

doi: 10.3799/dqkx.2010.005

# 我国典型海洋型冰川区高海拔区输出水量变化对气候变暖的响应

李宗省<sup>1</sup>, 何元庆<sup>1</sup>, 温煜华<sup>3</sup>, 庞洪喜<sup>1,2</sup>, 贾文雄<sup>1</sup>, 和献中<sup>1</sup>, 蒲 焘<sup>3</sup>

1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室, 玉龙雪山冰川与环境观测研究站, 甘肃兰州 730000

2. 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

3. 兰州大学资源与环境学院, 甘肃兰州 730000

**摘要:** 通过丽江盆地气象水文观测资料研究发现: 冰雪消融加剧, 融水增加, 漾弓江流域径流量明显上升; 高海拔冰雪区消融期提前, 春季径流增加明显; 高海拔冰雪区的径流输出对漾弓江流域水量平衡的贡献量逐年增加, 体现了全球气候变暖背景下高海拔冰雪区对整个流域水循环的重要性。对海螺沟流域实测气象水文资料的分析也表明, 气候变暖背景下, 该流域冰雪区水量输出也逐年上升。两流域高海拔区输出水量的剧烈增加, 明显响应了气候变暖, 表明了流域水循环的加速, 这必然将对区域的发展和资源开发产生重要影响。

**关键词:** 气候变暖; 海洋型冰川区; 玉龙雪山; 贡嘎山; 径流。

中图分类号: P54; X141

文章编号: 1000-2383(2010)01-0043-08

收稿日期: 2009-05-20

## Response of Runoff in High Altitude Area over the Typical Chinese Monsoonal Temperate Glacial Region to Climate Warming

LI Zong-xing<sup>1</sup>, HE Yuan-qing<sup>1</sup>, WEN Yu-hua<sup>3</sup>, PANG Hong-xi<sup>1,2</sup>, JIA Wen-xiong<sup>1</sup>, HE Xian-zhong<sup>1</sup>, PU Tao<sup>3</sup>

1. State Key Laboratory of Cryosphere Science, Yulong Snow Mountain Glaciers and Environmental Observation Station, Cold and Arid Region Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2. State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

3. College of Resources and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

**Abstract:** Based on the the hydrological and meteorological data in Lijiang basin, the precipitation, groundwater and runoff in this typical monsoonal temperate glacier area increase significantly, which suggests that water cycle over the region more rapidly under the climate warming. The increase amplitude of runoff in the downstream region of the glaciated area is much stronger than that of precipitation, resulting from the prominent increase of melt water from Mt. Yulong. It indicates that the contribution made by melt water to runoff increase is great under the climate warming, especially in autumn, winter and spring. It is also obvious in Hailuoguo basin according to the preliminary analysis of the observational hydrological and meteorological data. The results in this paper are significant to study the glacier variation, water balance and glacier disaster in Chinese monsoonal temperate glacier regions.

**Key words:** climate warming; monsoonal temperate glacier region; Mt. Yulong; Mt. Gongga; runoff.

以全球变暖为主要特征的全球变化问题已受到世界各国政府和科学家的普遍关注。IPCC 第四次评

估报告(The Report of IPCC, 2007)指出, 过去 100 年来全球地表温度升高 0.74 °C, 全球变暖幅度自

基金项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划“西部博士资助项目”(No. O828A11001); 国家重点基础研究发展计划(No. 2007CB411501); 中国科学院重要方向性项目(No. KZCXZ-YW-317); 国家自然科学基金项目( Nos. 40971019, 90511007, J0630966, 40801028); 中国科学院研究生科技创新与社会实践资助专项; 冰冻圈科学国家重点实验室自主项目; 丽江市政府委托项目资助。

