

乌鲁木齐河洪水传播特性及演进模拟研究

新素依尔·道恩德格

新疆维吾尔自治区乌鲁木齐水文勘测中心, 新疆 乌鲁木齐 830000

DOI:10.61369/WCEST.2026020019

摘 要： 乌鲁木齐河作为天山北麓重要水源，其洪水传播演进规律对区域水资源管理与生态安全至关重要。本文根据实测资料，对径流洪水传播演进影响因子与区间汇流影响进行分析。结果表明河沟汇入补给（HR）与下渗损失（SS）是关键控制因子，据此得到简化流量方程；研究将大西沟水库坝址至乌拉泊水库入口干流划分为上、中、下三段，构建了径流、洪水传播演进的一维模型；针对大西沟水库坝址至青年渠渠首之间的中段区间汇入情况，构建了区间引水平移模拟模型。上述成果为揭示乌鲁木齐河径流传播规律，实现流域水资源的合理利用与科学管理具有重要意义。

关 键 词： 传播演进；影响因子；模型构建

Study on Flood Propagation Characteristics and Evolution Simulation of Urumqi River

Xinsuyier · Daoendege

Urumqi Hydrological Survey Center, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, Xinjiang 830000

Abstract： As a critical water source in the northern foothills of the Tianshan Mountains, the flood propagation patterns of the Urumqi River are essential for regional water resource management and ecological security. Based on field measurements, this study analyzes influencing factors of runoff flood propagation and interzone convergence effects. Results indicate that river channel recharge (HR) and infiltration loss (SS) serve as key control factors, leading to the derivation of a simplified flow equation. The research divides the main stream from the Daxigou Reservoir dam site to the Wulapo Reservoir inlet into upper, middle, and lower sections, establishing a one-dimensional model for runoff and flood propagation. A horizontal migration simulation model for interzone convergence was developed for the middle section between the Daxigou Reservoir dam site and the Qingnian Canal head. These findings provide significant insights into understanding Urumqi River runoff dynamics, facilitating rational utilization and scientific management of watershed water resources.

Keywords： transmission evolution; impact factor; model construction

引言

乌鲁木齐河是天山北麓重要的河流，对乌鲁木齐市及其周边地区水资源供给，区域经济发展、生态平衡维护和居民生活保障等方面发挥着不可替代的作用^[2]。近年来，随着城市化进程的加快和经济的迅速发展，对水资源的需求量不断增加^[4]。因此水资源的合理调配和高效利用成为亟待解决的问题。同时，全球气候变化导致降水模式和气温发生变化，加剧了河径流变化的复杂性。本文通过对乌鲁木齐河流洪水传播演进分析，构建传播演进模型，揭示其径流传播演进规律，为乌鲁木齐河水资源的科学管理和可持续利用提供理论支持^[1]。

一、径流传播演进背景

乌鲁木齐河发源于天山山脉依连哈比尔尕山天格尔峰胜利达坂的一号冰川，下行约42km。经后峡、过大西沟水库、抵达原英雄桥水文站及大西沟渠首后，接纳西白杨沟和东白杨沟，行至青年渠渠首再行39km至乌拉泊水库。此后进入和平渠渠系，流经乌

鲁木齐市区输送至下游灌区。

自1950年以来，流域先后建成有红雁池水库、乌拉泊水库、大西沟水库及引水工程。1947年起，大西沟水库至乌拉泊水库之间设有多个水文、水管站。在人类活动影响下与地质条件影响，该河段径流损耗显著。大西沟渠首和青年渠渠首引水，加之水库蓄水，加剧了水量损耗。河段上部为径流形成区，下部为径流散

作者简介：新素依尔·道恩德格（1990.08—），男，蒙古族，新疆和布克赛尔蒙古自治县人，本科，中级工程师，研究方向：主要从事水文水资源监测评价，工程水文分析计算、水文地质与地下水监测、洪水影响评价、水资源论证及水利工程建设管理等方面的专业技术工作。

失区,受洪积扇及巨厚的第四系覆盖层影响,河流沿程入渗损失严重;地表、地下径流路径存在差异,乌拉泊水库难以拦截径流。河道径流损失起始点距离大西沟水库坝址约9.9km,距离青年渠渠首的河道距离约11km,距乌拉泊水库约50km。干流流经青年渠渠首约8km后,流向由北偏东转为西南—东北流向,相对转角约达30°,部分水流在弯弯子一带越过分水岭流出流域^[2]。

