

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2020.06.008

我国城市用水效率关键指标时空格局分析

刘波¹,汪紫薇¹,王文鹏¹,董四方²,康爱卿³

(1. 河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098; 2. 水利部水资源管理中心,北京 100038;
3. 中国水利水电科学研究院水资源研究所,北京 100038)

摘要: 准确定位我国城市工业和生活用水效率现状,是加强节水管理的重要基准。通过分析城市用水效率关键指标的时程演变和空间格局,探究了用水效率与节水水平的联动关系、与用水压力 and 经济发展水平的匹配状态。结果表明:2017 年较 1998 年,我国地级市平均万元工业增加值用水量减少了 80%,地区间差异明显减小;人均生活用水量增加了近 30%,优于同等经济社会发展水平国家的中值。2017 年,全国半数有资料城市的工业用水重复利用率提高到了 80%,供水管网漏损率平均控制在 15% 左右。目前,我国仍存在用水效率与用水压力空间匹配失衡、与经济发展水平不协调的问题,特别是“胡焕庸线”以东的华中和东南地区,水多人亦多,经济发达,用水压力大,但用水效率不高,仍有较大节水潜力。

关键词: 工业用水效率;生活用水效率;节水水平;地级市;联动匹配

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2020)06-0534-08

Spatiotemporal characteristics analysis of major indicators of urban water use efficiencies over mainland China

LIU Bo¹, WANG Ziwei¹, WANG Wenpeng¹, DONG Sifang², KANG Aiqing³

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Water Resources Management Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100038, China;
3. Department of Water Resource, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: This study analyzes the spatiotemporal pattern of major indicators of urban WUE. It also explores the synchronization between WUE and water-saving degree, as well as the matching degree between WUE, water pressure and economic development level. The results show that, the water consumption per 10 000 yuan of industrial added value decreased by 80% in 2017 compared with that in 1998 in China, with less spatial discrepancy in regions. Domestic water consumption per capita increases by 30% during the same period, and is slightly better than the median of the similar economic and social development countries. By 2017, the reuse rate of industrial water in half cities increases to 80%, and the average of the leakage rate of water supply pipe networks is about 15%. There are still problems of unbalanced spatial matching either between WUE and water pressure, or between WUE and economic development level. To the east of the “Heihe-Tengchong Line”, the central China and southeast China are with abundant water resources, large population, well-developed economy, high water pressure but low WUE, and still have great water-saving potential.

Key words: industrial water use efficiency; domestic water use efficiency; water-saving level; prefecture-level city; correlation and matching degree

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0405805,2018YFC0407900);中央高校基本科研业务费专项(2017B15314)
作者简介: 刘波(1980—),女,副教授,博士,主要从事水资源评价与管理研究。E-mail:liubohhu@hhu.edu.cn
通信作者: 王文鹏,副研究员。E-mail:wangwenpeng@hhu.edu.cn
引用本文: 刘波,汪紫薇,王文鹏,等.我国城市用水效率关键指标时空格局分析[J].河海大学学报(自然科学版),2020,48(6):534-541.
LIU Bo, WANG Ziwei, WANG Wenpeng, et al. Spatiotemporal characteristics analysis of major indicators of urban water use efficiencies over mainland China[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2020,48(6):534-541.

近 20 年,我国以用水总量的微增长有效保障了经济的中高速增长和社会稳定。适应于产业结构的调整升级,用水结构发生了深刻变化,农业用水占比明显减少,工业和生活用水占比平稳增加^[1-2]。城市作为人口、工业生产和生活消费的聚集区,是工业和生活用水的主体单元,也是实施工业用水效率控制红线管理、优化居民用水方式、推进系统节水管理和节水技术改造的重要着力点。目前,我国仍有许多城市存在供水不足的问题,较严重的缺水城市达 110 个^[3]。用水缺口需要优先通过各领域各行业的深度节水得以消化,结合替代水源、供水优化调配等综合措施来满足。要加强城市节水管理,必须先准确定位城市用水效率的现状水平。通过明晰用水效率与水资源空间分布、与经济社会发展格局的匹配状况,因地制宜地调整节水目标和实施方案,才能实现以水定城,以水量产。

关于我国城市工业和生活用水效率的研究,近年来关注度不断上升,主要集中在以下几个方面:一是用水效率的测算,主要运用数据包络分析、随机前沿生产函数模型、Malmquist 生产力指数分析等计量经济学方法,评估分析城市群^[4]、经济带^[5]、省级行政区^[6-7]等不同空间尺度的用水效率。二是用水效率的影响因素研究,利用空间聚类、回归分析等方法,从自然条件、经济发展、产业结构、教育水平、科技进步等角度,探索驱动用水效率变化的关键因素^[8-10]。三是用水效率与经济社会发展关系的探讨,海霞等^[11]引入脱钩理论讨论了京津冀城市群城市化水平对生活用水消耗的联动作用,左其亭等^[12]、杜军凯等^[13]相继提出并采用时空匹配度和基尼系数等方法,评价区域水资源与经济社会发展要素的匹配关系。

