

青藏高原及东缘新一代大气综合探测系统应用平台 ——中日合作 JICA 项目

张人禾, 徐祥德

(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] 2005年至2009年中日科学家合作执行了JICA(Japan international cooperation agency)项目,建立了包括GPS水汽观测、探空观测、自动气象站等组成的青藏高原及其东部大气的综合监测网,有效提升了青藏高原及其东部周边地区气象综合监测能力和气象资料的采集能力,提高了青藏高原及其东部周边地区大气观测资料的数量和质量。建立了灾害天气早期预警和预报平台,并在业务中得到了应用。JICA项目青藏高原大气综合监测网的建立,不仅在提高对高原及其东部灾害天气气候的认识方面具有重要的科学意义,也在高原及其东部灾害天气气候的监测、预报、预警和评估的业务能力,减轻气象灾害造成的损失,提高气象部门防灾减灾决策能力等方面具有重要的实际应用价值。

[关键词] 青藏高原;大气综合监测;中日JICA项目

[中图分类号] P411 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)09-0102-11

1 前言

青藏高原地势高耸,范围广大,平均高度可达对流层中层,有“世界屋脊”和“第三极”之称。它位于亚洲中部的副热带地区($25^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$, $74^{\circ} \sim 104^{\circ} \text{E}$),平均海拔高度4 000~5 000 m,总面积约为250万 km^2 。青藏高原占大约六分之一的亚洲陆地面积、四分之一的中国陆地面积。整个青藏高原除了中国境内区域外,也包括了不丹、尼泊尔、印度、巴基斯坦、阿富汗、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦等国家的部分区域。青藏高原的地理位置如图1所示,它的东边界是横断山脉,南边界和西边界是喜马拉雅山脉,北边界是昆仑山脉。青藏高原为全球最高的高原,是长江、黄河和澜沧江的发源地。青藏高原东南部是中国生物多样性最丰富的地区,并具有显著的热带雨林特征。高原东南部的生态结构描述了高原与东亚季风系统相互作用的区域性气候特殊性。高原隆升及与其伴生的断裂活动和地壳的水平

位移对独具特色的西部水系的形成有直接的作用,使高原成为中国和亚洲众多著名江河的发源地,成为“中国水塔”和“亚洲水塔”^[1]。高原东南部的中国西南地区(含西藏、广西)地表水资源十分丰富,占中国地表水资源的47.0%,而西南地表水丰富主要得益于大气降水^[2]。高原诸多湖泊及河流的发育均与高原隆升直接相关。青藏高原现有湖泊36 900 km^2 ,占全国湖泊总面积的52%,是地球上海拔最高的湖泊群^[3]。高原通过地形和热力作用深刻地影响着大气环流结构分布,成为全球天气气候变化敏感区。

由于青藏高原面积大、海拔高度高,在地球表面形成了一块巨大的突出到对流层中层的陆地。高原上空大气受到地形和热力作用的影响,风场、温度、湿度、气压等气象要素与周围自由大气之间存在明显差异,使得高原地区的天气和气候具有独特的特征^[4,5]。夏季高原在对流层中层形成巨大的热源,而冬季为强大的冷源^[4],高原的热力和动力作用对

[收稿日期] 2012-06-25

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40921003)

[作者简介] 张人禾(1962—),男,天津市人,研究员,研究方向为气候动力学;E-mail:renhe@cams.cma.gov.cn

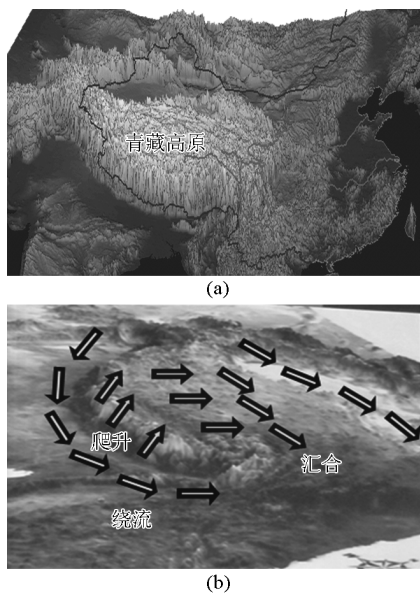


图1 青藏高原地理位置及其动力影响
Fig.1 Geographical location of the Tibetan Plateau and its dynamical effect

中国、亚洲乃至全球大气环流以及气候的形成和变化都有极其重要的影响^[6-10]。青藏高原的热源、热汇区域效应及其季节性和区域性的变化,将进一步影响到大气环流季节尺度变化,在冬季高原雪盖增加会影响次年夏季中国东部洪涝发生。青藏高原积雪的前期变化已被视为预测东亚夏季降水和旱涝的重要指标之一。已有的研究还强调指出,青藏高原积雪以及冷、热源的反馈作用对行星尺度环流的影响,青藏高原“感热气泵”(SHAP)^[11]导致了青藏高原地区由冬到夏大气环流的突变及南亚高压的突然北跳,并维持着亚洲季风期。高原冷热源的季节变化对应着东亚冬季流型和夏季流型之间的转化。青藏高原的热状况年际变化对东亚季风环流和降水具有重要的影响,夏季高原热源对同期中国降水和东亚季风有很大影响。青藏高原地区大气加热的季节变化与年际变化对于梅雨带的形成与南北位置十分重要。青藏高原加热与低纬海洋热力结构的“遥相关”效应一直是各国学者研究季风问题的焦点。青藏高原夏季加热对大气环流的影响进一步加强对欧亚大陆尺度大气环流,对中亚的干旱和东亚季风起着放大器的作用,同时,夏季热源会激发一个沿东亚沿岸经白令海峡直到北美的一个热源和涡度波列,能够导致对流层中层的西太平洋副高西移以及高空南亚高压东移。感热驱动的高原“气泵”在调制东亚季风及全球气候中有着重要的作用。

