

玛纳斯河流域冰川变化及水资源研究进展

张正勇¹, 李忠勤², 何新林¹, 刘琳¹, 王璞玉²

(1. 石河子大学, 新疆 石河子 832000; 2. 中国科学院寒区旱区环境工程研究所 冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000)

摘 要:玛纳斯河流域地处西北内陆干旱区, 由于水资源制约社会经济发展和生态环境建设, 近年来也取得了很多高水平的研究成果。按流域上游产流区和中下游消耗区对以往研究进行总结, 以期对流域冰川变化及水资源方面有更清晰的认知, 主要从冰雪覆盖变化、河川径流变化特征及其对气候变化的响应、径流变化的模拟预测、地下水、同位素、水资源的开发利用等方面综合概述了研究区水资源的研究进展。近半个世纪以来, 玛河流域上游区开展了一些冰川野外考察工作, 对流域冰川的形成、作用有了初步的认识, 但缺少冰川变化方面的实测数据。在全球变暖的影响下, 研究区冰川面积出现了不同程度的缩减, 并导致冰川生态系统服务功能价值下降; 近 60 年来研究区气温和降水都呈递增趋势, 流域年径流变化受水文年降水量、夏季温度、永久性冰川雪地面面积变化等综合影响, 其中径流量波动上升与气温和降水呈正相关, 流域主要依赖冰雪消融和地下水补给; 流域水资源承载力呈现良性发展的态势, 能够维持生态系统的正常功能。但研究区由于资源性缺水 and 生产生活用水不断加剧, 水资源日益成为区域经济社会发展的制约因素, 众多学者从不同层面提出了水资源开发利用和管理方面的对策和建议。但目前的研究中仍存在一些问题和不足, 重点可以在流域冰川水资源的系统研究、建立冰川变化的定位观测体系和开展详细的流域冰川模拟预测研究, 要在中下游区加强社会经济用水和生态用水的科学调配等方面展开进一步研究。

关键词:玛纳斯河流域; 冰川; 水资源; 研究进展

中图分类号:TV213.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)05-0332-06

Progress in the Research on Glacial Change and Water Resources in Manas River Basin

ZHANG Zheng-yong¹, LI zhong-qin², HE Xin-lin¹, LIU Lin¹, WANG Pu-yu²

(1. Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China; 2. State Key Laboratory of Cryosphere Sciences, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract:Manas River Basin is located in the arid region of northwest China. Water resources of this region are the very important restriction factor of socio-economic development and eco-environmental construction. Manas River Basin has been taken as a typical region and hot spot for scientists to study hydrology and water resources. In this study, previous research was summarized according to the upstream watershed runoff downstream areas and in the consumption area in order to more clearly understand the valley glacier change and water resources from the views of the snow cover changes, change characteristics of runoff and its response to climate change, runoff simulation prediction, groundwater, isotope, the development and utilization of water resources. Nearly half a century, and the upper reaches of the River Basin to some ice field works was carried out, to understand the basin formation, effect of glacier, but measured data of glacier changes were not available. Under the effect of global warming, the glacier area in the study region appeared reduction at different degree, and resulted in the decreasing of ecosystem services; during the recent 60 years, the temperature and precipitation present increasing trend in the study area, runoff changes was influenced by hydrological year precipitation, the temperature in summer, the permanent ice and snow change, the runoff fluctuation increases were positively correlated with the temperature and precipitation, basin main-

收稿日期:2013-12-13

修回日期:2014-01-02

资助项目:石河子大学校级团队创新项目“全球气候变化下玛河流域山区近 30 年冰雪变化对气候响应的机制及应对策略研究”(2011ZRKXTD-05); 新疆联合基金重点支持项目“节水灌溉条件下玛纳斯河流域绿洲化盐漠化响应机理研究”(U1203282)

作者简介:张正勇(1978—), 男, 甘肃景泰人, 副教授, 博士研究生, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: zyz0815@163.com

ly relied on snow and ice melt and groundwater recharge; showed a benign development capacity of river basin water resources situation, to maintain the normal function of ecological system. But water resources have restricted the regional economic and social development in the study area because of shortage of water resources and the increase of production and living water. Many scholars put forward the development and utilization of water resources and management countermeasures and suggestions from different aspects. But the research still has deficiencies and faces some challenges. Further research can establish glacier changes in system research, glacier water resources locating observation system and carry out detailed study on simulation and prediction of glacier basin, strengthen social economic water use and ecological water use of scientific allocation etc in the middle and lower area.

