

经济转型与中国城市工业大气污染

贺灿飞 潘峰华
颜燕

20世纪80年代以来，中国在快速发展的同时，环境也面临着严峻考验。资源密集型和出口导向型发展战略带来的城市污染、能源消耗和森林砍伐对中国的可持续发展道路提出了严重质疑。正如Naughton(2007)所说，“缺水，自然资源枯竭，大气污染和气候变化是中国面临的最严峻挑战”。20世纪70年代以来，中国经历了三重经济转型过程：市场化、全球化和地方分权。经济转型对中国的环境保护努力提出严重挑战。本研究主要探讨经济转型的三重过程对环境产生的不同影响，并回答市场化和地方分权是否恶化了中国环境，全球化和环境污染是否有关系等问题。本文将利用2004-2008年间工业SO₂排放量和工业烟尘排放量绘制工业污染的城市分布图，然后对探讨影响中国城市工业污染的经济和体制因素。

作者信息：

贺灿飞，北大-林肯研究中心副主任；北京大学城市与环境学院教授

潘峰华，北京大学城市与环境学院研究生

颜燕，北京大学城市与环境学院研究生

SO₂和工业烟尘的排放强度在1998至2008年间均呈下降趋势，表明中国的工业生产更加洁净。

中国的工业污染主要集中在几个污染密集型行业。电力、燃气和水的生产供应业是污染强度最高的产业。

近年来，中国工业空气污染排放的结构有所变化，强度有所下降

过去十年，中国工业空气污染发生了结构性变化（如图1）。工业SO₂排放总量呈上升趋势，从1998年的1587万吨增加至2006年的2042万吨，但这一趋势随后得到扭转，2008年下降至1839万吨。工业烟尘的排放总量呈下降趋势，从1998年的1165万吨下降至2008年的604万吨。从两种污染物的排放强度来看，无论是SO₂还是工业烟尘，其排放强度在1998至2008年间均呈下降趋势，SO₂的排放强度从0.0238吨/万元下降至0.0036吨/万元，而工业烟尘的排放强度则从0.0175吨/万元下降至0.0012吨/百万元，表明中国的工业生产更加洁净。

中国的工业污染主要集中在几个污染密集型行业（如表1和表2）。电力、燃气和水的生产供应业是污染强度最高的产业，1998和2008年这个产业SO₂的排放量分别为696.79万吨和1062.79万吨，占同期中国全部工业SO₂排放量的43.92%和57.79%。其SO₂排放强度也位居首位，1998和2008年分别为17.46吨/万元和3.27吨/万元。其他SO₂排放总量和排放强度比较高的产业包括非金属采矿业、黑色金

属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、石油加工及炼焦业，造纸及纸制品业、食品、饮料及烟草制造业等。这些都是资源密集型产业，在生产过程中需要大量的能源投入。

工业烟尘的产业排放结构与 SO₂ 十分相似，电力、燃气和水的生产及供应业的工业烟尘排放占据了主导地位，1998 和 2008 年其工业烟尘排放量分别占同期中国排放总量的 29.36% 和 41.79%。紧跟其后的是非金属矿物制品业 (22.92%, 16.30%)、采矿业 (8.52%, 3.07%)、化学原料制品业 (4.44%, 7.77%)、黑色金属冶炼及压延加工业 (3.04%, 9.44%)。除了石油加工及炼焦业、塑料制品业、黑色金属冶炼及压延加工业，其他行业的工业烟尘排放量均显著下降，其中，采矿业、印刷和纸制品业及非金属矿物制品业经历了快速下降。

