

长江经济带碳减排潜力与低碳发展策略¹

黄国华^{1, 2}, 刘传江^{1, 3}, 徐正华²

(1. 武汉大学 经济发展研究中心, 湖北 武汉 430072;

2. 东华理工大学 经济与管理学院, 江西 南昌 330013;

3. 武汉大学 人口·资源·环境经济研究中心, 湖北 武汉 430072)

【摘要】：为长江经济带低碳发展需要，借助长江经济带 11 省市 2005~2014 年间相关数据，对长江经济带及区域间的碳排放、能源强度、碳吸收进行测算，并探讨长江经济带未来低碳发展策略，分析“高碳情景”与“低碳情景”下 2030 年各区域的碳减排潜力。研究发现：长江经济带碳排放聚集度较高且整体增速趋缓。东部区域碳排放均值最大，西部区域最小。中部区域碳排放增速最快，东部区域最慢。西部区域能源强度最高，东部区域最低；但中部区域能源强度降幅最大，东部区域降幅最小。西部区域碳汇能力最强，东部区域最弱。基于以上发现，从碳减排责任划分、低碳消费、清洁能源替代、高耗能产业优化以及区域生态质量提升等方面提出相关策略，力图实现碳源面的直接碳减排与碳汇面的相对碳减排。最后，经预测可知：2030 年，长江经济带“低碳情景”比“高碳情景”减少碳排放约 12 亿 t，中部区域将成为碳排放主要来源地。

【关键词】：长江经济带；碳减排潜力；低碳发展；碳汇

【中图分类号】：F205 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：1004-8227 (2018) 04-0695-10

【DOI】：10.11870/cjlyzyyhj201804001

长江经济带含有 11 个省市，囊括长江三角洲城市群、长江中游城市群、成渝城市群、黔中城市群与滇中城市群，地域间的经济发展水平、产业结构、资源禀赋、环境承载力等方面存在明显差异。随着长江经济带建设成为国家三大发展战略之一，如何实现长江经济带生态发展日益受到政府与学者重视。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》将长江经济带建设战略性定位为“生态优先，绿色发展”。国内外学者对长江经济带实现生态发展的研究正方兴未艾。现有研究可以归纳为以下几点。（1）资源与环境对长江经济带经济增长的约束力已凸显。历史上，长江经济带相对较低的资源成本优势极大的推动了区域经济发展，但这一比较优势在不断弱化^[1]，资源日益呈现出局投入、局消耗、高排放、低利用率“三高一低”状态^[2]，短期经济增长与长期可持续发展之间的矛盾日益凸显^[3]，环境保护对经济发展的重要性日益提高^[4]。（2）长江经济带生态效率亟需提高。长江经济带生态效率总体不高，且存在区域差异，但存在协调发展的有利环境；当前生态效率提升主要源于技术进步，创新规模效应尚未形成^[5~7]。长江经济带自然资本消耗日趋严重，全要素能源效率逐年下降，环境污染是全要素生产率损失的主要因素，生态足迹日益增大^[8~10]。（3）长江经济带碳排放影响因素复杂，碳减排措施应多样化。有学者认为，

¹**【收稿日期】**：2017-06-19；**【修回日期】**：2017-07-18

【基金项目】：教育部人文社会科学重点研究基地重大项目（11JJD790031）；江西省社科规划项目（16zk20）

【作者简介】：黄国华（1981~），男，博士研究生，副教授，主要从事经济可持续发展研究。E-mail: ghhuang@whu.edu.cn

技术进步是推动长江经济带节能减排效率提升和缩小区域差异的主要动力^[11]，人口总量是影响碳排放时空格局变化的最关键因素，工业碳排放增加主要源于劳动生产率提升^[13]，划定生态保护红线，实行严格保护的空间边界和管理限值化解经济发展、资源开发与生态环境之间矛盾的关键^[14]。已有研究关注长江经济带生态发展的宏观层面研究较多，多运用数据包络分析方法测算能源效率、生态效率或全要素生产率，少许研究分析了能源消耗与碳排放的影响因素。我国已对国际承诺 2030 年能源强度相比 2005 年将下降 60%~65%，在这一硬性约束下，核算长江经济带区域与整体层面碳减排潜力及碳减排具体措施是本文研究重点。

1、长江经济带经济发展与碳排放时空格局

1.1 长江经济带经济发展的时空格局

利用历年《中国统计年鉴》相关数据，基于 2005 年不变价格计算出 2005~2014 年长江经济带及全国实际国内生产总值。另将长江经济带分为东部、中部和西部来分析区域间的经济发展差异，东部区域包括上海、江苏、浙江，中部区域包括安徽、江西、湖北、湖南，西部区域包括重庆、四川、贵州与云南。利用经济总量前六位经济占比来衡量长江经济带的经济聚集度。计算结果见表 1。

