

文章编号: 1000-0240(2009)02-0189-09

黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验

王 建¹, 车 涛¹, 张立新², 晋 锐¹, 王维真¹, 李 新¹,
梁 继¹, 郝小华¹, 李弘毅¹, 吴月茹¹, 胡泽勇¹

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘 要: 介绍了黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验, 论述了试验目标与研究内容、试验区的选择设计以及寒区水文长期观测试验. 上游试验以理解寒区水文过程、提高寒区定量遥感水平为主旨, 以积雪和冻土为主要研究对象, 开展了微波辐射计、高光谱成像仪航空遥感和地面同步观测, 并选择典型小流域进行长期寒区水文过程观测与研究. 试验集中在冰沟积雪小流域、阿柔草场和扁都口裸露耕地 3 个不同地表覆盖区, 以积雪和冻土变量与参数的测量为主. 同步试验在流域尺度、重点试验区、加密观测区和观测小区 4 个尺度上展开, 分别布置了加密的地面同步观测、通量和气象水文观测、降雨、径流及其它水文要素观测网络; 航空飞行传感器分别采用微波辐射计、高光谱成像仪、热红外成像仪和多光谱 CCD 相机, 收集获取了试验区丰富的可见光/近红外、热红外、主被动微波等卫星数据. 通过试验, 初步构建了上游寒区航空-卫星-地面综合数据集, 可以应用于改进和验证寒区陆面/水文过程模型.

关键词: 遥感; 航空遥感试验; 寒区水文; 积雪; 冻土; 初步成果

中图分类号: TP75:P334 **文献标识码:** A

0 引言

地球表层系统科学已成为实验科学, 在地球表层系统科学从经验科学走向实验科学的进程中, 一系列针对地表过程的大型观测试验扮演了重要的角色. 在各类陆面过程试验中, 寒区和干旱区也受到了高度的重视^[1-3], 如在 2002—2005 年实施的在气候与冰冻圈研究 (ChC) 等科学计划框架下的寒区陆面过程试验 (CLPX) 是陆地冰冻圈较为全面的试验. 在 CLPX 试验的 4 个主题中, 重点针对雪和冻土状态的观测回答气候响应和遥感在各种模型参数输入精度的评价问题, 在飞行测量上更加突出微波传感器的作用. 除了水文预报和雪模型, CLPX 还将服务于中尺度天气预报模型以及全球生态和生物

地球化学模型. 在寒区水文过程试验框架中, CLPX 试验更注重模型参数反演精度评价. 因此, 在黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验中, 更为突出理解和模拟流域尺度的水文过程^[4].

从雪盖面积制图到积雪特征多要素的提取, 从土壤水分、地表温度到地表冻融状态的反演, 对于在高寒地区的寒区水文过程的研究, 遥感技术正在逐步发挥其不可替代的作用. 随着多源、多时相、多角度卫星遥感数据获取的逐步实施, 为寒区水文乃至寒区地表过程科学的研究提供了丰富的信息. 如何将这些信息有效地利用, 促进对寒区水文和地表过程的理解, 是目前国内外科学家高度关心的问题^[5-6]. 首先, 寒区水文和地表过程模型的发展、模拟和验证离不开完备的科学数据, 以流域为单元

收稿日期: 2009-01-06; 修订日期: 2009-03-10

基金项目: 中国科学院西部行动计划(二期)项目“黑河流域遥感-地面观测同步试验与综合模拟平台建设”(KZCX2-XB2-09); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB714400); 国家自然科学基金项目(40671040; 40601065)资助

作者简介: 王建(1963—), 男, 江苏沙洲人, 研究员, 2004 年在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所获博士学位, 现主要从事寒区遥感应用和积雪水文模拟模型研究. E-mail: wjian @lzb.ac.cn

的流域科学研究对数据要求提出了更高的标准；其次，海量遥感数据的处理使得以往的经验与统计方法被定量遥感手段所替代，并对定量遥感模型的普适性和精度，以及多种模型的集成和多源数据的融合等方面提出了更高的要求；第三，遥感数据如何被直接或间接用于对寒区水文和地表过程的认识和理解，这就提出了过程模型与数据的集成方法；第四，卫星数据获取的是像元尺度上的观测，而地表观测往往代表了某些点上的信息，如何解释二者的异同是尺度问题；第五，在高寒地区，往往地形复杂，地表类型（尤其是积雪覆盖地区）变化剧烈，为了解释遥感像元内的非均匀性，混合像元或者亚像元问题被提出。作为关键科学目标，黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验将面向上述诸多的科学问题展开^[7-10]。

