

白杨河流域经济社会生态用水结构分析

马建强

新疆白杨河流域管理局水利管理中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年3月11日; 录用日期: 2024年4月2日; 发布日期: 2024年5月15日

摘要

白杨河流域地跨上游乌鲁木齐市达坂城区与下游吐鲁番市托克逊县区域, 纵贯南北全流域气象干旱风多风大降水稀少蒸发极为强烈, 是新疆乃至我国唯一干旱与极端干旱叠加型流域灌区, 水资源有效利用及生态环境保护具有十分重要作用。本文遵循严格的水资源总量控制管理目标, 汲取流域近年水资源水环境监测研究成果, 采用多元规划和社会发展预测模型分析流域经济社会用水关系。结果显示, 流域各业用水量递进关系呈现: 农业灌溉 > 生态环境 > 工业生产 > 城镇农村 > 畜牧渔业, 表明水生态环境对流域经济社会可持续具有特殊地位作用。

关键词

流域, 经济社会, 用水结构, 分析

Analysis of the Economic, Social, and Ecological Water Use Structure in the Baiyang River Basin

Jianqiang Ma

Water Resources Management Center of Xinjiang Baiyang River Basin Management Bureau, Urumqi Xinjiang

Received: Mar. 11th, 2024; accepted: Apr. 2nd, 2024; published: May 15th, 2024

Abstract

The Baiyang River Basin spans the upper reaches of Dabancheng District in Urumqi City and the lower reaches of Toksun County in Turpan City. It runs through the north and south of the entire basin, with dry and windy weather, heavy rainfall, and extremely strong evaporation. It is the only arid and extreme drought overlapping basin irrigation area in Xinjiang and even in China. The effective utilization of water resources and ecological environment protection play a very important

role. This article follows the strict goal of total water resource control management, draws on the research results of water resource and water environment monitoring in the basin in recent years, and uses multiple planning and social development prediction models to analyze the economic and social water use relationship in the basin. The results show that the water consumption of various industries in the watershed shows a progressive relationship: agricultural irrigation > ecological environment > industrial production > urban and rural areas > animal husbandry and fishery, indicating that the water ecological environment plays a special role in the sustainable economic and social development of the watershed.

Keywords

Watershed, Economic and Social, Water Structure, Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

白杨河流域地处新疆天山东部，上游天山博格达峰前山带为乌鲁木齐市达坂城区，下游吐鲁番市托克逊县，是新疆跨行政区域气候差异悬殊干旱极端干旱叠加型流域灌区。流域水资源短缺灌溉工程能力及用水管理不足，基于水资源可持续利用构建经济社会生态用水结构尤显重要。夏富强[1]等对乌鲁木齐经济发展水资源潜力变化分析表明，提高水资源利用效率管理能力可促进水资源潜力发挥。水资源承载力是干旱绿洲经济社会生态发展的基础；金菊良[2]等以水资源-社会经济-生态环境系统各要素相互作用机制，提出水资源承载力分析及承载调控措施研究方法；贾绍凤[3]等可以图谱表征水资源承载力，并结合规划模型应用优化配置水资源；王建华[4]等基于生态文明建设着眼“能承载多少人”作为最大约束，实现水资源“空间均衡”作用；李丽琴[5]等基于生态水文阈值调控均衡，分析塔里木河流域水资源-经济社会-生态环境系统均衡发展问题；冯浩源[6]等以最严格水资源管理制度为约束条件，统筹可供水量可节水量及水功能纳污能力，分析城镇化发展用水结构。本研究以白杨河流域 2020 至 2022 年水资源生境需水研究成果，基于水资源总量控制，采用多元规划及社会发展预测模型，构建经济社会生态用水结构，为流域水资源优化配置管理提供支撑。

