

“四星三源”模式监测黄河凌汛的研究与实践

Monitoring Ice Flood of Yellow River with “Four-satellite and Three-resource” Model

杨中华/YANG Zhong-hua^{1,2},王卫东/WANG Wei-dong²,马浩录/MA Hao-lu³

1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083
2. 黄河水利职业技术学院,河南开封 475001
3. 黄河水利委员会信息中心,郑州 450004

1. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
2. Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng 475001, Henan Province, China
3. Information Center, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450004, China

[摘要] 在简要回顾黄河凌灾特征及所造成的历史灾害基础上,详细阐述了2002–2003、2003–2004、2004–2005三个年度利用RS、GIS等现代高新技术,采用“四星三源”模式监测黄河凌汛的内容、方法、主要技术和实施成果,得出主要结论:①“四星三源”监测黄河冰凌是现阶段在轨运行卫星中最佳的数据组合模式,对江河污染、洪涝灾害、山体滑坡等自然灾害的监测具有较好的参考和借鉴价值;②CBERS-02具有较高的分辨率,对冰凌具有良好的识别能力,其侧摆快速获取数据功能在突发灾害监测中具有广阔的应用前景。

[关键词] “四星三源”模式;黄河凌汛;遥感监测;RS;GIS;CBERS-02;MODIS

[中图分类号] P334

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)04-0064-04

Abstract: After a brief review on the characteristics of ice flood disaster in the Yellow River and the disasters happened in the history, we illustrate the contents, the methods, the main technology and the results of using the model “Four-satellite and Three-resource” to monitor the Yellow River with RS and GIS, during three annuals from 2002 to 2005. We come to the conclusions as follow: ①The model “Four-satellite and Three-source” is the best method to monitor the ice flood disaster in the Yellow River to date. Specifically, it is to contribute to useful reference value to monitor the pollution of the river and the floodwater and the mountain landslide. ②With high resolution and the ability to identify ice and to access data through swinging rapidly, CEBERS-02 can be applied to broad application fields in monitoring the disasters.

Key Words: “Four-satellite and Three-resource” model; ice flood disasters in the Yellow River; remote sensing; RS; GIS; CBERS-02; MODIS

CLC Number: P334

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)04-0064-04

黄河流域面临两类洪水的威胁,一类是暴雨洪水,一类是冰凌洪水。两类洪水发生的时空不同,表现的形式也不同。暴雨洪水多发生在7–9月,冰凌洪水多发生在12月至翌年2–3月。冰凌洪水突发性强、涨势猛、持续时间长,冰凌运行规律较难掌握,产生的灾害有时更甚于暴雨洪水^[1]。

1 黄河冰凌及灾害

1.1 黄河冰凌概况

黄河流域冬季受西北季风的影响,气候干燥寒冷,冬季气温一般在0℃以下,纬度愈高,气温愈低。严寒季节,最低气温上游河段可降到–35℃以下,下游河段可降到–25℃以下。因此,黄河干支流河道冬季常常封冻。黄河下游和上游宁夏、内蒙古河段由于特定的地理位置和河道边界条件的影响,每年冬春时期冰凌常常堵塞河道,冰水漫溢堤岸,形成冰凌洪水,淹没耕地、村庄、城

镇,酿成重大的灾害和损失。由于黄河凌洪来势迅猛,凌峰流量沿程增大,水位急剧壅高,天寒地冻,防守困难,容易决口成灾。在历史上凌汛决口曾被认为是人力不可抗拒的灾害,故有“凌汛决口,河官无罪”、“伏汛好抢,凌汛难防”之说^[1–3]。

1.2 凌洪灾害

由于历史文献记载很不完整,难以反映整个凌洪灾害面貌,下面仅以黄河内蒙古段不完全统计数据来说明凌洪灾害的严重程度。

远自1901年,黄河解冻卡冰结坝,洪水洋溢,大片牧场牲畜受淹;1926年黄河解冻,三盛公一带卡冰结坝,涨水高及墙顶;1927年临河永济渠因凌汛水涨,决堤洪水直扑县城,西门内新筑市房300余楹尽付东流;1930年3月永济渠李三渡口卡冰结坝,洪水陡涨,横决数口,势如万马奔驰,城西水深1.3~1.6m,直扑城垣;1933年3月黄河解冻,瞪口决口,以下沿河淹没长达150km;

