

青藏高原“敏感区”对我国灾害天气气候的影响及其监测

徐祥德

(中国气象科学研究院,北京 100081)

[摘要] 根据中国区域大范围洪涝、暴雨、暴雪天气预报上游关键区,以及气候变化敏感区多圈层信息等需求。从“世界屋脊”青藏高原为灾害性天气上游关键区与气候信号敏感区的观点出发,提出高原及周边观测工程建网新思路与应用新技术方案,设计、构建了新一代气象综合观测预警长期监测系统,实现科学试验-工程建设-工程应用开发途径,发展高原及周边敏感区灾害天气上游早期预警系统监测平台,为灾害性天气预报与区域气候变化提供多功能业务服务应用平台;采用高原东缘南-北轴向观测数据信息(GPS监测站与AWS站)应用于改进WRF(weather research and forecasts)模式三维变分方案,实现了模式优化站网信息的同化技术,可提升中国区域暴雨、南方雪灾模式预报能力。针对夏季暴雨、南方暴雪,检验、证明了高原观测工程布网“早期预警”的显著效果。

[关键词] 青藏高原;上游关键敏感区;灾害天气;早期预警

[中图分类号] P458 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)10-0096-12

1 前言

“世界屋脊”青藏高原占中国国土面积的1/4,高原独特的热力、动力作用及其地-气物理过程对我国东部和南部、东亚地区乃至全球的气候变化和灾害性天气的形成均有重大影响。为揭开高原边界层的“神秘面纱”,中国科学家们在过去20年内先后进行了多次高原大气科学试验,并与日本、美国、韩国等国科学家共同开展了多次联合现场观测试验,在高原影响机理及其对东亚季风、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^[1~10]。高原影响问题不但是大气科学研究的前沿课题,而且一直是天气、气候灾害预测、预警急待解决的关键理论与技术难题。

联合国世界气象组织(WMO)WWRP(World Weather Research Programmed)计划近期确定以最大

限度改进天气预报技术为目标,发展天气敏感区观测方法及其观测系统。暴雨过程的水汽源及其水汽输送敏感区亦是中國梅雨预报的着眼点。因此,如何寻找长江流域洪涝水汽输送敏感区或远距离遥相关的水汽源亦是探讨梅雨带暴雨成因的重要因素。青藏高原地势高耸,范围广大,平均海拔高度在4 000 m以上,约达对流层高度中下部,作为地球上一大范围隆起的“台地”,通过近边界层感热和潜热可能形成了一个高耸入自由大气中的热源强迫。高原隆起构成南北热量和水汽交换的巨大屏障,高原对流云系有组织的活动和独特的水分循环亦是中国东部及长江流域梅雨带持续的重要机制之一。长江洪涝过程往往在青藏高原地区中、东部出现对流云频发现象,且对流云团连续“成串”东移(见图1),由此长江暴雨、洪水过程的初始对流云系统亦可追溯到上游高原地区。但高原水汽状况及水分循环等

[收稿日期] 2009-08-15

[基金项目] 科技部国家重点基础研究发展“九七三”计划(2003CB716806);国家科技部国际合作项目(2007DFB20210,2009DFB20540)

[作者简介] 徐祥德(1942-),男,浙江余姚市人,中国气象科学研究院研究员,博士生导师,研究方向气象科学;E-mail: cep99@cma.gov.cn

信息“缺乏”、站网稀疏,如何布网?首先需掌握何处是长江流域等地区灾害天气上游关键敏感区?哪些是综合观测系统的关键要素?这些均是观测网工程设计与建设需解决的难题。因此,优化设计灾害

