

我国工业水污染防治措施实施情况评估

曹宏斌¹, 李爱民², 赵赫¹, 李庭刚¹, 张笛¹, 朱利中^{3*}

(1. 中国科学院过程工程研究所, 北京 100190; 2. 南京大学环境学院, 南京 210023;
3. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058)

摘要: 自 2018 年 1 月 1 日新修订的《中华人民共和国水污染防治法》正式施行以来, 工业水污染防治措施条款总体执行良好, 全国工业水污染防治相关政策措施与设施建设已取得显著进展与成效。国家及相关部门高度重视、各省市积极响应, 发布相关政策法规等 60 余项; 各级部门继续淘汰落后产能, 积极推进企业清洁生产, 完成了 1400 余项工业集聚区污水集中处理设施建设, 支撑水污染防治工程举措落地。此外, 通过调研评估发现, 在部分法律条款执行和工业系统性水污染防治等方面仍然存在落实进展缓慢的情况, 存在条款间地区、行业落实不平衡, 污染超标排放时有发生, 支撑新的国家/地方污水排放标准的监管能力不足等问题。建议以清洁生产为核心抓手, 全过程综合控制工业水污染, 同时优化调整排水指标, 进一步推进环境信息公开, 为水污染防治攻坚战和生态文明建设目标任务的完成提供支撑。

关键词: 水污染防治; 工业水污染; 防治措施; 工程举措; 清洁生产; 信息公开

中图分类号: X32 文献标识码: A

Evaluation on the Implementation of Industrial Water Pollution Control in China

Cao Hongbin¹, Li Aimin², Zhao He¹, Li Tinggang¹, Zhang Di¹, Zhu Lizhong^{3*}

(1. Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 3. College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The provisions of industrial water pollution prevention and control have been well implemented since the newly revised *Law of the People's Republic of China on Prevention and Control of Water Pollution* was issued on January 1, 2018. The national policies and facility construction related to industrial water pollution prevention and control have achieved significant progress. National departments and provinces have issued over 60 related policies and regulations. Outdated production facilities were eliminated to actively promote cleaner production, and over 1400 centralized sewage treatment facilities were constructed in industrial agglomeration areas. However, investigation and evaluation indicate that the progress in the implementation of some legal provisions and the control of industrial water pollution is slow. Moreover, the implementation of provisions between regions and industries is imbalanced, excessive discharge of pollution occurs, and the regulatory capacity to support new national/local emission standards is insufficient. We suggest that entire-process control should be conducted over industrial water pollution while focusing on cleaner production, and drainage indicators should be optimized to further promote environmental information disclosure.

Keywords: prevention and control of water pollution; industrial water pollution; prevention and control measures; engineering measures; cleaner production; information disclosure

收稿日期: 2022-04-20; 修回日期: 2022-07-01

通讯作者: *朱利中, 浙江大学环境与资源学院教授, 主要从事跨介质污染控制理论与技术研究; E-mail: zlz@zju.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“水污染防治法实施情况评估研究”(2019-XY-01)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

我国正处于新型工业化、信息化、现代化快速发展阶段，水污染防治任务繁重艰巨。水污染防治是生态文明建设的重要内容。党的十八大以来，国务院于2015年4月2日出台了《水污染防治行动计划》（简称“水十条”）（国发〔2015〕17号），并于2017年6月27日修订《中华人民共和国水污染防治法》（以下简称《水污染防治法》）。2018年5月18—19日召开了全国生态环境保护大会，2018年6月16日出台了《关于全面加强生态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见》，提出要着力打好碧水保卫战，加快工业等污染源系统整治。打好污染防治攻坚战是全面建成小康社会的三大攻坚战之一，近年来国家出台的一系列环境保护的重大措施，污染治理力度之大、制度出台频度之密、监管执法尺度之严、环境质量改善速度之快前所未有，推动生态环境保护发生历史性、转折性、全局性变化。

