贵州省碳排放驱动效应研究及其与经济增长的脱钩关系

——基于 LMDI 分解理论

穆瑾

（贵州师范大学地理与环境科学学院，贵州贵阳 550001）

【摘 要】为了促进贵州低碳经济的进一步发展，以贵州省 2002—2013 年能源消费结构为基础数据，通过自上而下、LMDI 分解法，对贵州省碳排放进行定量测算。在此基础上，利用 Tapio 脱钩模型，分析碳排放与经济增长的关系。结果显示：贵州省碳排放总体呈持续增长，其中经济因素和人口规模对贵州省碳排放起促进作用，且经济是导致碳排放增加的主要原因；能源结构和能源强度对碳排放起抑制作用，能源强度的降低是促进碳排放减少的主要途径;贵州省碳排放与经济之间主要以扩张负脱钩和弱脱钩状态为主。

【关键词】碳排放；经济；LMDI 分析；脱钩分析；贵州省

【中图分类号】K901.2**【文献标识码】**A

【文章编号】1003-6563(2017)014)073-6

在全球气候变化背景下，低碳经济概念的应运而生，碳减排成为国内外关注的热点问题已被提上日程。目前，已有一些文献对碳排放进行了因素分解研究:从研究区域范围上看，主要集中在国家、地区、部门层面,而对省层面的研究较少且对西南地区省份的研究更为不足；从研究内容上看，多集中在碳排放因素分析，而对碳排放与经济的关系研究较少。鉴于此，研究以贵州为代表的西南省份，定量分析了 2002—2013 年贵州省煤炭、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气的碳排放量，结合 LMDI 分解方法和 Tapio 模型对贵州省碳排放与经济发展的脱钩关系进行了研究。这对于政府部门对贵州省温室气体排放的研究以及各单位在能源结构利用、驱动碳排放增长的因素以及其与经济之间关系有一个整体的把握，并且对未来进一步实现低碳经济发展具有重要指导意义。

1 研究区经济发展和能源消耗现状

贵州地处我国西南地区，自然环境优越，资源储量丰富。近年来，贵州经济保持较快增长，在全国经济增长速度中位居前列。经济的快速发展，力口强了对能源的需求，而贵州能源结构单在现有能源资源探明储量中，煤炭占 95%,受资源约束的影响，煤炭一直是贵州能源的生产主体，占全省一次能源总量的 80%以上，是“西电东送”的主力军。贵州省长期依赖以煤为主的能源供应体系，以煤炭为主的能源工业的粗放型发展，不但造成资源的巨大消耗，而且造成较严重的生态破坏和环境污染，从而对经济的持续发展产

生影响。

2 数据来源与研究方法

2.1 碳排放的测算

本文采取的是自上而下的方法来测算贵州省能源消费碳排放量，计算公式为：

$$CO_2=\sum E_i\times F_i\times K_i \quad (1)$$

式中：CO_2 为能源消费碳排放总量；E_i 为第 i 类能源的实物消耗量，F_i 为第 i 类能源折算标准煤系数；K_i 为第 i 类能源碳排放系数。能源折算标准系数与碳排放系数，如表 1 所示。

表 1　7 种主要能源碳排放系数计算

Tab. 1　Carbon emission coefficients of 7 kinds of energy sources

能源类型	原煤	焦炭	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
折标准煤系数	0.714 3	0.971 4	1.471 4	1.471 4	1.457 1	1.428 6	1.33
碳排放系数	0.755 2	0.854 7	0.591 3	0.573 7	0.591 3	0.617 6	0.447 9

资料来源：折算标准煤系数来源于《综合能耗计算通则》(GB / T 2589—2008)。碳排放系数来源于 IPCC 碳排放计算指南缺省值。

2.2 碳排放因素分解模型

本研究是基于 LMDI 法对贵州省 7 种主要能源碳排放因素进行分解，考虑到数据的可得性与研究的范围，从而能源碳排放等式为：

$$CO_2=\sum_i \frac{CO_{2_i}}{E_i}\times\frac{E_i}{E}\times\frac{E}{GDP}\times\frac{GDP}{POP}\times POP \quad (2)$$

式中：CO_{2_i} 表示 i 类能源碳排放量；E_i 表示 i 类能源消耗量；E、GDP、POP 分别表示能源消耗总量、地区生产总值、地区人口数量；CO_{2_i}/E_i 表示碳排放强度因素，用 f_i 表示；E_i/E 表示能源结构因素，用 s_i 表