上述成果为探明我国用水效率的演变和成因提供了颇具价值的参考。但是,目前较少研究能从全国地级市尺度,分析工业和生活用水效率的时空分布,认识用水效率与水资源约束、经济发展水平的匹配格局。另外,由于用水资料不易整编,现有研究大多采用间接指标测算用水效率,测算结果受到投入变量选择的干扰,而且以百分比来评价用水单元效率的相对高低,不能直接表征水资源的产出和节水水平。本文以各省《水资源公报》《统计年鉴》等权威资料为依据,系统梳理了全国地级行政区的工业和生活用水效率的主要指标,以用水效率的时间变化特征和空间分布格局为基础,分级刻画节水水平、用水压力、经济发展水平与用水效率的相互联动和匹配效应,以期为“十四五”阶段城市节水管理政策的研究与制定提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 数据来源

万元工业增加值用水量和城市公共供水管网漏损率是《节水型社会建设“十三五”规划》《“十三五”水资源消耗总量和强度双控行动方案》等节水政策中明确规定的用水效率管理指标。住建部门通过典型企业调查成果,公开发布的工业用水重复利用率也是直接表征地区工业节水水平的重要指标。城镇居民人均生活用水量包括了城镇居民生活用水,以及第三产业和建筑业等公共服务用水。虽然人均生活用水量并非越低越好,但是在同等经济社会发展水平的区域,保证相似生活舒适度的用水需求基本一致,人均生活用水量还是体现了生活用水效率的相对高低。本文以上述 4 项关键指标衡量各地级市工业和生活的用水效率和节水水平。另外,综合考虑天然水资源条件、区域总供水量占比两项指标,定义了各地级市的用水压力,采用人均 GDP 指标表征城市经济发展水平。各指标计算方法及数据来源见表 1。其中,万元工业增加值用水量按 2010 年不变价统计。

表 1 用水效率关键指标计算方法及数据来源

Table 1 Calculation methods and data sources of major indicators of water use efficiency

指标类型	指标	计算方法	数据来源	可获取数据年份
用水效率	万元工业增加值用水量($\text{m}^3/\text{万元}$)	工业用水量/工业增加值	水资源公报/统计年鉴	1998 年至今
	人均生活用水量($\text{L}/(\text{d}\cdot\text{人})$)	生活用水量/地区总人口	水资源公报/统计年鉴	1998 年至今
节水水平	工业用水重复利用率($\%$)	工业重复利用水量/工业用水总量	城市建设统计年鉴	2002 年至今
	供水管网漏损率($\%$)	漏损水量/管网供水总量	城市建设统计年鉴	2006 年至今
用水压力	总供水量占比($\%$)	用水总量/水资源总量	水资源公报	1998 年至今
	水资源条件	《节水型社会评价指标体系和评价方法》 ^[14]		
经济发展水平	人均 GDP(万元/人)	GDP/地区总人口	统计年鉴	1998 年至今

地理分析单元以民政部公布的城市行政区划为准,涉及中国大陆 337 个地级及以上行政单位,包括 293 个地级市、7 个地区、30 个自治州、3 个盟以及 4 个直辖市。随着我国水资源管理和信息公开制度的逐年

完善,各项指标数据的公开可获取性逐年提高。如图1所示,1998年,水利部门能公布的地级行政区用水效率指标数据仅占行政区总数的9.0%,2017年该比例已升至80%左右。住建部发布的工业用水重复利用率常年覆盖约半数地级市,管网漏损率基本做到全覆盖。

1.2 研究方法

用水效率梯级划分综合考虑工业和生活用水效率两方面因素,将万元工业增加值用水量 and 人均生活用水量,按照升序前25%、75%分位点划分为高、中、低3级,并根据两项指标的级别对应关系,划分出高效、中效、低效3级用水效率(图2(a))。类似地,将工业用水重复利用率按照分位点划分为工业节水水平高、中、低3级,按照人均GDP指标划分出发达、中等发达和欠发达城市。供水管网漏损率参考国际平均水平,以漏损率为15%和35%作为等级划分依据。

城市用水压力梯级的界定综合考量了天然水资源条件和总供水量占比两项指标。根据《节水型社会评价指标体系和评价方法》^[14],将我国地级市归纳为丰水、平水、缺水3类区域。参考水资源开发利用程度等级划分的通行约定^[15],将总供水量占比为10%和40%作为界定供水压力较低、中等和较高的判别限。进一步,综合这两项指标的级别对应关系,将城市用水压力划分为高压、中压、低压3个梯级(图2(b))。

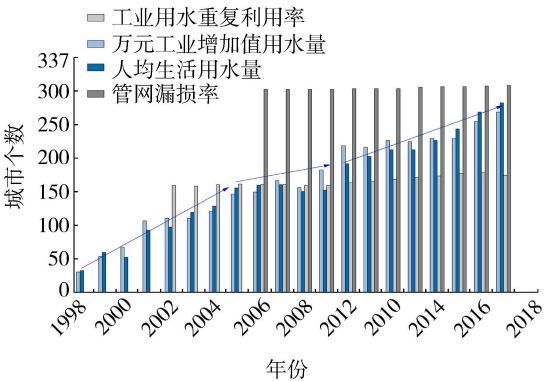


图1 用水效率和节水指标的资料完备程度
Fig.1 Data availability for water use efficiency and water saving indices

