

# 卫星遥感在青藏高原大气科学研究中的应用前景

卢乃锰<sup>1</sup> 范锦龙<sup>1</sup> 刘健<sup>1</sup> 朱小祥<sup>2</sup>

(1 国家卫星气象中心, 中国气象局, 北京 100081; 2 国家气象中心, 中国气象局, 北京 100081)

**摘要:** 青藏高原幅员辽阔, 地形复杂, 地面观测站点稀少, 气象卫星观测区域大、频次高的优势可以弥补地面观测不足。与第一次、第二次青藏高原大气科学试验时相比, 现在气象卫星的观测能力已经有质的跨越, 风云极轨卫星的观测能力从1km已提高到250m, 静止卫星的观测时效已由1h缩短到15min。有效利用现有卫星观测能力和长时间序列的气象卫星观测历史数据, 将推动第三次青藏高原大气科学试验以及后续的大气科学研究工作。针对青藏高原大气科学研究, 需要实施卫星加密观测, 开展青藏高原近30年天气系统及其气候特征分析, 开展长时间序列卫星数据的精准定标与定位技术研究, 生成长时间序列卫星遥感产品基础数据库, 对高原气候与环境演变进行分析, 并发展利用风云卫星数据产品改善数值模式物理参数化的新技术。

**关键词:** 卫星应用, 青藏高原, 大气科学研究, 风云卫星, 遥感

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.03.004

## The Potential Satellite Applications in the Atmospheric Sciences Study on the Tibetan Plateau

Lu Naimeng<sup>1</sup>, Fan Jinlong<sup>1</sup>, Liu Jian<sup>1</sup>, Zhu Xiaoxiang<sup>2</sup>

(1 National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

**Abstract:** The Tibet Plateau covers a huge area with deep valleys and high mountains. The in-situ observations are very sparse on the Tibet Plateau. Satellite observation may complement in-situ observation by taking the advantage of the wide coverage and the high frequent observations. In comparison with the first and second Tibetan Plateau experiments of atmospheric sciences, observing capability has been improved and great progress has been made by the Fengyun polar orbiting satellite and geostationary satellite. The spatial resolution of the Fengyun polar orbiting satellite was improved from 1 km to 250m and the temporal resolution was shortened from 1 hour to 15 minutes. The engaging Fengyun satellite observation and the real utilization of long-time series of data and products derived from Fengyun satellites and other satellites will promote the third Tibetan Plateau experiment of atmospheric sciences and the following atmospheric science research on the Tibetan Plateau. Satellite observation will make great contributions in the following six aspects, such as providing more frequent observations over the Tibet Plateau, analyzing weather systems and climate characters in the past 30 years, studying on the calibration and positioning of long-time series of satellite data, producing the basic remote sensing product datasets with long-time series, analyzing the climate and environment changes and developing a new methodology to improve the physical parameterization in the numerical model with the utilization of the Fengyun satellite data and products.

**Keywords:** satellite application, Tibet Plateau, atmospheric science research, Fengyun satellite, remote sensing

### 1 引言

作为地球第三极, 青藏高原的天气和气候备受关注。20世纪50年代以来, 围绕青藏高原气象的研究已取得了许多开创性成果<sup>[1-6]</sup>。中国气象局和中国科学院在1979年和1998年联合开展了两次青藏高原大气科学试验<sup>[1, 4]</sup>, 在高原热源、大尺度环流及其与季风关

系、地气过程与高原热力作用等方面取得了许多前沿成果。2006—2009年, 中日科学家联合实施了“青藏高原及周边新一代综合气象观测计划”<sup>[7, 8]</sup>, 构建了青藏高原东缘周边新一代综合气象观测系统, 并取得了重要的研究成果<sup>[9]</sup>。现在, 第三次青藏高原大气科学试验已正式提上日程, 如何充分发挥气象卫星特别是我国第二代极轨气象卫星风云三号观测时效快、覆盖面积大、相对精度高、可同时进行多参数观测的优势<sup>[10-13]</sup>, 更好地实现对高原天气气候和陆表生态的多源、多手段的观测已经成为高原试验以及后续大气科学研究的重要课题。

