

中国科学院
兰州冰川冻土研究所集刊

第 6 号

科学出版社

中国科学院 兰州冰川冻土研究所集刊

第 6 号

(冰川积雪冻土遥感应用研究专辑)

科学出版社

1988

内 容 简 介

本号集刊汇集了有关遥感技术在冰川、积雪、冻土研究中的应用论文共19篇。其内容分四部分：第一部分论述了应用陆地卫星 MSS, RBV 影像和数据磁带研究我国13个典型冰川作用区的现代冰川分布特征以及近十多年来冰川末端的进退变化状况；第二部分阐述了利用诺阿/泰罗斯-N 系列气象卫星遥感资料监测祁连山区大范围积雪动态变化,山区积雪判读,流域积雪面积测量,卫星影像几何校正,山区积雪分布特征以及黑河、黄河上游刘家峡水库春季径流预报预测等；第三部分介绍了遥感冻土调查方法和多年冻土区最佳遥感时段的选择等；第四部分论述了长江中游马鞍山地区水体反射光谱特性,最佳波段选择以及地物光谱数据库的建立和管理方法。

本集刊可供从事自然地理、冰川、积雪、冻土、水文遥感方面研究的科技工作者以及高等院校有关专业的教师、研究生参考和使用。

中国科学院 兰州冰川冻土研究所集刊

第 6 号

(冰川积雪冻土遥感应用研究专辑)

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

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

*

1988 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1988 年 8 月第一次印刷 印张: 10 1/4 插页: 8

印数: 0001—1,220 字数: 247,000

ISBN 7-03-000431-O/P·73

定价: 4.70 元

前 言

遥感技术是本世纪六十年代蓬勃发展起来的一门新兴的科学。它是以飞机、火箭或人造地球卫星等作为运载工具,将各种遥感传感器带到低空、高空乃至外层空间,接收、记录地球表面及大气各种物体反射或发射出不同波长的电磁波辐射信息。这些五维的遥感资料,经过光学或计算机数字图像处理及解释分析,以达到监测地球环境或勘察地球自然资源的目的。遥感技术集中了当代空间科学、电子学、光学、计算机科学以及地球科学的最新成就。它是一门建立在物理手段、数学方法和生物、地学规律基础上的综合性应用技术系统,在为国民经济建设服务过程中已获很大发展并取得了显著的社会效益和经济效益;同时还推动了生物学和地球科学的进步。因此,各国政府都投入大量人力和财力来发展本国的遥感事业。

遥感技术是手段,它只有与生物、地学等学科相结合才能发挥出这门技术手段的先进性。所以说,遥感应用是发展遥感技术的出发点,同时也是遥感技术的归宿。在诸多遥感应用领域中,冰雪遥感当推其首。早在六十年代初期,冰雪科技工作者就利用无云状况下“艾托斯”、“泰罗斯”气象卫星云图,分析陆地大范围积雪覆盖和海冰活动。经过各国冰川学家和遥感专家近三十年的努力,目前冰雪遥感已发展到一个新阶段,其特点有如下几方面:

- (1) 已由试验阶段逐步转入业务应用;
- (2) 由可见光、近红外遥感向全天候微波遥感(主动或被动)发展;
- (3) 由积雪覆盖范围的静态判读向积雪动态监测和融雪径流预报方向发展;
- (4) 由粗略判读积雪冰川分布范围向精确调查方向发展。例如,应用各种遥感资料确定冰川物质平衡、冰川运动,和计算积雪水当量等;
- (5) 由单一遥感资料判读向多种遥感资料复合及地理信息系统应用发展;
- (6) 继续加强不同状态下冰雪波谱特性(包括微波)研究和冰雪遥感信息提取方法探讨;
- (7) 开展双边(国家)或多边协作,监测全球或地区性大范围冰、雪动态变化。

由于“文化大革命”的干扰,我国遥感工作起步较晚,而冰雪遥感更属后进。1977年,在中国科学院大气物理研究所陶诗言教授、地理研究所陈述彭研究员和我所名誉所长施雅风教授的关怀鼓励下,我所在国内首次应用诺阿-5号卫星的高分辨率(VHRR)和低分辨率(APT)云图研究东北和华北地区积雪和融雪径流,取得了初步成功。这一开创性工作,大大地鼓舞了我们继续深入探讨遥感应用新领域的信心。1978年,我所成立遥感遥测研究室;1983年独立组建寒区遥感应用研究室。几年来,在中国科学院地学部和中国科学院兰州分局的领导和支持下,我所遥感工作从无到有逐步成长壮大。现已建成光学图像处理系统,计算机数据图像处理系统,以及地物波谱(可见和近红外)野外测试系统;同时积极承担中国科学院下达的各项任务,先后参加了1978年“腾冲地区航空遥感”(院重点项目,获1985年国家级科技进步二等奖),“我国地球资源技术卫星最佳工作波段

选择”(院重点项目),“四川二滩航空遥感”,“安徽马鞍山航空遥感”以及“祁连山积雪卫星监测及河西地区春旱缺水期间径流形成与预报”(院“六五”重点项目)等研究课题,还承担了大量的地方生产任务,取得了一批可喜的成果,其中有的已为国内有关部门和国外学者所应用,一批具有一定水平的科学论文先后在《中国科学》,《科学通报》,《土壤学报》,《冰川冻土》和《中国沙漠》等学术刊物上发表,为我国遥感事业和冰川冻土学科的发展做出了贡献。

