



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.05.011

李向鹏, 郝立新, 刘中培, 等. 河南省工业排水特征及影响因素[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(5): 70-75.
LI Xiang peng, HAO Li xin, LIU Zhong pei, et al. Characteristics and influence factors of industrial drainage in Henan Province[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(5): 70-75. (in Chinese)

河南省工业排水特征及影响因素

李向鹏¹, 郝立新¹, 刘中培², 李爽¹, 赵雨婷²

(1. 濮阳水文水资源勘测局, 河南 濮阳 457000; 2. 华北水利水电大学 水利学院, 郑州 450011)

摘要: 工业排水特征是标识工业用水非期望产出的重要指标, 分析区域工业排水分布及其影响因素对提高区域工业用水效率具有重要指导意义。根据2011年全国第一次水利普查结果, 分析了河南省工业用水及排水状况, 以及工业排水量的地区分布特征, 探讨了河南省各地市工业排水量地区差异的影响因素。结果表明, 河南省用水大户及非用水大户企业中均以除入河排污和管网排污以外的其他排水方式为主, 但用水大户排放的污水量中入河排污量最大, 非用水大户排放的污水量中, 管网排放污水量最大; 河南省排水方式及排水量组成结构在空间分布上也存在较大差异, 主要与各地市的工业总产值、水资源禀赋及工业用水量差异较大密切相关, 而工业结构对排水量的地区差异特征影响相对较小。

关键词: 水利普查; 工业排水方式; 工业排水量; 空间差异; 影响因素

中图分类号: TV213.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)05-0070-06

Characteristics and influence factors of industrial drainage in Henan Province

LI Xiang peng¹, HAO Li xin¹, LIU Zhong pei², LI Shuang¹, ZHAO Yu ting²

(1. Puyang Hydrology and Water Resource Survey Bureau, Puyang 457000, China;

2. Hydraulic Engineering Academy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: Industrial water drainage characteristics are an important indicator of undesirable output of industrial water. The analysis of the regional industrial water drainage distribution and its influence factors has important guiding significance to the improvement of regional industrial water utilization efficiency. Based on the first national water survey results in 2011, this paper analyzed the situation of industrial water utilization and drainage in Henan Province, the regional distribution characteristics of industrial drainage quantity, the regional differences in industrial drainage quantity across the major cities in Henan, and its influence factors. In conclusion, most major water consumers and most non-major water consumers in Henan use other drainage methods than drainage into rivers and drainage into pipelines, but most of the sewage water drained by major water consumers is into rivers, and most of the sewage water drained by non-major water consumers is into pipelines. There are also great spatial differences in the industrial water drainage methods and quantity across Henan Province. This is closely related to the differences between the cities in industrial output, water resource abundance, and industrial water consumption. But the industrial structure has little influence on the regional differences in drainage quantity.

Key words: water survey; industrial drainage method; industrial drainage quantity; spatial difference; influence factors

收稿日期: 2016-10-29 修回日期: 2017-04-07 网络出版时间: 2017-08-29
网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170829.1936.031.html>
基金项目: 国家自然科学基金项目(51209090)

Fund: National Natural Science Foundation of China(51209090)

作者简介: 李向鹏(1966-), 男, 河南濮阳人, 高级工程师, 主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: lixiangpeng6253@sina.com

通讯作者: 刘中培(1983-), 男, 河南平顶山人, 讲师, 博士, 主要从事地下水循环演化及可持续利用研究。E-mail: brightlpz@126.com

我国自 20 世纪 80 年代以来,逐步进入工业化、城镇化大发展阶段,工业用水量日益增加。水资源在支撑工业发展产生直接工业效益的同时,伴随着废污水的排放和环境污染等非期望事情的发生,其中废污水的排放是最直接的衡量指标^[2]。一方面是因为排水量越多,工业用水重复利用率则越低,水浪费越严重;另一方面,工业排水中多为污水,目前情况下即使经过处理也是仅达到水质排放标准,可能会污染区域水资源^[1]。因此,工业排水量越大,说明非期望产出越大;工业排水量越小,非期望产出就越小。