收稿日期: 2011年12月22日; 修回日期: 2012年2月29日

第一作者: 卢乃锰(1964—), Email: lunaimeng@nsmc.cma.gov.cn

通信作者: 范锦龙(1975—), Email: fanjl@cma.gov.cn

资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(201306043);  
国家自然科学基金项目(90102010)

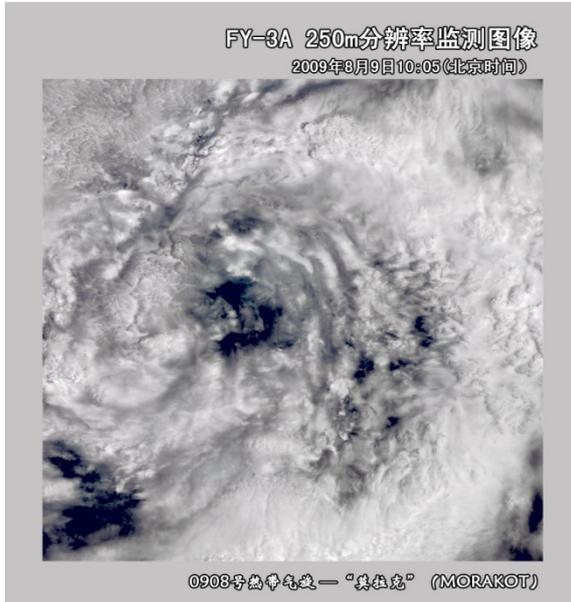


图1 风云极轨卫星 (FY-3A) 250m分辨率图像

## 2 气象卫星发展现状

1960年至今,美国、欧盟、日本、中国等国家和组织相继发射了自己的系列气象卫星<sup>[14]</sup>。进入21世纪,卫星观测仪器明显向高空间分辨率、高光谱分辨率、高辐射观测精度方向发展,卫星的观测能力越来越强,气象卫星已经成为许多国家进行天气、气候、生态监测必不可少的观测手段。

与第一次、第二次青藏高原大气科学试验相比,目前的卫星观测能力有了质的跨越。以风云气象卫星为例,极轨卫星遥感仪器已经从1个增加到11个,探测通道从5个增加到99个,观测谱段从可见光、红外拓展到紫外和微波,仪器空间分辨能力从1km提高到250m(图1),特别是红外250m成像能力为世界独有。静止气象卫星的观测时间分辨率也从过去的1h,

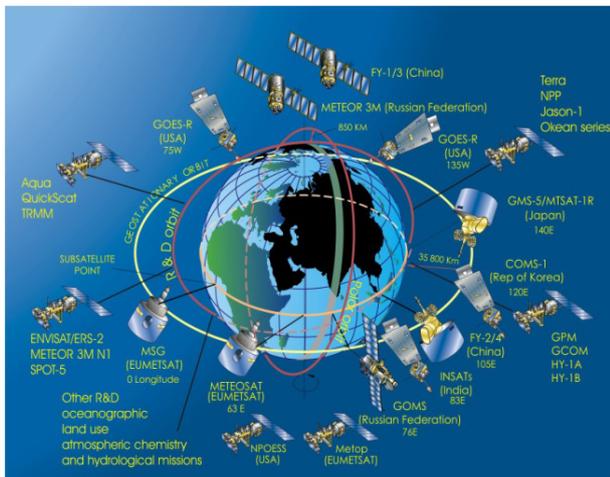


图2 WMO天基观测网

提高到现在的15min。

经过40年发展,我国风云静止和极轨两大系列卫星已经实现了由试验应用型向业务服务型的转变,极轨气象卫星更是实现了更新换代,静止气象卫星也实现了“双星观测、在轨备份”,风云卫星已被世界气象组织纳入全球业务应用气象卫星序列(图2),成为全球综合地球观测系统的重要成员。与此同时,风云卫星资料广泛应用于天气预报、气候预测、自然灾害监测和重大科学研究等多个重要领域,在气象防灾减灾、应对气候变化中发挥了重要作用。

