

# 白杨河流域灌区供水效率分析

崔师胜

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: 2023年2月5日; 录用日期: 2023年3月3日; 发布日期: 2023年3月14日

## 摘要

白杨河流域地跨乌鲁木齐达坂城及吐鲁番托克逊县, 全流域气象干旱风多风大降水稀少蒸发极为强烈, 是新疆干旱与极端干旱叠加型流域灌区, 提升灌区供输水效率对水资源高效利用具有特殊意义。本文以灌区各级渠道供输水效率为研究内容, 采用渠道过水断面量测分析表明: 1) 流域灌区现状渠系水利用系数0.5486 (上游达坂城0.5680; 下游托克逊0.5012); 分析2030年渠系水利用系数0.6567 (上游达坂城0.6595; 下游托克逊0.6500)。2) 灌区现状灌溉水利用系数0.4975 (上游达坂城0.5112; 下游托克逊0.4641); 分析2030年灌溉水利用系数0.6239 (上游达坂城0.6265; 下游托克逊0.6175)。3) 灌区灌溉水利用系数提升使得现状灌溉引用水量38,260万 $m^3$ , 降至2030年的31,872万 $m^3$ 省水效果好。

## 关键词

白杨河灌区, 供输水效率, 监测分析

# Analysis on Water Supply Efficiency of Irrigation District in Baiyang River Basin

Shisheng Cui

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

Received: Feb. 5<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 3<sup>rd</sup>, 2023; published: Mar. 14<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Baiyang River basin is located across Dabancheng, Urumqi and Tuokexun County, Turpan. The whole basin is characterized by dry weather, windy weather, heavy rainfall, and rare evaporation. It is a basin irrigation area with superimposed drought and extreme drought in Xinjiang. Improving the water supply and delivery efficiency of the irrigation area has special significance for the efficient use of water resources. This paper takes the water supply and delivery efficiency of all levels of channels in the irrigation area as the research content, and adopts the measurement and

analysis of the channel discharge section to show that: 1) the water utilization coefficient of the current channel system in the irrigation area of the basin is 0.5486 (the upstream Dabancheng is 0.5680; the downstream Tokson is 0.5012); the analysis shows that the water utilization coefficient of the canal system in 2030 is 0.6567 (0.6595 in the upstream Dabancheng; 0.6500 in the downstream Tokson). 2) The current irrigation water utilization coefficient of the irrigation area is 0.4975 (upstream Dabancheng 0.5112; downstream Tokson 0.4641); the irrigation water utilization coefficient in 2030 is analyzed to be 0.6239 (0.6265 in the upstream Dabancheng; 0.6175 in the downstream Tokson). 3) The improvement of irrigation water utilization coefficient in the irrigation area has made the current irrigation water intake of 382.6 million m<sup>3</sup>, down to 318.72 million m<sup>3</sup> in 2030, with good water saving effect.

## Keywords

Baiyanghe Irrigation Area, Water Supply and Transportation Efficiency, Monitoring Analysis

Copyright © 2023 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

农业供水效率由各级输水明渠或管道水利用率、渠系(管网)水利用率、田间水利用率及灌溉水利用率(或灌溉水利用系数)构成[1], 农业供输水效率监测研究方法多采用渠道上下游测水断面流速仪量测, 也可应用动水法进行渠道水利用系数量测[2], 对于渠系水利用率计算方面, 可以各级渠道水利用率采用“连乘法”获得[3], 对于灌区系统灌溉水利用率(也称灌溉水利用系数)综合指标计算, 一般采用“首尾法”基于农田灌水前后土壤墒情监测[4]取得田间灌溉用水量与首部引用水量之比获得。对不同防渗类型渠道水利用率观测, 肖雪等人[5]以新疆伊犁喀什河下游灌区不同渠道衬砌类型为对象, 监测不同防渗渠道灌溉水利用系数大小顺序为: 混凝土 U 型衬砌 > 混凝土衬砌 > 浆砌石衬砌, 与此同时, 引水渠首工程, 如干、支渠衬砌防渗效果远大于末级渠道衬砌防渗。周玉琴等人[6]研究分析表明, 随着输水渠道衬砌防渗率提高渠系水利用率近似线性增长。付强等人[7]基于自然因素对灌溉用水效率的影响表明, 具有一定降水量和蒸发量的灌区与灌溉水利用效率、田间水利用效率呈负相关。本文以白杨河流域灌区各级供输水渠道为研究对象, 采用渠道水位流量测水断面设施和田间水实测方法, 观测分析了浆砌石梯形渠、混凝土 U 渠、混凝土梯形渠和土渠不同防渗类型渠道输水利用率及灌溉水利用系数, 基于灌区供输水效率及高效节水发展规模, 分析了基于提升流域灌溉工程输水效率的节水效果, 为灌区水量配置管理提供依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 灌区概况