2018年，我国万元国内生产总值（GDP）用水量为66.8 m³，万元工业增加值用水量为41.3 m³，约为世界先进水平的2倍 [1]。在国民经济三大产业比重中，我国第二产业一直占据国内生产总值的40%左右 [2]，工业的增长为中国经济快速增长的主要动力之一，但同时也是环境污染集中的产业。与发达国家以服务业为主导相比，我国虽然在经济增长总量和速度方面取得了惊人成绩，但是增长的主要动力来自于资源的投入。从工业产业结构来看，各行业规模以上工业企业总产值中，化学、冶金、能源、食品加工等重化工行业占据重要地位，但污水排放、化学需氧量（COD）与氨氮等污染物排放占比均超70% [3]。以高能耗、高污染、低技术为基本特征的生产结构决定了中国在参与国际分工中扮演的以加工制造为主的低效率、低产值、高排放出口角色。我国单位面积COD排放量高于日本等发达国家 [3,4]，尽管近年来我国工业废水排放的总量保持缓慢的下降趋势，并且有理由认为这种趋势将继续跟随产业转型、技术升级的步伐继续下去，然而与发达国家相比，我国工业污染排放总量仍然较高，排放强度也有待降低，且各地区及各工业部门之间的排放总量和强度差异显著。

2018年1月1日，新修订的《水污染防治法》正式施行。对《水污染防治法》的实施情况进行评

估，是贯彻落实《关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》的重要举措。本文通过对《水污染防治法》第四章“水污染防治措施”中工业水污染防治法律条款落实情况进行评估，调研2018—2019年工业水污染防治措施落实情况，理清各地在工业水污染防治制度、规范、技术、工程等方面的具体落实执行举措，梳理问题与不足，剖析主要原因，提出应对策略。为全面提升《水污染防治法》执行的监管水平，促进产业绿色转型，实现水污染治理目标提供重要支撑。

二、《水污染防治法》工业水污染防治条款评估

（一）条款概述

2017年新修订的《水污染防治法》第四章水污染防治措施的第二节工业水污染防治内容涵盖了第44~48条共计5条10款（见表1），其中第45条为新增条款，其他7款为保留条款。新增条款主要包括工业废水有毒有害污染物分类收集处理、集聚区设施建设与自动监测以及污水预处理等内容，目的是全面防控工业废水，严防有毒有害水污染物稀释排放。保留条款主要涉及淘汰落后产能、取缔严重污染企业、清洁生产、技术改造等工业行业污染防治内容。总体来看，工业水污染防治条款与2014年修订的《中华人民共和国环境保护法》、2012年修订的《中华人民共和国清洁生产促进法》实现了有效衔接。

（二）总体评估

工业水污染防治条款法规总体执行情况良好（见表1），在相关政策法规制定与落实、水污染防治工程举措实施等方面开展了大量工作，但是条款间存在地区、行业落实不平衡的问题。

对于新增第45条，国务院有关部门、地方政府、企业在工业废水收集和处理措施落实中的责任意识和主动性得到明显加强，从政策法规补充、工程举措落地和监督执行等方面加大工作力度，推动工业水污染防治深化。2018年，31个省（区、市）和新疆生产建设兵团针对新增第45条，结合区域实际制定了政策措施，发布19项地方政策法规 [5]，占工业水污染防治政策总数量的76%。21个省

表1 工业水污染防治条款落实情况总体评价

条款编号	条款核心内容	类型	总体评价
第44条	合理规划工业布局,减少废水和污染物排放量	保留	较好
第45条	有毒有害工业废水分类收集和处理	新增	一般
	工业集聚区配套建设污水集中处理设施和监测联网		较好
	对向污水集中处理设施排放的工业废水进行预处理		一般
第46条	国家对落后工艺和设备实行淘汰制度	保留	较好
	国家公布限期禁止采用的工艺和设备名录		较好
	在规定期限内停止生产/销售/进口/使用名录中的设备工艺		较好
	被淘汰的设备不得转让他人使用		较好
第47条	禁止新建不符合国家产业政策的小型生产项目	保留	较好
第48条	企业采用清洁工艺,减少水污染物的产生	保留	较好

(区、市)和新疆生产建设兵团着重于工业集聚区的污水集中处理设施建设、排污处理设施提升改造等工作,推进了因地制宜的工程设施建设。为工业园区集中排放整治等产生了积极有效的推动作用,有力指导了新增第45条的实施落实。

