

青藏高原东缘对流云和水汽观测试验简介

施晓晖

(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 近年来, 青藏高原及周边省区(西藏、青海、四川、云南等)的气象业务观测系统建设取得很大成效, 并通过JICA项目国际合作计划的实施, 在高原及其东缘区域初步组成了具有国际先进水平的综合气象监测系统。基于以往研究成果和青藏高原及其周边地区观测条件的改善, 加上中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室观测能力的提高, 青藏高原东缘对流云和水汽观测试验得以实施, 此次试验将重点关注这一区域对流云结构和水汽输送的变化及其对灾害性天气的可能影响, 并将争取改进数值模式中高原及周边区域的云物理过程参数化方案, 提升数值模式的预报能力。

关键词: 青藏高原东缘, 对流云, 水汽, 外场观测

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2014.05.005

Introduction to Observation Experiment for Convective Cloud and Water Vapor in East Edge of the Tibetan Plateau

Shi Xiaohui

(State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract: In recent years, the operational meteorological observing system in the Tibetan Plateau (TP) and its ambient areas has been improved by using advanced equipment and adding new sites. Furthermore, a new integrated observing system in TP and its ambient areas (NIOST) was built by implementing the international cooperation project funded by JICA (Japan International Cooperation Agency). Based on previous research results and improvement of observing condition in TP and its ambient areas, as well as the enhancement of observing ability of State Key Laboratory of Severe Weather (LASW), the observation experiment to convective cloud and water vapor in the east edge of TP (ETP) could be conducted. This experiment chiefly focuses on the variations of convective cloud and water vapor transportation in ETP, and deals with their impossible impacts on disastrous weather. To enhance the forecasting capability of numerical model, we will study the contributing factor of severe weather and multi-scale feature of water cycle in ETP, and then improve the parameterized scheme of cloud physical process in TP and its ambient areas.

Keywords: east edge of the Tibetan Plateau, convective cloud, water vapor, field observation

1 引言

青藏高原通过大地形的动力、热力作用, 对全球天气气候^[1-6]、东亚季风的进程^[7-9]和水汽输送^[10-15]等都产生着重要的影响, 进而影响到其东部下游地区的暴雨、暴雪等灾害性天气过程。开展以青藏高原主体和东缘区域的外场试验观测, 可以进一步认识青藏高原天气过程及其对我国下游灾害天气的影响, 具有十分重要的科学意义和业务应用潜力。2006—2009年, 中日科学家联合实施了JICA (Japan International Cooperation Agency) 渠道项目的青藏高原及周边新一

代综合气象观测计划, 观测重点目标就选定青藏高原及东缘关键区, 其不仅对东亚季风变化机理研究非常重要, 而且将对青藏高原、东印度洋及西太平洋陆—海—气相互作用, 及其水分循环结构变化信息的获取起着关键的推进作用。JICA项目构建了青藏高原东缘周边新一代综合气象观测系统, 该系统为东亚区域洪涝灾害预报提供了重要的观测资料支持^[16]。

世界气象组织(WMO)世界天气研究计划(World Weather Research Programme)近期确定以最大限度改进天气预报技术为目标, 发展敏感区观测方法及其观测系统。作为与国家经济发展与重大决策关系十分密切的气象服务任务, 灾害天气气候业务预报, 特别是长江洪涝预报, 是关键科学问题之一。近年来的一些研究指出^[9-10, 17], 中国东部梅雨及暴雨系统持续水汽输送与高原水汽“转运站”及海洋水汽源密切相关, 是中国洪涝、干旱灾害预报的关键环节, 如

收稿日期: 2012年8月27日; 修回日期: 2013年5月7日
第一作者: 施晓晖(1972—), Email: sxh@cams.cma.gov.cn
资助信息: 国家自然科学基金重点项目(41130960); 国家自然科学基金面上项目(41275050); 中国气象科学研究院基本科研业务费专项资金重点项目(2011Z001)

何寻找中国东部洪涝、干旱水汽输送上游敏感区或远距离遥相关的水汽源是探讨中国区域灾害天气气候成因的重要问题。因此,在其上游强信号敏感区“高原及其东缘”设计水分循环与对流结构观测网,将对我国区域灾害天气预测理论与技术发展具有重要意义。