据地形图与卫星图分析,乌鲁木齐河干流从大西沟水库坝址至乌拉泊水库坝址约60.72km,区间流域面积约1786km²,乌拉泊水库入库口以上流域面积约1329km²,区间汇流流域面积约443km²。河段自上而下分三段,沿途有多条支沟汇入,其中西白杨沟、东白杨沟为主要长流水支沟。青年渠渠首至乌拉泊水库段长39km,有18条较大沟河汇入。乌拉泊水库另有5条泉水沟直接汇入,芨芨槽子沟为主要常流水沟;梯匈河以地下水形式补给,出山口以上流域面积370km²。该区间支沟间接汇入干流、直接入库两种形式,受径流散失区影响,除芨芨槽子沟外,其余多以地下水及泉水形式补给水库^[3]。

二、传播演进分析

(一) 传播演进影响因子分析

1. 传统径流传播演进影响因子

在天然状态下,径流传播主要受河段内沿程河沟汇入补给(HR)、沿程地下溢出补给(DB)、沿程河道降雨补给(YB)、沿程河道下渗损失(SS)、沿程填洼初损(TW)、沿程河道蒸发损失(ZF)等有关因素影响;洪水传播额外受沿程河道槽蓄量(CX)、沿程坦化(TH)等因素影响;人类活动影响下,还需考虑沿程蓄水(XS)、引水(YS)、灌区排水(PS)等因素^[4]。

若以流量(Q)计,河段的径流洪水传播方程如下:

$$QO=QI+QHR+QDB+QYB-QSS-QTW-QZF-QXS-QYS+QPS$$

洪水传播方程:

$$QO=QI+QHR+QDB+QYB-QSS-QTW-QZF-QXS-QYS+QPS\pm QCX\pm QTH$$

2. 乌鲁木齐河径流传播演进分析

大西沟水库至乌拉泊水库坝址间干流河道纵坡较大,平均坡降13.77‰,河段槽蓄量变化可忽略;选择逐日流量过程进行洪水演进计算时,在纵坡大、流程较短,洪水波坦化因素亦可忽略,则径流与洪水传播方程为同一方程。该河道无蓄水水库工程,水面面积小,则沿程蓄水(XS)、河道降雨补给(YB)、河道蒸发损失(ZF)可忽略;无排水进入干流河道,灌区排水(PS)也可以忽略;若考虑畅流情况,河道填洼初损(TW)、地下溢出补给(DB)亦可以不考虑。

通过上述分析,干流的径流、洪水传播的流量方程可简化为:

$$QO=QI+QHR-QSS-QYS$$

乌鲁木齐河干流青年渠渠首至乌拉泊水库之间,河长约39km,区间面积约235.0km²。该区间内有9条较大的沟河汇入,左岸有卡亚沟等5条沟直接汇入干流;右岸有阴沟等4条沟经黄草梁子灌区汇入。该河段虽有青年渠二次引水和西山潜坝渠首引水,鉴于青年渠二次引水系列仅从2002年起有记录且不连续,引水量不足1m³/s,多在0.6m³/s以下;后者引水规模与青年渠二次相似,故从资料精度角度考虑,亦予以忽略^[5]。因此,该河段是各项因子影响最小河段,相关的径流、洪水传播的流量方程又可简化为:

$$QO=QI+QHR-QSS$$

该河段传播方程经过简化后,径流洪水传播的主要影响因子仅剩沿程河沟汇入补给(HR)、沿程河道下渗损失(SS)。可借助历年相关资料,通过分析方法推导出该河段的一维传播演进模型^[6]。

(二) 区间汇流影响分析

大西沟水库坝址到乌拉泊水库干流入口地处天格尔峰北麓暴雨区边缘,天气系统过境时易受山地辐合抬升形成大范围降雨,1996年7月中旬多地水文站刷新降雨记录,引发乌鲁木齐河前峡出山口上下游发生洪水。该河段长度60.72km,坡降约为13.92‰,远大于河中游段3—6‰的坡降,河道槽蓄与洪水波坦化作用可忽略。按通常河流流速4m/s计,洪水的汇流时间约4小时,无水量增减时,上下游逐日流量过程基本一致。

