

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20220437

我国水资源动态演变及开发利用现状分析

贾志峰^{1a,1b,1c}, 刘鹏程^{1a,1b}, 马艳², 郑飞敏^{1a,1b,1c}

(1. 长安大学 a. 水利与环境学院; b. 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室; c. 水与发展研究院, 陕西 西安 710054; 2. 西安市二次供水管理中心, 陕西 西安 710009)

摘要: 分析水资源动态演变及开发利用现状,对水资源可持续开发与保护有重要意义。选取我国松花江区、辽河区、海河区、黄河区、淮河区、长江区、东南诸河区、珠江区、西南诸河区、西北诸河区等 10 个水资源一级区 1997~2020 水资源公报数据,运用 Kendall 秩次检验法分析各区水资源动态演变及开发利用现状。结果表明,我国水资源动态演变具有空间差异性,黄河区呈极显著增加趋势,松花江区呈显著增加趋势,淮河区呈不显著减少趋势,其余区域呈不显著上升趋势。松花江区和长江区呈弱显著上升趋势,辽河区、海河区、淮河区、东南诸河区为不显著下降趋势;其他水资源区均为不显著上升趋势。我国供水结构中供水量呈极显著上升趋势,但近年来增速变缓;地表水占比最大,地下水次之,其他用水占比最小。我国用水结构中 2013 年后农业、工业用水量呈极显著下降趋势,与之对应的是工农业用水效率增加,生活用水保持平稳水平,生态用水量逐年增大。

关键词: 水资源; 动态演变; 供水量; 用水量

中图分类号: TV211.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)03-0027-04

1 引言

水资源动态演变和社会发展密不可分,研究水资源动态演变及开发利用对落实水资源可持续开发与保护具有重要意义。随着全球气候变化和我国社会经济的快速发展,我国面临水量消耗、水污染排放、水域空间挤占、水通道阻隔等问题。目前,关于不同流域不同水资源指标研究成果较丰富,但关于全国水资源区水资源量动态演变规律的研究较少。鉴于此,本文基于 1997~2020 年《水资源公报》、《中国统计年鉴》的公开数据,运用 Kendall 秩次检验,分析我国水资源量及供用水指标趋势变化,以期为我国建设节水型社会及水资源高效利用提供技术参考。

2 数据和方法

2.1 数据来源

为保持流域分区与行政分区的整体性和组合性,将全国划分为松花江区、辽河区、海河区、黄河

区、淮河区、长江区、东南诸河区、珠江区、西南诸河区、西北诸河区^[1]共十大水资源一级区。各分区年降雨量、水资源量及供用水数据来源于 1997~2020 年《中国水资源公报》、《中国统计年鉴》、1998~2020 年《中国水情年报》及《中国水资源及其开发利用调查评价》,本文数据不包括港澳台地区。

2.2 研究方法

对时间序列 x_1, x_2, \dots, x_n , 确定 $(x_i, x_j, j > i)$ 中 $x_i < x_j$ 出现个数为 P , 则可构造统计量 U :

$$U = \tau / [V_{ar}(\tau)]^{1/2} \quad (1)$$

$$\tau = 4P / [n(n-1)] - 1 \quad (2)$$

$$V_{ar}(\tau) = [2(2n+5) / [9n(n-1)]] \quad (3)$$

当 $n \rightarrow \infty$, U 符合标准正态分布。假设时间序列无趋势, 给定显著性水平 α 后, 查 $U_{\alpha/2}$ 。当 $|U| > U_{\alpha/2}$, 拒绝原假设, 即趋势显著; 反之为趋势不显著^[2]。本研究中, $\alpha = 0.01, 0.05, 0.10$ 被定义为给定的显著性水平, $|U_{\alpha/2}|$ 分别为 2.580、1.960、1.645, 根据降雨量和水资源量、供用水的变化趋势, 划分为以下 8 个级别, 见表 1。

收稿日期: 2022-03-09, 修回日期: 2022-06-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(42001033); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2021JQ-237)

