

博台线作为中国区域发展均衡线的佐证分析 ——以城市温室气体排放为例

方 恺^{1,2,3}, 何坚坚¹, 张佳琪¹

(1. 浙江大学公共管理学院, 杭州 310058; 2. 浙江大学区域协调发展研究中心, 杭州 310058;

3. 浙江大学民生保障与公共治理研究中心, 杭州 310058)

摘要: 国际政治经济形势正在发生深刻变化, 实现区域协调均衡发展对于形成以国内大循环为主的新发展格局至关重要。方创琳于2020年2月提出垂直于胡焕庸线的博台线可以表征中国区域发展的均衡格局。本文通过对中国338个地级市的温室气体排放水平进行分析, 旨在论证博台线作为中国区域发展均衡线的合理性和可能性。结果显示: ① 2015年二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)和含氟温室气体总量以博台线为界呈南北对称的空间分布格局, 且博台线两侧各类温室气体的排放强度和人均排放量分布基本均衡, 各产业部门CO₂排放强度和人均排放量的区域差异均较小; ② 博台线西南半壁和东北半壁内各类温室气体排放强度在GDP和人口维度上总体呈均衡分布态势, 且各部门CO₂排放强度和人均排放量的空间分布也较为均衡。总体而言, 博台线两侧表征人类活动强度的温室气体排放水平较为均衡, 一定程度上反映出其作为中国区域发展战略均衡线的科学性与合理性。

关键词: 博台线; 温室气体; 均衡性; 泰尔指数; 基尼系数; 城市

DOI: 10.11821/dlxb202112015

1 引言

缓解区域发展矛盾, 缩小区域发展差距, 实现区域协调发展, 既是中国经济社会和谐发展的长期目标, 也是国家重大战略之一^[1]。西部大开发、东北全面振兴、中部地区崛起、京津冀协同发展、长三角一体化发展等方针政策的实施对于缩小区域差距, 实现高质量发展具有重要作用^[2]。同时也应看到, 由于资源环境的约束和发展模式的差异, 中国经济社会发展水平总体以“胡焕庸线”为界呈现东南部相对发达而西北部相对落后的空间格局^[3]。胡焕庸线是中国地理学家胡焕庸发现的一条连接黑龙江黑河和云南腾冲的中国人口分布的特征线^[4], 这条线以东地区仅占国土面积的43%, 却聚集着中国约94%的人口和95%的GDP^[5]。如何突破胡焕庸线成为学者和决策者们共同关注的热点问题^[6-7]。鉴于此, 有必要识别出一条新的能表征中国区域发展格局的标志线, 并以此为主轴串联起经济社会发展的各个分区, 推动国家朝着更平衡、更协调的方向发展。在此背景下, 方创琳于2020年2月提出了一条垂直于胡焕庸线、连接新疆博乐市和台湾台北市的“博台

收稿日期: 2020-11-16; 修订日期: 2021-07-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(72074193, 71704157); 浙江省重点研发计划项目(2022C03154); 浙江省杰出青年科学基金项目(LR19G030001); 浙江大学生态文明计划自主研究项目[**Foundation:** National Natural Science Foundation of China, No.72074193, No.71704157; Key R&D Program of Zhejiang Province, No.2022C03154; Natural Science Foundation of Zhejiang Province for Distinguished Young Scholars, No.LR19G030001; Ecological Civilization Project of Zhejiang University]

作者简介: 方恺(1986-), 男, 浙江杭州人, 博士, 研究员, 博士生导师, 中国地理学会会员(S110010745M), 主要从事环境管理与区域可持续发展研究。E-mail: fangk@zju.edu.cn

3090-3102 页

线”^[8]。通过对博台线西南半壁与东北半壁各项主要经济社会指标的计算发现,博台线两侧国土面积、人口、经济总量、人均GDP、人口密度、经济密度和城镇化水平占比均趋向1:1的均衡发展格局,因此博台线可以作为支撑中国区域均衡发展的战略主轴线^[8],为破解胡焕庸线、缩小地区差距提供了新思路,具有重要的科学价值和现实意义。

当前,相关研究多集中于从人口分布、经济增长和城镇化进程等视角评估中国各区域间的均衡程度^[9-10]。随着气候变化问题日益凸显,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告指出,由于全球气候变暖导致的极端天气增多、海平面上升、生物多样性减少、粮食安全问题等将对人类生存和发展产生严重和不可逆转的后果^[11]。相关研究表明,过去百年来人类活动所产生的温室气体排放被认为是引起全球变暖的主要原因^[12-13]。由此可见,温室气体排放量在很大程度上反映了人类经济社会活动的强度水平^[14]。随着中国工业化、城镇化进程不断加快,温室气体排放连续数十年显著增长^[15-17]。以温室气体排放水平表征中国经济社会发展程度,并对其空间分布的均衡性进行分析,对于科学研判区域协调均衡发展态势、助推绿色低碳转型具有重要意义。

不少学者基于不同空间尺度分析了二氧化碳(CO₂)排放的分异特征^[18-20]。城市作为人类经济社会活动的主要载体,其排放的温室气体约占全部人为排放量的85%^[21],因而近年来城市尺度的碳排放公平性成为研究热点之一^[22-23]。杨青林等对中国城市尺度的CO₂排放进行了分析,发现中国城市CO₂排在空间上呈现“西北高、东南低”的分布特征^[24];王少剑等发现中国城市CO₂排放强度存在空间集聚性,且集聚水平随时间不断变化^[25];Su等利用夜间灯光数据测算了中国314个城市的CO₂排放,发现北方城市的人均CO₂排放量总体高于南方城市^[26]。但是,已有研究主要关注CO₂单一排放,鲜少结合其他温室气体进行综合分析,更未见从区域协调发展视角探讨博台线两侧CO₂排放均衡性的成果报道。

为此,本文基于中国338个城市的CO₂、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)和含氟温室气体等4类温室气体排放清单数据,通过计算泰尔指数和基尼指数,分析博台线两侧CO₂、CH₄、N₂O和含氟温室气体的区域间和区域内均衡性,并进一步对农业、工业过程、工业能源、服务业、交通、城镇生活和农村生活等7个部门CO₂排放的空间均衡性进行评估。本文旨在论证博台线作为中国区域发展均衡线的科学依据,以不断丰富区域协调发展的理论与策略,为促进中国向高质量发展迈进提供一些参考。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