由于高原地区站点稀少,且高原东缘水汽输送通道对流结构观测布局的“空白”,对高原及中国东部区域灾害天气预测的前兆性信号的捕捉存在较大的困难,给高原及东部暴雨、雪灾等严重灾害的预测、预警带来极大的不确定性,使高原及下游地区灾害天气的预测水平难以提高。考虑到上述需求,开展青藏高原东缘对流云和水汽的综合观测试验研究十分必要,其将推动第三次青藏高原大气科学试验的进程,提升我国灾害性天气的监测设计与应用能力,研究成果应用于数值模式改进与天气、气候预报技术中,将提高我国气象防灾减灾综合业务能力。因此,中国气象科学研究院于2011年批准了基本科研业务费专项资金重点项目“青藏高原东缘对流云和水汽观测试验及资料分析研究”的立项。目前,观测试验已经基本完成,获取了大量的观测资料,同时项目组也已开展了初步的资料分析工作。本文将对观测试验的目的、方案设计以及后续的研究工作计划等进行介绍,并就存在问题和解决方法进行了讨论。

2 观测试验的目的

基于JICA项目建设的青藏高原及周边地基GPS水汽观测网、边界层通量观测系统及其多源信息数据平台,利用灾害天气国家重点实验室的遥感(主动和被动)探测设备,在中国降水的西南水汽输送通道(孟加拉湾—中南半岛北部—中国西南地区—长江中下游地区)上选取关键站点,开展青藏高原东缘对流云和水汽观测试验,其目的主要是为了满足以下需求。

2.1 加强高原观测的需求

青藏高原地区受其复杂地形以及经济发展相对滞后等因素制约,气象业务观测系统相对薄弱,观测数据主要依赖于地面、探空、卫星等业务观测手段。近年来,JICA项目在这一地区增加了地面自动站观测、GPS水汽监测等设备,而且灾害天气国家重点实验室已发展了多种地基主动式遥感探测系统,为开展青藏高原东缘对流云观测试验提供了设备条件。

大型野外观测试验特别是青藏高原观测试验投资大,如何设计组织观测试验、遥感系统如何部署、新型探测系统在高原地区的探测能力等都需要做系统性的评估与确认。因此有必要建立典型示范观测试验区和开展观测预试验,对设备探测能力、数据处理分析方法、

资料应用等方面进行预试验及方法研究,为青藏高原第三次大气科学试验的方案设计和实施提供经验。

2.2 高原东缘水分循环与下游灾害天气关系研究的需求

青藏高原东侧是我国地形、地质结构最复杂的地区,又是夏季暴雨灾害频发的地区,常诱发山洪、泥石流等严重地质灾害。青藏高原东侧暴雨突发性强,时空分布不均匀。如何准确预报高原东侧暴雨一直是该地区气象工作者长期探索的科学难题。

GMS卫星分析表明,夏季青藏高原地区对流层上层的水汽汇集主要通过高原东南的雅鲁藏布江河谷以及高原西南越过喜马拉雅山、帕米尔高原及其以北地区越过塔里木盆地这些通道。该区域亦是中国及东亚重大灾害天气的水汽输送源区。另外,青藏高原及周边亦表现出显著强“降水核”或“多雨中心”气候特征等,其作为长江、黄河的发源地,也是中国及东亚水资源的重要来源,黄土高原的东缘则为季风过渡带或梅雨边缘区。因此,如何认识全球变化背景下中国大陆地(包括大地形)与低纬海洋关键区之间的海陆差异的变化趋势及其气候灾害的响应特征,已成为该区域天气、气候预测的关键问题之一。

2.3 数值模式中云物理过程研究的需求

高原及周边地区是长江流域洪涝过程的对流云系统最活跃的源区之一,亦是长江流域洪涝过程暴雨系统上游重要的预报敏感区之一。目前数值模式存在不确定性的主要原因为:由于高原站点稀少,目前尚无区域模式同化观测数据及高原区域细化三维大气结构的信息,无法客观描述模式物理过程参数化与辐射、云物理过程影响等关键因素,缺乏高原地区真实观测资料对模式效果进行客观检验。因此,开展青藏高原东缘对流云的综合观测,充分开发已有观测资料与卫星遥感产品的应用潜力,将加强数值模式同化资料来源客观化能力的改善,促进数值模式模拟能力改进,也为检验数值模式效果奠定重要基础。

目前数值模式中高原及东缘复杂大地形背景下的云物理过程观测及其资料融合处理、分析、应用等方面还存在着较多的薄弱环节,严重影响了灾害性天气的预测能力,导致数值模式在高原地区的模拟、预测水平难以提高。观测试验将基于各类常规与三维立体强化观测资料,从中国东部区域灾害天气上游关键区水汽输送及其云结构影响视角,研究高原及东部区域水分循环多尺度时空特征及灾害天气成因理论,改进数值模式中的云物理过程参数化方案,并进行客观性检验,以提升模式预报技术水平。