若仅考虑下渗损失且无引水、无区间汇流影响,乌拉泊水库入口流量小于坝址流量。若叠加坝址至青年渠渠首、青年渠渠首至乌拉泊入口区间产流,则入口流量会大于大西沟水库坝址沿干流传播到乌拉泊水库入口的流量。综上,该区间面积较大,降雨及产汇流作用明显,区间汇入量不可忽视。河道坡陡流急,洪水传播约4小时,英雄桥站与乌拉泊入口逐日流量过程同步,下游滞后一日概率低。受区间产流叠加,乌拉泊水库入口流量大于坝址下传流量。

三、模型构建

(一) 乌鲁木齐河洪水传播演进模型

乌鲁木齐河大西沟水库坝址至乌拉泊水库入口干流区间,河道总长59.88km,有4处饮水节点,其中主要有2处引水节点。青年渠河道下泄断面距乌拉泊水库入口约39.0km,大西沟渠首下泄断面距下游青年渠下泄断面约6.38km;南台子暨河道径流损失起始点距大西沟渠首下泄断面约4.62km、距青年渠下泄断面约11.0km。因大西沟水库坝址至南台子河段河床为基岩河床,故不考虑该河段的河道损失。

1. 乌鲁木齐河径流传播演进分析

为简便模型建立,本次将大西沟渠首虚拟上提至南台子处河道径流损失的起始点,大西沟水库坝址至南台子段按河道无损失

处理,将该河段分为上中下3段。上段为大西沟水库坝址到虚拟的大西沟渠首(南台子),中段为虚拟的大西沟渠首位置到青年渠渠首,下段为青年渠渠首到乌拉泊水库入口(干流路由、青年渠路由2条水流路由)。

因资料所限,中段天然的径流洪水传播演进关系按相似于下段的传播演进关系考虑,假设中段的沿程河道损失与下段的沿程河道损失相似,结合下段河长为39km,中段河长11km,由下段的传播演进关系导出中段的传播演进关系,可得乌鲁木齐河大西沟水库坝址至乌拉泊水库入口河段中段的传播演进关系,可得南台子处径流损失的起点(虚拟的大西沟渠首位置)到青年渠河段的传播演进关系如下。

大西沟渠首河道下泄流量大于 $17.3\text{m}^3/\text{s}$ 时,青年渠引水道:

$$Q_{\text{青道}} = 0.9124Q_{\text{西渠泄}} - 0.7835$$

大西沟渠首河道下泄流量小于 $17.3\text{m}^3/\text{s}$ 时,青年渠引水道:

$$Q_{\text{青道}} = 0.8942Q_{\text{西渠泄}} - 0.4861$$

上两式中: $Q_{\text{青道}}$ ——青年渠引水道日平均流量(m^3/s);

$Q_{\text{西渠泄}}$ ——大西沟渠首以下河道下泄日平均流量(m^3/s)。

2. 不同河段传播演进模型

将大西沟水库坝址至乌拉泊水库入口干流区间,划分为上、中、下3个河段,各河段入口断面作为控制或分流节点,构建径流与洪水传播演进的一维模型。如下:

(1) 上段河段传播演进模型:入口断面流量: $Q_{\text{西库泄}}$,出口断面流量: $Q_{\text{西渠道}} = Q_{\text{西库泄}}$

(2) 中段河段传播演进模型:入口断面流量: $Q_{\text{西渠泄}} = Q_{\text{西渠道}} - Q_{\text{西渠引}}$

出口断面流量: $Q_{\text{西渠泄}} \geq 17.3\text{m}^3/\text{s}$ 时, $Q_{\text{青道}} = 0.9124Q_{\text{西渠泄}} - 0.7835$

出口断面流量: $Q_{\text{西渠泄}} < 17.3\text{m}^3/\text{s}$ 时, $Q_{\text{青道}} = 0.8942Q_{\text{西渠泄}} - 0.4861$

(3) 下段河段传播演进模型,干流路由:

入口断面流量: $Q_{\text{青渠泄}} = Q_{\text{青道}} - Q_{\text{青渠引}}$;出口断面流量: $Q_{\text{青渠泄}} \geq 15.0\text{m}^3/\text{s}$ 时,

$$Q_{\text{河坝}} = 0.6597Q_{\text{青渠泄}} - 3.0445$$

出口断面流量: $Q_{\text{青渠泄}} < 15.0\text{m}^3/\text{s}$ 时,

$$Q_{\text{河坝}} = 0.5804Q_{\text{青渠泄}} - 1.9274$$

(4) 下段河段传播演进模型,青年渠路由:

入口断面流量: $Q_{\text{青下输}}$

出口断面流量: $Q_{\text{青入库}} = 0.8202Q_{\text{青下输}} - 0.0213$

式中, $Q_{\text{西库泄}}$ 为大西沟水库出库下泄日平均流量(m^3/s); $Q_{\text{西渠道}}$ 为大西沟渠首河道来水日平均流量(m^3/s); $Q_{\text{西渠泄}}$ 为大西沟渠首引水后下泄日平均流量(m^3/s); $Q_{\text{西渠引}}$ 为大西沟渠首引水日平均流量(m^3/s); $Q_{\text{青渠引}}$ 为青年渠渠首引水日平均流量(m^3/s)。

(二) 区间引水平移模拟模型

大西沟水库坝址至青年渠渠首之间乌鲁木齐河干流,有东白杨沟、西白杨沟、英雄桥沟、南台子沟等常流水沟汇入,且以东、西白杨沟为主要汇入。东白杨沟汇口距离下游青年渠渠首的河道距离为5.38km,西白杨沟汇口距离下游青年渠渠首的河道距离为5.15km,两者位于乌鲁木齐河大西沟水库坝址到乌拉泊水库入口河段中段。若将东、西白杨沟汇入口,视为在青年渠引水道节点汇入,则可作为中段出口断面流出的径流组成部分。

选择英雄桥水文站与青年渠引水道的流量过程作为中段河段的入流与出流过程,经逐年过程比对可以看出,两者之间往往存在较大差异,青年渠引水在汛期6-8月往往偏低,受灌溉引水和河道入渗损失影响较大。

乌鲁木齐河干流大西沟水库坝址至青年渠渠首之间的中段区间汇入的区间径流、洪水以降雨径流为主具有降雨径流特征。年内降雨多孤立且断续分布,相应降雨径流过程线呈孤立且断续形态,在相应的径流过程线上,地表径流与浅层地下水部分趋近于零。若无区间损耗,上下游站同期逐日流量在谷值区域或稳定退水段数值接近。

选择英雄桥水文站与青年渠引水道的逐日流量过程,作为大西沟水库坝址到乌拉泊水库入口河段中段的汇入项与出流项,6月-9月中旬,根据水量平衡原理,两者在谷值或稳定退水段区域,建立水量平衡方程:

$$Q_{\text{英}} = Q_{\text{青道}} + Q_{\text{河损}} + Q_{\text{西渠引}}, \text{ 即 } Q_{\text{西渠道}} = Q_{\text{青道}} + Q_{\text{河损}} + Q_{\text{西渠引}}$$

式中, $Q_{\text{英}}$ 为英雄桥站断面逐日流量过程(m^3/s); $Q_{\text{青道}}$ 为青年渠引水道断面逐日流量过程(m^3/s); $Q_{\text{河损}}$ 为中段区间干流河道损失逐日流量过程(m^3/s); $Q_{\text{西渠道}}$ 为大西沟渠首河道来水逐日流量过程(m^3/s); $Q_{\text{西渠引}}$ 为大西沟渠首引水逐日流量过程(m^3/s)。

6-8月灌区引水流量相对稳定,呈平顶特征。可将其视为主要引水时段的众值引水流量,通过下游站流量叠加中段河道损失并平移固定流量,粗略模拟6-9月中旬的众值引水量。

本次假定大西沟渠首12-2月枯期不引水,采用河段中段的传播演进模型、将枯期英雄桥站流量演算至青年渠引水道断面,以实测流量减去演算值得到区间枯期基流补给量。在扣除不合理差值关系后,1965-1966年及1978-2011年数据反映,该河段冬季多年平均流量约为 $0.75\text{m}^3/\text{s}$,与中段河道损失值基本接近。

