

全国碳排放效率及其区域公平性研究

——基于全国及 9 个省级分行业资源环境基尼系数和绿色贡献率分析

【摘要】 本文立足现阶段国内外同类研究文献，分析我国碳排放公平性和效率的发展情况。选取了 1997 年至 2015 年的 30 个省级（除港澳台藏）二氧化碳排放量和 GDP 数据计算资源环境基尼系数绿色贡献率等对碳排放的公平、效率进行时空差异分析，并对其结果分层选取样本进行分行业碳排放情况分析。并得出全国碳排放与经济发展基本协调，但地域差异明显；省级行业绿色贡献率差距明显分配不公；全国及省分行业绿色贡献率变化格局均不显著，大部分省份倾向于依赖绿色贡献率较高行业进行发展等结论。

【关键词】 二氧化碳排放；绿色贡献率；资源环境基尼系数

目录

1.	引言	3
1.1.	1.1. 选题背景.....	3
1.2.	1.2. 文献综述.....	4
1.3.	1.3. 研究目的及意义.....	4
1.3.1.	1.3.1. 学术意义.....	4
1.3.2.	1.3.2. 现实意义.....	5
2.	2. 研究设计	5
2.1.	2.1. 研究思路.....	5
2.1.1.	2.1.1. 研究方法.....	6
2.2.	2.2. 论文结构.....	6
3.	3. 数据分析	7
3.1.	3.1. 数据来源.....	7
3.2.	3.2. 数据处理.....	7
3.2.1.	3.2.1. 二氧化碳数据计算.....	7
3.2.2.	3.2.2. 全国二氧化碳绿色贡献率计算.....	8
3.2.3.	3.2.3. 按区间分层选取样本.....	9
3.2.4.	3.2.4. 省内分行业绿色贡献率计算.....	11
3.3.	3.3. 结果及原因分析.....	12
3.3.1.	3.3.1. 全国二氧化碳绿色贡献率分布情况.....	12
3.3.2.	3.3.2. 各省级行政单位分行业二氧化碳绿色贡献率.....	18
4.	4. 结论与建议	26
4.1.	4.1. 结论	26
4.1.1.	4.1.1. 全国碳排放与经济发展基本协调，但地域差异明显.....	26
4.1.2.	4.1.2. 全国及省级行业绿色贡献率变化格局均不显著.....	27
4.1.3.	4.1.3. 省级行业绿色贡献率差距明显.....	27

4.2.	建议	28
5.	结语	28
5.1.	主要创新点.....	28
5.2.	不足与展望	29
	参考文献	29

图表目录

图表 1	研究思路.....	6
图表 2	全国各省级绿色贡献率聚类结果.....	9
图表 3	根据聚类结果的分层情况.....	9
图表 4	分层后每层对应样本量数.....	10
图表 5	最终分层选样结果.....	11
图表 6	资源环境基尼系数及其表征意义.....	12
图表 7	1997 年全国碳排放洛伦兹曲线.....	13
图表 8	2000 年全国碳排放洛伦兹曲线图.....	13
图表 9	2005 年全国碳排放洛伦兹曲线图.....	14
图表 10	2010 年全国碳排放洛伦兹曲线图.....	14
图表 11	2015 年全国碳排放洛伦兹曲线图.....	14
图表 12	1997-2015 年全中国的资源环境基尼系数.....	14
图表 13	1997-2015 年绿色贡献率频数变化.....	15
图表 14	1997 年全国二氧化碳绿色贡献率地图.....	16
图表 15	2000 年全国二氧化碳绿色贡献率地图.....	17
图表 16	2005 年全国二氧化碳绿色贡献率地图.....	17
图表 17	2010 年全国二氧化碳绿色贡献率地图.....	17
图表 18	2015 年全国二氧化碳绿色贡献率地图.....	17
图表 19	全国 30 个省级行政单位的绿色贡献率分层情况.....	18
图表 20	被选样本省的指标 R.....	19
图表 21	山西省分行业二氧化碳绿色贡献率.....	20
图表 22	辽宁省分行业二氧化碳绿色贡献率.....	20
图表 23	贵州省分行业二氧化碳绿色贡献率.....	21
图表 24	甘肃省分行业二氧化碳绿色贡献率.....	21
图表 25	江苏省分行业二氧化碳绿色贡献率.....	22
图表 26	湖北省分行业二氧化碳绿色贡献率.....	22
图表 27	海南省分行业二氧化碳绿色贡献率.....	23
图表 28	福建分行业二氧化碳绿色贡献率.....	23
图表 29	北京市分行业二氧化碳绿色贡献率.....	24
图表 30	广东省分行业二氧化碳绿色贡献率.....	24
图表 31	北京市行业相对于全国行业的绿色贡献率.....	26

1. 引言

1.1. 选题背景

党的十九大报告中做出了中国特色社会主义进入了新时代、我国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾等重大政治论断，对决胜全面建成小康社会、开启全面建设社会主义现代化国家新征程做出了全面部署。为实现中华民族伟大复兴的中国梦，坚持和发展中国特色社会主义的基本方略必不可少，要求我们必须做到“十四个坚持”，其中很重要的两部分便是环境保护与经济发展：经济层面我国要“坚持新发展理念”即贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，经济转向高质量发展，坚持质量、突出效益；环境层面“坚持人与自然和谐共生。形成绿色发展方式和生活方式，坚定走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路”。

这就要求我们“即要创造更多物质财富和精神财富以满足人民日益增长的美好生活需要，也要提供更多优质生态产品以满足人民日益增长的优美生态环境需要”。但在我国，长期以经济发展为重、轻视环境的事实，造成了不少消耗大量资源，排放过度污染物的区域或是行业。这种环境不平等已经成为极其重要又不可避免的现实问题，区域环境平等问题即区域经济发展与环境的匹配问题，分行业环境平等问题即行业资源消耗与污染物排放的匹配问题是我国环境平等问题的主要组成部分。这样无可避免的，我们必然会谈论到能源消费和环境污染。我们都知道在全球变暖的大背景下，各国政府以及学界对碳排放有着高度的关注，而中国更是其中的焦点。我党为解决全球生态问题一直在持续不断地努力，从积极促成《联合国气候变化框架公约》，到习近平同志出席气候变化巴黎大会签署《巴黎协定》，再到 G20 杭州峰会中国与其他国家达成共识积极推动《巴黎协定》尽快生效，再到这次十九大报告提出的“积极参与全球环境治理，落实减排承诺”“为全球生态安全做出贡献”……

这更要求我们解决区域环境不平等问题，为此我们首先引入一些概念。资源环境基尼系数是反映在经济贡献率相同的情况下，资源消耗和污染物排放平等程度的一个指标，是衡量和反映整体环境不平等的一种重要方法，众多国内外学者已经将其应用到环境经济学的研究中；绿色贡献率是利用某一区域或行业的 GDP 占总 GDP 的比值和该区域或该行业的碳排放量占总排放量的比值得比，利用绿色贡献率对我国各省的环境污染和能源消费进行经济衡量和分析，是反映整体内部各单元资源消耗和污染物排放公平的重要指标。资源环境基尼系数和绿色贡献率在环境领域的研究分析，对我国环境政策的合理制定具有一定的理论和实践意义。

1.2. 文献综述

利用经济的不平等指标对环境污染以及能源消费进行测量分析,对中国环境政策的合理制定具有一定的理论和实践意义。资源环境基尼系数和绿色贡献率是衡量环境平等的重要方法,众多国内外学者已将其拓展应用到了环境经济学的研究分析中。申伟宁^[1]等选取 2004-2014 年工业废水、工业 SO₂、工业粉尘排放和工业能源消耗 4 项指标,计算河北省的资源环境基尼系数和绿色贡献率表明河北省存在明显的区域环境不平等问题。Bouvier^[2]以美国的缅因州为研究对象,利用基尼系数对该区域的大气污染数据进行了分析研究,证明了经济差距与环境不平等之间存在着紧密的关系,同时表明基尼系数适用于小范围区域环境不平等因素的研究。谢守红^[3]等测算了 1995-2010 年中国各行业的碳排放强度,并采用行业分解方法分析了各行业对中国碳排放强度的影响,结果表明:工业碳排放对总体碳排放强度下降起主导作用,对其下降的贡献率为 73.35%;其他服务业次之,贡献率为 22.68%;农业、交通运输业、商业和建筑业贡献率较低,分别为 1.38%、1.22%、1.17%、0.20%。王金南等^[4-5]计算了 2002 年中国水资源消耗、能源消耗、SO₂ 和 COD 排放的资源环境基尼系数和绿色贡献系数,证明中国资源环境的分配差异较小,不平等因子主要集中于西部欠发达地区。

1.3. 研究目的及意义

1.3.1. 学术意义

在现有研究中,大多单独讨论碳排放利用效率及公平性和分行业的情况,而没有尝试将二者结合的。除此之外,现有文献要么只做全国性分析,要么研究特定某个省,而本文在此基础上,整合了现有的研究方向,并综合分析了全国以及省级分行业的二氧化碳绿色贡献率和环境基尼系数,具有一定的创新性。本文以全国以及省级行政单位为研究对象,选取 1997-2015 年全国各省(除去港澳台和西藏)的 GDP 和各省分行业 CO₂ 排放量,通过资源环境基尼系数,首先分析全国的整体环境平等情况,再计算绿色贡献率,将全国分为五层,根据制图结果从中选取山西、辽宁、贵州、甘肃、江苏、湖北、海南、福建和北京共 9 个省级行政单位作为分析对象,并选取其农林牧渔、工业、建筑业等五大综合性行业,进行横向对比和纵向对比分析,研究我国环境不平等的概况,以及行业结构偏向不同的地区的绿色贡献率的不同结果的原因动向分析。