工业废水是水域污染的主要污染源之一,工业废水排放情况对生态城市建设和经济社会可持续发展具有重要的影响^[1]。国内外学者关于产业结构与工业用水排水情况的关系已有相关研究^[3-4],但多集中在工业废水排放量与排放污水水质指标方面^[5-7],但对区域污水排放量与排放方式的空间分布特征,以及影响排放量的因素研究则较少。因此,本文以河南省为典型研究区,基于 2011 年全国水利普查结果,分析河南省工业排水的地区分布特征,探讨工业总产值、水资源禀赋、工业用水量和工业结构等因素对工业排水量的影响,为提高河南省工业用水效率、减少废污水排放提供科学依据。

1 河南省工业用水及排水状况

由于工业用水户数量巨大,用水计量尚未普及,不易做到逐个调查,因此 2011 年全国水利普查将调查对象分为用水大户和一般用水户。用水大户逐一调查,一般用水户采用典型调查的方式推算获得。用水大户的界定则根据各地工业企业用水情况,确定标准分为年取水量 15 万 m^3 、10 万 m^3 和 5 万 m^3 三个档次,自上而下分析县域内年用水量大于等于以上标准的工业企业数量是否超过 50 家,若超出则选用该档标准,若不足则降档分析,但最低标准为 5 万 m^3 。用水大户以外的其他工业用水户,区分高用水工业和一般用水工业,采用 PPS 抽样方法,抽取典型工业用水户进行调查。

根据水利普查结果,河南省共有 1 461 个工业用水大户,合计用水量为 10.71 亿 m^3 ,排水量为 3.85 亿 m^3 ;非用水大户有 9 668 个,用水量共 1.07 亿 m^3 ,排水量为 0.53 亿 m^3 。即 11 129 个普查企业共计排水量 11.24 亿 m^3 ,用水大户排水量占 87.99%,非用水大户排水量占 12.01%。

在河南省 18 个地市中,郑州市工业用水量最大,达到 7.31 亿 m^3 ,洛阳市工业用水量次之,为 6.83 亿 m^3 。此外,南阳市、平顶山市、焦作市、安阳市、周口

市、许昌市、新乡市、信阳市、濮阳市、三门峡市和驻马店市的工业用水量也均超过 2.00 亿 m^3 。开封市、漯河市、商丘市、济源市和鹤壁市的工业用水量较小,其中,济源市和鹤壁市均不足 1.00 亿 m^3 。

2 工业排水量区域分布特征

2.1 工业用水大户排水特征

2011 年全国水利普查中,工业排水方式是按照排入管网、入河排污和其他排水方式排污进行调查统计。河南省 18 个地市的用水大户排水方式组成和排水量组成结构见图 1。1461 个用水大户中,最终排入管网的为 66 个,排入入河排污口的有 314 个,采取其他排水方式的有 501 个,分别占总数的 7.49%、35.64% 和 56.87%。虽然河南省采取其他排水方式的工业企业所占比重最大,但具体到各个地市,排水方式的组成规律却相差较大(图 1(a))。如郑州市用水大户中,排入管网的数量 149 个,占总数的比例为 73.04%,明显高于其他排水方式 22.55% 的比例和入河排污的 4.41% 比例。此外,新乡市、开封市、商丘市、许昌市、漯河市、安阳市和鹤壁市的排入管网的比例也较其余排水方式所占比例高。南阳市和三门峡市用水大户中入河排污的比例较高,分别达到 48.30% 和 53.62%。而焦作市、洛阳市、平顶山市、濮阳市、济源市、信阳市和周口市均以其他排水方式为主。

河南省用水大户的排水量总体以入河排污排水量为主,其次为管网排水,其他方式排水量最小,所占比例分别为 46.37%、40.25% 和 13.38%。图 1(b)反映了河南省各地市排水量的组成结构,其中开封市、洛阳市、南阳市、平顶山市、三门峡市、商丘市、济源市、信阳市、许昌市和周口市以入河排污为主,其排水量所占比例除商丘市为 48.33% 外,其他地市均超过了 50%;安阳市、焦作市、濮阳市、新乡市、郑州市和驻马店市用水大户均以管网排水为主,除驻马店市管网排水比例为 43.88% 外,其他地市均在 70% 以上。鹤壁市和漯河市以其他排水方式排水量为主,所占比例分别达到了 70.52% 和 38.07%。