天气上游高原强信号敏感区新一代综合观测工程将对中国天气气候重大灾害、长江流域洪涝预报理论与技术发展具有深远科学价值与重要现实意义。

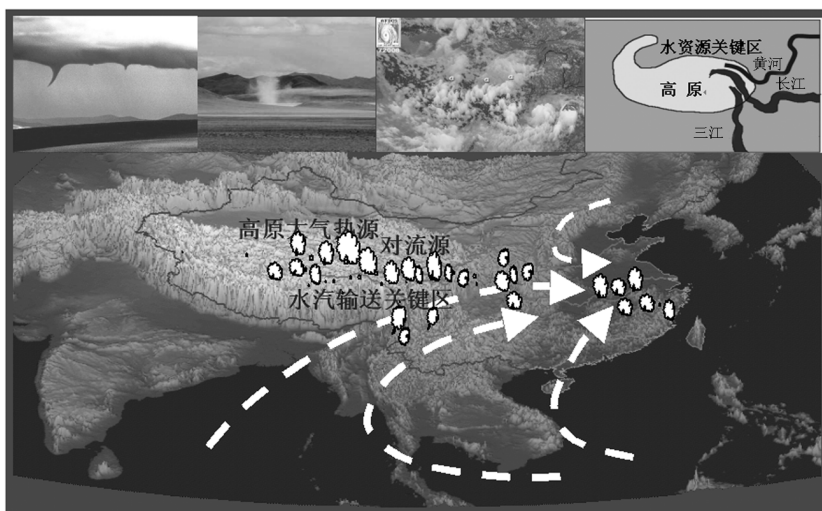


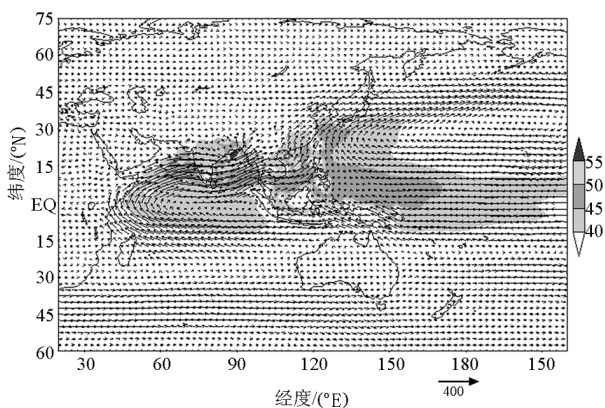
图1 青藏高原大地形及其周边海、陆分布特征与区域水分循环示意图

Fig.1 Schematic plot for the water cycle over the Tibetan Plateau and its surrounding areas in which the major orographic features of land and oceans are shown

2 季风水汽输送活跃区与灾害天气上游高原关键区

2.1 灾害天气上游高原关键区水汽结构及长江流域梅雨带与持续暴雨灾害过程

通过 1948—2007 年全球夏季整层水汽及其通量场计算,可发现处于南北半球能量、水分交换的季风活跃区的(非洲东部、东亚及亚澳大陆)整层水汽量最为充沛,该区域为夏季全球整层水汽总量极值区(图2 阴影区为整层水汽总量 $>40 \text{ kg/m}^2$ 范围),且跨赤道水汽流十分显著,上述整层水汽量极值区域以高原南侧及中国东部长江流域等区域为水汽流“转向”的顶端,其南侧低纬区域覆盖海洋面积大,范围西起东非索马里、阿拉伯海、印度洋,东至南中国海与赤道低纬西太平洋,构成低纬海洋大范围水汽流向高原及东部区域“辐合”状类似“大三角形”区域,此“大三角形”整层水汽总量高值区伴随显著偏南水汽流,该区域可称为季风水汽输送活跃区(见图2 阴影区)。值得注意的是,图2 中自低纬海洋强水汽流在青藏高原南侧“折向”,转向中国长江流域和日本列岛^[11]。对于低纬海洋强水汽流而言,



