

# 地球静止轨道卫星在水利行业中应用综述

朱鹤, 赵红莉, 蒋云钟, 何婷

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038)

**摘要:** 首先列举了涉及水利相关静止卫星的发展状况, 阐述了静止卫星的发展历程, 并从探测器精度、覆盖范围、成像时间、数据传输方式和姿态控制方式等方面对各国主流静止卫星进行了参数对比, 指出静止卫星具有连续、同步、大尺度、多角度观测地球的能力, 使得静止卫星不仅用于天气预报、气候预测等气象领域, 还可以满足众多非气象领域包括水利行业的应用需求。其次, 综述了静止卫星在水利行业中的应用领域和国内外的应用现状, 分析了静止卫星水利相关应用参数, 列举了静止卫星在水文监测、水旱灾害监测和水情传输中的应用实例, 并进行了静止卫星在水利行业可用性分析, 指出由于卫星传感器性能和在水利领域应用技术水平的限制是造成目前静止卫星在水利行业应用的业务水平不高的原因, 需要加大稳定、高轨高精度和多种荷载传感器的研发投入。最后, 对未来发展方向提出了设想, 认为提高数据处理、同化技术水平, 加强进入水利行业的应用能力, 可以提高静止卫星数据在水利行业的业务化应用水平。

**关键词:** 静止卫星; 水利; 应用; 水文水资源监测; 灾害监测; 水利通信

**中图分类号:** TP79; TV21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0134-06

## Overview of the Application of Geostationary Satellites in Water Conservancy

ZHU He, ZHAO Hong li, JIANG Yun zhong, HE Ting

(Department of Water Resources Research, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Firstly, the paper lists the development progress of water related geostationary satellites. The development course of geostationary satellites is introduced, and the parameters of mainstream geostationary satellites in different countries are compared from aspects of detector accuracy, coverage, imaging time, data transmission, and attitude control mode. It points out that geostationary satellites have the capabilities of continuous, synchronous, large scale, and multi angle observation of the earth; therefore they can not only be used for weather forecasting and meteorology, but also can meet the application requirements in other non meteorological fields including the water conservancy. Secondly, the paper introduces the application status of geostationary satellites in water conservancy, analyzes the related parameters of geostationary satellites in water conservancy application, lists the application examples of geostationary satellites in hydrological monitoring, flood and droughts monitoring, and water transport, and analyzes the feasibility of geostationary satellites in water conservancy. It points out that the satellite sensor performance and the limitation of applied technology in water conservancy are the main reason for the poor application of geostationary satellites in water conservancy; therefore the research and development investment needs to be increased for the stable, high precision, and various sensors. Finally, this paper proposes the future development direction such as the improvement of data processing and assimilation technology, which can help strengthen the application abilities of geostationary satellites in water conservancy.

**Key words:** geostationary satellites; water conservancy; application; hydrology and water resources monitoring; disaster monitoring; water communication

地球静止轨道卫星(以下简称静止卫星)位于地球赤道 上空距地面约 36 000 km, 轨道平面与赤道平面夹角为零, 并

收稿日期: 2012-12-06 修回日期: 2013-05-27 网络出版时间: 2013-07-28

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1311.041.html>

基金项目: 国家科技重大专项“高分辨率对地观测系统重大专项: 水利业务应用信息服务系统先期攻关—水资源监测、评价与管理”(E0304 1112)

作者简介: 朱鹤(1988-), 男, 河南郑县人, 硕士研究生, 主要从事遥感在水利方面的应用研究。E-mail: zhhbbsld@yahoo.com.cn

且绕地球运行的角速度与地球自转的角速度相同,故相对于地面静止。由于静止卫星与地球自转的同步性,卫星可以实现连续对地观测,在气象、通信、军事、农业、林业等行业都有较广泛的应用,特别是在气象和通信领域,已成为不可或缺的监测和数据获取工具和平台。

水利行业中许多领域都存在对静止卫星的应用需求,如水资源日常监测、突发事件应急监测、灾害监测预警等,但总体上对静止卫星的应用仍处于起步阶段,多局限于气象预报产品应用等方面,应用范围有待进一步拓宽,应用程度有待进一步深入<sup>[1]</sup>。

本文通过对现有静止卫星主要参数和特点的归纳,以及对国内外静止卫星水利应用的调研和分析,基于静止卫星在我国水利行业的应用现状,提出未来我国静止卫星水利应用前景的设想和展望。

