

中国科学院
兰州冰川冻土研究所集刊

第 7 号

MEMOIRS OF LANZHOU INSTITUTE OF GLACIOLOGY
AND GEOCRYOLOGY, CHINESE ACADEMY
OF SCIENCES

No. 7

中国科学院兰州冰川冻土研究所 编辑

科学出版社

中国科学院
兰州冰川冻土研究所集刊

第 7 号

MEMOIRS OF LANZHOU INSTITUTE OF
GLACIOLOGY AND GEOCRYOLOGY,
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

No. 7

(祁连山冰川、气候及径流变化监测
与寒区水文研究专辑)

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本集汇集了中国科学院资助的重点课题“甘肃河西水土资源及其合理利用”子课题的研究成果,共收录论文 15 篇。内容包括三部分:第一部分,通过冰川物质平衡监测,探讨祁连山冰川近期的变化趋势;第二部分,利用历史文献、树轮和随机水文学方法,论述祁连山区气候与径流变化;第三部分,以典型寒区径流实验流域为例阐述高寒山区水量平衡要素的分布特征及水文环境评价。

本书可供从事自然地理、冰川、水文、气候等方面研究的科技人员,高等院校有关专业师生以及水利、农业等政府决策部门参考和使用。

中国科学院 兰州冰川冻土研究所集刊

第 7 号

(祁连山冰川、气候及径流变化监测与寒区水文研究专辑)

责任编辑 姚岁寒 彭胜潮

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1992 年 6 月第 一 次印刷 印张:9 3/4

印数:1—690 字数:218 000

ISBN 7-03-002796-5/P·551

定 价: 9.00 元

前 言

由温室效应引起的气候变化必将引起高山冰雪资源的变化,最终导致径流及生态环境的变化。

全球气候变化是当今人类面临的一个最严重的生态环境问题。对水资源极为短缺和生态环境十分脆弱的中国西部内陆干旱区来说,气候变化所引起的生态环境效应对工农业生产 and 人民生活更为严峻。

早在本世纪 70 年代中期,由于甘肃河西商品粮基地前期论证的需要和当时气候波动所引起的河流径流变化对工农业的影响,我所受命组织祁连山冰川及利用研究队,于 1975—1979 年连续四次进行考察活动,获得了祁连山区气温较正常年偏低和冰川稳定的结论(参见本集刊第 5 号),暂时消除了人们对冰川资源可能枯竭的忧虑。

进入 80 年代,政府决定加速河西商品粮基地建设。关于河西水资源的变化趋势再次引起人们的关切,特别是全球性气候变化问题引起了国内外科学家的重视。在这种全球性气候变化可能导致地区性气候变化的情势下,深入和扩大祁连山区已经开展的工作自然显得十分必要。

祁连山周围气候记录、树轮分析、历史文献及冰川物质平衡变化监测的研究,进一步证实了 70 年代中期研究的结论,即祁连山区自 60 年代中期以来的降温趋势仍在继续,降水量也没有明显减少,这种情况在祁连山西部表现得极为明显,与此相适应的西部冰川的物质平衡仍然保持着正平衡的趋势,其中 70 年代中期发现的增厚区于近 10 年已经传递到冰舌下部,其余地区冰川的退缩幅度在继续变缓。这与天山地区冰川目前处于连续负平衡及强烈退缩的景象形成鲜明对照,说明全球性的气候变化有着极为明显的区域性特征或位相差异,特别反映在生态环境的影响上更是如此。因此,在全球气候变化的研究中建立区域性的监测网,对于区域性特征的研究就显得相当重要。

径流变化的特点则更为复杂,它既受气候变化的制约,又与河流本身的补给来源及自然地理特征有关。祁连山东部以降水补给占绝对优势的河流,当降水量偏少时,径流量明显减小;而西部冰川补给比例较大的河流,则因气温升高而可得到冰川融水的较大补充。因此,河西地区径流变化趋势预测不只是简单的监测,在研究方法、研究深度与广度方面均比 70 年代中期有较大进展,如对冰川与气候关系的研究、随机水文学方法的应用以及水化学的分析等。

河西内陆河流源于祁连山区,深入评价水资源和环境水文的一个极为重要的研究内容是对典型流域(黑河流域)开展的寒区水文和水量平衡的观测实验研究,标志着中国冰川水文学研究范围已扩大到整个高寒山区,扩大了研究领域,这对水资源的合理利用前景有着极为重要的实际意义。对水资源的利用绝不能只从单项因素考虑,例如在 50 年代末及 60 年代初企图用黑化加速冰川消融的办法来增加河流径流量,以及过量开采地下水,使地下水位不断下降,导致生态平衡恶化。因此,合理利用水资源应该以生态和环境平衡为基础,利用系统工程理论和方法进行宏观综合评价。从水量平衡要素对比观测实验研究

中分析径流形成机制、产流模式以及汇流过程与周围环境的相互作用,正是综合利用水资源的必要前提,特别是在气候与环境变化过程的水文学研究中是十分重要的,这与国际水文计划第四阶段所倡导的宗旨是完全一致的。

总之,本项研究绝不是 70 年代中期那次研究的重复,而是认识过程螺旋式的提高。可以说本集所汇集的研究成果相当于对我国西部干旱区的山区水资源在全球气候变化研究中的一次成功的预研究,也是全面、深入、合理利用河西水资源所必需的前期基础工程。