收稿日期:2005-12-14

基金项目:国家自然科学基金黄河联合研究基金项目(05239080-02)

作者简介:杨中华,男,北京市海淀区学院路29号中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,副教授,主要从事“3S”技术教学、科研工作;E-mail: yzh9888@163.com

1936年黄河解冻河水大涨, 瞪口水位突高30余m, 汪洋一片, 为数十年来的奇灾; 1945年黄河解冻, 临河塔尔湾卡冰结坝, 使县城受淹; 1947年3月中旬, 黄河开河决口, 水淹至四坝、红光一带, 瞪口县尽成泽国; 同年冬黄河封冻, 渡口堂一带河水突涨, 淹没两岸数km; 1949年冬黄河封冻, 包头打不素台附近河水溢岸成灾^[1,4]。

新中国成立以来, 黄河的凌洪灾害大致可分为4个时期。①解放初期, 黄河内蒙古段两岸尚无完整的防洪大堤, 黄河上游无较大水利工程, 解冻时由上而下, 内蒙古段卡冰结坝, 每年均在20处以上, 凌洪灾害严重。②从1954年至1968年刘家峡水库修建以前为第2个时期。由于黄河内蒙古段两岸防洪大堤的修建, 有效地控制了凌洪漫溢范围, 尽管是自然情况下的由上而下地解冻开河, 卡冰结坝的数量减少不多, 但凌洪灾害损失明显减轻。③1968年刘家峡水库修建运用后至1986年龙羊峡水库修建以前为第3个时期。这一时期由于刘家峡水库的水量调节, 冰期河道流量的增加, 内蒙古段冰下过流能力明显增大, 解冻开河时冰水汇流不致水鼓冰裂, 故卡冰结坝数量减少很多, 文开河形势明显增多。④自上游龙羊峡水库建成投入运用至今为第4个时期。由于内蒙古段河床淤积日趋严重, 凌洪灾害不仅在解冻开河期造成的的损失增大, 在流凌封冻期造成的凌洪灾害较过去更为明显增大。直接经济损失平均高达700万元以上, 最多的1993年达5600多万元^[2,4-9]。

黄河凌洪灾害主要由产生冰塞、冰坝等灾害性冰情现象造成。多年的防凌减灾实践证明, 应采取工程性措施和非工程性措施相结合的治理方针^[4]。在非工程性措施中, 加强冰情与凌洪的监测和预报工作至关重要。遥感技术具有观测条件固定, 观测范围广、实时性好的特点。利用遥感技术监测黄河凌汛, 可以及时获得大范围河道的冰封情况, 及时发现封河期、开河期已经或可能出现的险情, 及时对已出现的险情进行评估, 对可能出现的险情进行分析预测, 为防凌决策提供依据。从2002-2003年度始, 我们利用RS、GIS等现代高新技术, 连续3年采用“四星三源”模式对黄河凌汛进行了遥感监测, 取得了良好的效果。

2 监测区概况^[2]

2.1 宁夏河段

宁夏河段位于黄河上游, 自中卫入流, 至石嘴山出境, 全长397 km。偏东转偏北流向, 跨北纬37°17'~39°23', 纬距2°多。

2.2 内蒙古河段(含万家寨库区)

内蒙古河段从宁夏回族自治区的石嘴山入境, 至山西河曲县出境, 全长830 km。位于黄河流域最北端, 介于东经106°10'~112°50', 北纬37°35'~41°50'之间。呈典型的大陆性气候, 常为内蒙古高压控制。冬季严寒而漫长, 结冰期长达3个月, 为稳定封冻河段, 也是严重凌汛灾害易发河段。