2.2 工业非用水大户排水特征

河南省非用水大户总体上采取其他排水方式排水的企业最多,排入管网的次之,而排入入河排污口的企业最少,所占比例分别为 51.07%、46.16% 和 2.77%。河南省 18 个地市的排水方式组成结构见图 2(a)。其中安阳市、漯河市、平顶山市、濮阳市、三门峡市、商丘市、济源市、新乡市、信阳市、许昌市、

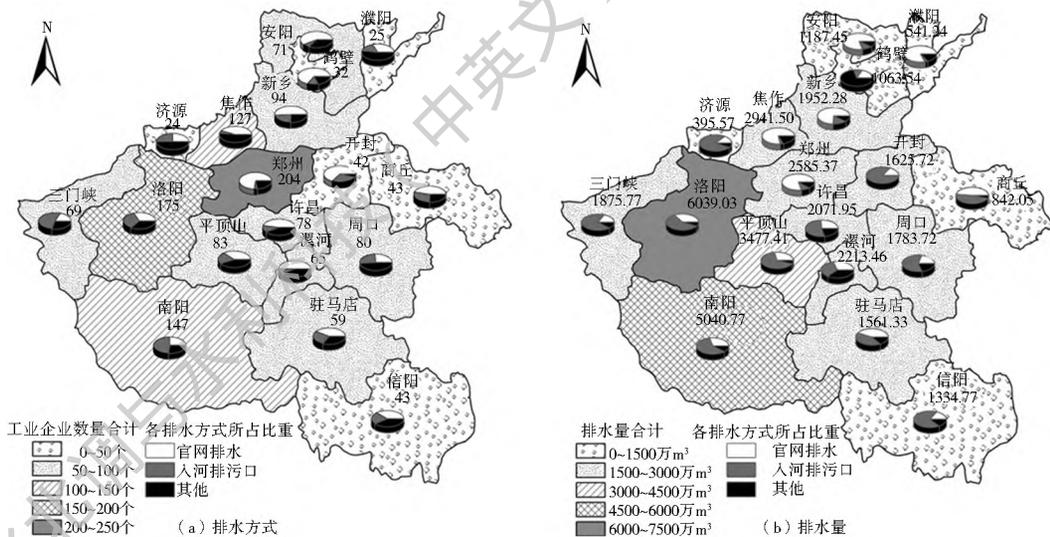


图 1 用水大户排水方式及排水量地区分布特征

Fig. 1 Regional distribution of industrial drainage methods and quantity of major water consumers

周口市和驻马店市均以其他方式排水为主,除三门峡市所占比例为 48.12% 外,其他各市所占比例均超过了 50%。鹤壁市、焦作市、开封市、洛阳市、南阳市和郑州市均以管网排水为主,所占比例也均超过了 50%。

多,其次为其他排水方式排水量,而入河排污量最少,所占比例分别为 48.96%、37.63% 和 13.41%。河南省 18 个地市不同方式的排水量组成结构见图 2(b)。其中安阳市、开封市、洛阳市、南阳市、新乡市、郑州市和驻马店市管网排水量所占比重较大,而其他 11 个地市其他方式排水量所占比例较大。