Key words: Manas River Basin; glacial; water resources; advances

玛纳斯河流域(以下简称玛河流域)是新疆典型的内陆河流域,现已被开垦为我国最大人工绿洲区和第四大灌溉农业区^[1-2],也是天山北坡经济带的核心区域之一,水资源是该区域经济发展和生态建设等最主要限制因子。然而在全球变暖影响下,主要靠冰雪融水补给的玛河流域冰川面积急剧退缩,减少了淡水资源储备,对区域的绿洲发展模式有十分重要而深远的影响^[3]。玛河流域位于新疆天山北麓中段,地处准噶尔盆地南缘,地理位置为 $84^{\circ}43'—86^{\circ}35'E$, $43^{\circ}21'—45^{\circ}20'N$,远离海洋,干旱少雨,蒸发量大,多荒漠,属典型的大陆性干旱气候区。经过新生代以来的构造运动、气候变化等作用,流域内形成了具有明显分带性的地貌格局,划分为山地带、山前褶皱丘陵带、串珠状冲积扇带、平原曲流带、玛纳斯河尾间湖泊和沙漠带5个地貌带^[4]。其上游的天山支脉喀拉乌成山依连哈比尔尕山及比依克山等海拔为5 000~5 500 m,是仅次于天山主峰托木尔峰(海拔7 435.3 m)地区的天山第二大高山带山结,其冰川总面积仅次于托木尔峰地区^[3,5]。径流补给具有显著的垂直地带性,冰雪融水对河流的补给可以占到河水径流量的35.3%^[6-7],地下水补给量占45%左右^[8]。流域内自东向西分布塔西河、玛纳斯河、宁家河、金沟河、大南沟、巴音沟河6条内陆河流,其中玛纳斯河是准噶尔盆地南缘最大的一条融雪型山溪河流,河流由南向北,全长324 km,多年平均径流量为11.9亿 m^3 ^[3]。上游海拔3 600 m以上山区大部分面积为冰川及永久性积雪覆盖,平均雪线为3 970 m;海拔1 500~3 600 m属降水丰沛区^[4],夏季蒸发较少,土地终年保持湿润状态,为玛纳斯河主要产流、汇流区;海拔1 500 m以下至出山口红山嘴为玛纳斯河径流运转区,出山口以下为径流散失区^[7-8]。玛纳斯河上游设有红沟煤窑、清水河子、肯斯瓦特和红山嘴站水文站。肯斯瓦特为玛纳斯河干、支流汇合后的控制站,海拔910 m,控制面积为4 637 km^2 ;红山嘴站为玛纳斯河

出山口控制站,海拔610 m,下游300 m处为玛纳斯河红山嘴引水枢纽^[7]。近几十年来众多学者对流域水资源和生态环境方面开展了大量研究,取得了很大进展,本文按流域上游产流区和中下游消耗区对以往研究进行总结,主要从冰雪覆盖变化、水资源与气候的响应、水资源承载力、水资源开发利用与管理措施等方面概述流域水资源研究进展,通过对以往研究成果的梳理,以期对流域水资源方面有更清晰的认知,并提出问题与展望。

1 冰川及冰雪覆盖变化研究

自20世纪中期以来,就已经在玛河流域上游区开展了一些冰川野外考察工作,对流域冰川的形成、作用有了初步的认识,但就目前的冰川研究成果来看,玛河流域比塔里木河、乌鲁木齐河等流域有明显的缺失,没有中长期冰川变化方面的实测数据,甚至短期的野外考察也是屈指可数。1961—1963年,中科院新疆分院冰雪队对流域现代冰川和古冰川进行了流动考察和半定位观测^[9];1979年,新疆地质局水文地质大队在玛纳斯河、宁家河和金沟河的整个中上游地区进行区域水文地质普查,并对流域的第四纪古冰川作用进行了研究和探讨^[10],认为该区至少有五次大规模的古冰川活动期,自老至新依次称为大南沟冰期、红山咀冰期、哈熊沟冰期、呼斯台冰期和乌达特冰期,其间相应地存在着4个间冰期,表明该区从早更新世到晚更新世末期至少经历了5次长时期的寒暖气候交替变化。2002年、2003年,鞠远江等在流域内的鹿角湾冰川区40 km^2 的范围进行了野外考察,初步对该冰川地貌进行了研究^[11],按冰川斗底高度的不同将18个冰斗划分为3个不同高度等级,冰斗朝向以偏北为主,说明水热条件对冰斗发育是限制因素,有2个冰斗朝向偏南,说明其所代表的冰进阶段水热条件组合有利于冰川的长期存在,从而发育了大规模的向阳冰斗,共发育了10道冰碛垄,对其测年分

