

近10年来上海卫星气象遥感应用技术研究进展

崔林丽^{1,2} 杨何群^{1,2} 葛伟强^{1,2} 贺千山³ 杜明斌^{1,2} 朱雪松^{1,2} 罗双^{1,2}

(1 上海市气象科学研究所, 上海 200030; 2 上海市卫星气象遥感应用中心, 上海 200030;

3 上海市闵行区气象局, 上海 201199)

摘要: 立足《我国气象卫星应用发展专项规划(2010-2015年)》, 紧密围绕风云系列气象卫星业务应用, 上海区域卫星气象业务应用取得了较好进展。总结近10年来上海市气象局卫星遥感业务应用技术所取得的成果, 并分析工作中存在的不足, 为未来上海卫星遥感气象应用工作提供支撑。

关键词: 气象卫星, 遥感业务, 应用进展, 上海

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.06.011

Progress of Meteorological Satellite Remote Sensing Application Technologies in Shanghai Meteorological Bureau in the Past Decade

Cui Linli^{1,2}, Yang Hequn^{1,2}, Ge Weiqiang^{1,2}, He Qianshan³, Du Mingbin^{1,2}, Zhu Xuesong^{1,2}, Luo Shuang^{1,2}

(1 Shanghai Institute of Meteorological Science, Shanghai 200030; 2 Shanghai Satellite Meteorological Remote Sensing

Application Center, Shanghai 200030; 3 Minhang District Meteorological Bureau, Shanghai 201199)

Abstract: Based on the special program for the development and application of meteorological satellite in China (2010-2015), the satellite meteorological service has made good progress in Shanghai, focusing on the application of the Fengyun series of meteorological satellite services. This paper aims to summarize the main achievements of remote sensing technology in Shanghai Meteorological Bureau in the last 10 years, to analyze the deficiencies in the work, and to provide supports for the satellite remote sensing meteorological applications in Shanghai in the future.

Keywords: meteorological satellite, remote sensing services, application progress, Shanghai

0 引言

当前, 卫星遥感已逐步形成立体、多维、高中低分辨率相结合的全球综合观测能力^[1]。气象卫星在天气分析预报、数值天气预报、气候监测与预测、生态和环境保护等方面极大地促进了卫星气象学的发展^[2]。上海市气象局卫星气象遥感应用中心(以下简称“上海遥感中心”)紧紧围绕上海及华东区域气象服务、城市气象、生态环境灾害以及海洋灾害的监测与预警业务需求, 就卫星遥感在天气预报、生态环境与自然灾害监测等研究领域的应用技术进行深入研究, 取得了明显进展。

本文总结了近十年来上海卫星遥感应用工作的

主要成果, 并对存在的问题和下一步工作思路进行思考, 以适应中国气象局加快发展全国卫星遥感综合应用体系建设新形势的迫切需求。

1 上海卫星气象数据获取工作进展

上海遥感中心建成了包括X/L极轨卫星接收系统、葵花8号气象卫星接收处理系统(HimawariCAST)、风云二号(FY-2)静止气象卫星中规模利用站和中国气象局卫星广播系统(CMACast系统)在内的综合数据接收系统, 同时和国家卫星气象中心紧密对接, 通过国家气象卫星中心云服务、资源池等新型数据共享服务方式, 实现了包括我国气象卫星风云三号系列(FY-3A/B/C)、风云二号系列(FY-2D/E/F/G)、国家高分辨率对地观测卫星系列(GF-1/3/4)、中国环境和灾害监测卫星系列(HJ-1A/1B/1C)以及美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)系列、美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的第三代实用气象观测卫星(NOAA-19)系列等十多颗卫星数据的获取能力, 初

收稿日期: 2017年6月28日; 修回日期: 2017年10月26日
第一作者: 崔林丽(1975—), Email: cllcontact@163.com
资助信息: 上海气象科技联合中心合作基金(LHZX201601); 华东区域气象科技协同创新基金合作项目(QYHZ201611); 国家自然科学基金(41571044, 41001283)

步具备了从数据接收到对外服务一体化的卫星遥感数据实时、近实时服务能力。在此基础上,上海遥感中心立足气象预报服务需求,积极探索一体化气象业务平台管理体系建设标准,在全国率先建成功能明确、流程标准、管理规范、管理规范的卫星遥感气象一体化业务服务框架。

2 上海卫星气象应用的主要技术工作成果

2.1 卫星资料在天气分析中的应用

在上海市气象局综合业务服务中,包括静止和极轨卫星在内的云图以及温、压、湿、降水估计等各种量化产品在天气预报分析中得以应用,丰富了上海区域天气预报的思路,并且上述产品对上海2010年世博会、亚信峰会等多次重要活动天气保障服务中发挥作用,尤其在上海城市及沿海大雾、热环境、降水和热带气旋等灾害性天气监测方面取得了明显进展,主要工作特色如下。