2. 材料与方

2.1. 流域概况

白杨河流域水系发源于天山东部博格达峰南麓，上游黑沟河、阿克苏河、高崖子河三条源流，在达坂城盆地以南峡口汇集形成了白杨河干流全长约 150 km，向南走向沿途天然河道并有柯尔碱沟、阿拉沟等小支流汇入之后，进入流域下游平原戈壁荒漠带，到此，由西向东南穿越吐鲁番托克逊县城外 50 km，注入我国最低点高程-154.6 m 尾间艾丁湖(图 1)。流域上游为乌鲁木齐达坂城干旱区，下游为地处我国极端干旱的吐鲁番市托克逊县区域，地理坐标 E: 88°10'~89°11', N: 42°29'~43°48', 东西最宽约 120 km，南北最长约 150 km，艾丁湖临湖河口以上流域总面积 5173.4 km²。上游达坂城新疆著名风区年均降水量 70.5 mm，山区年均降水达 400 mm。降水主要集中在夏季春季很少，年均蒸发量 2582.5 mm，年均气温 8.8℃。下游托克逊年均降水量 7.8 mm，蒸发量 3403.9 mm 为降水量的 436 倍，春夏季干热风频繁发生，对农作

物生长影响大，年均气温高达 14.1℃，是上游年均气温的 1.76 倍，酷暑期长达 100 d 以上[7]。

2.2. 研究方法

2.2.1. 农业用水优化

白杨河流域经济社会用水由农业灌溉、工业生产、城乡生活、畜牧渔业、生态环境五类，其中农业灌溉用水占比高用水大户。农业灌溉用水量，对常规灌 x_1 、喷灌 x_2 、滴灌 x_3 、渗灌(微灌类，相比滴灌，渗灌为地下滴灌) x_4 、低压管道输水灌 x_5 灌溉模式，以土地资源(灌溉面积) A 、水利资源(水资源控制总量目标 WZ 、灌溉定额 m)、投入成本 T 、农业气象 q_x 四项约束条件，采用多元线性规划[8]模型，按式(1)~(2)进行优化分析。

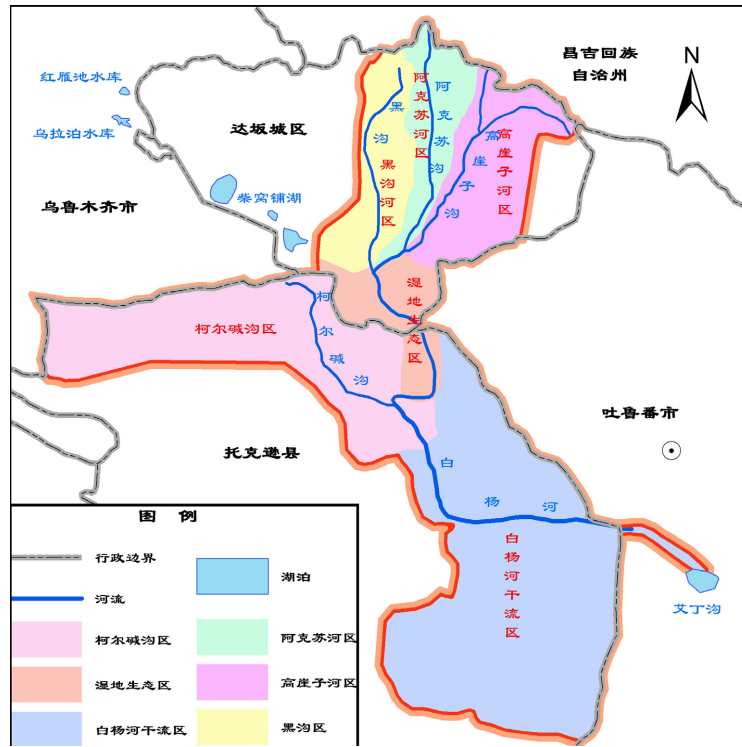


Figure 1. Distribution diagram of Baiyang River Basin
图 1. 白杨河流域分布示意

$$L = \begin{cases} \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = b_i, & (i=1,2,3,\dots,m) \\ \max \text{ 或 } \min f(x) = c_jx_j \\ x_j \geq 0, & (j=1,2,3,\dots,n) \end{cases} \quad (1)$$

由式(1)的系数矩阵 A ，常数项矩阵 b ，因素矩阵 x ，目标函数系数 C 的向量为：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad C = (c_1, c_2, \dots, c_n) \quad (2)$$