白杨河流域地跨乌鲁木齐达坂城区以及吐鲁番市托克逊县, 流域水系发源于新疆天山东部博格达峰南麓, 形成“四源一干一湖”(黑沟、阿克苏、高崖子、柯尔碱河, 汇成白杨河干流注入艾丁湖)格局。流域大气干旱、风多风大, 降水稀少、蒸发极为强烈, 戈壁荒漠、草甸湿地植被多样与生态环境脆弱交织, 为我国少有新疆唯一的干旱与极端干旱叠加型流域灌区[8]。流域(88°10′~89°11′E, 42°29′~43°48′N)面积[9] 5173 km<sup>2</sup>, 灌区灌溉面积 29,514 hm<sup>2</sup>, 人均水资源量 2680 m<sup>3</sup>, 单位灌溉面积水量 46.67 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 低于新

疆人均水资源量 3396 m<sup>3</sup> 和单位灌溉面积水量 59.33 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。流域 11 座渠首工程多建于上世纪六、七十年代, 近年部分工程得以陆续改建, 渠首工程设计引水流量 2.00~8.00 m<sup>3</sup>/s, 实引水流量 1.24~7.00 m<sup>3</sup>/s。灌区已建干、支、斗、农四级渠系 1162.5 km, 已防渗 513.8 km, 防渗衬砌率 44% (干渠 98%; 支渠 86%; 斗渠 45%; 农渠 29%), 各级渠系建筑物基本配套。流域灌区基本状态为资源性、工程性、管理型缺水并存, 水资源供需矛盾突出, 工程及管理型节水具有发展空间。

## 2.2. 监测方法

各级输水渠道流量采用流速仪及水位~流量测水断面设施监测, 监测过程中注意把握上下游观测断面同时同步测流, 且考虑上下两个观测断面之间无渠道分水影响。为满足精度要求, 渠道上下游测流断面需保持一定间距: 干渠 ≥ 5~10 km, 支渠 ≥ 3~5 km, 斗、农渠 ≥ 1~3 km。观测样点数目干渠全部选取测验; 支渠以下按照渠道条数的 15%~20% 选取; 田间水利用系数选取末级供水渠道断面及田间地块, 采用灌水前后农田土壤含水率变化实测分析。

## 2.3. 计算方法

供水效率量测由渠道水利用系数、渠系水利用系数、田间水利用系数和灌溉水利用系数组成, 渠道水利用系数, 按下式分析[10]:

$$\eta_q = \frac{Q_x}{Q} \quad (1)$$

式中,  $\eta_q$  为渠道水利用系数;  $Q_x$  为下游断面流量, m<sup>3</sup>/s;  $Q$  为上游断面流量, m<sup>3</sup>/s。

输水渠系水利用系数, 按下式分析:

$$\eta_{qx} = \frac{\sum q}{Q_s} = \frac{\sum \omega}{W} = \eta_{干} \times \eta_{支} \times \eta_{斗} \times \eta_{农} \quad (2)$$

式中,  $\eta_{qx}$  为灌区渠系水利用系数;  $\sum q$  为各级末级输水渠出口流量, m<sup>3</sup>/s;  $\sum \omega$  为各级末级输水渠出口水量, m<sup>3</sup>;  $Q_s$  为与该渠系首部渠道(干渠)引入流量, m<sup>3</sup>/s;  $W$  为渠首引入水量, m<sup>3</sup>;  $\eta_{干}$ 、 $\eta_{支}$ 、 $\eta_{斗}$ 、 $\eta_{农}$  分别为干、支、斗、农, 四级渠道水利用系数。