3 观测试验情况

为清楚认识东亚季风爆发前后，西南水汽输送通道上大气结构的变化以及对流云发生、发展机制，2012年5—7月在云南大理、腾冲开展了加密观测试验。采用多种遥感观测设备，并进行了探空加密观测。试验具体情况如下：

3.1 大理区域加密观测试验

3.1.1 多普勒雷达组网观测

在大理市洱源县布设了实验室双线偏振雷达，与丽江和大理的业务雷达组网观测（图1）。观测资料将进入LAPS模型进行融合分析，获取有关的云参数，以了解对流云的发生、发展机制。

3.1.2 增加雨滴谱仪、微降水雷达、微波辐射仪等遥测设备

配合苍山东坡已建成的自动气象站观测网，在不同高度上布设三台雨滴谱仪，在大理国家气候观象台布设微波辐射计和微降水雷达各一台（图2），并利用已有的风廓线雷达，获取的观测资料可用于细致分析复杂地形条件下强降水天气发生时的微物理过程。

3.1.3 加密探空观测

采用GPS探空从2012年6月26日—7月26日开展了为期一个月的加密试验，其中每日放球三次，分别在北京时08时、14时和20时进行，获取的高分辨率大气温湿廓线将有助于分析季风爆发前、后大气垂直结构的变化，并可用于检验微波辐射计和风廓线雷达的观测资料。

3.1.4 边界层观测

利用大理现有的边界层铁塔观测，并布设大口径闪烁仪，研究边界层铁塔观测的代表性，为今后边界层观测的优化设计提供科学依据。

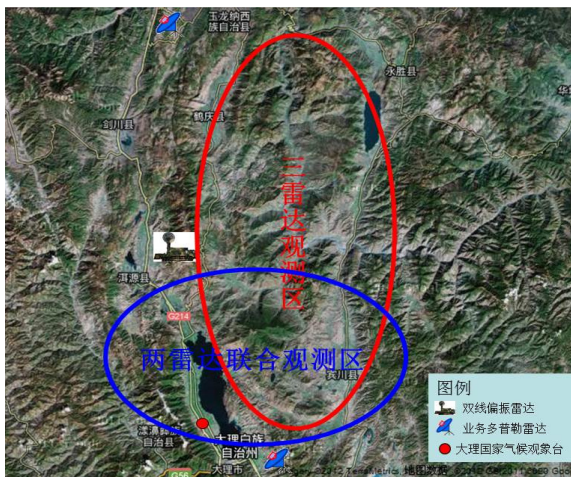


图1 云南大理观测区多普勒雷达组网观测布局

3.2 腾冲区域加密观测试验

3.2.1 遥感观测

在腾冲县气象局布设了毫米波测云雷达和风廓线雷达，进行联合观测，直接获取强降水天气过程中对流云相关参数和大气风场的观测资料，增加微波辐射计、微降水雷达和雨滴谱仪各一台，以获取大气温湿廓线和降水天气微物理过程的观测资料。

3.2.2 加密探空观测

采用业务L波段探空，与大理站的试验同步，从2012年6月26日—7月26日开展了为期一个月的加密试验，由于腾冲是业务探空站，每日北京时间08时和20时有业务探空观测，但为了更加清楚地了解中午前后对流旺盛时期的大气垂直结构特征，试验在每日14时增加了一次探空。获取的资料也可用于风廓线雷达反演大气湿度廓线的方法研究，以及检验微波辐射计的观测结果。

4 研究计划

4.1 多种遥感观测设备的探测能力评估

鉴于高原特殊观测环境，首先开展多种新型设备（双线偏振雷达、毫米波雷达、雨滴谱仪和微波辐射计等）的探测能力和资料质量分析、质量控制方法等方面的研究，并根据获取的资料对设备在高原地区的实际探测能力进行评估分析，为第三次青藏高原大气科学试验的全面开展提供经验。

4.2 多种遥感观测的反演方法及其资料融合分析研究

探讨综合利用风廓线雷达、微波辐射计等遥感观测数据和地基GPS水汽资料，反演水汽垂直廓线的方法，并利用探空观测对反演结果进行检验；研究利用



图2 云南大理观测区多种遥感设备布局

双线偏振雷达、毫米波雷达等遥感观测数据反演云水含量垂直廓线及其滴谱分布的方法，并与雨滴谱仪的观测结果进行对比检验。在验证了反演方法的合理性和反演结果的可靠性以后，这些反演产品可作为天气过程诊断分析和数值模式资料同化等方面研究的数据来源。

