

天山博格达峰北坡的冰川融水径流 及其对河流的补给

康 尔 泗

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

为了解博格达峰地区冰川在山区径流形成中的作用,作者在1981年参加中日联合博格达峰地区冰川考察中,选择天山东段现代冰川作用最强烈的北坡四工河、甘河子沟和白杨河源头的冰川为研究重点(图1),其中白杨河海拔高度1100米处设有常年水文观测站,控制流域面积252平方公里,冰川覆盖率为9.7%。作者于7月24日至8月3日在

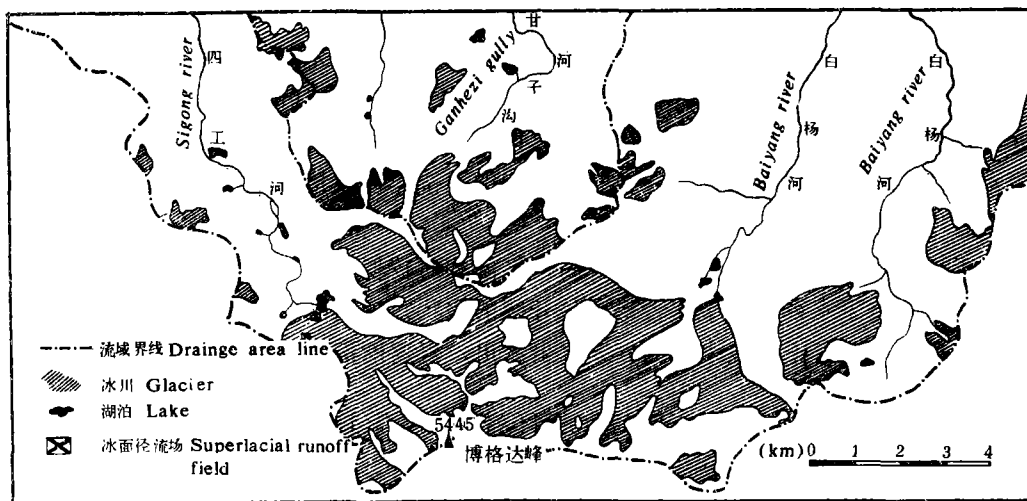


图1 四工河、白杨河和甘河子沟流域冰川分布略图

Fig.1. Skeleton distribution map of glaciers in the drainage basins of Sigong river, Baiyang river and Ganhezigou river

四工河源头博格达扇状分流冰川末端海拔3630米和3700米处,分别设了20平方米冰面径流场,做了七天冰面径流的平行观测(图1)以及气温、风速和云量等气象要素的观测。此外,于8月10日至16日,在四工河中游海拔1700米进行了流量观测。本文在上述工作的基础上讨论博格达峰北坡冰川径流的形成条件、变化特征及冰川径流对河流的补给作用。

一、冰川融水径流的形成条件

本区粒雪线以上具有有利于冰川形成的降水、地形和温度条件,而冰舌区又具有冰川消融的良好条件,从而为冰川融水径流的产生提供了基础。

据野外观测,该地区粒雪线高度大约在海拔3800—3900米。1981年7月25日8时至8月15日20时,在四工河源头海拔3630米处观测得该时段降水量为83.8毫米¹⁾,而在海拔1200米的白杨河水文站降水量仅有7.1毫米。同时段冰舌区降水量平均为70.0毫米¹⁾,是海拔1942.5米的天池气象站降水量的1.4倍。可见高山区降水是相当丰富的。白杨河流域多年平均年径流深为370毫米(1964—1980),根据流域水量平衡,流域内多年平均年降水量应超过370毫米,据伍光和等推算粒雪线平均年降水量达到670毫米。因此,在冰川积累区大气降水的补给是丰富的。

本区在粒雪线以上,为陡峻的峭壁和雪崩槽相间的地形,使得冰川除直接受大气降水补给外,还要受到大量的雪崩和冰崩的补给。在粒雪线以下,山体开阔、平缓,使冰川形成宽阔的冰舌,下伸到海拔3630米左右,开阔的冰舌基本没有连续的表碛覆盖,单个石块星散分布,冰面均匀,起伏不大,灰褐色粉土污化物覆盖度可达50—60%左右,从而使冰川具有较大的消融区和天然污化条件,有利于冰川融水径流的产生。