表 1 2005~2014 年长江经济带国内生产总值（亿元）

	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
上海	9219.1	10191.8	11126.3	11574.2	12491.8	13360.9	13884.6	14157.3	15059.6	15982.1
江苏	18435.6	20959.7	23170.3	25486.4	28607.1	32243.0	35522.3	37921.5	41243.6	44138.8
浙江	13533.2	15152.9	16700.8	17655.6	19087.0	21577.3	23376.8	24317.5	26060.8	27242.8
安徽	5413.3	5892.6	6555.1	7281.6	8354.3	9619.7	11067.2	12074.1	13272.7	14138.3
江西	4085.6	4647.1	5165.3	5734.5	6355.5	7356.3	8464.9	9083.5	9946.4	10656.7
湖北	6566.4	7343.4	8311.7	9319.4	10760.5	12428.2	14200.4	15608.5	17112.1	18566.8
湖南	6557.5	7412.0	8406.3	9505.4	10842.4	12482.9	14227.3	15541.0	16994.6	18335.0
重庆	3092.3	3766.6	4164.3	4766.0	5421.3	6168.8	7241.4	8003.8	8823.4	9672.0
四川	7437.5	8377.5	9406.2	10366.0	11748.7	13376.1	15209.0	16746.6	18216.6	19351.7
贵州	1993.1	2254.8	2568.4	2929.8	3248.4	3582.0	4124.2	4806.8	5581.8	6283.9
云南	3497.5	3844.6	4250.1	4682.5	5122.2	5622.8	6432.5	7232.0	8167.0	8690.0
长江经济带	79831.2	89843.1	99824.9	109301.3	122039.3	137817.9	153750.6	165492.7	180478.5	193058.1
全国	187318.9	211147.4	241195.8	264472.8	289329.9	320102.6	350637.7	378186.4	407527.7	437256.3
长江经济带与全国经济比	0.4262	0.4255	0.4139	0.4133	0.4218	0.4305	0.4385	0.4376	0.4429	0.4415
长江经济带东部经济比	0.5159	0.5154	0.5109	0.5006	0.4932	0.4875	0.4734	0.4616	0.4564	0.4525
长江经济带中部经济比	0.2834	0.2815	0.2849	0.2913	0.2975	0.3039	0.3119	0.3161	0.3176	0.3196
长江经济带西部经济比	0.2007	0.2031	0.2042	0.2081	0.2093	0.2086	0.2147	0.2223	0.226	0.2279

长江经济带										
前六位经济比	0.7735	0.7729	0.7726	0.7677	0.7665	0.7653	0.7572	0.751	0.7463	0.7439

长江经济带经济发展整体较好，2014 经济总量年较 2005 年增长 141.83%，比全国平均水平高出 8.41%，经济总量占全国比重从 2005 年的 42.62%增长到 2014 年的 44.15%，值得注意的是这一比重从 2008 年金融危机后一直呈上涨趋势，说明长江经济带已成为中国经济可持续发展主要推动力。从省际层面看，经济增长最快的是西部地区的贵州与重庆，两者分别增长 215.28%与 212.78%；增长幅度最小是上海和浙江，分别增长 73.36%与 101.30%；经济增速西部>中部>东部，这与区域经济总量水平次序正好相反。东部地区依然是长江经济带经济发展的最主要动力源，但中西部地区与东部地区的差距在不断缩小；2005 年，东部地区经济总量占长江经济带总量的 51.59%，2014 年这一比重下降到 45.24%，且呈现持续下降趋势；中部区域继续保持对西部地区高 8%左右的较弱优势。中西部地区与东部地区经济产出差距的缩小，说明中部崛起与西部大开发战略整体实施效果较好。但同时清醒的看到，长江经济带经济聚集度很高，经济排名前六地区的经济总量占长江经济带比重一直在 74%以上，省际差距依然很大。江苏经济占东部地区比重稳步增加，从 44.76%上升到 50.52%；中部地区的湖北与湖南两省经济总量占比缓慢提升，从 58.01%增加到 59.81%，但整体差距相对较小；西部地区四川与重庆经济总量占比一直在 65%以上。长江经济带中西部区域间差距将不断缩小，但各段区域内省际间的差距将可能不断增大，东部江苏、中部湖北+湖南、西部四川+重庆三增长极日益凸显。

1.2 长江经济带碳排放与碳吸收

利用《中国能源统计年鉴》、《中国统计年鉴》及各省《统计年鉴》2005~2014 年相应能源消耗数据及生态数据计算各区域碳排放与碳吸收。碳排放计算公式为：

$$TCE_{jt} = \sum_{i=1}^m E_{ijt} \times \rho_i,$$

$$j = 1 \cdots n; i = 1 \cdots m, t = 1 \cdots u$$

式中：为 f 年 p 也碳排放总量； E_{ijt} 为 t 年 j 地区 i 能源消费量； ρ_i 为 i 能源的炭排放系数，能源的碳排放系数采取我国发展与改革委员会能源研究所的推荐值：煤炭为 0.7476t 碳/吨标煤，石油为 0.5825t 碳/吨标煤，天然气为 0.4435t 碳/吨标煤^[16]。计算结果见表 2。

表 2 2005~2014 年长江经济带碳排放量表（万 t）

	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2005~ 2014 年碳排 放增长率 (%)
上海	5510.8	5946.7	6479.2	6838.9	6946.1	7504.8	7550.9	7612.5	7601.8	7427.0	34.77
江苏	11502.2	12757.5	14035.2	14895.6	15885.2	17268.4	18484.6	19329.5	19567.4	20008.2	73.95
浙江	8061.2	8856.6	9731.2	10121.6	10429.8	11299.7	11944.1	12110.9	12488.8	12613.4	56.47

