

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.02.006

我国城镇排水系统综合评价及时空分异特征

黄悦, 刘广奇

(中国城市规划设计研究院, 北京 100044)

摘要: 排水系统建设对城镇安全发展具有重要影响。应用变异系数法对2015年—2019年间我国城镇排水系统进行综合评价,分析其时间演变规律和空间分布特征,为城乡统筹下的排水系统建设发展提供建议。分析结果表明,我国城镇排水系统总体进展较大,发展日趋均衡,但各个地区之间的发展阶段不一,特征差异显著;排水系统作为一个有机整体,收集和处理设施建设的无序化会极大制约系统的整体性能提升;系统发展水平空间分异特征显著,总体呈东高西低、南高北低的特征,与地区经济水平空间分布大致吻合。

关键词: 排水系统; 变异系数法; 时空分异

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)02-0026-06

Comprehensive Evaluation and Spatial-temporal Distribution Characteristics of Drainage System in China

HUANG Yue, LIU Guang-qi

(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China)

Abstract: The construction of drainage system has an important impact on the safety and development of cities and towns. The coefficient of variation method was applied on the comprehensive evaluation of the drainage system in China from 2015 to 2019, and the spatial-temporal distribution characteristics were analyzed to provide a guide of the drainage system. The results show that drainage system of cities and towns in China has generally made a rapid and balanced development, while the development stage varies among regions with significant differences in characteristics. In addition, the disorderly construction of collection and treatment facilities greatly restricts the overall performance of the drainage system. Spatial distribution characteristics of the system development significantly shows that the development level is high in the east and low in the west, and high in the south and low in the north, coinciding with the spatial distribution of regional economic levels.

Key words: drainage system; coefficient of variation method; spatial-temporal distribution

随着我国城镇化进程的加速,基础设施建设需求也快速增加。排水基础设施作为城乡环境质量和居民生活品质的重要保障,近年来取得飞速发展。受社会经济发展阶段影响,我国建制镇、县城和城市排水系统设施建设水平还存在较大差异,根据《城乡建设统计年鉴》的数据,2019年我国城市和县城污水处理率分别达到96.81%和93.55%,建制

镇仅54.43%,与城乡统筹发展的新型城镇化战略目标不协调。与此同时,部分地区在排水系统建设过程中还存在重复建设和能力不足并行、设施利用率低、使用寿命过短等问题,既是资源的浪费,也制约了排水设施服务功能的发挥。结合我国城镇化发展态势,需要进一步识别我国城镇排水系统建设水平,梳理建制镇、县城和城市的时序演化和空间

分布特征,为处于不同地区、不同发展阶段、不同行政等级的排水系统规划建设提供建议和方向参考。

国内学者关于基础设施综合评价开展了系列研究。从研究对象来看,主要集中在全国各省^[1]或地级市^[2];从研究方法上看,主要采用层次分析法^[3]、熵权法^[4]、数据包络分析^[5]等;从研究内容上看,主要针对涵盖给排水、环境卫生、能源、道路交通、通信等子系统的广义基础设施综合评价^[2-3],评价维度包括发展水平^[1]、韧性评价^[4]、投资效率^[5]等。总体而言,基础设施综合评价的研究探索逐渐增多,但主要集中在城市尺度,对县城尤其是建制镇的设施发展情况关注较少。随着我国城镇化进程和城乡统筹发展的推进,现有研究难以全面反映全国城镇排水系统建设发展的整体格局和变化趋势。

基于2015年—2019年的《城乡建设统计年鉴》的统计数据,对全国省、直辖市和自治区的建制镇、县城和城市排水系统设施建设水平进行评估,从动态发展的视角分析我国城镇排水系统建设发展的时空分异特征,揭示主要制约和影响因素,以减少排水设施建设的盲目性,以期为我国不同地区排水系统的发展方向、建设重点和路径识别提供认知基础和理论依据。

