

西南涡大气科学试验的观测布局理论与实践

李跃清¹, 徐祥德², 赵兴炳¹

(1. 中国气象局成都高原气象研究所, 成都 610072; 2. 中国气象科学研究院, 北京 100081)

[摘要] 我国是气象灾害十分严重的国家。西南涡是一个非常重要的灾害性天气系统, 与我国夏半年的暴雨洪涝灾害密切相关, 对国民经济、社会发展和人民生命财产安全都有着严重的影响。基于西南涡理论与科学试验现状, 阐述了西南涡大气科学试验的观测基础对西南涡基本信息、理论研究和业务预报的重要意义。从站点分布、设备技术、观测要素等方面, 提出了西南涡大气科学试验观测布局的设计思想与技术原则。在此基础上, 系统设计了西南涡大气科学试验的观测布局工程, 并于 2010 年、2011 年开展了两次西南涡大气科学试验, 检验了观测布局设计思想的正确性, 推动了西南涡研究与业务的进展。最后, 从西南涡大气科学试验的需求、现状和效果, 进一步指出了加强其观测布局理论研究和具体实践, 对我国经济发展、防灾减灾的重要意义。

[关键词] 西南涡; 科学试验; 观测基础; 布局技术

[中图分类号] P412 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)09-0035-11

1 前言

我国是世界上自然灾害发生十分频繁、灾害种类甚多、造成损失十分严重的少数国家之一。尤其是在亚洲复杂的海—陆—气相互作用下, 我国气象灾害是自然灾害中最为频繁而又严重的灾害, 占自然灾害的 70% 以上。天气、气候灾害和气象次生、衍生灾害危及到人民生命和财产的安全, 国民经济和社会发展也受到了极大的损失。并且, 在全球气候变暖和经济高速发展的背景下, 我国气象灾害及其造成的损失亦呈上升趋势, 对经济社会的严重影响日益突出。

影响我国的气象灾害主要包括干旱、洪涝、台风、暴雨、寒潮、冰雹、大风、高温、低温、大雾和冻雨等, 以及因气象因素引起的山体滑坡、泥石流、风暴潮、森林火灾、酸雨、空气污染等。并且, 我国每年因气象灾害造成的直接经济损失约占自然灾害总损失

的 71%, 在 20 世纪 90 年代, 相当于国民生产总值 (GDP) 的 3% ~ 6%, 约占 GDP 增加值的 10% 以上。而且, 在全球气候变暖的背景下, 未来气象灾害的影响将会不断加重, 带来的损失也会显著加剧^[1], 必须加强气象灾害防御理论与技术工程研究。

由以上可知, 暴雨、洪涝灾害是我国最主要的气象灾害, 其影响是巨大的。暴雨等短时或连续强降雨过程, 会造成城市积水、房屋淹没、交通瘫痪、田地冲毁, 引起山洪暴发、江河泛滥、堤坝决口等, 给人民和国家造成重大的经济损失。其中, 长江流域是我国暴雨、洪涝灾害的多发地区, 受灾尤为频繁, 历史上发生过很多次严重的暴雨洪涝灾害。研究指出, 台风、低涡、低槽、锋面等是我国强降水天气的主要影响系统, 而西南涡则是影响我国夏半年异常降水过程的一个相当重要的灾害性天气系统, 其发生、发展与移动常产生强烈的降水天气过程, 带来严重的

[收稿日期] 2012-06-25

[基金项目] 公益性行业(气象)科研专项经费项目(GYHY201006053, GYHY201206042, GYHY201106003); 国家重点基础研究发展计划项目(2012CB417200)

[作者简介] 李跃清(1960-), 男, 江苏南京市人, 研究员, 博士生导师, 研究方向为高原气象学;

E-mail: yueqingli@163.com

暴雨洪涝灾害^[2]。因此,加强对我国灾害性天气系统西南涡变化及其影响的监测预警、分析研究和预测预报,对我国暴雨洪涝灾害的防御、应急、评估和管理都具有十分重要的意义。

但是,目前对于西南涡及其影响的认识还非常薄弱,首要是缺乏西南涡基本变化及其主要影响的基础信息。这主要是因为青藏高原东部及其下游地区气象观测站网布局的针对性不强,观测时空分辨率不够,对西南涡的观测能力非常薄弱,现有气象业务站网和探测能力,还难以有效地捕获西南涡形成、维持、发展和移动及其影响等基本变化特征,特别是没有实现高时空分辨率的持续、系统观测,制约了对西南涡基本结构、变化过程和影响机理的基础分析、理论与业务预报^[3]。由于气象观测站网系统的优化布局和功能提升是一个长期的艰巨任务,因此,为了解决西南涡的上述问题,在现有业务观测站网的基础上,集中有限的观测资源,通过有针对性的科学布局,实施对西南涡综合观测的大气科学试验,是一条正确、有效的技术途径。文章在已有西南涡研究成果、大气科学试验的基础上,从观测站网、设备与技术等方面,提出了西南涡大气科学试验观测系统布局的设计技术与实施思路。

2 西南涡系统与天气灾害

研究表明,青藏高原大地形和巨大的热源作用对我国、亚洲、北半球乃至全球的天气气候及环境变

化都有着非常重要的影响^[4-15]。尤其是高原大地形与其东侧陡峭山地和川渝盆地构成的多尺度复杂地形区,局地天气气候变化富有特色,中小尺度低值系统异常活跃,并带来当地和下游我国广大地区天气气候灾害^[2,16-18]。西南涡就是在青藏高原复杂地形与大气环流相互作用下,发生于我国西南地区(100°~108°E,26°~33°N)700 hPa 或 850 hPa 等压面上的中尺度气旋式闭合低压系统^[2]。早在1950年,Yeh^[4]和Bolin^[19]就指出,大地形的绕流作用使气流分支,并在地形下游形成会流急流。而青藏高原的绕流作用在夏季激发高原涡和西南涡,其东移常给我国长江中下游地区带来强烈天气过程。而且,西南涡造成的暴雨天气强度、频数、范围仅次于台风,是位居第二的暴雨系统^[20]。如1958年7月14—19日黄河中游、1963年8月1—10日河北、1981年7月9—14日四川、1998年夏季我国长江流域等全国特大暴雨洪涝灾害都与西南涡的影响直接相关^[2,21]。对西南涡的形成与定义,西南涡的结构与特性,西南涡的发生发展及其机理,西南涡的影响及其预报等已开展了大量研究,取得了一些重要成果^[2,22-24]。表1给出了与西南涡灾害性天气系统影响密切相关的几次我国特大暴雨洪涝事件。由此可见,西南涡系统引发的暴雨天气及其灾害确实是很严重的,而且给我国广大地区带来的损失也是非常巨大的。因此,加强针对西南涡及其影响监测、预报和评估的科学研究、技术开发和工程建设都是必要的。