1 试验目标和研究内容

1.1 试验目标和关键科学问题

“黑河综合遥感联合试验”是由中国科学院西部行动计划(二期)项目“黑河流域遥感-地面观测同步试验与综合模拟平台建设”与国家重点基础研究发展计划(973计划)项目“陆表生态环境要素主被动遥感协同反演理论与方法”共同设计并组织实施。作为“黑河综合遥感联合试验”的重要组成部分，黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验的目标为以理解寒区水文过程、提高寒区定量遥感水平为主旨，以积雪和冻土为主要研究对象，开展微波辐射计、激光雷达、高光谱成像仪航空遥感和地面同步观测，并选择典型小流域进行长期寒区水文过程观测。以航空遥感为桥梁、以地面真实性检验为标准，改进与发展卫星遥感数据反演寒区水文过程变量和参数的方法。构建上游寒区航空-卫星-地面综合数据集，应用于改进和验证寒区陆面/水文过程模型^[1, 11]。

重点和优先解决以下科学问题：

- (1) 遥感在多大程度上可以提高我们对于寒区水文过程的认识；
- (2) 如何通过尺度转换，将多源和多尺度的遥感与地面观测资料相结合，应用于寒区水文和流域集成模型。

1.2 研究内容

黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验的研究内容紧密围绕寒区水文过程，开展航空-卫星-地面遥感综合观测试验。图 1 给出了寒区水

循环关键观测要素概念图。具体研究包括 5 个方面：航空遥感试验，地面同步观测试验，地面定位长期观测试验，卫星遥感数据获取与处理和寒区水文参数定量遥感反演研究。

1.2.1 航空遥感试验

航空遥感试验以加密观测区为单元开展。在冰沟流域，利用机载微波辐射计获取积雪的微波辐射亮度温度数据；在阿柔乡和扁都口，利用机载微波辐射计和红外摄影仪观测冻土地表的微波辐射和红外亮度温度数据；在冰沟流域，开展机载高光谱成像仪和 CCD 相机航空试验，获取高分辨率积雪的高光谱数据。

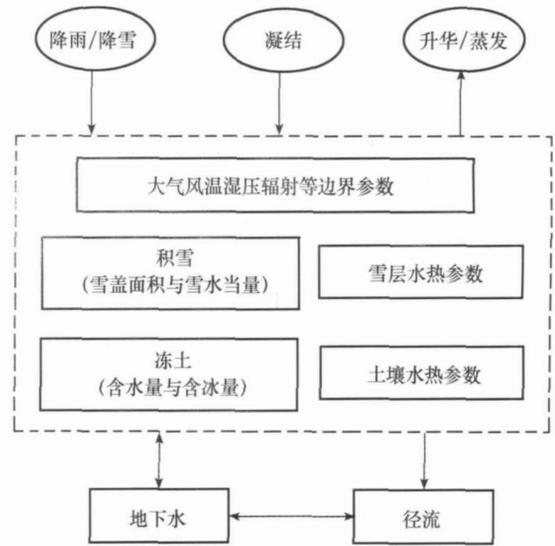


图 1 黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验水循环观测要素概念图

Fig. 1 The conception of water circulation factors in the simultaneous observation experiment in the upper reaches of Heihe River

1.2.2 地面同步观测试验

地面同步观测试验主要围绕航空和卫星遥感测量目标同步开展，主要包括以下方面：

配合机载微波辐射计试验，利用地基微波辐射计开展多波段、多角度、双极化的定点观测；同步观测地面积雪(包括雪深、密度、温度、液态水含量和雪粒径)及土壤冻融状态(包括土壤温度、液态水含量和含冰量)等参数；

配合机载和星载高光谱、多光谱遥感试验，利用多台野外光谱仪观测积雪、土壤和不同植被类型的光谱特征，为高光谱遥感提供辐射定标信息，并验证雪面光谱反射率反演结果；同步观测积雪的粒径、雪深、密度和温度等信息。同时观测用于大气

校正的大气参数(如气溶胶、水汽等)。

1.2.3 地面定位长期观测试验

针对典型小流域的寒区水文过程,在冰沟流域建立长期观测站,观测不同海拔梯度上的冻土和积雪水文过程,包括积雪面积、厚度和密度,冻土的液态水含量与含冰量、温度及冻结深度,积雪、冻土和融土表面的蒸发与下渗量,以及降水(降雨和降雪)和其它气象要素。布设坡面径流场开展模拟观测与试验,并在流域出口处设置水文断面观测径流量。

为开展积雪和冻土遥感机理研究,利用地基微波辐射计和野外光谱仪连续观测积雪和冻土的微波亮度温度和光谱特征。

1.2.4 卫星遥感数据获取与处理

收集多时段卫星遥感数据,并进行预处理。卫星数据包括可见光/近红外与红外遥感数据(Landsat TM, ASTER, 以及高光谱 HYPERION 和高分辨率 IKONOS), 雷达卫星数据(ASAR 和 PAL-SAR)和星载被动微波亮度温度数据(AMSR-E 和 SSM/I)。