安徽	4359.0	4736.5	5185.4	5578.0	5960.3	6503.4	7081.9	7609.9	7836.3	8047.4	84.61
江西	2871.6	3122.3	3385.2	3606.6	3894.4	4257.8	4641.8	4846.1	5080.6	5396.9	87.94
湖北	6754.9	7402.9	8135.9	8606.0	9184.2	10142.2	11107.9	11842.3	10521.0	10934.4	61.87
湖南	6505.2	7089.2	7791.4	8278.1	8931.8	9969.6	10827.9	11218.5	9995.7	10262.4	57.76
重庆	3311.7	3596.9	3984.4	4336.5	4710.0	5263.2	5890.6	6216.3	5392.8	5757.3	73.85
四川	7916.8	8701.0	9523.5	10147.2	10935.6	11987.5	13196.3	13785.3	12872.0	13318.9	68.24
贵州	3779.6	4135.5	4555.8	4746.3	5069.4	5477.5	6075.6	6618.3	6230.3	6505.0	72.11
云南	4036.1	4435.8	4778.9	5032.2	5381.5	5811.7	6391.8	6990.8	6748.2	7004.9	73.56
长江经济带	64609.2	70780.8	77586.0	82187.0	87328.3	95485.9	103193.4	108180.2	104335.1	107275.7	66.04
全国	175117.2	191932.9	208666.1	214809.4	225204.4	241634.2	259318.8	269432.5	279331.7	285290.0	62.91
长江经济带 碳排放占全国 比	0.3689	0.3688	0.3718	0.3826	0.3878	0.3952	0.3979	0.4015	0.3735	0.376	
长江经济带 东部碳排放比	0.3881	0.3894	0.3898	0.3876	0.3809	0.3778	0.368	0.361	0.3801	0.3733	
长江经济带 中部碳排放比	0.3171	0.3158	0.3158	0.3172	0.3203	0.3233	0.3262	0.3283	0.3204	0.3229	
长江经济带 西部碳排放比	0.2948	0.2948	0.2944	0.2952	0.2988	0.2989	0.3058	0.3107	0.2995	0.3038	
长江经济带 碳排放前六位 占比	0.7159	0.7171	0.7179	0.7165	0.7135	0.714	0.7085	0.7016	0.7024	0.7009	

在 2005~2014 年间，长江经济带碳排放总量增长 66.04%，高出全国平均水平 3.13%，占全国碳排放总量比重先增后降。东中西区域碳排放总量为东部>中部>西部，东中西部碳排放占比较为稳定，区域间差距变化不大。省际层面碳排放差异较大，碳排放增幅最小的是上海的 34.77%，增幅最大是江西的 87.94%；2005~2014 年间碳排放总量最大的 3 个省份为江苏、浙江与四川，最小的 3 省市依次为江西、重庆和贵州。江苏是东部区域碳排放的重心，2014 年碳排放占东部区域 50%，且呈现持续上升趋势。湖南与湖北是中部地区碳排放的重心，两者碳排放量占区域总量 60%以上，但 2009 年后呈现逐步下降趋势，这源于 2009~2014 年间江西与安徽碳排放处于 38.58%与 35.02%高增速，高于同期湖北、湖南 19.06%与 14.90%的碳排放增速。四川是西部区域碳排放重心，但比重有所下降。从排放量前六区域碳排放总和和占比值来看，长江经济带碳排放聚集度很高，且较为稳定地保持在 70%以上。以上数据对比表明，长江经济带整体高投入、高消耗、高排放状况并没有得到根本性扭转，经济发展对能源消耗的依赖性强。金融危机推动东部沿海地区的传统制造业向中西部转移，导致中西部局部地区碳排放急速增加。

森林、草地、湿地、水域以及农作物等都具有较好的碳汇能力。碳汇能力表现为生态环境对碳的吸收利用能力，它是自然界的一种净化能力。碳汇计算公式为：

$$TC_t = \sum_{i=1}^n C_{it} + C_{ft} + C_{gt}, C_{it} = \frac{C_{ai} \cdot Y_{it}}{E_t}$$

式中：TC_t为t年生态碳吸收量；C_{it}为i农作物i年碳吸收量， $\sum_{i=1}^n C_{it}$ 为t年农作物碳吸收量，C_{ai}为i农作物碳吸收率，即合成单位有机质所吸收的碳；Y_{it}为t年i农作物经济产出量；E_i为i农作物经济系数，其等于经济产量与生物学产量比值；C_{ft}为第t年森林碳吸收量，C_{gt}为第t年草地碳吸收量。森林碳吸收率为3.809592t/hm²，草地碳吸收率为0.948229t/hm²^[17]。农作物经济系数与碳吸收率如下表3所示。

表3 主要农作物经济系数与碳吸收率^[18~20]

	蔬菜	水稻	小麦	玉米	薯类	大豆	棉花	花生	油菜
经济系数	0.600	0.450	0.400	0.400	0.700	0.340	0.100	0.430	0.250
农作物碳吸收率（tc/t）	0.450	0.414	0.485	0.471	0.423	0.450	0.450	0.450	0.450

以2014年为例，长江经济带森林吸收碳3.22亿t，草地吸收碳0.61亿t，农作物吸收碳4.83亿t，3者共计吸收碳8.67亿t，长江经济带碳净排出2.06亿t碳。各省碳净排出量从大到小依次为江苏（10291万t）、浙江（7955万t）、上海（7007万t）、重庆（1902万t）、贵州（1219万t）、湖北（876万t）、安徽（380万t）、湖南（~257万t）、四川（~1881万吨）、江西（~2046万t）、云南（~4870万t）。东部地区碳排放净值为25252万t，中部地区与西部地区碳吸收能力大于碳排出，两者碳排放净值为~1047万t与~3632万t。总体而言长江经济带中西部生态环境要明显好于东部地区，东部地区环境压力大，碳减排责任重。