本号集刊收集的 19 篇论文、报告,主要是“六五”期间的研究成果和过去尚未公开发表的文章,其内容涉及冰川、积雪和冻土遥感调查以及地物波谱特性研究。

冰川遥感研究 1980 年,我所与美国地质调查局水资源部合作编制了“世界冰川卫星影像图”(美方即将出版)。在编制中,我们应用陆地卫星 MSS,RBV 影像,结合地面资料,详细分析了我国天山、昆仑山、祁连山、喜马拉雅山以及唐古拉山等 12 个典型冰川作用区的现代冰川分布特征,提出了应用 MSS 影像测量冰川末端运动速度的方法及误差分析。研究表明,上述冰川作用区,近几年来现代冰川后退速度有所减缓,有的已处于停顿状态,有的甚至由后退转为前进。喀喇昆仑山是全球中纬度地带现代冰川最为发育的地区,应用陆地卫星 MSS 影像编制的 1:50 万的喀喇昆仑山卫星影像图,为冰川学家研究本区现代冰川分布、进退变化以及冰湖溃决等提供了十分宝贵的资料。此外,以青海省新青峰冰川群为例,利用陆地卫星 MSS 的计算机兼容数据磁带(CCT),采用增强和非监督分类等方法提取冰川表面有关信息,以提高目视解释精度并使之更定量化。

积雪卫星监测与融雪径流预报 这部分主要以祁连山为例,应用 NOAA/TIROS-N 气象卫星甚高分辨率(AVHRR)、低分辨率(APT)影像和 CCT 磁带以及少量陆地卫星 MSS 影像资料,采用光学和计算机数字图像处理,提出了确定山区积雪分布,积雪地区卫星影像几何校正,和山区流域积雪面积的统计方法,相应软件与误差估计,以及山区大范围积雪随时间、空间的变化特征。此外,根据卫星影像获得的流域雪盖面积数据并结合地面水文、气象资料,建立了黑河 4—6 月上旬一天、二天和五天(候)径流量预报模式和春季总径流量长期趋势预测。经实际检验,上述预报精度在允许误差范围的保证率达 80% 以上,符合业务部门的要求。并与黄河上、中游水量调度委员会合作,应用此成果预报 1985—1986 年 4—5 月刘家峡水库入库流量取得成功,在水力发电和农业灌溉方面收到了显著的效果。最后详细分析了河西地区春季(3 月下旬至 6 月上旬,下同)河流径流特征及周期变化规律。研究表明,河西地区河流的春季径流普遍存在 3, 5, 8 和 13 年变化周期,并以黑河流域为界,东、西部河流春季径流变化不完全同步。

冻土遥感调查 通过在青海省热水地区的观测研究,首次提出多年冻土地区最佳遥感时段为每年春季和秋季的黎明;在可见光区,冻土与非冻土区冬、春季的波谱特性差异不大,但夏季两者相去较远;根据冰川粒雪线和冰舌末端海拔高度等相关信息,确定祁连山多年冻土下界的方法,经实际验证,精度可靠。此外,应用陆地卫星多光谱(MSS)的数据磁带(CCT),通过图像增强和信息分离等方法,提取多年冻土地区的环境信息,为研究多年冻土与环境相互作用提供依据。

地物波谱研究 “六五”期间,我所投入了相当多人力物力开展此项遥感应用基础研究。东起长江中游的芜湖,西至新疆的天山,南抵湘、桂交界的南岭,从高山冰川到戈壁沙漠及亚热带丛林,在不同自然地理带,对不同状态下的冰、雪、冻土、土壤、植被、水体和

岩石等地物进行大规模反射光谱 ($0.38-1.2\mu\text{m}$) 测试,测得了一批十分可贵的关于各种地物反射波谱特性及其物理、化学参数等资料,为资源卫星遥感传感器最佳工作波段选择和图像处理等提供了依据。这些成果大部分都已公开发表,这里仅刊载地物波谱数据文件库设计、管理方法及马鞍山地区各种水体反射光谱特性等方面的论文。

由于业务水平有限,各文中错误在所难免,敬请读者不吝赐教。

本集刊由袁远荣负责编辑,工作中得到曹梅盛、陈贤章和冯学智等同志大力协助。李玉芳、祝国存清绘插图,在此一并致谢。

谢自楚 曾群柱

1986年11月7日

中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊

第 6 号

(冰川积雪冻土遥感应用研究专辑)

目 录

前言.....	谢自楚 曾群柱 (v)
中国若干地区冰川卫星影像解释.....	施雅风 米德生 曾群柱 (1)
珠穆朗玛峰地区若干冰川特征的卫片判读.....	曹梅盛 米德生 金德洪 (15)
喀喇昆仑山卫星影像略图(1:50万)说明.....	米德生 刘景璜 金冬梅 (21)
青海可可西里湖幅陆地卫星 CCT 数字图像的计算机处理与冰川特征解释.....	冯学智 曾群柱 金德洪 (23)
用气象卫星影像测量祁连山积雪.....	刘政凯 张顺英 (29)
祁连山积雪卫星监测与河西地区春季径流特征.....	曾群柱 张顺英 陈贤章 冯学智 王 建 (40)
利用陆地卫星影像分析祁连山黑河流域的积雪.....	陈贤章 (49)
祁连山黑河流域的积雪分布.....	王 建 (55)
祁连山黑河融雪径流中期预报分析及预报方程.....	冯学智 王 建 (64)
利用NOAA/TIROS气象卫星资料预报黄河及黑河融雪径流.....	张顺英 曾群柱 (75)
NOAA/TIROS-N VHRR 影像雪盖面积统计的光电定量处理方法.....	蒲毅彬 金德洪 (85)
卫星遥感数据资料中云与雪的区别.....	陈贤章 D.Bajzak (94)
利用陆地卫星 CCT, 数据资料进行较大比例尺的雪盖制图	陈贤章 Christian Prévost 曾志远 (100)
冻土地区红外遥感最佳时段和多光谱可分性研究——以青海热水为例.....	梁凤仙 曾群柱 冯学智 陈贤章 汤 瀚 (106)
利用相关信息确定多年冻土下界的方法——以祁连山地区为例.....	梁凤仙 王 建 冯学智 (120)
遥感图像的增强处理与冻土环境信息的提取方法	冯学智 T. J. Elsey (128)
马鞍山地区水体类型最佳遥感波段选择.....	曹梅盛 冯学智 梁凤仙 陈贤章 汤 瀚 (136)
马鞍山地区水体反射光谱特征的初步研究.....	曹梅盛 冯学智 梁凤仙 陈贤章 汤 瀚 (140)
地物波谱数据文件库的设计与管理.....	冯学智 曾群柱 曹梅盛 曾光初 (146)