在独立自主发展风云气象卫星的同时,我国也十分重视国外气象卫星资源的利用。国家卫星气象中心自20世纪70年代就开始接收利用国外气象卫星数据,特别是自1985年以来接收和长期存档了美国NOAA、日本GMS卫星高分辨率数据。这些数据可以为青藏高原天气、气候以及环境变化研究提供地球物理参数产品。

## 3 卫星能力举例

根据目前的卫星遥感技术发展水平,气象卫星可以为青藏高原天气气候试验提供大气温度廓线、湿度廓线、地面降水、沙尘监测等天气研究产品,同时还可以提供积雪覆盖、云气候、植被变化、湖泊水体变化、臭氧活动、地气系统辐射等气候产品。这些参数与产品可以用于揭示青藏高原天气气候活动的科学事实,为青藏高原研究提供可靠的科学数据。

图3是风云卫星用于监测小尺度的天气过程的实例。图中可见沙兰镇西北和西南方向分别有两条由下击暴流所触发的外流边界(积云线),这两条外流边界在沙兰镇上游交汇,交汇点的强烈动力强迫导致新雷暴的产生,产生强降雨并最终引发突发洪水。对沙兰镇暴雨过程的卫星图像分析表明气象卫星不但可以监测大尺度天气系统,而且可以有效地监测雷暴尺度

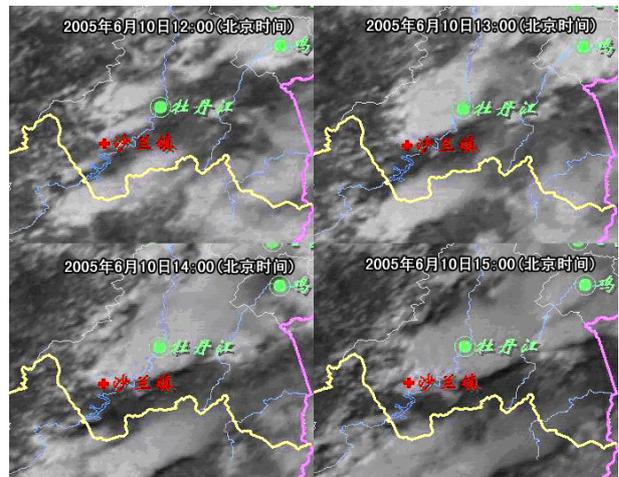


图3 沙兰镇小尺度天气系统

天气系统的活动。

对高原降水时空分布特征的分析是高原大气科学实验的重要内容。由于高原降水90%为阵性，且多为夜雨，高频次的风云二号气象卫星以及风云三号A、B星的上、下午组网观测就成为监测高原降水的有效手段。我们前期的研究<sup>[15-19]</sup>能够自动给出云团编号，有效追踪云团的发生、发展和消亡过程，对对流单体可以做统计意义上的更精细的分析，最后给出降水的空间分布和日变化特征（图4）。此外，光学和

