



文章栏目: 工业园区水污染防治专题

DOI 10.12030/j.cjee.202405023 中图分类号 X703 文献标识码 A

沿黄河省（区）工业园区水污染治理现状、问题与对策

刘丹妮¹, 纪美辰¹, 程瀚洋², 练湘津², 杨群³, 张娟娟¹, 廖海清^{1,✉}, 刘雪瑜^{1,✉}

1. 中国环境科学研究院水生态环境研究所, 北京 100012; 2. 生态环境部, 水生态环境司, 北京 100006; 3. 广西壮族自治区生态环境厅, 南宁 530025

摘要 黄河是我国重要的生态屏障和经济地带。近年来, 黄河流域水环境质量明显改善, 但随着工业企业不断聚集, 工业园区水污染治理成为黄河流域水环境保护面临的巨大挑战。本研究围绕沿黄河省(区)工业园区水污染治理这一主题, 系统阐述了沿黄河省(区)省级及以上工业园区类型与分布、工业废水排放特征, 分析了污水集中处理设施建设运行、污水集中处理设施执行的排放标准情况。在此基础上进一步分析发现, 沿黄河省(区)省级及以上工业园区水污染治理与污水资源化水平差异显著, 工业园区污水集中处理设施建设和运行存在短板, 工业园区水污染物排放标准尚有空缺, 难以支撑工业园区精细化水环境管理。根据流域资源禀赋、自然条件和行业产业特征, 以减污降碳协同增效为目标, 建议强化工业废水达标监管, 推进污水资源化利用, 鼓励标杆园区引领发展, 加强工业园区环境基础设施建设和运维, 不断提升污水处理效能, 推动工业园区水污染物排放规范管理, 有效防范水生态环境风险。

关键词 工业园区; 水污染治理; 污水集中处理设施; 沿黄河省(区)

黄河全长约 5 464 km, 流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东 9 省(区), 横贯国土的西、中、东 3 大区域, 流域总面积 $7.95 \times 10^5 \text{ km}^2$, 是连接西北高原与东部渤海的重要生态廊道, 也是我国重要的能源、化工、原材料和基础工业基地, 在我国经济社会发展和生态安全方面具有重要的地位^[1-2]。近年来, 习近平总书记走遍了黄河上中下游 9 省(区), 多次对黄河生态保护治理提出明确要求, 强调黄河流域必须下大力气进行大保护、大治理, 走生态保护和高质量发展的路子^[3]。通过一系列工作举措, 黄河流域水环境持续向好, 总体水质明显改善, 2022 年黄河流域达到或优于《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)^[4] III 类水质的断面比例达到 87.5%, 干流首次全线达到 II 类水质。

黄河流域的产业结构主要以重工业为主, 随着工业企业集聚入园, 大量集聚了传统高污染、高能耗、高排放的产业^[5]。据统计, 2022 年沿黄河 9 省(区)省级及以上工业园区 800 余家, 占全国省级及以上工业园区总数四成以上。因工业园区规模大、集聚度高、污染排放量大, 也成为了工业废水排放的集中区域, 环境风险较高, 减排压力较大, 工业废水污染治理成为环境保护的重要问题^[6]。污水集中处理设施作为工业园区水污染治理的主要手段, 对缓解水资源短缺和水环境保护工作具有重要意义^[7-8], 本研究从黄河流域工业园区减污降碳的角度, 梳理总结沿黄河 9 省(区)工业园区的水污染治理现状, 分析工业园区水污染治理与污水资源化水平、污水集中设施建设和运行、水污染物执行的排放标准等方面存在的问题, 提出切实可行的建议和管理对策, 以期为推动实现黄河流域生态保护和高质量发展目标提供支撑。

收稿日期: 2024-05-08 录用日期: 2024-09-13

基金项目: 生态环境部预算内工作专项资助项目(10214422026000009095); 国家自然科学基金青年资助项目(22106173); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资助项目(2024YSKY-11)

第一作者: 刘丹妮(1988—), 女, 硕士研究生, 高级工程师, liu.danni@cracs.org.cn

✉通信作者: 廖海清(1979—), 男, 博士, 研究员, liahq@cracs.org.cn; 刘雪瑜(1981—), 女, 博士, 副研究员, liuxueyu@cracs.org.cn

1 沿黄河9省(区)工业园区水污染治理现状

1.1 工业园区类型与分布特征

根据2022年沿黄河省（区）数据调查与分析，截至2022年，沿黄河9省（区）省级及以上工业园区数量及分布如图1所示，主导产业分布情况如图2所示。从工业园区数量及分布来看，沿黄河9省（区）省级及以上工业园区803家，占全国省级及以上工业园区总数的28.23%，其中国家级112家，省级691家，其中山东工业园区数量最多，为218家，占沿黄河9省（区）总数的27.15%，其次是河南、四川、山西，发表分别为180、148、70家，分别占沿黄河9省（区）总数的22.42%、18.43%、8.72%，其余5省（区）工业园区占比为23.28%，呈现出中下游分布数量多，上游（除四川、内蒙古）分布数量少的特点，国家级和省级工业园区分布特点相同。从化工园区数量及分布来看，沿黄河9省（区）共有化工园区243家，其中山东化工园区数量最多，为107家，占沿黄省区总数的44.03%，其次是河南、内蒙、山西、四川，分别为39、26、23和23家，分别占沿黄省区总数的16.05%、10.70%、9.47%和9.47%，宁夏、陕西、甘肃、青海等上游4省份化工园区占比为10.29%。从工业园区主导产业来看，新材料、煤化工、农副产品加工、食品、电子、医药、有色金属冶金和压延加工、石油化工等行业占比较高，占比分别为11%、9%、9%、8%、8%、6%、5%、5%，其中黄河上游占比较高的3个主导产业为农副产品加工、有色金属冶金和压延加工、食品，黄河中游占比较高的3个主导产业为煤化工、新材料、有色金属冶金和压延加工，黄河下游占比较高的3个主导产业为石油化工、医药、电子。黄河流域上、中、下游资源禀赋不同，加之经济发展水平、产业结构差异较大，工业园区和化工园区分布