高原是中国东部灾害天气上游关键区,青藏高原影响了东亚季风及其水汽输送特征,1998年长江流域的特大洪涝、2008年南方50年一遇的冰冻雨雪灾害、2010年西南100年一遇特大干旱均与上述高原影响密切相关。由于大气热源的作用,影响了与高原相关联的跨半球大尺度纬向和经向环流,改变了高原区域能量和物质、水份循环分布,通过大尺度纬向和经向跨半球环流以及高原区域对流层-平流层输送通道,显著影响全球变化及其气候变异。

鉴于青藏高原在中国和东亚天气气候变异中的重要性,提高“世界屋脊”地区及周边大气的监测能力,不仅在研究青藏高原的天气气候以及高原的影响方面具有重要科学价值,也在提高中国乃至东亚地区灾害天气气候预报和预警水平以及提高防灾能力等方面具有重要的应用价值。

灾害天气气候预报、特别是长江洪涝预报是国家经济发展和重大决策所要求的一个十分重要的任务。如何寻找中国东部洪涝、干旱的水汽输送上游敏感区或远距离遥相关的水汽源,是认识中国区域灾害天气气候成因的重要环节之一。因此,设计中国东部洪涝、干旱的上游强信号敏感区高原及周边观测网,将对中国区域灾害天气气候预报理论研究与技术发展具有重要的现实意义。

考虑到在青藏高原开展大气监测的重要性,为了增强高原及其东部大气三维“立体”探测长期综合监测系统,中日科学家在2005—2009年期间联合开展了中日合作JICA(Japan international cooperation agency)项目,实施了青藏高原大气综合监测网的设计和建设,并联合开展观测、研究和业务应用工作。Xu X等^[10]对项目执行期间高原观测网的建设情况进行了简要介绍,Zhang R等^[12]对项目的总体情况、特别是科学进展进行了全面回顾总结。文章将主要就项目设计思想、观测网的构建和实施以及成效作系统的介绍。

2 JICA 项目的确立及其意义

在青藏高原上可观测到全球极值的太阳总辐射、有效辐射和地表净辐射。夏季输入高原地区的水汽在高原形成强对流云,这些对流云影响了高原大气的辐射传输和对流性凝结加热,是青藏高原加热过程重要一环。研究揭示出青藏高原周边“大三角”区域是影响我国长江中下游暴雨的水汽输送关键区,青藏高原地区及其东部具有水汽输送的“转

运站”特征,水汽流向东的“转运”效应对长江梅雨期洪涝形成甚为重要。形成于高原上空向东移动的高原低涡可以影响中国东部强暴雨,例如,1963年华北特大暴雨和1954年长江流域特大洪涝都与从高原东移的低涡有关^[13]。青藏高原的动力和热力作用是影响长江流域梅雨期水汽输送的一个关键因素^[14],如图2所示,青藏高原及东缘为中国区域最大范围低云量集中区与极值区,夏季高原及东缘低云量对下游总云量有显著的东—西带状相关系数高值区。

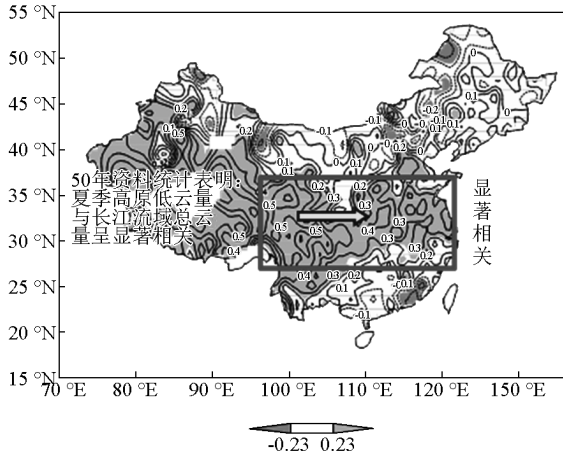


图2 1960—2009年夏季青藏高原低云量(海拔>3000m)与夏季总云量相关图

Fig.2 Correlation of the low cloud over the Tibetan Plateau (altitude > 3 000 m) with total cloud in summer during 1960—2009

中国在1979年和1998年开展过两次青藏高原大气科学试验:在1979年的第一次科学试验中,主要研究了夏季高原地表辐射和热平衡特征,揭示了高原对大气环流季节性变化、季风以及天气气候的重要作用;1998年的第二次科学试验主要研究了高原地气相互作用和大气边界层结构,提出了高原水汽输送大三角影响域以及感热加热气泵的概念模型^[15]。研究发现,连续成串从青藏高原中部或东部发生、发展的对流云团簇呈显著东移的特征,认为长江暴雨洪水的初始对流云系统可追溯到青藏高原。日本科学家参与了第二次青藏高原大气科学试验,并且在青藏高原大气研究领域与中国科学家开展了持续的合作研究。考虑到在青藏高原大气观测和研究的重要性以及中日科学家在此领域的良好合作关系,高原大气领域的综合观测与研究在1999年12月被中日双方政府确认为政府间重点合作领域。