田间水利用系数, 田间作物用水量与农田末级渠道过水断面水量比值, 通过实测农田灌水前后(24 h)土壤含水率变化, 按下式分析:

$$\eta_t = \frac{667\gamma H(\beta_2 - \beta_1)}{W_t} \quad (3)$$

式中,  $\beta_1$ 、 $\beta_2$  分别为灌水前后作物湿润层土壤含水率(占干土重), %;  $\gamma$  为土壤干容重, t/m<sup>3</sup>;  $H$  为作物湿润层深度, m;  $W_t$  为田间末级渠道出口水量, m<sup>3</sup>。

灌溉水利用系数, 按下式分析:

$$\eta_g = \frac{\sum v}{W} = \frac{\sum Am}{\sum W} = \eta_{qx} \eta_t \quad (4)$$

式中,  $\eta_g$  为灌溉水利用系数;  $v$  为田间作物用水量, m<sup>3</sup>;  $A$  为灌溉面积, hm<sup>2</sup>;  $m$  为田间灌水定额, m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>;  $W$  为渠首引入水量, m<sup>3</sup>;  $\eta_{qx}$  为渠系水利用系数;  $\eta_t$  为田间水利用系数。

灌区综合灌溉水利用系数, 以水量  $W_i$  (也可是流量) 为权重的加权平均, 按下式分析[11]:

$$\eta_{综合} = \frac{\sum \eta_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (5)$$

式中,  $\eta_{\text{综合}}$  为灌区综合灌溉水利用系数;  $\eta_i$  为灌溉水利用系数;  $W_i$  为灌区毛用水量,  $\text{m}^3$ 。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 渠系输水利用系数

流域灌区输水渠监测由式(1)~(5)得各级渠道及田间水利用系数如表 1 所示。

**Table 1.** Water utilization coefficient of all levels of channels and canal systems in Baiyang River basin

**表 1.** 白杨河流域各级渠道及渠系水利用系数

灌区	各级渠道	防渗类型	测流/( $\text{m}^3/\text{s}$ )	利用系数	土壤质地
黑沟河	干渠	浆砌石	2.7860	0.9050	沙砾石
	西支渠	浆砌石	0.4830	0.8950	沙砾石
	西中支渠	浆砌石	1.2320	0.9500	沙砾石 + 湿地边
	西支西斗	浆砌石	0.1400	0.8430	沙砾石
	西支西斗农渠	土渠	0.0890	0.6740	沙砾、壤土
<b>干~农渠系水利用系数</b>			<b>4.7300</b>	<b>0.4805</b>	
阿克苏河	引水干渠	浆砌石	4.1060	0.9000	沙砾石
	沙梁子村南支渠	浆砌石	0.9270	0.8610	沙砾石
	水磨村斗渠	浆砌石	0.2120	0.9060	沙砾石
	沙梁子村南斗渠	浆砌石	0.9210	0.8950	沙砾石
	农渠	浆砌石	0.0100	0.8650	沙砾、壤土
<b>干~农渠系水利用系数</b>			<b>6.1760</b>	<b>0.6013</b>	
高崖子河	干渠	浆砌石	4.0590	0.8950	沙砾石
	东支渠	浆砌石	1.6720	0.9160	沙砾石
	牧场斗渠	混凝土 U 渠	0.9090	0.8100	沙砾石
	牧场农渠	混凝土 U 渠	0.4100	0.9000	沙砾石
<b>干~农渠系水利用系数</b>			<b>7.0500</b>	<b>0.5976</b>	
<b>上游达坂城灌区</b>			<b>17.956</b>	<b>0.5680</b>	
白杨河	宁夏宫渠首干渠	浆砌石	1.7780	0.8530	沙砾、中壤
	托台渠首干渠	浆砌石	2.1440	0.8940	沙砾、中壤
	宁夏宫支渠	浆砌石	1.6270	0.8610	沙砾、中壤
	托台渠首东支渠	浆砌石	1.4410	0.8700	沙砾、中壤
	夏乡赛力克吉力克村四小队斗渠	混凝土梯形渠	0.2170	0.8990	沙砾、中壤
宁夏宫七大队一队农渠	土渠	0.1740	0.7360	沙砾、中壤	
<b>下游托克逊灌区</b>			<b>7.3810</b>	<b>0.5012</b>	
<b>全流域灌区</b>			<b>25.3370</b>	<b>0.5486</b>	