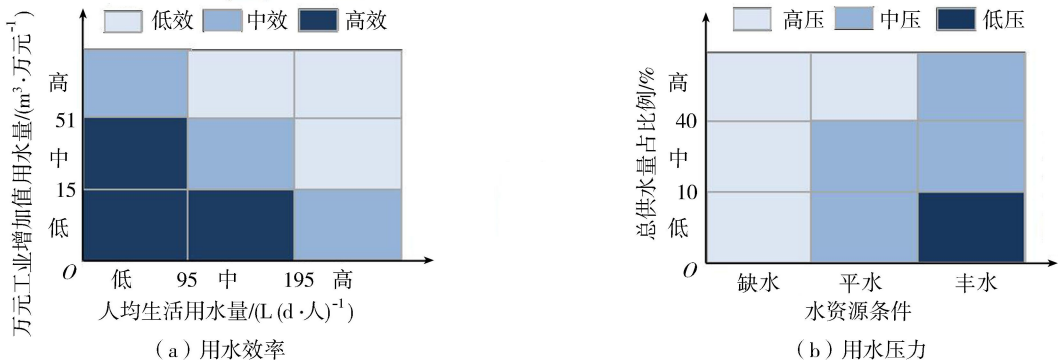


图2 用水效率与用水压力梯级划分标准
Fig.2 Cascade classification standard of water use efficiency and water stress degree

用水效率与节水水平的联动关系,采用时间序列的线性倾向率判断。若用水效率与节水水平同向变化,则推断节水措施的实施效果直接影响用水效率的增减。反之,节水水平与用水效率脱钩,评估用水效率的变化需要考察其他因素的主导作用。

用水效率与用水压力 and 经济发展水平的匹配关系,根据梯级对应情况判断。当用水效率梯级与用水压力梯级一致时,视为匹配,可认为保持用水效率现状,当地用水压力不会进一步增加。当用水效率梯级高于用水压力梯级时,称为过匹配,若继续保持现状用水效率,当地用水压力可能会有所缓解。若用水效率梯级低于用水压力梯级,则需提高用水效率,防范由于用水压力升高带来的用水缺口加剧。

类似地,若城市经济发达等级与用水效率梯级相匹配,则可认为当地水资源利用的产出水平与整体经济发展水平基本吻合,反映水资源节约的经济投入与用水效率提升效果相适应。若欠发达城市的用水效率梯级相对较高,则反映当地的水资源利用水平与节约措施,优先于整体经济发展水平,可有针对性地进一步分析具体情况,总结先进发展经验并带动区域整体用水效率的提高。相反,若发达城市的用水效率梯级偏低,则需充分发挥水资源的强约束作用,适当增加节水投入,落实水资源节约措施。

2 结果分析

2.1 用水效率时空演变特征

如图3(a)所示,我国万元工业增加值用水量呈现明显的下降趋势。以2010年不变价为基准,全国地级

市平均万元工业增加值用水量从 1998 年的 267 m³/万元,降低至 2017 年的 41 m³/万元,降幅达 80%,且地区间差异明显减小。按照联合国粮食及农业组织 AQUASTAT 数据库中各国的用水量数据,以及世界银行 WDI 数据库中各国经济发展数据统计,2017 年我国万美元工业增加值用水量为 286 m³/万美元^[16]。从国际比较来看,万美元工业增加值用水量在发达国家和中等发达国家的 中值分别为 121 m³/万美元、295 m³/万美元。我国工业用水效率已略优于中等发达国家的 中值水平,约为美国的 45%,俄罗斯的 53%,但与处于国际用水效率先进水平的以色列(13 m³/万美元)等国相比,还有较大差距。