注:阴影区为整层水汽总量大于 40 kg/m^2 的覆盖范围

图2 1948—2007 年夏季整层水汽总量(单位: kg/m^2) 及水汽输送通量矢量图(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig.2 Column water vapor content averaged (unit: kg/m^2) and the column water vapor transport flux (unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

in the summer in the period of 1948—2007

高原及其东缘处于特殊的水汽流“转向”“战略位置”,即中国东部长江流域水汽输送的关键区,亦为长江流域上游灾害天气水汽输送的前兆性重要“信息源”区。

通过夏季长江流域降水与水汽输送相关矢量场计算(见图3),可发现长江流域夏季梅雨带相关水汽气流南支主体可从高原及南侧区域远距离追踪到南海至印度洋,来自北太平洋的北支相关水汽流亦在高原东部发生左折拐弯。上述两支南北水汽流均汇合在长江流域,形成了长江流域持续大范围暴雨过程。两支在长江流域梅雨带汇合的“水汽流”(相关矢流)分别可追溯到中高纬与低纬海洋“水汽源”^[12]。上述水汽流相关矢“源地”亦与水汽输送

分量(qu, qv)高相关区分布特征相吻合,如图3中阴影区所示。图3(a)中深阴影区为 $qu < 0$ 偏东水汽输送通量高相关区;浅阴影区为 $qu > 0$ 偏西水汽输送通量高相关区(阴影区:通过0.01显著性检验),图3(b)中深阴影区为 $qv < 0$ 偏北水汽输送通量高相关区;浅阴影区为 $qv > 0$ 偏南水汽输送通量高相关区(阴影区:通过0.01显著性检验),图中“直角型”框为高原及东缘水汽输送关键敏感区,空心箭头为水汽输送分量流向场。

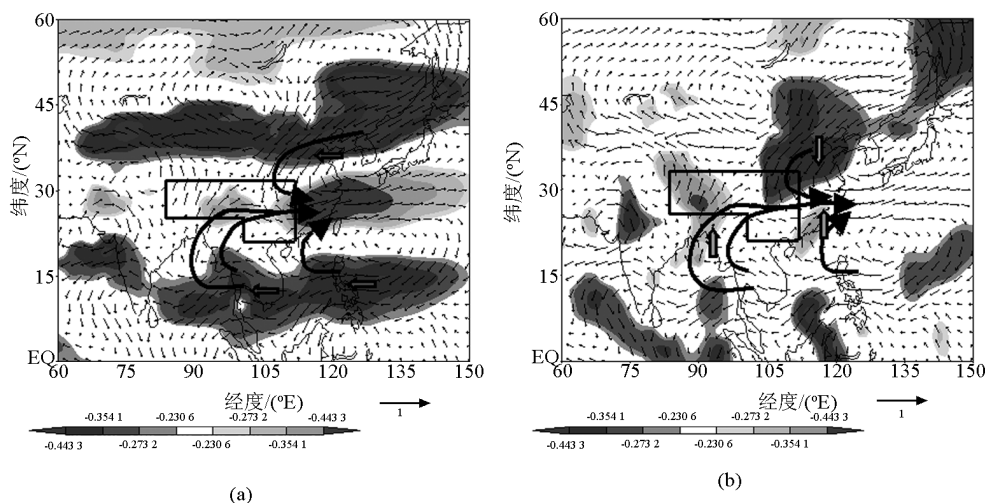


图3 1957—2007年6至8月长江中下游地区降水量与整层水汽输送通量的相关矢量

Fig. 3 Correlation vectors of the summer precipitation in the mid-lower reaches of the Yangtze River Valley and column water vapor transport flux from June to August in the period of 1957—2007

分析NCEP资料与数值模拟结果,可发现长江流域旱涝年整层水汽通量合成距平场呈显著差异^[13]。长江流域涝年背景下青藏高原南部、长江中下游水汽通量为大范围正距平极值区域(称为水汽输送“汇区”);另外,中南半岛、南海、印度洋以及中国东北地区及北太平洋(日本海区域)呈负距平区域(称为水汽输送“源区”),即中高纬与低纬两个存在对称的水汽输送“源区”,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。有关文献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^[13]。

图3中高原及东缘“直角型”框区域为中国东部区域水汽输送上游关键区,夏季来自低纬海洋强水汽流经高原及东缘该“直角型”框区域“转向”后指向长江流域;水汽流“箭簇”与高相关水汽输送源(阴影区)均可表明,该“直角型”框区域可称为水汽输送关键区,即夏季中国东部梅雨及洪涝灾害天气上游重要“信息源”及前兆性强信号区,该区域亦为高原及周边新一代气象综合观测工程布网关键区,

