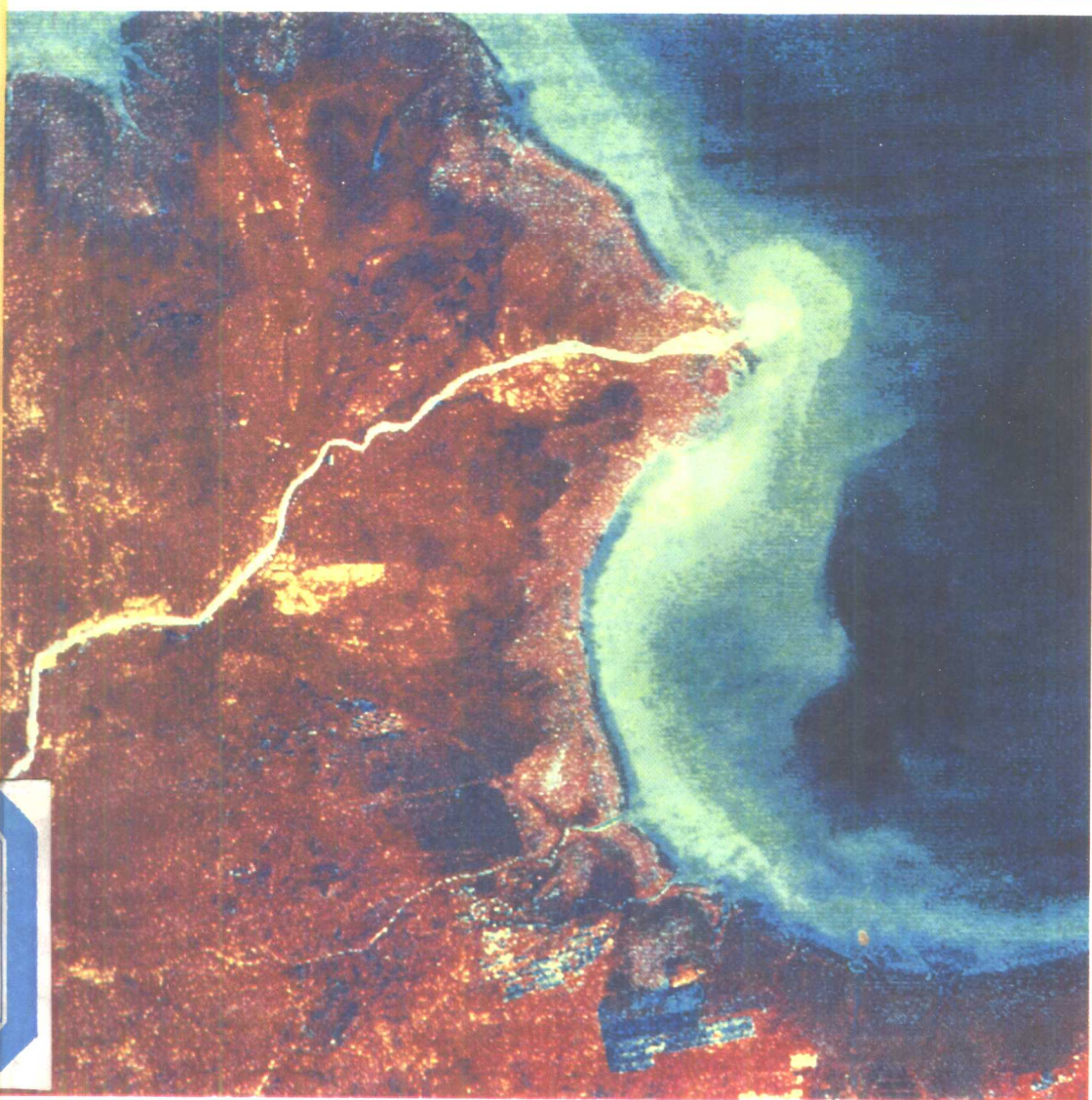


黄河流域典型地区

遥感动态研究

田国良 主编



科学出版社

黄河流域典型地区

遥 感 动 态 研 究

田国良 主编

科 学 出 版 社

1 9 9 0

内 容 简 介

本书总结了1986—1990年中国科学院遥感应用研究所等单位开展黄河流域典型地区遥感动态研究的成果。它包括三方面内容：(1) 黄河上游冰雪覆盖监测与融雪径流预报模型研究；(2) 黄河下游平原地区土壤水分动态监测方法研究；(3) 黄河尾间摆动及泥沙淤积的研究。

本书可供遥感、水文、水利、气象、海洋、地理等专业的科技人员和大专院校有关专业的师生阅读、参考。

黄河流域典型地区 遥感动态研究

田国良 主编

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

宏伟胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1990年12月第1版 开本：787×1092 1/16

1990年12月第1次印刷 印张：18 3/4 插页：8

印数：0001—2000 字数：445 000

ISBN 7-03-002338-2/P·474

定价：15.00元

序

黄河是我们中华民族的母亲河。她以雄浑的气势贯穿祖国的东西，其流域面积达 75 万多平方公里，占全国国土面积的 8.3%；这里拥有占全国总耕地面积 12% 左右的耕地，哺育 8 千多万各族儿女，是我们伟大中华民族的发祥地。然而，黄河对待她的儿女并非总是温柔慈祥，她动荡不羁的秉性有时又给沿岸人民带来深重的灾难。她上游的冰川融雪似白云飘浮不定，难于预测；中游泥沙挟带而下成为千古之患；下游的洪水如疯狂的猛兽吞噬广大人民的生命财产；在河口，她又象脱缰的野马，变迁无常，难予驾驭。治理黄河、消除灾患、化害为利，是中华民族长期为之追求、为之奋斗的目标。要治理黄河，首先要研究黄河、了解黄河。正是为此，我国广大科技工作者从建国以来一直在艰苦地努力，并作出了重要贡献。