河南省非用水大户排水量总体以管网排水量最

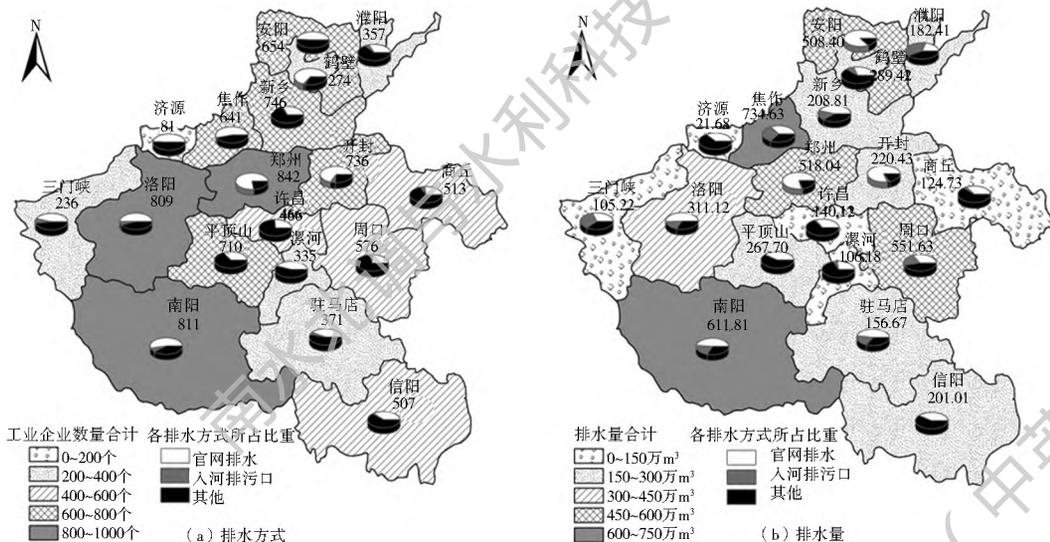


图 2 非用水大户排水方式及排水量地区分布特征

Fig. 2 Regional distribution of industrial drainage methods and quantity of non-major water consumers

3 工业排水量影响因素分析

由于受到政策、历史、经济发展水平、水资源条件、工业结构及管理水平的因素,河南省各地市工业排水量地区差异较大,本文在参考已有研究成果的基础上^[8-15],选择工业总产值、水资源禀赋、工业结构、工业用水量等作为反映工业排水量地区差异的影响指标。

3.1 工业排水量与工业总产值关系

工业总产值的大小不仅能够反映工业产出效益

的多少,而且还可以反映工业规模、工业发展水平和程度等信息。一般情况下,工业规模扩大,工业总产值会增高,伴随着工业用水量和排水量的增加。但如果是工业设备更新、工业技术提高等引起工业总产值的增加,通常情况下会伴随着工业用水效率的提高,即工业用水量会减少,工业排水量也随之减少。

河南省 18 个地市工业排水量和工业总产值的关系见图 3。随着工业总产值的增加,工业排水量也呈增加趋势,两者呈现出正相关关系,关系式为,表明工业总产值每增加 1 亿元,工业排水量约增加 5 100 m³。

通过河南省各地市工业排水量和工业总产值之间的关系可以看出, 18 个地市的工业排水量不同与工业总产值的大小密切相关, 也说明了工业排水的多少主要受到工业规模大小的影响, 工业规模越大, 工业排水量也越多。即总体上河南省各地市工业总产值的不同主要是工业规模不同造成的, 但各个数据点偏离拟合直线的程度也反映了工业设备、工业结构及工业技术等因素的影响。如郑州市, 工业总产值最大, 为 8 459. 68 亿元, 数据点明显偏离拟合直线, 位于直线的下方, 说明工业总产值较其他地市增加较多, 但工业排水量增加却较少甚至有减小趋势, 说明郑州市工业总产值较大, 除受到工业规模影响外, 还与郑州市工业技术水平较高、工业设备先进等因素密不可分。

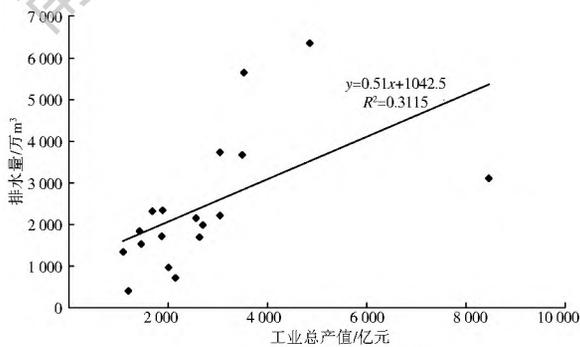


图 3 河南省各地市工业排水量与工业总产值关系

Fig. 3 The relationship between industrial drainage quantity and industrial output of the cities in Henan Province