1.2.5 寒区水文参数定量遥感反演

利用星载和机载遥感数据,开展积雪、冻土和植被的遥感反演研究,利用地面实测数据进行验证。最终获取积雪参数(深度、雪盖面积、液态水含量、雪面温度和雪粒径)、冻土参数(地表冻融状态、地表温度和含水/冰量)和高分辨率植被类型数据。以航空遥感为支撑、以地面真实性检验为标准,重点研究卫星遥感数据反演积雪反射率、雪粒径、雪水当量、土壤冻融和土壤水分的方法。

2 试验区与试验期

2.1 试验区

试验区的选择分为重点试验区、加密观测区和观测小区,在以往黑河上游寒区水文研究的基础上,选择有代表性的典型小流域和观测点。

重点试验区为黑河上游东支八宝河子流域。加密观测区分别为:1)冰沟流域。开展积雪观测,包括地面-遥感同步观测,寒区水文过程观测,土壤水热和大气边界层观测;2)阿柔乡。开展冻土观测,包括地面-遥感同步观测,以及长期的大气边界层观测;3)扁都口。开展冻土的地面-遥感同步观测。试验区布置见图2。

2.2 冰沟流域

冰沟流域(38°01' ~ 38°04' N, 100°12' ~ 100°18'

E)位于黑河上游东支二级支流上,海拔3450~4400m,平均海拔3920m,流域面积30.28km²,平均宽度3.59km。季节性积雪厚度约为0.5m,最深达0.8~1.0m;多年冻土下界可能在海拔3400m左右。主要开展积雪遥感同步观测,长期观测目标为积雪水文和冻土水文(图3)。

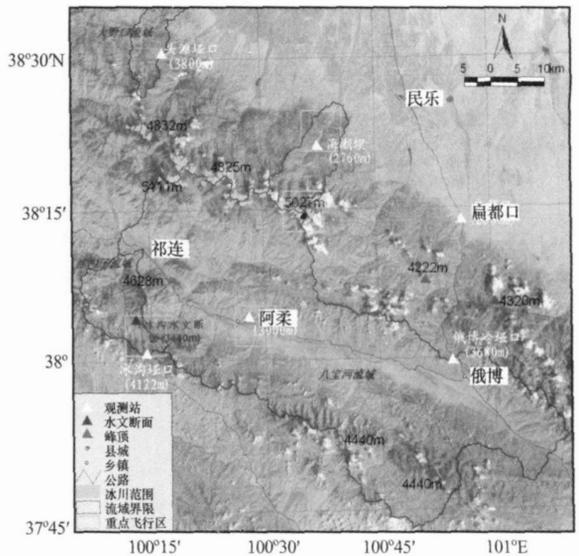


图2 黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验区布置图

Fig. 2 Allocation in the upper reaches of Heihe River for the simultaneous observation experiment

2.3 阿柔乡

阿柔乡(100°26' N, 38°03' E)位于八宝河流域中部河谷地带,海拔约3000m,地势开阔平坦。主要开展积雪和地表冻融状态的遥感-地面同步观测,并长期观测季节冻土的水热变化特征(图4)。

2.4 扁都口试验区

民乐县扁都口(100°56' N, 38°13' E)以北平坦开阔地,平均海拔2800m。主要观测瞬时积雪参数及地表冻融状态,并与卫星过境同步,观测地表温度,验证被动微波地表冻融分类算法(图5)。

3 寒区水文试验观测过程的分期

3.1 试验准备期(2007年7-10月)

在2007年7月1日-10月31日期间,完成遥感和地面观测方案的详细设计,建设观测基地,设置地面观测场。建立通量和气象水文观测网络,标定观测仪器,集成已有观测资源,预订卫星遥感数据,落实航空遥感仪器和搭载平台。

