 2050 年分别达到 5.63 万、4.99 万和 4.85 万美元。甘肃省、广西壮族自治区、贵州省则处于全国人均 GDP 排名中的后三位。以人均 GDP 最高的上海市为例, 2016—2020 年人均 GDP 增长率为 5.43%, 2021—2030 年人均 GDP 增长率为 5.15%, 2031—2040 年人均 GDP 增长率为 4.17%, 2041—2050 年人均 GDP 增长率为 2.77%, 均低于全国同期平均水平。以贵州省为例, 2016—2020 年人均 GDP 增长率为 8.31%, 2021—2030 年人均 GDP 增长率为 6.82%, 2031—2040 年人均 GDP 增长率为 5.49%, 2041—2050 年人均 GDP 增长率为 4.03%, 均高于全国同期平均水平。2020 年各省份人均 GDP 的最高值与最低值之比为 4.04, 到 2050 年这一比例下降为 2.91。

以同类研究中使用 AIM 模型对未来中国分省 GDP 与人口的研究成果^[26]与基于 SSPs 预测的 GDP 与人口数据^[16]为例, 计算不同模型中中国的区域基尼系数进行未来中国分省区域不均衡程度的分析, 并与本研究的预测结果进行比较。结果见图 5。

2005—2015 年, 中国的区域基尼系数从 0.298

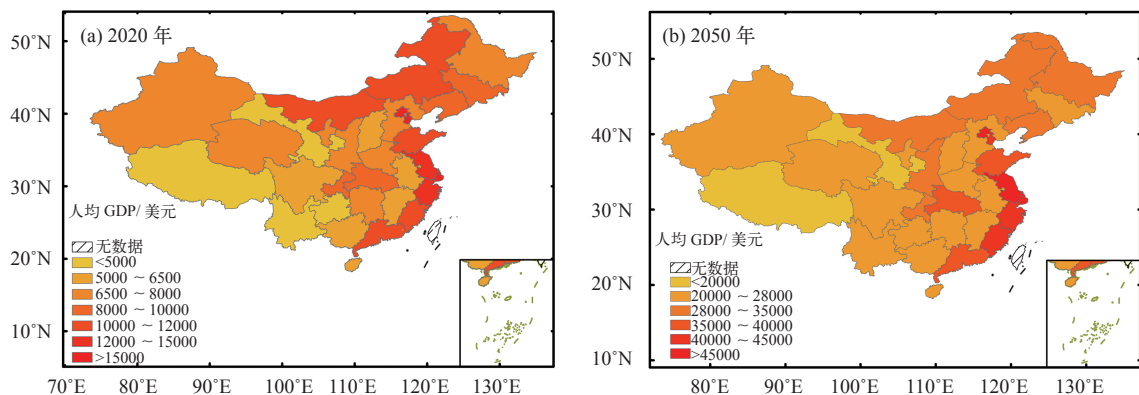


图 4 2020 年和 2050 年人均 GDP 预测结果
Fig. 4 GDP per capita in 2020 and in 2050

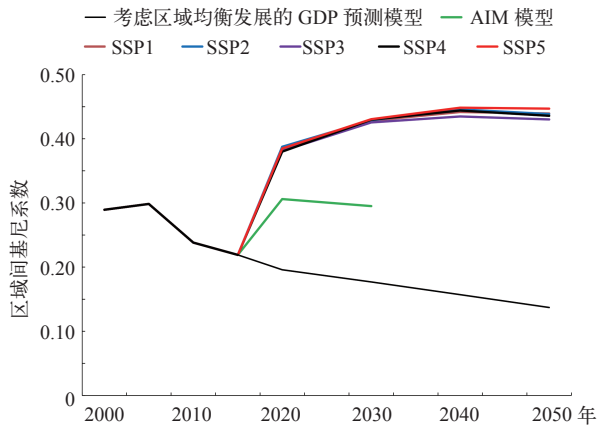


图 5 不同模型预测结果的区域基尼系数比较

Fig. 5 Gini coefficients in different models

下降至 0.219。2015 年之后，AIM 模型的预测结果显示在 2021—2030 年，基尼系数在 0.3 左右，而 SSPs 情景下中国的区域基尼系数达到了 0.4 以上，并且不断上升；2050 年，在 SSP1 ~ SSP5 情景下基尼系数均分布在 0.40 ~ 0.45 之间。本研究的预测结果显示，在 2016—2050 年，中国的区域基尼系数呈下降趋势，在 2030 年达到 0.176，在 2050 年达到 0.137。通过与上述研究对比，本模型的预测结果显示了未来中国省区间趋向协调发展，符合自 2004 年以来，中国省区间发展不均衡程度逐渐下降的趋势，符合解决发展不均衡不充分这一社会主要矛盾的发展目标。

5 结论

本文依据柯布—道格拉斯生产函数与 ARIMA 模型构建出一个综合的 GDP 预测模型。考虑省区间协调发展，预测了 2016—2050 年中国分省的 GDP 数据，分析了分省的经济的发展情况。并且使用中国的区域基尼系数研究了省区间协调发展的水平。

通过对 1996—2015 年中国分省 GDP 数据的拟合预测，证明了模型与参数设定的有效性。2016—2050 年的预测结果表明，中国在此期间经济保持稳定增长，同时增速逐渐放缓。在考虑省区协调发展的技术、资本与劳动力政策影响下，2016—2050 年各省区之间 GDP 总量的差距不断缩小，区域基尼系数从 0.219 下降至 0.137，省区间人均 GDP