表1 与西南涡相关的特大暴雨洪涝事件

Table 1 The extraordinary rainstorm flooding events related with Southwest China vortex

地点	时间	主要影响系统	暴雨灾害情况
长江流域五峰	1935年 7月3—7日	西南涡	5 d内,三峡区间南部以五峰为中心,北部以兴山为中心,发生两次特大暴雨。5日雨量以五峰1 281.8 mm为最大,是最大暴雨中心。兴山暴雨中心5日雨量也达1 084 mm。江汉平原53个县市受灾,受灾农田151万hm ² ,受灾人口1 003万人,损毁房屋40.6万间等
黄河中游	1958年 7月14—19日	低槽、冷锋、西南涡等	三门峡至花园口为降雨高值区,日平均最大雨量69 mm,最大3 d雨量119 mm,最大5 d雨量155 mm。黄河京广铁路桥被洪水冲垮两孔,交通中断14 d。山东、河南受灾74.08万人,淹耕地20.3万hm ² ,倒塌房屋30万间等
河北	1963年 8月2—8日	3次西南涡	暴雨中心7 d降雨量2 050 mm,7 d累计雨量超过100 mm面积15.3万km ² 。海河流域受灾农田486万hm ² ,成灾401万hm ² ,直接经济损失60亿元,受灾人口2 200余万,约1 000万人失去住所等
四川	1981年 7月9—14日	西南涡、冷锋、低空急流	岷江、沱江和嘉陵江流域出现连续持长大暴雨,广元县上寺12日雨量达345.8 mm,苍溪县九龙山13日雨量242.4 mm。全省受灾县市达119个,受灾人口1 584万,倒塌、冲毁房屋139万间,86.7万hm ² 农田受淹,直接经济损失20亿元以上等

地点	时间	主要影响系统	暴雨灾害情况
长江 全流域	1998年 夏季	西南涡等系统频繁活动 与发展东移	6—8月,流域总降雨日数普遍超过40 d,局地达60 d以上。暴雨日数一般3~8 d,局地超过10 d,一般也是常年的2~4倍。6月12日—8月23日,流域平均降雨量高达577 mm,比常年多142 mm。长江流域发生了继1954年以来的又一次流域性大洪水,洪水期长达两个多月。受灾遍及四川、重庆、云南、贵州、湖南、湖北、江西、安徽、江苏等省市,造成约2 600亿元的巨大经济损失。仅上游四川省就有150多个县受灾,包括133万hm ² 农作物、63处水利设施、100余座水电站、22座水库和40多万间房屋,直接经济损失100亿元等

3 西南涡科学试验观测布局设计

大气科学,尤其是高原气象学既是一门理论性科学,也是一门实验性科学。21世纪以来,大气科学进入了大气圈、水圈、冰冻圈、岩石圈和生物圈相互作用的新阶段,基于综合观测和科学试验的观测系统研究设计是一个非常重要的基础方向。国内外已开展了一些关于大气科学观测系统设计研究与科学试验计划,如提出了观测系统的模拟试验方法(OSSE),并开展了一系列的应用研究^[25,26]。中国科学家实施了1979年第一次青藏高原大气科学试验(QXPME X)^[7,27]、1998年第二次青藏高原大气科学试验(TIPEX)^[9~11,28]。2004—2009年中日JICA(the Japan International Cooperation Agency,日本国际协力机构)计划开展了以青藏高原及周边水汽循环变化与影响为主要目标的“中日气象灾害合作研究中心”项目^[15,29],2010年和2011年实施了我国第一次、第二次西南涡加密观测科学试验^[3,30],尤其是2011年又启动了我国第三次青藏高原大气科学试验2011年预试验,并开展了站网布局、综合观测、现场试验等基础问题的分析研究^[31]。但是,总的来讲,大气科学试验性研究,如综合观测布局、科学技术试验等相对落后于理论分析,其基本科学理论与工程技术比较薄弱^[31]。不过,近几年已经在西南涡科学试验布局方面取得了一些进展。

在观测布局设计中,主要从观测站网规模、技术和功能上,根据评估—试验—分析—布局一体化的设计技术^[31],经过循环反复的完善过程,在站点分布、设备技术、观测要素等方面,达到优化设计西南涡大气科学试验综合观测布局的目的(见图1)。其应遵循的基本原则是:以西南涡基本特征为中心,一是站点分布,在空间上要满足能够分辨西南涡水平尺度特征,并且根据其垂直尺度特征,考虑垂直空间探测能力,由此开展地面站、探空站等站点的布局;

二是设备技术,从西南涡的物理特征与演变过程,选取具有高性能、高效率的探测设备与技术,由此采用自动气象站(AWS)、气球探空、边界层(PBL)、雷达、GPS水汽、风廓线、卫星等探测设备技术;三是观测要素,从西南涡的异常变化与主要影响,确定西南涡的观测要素,由此获取压、温、湿、风、降水,以及辐射、热源、水汽等观测数据。最后,进一步构建西南涡大气科学试验的综合观测系统。

