

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbtdqk.2020.0096

刘鑫,温天福,曾新民,等. 袁河流域水资源供需平衡与空间差异[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2020, 18(5): 94-101. LIU X, WEN T F, ZENG X M, et al. Analysis and spatial differences of water supply and demand balance in Yuanhe River basin[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(5): 94-101. (in Chinese)

## 袁河流域水资源供需平衡与空间差异

刘鑫<sup>1,2</sup>, 温天福<sup>1</sup>, 曾新民<sup>2</sup>, 鄢笑宇<sup>1</sup>, 张范平<sup>1</sup>

(1. 江西省水利科学研究院, 南昌 330029; 2. 河海大学, 南京 210098)

**摘要:** 依据袁河流域水系分布结合乡镇与水系等特点划分计算单元, 从考虑工程与不考虑工程两方面分析袁河流域水资源供需平衡的时空变化, 重点分析流域重要城镇所在单元的水资源供需平衡, 以提高流域水资源规划管理工作的实用性。结果表明: 不考虑工程的特枯年(95%来水频率)流域水资源无法满足需水, 2025年缺水率6.7%, 2035年缺水率7.7%; 考虑工程的特枯年流域缺水更加严重, 2025年缺水率16.6%, 2035年缺水率17.5%。流域严重缺水城镇主要集中在干流沿岸, 其中, 芦溪镇、袁州区市区、分宜镇、渝水区市区等4个重要城镇是流域内缺水严重地区, 年内水资源供需平衡的时间差异化明显。

**关键词:** 供需平衡; 需水预测; 缺水率; 空间差异; 袁河流域

中图分类号: TV122 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



### Analysis and spatial differences of water supply and demand balance in Yuanhe River basin

LIU Xin<sup>1,2</sup>, WEN Tianfu<sup>1</sup>, ZENG Ximmin<sup>2</sup>, YAN Xiaoyu<sup>1</sup>, ZHANG Fanping<sup>1</sup>

(1. Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China; 2. Hohai university, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** According to the distribution of water system in Yuanhe River basin, the water supply and demand with or without consideration of engineering capacity is analyzed, which are divided based on the characteristics of town and sub-basin. The analysis displays the spatial and temporal variations of the water supply and demand to support water resources management, particularly in the major towns. The result shows that: the water demands can not be met under the 95% frequency, with the shortage rate of 6.7% in 2025 and 7.7% in 2035, furthermore, considering engineering capacity under the 95% frequency, the shortage rates of the basin increase to 16.6% in 2025 and 17.5% in 2035. The areas of water shortage are mainly focused on the main-stream of Yuanhe River Basin, particularly in Luxi, Yuanzhou, Fenyi, and Yushui, with significant differences in characteristics in a year.

**Key words:** supply and demand balance; water demand prediction; water shortage rate; spatial difference; Yuanhe River basin

我国水资源时空分布不均, 人均水资源量仅为世界平均水平的 1/4, 随着近几十年来社会经济的

发展, 水资源供需矛盾已成为我国严重的水资源问题之一, 水资源短缺是制约社会经济发展和影响人

收稿日期: 2019-11-01 修回日期: 2020-02-15 网络出版时间: 2020-03-13

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20200313.0918.002.html>

基金项目: 江西水利科技支撑项目(201821ZDKT07; KT201707; KT201704); 江西省重点研发计划项目(20181ACG70018)

作者简介: 刘鑫(1994—), 男, 江西赣州人, 主要从事水资源规划研究。E-mail: 1309318289@qq.com

通信作者: 温天福(1981—), 男, 江西南昌人, 高级工程师, 主要从事水文学及水资源研究。E-mail: wen-tianfu@qq.com

民生活水平的重要因素<sup>[1]</sup>。根据社会经济发展的需水趋势规划和水资源的开发利用,深入分析流域水资源的供需平衡情况,充分体现供需平衡的区域差异化,可为流域水资源精细化管理提供有力支撑,也为区域社会经济发展布局提供科学依据。

供需平衡分析包括供水分析和需水分析两方面内容。供水方面包括不考虑现状供水能力变化的供需平衡、考虑未来供水能力变化以及采取节水措施后需水量变化的二次供需平衡分析、考虑不同供水情况的三次供需平衡分析<sup>[2-5]</sup>等;需水方面包括考虑节水型社会的发展预测未来水资源的需求潜力<sup>[6]</sup>、优先考虑生态需水的水资源配置<sup>[7-10]</sup>、分析用水主体对配水方案满意度构建优化配置模型及当前比较前沿的水质水量联合配置等研究工作<sup>[11-14]</sup>。多数研究分析水资源供水与需水的水量,对用水单元的细化研究较少,供需平衡地区差异性表现不够<sup>[15-19]</sup>,在时间尺度上的比较分析也难以体现地区差异性,对水资源管理的实用性支撑力度有待进一步提升。

袁河流域水资源丰沛,但时空分布不均导致季节性缺水明显,同时流域社会经济发展对水资源需求增大,流域缺水加剧。依据流域水系分布特点,结合乡镇和水利工程位置细划计算单元,从考虑工程与不考虑工程两方面分析袁河流域规划年不同来水频率的供需平衡,体现流域供需平衡的时空差异,并重点分析流域重要城镇的供需平衡状况,提出有针对性的建议,较好地解决流域社会经济发展的用水规划提供依据。