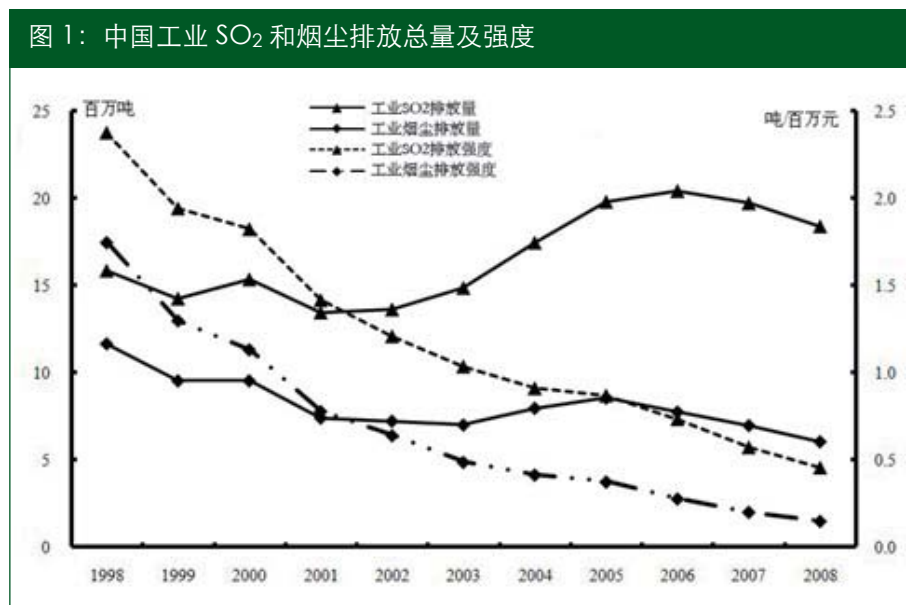
1998-2008 年间，中国的工业 SO₂ 和烟尘排放强度均发生了显著变化（如图 2 和图 3）。污染密集型产业 SO₂ 排放强度大幅下降，以非金属矿物制品业为例，其工业 SO₂ 排放强度从 7.11 吨 / 万元下降至 0.87 吨 / 万元。各行业工业烟尘的排放量也呈下降趋势，尤其是采矿业、印刷和纸制品业降幅最为明显。2008 年，所有烟尘排放密集型行业的排放强度均低于 0.50 吨 / 万元。

中国工业空气污染排放与城市地域空间有显著关系

本研究涉及 287 个城市，包括地级市以及中央直辖的省级城市北京、上海、天津和重庆。本研究比较了 2004 年和 2008 年工业 SO₂ 和工业烟尘的排放总量及排放强度的空间分布。图 4 显示了中国工业 SO₂ 排放总量的城市分布。2004 年重庆市工业 SO₂ 排放总量最多，达到 64 万吨，其次是上海（35 万吨）和唐山（28 万吨）。其他 SO₂ 排放量高于 20 万吨的城市包括渭南（陕西）、鄂尔多斯（内蒙古）、苏州（江苏）、贵阳（贵州）和洛阳（河南）、天津和宁波（浙江）。这些城市一般工业比较发达，并且产业结构多为重工业。SO₂

中国北部地区 SO₂ 排放更加严重，形成了新工业污染带。与此同时，中国东北部地区的 SO₂ 排放量也呈现增加的趋势。此外，2004-2008 年间中国出现了显著的污染扩散过程。

图 1：中国工业 SO₂ 和烟尘排放总量及强度



排放总量最少的城市是宁德（福建），排放总量仅为 64 吨，其次是三亚（305 吨）和海口（454 吨），这些城市只有很少的工业活动。2008 年，重庆和上海仍然是 SO₂ 排放量最高的两个城市，其次是渭南（陕西）、唐山（河北）、洛阳（河南）、鄂尔多斯（内蒙古）、来宾（广西）、苏州（江苏）和天津。SO₂ 排放总量最少的城市与 2003 年一致。总体而言，中国的 SO₂ 排放呈现集聚状态，2004 和 2008 年的 Moran' I 值分别为 0.1394 和 0.1514，表明 SO₂ 排放存在显著的空间自相关。长江三角洲、山东半岛、京津冀地区、中北部地区（包括河北南部，河南，山西），四川盆地和珠江三角洲都是 SO₂ 排放的重点地区。2008 年，中国北部地区 SO₂ 排放更加严重，形成了从赤峰（内蒙古东部）到张家口（河北北部）到包头以及从宁夏石嘴山到甘肃白银的新工业污染带。与此同时，中国东北部地区的 SO₂ 排放量也呈现增加的趋势。此外，2004-2008 年间中国出现了显著的污染扩散过程。