三、我国工业水污染防治实施成效

(一) 工业水污染防治力度进一步加大

1. 国家各部门及地方政府及时制定配套政策法规

《水污染防治行动计划》颁布以来,国家各部门和地方政府已针对性地出台了各项政策法规60余项,全方位指导工业水污染防治。生态环境部、工业和信息化部等部委发布了《关于加强固定污染源氮磷污染防治的通知》等40余项工业污染防治政策、技术导则、指南和规范等,对工业水污染防治发挥了重要的指导作用。31个省(区、市)和新疆生产建设兵团结合区域实际,制定并发布了包括《北京市新增产业的禁止和限制目录(2018年版)》《辽宁省工业集聚区水污染专项整治方案》、江苏省《全省沿海化工园区(集中区)整治工作方案》等在内的25项地方性政策措施[5],其中集聚区排放政策19项,产业结构调整、清洁生产技术改造等行业污染防治政策6项(见图1)。

2. 各级部门继续淘汰落后产能

我国不同企业的生产规模和技术水平差异明显,对于小、散、污的企业,优先通过产业结构调整解决。各级部门持续加大产业结构调整力度,取

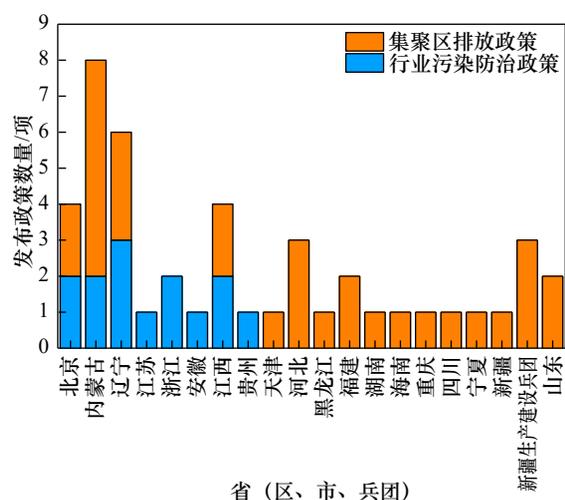


图1 2018年各省(区、市、兵团)工业水污染防治相关政策发布数量

缔了一大批“两高一低”企业,调控总产能。如2018年,工业和信息化部会同有关部门严格控制高耗水、高排放行业新增产能,完成钢铁化解过剩产能 3×10^7 t以上,实现了 4×10^7 t电解铝产能完成跨省置换[6]。据统计,2018年全国31个省(区、市)和新疆生产建设兵团已清理“十小”企业、“散乱污”企业5000余家,关闭取缔1800余个排污口,工业企业搬迁治理3700多家[5]。

3. 持续推动工程举措

针对《水污染防治法》新增条款要求的工业废水集中处理要求,各级部门积极行动,有效支撑工业集聚区污水集中处理与监控。截至2018年年底,全国涉及废水排放的省级及以上2411家工业园区中,超过97%建成了污水集中处理设施并安装了自

动在线监控装置，比《水污染防治行动计划》实施前提高了40% [7]。全国重点污染源监测数据管理系统也已正式联网运行，已有超过2万家企业接入管理平台。据不完全统计，2018年全国各省（市）共完成了1400余项工业集聚区污水集中处理设施建设（见表2） [5]。

4. 积极推进清洁化技术改造升级

在《中华人民共和国清洁生产促进法》《水污染防治行动计划》等法律法规的配合指导下，国务院有关部门、地方政府和企业主动行动，通过源头预防、过程减排和废物资源化，提升了工业污染控制水平。生态环境部有序推进了长江经济带“三磷”（磷矿、磷化工企业、磷石膏库）污染防治，公示了造纸、钢铁、制药等六大重点行业清洁化技术改造任务的完成情况。根据2018年各省上报材料统计，全国有23个省（区、市）和新疆生产建设兵团开展了造纸、钢铁、氮肥、印染等重点行业技术改造，13个省（区、市）推行了清洁生产，提升了重点行业企业清洁生产水平 [5]。

（二）清洁生产政策法规体系不断完善

目前基本上建立并形成了一套比较完善的、自上而下的清洁生产政策法规体系，为我国清洁生产工作的全面开展提供了政策支持和法律保障。

自引入清洁生产理念开始，我国的清洁生产工作通过试点推行，逐步从政策研究转向政策制定，并于2002年6月29日颁布了《中华人民共和国清洁生产促进法》（以下简称《促进法》），使我国清洁生产工作进入了有法可依的阶段。2003年至今，随着《促进法》的颁布实施，国家有关部门陆续制定出台了一系列配套政策和制度，如《关于加快推行清洁生产的意见》《中华人民共和国清洁生产促进法》《重点企业清洁生产审核程序的规定》《关于深

