

城市规模以上工业碳排放的行业差异研究

——以长沙市为例

周跃云¹

【摘要】通过对 2001—2013 年长沙市规模以上工业能耗碳排放的行业差异分析，发现：(1)工业直接碳排放总量呈逐年增长之势，能源产业碳排放量的比重在逐年上升，采选业的比重却呈逐年下降之势，制造业的比重近年来虽呈下降趋势，但仍是比重最高的行业。(2)大部分年份表现出工业增长与碳排放量之间的明显脱钩关系，这种有效的脱钩关系主要得益于工业能源效率的提高。(3)工业直接碳排放量具有行业集中的特点，又具有明显的行业差异性，可将之划分为高碳行业、中碳行业、低碳行业及碳排放关注行业 4 种类型，因而应根据不同类型特征采取针对性强的节能减碳对策。(4)具有专业化优势和比较优势的行业大多集中在低碳行业，对这些行业要重点扶持和努力培育，这是产业结构向低碳化、高端化发展的主要方向。

【关键词】规模以上工业；能源消耗；碳排放；行业差异

长沙市近年来重化工业特征较为明显，2013 年轻重工业增加值的比重为 43:57，另电力、热力的生产和供应业、非金属矿物制品业、有色金属冶炼及压延加工业、化学原料及化学制品制造业、专用设备制造业、造纸及纸制品业是长沙市的六大传统高耗能行业，2014 年其综合能耗约占全市规模工业综合能耗的 1/3。由此可见长沙市工业经济的节能减碳势在必行。

关于工业增长、能耗与二氧化碳排放方面的国内外研究主要可概括为以下 4 个方面：一是工业能耗碳排放的测算与分析^①，二是工业能耗碳排放的影响因素与驱动力研究^②，三是探讨能耗、碳排放与工业增长之间的关系^③，四是探索能耗、碳排放与工业可持续发展间的关系^④。上述研究对于认识工业能耗碳排放的特征与驱动力及其与工业增长之间的关系，判断其发展轨迹及趋势，具有较为重要的意义。但不同区域的发展阶段、产业结构和能源结构不同，能源消费及其碳排放的空间差异性较大，即使是同一区域，能耗和碳排放在不同行业也会体现出较大的异质性。这方面的研究除吕可文等^⑤研究了河南这个省域尺度的工业能源消耗碳排放行业差异外，其他针对城市这一尺度的相关研究尚未见到。为制定城市工业节能减碳政策，体现出地域差异性和行业针对性，本研究尝试在此作出努力，即以长沙市为例，分析规模以上工业能耗碳排放的整体特征和行业差异，锁定控制碳排放的重点行业。

一 研究区域与研究方法

(一) 研究区域

本文研究的区域为长沙整个市域。作为省会，长沙是湖南政治、经济、文化、交通、科技、金融、信息中心，是我国中西部地区最具竞争力的城市之一，还是国家“两型社会”建设试验区、国家级两化融合试验区。2014 年长沙市单位 GDP 能耗为 0.551 吨标准煤，全部工业增加值占 GDP 的比重达 45.7%，其中规模以上工业能耗为 519.19 万吨标准煤，占全部工业能耗的 65%以上，占全市总能耗的二成以上，故规模以上能耗碳排放也相应占全部工业碳排放的大部分。

1. 作者简介：周跃云，湖南工业大学建筑与城乡规划学院院长，教授，博士生导师。（湖南株洲，412007）

基金项目：教育部人文社科规划基金“城市化加速推进背景下中部典型省会城市碳排放的预警与调控——基于长沙市的实证”（12YJA790215）

(二) 研究方法

本文采用 3 个指标来分析：直接碳排放量、碳排放强度和规模以上工业区位商。

1. 工业能耗直接碳排放量的测算方法

采用《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》第 2 卷第 6 章的参考方法⑥估算工业直接碳排放量。i 部门 CO₂排放总量可以用 j 种能源消费引起的直接碳排放量通过计算加总得到，公式表示如下：

$$CE = \sum_j CE_{ij} = \sum_j E_{ij} \cdot NCV_j \cdot CC_j \cdot COF_j \times$$

44/12

(1)

式中，CE_i表示 i 部门 CO₂直接碳排放总量，单位是 t；CE_{ij}表示 i 部门 j 种能源的直接碳排放量，单位为 t；E_{ij}表示 i 部门 j 种能源消费的实物量，单位为 t 或 m³；NCV_j表示通用能源单位 TJ 的转换系数；CC_j表示 j 种能源的碳含量，单位为 t/TJ；COF_j表示 j 种能源的碳氧化因子。

