

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.10.008

我国六大区域的城市节水发展比较研究

李昂臻¹, 刘兆瀛², 吴 鹄³, 武利园², 周飞祥¹, 姚 越¹

(1. 中国城市规划设计研究院, 北京 100044; 2. 北京建筑大学 北京市可持续城市排水系统构建与风险防控工程技术研究中心, 北京 100044; 3. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 按照东北、华北、西北、西南、华中和东南沿海六大区域分布,从节水型城市建设、城市节水量与资金投入、用水结构和效率、公共供水管网漏损和管材情况、再生水利用状况等方面,全面分析了我国从“十一五”到“十三五”中期城市节水状况时空分布特征。结果表明,东南沿海和华北地区成为城市节水工作“领头羊”,取得了显著成效。运用 SPSS 双变量分析方法和系统聚类方法,说明因子协同发挥作用的重要性,也反映了六大区域城市节水影响因素的异同性,体现了城市节水工作的综合性、复杂性和系统性。针对六大区域城市节水工作特点和潜力,展望各区域重点工作和发展前景,为评估“十三五”城市节水工作成效,开展“十四五”城市节水规划提供数据支撑和科学依据。

关键词: 六大区域; 城市节水; 用水结构和效率; 公共供水管网漏损; 再生水利用
中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)10-0049-08

Comparative Study of the Development of Urban Water Saving in the Six Regions of China

LI Ang-zhen¹, LIU Zhao-ying², WU Kun³, WU Li-yuan², ZHOU Fei-xiang¹,
YAO Yue¹

(1. China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China; 2. Beijing Sustainable Urban Drainage System Construction and Risk Control Engineering Technology Research Center, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 3. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: According to the six regions of Northeast, North, Northwest, Southwest, Central and Southeast of China, the spatial and temporal distribution characteristics of Chinese urban water saving from “11th Five-Year Plan” to “13th Five-Year Plan” were analyzed from the aspects of water saving city construction, urban water saving quantity and capital investment, water use structure and efficiency, public water supply pipeline network leakage and pipe materials, reclaimed water utilization. Among them, the Southeast and North of China have become the “leaders” of urban water saving work, and have achieved remarkable results. By using the two-variable analysis method of SPSS and systematic clustering

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51808512); 国家重点研发计划项目(2017YFC0403506)
通信作者: 李昂臻 E-mail: liaz@nwqc.gov.cn

method, the interrelationships between the major factors were analyzed, indicating the importance of the synergy of factors. Meanwhile, the similarities and differences of urban water saving influencing factors for the six regions were revealed, reflecting the comprehensiveness, complexity and systematicness of urban water saving work. In view of the characteristics and potential of urban water saving work in the six regions, the key work and development prospects of each region was studied. This study also provided data support and scientific basis for the effectiveness of urban water saving work in “13th Five-Year Plan” and carrying out the urban water saving plan for “14th Five-Year Plan”.

Key words: six regions of China; urban water saving; water use structure and efficiency; leakage of public water supply network; utilization of reclaimed water

我国高度重视城镇节水工作,先后经历了供水设施短缺被动节水、设施短缺与资源短缺并存、开源节流与治污并重、节水减排可持续发展等阶段,为落实习近平总书记提出的“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的十六字治水方针^[1-2],十多年来,我国以城市公共供水总量45.7%的增长支持了新增67%的城市公共供水用水人口的正常用水需求,万元GDP用水量、城市人均综合用水量等指标均有较大幅度的降低,城市节水工作取得了显著成绩。

然而,我国城市人口密集、资源环境压力大,城市节水工作仍面临严峻的挑战,未来很长一段时期,城市节水工作将始终是我国节水工作的重头戏,是实施国家节水行动最重要的一环^[3-4]。由于我国不同地区水资源禀赋、经济发展水平差距很大,因此笔者所在课题组在《节水型社会建设“十三五”规划城镇领域中期评估》编制过程中,按照东北、华北、西北、西南、华中和东南沿海六大区域,分区研究城市节水工作的方向和特点,总结我国从“十一五”到“十三五”中期城市节水状况的时空分布特征。结合SPSS等级相关系数分析影响因素和系统聚类方法,展望六大区域城市节水工作重点,贯彻城市节水新理念、新要求和新思路,为评估“十三五”城市节水工作成效,系统推进全国城市节水工作提供技术支撑和依据。研究的六大区域不含港澳台地区,其中吉林、辽宁、黑龙江列入东北地区,北京、天津、河北、山西、山东、河南列入华北地区,内蒙古、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆列入西北地区,广西、重庆、四川、云南、贵州、西藏列入西南地区,安徽、江西、湖北、湖南列入华中地区,广东、上海、福建、江苏、浙江、海南列入东南沿海地区。数据来自2006年—2018年的《中国城市建设统计年鉴》和《城市供水统计年鉴》,受资料的完整度和准确度的影响,评估结