入推进重点企业清洁生产的通知》《中央财政清洁生产专项资金管理暂行办法》等，为进一步推行清洁生产工作提供了保障。2012年7月1日，新修订的《中华人民共和国清洁生产促进法》正式实施，标志着源头预防、全过程控制的战略已经融入到经济发展综合策略。2016年7月1日，《清洁生产审核办法》正式实施，进一步规范清洁生产审核程序，更好地指导地方和企业开展清洁生产审核。

自《清洁生产审核办法》颁布实施以来，2018年生态环境部、国家发展和改革委员会联合印发了《清洁生产审核评估与验收指南》。2019年，相关部委完善了行业清洁生产评价指标体系，如《钢铁行业清洁生产评价指标体系》《印刷行业清洁生产评价指标体系》等。此外，各省（区、市）也在国家政策的支持和引导下，相继制定和发布了配套政策和制度，如《清洁生产促进条例》《清洁生产管理办法》等，为各地区清洁生产工作提供了保障。

四、我国工业水污染防治面临的挑战

我国作为世界制造业大国，化工、冶金、轻工、纺织等大规模资源加工型产业在国民经济中长期占有重要地位，但工业污染的长期排放和积累对我国水资源和水环境造成严重危害，已成为影响我国生态文明建设国家战略目标实现的“卡脖子”难题。综合多方调研和实践体会，目前我国工业水污染防治主要存在如下问题。

（一）工业废水处理效果差，污染超标排放时有发生

1. 自然条件及经济发展水平差异导致水污染防治措施落实进度不一

我国不同地区的自然条件和经济发展水平差别较大，导致水污染防治措施落实进度不一。我国不同地区对条款的执行存在差异，保留条款好于新增条款，经济发达地区优于欠发达地区。如浙江省编制实施《浙江省工业污染防治“十三五”规划》，开展化工、印染、造纸、制革、铅蓄电池、电镀6大重污染高耗能行业整治提升情况终期评估，并对评估结果进行通报。但仍有少数省（市）的部分工业水污染治理严重滞后，甚至被生态环境部通报，任务落实中有“水分”，工业企业超标、超总

表2 各省（市）工程举措落实情况

实施成效	省（市）/ 行业	工程数量/ 投入
工业园区集中处理设施	22省（市）	1400余项
2411家省级及以上工业集聚区	—	超过97%
全国重点污染源监测数据联网	—	2万家
排污许可证	18行业	3.9万多家
取缔“十小”企业	15省（市）	5000余家

量排放等违法行为时有发生,仍有不少村镇级工业园聚集大量小作坊式工厂。例如,2018年,生态环境部共通报291家企业涉水污染物严重超排(见图2)[8~11],其中新疆维吾尔自治区严重超标重点排污单位达56个,占全国的19%,辽宁严重超标重点排污单位达32个,占全国的11%。2018年11月,中央第二生态环境保护督察组发现山西省推进焦化产业升级改造不力,熄焦水超标问题十分突出。抽查的85%的焦化企业的熄焦水存在超标现象,75%的焦化企业挥发酚超标,平均超标174.3倍。

2. 工业行业差异导致水污染防治措施落实不平衡

我国工业布局及各行业在节能减排技术、环境管理能力等方面的差异,也导致了相关条款在落实过程中存在一定不平衡,整体来看石化、钢铁等集中度高的行业落实程度优于精细化工等分散性行业。14个省(区、市、兵团)在相关行业部署了清洁化改造、排污许可证核发、落后产能淘汰等举措。但农药、精细化工等行业产能分散、污染防控难度大、经济效益低,落实相对滞后。例如,工业和信息化部针对钢铁、造纸、纺织、化工等重点行业实施水效“领跑者”引领行动,加快推广应用先进适用节水技术,有力推动了重点耗水行业水效提升。钢铁行业作为产能集中度高、污染防控难度低的典型行业,吨钢水耗在“十二五”下降18.95%的基础上,到2018年又下降了15.38%,达到 2.75 m^3 [12,13]。而部分行业企业缺乏工业进区、产