2.3 黄河下游河段

黄河下游凌汛监测选定在兰考以下河段。该河段自兰考折向东北方向, 全长700余km, 纬度约在34°50'~38°之间, 纬差达3°之多。

2.4 其它河段

除上述各河段外, 北干流、三门峡库区等河段历史上也有不同程度的凌情灾害发生。

3 “四星三源”模式及数据特征

“四星三源”模式即利用分别来自于“四颗卫星三种数据源”的MODIS、ETM+、CBERS-02、RADARSAT SAR对黄河凌汛进行每天的动态变化监测、重点时段的精细监测和凌灾发生时的应急监测。

3.1 MODIS数据

MODIS是由美国发射的EOS-TERRA卫星最重要的星载仪器, 也是唯一将实时观测数据通过X波段向全世界直接免费广播的星载仪器, 全称为“中分辨率成像光谱仪”。目前有2颗星在同时运行, 分上午和下午2个时段, 联合运用可每天实现重复观测最少1次^[10]。MODIS数据具有以下特征。

3.1.1 成像范围广

MODIS遥感数据观测范围大, 其一条扫描线对应的地面扫描宽度约为2330 km, 整个中国只需3条数据就可全部覆盖^[11-13], 适合黄河大范围凌情及下游洪水洪灾监测。

3.1.2 过境频度高

MODIS的重复周期很高, 一般情况下, 地面接收站每日或每2日可获取1次全球观测数据, 2天可覆盖全球1次^[14], 为实现实时动态监测提供了可能。就黄河凌情的实时和准实时监测而言, 这是非常必要的, 这也是数据组合中选用该数据的主要原因之一。

3.1.3 光谱分辨率高

MODIS遥感图像数据有36个光谱通道, 这些通道不仅分布广, 而且光谱通道范围连续, 覆盖可见光、近红外、中红外和红外光波段^[15-16], 为冰凌监测中区分冰、雪、水、云提供了条件。

3.1.4 空间分辨率低

MODIS数据有2个通道空间分辨率高达250 m, 5个通道空间为500 m, 29个为1000 m, 这是MODIS卫星遥感数据用于冰凌监测的一个不足, 需利用其它数据予以弥补。

MODIS数据的高光谱分辨率、高时间分辨率和大成像范围决定了它在地球资源观测中具有绝对的优势^[10], 也成为黄河冰凌遥感监测“四星三源”组合中的首选数据, 主要用于每天对凌情进行实时和准实时的宏观动态监测, 并用于指导关键时期高空间分辨率数据的采集。

3.2 ETM+(TM)数据

ETM+(或TM)数据, 是美国发射的陆地资源卫星Landsat7和Landsat5太阳同步卫星搭载的传感器数据, 对地观测重访周期均为16 d。两星联合运用, 其重访周期及相邻轨道数据获取周期在特定时间可达3~7 d, 其中的7个谱段有5个为30 m空间分辨率, 1个全色谱段地面分辨率高达15 m, 能够支持使目标的识别精度更高^[12]。在“四星三源”组合中, ETM+用于封河期、稳封期、开河期3个阶段的精细监测。

3.3 CBERS-02数据

中巴地球资源一号02星(CBERS-02)是01星的接替星, 于2003年10月21日在中国太原卫星发射中心发射升空, 经在轨测试后于2004年2月12日投入应用运行。CBERS-02波段设置与Landsat基本相似, 其CCD图像与Landsat-7ETM具有基本相同的影响特征和解像能力^[17-19]。在“四星三源”组合中选择CBERS-02数据, 一方面在于利用其空间分辨率较高的优势, 实现对冰情信息的准确识别, 更重要的是利用其具有的侧摆功能, 在特殊需要时编程接收, 以显著提高监测的时效性。

3.4 RADARSAT SAR数据

RADARSAT SAR具有全天候、全天时的优点, 受天气影响小, 可以编程接收, 从而缩短观测周期。主要用于紧急情况下(如凌灾发生)受卫星过境周期或者天气影响无法接收MODIS数据和TM及CBERS-02数据时采用的一种应急监测措施。