在前两次青藏高原大气科学试验中,由于科学技术和资金的限制,在观测的区域范围、观测项目、技术手段、利用的仪器设备等方面,都远远不能满足青藏高原及周边地区大气综合观测网建设的要求,观测所获取的资料数量以及资料的全面性、系统性和可靠性等方面也存在着不足;同时,对观测和研究的成果在气象业务中的实际应用注重不够。2001年,中国气象科学研究院向中国科技部提交了关于青藏高原关键区水分循环观测计划的中日合作JICA项目申报书,经过中国科技部和日方专家组及JICA机构的评审,于2004年9月得到中日双方正式批准立项,项目名称为“中日气象灾害合作研究中心”(以下简称为中日JICA项目)。此项目是JICA计划在气象领域国际合作重点项目,执行期限为2005年8月—2009年6月,合作内容包括日方在中方已有观测设备的基础上,为高原及周边区域气象综合观测网建设工程提供新增加的观测设备,中方负责设备运行以及日常维护,联合开展观测试验设计和数值模式开发,合作开展研究,派遣中方大气观测领域的研究和业务人员赴日进修等。中日JICA项目通过中日合作,建立青藏高原及其东部大气综合监测网,提升青藏高原及其东部周边地区气象综合监测能力,提高青藏高原及其东部周边地区气象观测数据的数量和质量。通过开发有效应用这些观测数据的数值预报模式,发展高原及其东部新一代灾害性天气气候预报预警系统,加强灾害天气气候的监测、预测与评估业务系统。通过开发有效利用青藏高原及其东部周边地区高质量观测数据的数值预报模式,强化中国区域的业务化气象预报系统,减轻包括中国区域与日本在内的东亚地区的气象灾害。

1958—1995年的气候分析结果表明,青藏高原作为全球最大与最高的高原,其南侧来自相邻的印度洋以及南海和低纬西太平洋等地区的异常显著的暖湿气流和水汽输送到东亚区域。流向夏季东亚季风活跃区的水汽东起菲律宾,经过南中国海流至高原及中国南方地区;西起东非索马里、阿拉伯海、印度洋,经孟加拉湾至青藏高原东部两支水汽流共同转向中国长江流域和日本列岛,该地区是中国区域洪涝异常水汽输送的“大三角型”关键区(见图3)。如何认识“大三角”季风活跃区水分循环结构与长江流域灾害天气形成的相关机理亦是天气气候预测理论的基础和关键所在。另一方面,将高原南侧海

洋—高原—长江流域水汽输送重要通道的研究与高原北侧绕流影响效应相结合,有助于探讨长江流域梅雨汇合及其灾害发生的成因^[14,16]。

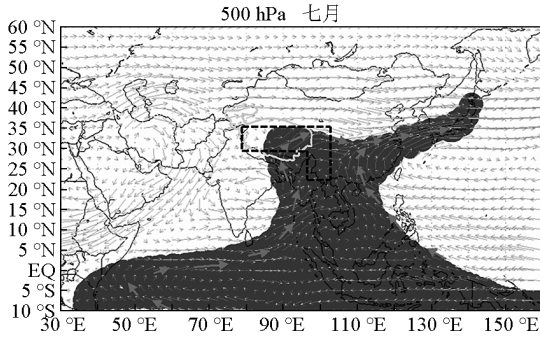


图3 高原与亚洲季风相互影响关键区
“大三角扇型”水汽通量分布特征

Fig.3 The column water vapor flux “Large Triangle” distribution over the plateau and Asian monsoon region

对于中国区域气候异常旱涝年水汽输送距平场的分布特征,发现青藏高原作为源自中低纬的海洋暖湿水汽流远距离输送的“转运站”,对高原周边异常降水及其梅雨带气候特征具有重要贡献。长江流域梅雨带汇合的“水汽流”分别可追溯到中高纬与低纬海洋“水汽源”。分析 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 第一次出现资料与数值模拟结果,可发现长江流域涝年此类遥相关源汇结构描述出海洋—高原—长江流域远距离水汽输送遥相关模型,对于长江流域早年则相反。有关数值模拟亦证实夏季低纬海洋水汽源状况对长江流域降水影响显著^[17]。

通过分析青藏高原周边多雨中心的水汽输送结构发现,高原周边异常多雨中心与高原南侧强非均匀水汽“湿锋”及高原东南边缘地动力强迫作用密切相关;高原东南部水汽输送的多尺度辐合特征是高原东部周边“多雨中心”形成的重要因素;水汽通量相关合成矢量场描述出高原东南部多雨中心,其中川滇贵区域发生的特大暴雨等异常降水,其水汽流来自南海、孟加拉湾等水汽源多通道及其轨迹特征,亦反映了高原“转运站”效应及其周边区域与“大三角”季风活跃区水分循环过程特征(见图4、图5)。

另外,计算结果同样表明,不但对于夏季中国东部长江流域等区域大范围暴雨、洪涝灾害,而且对于冬季南方雪灾过程,高原及东缘“直角型”框区(见图3)均为中国东部灾害天气的上游“强信号”关键

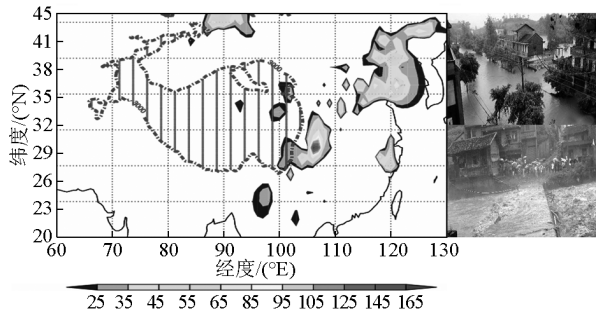


图4 2007年7月四川特大暴雨过程

Fig.4 The accumulated precipitation for the extreme rainfall

注:16日12时—18日24时累计降水分布

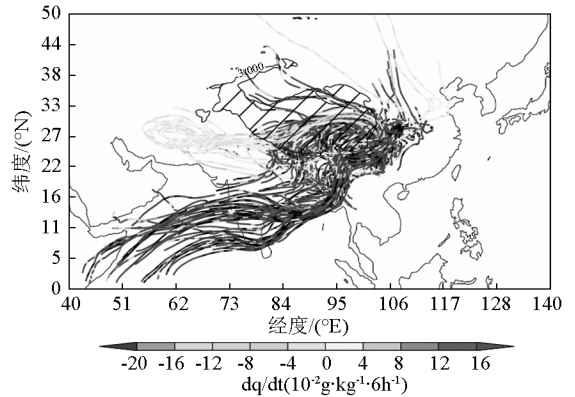


图5 导致2007年7月四川特大暴雨过程水汽9天后向输送轨迹

Fig.5 The 9-day backward trajectories of water vapor transport which significantly contributed to the extreme rainfall happened in Sichuan Province in July, 2007

