



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng



Research
Environmental Protection—Perspective

迈向生态文明建设——基于第二次全国污染物普查结果的经验启示

谢明辉^{a, #}, 段华波^{b, *, #}, 康鹏^b, 乔琦^{a, *}, 白璐^a

^a State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

^b Key Laboratory of Coastal Urban Resilient Infrastructures (Shenzhen University), Ministry of Education, Underground Polis Academy, College of Civil and Transportation Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China

ARTICLE INFO

Article history:

Received 3 August 2020

Revised 14 October 2020

Accepted 10 November 2020

Available online 8 January 2021

关键词

生态文明

第二次全国污染源普查

绿色发展

可持续发展

摘要

如何平衡经济发展与环境保护之间的关系并实现可持续, 一直以来是全球备受关注的热门话题, 也是突出难题。近年来, 我国把生态文明建设摆在全局工作的突出位置, 持续推动高质量和绿色低碳发展, 特别是自改革开放以来由快速工业化和城镇化带来的环境污染问题开始得以遏制并显著好转。2020年6月10日, 我国公布了《第二次全国污染源普查》调查报告, 其为生态文明建设成效提供了强有力的量化评价依据。通过对比第一次和第二次全国污染源普查结果, 可知在维持经济总量稳定增长的同时, 各类污染物的排放总量正在持续下降且趋势明显。显然, 我国新时代绿色发展和生态文明建设策略成效显著, 可为其他国家和地区可持续发展道路提供参考。

© 2021 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. 引言

近年来, 包括我国在内的许多新兴经济体呈现快速增长态势, 工业化和城镇化进程不断加快[1]。与此同时, 环境污染问题与经济增长之间的矛盾也日益突出。若不能妥善解决这些问题或者仍遵循以牺牲环境为代价的传统增长模式, 可能会严重阻碍社会经济发展, 并影响民生福祉的提升[2–3]。以我国为例, 自改革开放以来特别是20世纪末, 过度注重经济发展引发了突出的环境污染问题, 土壤、水和大气污染(如雾霾)等环境事件时有发生。而近年来, 我国注重推动高质量与绿色低碳发展[4], 生态文明理念被历史性写入庄严的宪法[5–6], 其对我国经济社

会发展产生了变革性的积极影响, 正逐步转向社会经济与环境保护的协调发展模式或可持续模式。2020年6月10日, 我国在继第一次全国污染源普查结束整10年后[7], 发布了《第二次全国污染源普查公报》[8–9], 相关的普查结果证实了我国生态环境保护方面取得的显著成效, 即生态环境质量显著改善, 其进一步诠释了生态文明发展理念和相关发展策略的前瞻性、科学性和合理性。

早在2008年年初, 我国启动了第一次全国污染源普查, 经过各级人民政府和有关部门及全体普查人员两年多的共同努力, 通过面向工业、农业、居民生活和污染集中治理设施等约600万个固定污染源, 采集了超过10亿个污染源排放相关样本数据, 并于2010年发布了《第一次全

* Corresponding author.

E-mail address: huabo@szu.edu.cn (H. Duan), qiaoqi@craes.org.cn (Q. Qiao).

These authors contributed equally to this work.

2095-8099/© 2021 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

英文原文: *Engineering* 2021, 7(9): 1336–1341

引用本文: Minghui Xie, Huabo Duan, Peng Kang, Qi Qiao, Lu Bai. Toward an Ecological Civilization: China's Progress as Documented by the Second National General Survey of Pollution Sources. *Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.11.003>

国污染源普查公报》(基准年为2007)。随着经济与产业结构优化调整,特别是生态文明发展理念持续深入推进,我国于2016年启动了第二次全国污染源普查。此次普查由生态环境部联合农业农村部、国家统计局等部委联合展开,投入资金超过20亿元,普查人员约10万人次,旨在进一步对污染源的类别、规模和分布特征进行调查分析,摸清我国近年来所面临的环境污染问题及其变化趋势。通过3年的努力,第二次全国污染源普查共完成了近360万个固定污染源以及近3亿个移动污染源的调查分析,形成了1800余张数据库表,整理收集了超过1.5亿条污染源相关的数据记录。其中44%的数据源来自主要行业部门,而约53%的数据源来自我国东部五个省份。普查数据显示,以几种典型的污染物排放指标为例,全国环境污染(排放)情况随着经济稳定增长的同时呈现显著下降趋势,并且下降速度明显加快(表1)[7-8,10]。