4 监测方法、内容与技术流程

4.1 监测方法

- 1) 利用MODIS每天进行宏观动态监测, 掌握凌情的演变情况。
- 2) 在封河期、稳封期、开河期3个阶段, 选择高分辨率数据

ETM+或 CBERS-02 进行精细监测。

3) 在上述基础上,依据凌情的发展,随时采集 CBERS-02 或 RADARSAT SAR 数据,对可能或者已经发生灾害的河段进行监测评估

4.2 监测内容

1) 获取河道内冰情的遥感影像,对图像进行处理和解译,提供冰外缘线、冰面积、冰覆盖度等冰情变化信息。

2) 监测冰情生成、发展及消退的整个过程,及时做出封、开河时间、河段的预报。

3) 监测和分析有无冰坝形成及可能造成的危害,对决口、漫溢、漫滩等凌汛灾害进行监测和评估。

4.3 监测技术流程

从每年的 11 月中旬开始,每天利用 MODIS 实时监测冰凌的发生、发展直到凌汛结束;在此基础上,根据防汛部门对凌情发生、发展时间的预报,在封河前期、封冻期开始、封冻期、开河期、全面解冻期等几个关键时间段以业务需要为指导,有选择地采集 ETM+(TM)、CBERS-02、RADARSAT 影像数据。对所有获得的数据进行计算机影像处理,实现地理配准,再以遥感影像为基础,以常规监测资料勘测数据为线索,通过人机交互方式,解译、勾画出冰冻外缘线,计算冰面积、冰覆盖度、凌汛淹没区域等冰情变化的信息,在 GIS 支持下,制作不同比例尺的凌情演变及分布图,并编制相应技术报告。监测技术流程如图 1 所示。

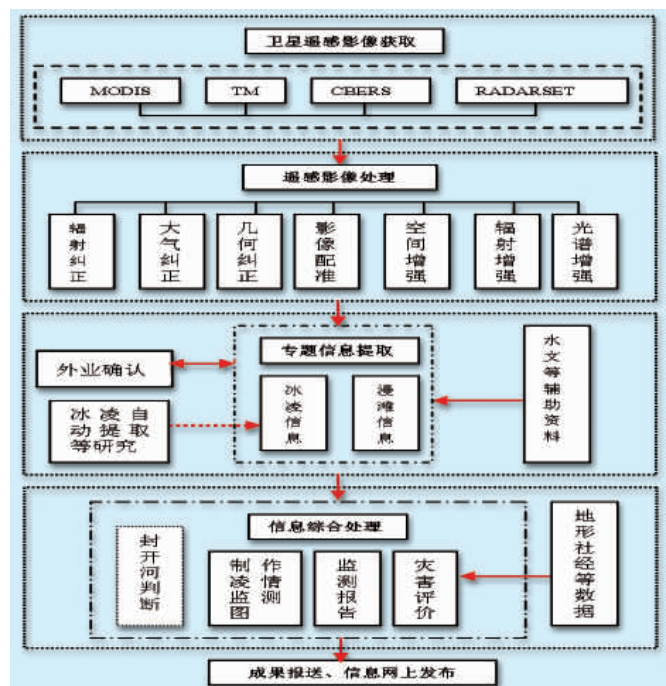


图 1 监测技术流程图
Fig. 1 Monitor technical process

5 监测成果分析

5.1 MODIS 数据实现了对黄河凌情全过程的实时、准实时动态监测

以 2002-2003 年度为例,监测期间共采集 MODIS 原始数据 150 景,提取 MODIS 冰情光谱数据 1 050 个,研究了黄河冰情的光谱变化特征,进行了 MODIS 冰情信息自动提取技术的研究探索,初步建立了冰凌信息自动提取模型。下面选择宁蒙河段封河期、稳封期及开河期几幅代表数据来说明监测效果,图中红色为冰凌。