本集的内容正是中国科学院提出和资助的“六五”重点课题“甘肃河西水土资源及其合理利用”中的一个子课题。课题由谢自楚负责组织,杨针娘、刘潮海、赖祖铭分别负责有关部分,杨针娘负责论文集稿及组织审稿。参加本项研究工作的有康兴成、朱国才、盛文坤、宋国平、曹真堂、胡小刚、杨志怀、张学成、韦尧志、杨惠安、金明燮、王强以及曾皓文等。

施雅风教授对本课题进行了指导,汤懋苍研究员、刘新仁副教授以及曲耀光、苏珍副研究员对论文提出宝贵意见,甘肃省水利厅水文总站,国家气象局,甘肃省气象局,青海省气象局,祁连、野牛沟、托勒气象站,以及黑河水利管理处,扎马什克、祁连水文站等提供水文与气象资料,在此特致谢意。

本集由袁远荣负责编辑,参与编辑工作的还有刘子东、梁红、王新明,李玉芳清绘插图,陈贤章校订英文稿。

谢自楚

1989 年 12 月

中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊

第7号

(祁连山冰川、气候及径流变化监测与寒区水文研究专辑)

目 录

前言	谢自楚 (v)
----	---------

冰 川 变 化

祁连山冰川的近期变化及趋势预测	刘潮海 宋国平 金明燮 (1)
祁连山冰川水资源及其在河川径流中的作用	杨针娘 (10)
祁连山“七一”冰川物质平衡的观测、插补及趋势研究	
.....	刘潮海 谢自楚 杨惠安 韦尧志 (21)
祁连山冰面气温的推算和温度跃动值的确定	刘潮海 (34)
祁连山“七一”冰川表面运动速度	宋国平 刘潮海 金明燮 (40)

气候与径流变化

祁连山区现代气候变化特征	康兴成 (45)
祁连山区历史时期气候变化探讨	康兴成 (54)
甘肃内陆河流径流变化及其气候影响	赖祖铭 (64)
甘肃河西地区河流年径流量过程的分析与模拟	胡小刚 (71)
祁连山东段山区温度变化与径流关系初探	赖祖铭 (84)

寒 区 水 文

祁连山冰沟寒区径流及产流模式	杨针娘 杨志怀 张学成 (91)
祁连山冰沟实验流域径流与气象要素的关系	曹真堂 王 强 (101)
祁连山黑河冰沟流域的水化学特征	盛文坤 曾皓文 (111)
祁连山黑河流域降水时空分布特征	杨针娘 曹真堂 王 强 (121)
祁连山黑河流域水量平衡与水资源	杨针娘 (133)

MEMOIRS OF LANZHOU INSTITUTE OF GLACIOLOGY AND GEOCRYOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

No. 7

(THE MONITORING OF GLACIER, CLIMATE, RUNOFF CHANGES AND THE RESEARCH OF COLD REGION HYDROLOGY IN QILIAN MOUNTAIN)

CONTENTS

Preface.....	Xie Zichu (v)
--------------	---------------

GLACIER VARIATION

Recent Change and Trend Prediction of Glaciers in Qilian Mountain	
.....Liu Chaohai, Song Guoping and Jin Mingxie (1)	
Glacier Water Resources and Effect of Glacier Water in Stream Runoff in Qilian Mountain	Yang Zhenniang(10)
Observation, Interpolation and Trend Study of Glacial Mass Balance on the Qiyi Glacier in Qilian Mountain	
..... Liu Chaohai, Xie Zichu, Yang Huian and Wei Yaozhi(21)	
Calculation of Ice Surface Temperature and Determination of Temperature Jump Value in Qilian Mountain.....	Liu Chaohai(34)
Surface Movement Velocity of the Qiyi Glacier in Qilian Mountain	
.....Song Guoping, Liu Chaohai and Jin Mingxie(40)	

CLIMATE AND RUNOFF VARIATION

The Characteristics of the Recent Climatic Variations Over the Qilian Mountain Area.....	Kang Xingcheng(45)
Study on the Climatic Variation in the Qilian Mountain Region for the Histo- rical Period.....	Kang Xingcheng(54)
Runoff Variation of the Inland Rivers in Gansu Province and Its Climate- Dependence.....	Lai Zuming(64)
Analysis and Simulation of Annual Runoff Processes for Some Rivers in Hexi Region.....	Hu Xiaogang(71)
Analysis of Temperature-Runoff Relationship in the Eastern Section of Qilian	

Mountain..... *Lai Zuming*(84)

COLD REGION HYDROLOGY

Runoff and Its Generation Model of Cold Region in Binggou Basin of Qilian Mountain *Yang Zhenniang, Yang Zhihui and Zhang Xuecheng*(91)

Relationship Between Runoff and Meteorological Element in Binggou Experiment Basin of Qilian Mountain.....*Cao Zhentang and Wang Qiang*(101)

The Hydrochemical Characteristics in Binggou Basin of Heihe River in Qilian Mountain.....*Sheng Wenkun and Zeng Aiwen*(111)

The Distribution Characteristics in Space and Time of Precipitation of Heihe Basin in Qilian Mountain.....
..... *Yang Zhenniang, Cao Zhentang and Wang Qiang*(121)