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

No. 6

(MONOGRAPH OF APPLICATION RESEARCH
OF REMOTE SENSING ON GLACIER,
SNOW AND PERMAFROST)

CONTENTS

Preface	<i>Xie Zichu and Zeng Qunzhu</i> (v)
Interpretation of Satellite Images in Some Glacial Regions of China	<i>Shi Yafeng, Mi Desheng and Zeng Qunzhu</i> (1)
Interpretation of Some Glacial Characteristics of the Mount Qomolangma Region from Satellite Images	<i>Cao Meisheng, Mi Desheng and Jin Dehong</i> (15)
Synopsis of Sketch Map of Landsat Image in the Karakorum Mountains...	<i>Mi Desheng, Liu Jinhuan and Jin Dongmei</i> (21)
Computer Processing and Interpretation of Glacial Feature for Landsat-2 CCT Digital Image Covering Hoh Xil Lake in Qinghai Province	<i>Feng Xuezhi, Zeng Qunzhu and Jin Dehong</i> (23)
Snow Survey of the Qilian Mt. from Meteorological Satellite Images	<i>Liu Zhengkai and Zhang Shunying</i> (29)
Satellite Snow Cover Monitoring in the Qilian Mt. and the Characteristics of Spring Runoff in Hexi Region	<i>Zeng Qunzhu, Zhang Shunying, Chen Xianzhang, Feng Xuezhi and Wang Jian</i> (40)
Analysis of Snow Cover of the Heihe River in the Qilian Mt. Landsat Images	<i>Chen Xianzhang</i> (49)
Snow Cover Distribution in the Heihe River in the Qilian Mt.	<i>Wang Jian</i> (55)
Medium-Range Prediction Analysis and Equation of Snowmelt Runoff of the Heihe River in the Qilian Mt.	<i>Feng Xuezhi and Wang Jian</i> (64)
Forecasting Snowmelt Runoff Using NOAA/TIROS Satellite Data for the Huanghe River and the Heihe River	<i>Zhang Shunying and Zeng Qunzhu</i> (75)
Estimation Method of Snow Cover Area on NOAA/TIROS-N VHRR Images Using Photo Electric Quantitative Processing	<i>Pu Yibin and Jin Dehong</i> (85)
Discrimination Between Snow and Clouds Using Remote Sensing Digital Data from Satellites	<i>Chen Xianzhang and D. Bajzak</i> (94)

Snow Mapping at Bigger Scale Using Landsat CCT's Digital Data	
..... <i>Chen Xianzhang, Christian Prevost and Zeng Zhiyuan</i>	(100)
Research on Multispectral Distinguishing Ability and the Best Period Infra- red Remote Sensing in the Permafrost Region	<i>Liang Fengxian, Zeng Qunzhu, Feng Xuezhi, Chen Xianzhang and Tang Han</i> (106)
The Method of Determining the Lower Limit of Permafrost Using Corre- lation Information—As Exemplified by the Qilian Mt. Region	<i>Liang Fengxian, Wang Jian and Feng Xuezhi</i> (120)
Enhancement of Remote Sensing Image and the Method of Extracting Per- mafrost-Environmental Information	<i>Feng Xuezhi and T. J. Elsey</i> (128)
Selection of Optimum Remote Sensing Band for Distinguishing Water Body Types in the Ma'anshan Region	<i>Cao Meisheng, Feng Xuezhi, Liang Fengxian, Chen Xianzhang and Tang Han</i> (136)
Preliminary Study on the Characteristics of Reflectance Spectrum of Water Body in the Ma'anshan Region	<i>Cao Meisheng, Feng xuezhi, Liang Fengxian, Chen Xianzhang and Tang Han</i> (140)
Design and Management of Data File Bank for Data of Ground Object Spectral Reflectance	<i>Feng Xuezhi, Zeng Qunzhu, Cao Meisheng and Zeng Guangchu</i> (146)

中国若干地区冰川卫星影像解释*

施雅风 米德生 曾群柱

1979年,我所参加美国地质调查局水资源部“世界冰川卫星影像图集”课题,承担中国境内冰川部分的影像解释。图1和表1分别表示了冰川与雪线的分布和冰川面积。

陆地卫星影像是一幅近似正射投影,没标注地理和高程注记的地图。影像上地面信息极为丰富,甚至能反映浅层隐伏的地物信息。由于卫星轨道高910km左右,一幅影像的地面范围约3.4万 km^2 ,卫星绕地球的周期较短,可以重复获得相同区域不同时期的地面信息,其影像的现势性很强,因此可目视判读以了解冰川的分布特征和变化,冰川群所在流域,并注明其编码;扼要提出判读区内的山文、水系、地貌等自然地理特征。