2. 碳排放强度

碳排放强度为直接碳排放量与行业增加值的比值，计算公式如式 (2)。其中采用 2001 年的价格作为基准年，利用工业 GDP 平减指数对各年规模以上工业增加值的不变价进行换算。

$$I = CE/Y$$

(2)

式中，CE 表示 CO₂直接碳排放总量，单位是 t；Y 表示规模以上工业增加值。

3. 工业区位商

由于缺乏湖南省规模以上工业行业的产值或增加值数据，就利用长沙市规模以上工业某一行业销售产值占规模以上工业销售总产值的比重，与湖南省规模以上工业某一行业销售产值占全省规模以上工业销售总产值比重的商值来计算区位商，如式 (3)。

$$L = (s_i / \sum s_i) / (S_i / \sum S_i)$$

(3)

式中：s_i、S_i分别为长沙市、湖南省规模以上工业某行业 i 的销售产值；Σ s_i、Σ S_i分别为长沙市、湖南省规模以上工业各行业的销售总产值。区位商 L 大于 1，表明该部门是长沙市的专业化部门或优势部门。

二数据来源与处理方法

(一) 数据来源

考虑到能源消费和经济社会数据的可得性，本文的样本区间选择 2001~2013 年。样本区间内长沙市规模以上工业企业的工业增加值、主要能源消费量等基础数据来源于长沙统计年鉴 2002—2014。2013 年长沙市工业分行业的销售产值、工业增加值分

别来自《长沙统计年鉴 2014》、《长沙年鉴 2014》，2013 年湖南省工业分行业的销售产值则来自《湖南统计年鉴 2014》。

(二) 处理方法

为剔除价格因素的影响，对工业增加值根据 2001 年工业品出厂价格指数进行平减，并据此计算能源消费强度、碳排放强度。能源种类涉及原煤、天然气、汽油、热力、电力等 17 种，统计年鉴中的工业部门包括了 38 个分行业（编号见表 3）。此外，本文工业碳排放量的计算尽量采用了我国碳排放因子，能源折标准煤系数来自于《中国能源统计年鉴》，能源潜在排放因子和碳氧化率则来自于《中国温室气体清单研究(2007 年)》。

三能耗直接碳排放量的行业分析

(一) 直接碳排放量的整体特征

先从能耗直接碳排放量来看，碳排放总量呈逐年增长之势(图 1)。从 2001 年的 389.73 万吨增长到 2013 年的 1631.13 万吨，年均增速为 12.67%。若将工业粗略划分为采选业(编号 17、11、33、23)、能源产业（编号 1、34、32）和制造业（除前述行业外的其他细分工业行业）三大行业，则如图 1 所示，三大行业的直接碳排放量增长趋势出现一定程度的分化：制造业大部分年份增速平稳，但在 2007 年增长到峰值后呈下降趋势；能源产业也在逐年增长，特别是 2007 年后增速更快；而采选业在 2007 年增长到 53.41 万吨的峰值后却呈逐年下降之势，特别是 2010 年后降速较快。

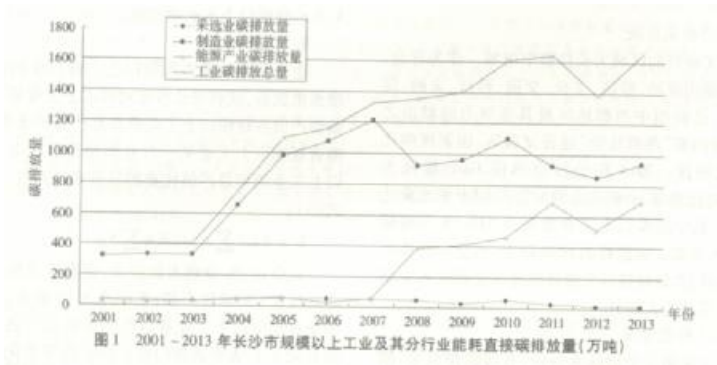


图 1 2001—2013 年长沙市规模以上工业及其分行业能耗直接碳排放量(万吨)

再从工业行业构成来看，能源产业能耗直接碳排放量在能耗碳排放总量中的比重逐年上升，从 2001 年的 10.24%上升到 2013 年的 42.26%；采选业的比重却呈逐年下降之势，从 2011 年的 8.64%下降到 2013 年的 0.83%；制造业的比重呈阶段式变化，2001—2006 年从 81.12%逐年上升到 92.84%，而 2007—2013 年却从 91.57%下降到 56.91%，但目前依然是能耗直接碳排放量中比重最高的行业。