Water Balance and Water Resources of Heihe Basin in Qilian Mountain.....
..... *Yang Zhenniang*(133)

祁连山冰川的近期变化及趋势预测

刘潮海 宋国平 金明燮

本世纪 70 年代中期,祁连山冰雪利用研究队通过重复固定标志测量、重复地面立体摄影测量、航空像片的野外判读及地植物标志等方法,获得了祁连山近 50 条冰川的进退变化资料,查明冰川普遍处在退缩中;但除东段冷龙岭外,大多数冰川的退缩幅度不大,且有逐年减缓的趋势(谢自楚等, 1985)。近 10 年来,祁连山冰川变化趋势如何,仍然是人们所关注的研究课题。为此,我们于 1984—1985 年对祁连山东、中、西段的水管河 4 号冰川、“七一”冰川和老虎沟 12 号冰川再次进行了重复固定标志测量和地面立体摄影测量,获得了这些冰川变化的最新资料。本文在分析对比以往资料的基础上,进一步探讨了祁连山冰川今后的变化趋势。

一、冰川近期的进退变化

水管河 4 号冰川位于祁连山东段冷龙岭北坡,面积 1.36km²,长 2.1km,属冰斗冰川类型。通过固定标志的重复测量发现,自 1976 年以来,该冰川后退了 71.2m,平均每年后退 8.9m,与 1983 年武筱龄根据王文颖 1976 年设立的固定标志测量结果相吻合(表 1)。由表 1 中的对比资料可以看出,近 10 年来,水管河 4 号冰川退缩幅度大大减缓,只有前 20

表 1 水管河 4 号冰川变化情况

Table 1 Changes of the Shuiguanhe Glacier No. 4

类 型	面积 (km ²)	长度 (km)	末端变化 (m)	年平均变化 (m/a)	观测时段 (年)	资料来源
冰斗冰川	1.36	2.1	-320.0	-16.0	1956—1976	祁连山冰雪利用研究队
			-61.0	-8.7	1976—1983	武筱龄, 末端标志重复测量
			-71.2	-8.9	1976—1984	刘潮海、杨惠安, 末端标志重复测量
			-8.7	-8.7	1983—1984	刘潮海, 杨惠安, 末端标志重复测量

年(1956—1976 年)年平均退缩量的 55%，冰川面积缩小了 0.0132km² (图 1)，也大大小于前 20 年冰川面积缩小 0.2650km² 的数值。

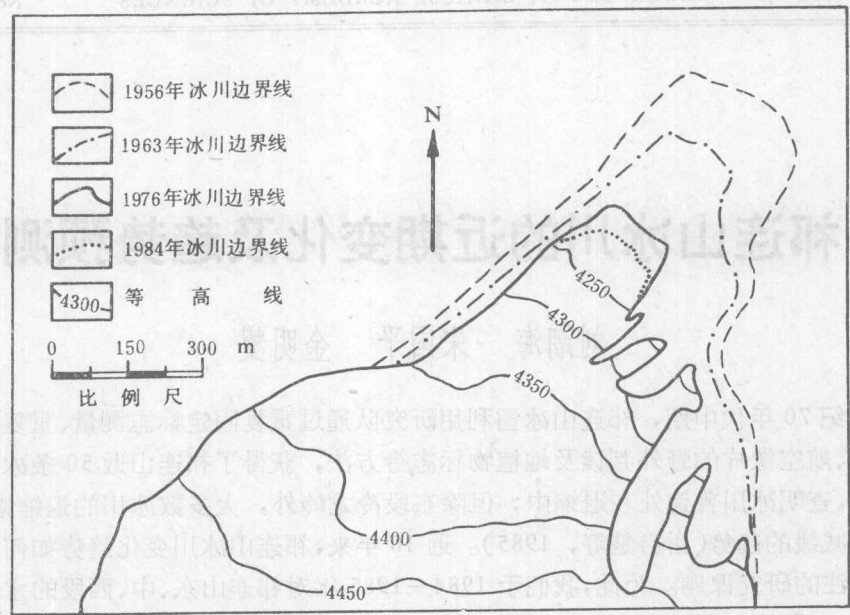


图 1 水管河 4 号冰川冰舌区 1956—1984 年的变化

Fig.1 Changes of ice tongue area of the Shuiguanhe Glacier No. 4 from 1956 to 1984

“七一”冰川位于祁连山中段托来山北坡,面积 2.98km²,长 3.8km,为冰斗-山谷冰川类型。据谢自楚等根据 1956 年航空像片和 1975 年地面立体摄影测量图比较,测得这一期间冰川最大退缩距离为 40m,平均每年后退 2m,面积减少了 0.024km²。1984 年通过冰川末端标志的重复测量发现,近 10 年来冰川最大后退距离为 10m,年平均后退 1m,小于前 20 年年平均退缩量,已基本接近稳定状态。1985 年利用 1975 年设立的测量控制点,再次对“七一”冰川进行地面立体摄影测量成图,并与 1975 年地面立体摄影测量图比较,发现冰川面积缩小了 0.0047km² (图 2),只有前 20 年冰川面积减小量的 20%。在冰川缓慢退缩、冰舌下部(4 500m 以下)继续减薄的同时,4 500m 以上的冰面开始增厚,最大增厚区出现在海拔 4 580—4 620m 之间,平均增厚值为 8m。据计算,海拔 4 650m 以下因冰面升高而增加的冰量约 $6.03 \times 10^5\text{m}^3$ 。