表 1：中国分产业工业 SO₂ 排放（单位：吨，吨 / 百万元）

产业部门	1998		2008		年均增长率 (%)	排放强度	
	排放量	%	排放量	%		1998	2008
采掘业	409470	2.58	451975	2.46	0.99	1	0.32
食品、饮料与烟草加工	464426	2.93	411698	2.24	-1.2	0.6	0.12
纺织与服装业	286415	1.81	263827	1.43	-0.82	0.65	0.13
皮革、羽绒制品业	17587	0.11	17347	0.09	-0.14	0.15	0.03
造纸及纸制品	359459	2.27	462959	2.52	2.56	2.89	0.6
印刷、复印等	6953	0.04	3727	0.02	-6.05	0.13	0.01
石油加工与炼焦业	281262	1.77	629183	3.42	8.38	1.21	0.99
化学原料与化学制品	940762	5.93	1035423	5.63	0.96	2.03	0.37
医药制造	80620	0.51	76271	0.41	-0.55	0.59	0.08
化学纤维制造业	141916	0.89	117031	0.64	-1.91	1.72	0.36
橡胶制品业	64986	0.41	38203	0.21	-5.17	0.85	0.11
塑料制品业	14886	0.09	24196	0.13	4.98	0.1	0.03
非金属矿物制品业	2281547	14.4	1680618	9.14	-3.01	7.12	0.87
黑色金属冶炼与压延加工业	790319	4.98	1607470	8.74	7.36	2.04	0.57
有色金属冶炼与压延加工业	700462	4.42	668786	3.64	-0.46	4.30	0.51
金属制品业	64382	0.41	42277	0.23	-4.12	0.3	0.04
机械制造业与电子设备制造业	262635	1.66	138107	0.75	-6.23	0.15	0.01
电力、天然气与热水供应	6967926	43.9	10627957	57.8	4.31	17.46	4
其他工业	1727253	10.9	94725	0.52	-25.2	5.14	0.05
综合	15863266	100	18391780	100	1.49	2.38	0.45

表 2: 中国分产业工业烟尘排放 (单位: 吨, 吨 / 百万元)

产业部门	1998		2008		年均增长率 (%)	排放强度	
	排放量	%	排放量	%		1998	2008
采掘业	992537	8.52	185388	3.07	-15.45	2.44	0.13
食品、饮料与烟草加工	304290	2.61	251282	4.16	-1.9	0.4	0.07
纺织与服装业	148575	1.28	128294	2.12	-1.46	0.34	0.06
皮革、羽绒制品业	11305	0.1	10298	0.17	-0.93	0.09	0.02
造纸及纸制品	259543	2.23	239860	3.97	-0.79	2.09	0.31
印刷、复印等	6844	0.06	1827	0.03	-12.37	0.13	0.01
石油加工与炼焦业	187479	1.61	255154	4.22	3.13	0.8	0.4
化学原料与化学制品	517487	4.44	469443	7.77	-0.97	1.12	0.17
医药制造	48536	0.42	45732	0.76	-0.59	0.35	0.05
化学纤维制造业	58541	0.5	27070	0.45	-7.42	0.71	0.08
橡胶制品业	28403	0.24	18168	0.3	-4.37	0.37	0.05
塑料制品业	7116	0.06	11414	0.19	4.84	0.05	0.01
非金属矿物制品业	2669604	22.9	985294	16.3	-9.49	8.33	0.51
黑色金属冶炼与压延加工业	354375	3.04	570353	9.44	4.87	0.91	0.2
有色金属冶炼与压延加工业	145747	1.25	134907	2.23	-0.77	0.89	0.1
金属制品业	42778	0.37	23020	0.38	-6.01	0.2	0.02
机械制造业与电子设备制造业	177597	1.52	88601	1.47	-6.72	0.1	0.01
电力、天然气与热水供应	3419778	29.4	2525716	41.8	-2.99	8.57	0.95
其他工业	2268428	19.5	72691	1.2	-29.11	6.76	0.04
综合	11648963	100	6044512	100	-6.35	1.75	0.15