## 1 流域概况及数据来源

### 1.1 流域概况

袁河是赣江的一级支流,发源于江西省萍乡市武功山脉,自西南向东北流经萍乡、宜春、新余及樟树部分地区,在樟树市张家山镇汇入赣江,流域面积 6 262 km<sup>2</sup>。袁河流域属亚热带季风气候,多年平均气温 17.2 ℃,无霜期平均 272 d。多年平均降水量为 1 678 mm,多年平均水资源量 58.85 亿 m<sup>3</sup>,水资源丰沛,但年内变化大,4—9 月径流量占全年流域径流量的 64%,10 月至翌年 3 月径流量占全年流域径流量的 36%,季节性干旱时有发生。袁河流域上游涵盖萍乡市芦溪县下辖的 8 个乡镇和宜春市袁州区下辖的 23 个乡镇;中游涵盖新余市分宜县下辖的 10 个乡镇;下游涵盖新余市渝水区下辖的 14 个乡镇及樟树市下辖的 6 个乡镇。袁河

流域建有大中型水库 13 座,其中大型水库有 3 座(山口岩水库、飞剑潭水库、江口水库)、中型水库 10 座;建有塘坝工程 577 座;建有引水工程和提水工程分别为 1 270、218 座<sup>[20]</sup>。袁河流域水系分布见图 1。



图 1 袁河流域分布

Fig. 1 Distribution of Yuanhe River basin

### 1.2 数据来源

数据来源于江西省水文局,选用袁河流域 17 个雨量站和 5 个水文站 1980—2016 年共 37 a 的月降雨、蒸发、径流等系列资料。城乡人口数量、农业耕种面积、工业产值等数据选自流域芦溪县、袁州区、分宜县、渝水区、樟树市等 5 个县(区)2012—2017 年的《国民经济与社会发展统计公报》和 2016 年县(区)的乡镇统计年鉴。各行业用水定额选自《江西省行业用水定额》(DB36/T 619—2017)。

## 2 研究方法

### 2.1 来水量模拟方法

采用两参数月水量平衡模型模拟区域逐月来水过程。两参数月水量平衡模型具有参数少、精度高、易操作等优点<sup>[22-23]</sup>,公式为

$$E(t) = c \times E_p(t) \times \tanh \left[ \frac{P(t)}{E_p(t)} \right] \quad (1)$$

$$Q(t) = [S(t-1) + P(t) - E(t)] \times \tanh \left\{ \frac{S(t-1) + P(t) - E(t)}{S_c} \right\} \quad (2)$$

式中: $E(t)$ 为区域  $t$  月实际蒸发量; $c$ 为模型第一个参数; $E_p(t)$ 为区域  $t$  月蒸发皿观测蒸发量; $P(t)$ 为区域  $t$  月降雨量; $\tanh \left[ \frac{P(t)}{E_p(t)} \right]$ 为以降雨量与观测蒸发量的比值为自变量的双曲正切函数,表示对蒸发皿观测蒸发量的折算系数; $Q(t)$ 为区域  $t$  月模拟径流深; $S(t-1)$ 为区域  $(t-1)$  月末或  $t$  月初的土壤含水量; $S_c$ 为模型的第二个参数。 $\tanh \left\{ \frac{S(t-1) + P(t) - E(t)}{S_c} \right\}$ 为以土壤含水量为自变量的双曲正切函数,表示月径流量与土壤含水量

之间的关系。

## 2.2 需水计算方法

根据区域城乡人口数量和工业万元增加值,采用定额法分别预测规划年生活需水量和工业需水量。农业需水预测包括主要农作物水稻需水预测和经济作物需水预测。水稻灌溉依据南方两季水稻间歇灌溉制度,选用日降雨、日蒸发资料按田间水量平衡原理计算水稻净灌溉定额<sup>[21]</sup>,公式为

$$M = \sum_{t=1}^{365} m(t) = a \times E(t) + S(t) + C(t) + h(t) - h(t-1) - P(t) \quad (3)$$

式中: $M$ 为水稻年净灌溉定额,mm; $m(t)$ 为第 $t$ 日水稻净灌溉定额,mm; $a$ 为水稻蒸腾系数; $E(t)$ 为第 $t$ 日水面蒸发量,mm(用E601型蒸发皿蒸发量表示); $S(t)$ 为第 $t$ 日田间渗漏水量,mm; $C(t)$ 为第 $t$ 日排水量,mm; $h(t)$ 为第 $t$ 日末田间水深,mm; $h(t-1)$ 为第 $(t-1)$ 日末田间水深,mm; $P(t)$ 为第 $t$ 日降雨量,mm。

经济作物灌溉定额选用江西省赣中地区农田净灌溉定额。农业灌溉需水量计算公式为

$$W_{ag} = \sum_{i=1}^n \frac{10 \times A_i \times r_i \times M_i}{\eta_i} \quad (4)$$

式中: $W_{ag}$ 为农业灌溉需水量, $m^3$ ; $A_i$ 为作物 $i$ 的种植面积, $hm^2$ ; $r_i$ 为作物 $i$ 的有效灌溉率; $M_i$ 为作物 $i$ 的净灌溉定额,mm; $\eta_i$ 为作物 $i$ 的灌溉水有效利用系数。

区域社会经济需水量( $W_{de}$ )考虑生活需水量( $W_{li}$ )、工业需水量( $W_{in}$ )、农业需水量( $W_{ag}$ ),公式为

$$W_{de} = W_{li} + W_{in} + W_{ag} \quad (5)$$

## 2.3 水量平衡方法

以区域出口断面为水量平衡的计算节点,忽略上游客水影响和大中型蓄水工程的调控作用,重点体现每一个区域的水量平衡情况。不考虑区域工程供水能力,以天然降雨产水量作为区域输入的水量分析,定义为资源性水量平衡;考虑区域工程供水能力,以工程可供水量作为区域输入的水量分析,定义为工程性水量平衡。区域水量平衡时段来水优先扣除河道内生态需水量,再考虑区域社会经济用水。区域缺水率为区域缺水量与区域需水量的比值。区域水量平衡公式为

$$W_{su} = \begin{cases} W_p - W_{ei} - W_{de} & \text{不考虑工程} \\ \min\{W_{sc}, W_p - W_{ei}\} - W_{de} & \text{考虑工程} \end{cases} \quad (6)$$