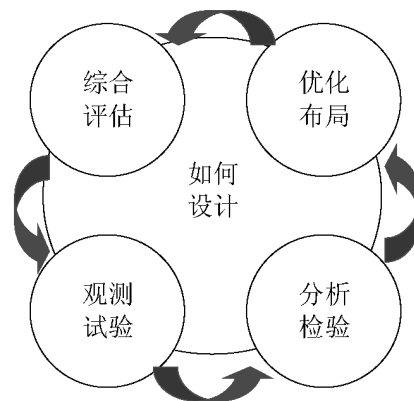


图1 西南涡综合观测系统的优化布局设计技术思路^[31]

Fig. 1 The optimizing design-layout technology for the comprehensive observation system of Southwest China vortex^[31]

根据以上布局原则,具体的设计思路如下所示。

1) 站点分布。由于西南涡的水平尺度约300~500 km,为中尺度 α 涡旋,生命史一般低于48 h,但发展东移后可达7 d^[20],并且,夏半年西南涡的主要源地位于九龙、巴塘、德钦、康定一带和川渝盆地两个区域。如图2所示,源区I为以九龙为中心的27°~32°N、98°~103°E区域;源区II也是主要活动区,为川渝盆地的28°~32.5°N、103°~109°E区域。移动路径有3条:从源地,经四川盆地、长江中下游东移入海的偏东路径,这是移动的主

要路径;从源地,经四川南部、云南、贵州、湖南、江西、福建出海,有时会影响到广西、广东的东南路径;从源地,经四川北部、黄河中下游,到达华北及东北地区的东北路径^[2,16,32]。同时,虽然西南涡在垂直方向上较浅薄,初期主要在 700 hPa 上出现气旋环流,而 500 hPa、300 hPa 上常为高压区或高压脊^[32],但其与东移高原涡耦合和处于强烈发展成熟阶段时,也是一个十分深厚的系统,可伸展到 100 hPa^[33,34],另外,大气边界层对西南低涡也有重要作用^[35]。因此,在夏半年西南涡的主要源地和活动路径(见图 2)上,是西南涡观测布局的主要区域,站网布局的水平尺度应达到 100 km 左右,以满足其中尺度特征的观测分辨率条件。并且,站点应包括地面站、探空站和 PBL 站,以达到从边界层到对流层的垂直尺度观测要求。

2) 设备技术。根据西南涡三维结构与变化特征的现有认识^[2,20,22-24,33-35],对于一个发生发展等变化迅速剧烈的中尺度系统,应开展高时间分辨率的连续观测,通过地面 AWS、时间加密探空、PBL 观测、雷达、地基 GPS 水汽、风廓线、卫星等观测设备技术,实现三维立体的连续综合观测。

3) 观测要素。由于目前获取的数据信息量不够丰富,针对性与代表性较差,难以完整、系统地捕捉西南涡的变化及其影响^[3,30]。因此,必须围绕西南涡天气系统的热力、动力等基本结构,发生发展与移动机理等主要变化,以及影响和预报等关键因子,确定 700 hPa 及其上下层次的压、温、湿、风等常规观测,边界层感热与潜热,对流层冷暖状况,以及辐射、水汽、降水等为主要观测要素。表 2 综合给出了西南涡大气科学试验的观测布局思路。

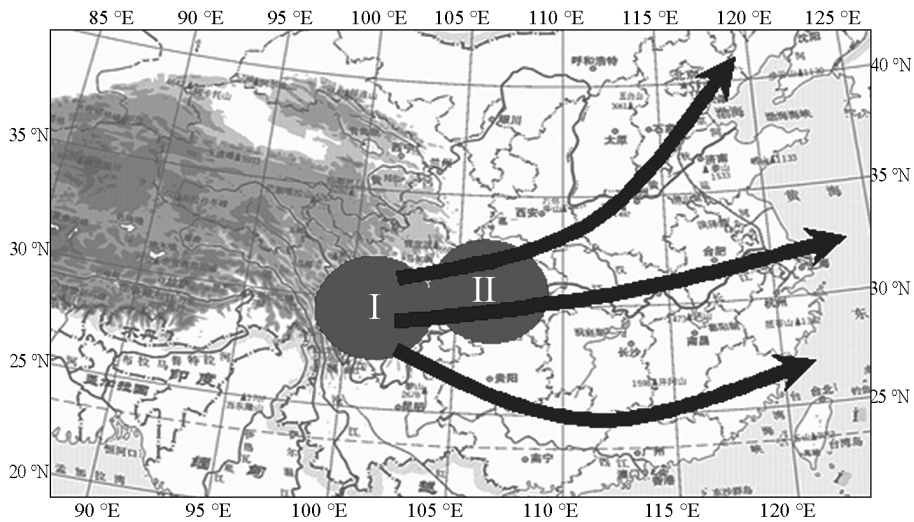


图 2 夏半年西南涡的主要源地和活动路径示意图

Fig. 2 Schematic plot for the formation area and move path of Southwest China vortex in the summer half year

表 2 西南涡大气科学试验观测布局思路

Table 2 The observing design-layout for Southwest China vortex atmospheric scientific experiment

仪器设备	站点布局	要素内容	观测目的
固定和移动地面多要素 AWS 观测	西南涡生成源地与活动路径及其影响区域	地面压力、温度、湿度、风向风速、地温、辐射、降水等	通过空间加密,获取西南涡发生发展与移动的地面热力、动力变化特征
固定和移动 L 波段和 GPS 探空	西南涡生成源地与活动路径及其影响区域,重点是活动路径及其影响区域	地面到对流层不同层次的压力、温度、湿度、风向风速等	通过时间、空间加密,获取西南涡发展与移动三维热力、动力结构及其变化
固定和移动天气雷达探测	西南涡生成源地与活动路径及其影响区域	云物理及其降水特征	获取西南涡系统的云与降水物理特征及其变化过程