温室气体排放数据来自中国高空间分辨率排放网格数据(China High Resolution Emission Database, CHRED),涵盖中国338个地级以上城市(行政区划以2015年为准进行数据归并,包括293个地级市、30个自治州、8个地区、3个盟和4个直辖市。限于数据的可得性,暂未包含香港、澳门和台湾)的2005年、2012年和2015年的CO₂以及2015年的CH₄、N₂O和含氟温室气体等4类温室气体排放清单,其中,含氟温室气体包括氢氟碳化合物(HFCs)、四氟化碳(CF₄)、六氟乙烷(C₂F₆)和六氟化硫(SF₆)^[27]。此外,不同温室气体的排放来源存在一定差异,CO₂排放普遍存在于各产业中,而CH₄、N₂O主要来自农业排放,含氟温室气体则主要来自电子产品制造、电力工业和金属冶炼行业。限于数据可得性,本文仅对2015年的CO₂排放进一步做部门尺度的分析,分为农业、工业过程、工业能源、服务业、交通、城镇生活和农村生活排放共7个部门。其中,农业主要包括农作物种植和畜牧养殖,工业过程主要包括水泥、石灰、钢铁、玻璃和氨生产

以及废弃物处理,工业能源主要包括电力、热力、水服务产业,服务业主要包括通信、金融、房地产和公共服务业,交通主要包括公路、铁路、水上运输和航空运输,城镇生活和农村生活主要包括住宿、餐饮、医院、学校和家庭的取暖、烹饪和粪便管理活动^[28]。各城市人口、GDP和其他经济社会数据来自CHRED、《中国城市统计年鉴》、国民经济与社会发展统计公报、政府工作报告等。

2.2 研究方法

2.2.1 区域间均衡性测度 引入泰尔指数测度博台线两侧西南半壁和东北半壁温室气体排放的区域间均衡性。泰尔指数(T)取值范围为 $[-1, 1]$,当其绝对值越接近于1时,说明组间温室气体排放的均衡性越低;反之,其绝对值越接近0,说明组间温室气体排放的均衡性越高^[29]。泰尔指数的计算公式如下:

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\bar{y}} \log \left(\frac{y_i}{\bar{y}} \right); \quad y_i = x_i/s_i; \quad \bar{y} = \bar{x}/\bar{s} \quad (1)$$

式中: T 为温室气体排放强度差距程度的泰尔指数; n 为区域总数; x_i 为区域 i 的温室气体排放量; \bar{x} 为所有区域的平均温室气体排放量。当 s_i 为区域 i 的GDP, \bar{s} 为区域平均GDP时, y_i 与 \bar{y} 分别为第 i 区域温室气体排放强度和区域总体的平均温室气体排放强度, T 为强度泰尔指数;当 s_i 为区域 i 的人口, \bar{s} 为区域平均人口时, y_i 与 \bar{y} 分别为第 i 区域的人均温室气体排放量和区域总体的平均人均温室气体排放, T 为人均泰尔指数。强度泰尔指数和人均泰尔指数分别从技术水平和经济发展视角探讨博台线两侧温室气体排放的均衡性。

2.2.2 区域内均衡性测度 基尼系数是国际上通用的度量经济不平等状况的指标^[30]。相较于泰尔指数,基尼系数有较为系统的分级标准,其中, $[0, 0.2)$ 为绝对平均, $[0.2, 0.3)$ 为比较平均, $[0.3, 0.4)$ 为相对合理, $[0.4, 0.5)$ 为差距较大, $[0.5, 1]$ 为差距悬殊。此外,通过绘制洛伦兹曲线得出的基尼系数能够更为直观地展现区域内均衡性变化趋势,因此本文进一步采用基尼系数度量博台线两个半壁内温室气体排放的均衡程度,基尼系数越小,表明区域内温室气体排放的均衡性越高,反之亦然。通过模拟温室气体排放放在GDP和人口维度的洛伦兹曲线,用定积分法求解基尼系数,计算公式如下^[31]:

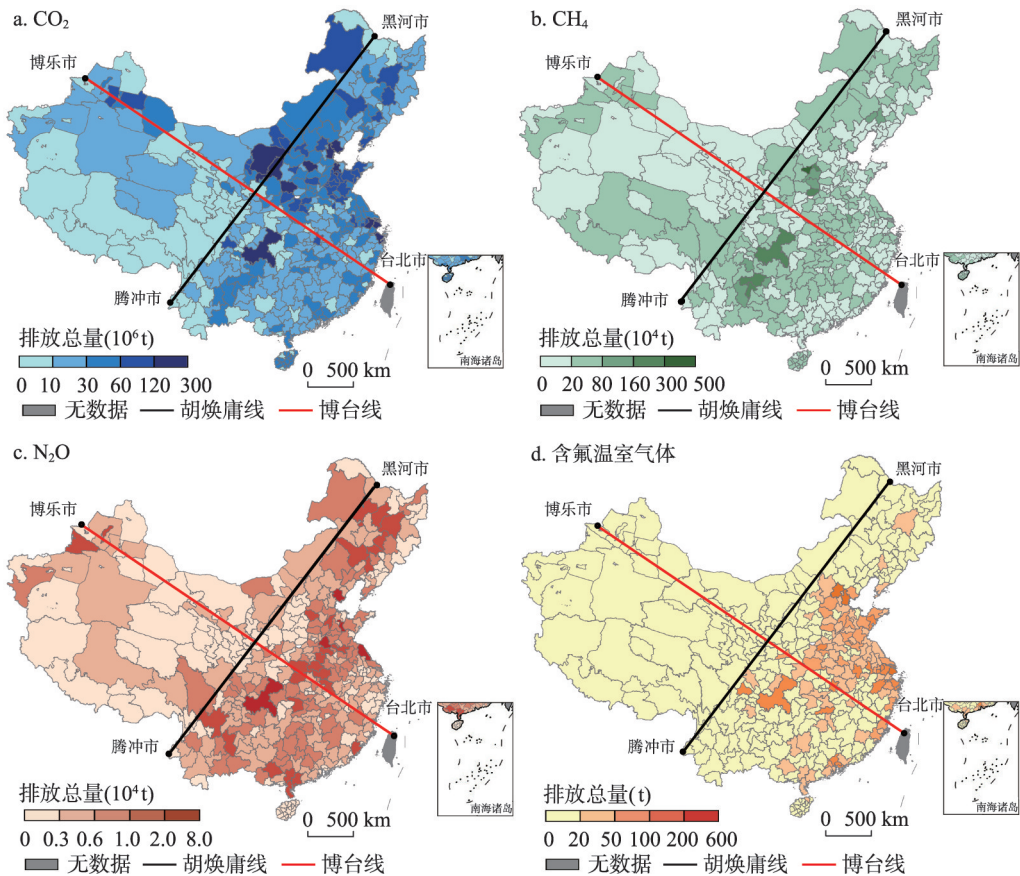
$$G_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} a_{ij} + 2 \sum_{j=1}^n b_{ij} \left(1 - \sum_{j=1}^n a_{ij} \right) - 1 \quad (2)$$