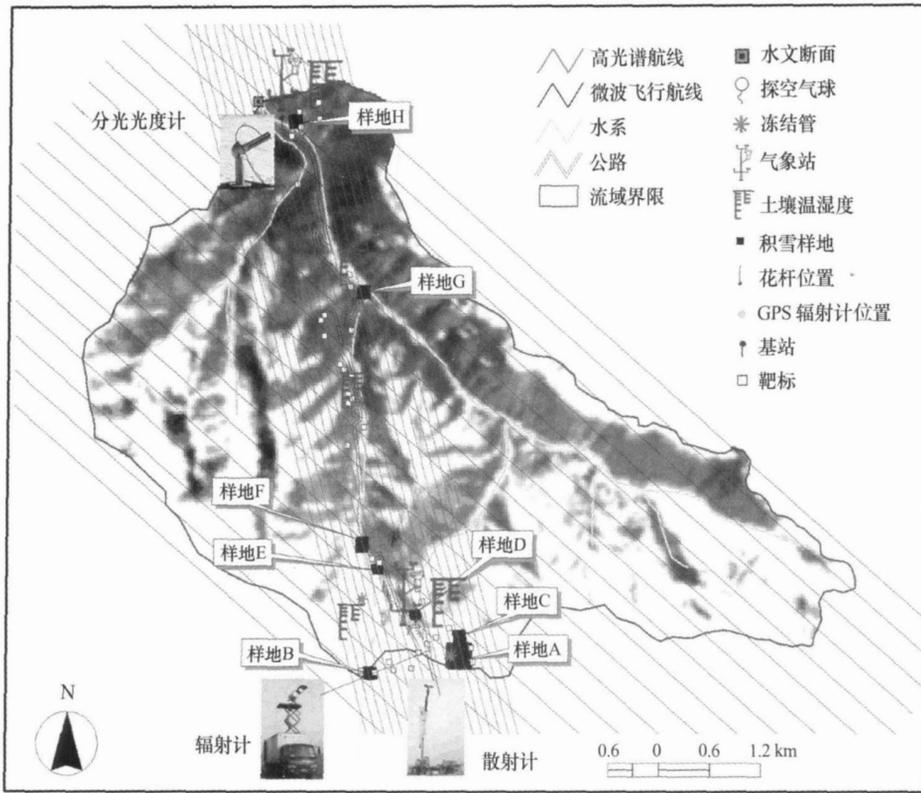


图 3 黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验加密观测区：冰沟流域观测布置图

Fig. 3 Allocation in the densely observed area: Binggou

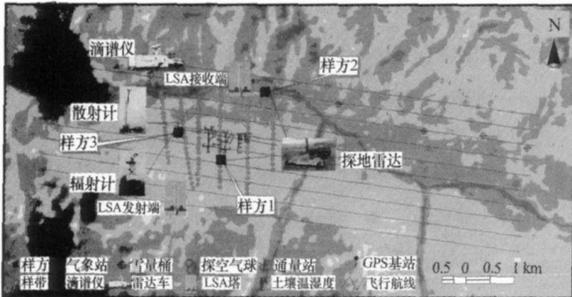


图 4 黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验加密观测区：阿柔乡观测布置图

Fig. 4 Allocation in the densely observed area: Arou

3.2 预试验期(2007年10-12月)

在预试验期间，主要开展模拟航空遥感试验，开展地面同步测量，验证地面同步测量的设计方案和测量方法；收集同期卫星资料，开展参数反演的算法研究。

2007年10月13日-10月30日阶段的预试验主要围绕“土壤冻融”展开，以整个试验目标为基本出发点。模拟航空遥感试验开展了星载卫星数据的地面同步观测，用于发现试验方案中存在的问题并及时改正细化；设置地面观测场，用地基微波辐射

计连续观测土壤亮温的变化规律，为发展冻/融土壤的微波辐射传输模型提供基本参考信息。

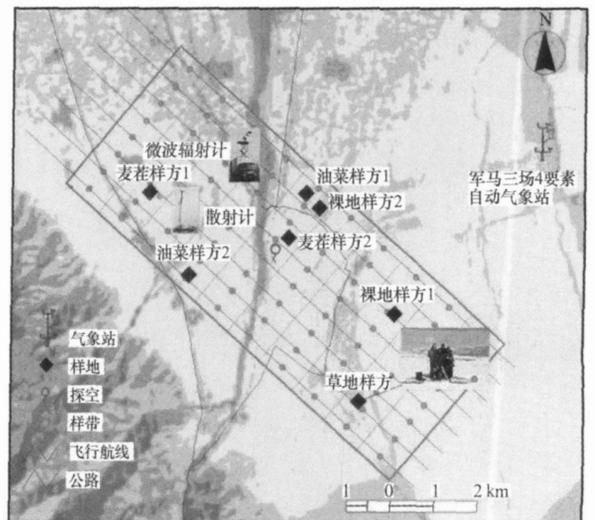


图 5 黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验加密观测区：扁都口观测布置图

Fig. 5 Allocation in the densely observed area: Biandukou

2007年12月4-16日，在冰沟流域开展了积雪预试验。积雪预试验分为两个阶段：第一阶段在

表 1 黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验航空遥感试验统计

Table 1 The information of airborne remote sensing in the simultaneous observation experiment