仪器设备	站点布局	要素内容	观测目的
固定和移动 风廓线观测	西南涡生成源地与活 动路径及其影响区域	边界层、对流层风分布 与变化	获取西南涡系统不同阶段的水平与垂直风场的精细 变化特征
固定和移动 PBL 观测	西南涡生成源地与活 动路径及其影响区域, 重点是生成源地	边界层大气微气象特征 与能量输送变化	获取西南涡系统不同阶段的近地层温、湿、风、地表热源、 感热、潜热和辐射等地气交换特征与变化
地基 GPS 水汽探测	西南涡生成源地与活 动路径及其影响区域, 重点是活动路径及其 影响区域	不同层次水汽输送与 变化特征	获取西南涡系统及环境大气的水汽变化与平流过程
卫星遥感	西南涡生成源地与活 动路径及其影响区域	云、降水、辐射、能量的 分布与变化	获取西南涡系统及环境大气的云雨与能量等三维结构与 变化特征

另外,虽然西南涡一年四季各月均有出现,但以4—9月居多,并有一些发展东移影响下游地区^[16]。因此,西南涡科学试验的重点时段应该是每年的夏半年。

4 西南涡科学试验观测布局实践

根据上述提出的观测布局设计原则与基本思路,中国气象局成都高原气象研究所2010年夏季成功实施了我国第一次西南涡加密观测科学试验^[3],并在此基础上,进行了适当调整,又进一步成功实施了2011年夏季第二次西南涡加密观测科学试验^[30]。图3给出了西南涡加密观测科学试验技术系统的主要流程,在西南涡加密观测科学试验技术中心统一指挥下,试验区域内由业务观测站网和移动加密观测平台组成的综合观测系统在西南涡活动及其影响区域,开展时空加密观测,获取的资料信息通过气象业务通信线路实时传输到信息中心,供气象业务平台和数值业务模式调用,由此制作并发布西南涡演变及其天气影响的预测预报,在此基础上,实施西南涡引发暴雨洪涝灾害的科学防御、应急求援和影响评估。实践表明,基于该技术系统设计,这两次西南涡加密观测科学试验,在综合观测、资料分析、业务应用和防灾减灾等方面取得不少成果,达到了预期目标。

第一次西南涡加密观测科学试验,主要围绕西南涡的基本结构、异常变化与相互作用、发生发展过程与东移机理、可预报性与预测技术等科学技术问题,以及提高我国西南涡科学研究水平与业务预测技术,必须首先强化西南涡的基础观测,获取能够正

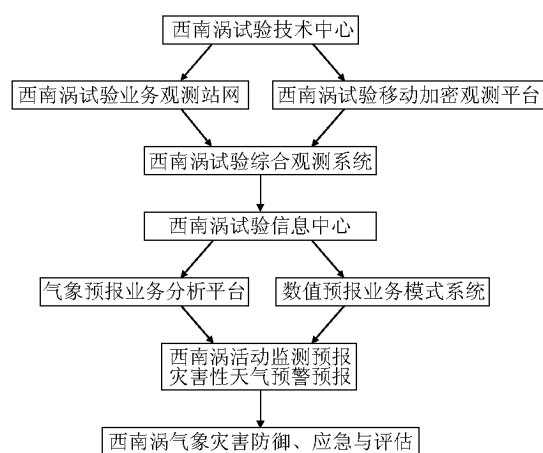


图3 西南涡大气科学试验技术系统流程图

Fig. 3 The technical flow chat of Southwest China vortex atmospheric scientific experiment

确反映西南涡状况与变化的中尺度气象观测基本信息^[3]这一认识而开展的。

2010年夏季,中国气象局成都高原气象研究所联合下游的武汉暴雨研究所,针对西南涡源地四川、下游影响区湖北,通过已有地面、探空、雷达、地基GPS水汽等业务站网,增设地面、探空、PBL通量、风廓线等探测手段,完成时空加密的观测布局,开展了第一次较大规模的我国西南涡加密观测专项科学试验^[3]。试验时段为2010年6月21日0时至7月31日24时,共计41d;试验区域包括西南涡主要源区I区(以九龙为中心的 $27^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$ 、 $98^{\circ}\sim 103^{\circ}\text{E}$ 区域)和主要源区II区,也是主要活动区(即川渝盆地的 $28^{\circ}\sim 32.5^{\circ}\text{N}$ 、 $103^{\circ}\sim 109^{\circ}\text{E}$ 区域),以及主要下游影响区长江中游的湖北省(见图4)。

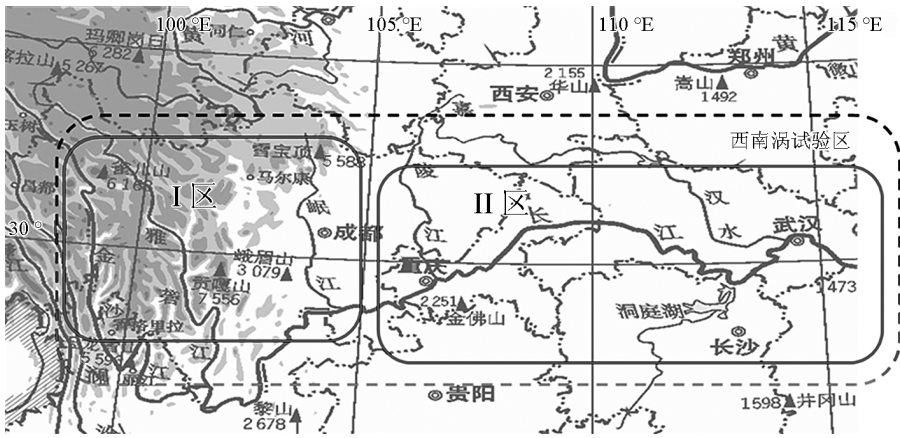


图4 2010年夏季西南涡加密观测科学试验目标区^[3](单位:m)

Fig. 4 The target area of Southwest China vortex atmospheric scientific experiment in the summer of 2010^[3](unit: m)