遥感技术是最近几十年发展起来的新兴科学技术。随着空间科学技术的发展，各种资源环境观测卫星不断发射与运行，遥感技术不断与地学、环境科学相互渗透，为地学研究注入了新的精髓，引起了地学研究的重大变革，成为研究地球资源、环境最有力的技术手段之一。只有象遥感这样高瞻远瞩、视野广阔的新兴技术，才能担当研究象黄河这类博大精深、交错纷杂的区域问题的重任。

《黄河流域典型地区遥感动态研究》一书，以文集的形式，总结了自 1986 年以来近五年中广大遥感科技人员对黄河上、下游及入海口的某些症结问题进行的系统性、基础性研究工作所获得的成果。

近五年来，在本研究工作过程中，科技人员收集和分析了大量丰富的遥感资料，如美国陆地卫星从 1975 年到 1987 年间十余年的多时相卫星遥感图像和 SPOT 卫星、NOAA 气象卫星以及我国国土卫星的资料。在对典型地区的研究中，还动用了我院电子学研究所自行设计的机载合成孔径侧视雷达以获取航空遥感信息。本研究中所收集和使用的遥感资料之完整和丰富是历次类似的研究工作所不及的。除此以外，科技人员为了更好地分析遥感信息，几年来还开展了大规模的野外工作。他们的足迹遍及黄河源头的扎陵湖、鄂陵湖、阿尼玛卿山等地，在黄河中、下游的田间、地头，在河口的海岸滩涂也都洒下了他们艰辛的汗水。在那里，他们建站设点，开展了对气象、水文、辐射以及土壤等多种遥感与非遥感项目的观测和测量，取得了宝贵的第一手资料，成为本研究的可靠依据。

水是自然界最活跃的因素之一，它的迁移和转化正是形成地球上包括灾害在内的许多重要现象的基础。本研究工作的主要对象就是水，研究目的是通过遥感分析和研究水在不同状态、不同地区的存在、运移规律及水与其它资源环境要素以及与人生产活动相互作用的过程，以探讨改造自然、服务经济的有效途径。

“黄河之水天上来”。对黄河上游冰雪覆盖及融雪径流预报模型的研究有助于对黄河冰雪融水补给的精确估算。通过本研究建立的龙羊峡春季融雪径流入库流量的长、中、短期预报模型连续三年预报均达到了实用精度，超出了基础研究、理论发展的范畴，取得了边研究、边应用，理论与实践双丰收的成果。

土壤水分含量的高低不仅直接影响农作物的生长、发育以及产量的形成，同时也与在

暴雨洪水季节洪涝危害程度有密切的关系。在土壤水分的地面直接测量和计算方法尚未完全解决的情况下,应用遥感技术估算土壤水分含量,其难度是可想而知的。这也是目前国际遥感应用的一个重要实用性的前沿课题。几年来的研究成果显示了解决这一问题的前景。所发展的气象卫星大范围土壤水分动态监测技术也已达到了可供实用的精度。与此同时,在微波遥感研究土壤水分方面也进行了有益的探索,为今后充分发挥微波遥感全天候、全天时以及穿透植被覆盖层的优势与潜力在理论和实践上做了准备。

黄河入海口具有很大的摆动性和迁移性,它所携带的大量泥沙造成了陆地向海洋推进的造陆过程。研究表明,遥感图像以其惊人的准确性再现着历史上黄河重大改道的情况。这种所谓的“透视”或“复原”信息为研究黄河的河床动态,特别是尾间的摆动提供了基础。从1976年至1981年在黄河河口,海岸线向海的推进速度至少不低于1公里/年,这是我国海岸变化最为剧烈的部位之一,也是最需要高时间频率遥感资料,开展经常性动态研究的地区。

研究自然、认识自然的目的是改造自然。本项研究工作所面对的黄河既是我们祖国的一大动脉,又是一个地学或资源环境问题的顽症之地。掌握遥感这一新技术手段,使我们的能力将会大为增强。与此同时,通过对黄河流域典型地区的遥感动态研究,可以说,我们将更加现实、更有信心地面对我们的生存环境,面对我们居住的星球,以作出我们应有的贡献。这就是我们希望通过这个文集给予人们的启迪之所在。

童庆禧

1990年5月

前 言

黄河以其巨大动力一泻千里，浩浩荡荡流入大海。黄河流域有着丰富的水土资源，其面貌也发生着日新月异的变化。为了促进黄河流域国民经济建设的发展，必须及时了解其流域内水土资源的动态变化，以便合理开发和利用。遥感技术的发展为研究地表动态变化提供了多时相、大范围的实时信息。开展黄河流域遥感动态研究是当前国民经济建设发展的需要。要将遥感技术应用于黄河的研究首先必须解决方法和理论问题，为此国家“七五”重点科技攻关项目中列入了“黄河流域典型地区遥感动态研究”专题。

这个专题攻关的总目标是：开展黄河流域典型地区遥感动态研究，利用多时相卫星和航空遥感图像及地面实测数据和水文气象资料，建立黄河流域典型地区水土资源定量、半定量动态分析方法，为黄河流域水力发电、农田灌溉和管理、河口改道和决策服务。