时间/(月-日)	传感器	区 域	目 标
2008-03-19	L + K 波段微波辐射计	阿柔乡和扁都口	土壤冻融与土壤水分
2008-03-21	L + K 波段微波辐射计	扁都口	土壤冻融与土壤水分
2008-03-22	高光谱成像仪 + CCD 相机	冰沟流域	雪盖与雪面反射率
2008-03-24	高光谱成像仪 + CCD 相机	冰沟流域	雪盖与雪面反射率
2008-03-29	Ka + K 波段微波辐射计	冰沟流域	积雪深度与湿度
2008-03-30	Ka + K 波段微波辐射计	冰沟流域	积雪深度与湿度
2008-04-01 上午	L + K 波段微波辐射计	阿柔乡	土壤冻融与土壤水分
2008-04-01 下午	L + 热红外成像仪	阿柔乡	土壤冻融与土壤水分

12 月 4 - 11 日，主要针对模拟航空卫星遥感进行地面同步观测；第二阶段在 12 月 12 - 16 日，主要是针对积雪微波辐射特征和光谱特性的连续观测。

3.3 加强试验期(2008 年 3 - 4 月)

积雪试验是寒区试验的主要目标之一。从 2 月 27 日地面长期观测人员到达冰沟试验区起，寒区积雪试验加强观测正式开始，截止 4 月 11 日，冰沟试验区主要开展了大量针对航空和卫星遥感的地面同步试验，以及冰沟流域径流、花杆(雪深)和蒸发的连续人工观测。

冻融试验在阿柔和扁都口两个试验区进行。从 3 月 11 日开始，两个试验区分别进行了可见光、主动微波卫星遥感的地面同步试验和被动微波航空遥感的地面同步试验，以及探地雷达观测土壤冻融与土壤水分观测。

3.4 持续观测期(2008 年 4 月 - 2009 年 12 月)

2007 年夏季布设仪器，9 月份开始观测冰沟流

域水文过程的各个变量以及阿柔乡季节冻土的温度和水分廓线，同时对 3 个土壤湿度温度梯度和两个自动气象站进行持续观测。

4 航空-卫星-地面同步试验

4.1 航空遥感同步试验

航空飞行从 3 月 18 日正式开始，分别开展了针对冻/融土微波遥感、积雪高光谱遥感和积雪微波遥感的多次航空飞行，成功完成了寒区试验的飞行目标，总架次为 8 次(表 1)。共计使用了 4 种航空遥感传感器，包括微波辐射计、高光谱成像仪、热红外成像仪和 CCD 相机^[1]。

4.2 卫星遥感同步试验

在预试验期和加强观测期共计开展卫星遥感同步试验 10 次，包含了所有寒区水文遥感试验科学目标的各个方面(表 2)。

表 2 黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验卫星遥感试验统计

Table 2 The information of satellite remote sensing in the simultaneous observation experiment

时间/(年-月-日)	传感器	区 域	目 标
2007-10-17	ASAR	阿柔乡、俄堡和扁都口	土壤冻融与土壤水分
2007-10-18	ASAR	阿柔乡和俄堡	土壤冻融与土壤水分
2007-12-07	MODIS	冰沟流域	雪盖与雪面反射率
2008-03-12	ASAR	扁都口和阿柔乡	土壤冻融与土壤水分
2008-03-14	ASAR	阿柔乡和冰沟流域	土壤冻融与土壤水分,积雪深度与湿度
2008-03-15	ASAR	阿柔乡和冰沟流域	土壤冻融与土壤水分,积雪深度与湿度
2008-03-21	ASAR	阿柔乡和扁都口	土壤冻融与土壤水分
2008-03-14	MODIS	冰沟流域	雪盖与雪面反射率
2008-03-17	Hyperion + TM	冰沟流域	雪盖与雪面反射率
2008-03-19	MODIS	冰沟流域	雪盖与雪面反射率

表 3 黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验地面同步观测项目统计

Table 3 The ground observation items in the simultaneous observation experiment

观测参数	观测方法	目 的
雪深	量雪尺	遥感验证, 辐射传输模型验证, 水文模型输入
雪层温度	温度计, 手持红外温度计	遥感验证, 水文模型输入
雪粒径	手持显微镜	同上
雪层液态水含量	IHSA 方法	同上
雪密度	体积量雪器	同上
雪表面粗糙度	粗糙度测量板	遥感验证
雪面微波亮度温度	地基微波辐射计	航空遥感验证, 辐射传输模型验证
雪面反射率	野外光谱仪	航空遥感验证
土壤温度	温度计, 手持红外温度计	遥感验证, 水文模型输入
土壤水分	烘干法, 土壤水分速测仪	同上
冻结深度	冻结管, 探地雷达	水文模型输入
土壤冻融状态下微波亮度温度	地基微波辐射计	航空遥感验证, 辐射传输模型验证
地表面粗糙度	粗糙度测量板	遥感验证

4.3 地面同步观测试验

在预试验期和加密观测期, 配合遥感试验, 地面同步观测试验是非常关键的. 卫星遥感同步观测时, 在地面布设样方, 以期通过规则的地面采样点实现卫星像元尺度上的观测. 针对航空遥感同步观测, 在地面沿着飞行航线的垂直方向布设样带, 以保证采样的同步进行. 观测方法如表 3 所示.