3.2 工业排水量与水资源禀赋关系

2011 年河南省工业用水量占总用水量的 24.30%, 工业的发展离不开水资源的支撑, 伴随着水资源短缺的日趋加剧, 工业用水与农业用水及生活用水之间的矛盾也愈发突出。其他条件相同情况下, 水资源越充沛, 允许的工业规模越大, 工业排水量会相应越大; 水资源缺乏的地区工业规模一般较小, 工业排水量也会减小。但另一方面, 水资源充裕地区, 节水意识可能不强, 也会造成用水资源浪费严重的问题, 工业排水量会不减反增^[16-17]。

以水资源量的多少作为反映水资源禀赋的指标, 河南省各地市工业排水量与水资源禀赋之间的关系见图 4。随着水资源量的增加, 工业排水量呈明显的增加趋势, 两者呈现出明显的正相关关系, 关系式为 $y = 71.911x + 1122.8$, 说明水资源量每增加 1 亿 m^3 , 工业排水量约增加 71.911 万 m^3 。图 4 中存在一部分数据点明显偏离直线, 这可能与工业排水量还受到工业结构、工业技术、经济发展等众多因素影响有关。

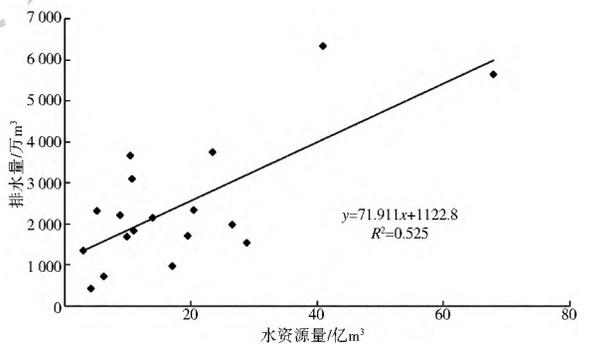


图 4 河南省各地市工业排水量与水资源量关系

Fig. 4 The relationship between industrial drainage quantity and water resource quantity of the cities in Henan Province

3.3 工业排水量与工业用水量关系

工业用水量的多少会影响排水量的多少, 其他条件不变条件下, 工业规模越大, 工业用水量越多, 工业排水量也会越多。河南省 18 个地市工业排水量和工业用水量的关系如图 5 所示。随着工业用水量的增加, 工业排水量也呈增加趋势, 两者呈现出明显的正相关关系, 关系式为 $y = 688.06x + 224.82$, 表明工业用水量每增加 1 亿 m^3 , 工业排水量约增加 688.06 万 m^3 。

通过河南省各地市工业排水量和工业用水量之间的关系可以看出, 18 个地市的工业排水量不同与工业用水量的大小密切相关, 而工业用水量的大小与工业规模、工业技术、工业结构、经济发展水平等因素有关。一般情况下, 工业规模越大, 工业用水量越多, 因此河南省 18 个地市工业规模不同造成了工业用水量不同, 进而引起工业排水量的差异。这与工业排水量与工业总产值关系阐明的规律相同。但有些地市的数据点偏离拟合直线较多, 说明这些地市工业排水量的多少同时又明显受到工业设备、工业结构及工业技术等因素的影响。如郑州市的工业用水量在 18 个地市中最大, 为 7.31 亿 m^3 , 但数据点明显偏离拟合直线, 位于直线的下方, 说明工业用水量较其他地市增加较多, 但工业排水量增加却较少甚至有减小趋势, 说明郑州市工业规模较其他地市较大外, 郑州市的工业技术水平、工业设备等也较先进, 工业用水效率较高。

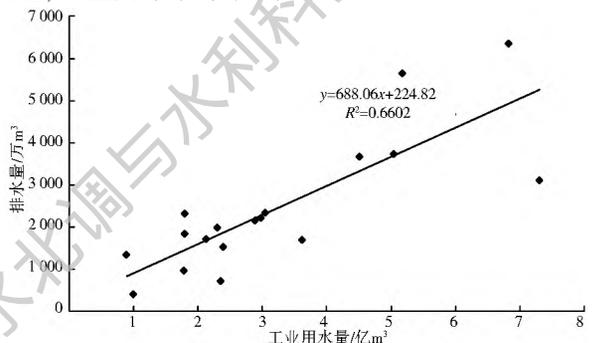


图 5 河南省各地市工业排水量与用水量关系

Fig. 5 The relationship between industrial drainage quantity and water consumption of the cities in Henan Province