基于普查结果,水污染物的排放主要源于生活源和农业源[图1(a)]。但通过同口径对比分析2007年和2017年废水主要污染物排放总量及其变化趋势,工业源所排放的污染物总量下降趋势尤为明显[图1(b)]。

2. 工业污染源普查数据结果分析

第二次全国污染源普查覆盖了250万家从事工业生产的企业单位。如图2(a)所示,2007年和2017年排放总量位居前三的行业部门,废水中的主要污染物如化学需氧量(COD)、氨氮、石油类和挥发酚等排放总量发生了显著变化。其一方面源于产业结构的优化调整,另一方面因企业清洁生产水平持续提升和不断加大环境保护治理投入[图2(b)]。

具体而言,造纸及纸制品业、钢铁和水泥制造业的产品产量从2007年到2017年分别增长了61%、50%和71%,但这3个行业门类污染物的排放总量明显下降,如造纸及纸制品业所排放的废水COD、钢铁行业所排放废气二氧化硫和水泥行业所排放的氮氧化物分别下降了84%、54%和23%。显然,环境污染治理技术水平的不断进步有助于实现这些污染物的减排[11],但更多得益于我国在产业结构优化调整、清洁生产和环境污染治理力度等方面所做出的不懈努力[图2(c)]。

通过进一步分析工业源污染排放情况与产业结构及环

表1 全国二次污染源普查污染物排放总量及其他经济和人口指标情况对比分析^a

Item	Indicators	2007	2017	Reduction rate
Wastewater ($\times 10^3$ t)	Chemical oxygen demand (COD)	30 290	21 440	29.2%
	Ammonia nitrogen	1 729	963	44.3%
	Waste oil (petroleum)	782	7.7	99.0%
	Heavy metals ^b	0.9	0.18	79.7%
	Total phosphorus (P-total)	423	315	25.5%
	Total nitrogen (N-total)	4 729	3 041	35.7%
	Animal fats and vegetable oils	—	310	—
	Cyanide	—	547	—
	Volatile phenols	—	244	—
Air emissions ($\times 10^3$ t)	Sulfur dioxide (SO ₂)	23 200	6 963	70.0%
	Particulate matters (PMs)	19 893	16 841	15.3%
	Nitrogen oxides (NO _x)	17 977	17 852	0.7%
	Volatile organic compounds (VOCs)	—	10 175	—
Municipal solid waste	Well-treated rate ^c	62%	97.7%	- 35.7%
Economic indicators and population	GDP (billion CNY)	27 009	83 204	- 208%
	GDP per capita (CNY)	2 049	6 001	- 193%
	Population (billion)	1.32	1.39	- 5%
	Poverty population ^d	43 200 000	30 460 000	29.5%

^a Data sources: Pollutant discharge data for 2007 and 2017 are from the bulletins of the first and second *National General Surveys of Pollution Sources*, respectively [7-8]; data on municipal solid waste, economic indicators, and population are cited from the *National Statistical Yearbook in China* [10].

^b Includes only Cd, Cr, As, Hg, and Pb.

^c Means by well-managed sanitary landfill and incineration.

^d Poverty pollution in rural area, with an annual income lower than ¥2300 CNY per person after 2011, but lower than ¥1067 CNY in 2007; China has committed to achieving zero poverty by the end of 2020 [10].