1.3.2. 现实意义

该研究的开展分析全国的整体环境平等情况，并根据结果将全国省级行政单位分类、制图，对全国的碳排放效率时空分布变化有初步的认识。对分行业数据进行绿色贡献率 and 环境资源基尼系数计算同时又有助于了解我国不同效率和公平性下省级的行业结构。这些分析结果将对我国制定合理的环境政策，减少区域间不平等产生积极影响，为推动十九大报告中提出的产业结构调整和经济转型具有十分重要的意义。

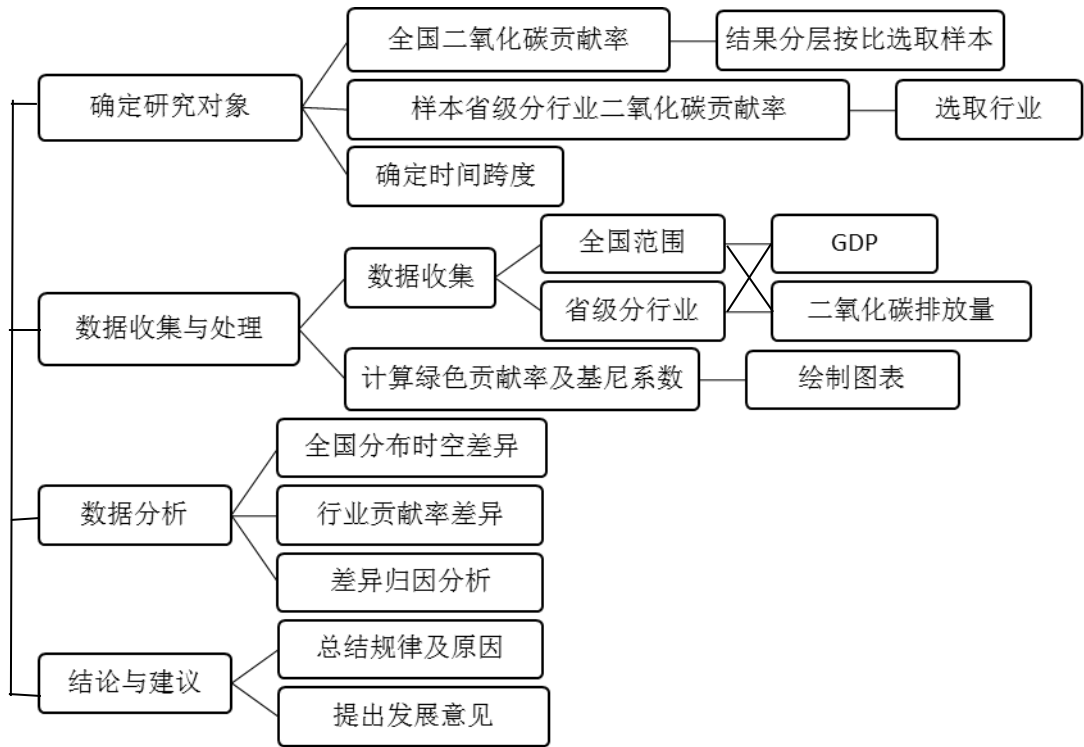
2. 研究设计

2.1. 研究思路

本文立足上述现阶段文献研究成果和不足之处，分析我国碳排放公平性和效率的发展情况。主要选取了 1997 年至 2015 年的 30 个省级（除去港澳台和西藏）二氧化碳排放和 GDP 数据进行处理，计算其绿色贡献率，分析其时空差异特征以及追溯成因。在此基础上分层抽样，进一步讨论分析 9 个代表性省份的分行业碳排放的贡献率的特征及随时间的变化，并结合时代经济发展、政策背景做归因分析。

最后根据数据事实归纳和原因分析的结果，总结近年来中国二氧化碳排放情况，并对未来国家层面和省级层面的碳排放发展提出建议。

研究思路及内容框架如下：



图表 1 研究思路

2.1.1. 研究方法

本文采用定性与定量、归纳与演绎分析相结合的研究方法：

文献调研法。通过对碳排放、能源等相关研究文献搜集，对该领域的研究进展、研究方法及已有的研究成果进行梳理，掌握该领域的最新动向与研究热点。

定量分析法与定性分析法，逐步缩小范围。借助数理统计工具 Excel 以及地图慧等软件进行定量定性分析，将中国各省的数据可视化，通过图表明确体现其碳排放演变规律及时空分异。

并采用统计学软件进行 Fisher 精确检验、方差分析等。

个案研究法。在对全国整体的绿色贡献率进行时空差异分析后，分层抽样再对有代表性的省进行具体行业情况分析。

2.2. 论文结构

本文的第一部分简要概述了选题的背景并综合了目前已有的研究成果和结论，提出本次研究期望达到的目的与意义，第二部分说明了研究的思路、内容和使用的处理分析方法，第三部分为整个研究的具体过程，包括对数据处理后的制图分析以及归因分析。首先对数据的来源和公式计算方法进行了简要说明，并运用统计学方法验证了在时间变量的影响。分析过

程主要分为两个阶段，第一阶段立足全国的宏观范围的二氧化碳贡献效率和公平性进行分析，第二阶段针对被选样本的具体行业二氧化碳排放效率情况分析。而后针对数据反映的情况结合时代经济背景和政策背景进行归因分析。最后第四部分基于前一部分的分析，进行总结概括，并在此基础上给出中国未来控制二氧化碳排放量提高能源效率的发展建议。最后一部分分析了此次研究的优势、创新点和存在的不足。

3. 数据分析

3.1. 数据来源

本文选取了中国 30 个省级行政单位 1997 年至 2015 年的二氧化碳排放量 and 经济数据，港澳台和西藏的二氧化碳排放数据并未统计，因此没有包括在内。其中经济数据来源于《中国统计年鉴》，包括各个省历年的地区生产总值和分行业生产总值，行业分为第一产业（农林牧渔业）、工业、建筑业、交通运输仓储和邮政业、批发零售住宿和餐饮业。二氧化碳排放基于 IPCC 公布的碳排放计算公式¹，包括放能源相关排放（燃料燃烧）和过程相关排放（水泥生产）两个过程，能源消耗数据来源于《中国能源统计年鉴》²，水泥生产数据来源于《中国统计年鉴》。

3.2. 数据处理

3.2.1. 二氧化碳数据计算

3.2.1.1. 能源相关排放

能源相关排放是指化石燃料燃烧过程中排放的二氧化碳，计算公式如下：

$$CE_{ij} = AD_{ij} \times NCV_i \times CC_i \times O_{ij}$$

CE_{ij} 是指在 j 区域或者 j 行业燃烧 i 化石燃料的二氧化碳排放量； AD_{ij} 代表了 j 区域或者 j 行业的 i 化石燃料消耗量； NCV_i 指的是净热值，即每单位 i 化石燃料燃烧产生的热值； CC_i (碳含量) 是指 i 化石燃料燃烧的每单位热值所排放的二氧化碳量；而 O_{ij} 是氧合效率，指 j 区域或者 j 行业 i 化石燃料燃烧过程中的氧化比。其中 AD_{ij} 来源于《中国能源统计年鉴》， NCV_i 和

¹

²

CCi 来源于 IPCC 指南[1], 0_{ij} 来源于中国发展改革委员会公布的分行业分燃料种类的氧化参数³。

3.2.1.2. 过程相关排放

过程相关排放是指生产过程中发生的物理化学反应所产生的二氧化碳, 在本研究中, 我们只研究了水泥生产, 有研究表明水泥生产约占中国生产过程二氧化碳排放总量的 75%⁴, 计算公式如下:

$$CE_t = AD_t \times EF_t$$

CE_t 是指水泥生产过程相关的 CO2 排放; AD_t 指水泥生产量, 数据来源于《中国统计年鉴》; EF_t 是指水泥生产的排放系数, 本文取 0.2906, 来自 Liu 等 (2015) 的研究结果⁵。

3.2.2. 全国二氧化碳绿色贡献率计算

一个地区的产值由各个行业产值总和组成, 但每一个省资源的消耗不同, 所产生的污染物的量不同, 这就存在着不同省消耗资源量和排放污染物的地区差异, 即地区间的不公平。如生产总值同污染物排放量不匹配导致的在污染物总量控制政策下的排放削减任务不公平等问题。

国际上通常使用基尼系数来反映差距与公平, 如居民收入分配问题, 但是这仅仅是反映整体公平的一个指标, 无法反映每一个地区这种个体间的差异, 同时无法表征污染物与 GDP 的分配关系, 于是这里我们引进绿色贡献率的概念。

绿色贡献率是反映整体内部各单元污染物排放 (资源消耗) 的公平:

$$GCC = \frac{\frac{G_i}{G}}{\frac{P_i}{P}}$$

其中 G_i 与 P_i 分别表征某一地区 GDP 和污染物 (资源) 的排放量或消耗量, G 和 P 则分别代表全国 GDP 和污染物 (资源) 的排放量或消耗量。

这里的绿色贡献率可以看作是一种效率, GCC 越大即通过很少的二氧化碳排放量就能产生更多 GDP, 效率就越高, 越符合发展经济的同时注重环保的理念。在本文中不同的绿色贡献率结果按区间分层, 关注不同层级之间行业的绿色贡献率差别及绿色贡献率随时间的变化规