根据1981年7月25日至8月14日在四工河源头海拔3630米处的气温观测记录和天池气象站同时段的气温观测记录,推求得气温梯度为 $-0.66^{\circ}\text{C}/100\text{米}$,由此推算得冰舌末端5月份和9月份平均气温大体上均在 0°C 以下,只有6—8三个月是正温。又根据白杨河水文站多年的观测资料,6—8三个月集中了全年径流量的73.9%。因此,冰川融水径流高度集中在6—8三个月。

由于该地区冰舌分布的海拔高度较高,气温相对较低,所以冰川热喀斯特现象不发育,没有冰内冰下水系。由于冰舌形态呈开阔的扇状,冰川融水径流在冰面往往形成不固定的水道,而以若干分散水流的方式流出冰川,再逐渐汇流而形成河流的源头。

二、冰川融水径流的变化特征

虽然冰面融水径流的日产流过程和气温的日波动是基本一致的,但每日却显示出不同的特点(图2),天气的阴晴、云量、气温日变化、风速等都对冰面日产流过程有明显的影响。当冰面为积雪覆盖时,增加了反射率,冰面径流量明显减少。如8月1日早晨,冰面积雪厚度为4—6厘米,产流开始时间较冰面无积雪日推迟两小时;冰面开始消融后,产流量也很少,直到下午积雪消融完后,污化的冰面产流量才增多,最大产流时间也相应推迟到16—17时。云、雾对太阳辐射的阻挡,使得冰面消融减弱,产流量显著减少。冰面融水径流的日变化过程与气温的日变化过程有明显的对应现象,如7月27日,冰面气温有两次高值,相应的日产流过程也有两次峰值,一次在12—13时,另一次在