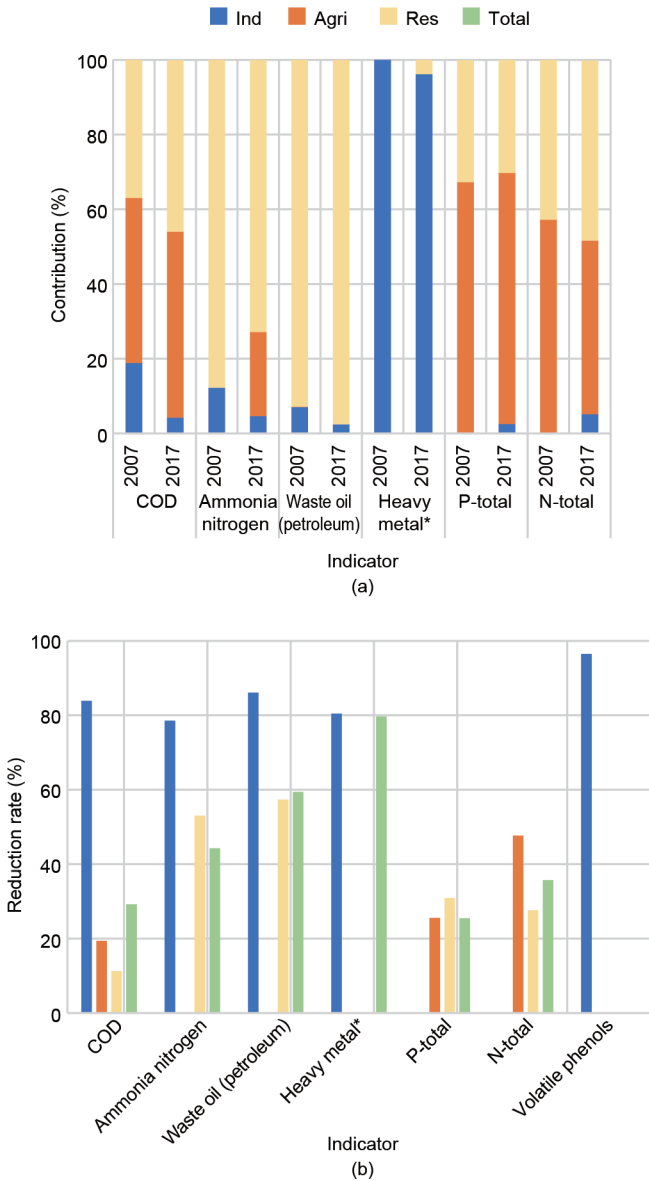


图1. (a) 废水污染物排放总量下降率；(b) 工业、农业和生活源废水污染物排放总量下降率。

保治理投入之间的关联性[图3 (a)], 结果表明污染物排放水平与产业结构、污染治理设施能力和成本投入之间存在显著的正相关关系, 显然优化产业结构可显著降低污染物排放水平。而环境治理力度(如处理设施能力或投入)与污染排放水平(如COD、氨氮和二氧化硫)之间所呈现的负相关性, 表明加大环境污染治理力度可有效提升工业企业环境污染防治水平。

3. 农业污染源普查数据结果分析

农业污染源普查涉及种植业的区县3061个, 水产养殖业的区县2843个, 畜禽养殖业的区县2981个, 入戶

调查畜禽规模养殖场37.88万个。农业源污染物一般随着地表径流进入湖泊、河流和海洋等水体, 导致水体污染并影响水资源供应。

总体上, 虽然谷物类、肉蛋类、水产养殖[图4 (a)]和畜牧业[图4 (b)]等农业产品产量分别增长(相比2007年)近32%、17%、52%和21%, 但COD、总磷和总氮排放总量显著下降, 降幅高达21%~42%[图4 (c)]。环境污染治理能力的大幅提升是实现这些污染物减排的关键。实际上, 我国仍在通过以下方式建立国家粮食安全体系: ①坚守18亿亩耕地红线并不断提升耕地质量、保护生态环境和提升水资源利用效率, 以确保并稳步提升粮食产量; ②提高农民收入并调动农民种粮积极性; ③建立起全面的农业和农副食品科技创新体系和保障能力[12]。

4. 移动源大气污染物排放情况分析

移动源普查对象包括机动车和非道路移动机械(含工程机械、农用机械、船舶、铁路内燃机车和民航飞机)。机动车产生的氮氧化物(NO_x)、颗粒物(PM)和挥发性有机化合物(VOC)分别占移动源大气污染物总排放量的55.9%、27.4%和82.1%。尽管近10年私家车和公共交通工具数量以及公路货运和客运周转量均呈现大幅增长, 分别达到544%、380%、52%和95%[图5 (a)], 但PM排放总量降幅达84%, 而 NO_x 的排放量略有增加[图5 (b)]。近年来我国的汽车电动化率从2007年几乎零增长到了2017年2.7%的市场份额, 私家车和轻型货车的尾气排放标准也从2007年的国III提高到2017年的国V。显然, 汽车电动化比例不断提升和尾气排放标准的提高可显著降低移动源污染物排放水平, 并大幅改善空气质量。实际上, 我国电动汽车的产量已经占到全球生产总量的50% [13]。而空气质量的改善也会显著降低居民健康风险, 研究表明目前2.7%的私家电动化比例可让全国每年因空气污染过早死亡人数减少约1.7万人[12,14]。此外, 我国正在积极推广机动车尾气污染控制技术的不断创新, 并通过以旧换新(或强制报废)和更为严格的排放标准, 来加强移动源废气的排放控制, 持续助力空气质量的改善。