1 研究方法

1.1 评价指标和数据来源

按照我国现阶段行政区划,以我国31个省、直辖市和自治区的建制镇、县城和城市为评价对象。基于我国现行地理和行政划分,以省级行政单元所辖建制镇、县城和城市为评价对象,其中北京、天津和上海撤县设区,仅有28个设县的省和自治区,因此评价对象共计90个。综合现有文献研究基础和统计数据可获得性,选取3项指标分别表征排水系统的设施能力水平和运行效果,分别是污水处理能力强度、排水管网密度和污水处理率,其中污水处理能力强度为建成区单位面积的污水处理能力,表征污水处理设施配备水平。

本研究所需数据来源于2015年—2019年的《城乡建设统计年鉴》。

1.2 评价模型

采用变异系数法进行评价。变异系数法是一种客观赋权法,用变异系数(Coefficient of Variation, CV)表示指标取值分布的离散程度。应用该赋权

法,离散程度越大对综合评价结果的影响就越大,权重越高。具体步骤如下:

① 对指标 x_{ijr} 进行标准化处理得到 Z_{ijr} ,归一化处理得到 P_{ijr} ,计算如下:

$$P_{ijr} = \frac{Z_{ijr}}{\sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^{\theta} Z_{ijr}} \quad (1)$$

式中: P_{ijr} 为归一化后的指标取值,范围在0~1之间,依据本研究中指标实际意义, P_{ijr} 数值越高越好; Z_{ijr} 为标准化后的指标取值, $Z_{ijr} = (x_{ijr} - \bar{x}_j)/s_j$,其中 x_{ijr} 为评价对象 i 在第 r 年的第 j 个指标数值,原始指标矩阵 $X = \{x_{ijr}\} (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m, 1 \leq r \leq \theta)$, n 、 m 和 θ 分别为90、3和5。

② 采用变异系数法确定权重 ω_j ,计算如下:

$$\omega_j = \frac{v_j}{\sum_{j=1}^m v_j} \quad (2)$$

式中: v_j 为指标 j 的变异系数, $v_j = \sigma_j/\bar{P}_j$, σ_j 和 \bar{P}_j 分别为归一化后指标 j 的标准差和均值。

本研究中计算得到的权重分别是0.434 8、0.321 9和0.243 4,表明污水处理能力强度分布差异更大,对最终评价结果的影响更为突出,其次是排水管网密度和污水处理率。

③ 加权计算评价单元得分 S_{ir} ,该值越大代表综合评价结果越好,具体计算如下:

$$S_{ir} = \sum_{j=1}^m \omega_j P_{ijr} \quad (3)$$

2 结果分析

2.1 时间演变特征分析

2.1.1 总体特征

全国排水系统水平不断提高,建制镇排水设施建设发展迅速。2015年—2019年我国城镇排水系统评价结果的均值和变异系数如表1所示。从综合评价结果来看,我国城镇排水系统建设水平不断提升,西南和西北片区的提升幅度最大。其中,建制镇建设水平提升较快,2019年评价结果比2015年增长了25%,县城和城市排水系统评价结果均显著高于建制镇,但水平提升相对放缓,分别约9.5%和6%。全国排水系统发展总体趋于均衡,建制镇差异仍然突出。2015年—2019年,全国城镇排水系统变异系数呈下降趋势,表明全国城镇排水系统发展水平总体趋于平衡。按照行政级别分类来看,对比县

城和城市,建制镇的变异系数最高,变化趋势最为显著,表明各省建制镇排水系统发展水平差异最大。但通过近年来的建设投入,建制镇排水系统发

展水平呈均衡化趋势。县城和城市的变异系数接近且较低,说明我国县城和城市的发展差异较小,各省发展相对更均衡。

表1 2015年—2019年我国城镇排水系统综合评价结果变化

Tab.1 Change in comprehensive evaluation results of drainage system in China from 2015 to 2019