3.4 工业排水量与工业结构关系

区域的工业结构对工业用水量及工业排水量均会产生影响,低水平、粗放式的工业结构,其投入-产出水平较低,工业用水效率也较低,工业排水量会较大;相反,高层次、集约型的工业结构,其投入-产出水平较高,工业用水效率也会较高,工业用水量相同情况下排水量会降低^[18]。

河南省一般用水工业在各地市所占比重较大,除济源市外其它地市一般用水工业所占比重均在 50% 以上,濮阳市一般用水工业所占比重最高为 73.86%。高用水工业所占比重次之,各地市高用水工业所占比重基本保持在 30% 左右。各地市火(核)电业所占比重均在 10% 以下,其中鹤壁市最高,为 9.38%。

由于一般用水工业在全省工业类型中所占比重较大,所以探讨了工业排水量与一般用水工业所占比重之间的关系,见图 6。一般用水工业的比重增大,工业排水量随之减小,一般用水工业比重每增加 1 个百分点,工业排水量降低 18.84 万 m³。但两者之间的拟合关系较差,说明工业结构的差异对河南省各地市工业排水量的影响较小。

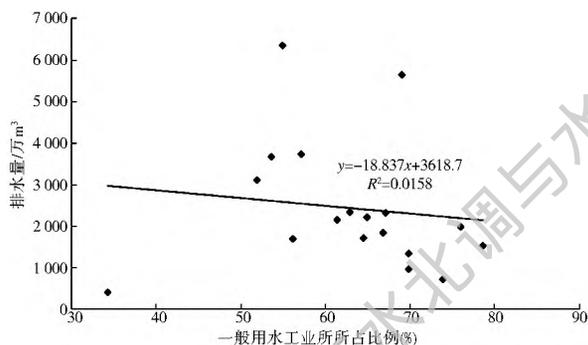


图 6 河南省各地市工业排水量与一般用水工业比例的关系

Fig. 6 The relationship between industrial drainage quantity and the proportion of medium water intensive industries of the cities in Henan Province

4 结论

(1) 河南省用水大户中 56.87% 的企业采用了除入河排污和管网排污以外的其他排水方式,排入管网的企业所占比重最小,但入河排污方式的排水量所占比重却最大,达到了 46.37%。

(2) 河南省非用水大户中采用其他方式排水的企业所占比重最大,排入管网的企业次之,入河排污的企业所占比重最小,但排水量却以管网排水量所占比重最大,达到 48.96%,入河排污量所占比例最小,为 13.41%。

(3) 工业总产值、水资源禀赋及用水量对排水量

的地区差异影响较大,工业结构的影响相对较小。河南省 18 个地市工业排水量的不同总体上是由于工业规模不同引起的,工业规模越大,工业总产值越高,工业用水量越多,工业排水量也相对越大,但不同地市工业排水量的大小又受到工业技术水平、设备先进水平等因素影响,随着工业技术水平的提高,先进设备的引入,工业排水量趋于减小。

参考文献(References):