作者简介: 李宗省(1984-), 男, 博士研究生, 主要从事环境演化与全球变化研究。E-mail: lizxhhs@163.com

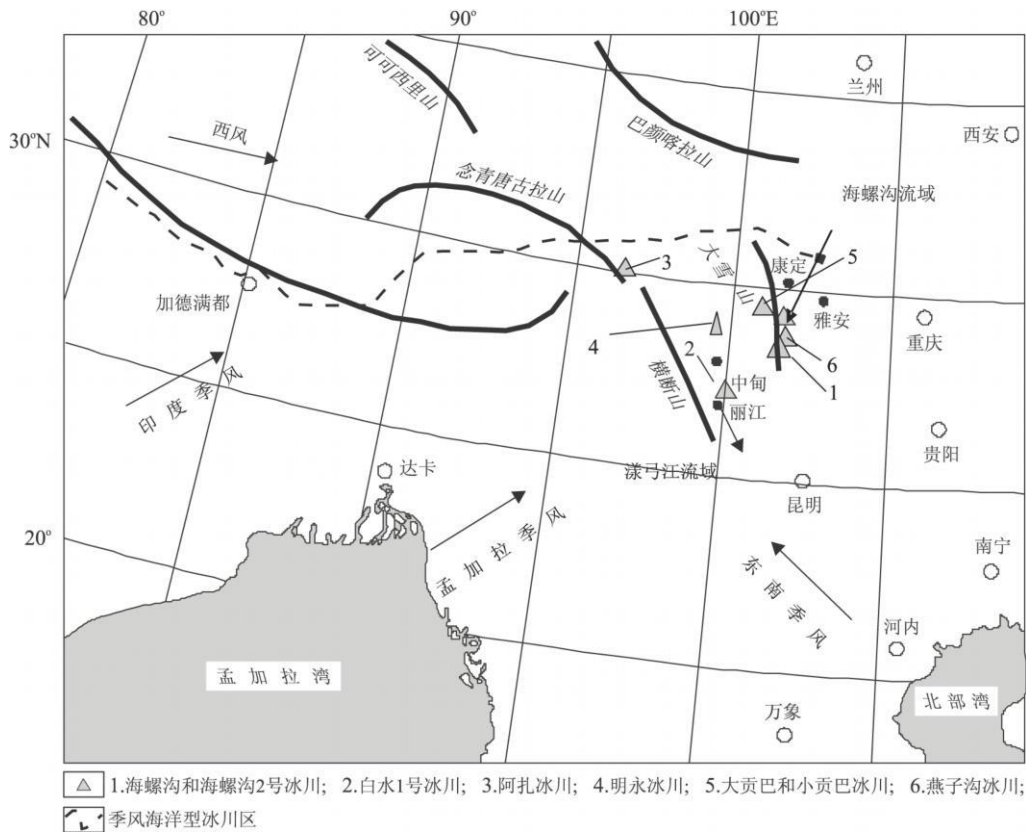


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

20 世纪 90 年代以来明显加大,自 1850 年以来,最暖的 12 年中有 11 年出现在 1995—2006 年时段,未来 100 年全球气温可能升高 1.1~6.4 °C。《中国气候与环境演变》(中国气象局, 2006)最新研究表明,自 1860—2000 年间,全球平均气温上升 0.4~0.8 °C,我国实地观测的气温近百年来上升 0.4~0.5 °C,1951 年以来我国气温明显升高,冬季增温更加显著,从 1986—1987 年冬季开始,我国已连续经历了 19 个“暖冬”。冰川是冰冻圈的主要组成部分之一,是水循环过程中的一个关键环节,是气候变化的放大器和指示器。气候变暖背景下,大多数山地冰川处于退缩状态,特别是 20 世纪 80 年代末以来,山地冰川的显著退缩对全球变暖表现出明显响应,对径流过程、水资源利用、生态环境演化、海平面上升等均产生了显著影响(Meier, 1984; Zuo and Oerlemans, 1997; Singh and Kumar, 1999; 施雅风, 2001; Dyurgerov, 2003; 段其发等, 2007; Ye *et al.*, 2008)。气候变暖背景下,海洋型冰川退缩更为显著,物质亏损更为剧烈(He *et al.*, 2003, 2008; 何元庆和章典, 2004; 李宗省等, 2008a; Li *et al.*, 2008b)。研究海洋型冰川区冰川、径流变化对气候

变暖的响应,可为我国海洋型冰川区水资源管理、山区灾害防治、资源开发等提供参考。本文选择我国典型海洋型冰川区玉龙雪山漾弓江流域和贡嘎山海螺沟流域为研究对象(图 1),初步探讨了流域高海拔区输出水量变化对气候变暖的响应。

## 1 研究区简介

在季风气候控制下,我国青藏高原东南部的横断山、喜马拉雅山东段和南坡以及念青唐古拉山的中段和东段广大高海拔区域(图 1),分布着 8 607 条以积累消融量大、对气候变化反应敏感为特征的海洋型冰川,占我国冰川总面积的 22.2%,是我国西部高山寒区环境的重要组成部分(Shi *et al.*, 2007)。贡嘎山(29°20′~30°20′N, 101°30′~102°15′E)和玉龙雪山(27°10′~27°40′N, 100°9′~100°20′E)是横断山区比较典型的海洋型冰川分布区。漾弓江流域位于玉龙雪山南端(图 1),流域内冰川面积为 2.44 km<sup>2</sup>(蒲健辰, 1994),冰川融水向南注入丽江盆地,最终汇入漾弓江。丽江—玉龙雪山地区主要为石灰岩分布区,岩溶地貌较为发育,因此漾弓江流域降水和冰川融水可以