该专题下设三个子专题：

- (1) 黄河上游冰雪覆盖监测与融雪径流预报模型的研究；
- (2) 黄河下游平原地区土壤水分动态监测方法的研究；
- (3) 黄河尾间摆动及泥沙淤积的研究。

它们分别由中国科学院兰州冰川冻土研究所、中国科学技术大学、中国科学院遥感应用研究所和中国科学院地理研究所承担。

利用多种遥感数据的综合分析技术，对黄河流域典型地区进行动态监测，开展对黄河上游的冰雪覆盖、下游的土壤水分监测以及尾间摆动规律的研究，是一项重要的基础工作。这不但对黄河上游发电、中游灌溉、下游经济开发和黄河流域水土资源的综合利用以及河道整治有重要的生产意义，而且对推动遥感综合分析技术的发展，也具有重要意义。几年来，在中国科学院资源环境局的指导和支持下，经各参加单位的努力，开展了艰苦的野外工作，分析了大量数据和多种遥感图像，已基本完成了攻关任务。这本文集收集了26篇论文，它是前四年的工作总结，提出了多种遥感数据综合分析方法，建立了分析模型，并结合实际生产情况开展了预测和监测工作，对工农业生产提出了建议。本文集是理论和方法的总结，它对开展遥感动态研究有重要参考价值，一些方法可直接应用于国民经济建设中。

在开展工作过程中得到龙羊峡水电厂、中国科学院封丘农业生态实验站、国家气象局、河南省气象局、甘肃省气象局、石油勘探科学研究院遥感地质研究所和西安交通大学信息控制系等单位的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。在文集编辑过程中，得到多种遥感数据综合分析课题组和《环境遥感》编辑部的支持，阮逸苓、金冬梅等同志清绘了插图，在此一并致谢。

由于编者水平所限，书中难免有缺点、错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

1990年5月

《黄河流域典型地区遥感动态研究》 编辑委员会

主 编 田国良
副主编 杨 生 曾群柱 许殿元 刘政凯
委 员 张琦娟 杜端秉 全美荣 冯学智
叶青超

黄河流域典型地区遥感动态研究 专题组织机构、参加单位和人员

组织机构

项目主持部门 中国科学院
专题负责单位 中国科学院遥感应用研究所
专题参加单位 中国科学院兰州冰川冻土研究所
中国科学技术大学
中国科学院遥感应用研究所
中国科学院地理研究所

专 题 负 责 人 田国良
子专题负责人 曾群柱 田国良 许殿元

参加单位和人员

中国科学院兰州冰川冻土研究所

曾群柱 冯学智 陈贤章 蓝永超 王 健 金德洪 宋 强
张顺英 汤 瀚 梁凤仙 王光宇 蒲毅彬 刘景璜 李文忠

中国科学技术大学

刘政凯 肖锦玉 赖海宁 毕亚雷 罗杰波 骆旭陵

中国科学院遥感应用研究所

田国良 隋洪智 李建军 李付琴 朱重光 郑 珂 杨习荣
赵昌龄 耿淮滨 李生平 王 松 余 涛

中国科学院地理研究所

许殿元 马芬荣 叶青超 高善明 钱金凯

目 录

序	(i)
前言	(iii)

黄河上游冰雪覆盖监测与融雪径流预报模型研究

黄河上游卫星雪盖监测与融雪径流研究总结	曾群柱(1)
黄河上游冬春季积雪分布特征	陈贤章 曾群柱等(14)
黄河上游春季径流的中期预报	蓝永超等(20)
NOAA 气象卫星资料在黄河上游流域雪盖监测中的应用	陈贤章等(30)
黄河上游融雪径流预报方法的研究	宋强(37)
黄河上游卫星雪盖监测中的冰雪水资源信息系统	冯学智等(50)
黄河上游冰雪水资源信息系统的交互操作与部分应用	王健等(62)
遥感积雪动态监测信息系统	刘政凯等(71)
积雪识别中改进的模糊聚类方法	刘政凯等(80)
子空间法在积雪识别中的应用	刘政凯等(90)
遥感图像的模糊区域分割技术	刘政凯 肖锦玉(96)

黄河下游平原地区土壤水分动态监测方法研究

机载合成孔径雷达图像监测土壤水分的初步分析	田国良等(102)
微波后向散射系数和土壤水分及地表粗糙度的关系	田国良等(112)
热惯量方法监测土壤水分	隋洪智等(122)
土壤含水量遥感信息模型的研究	马霭乃 薛勇(133)
用每日一次的热红外温度估算日蒸散	李付琴等(141)
植被条件下遥感监测土壤水分的方法探讨—田间实验部分	李付琴等(151)
用 NOAA-AVHRR 数字图像和地面气象站资料估算麦田的蒸散和土壤水分	田国良等(161)
河南省黄河下游平原地区土壤水分的时空分布	沈建柱 田国良(177)

黄河尾间摆动及泥沙淤积的研究

黄河口海岸淤进动态的遥感分析	许殿元(196)
黄河口(清水沟)演化过程和泥沙输移特性	叶青超(203)
黄河尾间流路的计量评价与规划	许殿元(217)
黄河三角洲海岸地貌发育与河口尾间演化的关系	叶青超(225)
黄河三角洲的动态演变	许殿元 马芬荣(239)
黄河三角洲形成和演变的卫星影像解译研究	高善明(245)
黄河口海域泥沙冲淤的机助制图及其分析	马芬荣(261)