式中: $W_{su}$ 为区域余缺水量, $m^3$ ( $W_{su} < 0$ 表示区域缺水, $W_{su} > 0$ 表示区域有盈余水量); $W_p$ 为区域自产水量, $m^3$ ; $W_{ei}$ 为区域河道内生态需水量, $m^3$ ; $W_{de}$ 为区域

社会经济需水量, $m^3$ ; $W_{sc}$ 为区域工程供水能力。

## 3 单元划分及来需水分析

### 3.1 计算单元划分

基于河流水系特点,根据乡镇社会经济用水分布情况,将流域划分为 35 个计算单元  $U_1 \sim U_{35}$ 。其中,芦溪县内 4 个计算单元( $U_1 \sim U_4$ ),袁州区内 14 个计算单元( $U_5 \sim U_{16}$ 、 $U_{20}$ 、 $U_{28}$ ),分宜县内 7 个计算单元( $U_{17} \sim U_{19}$ 、 $U_{21} \sim U_{23}$ 、 $U_{25}$ ),渝水区内 7 个计算单元( $U_{24}$ 、 $U_{26}$ 、 $U_{27}$ 、 $U_{29} \sim U_{31}$ 、 $U_{33} \sim U_{34}$ ),樟树市内 2 个计算单元( $U_{32}$ 、 $U_{35}$ )。流域计算单元划分结果见图 2。



图 2 袁河流域计算单元划分

Fig. 2 Division of analysis units in the Yuanhe River Basin

### 3.2 单元来水模拟

模拟了袁河流域 35 个计算单元 1980—2016 年逐月产水量,计算单元年径流深见图 3。模拟流域多年平均产水量为 58.15 亿  $m^3$ ,50%来水频率流域产水量 57.00 亿  $m^3$ ,75%来水频率流域产水量 48.55 亿  $m^3$ ,95%来水频率流域产水量 37.95 亿  $m^3$ 。

### 3.3 单元需水分析

以 2016 年为现状年,以 2025 年和 2035 年为规划年进行需水分析。根据《江西省人口发展规划(2016—2030)》赣府厅发[2017]89 号,江西总人口呈增长趋势,在 2030 年前后达到峰值,据此合理预测 2025、2035 年袁河流域内 35 个计算单元的总人口数和城镇化率。参考 2012—2017 年《江西省水资源公报》中 5 个县区的用水指标,合理预测 2025 年和 2035 年城乡生活用水定额、城镇公共用水定额<sup>[24-25]</sup>。参考流域内 5 个县区 2012—2017 年《国民经济与社会发展统计公报》和 2012—2017 年《江西省水资源公报》,预测规划年的工业万元增加值、工业万元增加值用水定额。本文将流域内工业用水集中在部分计算单元( $U_2$ 、 $U_{22}$ 、 $U_{26}$ 、 $U_{27}$ )中进行分析。

选用 1980—2013 年共 34 a 的日降雨、蒸发数据按式(3)计算 1980—2013 年水稻田间年内每日灌

水量。不同降水频率典型年的灌水量作为水稻灌溉净定额,按式(4)计算水稻的年需水量。袁河流域区域水稻净灌溉定额见表1。参考《江西省耕地草地河湖休养生息规划(2016—2030年)》,袁河流域的耕地面积在规划年内不变。同时不考虑农作物种植结构变化,规划年农业需水预测重点考虑有效灌溉

面积的扩增和农田灌溉水利用系数的提高。参考2012—2017年《江西省水资源公报》农田灌溉水有效利用系数和2020年农田灌溉水有效利用系数控制目标,预测规划年农业灌溉水有效利用系数。计算流域5个主要县区的农业灌溉用水量,将县区农业灌溉水量按下辖乡镇耕地面积分配至每一个计算单元。

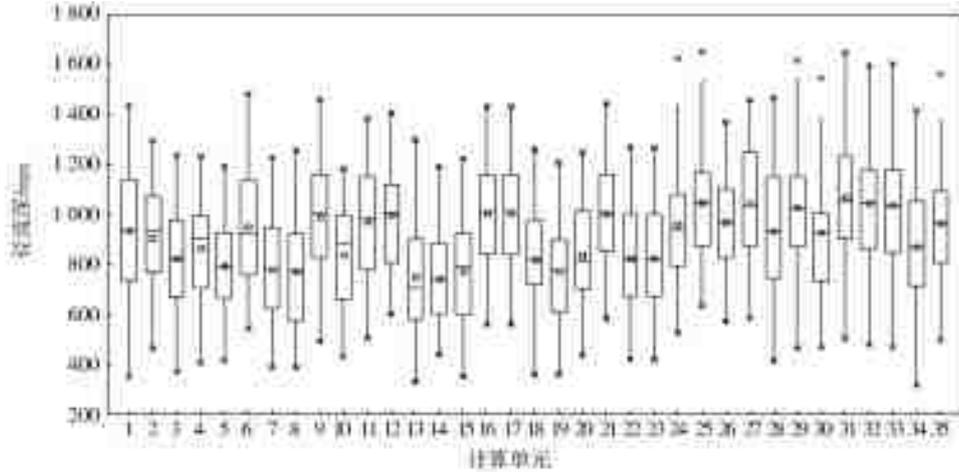


图3 袁河流域计算单元年径流深

Fig. 3 The boxplots of annual runoff depth of 35 analysis units in the Yuanhe River basin