老虎沟 12 号冰川位于祁连山西段大雪山北坡,面积 21.45km²,长 10km,是祁连山最大的复式山谷冰川。1985 年根据 1976 年建立的 8 个固定标志点的重复测量,测得冰川后退距离为 3.3—21.7m,年平均后退 1.3m,小于 1962—1976 年的年平均后退 5m 的幅度。比较 1960,1976 和 1985 年三次地面立体摄影测量图(图 3)发现,前 16 年间,冰舌末端后退 81—100m,冰舌边缘也缩小了 10—40m。冰舌下部海拔 4 575m 以下面积共缩小了 0.1051km²,占该冰川总面积的 0.48%。在此期间,冰舌下部普遍减薄,最大减薄值为 18—22m,海拔 4 575m 以下冰面平均减薄 6m。在海拔 4 600—4 700m 的冰舌中部仍以减薄为主,但有些区域也开始增厚,分布于西支冰川汇合口以上的两侧,最大增厚值约为 10m (孙作哲等, 1981)。后 10 年间,冰舌后退幅度减缓,冰川面积仅缩小了

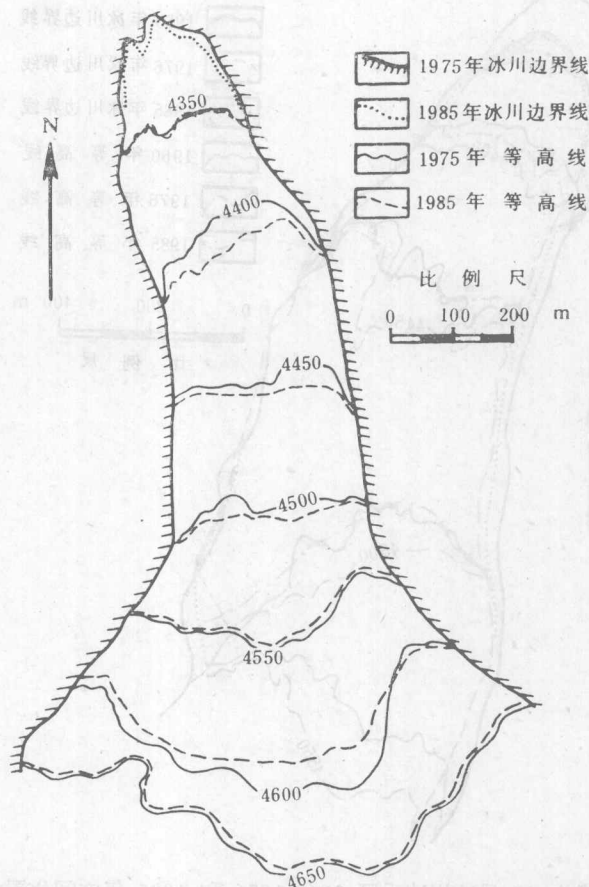


图2 “七一”冰川冰舌区 1975—1985 年的变化

Fig.2 Changes of ice tongue area of the Qiyi Glacier from 1975 to 1985

0.0066km², 只有前 16 年冰舌面积缩小量的 6%。在冰舌缓慢后退的同时, 冰舌区边缘已开始扩展, 其面积增大了 0.0244km²。与此同时, 冰面开始增厚, 增厚区由 1976 年的海拔 4600m 下移到 4380m, 在海拔 4520m 至 4380m 之间的冰舌区平均增厚 6m 左右, 冰储量约增加 $3.608 \times 10^6 \text{m}^3$ 。

二、冰川变化的区域特征

综上所述, 祁连山西段冰川(以老虎沟 12 号冰川为代表)即将转入前进, 中段(以“七一”冰川为代表)已基本接近稳定状态, 东段冷龙岭地区(以水管河 4 号冰川为代表)冰川的退缩幅度也已大大减缓。祁连山冰川变化的这种区域性差异主要是由气候波动的位相不同引起的。影响冰川状况的基本气候要素是夏季气温和降落到冰川区的固态降水。为此, 我们着重分析祁连山东、中、西段的夏季平均气温和降水量的逐年变化。据研究(丁良福等, 1985), 河西走廊和邻近的高山地区之间的夏季平均气温的短周期变化是近似同步的, 因而有可能按河西走廊的敦煌、酒泉和武威气象站的数据分别说明祁连山西、中和东