受强冷空气的影响,2002 年 11 月 17 日黄河内蒙古河段开始到头道拐附近流凌;12 月 8 日内蒙古河段全线流凌;12 月 9 日凌晨,鄂尔多斯市达拉特旗中河西段,堤防桩号 235~240 处首先封河,封河长度 5 km(图 2)。2003 年 1 月 10 日,宁夏河段封河 3

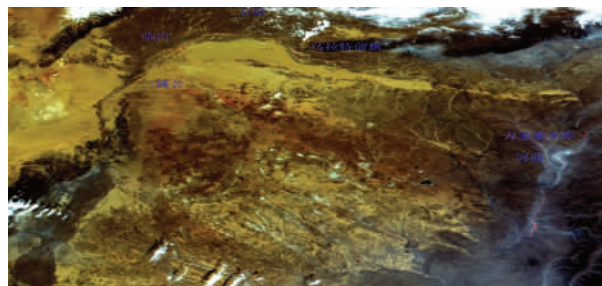


图 2 2002 年 12 月 9 日宁蒙段 MODIS 冰凌监测图
Fig. 2 The picture of Ning-Meng sect MODIS icicle monitor on Dec. 9th, 2002

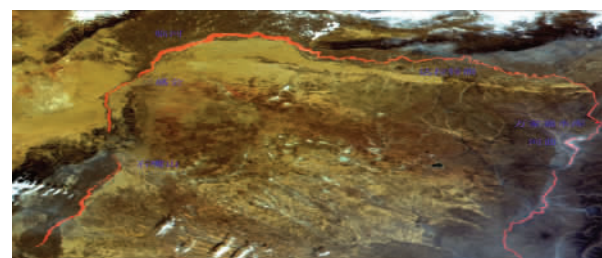


图 3 2003 年 1 月 10 日宁蒙段 MODIS 冰凌监测图
Fig. 3 The picture of Ning-Meng sect MODIS icicle monitor on Jan. 10th, 2003

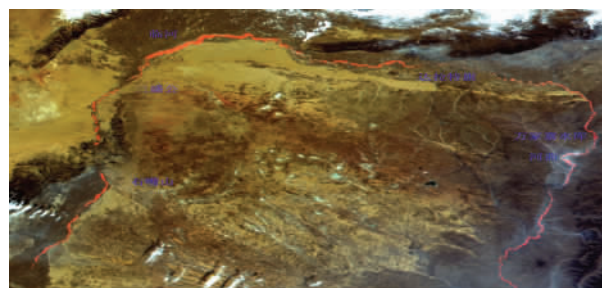


图 4 2003 年 2 月 11 日宁蒙段 MODIS 冰凌监测图
Fig. 4 The picture of Ning-Meng sect MODIS icicle monitor on Feb. 11th, 2003

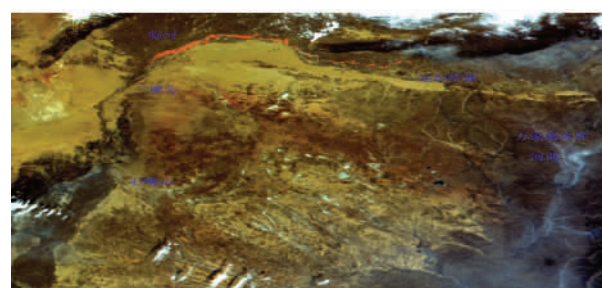


图 5 2003 年 3 月 21 日宁蒙段 MODIS 冰凌监测图
Fig. 5 The picture of Ning-Meng sect MODIS icicle monitor on Mar. 21st, 2003

段、内蒙古河段自苦水沟至万家寨大坝 720 km 的河段已全部封河,黄河基本进入稳封期(图 3)。2003 年 2 月 11 日,宁夏河段开始开河,内蒙古及河曲河段(万家寨坝下至天桥电站)791 km 仍全线封冻(图 4)。2003 年 3 月 21 日,黄河已经开河至三盛公水利枢纽闸下 131 km 处,托克托县附近也已开河几 km(图 5),3 月 28 日黄河宁蒙段全线开河。