## 1 国内外水利相关静止卫星发展状况

国外水利相关静止卫星发展较早。1975年,美国率先实现了人类首颗静止气象卫星 GEOS 1 业务运行;1977年,日本第一颗静止气象卫星 GMS 1 发射;1978年,欧空局的 Meteor sat 静止气象卫星首次实现了水汽通道图像传输;1982年,印度第一代 INSAT 卫星发射,集通信、广播和气象探测于一身。

目前,美国的 GEOS 系列已经发展到了第四代,拥有更稳定的平台,支持更新的成像仪、空间环境探测器(SEM)、垂直探测器和太阳 X 射线成像仪(SXI)。新一代的 GOES R 系列也已提上日程,预计于 2014 年实现业务运行,将搭载先进的基线成像仪(ABI)和超光谱环境监测仪(HES),性能将

大幅提升,在同步卫星监测领域继续保持领先优势。

日本的 MTSAT-2 和 MTSAT-1R 双星在轨运行,互为备份,较上一代 GMS 5 的自旋稳定姿态控制不同,MTSAT 采用三轴稳定方式,成像时间短、图像信噪比、灵敏度高。

欧盟第二代静止气象卫星 MSG 2 替代了上一代 Meteor sat,虽然仍采用自旋稳定方式,但在传感器通道数、空间分辨率、圆盘成像时间和量化级数上有了很大提高。MSG-3 已于 2012 年 7 月发射,第三代静止气象卫星(MTG)将会在成像精度上和数据传输速率上有大幅改进,首颗卫星将于 2018 年开始服役。

俄罗斯在轨静止卫星二代 GOMS N2 和印度在轨静止卫星 INSAT-3D 都采用先进的多通道扫描成像仪,拥有各自的特点。

我国水利相关静止卫星发展起步较晚。1997 年 6 月 10 日,我国第一颗静止气象卫星 FY-2A 正式投入使用,2004 年 10 月 FY-2C 发射成功,实现业务化运行,比美国晚了整整 29 年,总体水平也只相当于美国 20 世纪 90 年代初的水平,据估计这样的差距可能在风云四号才能赶上。不过风云二号也有很多自己的特色,尤其在图像定位配准方面已经达到了世界先进水平。2006 年 12 月, FY-2D 静止气象卫星发射成功,与 FY-2C 星实现了双星备份,主汛期每天可每 15 min 提供一张图像。2008 年 12 月, FY-2E 星接替已经超期服役的 FY-2C 星继续运行。这三颗星均采用自旋稳定的姿态控制方式,搭载 5 通道扫描成像仪和空间环境探测仪,但是和发达国家相比,还是有一定的差距。表 1 是各国静止气象卫星搭载主要荷载对比。

表 1 水利相关静止卫星主要参数对比

Table 1 Comparison of the main parameters of water conservancy related geostationary satellites

卫星状态	美国	日本	欧洲	印度	俄罗斯	中国
	GEOS-N~P	MTSAT	MSG	INSAT-3D	GOMS N2	FY-2C
姿态控制方式	三轴稳定	三轴稳定	自旋稳定	三轴稳定	三轴稳定	自旋稳定
	5 通道	5 通道	12 通道	6 通道	10 通道	5 通道
通道数及分辨率	VIS 1 km	VIS 1 km	VIS 通道 1 km	VIS 通道 1 km	VIS 通道 1 km	VIS 通道 1.25 km
	IR(3 个) 4 km	IR(4 个) 4 km	其他通道 4 km	其他通道 4 km	其他通道 4 km	IR(4 个) 5 km
成像仪	WV 4 km					
温度精度	1~1.5 K		0.25~0.3 K			0.2~0.6 K
量化等级	IR 量化 10 bit	IR 量化 10 bit		IR 量化 10 bit		IR 量化 10 bit
	全圆盘 25 min		15 min	全圆盘 25 min	15 min	全圆盘 30 min
覆盖区域及时间	3000×3000km 3 min	同 GEOS				主汛期 15 min
	1000×1000km 41 s					
垂直探测器	通道及分辨率	19 通道 8km		19 通道		
	探测时间	3000×3000km 42 min	无	无	无	无
		1000×1000km 5 min				
	与成像能否同时	可以				
空间环境探测器	有	无	无	无	有	有
资料播发	原始资料码速率	2.6 Mb/s	图像 2.62 Mb/s	HRIT, 3.2 Mb/s		14 Mb/s
	高分辨率码速率	GVAR, 2.11 Mb/s	HiRID, 660 kb/s		无	S-VISSR, 660 kb/s
	低分辨率码速率	LRIT	LRIT, 72 kb/s	LRIT	有	有模拟 WEFAX