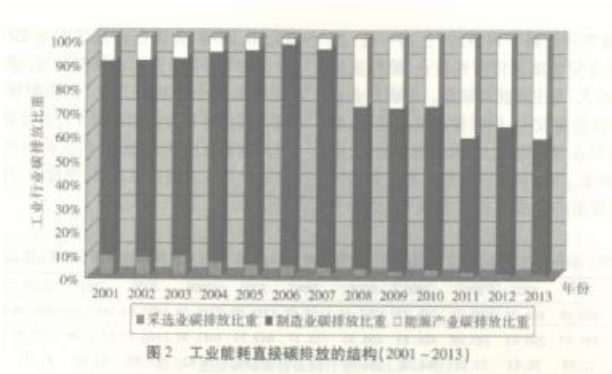
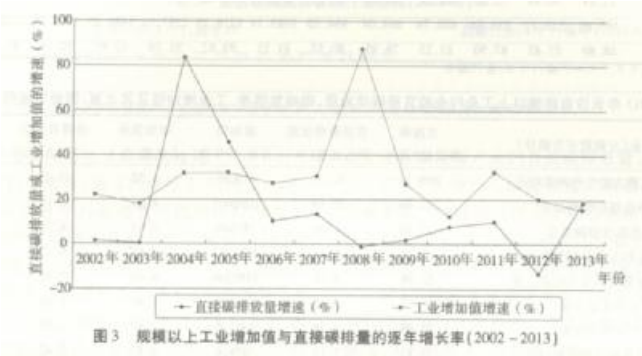


图 2 工业能耗直接碳排放的结构(2001—2013)

（二）整个工业增加值与直接碳排放总量的脱钩分析

如图 3 所示。除 2004、2005、2013 年这 3 年直接碳排放量增速高于工业增加值增速外，其余年份直接碳排放量增速均低于工业增加值增速，这说明大部分年份表现出工业增长与碳排放量之间的明显脱钩关系。在以煤为主的能源结构条件下（2001—2013 年煤炭消费比重均在 63%以上），这种有效的脱钩关系主要得益于能效的提高，特别是能源强度从 2007 年的 1.05 吨 / 万元下降到 2008 年的 0.54 吨 / 万元，降低了 48.79%。



（三）直接碳排放量的行业集中程度

先从直接碳排放总量来看，如表 1 所示，居于直接碳排放量前 5 位行业总量比重最低的 2005 年也在 60%以上，近 5 年甚至达 80%；居于直接碳排放量前 10 位行业总量比重最低的 2005 年也达 78.95%。近 5 年甚至超过 90%，由此可见直接碳排放量具有行业集中的特点。再从直接碳排放量居于前 5 位的具体行业来看，2001—2004 年是：编号 2、4、17、1、34；2005~2007 年是：2、4、5、16、3；2008·2013 年则是：2、1、4、3、5。由此可见碳排放量高度集中在少数高能耗行业，其中编号 1 具有高能耗、高投入的特点，为能源密集型行业，能耗结构以煤炭为主，且能源强度较大，因而直接碳排放量和碳排放强度都相对较大；编号 2、4、3、5 具有典型的“三高一低”（高投入、高耗能、高污染、低效益）特点，直接碳排放量和碳排放强度都较高；编号 24、25、27、20，这几种传统轻工业为劳动密集型、技术密集程度低的行业，尽管这些行业能源结构仍以煤炭为主，但由于其行业规模不大且能源强度较低，因而直接碳排放量和碳排放强度相对较低；编号 16、21 等行业为资本密集型行业，具有高科技、高效益、低能耗、低污染等特点，且煤炭消费比重较低、能源利用效率较高，直接碳排放量和碳排放强度也相对较低。

表 1 2001~2013 年长沙市规模以上工业直接碳排放量居前 5 和前 10 的行业直接排放总量(万吨)及占总量比重(%)													
年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
工业碳排放总量	400.35	404.05	403.96	749.22	1094.48	1160.07	1328.90	1355.58	1403.60	1613.14	1646.36	1379.34	1656.95
前 5 位总量	291.57	286.61	295.08	480.83	666.58	732.27	845.73	1081.97	1146.72	1322.09	1337.35	1092.03	1307.37
比重(%)	72.83	70.93	73.05	64.18	60.90	63.12	63.64	79.82	81.70	81.96	81.23	79.17	78.90
前 10 位总量	355.86	353.22	353.44	608.74	864.04	934.10	1083.14	1218.25	1287.12	1485.25	1516.58	1252.61	1493.99
比重(%)	88.89	87.42	87.50	81.25	78.95	80.52	81.51	89.87	91.70	92.07	92.12	90.81	90.16