作者简介: 贾志峰(1986-), 男, 博士、副教授, 研究方向为水资源高效利用, E-mail: jiazhiheng123@163.com

表 1 降雨量、水资源量、供用水指标分类

Tab. 1 Precipitation, water resource, water supply index classification

描述方法	U	$ U_{\alpha/2} $
极显著增加/极显著上升	>0	$[2.58, +\infty)$
显著增加/显著上升	>0	$[1.96, 2.58)$
弱显著增加/弱显著上升	>0	$[1.64, 1.96)$
不显著增加/不显著上升	>0	$(0, 1.64)$
极显著减少/极显著下降	<0	$[2.58, +\infty)$
显著减少/显著下降	<0	$[1.96, 2.58)$
弱显著减少/弱显著下降	<0	$[1.64, 1.96)$
不显著减少/不显著下降	<0	$(0, 1.64)$

3 我国水资源的动态演变

根据图 1, 1997~2020 年我国平均降水量为 520.6 mm, 最大年降水量达到 730.0 mm(2016 年), 最小年降水量为 582.3 mm(2011 年); 我国

各水资源一级区多年平均降水量空间分布特点为自西北向东南递增(图 2)。我国年降水量呈弱显著增加趋势($U = 1.739$), 年均增量为 2.13 mm/a。黄河区呈极显著增加趋势($U = 3.066$), 松花江区呈显著增加趋势($U = 2.005$), 淮河区呈不显著减少趋势, 其余区域为不显著上升趋势。

中国水资源量变化趋势空间分布见图 3。由图 3 可知, 整体上, 全国地表水资源量年际波动较小, 趋势检验结果为不显著上升趋势, 增幅为 $46.64 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$; 不同水资源区年际变化差异明显。其中, 长江区、珠江区、松花江区和东南诸河区年际波动剧烈。其余区域水资源年际变化幅度相对较小。全国地表水量变化趋势中松花江区($U = 1.93$)和长江区($U = 1.704$)呈弱显著上升趋势, 辽河区、海河区和淮河区呈不显著下降趋势, 其余区域呈不显著上升趋势。

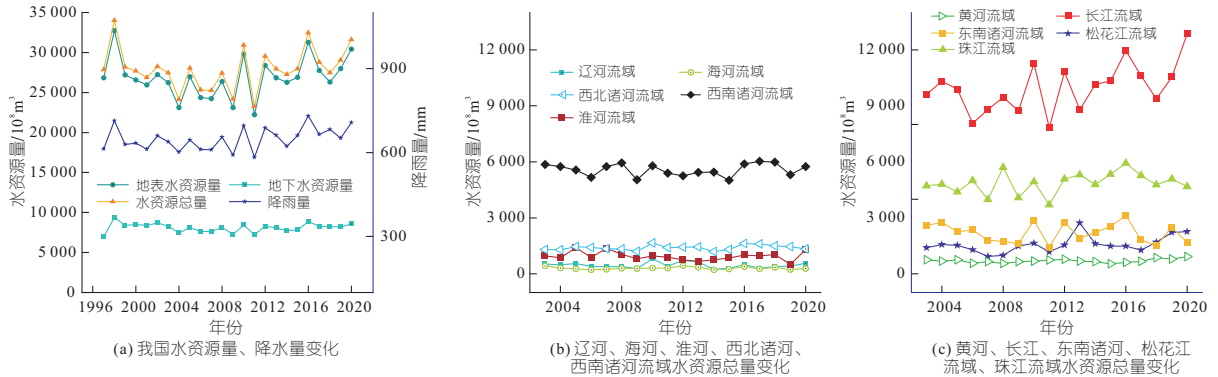


图 1 我国及水资源一级区 1997~2020 年水资源动态变化

Fig. 1 Dynamics of water resources in China and water resources class I areas 1997-2020



图 2 我国水资源一级区 1956~2020 年多年平均降水量分布
Fig. 2 Distribution of multi-year average precipitation in China's water resources class I areas, 1956-2020

与地表水相比, 地下水的年际变化幅度较小。2009~2014 年间地下年际波动较大, 全国地下水水资源量年际变幅为 14.9%; 2017~2020 年地下水水资源量年际变幅为 4.5%。整体来看, 全国地下水水资源量呈不显著上升趋势, 年际增幅为 $48.45 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。不同地区地下水水资源量变化