区。灾害天气上游高原关键区水汽结构与南方持续暴雪过程有密切联系,2008年中国南方雨雪冰冻灾害期间,南方暖湿气流和北方冷空气的交汇是此次特大雪灾形成的主要原因之一。其中,西南水汽输送与中国东南部降水有密切关系。2008年雪灾过程整层水汽输送通量分别来自中南半岛、印度的南支水汽流,在高原及其东部区域汇合于中国南方雪灾区域,形成了强西南水汽通道^[18]。此研究结论亦为高原观测工程站网布局途径提供了重要理论与技术依据。

中日 JICA 项目所针对的关键科学问题为:青藏高原独特的地形和边界层结构在形成与水循环相联系的独特大气热源中的作用、这些能量和水循环特征控制东亚和中国灾害天气气候变化的程度、高原

上的对流系统对东亚地区洪涝灾害的影响以及影响的物理过程。针对这些科学问题,项目涉及到在青藏高原及周边地区建立新一代大气观测网、高原大气科学试验研究成果业务转化、灾害天气气候形成的理论与数值预报技术研究等问题。世界气象组织提出的世界天气研究计划 THORPEX (the observing system research and predictability experiment)^[19],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。考虑到青藏高原对于造成中国东部尤其是长江流域洪涝灾害的天气和气候,具有上游“强信号”关键区的特点,青藏高原区域可作为中国灾害天气气候预报、特别是引起长江洪涝灾害的天气气候预报的一个“敏感区”。在高原及周边建设大气综合观测系统,是中国灾害天气气候可预报性研究的一个重要基础。灾害天气气候预报是国家经济社会发展、保障人民生命财产安全十分迫切的气象服务任务。建立高原及周边地区大气观测的业务化系统,也是针对中国气候观测系统中所存在的问题^[20],构成了正在建设之中的中国气候观测系统^[21]工程的一个重要组成部分。将观测试验的研究成果应用到灾害天气气候的监测和数值模式技术改进中,提高中国数值预报水平,将十分有助于提高中国灾害天气气候的监测、预警和预报能力。通过中日 JICA 项目的实施,为开展青藏高原对气候变化、对下游东部地区高影响天气乃至全球的影响等方面的研究提供重要支持。

3 观测区域和实施阶段

中日 JICA 项目建立的大气综合观测网,主要覆盖了青藏高原东南区域和长江流域上游地区,以西藏自治区、云南和四川省为主体,也包括了青海省、广西壮族自治区、贵州省和重庆市的部分区域,项目实施区域总共涉及到中国西南青藏高原地区的两个自治区、四个省和一个直辖市。项目的实施分成 3 个阶段,第 1 阶段为 2005 年 12 月到 2007 年 9 月,在此期间建立观测系统、开发数值预报模式;第 2 阶段为 2007 年 10 月到 2008 年 8 月,进行了观测系统的实际运用和数值预报模式的改进;第 3 阶段为 2008 年 9 月到 2009 年 6 月,此期间为观测系统和数值预报模式的性能评估。

为了深入认识青藏高原对东亚夏季风的建立、演变以及与之相联系的中国暴雨过程的影响,2008 年设立了强化观测期,进行加密探空观测。强化观

测期分 3 个时段开展,第 1 个强化观测期为 2008 年 2 月 24 日至 3 月 23 日,此强化观测期主要针对东亚夏季风建立前期,对高原及周边大气特征进行加密观测,以便了解东亚夏季风建立前期高原及周边大气的状况及其对随后夏季风建立的影响;第 2 个强化观测期为 2008 年 4 月 20 日至 5 月 19 日,东亚夏季风的爆发处于此期间内,因此该时段主要针对东亚夏季风的爆发过程,即爆发前期、爆发期间和爆发后期高原及周边大气的特征,了解高原及周边大气状况在东亚夏季风爆发中的作用;第 3 个强化观测期为 2008 年 6 月 20 日至 7 月 19 日,这时中国的雨带主要位于长江中下游和淮河流域,是中国汛期降水的主要时段,在此期间对高原及周边大气特征的强化观测,目的在于了解高原及周边大气状况与中国汛期降水的联系。

4 观测网的设计

青藏高原大气综合观测网除了利用由 JICA 项目提供的观测仪器设备设立观测站点外,也充分利用了在高原上已有的观测站点,包括中国气象局所属的青藏高原气象业务观测网、中国科学院青藏高原研究所的高原试验观测站点、国家测绘局的 GPS 站点,它们共同构成了高空和地面大气观测网。

高空大气观测网由探测大气整层水汽的 GPS 水汽观测站网和探空观测站网组成。对于青藏高原来说,其上空的水汽不仅与高原降水有密切的联系^[22,23],与印度季风相联系的水汽输送也通过高原东部向东输送,对中国东部的夏季降水产生影响^[16,17,24]。因此,在青藏高原大气综合观测网的建设中特别注重了水汽的观测。水汽观测站网由 26 部 GPS 水汽观测站组成,其中新建的 24 部由 JICA 项目提供,原有的 2 部属于国家测绘局。图 6a 给出了 GPS 水汽观测站点的地理分布,它们分别设立在西藏自治区(9 部)、云南省(7 部)、四川省(7 部)、广西壮族自治区(1 部)、贵州省(1 部)和重庆市(1 部)。

大气探空观测是获取高空气象资料的主要手段,探空站网由 20 个探空站组成,其中利用了中国气象局原有的业务探空站 15 个,JICA 项目新建了 5 个 GPS 探空站。探空站的地理分布见图 6b,它们分别分布在西藏自治区(6 个)、云南省(6 个)和四川省(8 个)。在 2008 年 2 月 24 日至 3 月 23 日的强化观测期间,进行了探空加密观测,探空次数由常规