示：E/GDP 表示能源强度，GDP/POP 表示经济产出，POP 表示人口规模，分别用 e、g、p 表示；故公式(2)可以写成公式(3)：

$$CO_2 = f_i \times s_i \times e \times g \times p \tag{3}$$

现将公式(2)、(3)用 LMDI 分解法进行分解，从基期到 t 期碳排放差值称为总效应 $\Delta C = CO_2^t - CO_2^0$。则 ΔC 由 5 个因素组成，结果如下：

$$\Delta C = CO_2^t - CO_2^0 = \Delta C_f + \Delta C_s + \Delta C_e + \Delta C_g + \Delta C_p \tag{4}$$

$$\Delta C_f = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \frac{f_i^t}{f_i^0} \tag{5}$$

$$\Delta C_s = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \frac{s_i^t}{s_i^0} \tag{6}$$

$$\Delta C_e = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \frac{e^t}{e^0} \tag{7}$$

$$\Delta C_g = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \frac{g^t}{g^0} \tag{8}$$

$$\Delta C_p = \sum_i \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0} \ln \frac{p^t}{p^*} \tag{9}$$

根据研究可知，第 i 种能源在第 t 期和基期的碳排放系数相同，即 $C_i^t = C_i^0$，根据以上公式可得：

$\Delta C = 0$。

2.3 碳排放与经济增长脱钩模型

为了更好的分析贵州省碳排放与经济增长之间的关系，本文引入了‘‘脱钩弹性”的概念,Tapio 在 OECD 脱钩模型的基础上引入了这概念并重新定义了脱钩概念，其公式为：

$$\varepsilon=\frac{\%\Delta CO_2}{\%\Delta GDP} \tag{10}$$

式中：ε 为脱钩弹性指数；$\%\Delta CO_2$ 为碳排放变化率；$\%\Delta GDP$ 为 GDP 变化率。Tapio 依据弹性指数，对脱钩弹性进行了脱钩级别的细化，主要包括以下 8 种类型（表 2）。

表 2　各类脱钩状态及含义

Tab. 2　Various decoupling states and their meaning

脱钩状态	含义	碳排放与经济增长的脱钩状态特征
强脱钩	$\varepsilon<0$ $\Delta CO_2<0$ $\Delta GDP>0$	经济增长的同时，碳排放在下降
弱脱钩	$0\leq\varepsilon<0.8$ $\Delta CO_2>0$ $\Delta GDP>0$	经济增长，碳排放增加，碳排放增加的速度小于经济增长的速度

续表 2

脱钩状态	含义	碳排放与经济增长的脱钩状态特征
扩张连接	$0.8\leq\varepsilon\leq1.2$ $\Delta CO_2>0$ $\Delta GDP>0$	经济增长，碳排放增加，碳排放增加速度大于或相当于经济增长率
扩张负脱钩	$\varepsilon>1.2$ $\Delta CO_2>0$ $\Delta GDP>0$	经济增长，碳排放增加，碳排放增加速度大于经济增长率
强负脱钩	$\varepsilon<0$ $\Delta CO_2>0$ $\Delta GDP<0$	经济增长率为负，碳排放增加
弱负脱钩	$0\leq\varepsilon<0.8$ $\Delta CO_2<0$ $\Delta GDP<0$	经济增长率为负，碳排放下降，碳排放下降率小于经济衰退的速度
衰退连接	$0.8\leq\varepsilon<1.2$ $\Delta CO_2<0$ $\Delta GDP<0$	经济负增长，碳排放下降，碳排放下降速度小于或相当于经济衰退幅度
衰退脱钩	$\varepsilon>1.2$ $\Delta CO_2<0$ $\Delta GDP<0$	经济增长率为负，碳排放下降，但碳排放下降速度大于经济衰退速度

2.4 数据来源

本文碳排放的研究主要采用的是自上而下的测算方法，研究采用的基础数据如地区生产总值、煤炭、汽油、柴油、天然气等都来自于《中国能源统计年鉴》和《贵州统计年鉴》，选取了 2002—2013 年 12 年的数据作为样本，在测算过程中，考虑到贵州省的电力大部分都是来源于煤炭发电，并且电力不会直接产生二氧化碳，故研究过程中就不考虑电力的碳排放量。在基于 LMDI 分解模型过程中，对于贵州省的经济数据 GDP 是以 2002 年的不变价格作为基础并进行了调整，以消除价格波动对研究结果的影响。