果可能并不能全面反映各区域城市节水现状,但评估的结论具有研究探索性,可供参考。

1 六大区域节水型城市建设比较分析

从2002年国家命名第一批节水型城市开始,截至2018年底,全国共建成96座国家节水型城市,占城市数量的14%。全国节水型城市建设工作稳步推进^[5],六大区域节水型城市分布情况如图1所示。六大区域中东南沿海和华北地区节水工作推进力度较大,国家节水型城市相对较多,尤其是江苏和山东两省表现突出,分别建成20和19座。

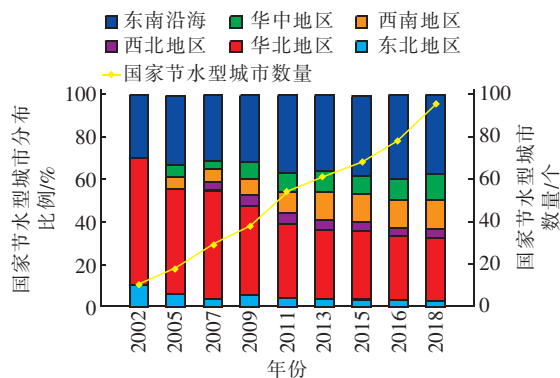


图1 六大区域节水型城市分布

Fig. 1 Distribution of the national water saving cities in six regions

2 六大区域城市节水量与资金投入

全国进入“十三五”之后,节水量和投资额呈现井喷式增长。然而六大区域在城市节水量与资金投入方面差别较大,东南沿海和华北地区为城市节水工作“领头羊”(见图2)。华北和东南沿海地区城市节水基础相对较好,其中经济较为发达地区的居民生活、公共和服务业节水量占比较高,说明可以继续通过优化供用水结构,实现生活用水控制增长、工业用新水零增长目标,这对其他区域也有重要的借鉴意义^[6-7]。“十三五”以来,通过发展长江经济带

等政策的带动作用,华中地区城市节水投资额虽无明显变化,但城市节水量迅速增加,工业节水成效尤为凸显。东北、西北和西南部分地区城市节水工作基础相对薄弱,亟待加强公共供水用水管理,推广节水设备和器具,提高用水效率。

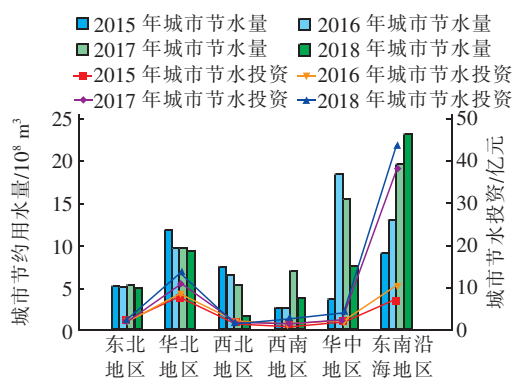


图2 2015年—2018年六大区域城市节水量及资金投入

Fig. 2 Urban water saving and capital investment in six regions from 2015 to 2018