- [1] 姜映芃, 栾维新. 山东石化产业波及效应与工业用水排水情况关系研究[J]. 生态经济, 2012(12): 96-99. (JIANG Yi peng, LUAN Wei xin. The analysis of the relationship between spread effect on petroleum and chemical industry in Shandong province and industrial water drainage[J]. Ecological Economy, 2012(12): 96-99. (in Chinese))
- [2] Tao Z N, Hewings G, Donaghy K. An economic analysis of Midwestern US criteria pollutant emissions trends from 1970 to 2000[J]. Ecological Economics, 2010, 69: 1666-1674.
- [3] 雷玉桃, 黎锐锋. 节水模式、用水效率与工业结构优化[J]. 区域经济, 2014, 254(7): 109-115. (LEI Yu tao, LI Rui feng. Water saving mode, water use efficiency and optimization of industrial structure[J]. Regional Economy, 2014, 254(7): 109-115. (in Chinese))
- [4] 刘翊, 柏明国. 安徽省工业行业用水消耗变化分析—基于 LMDI 分解法[J]. 资源科学, 2012, 34(12): 300-305. (LI Chong, BAI Ming guo. Change in industrial water use in Anhui Province based on LMDI[J]. Resources Science, 2012, 34(12): 300-305. (in Chinese))
- [5] 李长嘉, 潘成忠, 雷宏军, 等. 1992-2002 年我国工业废水排放变化效应[J]. 环境科学研究, 2013, 26(5): 569-575. (LI Chang jia, PAN Cheng zhong, LEI Hong jun, et al. Decomposition analysis on China's industrial wastewater discharges in 1992-2008[J]. Research of Environmental Sciences, 2013, 26(5): 569-575. (in Chinese))
- [6] 方芳, 王磊, 郭劲松, 等. 三峡库区典型临江村镇排放污水的水质水量特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(8): 1661-1668. (FANG Fang, WANG Lei, GUO Jin song, et al. Characteristics of domestic wastewater quality and quantity discharged from typical villages and small towns by the riverside in three gorges reservoir region[J]. Agror Environment Science, 2009, 28(8): 1661-1668. (in Chinese))
- [7] 唐文伟, 王祯贞, 等. 温度和溶解氧对生物活性炭处理钢铁工业排水的影响[J]. 工业用水与废水, 2008, 39(2): 32-35. (TANG Wen wei, WANG Zhen zhen, et al. Effects of temperature and dissolved oxygen on biological activated carbon treating drainage from steel and iron industry[J]. Industrial Water & Wastewater, 2008, 39(2): 32-35. (in Chinese))
- [8] 李名升, 佟连军, 仇方道. 工业废水排放变化的因素分解与减排效果[J]. 环境科学, 2009, 30(3): 707-712. (LI Ming sheng, TONG Lian jun, QIU Fang dao. Factor decomposition and reduction effect on the changes of industrial wastewater discharge[J]. Environmental Science, 2009, 30(3): 707-712. (in Chinese))

- Chinese)
- [9] Bindra S P, Muntasser M, Khweldi M E, et al. Water use efficiency for industrial development in Libya[J]. *Desalination*, 2003, 158: 167-178.
- [10] 孙振伟, 师小文. 论工业排水实行雨水污水分流制的必要性[J]. *科技与企业*, 2014, (16): 168. (SUN Zhenwei, SHI Xiaowen. The necessity of a separation system for rainwater and sewage water in industrial water drainage[J]. *Technology and Enterprise*, 2014, (16): 168. (in Chinese))
- [11] 朱虹. 印度的水质污染及工业排水现状[J]. *市政工程国外动态*, 1999(3): 8-9. (ZHU Hong. Water pollution and industrial drainage status in India[J]. *Foreign Municipal Engineering Trends*, 1999 (3): 8-9. (in Chinese))
- [12] 陈雯, 王湘萍. 我国工业行业的技术进步、结构变迁与水资源消耗—基于LMDI方法的实证分析[J]. *湖南大学学报: 社会科学版*, 2011, 25(2): 68-72. (CHEN Wen, WANG Xiangping. Technology progress, structure shift and water intensity in Chinese industry: an analysis based on LMDI method[J]. *Hunan University: Social Sciences*, 2011, 25(2): 68-72. (in Chinese))
- [13] 张力小, 梁竞. 区域资源禀赋对资源利用效率影响研究[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(8): 1237-1247. (ZHANG Lixiao, LIANG Jing. Effect of the regional resource endowment on resource utilization efficiency[J]. *Natural Resource*, 2010, 25(8): 1237-1247. (in Chinese))
- [14] 盖美, 王宇飞, 马国栋, 等. 辽宁沿海地区用水效率与经济耦合协调发展评价[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(12): 2081-2094. (GAI Mei, WANG Yufei, MA Guodong, et al. Evaluation of the coupling coordination development between water use efficiency and economy in Liaoning Coastal Economic Belt[J]. *Natural Resources*, 2013, 28(12): 2081-2094. (in Chinese))
- [15] 张军, 孔令法, 王华, 等. 山东省南水北调供水区城市生活及工业水价承受能力分析[J]. *南水北调与水利科技*, 2004, 2(2): 23-32. (ZHANG Jun, KONG Lingfa, WANG Hua, et al. Bearing capacity to water fee of city life and industry in south to north water transfer district of Shandong Province[J]. *South to North Water Transfer and Water Science & Technology*, 2004, 2(2): 23-32. (in Chinese))
- [16] 贾绍凤, 康德勇. 提高水价对水资源需求的影响分析—以华北地区为例[J]. *水科学进展*, 2000, 11(3): 49-53. (JIA Shaofeng, KANG De yong. Influence of water price rising on water demand in North China[J]. *Advances in Water Science*, 2000, 11(3): 49-53. (in Chinese))
- [17] 张宁, 张媛媛. 浙江省工业用水的节水潜力及影响因素分析[J]. *给水排水*, 2011, 37(8): 62-67. (ZHANG Ning, ZHANG Yuar yuan. Analysis on the water saving potential and influence factors of industry in Zhejiang Province[J]. *Water & Wastewater*, 2011, 37(8): 62-67. (in Chinese))
- [18] 谢红彬, 刘兆德, 陈雯. 工业废水排放的影响因素量化分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2004, 13(4): 394-298. (XIE Hongbin, LIU Zhaode, CHEN Wen. Quantitative analysis on the influential factors of industrial waste drainage[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(4): 394-298. (in Chinese))