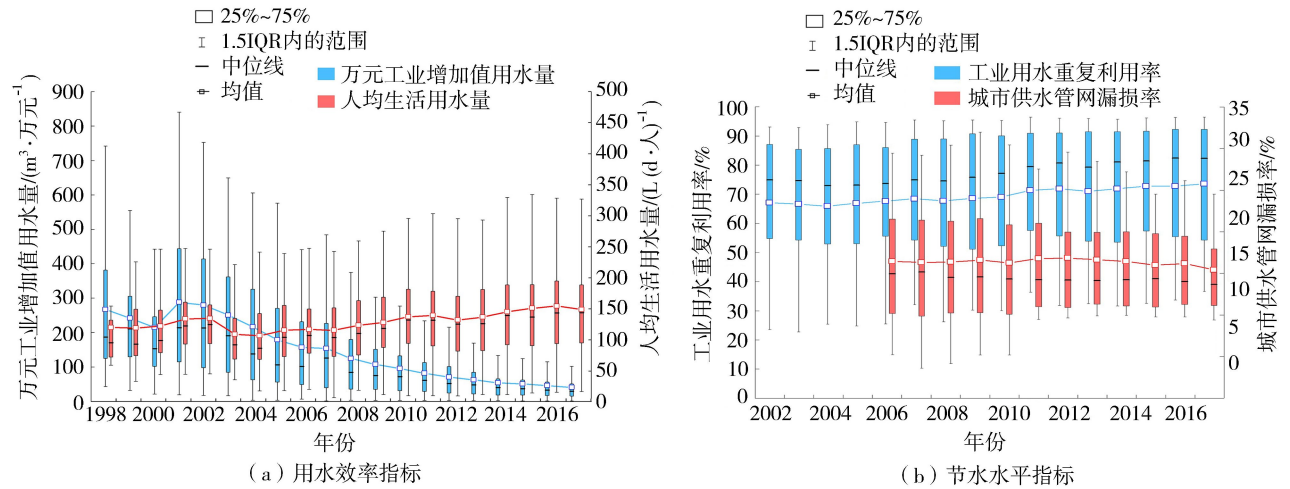


图 3 用水效率和节水水平指标的时程变化

Fig. 3 Temporal variation of water use efficiency and water saving degree

随着人民生活水平的不断提高以及第三产业的快速发展,人均生活用水量呈增长趋势。1998—2017 年,人均生活用水量的全国地级市均值从 120 L/(d·人)增加至 156 L/(d·人),增幅近 30%。人均生活用水量的地区间差异有所增加,体现出不同地域城市的公共服务和居民生活用水需求趋向多样化发展趋势。采用联合国开发计划署提出的人类发展指数(HDI)作为综合衡量社会经济发展水平的标准,与同处于较高发展水平的国家相比(0.7<HDI<0.8),我国人均生活用水量优于同类国家的 中值水平,即 219 L/(d·人)。根据联合国 UN data 数据库公布的数据,处于高发展水平国家(HDI>0.8)的人均生活用水量均值为 255 L/(d·人)^[16]。预计随着我国经济社会的持续发展,人均生活用水量仍会有所增加。

如图 4(a)所示,在 2017 现状年,我国城市工业用水效率的空间分布格局总体呈现出北高南低的态势。

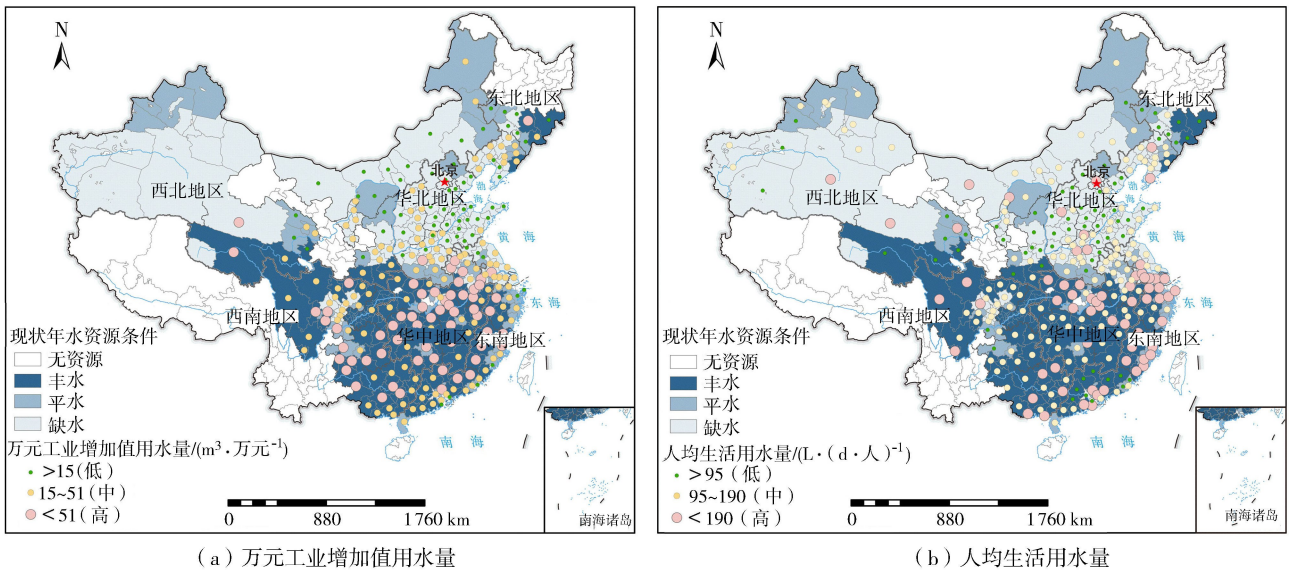


图 4 现状年(2017)用水效率的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of water use efficiency in 2017

北方缺水城市的万元工业增加值用水量较低。华北、西北、东北地区万元工业增加值用水量分别为 $17.4\text{ m}^3/\text{万元}$ 、 $21.7\text{ m}^3/\text{万元}$ 、 $22.6\text{ m}^3/\text{万元}$,已接近发达国家水平^[17]。东南沿海地区次之,区域地级市均值为 $37.8\text{ m}^3/\text{万元}$ 。西南、华中地区的万元工业增加值用水量较高,分别达到 $53.2\text{ m}^3/\text{万元}$ 和 $80\text{ m}^3/\text{万元}$ 。分析城市工业用水效率的梯级分布,华北地区大部分城市已实现高效工业用水,东北地区以中高效工业用水城市为主,东南和西南地区以中低效工业用水城市为主,工业用水低效的城市多现于在华中地区。

城市生活用水效率的空间分布规律与工业用水效率相似(图4(b)),在水资源较为丰沛的地区,人均生活用水量较高,如东南沿海、长三角、珠三角等城市群。华中和东南地区的人均生活用水量约为全国平均水平的1.2倍。京津冀地区天然水资源相对匮乏,该区域的人均生活用水量基本小于 $95\text{ L}/(\text{d}\cdot\text{人})$,仅为全国平均用水水平的60%。从地级市的行政级别比较,各省会城市的人均生活用水量均值为 $225\text{ L}/(\text{d}\cdot\text{人})$,高于直辖市 $200\text{ L}/(\text{d}\cdot\text{人})$ 和普通地级市 $141\text{ L}/(\text{d}\cdot\text{人})$ 。