## 2 静止卫星在水利行业的应用现状

### 2.1 静止卫星在水利行业的可用性分析

#### 2.1.1 水利相关应用参数分析

随着水利现代化的不断深入,传统水利监测手段已经无法满足需求。在水资源监测方面,传统水文监测只采集站点

数据,且水文站网密度有限,展布到面后精度有一定不确定性。水旱灾害监测也距实时、持续监测与预警的业务需求有一定差距。传统水质监测能力也落后于管理需求,指标不够全面,站点密度不够,快速机动监测能力差,突发性水污染预警系统不够完善。

极轨等高空间分辨率遥感卫星重访周期长,幅宽窄,可能在区域性单次监测上精度较高,但在大尺度动态监测方面较为薄弱。静止卫星可每 30 min 获取一次影像,尺度可覆盖全球,并且新一代静止卫星多配置高分辨率多通道传感器,将为水利业务监测提供多指标、真实可靠的实时监测数据,大幅提高日常管理和应急能力。

从 GEOS 1 只搭载单台扫描成像仪,提供单一气象资料,到如今搭载多种高分辨率空间探测器,并依托各国静止气象卫星建立起的全球静止气象卫星观测系统,静止卫星已实现为水文监测、重大水旱灾害监测和实时水情数据传输提供动态数据和多种定量产品支持,表 2 是全球主要静止气象

卫星的水利相关应用领域。除提供初级遥感信息外,静止卫星还可提供多种定量产品,为水利行业提供更深入、针对性强的业务应用产品,表 3 是我国 FY-2C 卫星提供的水利相关定量产品。此外,静止卫星还为水利部门提供相关数据转发和卫星通信系统网络支持,20 世纪 90 年代,我国水利部就购买了亚洲二号半个转发器,并以此为依托建立了水利卫星通信系统。另外,静止卫星移动通信系统和全球导航系统也可应用于水利行业。静止卫星移动通信系统主要有全球覆盖的国际海事卫星(Inmarsat)通信系统和区域覆盖北美的移动卫星(MSAT)通信系统、亚洲蜂窝卫星(ACeS)通信系统、瑟拉亚(Thuraya)卫星通信系统等。比较成熟的卫星导航系统有美国的全球定位系统(GPS)、俄罗斯的 GLONASS 和我国自行研制开发的区域性有源三维卫星定位与通信系统(CNSS),即北斗卫星导航系统。目前,为我国水利通信建设提供服务的静止卫星系统主要是 Inmarsat C 海事卫星系统和北斗卫星导航系统。

表 2 全球主要静止卫星水利相关应用领域

Table 2 Water conservancy related applications of major global geostationary satellites

光谱分辨率				
日本 MTSAT	中国 FY-2	美国 GEOS	欧洲 MSG	水利相关应用
0.55~ 0.8	0.55~ 0.90	0.55~ 0.75	0.56~ 0.71	冰、雪、植被,水汽
			0.74~ 0.88	水体识别
			1.50~ 1.78	土壤湿度,冰雪识别
3.5~ 4.0	3.5~ 4.0	3.80~ 4.00	3.48~ 4.36	火点热源,夜间云层
10.3~ 11.3	10.5~ 11.5	10.2~ 11.2	9.80~ 11.80	白天/夜间云层

表 3 FY-2C 水利相关应用定量产品

Table 3 Quantitative products of water conservancy related applications of FY-2C

名称	覆盖区域	时次 /(次·d <sup>-1</sup> )
云风矢量	50°N~ 50°S, 55°E~ 155°E	4
对流层上中层水汽含量	50°N~ 50°S, 55°E~ 155°E	8
ISCCP 数据集、降水指数	50°N~ 50°S, 55°E~ 155°E	8
降水估计	5°N~ 55°S, 70°E~ 140°E	4
云检测	50°N~ 50°S, 55°E~ 155°E	8
云参数(云顶温度、云顶高度、云量)	50°N~ 50°S, 55°E~ 155°E	8
用云分析出的湿度廓线	50°N~ 50°S, 55°E~ 155°E	8
射出长波辐射	50°N~ 50°S, 55°E~ 155°E	8
入射太阳辐射	50°N~ 50°S, 55°E~ 155°E	1
雪覆盖	全圆盘	1
水情监测	中国范围	1
干旱监测	中国范围	1
亮度温度	50°N~ 50°S, 55°E~ 155°E	8

### 2.1.2 水利相关应用领域分析

相对于传统地面观测和其它卫星在水利中的应用,静止轨道卫星的主要优势在于可以高时间分辨率探测信息,有效的动态跟踪和监测大尺度系统的形成、发展及演变规律。一颗静止轨道气象卫星每 30 min 就能获得近地球的气象图片资料,对水资源运行调度管理实时监测、水旱灾害监测,洪