这次西南涡科学试验的观测布局^[3]如下:基于西南涡的时空尺度,观测站网的空间距离应小于150 km,观测时间间隔应小于6 h,在西南涡移出及影响的关键时期需要更短时间间隔的观测,围绕西南涡发生的中心区域(九龙、川东北、小金),覆盖西南涡的主要活动区域,形成了由业务观测站网、新增移动和固定观测站点组成的观测系统,并提高业务

观测站网,特别是高空站网的观测频次,针对近地层的气压、气温、相对湿度、风速、风向、降水、天气现象,以及湍流、能量收支等,高空气压、温度、湿度、风速、风向、关键区三维风廓线观测,主要发生与活动区多普勒雷达、地基水汽观测,发生发展区云观测等要素,以实现西南涡发生、发展和移动及其影响过程的高时空分辨率连续监测(见图5~图7)。

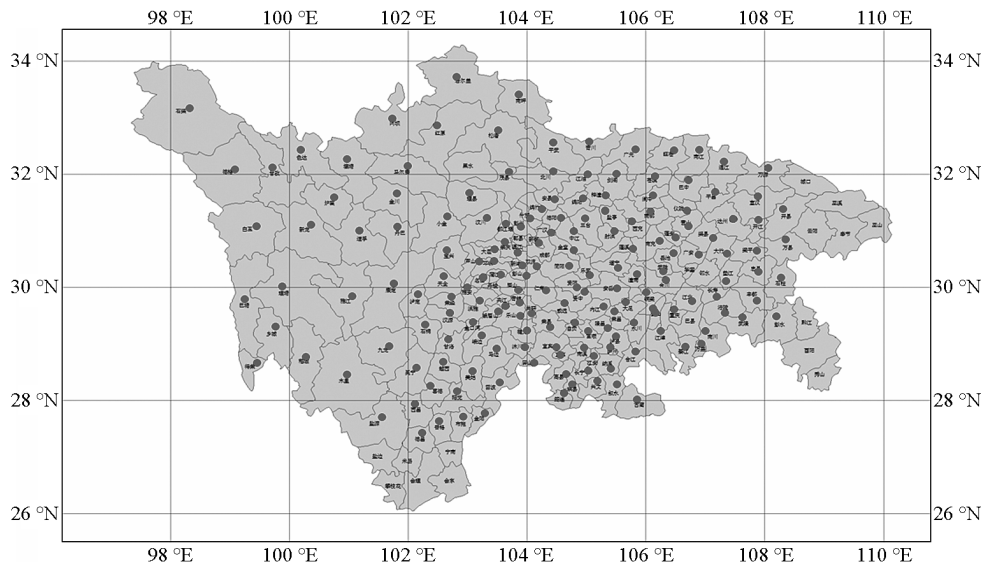


图5 2010年夏季西南涡加密观测科学试验自动气象站网分布^[3]

Fig. 5 The distribution of AWS network of Southwest China vortex atmospheric scientific experiment in the summer of 2010^[3]

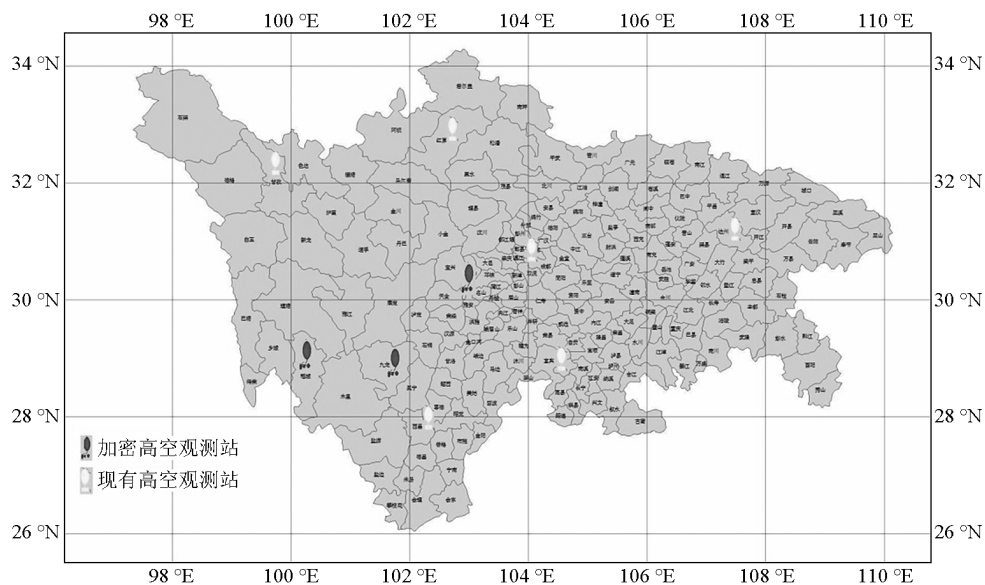


图 6 2010 年夏季西南涡加密观测科学试验高空观测站网分布^[3]

Fig. 6 The distribution of radiosonde network of Southwest China vortex atmospheric scientific experiment in the summer of 2010^[3]

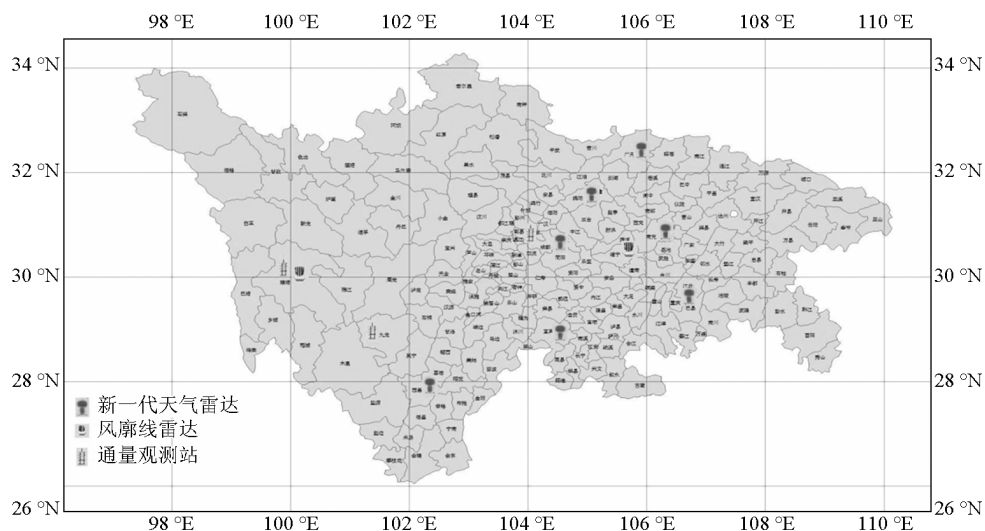


图 7 2010 年夏季西南涡加密观测科学试验雷达、通量观测站网分布^[3]