析发现冰碛丘陵组地层属于小冰期和新冰期沉积。

在全球变暖的影响下,近年来玛河流域冰川面积出现了不同程度的缩减,张宏峰等^[3]研究显示1964—2006年间流域冰川面积减少了16.7%;低海拔冰川面积与高海拔呈现出相反的变化趋势。刘志辉等^[12]对流域冰川的消融率进行了计算和分析,得出玛河上游1983—2004年间冰川面积减少了38.1 km²,1964—1983年冰川面积消融了8.41%,1983—2000年消融了27.18%;塔西河上游冰川面积1983—2004年间由48.01 km²减少为38.1 km²,年消融率为0.009;刘海隆、马金玲等^[13-14]基于多源、多时相的遥感数据分析了流域1989—2008年的冰川积雪覆盖变化特征,结果显示年际冰川积雪覆盖区域的平均海拔高度在2002年以前表现为下降过程,在2002年后表现为上升过程;自2001年以后,出现了年均8 km左右稳步减小的过程;其中减少的区域主要在源区古仁郭勒、夏格孜郭勒,这里已无大面积的冰川存在,而流域西部的支流呼斯台郭勒上游仍有大面积冰川覆盖。另外,该流域冰川积雪面积与平均温度、降水分别呈显著负相关和正相关关系,这说明气候变暖对玛纳斯河流域山区冰川积雪的消融有明显促进作用。张宏峰等^[3]研究表明流域冰川服务功能总价值急剧下降,由1964年的1 228.5亿元下降到2006年的960.1亿元。冰川退缩改变了流域的水资源分布特征,导致冰川生态系统服务功能价值下降。

2 气候变化及其对水资源影响研究

2.1 气候变化特征

学者们对玛河流域气候变化特征开展了大量的研究,基于近60 a来气候观测数据,运用数理统计和时间序列分析等方法^[15-19],对流域气候变化(气温、降水和蒸发量等)趋势进行了研究,结合Mann-Kendall^[17]和小波分析^[18-19]等方法分析了流域气候变化的周期和突变检测,并结合R/S^[20-22]、灰色关联^[23]和模糊数学^[24-25]等方法预测了气候变化趋势。

自1950s以来,玛河流域年均温总体呈增加趋势^[17-20](图1),年均温变化倾向率为0.33~0.47℃/10 a,其中20世纪90年代升温最明显,季均温亦呈现波段上升趋势,尤其秋冬两季增温趋势最明显,变化倾向率分别达0.28℃/10 a,0.48℃/10 a^[17-20];侯丽娜等^[21]运用近30年逐日数据分析得出,1月最低气温和7月最高气温的线性增加率分别为0.8和1.3℃/10 a,其结果导致气温日较差减少。流域气温变化与全国和新疆变化趋势一致,且略高于新疆平均

气温升高的幅度^[22]。李慧、马金玲、唐湘玲等^[15-17]对流域近60 a来降水量变化研究显示,降水量总体在波动中呈不明显的增多趋势,和新疆降水的整体变化趋势一致。多年平均降水量为335.4 mm,线性变化倾向率为1.04 mm/10 a,春、冬两季降水量呈增多趋势,夏季和秋季降水量呈减少趋势。降水量与气温变化呈显著正相关^[17,22-23]。多年平均蒸发皿蒸发量为1 682.6 mm。总体来看,冬季蒸发增加幅度较大,其次为秋季,春季变化不大,而夏季蒸发有小幅下降^[15-16]。从空间变化特征来看,流域上游气温增幅略高于中下游,而年降水量变化率上游略低^[15-24]。