附图

Contents

Preface	(i)
Foreword	(iii)
Part 1 Research on Snow Cover Monitoring and Model of Snowmelt	
Runoff in the Upper Reaches of the Yellow River	
Summary of Satellite Snow Cover Monitoring and Study on Snowmelt Runoff	
Forecasting in the Upper Reaches of the Yellow River	Zeng Qunzhu(1)
Distribution Characteristics of Winter–Spring Snow Cover in the	
Upper Reaches of the Yellow River	Chen Xianzhang et al.(14)
Middle Period of Time Forecast of Spring Snowmelt Runoff in the Upper Reaches	
of the Yellow River	Lan Yongchao et al. (20)
Application of NOAA Meteorological Satellite Data in Snow Cover Monitoring	
in the Upper Reaches of the Yellow River	Chen Xianzhang et al.(30)
Studies on Prediction Method of Snowmelt Runoff in the Upper Reaches	
of the Yellow River	Song Qiang (37)
Information System on Ice, Snow and Water Resources of Animaqing	
Region for Satellite Snowcover Monitoring	Feng Xuezhi et al.(50)
The Inter –operation and Partly Application of Ice, Snow and Water Resources	
Information System in the Upper Reaches of the Yellow River	
.....	Wang Jian et al.(62)
A Dynamic Monitoring Information System for Snow of Remote Sensing	
Imagery	Liu Zhengkai et al. (71)
A Improved Fuzzy Clustering Algorithm for Snow Recognition	
.....	Liu Zhengkai et al. (80)
Application of Subspace Method in Snow Recognition	Liu Zhengkai et al.(90)
A Fuzzy Region Segmentation Technique of Remote Sensing	
Imagery	Liu Zhengkai et al.(96)
Part 2 Research on Methods for Dynamicly Monitoring Soil Moisture in the	
Plain of the Lower Reaches of the Yellow River	
Monitoring Soil Moisture Using Image of Airborne Synthetic Aperture	
Radar; A Case Study	Tian Guoliang et al.(102)
Relation of Microwave Backscatter Coefficient to Soil Moisture and	
Roughness	Tian Guoliang et al. (112)
Monitoring Soil Moisture Using Thermal Inertia Method	Sui Hongzhi et al.(122)
A Study on the Remote Sensing Information Model of Soil	

Moisture	Ma Ainai et al. (133)
Estimation of Daily Evapotranspiration from One Time-of-day	
Thermal Infrared Temperature	Li Fuqin et al. (141)
A Research on Method of Monitoring Soil Moisture by Vegetation Cover	
Using Remote Sensing: Part of Field Experiment	Li Fuqin et al. (151)
Estimation of Evapotranspiration and Soil Moisture Using NOAA-AVHRR	
Image and Ground Based Meteorological Data	Tian Guoliang et al. (161)
A Temporal and Spatial Characteristic of Soil Moisture in the	
Plain of the Henan Province	Shen Jianzhu et al. (177)

Part 3 Research on Shifting of the Yellow River Mouth Course and Sedimentation

Dynamic Remote Sensing Analysis on the Depositing

Dynamic Remote Sensing Analysis on the Depositing Progression	
along the Coast of the Yellow River Mouth	Xu Dianyuan (196)
Developing Processes of the Yellow River Mouth (Qingshuigou) and	
Feature of Sediment Transport	Ye Qingchao (203)
Quantitative Assessment and Planning for the Flow Path of the	
Yellow River Tail Part	Xu Dianyuan (217)
Relationship between the Processes of Landform Developing on the Shore	
of the Yellow River Delta and the Development of the River	
Mouth Channels	Ye Qingchao (225)
Dynamic Changes of the Yellow River Mouth and Delta ...	Xu Dianyuan et al. (239)
A Study of Image Interpretation on Formation and Change of the	
Yellow River Delta	Gao Shanming (245)
Map-making by Computer and Analysis of the Erosion and Alluviation	
in Sea Area near the Yellow River Mouth	Ma Fenrong (261)

黄河上游冰雪覆盖监测与融雪径流 预报模型研究

黄河上游卫星雪盖监测 与融雪径流研究总结*

曾 群 柱

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

摘 要

本专题研究中使用了 NOAA-9, 10, 11 AVHRR 影像、“IB”CCT 磁带、陆地卫星 TM 影像 通过图像处理和解译, 并综合了水文气象站资料, 研究了黄河上游唐乃亥水文站以上流域面积 121 972km² 范围内的积雪覆盖季节动态变化、春季径流特征和径流预报。分析表明, 在阿尼玛卿山和巴颜喀拉山地区的冬春雪盖主要分布在 9 月上旬或中旬及第二年的 4 月上旬, 在此期间平均雪盖面积最大, 4 月以后逐渐融化, 到 6 月上旬, 除了 4 650m 以上的地区外, 积雪全部融化。融雪径流是黄河上游春季径流的主要来源, 占同期地表径流的 72.6%。在进行这项研究的同时, 还对位于黄河上游的龙羊峡水库 4 月上旬至 6 月上旬入库流量连续三年开展了预报工作, 预报精度在允许的误差范围内, 满足了生产部门的需要, 取得了很好的经济效益。此外, 在阿尼玛卿山地区 24 000km² 冰雪水资源信息系统 (ISWRIS) 支持下提高了预报精度, 并发展了分带融雪径流预报模型。这个系统将成为研究黄河上游融雪径流、建立专家系统的基础。

一、前 言

本专题属 75-73-02-02“黄河流域典型地区遥感动态研究”课题之一。我们研究所承担的主要研究内容和宗旨是: 完成黄河上游积雪动态变化及其对河流水文情势影响的研究, 提出实用的、量化的春季融雪径流长期预测及短期预报模式; 建立本区试验流域冰雪水资源信息系统, 绘制 1: 150 万黄河上游积雪分布图并分析积雪时空分布规律, 为龙

* 参加本专题研究的有: 冯学智、陈贤章、蓝永超、王建、张顺英、宋强、金德洪、梁凤仙、王光宇、李文忠、汤瀚、蒲毅彬、刘景璜等, 国家气象卫星中心刘玉洁、王大昌等协助分析, 特此一并感谢。