1.3 长江经济带能源强度

能源强度是衡量一个地区经济发展对能源的依赖程度，表示为单位产值的能源消耗，一般为吨标煤/万元。能源强度越高，单位产值经济增长对能源消耗的依赖越大。能源强度的计算公式为EI_j=E_j/GDP_j，EI_j为j地区能源强度，E_j为j地区能源消费量，GDP_j为j地区实际国内生产总值。将长江经济带2005~2014年相应能源消耗与实际国内生产总值相比，得出相应能源强度如下表4所示。

表4 2005~2014年长江经济带能源强度表（吨标煤/万元）

	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2005~2014 能源强度 下降比率（%）
上海	0.892	0.871	0.869	0.882	0.830	0.838	0.812	0.803	0.753	0.694	22.26
江苏	0.931	0.908	0.904	0.872	0.829	0.799	0.777	0.761	0.708	0.677	27.34
浙江	0.889	0.872	0.870	0.856	0.816	0.782	0.763	0.743	0.715	0.691	22.27
安徽	1.202	1.200	1.181	1.143	1.065	1.009	0.955	0.941	0.881	0.850	29.31
江西	1.049	1.003	0.978	0.939	0.915	0.864	0.818	0.796	0.762	0.756	27.95
湖北	1.535	1.505	1.461	1.378	1.274	1.218	1.168	1.132	0.918	0.879	42.75
湖南	1.481	1.428	1.383	1.300	1.230	1.192	1.136	1.077	0.878	0.835	43.58
重庆	1.598	1.425	1.428	1.358	1.297	1.273	1.214	1.159	0.912	0.888	44.42
四川	1.589	1.550	1.511	1.461	1.389	1.338	1.295	1.229	1.055	1.027	35.34
贵州	2.830	2.737	2.647	2.418	2.329	2.282	2.199	2.055	1.666	1.545	45.41
云南	1.722	1.722	1.678	1.604	1.568	1.543	1.483	1.443	1.233	1.203	30.15

长江经济带	1.208	1.176	1.160	1.122	1.068	1.034	1.002	0.976	0.863	0.829	31.34
全国	1.395	1.357	1.291	1.212	1.162	1.127	1.104	1.063	1.023	0.974	30.21
长江经济带											
东部地区能源强度	0.909	0.888	0.885	0.869	0.825	0.801	0.779	0.763	0.719	0.684	24.70
长江经济带											
中部地区能源强度	1.352	1.319	1.286	1.222	1.150	1.100	1.048	1.013	0.870	0.838	38.01
长江经济带											
西部地区能源强度	1.774	1.707	1.672	1.592	1.525	1.482	1.427	1.364	1.143	1.105	37.70

从整体上看，长江经济带能源强度处于持续下降态势。2005~2014年间，我国能源强度下降30.21%，长江经济带能源强度整体下降31.34%，这表明长江经济带经济发展对能源的依赖弱于国家平均水平。分区域来看，各区域间能源强度差异较大，且能源强度降幅大小不一。东部区域能源强度最低，但能源强度降幅最小；中部地区能源强度高于东部地区，但能源强度降幅最大；西部地区能源强度最大，能源强度降幅接近于中部地区。从省级层面来看，各省市间的能源强度与能源降幅存在差异。2005年长江经济带有6个省市能源强度高于国家平均水平，2014只有3个省市能源强度在国家平均水平之上。江苏能源强度最低，但能源强度降幅最小；贵州能源强度最高，能源强度降幅最大。湖南、湖北、重庆、贵州已提前完成2020年的能源强度下降40%~45%目标；按当前降速，上海、浙江完成2020年能源强度下降目标有难度。从上述数据对比分析可知，长江经济带能源强度与能源强度下降幅度都好于国家平均水平。基于各区域能源强度大小及减排能力差异，未来各区域的碳减排强度与策略应有所不同。

2、长江经济带低碳发展策略构思

长江经济带未来碳减排坚持整体满意原则，以实现长江经济带2030年能源强度相比2005年下降60%~65%为硬约束。在具体到省际层面，要考虑到公平原则，即能力与责任相匹配，减排能力强、历史碳排放量大地区减排责任更大；经济发展欠发达地区，基于经济发展与产业转型时间需要，可以承担相对较小的碳减排责任。碳减排要抓住碳主要排放源与未来碳排放重点区域，要从碳源、碳汇两头齐抓共管。碳排放主要来自生活性碳排放与生产性碳排放，生活性碳排放源自于居民生活中吃、穿、住、行中对能源的消耗，生产性碳排放主要源于各产业生产对能源的消耗，而工业碳排放是生产性碳排放的主要来源。优化能源结构则是从源头来实现能源清洁化与低碳化，增加碳汇则是增加终端（自然界）对碳的净化能力来实现碳排放。

2.1 东部地区应该承担更多的碳减排责任

按照上述原则，长江经济带东部地区应当承担更多的碳减排责任。根据2008年日本经济研究所数据，2005年我国单位产值能耗为790toe/百万美元，而同期经济合作与发展组织（OECD）的单位产值能耗只有195toe/百万美元。以经济合作与发展组织（OECD）2005年单位产值能耗作为东部地区2030年单位产值能耗目标，即2030年东部地区单位产值能耗相对于2005年要下降75%。按此能源强度计算，2030年东部地区能源消耗将为5.33亿吨标煤，比相比2005年能源强度下降60%~65%的低碳发展情景节约能源2.67亿t，比保持2014年能源强度不变的高碳发展情景节约能源10.68亿t。东部通过强低碳发展节约下来的能源指标，可以平均分配给中西部地区碳汇能力强，历史排放量小，经济欠发达的云南、江西、贵州等地区，以缓解碳减排对其经济发展的约束。东部地区应借助其经济优势与技术优势，技术创新与能源替代是其实现低碳发展的主要途径。