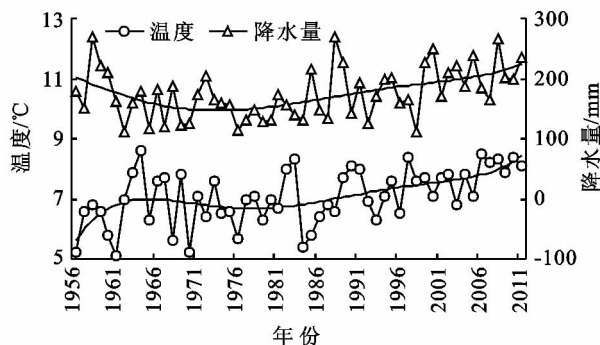


图1 玛纳斯河流域气温、降水变化趋势

凌红波、唐湘玲等^[17,18-20]对流域气温和降水变化周期和突变特征研究表明:流域年平均气温有着明显的9,10 a主周期和4 a,2.7 a左右次周期震荡,其周期与太阳黑子和南方涛动周期具有一致性;全年降水存在明显的3.6 a和6 a显著周期和5.7 a的次周期震荡。气温突变节点为1975年、1995年并发生了由低到高的突变;降水突变节点为1983年、1998年并发生了由少到多的突变;蒸发量的突变节点在1988年。高培、凌红波等^[18,24-25]模拟预测未来50 a,流域温度和降水量呈增长趋势,而蒸发量持续减少。

2.2 径流变化

从20世纪50年代以来建立的煤窑、肯斯瓦特、红山嘴三个水文站的水文资料统计分析来看(图2),玛纳斯河径流量大体分为5个阶段:1954—1957年径流量偏少,为枯水期;1958—1971年径流量大体呈水平波动上升,为丰水期;1972—1976年下降趋势明显,为平水期;1977—1996年为枯水期;1996年开始出现明显的增加趋势^[6,14,20]。径流量多集中于夏季(6—8月),约占全年平均径流量的65%~70%,仅7月就占28.7%,主要来自于高山区的冰川和积雪消融,充分显示了夏汛河流的特点。冬季为枯水期,径流量稳定,主要依赖于地下水回归补给。年均流量存在8~10 a、12 a左右和16 a左右的变化周期,并且在20世纪90年代初期周期发生了突变^[17,26]。

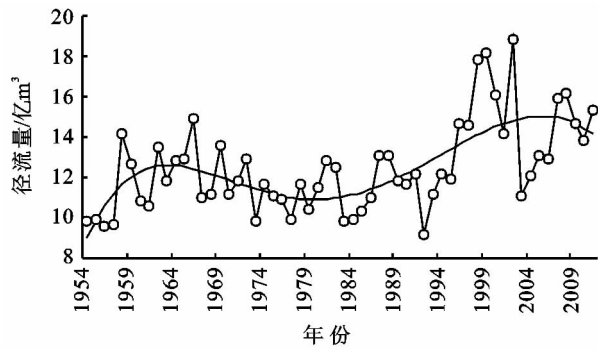


图2 玛纳斯河年径流量变化趋势

袁玉江等^[27]使用5个树轮年表序列较好地重建出肯斯瓦特水文站355 a来的年径流总量,研究结果显示玛纳斯河树轮年表序列与该河肯斯瓦特水文站年径流总量相关显著,年径流总量355 a来大致经历了11个偏枯水期和10个偏丰水期,出现了最显著的两个百年流量变枯段;在1711—1712年、1872年流量发生过两次突变;最丰水的年代为17世纪80—90年代,比现今偏多17.19%~18.11%,最枯水的年代为19世纪60年代,比现今偏少16.17%。根据50 a来玛纳斯河水文气候周期的演变规律和国际气候变化专门委员会(IPCC)的预测报告,预计21世纪前20年玛纳斯河来水仍属偏丰年份,这会对玛纳斯河流域的农牧业生产结构和布局产生重大影响^[28-29]。

2.3 气候与径流变化关系

流域年径流变化受水文年降水量、夏季温度、永久性冰川雪地面积变化等综合影响^[6,14,26,29-31]。径流的变化主要取决于降水的变化,气温的变化影响次之;但是在温度的相对极值时,气温的变化则起到主导作用,如1990年的相对高温以及1992年的相对低温都体现了这一影响。夏季温度的变化对于玛纳斯河径流量的变化作用较大,如1996年夏季温度增高明显,持续高温时间长,导致径流量急剧增加,形成“96·7”特大洪水灾害。另外气温和降水的负相关关系,使得冰雪融水补给和降水补给对年径流出现互补特征,使得流域径流变化比较稳定。20世纪90年代以来,流量显著增加,对降水和气温的变化有明显的响应^[29-30]。