（四）直接碳排放特征的行业分类

根据 38 个行业直接碳排放量和碳排放强度的数值大小（表 2），将之划分为 4 种类型（表 3）：高碳行业（排量>20 万吨，强度>1 吨 / 万元）、中碳行业（排量>20 万吨，强度<1 吨 / 万元）、低碳行业（排量<20 万吨，强度<1 吨 / 万元）和关注行业（排量<20 万吨，强度>1 吨 / 万元）。高碳行业有 6 个，其直接碳排放量和碳排放强度都较高，如编号 1、2、3 等，该类行业属于典型的“三高一低”型行业，大部分也是资源能源依赖性行业，能源强度和行业规模都较大，是主要能耗碳源。中碳行业有 8 个，其直接碳排放量较大，但碳排放强度较低，如 4、5、7 等，本类行业规模也较大，能源消费量大，但能源强度相对较低，因而

碳排放强度也低。低碳行业的直接碳排放量和碳排放强度都较低，如编号 15、16、18 等，此类行业数量多达 20 个，既包括编号 30、31 等部分技术密集型行业，也包括编号 22、26 等大部分传统轻工业，其能源强度相对较低。值得关注的行业仅有编号 17，直接碳排放量较小，但其能源强度相对较高，相应碳排放强度也较大，若这个行业迅速扩大规模，则很有可能转化成高碳行业。

表 2 2013 年长沙市规模以上工业行业的直接碳排放量、碳排放强度、工业增加值及其比重、销售产值的区位商						
工业行业(左侧数字为编号)	直接碳排放量(万吨)	直接碳排放量所占比重(%)	增加值(万元,当年价)	增加值所占比重(%)	碳排放强度(吨/万元)	销售产值的区位商
1 电力、热力的生产和供应业	699.38	42.21	419086	1.58	16.69	0.20
2 非金属矿物制品业	342.08	20.64	1098603	4.14	3.11	0.37
3 造纸及纸制品业	117.46	7.09	247606	0.93	4.74	0.14
4 化学原料及化学制品制造业	95.77	5.78	2032182	7.66	0.47	0.44
5 有色金属冶炼及压延加工业	52.68	3.18	1188306	4.48	0.44	0.71
6 食品制造业	51.67	3.12	384299	1.45	1.34	0.54
7 医药制造业	39.49	2.38	695555	2.62	0.57	1.06
8 电气机械及器材制造业	35.32	2.13	747916	2.82	0.47	0.39
9 专用设备制造业	32.14	1.94	5489562	20.69	0.06	4.01
10 通用设备制造业	28.02	1.69	1130513	4.26	0.25	0.65
11 黑色金属冶炼及压延加工业	25.17	1.52	158666	0.60	1.59	0.08
12 废弃资源和废旧材料回收加工业	20.99	1.27	75859	0.29	2.77	0.00
13 农副食品加工业	20.51	1.24	634655	2.39	0.32	0.19
14 橡胶制品业和塑料制品业	20.14	1.22	354857	1.34	0.57	0.59
15 饮料制造业	15.81	0.95	317694	1.20	0.50	0.78
16 通信设备、计算机及其他电子设备制造业	14.18	0.86	1783342	6.72	0.08	1.97
17 煤炭开采和洗选业	10.16	0.61	97440	0.37	1.04	0.12
18 印刷业和记录媒介的复制	6.08	0.37	306977	1.16	0.20	0.55
19 金属制品业	5.79	0.35	476239	1.79	0.12	0.23
20 皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业	3.09	0.19	61667	0.23	0.50	0.29
21 仪器仪表及文化、办公用机械制造业	3.03	0.18	221304	0.83	0.14	1.27
22 纺织业	2.99	0.18	147491	0.56	0.20	0.39
23 非金属矿采选业	2.82	0.17	133825	0.50	0.21	0.00
24 木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业	2.27	0.14	69881	0.26	0.33	0.03
25 纺织服装、鞋、帽制造业	1.82	0.11	136165	0.51	0.13	0.74
26 家具制造业	1.51	0.09	131007	0.49	0.12	0.45

27 工艺品及其他制造业	1.36	0.08	32768	0.12	0.43	0.00
28 文教体育用品制造业	1.16	0.07	56052	0.21	0.21	0.22
29 烟草制品业	0.97	0.06	6351372	23.94	0.00	6.12
30 交通运输设备制造业	0.97	0.06	1307449	4.93	0.01	1.39
31 石油加工、炼焦及核燃料加工业	0.57	0.03	26776	0.10	0.21	0.00
32 水的生产和供应业	0.51	0.03	77647	0.29	0.07	1.64
33 有色金属矿采选业	0.47	0.03	25649	0.10	0.18	3.91
34 燃气生产和供应业	0.34	0.02	90245	0.34	0.04	1.35
35 黑色金属矿采选业	0.26	0.02	24177	0.09	0.11	0.05
36 石油和天然气开采业	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00
37 其他采矿业	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00
38 化学纤维制造业	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00