2.2 以低碳技术创新与政策激励促进城镇生活低碳化

城镇化能明显提升国民购买力^[25]，但城镇化也改变了原农村居民生产与生活方式，居民衣食住行的改变，导致城镇生态包袱不断增大，城市生活性碳排放增长迅速。根据预测，我国人口在 2040 年将达到顶峰，届时人口总数为 14.7 亿，城镇化率约为 70%。以湖北省为例，2015 年，农村居民年人均生活性碳排放为 0.59t，而城镇居民年人均生活性碳排放为 3.22t，是农村居民的 5.5 倍，城市急需生活低碳化。低碳交通与低碳居住是低碳生活的两个主要方面^[26]。汽车尾气排放随着汽车的普及已成为城市环境重要污染源，增加纯电力与新能源汽车占有率将有效助力碳减排。以家庭小汽车为例，按《2050 年中国能源与碳排放报告》中预测数据，2030 年我国家庭小汽车为 3.346 亿辆，家庭汽车年运行里程平均值为 7000km，以每百公里油耗 5.4L（日本 2005 年数据）^[18] 计算，可大致推算出长江经济带 2030 年家庭小汽车能耗总量约 1 亿吨标煤；如加上公共车辆（公共汽车、出租车）能源消耗，则长江经济带汽车 2030 年消耗能源将约为 3 亿吨标煤。如能将汽车能源消耗下降 30%~50%，将可以减少能源消耗 1.0~1.5 亿吨标煤，约占低碳情境下能源减少量的 5%~7%。交通碳减排应是多方面的。首先，将大中城市公共车辆（公共汽车、出租车）逐步转换成纯电力或混合动力汽车；其次，大力发展城市公共交通，将城市公共交通比例维持在 80%以上；再次，实行严格燃油汽车限购政策，提升纯电力汽车购置补贴比例，完善城市与高速公路充电桩建设。最后，对燃油实行污染定价，即将燃油污染环境成本计入燃油价格中，通过价格杠杆推动居民用车成本，进而达到机动车减排目的。对燃油汽车的限购可以“先东后西，先大后小”，即先从东部地区大城市开始，再逐步推广到中西部地区大城市，进而向中小城市推广，这主要源于城市交通、环境承载力、清洁交通建设能力考虑，大城市城市交通压力大，环境承载力弱，交通低碳化能力好于中小城市。在住的方面，要严格执行新的居住建筑节能标准，用工业废渣制成的空心砖替代实心黏土砖，实现 2020 年城镇绿色建筑比例达 50%以上，2030 年增加到 75%以上。另外，大力推广家庭节能电器使用比例，淘汰高耗能电器产品，实行更加科学和具有激励性的电、燃气梯度定价模式。

2.3 以能源替代优化能源结构

能源结构在未来将需要进一步优化，实现清洁化。（1）煤炭所占化石能源比重将下降。介于煤炭的高碳排放，以石油、天然气替代煤炭势在必行。（2）化石能源占能源比重将进一步下降。以 2014 年煤炭、石油、天然气消耗比重比为例，长江经济带整体为 0.52: 0.38: 0.10，工业生产中三者比为 0.73: 0.17: 0.10。从区域来看，东部地区为 0.34: 0.56: 0.10，中部为 0.61: 0.34: 0.05，西部地区为 0.59: 0.28: 0.13。三者工业生产中的消耗比，东部地区为 0.59: 0.29: 0.12，中部地区为 0.82: 0.13: 0.05，西部地区为 0.77: 0.09: 0.14。由此可知，工业能源结构调整是未来碳减排重点，降低煤炭消耗比重是关键，中西部地区是降煤增效的核心区域。优化能源结构就是以碳排放系数低的油气替代煤炭，以非化石能源替代化石能源。石油平均低位发热量均值为 42485kJ/kg，折成标煤系数为 1.4497kg ce/kg；煤炭平均低位发热量均值为 24672kJ/kg，折成标煤系数为 0.8418kg ce/kg；天然气平均低位发热量为 38931kJ/kg，折成标煤系数为 1.3284kg ce/kg；发热当量相同下，煤炭、石油、天然气消耗比为 1: 0.581: 0.634。同当量热量下，以油代煤可以减少碳排放 54.7%，以气代煤可以减少碳排放 62.4%。通过以油气替代煤炭将长江经济带煤炭所占比例控制在 45%以下，工业煤炭消耗控制在 60%以下，将极大的减少长江经济带碳排放。此外，需要增加非化石能源所占比例，大力发展清洁能源。①大力发展城市建筑光伏发电，发挥建筑的蓄电池功效，在 2020 年前实现光伏发电与电网销电价格相当，实现全区域光伏发电 0.5 亿 kW，2030 年达到 1.5~2.0kW。②适度推动生物质石油替代。乙醇的碳排放系数为 0.4797kgc/kg，相比同当量油料可以减少 17.7%碳排放。适度推广生物质石油替代，还可以促进玉米、大豆等经济作物在长江经济带一定程度上的规模化种植。③支持长江经济带湖北、湖南、江西核电站建设，替代火力发电对煤炭的消耗。一公斤铀裂变后产生的热量与 2700t 煤燃烧产生的热量相当，以全国 2014 年核电为例，全年核电总发电量为 1305.8 亿 kW·h 时，相当于减少燃烧标煤 4152.44 万 t，减少碳排放 2782.13 万 t，这一数据相当于长江经济带 2014 年工业能源消耗的 9.5%。