较容易下渗到地下形成地下水,并在丽江盆地较低的地方涌出地表,形成许多泉眼,重新补给地表径流. 1979 年丽江市水文局在漾弓江设立了木家桥水文观测站,该水文站所控制的流域面积为  $436.8 \text{ km}^2$ ,主要由玉龙雪山山地和丽江盆地组成,其中高海拔冰雪区面积为  $13.8 \text{ km}^2$ ,非冰雪区(平均海拔  $2400 \text{ m}$ )面积为  $423.0 \text{ km}^2$ .海螺沟流域位于贡嘎山东坡(图 1),最终汇入大渡河,流域内共有 8 条冰川,总面积为  $29.66 \text{ km}^2$ (蒲健辰, 1994),流域总面积为  $78.07 \text{ km}^2$ ,整个流域由山地组成,流域最低海拔为  $2920 \text{ m}$ , $3800 \text{ m}$  以下为植被覆盖区,以上为冰雪区.流域水量输入主要是降水和冰雪融水. 1994 年成都山地所贡嘎山站开始了水文观测,水文站位于距海螺沟冰川末端  $1 \text{ km}$  处.

## 2 数据来源

漾弓江流域木家桥水文站 1979—2003 年水文资料取自丽江市水文局,丽江盆地气候资料由丽江市气象局提供.海螺沟流域 1999—2004 年水文资料和海拔  $3000 \text{ m}$  的气象资料由中科院成都山地所贡嘎山站提供.

## 3 结果与分析

### 3.1 漾弓江流域径流变化过程

**3.1.1 丽江盆地降水和径流变化** 从图 2a 和图 2b 看出,1979—2003 年丽江降水量以及木家桥流量增加趋势显著,表明在气候变暖背景下,丽江盆地大气降水补给量和下泄量均显著增加.如图 2c 所示,1979—2003 年木家桥年最小流量的增加趋势也较为显著,表明随着气候变暖丽江盆地地下水对地表径流的补给量也显著增加.为了分析丽江盆地不同季节径流对气候变暖的响应,定义 1979—1988 年这 10 年为升温前期,1994—2003 年这 10 年为升温后期,计算了升温后期(1994—2003 年)木家桥各月流量的 10 年平均值相对于升温前期(1979—1988 年)各月流量平均值的增加百分比(图 3).

木家桥流量在春季(3~5 月)增加最为显著,春季 3 个月流量增加百分比均大于  $100\%$ (图 3a),其他季节径流增加百分比基本上小于  $100\%$ .相关研究表明全球升温背景下,冬春升温最为显著(Bul-tot, 1988; Miller and Brock, 1989; Chapman and

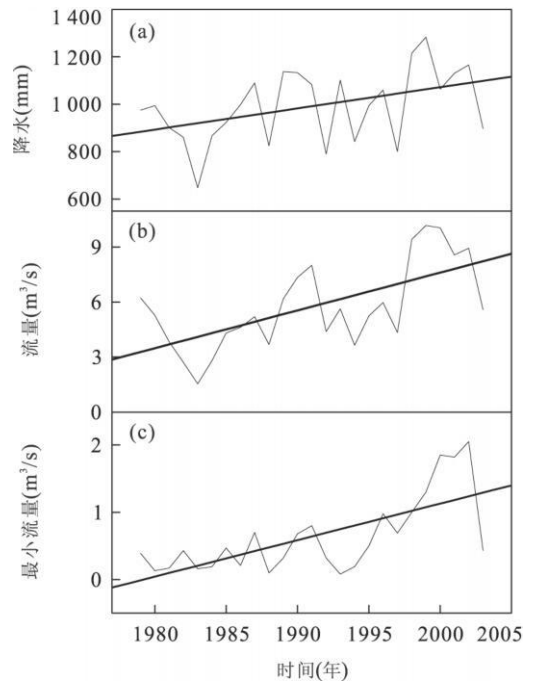


图 2 1979—2003 年丽江年降水量(a); 木家桥水文站年平均流量(b); 1979—2003 年木家桥年最小流量变化(c)(图中的直线为线性趋势线)

Fig. 2 Annual total precipitation variation during 1979—2003 years in Lijiang (a); Annual average discharge variation during 1979—2003 years in Yanggongjian basin (b); Annual minimum discharge variation during 1979—2003 years in Yanggongjian basin (c)

Walsh, 1993; Serreze *et al.*, 2000). 因此,春季显著升温势必增加漾弓江流域高海拔冰雪区融水量,从而使木家桥春季径流量增加最为显著.干季(10月~次年5月)丽江降水量较小,木家桥流量主要受地下水补给控制,因此从冬季到春季流量逐渐减少(图 3b).春季升温较为显著,漾弓江流域冰川区冰雪融水量增加,导致木家桥流量在春季增加最为显著(图 3a).从图 3b 看出,从冬季到春季木家桥流量逐渐减小,这是丽江盆地地下水对漾弓江补给量在干季逐渐减少的体现.同时,升温前期木家桥月最小流量出现在 5 月,而升温后期木家桥月最小流量提前了 1 个月,说明春季的升温使漾弓江流域冰雪区冰雪消融对径流的时间分配上产生显著影响.由图 3 可知,全球变暖背景下,木家桥年际和四季流量均呈显著增加趋势,但春、冬以及秋季流量受气候变暖的影响比夏季更加明显,表明海洋型冰川区水循环的季节结构受全球升温影响显著.