图 2: 1998-2008 年间不同产业 SO₂ 排放强度变化

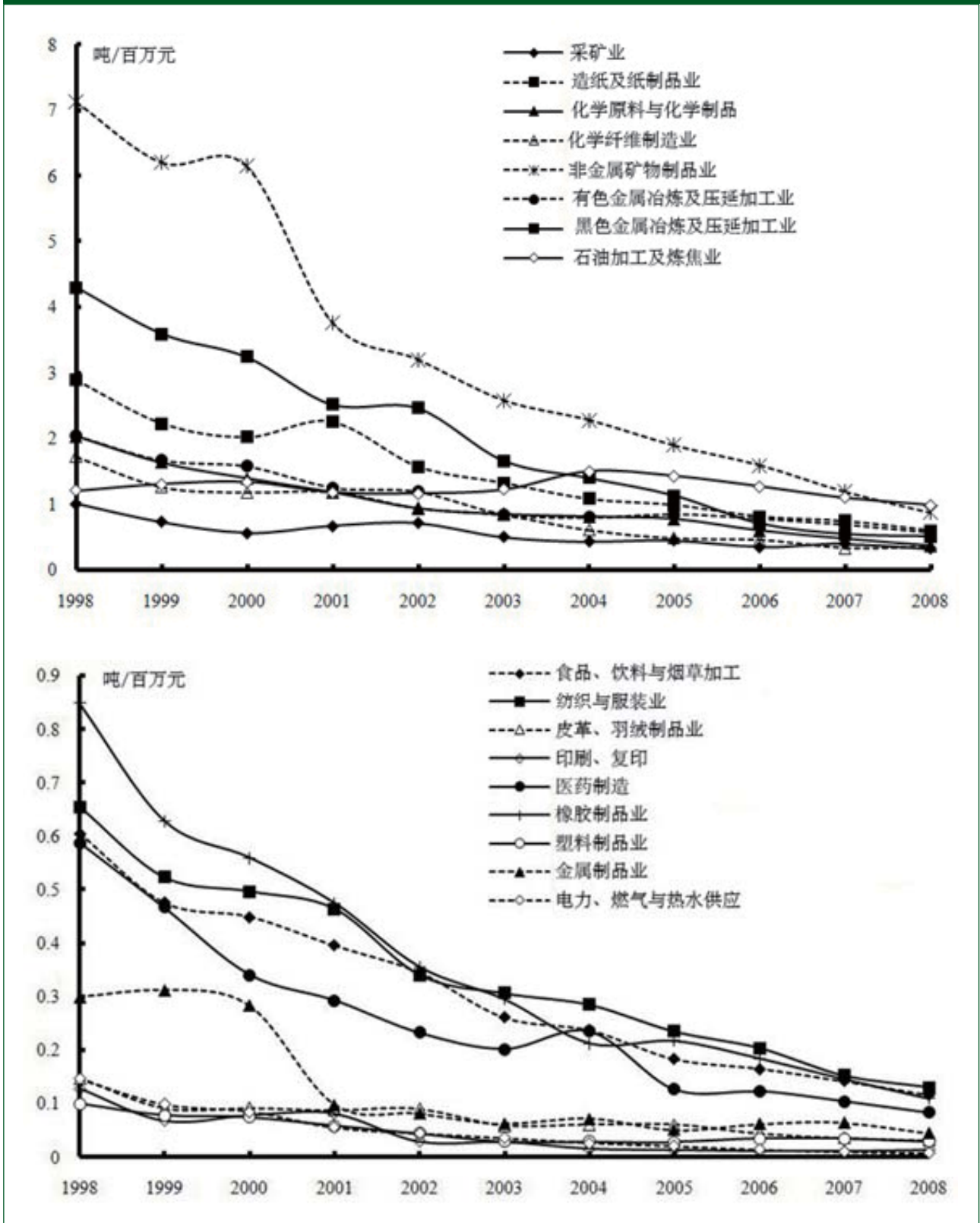


图 3: 1998-2008 年间不同产业烟尘排放强度变化