项目	2015年		2016年		2017年		2018年		2019年	
	均值	CV	均值	CV	均值	CV	均值	CV	均值	CV
全国	0.348 3	0.488 7	0.361 0	0.482 1	0.354 9	0.479 4	0.371 6	0.423 9	0.383 1	0.419 3
建制镇	0.172 5	0.555 2	0.173 5	0.558 2	0.175 7	0.588 7	0.206 4	0.500 8	0.217 3	0.471 0
县城	0.373 3	0.261 6	0.392 7	0.227 2	0.401 1	0.215 1	0.408 6	0.216 8	0.408 9	0.216 8
城市	0.495 1	0.241 2	0.513 8	0.216 8	0.492 3	0.237 7	0.503 2	0.195 3	0.525 5	0.180 1

2.1.2 评价指标变化特征

对2015年—2019年城镇排水系统评价指标归

一化处理后的均值和变异系数进行统计,结果如表2所示。

表2 2015年—2019年评价指标均值和变异系数变化

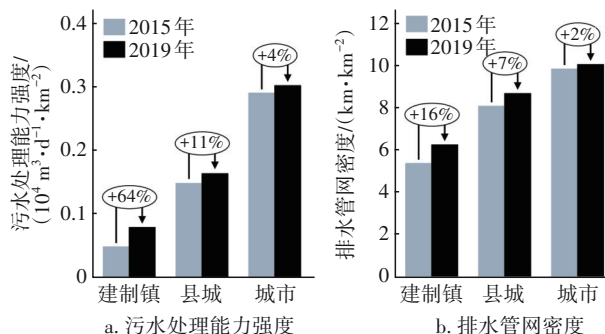
Tab.2 Change of mean value and coefficient of variation of evaluation indicators from 2015 to 2019

项目		2015年		2016年		2017年		2018年		2019年	
		均值	CV	均值	CV	均值	CV	均值	CV	均值	CV
指标1:污水处理能力强度	建制镇	0.059 6	1.019 1	0.055 0	0.993 5	0.073 2	0.923 4	0.094 2	0.753 1	0.097 5	0.760 2
	县城	0.180 9	0.362 4	0.190 6	0.335 3	0.196 2	0.329 9	0.199 9	0.315 2	0.200 4	0.314 2
	城市	0.353 6	0.440 2	0.362 3	0.426 4	0.353 0	0.431 3	0.354 7	0.370 3	0.367 7	0.335 5
	全国	0.199 9	0.803 0	0.204 7	0.800 8	0.207 8	0.751 6	0.216 8	0.664 1	0.222 6	0.653 5
指标2:排水管网密度	建制镇	0.179 2	0.564 1	0.183 3	0.509 9	0.192 2	0.534 3	0.211 4	0.466 2	0.222 3	0.422 4
	县城	0.312 9	0.409 9	0.332 9	0.392 8	0.326 5	0.415 6	0.341 0	0.397 5	0.341 0	0.397 5
	城市	0.399 6	0.450 9	0.414 3	0.457 5	0.348 2	0.565 6	0.368 8	0.479 0	0.408 6	0.433 3
	全国	0.298 2	0.563 5	0.310 8	0.562 5	0.287 7	0.580 3	0.305 9	0.511 7	0.323 4	0.495 4
指标3:污水处理率	建制镇	0.365 4	0.600 4	0.372 0	0.586 3	0.337 1	0.660 1	0.400 2	0.549 7	0.424 8	0.511 0
	县城	0.797 0	0.230 1	0.832 7	0.187 1	0.866 0	0.163 0	0.871 2	0.181 7	0.871 2	0.181 7
	城市	0.874 4	0.163 4	0.916 1	0.050 5	0.931 7	0.039 2	0.946 3	0.026 4	0.962 2	0.015 5
	全国	0.679 8	0.427 2	0.706 5	0.408 9	0.706 4	0.438 8	0.734 8	0.397 8	0.748 8	0.379 2