业入园,产业布局规划落后,集聚效应差,无法实现污染集中治理,有待进一步优化。

3. 先进适用的技术支撑及企业和园区统筹不够,造成外排水不能稳定达标

全国31个省(区、市)和新疆生产建设兵团上报的水污染防治法落实材料中,多个省份都提出了企业及工业聚集区废水处理不能稳定达标的问题[5]。深入调研发现,一个重要原因是化工、印染、制药等行业的工业废水中难降解污染物种类多、浓度高、毒性强、可生化性差,设施运行不稳定,而企业及工业聚集区目前主要采用成本低的废水生化处理设施,难以满足设计要求;工业聚集区内企业经过预处理后间接排放废水时,综合污水处理设施处理效率很容易受到影响而导致不达标。与发达国家相比,我国水污染控制指标长期集中于COD和氨氮,重污染行业废水治理的重点在于废水的末端处理。在此政策引导下,为了节省投资、简化流程、减少占地,基本不考虑废水的不同水质,而采用多股废水混合处理,建立了大批综合污水处理厂。由于没有有效控制有毒物质的手段,应对水量变化大、化学成分复杂、有毒有害物质浓度高的行业废水时,综合处理厂的效果往往达不到预期效果。轻工、化工、制药等行业高浓度有机废水,印染、化工、石化、冶金、煤化工等行业难降解有机废水尚无经济适用的处理技术流程。

4. 废水末端治理与生产过程脱节造成污染处理成本居高不下

欧美等发达国家和地区推动产业的资源节约与技术生态化升级,构建资源节约和综合利用型产业结构与技术体系,仅在20世纪70年代单位GDP能耗就下降了20%以上[14]。近年来,我国通过末端治理大大减轻了环境污染的程度,其成绩应该予以肯定,但单纯末端治理的环境污染治理模式已不能解决我国当前重点行业所面临的节能环保问题。一方面,废水治理与生产过程脱节,生产过程减排少,工段和车间生产过程产生污染物全部汇集至末端进行集中处理后排放,其处理成本也相应提高,往往超过企业的承受能力,因此行业废水偷排、漏报现象比较严重。另一方面,现有水污染控制体系缺乏协同考虑生产工艺过程中物料、资源循环问题,耗水量和成本居高不下。我国工业废水行业平均处理成本由2011年的1.26元/吨上升到2017年的

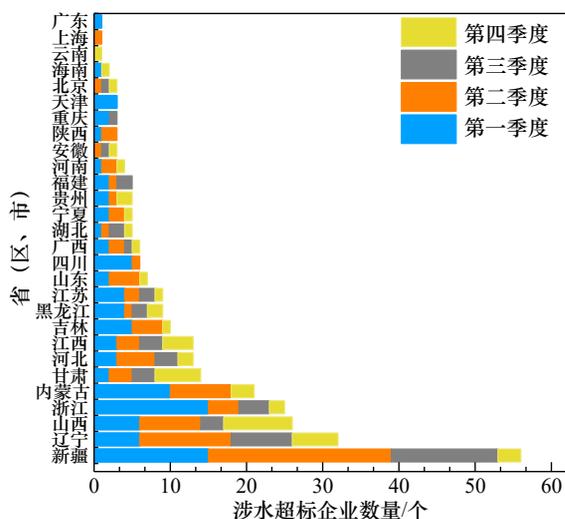


图2 2018年生态环境部通报涉水污染物排放严重超标单位数量

1.7元/吨，预计未来仍将持续上升 [15]。

(二) 支撑新的国家/地方污水排放标准的监管能力不足

1. 有毒有害物质监管的标准有待优化

在国家政策引导下，我国工业废水常规污染物排放已得到了一定的控制，但高毒性排放行业的高环境风险问题日益凸显。我国工业排污强度大，尤其是残留毒性化学品原料及生产过程产生的众多有毒有害污染物进入废水，导致外排水中污染物成分复杂、毒性风险高。目前我国有毒有害水污染物目录、控制方法和在线监测等尚难以满足社会快速发展的急迫需求。近年来，多个新制定/修订的国家和地方污水排放标准中增加了有毒有害污染物，数量从几种到超过一百种不等。2019年7月24日，生态环境部与国家卫生健康委员会联合制定发布了《有毒有害水污染物名录（第一批）》 [16]，仅公布10个有毒有害污染物，国家颁布的行业污水排放标准中涉及的多个特征污染物尚未进入目录，影响了进一步的处理和监管措施落实。且由于监测方法缺乏、废水处理设施不完善等原因，很多排放标准难以严格执行。例如，2018年新修订的《上海市污水综合排放标准》（DB31/199—2018）中污染指标多达109种 [17]、《石油化学工业污染物排放标准》（GB 31571—2015）中仅有机污染物就多达67种，包括了二噁英、苯并芘、多环芳烃等测定流程复杂、成本高的污染物 [18]，一般企业和基层环境监测部门难以实现日常监管。