式中： x_n 为投入类型变量，本文以常规灌 x_1 、喷灌 x_2 、滴灌 x_3 、渗灌 x_4 、低压管道输水灌 x_5 ，五种灌溉模式类型变量分析； c_n 为投入类型约束条件数量，本文以土地资源(灌溉面积) A 、水利资源(水资源控制总量目标 WZ 、灌溉定额 m)、投入成本 T 、农业气象 q_x ，四项约束条件进行分析； $f(x)$ 为目标函数一组优解，基于五种投入类型变量和四项约束条件的目标组合优化分析。

以系统目标整体优化视角，综合考虑五种不同灌溉模式作为变量，土地资源、水利资源、投入成本、农业气象，四项投入因素资源条件及约束数量，采用多元线性规划模型优化分析获得适宜本灌区的灌溉模式规模，不同灌溉模式优化路径如图 2 所示。

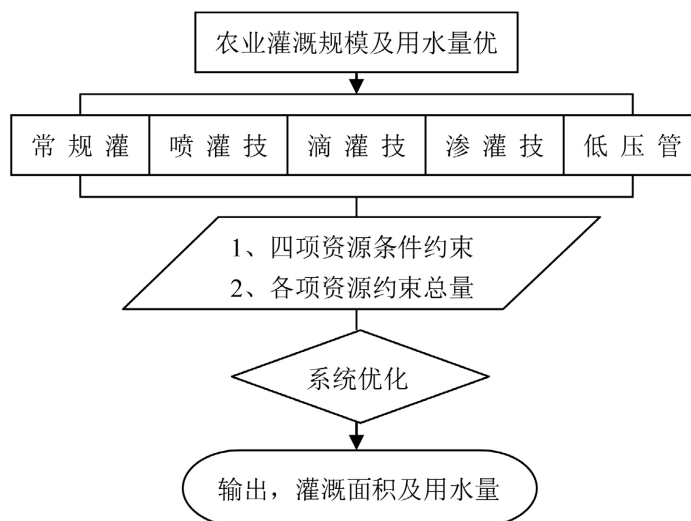


Figure 2. Optimization paths for different irrigation modes
图 2. 不同灌溉模式优化路径

2.2.2. 生活及生产用水

流域城镇生活及畜牧渔业用水，以行业生产年均递增率及发展指标分析：

$$x = (C/A)^{1/n} - 1 \quad (3)$$

$$c = A(1+x)^n \quad (4)$$

式中： x 为行业生产年均递增率，%； c 为发展到一定时期预测值； A 为原基准起始值； n 为分析时长， a 。

3. 结果与分析

3.1. 农业灌溉用水量

由式(1)~式(2)以图 2 优化路径，基于变量实物数据运用 Lingo 软件计算白杨河流域灌区不同灌溉规模结果(表 1)表明，流域灌区 $P = 50\%$ 和 $P = 75\%$ 灌溉保证率条件下，灌溉系统优化均为渗灌、低压管灌 2 种方式，经济效益相对优。现状 2020 年灌溉面积 2.951 万 hm^2 [9] (达坂城 0.843 万 hm^2 ；托克逊 2.108 万 hm^2)，流域灌区 90% 以上为常规地面自流灌，滴灌面积仅 0.206 万 hm^2 占比 7.0% (达坂城 0.063 万 hm^2 占比 7.5%；托克逊 0.143 万 hm^2 占比 6.8%)。农业灌溉用水量 38,260 万 m^3 (达坂城 11,275 万 m^3 ；托克逊 26,985 万 m^3)。2025 规划年灌溉面积 2.246 万 hm^2 (达坂城 0.610 万 hm^2 ，托克逊 1.636 万 hm^2)。主要发展渗灌和低压管灌。50% 灌溉保证率毛用水量 22,273 万 m^3 (达坂城 5436 万 m^3 ；托克逊 16,837 万 m^3)。75% 灌溉保证率毛用水量 24,840 万 m^3 (达坂城 6043 万 m^3 ；托克逊 18,797 万 m^3)。2030 规划年灌溉面积 2.116 万 hm^2 (达坂城 0.577 万 hm^2 ，托克逊 1.539 万 hm^2)。主要发展渗灌和低压管灌。50% 灌溉保证率毛用水

量 19,676 万 m³ (达坂城 4720 万 m³; 托克逊 14,956 万 m³)。75%灌溉保证率毛用水量 22,213 万 m³ (达坂城 5242 万 m³; 托克逊 16,971 万 m³)。