2.2 节水水平时空演变特征

如图3(b)所示,我国工业用水重复利用率稳步提高。全国地级市平均的工业用水重复利用率从2002年的68%,提高到2017年的75%。2017年,半数左右有资料地级市的工业用水重复利用率达到了80%及以上,接近发达国家水平,发达国家的工业用水重复利用率约为85%^[16]。2006—2017年,城市公共供水管网漏损率的全国均值略有减少,从16.5%降低至15.4%。然而,目前供水管网漏损率的控制水平无论与发达国家相比(5%~10%)^[17],还是与国内供水管网漏损控制规范相比(一级标准为10%)^[18],都存在一定差距。

2017现状年,工业用水重复利用率的空间分布大致呈现东高西低的态势(图5(a))。华北地区的工业用水重复利用率最高,区域均值达到82%。东北和东南地区次之,区域均值约为74%。西北、西南和华中地区最低,区域均值约为66%。城市公共供水管网漏损率的空间分布比较均衡(图5(b)),大部分地区供水管网漏损率的区域均值位于15%左右。东北地区的供水管网漏损率明显高于其他地区,区域均值达到26%。

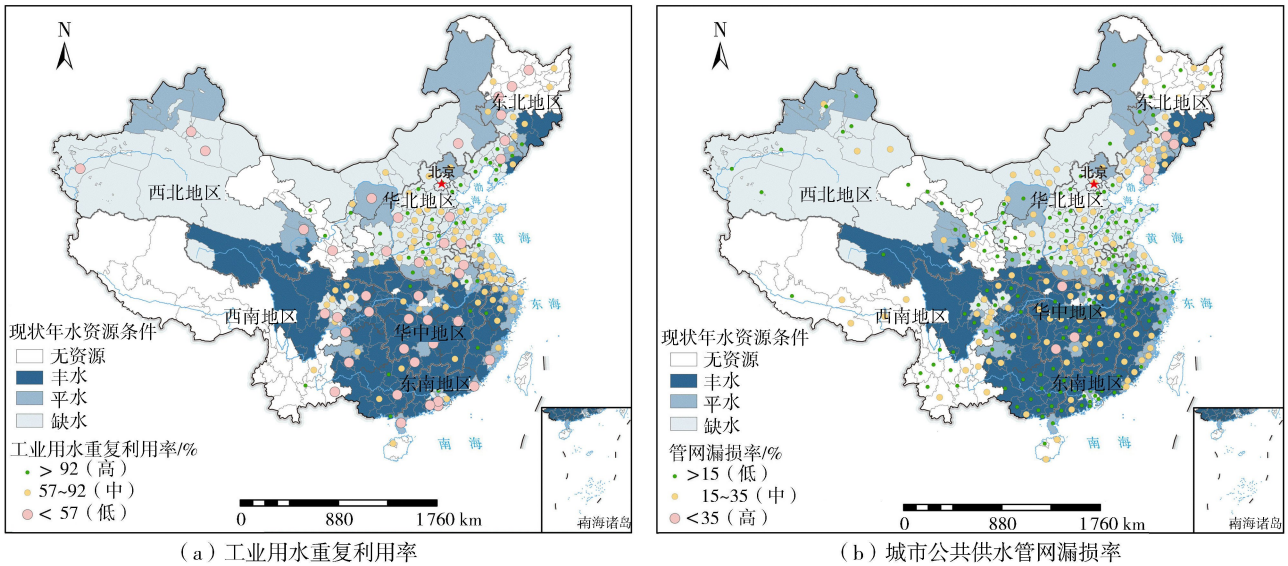


图5 现状年(2017)节水水平的空间分布

Fig.5 Spatial variation of water saving degree in 2017

2.3 用水效率与节水水平的联动关系

用水效率与节水水平的联动关系包括以下4种状态:(a)当节水水平进步与用水效率同步时,认为用水与节水存在积极联动。(b)节水水平与用水效率同时退步,为消极联动。例如,供水管网漏损率增大的同时人均生活用水量增加。(c)用水效率提高但节水水平下降,为正脱钩,反映节水措施已并非用水效率提升的主要驱动因素。(d)用水效率退步而节水水平提升时,为负脱钩。

总体而言,绝大部分城市的工业用水效率与工业节水水平呈积极联动或正脱钩关系(图6(a))。其中,东部(东北、东南)和西部(西北、西南)区域的城市以积极联动为主,工业节水措施积极带动了工业用水效率的提高。中部(华北、华中)区域近7成的城市归属于正脱钩关系,对这些城市工业用水效率的成因分析,需