(五) 优势行业的直接碳排放情况

从优势行业来看（表 2），编号 7、9、16、21、29、30、32、33、34 共 9 个行业销售产值的区位商大于 1，属于长沙市在湖南省具有专业化优势的产业。它们的增加值之和占到总量的 60.46%，但直接碳排放量之和却只占总量的 5.56%；而其中编号 7、9 这 2 个中碳行业的直接碳排放量居于各行业前 10 位，二者之和就占总排放量的 4.32%；其余 7 个行业则均属于低碳行业。由此可见专业化优势行业大多属于直接碳排放量和碳排放强度都较小的低碳产业，这是工业节能减碳的优势行业。

表 3 直接碳排放特征的行业分类(2013 年)	
关注行业(1 个);编号 17	高碳行业(6 个);编号 1,2,3,6,11,12
低碳行业(20 个);编号 15,16,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35	中碳行业(8 个);编号 4,5,7,8,9,10,13,14

注:如表 2 最后 3 行所示,长沙市规模以上工业行业中编号 36,37,38 这三个行业的增加值为 0,故未列入表中。

四结论与启示

- (1)2001。2013 年整个能耗碳排放总量呈递增之势，能源产业碳排放的比重在递增，采选业的比重却呈递减之势，制造业的比重近年来虽呈下降趋势，但仍是比重最高的行业。因而节能减碳的重点在于控制能源产业的直接碳排放量。
- (2)工业增长与碳排放量之间表现出明显的脱钩关系。在目前以煤为主的能源结构难以显著改善的现实下，大力推广和应用低碳技术，努力降低碳排放强度是控制碳排放增长的重点。
- (3)直接碳排放量既具有行业集中的特点，又具有明显的行业差异性。优化能源结构，降低能源强度，关停能耗大、污染重的落后产能是高碳行业节能减碳的主要对策。对于中碳行业，则要控制碳排放总量、改善能源结构。而对于关注行业，则需提升采选技术含量、降低能源碳排放强度。
- (4)具有专业化优势的行业主要集中在低碳行业，对这些行业要重点扶持和努力培育，实现低碳化、高端化，也是发展区域低碳经济的重要举措。

[注释]:

① 查建平、唐方方、傅浩：《产业视角下的中国工业能源碳排放 Divisia 指数分解及实证分析》，《当代经济科学》2010 年第 5 期；王强、伍世代、李婷婷：《中国工业经济转型历程中能源消费与碳排放时空特征研究》，《地理科学》2011 年第 1 期；邓明君：《湘潭市规模以上工业企业能源消耗碳排放分析》，《中国人口·资源与环境》2011 年第 1 期；吴晗晗：《江西省工业能源消费碳排放研究》，《老区建设》2013 年第 4 期。

② Nobuko Yabe. “An analysis of CO₂ emissions of Japanese industries during; the period between 1985 and 1995”, Energy Pol⁷, val. 26, no. 2, 2004. pp. 595 - 610;Bhattacharyya S C. Ussanarassamee A, “Decomposition of energy and CO₂ intensities of Thai industry between 198J and 2000”, Energy Economics, vol. 26, no. 5, 2004. pp.765 - 781; 刘红光, 刘卫东:《中国工业燃烧能源导致碳排放的因素分解》，《地理科学》 2009 年第 2 期；查建平、唐方方、傅浩：《产业视角下的中国工业能源碳排放 D/vis/a 措数分解及实证分析》，《当代经济科学》2010 年第 5 期。

③ Coondoo , D . Causality between Income and Emission : a country group specific econometric”, Ecological Economics . vol . 40 , 2002 ,pp . 351 -367; 马训舟、姚建等：《四川省工业经济增长与环境污染美系研究》，《特区经济》2007 年第 4 期。

④ 陈诗一：《能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展》，《经济研究》2009 年第 4 期；王喜平、姜晔：《碳排放约束下我国工业行业全要素能源效率及其影响因素研究》，《软科学》2012 年第 2 期。

⑤ 吕可文、苗长虹、尚文莫：《工业能源消耗碳排放行业差异研究——以河南省为例》，《经济地理》2012 年第 12 期。

⑥ IPCC. “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, Energy, vol. 2, 2006pp. 2-11