Table 1. Optimization of irrigation scale structure in Baiyang River Basin (unit: 10,000 hm²)

表 1. 白杨河流域灌溉规模结构优化(单位: 万 hm²)

灌区	灌溉保证率	规划年	灌溉面积	常规灌 x_1		喷灌 x_2		滴灌 x_3		渗灌 x_4		低压管灌 x_5		灌溉用水量/万 m ³
				面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	
上游达坂城区	50%	2020	0.843	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	11,275
		2025	0.610	0	0	0	0	—	—	0.106	17.4	0.504	82.6	5436
		2030	0.577	0	0	0	0	—	—	0.165	28.6	0.412	71.4	4720
	75%	2020	0.843	0	0	0	0	—	—	0.253	30.0	0.591	70.0	—
		2025	0.610	0	0	0	0	—	—	0.106	17.4	0.504	82.6	6043
		2030	0.577	0	0	0	0	—	—	0.165	28.6	0.412	71.4	5242
下游托克逊区	50%	2020	2.108	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	26,985
		2025	1.636	0	0	0	0	—	—	0.021	1.3	1.615	98.7	16,837
		2030	1.539	0	0	0	0	—	—	0.215	14.0	1.324	86.0	14,956
	75%	2020	2.108	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—
		2025	1.636	0	0	0	0	—	—	0.021	1.3	1.615	98.7	18,797
		2030	1.539	0	0	0	0	—	—	0.215	14.0	1.324	86.0	16,971
流域合计	50%	2020	2.951	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	38,260
		2025	2.246	0	0	0	0	—	—	0.127	4.3	2.119	94.4	22,273
		2030	2.116	0	0	0	0	—	—	0.380	16.9	1.736	82.0	19,676
	75%	2020	2.951	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—
		2025	2.246	0	0	0	0	—	—	0.127	4.3	2.119	94.4	24,840
		2030	2.116	0	0	0	0	—	—	0.380	16.9	1.736	82.0	22,213

3.2. 城乡生活用水量

Table 2. Annual urban and rural domestic water consumption in basin planning (unit: 10,000 m³)

表 2. 流域规划年城乡生活用水量(单位: 万 m³)

行政区	2025 年			2030 年		
	城镇	农村	小计	城镇	农村	小计
黑沟乡	75.5	11.3	86.8	92.0	14.0	106.0
阿克苏乡	163.6	17.9	181.5	199.2	22.3	221.5
高崖子乡	112.8	10.4	123.2	137.5	12.9	150.3
达坂城区小计	351.9	39.6	391.5	428.7	49.2	477.9
柯尔碱沟	13.5	11.9	25.5	17.8	16.0	33.8
白杨河干流	276.3	164.5	440.8	362.6	220.3	582.9
托克逊区小计	289.8	176.5	466.3	380.4	236.2	616.6
流域合计	641.7	216.1	857.8	809.1	285.4	1094.5

现状 2020 年流域城乡居民生活用水量 451 万 m³ (城镇 233 万 m³; 农村 218 万 m³), 相当于城镇生活用水量每人每天 65 L, 农村用水量每人每天 107 L。对照新疆工业和生活用水定额[10], 城镇生活用水定额 80~100 L/(人·d), 农村生活用水定额 70~80 L/(人·d), 现状城镇生活用水量低于用水定额, 农村用水定额明显高出。基于流域现状人口基数, 参考流域“十四五”发展规划达坂城区 7%托克逊区 11%人口年均递增率, 按新疆工业生活用水定额, 2025 年城镇、农村生活用水定额选用 170 L/(人·d)、100 L/(人·d); 2030 年用水定额选用 200 L/(人·d)、120 L/(人·d), 由式(3)~式(4)分析(表 2)表明, 2025 规划年流域城镇乡村生活用水量 858 万 m³。2030 规划年流域城镇乡村生活用水量 1095 万 m³。