的每天2次增加到每天4次。

地面大气观测网主要由地面自动气象站、大气风廓线仪、大气边界层观测系统和水面气象观测系统组成。由于自动气象站具有连续自动观测的特点,是获取恶劣自然环境的高原表面气象资料的重要手段。自动气象站观测网由72个自动气象站组成,其中利用了已有的中国气象局所属的业务自动气象站58个和中国科学院青藏高原研究所的7个研究自动气象站,JICA项目新建了7个无人值守自动气象站,设立在高原非城镇地区人烟稀少地区。自动气象站的地理分布见图6c,它们分别分布在西藏自治区(27个)、云南省(10个)、四川省(11个)、青海省(13个)、广西壮族自治区(7个)、贵州省(3个)和重庆市(1个)。

地面大气观测网中共有3部大气风廓线仪,它们可以连续探测大气表层风场,其中新建的2部由

JICA项目提供,原有的1部由中国科学院青藏高原研究所提供,分别设立在西藏自治区(2部)和云南省(1部)。考虑到青藏高原的陆面过程对高原以及中国东部的天气和气候有重要影响^[25~28],在地面大气观测网中布设6套大气边界层观测系统,主要利用大气边界层观测塔对于近地面气象要素以及陆气相互作用进行观测。6套大气边界层观测系统中JICA项目提供4套,中国气象局和中国科学院青藏高原研究所原有各1套,分别设在西藏自治区(3套)、云南省(1套)和四川省(2套)。另外,JICA项目还提供了1套水面气象观测系统,安装在云南的洱海,用于水面气象要素以及水气之间的能量交换观测。大气风廓线仪、大气边界层观测系统和水面气象观测系统的地理分布见图6d。在图7中给出了观测中所使用的大气边界层观测塔、GPS水汽观测仪和无线电探空仪。

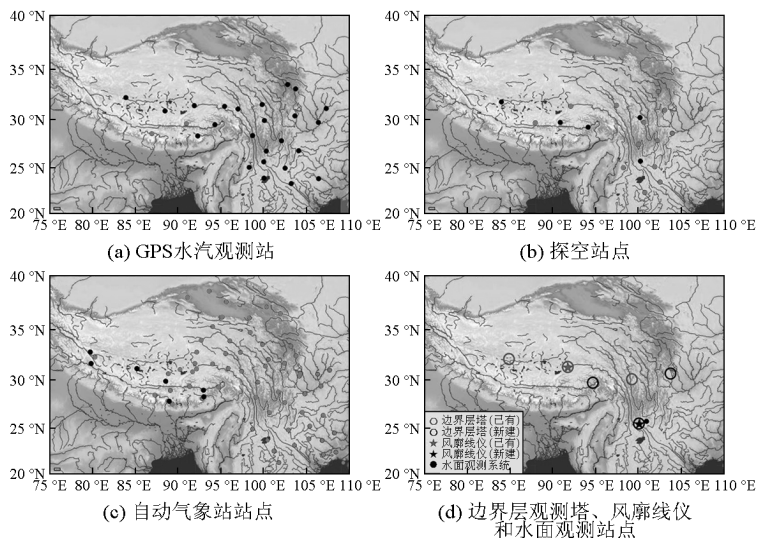


图6 中日合作 JICA 项目青藏高原大气综合监测网观测仪器和站点分布

Fig. 6 Meteorological observing system for water surface (black dot) utilized in the JICA/Tibet Project

注:黑色和灰色分别代表 JICA 项目新建站点和已有站点

5 综合监测网的业务化

中日 JICA 项目实施计划的总体内容如下:建立青藏高原及其东部周边地区新一代气象观测网,获取 GPS 水汽观测,AWS(automatic weather stations)、边界层及风廓线仪等先进探测系统观测数据,提高数据再分析水平,以获取长江上游高原及周边天气

气候强信号信息;通过有效应用青藏高原及其东部周边地区观测数据,开发多尺度数值预报模式、提升中国区域与日本在内的东亚地区气象预警、预报业务系统总体能力。图8为卫星遥感产品与探空、边界层、GPS水汽等综合观测系统及其探测功能示意图。



图7 观测中所使用的大气边界层塔、GPS 大气水汽观测仪和探空仪

Fig. 7 The planetary boundary layer (PBL) tower, GPS water vapor observer and radio sounding used in the JICA Project

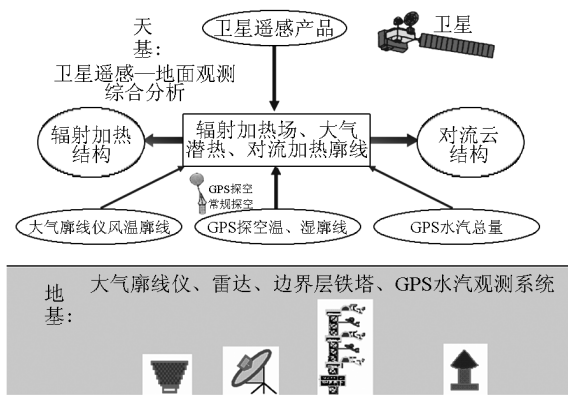


图8 卫星遥感产品与探空、边界层、GPS 水汽观测综合对比分析示意图

Fig. 8 A schematic diagram of the comprehensive analysis and comparison using the data products from the satellite remote sensing products, radiosounding, boundary layer (PBL) observations and GPS data

在云南省、四川省、广西壮族自治区和西藏自治区分别建立了资料中心,用于接收实时观测资料,并传输到设立在中国气象科学研究所的北京中心。在北京中心建立了综合气象观测系统所获取数据的资料档案库,对资料质量进行检验并依据国际标准对观测数据进行质量控制。除了项目获取的地基观测资料外,通过与实地观测资料进行比对,发展了卫星