羊峡水库提供 4 月上旬至 6 月上旬入库流量预报，提高水库的运营效益。

二、黄河上游自然地理概况

黄河上游位于青藏高原的东北部，介于北纬 $32^{\circ} 30'$ — $36^{\circ} 00'$ ，东经 95° — $103^{\circ} 30'$ 之间。西以布尔汗达山为界毗邻干旱的柴达木盆地，巴颜喀拉山绵延于西南部，为长江与黄河流域的分水岭；东部为岷山山脉，雄伟的阿尼玛卿山呈西北—东南走向横贯其中。流域地势高亢，平均海拔高度在 3 500m 左右，最高峰玛卿岗日峰，海拔 6 282m。黄河上游河谷发育在巴颜喀拉山褶皱带上，构造线为西北—东南走向，地貌轮廓明显受地质构造控制，表现为一系列走向近于平行的低山、宽谷与河、湖、盆地相间；局部仍保留夷平面，其中最高一级约 4 900—5 000m 已遭侵蚀。在河湖盆地沉积深厚的第三纪泥砂岩、砂质泥岩和第四纪泥砾、砂砾层以及冰水沉积物，其透水性能良好。

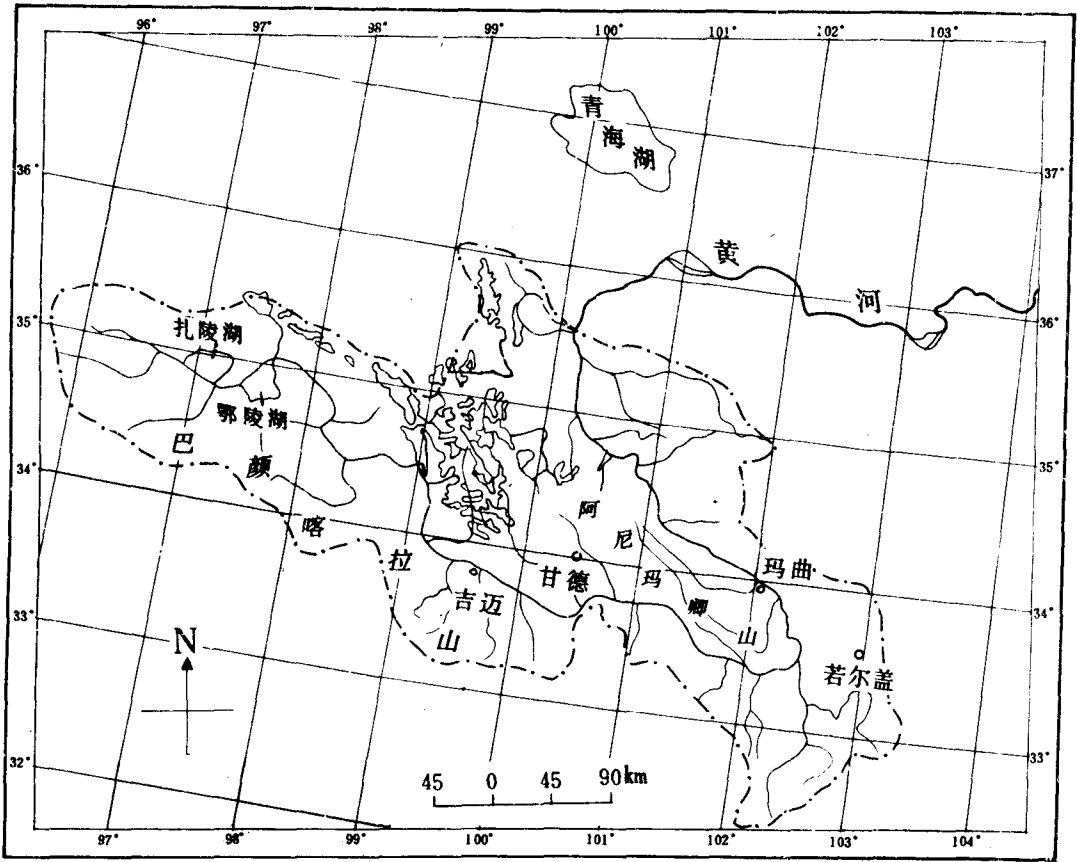


图 1 黄河上游龙羊峡水库及唐乃亥以上流域汇水面积示意图

黄河自河源约古宗列渠流经扎陵湖和鄂陵湖改向南流，进入黄河大纵谷，地势平坦，若尔盖盆地的坡度仅 10%，泥炭沼泽广泛分布。黄河在唐克和玛多附近先后接纳白河、

黑河后水量陡增,并在索藏寺附近突然折向西北沿阿尼玛卿山东麓流去,并汇入切木曲和曲什安河,流经唐乃亥至共和县受西倾山的阻挡又折返东流,形成了有名的“九曲”黄河第一曲。本专题研究范围是唐乃亥水文站以上的黄河上游地区;黄河从河源至唐乃亥全长 1 172km,面积 121 972km²,仅占全流域面积的 16.2%。图 1 为本研究区的流域略图。

按自然区划,本区属青藏高原高寒草原区^[1]。由于地形起伏较大,流域内自然地帶垂直分异很明显。2 500—3 500m 河谷地带为温带干旱、半干旱草原;3 500—4 250m 为高寒草原,草甸带在阴坡分布高山灌丛和零星的侧柏等,在若尔盖一带有大片沼泽和过湿地;4 250—4 650m 为高山寒冻荒漠带,多年冻土广泛分布,下界为 4 200m 左右;4 650m 以上为冰川和永久积雪带,环绕流域最高峰玛卿岗日峰发育着 57 条冰川,面积达 137 km²,其中哈龙 1 号冰川规模最大,最为活跃,近 10 年冰舌末端前进了 700m,其它冰川相对稳定。东北坡雪线高度 5 070m,西南坡为 5 224m;冰舌末端高度介于 4 409—4 911m 之间。