水、暴雨和突发水污染事故应急监测以及水情数据转发具有突出的能力。因此,静止卫星在水利方面的应用有着广阔的前景。

在水资源监测方面,传统水文监测只采集站点的数据,扩展到面后精度不高,且许多地区水文站网密度不够,甚至还存在无监测地区,降水、径流监测和预报等技术手段尚不能完全不能满足水资源评价、规划与管理等方面的需求,而极轨等高空间分辨率遥感卫星由于重访周期过长,幅宽较窄,可能在区域性水资源监测精度较高,但对于大尺度动态水资源监测方面较为薄弱。在水资源管理方面,由于人工侧支循环,使得流域水资源的分配和转换关系异常复杂,分配层次多,流域降水和径流变化趋势不同步,降雨径流预报和水资源趋势预测依然是世界级难题,满足不了流域水资源配置和调度管理的需要。静止轨道卫星每 30 min 就能获得水文监测资料,尺度可覆盖全球,相信配备高空间分辨率传感器的静止轨道卫星会在全球水资源领域有更深入的应用。

在水旱灾害遥感监测方面的,我国虽已开展多年,但距实时、持续监测与预警的行业需求还有一定的差距。高分辨率的静止轨道卫星数据,进一步提高业务化程度,以形成一套完整的水旱灾害遥感监测产品。

## 2.2 在水文水资源监测中的应用进展

### 2.2.1 降水监测

降水是水文循环中的基本环节,在水资源评价、管理、水循环模拟等方面都有着大量的数据需求。从 1978 年美国

L. E. Spayd Jr. 和 R. A. Scofield<sup>[12]</sup> 第一次基于 GOES 数据提出估算热带气旋降雨量方法并业务化应用以来,不论是在理论还是手段上,基于静止卫星的降水监测技术都已相当成熟,方法呈现多样化。美国 NOAA 的 NESDIS 发展了利用 GEOS 红外资料估算降水量的系统并于 1997 年投入业务运用<sup>[13]</sup>,我国水利部信息中心也使用云分类方法对 GMS 卫星数字云图估算面雨量<sup>[14]</sup>,张云惠、史可传<sup>[15]</sup> 基于 GMS 卫星云图对哈密地区降雨进行估算,徐亮等<sup>[16]</sup> 基于静止卫星气象数字化产品采用多元决策加权法估算降雨,熊秋芬<sup>[17]</sup> 提出了基于 GMS 卫星 4 通道资料的人工神经网络技术估算降雨的方法,并进行了实例验证。

为了弥补静止卫星空间分辨率的不足和发挥其高时间采样频率的优势,静止卫星降水监测主要采用多种传感器联合监测的方法。现在水利行业应用较广的全球降水监测数据集——全球卫星降水制图(GSMaP)和 GPCP 就是多种传感器联合监测的成果。GSMaP 数据集采用的 GEOS 卫星的可见光/红外数据,空间分辨率为  $0.3635^\circ$  (在赤道上相当于 4 km),时间分辨率约为 30 分钟,覆盖区域为  $60^\circ\text{N} \sim 60^\circ\text{S}$ ,在海洋上的监测效果最好,在高山上的表现最差。在陆地和海岸带地区,GSMaP 数据难于识别强降水,同时低估强度大于 10 mm/h 的降水。GPCP 数据集主要数据源是 GOES、GMS、Meteosat 卫星,逐月、逐日和每 5 日降水分析资料空间分辨率分别为  $2.5^\circ$ 、 $1^\circ$  和  $2.5^\circ$ 。

## 2.2.2 土壤含水量与蒸散发监测

土壤含水量与蒸散发监测是水资源评价、管理中的重要一环,获取实时连续监测数据是做好实时调度和管理工作的必要保障。静止气象卫星的红外扫描辐射计在土壤墒情、温度、温度和植被监测方面均有所应用。赵长森等<sup>[18]</sup> 提出了基于静止卫星的陆面区域蒸散模型,并采用 FY-2C 数据对淮河流域蚌埠以上农业区进行了多时间尺度的区域耗水模拟,开创了利用静止卫星模型模拟区域耗水的先河。裴浩等<sup>[19]</sup> 借鉴极轨气象卫星监测植被和土壤墒情的研究成果,采用 GMS 的多通道数据监测土壤墒情和植被指数。杨晓春<sup>[20]</sup> 利用 FY-2 数据对土壤湿度进行模拟,并在多年干旱监测中得到了应用。