遥感反演技术,制作了青藏高原区域土壤水分、积雪、植被、云量、降水量等相关卫星遥感产品,形成了卫星遥感产品和实际观测资料一体化的数据集。

建立了新一代高原及周边区域综合气象观测系统的监测—传输—综合处理分析平台,成功进行了GPS水汽观测信息反演与业务化应用的软件开发,建立了实时业务化流程。完成了高原及周边GPS水汽观测网数据信息实时查询显示系统以及高原及周边GPS水汽观测网数据上传实时监控显示系统,开发了青藏高原及周边地区边界层通量观测综合分析软件。JICA综合观测系统中自动气象站和GPS水汽观测站已正式纳入中国气象局业务系统运行,边界层通量综合气象观测和大气廓线仪的建设工程已列入中国气象局业务示范站。中日JICA项目观测工程还被列入中国科学院高原野外观测网络与国家“南水北调”西线水源区工程观测系统。设立在云南大理和西藏那曲的大气风廓线仪系统见图9和图10,图11给出了云南大理大气风廓线仪所观测到的风场垂直结构及其演变。

JICA项目发展了灾害天气早期预警和预报平台技术。项目研究表明,采用青藏高原及周边新建的综合观测网中的自动气象站观测数据、GPS水汽新观测网观测数据,以及大气廓线仪观测数据进行模式同化并进行数值预报敏感性试验,结果表明显



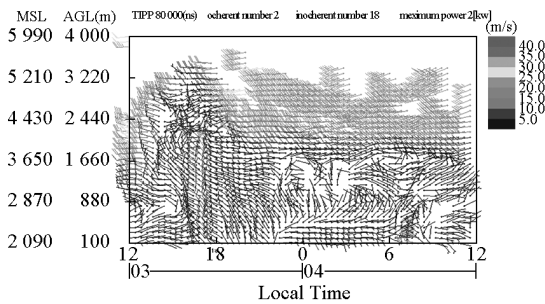
图9 JICA 计划高原东缘云南大理综合观测站大气廓线仪

Fig. 9 A wind profiler at the integrated observing station Dali in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau under JICA Project

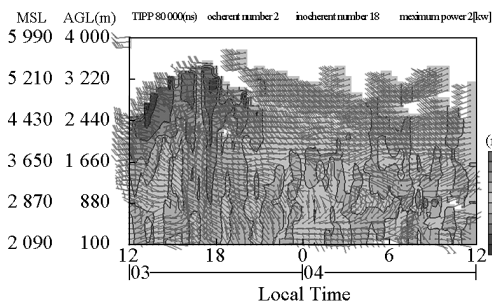


图10 JICA 计划青藏高原那曲综合观测站大气廓线仪

Fig. 10 A wind profiler at the integrated observing station Naqu of the Qinghai-Tibetan Plateau under JICA Project



(a)



(b)

图11 云南大理综合观测站大气廓线仪垂直风廓线连续变化图

Fig. 11 Continuous variations of vertical wind profiles derived from a wind profiler of integrated observing station Dali, Yunnan

著提高了预报和客观分析能力。经数值预报业务评分检验分析,显示出采用高原及周边新建观测网数据,对改进高原下游东部长江流域暴雨和中国南方暴雪具有显著效应。有关高原东缘观测系统模式同化技术及其数值预报自动化业务系统已在四川等省推广应用。项目研究发现高原东缘南北 GPS 水汽垂直剖面结构,对冬、夏季高原下游东部区域降水过程以及暴雨和暴雪预警具有“强信号”特征^[18,29],该成果已在业务中得到应用。高原东缘南北 GPS 水汽垂直剖面实时数据已经应用于相关省的业务平台,并在数据资料库、监测—传输—综合处理分析平台以及灾害天气早期预警和预报平台建设以及业务应用等方面取得了显著成效。如图 12 所示,中日合作 JICA 计划实施总体目标为建立中日 JICA 项目青藏高原及周边气象综合观测网,加强了对高原及周边大气的探测能力,提高了青藏高原及周边区域大气信息的采集能力,并改进了高原以及中国东部灾害天气气候的监测、预报和预警能力。

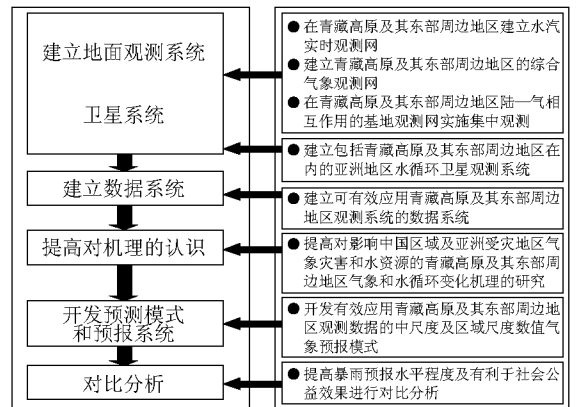


图12 中日合作 JICA 项目研究目标总体框架

Fig. 12 The overall framework of research & development objectives of the China-Japan cooperation under the JICA Project

6 结语

针对青藏高原及周边大气变化、水汽状况、陆气相互作用及其对包括中国和日本在内的东亚地区洪涝灾害的影响等关键科学问题,减轻包括中国与日本区域在内的东亚地区的气象灾害,中日科学家联合开展了为期 4 年(2005—2009 年)的中日 JICA 项目,建立了“世界屋脊”青藏高原及东部大气三维“立体”探测以及长期获取该地区综合气象数据的监测网。通过中日 JICA 项目合作研究,不仅加深了