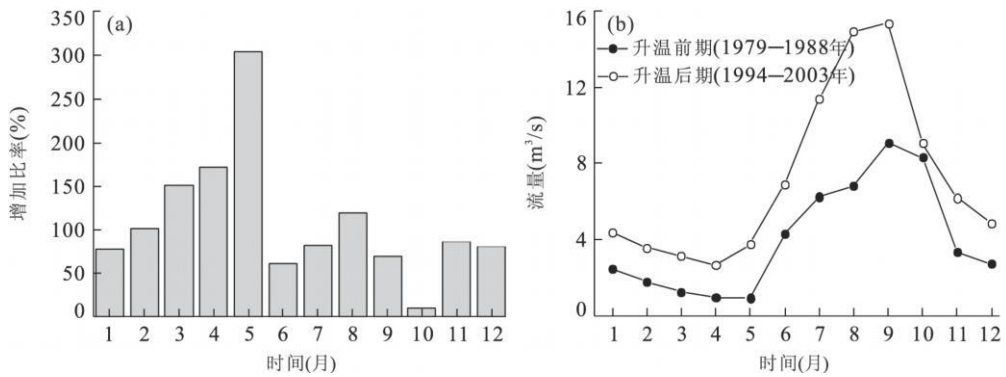


图 3 升温后期(1994—2003 年)相对于升温前期(1979—1988 年)木家桥各月流量增加百分比(a); 升温前期(1979—1988 年)和升温后期(1994—2003 年)木家桥平均流量的季节变化(b)

Fig. 3 Increased percent of monthly discharge between 1994—2003 years and 1979—1998 years (a); the seasonal variation of monthly average discharge between 1994—2003 years and 1979—1998 years (b)

**3.1.2 丽江盆地水量平衡计算** 漾弓江流域高海拔冰雪区面积较小( $13.8 \text{ km}^2$ ), 且没有降水和冰川融水径流观测资料, 所以在进行流域水量平衡计算时, 只考虑漾弓江流域低海拔非冰雪区的平衡(即丽江盆地); 同时, 把漾弓江流域高海拔冰雪区作为丽江盆地的一个水量输入项, 即  $P_{\text{Glacier}}$ , 且不区分冰川区的液体降水量和冰川融水量; 另外, 丽江盆地面积不大且地势比较均一( $423 \text{ km}^2$ ), 近似认为丽江降水量为丽江盆地另外一个水量输入项, 即  $P$ ; 丽江盆地水量输出项包括流域径流量( $D$ )和流域实际蒸发量( $E$ ). 因此, 丽江盆地水量平衡方程可表示为:

$$P_{\text{Glacier}} + P = D + E \quad (1)$$

式(1)中, 实际蒸发量  $E$  可通过流域潜在蒸发量  $E_0$  计算. 根据 Baney-Criddle 模型进行丽江盆地逐月蒸发量  $E_0$  的计算, 杨子生等(1994)研究表明, 用该公式求出的实际蒸发量可以代表整个流域的实际蒸发量, 因此本文采用了该公式所计算的丽江盆地实际蒸发量  $E_0$ . 假设丽江盆地每年水量输入量和输出量保持平衡, 根据公式(1)计算出漾弓江高海拔冰雪区(海拔  $> 4000 \text{ m}$ )每年向丽江盆地输入的水量  $P_{\text{Glacier}}$ . 1979—2003 年  $P_{\text{Glacier}}$  的变化如图 4 所示, 随着气候变暖, 漾弓江流域高海拔冰雪区对下游丽江盆地输入的水量呈增加趋势.

### 3.2 海螺沟流域径流变化过程

**3.2.1 海螺沟流域降水和径流变化** 如图 5a 所示, 1999—2004 年海螺沟流域径流量增加显著, 2004 年的年均流量比 1999 年增加了  $3.33 \text{ m}^3/\text{s}$ , 气温表现出明显的上升势头(图 5b), 而同期降水量(图 5c)和蒸发量(图 5d)呈现出下降趋势, 但是减少的蒸发量远不及增加的径流量, 1999 年和 2004 年

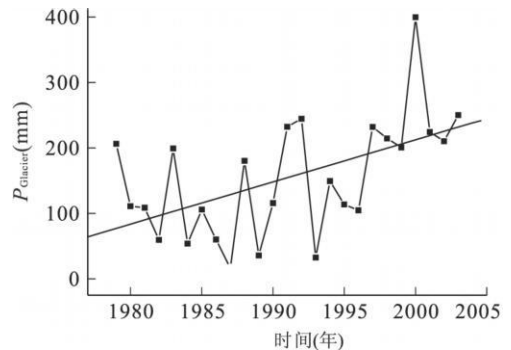


图 4 1979—2003 年漾弓江高海拔冰雪区输出水量变化  
Fig. 4 Annual output discharge variation during 1979—2003 years in snow-glacier covered area of Yanggongjiang basin