为了弥补静止卫星在空间分辨率上的不足,舒云巧等<sup>[21]</sup> 提出利用 FY-2C 结合 MODIS 产品估算河北灌溉农田实际蒸散量的方法,利用静止卫星时间分辨率强的优势,提高了遥感监测的质量。由于静止卫星的红外传感器空间分辨率往往都是千米级的,因此,比较适于大、中区域尺度高时间分辨率的地表参数反演。张霄羽和王娇<sup>[29]</sup> 利用风云二号静止气象卫星数据,提出了多时相热红外/可见光反演地表水分的算法,在中尺度区域上量化土壤表面含水量,并在中国西北地区进行应用,获得了  $5\text{ km} \times 5\text{ km}$  空间尺度的日均土壤含水量,并且与先进的 AMSR 土壤水分产品相比,均方根误差为  $0.025\text{ g/cm}^3$ ,最大估算误差在  $0.07\text{ g/cm}^3$  以内。这一研究为中尺度高时间分辨率土壤含水量产品的获取提出了一种思路。

## 2.2.3 冰雪监测

冰雪融量的计算是水文学上的一个重要问题,静止卫星

也在大尺度连续动态观测冰雪上很有优势,但由于空间分辨率较低,目前还处于初探阶段。裴浩等<sup>[19]</sup> 尝试利用 GMS 可见光通道探测冰雪分布并取得了较好的精度。中国科学院冰川所利用气象卫星云图来计算雪被覆盖的范围、厚度、冰雪融量,并追索其连续演变,进行了祁连山冰川水文学的研究。

## 2.3 在水旱灾害监测中的应用进展

### 2.3.1 洪灾监测

静止气象卫星在全天候洪水监测和汛期降雨预报方面均有应用,是防洪减灾辅助决策的重要信息来源。中国气象局国家卫星气象中心从 20 世纪 80 年代中期开展提供气象卫星监测洪涝灾害的科研服务,曾成功对 1991 年江淮大水、1996 年华北水灾以及 1998 年长江洪水等重大洪涝灾害进行了监测<sup>[19]</sup>。王庆斋等<sup>[23]</sup> 也根据 GMS-5 静止气象卫星数字化卫星云图曲灰度分布,建立云顶温度与地面实测降水关系曲线,实现对黄河流域汛期降水的预报。

### 2.3.2 旱灾监测

静止气象卫星监测旱情问题,已引起国内外学者的关注,并进行了一些研究尝试。张元元<sup>[24]</sup> 利用 FY-2/VISSR 数据生成 PRET A 干旱指数产品,应用于全国范围的旱情连续监测,与极轨卫星同类产品相比,在监测范围和频次上都具有明显的优势,很好地反映了 2009 年秋季至 2010 年春季西南大旱的旱情时空变化。姬菊枝等<sup>[25]</sup> 利用风云二号卫星并结合 NOAA 的数据用热惯量法估计了 2003 年哈尔滨春季干旱受灾情况,提出了防治措施。

### 2.3.3 冰雪灾害监测

静止气象卫星在重大冰雪灾害也有一些应用。朱小祥等<sup>[26]</sup> 利用 FY-2C、D 星结合 modis 数据在 2008 年南方雪灾中向有关部门提供降雪天气预报、受灾区积雪覆盖范围等方面的遥感监测信息。

## 2.4 在国内水利通信中的应用进展

静止卫星在水利行业中的应用除包含静止气象卫星提供水利相关应用的直接产品外,还承担着转发水情数据、进行水利通信的任务。1991 年,北京海事卫星通信系统(Irmarsat-C)地面站正式运行,开始承担起用户、卫星与移动终端之间水情数据转发的任务,使得水情测报系统不受距离和下垫面条件的限制。我国自主研发的北斗导航系统也为水情部分流域的水情测报系统提供服务,承担着部分水利卫星通信任务,具有覆盖范围广、传输数据量大和成本低的优势。此外,我国从 1976 年开始投资水利通信网。1994 年,水利部一次性购买了亚洲二号的半个 Ku 波段转发器,建设水利通信系统,经过十多年的努力,建立了以语音、数据、图像为媒介的水利通信网。2008 年,亚洲二号退役,水利部又租用亚洲五号 Ku 波段转发器和亚太六号 C 波段转发器,实现混网组合,组建了新一代的水利通信系统,并于 2010 年投入使用,提高了抗雨衰能力,EIRP 和 G/T 指数值在边远地区比前代提高了 16 倍,增强了发射和接收能力。新系统集成图像、数据、语音和应急通信业务为一体,采用新型的 DVB-S2 通信体制,加大传输带宽,充分提高卫星信号传输能力,满足了防汛、抗旱卫星通信需求,有效保证了水利通信系统的业务应用。