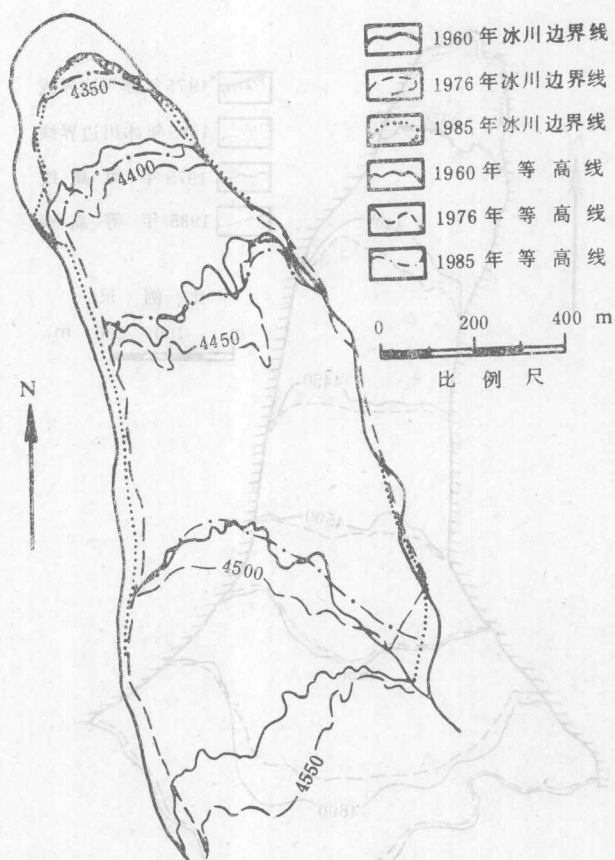


图3 老虎沟 12 号冰川冰舌区 1960,1976 和 1985 年空间位置的变化
Fig.3 Space changes of the Laohugou Glacier No. 12 in 1960,1976 and 1985

段高山区的气候变化趋势 (图 4)。祁连山西段在本世纪 30 年代至 40 年代为相对高温期,其夏季平均气温高出 47 年平均值 0.9°C 。50 年代初以来,除少数年份外,气温总的趋势是下降的。60 年代末以来又持续变冷,其降温幅度又比 50 年代初以来降低约 0.9°C 。祁连山中段的变化趋势与西段基本相似,降温幅度也同西段大体一样。祁连山东段相对高温期一直持续到 60 年代末,长达 28 年之久,直到 1967 年以后才开始降温,其趋势和祁连山中、西段基本相似,但降温幅度不如中、西段大。祁连山西段 60 年代以来降水有所增加,而东段地区则有所减少(汤懋苍等,1984)。根据 М.И. 布迪科等的研究(Будыко, Вишников, 1973),北半球的经向温度梯度是 60 年代比 50 年代强,这意味着 60 年代的行星西风比 50 年代强,从而使受西风环流影响的祁连山西段地区的降水增多,气温下降,而受东南和西南季风影响的祁连山东段地区则有相反的变化趋势。这表明在气候变化总的背景下,各地区的变化又具有差异,这是形成祁连山东、中、西段冰川变化不同步的原因之一。

不同规模、类型和运动速度的冰川,对气候变化的敏感性和滞后性是不一样的。祁连山冰川 60 年代到 70 年代同处于退缩阶段,但退缩幅度东、中、西段相差甚大。这种地区性差异,不仅表现在冰川的近期变化上,而且反映在第四纪末次冰期以来冰川规模的变化

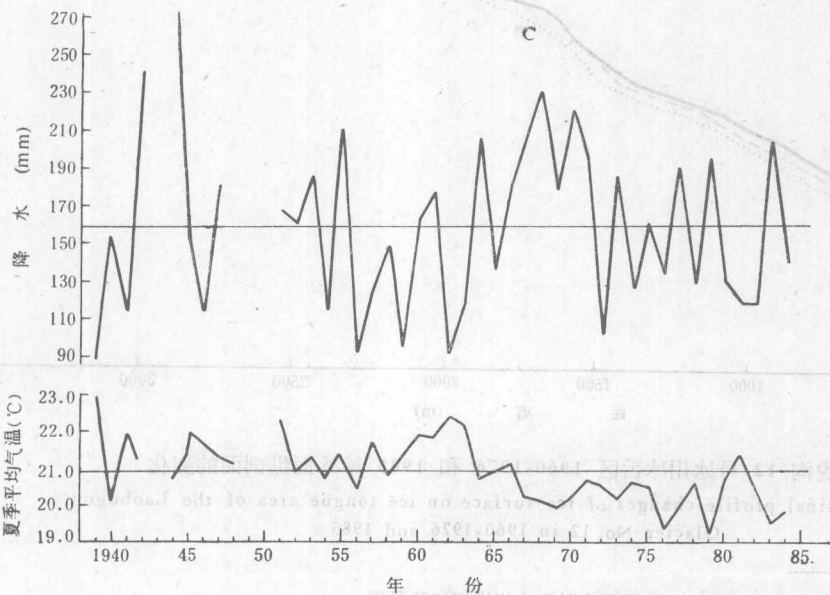
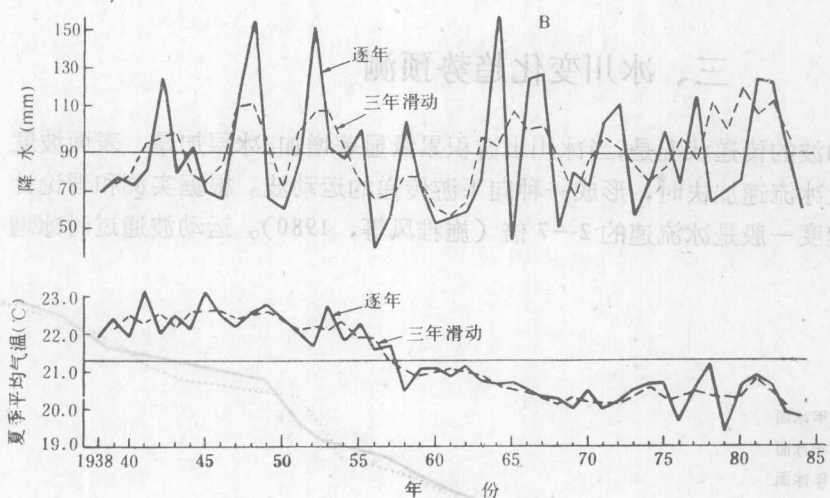
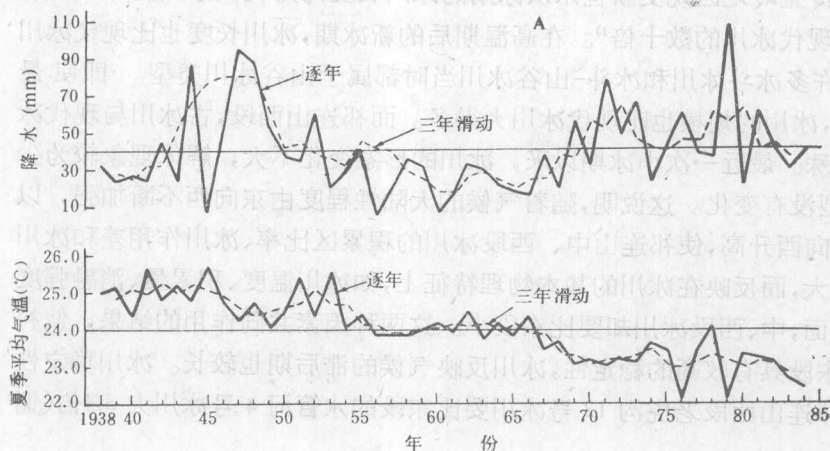