要进一步探讨产业结构、工业水价等其他因素的影响。

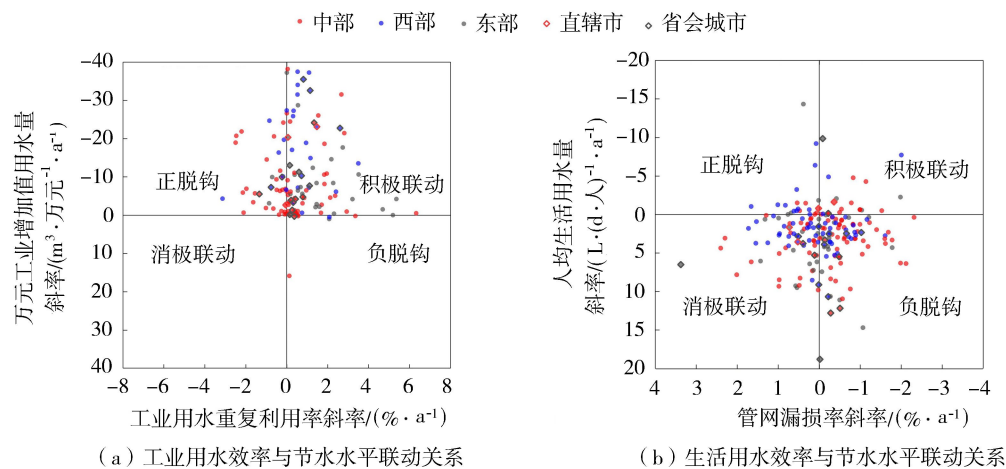


图 6 用水效率与节水水平联动关系的地区分布

Fig.6 Regional distribution of relationship between water use efficiency and water saving degree

多数城市的生活用水效率与节水水平呈消极联动或负脱钩关系,没有明显的空间分布规律(图 6(b))。呈消极联动关系的城市占比约为 35%,表明在这些城市中,人均生活用水量增加的原因至少部分归因于供水管网漏损率的控制不力。约 45%的城市显现出负脱钩关系,分析这些城市人均生活用水量增益的主因时,需要进一步考虑第三产业的结构、居民用水习惯等其他影响因素。

2.4 用水效率与用水压力的匹配关系

如图 7 所示,用水效率梯级与用水压力梯级呈匹配关系的城市,大致沿着我国著名的天然地理分界线“胡焕庸线”^[19],呈东北-西南向的带状分布。呈匹配关系的城市占比约为 45%。其中,华北地区用水压力、用水效率和节水水平均较高,属于高压高效的高层次匹配。西南地区多为中压中效或者低压低效型匹配。

“胡焕庸线”东南侧的华中与东南地区属于中压低效型。该区域天然水资源丰沛,但人口密集,而且支撑了我国超过 6 成的高耗水工业产值^[20],多数城市都有一定的用水压力。华中地区的工业用水效率较低,特别是高耗水工业的万元增加值用水量明显高于其他地区^[20]。东南地区的工业用水效率位于全国中游,人均生活用水量高于全国平均水平。尽管一方水土养一方人,两地较为丰沛的水资源条件目前基本能够满足较高的工业生产和生活用水需求。但用水效率与用水压力失衡的状态终究难以持久保障社会经济的平稳发展。只有坚持严格的节水管理,通过着力实施高耗水行业的节水技术改造,落实用水定额考核,优化调整产业结构,大力建设节水型企业和社区等措施,才能够进一步挖掘该区域的节水潜力,努力实现用水效率与用水压力的平衡。

“胡焕庸线”以西地区的部分城市属于高压低效型或高压中效型。西北地区水资源较为匮乏,用水效率现状水平尚不能充分保障供需平衡。需要指出的是,西北地区的实际用水资料不够完备,仍要开展更细致的调查研究工作,才能更为全面准确地认识匹配关系格局。

2.5 用水效率与经济发展程度的匹配关系

图 8 给出了用水效率梯级与城市经济发展程度的匹配关系。总体而言,匹配城市分布在“胡焕庸线”略偏东位置,仍然沿着东北西南一线呈带状分布。在“胡焕庸线”附近,多数匹配城市属于过匹配关系,即用水

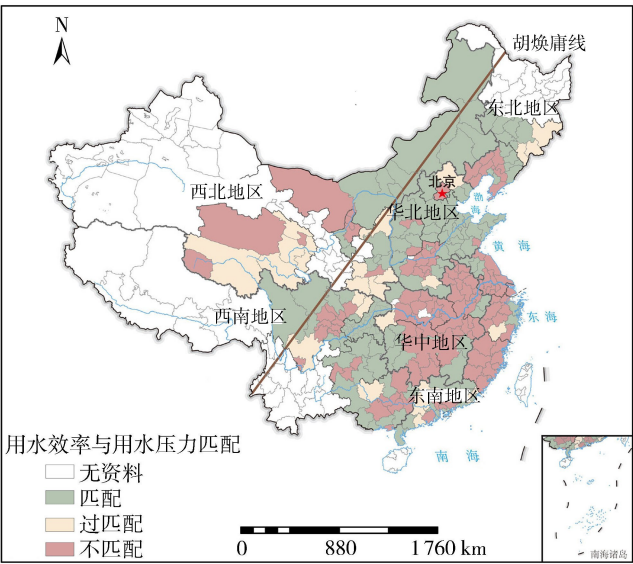


图 7 用水效率与用水压力的空间匹配格局

Fig.7 Distribution of matching state between water use efficiency and water pressure degree