Fig. 7 The distribution of radar and PBL network of Southwest China vortex atmospheric scientific experiment in the summer of 2010^[3]

2010 年西南涡加密观测科学试验,在西南涡主要活动区与影响区内,完成了 41 d 高时空分辨率的现场综合气象观测,获取了连续加密的大气地面、高空、雷达、边界层、地基 GPS 水汽、风廓线观测资料,实现了对西南涡发生、发展与东移影响的“过程观测”,建立了西南涡加密观测研究与应用数据集。在此基础上,开展了西南涡的分析研究和实际应用,

为今后西南低涡的综合观测、科学试验、理论研究和业务应用提供了基础。并且,2010 年西南涡加密观测科学试验的加密观测数据实时传输到业务部门,供预报人员分析使用,在 2010 年 7 月 16—18 日西南涡引发的四川盆地区域持续性暴雨天气、2010 年 7 月 24—25 日切变线、低涡引发的四川盆地西部暴雨天气的准确预报中发挥了重要作用^[3]。

2011年夏季中国气象局成都高原气象研究所又成功实施了我国第二次西南涡加密观测科学试验。在基本维持2010年观测布局的前提下,取消了海拔高度明显高于3000 m(700 hPa)的川西高原稻城站,原GPS探空调整到川北广元市剑阁县,并增加了甘孜理塘对流层风廓线雷达,雅安名山、南充高坪边界层风廓线雷达。由此在西南涡主要源地、活动与影响区,设计了由业务固定观测站网和科研机动观测平台构成的加密观测站网布局(图略),完成了西南涡加密观测科学试验^[30]。并且,2011年西南涡加密观测科学试验,在科学试验数据实时应用于气象预报业务上又取得了新的进展。

1) 试验加密观测数据,包括甘孜、红原、西昌、宜宾、达州、温江、巴塘、名山8个L波段和九龙、剑阁2个GPS探空观测站每日(北京时间02、08、14、20)4次的探空观测资料,实时传输到四川省气象业务部门,通过MICAPS(meteorological information comprehensive analysis and processing system,气象信息综合分析处理系统)供预报人员查看使用,直接应用于业务,尤其是为2011年6月21—22日区域性暴雨过程、7月28—29日区域性暴雨过程和7月3日午后局地短时强降水过程的分析预报提供了重要信息。

2) 试验加密观测数据供数值预报业务人员使用,实时同化到成都区域气象中心的数值预报业务模式,改进了数值天气预报业务水平。通过每日4次的观测资料用于数值预报模式,实现了西南涡加密观测试验资料在成都区域中心WRF_RUC(weather research forecasting model and rapid update cycle, WRF模式快速循环同化预报系统)和GRAPES_MESO(mesoscale of the global/regional assimilation and prediction system,中尺度全球/区域同化预报系统)模式中的业务应用^[30]。李跃清等^[30]指出,2011年41 d的西南涡加密观测试验为数值预报模式提供了更多的探空观测资料,可用于改善模式初值。而西南区域GRAPES_MESO数值预报系统中,是否同化西南涡试验加密观测数据对降水预报的连续检验表明,对于24 h降水预报,同化了西南涡加密观测资料后TS评分(threat score, 预兆得分)明显提高,并且随着降水量级增大,提高得更明显,如大雨和暴雨的TS评分从0.107 8和0.040 4分别提高到0.110 7和0.045 1;对于48 h降水,也是同化了西南涡加密观测数据的降水预报准确率最好,尤其在大雨和暴雨量级(见图8,其中YES和NO分别表示同化和未同化西南涡加密观测资料)。

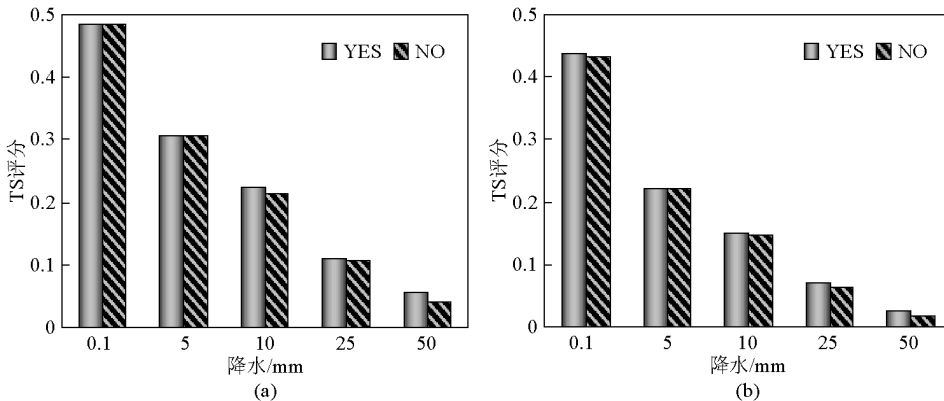


图8 GRAPES_MESO数值预报系统是否同化2011年夏季西南涡大气科学试验加密观测数据的(a)24 h、(b)48 h预报降水检验^[30]

Fig. 8 The evaluation of (a)24 h、(b)48 h precipitation forecast for the numerical forecast system of GRAPES_MESO during Southwest China vortex atmospheric scientific experiment in the summer of 2011^[30]