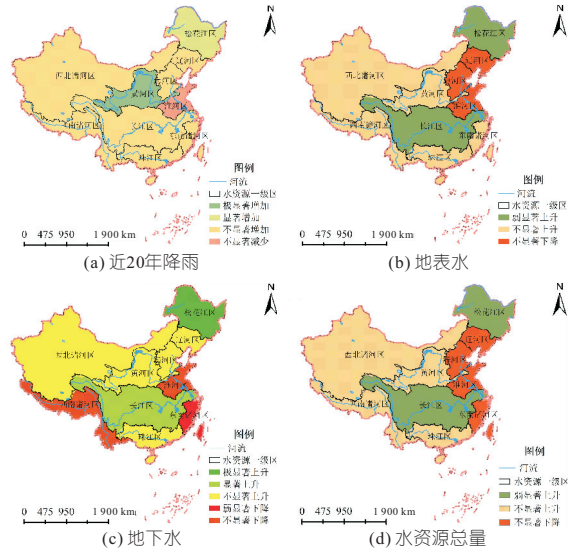


图 3 我国水资源量变化趋势空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of trends in water resources in China

趋势有明显区别: 松花江区($U = 2.614$)呈极显著上升趋势, 长江区($U = 2.237$)为显著上升趋势, 东南诸河区($U = -1.855$)为弱显著下降趋势, 西

南诸河区和淮河区呈不显著下降趋势,其余地区均呈不显著上升趋势。松花江与长江区年际增幅分别为 8.96×10^8 、 $17.37 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$;东南诸河区地下水年际降幅最大为 $5.86 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

水资源总量与地表水变化趋势高度吻合,均呈上升趋势,增幅为 $48.45 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。相较于地表水与地下水趋势变化分布,水资源总量变化趋势分布更为平缓,无显著上升或下降区域。松花江区($U=1.855$)和长江区($U=1.779$)呈弱显著上升趋势,辽河区、海河区、淮河区、东南诸河区呈不显著下降趋势;其他水资源区均呈不显著上升趋势。

4 中国水资源开发利用现状

根据我国 1990~2020 年的供水与用水结构变化(图 4(a)、(b))可看出,我国的供水总量整体呈极显著增加趋势,但增幅逐渐变缓,地表水供水量年际变化出现 1990~1997、2003~2020 年两个增长期,增长率分别为 1.85%、0.66%;1997~2003 年减少率为 1.04%。地下水供水分别在 2000、2010 年前后出现峰值,之后开始降低。我国供水结构中地表水占比最大,多年平均占比为 81.3%,地下水占比次之,多年平均占比为 18%,其他供水占比为 0.7%。

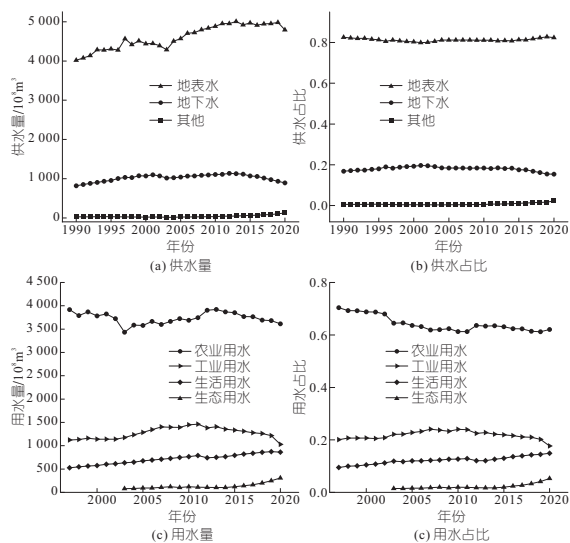


图 4 我国供水结构与用水结构变化
Fig. 4 Changes in the structure of our water supply and water use

根据我国 1997~2020 年各项用水指标变化(图 4(c)、(d))可看出,我国用水结构中占比顺序从大到小依次为农业、工业、生活和生态用水,农业用水占比呈显著下降趋势,工业用水占比呈弱显著下降趋势,生活、生态用水比重呈极显著上升趋势。我国农业用水变化呈下降—上升—下降规律,谷值为 $3.431.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ (2003 年),峰值为