对比来看, 蒸发量相对减少了  $103 \text{ mm}$ , 降水量减少了  $55 \text{ mm}$ , 而相对增加的径流深为  $1334 \text{ mm}$ . 表明在气候变暖背景下, 冰川区消融速率加快、消融面积不断扩大和消融期延长, 再加上海螺沟流域冰雪覆盖面积较大, 导致冰雪融水对河流的补给量越来越大. 另外, 海螺沟流域降水量和径流深的季节变化表明, 降水量的峰值出现在 6 月, 而径流深的峰值出现在 8 月, 滞后降水量峰值两个月; 10 月和 4 月的降水量相当, 但 10 月径流深比 5 月高出  $162 \text{ mm}$ , 这表明冰雪融水的不断增加引起了河流水文特征的变化(李宗省等, 2008a). 由于海洋型冰川位于低纬度季风区, 对气候的敏感程度高, 微弱的气温升高将会导致消融量的非线性增加, 这将在一定程度上加速冰川的亏损和流域水循环速度.

**3.2.2 海螺沟流域水平衡计算** 海螺沟流域内冰川覆盖面积较大(占流域总面积的  $37.7\%$ ), 流域水量的收入主要有两项, 非冰雪流域的降水( $P$ ), 冰雪

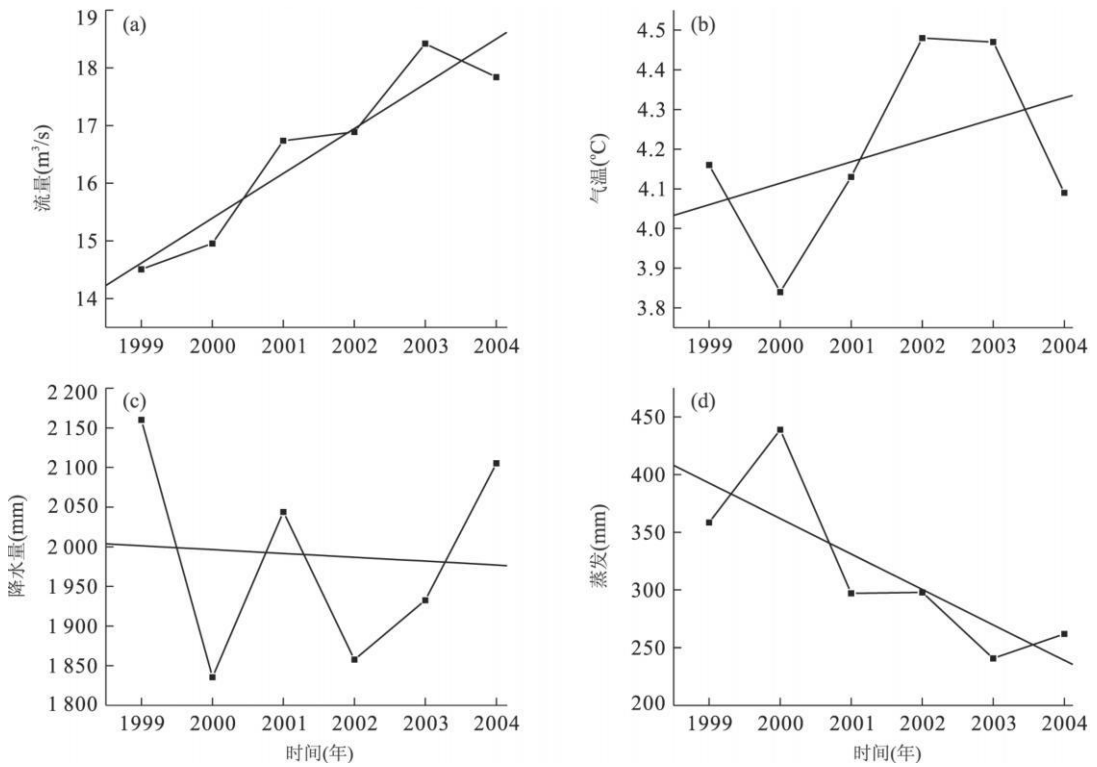


图 5 1999—2004 年海螺沟流域流量变化(a)、气温(b)、降水量(c)和蒸发量的变化(d)

Fig. 5 Variation of discharge (a), temperature (b), precipitation (c) and evaporation (d) during 1999—2004 years in Hailuoguo basin