5.2 利用 ETM+数据实现了重点时段的定量精细监测

2002-2003 年,以 MODIS 动态监测情况为指导,采集了封河期、稳封期及开河期重点时段 ETM+(TM) 数据 8 景,通过与 MODIS 及实地资料对比,分析了在高分辨率图像上冰情表现特征,探讨了多源遥感数据如何优势互补监测黄河凌情的技术思路。提取了大量冰外缘线、冰面积等冰情变化信息,不仅及时分析了凌情的阶段发展特点,并对下一阶段的凌情发展做出预测,为防凌决策提供了依据。

5.3 利用 CBERS-02 的侧摆功能实现了对凌灾发生区的及时跟踪监测

2004 年 1 月 28 日下午 3 时,黄河小北干流永济市河段主河槽冰塞封冻,上游来水不断聚集使该河段水位急剧升高,造成水位壅高,韩家庄护滩工程末端串槽过水,将韩家庄工程及韩阳河务段围困于洪水中。凌灾发生后,通过 MODIS 及时监测到了这一现象。为了及时获取更加准确的信息,2 月 3 日向中国资源卫星应用中心提出 CBERS-02 编程申请,2 月 4 日利用 CCD 侧摆功能成功获取该地区的图像,几个小时后,黄委会信息中心就通过 FPT 及时得到了数据。2 月 4 日 CBERS-02 图像表明,韩家庄工程附近约有 19.4 km 河道异常展宽,最大宽度约 5.5 km,水面面积达 73.5 km²,较 1 月 27 日扩展约 43 km²。评估结果认定,这 43 km² 就是此次凌灾漫滩的面积,为抢险救灾提供了决策依据,如图 6 所示(图像来自于中国资源卫星应用中心中巴地球资源 1 号卫星 2004 年运行应用报告)。