### 3 存在问题与展望

静止卫星自身虽然有覆盖范围广、成像周期短、资料来源均匀、连续、实时性强、成本低等先天性优势,但牺牲了传感器精度、荷载和传输速率等条件,造成业务应用面窄和深化程度不够的问题。因此,静止卫星在水利行业得到广泛应用还需要解决以下几个问题。

(1) 提高卫星稳定性,保证监测数据的持续稳定获取。我国的 FY-2 号还采用自旋稳定姿态控制方式,卫星运行稳定性差,数据噪点多,难以实时稳定更新,改进静止卫星姿态控制方式,提高传感器灵敏度和稳定性,是保证监测数据高质量持续稳定传输的有效手段。

(2) 提高传感器性能,满足行业应用精度要求,深化业务应用。目前水利行业采用的静止卫星数据源大多空间分辨率和光谱分辨率较低,离行业应用的精度要求尚有一定距离,另外,有效荷载种类过少,监测范围不足,相关应用领域较窄,需加大高轨、高分辨率传感器的研发投入,深化业务应用,在保证静止卫星同步、大尺度观测特性的同时,开展新型传感器的研究,扩展监测领域,进行精细化研究,提高传感器观测精度,保证行业应用的可靠性。

(3) 做好与传统地面监测数据的协同应用。不管是单一静止卫星遥感监测数据,还是传统地面监测数据,都在反应真实水利应用状况时存在优缺点,做好和地面观测数据同化处理,实现与传统地面观测技术的结合应用,才能提供更加全面、真实、精确地监测数据。

(4) 做好与高空间分辨率数据源的同化应用。静止卫星可提供全天候、大尺度的遥感监测资料,但不足之处是空间分辨率较低,数据精度有限,做好静止卫星数据与高空间分辨率遥感卫星数据的协同应用,是保证数据精度的发展方向之一。

目前,静止卫星在水利方面的应用还仅限于一些气象水文信息、水旱灾害的初级监测和水情的转发,像水土流失、水环境状况、灌溉面积监测、水利工程监测等更多水利信息的获取应用还不深入,并且由于应用理论水平的限制,也不能完全满足业务需求。但是,在高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率为代表的新型传感器的研发和高稳定姿态控制技术发展的下,随着数据传输能力的提高、地面数据处理技术的发展,静止卫星数据与传统监测数据和高空间分辨率数据的同化技术的深入研究,静止卫星数据的应用水平将不断提高。近期,依托高分辨率对地观测系统重大专项,我国将发射一颗高空间分辨率的光学静止卫星,将在卫星姿态控制和传感器物理指标上有重大突破,会大幅提升静止卫星的空间监测能力,为地表水体变化、水利工程运行状态监测、农作物长势监测以及水旱灾害监测与预警、突发水污染事件和其他突发灾害应急监测提供更加全面的监测数据,相信会更加深化静止卫星数据在水利行业的应用水平。

#### 参考文献(References):

[1] 周旋,周晓中,吴耀平.美国气象卫星的现状与发展[J].中国航天,2006,(1):30-33.(ZHOU Xuan,ZHOU Xiaozhong,WU Yaoping.The Present Situation and the Development of the

Meteorological Satellite[J].Chinese Journal of Aerospace,2006,(1):30-33.(in Chinese))