表1 中国西部各山系现代冰川统计

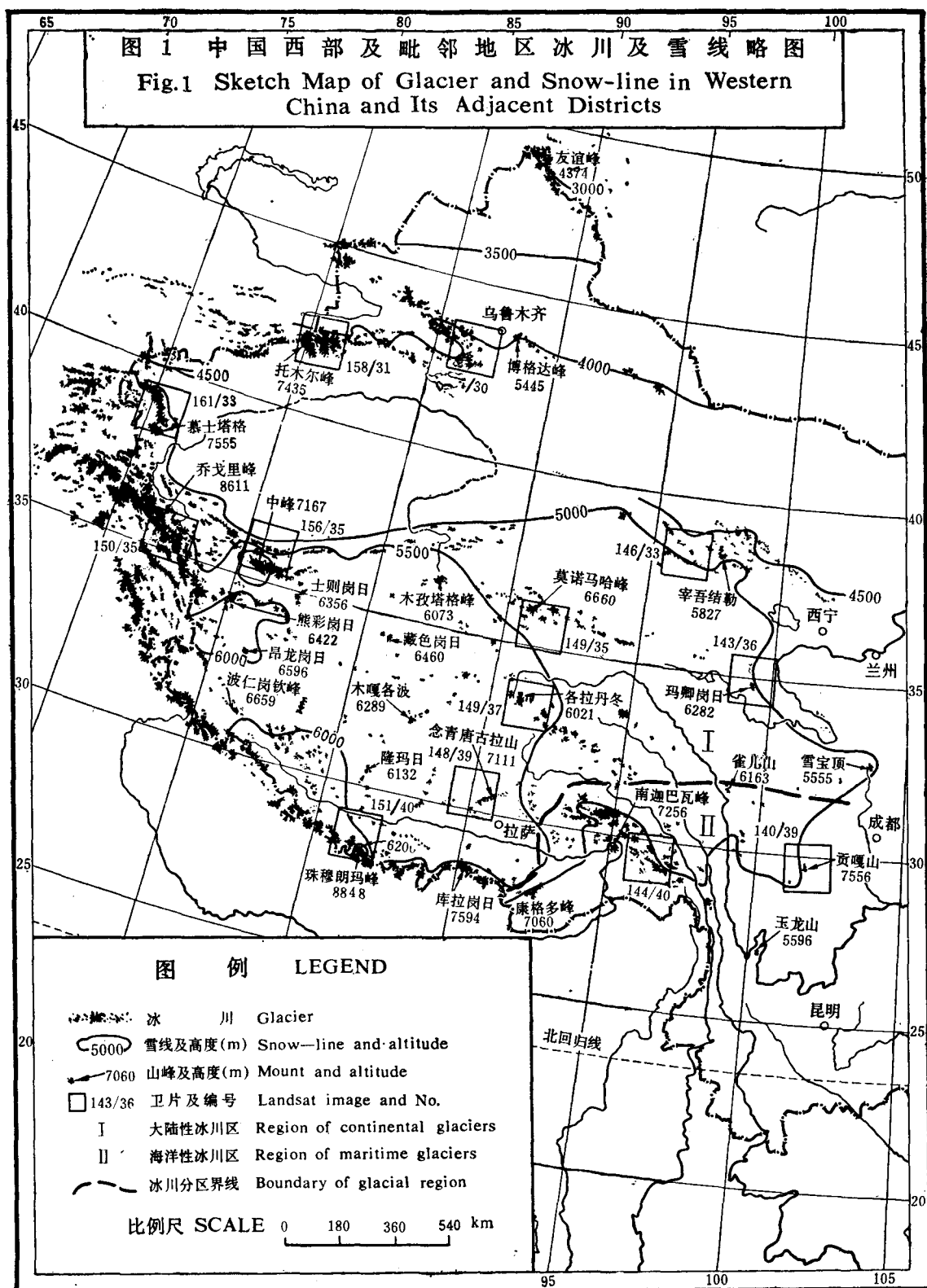
Table 1 The statistics of the glaciers in various mountains of western China

山 区	冰川面积 (km^2)	雪 线 (m)	资料来源
阿尔泰	293	2800—3350	刘潮海等 ^[1]
天山	9195	3600—4500	刘潮海等 ^[1]
帕米尔	2206	5200—5800	米德生等 ^[2]
昆仑山	12167	4600—6000	杨惠安等, 1985年冰川编目统计
祁连山	1973	4300—5100	王宗太等*
喀喇昆仑山	6076	5000—5500	杨惠安等, 1985, 冰川编目统计
羌塘高原	1802	5100—6100	焦克勤等, 1985, 冰川编目统计
唐古拉山	2082	5200—5800	张林源等, 1979, 航测图粗略统计
冈底斯山	2188	5700—6000	焦克勤等, 1979, 卫星像片粗略统计
念青唐古拉山	7536	4200—5400	李吉均等, 1979, 航测图粗略统计
横断山	1456	4500—5300	李吉均等, 1979, 航测图粗略统计
喜马拉雅山	11055	4300—6200	米德生等, 1979, 卫星像片粗略统计
总 计	58029		

* 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1981, 中国冰川目录 (I 祁连山区)。

冰川卫星影像判读以目视为主, 广泛搜集判读对象不同时期的地图、航空像片、黑白

* 本文是与美国地质调查局水资源部合作研究完成的《世界冰川卫星影像图集》的中国部分。先后参加本课题研究的还有: 任炳辉、张祥松、郑本兴和邓养鑫等。



卫星像片(MSS 和 RBV)及假彩色合成片,借助于立体镜、转绘仪、面积统计仪等设备,比较冰川的变化,量测冰川面积及长度,判读某些冰川的跃动现象。限于我们的设备和条件,在1:100万的卫星像片上量测冰川面积的误差约 $\pm 10\%$,长度误差约 $\pm 100\text{m}^{[9]}$ 。与冰川有关的高程值,如雪线、末端高度,山峰高程等,均取自大比例尺航测地形图。