效率提前发展到更高梯级,优先于经济发展水平。这类城市主要分布在华北地区,部分城市位于西北和东北地区。

沿“胡焕庸线”向东南方向平移,大致由辽宁至广西西部一带分布的城市,多以匹配关系为主,但分布较为零散。其中,华北地区的许多城市为高层次匹配,即经济发达且用水效率较高。东北、西南地区的城市多数属于中低层次匹配。

华中和东南地区经济较为发达,但多数城市的用水效率梯级未及经济发展水平。一般来说,较高的经济发展水平表示有更多潜在的财政和科技资源,能够投入并发展和推行节水技术、有更广泛的社会力量参与到节水型社会建设中,共同提高用水效率。因此,华中和东南地区应是我国最具节水潜力的区域。

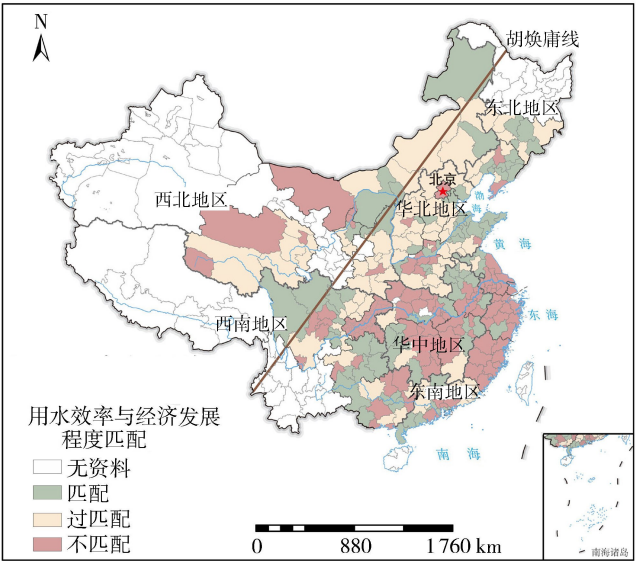


图8 地级市用水效率与经济发展程度的空间匹配格局

Fig.8 Distribution of matching state between water use efficiency and economic development level

3 结 论

- a. 我国工业用水效率不高和生活用水浪费的现象得以转变。2017 年全国地级市平均万元工业增加值用水量已降至 41 m³/万元,略优于中高等收入国家中值水平。人均生活用水量的全国均值为 156 L/(d·人),基本保持与社会经济发展同步增长,优于国际上较高发展水平国家的中值。
- b. 工业节水和城镇节水仍需补齐短板。不同城市间工业用水重复利用率的差异较大,工业用水重复利用率达到 80% 及以上水平的城市多分布于华北地区,其他区域的工业节水水平仍有较大提升空间。城市公共供水管网漏损率的全国均值在 15% 左右,与控制目标 10% 相比还有不小差距。
- c. 我国天然地理分界线“胡焕庸线”基本界定了用水效率与用水压力、与经济发展水平的匹配格局现状。“胡焕庸线”沿线的华北、西南、东北地区,匹配城市居多,应继续保持用水效率与经济社会发展的同步效应。“胡焕庸线”以东的华中和东南地区经济发达,用水压力较大,但用水效率偏低,是最具节水挖潜动力和经济条件的区域。“胡焕庸线”以西的西北地区水资源短缺,经济欠发达,用水效率不高,应避免走经济发展优先,用水效率控制滞后的粗放式发展老路。建议“十四五”阶段节水政策的研究和制定,考虑用水效率的空间格局因素,因城施策,争取实现对各地经济社会发展用水需求的精准约束和有效保障。

参考文献:

[1] 李慧,丁跃元,李原园,等. 新形势下我国节水现状及问题分析[J]. 南水北调与水利科技, 2019,17(1): 202-208. (LI Hui, DING Yueyuan, LI Yuanyuan, et al. Analysis of status quo and problems of water conservation in China in new situation [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019,17(1): 202-208. (in Chinese))

[2] 刘晶,鲍振鑫,刘翠善,等. 近 20 年中国水资源及用水量变化规律与成因分析[J]. 水利水运工程学报, 2019(4): 31-41. (LIU Jing, BAO Zhenxin, LIU Cuishan, et al. Change law and cause analysis of water resources and water consumption in China in past 20 years[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(4): 31-41. (in Chinese))

[3] 周斌. 国家重点研发计划“水资源高效开发利用”重点专项解析[J]. 水科学进展, 2017,28(3): 472-478. (ZHOU Bin. Analysis of national key R&D program of China“high-efficient development and utilization of water resource”[J]. Advances in Water Science, 2017,28(3): 472-478. (in Chinese))

[4] 海霞,李伟峰,王朝,等. 京津冀城市群用水效率及其与城市化水平的关系[J]. 生态学报, 2018,38(12): 4245-4256. (HAI Xia, LI Weifeng, WANG Zhao, et al. Interactions between water use efficiency and urbanization level in the Beijing-Tianjin-Hebei megaregion, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018,38(12): 4245-4256. (in Chinese))

[5] 任俊霖,李浩,伍新木,等. 长江经济带省会城市用水效率分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016,26(5): 101-107. (REN Junlin, LI Hao, WU Xinmu, et al. Analysis of water efficiency of capital cities in Yangtze River Economic Belt in China

[J]. China Population, Resources and Environment, 2016,26(5): 101-107. (in Chinese))