2. 工业排污数据缺乏公开，监管缺少抓手

近年来，我国工业废水中污染物尤其是毒性污染物数据缺乏公开，无法从《中国环境统计年鉴》等官方文件查询，存在发布滞后、更新频率低、数据缺失、发布方式查询不便等问题，排污量及排污浓度缺乏公开数据，对我国工业污染现状的有效评估造成一定的阻碍。另外，我国生产企业数量众多、技术水平和环保意识差异大，在生产过程中对环保的重视和投入也各不相同。部分企业尤其是中小企业，环保意识薄弱，不能主动对生产废水进行收集和专门处理，而基层环保管理部门因人员、技术等原因，对主要监管企业的排污口及废水处理过程监管难度较大，相关数据反映较少，难以在第一时间准确了解到企业的废水产生、收集和处理，尤

其废水中是否含有或含有多高浓度有毒物质。对已经产生的废水处理处置方式、处理效果等均难快速、准确判断，甚至被企业误导。

五、对策建议

(一) 以清洁生产为核心抓手，全过程综合控制工业水污染

与国外发达国家不同，我国是一个地广人多的发展中国家，社会经济建设正在加速运行，但同时又是一个在部分地区生产经营较为粗放、资源能源利用效率依然较低、污染排放不容乐观的国家，因此，针对条款间不同地区、行业落实不平衡，部分企业和工业集聚区废水处理设施稳定性差，甚至存在超标排放现象等工业水污染治理问题，必须针对我国经济发展与资源环境的基本矛盾，以生态规律为指导，围绕产业结构的生态转型，紧密结合我国社会经济发展阶段的基本特征和新型工业化的建设需要，以清洁生产和循环经济为核心，管理-技术-工程联动，进行工业水污染全过程控制。将节能降耗与污染治理向生产过程源头控制延伸，从源头、过程到末端一体化统筹考虑污染防治，实现全过程的污染控制。只有将污染治理与生产工艺有机协同、污染治理成本纳入企业生产成本，才有可能从根本上解决污染治理成本居高不下的问题。

(二) 优化调整排水指标，推进信息公开

1. 增加综合毒性指标，优化污染物指标的选取

我国在制药行业六项系列排放标准（GB 21903~GB 21908）中首次引入了毒性指标，即急性毒性（ HgCl_2 毒性当量计） [19]，但没有限值参考且不具代表性。废水综合毒性法是美国基于水环境质量的排放限值确定的官方方法之一 [20,21]，德国的多个工业行业的水污染物排放标准直接使用了综合毒性指标，易于操作且具有广泛代表性，对保护本国水环境质量、防范环境风险起到了切实的效果 [20]。对比发达国家，我国废水排放标准中综合毒性指标的应用仍处于起步阶段。由于综合毒性指标能直接反映废水对生态系统的影响，在较难对水污染物进行一一识别并制定排放限值的情况下（如化工、制药、农药等涉及多种化学品生产使用的工业行业废水排放管理），相对于其他常规指标具有

明显的优点。建议加快废水综合毒性指标的建立,优化排放标准体系。

2. 改善监管方式, 实现精准管控

为了有效解决我国行业废水有毒有害污染种类多、监管难的问题,建议从工业外排水综合毒性管理、尾水分类监管等方面开展工作。首先,加快制定国家和地方层面的排水毒性标准,用综合毒性指标代替具体污染物指标,解决外排水中低浓度特征污染物监测难的问题;其次,通过综合毒性标准,推动毒性污染物控制技术进步;最后,针对不同排放口(企业、园区)尾水污染物浓度、种类、毒性差异大的现状,采取区别化的监管方法。例如,采用间接排放标准的企业外排水口,优先监测特征污染物及其浓度,适当提高监测频次;采用直接排放标准的企业污水处理厂外排水口,在稳定达标排放的基础上,重点关注综合毒性,适当降低监测频次。