根据中国冰川研究的程度和已有的卫星像片,我们在全中国12个山系中选择13个典型冰川群区,判读冰碛覆盖范围、冰流蠕动扭曲状态、冰面孤状构造特征。以及植被覆盖范围等。但是陆地卫星影像仅提供平面位置(二维),还不能测量高程(第三维)。

冰川卫星影像判读,我们遵循着以下原则:卫星像片与地图相结合,参阅实地科学考察报告一并分析;严格区分冰川、季节雪及云层,注重冰舌长度超过3km的冰川;按山脉或山峰高度、山脊高度、北坡、南坡的雪线高度,以及南北坡有代表性的冰川长度,末端高程,冰川形态特征等,对长度大于10km的冰川仔细描述。现分叙如后。

察隅区海洋性冰川(144/40)(图版I)

144/40陆地卫星影像显示了西藏自治区东部昌都地区的南缘。卫星像片上呈现的若尼峰(6610m)(1)是念青唐古拉山脉东南端的高峰之一。雪山岗日嘎布(2)的平均高度为5000m左右,其它山脉的高度平均在3500—4000m之间。该地区受孟加拉湾润湿气团的控制,充沛的降水使冰川发育在一个高水平的物质平衡环境中。在岗日嘎布山北麓有帕隆藏布(4)向西与易贡藏布汇合,折向东南流入雅鲁藏布江。山的南麓有察隅河(5)西支贡日嘎布曲(6),以及东支桑曲(7)。贡日嘎布曲西南方为祁灵公山(8),其西南侧发育的大河为丹龙河(9)。该河注入雅鲁藏布江下游,即印度境内的布拉马普得拉河。

卫星像片上显示的众多冰川中,唯有阿扎冰川和来古冰川(10)经过考察。早在本世纪三十年代,F. K. 沃德及 R. 考贝克就对阿扎冰川作过简单描述,谈到冰川长达16km,用沸点温度计量得冰舌末端高2438m^[4,5]。该冰川自若尼峰向东伸展,在粒雪盆处分南北两支向背而流,形成两个冰舌。向北的冰舌影像显得宽短(宽约1.1km),冰面较平坦,在山谷中流4km后终止于冰碛湖中,冰舌末端高4280m。冰舌末端附近有较密的灌丛。向南流的冰舌影像显得细长(宽约0.7km),恰似一条蚯蚓。从假彩色卫星像片上可见冰舌色彩变化较大,可能有较大的冰瀑布或冰坎;由于冰面流水较多,冰面表碛稀薄,孤拱构造很难辨认;冰舌长10km以上,从假彩色卫星像片上看出,冰舌已伸到森林之中,冰舌附近树木以杜鹃和落叶松为主。阿扎冰川长21.5km,面积26.25km²。在粒雪盆出口附近3482m处,冰流速438m/a。而祁连山老虎沟20号冰川粒雪盆出口附近4760m处,冰流速仅36m/a。阿扎冰川西侧还有一条若尼冰川(11)。1934年,该冰川与阿扎冰川相连。1976年考察时发现,若尼冰川已后退,距阿扎冰川约500m。1977年卫星像片显示,该冰川距阿扎冰川1350m。1973年访问阿扎村老人——南极平措(77岁),称:近五十年来,阿扎冰川后退约700m。1976年曾观察到阿扎冰川的波动变化,预计将发生冰川前进的现象。

来古冰川发育在岗日嘎布北坡,由于该冰川上空云雾缭绕,很难看清其真面目。从不同时期卫星像片对比判读得知,来古冰川由数个粒雪盆汇合而成,冰舌由四道明显的冰流组成,其上的三道中碛呈蜿蜒蛇形,颇似“跃动”冰川。冰川流入主谷阻塞河流形成来古湖

(12), 该湖长 3.5km, 宽约 1km。雪线高度约 4900m, 冰舌末端高 3870m, 冰舌长 15km, 宽 5—3.8km。距冰舌末端 5km 处, 冰流速 90m/a。比较 1973 年和 1977 年的卫星像片, 来古冰川前进约 230m。冰川表面色调变化单一, 显示冰床平坦。冰川融水流入串珠般的然乌湖 (13)。该湖由四个湖泊沿谷地串联而成, 湖水由南向北汇入帕隆藏布。从假彩色卫星像片上判读, 然乌湖一带植被较阿扎冰川谷地稀疏。

贡嘎山地区冰川 (140/39) (图版 II)

横断山最高峰——贡嘎山海拔 7556m (1), 是该山脉冰川集中的地区之一。卫片左侧南北向河流为大渡河(大金川) (2), 河的西岸是大雪山 (3), 海拔 4500—5000m, 东岸是平均海拔为 4300m 的夹金山 (4)。该山南北两端分别是流入成都平原 (5) 的青衣江 (6) 和流入大渡河的小金川 (7)。青衣江南侧是大相岭, 平均海拔 3000m。

贡嘎山地区位于青藏高原东缘, 山高谷深, 雪岭纵横, 地貌形态多样。该区超过 6000m 的山峰有 45 座, 海拔 5000m 以上的山地面积约 1000km², 广为冰雪覆盖。本区位于 29°30′—31°00′N, 处于亚热带南部, 贡嘎山主峰至大渡河谷 (1100m) 相距 30km, 垂直落差 6400m, 水热条件变化很大, 气候、地貌、土壤和植被的垂直地带性也明显。

现代冰川以贡嘎山为中心呈放射状展布, 较大的冰川有贡巴冰川 (8), 海螺沟冰川 (9), 德介冰川 (10), 磨子沟冰川 (11) 和燕子沟冰川 (12) 等。由于水汽主要来自东南方向, 降水集中在夏秋季, 故东坡雪线低: 4700—5000m, 西坡雪线高: 5000—5200m。东坡冰川均比西坡更为发育。