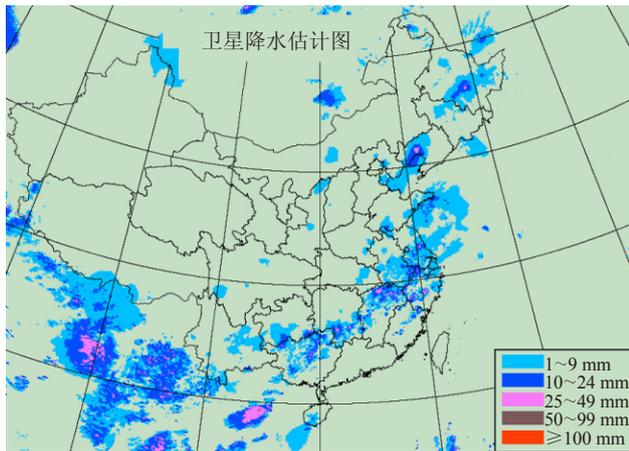


图4 卫星降水空间分布和日变化估计图

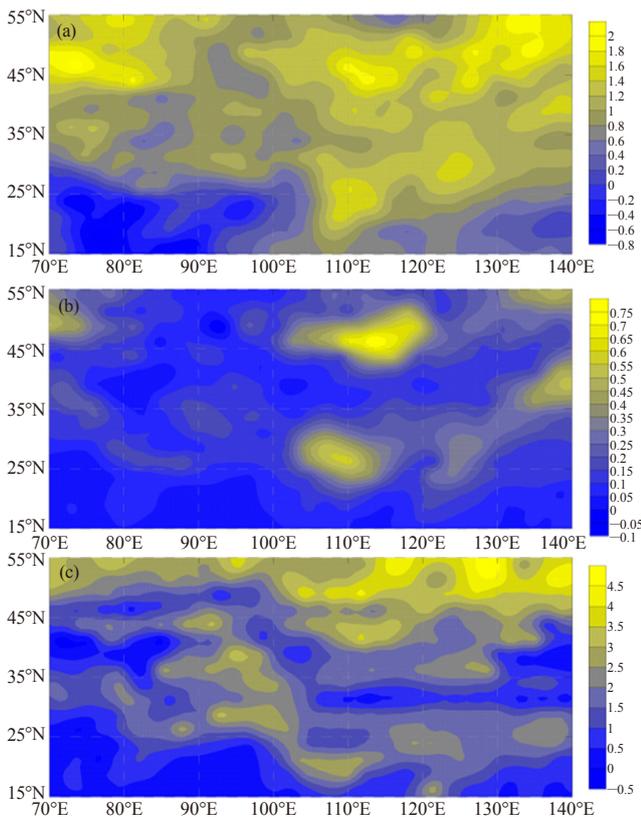


图5 青藏高原20a云动态分布  
(a) 云量；(b) 云光学厚度；(c) 云水含量

微波资料的结合还可以反演云相态、云粒子有效半径等微物理参数。

图5是利用20a卫星资料反演得到的平均云量、云光学厚度和云水含量，从中可以看到20a间青藏高原的云气候特征。以1，4，7，10月代表不同的季节，进一步分析表明，不同季节在青藏高原的云特征表现不同。一些1月份云水低值区，7月份会变成高值区，其中的机理尚有待第三次青藏高原大气科学试验进一步考证和阐明。

利用卫星数据还可以对高原人口稀少地区的环境做诊断分析。众所周知，植被变化是气候变化的一个非常重要的指示因子<sup>[20, 21]</sup>，根据图6青藏高原20a植被的正负变化趋势，从整个青藏高原来看，总体上西北植被略有退化，东南部特别是南部的植被变得茂盛。利用MODIS数据的研究表明<sup>[22]</sup>，青藏高原植被状况呈现由东南向西北递减的分布格局，降水是导致植被覆盖空间变化的主要因素。在森林和草甸等降水较多的地区，由于受水分的限制较少，植被活动的年际波动较小，生态系统处于较稳定的状态；而草原和荒漠等受水分限制较大的土地覆盖类型，植被生产力的年际波动较大。