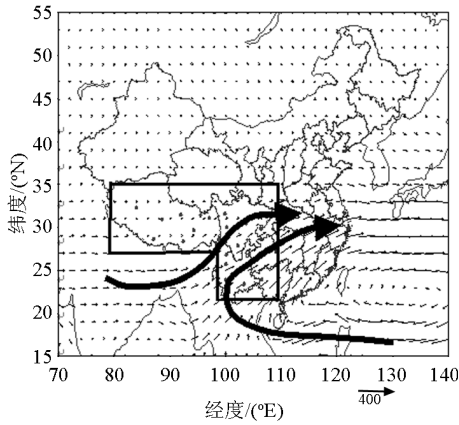
文中统称为关键敏感区。

2.2 灾害天气上游高原关键区水汽结构与南方持续暴雪过程

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期间暴雪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。

由图4可见,2008年1月10日02时—2月2日20时雪灾过程整层水汽输送通量均描述出分别来自中南半岛、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^[14]。上述2008年南方雪灾过程整层水汽通量及其水汽流相关矢主体路径(通过0.01显著性检验阴影区)亦通过“直角型”框区范围(见图4);上述计算结果表明,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(见图3),而且在冬季南方雪灾过程高原及东缘“直角型”框区均为中国东部灾害天气的上游“强信号”关键区(见图5)。此研究结论亦为高原观测工程站网布局途径提供了

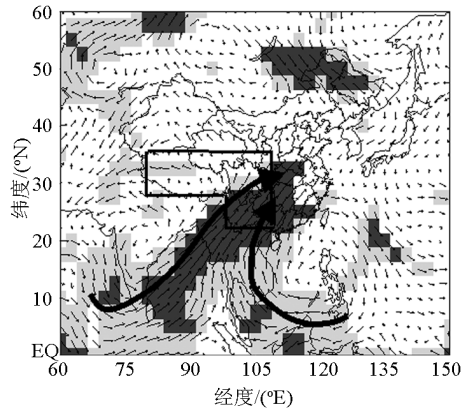
重要理论与技术依据。



注：“直角型”框内区域 GPS 观测站网为黑色圆点分布

图 4 2008 年 1 月 10 日 02 时—2 月 2 日 20 时中国及周边区域整层水汽输送量(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 4 Column water vapor transport flux averaged in the period from 02:00 BST 10 Jan. 2008 to 20:00 BST 02 Feb. 2008 (unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)



注:深阴影表示纬向、经向分量均通过 0.01 显著性检验;浅阴影表示其中一个分量通过 0.01 显著性检验

图 5 2008 年 1 月 10 日 08 时—2 月 2 日 20 时中国东南部 6 小时降水量序列与超前 24 h 整层水汽输送通量的相关矢量场

Fig. 5 Correlation vectors of 6 h accumulated precipitation with column water vapor transport flux in advance 24 h over Southeast China during 08:00 BST 10 Jan 2008 to 20:00 BST 02 Feb. 2008

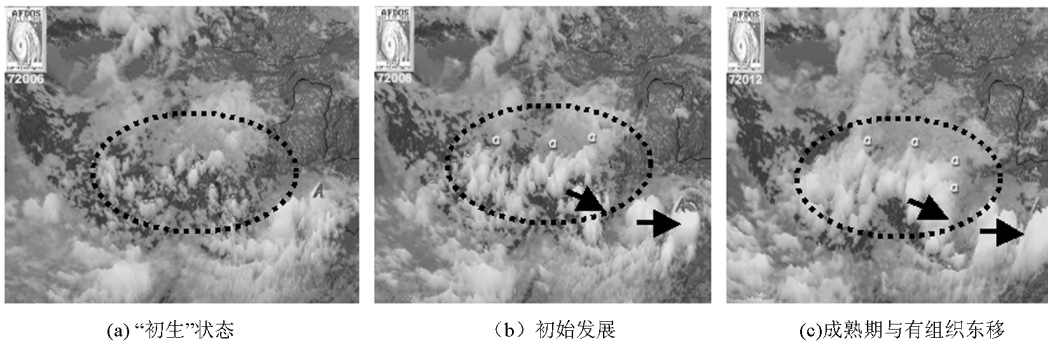
达资料计算分析表明,高原边界层具有强湍流运动特征。其与高原对流发展强盛均可联系到高原地面总辐射强热源特征。如现场科学试验中声雷达观测到的高原低层频繁形成窄长柱状热对流泡高频谱达 $1.2 \sim 1.5 \text{ h}^{[17]}$ 。