引进NOAA开发的局地分析预报系统(LAPS)^[18-19]，开发数据接口，建立高原东缘卫星遥感—地基综合观测资料融合分析平台。该平台输出的常规天气融合分析资料，如温度、气压、湿度、风场等，可以为数值模拟提供高分辨率的初始场和边界条件，但我们更关心的是LAPS具有特色的云分析结果，将利用多普勒、毫米波等雷达的观测资料和反演产品对其进行检验，在确定其可用性之后，与数值模式中云物理过程的相关参数进行对比，争取对数值模式中高原区域的云物理过程有所改进，具体流程如图3所示。

4.3 高原东缘对流云与水汽的结构及其对长江流域灾害天气的影响

选取观测试验期间的强降水天气过程，利用加密观测获取的多种遥感观测数据、反演产品以及LAPS高分辨率融合分析资料，开展对流云演变过程和水汽输送结构的细致分析，以深化认识高原东缘水汽输送与对流云结构的时空变化特征，并探讨其对长江流域灾害性天气的影响机制；开展探空资料和雷达数据的数值同化方法研究，以改进数值模式的预报能力。

5 研究进展

5.1 2012年观测试验

2012年观测试验于2012年5月开始启动，5月15日前后，实验室原有的双线偏振雷达、风廓线雷达和毫米波雷达完成安装调试，开始观测。新增仪器（微波辐射计、雨滴谱仪）于6月20日完成安装，6月21—25日进行了试验性观测。确认仪器设备均运行正常之

后，6月27日，加密探空和多种遥感设备的联合观测正式开始。两台微型降水雷达于2012年7月7日进入腾冲外场试验场地，2012年7月12日开始正常观测。2012年8月16日，外场试验结束。目前项目组已经收集整理观测试验期间业务观测站网和增设的遥感设备及加密探空的资料，并进行了质量控制，开发了数据共享平台（图4），实现了项目内部的资料共享，今后将逐步向其他科研单位和个人开放。

5.2 开展的研究工作

已经开展的研究工作主要包括：（1）对利用风廓线雷达观测反演大气湿度的方法和青藏高原东南缘雨季降水云的垂直结构特征等开展研究；（2）研究利用地基GPS、双线偏振雷达、风廓线雷达和探空等综合资料，反演水汽含量垂直廓线以及云和降水滴谱分布的方法；（3）开发LAPS模型卫星遥感—地面、探空、雷达综合分析平台的C波段雷达数据接口，为建立高原东缘多源观测资料—卫星遥感融合分析数据集做好技术准备；（4）高垂直分辨率探空资料和雷达观测数据的同化技术开发。

目前上述研究工作已经取得了初步结果，但还有待于进一步的深化和细致分析，以得到更有科学价值的研究成果。

6 结论与讨论

由于特殊的地形及其天气、气候效应，青藏高原在全球大气能量和水分循环中发挥着重要作用，因此对青藏高原的研究受到世界，尤其是亚洲国家的广泛关注。中国科学家在过去30多年间先后进行了两次高原大气科学试验，并与日本、美国、韩国等国的科学家共同开展了多次联合现场观测试验，在高原对东亚季风、全球与区域气候影响作用等方面取得了具有重要国际影响的一系列成果^[20]。但由于过去经济和技术基础相对薄弱、大气探测技术与装备能力有限，观测

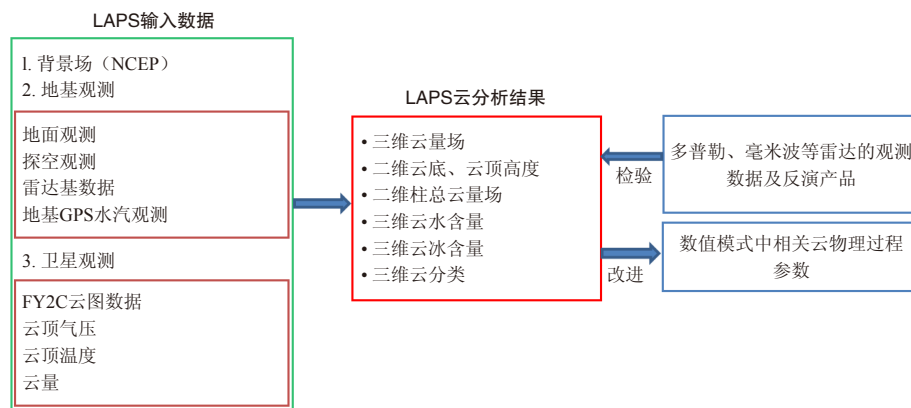


图3 利用LAPS云分析结果改进数值模式云物理过程的流程示意



图4 观测数据共享平台

试验的时间较短、观测要素单一，且主要集中在高原主体，对高原周边区域的观测、研究不够，使得在高原热源结构、水分循环多尺度时空特征、云物理过程等前沿性的科学研究方面还存在较大不足。