- [2] Rao P R, et al. Weather Satellites, Systems, Data and Environmental Applications[M]. American Meteorological Society, 1990.
- [3] 周润松,葛榜军.美国新一代气象卫星系统发展综述[J].航天器工程,2008,17(4):91-98.(ZHOU Runsong,GE Bangjun.The New Generation of Meteorological Satellite System in the United States Development were Reviewed[J].Spacecraft Engineering Magazine,2008,17(4):91-98.(in Chinese))
- [4] 徐建平.美国地球静止环境业务卫星 N R 系列卫星[J].国际太空,2006,(8):14-15.(XU Jianping.The United States Geostationary Satellite with Business Environment-N R Series Satellite[J].International Journal of Space,2006,(8):14-15.(in Chinese))
- [5] 徐建平.日本 MTSAT 多功能卫星[J].气象科技,2005,33(1):96.(XU Jianping.Japan MTSAT Multifunction Satellite[J].Meteorological Science and Technology Journal,2005,33(1):96.(in Chinese))
- [6] 闵士权,朱曼洁.通信卫星现状与发展[A].中国卫星应用大会[C].2008:451-461.(MIN Shiruan,ZHU Manjie.Communication Satellite Present Situation and the Development[A].Journal of China Satellite Conference[C].2008:451-461.(in Chinese))
- [7] 刘云,祝明,周杨.水利通信发展与展望[J].水文,2006,26(3):75-77,47.(LIU Yun,ZHU Ming,ZHOU Yang.Water Conservancy Communication Development and Prospect[J].Journal of Hydrology,2006,26(3):75-77,47.(in Chinese))
- [8] 丁军,方明.水利卫星通信网的建设与卫星通信的展望[J].中国水利,2001,(4):63-65.(DING Jun,FANG Ming.The Construction of Water Conservancy Satellite Communication Network and the Outlook of Satellite Communication[J].Journal of China Water Conservancy,2001,(4):63-65.(in Chinese))
- [9] 刘阳,何为.卫星通信在三峡水情自动测报系统中的应用[J].水电能源科学,2007,25(3):29-32.(LIU Yang,HE Wei.The Application of Satellite Communication in the Three Gorges Water Regime Automatic Telemetry System[J].Hydropower Energy Science Magazine,2007,25(3):29-32.(in Chinese))
- [10] 林灿尧,丁军.新一代水利卫星通信系统[J].水利信息化,2010,(1):58-61.(LIN Canyao,DING Jun.A New Generation of Water Conservancy Satellite Communication System[J].Journal of Water Resources Informatization,2010,(1):58-61.(in Chinese))
- [11] 雷昌友,蒋英,史东华.北斗卫星通信在水情自动测报系统中的研究与应用[J].水利水电快报,2005,26(21):26-28.(LEI Changyou,JIANG Ying,SHI Donghua.The Research and Application of Beidou Satellite Communication in Water Regime Automatic Telemetry System[J].Water Conservancy and Hydropower Express Magazine,2005,26(21):26-28.(in Chinese))
- [12] L. E. Spayd Jr., R. A. Scofield, 陈善敏.应用地球静止卫星资料估计热带气旋降水量的方法[J].气象科技,1984,(4):37-42.(L. E. Spayd Jr., R. A. Scofield, CHEN Shanmin. The Method of Use Geostationary Satellite Data to Estimation the Tropical Cyclone Precipitation[J]. Meteorological Science and