3.3. 工业生产用水量

流域现状工业用水量 2278 万 m³, 万元增加值用水量达坂城 96 m³, 托克逊 88 m³, 远高于《新疆水资源公报》工业万元增加值用水量 43 m³, 属高耗用水。因此 2025 规划年达坂城、托克逊工业万元增加值定额, 分别降至 21 m³/万元、57 m³/万元, 2030 规划年分别降至 19 m³/万元、35 m³/万元, 由此, 按流域工业产值现状基数年均 10%增长计算结果(表 3)显示, 2025 规划年工业用水量 2246 万 m³, 2030 规划年工业用水量 2701 万 m³。

Table 3. Industrial production water consumption in Baiyang River Basin (unit: 10,000 m³)

表 3. 白杨河流域工业生产用水量(单位: 万 m³)

行政区	2020 年	2025 年	2030 年
黑沟乡	253	62	56
阿克苏乡	425	102	95
高崖子乡	235	56	52
达坂城区小计	913	220	203
柯尔碱沟	410	449	498
白杨河干流	955	1577	2000
托克逊区小计	1365	2026	2498
流域合计	2278	2246	2701

3.4. 畜牧渔业用水量

Table 4. Water consumption prediction for livestock and fishery in the watershed

表 4. 流域畜牧渔业用水量预测

规划时期	项目	用水定额		上游达坂城区		下游托克逊区		流域	
		数值	单位	数量	用水 (万 m ³)	数量	用水 (万 m ³)	数量	用水 (万 m ³)
2020 年	牲畜(万头)	40	L/头·d	16.0	233.6	20.0	292.0	36.0	525.6
	渔池(hm ²)	13,500	m ³ /hm ²	12.0	16.2	8.7	11.7	20.7	27.9
	小计				249.8		303.7		553.5
2025 年	牲畜(万头)	40	L/头·d	17.8	260.2	22.3	325.2	40.1	585.3
	渔池(hm ²)	13,500	m ³ /hm ²	16.9	22.8	12.2	16.5	29.1	39.3
	小计				283.0		341.7		624.6

续表

2030年	牲畜(万头)	40	L/头·d	19.2	281.0	24.1	351.2	43.3	632.1
	渔池(hm ²)	13,500	m ³ /hm ²	14.4	19.5	10.4	14.0	24.8	33.5
	小计				300.5		365.2		665.6

现状2020年统计[11]数据显示,流域内各类牲畜养殖36.0万头/只(达坂城16.0万头/只;托克逊20.0万头/只)。渔业养殖面积为20.7 hm²(达坂城为12.0 hm²;托克逊为8.7 hm²)。考虑到流域牲畜养殖近20年来生产牲畜养殖年均增长率1.55%,渔业养殖面积增长率5.00%,参照新疆工业及农业用水定额[12][13]指标,由式(3)~式(4)计算结果(表4)表明,流域2020现状年牲畜养殖用水量554万m³,规划2025年牲畜养殖用水量625万m³,规划2030年牲畜养殖用水量666万m³。

3.5. 生态环境用水

由白杨河流域水生态环境连续(2020~2022年)三年监测分析研究成果[14][15]显示,白杨河流域生态需水量、生态基流、年径流量占比分别为:7625万m³、2.418 m³/s、19.75%。其中:河道内天然林草植被生态需水量、生态基流、年径流量占比分别为:5201万m³、1.649 m³/s、13.47%;河道外城乡绿化林地生态需水量、生态基流、年径流量占比分别为:2424万m³、0.769 m³/s、6.28%。

综上,流域经济社会各业用水结果(表5)显示,中期规划2030年用水总量3.1763亿m³,与流域近年水资源总量31,426万m³(地表水2.6454亿m³,地下水0.4972亿m³)基本吻合。

Table 5. Economic, social, and ecological water use structure in the Baiyang River Basin