从卫星像片上判读, 贡嘎山东坡的海螺沟冰川长 14.4km, 雪线高度 4860m, 冰舌伸入针叶林带, 末端高度 2840m。西坡的贡巴冰川长 11.4km, 雪线 4910m, 冰舌末端 3760m, 冰舌区冰碛覆盖物较多, 冰川处于退缩状态。经地形图与卫星像片比较, 1966 年 12 月—1975 年 10 月, 海螺沟冰川后退了 100m, 燕子沟冰川和贡巴冰川分别退缩了 260m 和 720m。据文献 [6] 报告, 贡巴冰川“曾有过少量的前进, 最近以来又更强烈地萎缩”。

环绕贡嘎山的河流有磨子沟 (13)、海螺沟 (14) 和燕子沟 (15) 等, 它们不同程度地接受了冰川融水补给, 最后均注入大渡河。

念青唐古拉山区西部冰川 (149/39) (图版 III)

陆地卫星影像显示的是西藏自治区纳木湖 (1) 西南的冰川群。影像显示的雪山是念青唐古拉山脉 (2) 的西段和拔布日 (山) (3)。该山系是内陆水系和印度洋水系的分水岭。其北为内陆水系, 河流显得短小且有时令性。较大河流有: 流入纳木湖的波曲 (4), 注入木纤错 (13) 的他尔玛藏布江 (5)。由于河流短小, 流水侵蚀微弱, 加之地势平缓 (平均高度为 5200m), 该地区是良好的高山牧场。湖泊有申错 (9), 玖如错 (10), 仁错约玛 (11), 仁错贡玛 (12) 和果忙错 (14) 等。分水岭以南为印度洋水系, 主要河流有: 觉母曲 (7) 和娘热曲 (8) 等, 它们均属雅鲁藏布江支流。河流下切强烈, 河谷呈 “V” 形, 地形破碎, 起伏也较大。

念青唐古拉峰 (7111m) (23) 和穷母岗峰 (7048m) (24) 为念青唐古拉山脉最高峰。

该山脉平均高度 5500m。冰川规模不大,以小型冰斗和山谷冰川为主,冰川一般长度 4—6km。比较有关图件得知,冰川进退变化幅度不大。塔穷曲冰川(17)在 1970—1976 年间前进了 320m,与此同时,布打冰川(15)和冷穷冰川(16)分别后退了 260m 和 100m,爬努曲冰川(18)进退变化不甚明显。

唐古拉山长江源头冰川(149/37)(图版 IV)

本区位于青海省与西藏自治区交界处的唐古拉山脉西段,卫星影像右上角是各拉丹冬(6)冰川群,为中国第一大河长江源头所在,也是内陆水系与太平洋水系和印度洋水系的分界线之一。地面高度 5000—6000m,是连续多年冻土区。

该区卫星像片成像时间正值一个降水丰沛的季节,假彩色卫星像片显示:地面湿润,沼泽化十分严重。卫星像片所显示的巨大湖泊是米提江占木错(7)和多尔索洞错(8),湖面海拔 4920m,湖水主要来源于以湖泊为中心的方圆 720km² 内的雪山冰川融水。其它的湖泊有雀莫错(16)、雅根错(17)、昂达尔错(18)、美日切错(19)、诺多错(20)、波涛湖(21)、以及雪莲湖(22)等。各拉丹冬冰川群的融水向南流入扎加藏布(9),汇入色林错(10);向西流入米提江占木错;向北、向东流入长江源头的沱沱河(11)和朵尔曲(12)。

本区地势起伏和缓,相对高程为 500—700m,谷地浅缓,冰舌漫流于平缓的高原面上。卫星像片上方显示租尔肯乌拉山(13),平均高度 5250m,相对高程 500m。卫星像片左下方是平均高度不足 5000m 的交唐马约(山)(14)。卫片右侧是唐古拉山(15)西段的影像,平均高度 5250m,主峰各拉丹冬峰海拔 6621m。卫星像片上的各拉丹冬冰川群面积约 109km²。冰川表面非常洁净,是典型的大陆性冰川。冰川以高原上特有的冰帽形式呈放射状向四周滑动,冰舌宽短,呈典型的舌状。通过航测地图与卫星像片比较,可了解该处冰川近几年的变化。朝北流动的苏美曲冰川(1),冰舌末端高 5360m,雪线高 5770m,1969 年 11 月—1973 年 11 月冰川末端后退约 260m;朝东北方向流动的朵日曲冰川(2),同期则前进了 190m 左右。该冰川群较著名的岗加曲冰川(3),冰舌长 5.2km,末端高 5320m。冰川群南端,朝向东南的格勒曲冰川(4)同期前进 160m 左右;冰舌显得特别宽短(长宽均为 2.5km 左右)的嘎纳钦马曲冰川(5)则前进了 140m。长江源头的冰川目前多数处于前进状态中。

阿尼玛卿山地区冰川(143/36)(图版 V)

陆地卫星影像显示了青海省西部黄河(1)上游的地质地貌状况。该区海拔在 4300m 以上,山脊的一般高度为 5000m。卫星像片左下方是巴颜喀拉山(2),系黄河流域和长江流域的分水岭。阿尼玛卿山(3)呈西北-东南走向,是昆仑山脉东段冰川作用中心。该山体 6000m 以上的山峰有 7 座,主峰玛卿岗日(6282m)(4)。冰川以数座高峰为中心,呈羽状分布,共 40 条,面积 138km²¹⁾,以小型山谷冰川和悬冰川为主,具大陆性冰川性质,主要分布在东北坡。在玛卿岗日附近较大的冰川有耶和龙冰川(5),长 6.82km,雪线海拔