5. 生活源污染物排放情况

相比2007年的第一次全国污染源普查, 本次污染源普查增加了农村污染排放情况调查。2017年全国生活源

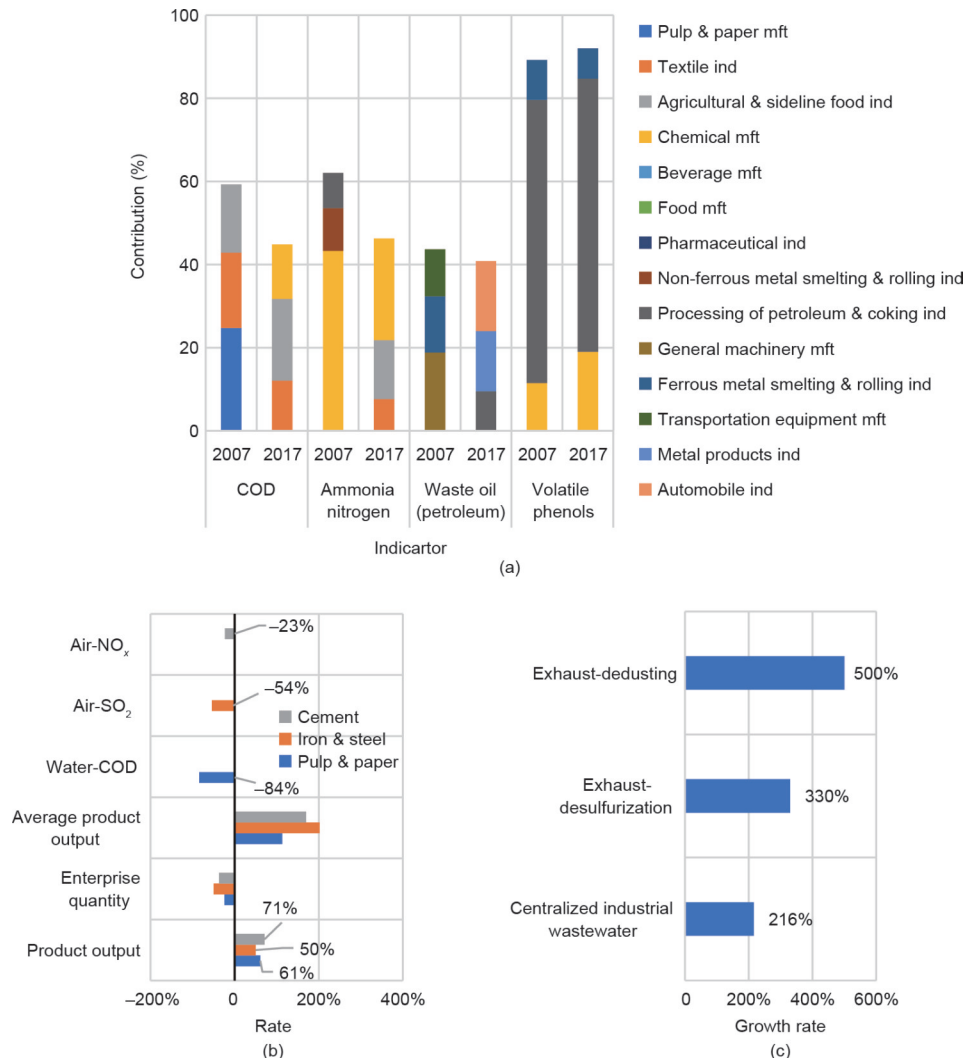


图2. (a) 主要工业部门废水污染物排放总量变化情况 (下降率); (b) 排位前三行业部门废水污染物排放总量变化情况及行业发展; (c) 工业废气除尘、脱硫和集中污水处理能力提升情况 (相比2007年)。