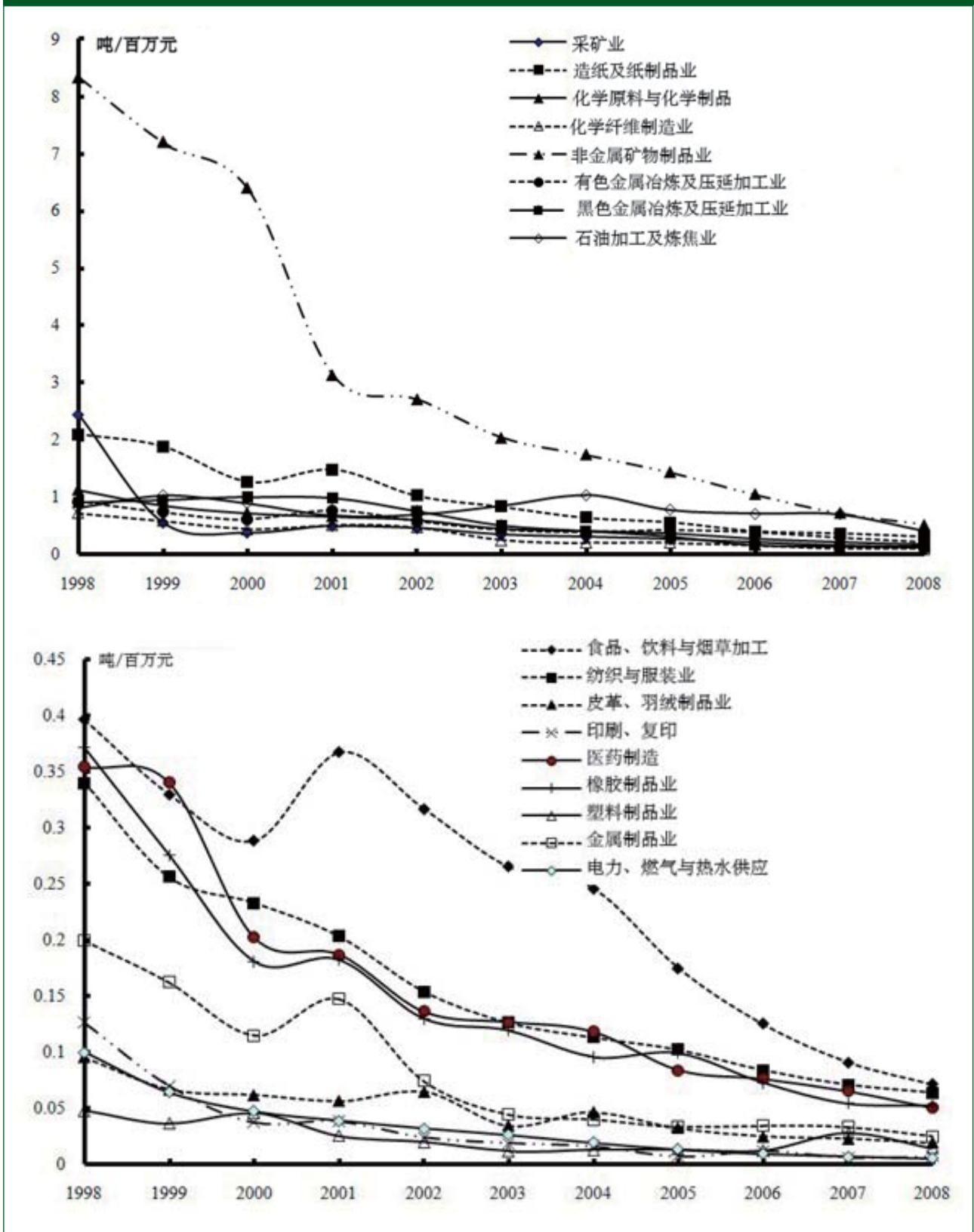


图 4: 工业二氧化硫排放量的城市分布, 2004(左)和2008(右)