玛河流域气候与径流变化关系已有模拟预测研究。唐湘玲等^[17]模拟预测当流域水文年降水量偏多或偏少10%~20%时,其年径流量会出现偏多或偏少1.98%~5.93%的正响应;当流域5—9月平均气温增加1℃时,其年径流量会增加或减少1.3%;当5—9月出现±2℃(或±3℃)的气温变化时,其年径流量会做出±2.68%(或±4.0%)的正响应。王晓杰等^[32]利用度日因子算法的SRM融雪径流模型模拟

了温度和降水变化对径流量的影响,认为随着温度和降水的增加,径流量也会增加,并会使融雪径流提前,假定降水量不发生大的变化,温度增高1℃,径流量增大13%~16%;赵丽、李慧等^[33-34]结合流域水文规律,分别建立了适合于该区域的随机模型和SWAT分布式流域水文模型。

3 地下水与同位素方面研究

就玛河流域地下水与同位素方面的研究相对较少。其中,史兴民等^[4]认为流域地下水分布范围受地貌单元控制,由南向北呈明显带状分布着不同类型的地下水。按区域分主要包括:①中高山区和山前褶皱分布有基岩孔隙、裂隙水。②流域冲积扇及冲积平原区分布有松散堆积层孔隙水。③低山丘陵之间的向斜盆地分布有零星含水区,冰川及其周边的多年冻土地区分布开发利用价值不大的地下水。刘志明等^[35]对流域平原区地表水、地下水同位素组分D, ^{18}O , T和 ^{14}C 特征进行了分析,运用同位素混合模型开展了水资源组成和水循环研究。研究表明,从上游至下游,地表水、浅层水和深层水的 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$, T- $\delta^{18}\text{O}$ 和 $^{14}\text{C}-\text{T}$ 关系呈现出明显的分布规律,并在 $^{14}\text{C}-\text{T}$ 图上,可明显识别出古水。水资源主要来源于南部山区大气降水补给,上游是地下水的主要补给区。

4 水资源承载力研究

对于内陆干旱绿洲区的玛河流域来说,开展水资源承载力、水文生态质量、生态需水等研究尤为重要。为此,学者们利用模型对以上科学问题进行了分析和预测。杨广等^[36]通过建立模糊综合评判模型,对流域不同水平年水资源承载力状况进行了综合评价,分析表明流域水资源承载力呈现良性发展的态势,且通过节水技术和产业结构调整等综合措施,玛纳斯河流域未来20年水资源承载力状况将逐步改善。乔长录等^[37]研究表明,流域水文生态系统质量较差,其中水文气象要素和生态环境要素对玛纳斯河流域水文生态系统质量影响较大,而社会经济要素相对较好。凌红波等^[38]利用AHP(层次分析)和模糊综合评判法等研究表明,2006年流域水资源生态安全指数和供需状况指数分别处于基本安全和比较安全水平,水资源量指数和社会经济指数皆处于不安全水平状态。刘浩等^[39]从降水—径流的发生与演变出发,分层次计算了流域生态需水量,结果显示流域生态可利用水量和平原径流性生态需水量几乎相等,说明玛河流域生态需水基本得到满足,能够维持生态系统的正常功能。

5 水资源开发利用及管理研究

玛河流域是新疆开发治理较早,社会效益、经济效益、生态效益较高的典范灌区^[10]。但进入田间被利用的山区来水只有 13 亿 m^3 ,利用率仅 57%,重复利用水仅 9.1 亿 m^3 ,年调节蓄水量只占年径流量的 17.4%^[39]。流域常规水资源开发利用程度已达 95% 以上,开发利用非常规水资源用于农业发展和生态环境建设已开始引起重视,另外由于缺乏科学指导和合理开发,既造成地下水位下降^[40]。水资源开发利用中还存在一些问题^[41],如上下游用水、城市与农业用水、工业布局与水资源状况等关系不够协调,相关部门缺乏统一规划和调配管理;流域内水资源的置换、补偿、调控等水利经济问题突显,流域水权与水市场的研究工作亟待加强;地下水监测、信息数据库、预防系统不完备;流域内水质监管治理不利污染严重。