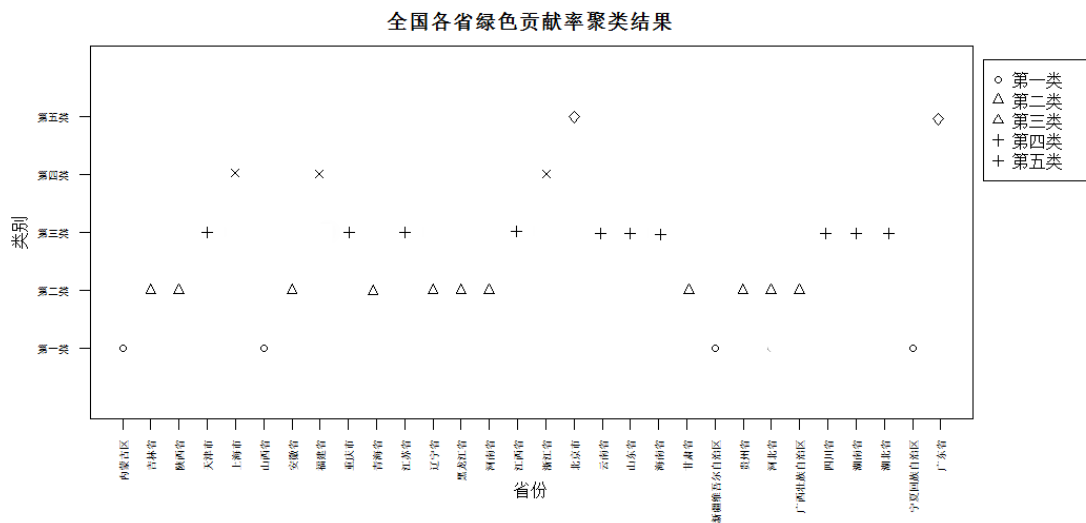
律，用以解释中国某些省级行政“单位碳减排”效果或是总量控制政策下的减排任务分配等问题。

3.2.3. 按区间分层选取样本

分层选取样本就是把总体按照一定区间分成互相不交叉的层类，接着依据一定的比例，一定的抽样方法，遵从随机抽样的原则从总体中选取了随机样本的方法。

3.2.3.1. 确定层次

按照获取的各个省的生产总值和二氧化碳排放量计算得到每一个省的绿色贡献率，并结合地理分布，将各个省会的经、纬度数据作为变量，利用每一个省的绿色贡献率、省会城市的经度数据、省会城市的纬度数据三个变量对 34 个省份进行 *K-Means* 聚类分析，聚类的标准采用欧氏距离的进行聚类，设定类别数为 5，聚类后的结果如下图：



图表 2 全国各省级绿色贡献率聚类结果

将每一类作为分层抽样的一层，得到如下的分层：

图表 3 根据聚类结果的分层情况

层数	分层情况
第一层	山西 内蒙古 宁夏 新疆
第二层	河北 辽宁 吉林 黑龙江 安徽 河南 广西 贵州 陕西 甘肃 青海
第三层	天津 江苏 江西 山东 湖北 湖南 海南 重庆 四川 云南

第四层	上海 浙江 福建
第五层	北京 浙江

3.2.3.2. 确定总样本量

确定公式为

$$n = \frac{N * z_{\alpha/2}^2 * s^2}{N * d^2 + z_{\alpha/2}^2 * s^2}$$

其中，n 为简单随机抽样的样本量，N 总体中个体的个数，这里d = 0.35，表示除特殊地区外的 31 个省。s²表示总体的方差，这里的利用历史 10 年来全国各省绿色贡献率的方差做为总体方差的一个估计。

α为抽样时的显著性水平，这里取α = 0.05，z_{α/2}为正态分布的α/2分位数，而 d 表示可以容忍的绝对抽样误差，这里取d = 0.35

根据上述公式，可以确定样本量 n=8.23，四舍五入后并取抽样设计效应 deff=1，得到最终的样本量 n_{final}=9

3.2.3.3. 确定各层样本量

根据各层子总体中个体的数量和总体中个体的数量之比作为各层的抽样比，得到不同层对应的样本量为：

图表 4 分层后每层对应样本量数

层数	各层样本量
第一层	1
第二层	3
第三层	3
第四层	1

3.2.3.4. 随机游走抽样法

由于全国各省绿色贡献率与地理因素有一定的关系，充分考虑到这一点，抽样过程实施

如下：

- I. 选取随机游走的起点，即在第一层的四个省份山西、内蒙古、宁夏、新疆通过生成随机数的方式随机选取一个省份的省会城市作为随机游走的起点 P_1 。
- II. 假定上一个点在 P_i 处，并且 P_i 所在的省份城市属于第 k 类。按照下面的方法得到下一个点 P_{i+1} ：

首先，生成一个在 $(0, 2\pi)$ 上的随机数 θ ，并以正东分别为极轴的正方向极坐标系，并在坐标系中标出射线 $\rho = \theta$ 。

如果第 k 类抽取的样本个数等于该层所需的样本量，那么选择极坐标中射线 $\rho = \theta$ 所穿过的第一个属于第 $k+1$ 类的省份的省会城市作为点 P_{i+1} 并将该省份选入第 $k+1$ 类的样本中；如果第 k 类抽取的样本个数小于该层所需的样本量，那么选择极坐标中射线 $\rho = \theta$ 所穿过的第一个属于第 k 类的省份的省会城市作为点 P_{i+1} 并将该省份选入第 k 类的样本中。

如果射线所在的方向上穿过的省份不满足上述条件，那么选择省份边界到射线距离最小的省份城市作为点 P_{i+1} 并将该省份选入第 k 类的样本中。如果满足上述条件的省份仍然不存在，那么再次生成随机数，重复步骤 II，直到抽出全部的 9 个样本省份。

最终的抽取结果如下：

图表 5 最终分层选择结果

层数	分层情况
第一层	山西
第二层	辽宁 贵州 甘肃
第三层	江苏 湖北 海南
第四层	福建
第五层	北京

3.2.4. 省内分行业绿色贡献率计算

一个地区的产值由各个行业产值总和组成，但每一个省中各产业资源的消耗不同，所产生的污染物的量也不同，这就存在着同一个省内不同行业消耗资源量和排放污染物的差异，即行业间的不公平。我们从上面的全国绿色贡献率组成可以得到每一个省内各行业的地区 GDP

与污染物即绿色贡献率的关系。那么行业间的绿色贡献率的计算为：

$$GCC = \frac{\frac{G_i}{G}}{\frac{P_i}{P}}$$

其中 G_i 与 P_i 分别表征该地区某一行业的 GDP 和污染物（资源）的排放量或消耗量， G 和 P 则分别代表该地区 GDP 和污染物（资源）的排放量或消耗量。

这里的绿色贡献率计算在操作中我们是以一个省为单位，如湖北省的分行业绿色贡献率。其中 G_i 与 P_i 分别表征该省某一行业（如建筑业）的 GDP 和污染物（资源）的排放量（消耗量）， G 和 P 则分别代表该省 GDP 和污染物（资源）的排放量（消耗量）。

3.3. 结果及原因分析

3.3.1. 全国二氧化碳绿色贡献率分布情况

3.3.1.1. 资源环境基尼系数

资源环境基尼系数是反映在经济贡献率相同的情况下，资源消耗和污染物排放平等程度的一个指标。王金南等^[4-5]将基尼系数引入资源消耗、污染物排放与经济贡献的平等性中，假定消耗一定比例的资源（或排放一定比例的污染物），需要贡献相同比例的 GDP，则资源消耗（或污染物排放）分配为绝对公平。本文基于王金南等构建的资源环境基尼系数，建立了全国资源环境的资源消耗和污染物排放量占全国的比率为纵坐标，以各省市的经济贡献占全国总 GDP 的比例为横坐标，按照两者的比值进行排序，绘制出 5 个年份的全国的环境洛伦兹曲线图。基尼系数有多种求法，本文采用了估算面积的定积分方法计算资源环境基尼系数，其公式如下：

$$G = 1 - \int 10G(x)dx$$

式中： G 为基尼系数； $G(x)$ 为洛伦兹曲线，可用拟合曲线法求得。

资源环境基尼系数的值所表征的意义如下表所示：

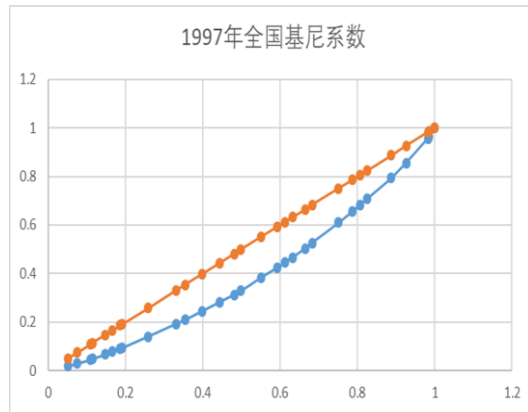
图表 6 资源环境基尼系数及其表征意义

基尼系数	表征意义
低于 0.2	绝对平均
0.2-0.3	相对平均

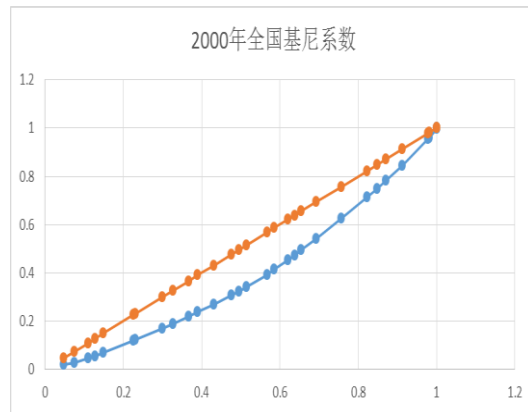
0.3-0.4	相对合理
0.4-0.5	差距较大
0.5 以上	差距悬殊

数据来源：王金南，逯元堂，周劲松，等. 基于 GDP 的中国资源环境基尼系数分析 [J]. 中国环境科学, 2006, 26(1): 111-115

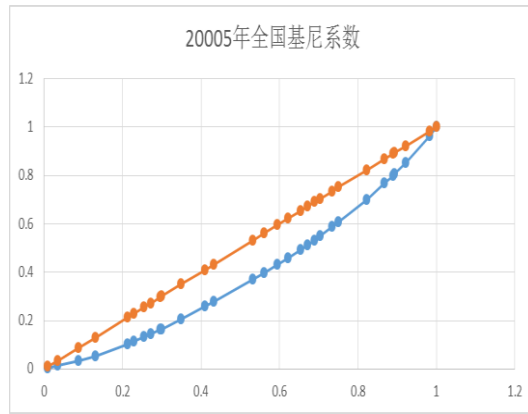
为了分析全国区域环境不平等状况的严重程度，以 5 个年份全国的 CO2 排放量作为评价指标进行计算并进行分析。数据来源于中国统计年鉴。各年份全国的 CO2 排放量与 GDP 的拟合曲线绘制得下图：