$3.921.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ (2013 年),整体上呈极显著下降趋势;工业用水量最大为 $1.461.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ (2011 年),2011 年之前呈极显著上升趋势,之后呈极显著下降趋势;生活用水与生态用水均呈显著上升趋势。

根据我国 1997~2020 年各项用水指标变化(图 5)可得出,人均用水量在 1997~2003 年下降幅度最大,降幅为 10%,2004~2020 年呈上升—下降趋势,峰值为 456 m^3 (2013 年),整体上我国 1997~2020 年人均用水量呈不显著下降趋势,平均下降率为 $0.024 \text{ m}^3/\text{a}$;万元 GDP 用水量和万元工业增加值用水量呈极显著下降趋势,但下降趋势逐渐变缓;灌溉亩均用水量呈极显著下降,年均降幅为 $5.73 \text{ m}^3/\text{a}$;城镇生活与农村居民生活日用水量保持平稳,其中城镇生活用水量多年平均值为 214.8 L/d ,农村生活用水量多年平均值为 81.8 L/d 。

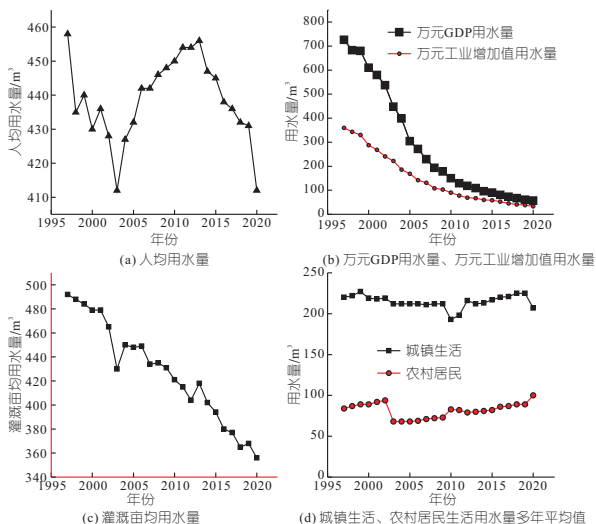


图 5 各项用水指标 1997~2020 年变化
Fig. 5 Changes in various water use indicators 1997-2020

5 讨论

(1)全国近 20 多年降水变化趋势与水资源变化相关性较高。黄河区^[3]、松花江区、东南诸河区有增加趋势,淮河区降水有减少趋势,受季风性气候和地形影响,我国降水时空分布不均。地表水资源量辽河区、海河区、淮河区呈不显著下降趋势,与文献^[4]得出的结论一致。地下水资源量总体稳定,区域变化趋势明显,淮河区、东南诸河区、西南诸河区有下降趋势,松花江区与长江区有上升趋势。综合来看我国水资源总量近年来有增加趋势,但辽河区、海河区、淮河区与东南诸河区的水资源总量有下降趋势,主要集中在东部人口密度较大区域,进一步表明人类社会活动对水资源的影响较大,水安全问题仍旧严峻。

(2)我国供水量中地表水占比最大,地下水占

比次之,且整体在时间尺度上地表水供水量呈极显著上升趋势,地下水供水量自 2012 年达到峰值($1\ 133.8 \times 10^8 \text{ m}^3$)后便开始下降。主要原因为近年来我国兴建的地表取水工程日益增多,根据第一次全国水利普查数据,1960 年全国共有水库大坝、引水式电站等拦河建筑物约 3.4 万座,而到 2018 年,拦河建筑物上升至 22 万座^[4]。同时,我国对水资源的开发利用逐渐由“重视水资源综合利用、实现人水和谐为目标的‘综合利用’阶段”转变至“以保护水生态、建设生态文明为目标的‘保护’主阶段”。落实以水而定、量水而行,不断完善对流域地下水超采区的管理,地下水供水量和在供水结构中的占比将持续下降。