1) 据上田丰、仇家琪的观测资料计算。

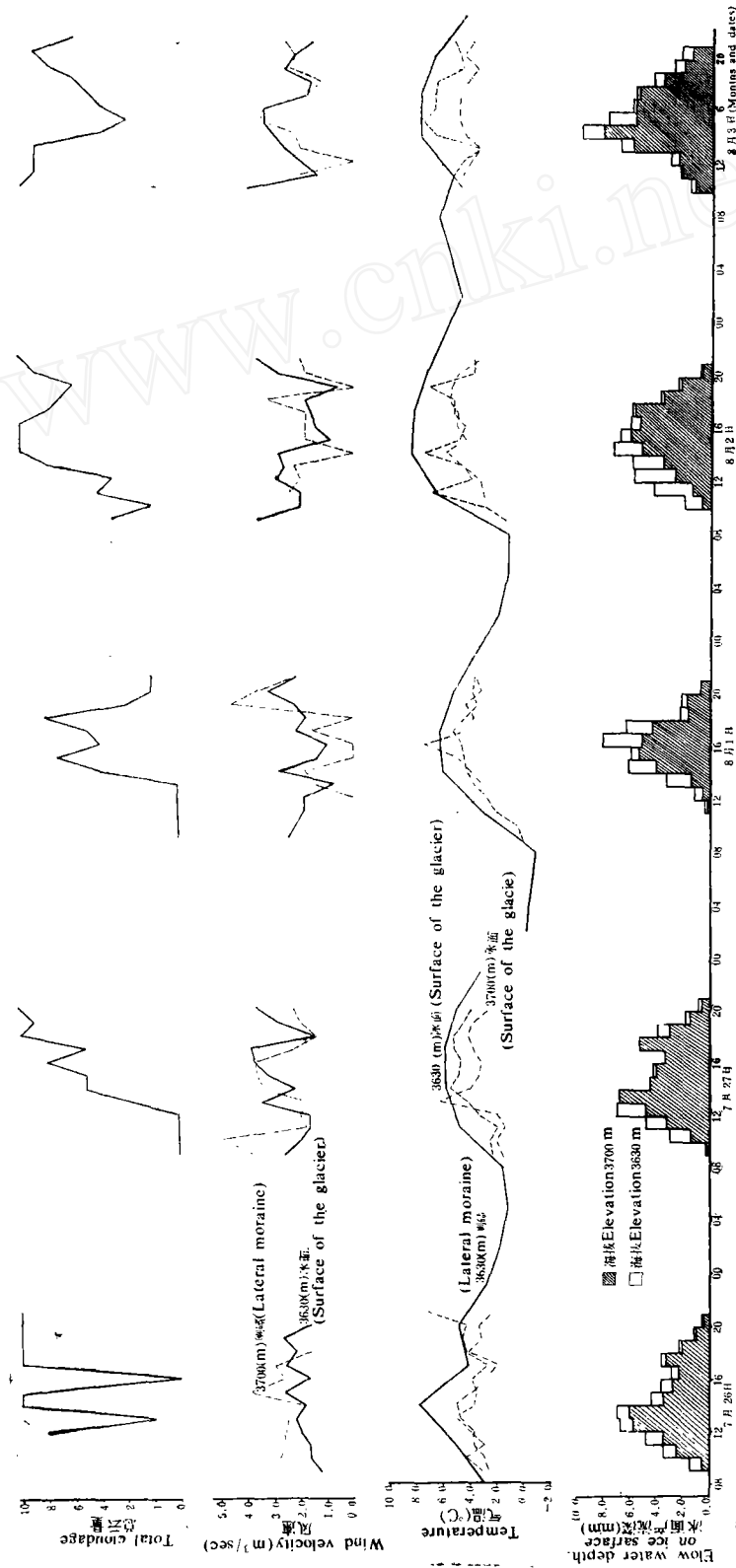


图 2 博格达扇状分流冰川冰舌冰面日产流过程和气象要素变化的关系 (1981)
 Fig.2. The daily processes of glacial surface runoff and meteorological elements on the tongue of Bogda fan-shaped diffidence glacier (1981)

17—18时。风速的变化,也导致冰面日产流过程的多变。

博格达扇状分流冰川和四工河源头4号冰川的融水径流均在冰舌末端首先汇入冰湖中。扇状分流冰川冰舌东端的冰湖面积约5—6平方米,冰川末端冰崖受到湖水的融蚀,经常发生崩塌,促进冰川消融。四工河4号冰川冰舌末端的冰湖是因受终碛垄的阻塞而形成,面积为2000平方米。湖泊的存在,对融水径流起到了一定的调节作用。当融水量大时,湖泊便存储一部分水;而当水量小时又将存储的水放出,一定程度上增加了河流水量变化的稳定性。

根据在四工河海拔1700米处的流量观测,河道径流的日变化与冰川上气温变化有密切的关系(图3)。当冰面气温较高时,河流水量较大,有与冰面气温日变化相一致的流量日变化过程,其位相落后约7个小时,日最大流量出现时间推迟至夜间零时。当冰面气温较低时,冰川融水径流量减少,河道径流量也减少,并且和气温没有相一致的日变化过程,这正是由于湖泊的调节作用所致。所观测到的河流流量远小于流出冰川的融水径流量,这是由于一部分水量潜流于河底,到下游段又逐渐出露,使流量增大。