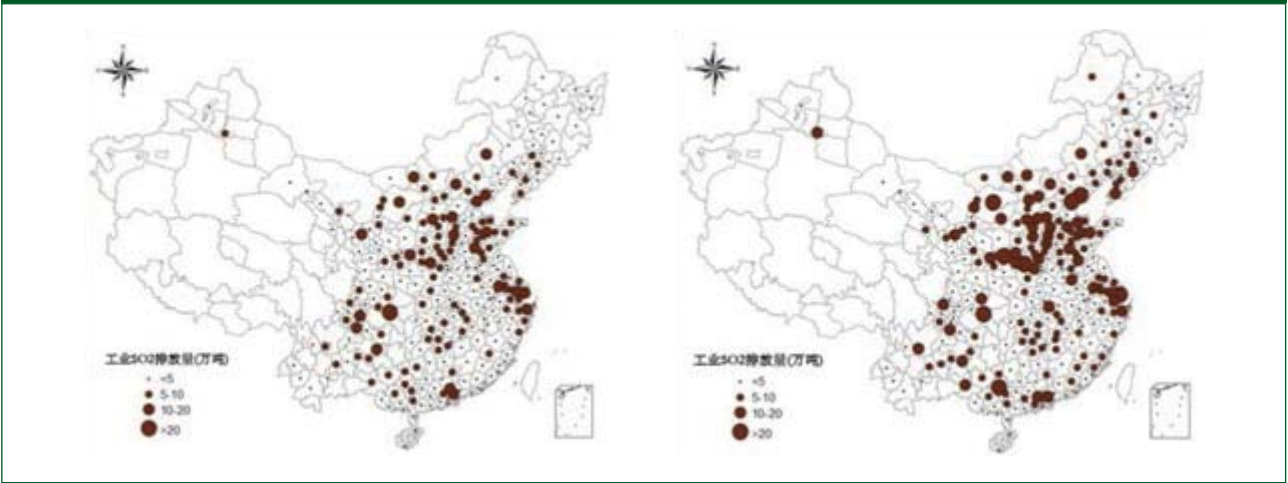


图 5: 二氧化硫排放强度的城市分布, 2004(左)和2008(右)

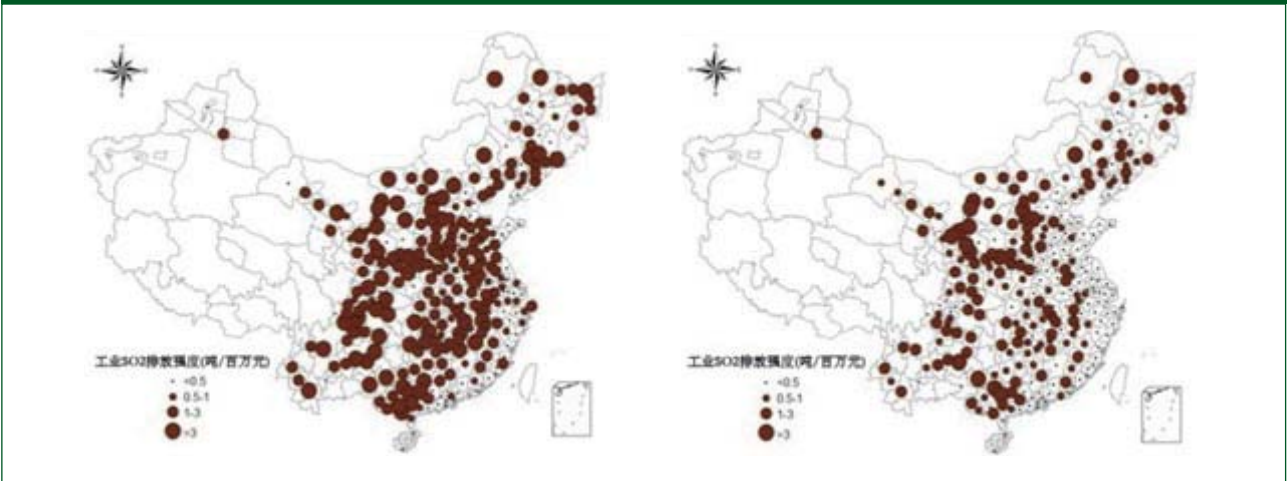


图 6: 工业烟尘排放量城市分布, 2004(左)和2008(右)