由表2可以看出:①2015年—2019年建制镇污水处理能力强度的变异系数迅速降低,但仍远高于县城和城市,说明近年来建制镇污水处理能力建设较快,各地不均衡程度呈缩小趋势,但各地建设水平差异化仍然十分突出。②城市排水管网密度变异系数相对较大,不均衡程度最高,建制镇和县城其次。③城市和县城的污水处理率差异化较小,但建制镇不均衡程度仍然较大。

排水系统存在木桶效应,某项指标不均衡会影响最终评价结果。对具体指标变化情况进行分析,结果如图1所示。由图1可知,2015年—2019年建制镇污水处理强度增长了64%,排水管网密度和污水处理率仅增长了16%,说明建制镇排水系统评价结果的增长主要是由污水处理能力大幅提升驱动,排水管网建设不足成为制约污水处理率和排水系

统整体水平的瓶颈。县城各项指标提升幅度相当。城市污水处理率指标提升显著高于处理规模能力强度和管网密度这两项指标的增长幅度,说明在城市排水系统建设相对充分的情况下,通过更好地统筹优化设施布局,如末端管网连接补建、消除污水收集空白区等工作,有效提升了污水处理率,取得了较好的边际效益。



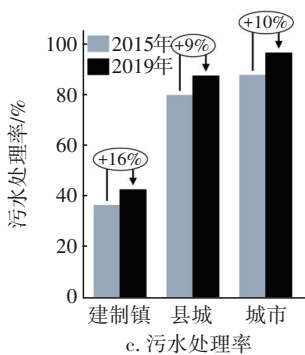


图1 2015年和2019年评价指标的变化

Fig.1 Change of evaluation indicators in 2015 and 2019

2.2 空间分布特征分析

2.2.1 总体特征

以2019年统计数据分析我国城镇排水设施建设水平的空间分布特征,按六大片区统计评估结果,如图2所示。

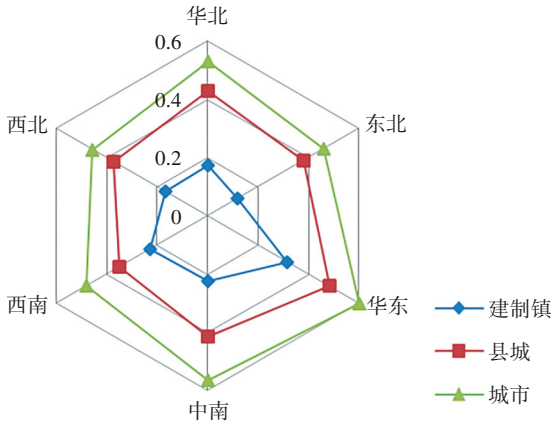


图2 分片区评估结果雷达图

Fig.2 Radar chart of the evaluation results of subdivisions

由图2可知,华东片区建制镇、县城和城市排水系统评价较高,东北片区建制镇排水系统评价最低,西南片区县城排水系统评价较低。分省来看,大部分省份城市和县城排水系统评价更为接近,与建制镇差距较大,其中河北、山西、内蒙、吉林、重庆、西藏的建制镇排水系统设施建设差距最为显著。部分省市建制镇和县城排水系统评价更为接近,与城市发展水平差距更大,如江苏、广东、四川、贵州、西藏、云南。

2.2.2 等级划分

以全国城镇评价结果四分位值为分界点,依次将各评价对象划分为低水平、中低水平、中高水平、高水平四类,划分结果见表3。

由表3可知,低水平和中低水平建制镇排水系

统共30个,仅江苏为中高水平,表明对建制镇而言,低水平排水系统仍处于主导地位。县城评价等级主要集中在中低和中高水平,共24个,其中中低水平集中在中西部地区。城市排水系统评价为中高水平及高水平省市共有29个,表明城市排水系统建设总体已处于较高水平。