以上表明:西南涡加密观测科学试验观测布局技术的应用成效是显著的。特别是2010年7月16—18日四川盆地持续性暴雨天气过程,正是西南涡的发生发展及其沿辐合线的移动直接造成了这次强降水过程。在这次加密科学试验中,观测布

局系统有效地捕捉了西南涡生成、加强和移动的全过程,采集了西南涡演变及其天气影响的完整信息,揭示了西南涡异常变化及其影响的物理图像(见图9),为预报人员正确把握西南涡的位置、路径和演变,强降水的发生、持续与结束提供了有效依据,在

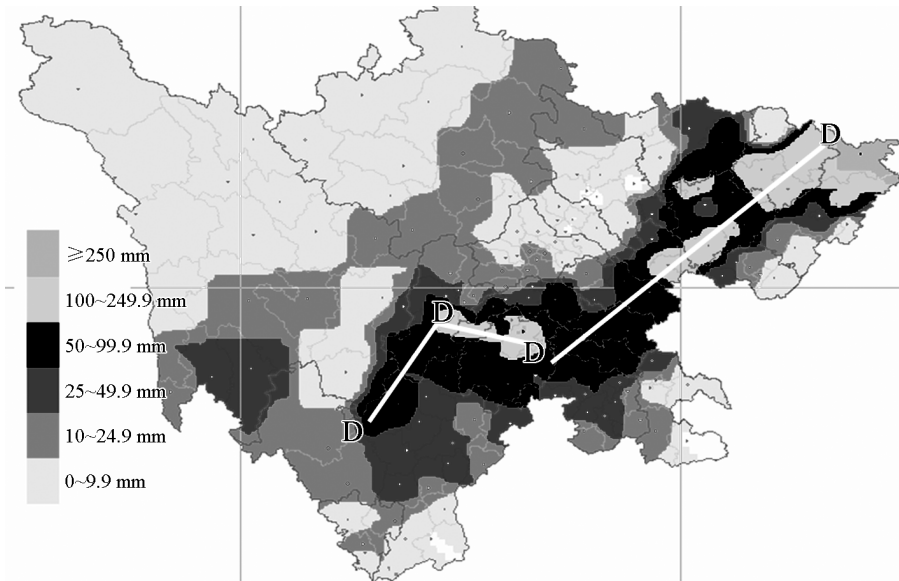


图9 2010年7月16—18日四川盆地持续性区域暴雨天气过程:14日20时—18日20时西南涡(D)动态变化

Fig.9 The regional torrential rain process in Sichuan Basin from 16 to 18 July 2010: the moving variation of Southwest China vortex(D) from 20:00 BST 14 to 20:00 BST 18 July 2010

注:阴影区为16日20时—17日20时降水分布

降水过程、强度、落区与持续时间的预报中发挥了重要作用。

总之,2010年和2011年夏季两次西南涡科学试验的成功实施,不仅获得了宝贵的观测数据,促进了高原天气研究,提升了业务预报能力,培养了科学试验人才,而且也证明了上述西南涡大气科学试验的观测布局技术思路是正确的,对于西南涡及其降水的观测、预报具有指导意义。

5 结语

在前期研究与应用的基础上,从西南涡大气科学试验的观测布局设计与具体实践方面,探讨了西南涡科学试验观测布局的基本现状、设计思想与技术途径等基础性问题,得到了以下主要结论。

1)青藏高原东部及其下游地区现有气象观测站网,难以有效地捕获具有中 α 尺度的西南涡的形成、维持、发展和移动及其影响的基本信息。为此,必须加强针对西南涡观测的基础布局设计,以保障西南涡专项大气科学试验的有效实施。

2)根据综合评估、观测试验、效果分析和布局优化的思路,建立基于评估—试验—分析—布局一体化的循环反复设计技术,从站点分布、设备技术、观测要素等方面,开展了西南涡大气科学试验综合

观测布局的优化设计。

3)以西南涡基本特征为中心,从其水平与垂直分布尺度、物理特征与演变过程、异常变化与主要影响的观测需求出发,提出了基于观测站点分布与功能、观测设备性能与技术、观测内容属性与意义的西南涡科学试验观测布局的基本原则。

4)西南涡科学试验观测布局的设计思路是:满足西南涡中尺度特征观测的分辨率条件;开展三维立体的分辨率连续综合观测;实现完整、系统地捕捉西南涡的变化及其影响。

5)中国气象局成都高原气象研究所2010年夏季实施了我国第一次西南涡加密观测科学试验,并在2011年夏季又实施了第二次西南涡加密观测科学试验。两次西南涡科学试验的成功实施及其业务应用,证明了西南涡科学试验观测布局设计思路是正确的,并有助于改进数值模式对西南涡及其降水的预报能力。

最后,需要指出的是:开展关键气象区域、典型气象系统的观测布局技术研究和应用工程建设,构建多时空、多手段、高精度、多要素一体化的综合观测平台是国际大气科学发展的一个重要方向^[31]。但是,目前青藏高原及周边地区气象观测站网仍然弱小,现有观测布局及其观测能力还不能很好地满

足科学研究与业务服务的需求,尤其是高原东坡及下游西南涡生成源地与活动区域更加突出^[3,31],制约了对西南涡的深入研究与业务预报。因此,今后应从西南涡综合观测的基础需求、现有观测系统状况和前期观测试验效果3个方面,加强其观测布局理论研究和具体实践,逐步优化西南涡大气科学试验的综合观测系统^[31]。

参考文献

[1] 李崇银,黄荣辉,丑纪范,等.我国重大高影响天气气候灾害及对策研究[M].北京:气象出版社,2009.

[2] 卢敬华.西南低涡概论[M].北京:气象出版社,1986.

[3] 李跃清,赵兴炳,邓波.2010年夏季西南涡加密观测科学试验[J].高原山地气象研究,2010,30(4):80-84.