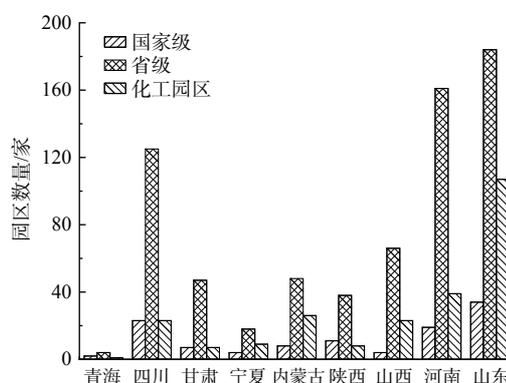


图1 沿黄河9省(区)工业园区分布情况

Fig. 1 Distribution of industrial parks in 9 provinces (regions) along the Yellow River

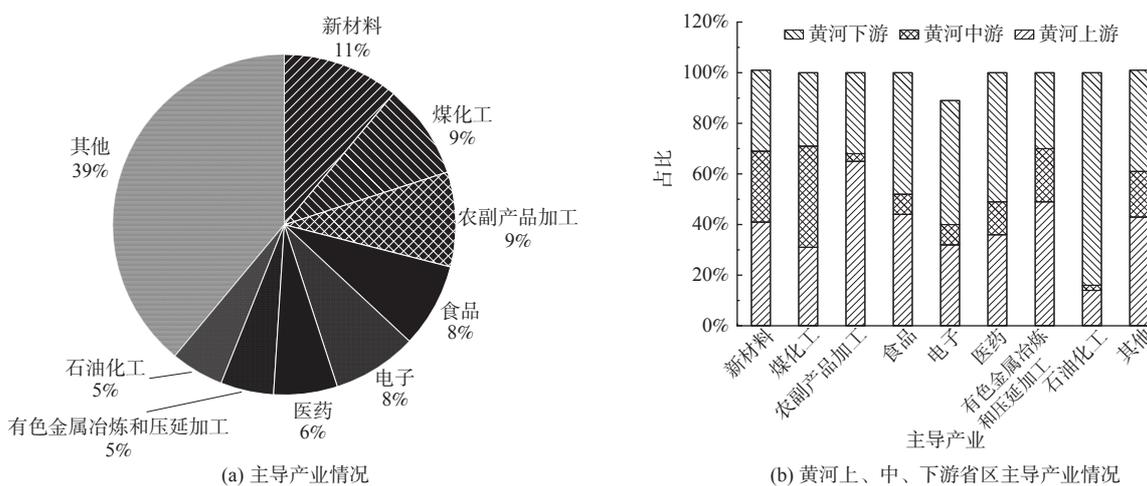


图2 沿黄河9省(区)工业园区主导产业分布情况

Fig. 2 Distribution of leading industries in 9 provinces (regions) along the Yellow River

极不均衡。

1.2 工业园区水污染物排放特征

工业废水排放特征。根据2022年沿黄河省（区）数据调查与分析，我国沿黄河9省（区）省级及以上工业园区工业废水排放及涉水企业情况如图3所示，水资源与工业园区工业废水回用情况如图4所示。2022年，沿黄河9省（区）省级及以上工业园区共有8900余家涉水工业企业，工业废水年排放量约

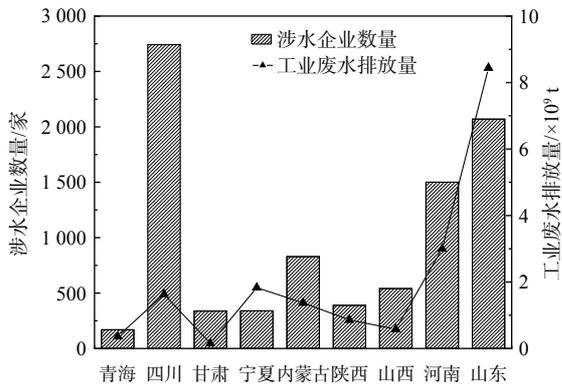


图 3 沿黄河 9 省(区)工业园区工业废水排放及涉水企业情况

Fig. 3 Industrial wastewater discharge and water-related enterprises in industrial parks in 9 provinces (regions) along the Yellow River

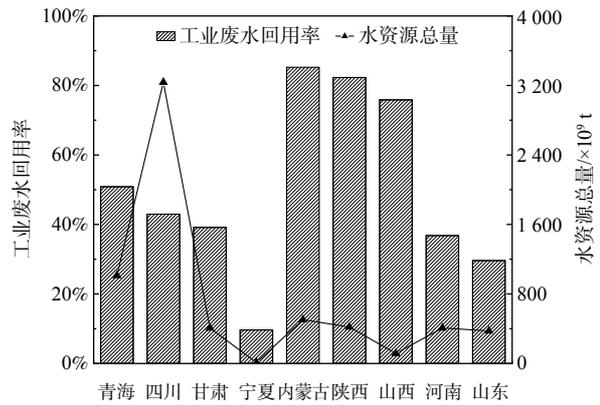


图 4 沿黄河 9 省(区)水资源与工业园区工业废水回用情况

Fig. 4 Reuse of water resources and industrial wastewater in industrial parks in 9 provinces (autonomous regions) along the Yellow River

1.82×10⁹ t; 从工业废水排放量来看, 工业废水排放量由高到底依次为山东、河南、宁夏、四川、内蒙古、陕西、山西、青海、甘肃, 其中山东水资源总量相对较低, 约 3.75×10¹⁰ m³, 但其工业废水排放量相对最大, 占比达到 46.32%; 从工业废水回用情况来看, 工业废水回用率从高到底依次为内蒙古、陕西、山西、青海、四川、甘肃、河南、山东、宁夏, 其中内蒙古、陕西、山西、青海工业废水回用率均超过了 50%, 宁夏工业废水回用率最低, 不足 10%, 山东工业废水排放量相对最大, 但是回用率不足 30%; 从涉水企业数量来看, 四川、山东、河南涉水企业数量占比较高, 分别为 30.74%、23.21%、16.83%, 其中四川涉水企业数量最多, 但工业废水排放量仅 8.96%, 涉水企业规模相对较小。