3. 加强基础能力建设, 推进信息公开

首先,加强基础能力建设,对基层环境管理人员进行技术培训,补充监测装备,提升环境监管能力。其次,加强企业主动环保守法教育,进一步提高企业主动治污的责任意识;最后,进一步加强环境污染排放信息的实时公开,强化对重点企业的环境监管和社会监督,推动污染减排和产业结构调整。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: April 20, 2022; **Revised date:** July 1, 2022

Corresponding author: Zhu Lizhong is a professor from the College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University. His major research field is cross-media pollution control theory and technology. E-mail: zlz@zju.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project "Assessment of the Implementation of the Law on Prevention and Control of Water Pollution" (2019-XY-01)

参考文献

- [1] 王亚华, 许菲. 当代中国的节水成就与经验 [J]. 中国水利, 2020 (7): 1-6.
Wang Y H, Xu F. Present achievements and experiences of water conservation in China [J]. China Water Resources, 2020 (7): 1-6.
- [2] 黄群慧. 改革开放40年中国的产业发展与工业化进程 [J]. 中国工业经济, 2018 (9): 5-23.
Huang Q H. China's industrial development and industrialization

- process during the 40 years of reform and opening-up [J]. China Industrial Economics, 2018 (9): 5-23.
- [3] 中华人民共和国环境保护部. 全国环境统计公报(2015年) [R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2017.
Ministry of Environmental Protection of the PRC. Environmental statistics bulletin 2015 [R]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the PRC, 2017.
- [4] Ministry of the Environment Government of Japan. Annual report on environmental statistics 2015 [EB/OL]. (2016-09-17) [2022-05-22]. <https://www.env.go.jp/en/statistics/e2015.html>.
- [5] 全国人民代表大会环境与资源保护委员会, 中华人民共和国生态环境部. 全国各省(区、市)水污染防治法落实情况 [R]. 北京: 全国人民代表大会环境与资源保护委员会, 中华人民共和国生态环境部, 2019.
The National People's Congress of the PRC, Ministry of Ecology and Environment of the PRC. Implementation of water pollution prevention and control of all Provinces (autonomous regions and municipalities) in China [R]. Beijing: The National People's Congress of the PRC, Ministry of Ecology and Environment of the PRC, 2019.
- [6] 产经资讯. 发改委: 2018年压减钢铁产能3000万吨左右 [J]. 通用机械, 2018 (5): 10.
Industry & Economic Information. National Development and Reform Commission: Reduce steel production capacity by about 30 million tons in 2018 [J]. General Machinery, 2018 (5): 10.
- [7] 郭治鑫, 邓婷婷, 董战峰. 工业园区污水处理设施监管政策框架研究 [J]. 环境保护, 2019, 47(13): 47-52.
Guo Z X, Deng T T, Dong Z F. Regulatory policy framework of sewage treatment facilities in the industrial park [J]. Environmental Protection, 2019, 47(13): 47-52.
- [8] 中华人民共和国生态环境部. 2018年第一季度主要污染物排放严重超标重点排污单位名单和处罚整改情况 [EB/OL]. (2018-09-17) [2022-05-22]. <https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk01/201809/W020181010395633075415.pdf>.
Ministry of Ecology and Environment of the of the PRC. List of major pollutant discharge units that seriously exceeded the standard and the rectifications in the first quarter of 2018 [EB/OL]. (2018-09-17) [2022-05-22]. <https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk01/201809/W020181010395633075415.pdf>.
- [9] 中华人民共和国生态环境部. 2018年第二季度主要污染物排放严重超标重点排污单位名单和处罚整改情况 [EB/OL]. (2018-11-19) [2022-05-22]. https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk01/201811/t20181122_674726.html.
Ministry of Ecology and Environment of the of the PRC. List of major pollutant discharge units that seriously exceeded the standard and the rectifications in the second quarter of 2018 [EB/OL]. (2018-11-19) [2022-05-22]. https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk01/201811/t20181122_674726.html.
- [10] 中华人民共和国生态环境部. 2018年第三季度主要污染物排放严重超标重点排污单位名单和处罚整改情况 [EB/OL]. (2019-01-22) [2022-05-22]. http://news.china.com.cn/2019-01/22/content_74488306.htm.
Ministry of Ecology and Environment of the of the PRC. List of major pollutant discharge units that seriously exceeded the stan-