(3)我国用水结构中农业用水占比最高,随着农业节水技术的推广和用水管理水平的提升,农业用水量逐年降低,根据 2020 年水资源公报,我国耕地实际灌溉亩均用水量为 356.0 m^3 ,农田灌溉水利用系数为 0.565,与以色列等国家仍有差距。工业用水量随着我国产业升级,淘汰落后产能升级技术,目前万元工业增加值用水量为 32.9 m^3 ,较十年前已有显著下降,用水水平不断提高。生活用水量上升的主要原因是我国人口逐年增加,因此我国水安全问题成为社会发展的制约因素。随着近年来国家及地方政府对流域生态保护力度的增强,保障河道生态基流跨流域调水等生态用水逐年上升。

6 结论

a. 1997~2020 年全国水资源一级区降水量除淮河区呈不显著减少趋势外,其余九区均呈不

同程度增加趋势,黄河区降水量呈极显著增加变化,其次为松花江区呈显著增加趋势,其他区域为不显著增加趋势。地表水资源量辽河区、海河区、淮河区均呈不显著下降趋势,松花江区、长江区呈弱显著上升趋势,其余各区呈不显著上升趋势。地下水资源量各区总体变化幅度较小,东南诸河呈弱显著下降趋势,淮河区和西南诸河区呈不显著下降趋势,松花江区呈极显著上升趋势,长江区呈显著上升趋势,其余各区均呈不显著上升趋势。水资源总量辽河区、海河区、淮河区和东南诸河区均呈不显著下降趋势,松花江和长江区呈弱显著上升趋势,其余区呈不显著上升趋势。

b. 近年来我国供水量呈极显著上升趋势,但增幅逐渐变缓;供水占比中依次为地表水>地下水>其他。用水结构中 2013 年以来农业、工业用水量呈极显著下降趋势,与之对应的是工农业用水效率增加,生活用水保持平稳水平,生态用水量逐年增大。

参考文献:

- [1] 水利部水利水电规划设计总院. 中国水资源及其开发利用调查评价[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2014:27.
- [2] 王双银,谢萍萍,穆兴民,等. 松花江干流输沙量变化特征分析[J]. 泥沙研究, 2011(4):67-72.
- [3] 唐家凯,丁文广,李玮丽,等. 黄河流域水资源承载力评价及障碍因素研究[J]. 人民黄河, 2021, 43(7): 73-77.
- [4] 张建云,王国庆,金君良,等. 1956—2018 年中国江河径流演变及其变化特征[J]. 水科学进展, 2020, 31(2):153-161.

Analysis of the Current Situation and Trends of Water Resources Development and Utilization in China

JIA Zhi-feng^{1a,1b,1c}, LIU Peng-cheng^{1a,1b}, MA Yan², ZHENG Fei-min^{1a,1b,1c}

(1a. School of Water and Environment; 1b. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effects in Arid Region, Ministry of Education; 1c. Institute of Water and Development, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Xi'an Secondary Water Supply Management Center, Xi'an 710009, China)

Abstract: Analyzing the dynamic evolution and current situation of development and utilization of water resources is of great significance to the sustainable development and protection of water resources. The data of 1997-2020 water resources bulletins of 10 water resources zones, including Songhua River, Liao River, Hai River, Yellow River, Huai River, Yangtze River, Southeast China, Pearl River, Southwest China, and Northwest China, were selected to analyze the dynamic evolution of water resources and the current situation of development and utilization in these zones by using Kendall rank test. The results show that there are spatial differences in the dynamic evolution of water resources in China with the Yellow River region showing a highly significant increasing trend, the Songhua River basin showing a significant increasing trend, the Huai River basin showing a non-significant decreasing trend, and the rest of the basin showing a non-significant increasing trend. The Songhua River and Yangtze River basin show a weakly significant increasing trend, while the Liao River, Hai, Huai and Southeast rivers basin show a non-significant decreasing trend; The other water resources basin all show a non-significant increasing trend. The proportion of surface water is the largest, groundwater is the second largest and other water uses is the smallest. The water consumption of agriculture and industry in China's water use structure is on a highly significant downward trend after 2013, which corresponds to an increase in the efficiency of water use in agriculture and industry, a stable level of water use in domestic use and an increase in ecological water use year by year.

Key words: water resources; dynamic evolution; water supply; water consumption