主要污染物排放情况。根据 2022 年沿黄河省(区)数据调查与分析, 我国沿黄河 9 省(区)省级及以上工业园区主要污染物排放情况如图 5 所示。2022 年, 沿黄河 9 省(区)省级及以上工业园区 COD 排放量约 1.88×10⁵ t, 氨氮排放量约 0.59×10⁴ t, 总氮排放量约 8.72×10⁴ t, 总磷排放量约 0.18×10⁴ t; 从省份分布来看, COD 排放量占比由大到小依次为山东、河南、四川、内蒙古、陕西、山西、甘肃、宁夏、青海; 氨氮排放量占比由大到小依次为河南、山东、四川、内蒙古、甘肃、山西、陕西、宁夏、青海; 总氮排放量占比由大到小依次为山东、河南、四川、山西、内蒙古、陕西、甘肃、宁夏、青海; 总磷排放量占比由大到小依次为山东、河南、四川、甘肃、内蒙古、陕西、山西、宁夏、青海。总体来看, 沿黄河 9 省(区)省级及以上工业园区主要污染物排放情况与工业废水排放量基本呈正相关关系, 但是宁夏和甘肃存在差异, 甘肃工业废水排放量最小, 但主要污染物排放量相对较高; 黄河流域下游的山东、河南主要污染物排放量位居前两位, 黄河流域上游的四川主要污染物排放量位于第 3 位。

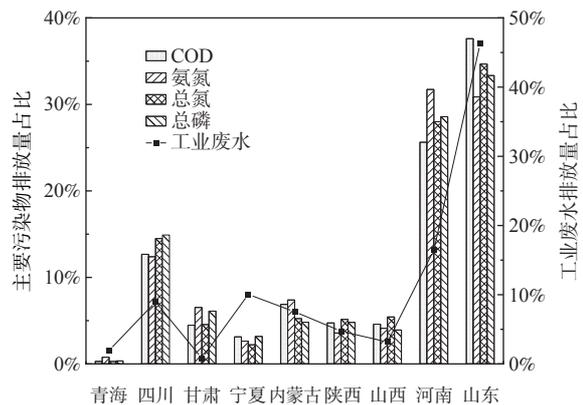


图 5 沿黄河 9 省(区)工业园区主要污染物排放量占比
Fig. 5 Proportion of major pollutant emissions in industrial parks in 9 provinces (regions) along the Yellow River

1.3 污水集中处理设施的类型与分布特征

污水集中处理设施的类型。目前, 我国沿黄河省(区)工业园区共涉及 1 000 余座污水集中处理设施, 污水集中处理设施按照污水处理模式分为城镇污水集中处理设施、园区自建污水集中处理设施及园内企业污水处理设施 3 大类, 占比分别为 50.33%、43.87%、5.79%, 其中以城镇污水集中处理设施与园区自建污水

集中处理设施为主。

城镇污水集中处理设施是指进入城镇污水收集系统的污水进行净化处理的污水处理设施，工业园区内涉水企业通过“预处理-纳管”处理模式，将预处理后的工业废水排入城镇污水集中处理设施，以达到既定的排放标准并将净化后的水回收利用。园区自建污水集中处理设施是通过管道等方式收集废水，为工业园区内2家以上排污单位提供废水处理服务并且排水能够达到相关排放标准要求的废水处理设施。这种处理模式将多家工业企业的污水集中到一处处理，具有处理效率高、运行管理便利等优点，但也存在管网建设成本高、运行风险大等问题^[9]。

污水处理设施的分布特征。根据2022年沿黄河省（区）数据调查与分析，我国沿黄河9个省（区）的污水处理设施分布特征如图6所示。我国青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南以及山东等沿黄河9省（区）的污水处理设施涉及1000余座。按照省（区）划分污水处理设施分布，其占比由低至高依次为青海、宁夏、四川、内蒙古、山西、甘肃、陕西、河南和山东，相应的占比分别为5.88%、27.27%、37.74%、40.18%、43.28%、49.28%、58.82%、60.83%和63.26%。

按照省（区）划分城镇污水集中处理设施分布，其占比由低至高依次为青海、宁夏、四川、内蒙古、山西、甘肃、陕西、河南和山东，相应的占比分别为5.88%、27.27%、37.74%、40.18%、43.28%、49.28%、58.82%、60.83%和63.26%。相比之下，园区自建污水集中处理设施占比由低至高依次为山东、河南、陕西、山西、甘肃、内蒙古、宁夏、四川和青海，相应的占比分别为31.44%、37.33%、39.22%、41.97%、44.93%、49.11%、56.82%、58.02%和94.12%。其中，城镇污水集中处理设施占比超过50%的有陕西、河南和山东3省份；园区自建污水集中处理设施占比超过50%的有宁夏、四川和青海3省份。

进一步，对污水处理设施设计处理能力分析如图7所示。我国沿黄河9省（区）的工业园区总设计处理能力 $3.78 \times 10^7 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ，其中，城镇污水集中处理设施的设计处理量是 $2.80 \times 10^7 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ，占总设计处理量的74.11%；园区自建污水集中处理设施、园区内企业污水处理设施的设计处理量分别为 8.24×10^6 、 $1.54 \times 10^6 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ，分别占总设计处理量的21.80%、4.09%。综上分析，沿黄河9省（区）的工业园区数最多的3个省份是山东、河南和四川，其污水处理设施数也是排名前3，分别是264、217和212座，占沿黄河9省（区）的工业园区处理设施数的65.81%；对应设计处理量也是山东、河南和四川位居前3，分别为 1.20×10^7 、 1.06×10^7 和 $0.62 \times 10^7 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ，占沿黄河9省（区）的工业园区总设计处理量的76.18%。

根据2022年沿黄河省（区）数据调查与分析，我国沿黄河9省（区）的污水处理设施联网情况如图8所示。按照省（区）划分由低至高依次为青海、山西、内蒙古、甘肃、陕西、四川、山东、河南和宁夏，相应的联网率分别为52.94%、79.10%、83.93%、88.41%、94.12%、95.28%、98.48%、99.54%和100.00%。