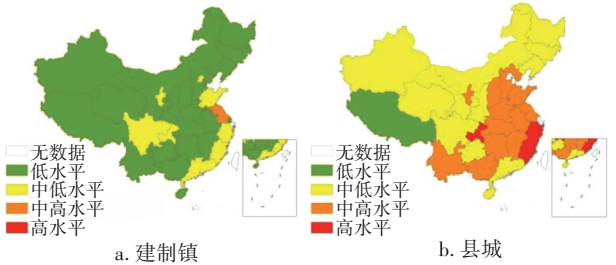
表3 我国建制镇、县城、城市排水系统评估等级划分

Tab.3 Classification of the evaluation results of the drainage system of towns, counties and cities in China

项目	评估结果分级			
	低水平	中低水平	中高水平	高水平
建制镇	天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、上海、安徽、江西、河南、湖北、湖南、广西、海南、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、新疆	北京、山东、浙江、福建、广东、重庆、四川、宁夏	江苏	无
县城	西藏	吉林、辽宁、黑龙江、内蒙、广东、海南、贵州、四川、青海、陕西、甘肃、新疆	河北、山东、山西、河南、宁夏、江苏、安徽、湖北、湖南、江西、广西、云南	浙江、福建、重庆
城市	无	宁夏、西藏	山西、内蒙古、吉林、黑龙江、江西、贵州、陕西、甘肃、新疆	辽宁、北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、安徽、福建、山东、河南、湖北、湖南、广东、广西、海南、青海、四川、重庆、云南

2.2.3 空间分异

用四分位数对建制镇、县城和城市评价指标(2019年数据)进行分级,结果如图3~6所示。



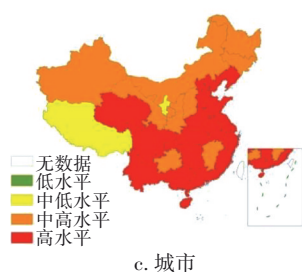


图3 2019年我国建制镇、县城、城市排水系统综合评价分级

Fig.3 Classification of drainage system comprehensive evaluation of China's towns, counties and cities in 2019

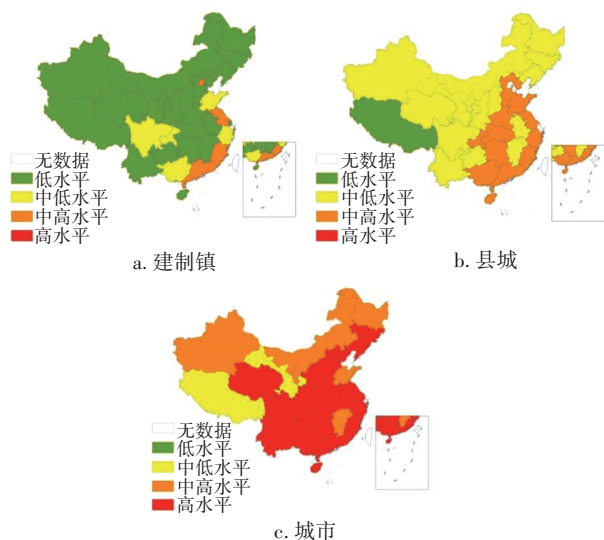


图4 2019年我国建制镇、县城、城市污水处理能力强度分级

Fig.4 Classification of sewage treatment capacity strength of China's towns, counties and cities in 2019