3 六大区域用水结构和效率分析

从“十一五”到“十三五”中期,全国用水效率显著提升,用水结构总体趋向合理,仍有提升空间^[8-9]。六大区域用水结构变化有共性,用水效率差异大,具体如图3所示。

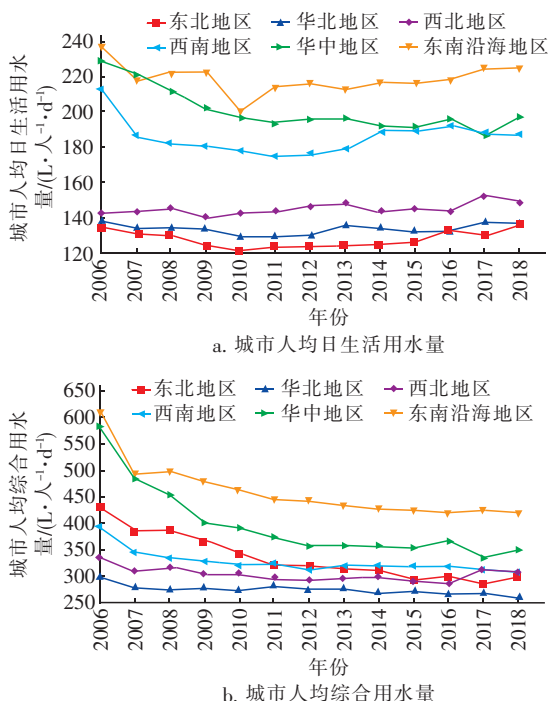


图3 2006年—2018年六大区域城市人均用水量变化

Fig. 3 Change in per capita urban water consumption in six regions from 2006 to 2018

六大区域居民家庭用水量占比都相对最高且呈上升趋势,生产运营用水占比呈下降趋势,居民生活用水的节水水平愈发重要,如图4所示。

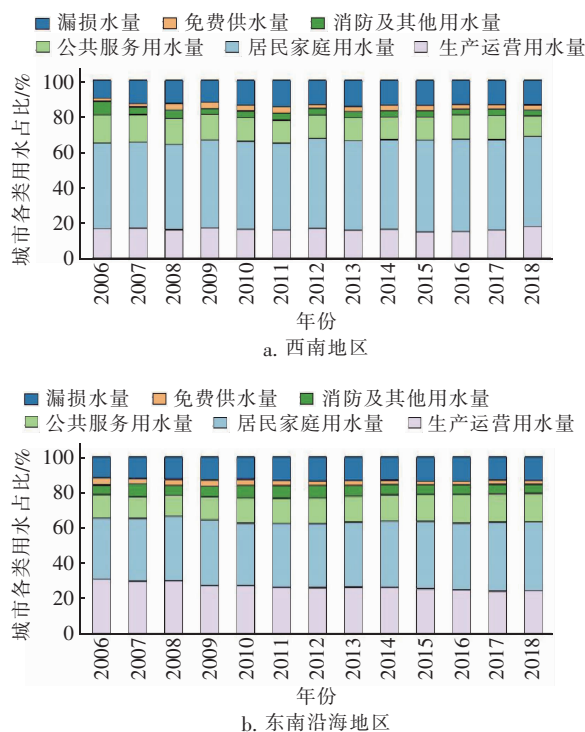


图4 2006年—2018年西南和东南沿海地区城市用水结构变化

Fig. 4 Urban water use structure change of Southwest and Southeast of China from 2006 to 2018

华北地区用水效率相对最高,城市人均综合用水量相对较低。东南沿海地区城市人均综合用水量相对较高,但呈现显著下降趋势,结合人均日生活用水量缓慢升高的趋向,反映了公共服务和居民家庭生活节水水平具备较大的提升空间。“十三五”期间,华中地区工业节水取得显著成绩,其中生产运营用水量占比六区倒数第二(18%),工业节水量占比却达到90%。西北和西南地区城市人均日生活用水量近年呈现上升趋势,除工业外节水量占比呈现降低趋势,这些地区城市节水的首要任务是改善居民家庭生活节水水平相对落后的局面^[10]。

4 六大区域公共供水管网漏损分析

4.1 城市公共供水管网漏损形势分析

在提倡全民节水、关紧水龙头的同时,城市公共供水管网漏损控制成为非常重要的城市节水环节^[11]。全国城市公共供水管网综合漏损率降低,漏损总量增加,如图5所示。六大区域中东北地区公

共供水管网漏损情况相对较差,其中吉林省的公共供水管网综合漏损率相对最高,其余五大区域的公共供水管网综合漏损率近年来有所降低,其中东南沿海地区在城市公共供水管网漏损控制方面,总体形势较好。东南沿海作为公共供水总量最多的地区,占比达42%,而漏损水量只占到全国的14%。下阶段需要根据各地区的供水管网漏损情况和经济发展水平,以供水管网漏损较为严重的地区、经济较为发达的地区、缺水以及水污染严重地区为重点,全面推进供水管网改造,开展分区计量和漏损节水改造,有效降低公共供水管网漏损率;此外,城市供水管网漏损率应按照《城镇供水管网漏损控制及评定标准》(CJJ 92—2016)局部修订条文进行计算,将城市公共供水管网综合漏损率减去总修正值得到城市公共供水管网漏损率。