4.4 寒区水文长期观测试验

寒区水文遥感试验中寒区水文的长期观测从预试验开始, 一直持续观测, 目前计划观测至 2009 年

12 月. 长期观测试验将对理解寒区水文过程, 积累寒区水文观测数据, 以及为发展和验证寒区水文模型提供基础资料. 长期观测试验主要包括大气边界层观测和寒区水文过程观测.

4.4.1 大气边界层观测

黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验中, 大气边界层观测收集研究区内国家气象局业务站的数据, 同时在如下 4 个观测站开展(表 4). 其中, 阿柔冻融观测站、冰沟寒区水文气象观测站和大冬树山哑口积雪观测站为黑河流域遥感-地面

表 4 黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验中大气边界层观测站一览表

Table 4 Stations for the simultaneous observation experiment of atmospheric boundary layer with cold hydrological remote sensing and ground observation

序号	站名	位置	观测项目	景观类型
1	阿柔冻融观测站	100°27' E, 38°03' N, 海拔 3 033 m	大气: 风温湿梯度观测(2 m 和 10 m)、气压、降水; 四分量辐射; 土壤剖面: 温度、水分、水势(10 cm、20 cm、40 cm、80 cm、120 cm 和 160 cm)及土壤热通量(5 cm 和 15 cm); 涡动相关; 大孔径闪烁仪	高山草原
2	冰沟寒区水文气象观测站	100°13' E, 38°04' N, 海拔 3 407 m	大气: 风温湿梯度观测(2 m 和 10 m)、气压、降水; 四分量辐射; 土壤剖面: 温度和水分(10 cm、20 cm、40 cm、80 cm 和 120 cm)及土壤热通量(5 cm 和 15 cm)	高山草甸(河滩地)
3	大冬树山哑口积雪观测站	100°14' E, 38°01' N, 海拔 4 101 m	大气: 风温湿梯度观测(2 m 和 10 m)、气压、雨雪量计; 雪深; 四分量辐射; 土壤剖面: 温度和水分(10 cm、20 cm、40 cm、80 cm 和 120 cm)及土壤热通量(5 cm 和 15 cm)	高山寒漠
4	野牛沟寒区水文站	99°33' E, 38°28' N, 海拔 3 320 m	大气: 温湿梯度观测(1.5 m 和 2.5 m)、风速风向、气压、降水、地表温度; 净辐射和总辐射; 二氧化碳(3.5 m); 土壤剖面: 温度和水分(20 cm、40 cm、80 cm、120 cm 和 160 cm)及土壤热通量(5 cm)	高山草原

观测同步试验项目新建, 野牛沟寒区水文站为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所水土资源室已有站。

4.4.2 寒区水文过程观测

在冰沟流域出口设置断面, 每日观测径流, 在融雪期加密至每日 4 次观测。同时, 布设了坡面径流场, 径流场由保护带、护埂、渗水面、承水槽、导水管、观测室等几部分组成, 观测地表径流和浅层壤中水流。在冬春季, 按照不同的地形在冰沟流域高海拔地区布设花杆定期测量雪深的分布特征。在气象站附近以及不同海拔梯度埋设了多层土壤水热自记观测点。

5 预期初步成果

通过试验建立了以冰沟为主体的寒区水文与遥感试验基地, 并获得大量的卫星、航空和地面数据。初步分析在雪参数测量、冻土参数测量和水文过程观测方面取得以下成果:

(1) 围绕雪的物理特性开展了全面的地面测量, 包括雪粒径、雪深/密度、雪光谱、雪温、雪反照率、雪湿度、积雪介电常数、积雪液态水含量。对祁连山山区积雪的特性有了基础的认识。

(2) 以高光谱 Hyperion 影像为数据源, 开展了雪反射率和雪粒径反演研究, 并利用模拟模型和实测数据进行验证, 结果达到了较高的精度。

(3) 进行积雪的地基微波测量, 结合航空遥感试验观测开展雪深微波反演研究。结果显示, 由于定标参数的不确定性以及复杂地形的影响, 雪深微波反演效果不理想。也反映了微波反演过程的两个关键问题亟待继续深入的研究。