[6] 雷玉桃,黄丽萍,张恒. 中国工业用水效率的动态演进及驱动因素研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017,26(2): 159-170. (LEI Yutao, HUANG Liping, ZHANG Heng. Research on the dynamic evolution and the driving factors of industrial water consumption efficiency in China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017,26(2): 159-170. (in Chinese))

[7] 雷玉桃,黄丽萍. 中国工业用水效率及其影响因素的区域差异研究:基于 SFA 的省际面板数据[J]. 中国软科学, 2015 (4):155-164. (LEI Yutao, HUANG Liping. Regional differences in industrial water consumption efficiency and its influencing factors for China's major industrial provinces: a study of provincial panel data based on SFA [J]. China Soft Science, 2015 (4):155-164. (in Chinese))

[8] 姜蓓蕾,耿雷华,卞锦宇,等. 中国工业用水效率水平驱动因素分析及区划研究[J]. 资源科学, 2014,36(11): 2231-2239. (JIANG Beilei, GENG Leihua, BIAN Jinyu, et al. Driving factor analysis and the spatial regionalization on the industrial water use efficiency in China[J]. Resources Science, 2014,36(11): 2231-2239. (in Chinese))

[9] LU Shibao, GAO Xuerui, LI Wei, et al. A study on the spatial and temporal variability of the urban residential water consumption and its influencing factors in the major cities of China[J]. Habitat International, 2018,78: 29-40.

[10] 方诗标,贾仁甫,方诗彬,等. 城市生活用水效率驱动因子及调控研究[J]. 人民黄河,2013,35(3): 47-50. (FANG Shibiao, JIA Renfu, FANG Shibin, et al. Study on drive factors and regulation of urban domestic water use efficiency[J]. Yellow River, 2013,35(3): 47-50. (in Chinese))

[11] 海霞,李伟峰,韩立建. 京津冀城市群城乡生活用水效率差异分析[J]. 水资源与水工程学报, 2018,29(2): 27-33. (HAI Xia, LI Weifeng, HAN Lijian. Study on the domestic water use efficiency between urban and rural areas of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, China[J]. Journal of Water Resources & Water Eneineering,2018, 29(2): 27-33. (in Chinese))

[12] 左其亭,赵衡,马军霞,等. 水资源利用与经济社会发展匹配度计算方法及应用[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(6): 1-6. (ZUO Qiting, ZHAO Heng, MA Junxia, et al. A calculation method and its application on the matching degree of the water resources utilization and socioeconomic development[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2014, 34(6): 1-6. (in Chinese))

[13] 杜军凯,李晓星,贾仰文,等. 基于基尼系数法的全国十大水资源一级区水资源与经济社会要素时空匹配分析[J]. 水利科技与经济, 2018,24(6): 1-8. (DU Junkai, LI Xiaoxing, JIA Yangwen, et al. Temporal and spatial matching analysis of water and socio-economic resources of ten first-class water resources regions in China based Gini coefficient method[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2018,24(6): 1-8. (in Chinese))

[14] 南京水利科学研究院,水利部水资源司,水资源中心. 节水型社会评价指标体系和评价方法:GB/T28284—2012[S]. 北京:中国标准出版社, 2012.

[15] JOSEPH A, PETRA D, THOMAS H, et al. Global estimates of water withdrawals and availability under current and future “business-as-usual” conditions[J]. Hydrological Sciences Journal, 2003,48(3): 339-348.

[16] 贾金生,马静,杨朝晖,等. 国际水资源利用效率追踪与比较[J]. 中国水利, 2012(5):13-17. (JIA Jinsheng, MA Jing, YANG Zhaohui, et al. Tracing and comparison of international water resources utilization efficiency [J]. China Water Resources, 2012(5): 13-17. (in Chinese))

[17] 赵恩龙,黄薇,霍军军. 基于分级控制的用水效率制度建设初探[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(12): 23-26. (ZHAO Enlong, HUANG Wei, HUO Junjun. Preliminary study on institutional construction for water use efficiency based on hierarchical control[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2011, 28(12): 23-26. (in Chinese))

[18] 刘阔,刘锁祥,赵顺萍,等.《城镇供水管网漏损控制及评定标准》CJJ92—2016 解读[J]. 城镇供水,2017(2): 21-24,33. (LIU Kuo, LIU Suoxiang, ZHAO Shunping, et al. Interpretation of the《Standard of water loss control and assessment of urban water distribution system》CJJ92—2016[J]. 城镇供水,2017(2): 21-24,33. (in Chinese))

[19] 邓铭江. 中国西北“水三线”空间格局与水资源配置方略[J]. 地理学报, 2018,73(7): 1189-1203. (DENG Mingjiang. “Three Water Lines” strategy: its spatial patterns and effects on water resources allocation in northwest China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018,73(7): 1189-1203. (in Chinese))

[20] 倪红珍,赵晶,陈根发,等. 我国高耗水工业用水效率区域差异与布局调整建议[J]. 中国水利, 2017(15): 1-5. (NI Hongzhen, ZHAO Jing, CHEN Genfa, et al. Regional differentiations of water use efficiency of water-intensive industries in China and suggestions for its adjustment[J]. China Water Resources, 2017(15): 1-5. (in Chinese))