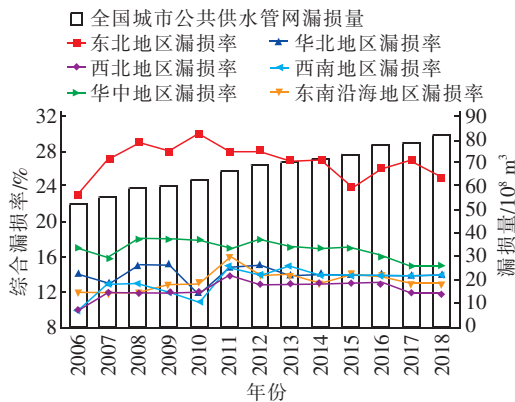


图5 2006年—2018年六大区域城市公共供水管网漏损对比

Fig.5 Comparison of leakage of urban public water supply network in six regions from 2006 to 2018

4.2 城市供水管网管材情况分析

为探究区域供水管网漏损成因,对各省供水管网的管材构成情况进行了梳理和分析,结果见图6。“十三五”时期全国供水管网改造成效显著,落后管材逐步被淘汰,而六大区域供水管网改造步伐不一致,管材质量提升空间大。东北地区灰口铸铁管等低品质管材占比相对最高,城镇供水管网老化、材质落后问题相对突出,亟需大力推进城市供水管网改造工程。东南沿海地区城市公共供水管网管材情况相对最好,“十三五”期间供水管网改造力度持续加大,城市基础设施进入全面提质时期。西南和华中地区的城市供水管网管材情况相对较好,但仍需尽快淘汰落后管材,完成供水管网的更新和改造。

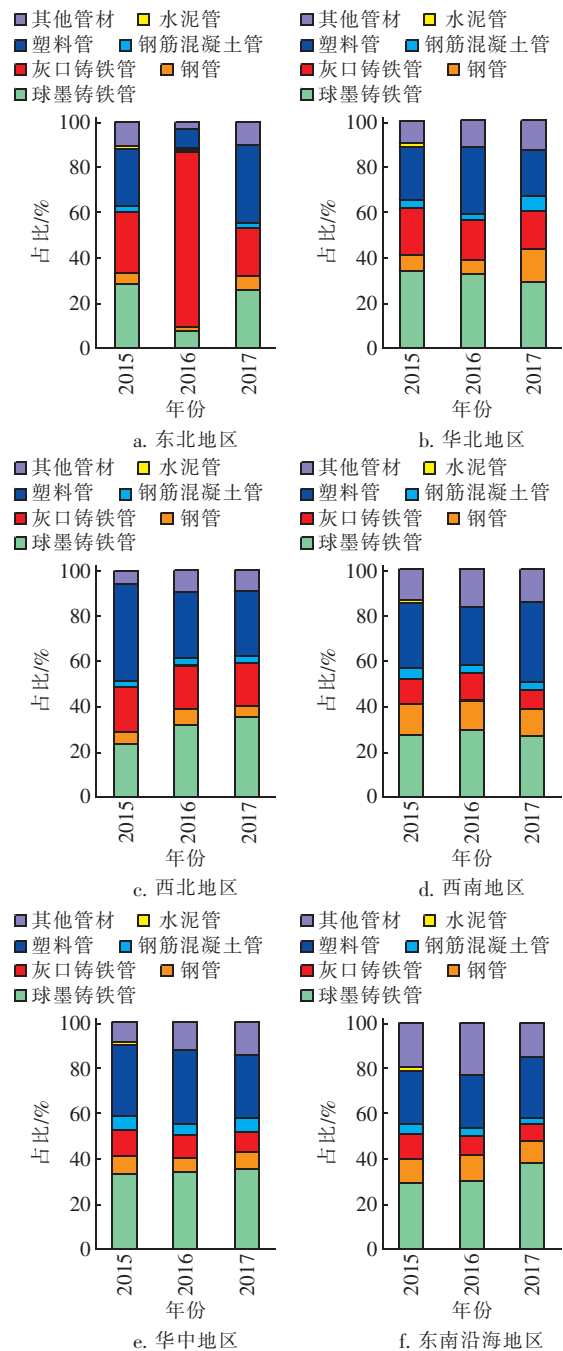


图6 2015年—2017年六大区域城市供水管网管材对比

Fig.6 Comparison of pipes in urban water supply network in six regions from 2015 to 2017