2.4 推动高耗能产业技术改进与产业重组

随着我国在供给侧改革中的去产能逐步推进，高碳产业将有 3 条路径可走。一是向上走，通过产业转化，进入一个低碳新型产业。二是向前走，通过技术进步，实现产业低碳化。三是向下走，被市场淘汰。钢材、水泥、乙烯、火电等高耗能产业能源效率提升是实现工业碳减排的关键，而企业规模与技术水平是影响其能源效率的两个最重要因素。据国家发展和改革委员会

会能源研究所数据（2006）（t/a；t/d），钢铁企业 1000 万 t/a 能耗为 650~690kg ce/t，100~1000 万 t/a，能耗为 750~790kg ce/t，而小于 100 万 t/a 能耗为 900kg ce/t；水泥生产中，采取新型干法的企业，当企业产能大于 8000t/d，产品能耗为 98kg ce/t，产能在 4000~8000t/d 时，能耗为 110kg ce/t，产能在 4000t/d 以下时，能耗为 120kg ce/t，采取新型干法生产线的大企业比用立窑的小企业能耗平均要低 26%。乙烯企业产能大于 80 万 t/a，能耗为 730kg ce/t，产能在 60 万~80 万 t/a，能耗为 857kg ce/t，而产能小于 20 万 t/a，能耗为 1057kg ce/t。火力发电中，小于 1000MW 机组煤耗比大于 300MW 高出 30%~50%。坚决关停淘汰产能低下的高耗能企业，尤其是东部地区，通过企业重组来提升企业产能，实现产品耗能提升，同时警惕高耗能型的小企业流向农村与小城镇。

2.5 逐步提升区域碳汇能力

提升区域碳汇能力相当于对碳排放做减法，增加森林、草原、农作物、土地、湿地、水体等对碳排放的吸收能力，将大力缓解碳排放对环境造成的压力。首先，各省市应制定各自碳汇目标，划定生态红线。碳汇目标可以采取两种方式，一是按照碳排放年增加值等于碳吸收年增加值来制定区域碳汇目标，二是以区域碳排放峰值等于碳吸收峰值来制定碳汇目标，第二种相比第一种方式而言减排要求更高。其次，划定城市边界，建设城市生态保护带。区域碳排放主要来自城市，而碳吸收来自于城市以外，所以城市碳密度高。划定城市边界，减少城市发展对生态环境碳吸收的影响，并利于集约型城市发展。建设城市生态保护带，有利于缓解城市碳排放对城市环境的压力。最后，大力发展生态农业，降低化肥、农药使用对土地碳汇的影响，减少农业生产中的碳排放。

3、长江经济带碳减排潜力测算

3.1 测算思路

碳源测算思路。根据“能源消耗（吨标煤）=能源强度（吨标煤/万元）×经济总量（万元）”这一公式，只要测算出当年经济总量与能源强度，就可以得出能源消耗量。假设长江经济带各省市未来有两种发展情景：高碳发展与低碳发展。高碳发展即各省市按照现有能源强度不变实现经济发展，低碳发展指各省市都将 2030 年能源强度在 2005 年能源强度基础上下降 60%~65% 作为硬约束加以完成，实现经济持续低碳化发展。首先，分析预测出各省市经济未来增长速度，进而计算出相应年份的经济总量。其次，设定两种情景下 2020 年与 2030 年能源强度。在高碳情景下，假设各地区未来每年能源强度保持 2014 年同一水平；低碳情境下，假设 2020 年能源强度下降到 2005 年的 45%，2030 年能源强度下降到 2005 年的 65%。再次，通过经济总量与能源强度乘积得出相应年份的能源消耗；最后，根据两种情境下能源消耗对比算出区域碳减排潜力。

碳汇测算思路。本文所测算的碳汇主要来自森林、草地与农作物 3 个方面，基于草地与农作物碳汇能力相对固定，故主要讨论森林碳汇能力变化。森林碳汇能力影响来自于两个方面，一是森林覆盖面积，二是森林单位面积林木蓄积量。依据对各区域“林业十三五规划”的相关数据，估测出 2020 年及 2030 年各区域森林碳汇能力，进而得出届时各区域的碳汇总能力。

3.2 测算结果

诸多学者与机构对我国经济未来增长做出过预测，我们选取了一些具有代表性预测值（见表 5），结合我国政府计划十三五期间保持经济年均增速不低于 6.5%这一目标，将我国“十三五”期间年均经济增速定为 6.6%，2020~2030 年定为 5.2%。

表 5 中国经济未来增长预测

经济增长预测	2016~2020 年	2020~2030 年
中国社科院 李京文 ^[21] （1997 年）	6%	6%

国务院发展中心 李梦奎, 等 ^[16] (2002 年)	6.60%	5.40%
国家信息中心 梁优彩, 等 ^[16] (2002 年)	7.30%	5.50%
高盛公司 ^[16] (2003 年)	4.35%	4.35%
清华大学课题组 ^[16] (2004 年)	6.18%	4.76%
国际能源署 (IEA) ^[16] (2007 年)	7.70%	4.90%
Perkins&Rawski ^[22] (2008 年)	5%~7% (2016~2025)	
2050 中国能源和碳排放研究课题组 ^[16] (2009 年)	8%	6%
陈昌盛 ^[23] (2015 年)	6.2% (2016~2025)	
郭豫媚, 等 ^[24] (2015 年)	6.3% (2016~2025)	
平均增长率	6.60%	5.20%