根据2022年沿黄河省（区）数据调查与分析，我国沿黄河9省（区）的污水处理设施平均运行负荷情

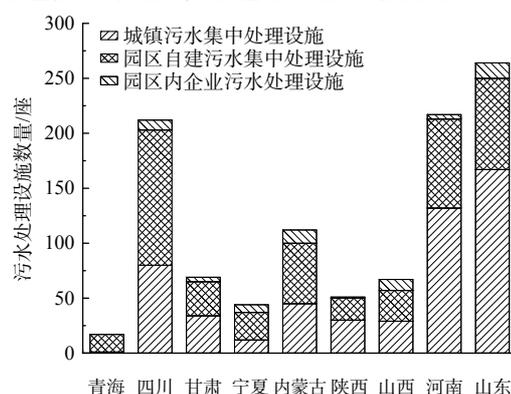


图6 沿黄河9省（区）污水处理设施类型与分布情况

Fig. 6 Types and distribution of sewage concentrated disposing facilities in 9 provinces (regions) along the Yellow

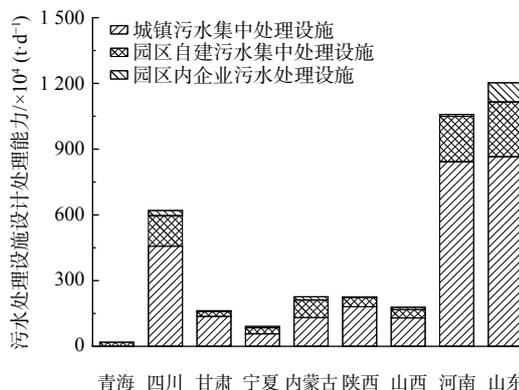


图7 沿黄河9省（区）污水处理设施设计处理能力情况

Fig. 7 Design capacity of sewage concentrated disposing facilities in 9 provinces (regions) along the Yellow River

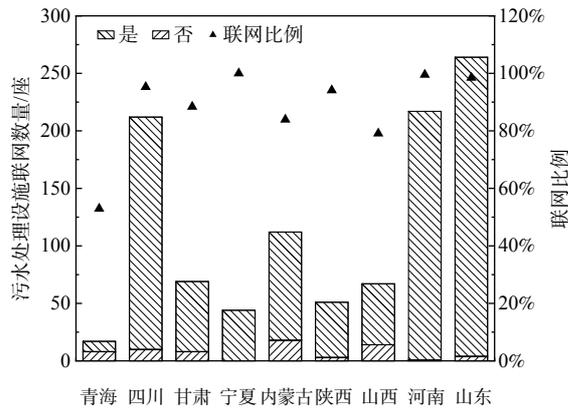


图 8 沿黄河 9 省（区）污水处理设施联网情况

Fig. 8 Network of sewage concentrated disposing facilities in 9 provinces (regions) along the Yellow River

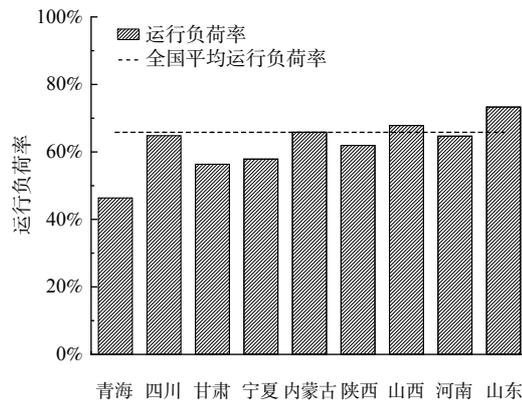


图 9 沿黄河 9 省（区）污水处理设施平均运行负荷情况

Fig. 9 Average operating load of sewage concentrated disposing facilities in 9 provinces (regions) along the Yellow River

况如图 9 所示。分析可得，全国平均运行负荷率为 65.78%，其中青海、甘肃、宁夏、陕西、河南和四川 6 个省（区）未达到平均水平，相应的运行负荷率分别为 46.35%、56.34%、57.88%、61.92%、64.67% 和 64.80%。污水处理运行负荷率是评估污水处理设施运行效果的重要指标，反应了污水处理设施处理能力的大小，由此可见，沿黄河省（区）污水处理设施运行能力亟待提升。

通过以上对我国沿黄河 9 省（区）工业园区污水处理厂类型与分布特征的研究分析可以看出，黄河流域污水处理设施以城镇污水集中处理设施为主，而城镇污水集中处理设施与园区自建污水集中处理设施处理各有利弊，需要根据具体情况选择最合适的方式；园区污水处理厂联网率较高，均达到 50% 以上；污水处理设施的城镇污水集中处理设施占比、联网率均与其规模呈正相关关系，规模越大的工业园区城镇污水集中处理设施占比越高、联网率越高；但园区污水处理厂的平均运行负荷与其规模相关性较弱，且平均运行负荷均较低。因此分析当前污水处理设施的类型与分布存在问题，进一步深入探讨如何优化工业园区污水处理厂的布局，提高处理效率，对推动环境保护工作取得更好成效是尤为重要的。

1.4 工业园区污水集中处理设施执行的排放标准

国家标准执行现状。目前，我国沿黄河 9 省（区）工业园区污水集中处理设施执行标准如图 10 所示，据不完全统计，约 80% 的国家级、省级工业园区污水集中处理设施执行国家标准。其中，84% 的工业园区污水集中处理设施执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）^[10]中的一级 A 标准和一级