式中: n 为区域 i 内的城市总量; j 为区域 i 内的不同城市; a_{ij} 为城市 j 的温室气体排放量占区域 i 的比重;当 b_{ij} 为城市 j 的GDP占区域 i 的GDP比重时, G_i 为区域 i 内温室气体排放强度的基尼系数;当 b_{ij} 为城市 j 的人口占区域 i 人口的比重时, G_i 为区域 i 内人均温室气体排放量的基尼系数。温室气体排放强度的基尼系数和人均温室气体排放量的基尼系数分别旨在从技术水平和经济发展视角探讨博台线两个半壁内温室气体排放的均衡性。

3 结果与分析

3.1 博台线两侧温室气体排放的均衡性

3.1.1 温室气体排放的区域间均衡性 2015年CO₂、CH₄、N₂O和含氟温室气体排放总量以博台线为界呈现较为对称的空间分布格局(图1)。其中,西南半壁与东北半壁的CO₂、CH₄、N₂O和含氟温室气体排放总量占比分别为27:73、44:56、43:57和31:69,可见,CH₄和N₂O排放总量的空间均衡性高于CO₂和含氟温室气体。为进一步探讨博台线两侧温室气体排放的空间均衡性,采用泰尔指数从温室气体排放强度和人均排放量两个维



注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1594号标准地图制作,底图边界无修改。

图1 2015年中国博台线两侧各类温室气体排放的空间格局

Fig. 1 Spatial distribution of greenhouse gas emissions on both sides of the Bole-Taipei Line, 2015

度进行分析(表1)。博台线两侧各类温室气体排放强度和人均排放量的泰尔指数均小于0.05,空间分布总体较为均衡。无论从排放强度还是人均排放上看,CH₄和N₂O的泰尔指数均小于CO₂和含氟温室气体。《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》指出^[32],农业活动(动物反刍、水稻种植、施肥及废弃物管理等)排放的温室气体占全国温室气体排放总量的17%,其中农业活动产生的CH₄和N₂O分别占全国排放量的50.15%和92.47%。可见,农业活动是大气N₂O和CH₄的重要来源。博台线两侧种植业和畜牧业在空间上的均衡分布使得博台线两侧的N₂O和CH₄排放较为均衡。

3.1.2 温室气体排放的区域内均衡性 对于博台线西南半壁和东北半壁而言,基于GDP和人口两个维度得到的CO₂、CH₄、N₂O和含氟温室气体的基尼系数均小于0.25,表明博台线两侧区域内各类温室气体排放总体呈现均衡分布态势(图2)。从GDP维度上看,西南半壁和东北半壁内分布均衡性最高均为CO₂,主要得益于能源强度在中国东中西部的

表1 2015年中国博台线两侧各类温室气体排放的泰尔指数

Tab. 1 Theil index of greenhouse gas emissions on both sides of the Bole-Taipei Line, 2015		
温室气体类型	强度泰尔指数	人均泰尔指数
CO ₂	0.0346	0.0484
CH ₄	0.0040	0.0008
N ₂ O	0.0029	0.0004
含氟温室气体	0.0163	0.0262