长江经济带 2016~2020 年省市年均经济增速来源于对各“十三个五年规划”相应数据 (表 6); 长江经济带 2020~2030 年经济增速按照国家经济增长预测值做相应调整, 即 $r_2=r_1 \times R_2/R_1$, r_1 与 r_2 是某区域 2016~2020 年及 2020~2030 年的经济增速, R_1 与 R_2 是国家在两个时间段的经济增速。经测算, 长江经济带 2020 年经济总量将达到 30.73 万亿元, 占全国经济总量的 47.9%; 2030 年长江经济带经济总量将达到 57.08 万亿元, 占全国经济总量的 53.6%, 东部、中部、西部的经济总量分别占长江经济带总量的 40.9%、34.4%和 24.7%, 区域间经济进一步趋衡。高碳发展情境下, 长江经济带 2030 年能源消耗达到 47.34 亿吨标煤; 低碳发展情境下, 长江经济带能源消耗为 26.77 亿吨标煤, 低碳发展比高碳发展情景将少消耗能源约 20.57 亿吨标煤。如 2030 年长江经济带煤炭、石油、天然气三类能源比重能优化到 0.4: 0.45: 0.15, 这种能源比例结构略好于 2014 年东部地区。届时煤炭将少消耗 7.31 亿 t, 石油少消耗 3.72 亿 t, 天然气少消耗 0.99 亿 t, 减少碳排放近 12.01 亿 t。2030 年, 各省市低碳发展比高碳发展少消耗能源值分别为上海 (1.38 亿 t)、江苏 (3.96 亿 t)、浙江 (2.67 亿 t)、安徽 (1.76 亿 t)、江西 (1.21 亿 t)、湖北 (1.87 亿 t)、湖南 (1.60 亿 t)、重庆 (1.06 亿 t)、四川 (2.29 亿 t)、贵州 (2.03 亿 t)、云南 (1.51 亿 t)。在低碳发展情景下, 各省份 2030 年相比 2014 年能源消耗增长量分别为上海 (0.18 亿 t)、江苏 (1.24 亿 t)、浙江 (0.61 亿 t)、安徽 (0.79 亿 t)、江西 (0.50 亿 t)、湖北 (1.92 亿 t)、湖南 (1.64 亿 t)、重庆 (1.33 亿 t)、四川 (1.17 亿 t)、贵州 (0.67 亿 t)、云南 (0.71 亿 t)。在低碳发展情景下, 2030 年东部、中部与西部能源消耗占比分别为 29.87%、37.46%与 32.67%, 中部地区将成为长江经济带碳排放的主要来源地。从省域层面看, 低碳发展情境下, 2030 年江苏省依旧是长江经济带能源消耗第一大省, 其次是湖北、湖南和四川 3 省, 能源消耗最小的省份是江西、贵州和云南。

表 6 长江经济带两种情景下能源消耗预测值

	经济增速 预测值 (%)		经济总量 预测值 (亿元)		高碳情景 能源强度 (吨标煤/万 元)		高碳情景 能源消耗 (万吨标煤)		低碳情景 能源强度 (吨标煤/万 元)		低碳情景 能源消耗 (万吨标煤)	
	2016 ~ 2020 年	2020 ~ 2030 年	2020 年	2030 年	2020 年	2030 年	2020 年	2030 年	2020 年	2030 年	2020 年	2030 年
上海	6.5	5.1	23320.2	38426.9	0.694	0.694	16174.6	26652.4	0.491	0.335	11443.1	12856.3
江苏	7.5	5.9	68119.4	120949.3	0.677	0.677	46087.6	81830.8	0.512	0.349	34888.4	42235.9
浙江	7.5	5.9	42043.	74650.9	0.691	0.691	29054.	51587.1	0.489	0.333	20558.	24888.

			8				2				4	0
安徽	8.5	6.7	23066.2	44105.9	0.85	0.85	19595.6	37469.5	0.661	0.451	15247.3	19878.4
江西	8.5	6.7	17386	33244.6	0.756	0.756	13141.5	25128.4	0.577	0.393	10031.5	13078.4
湖北	9	7.1	31138.5	61776.5	0.879	0.879	27370.3	54300.7	0.844	0.576	26295.2	35568.9
湖南	8.5	6.7	29912.9	57197.9	0.835	0.835	24989.2	47783	0.814	0.555	24359.4	31758.2
重庆	10	7.9	17134.5	36579	0.888	0.888	15223	32498.4	0.879	0.599	15063.9	21926.3
四川	7.5	5.9	29865.6	53027.8	1.027	1.027	30679.3	54472.6	0.874	0.596	26096.4	31592.3
贵州	10	7.9	11132.3	23765.4	1.545	1.545	17200.1	36719	1.061	0.692	11811.3	16444.6
云南	8.5	6.7	14177.5	27109.5	1.203	1.203	17057	32615.4	0.947	0.646	13430.2	17509.5
长江经济带			307296.9	570833.5	0.829	0.829	254857.1	473421.5	0.664	0.453	204045.1	267736.9
全国	6.6	5.2	641622.1	1065213.6	0.974	0.974	624820.1	1037319.2	0.802	0.523	514580.9	557106.7