流域上游达坂城灌区干~农四级渠系水利用系数 0.5680, 三个不同灌区渠系水利用系数不尽相同, 大小顺序为阿克苏灌区 0.6013 > 高崖子河 0.5976 > 黑沟河灌区 0.4805, 黑沟河灌区浆砌石防渗渠道水利用系数, 比土渠水利用系数高 25%~41%。黑沟河灌区渠系输水利用效率比较低, 反映出了该灌区灌溉工程相对老化及用水管理相对落后现状。下游托克逊灌区浆砌石混凝土防渗渠道水利用系数, 比土渠水利用

系数高 16%~22%。干~农四级渠系水利用系数 0.5012, 比上游达坂城灌区明显减少 13.33%, 这反映在同等级灌溉工程条件下, 主要问题是下游托克逊灌区降水不足 30 mm, 蒸发量高达 5000 mm, 年均气温高达 14.1℃, 是上游灌区年均气温 8.8℃的 1.76 倍, 7 月份年均气温 32.3℃极端性干旱气候影响渠系输水效率 [12]。流域灌区干~农四级渠系水利用系数 0.5486, 比新疆总体平均水平 0.6171 小了近 7 个百分点 [13]。

### 3.2. 灌区灌溉水利用系数

流域农田灌溉水利用系数监测结果如表 2 所示, 可以看出, 上游达坂城区灌溉水利用系数 0.5112, 其中: 黑沟河区 0.4325、阿克苏区 0.5412、高崖子区 0.5378; 下游托克逊灌区灌溉水利用系数 0.4641, 比上游达坂城灌区减少了 9.21%。白杨河流域灌区综合灌溉水利用系数 0.4975, 比新疆总体平均 0.5554 低 10.4%, 处于较低水平状态。

**Table 2.** Irrigation water utilization coefficient of Baiyang River basin irrigation area

**表 2.** 白杨河流域灌区灌溉水利用系数

各级渠道	防渗类型	测流/(m <sup>3</sup> /s)	利用系数	土壤质地
渠系水利用系数	浆砌石, 土渠	4.7300	0.4805	沙砾、壤土
田间水利用系数	农田畦灌	0.0041	0.9000	轻壤 + 砾石土
黑沟河灌区灌溉水利用系数		4.7341	0.4325	
渠系水利用系数	浆砌石	6.1760	0.6013	沙砾、壤土
田间水利用系数	农田畦灌	0.0041	0.9000	轻壤 + 砾石土
阿克苏河灌区灌溉水利用系数		6.1801	0.5412	
渠系水利用系数	浆砌石, 混凝土 U 渠	7.0500	0.5976	沙砾石
田间水利用系数	农田畦灌	0.0041	0.9000	轻壤 + 砾石土
高崖子河灌区灌溉水利用系数		7.0541	0.5378	
<b>上游达坂城区灌溉水利用系数</b>		17.9683	0.5112	
白杨河干流渠系水利用系数	浆砌石, 混凝土梯形渠, 土渠	7.3810	0.5012	沙砾、中壤
白杨河干流田间水利用系数	农田畦灌	0.0008	0.9260	沙砾粉沙壤 + 重壤
<b>下游托克逊区灌溉水利用系数</b>		7.3818	0.4641	
<b>全流域灌区</b>		25.3501	0.4975	