2.1.1 上海城市和沿海大雾遥感监测和预报

鉴于雾和低云具有相似的微物理本质和辐射特性,雾和低云的区别至今仍是卫星遥感研究的重点和难点(图1)。

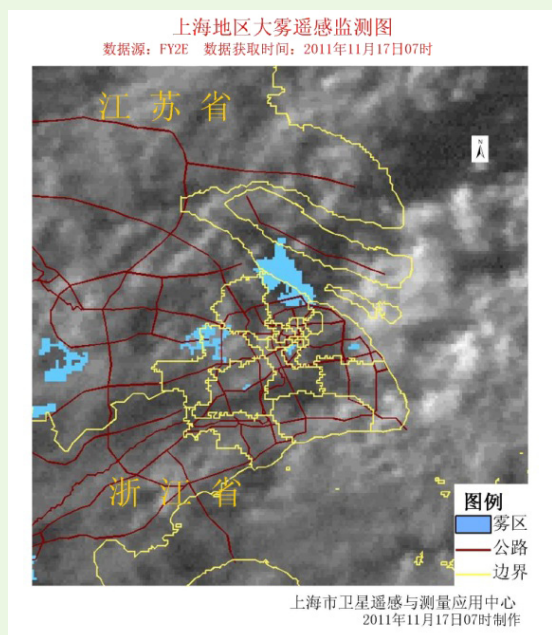


图1 上海地区卫星遥感大雾监测产品

Fig. 1 The fog monitoring with satellite remote sensing in Shanghai area

利用我国FY-2静止气象卫星资料,建立了卫星遥感光谱、纹理及结构信息相结合^[3-5]、卫星遥感资料与地面能见度等观测资料相结合的雾区自动识别和发展程度自动判断模型;结合中尺度数值模式对卫星遥感雾区及周边地区(特别是下游地区)3h内雾的发生、发展及消散态势进行预测;并在此基础上研发了上海

城市和沿海地区大雾遥感动态监测和预报应用系统,能够对大雾的分布、发展、消散变化过程和演变规律进行实时动态跟踪和预测分析。

2.1.2 热带气旋卫星遥感监测与预警

台风位居全球十大自然灾害之首。卫星观测不仅能够帮助人们进一步认识其路径^[6-7]、强度变化的规律,而且能够提供一些量化的观测资料解决预报的初始场问题,提高预报精度^[8]。

利用FY3A微波通道数据和大气温、湿廓线等新型产品,实现了台风温度场和湿度场的垂直结构分析,提取台风暖心(和湿中心)的范围、强度、垂直厚度等信息(图2),多角度开展了对登陆台风结构的诊断分析,为台风监测及预警服务奠定了基础。

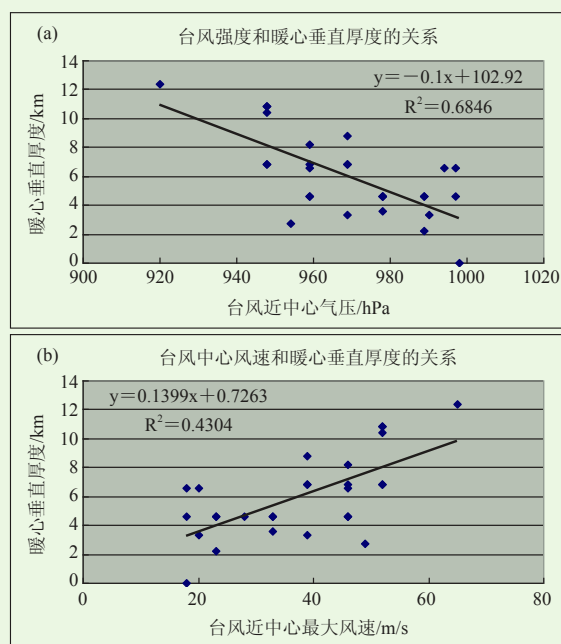


图2 微波暖心垂直厚度与台风强度(a,中心最低气压;b,近中心最大风速)之间的关系图

Fig. 2 The relationship between vertical thickness of warm heart and typhoon intensity (a: central minimum pressure; b: maximum wind speed near center)

利用FY-3A微波新传感器,分析其探测资料与地面实测降水的统计关系^[9],结果表明,FY-3A/MWHS与地面实测降水具有较好的相关性,对不同等级雨量均有一定的估测能力,尤其对中等量级的降水无论是在降水落区还是在降水量级上均具有较高的准确率,为台风降水估计方法提供了新思路。

利用WRF-3DVAR系统,对2008年森拉克(Sinlaku)、黑格比(Hagupit)和2009年莲花(Linfa)、莫拉克(Morakot)四个台风个例开展FY-3A微波资料直接同化试验,结果表明(图3),同化FY-3A资料后,路径预报能力得到提高,36~72 h