[4] Yeh T C. The circulation of the high troposphere over China in the winter of 1945—1946[J]. *Tellus*,1950,2:173-183.

[5] Yeh T C. On the formation of quasi-geostrophic motion in the atmosphere[J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 1957, the 75th Anniversary Volume:130-134.

[6] 叶笃正,高由禧.青藏高原气象学[M].北京:科学出版社,1979.

[7] 章基嘉,朱抱真,朱福康,等.青藏高原气象学进展[M].北京:科学出版社,1988.

[8] 周秀骥,罗超,李维亮,等.中国地区臭氧总量变化与青藏高原低值中心[J].科学通报,1995,40(15):1396-1398.

[9] 陶诗言,陈联寿,徐祥德,等.第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展(一)[M].北京:气象出版社,1999.

[10] 陶诗言,陈联寿,徐祥德,等.第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展(二)[M].北京:气象出版社,2000.

[11] 陶诗言,陈联寿,徐祥德,等.第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展(三)[M].北京:气象出版社,2000.

[12] Ding Y H, Zhang Y Q, Ma G Q H. Analysis of the large-scale circulation features and synoptic system in East Asia during the intensive observation period of GAME/HUBEX[J]. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 2001,79:277-333.

[13] 吴国雄,孙菽芬,陈文,等.青藏高原与西北干旱区对气候灾害的影响[M].北京:气象出版社,2003.

[14] Randel W J, Park M. Deep convective influence on the Asian summer monsoon anticyclone and associated tracer variability observed with atmospheric infrared sounder[J]. *J Geophys Res*, 2006,111,D12314,doi:10.1029/2005JD006490.

[15] 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[J].中国工程科学,2009,11(10):96-107.

[16] 徐裕华.西南气候[M].北京:气象出版社,1991.

[17] Li Yueqing, Li Dejun, Yang Song, et al. Characteristics of the precipitation over the eastern edge of the Tibetan Plateau[J]. *Meteorol Atmos Phys*, 2010,106:49-56.

[18] 李跃清,张晓春.“雅安天漏”研究进展[J].暴雨灾害,2011,30(4):289-295.

[19] Bolin B. On the influence of the earth's orography on the westerlies[J]. *Tellus*,1950,2:184-195.

[20] 王作述,汪迎辉,梁益国.一次西南低涡暴雨的数值试验研究[M]//暴雨科学、业务试验和天气动力学理论的研究.北京:气象出版社,1996:257-267.

[21] 李跃清.1998年青藏高原东侧边界层风场与长江暴雨洪水的关系[J].大气科学,2000,24(5):641-648.

[22] 陈忠明,闵文彬,崔春光.西南低涡研究的一些新进展[J].高原气象,2004,23(增刊):1-5.

[23] 刘红武,李国平.近三十年西南低涡研究的回顾与展望[J].高原山地气象研究,2008,28(2):68-73.

[24] 李国平.青藏高原动力气象学[M].北京:气象出版社,2007.

[25] Arnold C P, Jr, C H Dey. Observing-systems simulation experiments: past, present, and future, *Bull*[J]. *Am Meteorol Soc*, 1986,67:687-695.

[26] Masutani M, Woolen J S, Lord S J, et al. Observing system simulation experiments at the National Centers for Environmental Prediction[J]. *J Geophys Res*, 2010,115, D07101, doi:10.1029/2009JD012528.

[27] 陶诗言,罗四维,张鸿材.1979年5—8月青藏高原气象科学实验及其观测系统[J].气象,1984,7:2-5.

[28] 周明煜,徐祥德,卞林根,等.青藏高原大气边界层观测分析与动力学研究[M].北京:气象出版社,2000.

[29] Xu Xiangde, Zhang Renhe, Toshio Koike, et al. A new integrated observational system over the Tibetan Plateau[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2008,89(10):1492-1496.

[30] 李跃清,赵兴炳,张利红,等.2011年夏季西南涡加密观测科学试验[J].高原山地气象研究,2011,12(4):7-11.

[31] 李跃清.第三次青藏高原大气科学试验的观测基础[J].高原山地气象研究,2011,31(3):77-82.

[32] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980.

[33] 刘富明,杜文杰.触发四川盆地暴雨的高原涡的形成和东移,夏半年青藏高原对我国天气的影响[M].北京:科学出版社,1987.

[34] 陈忠明,缪强,闵文彬.一次强烈发展西南低涡的中尺度结构分析[J].应用气象学报,1988,9(3):273-282.

[35] 李跃清,黄仪方.西南低涡暴雨的边界层诊断分析[J].四川气象,1994,14(3):21-25.

The theory and practice for observing design-layout of Southwest China vortex atmospheric scientific experiment

Li Yueqing¹, Xu Xiangde², Zhao Xingbing¹

(1. Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu 610072, China;

2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

[**Abstract**] China is a country which has many severe meteorological disasters. Southwest China vortex is an important severe weather system, closely related with the rainstorm flooding in summer half year in China. It has many influences on the national economy, social development, life and property safety of the people. Based on the situation of scientific research and field experiment on Southwest China vortex, this paper gives out the importance of the observational basis with Southwest China vortex atmospheric scientific experiment for the basic data, scientific research and operational forecasting of Southwest China vortex. The design principle and technological way for the observing layout of Southwest China vortex atmospheric scientific experiment from the aspects of the network distribution, equipment level and observational element are proposed. According to this, the observing layout engineering of Southwest China vortex atmospheric scientific experiment is systematically designed. And the main advance was briefly reviewed for the two Southwest China vortex atmospheric scientific experiments in the summer of 2010 and 2011, and from this, the validity was emphasized for the observing design-layout of Southwest China vortex atmospheric scientific experiment, which made progress on the research and operation of Southwest China vortex. Finally, from the needs, present and effect of Southwest China vortex atmospheric scientific experiment, it further points out the importance of strengthening the observing design-layout research and practice for the development of social economy and reducing disaster in China.

[**Key words**] Southwest China vortex; scientific experiment; observational basis; design-layout technology