1) 焦克勤,1984,阿尼玛卿山现代冰川的基本特征。

4830m, 冰舌末端 4490m。唯格勒当雄冰川(6)也是较大的一条冰川。哈龙 1 号冰川(7)长 7.2km, 冰舌末端海拔 4490m, 表碛发达, 两道中碛十分醒目。经地形图和卫星像片对比量测(1966 年 11 月—1977 年 7 月), 近十多年来哈龙 1 号冰川末端前进了 720m, 同期哈龙 2 号冰川(8)和瓦勒玛冰川(9)分别前进了 220m 和 430m, 而达木乔冰川(10)变化不明显。

据假彩色卫星像片和航空像片判读, 阿尼玛卿山及其山麓地带存在多年冻土。多年冻土下界与亚高山灌丛草甸上限基本吻合^[7]。

阿尼玛卿山冰川融水分别经曲什安河(11)、切木曲河(12)、西科曲(19)和东科曲(20)汇入黄河。卫片上显示的湖泊有: 托索湖(13), 苦海(14), 岗纳格玛错(15)和日格错(16)等。假彩色卫星像片显示出的河谷、湖泊及沼泽地带, 牧草丰盛, 是青海省的重要牧场之一。

东帕米尔山区冰川 (161/33) (图版 VI)

陆地卫星影像显示了新疆维吾尔自治区喀什地区的慕士塔格-公格尔山。巍峨的慕士塔格峰(7546 m) (1) 和公格尔峰 (7719 m) (2) 屹立在帕米尔高原东部边缘, 是我国著名的冰川作用区之一, 素有“冰山之父”(维吾尔语)之称。

1956 年, 中、苏混合登山队首次登上慕士塔格峰顶, 建立了若干冰川末端位置标记^[8]。1958 年, 中国男女混合登山队再次征服慕士塔格, 崔之久对本区的冰川分布、类型、储量和古冰川作用等进行了初步调查^[9]。1959—1960 年, 朱景郊¹⁾、董光荣、曾明煊对这一带现代冰川的发育条件, 冰川运动等作了许多探讨^[11]。1978 年, 张祥松还对冰川的进退变化进行了研究。

据 1:50 万 RBV 卫星像片测得本区冰川面积 840km², 主要分布在慕士塔格-公格尔及昆盖山的西坡和西南坡。冰川融水分别注入盖孜河(6)、库山河(7)、木吉河(8)以及叶尔羌河的支流塔什库尔干河(9), 最后流入塔里木盆地。冰川融水是灌溉喀什绿洲的重要水源。

从卫星像片上量测了下列冰川: 公格尔山主峰北侧的托木尔型冰川——克拉牙依拉克冰川(10), 长约 21km, 它是由东西两支冰流汇合而成, 雪线高度 5600m。根据卫星像片与航测地图比较, 得知该冰川在 1952—1973 年 10 月前进了约 400m; 用卫片 RBV 与 MSS 比较, 1973 年 10 月—1979 年 8 月后退了 520m。从假彩色卫星像片上看到三道规模较大的终碛。分布在山体东侧的且末尔干冰川(11), 长 21km, 表碛覆盖密集, 雪线高度为 5500m。该冰川分南北两支冰流, 1952 年—1973 年 10 月冰川末端变化不明显, 1973 年 10 月—1979 年 8 月冰川末端后退 300m 左右, 末端附近有两道终碛垄。公格尔峰西侧最大的冰川是公格尔科科西力冰川(12), 长 15km 左右, 雪线高度 5500m。该冰川自 1952 年以来一直处于退缩状态, 其中 1952 年—1973 年 10 月后退 370m, 1973 年 10 月—1979 年 8 月又退缩 730m。此外, 环绕公格尔峰的还有 12 条长 5km 以上的冰川。

源于慕士塔格峰东侧的东科科西力冰川(13), 是本区较大的复式山谷冰川, 冰舌被

1) 朱景郊, 1960, 慕士塔格-公格尔山地区冰川考察(油印本)。

很厚的冰碛物覆盖,在卫星影像上中碛垄清晰可见,并伸至雪线附近。该冰川在1973年10月—1979年8月前进了170m。西坡的舒木尔冰川(14),长10km左右,是一条峡谷型冰川,冰面洁净;据1956—1960年实测,冰川末端平均后退3.7m/a;由航测图与卫星像片RBV和MSS比较得:1952年—1973年10月冰川末端后退约350m,1973年10月—1979年8月却前进了280m。切尔干布拉克冰川长10.1km,1960年6—7月在此设半定位观测站,观测到冰川后退速度为4.5m/月^[10],据航测图与卫星像片比较,1973年—1979年8月后退150m。乔都马克冰川(15)长约5km,据1956—1960年实测,冰川后退速度为3.5m/a^[10];通过地形图与卫星像片比较量测得知:1973年10月—1979年8月后退了130m。洋布拉克冰川(16)长9km,1953年—1973年10月冰川末端后退了1300m,嗣后变化不明显。

综上所述,东帕米尔山区冰川近20年来总的趋势是退缩,其间也有少数冰川在前进,目前冰川处在比较稳定的状态。

喀喇昆仑山区冰川^[11](附图)

喀喇昆仑山主峰乔戈里峰(8611m)是世界第二高峰,发育着北半球中纬度地区最大的冰川群,著名的冰川有:音苏盖提冰川、萨泼拉戈冰川、乔戈里冰川、斯克杨冰川、迦雪布鲁姆北坡冰川、乌尔多克冰川、斯塔格尔冰川、特拉木坎力冰川、凯亚加冰川、北吕莫-叶儿羌冰川、中吕莫冰川、南吕莫冰川、厦呈冰川、巴尔托洛冰川、塔吐鲁沟冰川、苏拉苦洼提沟冰川、以及恰地吉勒朵冰川。