对高原地区陆面过程、天气和气候以及高原对我国和全球影响等方面的科学认识^[12],也通过开发青藏高原及其东部周边地区气象综合观测平台,提升了高原及周边地区卫星遥感—地面综合观测同化分析能力。同时,中日 JICA 项目发展了高原及东部长江流域区域新一代灾害性天气气候预警系统及其数值预报模式技术,加强了灾害天气气候监测、预测与评估业务系统。高原综合观测系统的实施对中国正在实施与设计中的西部大开发、青藏铁路、南水北调工程及长江流域防洪决策,对长江水资源的调控、洪水预报以及西部地区重点气象业务建设、提高气象部门防灾减灾决策系统等新技术发展具有重要的现实意义。

这次中日 JICA 高原观测项目在工程立项、建设、应用开发等过程中,自始至终一直得到了中国气象局及其所属有关业务部门的大力支持与积极参与。在项目执行中特别注重气象防灾减灾的国家需求和提高中国气象业务能力,注重与气象观测和预测业务工程建设紧密结合以及研究成果在气象业务中的实际应用,科研与业务结合是中日 JICA 项目的一个重要体现。正如日方中介机构在 2009 年的终期评估报告中指出:“JICA 项目实施不是仅仅停留于项目框架内,项目的成果得到了充分利用,对国际前沿性气象研究做出了重要贡献。”

虽然通过中日合作 JICA 项目的实施,极大地加强了青藏高原地区的大气监测能力,促进了观测信息在科研和业务中的应用,但在观测网的覆盖范围、利用观测资料发展数值预报模式、利用高原观测资料的融合同化形成高原地区的再分析资料等方面仍存在着不足。首先,JICA 观测网主要设立在高原东部区域,对高原的中西部地区覆盖程度不够。已有的研究表明,高原中西部的大气状况不仅与高原区域、也与高原下游中国东部区域的天气气候有关。例如,高原灾害天气的一个主要影响系统——高原低涡一般在高原西半部产生^[30],来自孟加拉湾流入高原的南风对高原低涡的演变具有重要的作用^[23],高原西部的西风不仅通过侵入高原对高原低涡产生影响^[23],也通过影响高原绕流进而对中国东部的天气气候产生影响^[31]。因此,加大高原观测网的覆盖范围、特别是对于高原中西部大气的监测是今后完善高原大气监测网的一项重要工作。在 JICA 项目实施期间,数值预报的改进主要是通过模式资料同化系统,将观测资料应用于模式的初始场,而没有利

用观测资料对模式本身进行改进。如图 13 所示,将观测与模式发展相结合是需要进一步加强的工作。

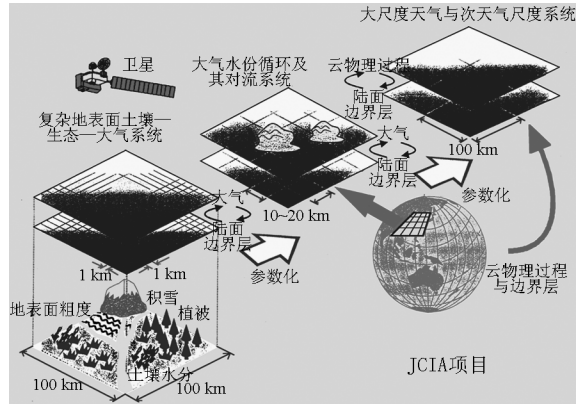


图 13 JICA 项目观测系统设计思路与数值模式不同尺度系统与物理过程技术系统应用的相关流程图

Fig. 13 The flow chart for the design of the observation system under JICA Project and the application of numerical model at different scales and the technology of the physical process

利用观测资料建立能描述高原特有物理过程、如辐射、云、陆气相互作用等的数学模型,并引入数值预报模式中,改进模式中的物理过程,这对于进一步提高我国数值预报水平具有重要的作用。另外,利用观测资料以及能较好描述高原大气状况的数值模式,形成能较真实反映高原大气状况的、空间和时间连续的、具有较高时间和空间分辨率的高原区域大气再分析资料,是解决高原大气资料时间和空间均匀性的重要手段,高质量再分析资料将会进一步促进有关高原大气的业务和研究工作。

参考文献

- [1] Xu X, Lu C, Shi X, et al. World water tower; an atmospheric perspective[J]. *Geophys Res Lett*, 2008,35:L20815
- [2] 汤懋苍. 青藏高原对西部环境演变的作用[C]//秦大河. 中国西部环境演变评估(第一卷):中国西部环境特征及其演变. 北京:科学出版社,2002:145-170.
- [3] 李炳元. 青藏高原湖泊演化[C]//施雅风,李吉均. 青藏高原晚新生代隆升与环境演化. 广州:广东科技出版社,1998:331-372.
- [4] 叶笃正,高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京:科学出版社,1979.
- [5] 李国平. 青藏高原动力气象学[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [6] 叶笃正,罗四维,朱抱真. 西藏高原及其邻近地区的流场结构和对流层大气热量平衡[J]. *气象学报*, 1957,28(2):108-121.
- [7] Ye D, Wu G. The role of the heat source of the Tibetan Plateau in