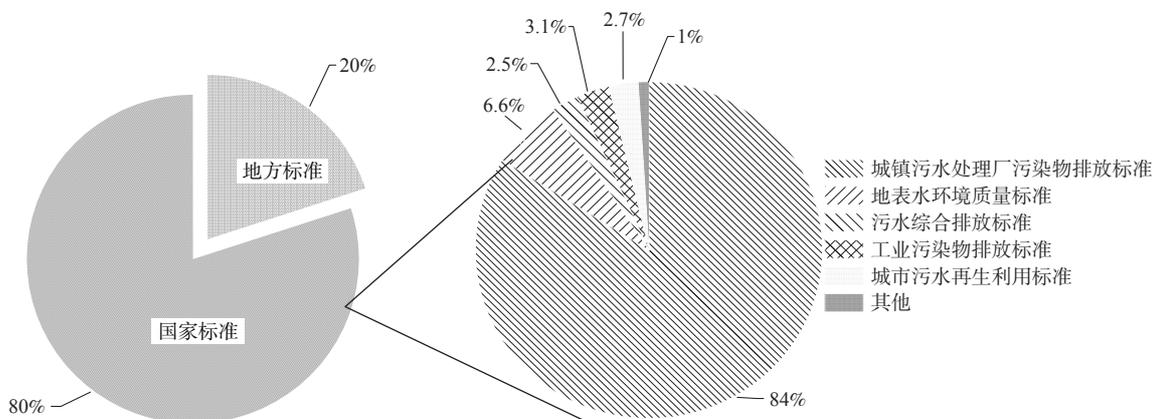


图 10 沿黄河 9 省（区）工业园区污水集中处理设施执行标准现状

Fig. 10 Implementation standards for sewage concentrated disposing facilities in industrial parks in 9 provinces (regions) along the Yellow River

B 标准，标准分级根据尾水用途及去向有所差别；各地结合当地环境容量、工业园区废水特征和经济发展，还选取了《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）^[4]、《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）^[11]、石油化工、印染和钢铁类等本行业污染物排放标准以及城市再生水利用标准作为工业园区污水集中处理设施执行的排放标准，执行上述 4 类标准的工业园区污水集中处理设施占比分别为 7%、3%、3%、3%。

地方标准执行现状。沿黄河 9 省（区）执行地方标准的国家级、省级工业园区污水集中处理设施约占 20%，主要分布在四川、山东、河南和山西。各省对污染物排放的控制有所差别，四川约 40% 的工业园区污水集中处理设施执行《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB 51-2311-2016）^[12]，该标准在《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）^[10] 一级 A 标准的基础上，提高了 COD 和氨氮出水标准。河南约 45 个工业园区执行的《河南省黄河流域水污染物排放标准》（DB 41/2087-2021）^[13] 在公共污水处理系统排放和工业企业等排污单位排放分别确定了 20 项和 29 项控制项目，其中，污水处理系统排放一级标准中 COD、氨氮、总磷、总氮、五日生化需氧量 5 项主要指标排放限值严于国家标准。山东执行的《流域水污染物综合排放标准 第 1 部分：南四湖东平湖流域》（DB 37/3416.1-2018）^[14]，对重点保护区和一般保护区设计处理规模 $\geq 500 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 的工业污水集中处理设施分别执行不同的 COD、氨氮、总氮和总磷排放标准，同时，规定了不同排污单位第 1 类、第 2 类污染物最高允许排放浓度限值（表 1）。

表 1 沿黄河 9 省（区）工业园区污水集中处理设施执行地方标准类型

Table 1 Local standards for sewage concentrated disposing facilities in industrial parks in 9 provinces (regions) along the Yellow River

省份	地方标准类型	应用频次
四川	《四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准》（DB51-2311-2016） ^[12]	87
山东	《流域水污染物综合排放标准 第4部分：海河流域》（DB37/3416.4-2018） ^[15]	34
	《流域水污染物综合排放标准 第1部分：南四湖东平湖流域》（DB37/3416.1-2018） ^[14]	28
河南	《贾鲁河流域水污染物排放标准》（DB 41/908-2014） ^[16]	10
	《河南省黄河流域水污染物排放标准》（DB41/2087-2021） ^[13]	45
	《洪河流域水污染物排放标准》（DB 41/1257-2016） ^[17]	1
	《省辖海河流域水污染物排放标准》（DB41/777-2013） ^[18]	2
	《惠济河流域水污染物排放标准》（DB 41/918-2014） ^[19]	1
	《清漯河流域水污染物排放标准》（DB41/790-2013） ^[20]	2
山西	《山西省污水综合排放标准》（DB14/1928-2019） ^[21]	26

2 沿黄河 9 省(区)工业园区水污染治理现状问题

根据 2022 年沿黄河省（区）数据调查与分析，沿黄河 9 省（区）工业园区水污染治理目前存在以下几个问题。

2.1 工业园区水污染治理与污水资源化水平差异显著

工业园区水污染物排放区域差异显著。黄河流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东 9 省（区），是我国西北和华北地区的重要水源，多年平均水资源总量 $6.47 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ^[22]。青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古为黄河上游省份，陕西、山西为黄河中游省份，河南和山东为黄河下游省份。黄河上、中、下游省区省级及以上工业园区水污染物排放情况如图 11 所示。黄河下游省区 COD、氨氮、总氮、总磷等主要污染物和工业废水排放量占比相对较大，接近 60%，且山东、河南主要污染物排放量位居沿黄河 9 省（区）前两位，黄河上游省区四川主要污染物排放量位于沿黄河 9 省（区）第 3 位。沿黄河 9 省（区）工业园区水污染物减排工作任重道远。

工业废水回用量与水资源量不匹配。黄河上、中、下游省区工业废水排放量、回用及水资源总量占比情况如图 12 所示。黄河中、下游省区水资源总量占比相对较低，均在 20% 以下，黄河中游省区工业废水排放

量占比最低,回用占比相对较高,但是黄河下游省区工业废水排放量占比最高,回用占比相对较低,水资源回收和再生水利用潜力暂未得到充分发挥。

2.2 工业园区污水集中处理设施建设和运行仍存短板

污水集中处理设施处理能力不足。目前沿黄河 9 省(区)的污水处理设施的实际处理能力普遍偏低,实际运行负荷率远低于设计负荷率。同时,一些污水处理设施由于设计标准偏低,进水污染物浓度难以达到设计标准要求,造成超负荷运行。根据 2022 年沿黄河省(区)数据调查与分析,个别污水集中处理设施运行负荷大于 130%,如河南省济源市五龙口化工产业园、济源高新技术产业开发区依托的北控(济源)污水净化有限公司第 2 污水处理厂(运行负荷为 137%),山东省威海市威海火炬高技术产业开发区依托的威海水务投资有限责任公司初村污水处理厂(运行负荷为 140%)。2022 年,我国沿黄河 9 个省(区)工业园区污水集中处理设施污水达标率小于 90% 的有 12 座,包括青海 1 座、河南 1 座、陕西 2 座、内蒙古 2 座、山东 6 座。