表1 袁河流域水稻年净灌溉定额

Tab. 1 Annual net irrigation quota for rice in Yuanhe River basin

保证率	净灌溉定额/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )				
	芦溪县	袁州区	渝水区	樟树市	袁惠灌区
50%	5 505	5 340	5 445	5 625	4 545
75%	6 480	5 775	6 780	6 450	6 270
95%	6 885	6 720	7 260	7 680	6 420

生态环境需水中河道外生态环境需水计入城镇公共用水量中计算。为满足河道生态、航运、发电等功能,参考《河湖生态环境需水计算规范》(SLZ 712—2014),河道内的生态环境需水取河道多年平均径流量的35%。2025年和2035年流域

需水量见表2。

#### 4 流域水量平衡分析

##### 4.1 流域资源性缺水分析

在不考虑供水工程情况下,对比来水与需水,流域不同来水频率年余缺水量2025年分别为21.17亿m<sup>3</sup>(50%)、9.54亿m<sup>3</sup>(75%)、-2.67亿m<sup>3</sup>(95%),2035年分别为20.39亿m<sup>3</sup>(50%)、8.91亿m<sup>3</sup>(75%)、-3.09亿m<sup>3</sup>(95%)。95%来水频率下2025年和2035年流域缺水率分别为6.71%、7.68%。

流域内来水和需水具有区域差异性,2025年、2035年流域来需水平衡缺水率的空间分布见图4。

表2 2025年和2035年袁河流域需水量

Tab. 2 Water demand of the Yuanhe River basin in 2025 and 2035

规划年	区域	计算单元	农业需水/万m <sup>3</sup>			牧渔需水/ 万m <sup>3</sup>	工业需水/ 万m <sup>3</sup>	生活需水/ 万m <sup>3</sup>	生态需水/ 万m <sup>3</sup>
			50%	75%	95%				
2025	芦溪县	U <sub>1</sub> 至U <sub>4</sub>	7 586	9 647	11 545	1 608	3 010	1 756	22 217
	袁州区	U <sub>5</sub> 至U <sub>16</sub> 、U <sub>20</sub> 、U <sub>28</sub>	32 085	37 272	46 315	4 449	5 248	8 615	70 379
	分宜县	U <sub>17</sub> 至U <sub>19</sub> 、U <sub>21</sub> 至U <sub>23</sub> 、U <sub>25</sub>	10 661	13 688	15 749	2 204	6 670	2 220	29 392
	渝水区	U <sub>24</sub> 、U <sub>26</sub> 、U <sub>27</sub> 、U <sub>29</sub> 至U <sub>31</sub> 、U <sub>33</sub> 至U <sub>34</sub>	15 827	20 537	23 896	3 673	12 412	5 758	63 515
	樟树市	U <sub>32</sub> 、U <sub>35</sub>	7 281	9 918	10 869	1 319	0	1 143	17 857
2035	芦溪县	U <sub>1</sub> 至U <sub>4</sub>	6 840	8 698	10 410	1 580	4 352	2 349	22 217
	袁州区	U <sub>5</sub> 至U <sub>16</sub> 、U <sub>20</sub> 、U <sub>28</sub>	34 132	38 910	47 367	4 325	5 382	11 154	70 379
	分宜县	U <sub>17</sub> 至U <sub>19</sub> 、U <sub>21</sub> 至U <sub>23</sub> 、U <sub>25</sub>	10 084	12 910	14 760	2 227	6 860	2 972	29 392
	渝水区	U <sub>24</sub> 、U <sub>26</sub> 、U <sub>27</sub> 、U <sub>29</sub> 至U <sub>31</sub> 、U <sub>33</sub> 至U <sub>34</sub>	16 128	20 718	23 659	3 711	13 072	8 648	63 515
	樟树市	U <sub>32</sub> 、U <sub>35</sub>	7 088	9 650	10 480	1 894	0	1 381	17 857