- dard and the rectifications in the third quarter of 2018 [EB/OL]. (2019-01-22)[2022-05-22]. https://news.china.com.cn/2019-01/22/content_74488306.htm.
- [11] 中华人民共和国生态环境部. 2018年第四季度主要污染物排放严重超标重点排污单位名单和处罚整改情况 [EB/OL]. (2019-05-10)[2022-05-22]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/sthjzf/zfzdyxzc/201905/t20190510_702448.shtml.
Ministry of Ecology and Environment of the PRC. List of major pollutant discharge units that seriously exceeded the standard and the rectifications in the fourth quarter of 2018 [EB/OL]. (2019-05-10) [2022-05-22]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/sthjzf/zfzdyxzc/201905/t20190510_702448.shtml.
- [12] 中华人民共和国工业和信息化部. 工业绿色发展规划(2016—2020年)[EB/OL].(2016-07-25) [2022-05-22]. <http://www.scio.gov.cn/xwFbh/xwbfhb/wqfbh/33978/34888/xgzc34894/Document/1484864/1484864.htm>.
Ministry of Industry and Information Technology of the PRC. The industrial green development plan (2016—2020) [EB/OL]. (2016-07-25) [2022-05-22]. <http://www.scio.gov.cn/xwFbh/xwbfhb/wqfbh/33978/34888/xgzc34894/Document/1484864/1484864.htm>.
- [13] 林高平. 浅谈废水零排放与钢铁企业的水资源管理 [J]. 资源再生, 2019 (7): 33-38.
Lin G P. Talking about zero discharge of wastewater and water resources management of iron and steel enterprises [J]. Resource Recycling, 2019 (7): 33-38.
- [14] 胡涛. 结构调整是解决环境污染问题的根本途径——来自国际经验的启示 [J]. 环境与可持续发展, 2020, 45(1): 123-127.
Hu T. Economic structure adjustment is the final solution of environmental pollution problems [J]. Environment and Sustainable Development, 2020, 45(1): 123-127.
- [15] 宋盈盈. 中国环保产业发展阶段及企业竞争力评价方法研究与应用 [D]. 北京: 清华大学(硕士学位论文), 2018.
Song Y Y. Study on evaluation method for the development stage and enterprise competitiveness of environmental industry and its application on china [D]. Beijing: Tsinghua University (Master's thesis), 2018.
- [16] 中华人民共和国生态环境部, 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 有毒有害水污染物名录(第一批)[EB/OL].(2019-07-23) [2022-05-20]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/201907/t20190729_712633.html.
Ministry of Ecology and Environment of the PRC, National Health Commission of the Peoples Republic of China. List of toxic and harmful water pollutants [EB/OL]. (2019-07-23) [2022-05-20]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/201907/t20190729_712633.html.
- [17] 上海市环境科学研究院. DB 31/199—2018 上海市污水综合排放标准 [S]. 北京: 中国质检出版社, 2018: 6-9.
Shanghai Academy of Environmental Sciences. DB 31/199—2018 Integrated wastewater discharge standard of Shanghai [S]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2018: 6-9.
- [18] 抚顺石油化工研究院, 中国环境科学研究院. GB 31571—2015 石油化学工业污染物排放标准 [S]. 北京: 环境科学出版社, 2015: 8-10.
Fushun Research Institute of Petroleum and Petrochemical, Chinese Research Academy of Environmental Sciences. GB 31571—2015 Emission standard of pollutants for petroleum chemistry industry [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2015: 8-10.
- [19] 任春, 卢延娜, 张虞, 等. 综合毒性指标在水污染物排放标准中的应用探讨 [J]. 工业水处理, 2014, 34(12): 4-7.
Ren C, Lu Y N, Zhang Y, et al. Discussion on the application of comprehensive toxicity indexes to the water pollutant discharge standards [J]. Industrial Water Treatment, 2014, 34(12): 4-7.
- [20] U. S. EPA. EPA NPDES permit writers' manual [R]. Washington DC: Office of Wastewater Management, 2010.
- [21] U.S.EPA. Technical support document for water quality-based toxics control [R]. Washington DC: Office of Water Enforcement and Permits & Office of Water Regulations and Standards, 1991.