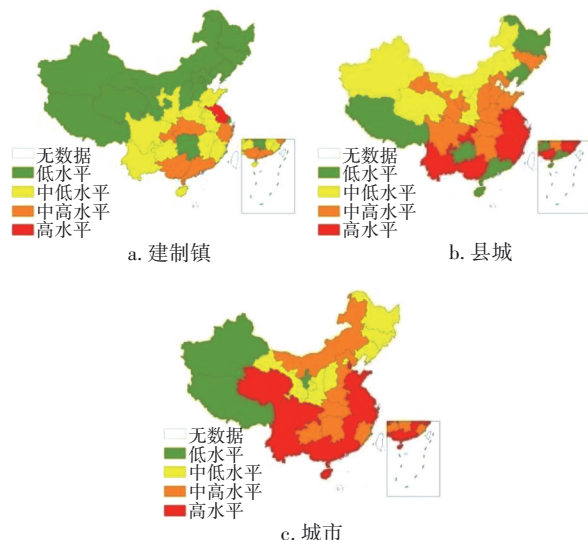


图5 2019年我国建制镇、县城、城市排水管网密度分级

Fig.5 Classification of drainage pipe network density of China's towns, counties and cities in 2019

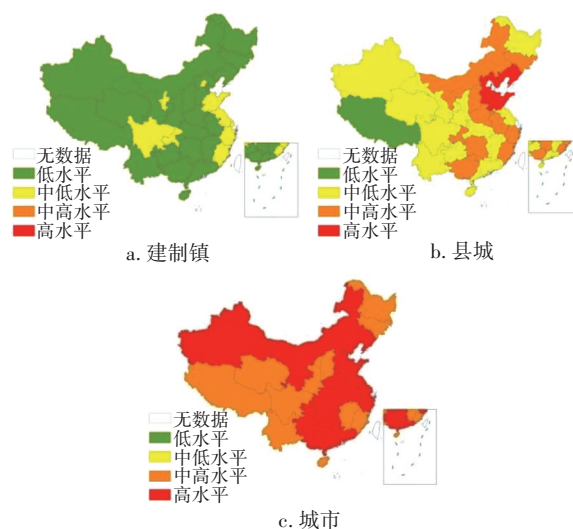


图6 2019年我国建制镇、县城、城市污水处理率分级

Fig.6 Classification of sewage treatment rate of China's towns, counties and cities in 2019

由图3~6可知,城镇排水系统空间差异显著,发展水平呈自东向西递减趋势。东部地区排水系统评估普遍高于中西部地区,其中,江苏的建制镇、县城和城市的排水系统建设水平高于全国平均,地表水环境质量也不断得到改善,2015年江苏省达到或优于地表Ⅲ类水标准的国控断面占48.2%,2019年升至77.9%,无劣Ⅴ类断面。此外,单项指标发展不平衡会影响整体评价结果,如广东、海南和湖南的县城排水系统评价结果受排水管网密度建设不足的制约,最终评价为中低水平。具体结论如下:

① 建制镇排水系统总体上设施建设不足,局部应加强设施协调。东南沿海和四川、重庆的建制镇排水系统发展好于其他地区,但整体处于低水平和中低水平。中南和华东地区排水管网密度等级超过污水处理能力强度,但未能反映在污水处理率提升上,应加强污水收集和处理设施的协调衔接。

② 应重点加强东北、西北和西南地区的县城排水设施建设。华东、中南地区的县城排水系统评价较好,但单项指标建设不平衡程度较大,如贵州、广东、海南县城的排水管网密度远低于周边地区。

③ 应加强城市设施协调,局部补短板,总体提效率。华东、中南、西南地区的城市排水系统整体评价较好,江西、贵州和宁夏还有提升空间。具体到评价指标,华北、华东、中南和西南地区的污水处理能力强度为高水平,东北和西北地区管网密度为中低水平,有待加大建设力度。青海、四川、云

南、海南污水收集和处理设施能力强度评价为高水平,污水处理率为中高水平,设施协调上有待加强。

2.3 发展方向建议

① 建制镇排水系统内部差异显著,整体发展水平较低,亟需加快加大排水设施的投资建设力度,并参考县城和城市排水设施建设发展路径,因地制宜、分类指导,避免设施重复建设和无效建设。有条件的可将污水就近纳入邻近城区的污水处理厂统一处理,镇区人口少、建成区分散、管网建设成本过高的地区,可结合农村环境连片整治,依据实际情况统筹建设。华北、东北、西北、西南片区应重点加快管网建设,华东和中南片区应侧重设施协调。