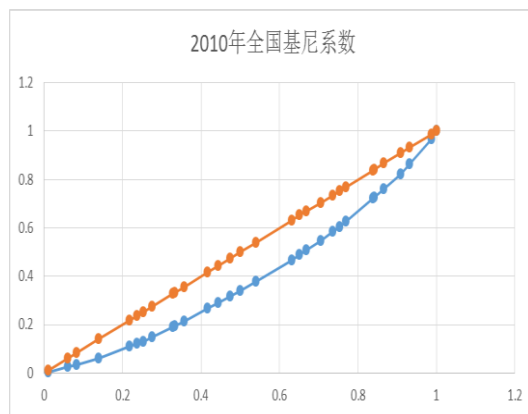
图表 7 1997 年全国碳排放洛伦兹曲线



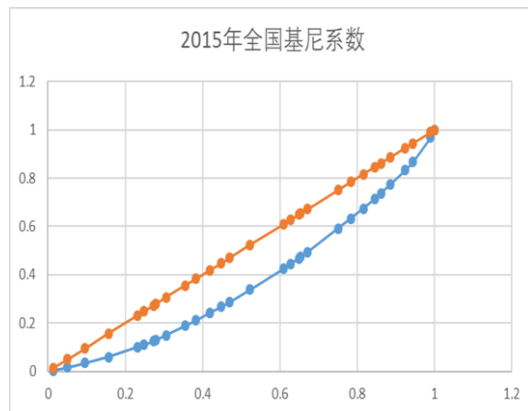
图表 8 2000 年全国碳排放洛伦兹曲线图



图表 9 2005 年全国碳排放洛伦兹曲线图



图表 10 2010 年全国碳排放洛伦兹曲线图



图表 11 2015 年全国碳排放洛伦兹曲线图

数据来源：均来自中国统计年鉴

根据拟合曲线法求得 5 个年份全国的资源环境基尼系数的值如下表：

图表 12 1997-2015 年全国的资源环境基尼系数

年份	基尼系数
1997	0.2319

2000	0.2271
2005	0.2307
2010	0.2326
2015	0.2649

从上表可以看出, 5 个年份全国的资源环境基尼系数分别为:0.2319, 0.2271, 0.2307, 0.2326 和 0.2649。5 个年份间 CO₂ 排放的基尼系数均处于比较平均的区间内, 且从 1997—2015 年 CO₂ 排放的基尼系数波动较小变化趋势不明显, 并无明显的阶段性特征, 呈由高到低, 又由低到高 “V 型” 的变化, 即各省间 CO₂ 排放的不平等程度随年度变化先降低又增加。其中, 2000 年的基尼系数最低, 表明在这年各省市 CO₂ 排放的差距最小。历年来均未超过 “警戒线” (均值为 0.23744), 表明各年份全国各省市间二氧化碳排放的略微有差异但维持着较为合理的不平等状况且始终保持二氧化碳排放比较平等, 经济发展与 CO₂ 排放基本相协调。2015 年 CO₂ 排放的基尼系数较之前有所增长, 虽然处于比较合理的范围内, 但不排除分值距 0.4 的 “警戒线” 逐年接近的可能, 因此从 CO₂ 排放的平等性角度考虑, 部分省市需要进一步调整 CO₂ 的排放量。从能源消耗的平等性角度来看, 部分城市应改变传统的经济发展模式, 大力发展高新技术产业和节能环保产业, 降低传统能源的依赖程度。此外, 在减少能源需求难度较大的情况下, 应增加新能源、清洁能源的开发利用, 减少化石类能源的使用。

3.3.1.2. 绿色贡献率格局变化情况

按照绿色贡献率大小对不同年份的各省份进行分级得到五个等级, 每个等级中会对应一个频数。可以利用该频数来刻画全国绿色贡献率格局, 如果频数发生显著变化, 则说明全国绿色贡献率格局发生显著变化, 反之, 说明全国绿色贡献率格局没有显著性变化。

图表 13 1997-2015 年绿色贡献率频数变化

年份/绿色贡献率	<0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5
1997	1	12	11	2	2
2000	4	13	10	2	1
2005	4	13	9	3	1
2010	4	13	10	2	1

上表是不同年份各等级的频数，利用该数据进行 Fisher 精确检验，得到 p 值为 1，说明有很大的信心认为近 20 多年我国全国的绿色贡献率格局没有发生显著变化。

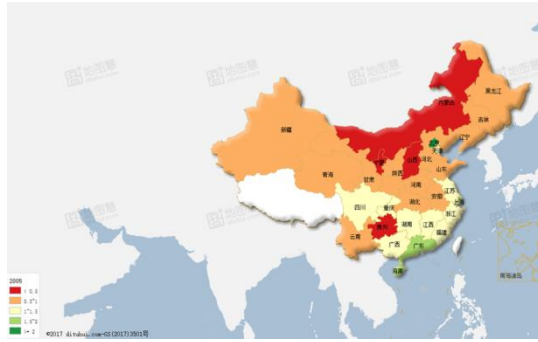
3.3.1.3. 绿色贡献率分布情况

为了了解全国环境不平等地区的分布变化特征，以全国 1997 年、2000 年、2005 年、2010 年、2015 年共计 5 个年份，分别以这 5 个年份全国 30 个省级行政单位（港澳台和西藏除外）为统计单元，以 CO₂ 作为环境评价指标，对其历年的绿色贡献率进行逐项计算，为了更加直观地分析全国环境不平等的地区分布现状，利用 5 个年份的 CO₂ 的绿色贡献率，通过地图慧绘制了 CO₂ 排放的绿色贡献系数分布示意图（如下图），对其历年的绿色贡献率进行横向和纵向分析。

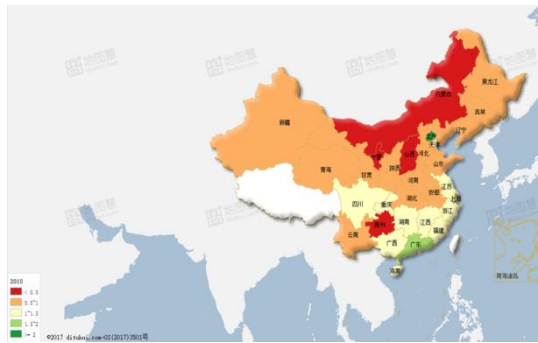
其中黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、安徽、山西、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆和贵州的 CO₂ 绿色贡献系数始终小于或等于 1，表明这些是引起能源消费不平等的主要地区。因此，这 13 个省级行政单位的经济贡献率小于 CO₂ 排放占全国的比重，需要进一步减少 CO₂ 排放量，提高能源的利用效率，以转变经济增长模式。而绿色贡献系数一直大于 1 的城市有北京、天津、江苏、上海、浙江、福建、广东、江西、湖南、海南和四川，表明这 11 个省级行政单位的经济贡献大于其 CO₂ 排放占全国的比重，体现的是一种绿色经济发展模式。



图表 14 1997 年全国二氧化碳绿色贡献率地图



图表 15 2000 年全国二氧化碳绿色贡献率地图



图表 16 2005 年全国二氧化碳绿色贡献率地图



图表 17 2010 年全国二氧化碳绿色贡献率地图



图表 18 2015 年全国二氧化碳绿色贡献率地图

数据来源：中国统计年鉴及 CEADs 中国碳核算数据库

3.3.2. 各省级行政单位分行业二氧化碳绿色贡献率

利用 1997 年、2000 年、2005 年、2010 年全国 30 个省级行政单位的绿色贡献率数据依照前述方式分层，得到下表：

图表 19 全国 30 个省级行政单位的绿色贡献率分层情况

绿色贡献率数值	分层情况
<0.5	山西 内蒙古 宁夏 新疆
0.5—1	河北 辽宁 吉林 黑龙江 安徽 河南 广西 贵州 陕西 甘肃 青海
1—1.5	天津 江苏 江西 山东 湖北 湖南 海南 重庆 四川 云南
1.5—2	上海 浙江 福建