1998 年 6—7 月卫星动态云图亦可描述出长江洪涝过程中青藏高原地区中、东部出现的“爆米花状”对流云高频爆发,其经历“萌芽”状态生成、发展与有组织形成对流云团簇 3 个阶段,并连续成串东移(如图 6 所示)。由此,可描述出长江暴雨洪峰阶段的初始对流系统可追溯到高原“源地”的规律特征。

3 青藏高原地形强迫影响的对流活动与跨半球大气环流垂直结构

3.1 高原对流源地与下游天气灾害过程相关影响域

Flohn 根据卫星云图估算高原地区积雨云密度,强调高原东南部巨大的积雨云上层大气输送热量的烟囱效应^[15];如据文献[16]统计青藏高原整体年平均积雨云出现次数是我国其他地形区域整体平均的 2.5 倍。高原地区的积雨云频率与中国东南沿海高频区域相近,是中国区域积雨云区出现频数极值区。高原现场观测试验加密高分辨垂直探空与声雷



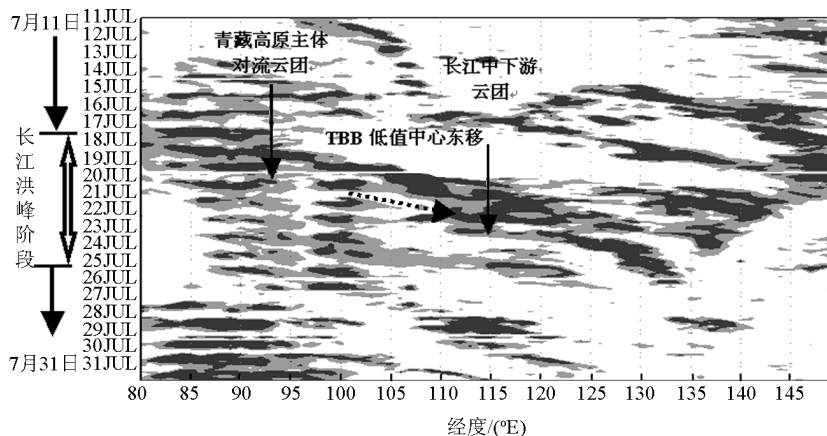
注:时间分别为 1998 年 7 月 20 日 06 时(a)、08 时(b)、12 时(c),椭圆虚线内为高原主体范围;箭头为对流云东移方向

图 6 高原中尺度积云对流发生、发展与东移的 3 个阶段

Fig. 6 Satellite pictures exempling the life cycle for precipitation – producing cumulus convective systems over the Tibetan Plateau for the case on 20 July 1998

1998年长江流域特大暴雨过程对流云团均呈显著东移动规律,图7中7月18—25日云顶温度TBB时间剖面图中深色斜线带状区代表TBB低值中心区,即强对流区,其恰对应于图6高原云团萌芽、发展状况与东移时段,即TBB低值初期位于7月19—20日高原85°~95°E区域,且随时间演

变,TBB低值中心区(强对流云区)深色带状覆盖范围自高原中部向长江中下游(110°~120°E)东移,且深色带状呈窄变宽轨迹特征,其描述了1998年7月18—25日长江流域持续大暴雨过程二次洪峰阶段对流云团主体东移特征。