的差距逐渐下降，省区发展不均衡的态势得到缓解。■

参考文献

- [1] 金虎斌. 1978—2010 年我国区域经济发展不均衡的态势及原因探析 [J]. 商业时代, 2012 (5): 129-130
- [2] 国务院. 国务院关于大力实施促进中部地区崛起战略的若干意见 [Z/OL]. 2012[2018-05-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2012-08/31/content_1147.htm
- [3] 国务院. 国务院关于进一步推进西部大开发的若干意见 [Z/OL]. 2004[2018-05-01]. http://www.law-lib.com/law/law_view.asp?id=82558
- [4] 国务院. 国务院关于进一步实施东北地区等老工业基地振兴战略的若干意见 [Z/OL]. 2009 [2018-05-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2009-09/11/content_3675.htm
- [5] 国务院. 国务院关于近期支持东北振兴若干重大政策举措的意见 [Z/OL]. 2014 [2018-05-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-08/19/content_8996.htm
- [6] 龚国勇. ARIMA 模型在深圳 GDP 预测中的应用 [J]. 管理科学, 2008 (4): 53-57
- [7] 赵蕾. ARIMA 模型在福建省 GDP 预测中的应用 [J]. 科技和产业, 2007 (1): 45-48
- [8] 华鹏, 赵学民. ARIMA 模型在广东省 GDP 预测中的应用 [J]. 统计与决策, 2010 (12): 166-167
- [9] Wei N, Bian K J, Yuan Z F, et al. Analysis and forecast of Shaanxi GDP based on the ARIMA model [J]. Asian Agricultural Research, 2010, 2 (1): 34-36
- [10] 魏宁. 时间序列分析方法研究及其在陕西省 GDP 预测中的应用 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010
- [11] 郝香芝, 李少颖. 我国 GDP 时间序列的模型建立与预测 [J]. 统计与决策, 2007 (23): 4-6
- [12] 熊志斌. 基于 ARIMA 与神经网络集成的 GDP 时间序列预测研究 [J]. 数理统计与管理, 2011, 30 (2): 306-314
- [13] 王莎莎, 陈安, 苏静等. 组合预测模型在中国 GDP 预测中的应用 [J]. 山东大学学报: 理学版, 2009, 44 (2): 56-59
- [14] 王正宇, 王红玲. 基于 ARIMA 模型的我国 GDP 分析预测 [J]. 对外经贸, 2011 (12): 107-108
- [15] Leimbach M, Kriegler E, Roming N, et al. Future growth patterns of world regions: a GDP scenario approach [J]. Global Environmental Change, 2017, 42: 215-225
- [16] 姜彤, 赵晶, 曹丽格, 等. 共享社会经济路径下中国及分省经济变化预测 [J]. 气候变化研究进展, 2018, 14 (1): 50-58
- [17] 单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算: 1952—2006 年 [J]. 数量经济技术经济研究, 2008 (10): 17-31
- [18] 武康平. 高级微观经济学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003
- [19] 王金荣, 蔺丽莉. 中国人口劳动参与率与未来劳动力供给分析 [J]. 人口学刊, 2006 (4): 19-24
- [20] 张健华, 王鹏. 中国全要素生产率: 基于分省份资本折旧率的再估

- 计 [J]. 管理世界, 2012 (10): 18-30
- [21] 董晓花, 王欣, 陈利. 柯布-道格拉斯生产函数理论研究综述 [J]. 生产力研究, 2008 (3): 148-150
- [22] 张强, 王毅, 李鼎睿, 等. 基于 X-12-ARIMA 季节分解与年度电量校正的月度电量预测 [J]. 电力建设, 2017, 38 (1): 76-83
- [23] 崔元硕, 黄昊, 张琼. 全要素生产率中的加成定价与规模报酬效应 [J]. 数量经济技术研究, 2017, 34 (10): 128-143
- [24] 马忠东, 吕智浩, 叶孔嘉, 等. 劳动参与率与劳动力增长 1982—2050 年 [J]. 中国人口科学, 2010 (1): 11-27
- [25] 张雄. 退休年龄对劳动参与率的影响 [J]. 西北人口, 2009, 30 (6): 23-26
- [26] Dong H, Dai H, Geng Y, *et al.* Exploring impact of carbon tax on China's CO₂ reductions and provincial disparities [J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2017, 77: 596-603

Provincial GDP projection model based on balanced development

ZHANG Qiang¹, LI Nan¹, CHEN Wen-Ying¹, SHAN Bao-Guo²,
ZHANG Cheng-Long², YIN Shuo³

1 Institute of Energy, Environment and Economy, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2 State Grid Energy Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China;

3 Economics & Technology Research Institute, State Grid Henan Electric Power Company, Zhengzhou 450052, China

Abstract: In this paper, a GDP projection model was constructed based on the Cobb-Douglas production function and the Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model. Under the consideration of balanced development the Gini coefficient of provincial GDP per capita was used to measure the degree of development balance. This model projects Chinese provincial GDP and GDP per capita from 2016 to 2050. Based on the balanced development from technology, labor, and capital. The projection results show that from 2016 to 2050, the gap between the GDP and GDP per capita in each province will shrink and the Gini coefficient will decline. In this projection, the Gini coefficient will decrease from 0.219 in 2015 to 0.176 in 2030 and then to 0.137 in 2050. The results also show that development of each province will tend to be balanced in the future.

Keywords: GDP; Provincial balanced development; Gini coefficient; Cobb-Douglas function; ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) model