利用 1997 年、2000 年、2005 年、2010 年全国 30 个省级行政单位的绿色贡献率数据依照上面方式分层，发现在选取样本中，层级保持相对稳定的有山西、辽宁、贵州、甘肃、江苏和湖北，层级不断提升的是北京，层级不断降低的是海南和福建。由于绿色贡献率表示单位比例的二氧化碳排放所创造的 GDP 比例，那么绿色贡献率越高，说明经济效率越高，而绿色贡献率越高意味着分层时层级越高。各选取样本中北京的层级最高，说明它能以较少的二氧化碳排放创造更多的 GDP，是较为理想的状态，可以作为标杆以供学习和借鉴，是本文重点关注对象。此外，层级不断降低的海南和福建也是较为特殊的研究对象。

3.3.2.1. 省级内分行业绿色贡献率格局变化情况

尽管从统计学的角度来看全国范围内，我国全国的绿色贡献率格局没有发生显著变化，但是并不意味着不同省份的分行业绿色贡献率没有变化，因此利用选出的 9 个省份的 1997-2015 年的绿色贡献率数据来研究不同省份省内的分行业绿色贡献率随时间的变化。

一个省份内的不同行业的绿色贡献率的变化可以从时间和行业分类两个方面来解释。如果绿色贡献率的差异由时间解释的程度较大，说明行业分类不是影响绿色贡献率的主要因素，也即说明行业间绿色贡献率格局没有发生变化，而时间因素是绿色贡献率发生变化的主要原因。

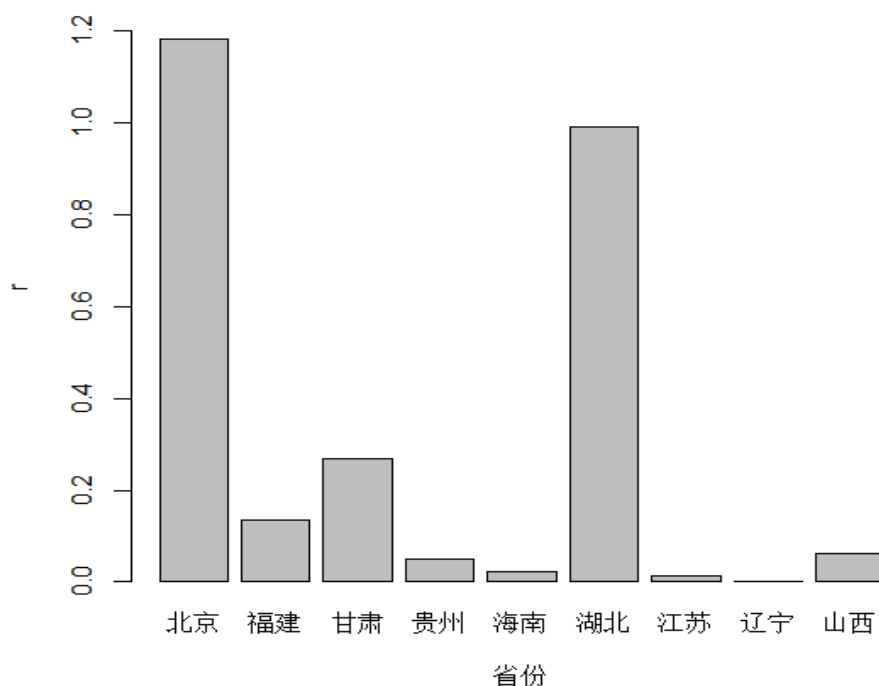
如果绿色贡献率的差异由行业解释的程度较大，说明行业分类是影响绿色贡献率的主要因素，时间对绿色贡献率的格局影响不大，也即说明省级内分行业绿色贡献率格局随时间变

化不大。

因此，可以利用方差分析来研究某一省份分行业绿色贡献率格局的变化，以时间、行业两个维度上的 F 值之比定义为指标 R 来刻画时间和行业对绿色贡献率的影响情况。

当 R 越大时，说明时间对绿色贡献率的差异解释的程度越大，即省内分行业绿色贡献率格局变化较大；而当 R 越小时，说明时间对绿色省级内分行业绿色贡献率差异解释程度越小，即省内分行业随时间绿色贡献率格局变化较小。

经过计算，求得各个省的指标 R，如下图所示：



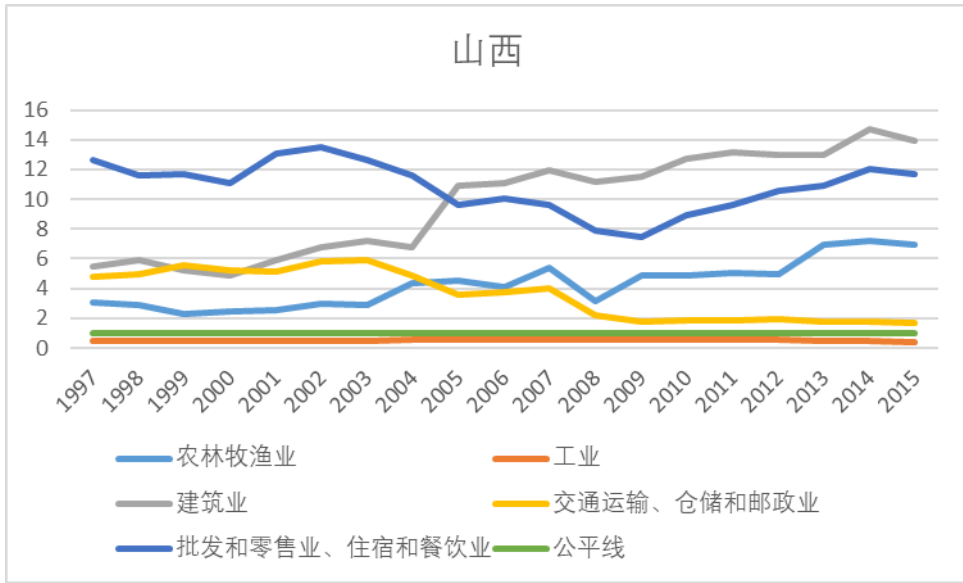
图表 20 被选择样本省的指标 R

由图中易知，北京和湖北的 R 值最大，说明北京和湖北的省级内分行业绿色贡献率格局变化较大，而其它省级的格局变化相对较小。因此从省内分行业绿色贡献率格局虽然有一定变化，但是变化不大。

3.3.2.2. 省级内分行业绿色贡献率随时间变化情况

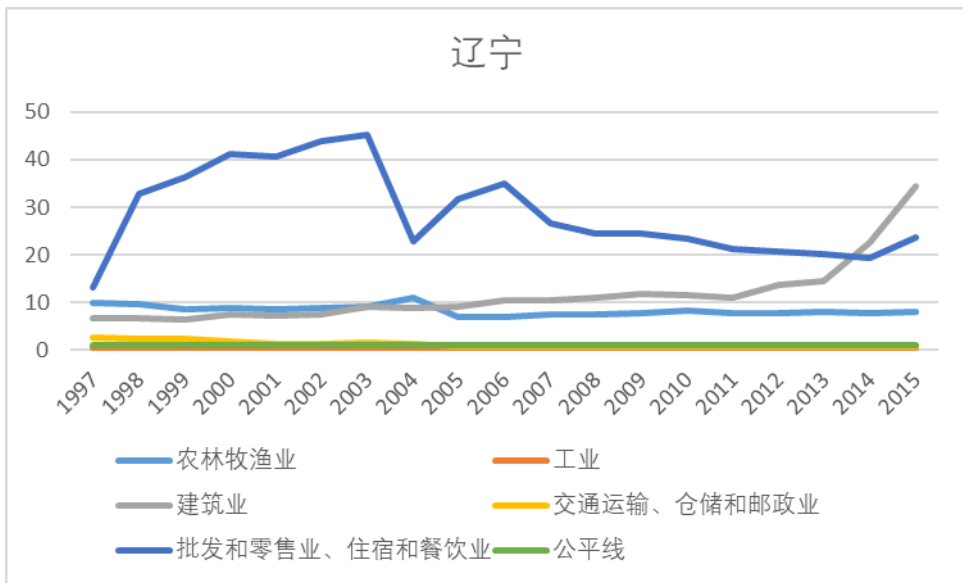
为了更加细致得到分析不同省份分行业绿色贡献率随时间的变化，收集 1997—2015 选取省份的行业 GDP 和行业二氧化碳排放数据，计算出各省级的行业绿色贡献率，结果如下：