注:阴影代表TBB低值区,深色阴影代表强对流特征区

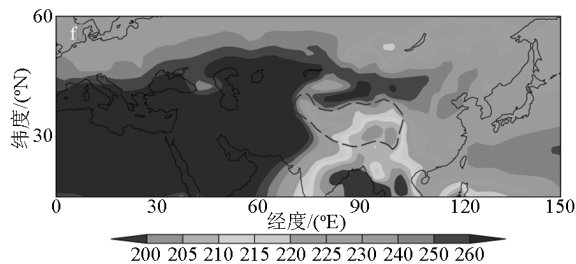
图7 1998年7月11—31日TBB云顶温度逐日东西向云轨迹演变时间剖面图

Fig. 7 Time section of cloud top temperature evolution in west-east direction during 11-31 July, 1998

图8中,浅阴影区(低极值区)代表对流云、强对流云区位于高原东部南侧和东缘延伸至低纬孟加拉湾等海洋。由图8可见青藏高原对流云系与南侧孟加拉湾低纬海洋对流云源密切相联,且构成夏季风活跃区中纬高原与低纬海洋强对流“连锁”的大范围云系集中区,这现象亦揭示出长江流域天气系统上游关键敏感区高原对流云的有组织活动可远距离追溯至低纬广阔海洋区域。值得探索的问题是“大三角形”季风活跃区所维持的持续强对流系统的大气环流“驱动力”及其动力影响因素存在何类特殊性结构?如何认识高原与低纬海洋间天气系统相互作用过程,这将涉及到高原对中国天气气候影响的综合监测工程在东亚大气环流与全球气候变化问题研究中战略地位。

3.2 与高原大地形强迫相关联的跨南—北半球、东—西半球的大气垂直环流构造

青藏高原大范围“台地”达对流层中下部,从热力强迫的观点出发,夏季高原可称为强热源、冬季则为强冷源。计算表明,高原的大地形构成了庞大的热力、动力强迫源,其构造了跨半球尺度的平均垂直经圈、纬圈环流(1948—2006年)。如图9(a)所示,



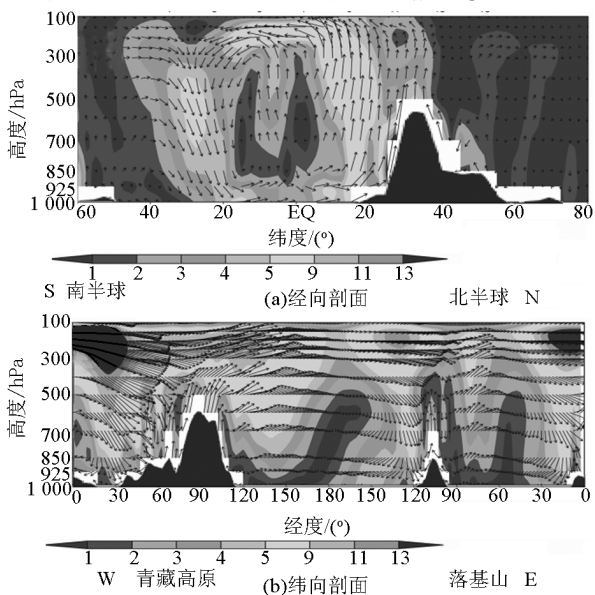
注:低值代表对流云、强对流云(低中心极值区),其位于高原南侧和东缘低纬孟加拉湾海洋区域

图8 1975—2006年夏季亚欧区域长波射出辐射OLR平均分布特征(单位:W/m²)

Fig. 8 Averaged summer OLR (shaded areas) in the period of 1975—2006 (unit: W/m²)

经度90°E南—北向风场垂直剖面图上高原南侧地面低层(850 hPa)呈跨赤道强偏南气流,高原区域为强上升支,高层(300~100 hPa)则呈显著的偏北气流,且该支气流下沉区位于南纬20°N南印度洋。上述特征描述了高原及南侧呈显著南—北向跨半球尺度的经圈环流,该环流圈在跨半球尺度能量、水分循环的交换、输送起着关键作用。如图9(b)所示,