冰面气温随海拔高度增加而降低,相应的融水径流量也随海拔高度的增加而减少(图2)。海拔3700米冰面径流场在观测时段内日产流量平均只有海拔3630米径流场日产

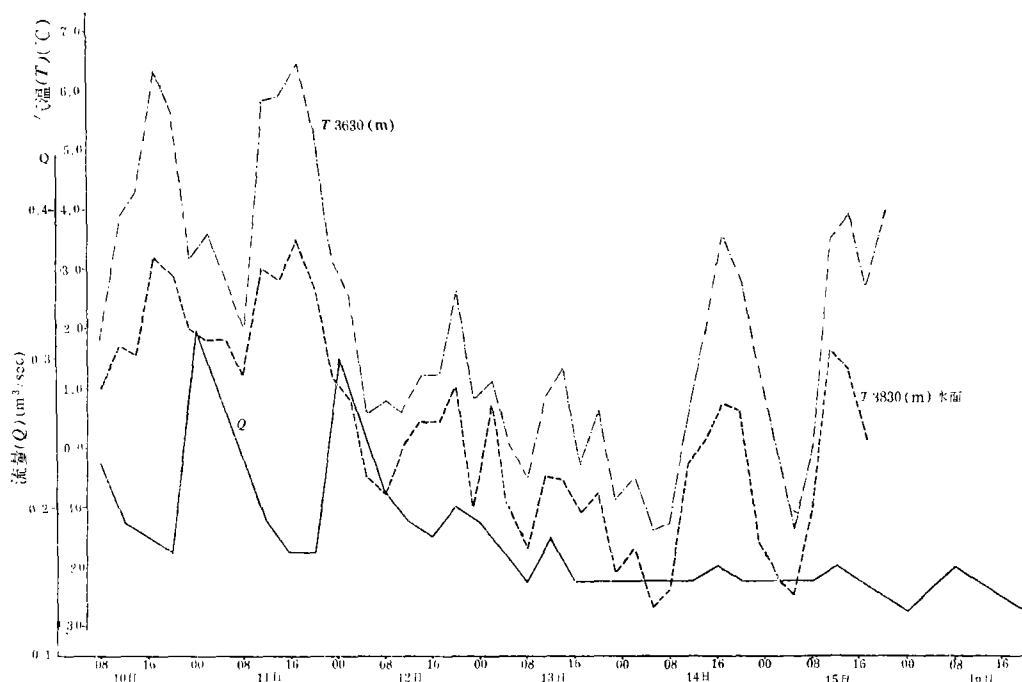


图3 四工河流量(海拔1700米)日过程和冰川区气温日过程的关系(1981年8月)

Fig. 3. The daily discharge hydrography at 1700 m a.s.l. of Sigong river and air temperature curve on the tongue of Bogda fan-shaped diffluence glacier (August, 1981)

流量的81%,日平均气温降低0.69℃。

从气温过程线可以看出,冰面径流场的逐时气温观测过程线起伏较大,这是由于风

速变化所引起的, 其结果是冰面产流的日过程起伏也较大。但从每三小时间隔的气温观测记录(海拔3600米冰川侧碛旁)来看, 则每日有一次比较平滑的气温变化过程, 而冰面产流日过程也表现出和气温的日周期变化相一致的日波动过程。气温能比较综合地反映冰面的热状况, 而风速则是表征乱流交换作用强弱的一个指标。以冰面日产流深 H (毫米) 与冰面日平均气温 T ($^{\circ}\text{C}$) 和日消融时段内冰面 1 米高度的平均风速 V (米/秒) 进行相关, 得出

$$H = 7.0T + 4.4V + 6.4, \quad (1)$$

$n = 12$, 相关系数 $\gamma_{H/TV} = 0.86$, $\gamma_{HT} = 0.83$, $\gamma_{HV} = 0.60$, $\gamma_{TV} = 0.51$ 。由此可见, 在博格达峰北坡, 冰川日消融产流深和冰面日平均气温和风速之间均存在比较好的正线性相关关系。由于考虑了风速, 增加了关系的密切程度, 但和冰面产流关系最密切的仍是气温。

由于该地区冰川冰舌所在海拔高度高差不大, 不到 300 米, 冰舌表面情况又比较一致, 这给我们提供了利用气温估算冰川表面融水径流量的方便。由于冰川表面的气温记录非常有限, 只能借助于附近地区气象台的记录。通过分析, 发现该地区冰川消融期 6—8 月冰面气温和天山气象站(北纬 $43^{\circ}06'$, 东经 $86^{\circ}50'$, 海拔 3539 米) 气温之间有很好的关系。该两处海拔高度和自然条件均比较近似。于是我们利用天山站的气温观测资料来估算该地区的冰川融水径流量。又根据野外考察期间布设在四工河源头冰川表面的消融花杆的观测资料¹⁾, 将冰舌表面划分为不同消融强度的高度带, 从而推求冰舌表面各高度带的冰川融水径流量。这样, 我们得出了利用天山气象站消融期 6—8 月日平均气温估算博格达峰北坡冰川融水径流量的公式:

$$Q = F(0.03T + 0.14). \quad (2)$$

式中: F ——冰川消融区的面积(平方公里);

T ——天山气象站冰川消融期 6—8 月日平均气温($^{\circ}\text{C}$);