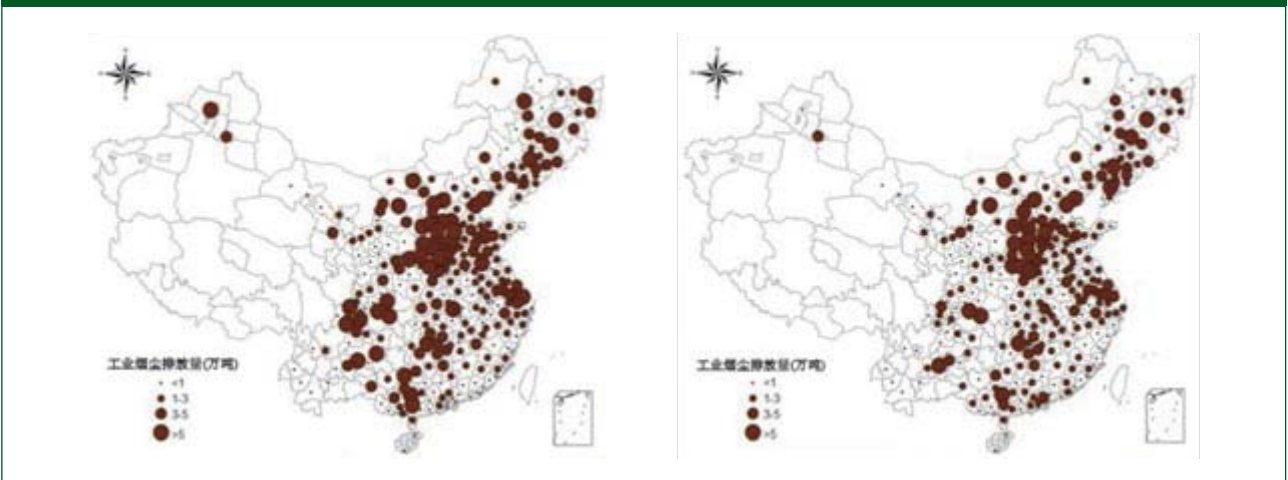
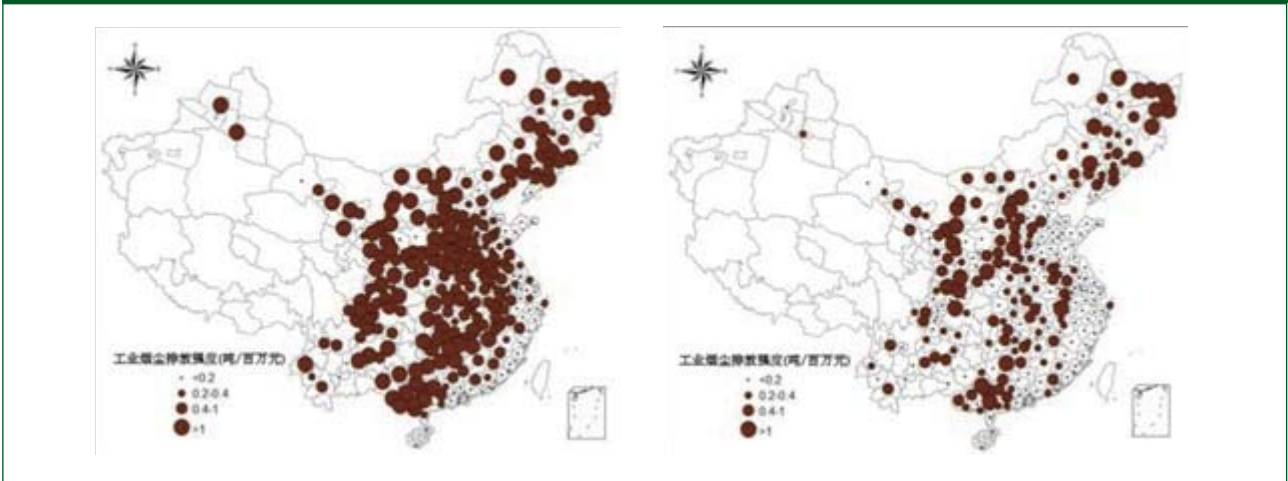


图 7: 工业烟尘排放强度的城市分布, 2004 (左) 和 2008 (右)



SO₂ 的排放强度已经显著降低 (如图 5)。2004-2008 年间, 一些污染较严重的城市 SO₂ 排放强度大幅降低。沿海城市的 SO₂ 排放强度最低, 但是中部地区环境质量有所下降, 长三角和珠三角 SO₂ 的排放强度相对更低。