图4 敦煌(A)、酒泉(B)、武威(C)夏季平均气温和降水量的逐年变化以及3年平均滑动曲线
Fig.4 Curves of annual variation and three-year moving average of summer temperature and precipitation at the Dunhuang (A), Jiuquan (B) and Wuwei (C) meteorological stations

范围上。祁连山东段冷龙岭地区晚更新世末次冰期的冰川长度约为现代冰川的 3—5 倍，冰川作用面积相当于现代冰川的数十倍¹⁾。在高温期后的新冰期，冰川长度也比现代冰川长 1—4km，现存的许多冰斗冰川和冰斗-山谷冰川当时都属于山谷冰川类型。即使最近这次小冰期最盛时，冰川的规模也比现代冰川大得多。而祁连山西段，古冰川与现代冰川的差异并不十分悬殊。最近一次小冰期以来，冰川的形态变化不大，解体现象较为少见，大部分冰川的类型没有变化。这说明，随着气候的大陆性程度由东向西不断加强，以及山体海拔高度由东向西升高，使祁连山中、西段冰川的积累区比率、冰川作用差和冰川作用规模都要比东段大，而反映在冰川的基本物理特征上，如冰川温度、积累量、消融强度和物质平衡水平等方面，中、西段冰川却要比东段小。这两种因素共同作用的结果，使祁连山中、西段冰川较东段具有较高的稳定性，冰川反映气候的滞后期也较长。冰川稳定性系数的计算也表明，祁连山西段老虎沟 12 号冰川要比东段的水管河 4 号冰川大 3.4 倍(谢自楚, 1982)。

三、冰川变化趋势预测

冰川运动中运动波的传递状况是，当冰川上游积累量显著增加、冰层加厚、表面坡度变陡、势能增大，以及冰流速加快时，形成一种向下游传递的运动波。根据实测和理论计算，运动波的传递速度一般是冰流速的 2—7 倍(施雅风等, 1980)。运动波通过时冰增