普查对象总共约64万个, 其中行政村44.6万个, 非工业企业单位锅炉9.6万个, 对外营业的储油库和加油站分别0.14万个、9.6万个。普查结果显示, 与2007年相比, 2017年生活源废水COD、氨氮、总磷、总氮排放总量的降幅分别达11%、53%、31%和28%, 其主要归因于城市污水处理能力的大幅提升 (增长了1倍), 以及大量兴建农村地区集中污水处理设施——从2007年的几乎为零到2017年的6.7万个。实际上, 近年来我国持续推动水环境污染治理技术的进步, 不断提升污水处理厂尾水排放标准。其中, 在2015年国务院发布的《水污染防治行动计划》中, 开始注重“黑臭水体”的治理。自2017年以来, 近94.3%的河流得到治理, 地表水水质显著改善。根据《地表水环境质量标准》(GB-3838-1—2002), 我国主要河流水质达I~III类的河流占比从2007年的49.9%提升至2017年的71.7%。而水质为V类或劣V类的河流占比从

2007年的23.6%下降至2017年的8.5% [15]。

6. 挑战分析

生态环境保护与经济增长之间的关系一直以来是全社会关注的热门话题。而Grossman和Krueger [16]及Panayotou [17]等早在20世纪90年代初, 就提出了环境库兹涅茨曲线 (environmental Kuznets curve, EKC), 其表明经济发展 (如居民收入水平) 与环境质量 (污染) 之间呈“倒U形”关系。基于两次全国污染源普查数据结果进行对比分析, 我国社会经济发展与环境问题基本上遵循了这一规律, 自改革开放以来由快速工业化和城镇化带来的突出环境污染问题开始发生显著转变: 在社会经济持续稳定增长的同时, 污染物排放水平持续下降, 生态环境质量不断改善。