5 六大区域再生水利用状况分析

十余年间,全国再生水利用形势向好,潜力巨大,2018年再生水利用量和利用率较2006年分别增加了8倍和3倍^[12]。

六大区域再生水利用情况差别很大,发展水平不均衡,具体如图7所示。

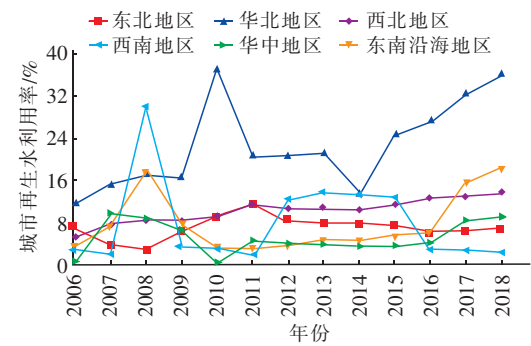


图 7 2006 年—2018 年六大区域城市再生水利用率对比
Fig. 7 Comparison of urban reclaimed water utilization rates in six regions from 2006 to 2018

其中,华北地区再生水利用情况相对最好,2018 年再生水利用量和利用率分别达到 $38 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 36%。西南地区再生水利用情况总体相对较差,尤其进入“十三五”后,再生水利用率呈现下降趋势。华中地区和东南沿海地区再生水利用量和利用率相对较低,进入“十三五”后再生水利用情况突然向好,

说明当地已开始重视相关污水再生利用设施的建设与改造。完善水价、合理规划是关键,设施保障是基础,缩小区域差距,推进优水优用、循环利用和梯级利用,加快污水再生利用,促进节水减污、城市水环境保护和水生态修复。

6 六大区域城市节水影响因子相关性分析

前述分析了全国六大区域涉及节流、开源和循环循序的城市节水影响因素,运用 SPSS 双变量的分析方法,研究影响因子如何相互作用,从而追本溯源,有效推动城市节水工作。城市节水部分影响因素间的相关系数如表 1 所示。作为城市节水的重要组成部分,各影响因子呈现极显著或显著相关的关系,而六大区域也呈现各自的特点,如华北地区城市居民生活、公共和服务业用水节水水平、城市公共供水管网综合漏损率与整体城市节水情况密切相关,一方面说明因子协同发挥作用的重要性,另一方面也反映了六大区域城市节水影响因素的异同性,体现了城市节水工作的综合性、复杂性和系统性^[13]。

表 1 城市节水部分影响因素间的相关系数

Tab. 1 Correlation coefficient among the influencing factors of urban water saving

项 目	区域	相关系数					
		公共供水管网漏损水量	公共供水管网综合漏损率	节约用水量	节水措施投资总额	再生水利用率	人均日生活用水量
公共供水管网综合漏损率	西北地区	0.352					
	西南地区	0.643 *					
	东北地区	0.038					
	华中地区	-0.429					
	华北地区	-0.157					
	东南沿海地区	0.663 *					
节约用水量	西北地区	0.451	0.489				
	西南地区	-0.220	-0.577 *				
	东北地区	-0.297	0.198				
	华中地区	0.121	-0.071				
	华北地区	-0.291	0.301				
	东南沿海地区	0.253	-0.325				
节水措施投资总额	西北地区	0.790 **	0.434	0.671 *			
	西南地区	-0.112	-0.629 *	0.622 *			
	东北地区	-0.175	-0.490	0.126			
	华中地区	-0.273	-0.056	0.657 *			
	华北地区	0.622 *	-0.133	-0.238			
	东南沿海地区	0.916 **	0.427	0.091			
再生水利用率	西北地区	0.952 **	0.327	0.404	0.690 *		
	西南地区	-0.099	-0.011	-0.390	-0.070		
	东北地区	0.126	0.159	0.516 *	0.133		
	华中地区	-0.060	-0.286	0.434	0.867 **		
	华北地区	0.676 *	-0.419	-0.159	0.147		
	东南沿海地区	0.247	-0.278	0.830 **	0.133		