污水处理设施环境效益较低。污水处理设施进水浓度低,不但增加污水厂运行负担,浪费能源,还将影响污水处理过程中污泥质量浓度的稳定,进一步发展还会导致污泥活性降低,污水生物处理系统运行效能下降。根据 2022 年沿黄河省(区)数据调查与分析,工业园区内污水处理设施 COD 日均进水浓度小于 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的情况存在较为显著。按照省(区)划分存在占比由高至低依次为青海、四川、陕西、宁夏、内蒙古、河南、山西、甘肃和山东,相应的比例分别为 25.00%、23.15%、11.76%、9.09%、6.06%、5.58%、5.00%、3.33%、和 3.04%。此外,污水处理设施未运行的情况也屡见不鲜。我国沿黄河 9 个省(区)工业园区污水集中处理设施未运行的高达 44 座,包括内蒙古 12 座、青海 9 座、四川 9 座、甘肃 6 座、山西 6 座、河南 1 座、山东 1 座。这些进水浓度低和设施未运行等因素导致部分地区工业园区污水处理设施建设和运行成本普遍较高,尤其是经济发达地区园区污水处理设施运行成本更高,甚至存在污水处理设施闲置、关闭等现象。

未开展纳管评估情况普遍。2022 年,我国沿黄河 9 省(区)工业园区城镇污水集中处理设施未开展纳管评估的共计高达 289 座,占比 54.53%。按照省(区)划分未评估比例由高至低依次为青海、山西、陕西、甘肃、山东、河南、四川、内蒙古和宁夏,相应的未评估比例分别为 100.00%、96.55%、66.67%、61.76%、58.08%、56.06%、43.75%、26.67% 和 8.33%。未开展纳管评估城镇污水集中处理设施数量较多,未实现在线监控,也未进行出水水质监测,难以掌握园区内企业水质达标排放状况,严重影响监督管理。园区工业废水管理不规范。根据 2022 年中央生态环境保护督察通报情况,内蒙古自治区呼和浩特、包头等盟市部分工业园区依托城镇生活污水处理厂处理超过管控要求的工业废水,影响污水处理设施稳定运行。

2.3 工业园区水污染物执行的排放标准尚有空缺

缺乏统一的工业园区污水集中处理设施排放标准。《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-

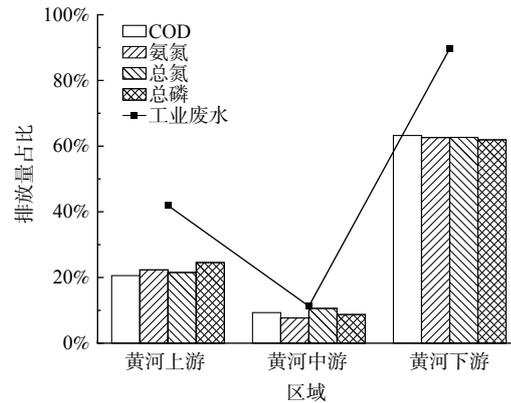


图 11 黄河上、中、下游省区水污染物排放情况
Fig. 11 Discharge of water pollutants in the upper, middle and lower reaches of the Yellow River

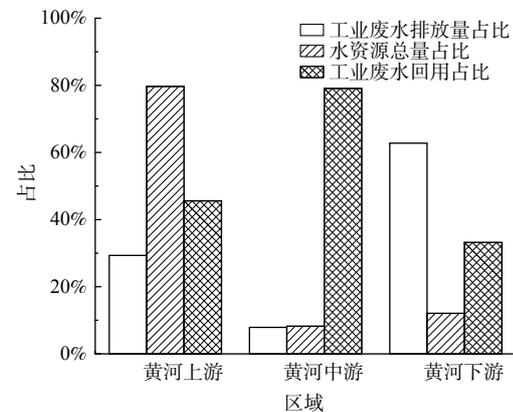


图 12 黄河上、中、下游省区工业废水排放量、回用及水资源总量占比情况

Fig. 12 Discharge, reuse of industrial wastewater and proportion of total water resources in the upper, middle and lower reaches of the Yellow River

2002) [10] 广泛应用于沿黄河 9 省（区）工业园区污水集中处理设施，占比高达 67%，随之也产生了一些问题。一是工业园区涉及石油化工、钢铁冶炼、印染、生物制药等多种行业 [23]。行业标准与城镇一级标准不匹配时，容易出现“超标”排放的问题；二是在地方及相关行业标准严于《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002） [10] 的情况下，工业废水的排入严重稀释城镇污水处理厂进水浓度，影响其正常运行。

缺乏统一的工业园区特征污染物及新型污染物排放限值。工业废水经简单的预处理后直接排入园区污水处理设施的方式是黄河流域乃至全国工业园区普遍采纳的方式 [24]，通过调研发现，绝大多数工业园区对于典型污染物的控制要求不明确，同时，现有工业园区集中式污水设施采用的处理工艺并不能完全适用于多数工业行业废水的深度处理 [6]，导致特征污染物超标排放，增加新型污染物引起的环境风险。

3 建议对策

为贯彻落实《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国水污染防治法》等法律法规，以及《黄河流域生态保护和高质量发展规划纲要》，推动黄河流域生态环境高水平保护和经济社会高质量发展，为改善黄河流域生态环境质量提供有力支撑，针对沿黄河省（区）工业园区水污染治理存在的问题，建议从以下几个方面持续推进工作。

3.1 强化工业废水达标监管和推进污水资源化利用，鼓励标杆园区引领发展

不断深化工业园区工业废水达标监管。2020 年，生态环境部出台《关于进一步规范城镇（园区）污水处理环境管理的通知》，进一步依法明晰各方责任，推动各方履职尽责，加强监督管理。同时，明确新建冶金、电镀、有色金属、化工、印染、制革、原料药制造等企业，原则上布局在符合产业定位的园区，其排放的污水由园区污水处理厂集中处理。在日常监管过程中，首先对重点行业和重要污染物来源进行严格管控，尽快开展工业园区工业废水纳管评估，将经评估认定为污染物不能被城镇污水处理厂有效处理，或可能影响城镇污水处理厂出水稳定达标的纳管企业的污水依法限期退出污水管网；其次要加强工业园区内涉水企业废水预处理监管，对进水浓度异常的工业园区，排查整治园区污水管网老旧破损、混接错接等问题，推动沿黄河 9 省（区）工业园区工业废水应收尽收、达标排放，不断提升工业园区工业废水处理效能。