第一层 山西（绿色贡献率 < 0.5）：

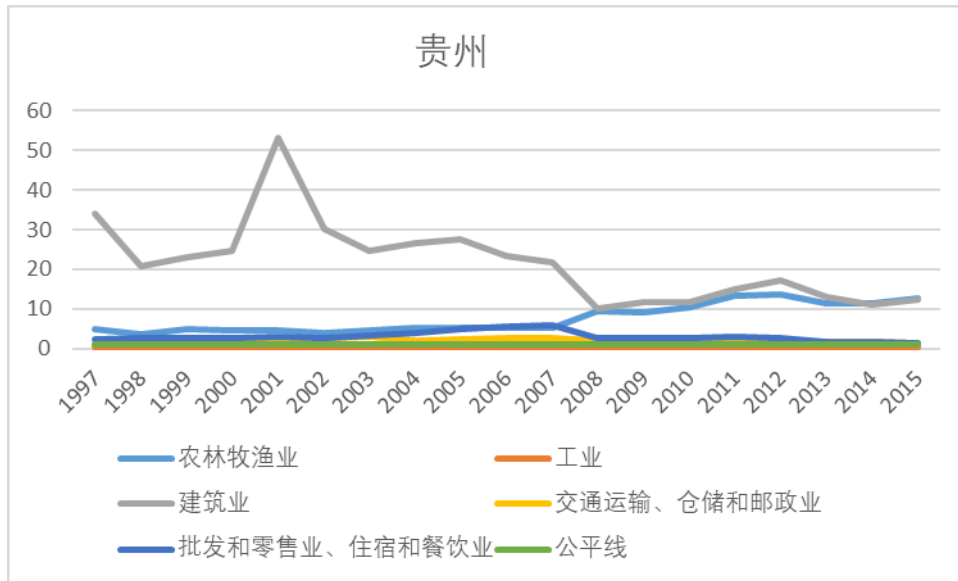


图表 21 山西省分行业二氧化碳绿色贡献率

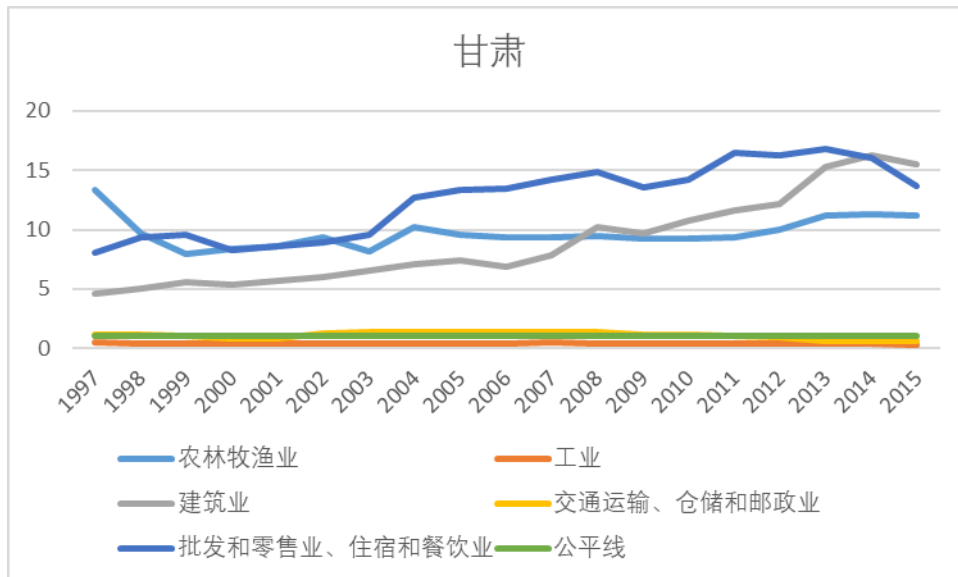
第二层 辽宁、贵州、甘肃（绿色贡献率在 0.5—1 之间）：



图表 22 辽宁省分行业二氧化碳绿色贡献率

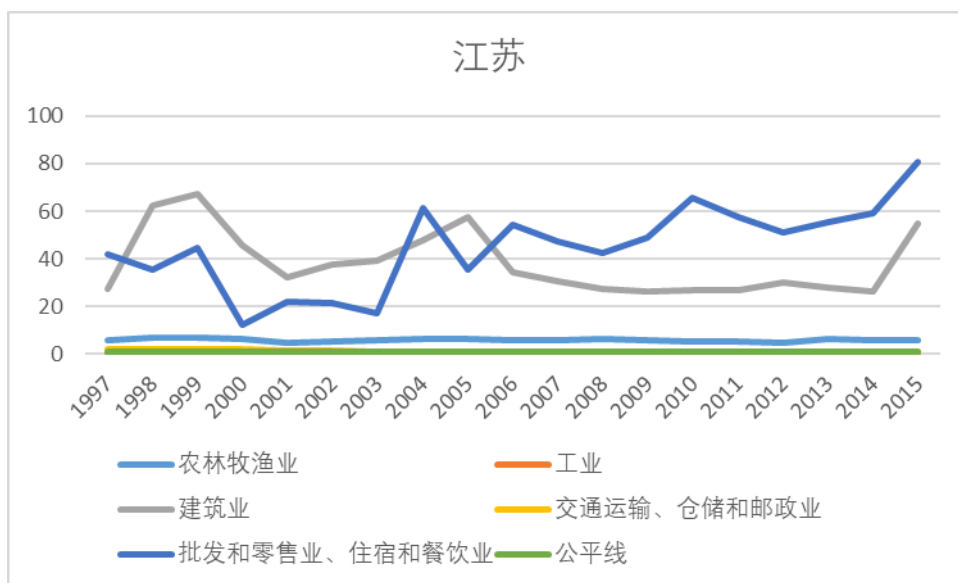


图表 23 贵州省分行业二氧化碳绿色贡献率

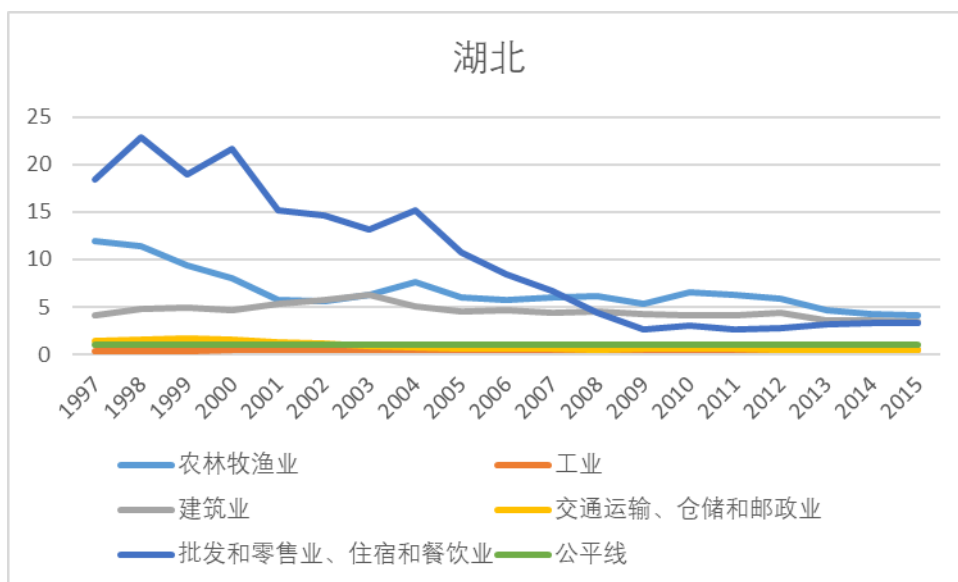


图表 24 甘肃省分行业二氧化碳绿色贡献率

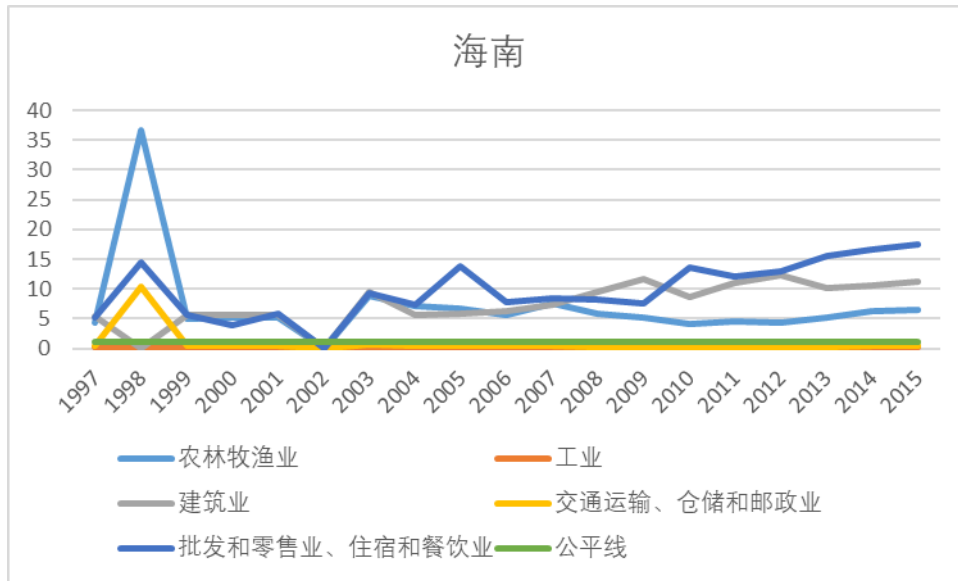
第三层 江苏、湖北、海南（绿色贡献率在 1—1.5 之间）：



图表 25 江苏省分行业二氧化碳绿色贡献率

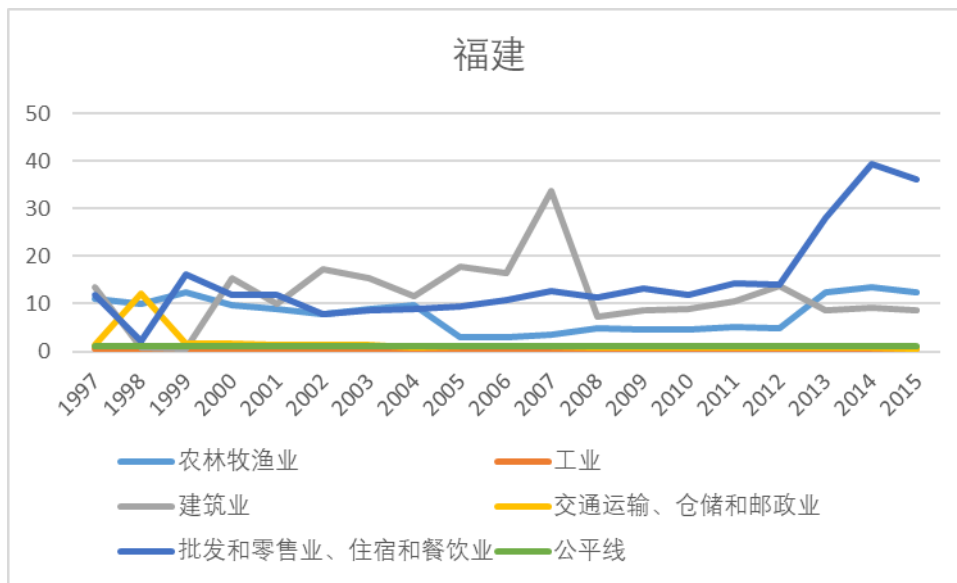


图表 26 湖北省分行业二氧化碳绿色贡献率



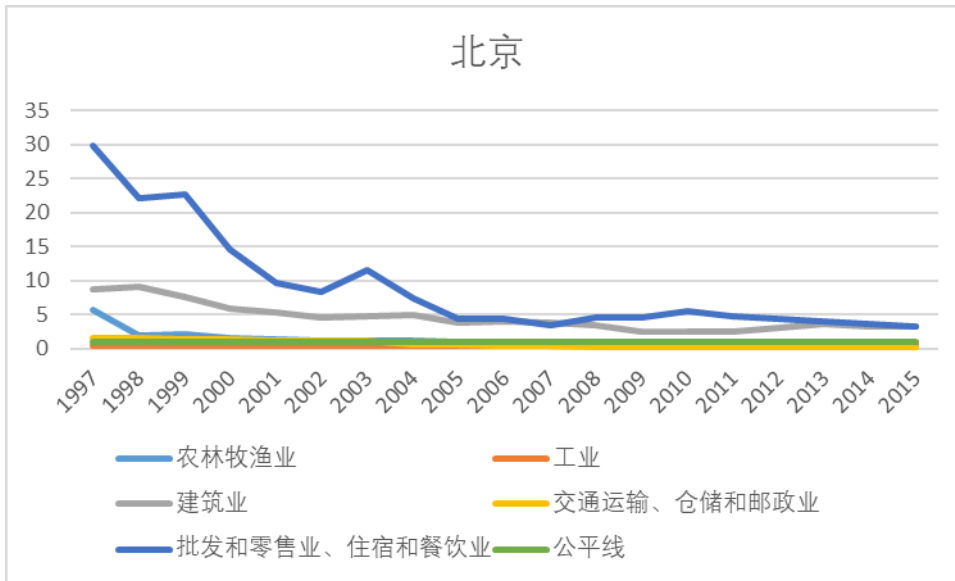
图表 27 海南省分行业二氧化碳绿色贡献率

第四层 福建（绿色贡献率在 1.5—2 之间）：

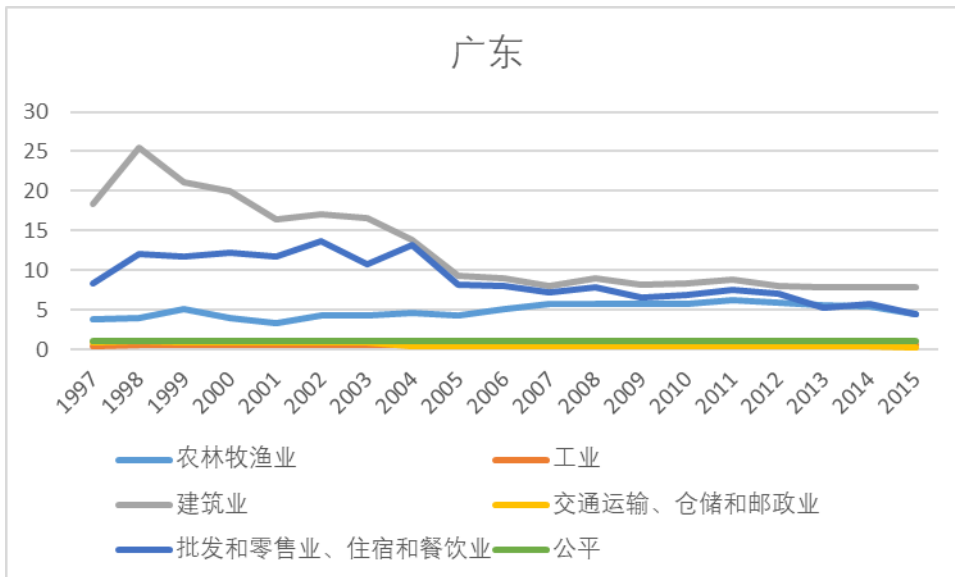


图表 28 福建分行业二氧化碳绿色贡献率

第五层 北京、广东（绿色贡献率>2）：



图表 29 北京市分行业二氧化碳绿色贡献率



图表 30 广东省分行业二氧化碳绿色贡献率

从折线图中可以更加直观的看出，北京和湖北的绿色贡献率随时间变化较大且不断趋于公平。

作为选取样本中的标杆，北京市各行业绿色贡献率随时间的变化呈现出不断向绿色贡献率恒为 1 的公平线不断靠近收敛的趋势，说明行业之间的差距在缩小，行业之间变得越来越公平。为避免偶然因素干扰，本文又选取了另一个位于第五层级的广东省来验证，如上图。可以看到，广东省各行业的变化趋势与北京市基本相同，最终基本可以得出这样的结论：绿色贡献率大，经济效率高的省份，它们省内的行业绿色贡献率离 1 越近，也就是行业之间的差距在越小，行业之间的二氧化碳排放越公平。