#### 4 卫星观测的潜在应用

青藏高原幅员辽阔，观测站点稀少。对高原的研究需要依靠气象卫星以获取高时空分辨率的观测数据，弥补常规地面观测的不足。在青藏高原第三次

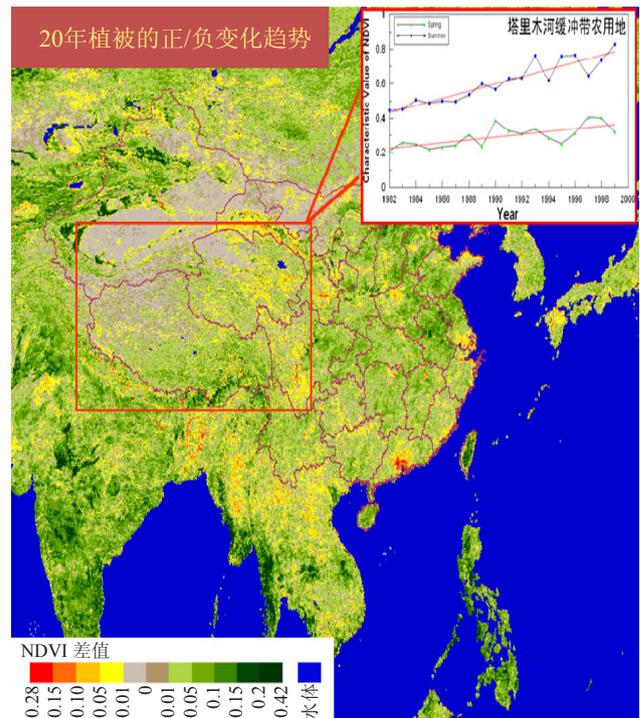


图6 青藏高原20a植被的正负变化趋势

大气科学试验中,观测上,除应该强调静止与极轨卫星相结合,主动探测与被动遥感结合外,还应该强调地基与空基相结合。在科学研究方面,需要以遥感信息为主,结合地基观测建立青藏高原遥感基础数据与产品库。在此基础上,分析青藏高原地区天气、气候和生态环境变化过程。通过对不同尺度天气系统的分析,揭示高原天气系统的特点。利用青藏高原长时间序列的遥感资料,通过对气候与环境敏感带的分析,揭示高原气候和生态演变规律与成因。重点开展以下6个方面的工作,卫星观测将对第三次青藏高原大气观测试验以及后续的大气科学研究做出贡献。

#### 4.1 针对青藏高原的卫星加密观测

在第三次青藏高原大气科学试验中,开展加密的卫星观测。利用自主风云卫星的优势,配合第三次青藏高原大气科学试验,启动卫星加密观测模式,观测时效由常规的30min提高到15min。主要目的是针对中小尺度天气系统进行超高时间分辨率的特殊观测,观测系统的发展和演变,为高原对流性天气的监测提供一手资料。

#### 4.2 青藏高原近30年天气系统及其气候特征分析

青藏高原不仅有独特的天气系统,而且由于大尺度的地形障碍对气流的强迫产生绕流、爬升和摩擦等作用,利用卫星观测资料研究和了解不同的天气系统是一个很好的手段。

根据试验的总体部署和高原天气分析的特殊需求,开发深对流强度指数、对流活动指数、水汽辐合指数、对流不稳定指数等一系列揭示高原天气系统发生、发展、消亡的新型卫星遥感产品,为高原天气与动力学研究提供遥感信息。进而利用这些长时间序列的资料研究青藏高原上特殊的天气和气候规律,高原天气系统的生成、移动和演变特征,提高预报准确率。

#### 4.3 长时间序列卫星数据的精准定标与定位技术研究

卫星观测数据用于天气分析,相对而言对于定标和定位的要求不高,但要开展青藏高原气候与环境演变的精细研究对卫星定标定位提出了很高的要求。形成高质量的长时间序列、多源卫星遥感数据,需要综合考虑遥感仪器的光谱响应、仪器衰减、观测几何以及轨道漂移等一系列复杂技术问题,实现载荷的高精度相对定标和定位。