续表 1 (Continued)

项 目	区域	相关系数					
		公共供水管网漏损水量	公共供水管网综合漏损率	节约用水量	节水措施投资总额	再生水利用率	人均日常生活用水量
人均日常生活用水量	西北地区	0.648 *	0.022	0.242	0.455	0.674 *	
	西南地区	0.212	-0.179	0.333	-0.102	0.008	
	东北地区	-0.038	-0.665 *	-0.533 *	0.091	0.720 **	
	华中地区	-0.764 **	0.264	0.055	0.503 *	0.154	
	华北地区	-0.033	-0.221	-0.595 *	0.326	-0.198	
	东南沿海地区	-0.033	-0.424	0.423	0.280	0.654 *	
人均综合用水量	西北地区	-0.445	0.780 **	-0.632 *	-0.559 *	-0.448	-0.071
	西南地区	-0.883 **	-0.498	0.278	-0.011	0.041	0.008
	东北地区	-0.659 *	0.412	0.407	-0.182	-0.181	-0.005
	华中地区	-0.857 **	0.390	0.033	0.343	-0.011	0.835
	华北地区	-0.809 **	0.557 *	0.440	0.651 *	-0.669 *	0.032
	东南沿海地区	-0.995 **	-0.652 *	-0.258	0.930 **	-0.242	0.022

注： * 表示显著相关($P<0.05$)； ** 表示极显著相关($P<0.01$)。

7 六大区域聚类分析

采用系统聚类的分析方法,对等间隔测度的变量使用欧氏距离平方作为类间距离,得到的聚类树形结果如图 8 所示。结合前述分析可以看出,东南沿海和华北地区城市节水工作成效较为显著,工作各有特点,分别自成一类;其他四区城市节水工作仍有待继续推进。

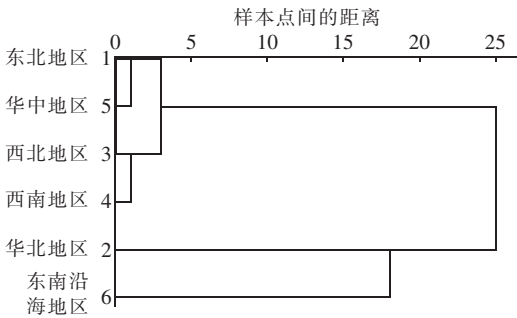


图 8 六大区域聚类树形分析

Fig. 8 Tree analysis chart of urban water saving clustering in six regions

根据节水影响因子相关性和聚类分析结果,结合六大区的水资源环境条件、气候特征、社会经济发展状况,探究城市节水发展不平衡背后的原因。依据前述分析,东南沿海和华北地区为城市节水工作“领头羊”,两区域经济水平较为发达,但由于水资源禀赋、气候特征的差异,使得城市节水工作动力和特点不同,其中华北地区是我国政治文化中心,资源型缺水问题十分突出,倒逼城市用水由粗放低效向节约集约转变;东南沿海地区突出的水质型缺水问题使得该区域节水治污并重。东北地区水资源分布

不均匀,近年来经济出现衰退和下滑,城市节水工作动力有待继续增强。华中地区降水时空分配不均,部分地区水污染问题突出,近年来城镇化水平较高,未来水资源需求增长较快,所以“十三五”期间城市节水工作成效有所显现。西北和西南地区经济社会发展相对滞后,结合聚类分析和节水影响因子相关性分析,两区域城市节水工作基础相对薄弱,居民家庭生活节水水平相对落后,其中西北地区水资源短缺,生产与生态环境用水矛盾尖锐,必须坚持开源节流并重;西南地区水资源开发利用率较低,但由于水资源较为丰沛,需要加强城市节水内驱力。

8 六大区域城市节水工作展望

① 华北地区城市节水基础相对较好,呈现“四高、一多”的特点,即城市节水量、节水投资额、城市再生水利用率和利用量高,国家节水型城市多,但“十三五”期间城市节水工作动力不足,落后管材占比较高。一方面需要加大供水管网改造力度,另一方面需要通过优化供用水结构,实现生活用水控制增长、工业用新水零增长的目标。

② 东南沿海地区城市节水工作成绩较为显著,东南沿海地区呈现“两高、两多”的特点,即城市节水量、节水投资额高,国家节水型城市、供水管网优质管材多,但再生水利用仍处于较低水平,“开源”仍有很大的提升空间。在后续城市节水工作中,要从有利于污水处理资源化利用及城市河道生态补水角度出发,加快污水再生利用。