路径预报误差平均降低20%^[10-11]。

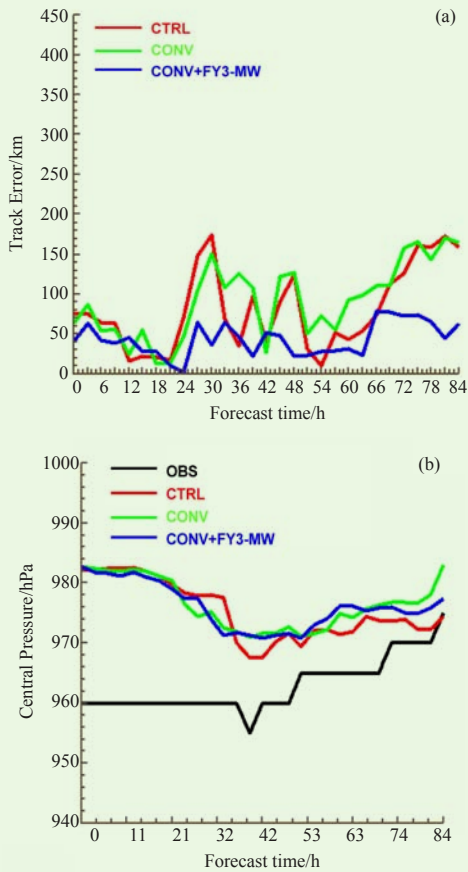


图3. 同化试验预报结果：(a) 台风路径误差；(b) 台风中心气压

Fig. 3 The forecast result of assimilation test. (a): typhoon path error; (b): typhoon central pressure

研制开发了台风卫星遥感应用示范平台。综合应用风云卫星资料、NOAA卫星资料、雷达图像、地面气象观测数据、历史背景报文数据和数值模式等各种信息源，实现了3 h和6 h外推、暖心定位、模式定位等多种台风定位、定强、结构分析及降水估计等功能的集成，为汛期台风监测与预警工作提供了规范的分析平台，在实时分析台风位置、强度、精细化结构变化以及风雨影响^[12]等过程中发挥着重要的支撑作用。同时，也为我国东南沿海地区台风大风和暴雨预报等监测预警服务以及复杂台风机理研究提供客观分析参考。

2.1.3 城市热环境灾害遥感监测与评估

首次应用我国FY-3新型气象卫星数据，采用单通道、分裂窗计算以及统计建模等方法^[13-14]，提出了遥感地温、气温定量反演模型。全面研究了热环境灾害与城市化发展主要敏感因子的关系，采用卫星遥感与地面观测相结合的天地一体化方法，建立了城市热环境灾害遥感定量评价指标体系、城市热环境灾害

空间分析和评估模型、城市人居热环境适宜性评估模型^[15-16]和人体舒适度分布预测方法，并开发了城市热环境灾害遥感监测评估预警系统（图4），大大提升了卫星遥感技术在热环境灾害监测评估方面的应用能力和实用化水平。

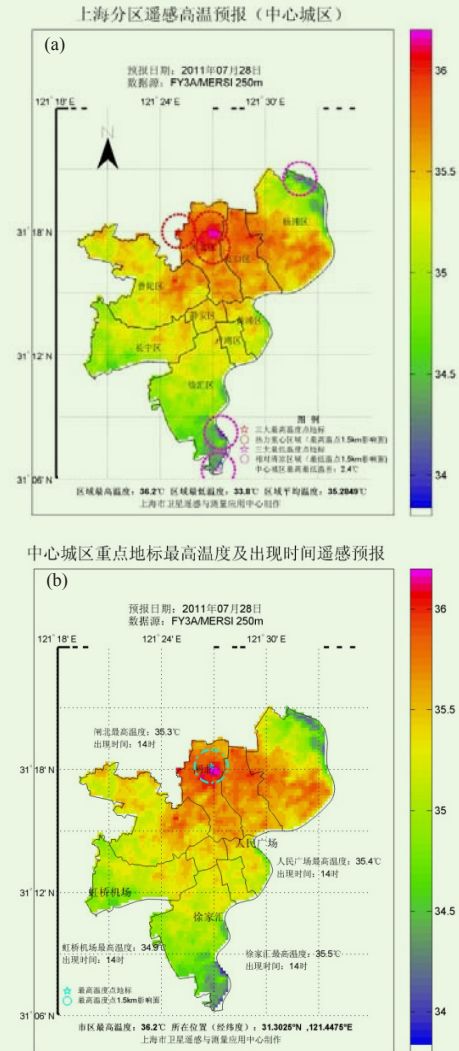


图4 上海中心城区高温监测与预报

Fig. 4 Monitoring and prediction of high temperature in the urban areas of Shanghai

2.2 卫星资料在生态环境监测中的应用

在全球气候变化背景下，随着区域经济的快速发展和城市化进程加快，华东区域城市群大气污染和沿海赤潮灾害等一系列生态环境问题的凸现。为满足区域生态环境安全服务需求，上海遥感中心在大气气溶胶光学厚度（AOD）、臭氧总量、蓝藻水华以及植被长势等定量化反演技术的基础上，相继完成了卫星遥感大气环境、陆域与近岸海域水环境业务服务平台建设，同时面向区域气候变化深入开展了植被与气候变化相互作用