近年来，青藏高原及周边地区（西藏、青海、四川、云南等）的气象业务观测系统在装备先进性与站点布局上已有了质和量的飞跃，并通过JICA项目国际合作计划的实施，在高原及其东缘区域构建了无人值守自动气象站、大气廓线仪、边界层通量站与地基GPS水汽观测站网，初步组成了具有国际先进水平的综合气象监测系统。

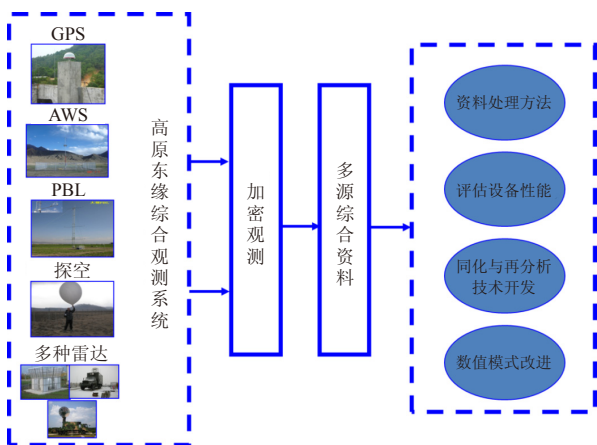


图5 青藏高原东缘对流云和水汽观测试验的总体研究框架示意

正是基于前人的研究成果和青藏高原及其周边地区观测条件的改善，加上灾害天气国家重点实验室观测能力的建设与提高，青藏高原东缘对流云和水汽观测试验得以实施，图5出示了试验的总体研究框架。本次试验重点关注青藏高原东缘对流云结构和水汽输送的变化及其对灾害性天气的可能影响，实施科学设计，以充分发挥高原及其周边地区新一代综合气象观测系统、实验室遥测设备与常规业务监测网的潜力；探讨多种探测资料的综合分析方法，获取的资料和分析结果可以为即将启动的青藏高原第三次大气科学试验观测计划提供科学支持；研究高原及东部区域水分循环多尺度时空特征及灾害天气成因，改进数值模式中高原及周边区域的云物理过程参数化方案，以提升数值模式的预报技术水平。

参考文献

- [1] 叶笃正, 顾震潮. 关于青藏高原对东亚环流和中国天气的影响的研究. 中国科学, 1955(1): 29-33.
- [2] 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 在6月和10月大气环流的突变现象. 气象学报, 1958, 29(4): 249-263.
- [3] 周秀骥, 赵平, 陈军明, 等. 青藏高原热力作用对北半球气候影响的研究. 中国科学D辑: 地球科学, 2009, 39(11): 1473-1486.
- [4] 杨鉴初, 陶诗言, 叶笃正, 等. 西藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 1958.
- [5] Huang R H. Numerical simulation of three-dimensional teleconnections in the summer circulation over the northern hemisphere. Adv Atmos Sci, 1985, 2 (2): 81-92.
- [6] Yasunari T, Kanehira A, Koike T. Seasonal and internal variability of snow cover over the Tibetan Plateau and associated atmospheric circulation changes. The second Session of International workshop on TIPEX-GAME/Tibet, Kunming, 2000.