3 结果及分析

3.1 贵州省碳排放情况

根据《中国能源统计年鉴》和《贵州统计年鉴》，选取 2002—2013 年 12 年的数据进行动态研究。本文鉴于产生 Co2 的物质主要包括煤炭、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气 7 种燃料指标数据，因此就以这 7 种燃料的总和作为贵州省能源总消耗量并对其进行研究，又由于目前没有碳排放直接数据，本文就通过这几种主要消耗能源通过一系列计算得到碳排放量。从图 1 可以看出，贵州省碳排放量在总体上与经济的发展速度相一致，碳排放量由 3131.92 万 t 增长到 8252.93 万 t,增长了近 2.64 倍，平均年增长率达到 9.5%。随着经济的发展，地区生产总值从 1185.04 亿元增加到 4188.87 亿元，增长了大约 3.5 倍，年均增长率达到 12.17%。

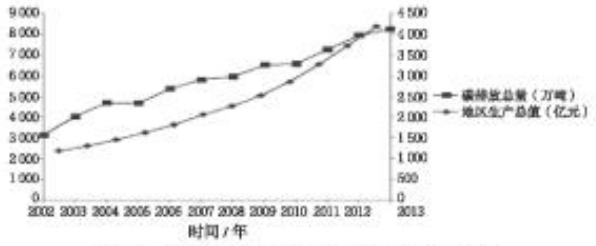

图 1　贵州省能源碳排放量与地区生产总值图变化趋势图

Fig. 1　Change trend of carbon emissions and GDP of Guizhou

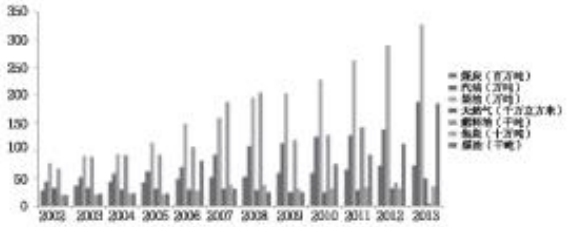

图 2　贵州省各能源碳排放量

Fig. 2　Carbon emissions of various energy sources in Guizhou

贵州省能源结构碳排放动态变化趋势见图 2。由图可得在贵州省能源消费中占主导地位的是煤炭,相应煤炭的碳排放比重也是最大的，其 2002 年碳排放比重占 89.5%,经过 11 年的发展到 2013 年煤炭碳排放比重占 89.2%,碳排放比重总体呈现轻微的上下波动,其波动范围在 88%~92%,这与贵州省拥有丰富的煤炭资源是分不开的。贵州省素有“江南煤海”之称。2009 年,贵州煤炭矿产资源拥有量达到 571.37 亿 t,位于全国第五位。贵州省的煤炭有储量大、煤种全、埋藏浅、分布聚、易开采等特点。另一方面在于贵州省工业比重比较大，工业水平比较落后，大部分燃料都是依赖于煤炭和焦炭，且电力能源也主要来自煤资源的转化。油品类的碳排放量呈逐渐增大的趋势，2002 年占到 4.13%,到 2013 年增长到 6.45%,这与人民生活水平逐步提高相适应，随着人们收入的增加，对生活水平要求越来越高，私家车的拥有量也越来越多，因此耗油

量也随之越来越大，这种由于道路运输需求和城市机动车保有量的迅速增加而造成油品燃料碳排放的增加是无可避免的。在这几种主要的能源资源中，其中天然气在能源消费中所占比重最低，其不足 1%,且在 2002—2010 年这期间一直呈下降趋势,这主要原因是在于贵州省供电量的增加以及天燃气消费比较高所致，人们考虑到经济因素大都采用电力来供应家庭所需。在 2010—2013 年天燃气开始呈缓慢上升趋势方面是因为人们环保意识的增强，减少了煤炉做饭使用量，另_方面也在于政府部门对天燃气的大量宣传与逐渐的推广。

3.2 贵州省碳排放变化的因素分析

根据 2002—2013 年的数据，运用 LMDI 分解模型(2)-(9)8 个公式对贵州省碳排放进行因素分解，分解为碳排放强度、能源结构、能源强度、经济产出、人口规模五方面，又因为各能源的碳排放系数是固定的，就不再对碳排放强度进行研究。