Q ——在冰川消融区面积 F 上产生的冰川融水径流日平均流量(立方米/秒)。

利用(2)式计算的白杨河源头冰川1981年7月和8月逐日冰川融水径流量过程线和同时段白杨河水文站观测的流量过程线进行比较(图4), 可见当冰川融水径流过程线的时间座标向右推后两天时, 和水文站的流量过程线就具有比较好的相应变化关系, 两者相当多的峰谷是相互对应的。而水文站流量过程线的有些峰与冰川的谷相对应, 这表明水文站的这些峰值是由中低山带降水形成的。

三、冰川融水径流对河流的补给

从白杨河水文站1979年5—9月流量、降水量和乌鲁木齐气象站700毫巴气温综合过程线(图5)可以看出, 日平均流量洪峰的出现, 往往是在气温的峰值和较大的降水出现之后。从径流的年内分配来看, 5月份和9月份径流量所占的比重不大, 6—8月三个月的径流量最大。从白杨河水文站1964—1978年的统计, 夏季径流量占全年的73.9%, 秋季占12.4%, 春季占9.2%, 冬季占4.5%, 年平均流量变差系数 C_v 值为0.17

1) 根据张文敬的观测。

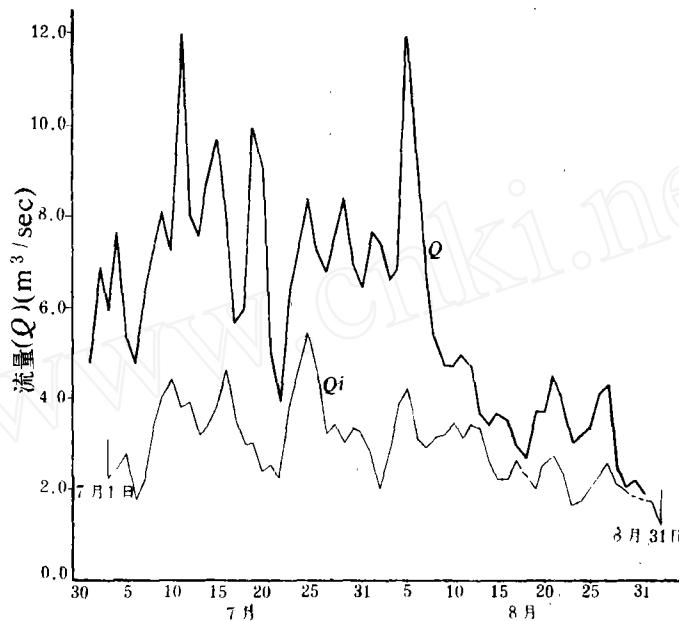


图4 白杨河水文站流量过程线和冰川融水径流计算过程线对比图(1981)

Fig.4. The discharge hydrograph of Baiyang river hydrological station and the calculated discharge hydrograph of glacial meltwater runoff in Baiyang river basin (1981)

(17年的统计)。这种径流变化特征,反映出该河是一条以冰雪融水和雨水补给的河流。冰川消融基本上发生在6—8月份,而这个时段高山带降雪较多,有较多的融雪径流补给,同时中低山带又有雨水补给,因此径流量不仅集中在夏季,而且径流过程线涨落起伏也较大。

根据(2)式,估算了白杨河1976—1980年各年的冰川融水补给量(图6,表1)。从图6可见,冰川融水补给量的变化一般较稳定,个别年偏高或偏低,五年平均为37.6%。降水形成的径流基本上也集中于6—8三个月,但和冰川融水径流相比其集中程度要小一些。根据冰川融水补给比重,推算得多年平均冰川径流模数(以5—9月为计算时段)为72.9公升/秒·平方公里。

因此,在该地区径流的形成中,冰川融水径流起着重要的作用,是山前河流的主要补给水源之一。博格达峰北坡四工河、白杨河和甘河子河流域的冰川面积仅占天山东段冰川面积的9.6%,占博格达峰冰川面积的17.5%,由此推断东天山的冰川融水径流量平均每年约为3.88亿立方米。这对于天山东段的山前干旱地区来说,是非常重要的水资源。冰川融水径流对河道径流起到了一定的多年调节作用。从表1可以看出,白杨河流域气温高的年份,虽然降水量少,但由于冰川融水径流补给量多,河流径流量并不减少;气温低的年份,降水量虽多,但冰川融水补给径流量减少,河流径流量也无显著增大。