- [7] 吴国雄, 张永生. 青藏高原的热力和机械强迫作用以及亚洲季风的爆发 I. 爆发地点, 大气科学, 1998, 22(6): 825-838.
- [8] 吴国雄, 张永生. 青藏高原的热力和机械强迫作用以及亚洲季风的爆发 II. 爆发时间, 大气科学, 1999, 23(1): 51-61.
- [9] Xu X D, Lu C G, Shi X H, et al. Large-scale topography of China: A factor for the seasonal progression of the Meiyu rainband? Journal of Geophysical Research, 2010, 115, D02110, doi:10.1029/2009JD012444.
- [10] 徐祥德, 陈联寿, 王秀荣, 等. 长江中下游梅雨带水汽输送源汇结构. 科学通报, 2003, 48(21): 2288-2294.
- [11] 徐祥德, 陶诗言, 王继志, 等. 青藏高原一季风水汽输送“大三角扇型”影响域的特征与中国区域旱涝异常的关系. 气象学报, 2002, 60(3): 257-266.
- [12] Xu X D, Lu C G, Shi X H, et al. World water tower: An atmospheric perspective. Geophysical Research Letter, 2008, 35, L20815, doi: 10.1029/2008GL035867.
- [13] 施晓晖, 徐祥德, 程兴宏. 2008年雪灾过程高原上游关键区水汽输送机制及其前兆性“强信号”特征. 气象学报, 2009, 67 (3): 478-487.
- [14] Shi X H, Xu X D, Lu C G. The dynamic and thermodynamic structures associated with a series of heavy precipitation events over China in January 2008. Weather and Forecasting, 2010, 25: 1124-1141.
- [15] Zhan R F, Li J P. Influence of atmospheric heat sources over the Tibetan Plateau and the tropical western North Pacific on the inter-decadal variations of the stratosphere-troposphere exchange of water vapor. Science in China, Ser D, 2008, 51(8): 1179-1193.
- [16] Xu X D, Zhang R H, Koike T, et al. A new integrated observational system over the Tibetan Plateau. Bulletin of American Meteorological Society, 2008, 89: 1492-1496.
- [17] 施小英, 施晓晖. 夏季青藏高原东南部水汽收支气候特征及其影响. 应用气象学报, 2008, 19(1): 41-46.
- [18] Steven C A. The LAPS wind analysis. Weather and Forecasting, 1995, 10: 342-352.
- [19] Steven C A, John A M, Daniel L B, et al. The local analysis and prediction system (LAPS): Analyses of clouds, precipitation and temperature. Weather and Forecasting, 1996, 11: 273-287.
- [20] 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.

《气象科学论文文献计量统计年度报告 (2014)》发布

■ 本刊编辑部

中国气象局图书馆和《气象科技进展》杂志联合编制的《气象科学论文文献计量统计年度报告 (2014)》(以下简称《报告》)于2014年9月28日正式发布。此报告基于美国汤森路透开发的Web of Knowledge平台下SCI-E数据库以及中国学术期刊网络出版总库CAJD数据库检索平台,经过3个月的数据调研与分析,对2013年气象科学领域年度论文进行统计和计量。《报告》包括2013年全球和中国“气象和大气科学”领域SCI-E科技论文统计;2013年中国“气象学”领域论文统计(基于CAJD数据库)以及2013年中国气象局系统(指论文责任机构中,含有中国气象局或其直属、下属机构,下同)SCI-E和CAJD论文统计三部分。

《报告》揭示,2013年,全球在“气象和大气科学”领域共发表了12436篇SCI-E论文,中国位居第2位,共计发文2199篇,保持了自21世纪初开始的论文产出力渐进的态势,表明中国已经成为全球该领域最为重要的科技创新力量之一,具备了一定的影响力和话语权。但中国的论文数量与位居第1位的美国的4597篇比较,还有相当的距离。尤其是中国论文在高端期刊刊载的比例偏低,表明我国论文的质量和影响力还有很大的提升空间。

2013年国内发表的“气象学”类论文总数超过了8000篇

(CAJD数据库),属于相对较为活跃的领域之一。中国气象局系统是国内气象学论文最主要的产出部门,表明中国气象局作为国家气象主管部门对整个行业科技创新的带动作用明显。

2013年中国气象局系统分别发表了610篇SCI-E论文和7317篇CAJD论文(不局限于气象和大气科学领域)。从SCI-E论文看,国家局直属机构占据了发文章量的大部分,“八所”已经成为第二阶梯,尤其难得的是,一些省级机构崭露头角,浙江、广东、北京和上海的气象系统参与发表SCI-E论文均达20篇及以上。

本报告是中国气象局图书馆和《气象科技进展》杂志发布的首份气象科学论文文献计量统计年度报告,旨在从科技文献角度,系统揭示国内外气象科学技术基础和和应用研究取得的年度进展,为气象科技管理和科技决策提供参考咨询。根据委托方中国气象局科技与气候变化司的意见,计划从2015年开始推出年度系列报告,作为中国气象局图书馆的业务信息产品和《气象科技进展》杂志的特别报告,每年夏季发布,供各方参考。