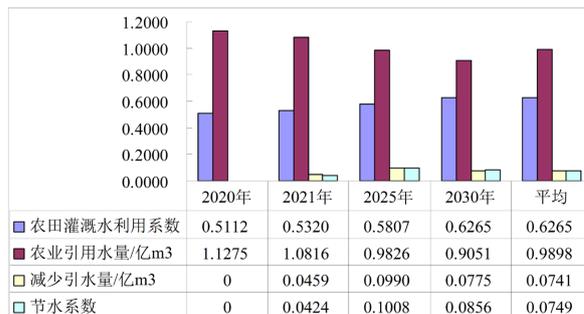
### 3.3. 提升灌区供输水效率

流域渠系水利用系数及灌溉水利用系数不高, 供输水效率处于新疆较低水平状态, 除流域自然水文气象环境不利客观条件影响了供输水效率之外, 同时, 流域灌溉工程及管理相对不足, 因此, 流域灌溉工程提升供水效率尚存一定的发展空间。基于流域灌区输水灌溉工程发展研究 [14] (表 3) 显示, 流域输水渠道工程由 2020 年的衬砌防渗率 44.2%, 提高到 2030 年的 71.4% (其中达坂城灌区 74.4%; 托克逊灌区 69.2%); 流域高效节水灌溉面积节灌率由 2020 年的 7.0%, 提高到 2030 年的 62.2% (其中: 达坂城灌区 52.0%; 托克逊灌区 66.0%)。由于渠系输水工程衬砌防渗及农田高效节水灌溉提增, 流域灌区灌溉水利用系数由 2020 年的 0.4975, 提升至 2030 年的 0.6239 (其中: 达坂城灌区 0.6265; 托克逊灌区 0.6175), 灌溉水利用系数年均递增率 5.82%, 从而达到了中型灌区灌溉水利用系数不应低于 0.600 的基本标准 [15]。由流域灌区输水效率发展形成的农业节水效果看出 (图 1), 由于灌区农田灌溉水利用系数的增加, 农业引

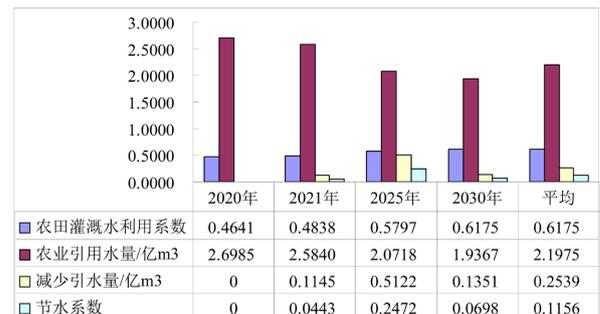
用水量由 2020 年的 38,260 万 m<sup>3</sup>, 显著地降至 2030 年的 28,418 万 m<sup>3</sup>, 灌区平均减少引用水量 3281 万 m<sup>3</sup>, 平均节水 10.29% (其中: 上游达坂城灌区减少引用水量 741 万 m<sup>3</sup> 节水 7.49%; 下游托克逊灌区减少引用水量 2539 万 m<sup>3</sup> 节水 11.56%), 流域灌溉工程水利用效率提升节水效果明显。

**Table 3.** Evaluation of water supply and delivery efficiency of irrigation areas in Baiyang River basin  
**表 3.** 白杨河流域灌区供输水效率测评

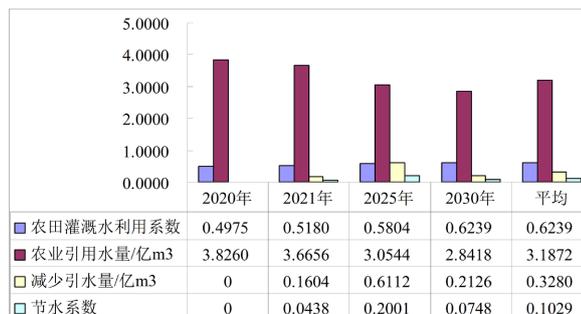
灌区	年份	输水渠道工程/km				节水工程及占比/万 hm <sup>2</sup>			水利用系数		监测流量/(m <sup>3</sup> /s)
		总长度	防渗长度	防渗率/%	渠系水利用系数	总灌面积	节灌面积	节灌率/%	田间水	灌溉水	
达坂城区	2020	496.5	240.8	48.5	0.5680	0.843	0.063	7.5	0.9000	0.5112	17.9683
	2021	496.5	285.7	57.5	0.5783	0.643	0.224	34.8	0.9200	0.5320	17.9683
	2025	496.5	330.5	66.6	0.6244	0.610	0.272	44.6	0.9300	0.5807	17.9683
	2030	496.5	369.3	74.4	0.6595	0.577	0.300	52.0	0.9500	0.6265	17.9683
托克逊区	2020	666.0	273.0	41.0	0.5012	2.108	0.143	6.8	0.9260	0.4641	7.3818
	2021	666.0	358.0	53.8	0.5211	1.755	0.187	10.6	0.9285	0.4838	7.3818
	2025	666.0	428.0	64.3	0.6200	1.636	0.969	59.3	0.9350	0.5797	7.3818
	2030	666.0	461.0	69.2	0.6500	1.539	1.016	66.0	0.9500	0.6175	7.3818
测流加权平均	2020	1162.5	513.8	44.2	0.5486	2.951	0.206	7.0	0.9076	0.4975	25.3501
	2021	1162.5	643.7	55.4	0.5616	2.398	0.411	17.1	0.9225	0.5180	25.3501
	2025	1162.5	758.5	65.2	0.6231	2.246	1.241	55.3	0.9315	0.5804	25.3501
	2030	1162.5	830.3	71.4	0.6567	2.116	1.316	62.2	0.9500	0.6239	25.3501