用研究，并严格按照中国气象局《生态质量气象评价规范》的相关技术规定，按期完成了上海市生态质量评价的相关工作，为城市防灾减灾、城市精细化服务以及区域生态环境安全提供了科学决策。

2.2.1 卫星资料在大气环境中的应用

结合长三角地区地面实时观测网络，特别是充分利用上海大气成分观测网数据，对FY-3卫星得到的气溶胶产品进行了系统的验证分析。结果表明，陆地上空AOD的反演精度与光度计实测对比相对误差在20%

以内(图5)。在此基础上，综合近年来国际、国内在卫星遥感气溶胶和臭氧、地面气溶胶和臭氧观测的最新理论与技术，开发了基于FY-3和EOS/MODIS的气溶胶和臭氧空间分布的遥感应用产品，对华东地区气溶胶和臭氧在不同季节和生态系统内的分布规律进行了分析^[17-18]，并建立了长三角大气成分卫星遥感应用示范平台。

2010—2013年，华东气溶胶光学厚度大体上逐年增加，但在华东北部尤其是山东和长三角地区存在准

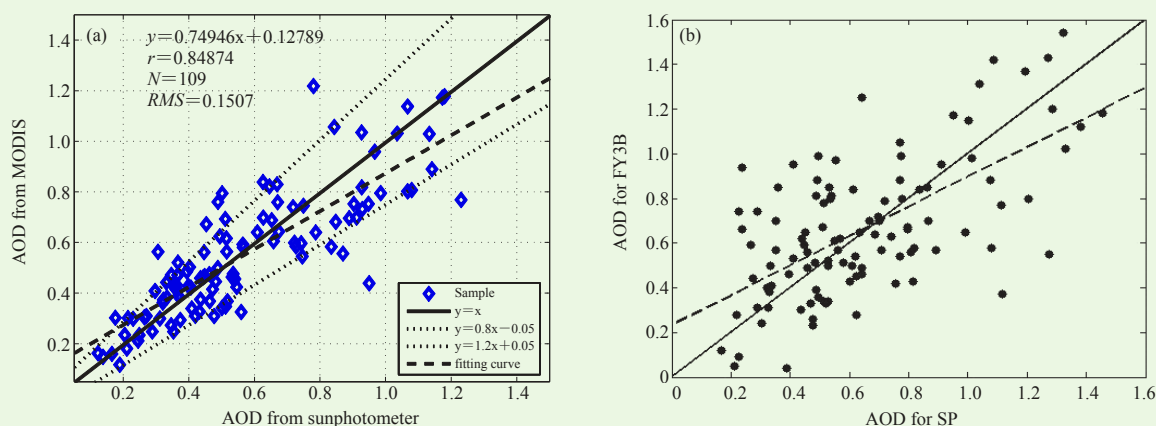


图5 FY-3卫星反演AOD和地基观测比较: (a) FY-3A; (b) FY-3B

Fig. 5 Comparison of AOD accuracy of FY-3 satellite inversion with ground-based observations. (a): FY-3A; (b): FY-3B

年周期变化。华东北部夏季是一年中气溶胶光学厚度最大的季节，而华东南部四季中春季气溶胶光学厚度最大，主要是北部受城市建设和人类活动影响，人为气溶胶增多，光化学反应和气粒转化效果明显。华东的气溶胶污染存在4个中心，其中上海是华东气溶胶光学厚度年平均最大的地区，而宝山区是上海的污染大值区(图6)。

华东地区的臭氧呈纬向型分布，臭氧总量在高纬度地带要大于低纬度地带，这种纬度差异在春季尤为明显。华东地区较高纬度地带的臭氧总量在春季最大，华东地区低纬度地带的臭氧总量在夏季最大。

2.2.2 陆域与近岸海域水环境监测

综合国内各种实验和方法模型研究成果，从满足持续、稳定、及时、合理的业务要求出发，基于我国极轨气象卫星、环境卫星、资源卫星及EOS/MODIS等多源遥感数据，进行了水华、赤潮及浒苔等覆盖区识别，以及叶绿素浓度、悬浮物浓度、黄色物质浓度、水温、水体透明度等水质指标的定量反演^[19]，并自动完成统计分析、专题制图和监测报告制作(图7)。建立了从数据读入、图像裁剪和配准、几何和辐射校正、大气校正、信息提取、结果分析、专题制图和评

价报告生成全流程一体化的监测分析平台。通过卫星遥感和实地监测分析表明，强光照、高气温、较弱风速、偏西风等气象条件有利于蓝藻的发展和扩散。

2.2.3 卫星资料在植被与区域气候变化中的应用

在全球气候变化背景下，地表植被与大气的相互作用过程是地球科学领域的研究重点和热点。基于10多年的SPOT VGT-NDVI数据和气象站点的气温、降水资料，采用时滞相关分析法，分析了我国华东及其周边地区NDVI对气温和降水在旬^[20]、月^[21]、季^[22]和年^[23]尺度上的时空响应特征(图8)。结果发现，就华东地区而言，总体上植被对气温变化的响应大于降水，植被对气温变化的响应滞后1旬左右，对降水变化的响应滞后3旬左右。草地NDVI与气温和降水变化的相关系数最大，林地NDVI与气温和降水变化的相关系数较小^[24]。