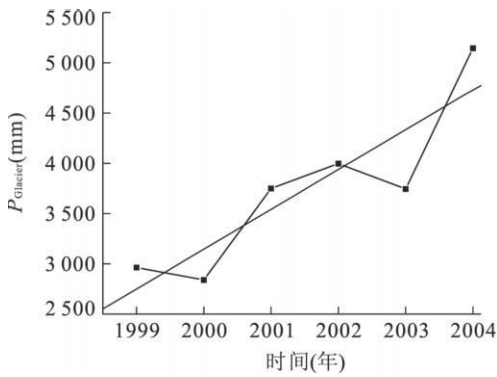


图 6 1999—2004 年海螺沟流域冰川区输出水量变化

Fig. 6 Annual output discharge variation during 1999—2004 years in snow-glacier covered area of Hailuoguo basin

覆盖区域的降水和冰川融水 ( $P_{Glacier}$ ), 支出主要是蒸发 ( $E$ ) 和径流 ( $D$ ). 因此, 海螺沟流域水量平衡方程也可表示为:

$$P_{Glacier} + P = D + E \quad (2)$$

这里  $E$  值采用 3 000 m 高山气象站的实测值计算. 如图 6 所示, 依据公式 (2) 计算发现 1999—2004 年该流域冰雪覆盖区向流域输入的水量呈现出明显上升趋势, 表明气候变暖背景下高海拔冰雪区对流

域的补给量越来越大, 对流域水循环的加速作用明显加大.

## 4 讨论

### 4.1 流域水循环过程

从表 1 看出, 升温后期比升温前期漾弓江高海拔冰雪区水量输出增加的百分比较大, 其原因: 第一, 在全球升温背景下, 高海拔地区降水量的增加幅度大于低海拔地区 (Dyrgerov and Meier, 2000); 第二, 随气温升高, 漾弓江冰雪区消融加剧, 导致融水量显著增加. 木家桥流量的增加趋势比丽江降水量的增加趋势更加显著, 升温后期 10 年 (1994—2003 年) 丽江平均降水量 (1 045 mm) 比升温前期 10 年 (1979—1988 年) 平均降水量 (908 mm) 增加了 15.1%; 而升温后期木家桥 10 年 (1994—2003 年) 平均径流深 (536 mm) 比升温前期 10 年 (1979—1988 年) 平均径流深 (300 mm) 增加了 78.7%. Chiew and McMahon (1994) 在研究了气候变化对澳大利亚 28 个代表流域径流的影响后认为, 降水变化反映在径流响应上常被扩大, 在潮湿和温带地区,

表 1 升温前期 10 年(1979—1988 年)和升温后期 10 年(1994—2003 年)平均丽江降水量、木家桥径流量和  $P_{\text{Glacier}}$  值以及升温后期这些变量相对于升温前期增加的百分比

Table 1 Increased percent of precipitation, discharge and  $P_{\text{Glacier}}$  between 1994—2003 years and 1979—1998 years

	丽江平均降水量(mm)	木家桥年平均径流量(m <sup>3</sup> )	平均 $P_{\text{Glacier}}$ (mm)
1979—1988 年	908	300	110
1994—2003 年	1 045	536	210
增加百分比(%)	15.1	78.7	90.9

径流变化百分率约是降水量的 2 倍。显然,木家桥流量的显著增加不可能完全是丽江降水增加的结果。由于漾弓江流域冰川面积较小,冰川对气温波动的响应比较敏感。丽江升温前期 10 年(1979—1988 年)平均气温(13.02 °C)比升温后期 10 年(1994—2003 年)平均气温(12.77 °C)增加了 0.25 °C。因此,升温后期(1994—2003 年)的剧烈升温,使冰川雪线高度显著上升,冰川消融区面积扩大,而积累区面积缩小,导致冰川雪线处高海拔地带的固态降水将转化为液态降水(Higuchi and Ohata, 1996),不仅增加了冰川区的液体降水量,也使冰川融水量增加。因此,气温升高是漾弓江流域冰雪区对下游丽江盆地的供水量(即  $P_{\text{Glacier}}$ )显著增加的主因。

海螺沟和漾弓江两流域均有海洋型冰川补给,但两流域所处的地理位置、流域面积、流域海拔、流域内部特征等都存在极大差异。例如海螺沟流域冰川面积显著大于漾弓江流域,然而气候变暖背景下冰雪区对流域的水量贡献值都处于年际尺度上的显著增加状态,由此表明气候变暖导致的水循环加速在不同海洋型冰川区均有表现,因此加强对海洋型冰川区水循环的观测研究不仅可以了解气候变暖背景下的水循环机理,而且长序列的观测研究可以揭示我国海洋型冰川区气候、水文系统的互动影响,为全球变化和区域发展提供科学依据。由于流域水文观测资料时间序列较短,更重要的是对流域一些关键要素的观测尚未开展,因此本文中所建立的水平衡方程有一定的局限性,对于海洋型冰川流域水循环过程的机理及其对气候变暖的响应研究还有待于更长时间序列的实测资料。