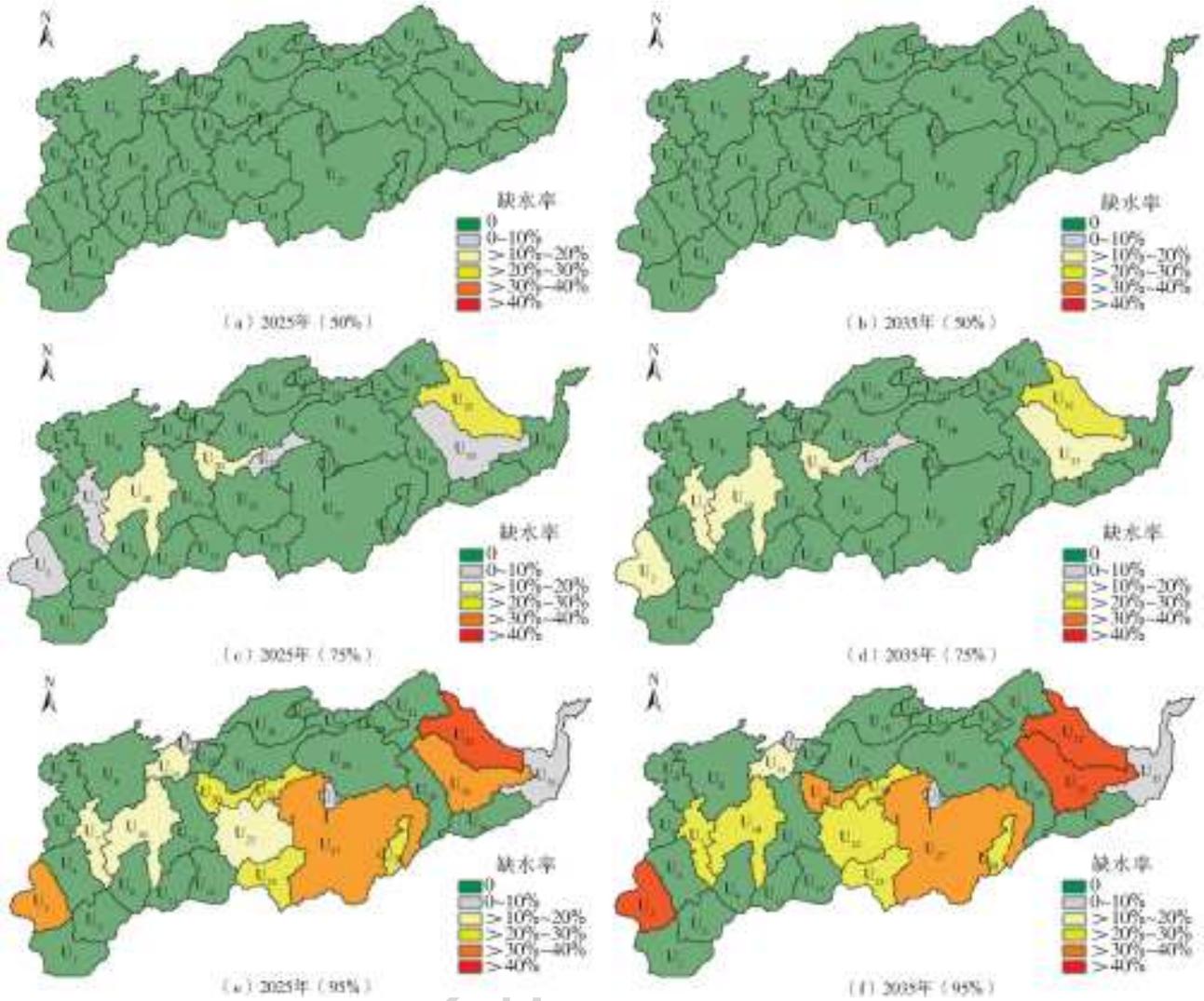


图 4 2025 和 2035 年袁河流域缺水率空间分布(不考虑工程)

Fig. 4 Spatial distribution of water shortage rate in Yuanhe River basin in 2025 and 2035 (without considering the water supply capacity of hydraulic engineering)

2025 年,50%来水频率流域内单元都可以满足需水要求,75%、95%来水频率流域内分别有 20%、45%的单元缺水;2035 年,50%、75%、95%来水频率流域内分别有 25%、45%、63%的单元缺水。95%来水频率,袁河流域  $U_2$ (芦溪镇)、 $U_{27}$ (渝水区市区)、 $U_{32}$ (黄土岗镇)、 $U_{33}$ (新溪乡)是流域内缺水严重单元且集中分布在袁河干流上。来水由丰到枯,流域缺水区域呈现从袁河干流沿岸向外扩散的分布趋势,袁河流域缺水程度中游最大、下游其次、上游最小。

#### 4.2 流域工程性缺水分析

在考虑供水工程情况下,对比工程供水与需水,流域不同来水频率的年缺水量 2025 年分别为 6.89 亿  $m^3$  (50%)、1.12 亿  $m^3$  (75%)、-6.61 亿  $m^3$  (95%), 2035 年分别为 6.10 亿  $m^3$  (50%)、0.49 亿  $m^3$  (75%)、-7.03 亿  $m^3$  (95%)。95%来水频率 2025、2035 年,流域可供水资源总量远不能满足需水,流

域缺水率分别为 16.61%、17.48%。

2025、2035 年流域水资源供需平衡缺水率的空间分布见图 5,在考虑流域供水工程的情况下,单元内部的供水工程只对本单元供水,不考虑工程的跨单元供水。50%来水频率流域内 20%的计算单元出现缺水,主要缺水单元( $U_5$ 、 $U_8$ 、 $U_{11}$ 、 $U_{13}$ 、 $U_{19}$ 、 $U_{23}$ )都分布在袁河流域上游的边缘地区。95%来水频率流域内 65%的单元出现缺水,缺水严重的单元  $U_2$ (芦溪镇)、 $U_{10}$ (袁州区市区)、 $U_{22}$ (分宜镇)、 $U_{27}$ (渝水区市区)、 $U_{32}$ (黄土岗镇)、 $U_{33}$ (新溪乡)主要分布在袁河干流区域。50%、75%来水频率流域上游的袁州区和分宜县缺水普遍且明显,缺水程度上游最大、中游其次、下游最小。

平水年(50%)袁河流域上游边缘地区供水工程建设不够,偏枯年(75%)袁州区和分宜县普遍存在供水工程建设不够。偏枯年和特枯年(95%)在考虑

工程与不考虑工程情况下,袁河干流的沿岸城镇芦溪镇( $U_2$ )、袁州区市区( $U_{10}$ )、分宜镇( $U_{22}$ )、渝水区市区( $U_{27}$ )、黄土岗镇( $U_{32}$ )、新溪乡( $U_{33}$ )在规划年都是严重缺水地区,需水量大是其共同特点。这些城镇都是流域内需水集中的地区:芦溪镇、袁州区市

区、分宜镇、渝水区市区是人口密集地区,生活用水量大;渝水区是流域内的重工业区,工业用水量大;黄土岗镇、清溪乡、昌傅镇是江西省重要粮食生产基地袁惠灌区,农业用水量大且集中。流域区域用水的集中现象明显,水资源开发利用程度区域差异性大。