按汛前期、汛期、汛后期划分模拟时段,初步构建区间引水平移模拟模型^[7-8],按来水比例引水的思路,分析引水比例关系,模拟汛期引水量,确定各期划分的时间节点,开展大西沟渠首引水模拟实验。

经反复比对,确定模拟时段:11月5日-3月31日为枯期、4月1日-5月31日为汛前期、6月1日-9月中旬为汛期,9月中旬-11月4日为汛后期,构建区间引水平移模拟模型。模型以中段传播演进模型为基础,采用英雄桥站逐日流量为入流,演算至青

年渠断面得到河道损失量；汛前期引水量为英雄桥流量的0.2倍；汛后期取流量的0.3倍；汛期手动模拟值为6-9月中旬众值引水流量，获得中段河段区间引水平移二级模型。

模型中，有关方程如下：区间枯期基流： $Q_{\text{区基}} = 0.75\text{m}^3/\text{s}$ ；
汛前期大西沟渠首引水流量： $Q_{\text{西渠前引}} = 0.2Q_{\text{英}}$
汛后期大西沟渠首引水流量： $Q_{\text{西渠后引}} = 0.3Q_{\text{英}}$
枯期拟合： $Q_{\text{青道拟}} = Q_{\text{英}} - Q_{\text{河损}} + Q_{\text{区基}}$
汛前期拟合： $Q_{\text{青道拟}} = Q_{\text{青道}} + Q_{\text{河损}} + Q_{\text{西渠前引}}$
汛后期拟合： $Q_{\text{青道拟}} = Q_{\text{青道}} + Q_{\text{河损}} + Q_{\text{西渠后引}}$ 式中，
 $Q_{\text{区基}}$ 为大西沟坝址至青年渠枯期区间基流逐日流量过程（ m^3/s ）； $Q_{\text{西渠前引}}$ 为大西沟渠首汛前期引水逐日流量过程（ m^3/s ）； $Q_{\text{西渠后引}}$ 为大西沟渠首汛后期引水逐日流量过程（ m^3/s ）； $Q_{\text{西渠汛引}}$

为大西沟渠首汛期引水逐日流量过程（ m^3/s ）； $Q_{\text{青道拟}}$ 为拟合的青年渠引水道逐日流量过程（ m^3/s ）。

四、结论

通过对传播演进影响因子和区间汇流影响分析，明确了河道沿程的河沟汇入补给（HR）与下渗损失（SS）是洪水传播的关键因子，得出简化的径流、洪水传播的流量方程，同时确定干流洪水、径流的沿程区间汇入量较大，不容忽视；将大西沟水库坝址至乌拉泊水库入口干流区间划分为上、中、下三段，构建了径流、洪水传播演进的一维模型；针对坝址至青年渠渠首之间的中段区间汇入情况，构建了区间引水平移模拟模型。

参考文献

[1] 方神光, 张文明, 周若里, 等. 西江中游洪峰演进特性研究 [J]. 人民珠江, 2015, 36(06): 30-34.
[2] 卡米兰·阿布力克, 杨涵. 乌鲁木齐河流域植被覆盖度变化及驱动力研究 [J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(02): 96-105.
[3] 刘娟, 廖茂均, 蒋显忠, 等. 乌鲁木齐河流域地质生态环境变化趋势研究 [J]. 新疆地质, 2023, 41(03): 403-410.
[4] 李曼, 郭俊莉, 刘焕才. 乌鲁木齐河流域中下游生态系统服务价值动态变化 [J]. 西北林学院学报, 2020, 35(03): 48-54.
[5] 刘燕, 刘友存, 焦克勤, 等. 1990年以来天山乌鲁木齐河上游水资源研究进展 [J]. 冰川冻土, 2019, 41(04): 958-967.
[6] 刘燕, 刘友存, 焦克勤, 等. 1990年以来天山乌鲁木齐河上游水资源研究进展 [J]. 冰川冻土, 2019, 41(04): 958-967.
[7] 李扬. 山区河道土石坝溃坝洪水演进特性研究 [D]. 重庆交通大学, 2021.
[8] 王颖. 大凌河下游洪水演进分析 [J]. 水利技术监督, 2019(06).