玛河流域由于资源性缺水 and 生产生活用水不断加剧,水资源日益成为区域经济社会发展的制约因素。为此,众多学者从不同层面提出了水资源开发利用和管理方面的对策和建议,主要包括以下几个方面^[40-44]:① 政府管理职能方面。要充分发挥政府的管理作用,加强水资源的开发利用和保护,做好流域内各项规划和调配工作,实行水资源的统一管理和调度;加强法制建设和宣传工作,提高依法用水,保护水资源的意识;② 建立健全水市场方面。重视水资源的优化配置,科学调配水资源,建立和完善水市场,建立水资源的转移补偿机制,维护各方利益,提高水资源效益;③ 技术手段方面。加强对水资源利用的科学研究和投入,采用合理的节水灌溉措施,建立污水处理设施,防治水污染,合理开发利用非常规水资源,防治水土流失和土壤盐渍化,解决好灌区水利工程存在的问题,统筹利用地表水和地下水等。

6 总结与展望

玛河流域地处西北内陆干旱区,水资源是制约社会经济发展和生态环境建设的主要因素。在近半个世纪以来受到众多学者的广泛关注,在冰雪覆盖变化、河川径流变化特征及其对气候变化的响应、径流变化的模拟预测、地下水、同位素、水资源的开发利用等方面取得了丰富的成果,为科学认识和系统把握绿洲开发对流域水文循环及生态平衡的客观影响提供理论指导和调控依据。

但目前的研究中仍存在一些问题和不足,如缺少对流域冰川水资源的系统研究,对于依赖于冰雪融水补给的内陆河流域,亟待建立冰川变化的定位观测体

系和开展详细的流域冰川模拟预测研究;中下游区要加强社会经济用水和生态用水的科学调配;探究极端气候变化及其对水资源的影响机制;建立健全地下水的监测和信息数据库,防治土壤盐渍化;展开全流域尺度的水循环机理分析等。

参考文献:

- [1] 中国科学院,中国工程院. 加快西北地区发展的几个关键问题[J]. 地球科学进展,2000,15(5):489-498.
- [2] 周兴佳. 新疆绿洲的风沙灾害与减灾对策[J]. 新疆环境保护,1994,16(4):164-170.
- [3] 张宏锋,欧阳志云,郑华,等. 新疆玛纳斯河流域冰川生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报,2009,29(11):5877-5881.
- [4] 史兴民,杨景春,李有利,等. 玛纳斯河流域地貌与地下水的关系[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(3):57-60.
- [5] 袁国映,屈喜乐,李竟生. 中国新疆玛纳斯河流域农业生态环境资源保护与合理利用研究[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1995.
- [6] 徐素宁,杨景春,李有利. 近 50 a 来玛纳斯河流量变化及对气候变化的响应[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(6):65-68.
- [7] 江有成. 新疆玛纳斯河“96·7”特大洪水分析[J]. 水文,1999(6):57-58.
- [8] 雷晓云,何新林. 玛纳斯河洪水规律及其影响因素分析[J]. 水文,1988(4):53-56.
- [9] 仇家琪,王志超. 三十年来新疆冰川研究[J]. 干旱区地理,1987,10(3):28-31.
- [10] 张鸿义. 玛纳斯河—金沟河流域第四季古冰川作用探讨[J]. 新疆地理,1981(7):48-60.
- [11] 鞠远江,刘耕年. 天山玛纳斯河源鹿角湾冰川地貌与冰期序列[J]. 冰川冻土,2005,27(6):907-912.
- [12] 刘志辉,王红娟,裴欢,等. 基于 RS 和 GIS 技术的近 40 年新疆昌吉州冰川变化分析[J]. 新疆大学学报:自然科学版,2005,22(2):127-133.
- [13] 刘海隆,王玲,包安明,等. 基于 MODIS 的玛纳斯河流域冰川积雪覆盖变化特征的分析[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2009,27(6):770-773.
- [14] 马金玲,有平达,刘学工. 玛纳斯河流域近期水文情势变化分析[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(8):31-35.
- [15] 李慧. 玛纳斯河流域气温与降水变化特征分析[J]. 甘肃水利水电技术,2000,46(2):3-5.
- [16] 马金玲,有平达,刘学工. 玛纳斯河流域近期水文情势变化分析[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(8):31-35.
- [17] 唐湘玲,魏文寿. 玛纳斯河流域气候变化对径流变化的影响[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2005,23(6):730-734.
- [18] 高培,魏文寿,刘明哲. 玛纳斯河流域绿洲区气候变化特征分析与预测[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(6):