持续推进工业园区污水资源化利用。2021 年，生态环境部等四部委发布了《区域再生水循环利用试点实施方案》，方案要求，到 2025 年，在区域再生水循环利用的建设、运营、管理等方面形成一批效果好、能持续、可复制，具备全国推广价值的优秀案例。目前，第 1 批和第 2 批试点城市共计包括沿黄河 9 省（区）的 25 个地市，各级部门要积极总结凝练沿黄河省（区）的区域再生水循环利用试点成效，推动建设污染治理、生态保护、循环利用有机结合的工业废水综合治理体系，实现再生水梯级、多元化利用，提高水资源利用效率 [25]。

推动开展污水减排“领跑园区”的遴选与推广。为落实《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》，推动工业园区循环化转型，激发工业园区践行美丽中国的行动自觉，组织遴选污水减排“领跑园区”，引导工业园区在环境基础设施现代化、污水收集处理精细化、环境管理信息化等方面实现质的提升。鼓励园区扩宽工作思路，创新方式方法，探索一套符合实际，且行之有效的管理模式，推进工业园区绿色低碳高质量发展。

3.2 加强工业园区环境基础设施建设和运维，不断提升污水处理效能

加强工业园区污水处理设施建设和运营管理。充分考虑黄河流域生态保护和高质量发展重大国家战略，依据园区产业结构、用水用能结构、生态环境容量和发展潜力等因素，科学布局污水集中处理设施，提高工业园区污水集中处理设施的建设质量。严格落实入河入海排污口规范化管理要求，强化工业园区污水处理设施出水水质标准执行；强化工业园区污水处理设施日常运行管理，确保设施稳定运行；强化工业园区污水处理设施运营监管，保障工业企业稳定达标排放。

加强污水收集管网建设和维护协同推进。生态环境部会同发改、工信、住建等部门，指导督促工业园区推进环境基础设施建设，基本实现污水管网全覆盖、工业废水应收尽收。指导各地排查整治工业园区污水管网老旧破损、混接错接等问题，加强污水收集管网运维管理，推动提升污水收集处理效能。鼓励有条件的工业园区在管网关键节点安装水质水量监控设备，防止偷排漏排、超标排放等问题。

推动常规污染物和风险污染物防控并举。在做好常规污染物排放监管同时，加强工业园区特征污染物排

放管控,推动开展工业园区污水集中处理设施排水综合毒性监测和管控能力试点建设,以点带面、推广先进经验、规范管控模式,以防止有毒有害污染物进入环境,减少流域区域水环境风险。对于依托城镇污水集中处理设施处理园区工业废水的,应开展工业废水依托城镇污水厂处理可行性评估,形成“一厂一报告”,对于不可依托的,督促限期退出。

3.3 推动工业园区水污染物排放规范管理,有效防范水生态环境风险

国家尽快出台工业园区污水集中处理设施水污染物排放标准制定技术导则。不同地区的工业园区类型不同,园区内企业往往涉及多个行业,该导则可指导各地根据工业园区所处区域的气候条件、污水特征、环境容量和经济发展特征,因地制宜的制定符合本地工业园区的污水集中处理设施执行标准。

制定工业园区污水中有毒有害物质排放限值。所谓“限值”,是根据区域生态环境质量状况,制定园区环境质量目标,明确有毒有害物质排放浓度值。通过排放限值的执行倒逼园区内企业从源头控制有毒有害物质的使用以及污水处理工艺的改进,降低非常规污染物以及新型污染物带来的环境风险。

鼓励各地针对不同行业制定工业污水再生利用标准、指南或规范。黄河流域属于生态脆弱、水资源短缺的流域^[26-27],鼓励工业园区污水再生利用,有利于减少缺水地区的水资源消耗量,转变区域内工业园区及工业企业的高耗水发展方式,缓解水资源供需矛盾,同时也能够显著减少区域内污染排放量,推进减污降碳协同增效,为我国实现碳达峰、碳中和的目标做出贡献。