- Technology Journal, 1984, (4): 37-42. (in Chinese))
- [13] Vicente, Gilberto A., Roderick A. Scofield, W. Paul Menzel. The Operational GOES Infrared Rainfall Estimation Technique[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc. 1998, 79: 1883-1898.
- [14] 杨杨, 戚建国. 数字卫星云图估算面雨量的应用试验[J]. 气象, 1995, 21(3): 35-39. (YANG Yang, QI Jianguo. The Application Test of Digital Satellite Cloud Image Estimation Surface Rainfall[J]. Meteorological Magazine, 1995, 21(3): 35-39. (in Chinese))
- [15] 张云惠, 史可传. 静止卫星云图在哈密降水天气预报中的应用[J]. 新疆气象, 1998, 21(5): 17-19. (ZHANG Yunhui, SHI Kechuan. The Application of Stationary Satellite Cloud Image in Hami Precipitation Weather Forecast[J]. Xinjiang Meteorological Magazine, 1998, 21(5): 17-19. (in Chinese))
- [16] 徐亮, 张吉农, 贾红莉. 静止气象卫星数字化产品在西宁短期降水预报中的应用[J]. 青海科技, 2006, (6): 41-44. (XU Liang, ZHANG Jinnong, JIA Hongli. The Application of Static Meteorological Satellite Digital Products in Xining Short-term Rainfall Forecast[J]. Qinghai Science and Technology Magazine, 2006, (6): 41-44. (in Chinese))
- [17] 熊秋芬. 神经网络方法在静止卫星多通道资料估算降水中的应用[J]. 气象, 2002, 9(28): 17-21. (XIONG Qiufen. The Application of the Neural Network Method in Stationary Satellite Multichannel Data Estimation of Precipitation[J]. Meteorological Magazine, 2002, 9(28): 17-21. (in Chinese))
- [18] 赵长森, 夏军, 李召良, 等. 基于高时间分辨率静止卫星数据的区域耗水时空格局研究以春旱季节淮河流域蚌埠以上农业区为例(英文)[J]. 自然资源学报, 2008, 23(6): 1055-1067. (ZHAO Changsen, XIA Jun, LI Zhaoliang, et al. Based on the High Temporal Resolution Stationary Satellite Data of Water Area Space Structure Research Spring Drought Season in the Huaihe River Bengbu above Agricultural Region as an Example[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(6): 1055-1067. (in Chinese))
- [19] 裴浩, 韩经纬, 李云鹏, 等. 利用静止气象卫星资料遥感监测植被、积雪和土壤墒情的研究[J]. 内蒙古气象, 2001, (1): 31-35. (PEI Hao, HANG Jingwei, LI Yunpeng, et al. Using Static Meteorological Satellite Data Remote Sensing Monitoring Vegetation, Snow and Soil Moisture Content of the Research[J]. Inner Mongolia Meteorological Magazine, 2001, (1): 31-35. (in Chinese))
- [20] 杨晓春. 基于FY-2的大气强迫数据在土壤湿度模拟中的应用[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2010: 1-66. (YANG Xiaochun. Based on the FY-2 of the Atmospheric Forcing Data in the Application of Soil Humidity Simulation[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science, 2010: 1-66. (in Chinese))
- [21] 舒云巧, 李红军, 雷玉平. 基于静止气象卫星的河北平原实际蒸散量遥感估算[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(5): 1151-1156. (SHU Yunqiao, LI Hongjun, LEI Yuping. Based on the Static Meteorological Satellite of Hebei Plain Actual Evapotranspiration Remote Sensing Estimation[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 19(5): 1151-1156. (in Chinese))
- [22] 刘诚. 利用气象卫星监测洪涝灾害[J]. 中国航天, 1999, (1): 11-13. (LIU Cheng. By using Meteorological Satellite Monitoring Flood Disaster[J]. Chinese Journal of Aerospace, 1999, (1): 11-13. (in Chinese))
- [23] 王庆斋, 王春青, 傅德胜. 利用GMS 5静止气象卫星资料定量测量黄河流域汛期降水[J]. 河南气象, 1999, (3): 156-160. (WANG Qingzhai, WANG Chunqing, FU Desheng. Using GMS-5 Static Meteorological Satellite Data Quantitative Measurement the Yellow River Flood Season Precipitation[J]. Henan Meteorological Magazine, 1999, (3): 156-160. (in Chinese))
- [24] 张元元. 应用FY-2地表蒸散产品监测西南特大干旱[J]. 气象, 2011, 37(8): 999-1005. (ZHANG Yuan yuan. Application FY-2 Surface Evapotranspiration Product Monitoring Southwest Droughts[J]. Meteorological Magazine, 2011, 37(8): 999-1005. (in Chinese))
- [25] 姬菊枝, 安晓存, 魏松林. 利用卫星遥感技术对干旱进行监测[A]. 中国气象学会2005年年会论文集[C]. 北京: 中国气象学会, 2005: 3706-3712. (JI Juzhi, AN Xiaocun, WEI Songlin. By making use of Satellite Remote Sensing Technology to Monitor drought[A]. China Meteorological Society 2005 Conference Proceedings[C]. Beijing: Journal of Chinese Meteorological Society, 2005: 3706-3712. (in Chinese))
- [26] 朱小祥, 吴晓京, 刘诚, 等. 卫星资料在2008年中国大范围低温雨雪冰冻天气过程中的综合应用[A]. 2008年海峡两岸气象科学技术研讨会论文集[C]. 北京: 中国气象学会, 2008: 136-144. (ZHU Xiaoxiang, WU Xiaojing, LIU Cheng, et al. The Comprehensive Application of Satellite Data in 2008 and China Big Range Low Temperature Freezing Rain and Snow Weather Process[A]. The Conference Proceeding on both sides of the Taiwan Straits Meteorological Science and Technology Conference in 2008[C]. Beijing: Journal of Chinese Meteorological Society, 2008: 136-144. (in Chinese))
- [27] 李纪人. 遥感在水利行业中的应用[J]. 卫星应用, 2012, (1): 61-64. (LI Jiren. The Application of Remote Sensing in Water Conservancy Industry[J]. Satellite Applications, 2012, (1): 61-64. (in Chinese))
- [28] 刘元波, 傅巧妮, 宋平, 等. 卫星遥感反演降水研究综述[J]. 地球科学进展, 2011, 26(11): 1162-1172. (LIU Yuanbo, FU Qiaoni, SONG Ping, et al. Satellite Retrieval of Precipitation: An Overview[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(11): 1162-1172. (in Chinese))
- [29] 张霄羽, 王娇. 风云二号静止气象数据估算土壤表面水分方法研究[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(7): 882-887. (ZHANG Xiaoyu, WANG Jiao. Estimation of Surface Soil Moisture from Onboard FY-2D Satellite Multitemporal Data[J]. Chinese Journal of Eco Agriculture, 2012, 20(7): 882-887. (in Chinese))