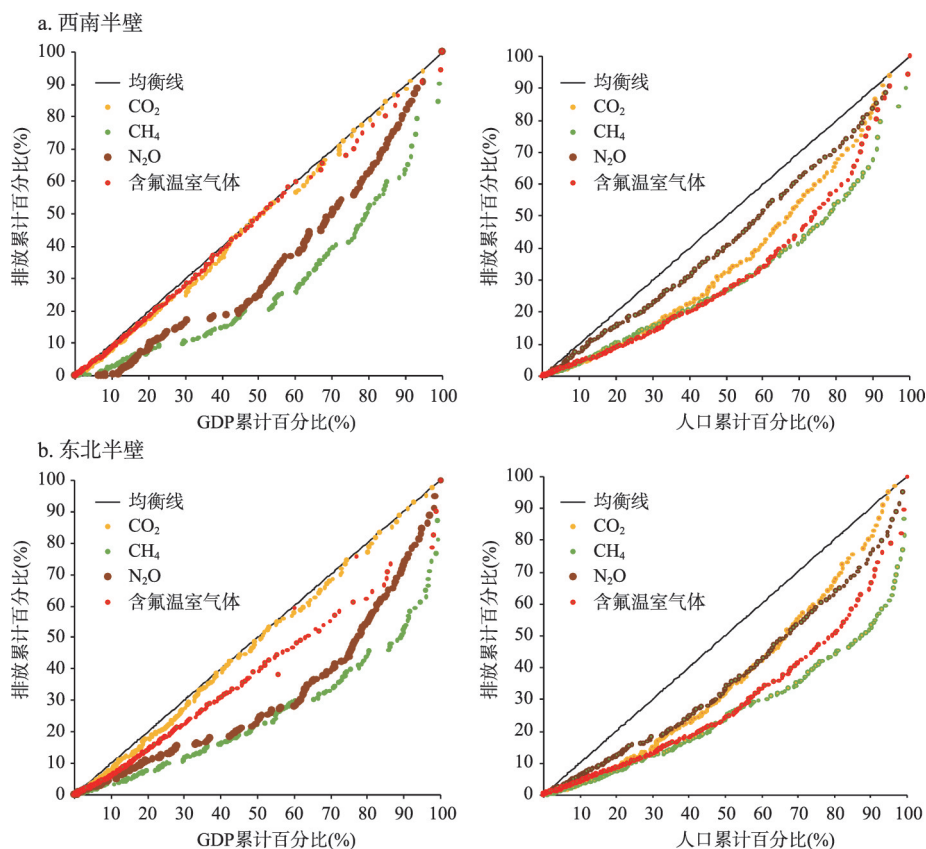


图2 2015年中国博台线西南(a)和东北(b)半壁各类温室气体排放的洛伦兹曲线

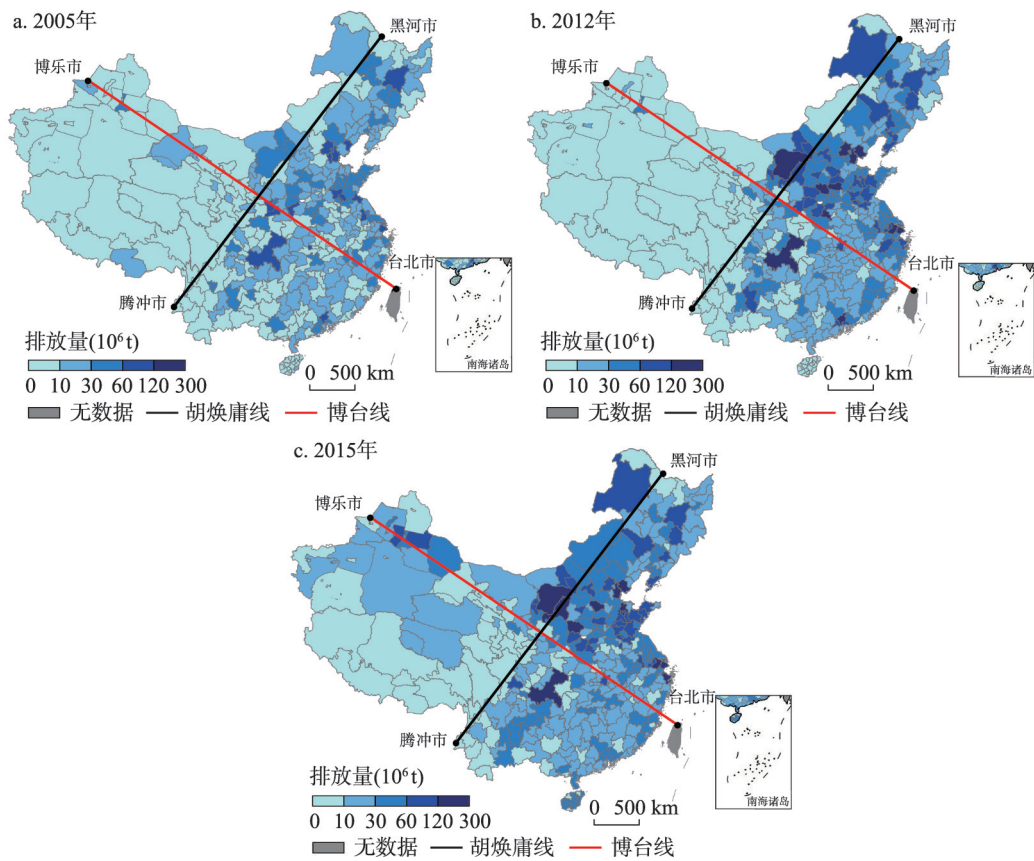
Fig. 2 Lorentz curves for greenhouse gas emissions to the southwest and the northeast of the Bole-Taipei Line, 2015

趋同变化态势^[33]；最低均为CH₄，反映出中国农业技术水平仍具有显著的空间异质性^[34]。从人口维度上看，博台线两侧区域内分布均衡性最高分别为含氟温室气体和CO₂，最低分别为N₂O和CH₄，西南半壁与东北半壁内农业发展的不均衡是导致后两者排放均衡性较低的原因^[34]。总体而言，GDP和人口与温室气体排放呈显著正相关关系，即三者在空间分布上具有一致性^[35-36]。由于西南半壁和东北半壁的GDP和人口的基尼系数分别为0.13和0.16，因此西南半壁因经济增长和人口集聚导致的温室气体排放的空间均衡性高于东北半壁。

3.2 博台线两侧CO₂排放的均衡性

3.2.1 CO₂排放的区域间均衡性 2015年博台线两侧CO₂排放量较2005年分别增长了1.70倍和1.72倍（图3），增速较为接近，可见未来一个时期CO₂排放的空间均衡性将继续存在。此外，2005—2015年博台线两侧CO₂排放强度和人均CO₂排放的泰尔指数均显著上升，分别从0.007和0.030增至0.035和0.048（表2），表明两者在西南半壁和东北半壁内总体呈现均衡分布态势，但均衡性随时间推移有所降低。

3.2.2 CO₂排放的区域内均衡性 在GDP和人口两个维度上刻画2005—2015年博台线西南半壁和东北半壁CO₂排放的洛伦兹曲线，以反映区域内部CO₂排放的均衡性（图4）。博台线两侧CO₂排放的基尼系数在GDP和人口两个维度上均呈现下降趋势，表明在西南半壁和东北半壁内，CO₂排放强度和人均CO₂排放的空间均衡性日益增强。近年来中国各



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1594号标准地图制作,底图边界无修改。

图3 2005—2015年中国博台线两侧CO₂排放的空间格局

Fig. 3 Spatial distribution of greenhouse gas emissions on both sides of the Bole-Taipei Line, 2005-2015

地区加快转变经济发展方式，积极落实节能减排举措，使得CO₂排放强度和人均排放量的区域差异不断缩小^[37]。无论是西南半壁和东北半壁，其CO₂排放强度的基尼系数均小于人均CO₂排放，这说明相较于经济发展水平，技术水平的提高对CO₂排放的空间均衡性影响更大，总体上技术水平越高，则CO₂排放的均衡性越高。

3.3 博台线两侧不同部门CO₂排放的均衡性

3.3.1 不同部门CO₂排放的区域间均衡性 为更细致地考察博台线两侧CO₂排放的变化情况，对2015年农业、工业过程、工业能源、服务业、交通、城镇生活和农村生活等7个部门CO₂排放量的空间格局进行分析（图5）。总体上，博台线两侧各部门CO₂排放呈现较为均衡的空间分布态势，其中农业、工业过程、工业能源、服务业、交通、城镇生活和农村生活部门在西南半壁与东北半壁的排放量之比分别为42:58、53:47、47:53、58:42、55:45、57:43和42:58，表明中国西南半壁和东北半壁的产业分布相对均匀。进一步地，博台线两侧各部门CO₂排放强度和人均CO₂排放的泰尔指数均小于0.07（表3），其中

表2 2005—2015年中国博台线两侧CO₂排放的泰尔指数

Tab. 2 Theil index of CO₂ emissions on both sides of the Bole-Taipei Line, 2005-2015