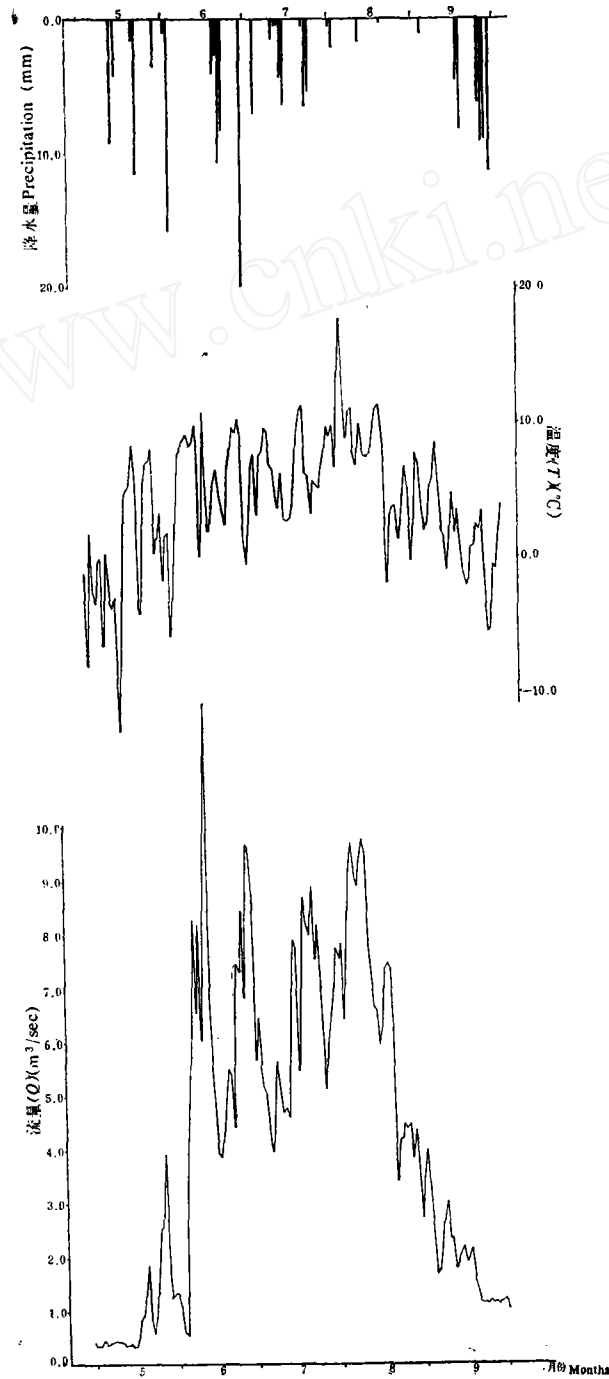


图5 白杨河水文站流量、降水量和乌鲁木齐气象站700毫巴气温综合过程线(1979年5—9月)

Fig. 5. The synthetic hydrography of discharge and precipitation at Baiyang hydrometric station and air temperature at 700 mb of Urumqi meteorological station (May-Sept., 1979)