表 3　2002—2013 年贵州省碳排放因素分解效应

Tab. 3　Factor decomposition of carbon emission effects in Guizhou, 2003—2013

年　份	能源结构		能源强度		经济产出		人口规模		总效应	
	年度效应	累积效应	年度效应	累积效应	年度效应	累积效应	年度效应	累积效应	年度效应	累积效应
2002—2003	-0.91	-0.91	546.41	546.41	305.22	305.22	36.97	36.97	887.69	887.69
2003—2004	3.22	2.31	209.30	755.71	419.13	724.34	50.67	87.64	682.31	1 570.00
2004—2005	-8.36	-6.05	-533.22	222.49	470.00	1 194.34	44.50	132.14	-27.08	1 542.92
2005—2006	-1.11	-7.16	149.14	371.63	480.62	1 674.96	69.76	201.90	698.41	2 241.33
2006—2007	4.10	-3.05	-284.90	86.73	628.05	2 303.01	89.21	291.10	436.46	2 677.80
2007—2008	-12.86	-15.92	-415.49	-328.75	495.31	2 798.32	75.81	366.91	142.77	2 820.57
2008—2009	-4.33	-20.25	-96.88	-425.64	589.79	3 388.11	82.84	449.75	571.41	3 391.98

续表 3

年　份	能源结构		能源强度		经济产出		人口规模		总效应	
	年度效应	累积效应	年度效应	累积效应	年度效应	累积效应	年度效应	累积效应	年度效应	累积效应
2009—2010	-10.35	-30.60	-726.73	-1 152.37	633.40	4 021.51	155.38	605.14	51.70	3 443.68
2010—2011	-1.68	-32.28	-271.67	-1 424.04	885.47	4 906.98	81.15	686.29	693.27	4 136.95
2011—2012	-3.58	-35.85	-282.15	-1 706.20	949.81	5 856.79	19.78	706.07	683.86	4 820.81
2012—2013	-18.67	-54.52	-635.12	-2 341.32	884.40	6 741.19	69.59	775.66	300.20	5 121.01

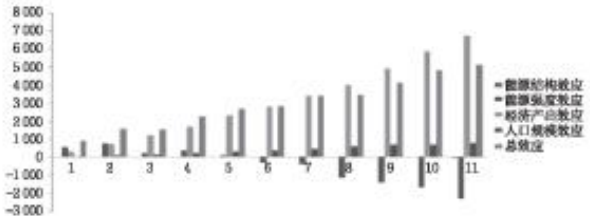

图 3　2003—2013 年贵州省碳排放累计效应分解

Fig. 3　Decomposition of carbon emission effects in Guizhou, 2003—2013

从表 3 和图 3 中可以很明显的看出在影响碳排放的因素中，经济产出和人口规模对碳排放起正向驱动，到 2013 年累计值分别达到 6741.19 万 t、75.66 万 t,累计贡献率分别占 131.64%、14.76%。这表明经济产出和人口规模对碳排放的增加起到了正向影响的作用，即增加了碳排放量，并且碳排放的总体变化趋势与经济产出效应引起的碳排放变化趋势吻合程度较高，这表明经济的发展是导致碳排放增加的主要原因，而人口规模对碳排放的增加所起的作用相对较小。相反，能源结构和能源强度对碳排放起负向驱动，其驱动累计效应值分别达到-54.52 万 t、-2341.32 万 t,各自贡献率达到-1.06%和-45.72%。能源结构对碳排放总体起抑制作用，就目前贵州省能源结构而言，贵州省主要以煤炭消费为主，而天然气等相对清洁的能源利用较少，没有起到明显抑制碳排放的作用。贵州省能源强度是衡量能源利用效率的一个关键性指标，贵州省能源强度由 2002 年的 3.51t/万元下降到 2013 年的 2.64t/万元，这表明贵州省虽然能源利用效率有明显改善，但是利用水平还是很低，粗放型利用方式比较显著，由此可见能源利用强度的改进是促进碳排放降低的主要方面。

3.3 贵州省碳排放与经济发展脱钩分析

基于碳排放脱钩弹性公式（10),得出贵州省历年碳排放与经济发展的脱钩关系，如表 4 所示。

表 4　2002—2010 年贵州省碳排放与经济发展的脱钩关系

Tab. 4　Decoupling relationship of carbon emissions and economic development in Guizhou, 2002—2010