(4) 以不同覆盖下的冻土为目标, 开展了土壤冻融循环观测。包括: 土壤总含水量、含冰量、地表温度、土壤剖面温度, 地表粗糙度, 典型地表类型微波辐射观测, 散射计观测。并初步对土壤水分和盐分变化的监测开展了研究。

(5) 对 2008 年积雪期水文过程进行了阶段性分析, 将积雪期划分为冬季雪积累期, 春季雪积累期, 融雪期和雨雪期。冬季雪积累期降雪较少, 降雪集中在春季雪积累期。雨雪临界温度为 $0 \sim 4$ 。使用基于物理过程的概率方法推算冰沟流域雪面升华和蒸发, 并进行了实地验证。

(6) 冰沟流域 2008 年春季融雪水出流量达到 $398 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

6 结语

黑河流域上游寒区水文遥感-地面同步观测试验是以“水”为主线的, 航空-卫星-地面为一体的综合性遥感试验。目前, 遥感-地面同步试验已经顺利完成, 而持续观测试验仍在继续, 尤其是航空-卫星-地面综合数据正在并将继续处理和分析, 已经获取了部分阶段性成果。在今后的一段时间内, 需要利用本次试验的数据构建黑河上游寒区航空-卫星-地面综合数据集, 并将其应用于改进和验证寒区陆面/水文过程模型。在提高遥感技术在寒区水文研究中的应用水平的同时, 也增强我们对寒区水文过程的理解。

7 黑河综合遥感联合试验介绍

“黑河综合遥感联合试验”总体目标是: 开展航空-卫星遥感与地面观测同步试验, 为发展流域科学积累基础数据; 发展能够融合多源遥感观测的流域尺度陆面数据同化系统, 为实现卫星遥感对流域的动态监测提供方法和范例。并尝试应对以下 3 个科学问题:

(1) 遥感在多大程度上可以提高我们对于寒区、森林和干旱区水文与生态过程的认识。

(2) 如何通过尺度转换, 将多源和多尺度的遥感与地面观测资料相结合, 应用于水文、生态及流域集成模型。

(3) 如何在陆面数据同化系统中有效地融合多源卫星遥感观测, 实现对流域水文和生态过程的动态监测。

本次试验在 3 个重点试验区开展, 包括寒区水文试验区、森林水文试验区和干旱区水文试验区。分别设计 3 个试验内容: 寒区试验、森林试验和干旱区试验, 以及一个涉及各个试验区的水文气象试验。试验分为 4 个阶段, 分别实施:

(1) 试验准备期: 2007 年 7 月 1 日 - 10 月 31 日, 完成遥感和地面观测方案的详细设计, 建设观测基地, 设置地面观测场, 建立通量和气象水文观测网络, 标定观测仪器, 集成已有观测资源, 预订卫星遥感数据, 落实航空遥感仪器和搭载平台。

(2) 预试验期: 2007 年夏季(7 - 10 月)在森林水文试验区和中游干旱区水文试验区, 冬季(10 - 12 月)在上游寒区水文试验区开展预试验。

(3) 加强观测期: 2008 年冬季(3 - 4 月)在上游寒区水文试验区开展航空-卫星-地面同步试验,

夏季(5 - 7月)在森林水文试验区和中游干旱区水文试验区开展航空-卫星-地面同步试验,按试验方案全面获取观测资料。

(4) 持续观测期:2008年7月 - 2009年12月,在加强试验期之后,主要依靠地面气象水文观测网等自动台站持续获取2个完整年度的资料,期间根据分析结果开展补充测量和若干次卫星同步试验。

试验期间,来自28个科研院校、281位科学家和研究生参与试验,使用26套大型地基遥感设备以及数百套相关仪器,飞行25个架次共计110h,分别获取了重点试验区内微波辐射计、多角度多光谱红外传感器、成像光谱仪和激光雷达航空数据,获取了大量多源卫星遥感数据,实现了多次星-机-地同步观测数据。

致谢:感谢中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、北京师范大学、中国科学院遥感应用研究所、中国科学院东北地理与农业研究所、中国科学院上海技术物理研究所、中国科学院地理科学与资源研究所、南京大学、新疆维吾尔自治区气象局、中国科学院新疆生态与地理研究所、成都电子科技大学的科研人员和学生共同参与试验;感谢中国通用飞行公司为试验的顺利完成所作的工作。

参考文献(References):