图 6 是中国工业烟尘排放量的城市分布图。2004 年, 成都 (四川)、克拉玛依 (新疆)、鄂尔多斯 (内蒙古) 的工业烟尘排放量名列前三位, 其次是乐山 (四川)、唐山 (河北)、洛阳 (河南)、临汾 (山西)、重庆、大同 (山西) 和渭南 (陕西), 这些城市的工业烟尘排放量均超过了 10 万吨。2008 年, 只有唐山、重庆和临汾的工业烟尘排放量超过了 10 万吨。工业烟尘排放最少的城市仍然包括三亚 (海南)、海口 (海南)、临沧 (云南)、丽江 (云南) 和固原 (宁夏)。与 SO₂ 排放相似, 工业烟尘排放仍然集聚在某些城市群。总体 Moran' I 指数在 2004 和 2008 年分别为 0.1994 和 0.2786, 说明工业烟尘的空间自相关性要高于 SO₂ 的空间自相关。工业烟尘排放主要集聚在中国中北地区 (包括天津、山西、河南和河北)。与 SO₂ 不同的是, 中国工业烟尘的排放广泛分布在东北地区, 哈尔滨、吉林市、铁岭市、齐齐哈尔、佳木斯、荆州和大庆是工业烟尘污染比较严重的城市。其他分散的工业烟尘排放集群包括长三角、广东-广西 (沿广州、深圳、南宁、柳州、贵阳和玉林), 四川盆地东部, 武汉城市圈以及长株潭城市群。

工业烟尘排放强度的空间分布与 SO₂ 十分相似。2004-2008 年间, 中国大部分城市工业烟尘排放量都大幅下降 (如图 7), 但中国东北地区的工业生产仍然是烟尘密集型, 特别是佳木斯、伊春、鸡西、阜新、牡丹江、白山、七台河、黑河、双鸭山、鹤岗、白城、齐齐哈尔等重工业城市。此外, 广西、山西、陕甘宁西北地区、四川盆地东部也是工业烟尘排放比较密集的地区。相对而言, 沿海地区工业烟尘的排放强度都比较低, 尤其是长三角和珠三角地区工业烟尘的排放强度更低。总体而言, 由于规模、结构、技术、体制和区位的差异, 中国不同的城市面临不同的工业污染。

总体而言, 由于规模、结构、技术、体制和区位的差异, 中国不同的城市面临不同的工业污染。

结论

根据上文的实证研究发现：

第一，过去十年中国的工业生产更加洁净，污染排放强度逐渐降低。


第二，工业空气污染主要集中在某些污染密集型行业，如电力、燃气和水的生产及供应业，化学及原料制品业，黑色金属和有色金属冶炼及压延加工业，非金属矿物制品业，石油加工及炼焦业。值得一提的是，污染密集型产业在降低污染排放强度方面取得了显著的成就。

第三，工业污染集中在某些城市，长三角、山东半岛、首都地区、中国中北部地区、东北地区、四川盆地和珠江三角洲都是污染比较密集的地区。从污染强度看，沿海地区的污染强度要远远低于内陆地区。

第四，模型统计分析表明，中国经济发展与环境污染存在库兹涅茨曲线的关系，即经济发展可能会减轻工业污染。

第五，经济转型的三重过程对中国城市环境产生了不同的影响：如市场化和分权化对中国城市空气质量的恶化负有重要责任；而全球化却会改善城市环境。本文并没有发现“污染避难所”假说，地方分权可能造成了“逐底竞争”，即降低环境规制及环境法规执行程度，以吸引高附加值的污染密集型产业。

第六，经济转型对环境污染的影响仍然存在地区差异，经济转型对环境质量的影响主要发生在东部沿海和中部地区，对于偏远的西部内陆地区，由于其经济自由化和全球化比较落后，需要通过中央政府的大量转移支付来缓解其预算困难，从而降低了经济转型对环境的影响。

第七，本文也通过实证研究证实了制度效应的重要性。中国城市环境质量的提高依赖于地方政府的努力，因此必须给予地方政府激励以促使其寻求环境友好型的发展模式。而这需要一系列的配套改革来支持，包括改革地方财政收入结构、改变官员评价指标体系等。此外，加强地方环境保护主管部门的自主性和独立性也迫在眉睫。 

更多与本文相关的工作论文，可至北大-林肯研究中心官方网站免费下载。
http://www.plc.pku.edu.cn/publications_ch.aspx