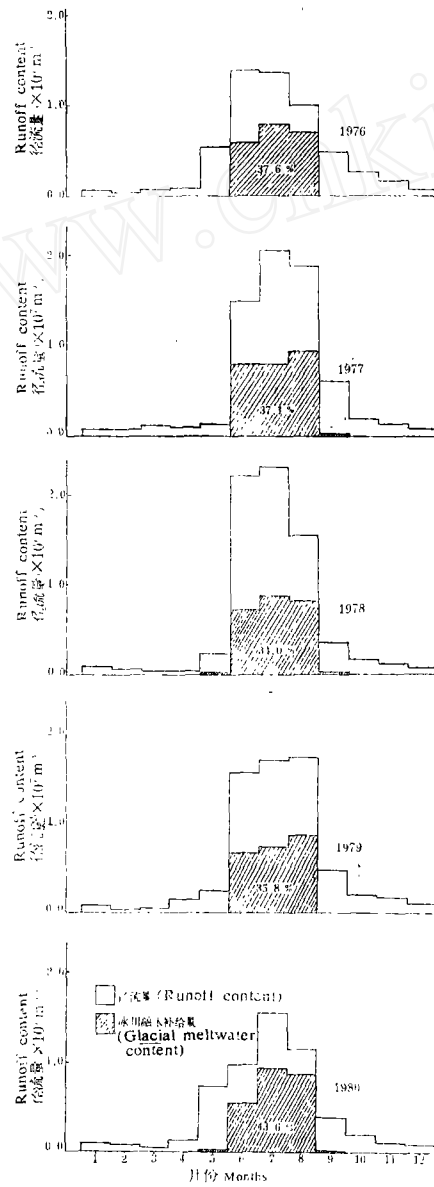


图6 白杨河水文站径流量月分配及冰川融水补给量(1976—1980)
 Fig.6. The monthly runoff distribution and glacial meltwater volume at Baiyang river hydrometric station (1976—1980)

表 1 白杨河水文站年径流量、冰川融水径流补给量与有关站的气温、降水量关系

Table 1. Annual runoff volume, precipitation and air temperature at the hydrometric station of Baiyang river

年 份	白杨河水文站(海拔 1100米)年降水量	天池气象站(海拔 1942.5米)年降水量	乌鲁木齐气象站700毫巴6—8月平均气温	冰川融水径流补给量	年径流总量
Year	Annual precipitation of Baiyang river hydrometric station (1100m) (mm)	Annual precipitation of Tianchi meteorological station (1942.5m) (mm)	Mean air temperature at 700 mb of Urumqi meteorological station (June-August) (°C)	Annual glacial meltwater runoff volume (10^4m^3)	Annual runoff volume (10^4m^3)
1976	—	575.0	5.9	2096	5580
1977	191.5	316.6	7.8	2519	6790
1978	276.3	600.9	7.0	2440	7167
1979	309.2	685.0	6.5	2335	6527
1980	267.0	597.3	6.8	2418	5540

Glacial Meltwater Runoff on the North Flank of Mt. Bogda in Tianshan and Its Contribution to River Flow

Kang Ersi

(Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Academia Sinica)

Abstract

On the high mountain zone of the north flank of Mt. Bogda, the conditions of precipitation, topography and air temperature above the firn line are advantageous to glacial formation, and below the firn line, on the other hand, the tongues are provided with the favorable conditions for ablation, thus, the glaciers are rather capable of producing meltwater runoff. The glaciers, although developing on a small scale, still play an important role in the runoff formation in the mountainous region, for Tianshan Mountains become lower and smaller here, and the runoff produced from the mountains decreases correspondingly.

Although the daily course of meltwater runoff on the glacial surface coincides basically with that of air temperature, because of the influence of the changeable weather in this region during ablation season, it

displays different features every day. There are many glacial lakes, which play a certain role in the runoff regulation, reducing the runoff fluctuation. There is a relatively close relationship of positive multiple linear correlation between daily runoff depth of glacial meltwater, air temperature and wind velocity, but the closest correlation is still between the runoff depth and air temperature. The discharge hydrography and the runoff volume of glacial meltwater can be estimated in this region by means of air temperature data and glacial ablation area, the obtained formula is as follows;

$$Q = F(0.03T + 0.14)$$

where F is the glacial ablation area (km^2); T is the daily mean air temperature ($^{\circ}\text{C}$) at Tianshan Meteorological Station during June, July and August, when the glacial ablation occurs predominately; Q is the daily discharge (m^3/s) of meltwater runoff over the area F . A reasonable result has been obtained by using this formula.

The glacial meltwater runoff is a main feeding source of rivers originating from the mountains, and plays a role of runoff regulation from year to year. The catchment area of the Baiyang River on the flank is only 9.7% glacier covered, but the contribution of glacial meltwater runoff to the river flow accounts annually even for 37.6%. The total runoff volume of glacial meltwater in eastern Tianshan is annually estimated at about $3.88 \times 10^8 \text{ m}^3$.