利用遥感和气候数据相结合的方法，系统揭示了我国东部植被对气候条件的适应性，不仅在空间尺度上有扩充，而且结果更为可靠，对植被响应气象要素变化的时间滞后性分析也更具体，这对于区域气候变化科学研究和模式模拟都具有较好的理论参考价值。

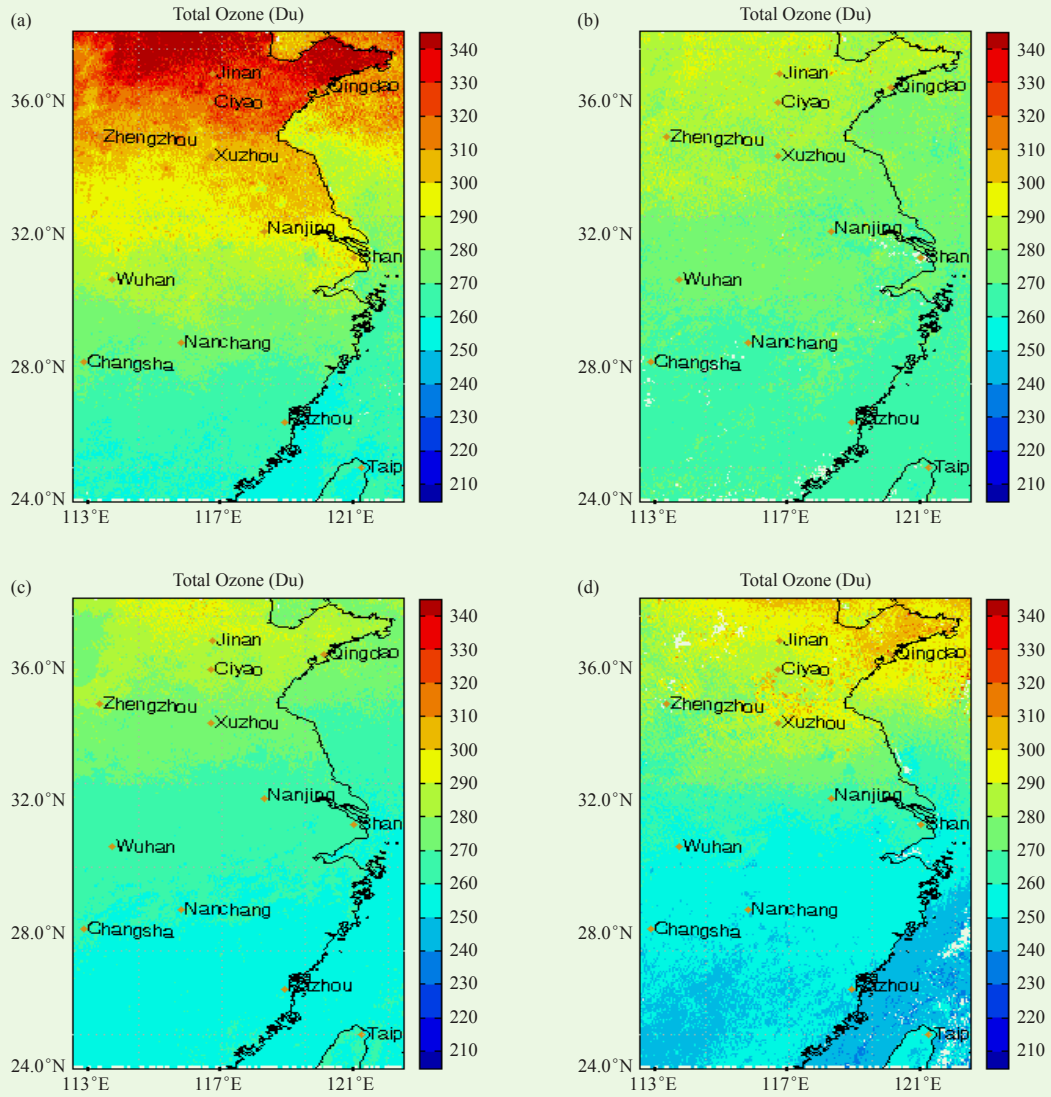


图6 2010—2013年华东地区季平均臭氧总量分布 (a, 春季; b, 夏季; c, 秋季; d, 冬季)

Fig. 6 Seasonal average ozone distribution in East China during 2010–2013 (a: spring; b: summer; c: autumn; d: winter)