据测算，2020 年长江经济带碳汇能力将增加 0.30 亿 t，碳汇总量约为 8.97 亿 t，相比 2014 年增长 7.8%，其中，87.6%的碳汇增量来自中西部地区。受土地、地形与环境等的约束，各区域碳汇提升能力有限，提升幅度将不断变小。2030 年长江经济带碳汇能力将达到 9.35 亿 t，相当于少消耗标煤 14.54 亿 t；碳汇能力相比 2020 年增长 4.4%，其中 89.4%的碳汇增量来自中西部地区。就省域而言，2030 年各省域碳汇能力分别为四川（1.61 亿 t）、云南（1.28 亿 t）、湖南（1.17 亿 t）、湖北（1.07 亿 t）、江苏（0.99 亿 t）、江西（0.83 亿 t）、安徽（0.80 亿 t）、浙江（0.52 亿 t）、贵州（0.52 亿 t）、重庆（0.45 亿 t）、上海（0.04 亿 t）。整体而言，长江经济带中西部碳汇能力较大，但碳汇提升速率跟不上区域碳排放增长速度。另外，长江经济带部分省份的森林覆盖率已较高，如浙江、江西、云南、湖南等省份的森林覆盖率已接近（超过）60%，区域未来靠增加森林覆盖率来提升碳汇的空间有限；但我们可以通过调整林木种植结构、增加森林林木蓄积量、减少农业化肥使用以及增加农村与城市的绿化水平等措施，从整体上提升自然生态对碳的吸附率。

[参考文献]:

- [1]ZHENG D F, ZHANG Y, ZANG Zh, et al .The driving forces and synergistic effect between regional economic growth, resources and the environment in the Yangtze River Economic Zone[J]. Journal of Resources and Ecology, 2014 (03) : 203~210.
- [2]卢丽文, 宋德勇, 李小帆. 长江经济带城市发展绿色效率研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016 (06) : 35~42.
- [3]刘振中. 促进长江经济带生态保护与建设[J]. 宏观经济管理, 2016 (09) : 30~33, 38.

-
- [4]周 成, 冯学钢, 唐睿. 区域经济—生态环境—旅游产业耦合协调发展分析与预测——以长江经济带沿线各省市为例[J]. 经济地理, 2016 (03): 186~193.
- [5]汪克亮, 孟祥瑞, 杨宝臣, 等. 基于环境压力的长江经济带工业生态效率研究[J]. 资源科学, 2015 (07): 1491~1501,
- [6]游达明, 黄曦子. 长江经济带省际工业生态技术创新效率评价[J]. 经济地理, 2016 (09): : 128~134.
- [7]孙 欣, 赵 鑫, 宋马林. 长江经济带生态效率评价及收敛性分析[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2016 (05): 1~10.
- [8]吴传清, 董 旭. 环境约束下长江经济带全要素能源效率的时空分异研究——基于超效率 DEA 模型和 ML 指数法[J]. 长江流域资源与环境, 2015 (10): 1646~1653.
- [9]汪凌志. 自然资本视角下贸易开放的环境效应——基于长江经济带的生态足迹分析[J]. 贵州财经大学学报, 2015 (06): 70~79.
- [10]刘传江, 赵晓梦. 长江经济带全要素碳生产率的时空演化及提升潜力[J]. 长江流域资源与环境, 2016 (11): 1635~1644.
- [11]田 泽, 严 铭, 顾 欣. 碳约束下长江经济带区域节能减排效率时空分异研究[J]. 软科学, 2016 (12): 38~42.
- [12]李建豹, 黄贤金. 基于空间面板模型的碳排放影响因素分析——以长江经济带为例[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24 (10): 1665~1671.
- [13]黄国华, 刘传江, 李兴平. 长江经济带工业碳排放与驱动因素分析[J]. 江西社会科学, 2016 (08): 54~62.
- [14]高吉喜. 划定生态保护红线, 推进长江经济带大保护[J]. 环境保护, 2016 (15): 21~24.
- [15]周宏春. 低碳经济学: 低碳经济理论与发展路径[M]. 机械工业出版社, 2013: 35~36.
- [16]2050 中国能源和碳排放研究课题组. 2050 中国能源与碳排放报告[M]. 科学出版社, 2010: 682, 777~782.
- [17]谢鸿宇, 刘年丰, 姚瑞珍, 等. 生态足迹分析的资源产量法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2006 (11): 1018~1021.
- [18]赵荣钦, 刘 英, 丁明磊, 等. 河南省农田生态系统碳源/汇研究[J]. 河南农业科学, 2010 (07): 40~44.
- [19]韩召迎, 孟亚利, 徐 娇, 等. 区域农田生态系统碳足迹时空差异分析——以江苏省为案例[J]. 农业环境科学学报, 2012 (05): 1034~1041.
- [20]MARILYN A, BROWN F S, SARZYNSKI A .The geography of metropolitan carbon footprints[J].Policy and Society, 2009, 27: 285~304.
- [21]李京文. 中国经济发展的长期预测(1996~2050) [J]. 中外管理导报, 1997 (08): 8~10.

[22]PERKINS D, AND T.RAWSKI .Forecasting China’ s Economic Growthto2025, in Brandt, L. , and T.Rawski (eds.) , China’ s Great Economic Trans formation[C].Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2008.

[23]陈昌盛, 何建武. 未来十年中国经济增长展望[N]. 经济日报, 2015~06~18013.

[24]郭豫媚, 陈彦斌. 中国潜在经济增长率的估算及其政策含义: 1979~2020[J]. 经济学动态, 2015 (02) : 12~18.

[25]樊 纲, 马蔚华. 农业转移人口市民化与中国产业升级[M]. 中国经济出版社, 2013: 6~7.

[26]诸大建, 陈 飞, 刘国平. 中国低碳经济蓝皮书[M]. 同济大学出版社, 2012: 156~158.