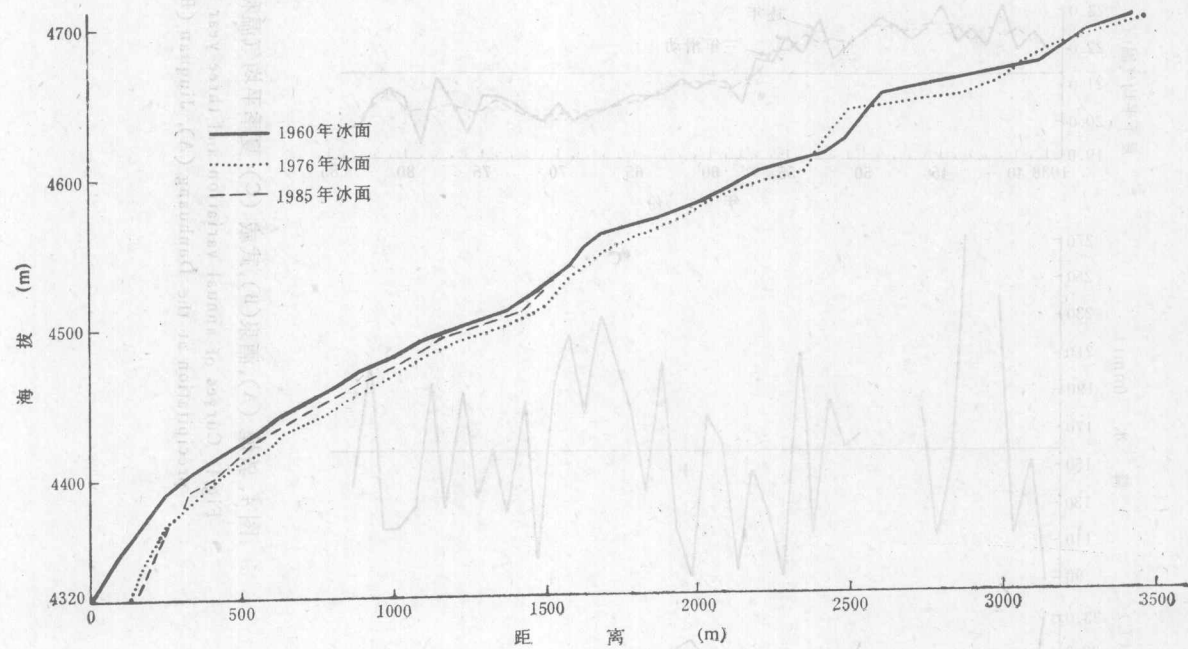


图 5 老虎沟 12 号冰川冰舌区 1960, 1976 和 1985 年冰面纵剖面的变化
Fig.5 Longitudinal profile changes of ice surface on ice tongue area of the Laohugou Glacier No. 12 in 1960, 1976 and 1985

1) 张祥松、苏珍, 1965, 冷龙岭北坡玉木冰期最盛以来冰川进退的阶段性。

厚,冰面坡度和冰流速都起明显变化。若把老虎沟 12 号冰川 1976 年冰面出现增厚的区段作为运动波的前缘,而把 1985 年在冰舌下部测得的冰面壅高的前端视作这一运动波传递到的位置,那么其间距就是该时段内运动波传递的距离(图 5)。经计算,运动波的年平均传递速度为 208m。这一区间平均冰流速取 $33.5\text{m/a}^{1)}$,那么运动波的传递速度约为冰流速的 6 倍。按这一比率计算,冰川物质从积累区开始增加,并通过运动波传递到冰川末端,需要经历大约 30—35 年,即为冰川反映气候波动的滞后期。因此,我们有理由推测,老虎沟 12 号冰川 60 年代(可能还要更早)以来的退缩可能是本世纪 30 至 40 年代相对高温期的反映,而目前即将出现的冰川前进现象则是 50 年代初开始降温和 40 年代中期降水偏多的反映。