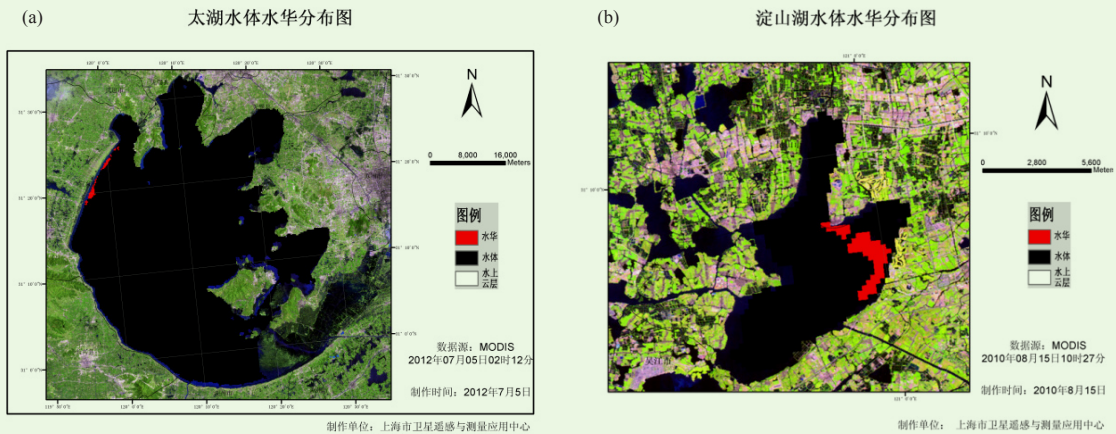


图7 太湖 (a)、淀山湖 (b) 蓝藻水华卫星遥感监测

Fig. 7 The cyanobacteria bloom monitoring by satellite remote sensing for (a) Taihu Lake and (b) Dianshan Lake

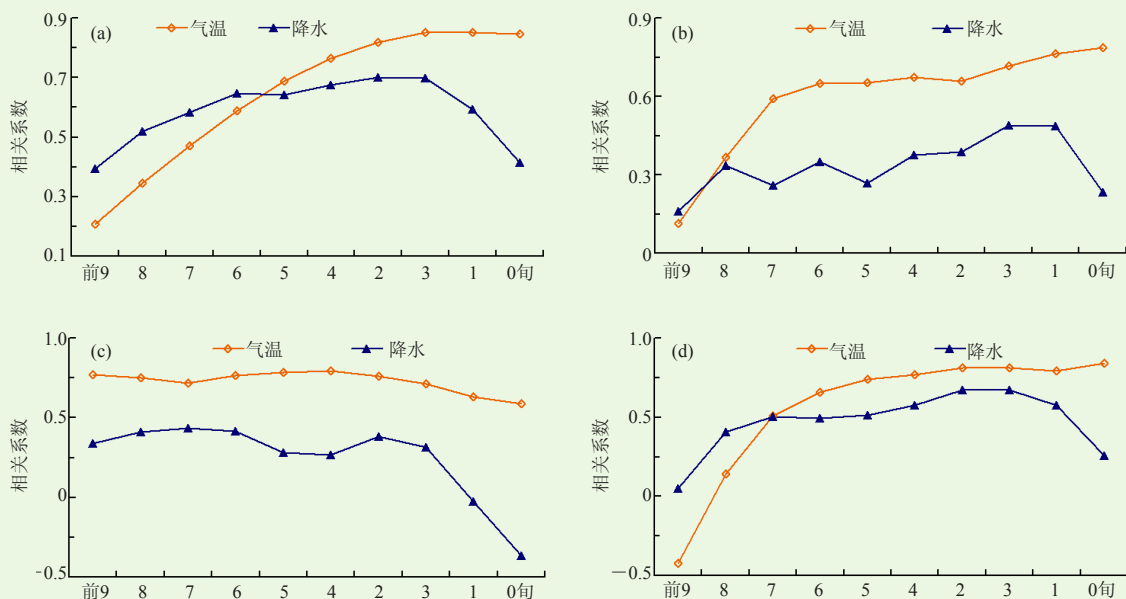


图8 植被NDVI与前0~9旬气温和降水的相关系数 (a, 全年; b, 春季; c, 夏季; d, 秋季)

Fig. 8 Correlation coefficients of the NDVI with previous temperature and precipitation (a: whole year; b: spring; c: summer; d: autumn)

2.2.4 崇明农业生态遥感立体监测服务系统

围绕“崇明生态岛”建设和“上海智慧城市”建设战略规划,采用“天地一体化”技术开展崇明农业生态应用,实现了卫星数据为主,生态、气象因子为辅的多源农业生态动态状况遥感分析评估子系统和农业生态效应遥感分析评估子系统研发^[25],包括作物(水稻)精细识别模型建立以及崇明作物种植布局识别,完成农业资源的监测、生态质量气象评价模型集成与数据处理、面源污染评估模拟结果集成等(图9)。围绕崇明农业生态相关典型问题,从农业生态影响因子、农业生态状况,到农业生态效应,开