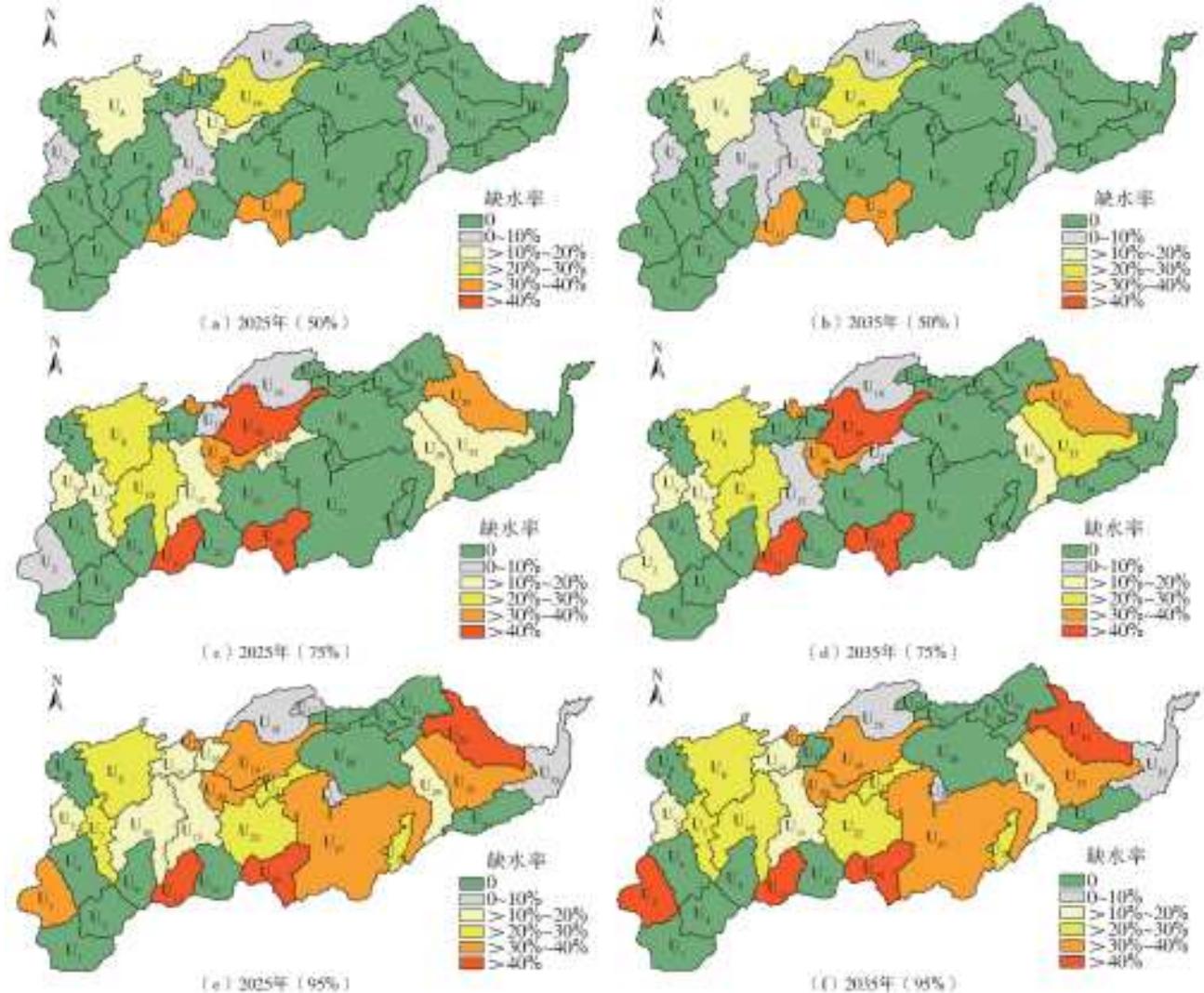


图5 2025和2035年袁河流域缺水率空间分布(考虑工程)

Fig. 5 Spatial distribution of water shortage rate in Yuanhe River basin in 2025 and 2035 (considering the water supply capacity of hydraulic engineering)

### 4.3 重要单元月水量平衡分析

根据社会经济总量大、枯水期缺水突出的特点,选取  $U_2$  (芦溪镇)、 $U_{10}$  (袁州区市区)、 $U_{22}$  (分宜镇)、 $U_{27}$  (渝水区市区) 作为重要分析单元,见图 2。95% 来水频率下,2035 年重要分析单元年内水资源供需平衡情况见图 6。在不考虑工程情况下,流域 4 个单元年内 1—12 月缺水概率都呈现先减少后增加,在 9 月达到峰值后再减少的变化趋势,缺水概率最小的时间段在 3—6 月,缺水概率最大的时间段在 8—10 月,11—次年 2 月缺水概率基本大于 50%。在考虑工程的情况下,在来水充足的 3—6 月,  $U_2$ 、 $U_{10}$  和  $U_{22}$  3 个单元都存在工程削峰现象(天然来水远大于工程供水

能力,河道来水利用不足),  $U_{27}$  单元不存在工程削峰现象。在来需水分析的基础上考虑工程,分析单元供需水:  $U_{22}$  和  $U_{27}$  单元年内月缺水概率没有变化,  $U_2$  和  $U_{10}$  单元缺水概率在 6—10 月都增加且增加到 100%。