音苏盖提冰川:是为中国境内最长的一条山谷冰川,长41.5km,雪线高度4800—5280m,冰舌末端高4000m。1937年E. shipton曾绘制过该冰川1:25万地图,该图与1968年航测图比较,冰舌末端位置较稳定,但白冰流下限伸展到海拔约5000m处,而冰塔林则由原来的4950m向上延伸到5200m;用1968年10月航测地图与1973年9月陆地卫星像片比较,该冰川的冰舌末端仍然稳定。但与1978年7月卫星像片比较,发现裸露冰下界向低处延展480m左右。1973年9月与1978年7月卫星像片比较,音苏盖提冰川的5股白冰流在此期间平均向前运动310m。

乔戈里冰川:用1937年1:25万地图与1968年1:10万航测图比较,冰川末端后退1700m;1973年9月地图与1978年7月卫星像片比较,该冰川西冰流前进了850m。

斯克杨冰川:用上述两种地图和两张卫星像片分别进行比较,该冰川近30年来后退了4250m,近5年来又继续后退1000m。

特拉木坎力冰川:是为宽尾冰川,1973—1978年间,冰舌末端表碛区扩大了,而冰舌宽度却缩小了约100m;冰川中碛分成东、西两股冰流;在此期间西冰流后退310m,东冰流向克勒青河上游方向(向东)移动了320m。

凯亚加冰川:1926年K. Masen考察该冰川时就发现冰川阻塞谷地,形成冰川阻塞湖。据1968年航空像片判读,该湖还没形成。从1978年7月18日卫星像片上判读,凯亚加冰川有东、中、西三股冰流,其中中、西二股冰流伸入谷地,阻塞河道,形成长5.2km、宽0.3—0.4km的冰川阻塞湖,该湖的冰坝体宽1.6km。对比1973—1978年卫星像片,该冰川的冰流仍然处于前进状态。

在叶尔羌河以南的昆仑山脉中还有几处小冰川群,比较 1968 年 10 月航测图和 1978 年 7 月的卫星像片得知:塔吐鲁沟冰川和苏拉苦哇沟冰川近 10 年来分别前进了 700m 和 540m,而恰地吉勒朵冰川变化不甚明显。

综上所述,中国境内喀喇昆仑山区的大多数冰川近 10 年处于前进状态。

西昆仑山地区冰川 (156/35) (图版 VII)

本幅陆地卫星影像是新疆维吾尔自治区和西藏自治区交界处 ($80^{\circ}-82^{\circ}\text{E}$) 的昆仑山脉(1)西段的中峰冰川群,面积约 4100km^2 ,它是中国最大且最集中的冰川作用区。该冰川群最高山峰是中峰 (7167m , $35^{\circ}19'\text{N}$, $80^{\circ}55'\text{E}$) (2)。山脊平均高度 6200m 左右,山麓高度一般在 $5000-5400\text{m}$ 之间。昆仑山脉主脊北面还有一道较低的山——喀拉塔什山(9),其较高的山峰是慕士山 (6838m) (10),山脊平均高度 5250m 。山体的北缘是塔里木盆地(11)。

卫星像片显示了昆仑山中峰冰川群北坡的河流:玉龙喀什河(3)、策勒河(12)和克里雅河(13)。该段昆仑山体的北坡河谷下切较深,呈“V”形,南坡河床平缓且短小。南坡冰川融水流入山间盆地的郭扎错(14)和阿克赛钦湖(15)。

中峰冰川群北坡雪线高 $5720-6000\text{m}$,南坡雪线 5900m 左右。喀拉塔什山北坡发育着冰斗冰川和小型山谷冰川,雪线高 $5400-5600\text{m}$ 。据航测地图与卫星像片比较,某些冰川的动态变化如下所述。

西玉龙冰川(4):冰舌末端高 5125m ,雪线高 5820m ,冰川中碛高大,呈垄岗状,冰舌上冰塔发育。1968 年 9 月—1976 年 11 月,该冰川后退 260m 。

昆仑冰川(5):是为树枝状山谷冰川,冰舌末端高 4920m ,雪线高 $5820-5900\text{m}$,冰川侧碛和表碛十分发育。1970 年 10 月—1976 年 11 月,该冰川前进约 370m 。

玉龙喀什源头 20 号冰川(6):冰舌末端高 4950m ,雪线高 6050m 。1970 年 10 月—1976 年 11 月,冰川明显后退 500m 。残留的冰碛物在黑白卫星像片上清晰可辨。

牙克巴克塔克 10 号冰川(7):位于中峰冰川群东端,冰舌末端高 5510m ,雪线高 5920m ,角峰高 6288m 。1970 年 10 月—1976 年 11 月,该冰川前进 110m 。

阿特地木水 13 号冰川(8):位于中峰冰川群南坡,朝向东南,冰舌末端呈宽尾状,高 5610m ,雪线高 6070m 。1971—1976 年,该冰川后退 86m 。

中峰冰川群平均雪线高 6000m ,是我国雪线高值区之一。雪山融水是新疆南部和田地区的主要水源。

祁连山西部冰川 (146/33) (图版 VIII)

陆地卫星影像显示了甘肃与青海两省交界的祁连山西段,地势高度 $2000-5600\text{m}$ 。该段在大陆性气候条件下发育着许多冰川,是甘肃省河西走廊(28)和青海省柴达木盆地(7)的重要水资源。

卫星像片上的水系有流向河西走廊的党河(1),疏勒河(2),北大河的支流野马大泉(3)和以哈拉湖(4)为中心的独立水系,而哈尔腾河(5)则注入柴达木盆地。