年份	脱钩特征	年份	脱钩特征
2002	基期	2008	弱脱钩
2003	扩张负脱钩	2009	扩张连接
2004	扩张负脱钩	2010	弱脱钩
2005	强脱钩	2011	弱脱钩
2006	扩张负脱钩	2012	弱脱钩
2007	弱脱钩	2013	弱脱钩

由表 4 可以看出，贵州省在 2002—2013 年研究期内，其经济发展与碳排放脱钩状态以扩张负脱钩、弱脱钩为主，只有 2005 年达到了强脱钩、2009 年是扩张连接，总体状态呈现出从恶化到逐渐改善的趋势，

而具体分 2 个时期来看：①2002—2006 年为脱钩状态恶化期，这期间主要是以扩张负脱钩为主，即碳排放量增速大于或相当于经济发展速度，表明这_时期内贵州省在谋求经济发展的同时忽视了对碳排放的治理，部分碳排放比重较大的行业并未实施绿色节能工作，比如建筑行业。②2007—2013 年为逐步改善期，只有 2009 年为扩张连接状态,其余都为弱脱钩状态，这表明贵州省自 2007 年节能减排力度有所增强，贵州省政府在国家颁布《能源发展第十一五规划》之后，在制定经济社会发展目标的同时也制定了相应的节能减排措施与目标,并逐年加大对节能减排的投入力度。但 2009 年脱钩状态出现了扩张连接，这表明贵州省节能减排的形势依然严峻，任务相当艰巨，未来仍需继续优化能源结构、提高能源的利用效率，坚持走低碳经济发展道路,以更好应对全球气候变化。

4 结论与建议

1)2002—2013 年,贵州省碳排放总量总体呈现持续增长的趋势，而其中煤炭消费碳排放量占到总碳排放量的 89%左右,严重制约了能源结构转型发展，未来应重点考虑发展清洁能源，结合贵州的实际特点发展水能、风能等可再生能源，以此来控制和降低煤炭的能源消耗量和碳排放量；

2)通过对贵州省碳排放进行 LMDI 分解发现，对贵州省碳排放起正向驱动的因素有经济产出和人口规模，并且碳排放的总体变化趋势与经济产出效应引起的碳排放变化趋势吻合程度较高，这表明经济的发展是促进碳排放增加的主要原因。相反，能源结构和能源强度对碳排放起负向驱动，并且要进一步实现碳减排，能源利用强度的改进是主要方面；

3)从贵州省 2002—2013 年来的脱钩关系可以看出，两者以扩张负脱钩和弱脱钩为主，其碳排放与经济之间的关系正在逐渐改善，说明两者近几年来已逐渐走上低碳经济的发展道路，但还需要政府、企业及个人携手共同努力，以最终实现强脱钩目标。

参考文献:

[1] ANG B W. Decomposition analysis for policymaking in ener-gy I which is the preferred method J] . Energy Policy, 2004, 32 (9) : 1131-1139.

[2]朱勤，彭希哲，陆志明，等.中国能源消费碳排放变化的 因素分解及实证分析 J].资源科学，2009,31 (12): 2072-2079.

[3]徐国泉，刘则渊，姜照华.中国碳排放的因素分解模型 及实证分析：1995—2004 J].中国人口 • 资源与环境， 2006,16(6) : 158-161.

[4]吴振信，石佳，王书平.基于 LMDI 分解方法的北京地区 碳排放驱动因素分析 J .中国科技论坛

,2014(2) :85~91.

[5]赵选民,卞腾锐.基于 LMDI 的能源消费碳排放因素分 解——以陕西省为例 J .经济问题,2015(2) :35-39.

[6]杨良杰，吴威，苏勤，等.江苏省交通运输业能源消费碳 排放及脱钩效应 J].长江流域资源与环境 ,2014, 23 (10): 1383-1390.

[7]徐成龙,任建兰，巩灿娟.产业结构调整对山东省碳排 放的影响 J.自然资源学报,2014,29(2) :201-210.

[8]陈瑶，尚杰.四大牧区畜禽业温室气体排放估算及影响 因素分解 J].中国人口 •资源与环境，2014, 24 (12): 89-95.