流域降雨和需水的时间集中性特点是各单元年内不同时段缺水概率存在明显差异的主要原因。3—6 月是流域来水充沛阶段,既是丰水期也是汛期; 7—9 月流域内农业需水量大,也是一年中缺水最严重阶段; 11 月至次年 2 月是流域的枯水期,工业、生活是主要的用水行业。  $U_2$ 、 $U_{10}$  和  $U_{22}$  等 3 个单元工程的年内水资源调配能力较差,  $U_{27}$  单元工程的调配能力充足。  $U_{22}$  和  $U_{27}$  单元当前工程的供水能力可

以满足规划年 2035 年的需水要求,单元社会经济需水量大,仍有可能发生资源性缺水。U<sub>2</sub> 和 U<sub>10</sub> 单元 6—10 月需水量大,可利用水量受到工程供水能力

影响,存在时段工程供水能力严重不足的情况,资源性缺水和工程性缺水并存,年内其他时段用水不受工程影响。

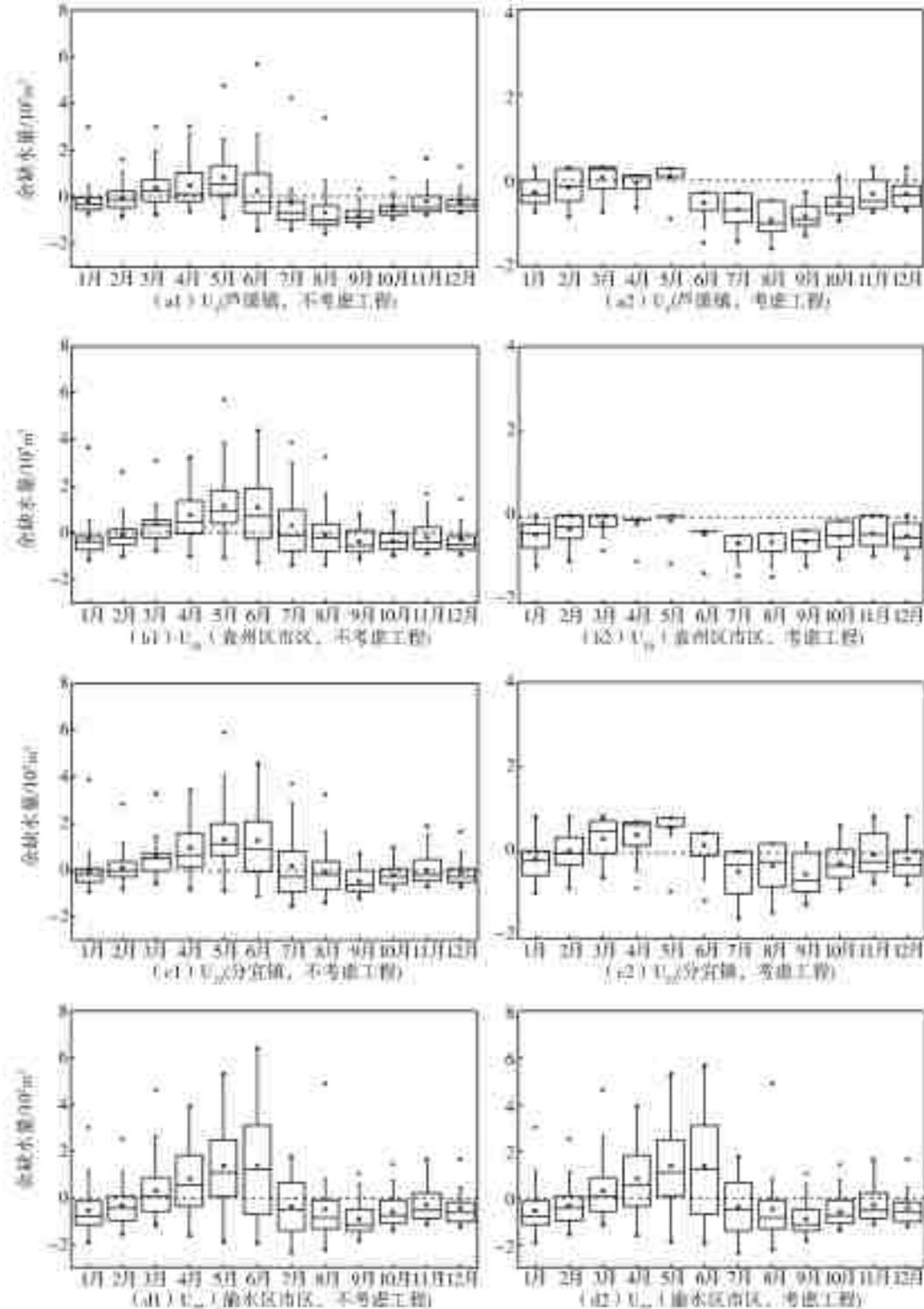


图 6 2035 年袁河流域重要城镇年内供需平衡情况(95%来水频率)

Fig. 6 Balance of supply and demand of important towns in Yuanhe River Basin in 2035(95% frequency)

### 5 结论

本文主要以乡镇为主体划分单元,结合区域未来用水需求的发展和年内用水变化特点,系统分析了 2025、2035 年在不同来水频率下袁河流域水资源

供水平衡状况,结果充分体现了流域内水资源的时空差异性。未来枯水年份袁河流域上游边缘地区现有工程的供水能力难以满足社会经济需水要求,少数区域甚至出现资源性缺水。受年内来水过程和需水过程不匹配的影响,干流的重要城镇年内 3—6 月