冰川末端的进退来源于冰舌部分冰量的增减。当冰川上游积累量增加,冰层变厚时,便使其冰流速加快,并通过运动波传递到冰川末端。当输送到冰川末端的冰量超过其消

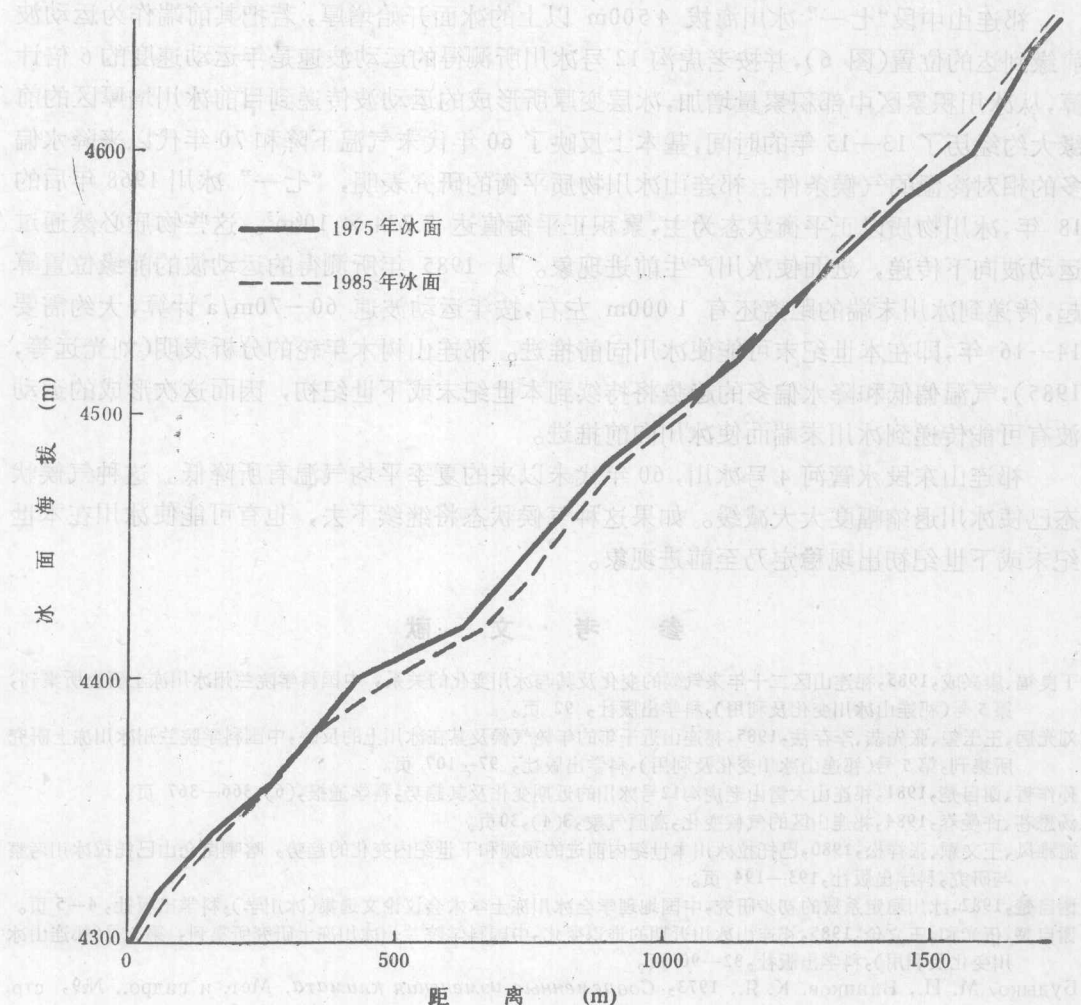


图 6 “七一”冰川冰舌区 1975 年和 1985 年冰面纵剖面的变化

Fig.6 Longitudinal changes of ice surface on ice tongue area of the Qiyi Glacier in 1975 and 1985

1) 任炳辉、孙作哲,1962,老虎沟 12 号冰川的运动特征。

融后退量时,就产生冰川前进;反之冰川后退。根据1985年冰川运动波的前缘位置算起,这一运动波传递到1985年冰川末端的位置将需要大约2年的时间,即在1987年冰川末端将向前推进。根据冰川运动速度递减法预测冰川前进的原理进行计算,该冰川将向前推进50—60m。1985年老虎沟12号冰川冰舌下部的冰面虽然较1976年有所增厚,但还没有达到1960年时的冰面高度,因而这次冰川前进不可能恢复到1960年冰川末端的位置,是一次较小的冰川波动现象。本世纪60年代末以来的降温幅度要比50年代初开始的降温幅度大得多。根据丁良福等的资料(丁良福等,1985),祁连山西段(以大雪山站为代表)1968年后10年的夏季平均气温较其前10年平均下降约 1.4°C ,70年代以来降水又有偏多的趋势。这种相对冷湿的气候条件使冰川零平衡线下降,冰川物质平衡连续出现正值,这不仅加强了这次运动波的向下传递,而且必然通过运动波将增加的冰量再次传递到冰川末端,因而在这次冰川较小的波动后,还有可能出现较大的冰川前进现象。

祁连山中段“七一”冰川海拔4500m以上的冰面开始增厚,若把其前端作为运动波前缘到达的位置(图6),并按老虎沟12号冰川所测得的运动波速是年运动速度的6倍计算,从冰川积累区中部积累量增加,冰层变厚所形成的运动波传递到目前冰川增厚区的前缘大约经历了13—15年的时间,基本上反映了60年代末气温下降和70年代以来降水偏多的相对冷湿的气候条件。祁连山冰川物质平衡的研究表明,“七一”冰川1968年后的18年,冰川物质以正平衡状态为主,累积正平衡值达 $7.734 \times 10^6 \text{m}^3$ 。这些物质必然通过运动波向下传递,进而使冰川产生前进现象。从1985年所测得的运动波的前缘位置算起,传递到冰川末端的距离还有1000m左右,按年运动波速60—70m/a计算,大约需要14—16年,即在本世纪末可能使冰川向前推进。祁连山树木年轮的分析表明(刘光远等,1985),气温偏低和降水偏多的趋势将持续到本世纪末或下世纪初,因而这次形成的运动波有可能传递到冰川末端而使冰川向前推进。

祁连山东段水管河4号冰川,60年代末以来的夏季平均气温有所降低。这种气候状态已使冰川退缩幅度大大减缓。如果这种气候状态将继续下去,也有可能使冰川在本世纪末或下世纪初出现稳定乃至前进现象。

参 考 文 献

- 丁良福、康兴成,1985,祁连山区二十年来气候的变化及其与冰川变化的关系,中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊,第5号(祁连山冰川变化及利用),科学出版社,92页。
- 刘光远、王玉玺、张先恭、李存法,1985,祁连山近千年的年轮气候及其在冰川上的反映,中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊,第5号(祁连山冰川变化及利用),科学出版社,97—107页。
- 孙作哲、谢自楚,1981,祁连山大雪山老虎沟12号冰川的近期变化及其趋势,科学通报,(6),366—367页。
- 汤懋苍、许曼春,1984,祁连山区的气候变化,高原气象,3(4),30页。
- 施雅风、王文颖、张祥松,1980,巴托拉冰川本世纪内前进的预测和下世纪内变化的趋势,喀喇昆仑山巴托拉冰川考察与研究,科学出版社,193—194页。
- 谢自楚,1982,冰川稳定系数的初步研究,中国地理学会冰川冻土学术会议论文选集(冰川学),科学出版社,4—5页。
- 谢自楚、伍光和王立伦,1985,祁连山冰川近期的进退变化,中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊,第5号(祁连山冰川变化及利用),科学出版社,82—90页。
- Будыко, М. И., Винников, К. Я., 1973, *Современные изменения климата*, Мет. и гидро., №9, стр. 3—13.