黄河上游按气候区划属青藏高原气候区的寒湿类高山气候亚区^[2]。冬季在蒙古冷高压控制下盛行西北风,严寒干燥少雪。春末夏初南亚高压加强北上,副热带西风急流北撤。在青藏高原热力作用下,形成高原高空为热高压,地面为热低压,四周低层气流向高原辐合,导致暖湿的孟加拉湾西南季风沿布拉马普特拉—雅鲁藏布江河谷溯源而上,较强的热带云团有时可越过横断山,翻越巴颜喀拉山与西风带冷锋云系汇合,造成黄河上游大范围降水。本区是“松潘低压”所在,又是高原低涡东移途径之一。此外,春季在格尔木至玉树一带切变线活动频繁,是造成春季黄河上游降雪天气主要因素之一。夏季水汽另一来源是西太平洋暖湿气流沿副热带高压南侧西窜,至横断山脉受偏南气流的影响到达川西,在高原季风的诱导下向黄河上游输送,在地形抬作用下产生大面积降水。本区年降水量 350—750mm,而且稳定,降水 C_v 值为 0.11—0.25,是全国降水变化最小的地区之一。但降水年内分配不均匀,5 至 9 月降水量可占全年 90%,雨强小,雨日多,汛期雨日达 20 天以上。

由于本区降水丰沛,气温低,年平均气温 -4.0—-1.1℃,蒸发弱,只有 250mm/a,因此径流模数高达 5.0L/(s·km²),为全黄河流域平均值的两倍,是黄河主要径流形成区。唐乃亥水文站多年平均年径流量 2×10^{10} m³,约占黄河入海流量的 38.7%。黄河上游冬、春季节性积雪期为 9 月中、下旬至次年 6 月上旬,主要分布在巴颜喀拉山和阿尼玛卿山一带。3 900m 以下多为瞬时斑状积雪带,3 900—4 650m 为片状不连续积雪带,4 650m 以上为连续积雪和冰川带。季节性积雪融水是黄河上游春季径流(3 月下旬至 6 月上旬,下同)主要补给来源,可占同期地表径流的 72.6%,占年总径流量的 10%。

三、技术路线和实施方案

虽然本区设有 12 个气象台站和 6 个水文站,但这些水文、气象台站均分布在 4 200m 以下河谷平原地带,难于反映高山冬、春积雪状况。因此本专题主要利用诺 NOAA-9, 10, 11 气象卫星 AVHRR 影像、“IB”CCT 磁带,参考陆地卫星-6 TM 影像等,经光学和计算机图像处理,提取流域积雪覆盖率,结合野外考察及水文、气象观测资料的分析,在典型地区冰雪水资源信息系统的支持下,监测黄河上游冬、春积雪动态以及进行春季径流

预测、预报，为龙羊峡水库提供服务。专题实施方案框图如图 2 所示。

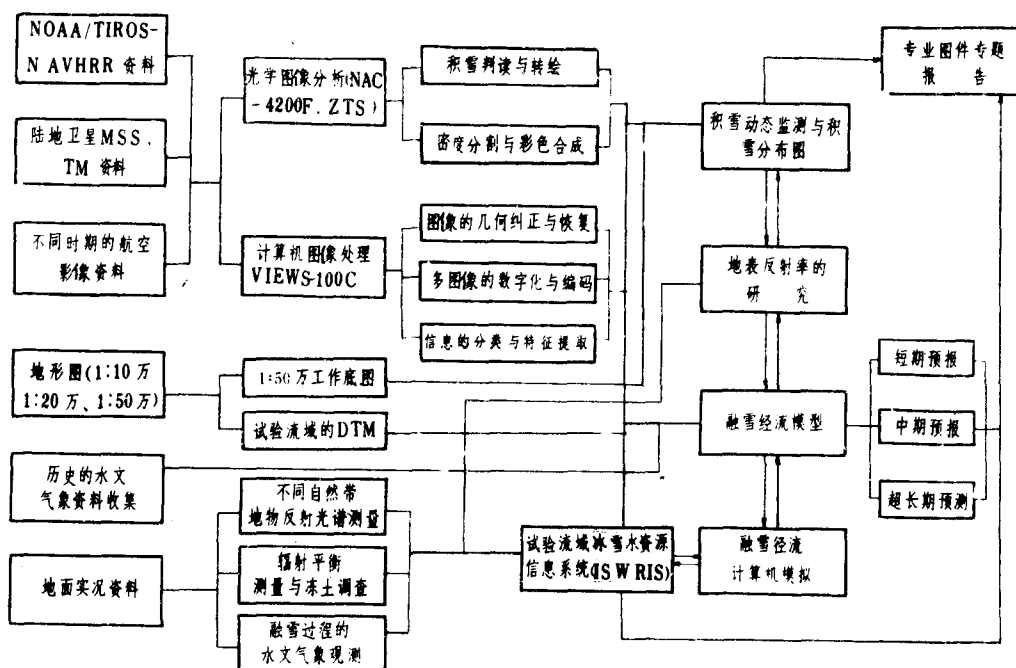


图 2 黄河上游卫星雪盖监测与融雪径流研究实施框图

四、主要成果

1. 野外考察、观测和试验

(1) 1986 年 10—11 月专题主要业务人员前往青海省果洛州、阿尼玛卿山、雪山乡、唐乃亥、曲什安河及兴海县等地，进行积雪路线调查，收集本区有关资料和图件，论证实施方案和制定专题研究的实施计划。