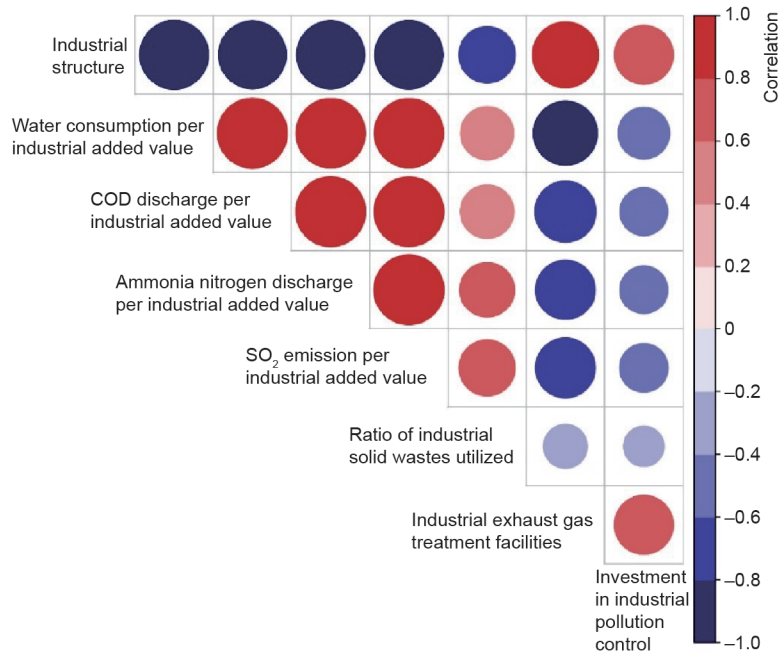


图3. 工业企业污染水平与产业结构及环保治理等因素相关性分析。

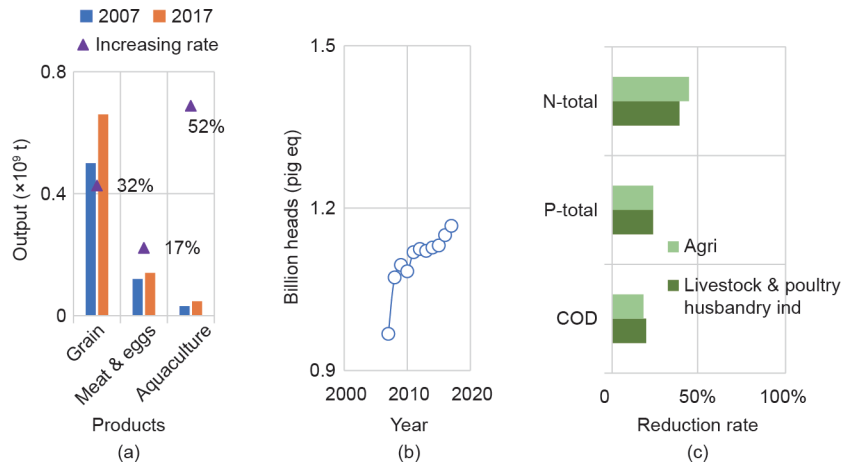


图4. (a) 谷物类、肉蛋类以及水产品产量变化；(b) 畜牧业产量（按生猪头数当量计）；(c) 废水主要污染物排放量变化情况（下降率，相比2007年）。

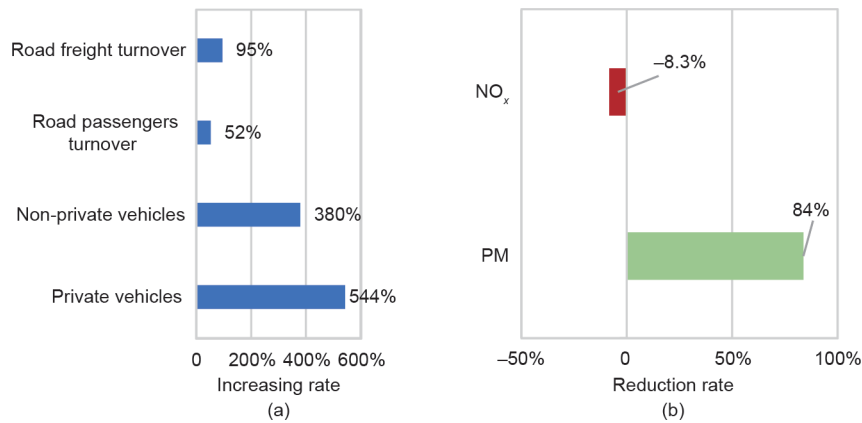


图5. (a) 机动车数量和公路周转量；(b) 移动源污染物排放降幅情况。

尽管我国在环境污染治理方面成效显著，但仍面临一些巨大挑战，如：①主要污染物如COD、氮氧化物、PM、VOC等排放总量仍维持在较高水平，其依然会阻碍水环境和空气环境质量的持续改善；②农业源和生活源已成为废水COD、氨氮和石油类污染物的主要排放源，而废气NO_x排放则主要源于移动源，且这些相对分散的污染源相比工业源更加难以控制和削减；③两次普查，工业固体废物的产生总量基本不变（约38亿吨），但综合利用率并未得以提高，仍保持在50%左右，而工业危险废物的产生量增长了近44%，2017年年末累计贮存量达到8881万吨，其对生态环境和人体健康构成了极大的威胁；④尤为突出的是我国以重化工为主的产业结构以及以煤电为主的能源结构（约70%）尚未发生根本性改变，且突发环境污染事件的频次也并未显著下降。

7. 展望

显然，我国仍将在遵循生态文明理念下持续推动社会经济和环境保护的协调与可持续发展，不断优化产业和能源结构，提高土地利用率，加快构建绿色生产和低碳生活方式，并将通过征收环境税、长江大保护计划、绿色经济发展计划（拟投入40万亿至120万亿元）[18]、“无废城市”建设等一系列举措，逐步实现联合国2030年的可持续发展目标（sustainable development goal, SDG）。对于任何国家和地区，无论处于何种发展水平，仍需寻求社会经济与环境保护的协调发展。从我国的发展经验来看，技术的进步和制度的创新对生态环境保护 and 生态文明建设的作用比单纯地放缓工业化和城镇化进程更为重要，其他国家和地区可结合自身发展的需求，来合理借鉴我国的生态文明实践和一系列的优化策略。

致谢

本研究获得国家重点研发计划(2018YFB1502804)和深圳市财政委员会高层次人才计划资助(827-000044)。

Authors' contribution

Qi Qiao conceived the idea, Minghui Xie, Huabo Duan, and Lu Bai conceived the paper and collected the data, and Huabo Duan and Peng Kang drew the figures. All authors contributed to discussing the results and writing the paper.