#### 4.2 升温引起的水循环加快对当地可能产生的影响

20 世纪 80 年代以来,海洋型冰川的显著退缩

表明(He *et al.*, 2003; 李宗省等, 2008a; Li *et al.*, 2008b),海洋型冰川对全球升温反应非常敏感。如果温度持续升高,海洋型冰川区短期内冰雪融水将增加,结合暴雨,在陡峻山势条件配合下,洪水、泥石流、冰岩崩塌将大量发生,将给区域交通、旅游和生产事业的发展带来极大不便,而且全球变暖使海洋型冰川区水文循环加快,加剧山区的水土流失,对山区土壤、生态构成很大威胁。20 世纪 80 年代以来,为了发展区域经济,我国海洋型冰川区的冰雪旅游资源得到了充分开发,形成了丽江玉龙雪山、贡嘎山海螺沟、梅里雪山等一系列享誉中外的著名旅游区,但在全球变暖的背景下,旅游区大型旅游设施(如索道)的安全性需要进一步论证,旅游资源的可持续开发与保护显得尤为重要,因此需要合理利用和保护冰雪旅游资源,并加强对典型流域冰雪区的综合监测和科研工作。

## 5 结语

由于冰雪消融剧烈,漾弓江和海螺沟流域地表径流增加明显,冰雪区对流域的输水量逐年增加,流域水循环过程加快。漾弓江和海螺沟流域地表径流量的显著增加,是本区“大气降水—冰川—地下水—地表径流”系统对全球气候变暖的综合响应。以物质亏损为特征的海洋型冰川的一系列变化,必将对海洋型冰川区的经济发展、水循环、灾害防治、水资源以及生态环境等产生重要影响,因此加强对海洋型冰川区冰川和径流变化的监测工作意义重大。

致谢:对丽江市气象局、水文局及中科院成都山地所贡嘎山站给予的数据支持表示感谢,特别向山地所刘巧助理研究员提供的大量帮助深表谢意!

## References

- Bultot, F., 1988. Repercussions of a CO<sub>2</sub> doubling on the water cycle and the water balance—a case study for Belgium. *Journal of Hydrology*, 99: 319—347. doi: 10.1016/0022-1694(88)90057-1
- Chapman, W. L., Walsh, J. E., 1993. Recent variations of sea ice and air temperature in high latitudes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74(1): 33—48. doi: 10.1025/3222-1694BAMS057
- China Meteorological Administration, 2006. Climate and environment in China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Chiew, F. H. S., McMahon, T., 1994. Application of the daily rainfall runoff model MODHYDROLOG to 28 Aus-

- tralian catchments. *Journal of Hydrology*, 153(1-4): 386-416. doi: 10.1016/0022-1694(94)90200-3
- Duan, Q. F., Zhang, K. X., Wang, J. X. et al., 2007. Sporopollen assemblage from the Totohe Formation and its stratigraphic significance in the Tanggula Mountains, northern Tibet. *Earth Sciences—Journal of China University of Geosciences*, 32(5): 629-637 (in Chinese with English Abstract).
- Dyurgerov, M. B., 2003. Mountain and subpolar glaciers show an increase in sensitivity to climate warming and intensification of the water cycle. *Journal of Hydrology*, 282(1-4): 164-176. doi: 10.1016/S0022-1694(03)00254-3
- Dyurgerov, M. B., Meier, M. F., 2000. Twentieth century climate change: evidence from small glaciers. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 97(4), 1406-1411. doi: 10.1038/PNASS097-4
- He, Y. Q., Li, Z. X., Yang, X. M., et al., 2008. Changes of the Hailuoguo Glacier, Mt. Gongga, China, against the background of global warming in the last several decades. *Journal of China University of Geosciences*, 19(3): 271-281. doi: 10.1016/S1002-0705(08)60045-X
- He, Y. Q., Zhang, D., 2004. Climatic warming is the major reason for glacier retreat on Mt. Yulong, China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 26(2): 230-231 (in Chinese with English Abstract).
- He, Y. Q., Zhang, Z. L., Theakstone, W. H., et al., 2003. Changing features of climate and glaciers in China's monsoonal temperate glacier region. *Journal of Geophysical Research*, 108(D17): 4530-4536. doi: 10.1029/2002JD003305
- Higuchi, K., Ohata, Y., 1996. Specific features of snow and ice regime under the conditions of Central Asia. In: Kotlyakov, V. M. ed., Variations of snow and ice in the past and present on a global and regional scale, 45-51.
- Li, Z. X., He, Y. Q., Jia, W. X., et al., 2008a. Response of the "glaciers-runoff" system in a typical temperate-glacier, Hailuoguo glacier in Mt. Gongga of China to global change. *Scientia Geographica Sinica*, 28(2): 229-234 (in Chinese with English Abstract).
- Li, Z. X., He, Y. Q., Yang, X. M., et al., 2008b. Changes of the Hailuoguo glacier, Mt. Gongga, China, against the background of climate change since the Holocene. *Quaternary International*. doi: 10.1016/j.quaint.2008.09.005
- Meier, M. F., 1984. Contribution of small glaciers to global sea level. *Science*, 226(4681): 1418-1421. doi: 10.1126/science.226.4681.1418
- Miller, B. A., Brock, W. G., 1989. Potential impacts of climate change on the TVA reservoir system. In: Smith, J. B., Tirpak, D., eds., The potential effects of global climate change on the U. S., Appendix A: water resources. U. S. EPA, Washington, D. C., 91-94.
- Pu, J. C., 1994. Glacier inventory of China (the Changjiang river drainage basin). Gansu Culture Press Lanzhou 117-129 (in Chinese).
- Serreze, M. C., Walsh, J. E., Chapin, F. S., et al., 2000. Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment. *Climate Change*, 46(1-2): 159-207. doi: 10.1044/57CC/46-1694-159
- Shi, Y. F., 2001. Estimation of the water resources affected by climatic warming and glacier shrinkage before 2050 in west China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 23(4): 333-341 (in Chinese with English Abstract).
- Shi, Y. F., Huang, M. H., He, Y. Q., et al., 2007. Glaciers and the related Environments in China. Science Press Beijing.
- Singh, P., Kumar, N., 1999. Impact assessment of climate change on the hydrological response of a snow and glacier melt runoff dominated Himalayan river. *Journal of Hydrology*, 193(1-4): 316-350. doi: 10.1016/0022-1694(99)90193-3
- The Report of IPCC, 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Report of working group II of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press Cambridge.
- Yang, Z. S., Xie, Y. Q., Yang, S. W., 1994. The application of  $E/E_0$  in division of dry-wet region and dry-wet climate on Yunnan Province. *Journal of Yunnan University (Natural Science)*, 16(Suppl.): 91-98 (in Chinese with English Abstract).
- Ye, Q. H., Yao, T. D., Chen, F., et al., 2008. Response of glacier and lake covariations to climate change in Mapam Yumco basin on Tibetan plateau. *Journal of China University of Geosciences*, 19(2): 135-145. doi: 10.1016/S1002-0705(08)60032-1
- Zuo, Z., Oerlemans, J., 1997. Contribution of glacier melt to sea-level rise since AD 1865: a regionally differentiated calculation. *Climate Dynamics*, 13(12): 835-845. doi: 10.1007/s00382-000-0112-0