(2) 1987 年 4—6 月中旬，专题野外工作组前往黄河上游阿尼玛卿山进行积雪、冰川及地表反射率调查、测量，并于 5 月中旬至 6 月上旬在切木曲河（黄河一级支流，源于阿尼玛卿山）的雪山乡（海拔高度 3 888m）建立临时水文、气象哨；观测内容有：气温、湿度、风速风向、降水、日照、地表温度、地中温度及太阳总辐射、反射辐射、水位、流速、流量等。所有水文、气象观测方法均按国家水文、气象部门颁布的规范进行。5 月下旬考察了阿尼玛卿山的哈龙 1 号和 2 号冰川的积雪状况及冰川变化等。同时从 3 600—4 250m 测量各自然地带不同地物类型，如植被、土壤、积雪及河冰等积分反射率并进行积雪覆盖率与反射率关系的试验研究，继续收集和整理主要水文、气象台站历史资料。

(3) 1989 年 7—8 月专题主要成员前往上游扎陵湖、鄂陵湖、阿尼玛卿山等地考察，补充收集有关资料，征求用户意见等。

2. 从 NOAA-9, 10, 11 气象卫星的 AVHRR 影像及 CCT “IB”数据集提取流域雪盖率方法研究

从 1985 年至 1990 年 5 月,共收集近 300 幅 AVHRR 可见光和红外影像,从中挑选无云或少云的影像在 NAC-4200F 多彩色数据分析系统、Views-100C 型计算机图像处理系统和 ZTS-4 可变焦转绘仪等,经几何纠正、增强处理、解译和转绘,提取流域积雪覆盖率,为春季径流中、长期预报模型提供输入参数。AVHRR 的 CCT“IB”数据集由国家气象局气象卫星中心提供。这些资料都经过订正(包括太阳高度角订正、红外波段的临边变暗订正等),地理定位,7 天最小亮度合成法消除云的影响,投影改正,拼图等处理;再将唐乃亥水文站以上流域的边界经、纬度做成与三条轨道拼接数据相一致的掩膜文件一并输入,经运算按反照率分层的要求形成一个数据矩阵,矩阵的元素即像元。并以数字 0—9 表示反照率的 10 个层次及各层次的相对面积,然后参照野外实验确定积雪的门限值,划分出有雪区和无雪区,即可统计某时段全流域积雪覆盖率^[1]。

3. 流域积雪系列图及积雪分布特征

根据黄河上游及其邻近地区 42 个水文、气象台站资料和 AVHRR 影像的判读,编制本区 1:150 万历年冬、春逐月最大积雪深度图、逐月积雪日数图、逐月平均降水分布图和降水总量分布图等见附图 1—20。由附图 1—20 可知,本区存在两个最大积雪深度高值区,即西部以阿尼玛卿山为中心,经仁侠姆至巴颜喀拉山口以西;东部沿郎木寺,越过久治,顺若尔盖直达红原一带展布;流域中部为相对低值区。冬季积雪深度较薄,春季的 3、4 月最深,5 月以后逐渐减薄,至 6 月中旬季节性积雪全部消融殆尽。流域冬、春积雪日数的高值区沿阿尼玛卿山经仁侠姆向西至黄河源头一带分布,其中高中心有两个,其一为阿尼玛卿主峰—仁侠姆,另一为清水河—巴颜喀拉山山口。

在一定的高度范围内,降雪量随海拔高度的升高而增加,即:

$$P_s = 865.7 \ln H - 2936.05 \quad (1)$$

式中: P_s —年降雪量(mm);

H —海拔高度 (m)。

影响降雪量的因素除海拔高度以外,尚有经纬度,采用趋势面分析,得方程:

$$P_s = 3380.4 - 100V + 0.059H \quad (2)$$

式中: V —经度,其他符号同 (1) 式。

由 (2) 式可知,纬度对本区降雪量的影响较弱,故在方程中被削除。

由于降雪受地形和天气条件等因素的影响,降雪量和积雪面积之间的关系不稳定。但积雪面积的大小可以从一个侧面反映了降雪量的多少;若以冬、春积雪覆盖率累计值(ΣS ,以百分比计算)作为参变量,即可估算年降雪量 P_s :

$$P_s = 1 / (0.0067 + 158176.6e^{-\Sigma S}) \quad (3)$$

分析近年 NOAA-9, 10, 11 的 AVHRR 影像表明,黄河上游 1982, 1983, 1989,

1990 年为丰雪年；1987，1988 年持平，1984—1986 年为连续少雪年，比平均值少 5 至 7 成。以春季各旬而言，历年平均 4 月上旬流域雪盖率最大，嗣后逐渐减少（图 3）。

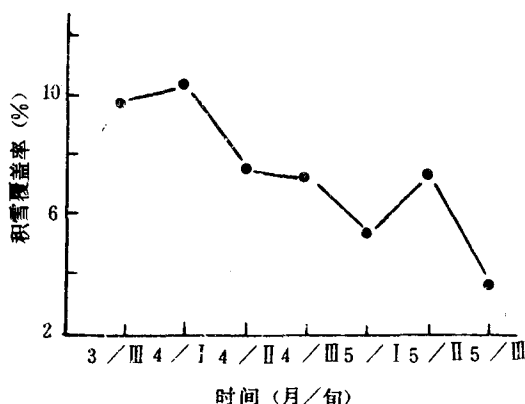


图 3 唐乃亥站以上黄河上游 1976—1989 年 3 月下旬至 5 月下旬平均积雪覆盖率变化曲线
(图中：I—上旬，II—中旬，III—下旬)

4. 黄河上游典型地区冰雪水资源信息系统 (ISWRIS)