(上接第28页)

- [18] Sechi G M, Zucca R. Water resource allocation in critical scarcity conditions: a bankruptcy game approach[J]. *Water Resources Management*, 2015, 29(2): 541-555. DOI: 10.1007/s11269-014-0786-9
- [19] 孙冬营, 王慧敏, 褚钰. 破产理论在解决跨行政区河流水资源配置冲突中的应用[J]. *中国人口资源与环境*, 2015, 25(7): 148-153. (SUN Dongying, WANG Hui min, CHU Yu. Application of bankruptcy theory in resolving water resource allocation conflict over transboundary rivers[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(7): 148-153. (in Chinese))
- [20] Ó Neill B. A problem of rights arbitration from the Talmud. *Math Soc Sci* (1982) 2: 345-371. DOI: 10.1016/0165-4896(82)90029-4
- [21] Aumann R J, Maschler M. Game theoretic analysis of a bankruptcy problem from the Talmud[J]. *Journal of Economic Theory*, 1985 (2) 36: 195-213. DOI: 10.1016/0022-0531(85)90102-4
- [22] Herrero C, Villar A. The three musketeers: four classical solutions to bankruptcy problems[J]. *Mathematical Social Sciences*, 2001, 42(3): 307-328. [http://dx. doi. org/10. 1016/S0165-4896\(01\)00075-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-4896(01)00075-0)
- [23] Thomson W. Axiomatic and game theoretic analysis of bankruptcy and taxation problems: a survey[J]. *Mathematical Social Sciences*, 2003, 45(3): 249-297. [http://dx. DOI. org/10. 1016/S0165-4896\(02\)00070-7](http://dx. DOI. org/10. 1016/S0165-4896(02)00070-7)
- [24] 王浩, 游进军. 水资源合理配置研究历程与进展[J]. *水利学报*, 2008, 39(10): 1168-1175. (WANG Hao, YOU Jir jun. Advancements and development course of research on water resources deployment[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(10): 1168-1175. (in Chinese))
- [25] 贺涛, 马小玲, 彭晓春, 等. 东江水资源环境管理问题及矛盾[J]. *水资源保护*, 2009, 25(6): 85-89. (HE Tao, MA Xiaoling, PENG Xiaochun, et al. Problems and contradiction in water resources environmental management of Dongjiang basin[J]. *Water Resources Protection*, 2009, 25(6): 85-89. (in Chinese))