年份	强度泰尔指数	人均泰尔指数
2005	0.0072	0.0304
2012	0.0151	0.0424
2015	0.0346	0.0484

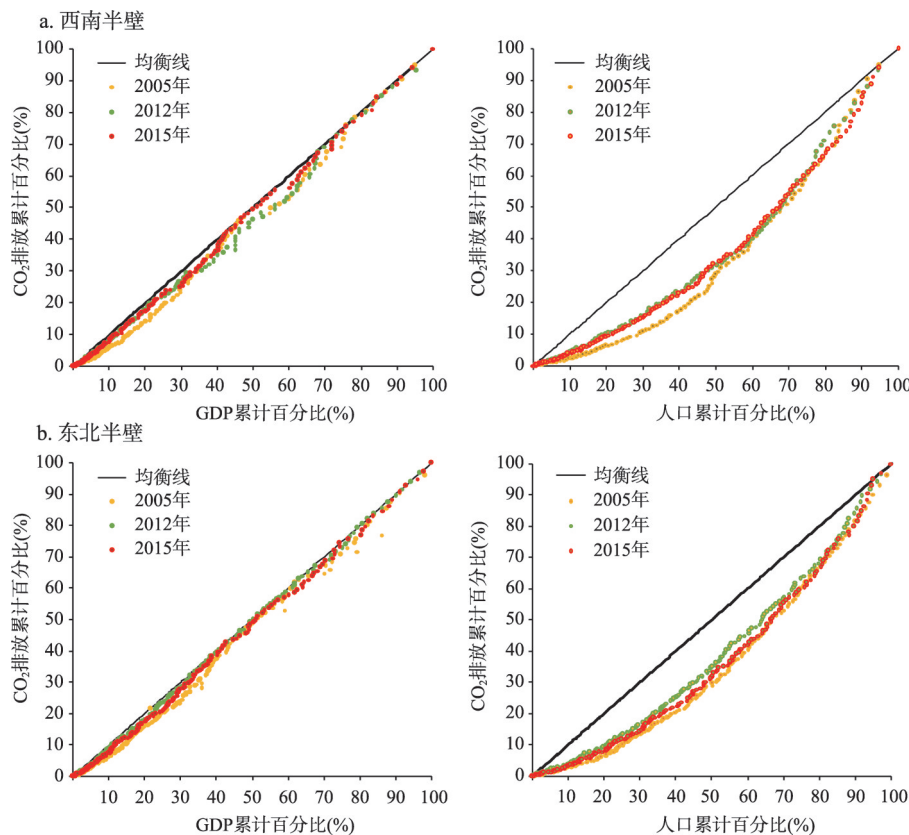


图4 2005—2015年中国博台线西南(a)和东北(b)半壁CO₂排放的洛伦兹曲线

Fig. 4 Lorentz curves for CO₂ emissions to the southwest and the northeast of the Bole-Taipei Line, 2005-2015

农业部门的区域间均衡性最高，其强度和人均泰尔指数均不超过0.001；而服务业部门的区域间均衡性最低，其强度和人均泰尔指数分别为0.068和0.050。究其原因，与农业相比，服务业受经济和城镇化水平驱动显著。

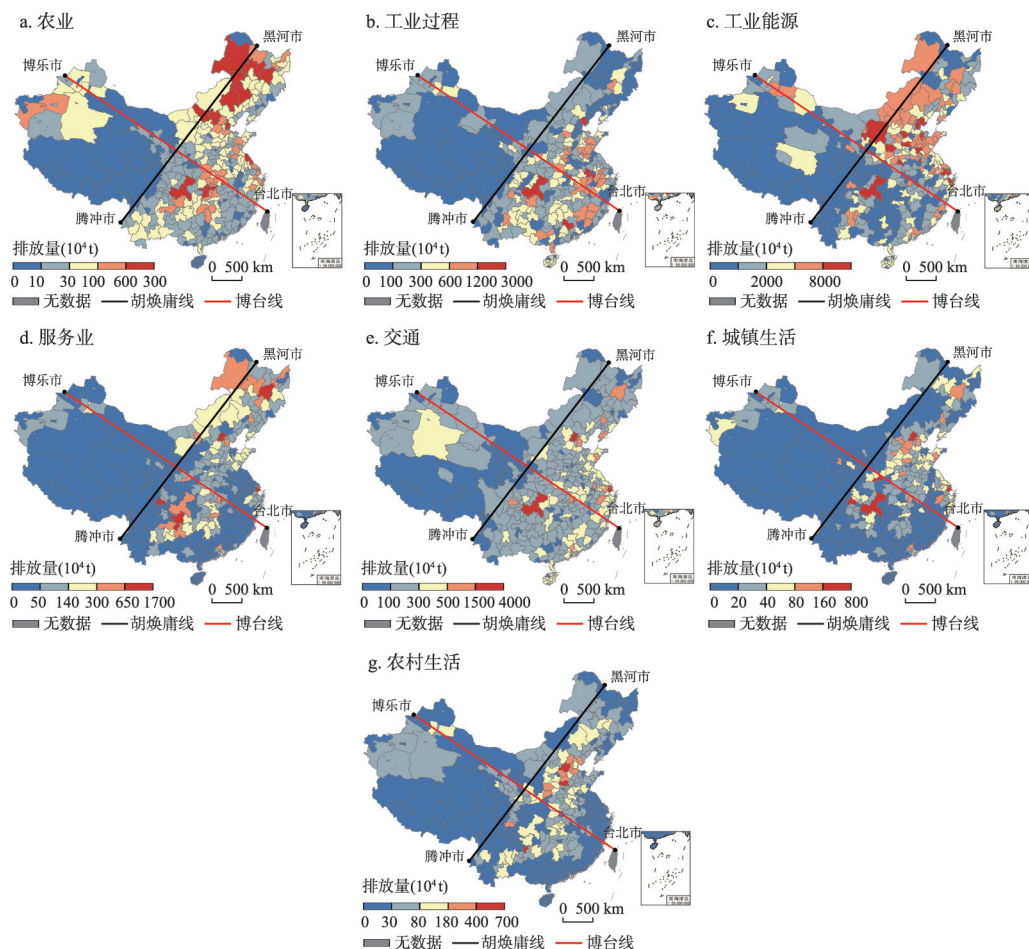
3.3.2 不同部门CO₂排放的区域内均衡性

博台线两侧各部门CO₂排放GDP和人口两个维度上的区域内均衡性相对较高，但不同产业部门之间差异较大（图6）。其中，交通部门CO₂排放强度和人均CO₂排放的区域内均衡性最高，而农村生活部门则最低。总体而言，东北半壁各部门CO₂排放GDP和人口两个维度上的均衡性高于西南半壁。博台线东北半壁拥有长江三角洲、京津冀等较为典型的“先发型”城市群，其他如山东半岛等城市群也有较好的经济和工业基础，整体发展水平较高，故其人均GDP相比西南半壁更为均衡^[2]；而西南半壁除了成渝和珠江三角洲城市群外，其他城市群发育程度普遍不高，集聚效应不甚显著。值得一提的是粤港澳大湾区仍处于规划论证阶段，其距离区域均衡乃至一体化发展尚需时日。

表3 2015年博台线两侧各部门CO₂排放的泰尔指数

Tab. 3 Theil index of sectoral CO₂ emissions on both sides of the Bole-Taipei Line, 2015

部门	强度泰尔指数	人均泰尔指数
农业	0.0009	0.0000
工业过程	0.0386	0.0260
工业能源	0.0117	0.0053
服务业	0.0675	0.0504
交通	0.0487	0.0344
城镇生活	0.0594	0.0434
农村生活	0.0016	0.0000



注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1594号标准地图制作, 底图边界无修改。

图5 2015年中国博台线两侧不同部门CO₂排放的空间格局

Fig. 5 Spatial pattern of sectoral CO₂ emissions on both sides of the Bole-Taipei Line, 2015

此外, 博台线横穿了长江中游城市群和关中平原城市群等6个城市群^[8], 故难以将它们归入某一半壁。由此可见, 西南半壁的城市群呈现出“少强多弱”的发展态势, 均衡性有待提升, 从而使得其内部的技术和经济差异大于东北半壁。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文基于中国338个城市CO₂、CH₄、N₂O和含氟温室气体排放清单, 借助泰尔指数和基尼系数分别测度了2015年博台线两侧各类温室气体的区域间和区域内均衡性, 以及2005年、2012年和2015年博台线两侧CO₂排放的区域间和区域内均衡性, 并进一步对2015年农业、工业过程、工业能源、服务业、交通、城镇生活和农村生活等7个部门CO₂排放的空间均衡性进行了探讨, 得到以下主要结论:

(1) 从区域间均衡性来看, CO₂、CH₄、N₂O和含氟温室气体排放量以博台线为界总体呈现南北对称的分布格局, 且CH₄和N₂O的空间分布更为均衡; 博台线两侧各类温室

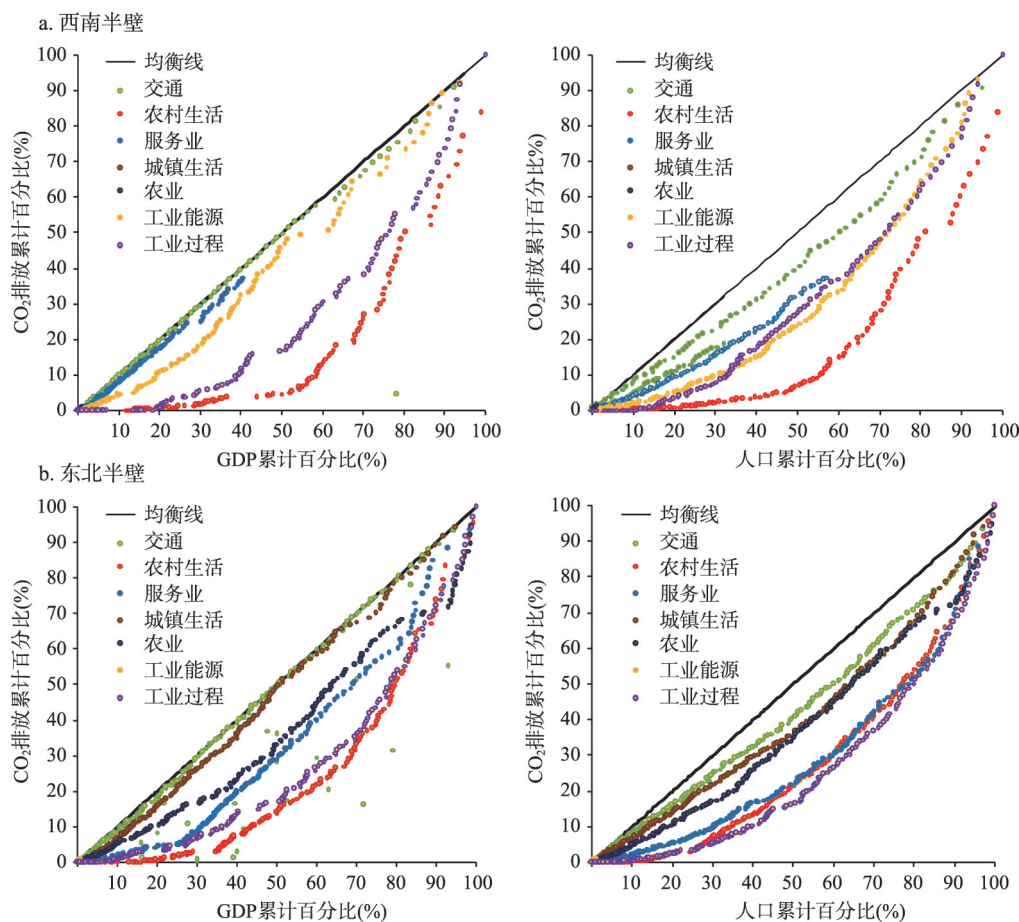


图6 2015年博台线西南(a)和东北(b)半壁不同部门CO₂排放的洛伦兹曲线

Fig. 6 Lorentz curves for sectoral CO₂ emissions to the southwest and the northeast of the Bole-Taipei Line, 2015

气体的排放强度和人均排放量差异不大；博台线两侧各部门的CO₂排放也较为均衡，其中均衡性最高为农业部门，最低为服务业部门。

(2) 从区域内均衡性来看，博台线西南半壁和东北半壁内各类温室气体排放量总体呈现均衡分布态势，且西南半壁在GDP和人口维度上的空间均衡性均高于东北半壁；博台线两侧CO₂排在GDP和人口两个维度的时间变化基本一致，且CO₂排放强度的空间均衡性显著高于人均CO₂排放；与此同时，东北半壁各部门CO₂排在GDP和人口两个维度上的均衡性高于西南半壁，但不同部门间差异较大，交通部门的均衡性最高，而农业生活部门则最低。

(3) 博台线两侧区域间和区域内的各类温室气体排放均呈现显著的空间均衡性，且CO₂排放强度和人均排放的均衡性持续增强，表明垂直于胡焕庸线的博台线有理由成为中国区域发展的均衡线，为推动形成优势互补高质量发展的区域发展新格局提供了新路径。

4.2 讨论

胡焕庸线作为人地关系的重大地理发现之一，反映出中国东西部地区发展的不均衡性。本文关注与胡焕庸线垂直的博台线，有助于跳出如何突破胡焕庸线的争论，为实现区域协调发展战略提供了新的思考路径。

基于上文分析,得出如下政策建议:①从博台线两侧的区域间均衡性来看,CO₂和含氟温室气体的区域间均衡性均低于N₂O和CH₄,而工业是CO₂和含氟温室气体的主要排放源,农业是N₂O和CH₄的主要排放源。因此,博台线两侧应加快工业能源、工业过程和交通相关产业低碳转型升级,并以博台线为发展轴,将西北内陆地区和东南沿海地区有机连接在一起,为培育形成内外联动、优势互补的产业经济发展格局提供行动路线^[38]。②从博台线两侧的区域内部均衡性来看,西南半壁和东北半壁内分布均衡性最高均为CO₂,主要得益于能源强度在中国东中西部的趋同变化态势^[33];最低均为CH₄,反映出农业技术水平仍具有显著的空间异质性^[34]。因此,对于两个半壁内部而言,应持续加大对农业部门尤其是高CH₄排放活动的研发投入,进一步提高能源效率,促进农业部门可持续发展。