本专题选择在黄河上游阿尼玛卿山地区建立试验性的冰雪水资源信息系统，主要覆盖阿尼玛卿山主峰及切木曲和曲什安河流域，介于 $34^{\circ} 20' - 35^{\circ} 40' N$ ， $99^{\circ} 00' - 100^{\circ} 30' E$ 之间，面积 $20\,700\text{km}^2$ 。ISWRIS 的设计思想是用于黄河上游地区冰雪动态监测与融雪径流预报，并为今后发展预报专家系统服务的、相对独立的专题信息系统。本系统以综合分析区域冰川、积雪的时空分布为主，以提供融雪径流预报参数为目的。在系统设计中主要采用网格和树形结构数据管理方式并可通过人机对话的操作方式，对系统信息进行查询、检索、删除、更改、访问以及某些数据处理等。系统采用 1:20 万地形图作为信息系统的控制基础，并以经向为 $1'$ 、纬向为 $0.5'$ 作为数字化地理格网，每一格网面积约 1.44km^2 ；高程点采样达 14 651 个，为了实现卫星遥感图像的系统校正、几何定位以及与地形匹配，在地形图上采集部分有明显地物标志的高程点、控制点及特征点，形成非正规化的控制格网，作为正规格网的补充^[4]。

ISWRIS 主要内容是与冰雪水资源有关的图形信息、遥感图像信息以及地面实况调查数据等三大类，以地形图数字格网及矢量数据结构形式，对上述信息进行计算机的存贮与管理。本系统的操作主要在 IBM-PC/XT 机上实现。此外，Views-100C 型和 NAC-4200F 图像处理系统作为主要辅助设备，与系统脱机工作。ISWRIS 信息的存贮与管理以数据文件的形式，在 DBASE-III 的支持下实现；应用程序的设计采用高级的 BASIC 语言。系统功能分别由数据整理 (DAZL)、数据管理 (DAGL)、信息分析 (ANIF) 和系统应用 (APSY) 等四个相互独立的应用模块来完成。各模块之间的联系是通过多级驱动菜单的交互式人机对话操作方式来实现。为了便于对 ISWRIS 的操作，主

菜单中还设计了各操作命令的提示说明等辅助性文件 (HELP), 对本系统进行操作与运行^[5]。

5. 黄河上游春季径流预测、预报及验证

(1) 影响春季径流变化的主要因素的分析

根据资料分析, 由 NOAA-9, 10, 11 的 AVHRR 影像或 CCT“IB”数据集获得的流域冬、春积雪覆盖率累积值与春季径流的关系十分密切, 如图 4 所示, 两者相关系数达 0.85, 这就是利用卫星雪盖资料作为春季径流预报模型的主要输入参数的依据之一。

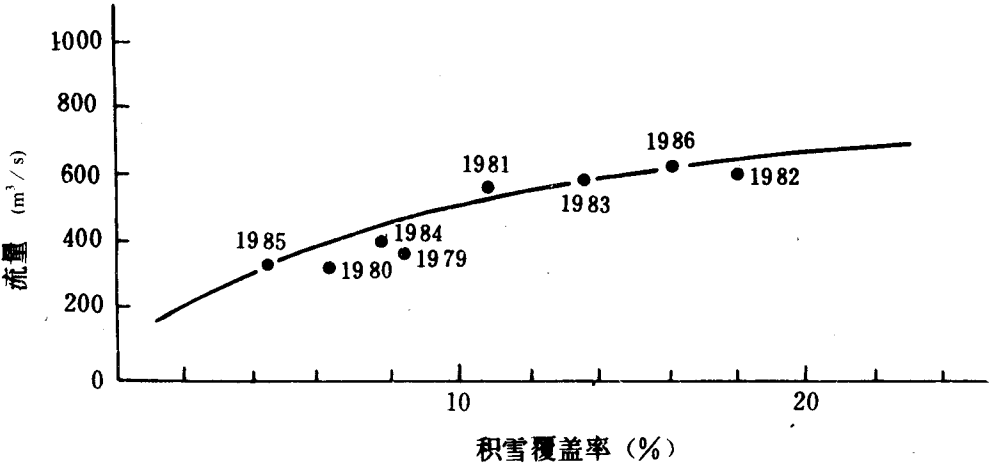


图 4 唐乃亥 1979—1986 年历年 5 月上旬平均流量
与阿尼玛卿山地区积雪覆盖率的关系

春季融雪期间降雨量对径流的影响, 随气温的升高和积雪面积的减少而增加, 采用泰森多边形面雨量算法, 求得流域 3—6 月面雨量值与同期径流量作相关分析, 各月两者相关系数相应为 0.02, 0.10, 0.31 和 0.52。由此可见, 融雪期间降雨对径流的影响不是主要因素。而在一定的情况下, 气温 (包括高空 $5 \times 10^4 \text{Pa}$ 气温) 是影响春季径流的主导因素之一, 应用灰色系统理论中的关联分析结果也证明了这一点。

根据以上研究, 选择出 4 月上旬至 6 月上旬龙羊峡水库各旬入库流量 (Y) 的预报因子如下:

- X_1 —唐乃亥水文站当年春季前期 (旬) 平均流量 (m^3/s);
- X_2 —流域当年春季前期 (旬) 平均积雪覆盖率 (%);
- X_3 —唐乃亥以上流域 (下同) 去冬 10 月份平均积雪覆盖率 (%);
- X_4 —果洛气象站当年春季前期 (旬) 降水量 (mm);
- X_5 —果洛气象站去冬 10 月份降水量 (mm);
- X_6 —果洛气象站去冬 10 月份平均最高气温 ($^{\circ}\text{C}$);
- X_7 —果洛气象站当年春季前期 (旬) 平均最高气温 ($^{\circ}\text{C}$)。

应用灰色系统理论分析上述诸因子的关联序及关联度的结果列于表 1。