展系统分析监测,系统具有良好的动态更新能力、可扩展能力以及与其它信息系统的共享能力,同时充分考虑不同类型用户的不同信息层次需求和不同服务方式需求,为沿海发达地区农业生态遥感应用服务研究奠定了基础。

2.2.5 上海市生态质量遥感监测与评估

利用EOS/MODIS和FY-3等卫星数据,每年完成四个季度的(即1—3月,4—6月,7—9月,10—12月)的上海市生态质量气象评价遥感部分内容的制作,包括植被覆盖度、土地覆盖/土地利用粗分类、植被覆盖指数的制作等(图10),为定期了解上海市生态环境状况提供参考。

连续观测结果(图11)也表明,2006—2016年崇明植被覆盖度平均为23.4%,明显高于上海市整体植被覆盖度平均15.2%,并且以0.08/10a的线性趋势增加,表明近10年来崇明植被生态系统的服务功能稳步提升。

3 小结

上海卫星遥感应用技术虽取得了阶段性进展,但仍局限于浅层次遥感研发,数值模式支撑技术、多源资料的综合应用、星地协同分析能力也远远不够,面对参与国家气象科技竞争和上海建设“国际经济中心、国际金融中心、国际航运中心、国际贸易中心”等四个中心和具有全球影响力科技创新中心的新要求,如何快速实现从卫星遥感“数据”到“价值”的

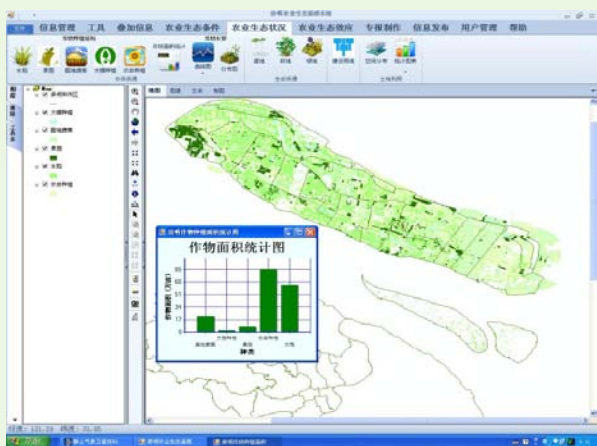


图9 上海市崇明岛农业生态遥感监测系统

Fig. 9 Agricultural and ecological monitoring system of remote sensing for Chongming Island in Shanghai

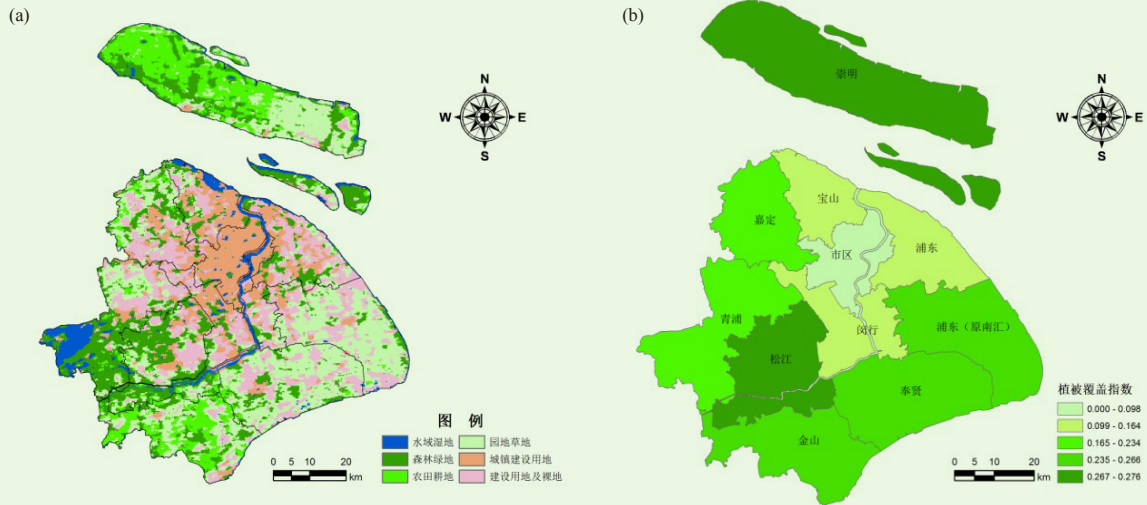


图10 上海市2016年土地利用 (a) 和植被覆盖指数图 (b)
Fig. 10 Map of and use and vegetation indexes for Shanghai in 2016

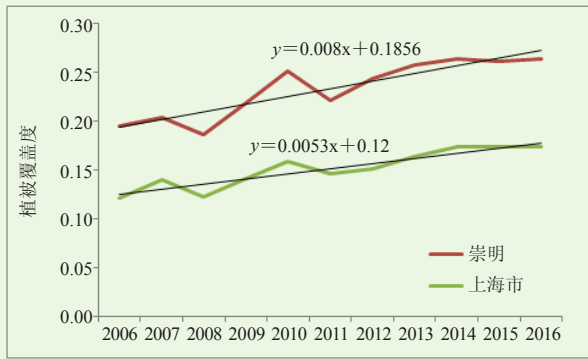


图11 崇明岛与上海市植被覆盖度时序图
Fig. 11 The time series of vegetation coverage in Chongming Island and Shanghai