诚然,中国发展的不平衡不充分是普遍存在的。本文从温室气体排放视角论证了博台线作为中国区域发展均衡线的科学性和合理性,但本研究并非追求博台线两侧区域各项指标的完全均等分布,而是旨在从博台线来探讨中国均衡发展的态势和实现路径,表明博台线具备跃升为国家经济社会均衡发展战略主轴的潜力,对于缩小东中西部和南北方的地区差距,促进高质量发展具有重大的理论和现实意义。未来应从以下几方面继续深化相关研究:①在理论内涵方面,有必要将更多的资源环境和社会经济要素纳入均衡性分析,全方位、多维度论证博台线存在的科学依据,并探寻特定人类活动或要素分布在空间上呈现的“博台亚线”,以丰富和完善对于博台线的科学认知;②在区域协同方面,博台线呈西北—东南走向,胡焕庸线呈东北—西南走向,二者将中国版图划分为四大象限,须重点探讨如何实现各象限内部以及各象限之间的协调发展和良性互动,不断深化有关国家区域协调发展战略的规律性认识;③在战略延伸方面,积极探索与“一带一路”倡议等重大区域发展战略相结合,倡导博台线西北端由过去对外开放的后方向前沿转变,促进“一带一路”成为更具国际影响力的开放合作平台^[39]。同时鼓励博台线东南端继续深化两岸互利合作,增进两岸同胞福祉,释放博台线在推动祖国和平统一事业中的潜能。最后需要指出的是,温室气体排放只是人类活动的一个侧面,博台线在引领中国区域协调发展方面的作用还须进一步论证和检验。期待学者同仁围绕这一主题开展更多的争鸣与探索。

参考文献(References)

- [1] Lu Dadao. Geographical conditions and national strategies. *Advances in Earth Science*, 2020, 35(3): 221-230. [陆大道. 地理国情与国家战略. *地球科学进展*, 2020, 35(3): 221-230.]
- [2] Fan Jie, Wang Yafei, Liang Bo. The evolution process and regulation of China's regional development pattern. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2437-2454. [樊杰, 王亚飞, 梁博. 中国区域发展格局演变过程与调控. *地理学报*, 2019, 74(12): 2437-2454.]
- [3] Feng Changchun, Zeng Zanrong, Cui Nana. The economic disparities and their spatio-temporal evolution in China since 2000. *Geographical Research*, 2015, 34(2): 234-246. [冯长春, 曾赞荣, 崔娜娜. 2000年以来中国区域经济差异的时空演变. *地理研究*, 2015, 34(2): 234-246.]
- [4] Hu Huanyong. Population distribution in China: Statistical tables and density maps are attached. *Acta Geographica Sinica*, 1935, 2(2): 33-74. [胡焕庸. 中国人口之分布: 附统计表与密度图. *地理学报*, 1935, (2): 33-74.]
- [5] Wang Zheng, Le Qun, Xia Haibin, et al. China 2050: Climate scenarios and stability of Hu-line. *Scientia Sinica Terrae*, 2016, 46(11): 1505-1514, 1-6. [王铮, 乐群, 夏海斌, 等. 中国2050: 气候情景与胡焕庸线的稳定性. *中国科学: 地球科学*, 2016, 46(11): 1505-1514, 1-6.]
- [6] Lu Dadao, Wang Zheng, Feng Zhiming, et al. Academic debates on Hu Huanyong population line. *Geographical Research*, 2016, 35(5): 805-824. [陆大道, 王铮, 封志明, 等. 关于“胡焕庸线能否突破”的学术争鸣. *地理研究*, 2016,

- 35(5): 805-824.]
- [7] Chen Mingxing, Li Yang, Gong Yinghua, et al. The population distribution and trend of urbanization pattern on two sides of Hu Huanyong population line: A tentative response to Premier Li Keqiang. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(2): 179-193. [陈明星, 李扬, 龚颖华, 等. 胡焕庸线两侧的人口分布与城镇化格局趋势: 尝试回答李克强总理之问. *地理学报*, 2016, 71(2): 179-193.]
- [8] Fang Chuanglin. Bole- Taipei Line: The important function and basic conception as a line for regional balanced development. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(2): 211-225. [方创琳. 博台线—中国区域发展均衡线的重要功能与建设构想. *地理学报*, 2020, 75(2): 211-225.]
- [9] Li Jiaming, Lu Dadao, Xu Chengdong, et al. Spatial heterogeneity and its changes of population on the two sides of Hu Line. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 148-160. [李佳铭, 陆大道, 徐成东, 等. 胡焕庸线两侧人口的空间分异性及其变化. *地理学报*, 2017, 72(1): 148-160.]
- [10] Wang Kaiyong, Deng Yu. Can new urbanization break through the Hu Huanyong Line? Further discussion on the geographical connotations of the Hu Huanyong Line. *Geographical Research*, 2016, 35(5): 825-835. [王开泳, 邓羽. 新型城镇化能否突破“胡焕庸线”兼论: “胡焕庸线”的地理学内涵. *地理研究*, 2016, 35(5): 825-835.]
- [11] Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2014. New York: Cambridge University Press, 2014.
- [12] Davis S J, Lewis N S, Shaner M, et al. Net-zero emissions energy systems. *Science*, 2018, 360(6396): 1-9. DOI: 10.1126/science.aas9793.
- [13] Gupta J. Negotiating challenges and climate change. *Climate Policy*, 2012, 12(5): 630-644.
- [14] Prell C, Feng K S. The evolution of global trade and impacts on countries' carbon trade imbalances. *Social Networks*, 2016, 46: 87-100.
- [15] Zhang Mei, Huang Xianjin, Chuai Xiaowei, et al. Urban construction lands and their carbon emission differences east and west of the Hu Huanyong Line. *Resources Science*, 2019, 41(7): 1262-1273. [张梅, 黄贤金, 揣小伟, 等. 胡焕庸线两侧城镇建设用地变化及其碳排放差异. *资源科学*, 2019, 41(7): 1262-1273.]
- [16] Fang K, Tang Y Q, Zhang Q F, et al. Will China peak its energy-related carbon emissions by 2030? Lessons from 30 Chinese provinces. *Applied Energy*, 2019, 255: 113852. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.113852.
- [17] Zhao Rongqin, Li Zhiping, Han Yuping, et al. The coupling interaction mechanism of regional water-land-energy-carbon system. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(9): 1613-1628. [赵荣钦, 李志萍, 韩宇平, 等. 区域“水—土—能—碳”耦合作用机制分析. *地理学报*, 2016, 71(9): 1613-1628.]
- [18] Fang Kai, Duan Zheng. An integrated assessment of national environmental sustainability by synthesizing carbon, water and land footprints and boundaries. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(4): 539-548. [方恺, 段峥. 全球主要国家环境可持续性综合评估: 基于碳、水、土地的足迹—边界整合分析. *自然资源学报*, 2015, 30(4): 539-548.]
- [19] Millar R J, Fuglestedt J S, Friedlingstein P, et al. Emission budgets and pathways consistent with limiting warming to 1.5 °C. *Nature Geoscience*, 2017, 10(10): 741-747.
- [20] Wu Hong. China's provincial carbon emission reduction: Spatio-temporal pattern, evolution mechanism and policy recommendations. *Management World*, 2015(11): 3-10. [武红. 中国省域碳减排: 时空格局、演变机理及政策建议: 基于空间计量经济学的理论与方法. *管理世界*, 2015(11): 3-10.]
- [21] Shan Y L, Guan D B, Liu J H, et al. Methodology and applications of city level CO₂ emission accounts in China. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 161: 1215-1225.
- [22] Clarke-Sather A, Qu J S, Wang Q, et al. Carbon inequality at the subnational scale: A case study of provincial-level inequality in CO₂ emissions in China 1997-2007. *Energy Policy*, 2011, 39(9): 5420-5428.
- [23] Cao L B, Tang Y Q, Cai B F, et al. Was it better or worse? Simulating the environmental and health impacts of emissions trading scheme in Hubei Province, China. *Energy*, 2021, 217: 119427. DOI: 10.1016/j.energy.2020.119427.
- [24] Yang Qinglin, Zhao Rongqin, Xing Yue, et al. Spatial distribution characteristics of carbon emissions in China's cities. *Journal of Environmental Economics*, 2017, 2(1): 70-81. [杨青林, 赵荣钦, 邢月, 等. 中国城市碳排放的空间分布特征研究. *环境经济研究*, 2017, 2(1): 70-81.]
- [25] Wang Shaojian, Huang Yongyuan. Spatial spillover effect and driving forces of carbon emission intensity at city level in China. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(6): 1131-1148. [王少剑, 黄永源. 中国城市碳排放强度的空间溢出效应及驱动因素. *地理学报*, 2019, 74(6): 1131-1148.]
- [26] Su Y X, Chen X Z, Li Y, et al. China's 19-year City-level carbon emissions of energy consumptions, driving forces and