#### 4.4 长时间序列卫星遥感产品基础数据库的生成

建立近30年卫星遥感环境变量连续参数数据库,

形成分辨率为1km或250m的高精度、以旬为时间间隔的长时间序列遥感信息基础专题数据集,以气候区和行政区两种不同的方式建立高原天气、气候、生态以及气象自然灾害4个专题数据库。专题数据库将重点集成从风云三号极轨卫星、风云二号静止卫星生成的云、降水、温湿度廓线等大气产品和植被指数、植被覆盖分类、地表温度、地表湿度、地表反射率等陆表数据产品,促进风云卫星数据产品在天气、气候以及生态环境演变分析中的应用,促进风云卫星数据产品在数值模式中的参数化应用和同化应用。有关可用于第三次青藏高原大气科学试验的风云卫星数据产品及其详细应用情况可参见文献[10, 13, 23]。

#### 4.5 高原气候与环境演变分析

青藏高原作为地球的第三极,对亚洲甚至北半球的气候都有深刻的影响。全球气候变化也对青藏高原的生态环境造成了显著的影响。利用长时间序列的卫星观测资料,结合常规观测资料,通过要素单因子和多因子复合分析,揭示近30年来高原天气、气候、生态以及自然灾害频数变化,揭示其演变的科学事实。采用特征区对比分析、要素时空异常变化分析、生态敏感带植被进退演化与人类活动相关分析等方法,分离自然因素和人类活动对青藏高原气候与环境变化的影响,了解和理解其规律,为我国应对气候变化和防灾减灾提供科学依据。

#### 4.6 卫星产品支持数值模式的参数化

地球表面物理参数,如反射率、土壤湿度、发射率、粗糙度等以及植被参数,是天气预报、气候模拟与预测、边界层气象和生态气象研究的基础性数据。现有的数值模式多使用随模式提供的下垫面资料,这些地表物理参数常使用固定的数值,并且使用静态的植被参数,无法反映季节变化和植被生长死亡引起的变化,这些参数的确定存在明显的不足。卫星遥感在研究青藏高原非均匀陆表地表特征参数和植被参数时有其独到的作用<sup>[24]</sup>。利用风云卫星数据反演不同季节的相关陆表参数,如地表反射率、地表温度以及植被参数等,开发新的参数化方法引入数值模型,将对探明青藏高原复杂下垫面的地表热通量分布,进而更加清楚地理解青藏高原地区地气相互作用的特征打下良好基础。

## 5 结束语

针对青藏高原特殊的地貌和特殊的天气气候现象以及陆表过程,应该有针对性地开发一些卫星产品,为高原天气、气候和灾害生态环境的分析提供支撑。与前两次青藏高原大气科学试验时相比,卫星的观测

能力已经有质的跨越, 卫星遥感资料如果能够实质性地使用, 它将会成为第三次青藏高原的一个亮点。另外, 针对这次青藏高原大气试验以及后续的大气科学研究, 需要解决6个方面的遥感技术问题, 其中也有一些科学问题, 这样才可能形成可靠的青藏高原卫星遥感数据库, 并针对研究目的, 形成专用的数据库供研究使用。