- 161-167.
- [19] 王东方,张风华,孙自,等.近60年来玛纳斯河流域气候时空变化趋势分析[J].干旱区农业研究,2012,30(5):235-240.
- [20] 唐湘玲.新疆玛纳斯河流域气候变化及其对径流量的影响研究[D].乌鲁木齐:新疆师范大学,2011.
- [21] 侯丽娜,刘慧明,王绍明,等.玛纳斯河流域近30年气候要素变化研究[J].石河子大学学报:自然科学版,2013,31(1):83-89.
- [22] 苏宏超,魏文寿,韩萍.新疆近50年来的气温和蒸发变化[J].冰川冻土,2003,25(2):174-177.
- [23] 侯丽娜,刘慧明,王绍明,等.玛纳斯河流域近30年气候要素变化研究[J].石河子大学学报:自然科学版,2013,31(1):83-89.
- [24] 凌红波,徐海量,张青青,等.1956—2007年新疆玛纳斯河流域气候变化趋势分析[J].冰川冻土,2011,33(1):65-71.
- [25] 王娟,姜卉芳,魏振侠.高寒山区气温垂直分布的估测方法研究:以玛纳斯河为例[J].水资源与水工程学报,2011,22(3):44-47.
- [26] 南峰,李有利,史兴民.新疆玛纳斯河水量波动与气候变化之间的关系[J].水土保持研究,2003,10(3):59-61.
- [27] 袁玉江,喻树龙,穆桂金,等.天山北坡玛纳斯河355a来年径流量的重建与分析[J].冰川冻土,2005,27(3):411-417.
- [28] 凌红波,徐海量,张青青,等.新疆玛纳斯河年径流量时序特征分析[J].中国沙漠,2011,31(6):1639-1646.
- [29] 南峰,李有利,张宏升.新疆玛纳斯河径流波动与北大西洋涛动的关系[J].北京大学学报:自然科学版,2006,42(4):534-541.
- [30] 唐湘玲,龙海丽,邢永建.玛纳斯河流域降水与径流变化及其人类活动的影响[J].新疆师范大学学报:自然科学版,2005,24(3):145-152.
- [31] 凌红波,徐海量,张青青,等.新疆玛纳斯河径流过程的非线性特征[J].自然资源学报,2011,26(4):683-692.
- [32] 王晓杰,刘海隆,包安明.气候变化对玛纳斯河的径流量影响预测模拟分析[J].冰川冻土,2012,34(5):1220-1228.
- [33] 赵丽,何新林,杨广.天山北坡玛纳斯河流域水文随机模型的应用及比较[J].石河子大学学报:自然科学版,2009,27(2):244-247.
- [34] 李慧,雷晓云,包安明,等.基于SWAT模型的山区日径流模拟在玛纳斯河流域的应用[J].干旱区研究,2010,27(5):989-994.
- [35] 刘志明,刘少玉,陈德华,等.新疆玛纳斯河流域平原区水资源组成和水循环[J].水利学报,2006,37(9):1102-1107.
- [36] 杨广,何新林,付杨,等.玛纳斯河流域水资源承载力综合评价研究[J].冰川冻土,2009,31(1):55-58.
- [37] 乔长录,刘昭.干旱区流域水文生态系统质量综合评价研究:以新疆自治区玛纳斯河流域为例[J].水土保持通报,2012,32(2):215-221.
- [38] 凌红波,徐海量,乔木,等.基于AHP和模糊综合评判的玛纳斯河流域水资源安全评价[J].水土保持通报,2010,30(4):989-994.
- [39] 刘浩,王先甲.新疆玛纳斯河流域生态环境需水分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(2):104-109.
- [40] 王振华,何新林,杨广.玛纳斯河流域非常规水资源开发利用现状及可持续对策[J].中国农村水利水电,2004(8):99-101.
- [41] 刘占静,刘李刚.浅析玛纳斯河流域水资源现存的问题与保护措施[J].水土保持研究,2005,12(4):137-138.
- [42] 赵宝峰.干旱区水资源特征及其合理开发模式研究:以玛纳斯河流域为例[D].西安:长安大学,2010.
- [43] 李志忠,韩洪凌.天山北麓的水资源利用与绿洲稳定性:以玛纳斯河流域为例[J].干旱区资源与环境,2004,18(8):137-138.
- [44] 刘旻.新疆玛纳斯河兵团地区水资源可持续利用评价研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2006.