- [1] Li Xin, Ma Mingguo, Wang Jian, *et al.* Simultaneous remote sensing and ground-based experiment in the Heihe River Basin: Scientific objectives and experiment design [J]. *Advances in Earth Science*, 2008, **23**(9):897 - 914. [李新,马明国,王建,等. 黑河流域遥感-地面观测同步试验:科学目标与试验方案[J]. *地球科学进展*, 2008, **23**(9):897 - 914.]
- [2] Huang Tieqing, Zhao Tao, Feng Renguo, *et al.* Project arrangement and primal progress in the second phase of the CAS Action Plan for West Development[J]. *Advances in Earth Science*, 2007, **22**(9):888 - 895. [黄铁青,赵涛,冯仁国,等. 中国科学院西部行动计划(二期)项目布局与初步进展[J]. *地球科学进展*, 2008, **22**(9):888 - 895.]
- [3] Zheng Du, Chen Shupeng. Progress and disciplinary frontiers of geographical research [J]. *Advances in Earth Science*, 2001, **16**(5):599 - 606. [郑度,陈述彭. 地理学研究进展与前言领域[J]. *地球科学进展*, 2001, **16**(5):599 - 606.]
- [4] NASA. Cold Land Processes Field Experiment Plan, 2002 - 2003 [R/OL]. <http://www.nohrsc.nws.gov/%7Ecline/clp.html>.
- [5] Kang Ersi, Cheng Guodong, Dong Zengchuan. Glacier-Snow Water Resources and Mountain Runoff in the Arid Area of Northwest China [M]. Beijing: Science Press, 2002:1 - 304. [康尔泗,程国栋,董增川. 中国西北干旱区冰雪水资源与出山径流[M]. 北京:科学出版社,2002:1 - 304.]
- [6] Zhang Renhua. Experimental Remote Sensing Models and Its Field Foundation [M]. Beijing: Science Press, 1996. [张仁华. 实验遥感模型及地面基础[M]. 北京:科学出版社,1996.]
- [7] Liang S, Fang H, Chen M, *et al.* Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: Method and preliminary results [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, **83**(1):149 - 162.
- [8] Liang S. Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces [M]. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons. Inc., 2004.
- [9] Tian Y, Woodcock C E, Wang Y, *et al.* Multiscale analysis and validation of the MODIS LAI production: II. Sampling strategy [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, **83**(3):431 - 441.
- [10] Hufkens K, Bogaert J, Dong Q H, *et al.* Impacts and uncertainties of upscaling of remote sensing data validation for a semi-arid woodland [J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, **72**(8):1490 - 1505.
- [11] Wang Jiemin. Land surface process experiments and interaction study in China - from HEIFE to IMGRASS and GAME-Tibet/TIPEX [J]. *Plateau Meteorology*, 1999, **18**(3):280 - 294. [王介民. 陆面过程实验和地气相互作用研究—从 HEIFE 到 IMGRASS 和 GAME-Tibet/TIPEX [J]. *高原气象*, 1999, **18**(3):280 - 294.]

The Cold Regions Hydrological Remote Sensing and Ground-Based Synchronous Observation Experiment in the Upper Reaches of Heihe River

WANG Jian¹, CHE Tao¹, ZHANG Li-xin², JIN Rui¹, WANG Wei-zhen¹, LI Xin¹, LIANG Ji¹, HAO Xiao-hua¹, LI Hong-yi¹, WU Yue-ru¹, HU Ze-yong¹

(1. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China*; 2. *Research Center for Remote Sensing and GIS, School of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract: In this paper, the cold regions hydrological remote sensing and ground-based Synchronous observation experiment in the upper reaches of Heihe River is introduced, and the items and aim of the experiment, the allocation of research area and long-term cold regions hydrological observation are stated. As an important component of the experiment, the work in the upper reaches is aimed to understand the hydrological processes and enhance the level of quantitative remote sensing in cold regions. Based on airborne remote sensing and ground-based test, the methods of satellite-based remote sensing are improved and developed for extracting cold regions hydrological processes parameters. The experiment is carried out in three areas (Binggou watershed, Arou grassland and Biandudou), of which the land coverage is different. Snow cover and frozen soil variables and parameters are the main object of the observation. Synchronous experiment is launched in four areas with

different scale: basin-scale area, basal area, densely observed area and small observation area. In these areas, dense ground synchronous observation was arranged, together with an observation network of fluxes, meteorological and hydrological elements. The aviation sensors included microwave radiometer, hyperspectral imager camera, thermal infrared imager camera and multi-spectral CCD camera, able to collect a wealth of visible/near infrared, thermal infrared, active and passive microwave satellite data over the experimental areas. Through the experiments, an air-satellite-ground-based integrated data set was build for the upper reaches of the river, which can be used to improve and validate land surface/hydrological process model in cold regions. Finally, the results of this experiment are presented for the snow cover, frozen soil and cold regions hydrological processes in cold regions.

Key words: remote sensing; airborne remote sensing experiment; cold regions hydrology; snow cover; frozen soil; preliminary results