表5. 白杨河流域经济社会生态用水结构

流域	用水项目	2020年		2025年		2030年	
		水量万m ³	占比%	水量万m ³	占比%	水量万m ³	占比%
上游达坂城区	农业灌溉用水	11,275	89.7	5436	62.9	4720	58.9
	城镇生活用水	138	1.1	392	4.5	478	6.0
	工业生产用水	913	7.3	220	2.5	203	2.5
	畜牧渔业用水	250	2.0	283	3.3	301	3.8
	生态环境用水		0.0	2315	26.8	2315	28.9
	小计	12,576	100.0	8646	100.0	8017	100.0
下游托克逊区	农业灌溉用水	26,985	84.7	16,837	67.4	14,956	63.0
	城镇生活用水	313	1.0	466	1.9	617	2.6
	工业生产用水	1365	4.3	2026	8.1	2498	10.5
	畜牧渔业用水	304	1.0	342	1.4	365	1.5
	生态环境用水	2893	9.1	5310	21.3	5310	22.4
	小计	31,860	100.0	24,981	100.0	23,746	100.0
流域	农业灌溉用水	38,260	86.1	22,273	66.2	19,676	61.9
	城镇生活用水	451	1.0	858	2.6	1095	3.4
	工业生产用水	2278	5.1	2246	6.7	2701	8.5
	畜牧渔业用水	554	1.2	625	1.9	666	2.1
	生态环境用水	2893	6.5	7625	22.7	7625	24.0
	流域合计	44,436	100.0	33,627	100.0	31,763	100.0

流域农业灌溉用水 19,676 万 m³ 占比 61.9%; 城乡生活用水 1095 万 m³ 占比 3.4%; 工业生产用水 2701 万 m³ 占比 8.5%; 畜牧渔业用水 666 万 m³ 占比 2.1%; 生态环境用水 7625 万 m³ 占比 24.0%。各业用水大小: 农业灌溉 > 生态环境 > 工业生产 > 城镇农村 > 畜牧渔业。

4. 结论

本文基于水资源问题控制目标, 采用多元规划和社会发展预测模型对白杨河流域经济社会生态用水结构进行了分析。用水结构显示, 流域农业灌溉用水占比 61.9%、城乡生活用水占比 3.4%、工业生产用水占比 8.5%、畜牧渔业用水占比 2.1%、生态环境用水占比 24.0%。各业用水大小顺序为: 农业灌溉 > 生态环境 > 工业生产 > 城镇农村 > 畜牧渔业。由此进一步说明, 水生态环境在白杨河流域经济社会可持续发展中具有特殊地位作用。

参考文献

- [1] 夏富强, 唐宏, 杨德刚, 武广洋. 干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5883-5892.
- [2] 金菊良, 陈梦璐, 郇建强, 张礼兵, 吴成国. 水资源承载力预警研究进展[J]. 水科学进展, 2018, 29(4): 583-596.
- [3] 贾绍凤, 周长青, 燕华云, 周宏飞, 汤奇成, 张捷斌. 西北地区水资源可利用量与承载能力估算[J]. 水科学进展, 2004, 15(6): 801-807.
- [4] 王建华, 何凡, 何国华. 关于水资源承载力需要厘清的几点认识[J]. 中国水利, 2020(11): 1-5.
- [5] 李丽琴, 王志璋, 贺华翔, 马真臻, 谢新民, 魏传江. 基于生态水文阈值调控的内陆干旱区水资源多维均衡配置研究[J]. 水利学报, 2019, 50(3): 377-387.
- [6] 冯浩源, 石培基, 周文霞, 陈佳银, 张学斌. 水资源管理“三条红线”约束下的城镇化水平阈值分析——以张掖市为例[J]. 自然资源学报, 2018, 33(2): 287-301.
- [7] 新疆气象局汇编. 新疆各地州气象资料汇编[M]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区气象气候中心, 2018.
- [8] 魏权龄, 胡显佑, 黄志明, 编著. 运筹学简明教程[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1987: 14-15.
- [9] 新疆白杨河流域管理局. 白杨河流域十四五工作规划报告[R]. 2019.
- [10] 新疆维吾尔自治区水利厅. 新疆维吾尔自治区工业和生活用水定额[R]. 2007.
- [11] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴[EB/OL]. <http://tjj.xinjiang.gov.cn/>, 2021-11-01.
- [12] 新疆灌溉排水发展中心. 新疆农业灌溉用水定额地方标准修订综合研究报告[R]. 2020.
- [13] 新疆白杨河流域管理局. 白杨河流域农业供水效率及灌溉定额研究报告[R]. 2019.
- [14] 白杨河流域管理局. 白杨河流域水资源可持续利用技术研究报告[R]. 2020-2022.
- [15] 郝天鹏, 李旗进, 周和平. 新疆平原区天然绿洲生态需水研究[J]. 水资源开发与管理, 2023, 9(5): 64-70.