盈余水量最多,7—9月缺水程度最高。南方地区水资源丰沛但季节性缺水特点明显,在制定流域社会经济用水规划中,可充分考虑水资源供需的时空差异性,有助于提高流域水资源的可持续利用程度,进一步促进当地社会经济的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 王浩. 我国水资源合理配置的现状和未来[J]. 水利水电技术, 2006, 37(2): 7-14. DOI: 10. 13928/j. cnki. wrahe. 2006. 02. 002.
- [2] 王伟荣, 张玲玲, 王宗志. 基于系统动力学的区域水资源二次供需平衡分析[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(1): 47-49, 81. DOI: 10. 3724/SP. J. 1201. 2014. 01047.
- [3] 陈立华, 黄舒萍, 关昊鹏, 等. 用水效率红线下钦州市水资源三次供需平衡分析[J]. 中国农村水利水电, 2019(1): 97-101, 107. DOI: 10. 3969/j. issn. 1007-2284. 2019. 01. 019.
- [4] 胡军, 孙国荣, 常景坤, 等. 鄂北地区当地水资源三次供需平衡分析[J]. 水利水电技术, 2016, 47(7): 64-67. DOI: 10. 13928/j. cnki. wrahe. 2016. 07. 016.
- [5] 洪倩. 三次平衡理论在区域水资源供需平衡分析中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2016(6): 51-53. DOI: 10. 3969/j. issn. 1007-2284. 2016. 06. 013.
- [6] 向龙, 范云柱, 刘蔚等. 节水优先的水资源配置模式[J]. 水资源保护, 2016, 32(2): 9-13, 25. DOI: 10. 3880/j. issn. 1004-6933. 2016. 02. 003.
- [7] 李波, 曹正浩, 毛文耀, 等. 基于生态优先的渝西地区水资源配置研究[J]. 人民长江, 2017, 48(11): 7-10, 111. DOI: 10. 16232/j. cnki. 1001-4179. 2017. 11. 002.
- [8] MOU S Y, YAN J J, SHA J H, et al. Dynamic simulation of the optimal allocation of water resources via the introduction of integrated water environmental policies in Baoding, China[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2019, 26(26): 27516-27533. DOI: 10. 1007/s11356-019-05537-9.
- [9] 杨志峰, 赵彦伟, 崔保山, 等. 面向生态城市的水资源供需平衡分析[J]. 中国环境科学, 2004, 24(5): 125-129. DOI: 10. 3321/j. issn: 1000-6923. 2004. 05. 030.
- [10] 蒙吉军, 汪疆玮, 王雅, 等. 基于绿洲灌区尺度的生态需水及水资源配置效率研究: 黑河中游案例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54(1): 171-180. DOI: 10. 13209/j. 0479-8023. 2017. 142.
- [11] 褚钰. 考虑用水主体满意度的流域水资源优化配置研究[J]. 资源科学, 2018, 40(1): 117-124. DOI: 10. 18402/resci. 2018. 01. 11.
- [12] 张守平, 魏传江, 王浩, 等. 流域/区域水量水质联合配置研究 I: 理论方法[J]. 水利学报, 2014, 45(7): 757-766. DOI: 10. 13243/j. cnki. slxb. 2014. 07. 001.
- [13] CASTELLETTI A, YAJIMA H, GIULIANI M, et al. Planning the optimal operation of a multi-outlet water reservoir with water quality and quantity targets[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2014, 140(4): 1-45. DOI: 10. 1061/(ASCE)WR. 1943-5452. 0000348.
- [14] 王浩, 王建华, 秦大庸. 流域水资源合理配置的研究进展与发展方向[J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 123-128. DOI: 10. 14042/j. cnki. 32. 1309. 2004. 01. 024.
- [15] 孙栋元, 李元红, 胡想全, 等. 黑河流域水资源供需平衡与配置研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 217-221. DOI: 10. 13869/j. cnki. rswc. 2014. 03. 041.
- [16] 程雪蓉, 任立良, 杨肖丽, 等. 三亚河流域水资源供需方案组合比较[J]. 水资源保护, 2015, 31(6): 174-178. DOI: 10. 3880/j. issn. 10046933. 2015. 06. 029.
- [17] 马立亚, 张琳, 吴泽宇. 长江流域水资源供需分析[J]. 中国水利, 2013(13): 9-11. DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1123. 2013. 13. 005.
- [18] 赵芬, 徐立荣, 李春晖, 等. 徒骇河流域水资源供需预测与可持续利用对策[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(6): 39-44. DOI: 10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2016. 06. 007.
- [19] 张锴慧, 王好芳, 张泽玉, 等. 胶东地区跨流域调水优化配置研究[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(2): 100-107. DOI: 10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2018. 0045.
- [20] 江西省水文局. 江西水系[M]. 武汉: 长江出版社, 2006.
- [21] 石艳芬, 缴锡云, 罗玉峰, 等. 水稻作物系数与稻田渗漏模型参数的同步估算[J]. 水利水电科技进展, 2013, 33(4): 27-30. DOI: 10. 3880/j. issn. 10067647. 2013. 04. 007.
- [22] 李帅, 熊立华, 万民. 月水量平衡模型比较研究[J]. 水文, 2011, 31(5): 35-41. DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-0852. 2011. 05. 007.
- [23] 张东艳, 杨欣玥, 侯雨坤. 2参数月水量平衡模型在尼洋河流域的应用研究[J]. 中国农村水利水电, 2018(2): 95-98. DOI: 10. 3969/j. issn. 1007-2284. 2018. 02. 021.
- [24] 赵军凯, 赵秉栋, 李九发, 等. 城市水资源供需平衡及预测分析: 以开封市为例[J]. 水文, 2009, 29(6): 50-57. DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-0852. 2009. 06. 012.
- [25] 余卫东, 闵庆文, 张建新. 天津市水资源供需平衡的趋势预测及其对策研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(2): 55-60. DOI: 10. 13448/j. cnki. jalre. 2004. 02. 011.