参考文献

- [1] 王金南. 黄河流域生态保护和高质量发展战略思考[J]. 环境保护, 2020, 48(增刊1): 18-21.
- [2] 计伟, 刘海江, 高吉喜, 等. 黄河流域生态质量时空变化分析[J]. 环境科学研究, 2021, 34(7): 1700-1709.
- [3] 李中华, 井柳新, 洪源, 等. 基于水质提升的黄河流域城市尺度问题诊断及对策研究[J]. 环境科学研究, 2024, 37(1): 51-62.
- [4] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准. GB3838-2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [5] 王喜莲, 屈丽航. 黄河流域工业碳排放时空演化特征及影响因素[J]. 环境科学, 2024, 45(10): 5613-5623.
- [6] 余波, 李箫宁, 张名, 等. 臭氧催化氧化技术用于工业园区综合废水处理研究[J]. 给水排水, 2023, 59(11): 74-79.
- [7] 薛山. 工业园区污水处理现状与问题[J]. 绿色矿业, 2023, 39(5): 63-67.
- [8] 杨铭, 费伟良, 唐艳冬, 等. 工业园区废水处理协同减污降碳路径研究[J]. 中国环保产业, 2023(3): 35-38.
- [9] 徐俊, 张荣社, 谢丽, 等. 工业园区污水处理厂的执行标准与排放模式分析[J]. 中国给水排水, 2021, 37(20): 16-21.
- [10] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 城镇污水处理厂污染物排放标准. GB18918-2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [11] 国家环境保护总局. 污水综合排放标准. GB8978-1996[S/OL]. https://www.mee.gov.cn/ywqz/fgbz/bzwb/shjbh/swrwpfbz/199801/t19980101_66568.htm, 1996.
- [12] 四川省环境保护厅, 四川省质量技术监督局. 四川省岷江、沱江流域水污染物排放标准. DB 51-2311-2016[S/OL]. <https://sthjt.sc.gov.cn/sthjt/c103963/2016/12/29/60f4679e76134aacb2c2dad9b5a184eb/files/d055cd4d5dae404daae0192d32b4b8a6.pdf>, 2016.
- [13] 河南省环境保护厅, 河南省市场监督管理局. 河南省黄河流域水污染物排放标准. DB 41/2087-2021[S/OL]. <https://sthjt.henan.gov.cn/2021/03-10/2105816.html>, 2021.
- [14] 山东省市场监督管理局. 流域水污染物综合排放标准 第1部分: 南四湖东平湖流域. DB 37/3416.1-2023[S/OL]. http://zfc.sdein.gov.cn/dfhjbz_17821/qzxdfhjbz/202404/t20240418_4719768.html, 2023.
- [15] 山东省市场监督管理局. 流域水污染物综合排放标准 第4部分: 海河流域. DB37/3416.4-2025[S/OL]. http://zfc.sdein.gov.cn/dfhjbz_17821/qzxdfhjbz/202502/P020250224551178606133.pdf, 2025.
- [16] 河南省环境保护厅, 河南省质量技术监督局. 贾鲁河流域水污染物排放标准. DB 41/908-2014[S/OL]. <https://sthjt.henan.gov.cn/2014/07-18/1021026.html>, 2014.
- [17] 河南省环境保护厅, 河南省质量技术监督局. 洪河流域水污染物排放标准. DB 41/1257-2016[S/OL]. <https://sthjt.henan.gov.cn/2016/10-11/1027753.html>, 2016.
- [18] 河南省环境保护厅, 河南省质量技术监督局. 省辖海河流域水污染物排放标准. DB41/777-2013[S/OL]. <https://sthjt.henan.gov.cn/2013/03-01/1017088.html>, 2013.
- [19] 河南省环境保护厅, 河南省质量技术监督局. 惠济河流域水污染物排放标准. DB 41/918-2014[S/OL]. <https://sthjt.henan.gov.cn/2014/07-31/1021117.html>, 2014.
- [20] 河南省生态环境厅, 河南省质量技术监督局. 淇河流域水污染物排放标准. DB41/790-2013[S/OL]. <https://sthjt.henan.gov.cn/2013/08-25/1018200.html>, 2013.
- [21] 山西省生态环境厅, 山西省市场监督管理局. 山西省污水综合排放标准. DB14/1928-2019[S/OL]. <https://scjgj.shanxi.gov.cn/gztt/bzgl/dfbzcx/202110/P020250103553807512664.pdf>, 2019.
- [22] 甘容, 李旖旎, 郭林, 等. 基于水足迹的黄河流域九省(区)水资源可持续利用评价[J]. 人民黄河, 2024, 46(2): 93-99+106.
- [23] 何友文, 余水平, 王先勇, 等. 典型综合工业园区污水处理存在的问题与对策-以江西抚州某典型综合工业园区为例[J]. 环境保护科学, 2023, 49(6): 134-138+144.

[24] 赵丽娜, 郭佳, 薛瑞, 等. 我国水污染物排放标准间接排放的发展历程、特点、问题及对策建议[J]. 给水排水, 2025, 61(4): 77-83.

[25] 颜秉斐, 夏瑞, 魏东洋, 等. 黄河流域区域再生水循环利用对策建议[J]. 环境保护, 2021, 49(13): 15-16.

[26] 李海生. 黄河流域生态环境问题系统识别与展望[J]. 环境科学研究, 2024, 37(1): 1-10.

[27] 迟妍妍, 王夏晖, 刘斯洋, 等. 黄河流域水-能源-生态系统协同增效战略体系构建研究[J]. 环境科学研究, 2024, 37(1): 11-23.

(责任编辑: 陶雪)

Current situation, problems, and countermeasures of water pollution treatment in industrial parks in provinces (regions) along the Yellow River

LIU Danni¹, JI Meichen¹, CHENG Hanyang², LIAN Xiangjin², YANG Qun³, ZHANG Juanjuan¹, LIAO Haiqing^{1,*}, LIU Xueyu^{1,*}

1. Institute of Water Ecology and Environmental, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Department of Water Ecology and Environment, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100006, China; 3. Department of Ecology and Environment of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guangxi 530025, China

*Corresponding author, E-mail: liahq@craes.org.cn; liuxueyu@craes.org.cn

Abstract The Yellow River is an important ecological barrier and economic zone in China. In recent years, although the water environment quality of the Yellow River Basin has improved significantly. However, water pollution treatment in industrial parks has become a great challenge for water environment protection here with the industrial agglomeration. Focusing on the theme of water pollution treatment in industrial parks in provinces (regions) along the Yellow River, this study systematically described the types and distribution of industrial parks at the provincial level and above in provinces (regions) along the Yellow River and the characteristics of industrial wastewater discharge of these industrial parks. The construction and operation of centralized sewage treatment facilities and the discharge standards implemented by the facilities were investigated. Based on the analysis above, the level of water pollution treatment and sewage resource utilization in industrial parks at the provincial level and above in provinces (regions) along the Yellow River were significantly different. And shortcomings existed in the construction and operation of centralized sewage treatment facilities. Besides, the discharge standard of water pollutants had been vacant. These factors made it difficult to support the refined water environment management in industrial parks. Aiming at these problems, the present article attempted to put forward a series of measures, according to the resource endowment, natural conditions, and industrial characteristics of the basin, with the goal of reducing pollution and reducing carbon synergy. It was suggested to strengthen the supervision of industrial wastewater standards, promote the utilization of sewage resources utilization, encourage the development of benchmarking parks, strengthen the construction and operation and maintenance of environmental infrastructure in industrial parks, thus to continuously improve the efficiency of sewage treatment, promote the standardized management of water pollutant discharge in industrial parks, and effectively prevent the risk of water ecological environment.

Keywords industrial park; water pollution treatment; centralized sewage treatment facilities; provinces (regions) along the Yellow River