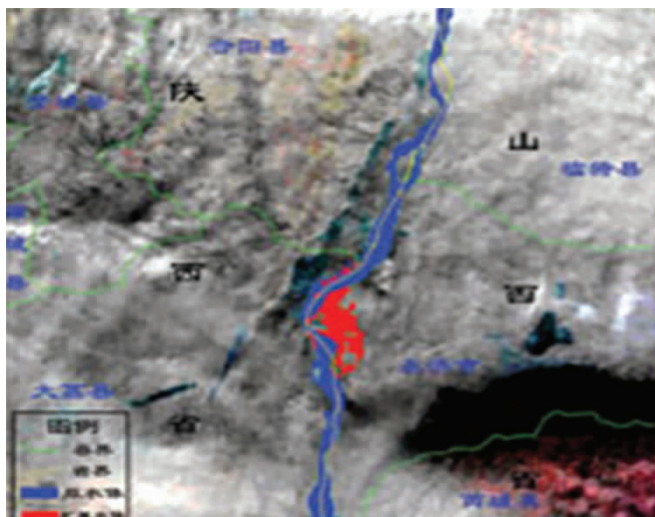


图 6 2004 年 2 月 4 日 CBERS-02 星凌汛信息提取图像

Fig. 6 The collected picture of CBERS-02 star icicle message on Feb. 4th, 2004

6 结语

自 2002-2003 年度首次采用卫星遥感技术监测黄河凌情以来,已经连续进行了 3 个年度的监测应用工作。通过几年来的应用实践,我们得到如下认识。

1) “四星三源”监测黄河冰凌是现阶段在轨运行卫星中最佳

的数据组合模式,技术可行,经济合理,精度可靠。对江河污染、洪涝灾害、山体滑坡等自然灾害的监测具有参考和借鉴价值。

2) 连续、快速监测灾情发生发展情况,是研究灾情形成机理、减轻灾害损失的非工程措施中重要的技术手段。

3) 有效跟踪黄河主要河段凌情的发生、发展和消退的全过程,为黄河防凌工作提供了科学、及时的信息支持。

4) 为建立基于“3S”技术的灾害监测评估信息系统积累了资料和经验。

5) 利用 CBERS-02 的侧摆功能快速监测黄河凌灾,是我国国产卫星应用的一个成功典范。实践证明,CBERS-02 具有较高的分辨率,对冰凌具有良好的识别能力,其侧摆功能使数据的获取时效大大提高,与同类数据产品相比,价格更具优势。它不仅为黄河防汛遥感监测工作开辟了一个新的理想的数据源,也为积极应用我们自己的卫星进行相关的研究和应用探索奠定了基础、树立了信心。

(致谢:感谢中国资源卫星中心、武汉大学 MODIS 卫星地面接收站对本研究工作的支持和帮助。)

参考文献(References)

- [1] 蔡琳. 黄河防凌工作 50 年[J]. 人民黄河, 1996(12): 1-8.
- [2] 可素娟, 等. 黄河冰凌研究 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002: 65-72.
- [3] 刘玉林, 梁贵生. 黄河上游洪水特性及其防治[J]. 甘肃水利水电技术, 2002, 38(2): 99-101.
- [4] 徐剑峰. 黄河内蒙古段凌洪灾害及防凌减灾对策 [J]. 冰川冻土, 1995, 17(1): 1-7.
- [5] 顾明林, 王静. 黄河内蒙古河段冰凌研究与冰凌预报数据库系统的设计[J]. 甘肃农业大学学报, 1999, 34(3): 287-290.
- [6] 杨斐斐. 黄河上游冰情及其研究[J]. 西北水电, 1997(2): 1-5.
- [7] 黄河水利委员会水文局. 流冰、封河、开河成因及其预报模型研究 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002: 189-200.
- [8] 陈守煌, 冀鸿兰. 冰凌预报模糊优选神经网络 BP 方法[J]. 水利学报, 2004(6): 114-118.
- [9] 闫静红, 工凤侠, 刘志. 浅谈黄河内蒙古段冰情 [J]. 内蒙古水利, 2000(3): 45-46.
- [10] 刘玉洁, 杨忠东. MODIS 遥感信号处理原理与算法[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 180-197.
- [11] 王井建, 陈子月, 李文君. 中分辨率成像光谱仪图像积雪反射特性的初步分析研究[J]. 冰川冻土, 2000, 22(2): 165-170.
- [12] 鄢俊洁, 刘良明, 马浩录, 等. MODIS 数据在黄河凌汛监测中的应用[J]. 武汉大学学报, 2004, 29(8): 679-681.
- [13] 孙振谦, 马浩录, 刘道芳, 等. 遥感监测黄河凌情的技术与方法[J]. 人民黄河, 2004, 26(12): 8-10.
- [14] 韩素芹, 刘淑梅. EOS/ M ODIS 卫星资料在监测冬小麦面积中的应用[J]. 天津农学院学报, 2004, 11(2): 26-28.
- [15] 张树誉, 李登科, 李星敏, 等. EOS/ M ODIS 资料在渭河洪涝动态监测中的应用[J]. 成都信息工程学院学报, 2004, 19(4): 564-568.
- [16] 蒋耿明, 牛铮, 阮伟利, 等. MODIS 影像合成算法研究和实现[J]. 国土资源遥感, 2004, (2): 11-14.
- [17] 陈宜元. 中巴地球资源 [J]. 中国工程科学, 2001, 3(3): 9-15.
- [18] 江静, 杨媛媛, 王鸿南, 等. CBERS-1 卫星 02 星图像数据质量评价[J]. 航天返回与遥感, 2004, 25(2): 34-38.
- [19] 黄妙芬, 徐曼, 李坚诚, 等. 中巴地球资源 02 星数据特性分析[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 485-491.
- [20] 陈爱军, 刘玉洁, 杜秉玉. 应用 AMSU 资料监测中国地区雪盖的初步研究[J]. 应用气象学报, 2005, 16(1): 35-43.

(责任编辑 黄永明)