Compliance with ethics guidelines

Minghui Xie, Huabo Duan, Peng Kang, Qi Qiao, and Lu Bai declare that they have no conflict of interest or financial conflicts to disclose.

References

- [1] Bai X, Shi P, Liu Y. Society: realizing China's urban dream. *Nature* 2014;509(7499):158–60.
- [2] Sun J, Wang J, Wang T, Zhang T. Urbanization, economic growth, and environmental pollution. *Manag Environ Qual* 2019;30(2):483–94.
- [3] Liu J, Diamond J. China's environment in a globalizing world. *Nature* 2005;435(7046):1179–86.
- [4] Zang B, Cao C. Policy: four gaps in China's new environmental law. *Nature* 2015;517(7535):433–4.
- [5] Hansen MH, Li H, Svarverud R. Ecological civilization: interpreting the Chinese past, projecting the global future. *Global Environ Chang* 2018;53: 195–203.
- [6] Yang XJ. China's rapid urbanization. *Science* 2013;342(6156):310.
- [7] [Bulletin on the first national general survey of pollution sources (fiscal year: 2007)] [Internet]. Beijing: Ministry of Ecology and Environment, National Bureau of Statistics of China, and Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China; 2010 Feb 11 [cited 2020 Jul 6]. Available from: http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/qttjgb/qgqgtjgb/201002/t20100211_30641.html. Chinese.
- [8] [Bulletin on the second national general survey of pollution sources (fiscal year: 2017)] [Internet]. Beijing: Ministry of Ecology and Environment, National Bureau of Statistics of China, and Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China; 2020 Jun 10 [cited 2020 Jul 6]. Available from: http://www.gov.cn/xinwen/2020-06/10/content_5518391.htm. Chinese.
- [9] Wang J. [China has made great progress in ecological and environmental protection]. *China Environment News*. 2020 Jun 15; Sect. 03. Chinese.
- [10] [National statistical yearbook(2000–2019)] [Internet]. Beijing: National Bureau of Statistics of China; c2020 [cited 2020 Jul 10]. Available from: <http://www.stats.gov.cn/english/Statisticaldata/AnnualData>.
- [11] [The State Council Information Office held a press conference on the second national survey of pollution sources] [Internet]. Beijing: The State Council Information Office of the People's Republic of China; 2020 Jun 10 [cited 2020 Jul 10]. Available from: http://www.gov.cn/xinwen/2020-06/10/content_5518415.htm. Chinese.
- [12] Food security in China [Internet]. Beijing: The State Council Information Office of the People's Republic of China; 2019 Oct 14 [cited 2020 Jul 10]. Available from: <http://www.scio.gov.cn/zfbps/32832/Document/1666228/1666228.htm>.
- [13] Liang X, Zhang S, Wu Y, Xing J, He X, Zhang KM, et al. Air quality and health benefits from fleet electrification in China. *Nature Sustain* 2019;2(10):962–71.
- [14] Peng W, Yang J, Lu X, Mauzerall DL. Potential co-benefits of electrification for air quality, health, and CO2 mitigation in 2030 China. *Appl Energy* 2018;218: 511–9.
- [15] [State environmental bulletin(2007–2018)] [Internet]. Beijing: Ministry of Ecology and Environment; 2020 Jun 10 [cited 2020 Jul 15]. Available from: <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/>. Chinese.
- [16] Grossman GM, Krueger AB. Environmental impacts of a North American free trade agreement [Internet]. Cambridge: National Bureau of Economic Research; 1991 Nov [cited 2020 Jul 20]. Available from: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w3914/w3914.pdf.
- [17] Panayotou T. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development [Internet]. Geneva: International Labor Office; 1993 Jan [cited 2020 Jul 20]. Available from: http://www.ilo.org/public/libdoc/ilo/1993/93B09_31_engl.pdf.
- [18] Song S. Here's how China is going green [Internet]. Geneva: World Economic Forum; 2018 Apr 26 [cited 2020 Jul 20]. Available from: <https://www.weforum.org/agenda/2018/04/china-is-going-green-here-s-how>.