③ 华中地区“十三五”期间城市节水工作力度加强,工作成效有所显现,尤其工业节水取得显著

成绩,但与东南沿海和华北地区仍存在较大差距。居民家庭用水比重在六大区位列第二,节水潜力仍待挖掘。此外,华中地区还需要力补短板,多举措加强节水型城市建设。

④ 东北地区城市节水工作基础相对薄弱,呈现“两高、两低、两少”的特点,即公共供水管网漏损量和综合漏损率相对较高,城市节水量、节水投资额相对较低,国家节水型城市较少、供水管网优质管材占比相对较少。下阶段需要全面推进供水管网改造,有效降低公共供水管网漏损率。

⑤ 西南地区城市节水工作呈现“两高、四低”的特点,即公共供水管网漏损量和综合漏损率相对较高,城市节水量、节水投资额、城市再生水利用量和利用率相对较低。该区域需要经济扶持引入外驱力,增强内动力,推动城市节水工作深入开展。

⑥ 西北地区城市节水工作呈现“两低、两少”的特点,即城市节水量、节水投资额相对较低,国家节水型城市相对较少、供水管网优质管材占比相对较少。在后续工作中,需要先补短板,提高该区域城市居民家庭生活节水水平。

9 结论

我国六大区域由于水资源禀赋、经济发展水平、工作推进力度的差异,城市节水情况差别较大。其中,东南沿海和华北地区作为城市节水的“灯塔区域”,节水工作取得了显著成效。研究选取涉及节流、开源和循环循序的一系列城市节水影响因子,运用SPSS双变量的分析方法和系统聚类方法,因子呈现极显著或显著相关的关系,体现了城市节水工作的系统性和复杂性,为分区施策提供了数据支撑和依据。结合各区域城市节水状况特征,展望六大区域城市节水工作重点,分区推动,分类施策,继续发挥东南沿海和华北地区城市节水工作优势,又切实推进东北、西北和西南等地区的城市节水工作,实现区域均衡发展,全面提升用水效率。

参考文献:

- [1] 徐慧纬,程彩霞,高伟,等.新时期城镇节水思路探讨[J]. 城乡建设,2018(9):22-24.
- XU Huiwei, CHENG Caixia, GAO Wei, et al. Discussion on urban water-saving ideas in the new period[J]. Urban and Rural Development, 2018(9):22-24(in

Chinese).

- [2] 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).
- [3] 梅冠群. 国家水安全战略下的节水工作探究[J]. 中国水利,2016(11):30-32.
- MEI Guanqun. Water-saving undertaking under strategy of national water security[J]. China Water Resources, 2016(11):30-32(in Chinese).
- [4] 宋国君,高文程. 中国城市节水潜力评估研究[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(12):1-7.
- SONG Guojun, GAO Wencheng. Evaluation of China's urban water saving potential[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(12):1-7 (in Chinese).
- [5] 韩建秀,李超,张春億. 创建节水型城市的思考[J]. 河南水利与南水北调,2017,46(8):14-15.
- HAN Jianxiu, LI Chao, ZHANG Chunyi. Thinking about creating a water-saving city[J]. Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion, 2017, 46(8):14-15 (in Chinese).
- [6] 张秀智. 京津冀等七大城市群节约用水和再生水利用状况比较分析[J]. 给水排水,2017,43(7):39-48.
- ZHANG Xiuzhi. A comparative analysis of water conservation and reclaimed water reuse in Beijing, Tianjin, Hebei and other seven urban agglomerations[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(7):39-48(in Chinese).
- [7] 陆大道,贾绍凤,白永平. 中国北方地区用水进入低增长和微增长阶段的必要性和可能性[J]. 地理研究,2014,33(2):203-213.
- LU Dadao, JIA Shaofeng, BAI Yongping. Study on the necessity and possibility of water use decrease in northern China[J]. Geographical Research, 2014, 33(2):203-213(in Chinese).
- [8] 何伟,宋国君. 河北省城市水资源利用绩效评估与需水量估算研究[J]. 环境科学学报,2018,38(7):2909-2918.
- HE Wei, SONG Guojun. Evaluation of urban water

(下转第60页)