#### 附中文参考文献

- 段其发, 张克信, 王建雄, 等. 2007. 藏北唐古拉山地区沱沱河组孢粉组合及其地层意义. *地球科学——中国地质大*

学学报, 32(5): 629-637.

何元庆, 章典. 2004. 气候变暖是玉龙雪山冰川退缩的主要原因. 冰川冻土, 26(2): 230-231.

李宗省, 何元庆, 贾文雄, 等, 2008a. 中国典型季风海洋型冰川区“冰川-径流”系统的全球变化敏感性研究. 地理科学, 28(2): 229-234.

蒲健辰. 1994. 中国冰川目录(长江水系). 兰州: 甘肃文化出版社, 117-129.

版社, 117-129.

施雅风. 2001. 2050年前气候变暖冰川萎缩对水资源影响情景预估. 冰川冻土, 23(4): 333-341.

杨子生, 谢应齐, 杨绍武. 1994. 蒸发比(E/E<sub>0</sub>)指标在云南省干湿气候区划与干湿气候分类中的应用. 云南大学学报(自然科学版), 16(增刊): 91-98.

中国气象局. 2006. 中国气候与环境演变. 北京: 科学出版社.

\*\*\*\*\*

## 《地球科学——中国地质大学学报》 2010年 第35卷 第2期 要目预告

滇西北维西—德钦一带花岗岩年代学、地球化学和岩石成因.....	高睿等
越南西北部地区 Sinh Quyen 岩组副片麻岩的锆石年龄及其地质意义 .....	HIEU Pham Trung 等
青藏高原冈底斯带中部朱诺地区林子宗群火山岩锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征 .....	梁银平等
粤北大宝山矿区花岗闪长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 .....	王磊等
东天山板块缝合区(带)的构造演化与多金属矿床成矿的关系 .....	木合塔尔·扎日等
峨眉火成岩省内带岩浆硫化物含矿岩体橄榄石的成因意义 .....	官建祥等
祁连山及河西走廊地表干湿变化的时空分布特征 .....	贾文雄等
西天山伊什基里克山早石炭世火山岩浆作用及其成矿 .....	李永军等
东海内陆架泥质区沉积物古菌群落垂向分布特征 .....	张林宝等
基于 CORONA 像对的活动构造变形参数定量提取 .....	陈宁华等
火星表面沙丘中冲沟的成因及对撞击坑壁冲沟成因的启发 .....	岳宗玉等
相干算法提取嫦娥数据月表地质特征 .....	金丹等
数字矿山软件(Quanty Mine)若干关键技术的研发和应用 .....	张夏林等