层级不断减小的海南和福建的绿色贡献率随时间变化则呈现出与北京市完全相反的趋势，随着时间，大致呈现各行业绿色贡献率逐渐远离公平线的趋势，说明省内的行业间差距在变大，二氧化碳排放在省内变得越来不公平，最终导致全省的绿色贡献率降低，对于类似省份来说，有效的二氧化碳减排政策应该注重提高绿色贡献率较低行业的能效或淘汰该行业的落后产能，积极鼓励绿色贡献率较高行业的发展。

层级保持相对稳定的省份很多，除贵州和湖北外，各省份的行业绿色贡献率要么保持相对稳定，要么不断远离公平线。至于行业绿色贡献率不断向公平线不断收敛的贵州省和湖北省，它们的层级虽然基本不变，但全省相对于全国绿色贡献率却持续增大，经济效率不断提高。

从各层之间的差距来看，除经济效率最高的第五层外，各层省份的绿色贡献率虽然有差距，但行业绿色贡献率的差距并不明显，并没有呈现较为明显的差距。

单看各省的交通运输、仓储和邮政业的绿色贡献率都随着时间的增加而减小，说明尽管近年来由于网上购物服务的发展极大的带动了交通运输、仓储、邮政业的 GDP 增长，但与之相对应的 CO2 排放增加也十分严重。以此我们设想应当在交通运输、邮政方面发展更先进的技术和管理提高效率来降低 CO2 排放。

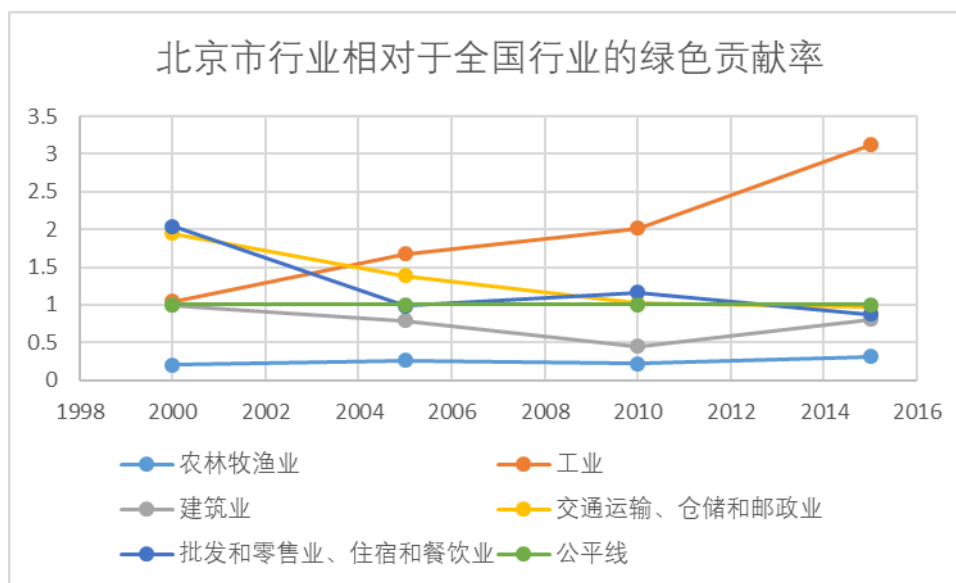
从绿色贡献率的定义出发我们定义绿色贡献率大于 1 的行业为高效率行业，小于 1 的行业为低效率行业，从这个角度来看，对于绝大多数省来说，工业和交通运输以及仓储邮政业是低效率行业，而批发零售业以及住宿餐饮业、农林牧渔业和建筑业是高效率行业。一般来说，高效率行业中批发零售业以及住宿餐饮业的效率最高，建筑业次之，农林牧渔业排在最后。低效率行业中则是交通运输以及仓储邮政业的能源经济效率高于工业，但对于广东和北京这样能源经济效率很高的省份则是工业经济效率高于交通运输以及仓储邮政业。

提高某一个省的整体能源经济效率（也就是提高某一个省绿色贡献率）可以鼓励高效率行业的发展、提高低效率行业的能源经济效率或者限制低效率行业的发展，究竟哪种方法更有效，可以通过研究所选取样本来验证。