- regionalized mitigation guidelines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 35: 231-243.
- [27] Wang J N, Cai B F, Zhang L X, et al. High resolution carbon dioxide emission gridded data for China derived from point sources. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48(12): 7085-7093.
- [28] Cai Bofeng, Wang Jinnan, Yang Shuying, et al. China city CO₂ emission dataset: Based on the China high resolution emission gridded data. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(2): 1-4. [蔡博峰, 王金南, 杨姝影, 等. 中国城市 CO₂ 排放数据集研究: 基于中国高空间分辨率网格数据. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(2): 1-4.]
- [29] Theil H. *Economics and Information Theory*. Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1967.
- [30] Zhang Chengming, Weng Shixiu, Bao Jigang. The geographical pattern of China's tourism development since the reform and opening-up in 1978. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 1980-2000. [张城铭, 翁时秀, 保继刚. 1978 年改革开放以来中国旅游业发展的地理格局. *地理学报*, 2019, 74(10): 1980-2000.]
- [31] Gini C W. Variability and mutability, contribution to the study of statistical distributions and relations. *Studi Economico-Giuridici della R. Universita de Cagliari*, 1912.
- [32] The People's Republic of China. The People's Republic of China Initial National Communication on Climate Change. Beijing: China Planning Press, 2004: 18-19. [中华人民共和国. 中华人民共和国气候变化初始信息通报. 北京: 中国计划出版社, 2004: 18-19.]
- [33] Xu Runong, Wu Yuming. The convergence of provincial energy intensity in China. *Statistics & Decision*, 2019, 35(22): 122-126. [徐如浓, 吴玉鸣. 中国省域能源强度的趋同性研究. *统计与决策*, 2019, 35(22): 122-126.]
- [34] Zhong Shuiying, Li Qiangyi, Xu Fei. Spatial inequality and distributional dynamics of the development level of agricultural modernization in China. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(7): 145-152. [钟水映, 李强谊, 徐飞. 中国农业现代化发展水平的空间非均衡及动态演进. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(7): 145-152.]
- [35] Aye G C, Edoja P E. Effect of economic growth on CO₂ emission in developing countries: Evidence from a dynamic panel threshold model. *Cogent Economics & Finance*, 2017, 5(1): 1379239. DOI: 10.1080/23322039.2017.1379239.
- [36] Zheng X Q, Lu Y L, Yuan J J, et al. Drivers of change in China's energy-related CO₂ emissions. *PNAS*, 2020, 117(1): 29-36.
- [37] Zhong Yunyun. The Chinese provincial regional differences and space-time evolution characteristics of energy consumption carbon emissions. *Ecological Economy*, 2018, 34(4): 30-33, 39. [仲云云. 中国省际能源消费碳排放的区域差异与时空演变特征. *生态经济*, 2018, 34(4): 30-33, 39.]
- [38] Deng Xiangzheng, Liang Li, Wu Feng, et al. Chinese balanced regional development strategy from the perspective of development geography. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(2): 261-276. [邓祥征, 梁立, 吴锋, 等. 发展地理学视角下中国区域均衡发展. *地理学报*, 2021, 76(2): 261-276.]
- [39] Fang K, Wang S Q, He J J, et al. Mapping the environmental footprints of nations partnering the Belt and Road Initiative. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, 164: 105068. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105068.

Analysis of the Bole-Taipei Line as the divide for regional coordinated development: Evidence from greenhouse gas emissions of Chinese cities

FANG Kai^{1,2,3}, HE Jianjian¹, ZHANG Jiaqi¹

(1. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Research Center for Regional Coordinated Development, Hangzhou 310058, China; 3. Center for Social Welfare and Governance, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: As the international political and economic situation has been undergoing profound changes, achieving regional coordinated development is essential for China to form a new development pattern dominated by the domestic economic cycle. The Bole-Taipei Line, which is perpendicular to the Hu Huanyong Line and is proposed by Professor Fang Chuanglin in February 2020, has the potential to be an appropriate representative of the coordinated and balanced line of China's regional development. By investigating the spatio-temporal distribution of greenhouse gas emissions among 338 Chinese cities from 2005 to 2015, and making use of the Theil index and the Gini coefficient that are appropriate for measuring the spatial equality on both sides of the Bole-Taipei Line and within the southwest and northeast parts, respectively, this paper attempts, for the first time, to underpin the scientific basis of the Bole-Taipei Line as China's regional coordinated development line. We find that: (1) Overall emissions of the carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O) and fluorinated greenhouse gas show a balanced distribution on both sides of the Bole-Taipei Line, and there are small regional differences in sectoral CO₂ emission intensity and per capita CO₂ emissions. (2) There is a generally balanced distribution of greenhouse gas emission intensity and per capita emissions, as well as the sectoral CO₂ emission intensity and per capita emissions within the southwest and northeast parts of the Bole-Taipei Line. The industrial and agricultural sectors serve as the major emitters of greenhouse gases and therefore require a low-carbon transition towards a more balanced distribution of greenhouse gas emissions on both sides of the Bole-Taipei Line. In conclusion, the greenhouse gas emissions as a measure of the magnitude of human activities on both sides of the Bole-Taipei Line are relatively balanced, which has justified the scientific robustness and rationality of the Bole-Taipei Line as a strategic line for socioeconomic development, and provided novel insights into China's regional coordinated development.

Keywords: Bole-Taipei Line; greenhouse gas emissions; spatial equality; Theil index; Gini coefficient; city level