转化, 切实提升气象卫星遥感在上海特大城市生态环境和防灾减灾服务中的量化应用水平, 还需要做出更深入的思考和更大的努力。

致谢: 特别感谢杨引明、尹球和周红妹专家在本文相关工作中付出的心血和做出的贡献。

参考文献

[1] 范一大, 吴玮, 王薇, 等. 中国灾害遥感研究进展. 遥感学报, 2016, 20(5): 1170-1184.
[2] 李俊, 方宗义. 卫星气象的发展-机遇与挑战. 气象, 2012, 38(2): 129-146.
[3] Zhou H M, Ge W Q, Bai H, et al. Research on automatic fog identification technology by meteorological satellite remote sensing. Journal of Tropical Meteorology, 2009, 15(1): 28-37.
[4] 周红妹, 葛伟强, 柏桦, 等. 气象卫星大雾遥感自动识别技术研究. 热带气象学报, 2011, 27(2): 152-160.
[5] 周红妹, 汤绪, 葛伟强, 等. 城市和沿海大雾遥感自动检测和云、雾分离技术研究. 高原气象, 2011, 30(3): 701-708.
[6] 杨何群, 杨引明. 热带气旋卫星遥感客观定位方法研究进展. 热带

海洋学报, 2012, 31(2): 15-27.
[7] 崔林丽, 鲁小琴, 朱雪松. 国内外卫星遥感监测台风的结果分析与对比研究——以1323号“菲特”台风为例. 红外, 2015, 36(11): 13-18.
[8] 张兴海, 郁凡. 台风强度及演变的卫星反演试验研究. 南京大学学报(自然科学), 2012, 48(6): 15-27.
[9] 崔林丽, 杨引明, 游然, 等. FY-3A/MWHS数据在定量降水估计中的应用研究. 高原气象, 31(5): 1439-1445.
[10] 杜明斌, 杨引明, 杨玉华, 等. FY-3A微波资料偏差订正及台风路径预报应用. 应用气象学报, 2012, 23(1): 89-95.
[11] 杨引明, 杜明斌, 张洁. FY-3A微波资料在“莫拉克”台风预报中的同化试验. 热带气象学报, 2012, 28(1): 23-30.
[12] 崔林丽, 杨引明, 刘红亚, 等. 华东沿海热带气旋移动和降水特征研究. 长江流域资源与环境, 22(7): 887-893.
[13] 杨何群, 尹球, 周红妹, 等. 利用MATLAB实现FY-3/MERSI地表温度反演及专题制图. 国土资源遥感, 2012, (4): 62-70.
[14] 杨何群, 周红妹, 尹球, 等. FY-3A/MERSI数据在典型大城市热环境监测预报中的应用——以上海市为例. 测绘通报, 2013, (11): 25-28.
[15] 杨何群, 周红妹, 柏桦. 城市人居环境遥感定量评估体系研究与应用. 上海遥感与社会发展国际学术研讨会, 2013.
[16] 贺千山, 潘鹤, 黄颖, 等. 上海干霾与湿霾气溶胶消光特性的比较. 兰州大学学报(自然科学版), 2013, (4): 497-503.
[17] 史军, 崔林丽. 长江三角洲城市群霾的演变特征及影响因素研究. 中国环境科学, 2013, 33(12): 2113-2122.
[18] 王洪强, 贺千山, 陈勇航, 等. 2008~2012年上海黑碳浓度变化特征分析. 环境科学, 2014, 35(4): 1215-1222.
[19] 朱雪松, 许华, 尹球. 陆域与近岸海域水环境遥感监测. 高科技与产业化, 2013, 9(11): 67-71.
[20] 崔林丽, 史军, 杨引明, 等. 中国东部植被NDVI对气温和降水的旬响应特征. 地理学报, 2009, 64(7): 850-860.
[21] 崔林丽, 史军. 中国华东及其周边地区NDVI对气温和降水的月际响应特征. 自然资源学报, 2011, 26(12): 2121-2130.
[22] 崔林丽, 史军. 中国华东及其周边地区NDVI对气温和降水的季节响应. 资源科学, 2012, 34(1): 81-90.
[23] 崔林丽, 史军, 肖风劲, 等. 中国东部NDVI的变化趋势及其与气候因子的相关分析. 资源科学, 2010, 32(1): 124-131.
[24] Cui L L, Shi J. Temporal and spatial response of vegetation NDVI to temperature and precipitation in eastern China. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(2): 163-176.
[25] 杨何群, 尹球, 史红仙, 等. 崇明三岛农业生态遥感监测研究. 中国环境遥感应用技术论坛, 2014.