3.3.2.3. 北京市与全国行业绿色贡献率情况比较

北京不仅是能源经济效率最高的省份，而且从 1997 年以来它相对于全国绿色贡献率一直在提高，对于如何提高各省的能源经济效率尤其具有借鉴意义。根据绿色贡献率的原理，本文利用北京市的行业 GDP 与行业 GDP 的比值除以北京市行业二氧化碳排放量与全国二氧化

碳排放量的比值，从而得到北京市各行业相对于全国行业的绿色贡献率，该绿色贡献率随时间变化的结果如下：



图表 31 北京市行业相对于全国行业的绿色贡献率

从上表可以看出，相对于全国的行业来说，近年来北京市工业的绿色贡献率远大于1，说明北京市工业在全国工业中的能源经济效率较高，其他行业要么接近于1，要么小于1。此外只有工业的绿色贡献率变化趋势与北京的总体绿色贡献率趋势变化相符，表明不断提高一个省的工业的能效对全省绿色贡献率的改善具有重大意义。

4. 结论与建议

4.1. 结论

4.1.1. 全国碳排放与经济发展基本协调，但地域差异明显

在对全国碳排放绿色贡献率并结合基尼系数分析可得：5个年份间CO₂排放的基尼系数均处于比较平均的区间内且波动较小变化趋势不明显，各年份全国各省市间CO₂排放的略微有差异，但维持着较为合理的不平等状况且始终保持CO₂排放比较平等，从全国看经济发展与CO₂排放基本相协调。

对全国绿色贡献率的分析表明全国环境不平等因子主要分布于经济发展水平相对落后的地区和以重工业为主的产业结构偏重的地区。西部地区和北部地区的省市普遍CO₂的绿色贡

献率普遍较低，是引起能源消费 CO2 排放不平等的主要地区，其经济贡献率小于 CO2 排放占全国的比例；沿海地区的省市经济贡献率普遍大于 CO2 排放占全国的比例，沿海地区的发展模式较为合理。

4.1.2. 全国及省级行业绿色贡献率变化格局均不显著

就绿色贡献率变化格局来看：全国来看各省绿色贡献率格局变化不显著，而从省内角度来看，各省省内分行业绿色贡献率格局有一定程度的变化，但是普遍来说变化仍不显著。从计算结果可得，全国各省绿色贡献率格局变化不显著可能是由各省省内绿色贡献率格局变化不大所导致的。

在选取的 9 个省中，分行业绿色贡献率格局有较大变化的只有两个（湖北和北京），其它省份的变化相对较小。而一个省的行业绿色贡献率实际上刻画了一个省份某个行业的比较优势：当一个省份的某个行业的绿色贡献率较大时，说明这个省份在这个行业上具有比较优势，而绿色贡献率格局变化不大实际上说明了不同省份内不同行业的比较优势没有发生巨大变化。而这种比较优势可以描述一个省份的发展模式：当某个省份在某个行业上的绿色贡献率显著大于其它行业时，这个省份在该行业会相对于其它行业会更加发达，这个省份会更加依赖于这个行业的发展。而绿色贡献率格局没有显著变化就说明对于大部分省份来说这种依赖于绿色贡献率较高行业的发展模式没有发生变化。

4.1.3. 省级行业绿色贡献率差距明显

行业间绿色贡献率越趋近于 1，即行业间二氧化碳排放越趋向于公平越有利于促进省绿色贡献率的提高。绿色贡献率较高，能源经济效率较好的北京和广东的绿色贡献率都随着行业绿色贡献率趋近于 1 而提高，湖北和贵州也如此。另外对于行业绿色贡献率不断偏离 1 的福建省和海南，它们的省绿色贡献率则呈现不断减小的趋势。

一般来说，工业和交通运输以及仓储邮政业的省内行业绿色贡献率低于 1，能源经济效率较低，批发零售业以及住宿餐饮业、农林牧渔业和建筑业的省内行业绿色贡献率高于 1，能源经济效率较高。绝大多数省内，低能源经济效率行业中工业比交通运输以及仓储邮政业的行业绿色贡献率低，高能源经济效率行业中一般批发零售业以及住宿餐饮业的绿色贡献率最高。

提高工业绿色贡献率更有助于促进全省的绿色贡献率的提高。相对于全国的农林牧渔业、建筑业、交通运输以及仓储邮政业和批发零售业以及住宿餐饮业来说，北京的相应行业并不

占优，效率并不是很高（绿色贡献率均小于1或在1附近），只有北京的工业相对于全国的工业来说，绿色贡献率远高于1，并且随着北京市绿色贡献率的增大而增大，这意味着北京市的绿色贡献率之所以远高于全国其他省份，工业贡献了绝大部分力量。

4.2. 建议

各省在制定发展政策、规划时要注意协调，在节能减排方面考虑经济发展的同时也兼顾排放效率，考虑排放效率的同时也应考虑公平性。前者的实现需要依靠技术的进步和宏观上发展战略的指导，后者更考验宏观规划的分配。上述分析中我们看出，在绿色贡献率方面表现较好的省级行政单位在行业发展上也并不是对某行业强烈依赖的，而表现出行业间公平的共同发展。因此行业的转型应当趋于均衡发展，不同行业发展更加公平，各个行业的能源效率达到平衡，才能实现更加长足稳定的发展。各省也应该在此基础上结合自己现有的资源和经济水平开创适合各个省份的绿色、环保的新发展模式。

关注低效发展的薄弱行业的调整，实现更均衡发展的同时也应当关注“高效行业”的技术进步，比如学习北京高效绿色贡献率的案例，可以通过提高某省工业相对于全国工业的绿色贡献率来有促进全省的绿色贡献率的提高。

5. 结语

5.1. 主要创新点

全球近年来对于温室气体二氧化碳减排问题的讨论越来越多，中国在国际舞台上担有重要的减排责任。国内针对中国碳排放强度、能源结构的文章较多，也有文章有进行关于能源、资源公平性的讨论，如王金南（2006）。但是现在几乎没有关于二氧化碳的绿色贡献率等相关的排放效率和公平性的研究。此外，在分行业研究方面，有集合全国宏观数据分析不同行业的碳排放贡献的，如谢守红（2013），也有大多数文章重点研究工业行业的发展和转型，而鲜有相关文章对省级分行业的二氧化碳排放的公平和效率进行研究。

相比较而言，从选题上本次研究采用了较新颖的“二氧化碳绿色贡献率”的概念，选取了较长的时间跨度、全国范围的空间跨度，不但有对全国性公平的考察，也有对省级行政单位不同行业的碳排放贡献率的分析，使得分析的结果更可靠、在全国宏观表现上有更细致的原因分析。在研究方法上，引入统计学方法考虑了时间跨度对于碳排放贡献率的影响，从而

排除了时间变量影响过大而导致结果分析误差较大的可能性。

5.2. 不足与展望

本次研究中，在对全国绿色贡献率分层选样时，具有一定的主观性，并且选择样本时由于篇幅原因也数量有限。由于各省情况各有差异，所选取的样本在代替整个层级时可能存在一定的误差和不准确的情况。此外，在对分行业绿色贡献率的研究时，考虑到数据筛选工作量，我们挑选的行业分类较粗，每个行业中都包含了较多的内容，比如工业的数据实为多种工业行业的加总，因此在分析过程中无法做到更精确考察具体行业的情况。对于一些近年来发展的新兴行业欠缺考虑，而这些行业的发展可能会影响未来的行业结构和经济、环境问题，如果能找到更可靠的数据来源，按理来说也可以计入分析中。

参考文献

- [1] IPCC. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories (Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006).
- [2] NBS. *China Energy Statistical Yearbook (China statistics press, 2014-2016)*.
- [3] NDRC. *Guidelines for provincial greenhouse gas inventories (2011)*.
- [4] NDRC. *The People's Republic of China Second National Communication on Climate Change, <http://qhs.ndrc.gov.cn/zcfg/201404/W020140415316896599816.pdf> (2012)*.
- [5] Liu, Z. et al. *Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China. Nature 524, 335 - 338 (2015)*.
- [6] 申伟宁, 张韩模, 郑菊花. 河北省区域环境不平等研究 [J]. 资源与产业, 2016, 18(4): 60 - 68
- [7] Bouvier R. Distribution of income and toxic emissions in Maine, United States: inequality in two dimensions [J]. *Ecological Economics*, 2014, 102 (2): 39-47
- [8] 谢守红, 王利霞, 邵珠龙. 中国碳排放强度的行业差异与动因分析 [J]. 环境科学研究, 2013, 26(11):1252-1258.
- [9] 王金南, 李勇, 曹东. 关于地区绿色距离和绿色贡献的变迁分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(6): 3-7
- [10] 王金南, 逯元堂, 周劲松, 等. 基于 GDP 的中国资源环境基尼系数分析 [J]. 中国环境科学, 2006, 26(1): 111-115
- [11] Liu Z, Guan D D, Crawford-Brown Q. et al. *Energy Policy: A Low-Carbon Roadmap*

- for China[J]. *Nature*, 2013, 500 (7461): 143–145.
- [12] Guan D D, S Klasen, K Hubacek, et al. Determinants of Stagnating Carbon Intensity in China[J]. *Nature Climate Change*, 2014, 4 (11): 1017–1023.
- [13] Liu Z, Guan D D, W Wei, et al. Reduced Carbon Emission Estimates From Fossil Fuel Combustion and Cement Production in China[J]. *Nature*, 2015, 524: 335–338.
- [14] Lin J, D Pan, S J Davis, et al. China's International Trade and Air Pollution in the United States[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 2015, 111 (5): 1736–1741.