### 参考文献

- [1] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 1979.
- [2] 章基嘉. 青藏高原气象学进展. 北京: 科学出版社, 1988.
- [3] 黄荣辉. 青藏高原对我国及世界气候环境的影响. 地球科学进展, 1988(6): 25-27.
- [4] 陶诗言, 陈联寿. 第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展. 北京: 气象出版社, 1999.
- [5] Wu G X, Mao J Y, Duan A M. Recent progress in the study on the impacts of Tibetan Plateau on Asian summer climate. Acta Meteor Sin, 2004, 62(5): 528-540.
- [6] 徐祥德, 陈联寿. 青藏高原大气科学试验研究进展. 应用气象学报, 2006, 17(6): 756-772.
- [7] 徐祥德. 青藏高原“敏感区”对我国灾害天气气候的影响及其监测. 中国工程科学, 2009, 11(10): 96-107.
- [8] 徐祥德. 青藏高原及周边综合观测系统计划(JICA)实施进展. 中国气象科学研究院年报, 2006, 1: 57-58.
- [9] 彭世球, 徐祥德, 施晓晖, 等. “世界屋脊”大地形坡面探测同化信息对下游天气的预警效应. 科学通报, 2008, 24(53): 3134-3138.
- [10] 张人禾, 徐祥德. 中国气候观测系统. 北京: 气象出版社, 2008.
- [11] 杨军, 董超华, 卢乃锰, 等. 中国新一代极轨气象卫星——风云三号. 气象学报, 2009, 67(4): 501-509.
- [12] 董超华, 杨军, 卢乃锰, 等. 风云三号A星(FY-3A)的主要性能与应用. 地球信息科学学报, 2010, 12(4): 458-465.
- [13] 杨军, 董超华. 新一代风云极轨气象卫星业务产品及应用. 北京: 科学出版社, 2011.
- [14] 总装备部. 卫星应用现状与发展. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.
- [15] 卢乃锰, 吴蓉璋. 强对流降水云团的云图特征分析. 应用气象学报, 1997, 8(3): 269-275.
- [16] Lu N M, Wu R Z. A convective rainfall estimate technique developed by NSMC of China. Acta Meteorologica Sinica, 2000, 14(2): 225-232.
- [17] 卢乃锰, 吴晓, 游然. 卫星中心降水估计业务产品的原理与方法. 2001年全国重大灾害性天气过程总结和预报技术经验交流会, 2001.
- [18] 师春香, 卢乃锰, 张文建. 卫星面降水估计人工神经网络方法. 气候与环境研究, 2001, 6(4): 467-472.
- [19] Lu N M, You R, Zhang W J. A fusing technique with satellite precipitation estimate and raingauge data. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 18(2): 141-146.
- [20] 范锦龙, 李贵才, 张艳. 阴山北麓农牧交错带植被变化及其对气候变化的响应. 生态学杂志, 2007, 26(10): 1528-1536.
- [21] 范锦龙, 张晓煜. 宁夏近18年植被动态变化遥感时序分析. 干旱区研究, 2009, 26(1): 53-59.
- [22] 周睿, 杨元合, 方精云. 青藏高原植被活动对降水变化的响应. 北京大学学报: 自然科学版, 2007, 43(6): 771-775.
- [23] 董超华, 等. 气象卫星业务产品释用手册. 北京: 气象出版社, 1999.
- [24] 马耀明, 刘东升, 苏中波, 等. 卫星遥感藏北高原非均匀陆表特征参数和植被参数. 大气科学, 2004, 28(1): 23-31.

## “大气低频振荡延伸期天气过程预报技术” 研究专家协作平台成立暨第一次工作研讨会议召开

### ■ 本刊编辑部

介于中短期天气预报与短期气候预测之间的延伸期预报是当前大气科学研究的热点之一。本刊2013年第1期推出的“延伸期预报”专辑曾系统回顾了我国目前在延伸期预报领域取得的进展, 尤其关注了低频图、MJO等在延伸期预报中的应用效果。

基于以往取得的进展以及上海、福建、辽宁等区域的延伸期预报业务试运行, 来自中国气象局兰州干旱研究所、中国科学院大气物理研究所、南京信息工程大学、南京大学、北京大学、北京师范大学等科研院所(校)以及国家气象中心、国家气候中心和福建、河北、辽宁等省级气象局的研究者及业务人员, 发起成立了“大气低频振荡延伸期天气过程预报技术研究”专家协作平台, 平台成立暨第一次工作研讨会议于2013年6月8日上午在中国气象局干部培训学院召开。

会上, 孙国武研究员介绍了协作平台发起情况以及人员组成, 何金海教授和丁一汇院士分别做了“低频信号对延伸期降水事件(过程)预测的指示意义”和“季节内振荡与持续性环流及其在延伸预报中的应

用”的报告。研讨中, 与会专家一致认为, 协作平台网站的建立和资料、研究成果的共享, 以及延伸期预报即将在全国大范围推广运行的效果评价, 是协作平台的下一步工作重点。本刊作为平台的支持期刊, 将继续跟踪报道平台的研究业务进展。



(摄影: 刘晋京)