(a) 流域上游达坂城区



(b) 流域下游达坂城区



(c) 流域白杨河流域区

**Figure 1.** Water saving effect of improving irrigation water utilization coefficient in irrigation area  
**图 1.** 灌区提升灌溉水利用系数节水效果

## 4. 结论

输水渠道供水效率及灌区灌溉水利用系数, 是白杨河流域灌区水资源调配工程性技术管理指标, 灌区现状输水工程干~农四级渠系水利用系数 0.5486, 综合灌溉水利用系数 0.4975, 处于新疆灌区相对较低水平状态, 其主客观原因灌区输水工程防渗率较低, 已有工程年久运行更新缓慢, 加之灌区地处新疆降水少蒸发强烈干旱极端干旱区, 与其他灌区相比灌溉输水效率略有“先天性”不足。因此, 提升白杨河灌区输水效率困难与发展空间并存, 大力发展农业高效节水灌溉规模, 推进灌区输水渠系衬砌及防渗率, 可实现灌溉水利用系数由现状 0.4975 提升至 2030 年的 0.6239, 达到中型灌区灌溉水利用系数大于 0.600 标准要求。

## 参考文献

- [1] 周和平, 姚新华, 陈跃滨, 等. 干旱区新疆农业节水技术理论研究[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2014.
- [2] 梁举. 快速测定渠道水利用系数方法研究[J]. 江西水利科技, 2016, 42(3): 171-175.
- [3] 姬小敏, 唐莲, 张红玲. 宁夏汉延渠灌区灌溉水利用系数测算分析与评价[J]. 水资源开发与管理, 2021(3): 29-33.
- [4] 许盼盼. 基于土壤墒情监测的灌溉水有效利用系数测算方法研究[J]. 山西水土保持科技, 2022(2): 17-22.
- [5] 肖雪, 王修贵, 谭丹, 等. 渠道衬砌对灌溉水利用系数的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(9): 56-61.
- [6] 周玉琴, 石佳, 万昕. 渠道衬砌状况对渠系水利用系数的影响分析[J]. 节水灌溉, 2021(8): 52-55.
- [7] 付强, 刘巍, 刘东, 李天霄. 黑龙江省灌溉用水效率指标体系空间格局研究[J]. 农业机械报, 2015, 46(12): 127-132.
- [8] 崔师胜, 马占宝, 周和平, 等. 白杨河流域灌区农业水价测算评析[J]. 水利经济, 2020, 38(6): 77-80.
- [9] 张爱民, 郝天鹏, 周和平, 等. 新疆白杨河流域特征及生态植被需水分析[J]. 生态学报, 2021, 41(5): 1921-1930.
- [10] 中华人民共和国水利部. SL/Z 699-2015 灌溉水利用率测定技术导则[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [11] 王忠, 周和平, 张江辉. 新疆农业用水定额技术研究应用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012.
- [12] 新疆气象局. 新疆各地州气象资料汇编[Z]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区气象气候中心, 2018.
- [13] 新疆维吾尔自治区水利厅. 新疆农田灌溉水有效利用系数测算报告[R]. 乌鲁木齐: 新疆水利科学研究院, 2020.
- [14] 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]. 乌鲁木齐: 白杨河管理局, 2020.
- [15] 中国灌溉排水发展中心, 水利部农村水利司, 中国农业大学, 中国水利水电科学研究院, 等. GB/T50363-2018 节水灌溉工程技术标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.