② 县城排水系统发展水平介于建制镇和城市之间,应重视县城作为城乡统筹关键节点的支撑作用,重视污水收集和处理设施能力的优化配套和协调发展,实现排水设施服务能力的提档升级,从而具备更高的人口和产业承接能力。华北、东北、西北和西南片区应加强设施能力建设,华东和中南片区强调设施衔接。

③ 城市排水系统发展水平整体较高,设施能力建设相对充分,一方面应结合城市更新、提质增效,对已建排水设施进行结构性调整和精细化管理;另一方面通过系统优化设计和设施统筹建设,提升新增排水设施的边际效益,实现高质量的排水设施建设。东北、西北片区强调设施补短板,西南片区侧重设施协调统筹,华北、华东和中南片区重在效能提升。

3 结论

① 从时间序列角度分析,2015年—2019年全国城镇排水系统总体水平呈上升趋势,发展日趋均衡,收集和处理设施建设发展的无序化会显著制约系统的整体性能提升效率。建制镇排水系统整体处于低均衡发展阶段,内部差异显著,评价等级分布呈金字塔形。县城排水系统评价等级呈纺锤形特征,中低和中高水平省份处于主导地位。城市排水系统评价等级已经呈倒金字塔形分布态势,除西藏、宁夏外,均为中高、高水平。

② 从空间分布特征来看,我国城镇排水系统发展空间分异特征显著,总体呈东高西低、南高北低的特征,与地区经济水平空间分布大致吻合。应分析现实与条件,制定差异化策略,保证东部和南

部地区排水系统持续发展的同时,加速中西部和北部相对滞后地区的排水系统设施建设,逐步缩小不同地区之间以及同一地区建制镇、县城和城市之间的排水系统发展差异。

参考文献:

- [1] 程敏,陈辉. 城市基础设施可持续发展水平的组合评价[J]. 城市问题, 2012(2): 15-21.
CHENG Min, CHEN Hui. Combination evaluation on the sustainable development level of urban infrastructure [J]. Urban Problems, 2012(2): 15-21(in Chinese).
- [2] 黄金川,黄武强,张煜. 中国地级以上城市基础设施评价研究[J]. 经济地理, 2011, 31(1): 47-54.
HUANG Jinchuan, HUANG Wuqiang, ZHANG Yu. Study on infrastructure assessment of cities in China [J]. Economic Geography, 2011, 31(1): 47-54(in Chinese).
- [3] 武力超,孙浦阳. 基础设施发展水平对中国城市化进程的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(8): 121-125.
WU Lichao, SUN Puyang. China's infrastructure development's impact on China's urbanization process [J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(8): 121-125(in Chinese).
- [4] 白立敏,修春亮,冯兴华,等. 中国城市韧性综合评估及其时空分异特征 [J]. 世界地理研究, 2019, 28(6): 77-87.
BAI Limin, XIU Chunliang, FENG Xinghua, et al. A comprehensive assessment of urban resilience and its spatial differentiation in China [J]. World Regional Studies, 2019, 28(6): 77-87(in Chinese).
- [5] 程敏,裴新杰. 我国地级及以上城市基础设施投入效率的时空差异研究——基于DEA和Malmquist指数模型[J]. 管理评论, 2017, 29(6): 225-233.
CHENG Min, PEI Xinjie. Evaluation on the spatial differences and temporal changes of infrastructure investment efficiency of cities at prefecture level or above in China based on DEA and Malmquist index [J]. Management Review, 2017, 29(6): 225-233(in Chinese).

作者简介:黄悦(1986—),女,四川遂宁人,博士,高级工程师,主要从事城镇水务基础设施规划研究工作。

E-mail:huangenv05@126.com

收稿日期:2021-02-25

修回日期:2021-03-30

(编辑:丁彩娟)