- the general circulation [J]. Meteor Atmos Phys, 1998, 67:181 - 191.
- [8] 黄荣辉. 夏季青藏高原上空热源异常对北半球大气环流异常的作用[J]. 气象学报, 1985, 43(2):208 - 220.
- [9] Yanai M, Li C, Song Z. Seasonal heating of the Tibetan Plateau and its effect on the evolution of the Asian summer monsoon [J]. J Meteor Soc Japan, 1992, 70:319 - 351.
- [10] Xu X, Zhang R, Koike T, et al. A new integrated observational system over the Tibetan Plateau [J]. Bull Amer Meteor Soc, 89, 2008:1492 - 1496.
- [11] 吴国雄, 李伟平, 郭华, 等. 青藏高原感热气泵和亚洲夏季季风[C]//叶笃正. 赵九章诞辰九十周年纪念文集. 北京: 科学出版社, 1997:116 - 126.
- [12] Zhang R, Koike T, Xu X, et al. A China-Japan cooperative JICA atmospheric observing network over the Tibetan Plateau (JICA/Tibet Project): an overview [J]. J Meteor Soc Japan, 2012, 90C, doi:10.2151/jmsj.2012-C01 (in press).
- [13] Tao S, Ding Y. Observational evidence of the influence of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau on the occurrence of heavy rain and severe convective storms in China [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1981, 62:23 - 30.
- [14] 徐祥德, 陶诗言, 王继志, 等. 青藏高原——季风水汽输送“大三角扇型”影响域特征与中国区域旱涝异常的关系[J]. 气象学报, 2002, 60(3):257 - 266.
- [15] 徐祥德, 陈联寿. 青藏高原大气科学试验研究进展[J]. 应用气象学报, 2006, 17(6):756 - 772.
- [16] Zhang R. Relations of water vapor transports from Indian monsoon with those over East Asia and the summer rainfall in China [J]. Adv Atmos Sci, 2001, 18:1005 - 1017.
- [17] 徐祥德, 陈联寿, 王秀荣, 等. 长江流域梅雨带水汽输送源 - 汇结构[J]. 科学通报, 2003, 48(21):2288 - 2294.
- [18] 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(9):96 - 107.
- [19] Shapiro M A, Thorpe A J. THORPEX: a global atmospheric re-search program for the beginning of the 21st century [J]. WMO Bull, 2004, 53:222 - 226.
- [20] 张人禾. 气候观测系统及其相关的关键问题[J]. 应用气象学报, 2006, 17(6):705 - 710.
- [21] 张人禾, 徐祥德. 中国气候观测系统 [M]. 北京: 气象出版社, 2008.
- [22] 梁宏, 刘晶淼, 张人禾, 等. 拉萨河谷大气水汽日变化特征[J]. 水科学进展, 2010, 21(3):335 - 342.
- [23] Li L, Zhang R, Wen M. Diagnostic analysis of the evolution mechanism for a vortex over the Tibetan Plateau in June 2008 [J]. Adv Atmos Sci, 2011, 28(4):797 - 808.
- [24] 张人禾. El Niño 盛期印度夏季风水汽输送在我国华北地区夏季降水异常中的作用[J]. 高原气象, 1999, 18:567 - 574.
- [25] 李国平, 赵邦杰. 地面感热对青藏高原低涡流场结构及发展的作用[J]. 大气科学, 2002, 26(4):519 - 525.
- [26] 赵平, 陈隆勋. 35年来青藏高原大气热源气候特征及其与中国降水的关系[J]. 中国科学(D辑), 2001, 31(4):327 - 332.
- [27] Xu X, Lu C, Shi X, et al. Large-scale topography of China: a factor for the seasonal progression of the Meiyu rainband? [J]. J Geophys Res, 2010, 115: D02110.
- [28] Zuo Z, Zhang R, Zhao P. The relation of vegetation over the Tibetan Plateau to rainfall in China during the boreal summer [J]. Clim Dyn, 2011, 36(5):1207 - 1219.
- [29] 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[J]. 科学通报, 2008, 52(24):3134 - 3138.
- [30] 王鑫, 李跃清, 郁淑华, 等. 青藏高原低涡活动的统计分析[J]. 高原气象, 2009, 28(1):64 - 71.
- [31] Li Q, Zhang R. Seasonal variation of climatological bypassing flows around the Tibetan Plateau [J]. Adv Atmos Sci, 2012, doi: 10.1007/s00376-012-1154-4 (in press).

An applying platform for the new generation of the comprehensive atmospheric observing system over the Tibetan Plateau and its eastern region—a China-Japan cooperative JICA Project

Zhang Renhe, Xu Xiangde

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

[Abstract] A China-Japan cooperative JICA (Japan international cooperation agency) project on monitoring

the Tibetan plateau atmosphere (JICA/Tibet Project) was implemented from 2005 to 2009. Over the Tibetan Plateau and its surrounding region, the JICA/Tibet Project set up a comprehensive atmospheric observing system, including the GPS water vapor observations, the observations of radio-soundings, automatic weather stations (AWSs), wind profilers, planetary boundary layer (PBL) observing system and water surface observing system, as well as the satellite remote sensing observations. The implementation of the JICA/Tibet Project not only enhances greatly the capability on monitoring the plateau atmosphere and collecting the meteorological data, but also raises both quality and quantity of the atmospheric observing data over the Tibetan Plateau and its surrounding region. In the JICA/Tibet Project, the severe weather early warning and forecasting platform were set up and applied to the routine meteorological operations. The comprehensive three-dimension atmospheric observing system over the Tibetan Plateau and its surrounding region built by the JICA/Tibet Project has important values not only for the scientific researches on the weather and climate over the Tibetan Plateau and their impacts, but also for the real application in preventing and reducing meteorological disasters through raising capabilities of monitoring, warning and predicting disastrous weather and climate.

[**Key words**] Tibetan Plateau; comprehensive atmospheric monitoring; JICA/Tibet Project

(上接 101 页)

Meteorological technology application and development in wind energy resources utilization

Song Lili, Zhou Rongwei, Yang Zhenbin, Zhu Rong
(CMA Wind and Solar Energy Resources Center, Beijing 100081, China)

[**Abstract**] In order to develop and utilize the wind energy resource efficiently, and realize the target of stepping from a big wind energy country into a strong wind energy country, this paper summarizes the application status, problems and impacts on project benefits in various aspects of meteorological technology application in wind energy exploiting based on a large number of past projects practice, data analysis and test results. Furthermore, based on the analysis of atmospheric science principles and the special needs of wind power to meteorological technology, it is pointed out the key technical issues and direction should be noted in the applying process of wind energy assessment, numerical simulation and numerical prediction technology.

[**Key words**] wind power resource; meteorological technology; observation and assessment; simulation and prediction