纬度 30°N 的东—西向风场垂直剖面图上高原与洛基山东侧均有一显著纬圈环流,青藏高原大地形东侧环流圈中高原为上升支,高原高层(300~100 hPa)为显著偏西气流,且下沉区位于洛基山西侧,洛基山东侧环流结构亦类似青藏高原特征^[18],但上述两纬圈环流尺度大不相同,其中青藏高原东侧环流圈呈显著的跨半球尺度特征,洛基山东侧环流尺度相对小得多。它们均在东、西半球的能量、水分循环交换、输送起着重要作用。上述与高原影响相关的季风海—陆—气过程活跃区,暴雨洪涝与雪灾水汽输送关键区以及与高原动力、热力强迫相关联的跨半球经、纬圈环流结构均描述出高原对能量、水分循环过程的重要影响作用。因此,高原及周边关键敏感区大气变化监测网不仅为下游区域天气、气候灾害发生发展提供重要的前兆性“强信号”,而且该监测网可为南—北半球能量、水分交换结构特征及其全球气候变化趋势提供重要信息。



注:经向、纬向垂直环流分别采用 NCEP 资料标准气压层经向风与垂直速度分量,纬向风与垂直速度分量合成,其中纬向剖面平均范围为 27.5°~25°N,经向剖面平均范围为 80°~110°E

图 9 1948—2006 年 6—8 月青藏高原跨半球尺度大气平均垂直环流垂直剖面图

(水平风速单位: ms^{-1} , 垂直速度单位: $\times 50 \text{ Pa/s}$)

Fig. 9 Horizontal distribution of 59-year (1948—2006) averaged (color-shaded, in unit: ms^{-1}) in the meridional vertical cross section except in the latitudinal vertical cross section

4 构建高原早期预警多源信息综合监测系统

发展敏感区观测方法及优化高原及周边观测网是中国气象局观测系统工程的一个重要战略目标之一,上游的观测工程建设将有助于提升我国灾害性天气气候预警、预报能力。

近年来在中国科技部的支持下,实施了中日政府间 JICA 项目的国际合作“中日气象灾害合作研究中心”项目,简称为 JICA (Japan International Cooperation Agency) 计划。为增强“世界屋脊”青藏高原及东部大气三维“立体”气象探测长期综合监测能力。中国气象局联合中国科学院等部门积极推进高原及周边区域新一代气象综合观测系统的工程建设^[19]。

针对高原及东缘灾害天气上游关键区与气候变化强信号敏感区(图 10 中高原“直角型”框区域),设计了高原及东部周边局地与中国长江流域水循环过程长期观测网方案,建立新一代高原及周边区域综合气象观测系统监测—传输—综合处理分析平台。高原及东缘(“直角型”框区域)综合观测系统工程(见图 10)如下:

1) 工程构建了青藏高原及其东缘水汽输送关键区 6 省(云南省、西藏自治区、四川省、重庆市、贵州省、广西壮族自治区)24 个 GPS 监测站网及其反演的整层水汽总量(PWV)实时、分发传输系统。

2) 工程新建了青藏高原中西部无人荒漠区 7 个无人自动气象站网(日土、札达、措勤、谢通门、工布江达、亚东、朗县)在高原无人区构建近地层动力、热力特征、水热平衡过程综合观测系统。

3) 工程构建了青藏高原及其东部周边地区 6 个近地层通量铁塔综合观测基地与大气廓线仪观测站(四川温江、云南大理基地为中国气象局业务观测系统示范站、西藏林芝、那曲为中科院系统观测基地)。

5 东部区域暴雨与暴雪前兆性“强信号”监测、灾害预警平台应用技术

5.1 南方雪灾过程前兆性“强信号”高原综合观测网分析平台

考虑 2008 年中国南方雪灾过程(1 月 10 日 08 时—2 月 2 日 20 时),分析“直角型”框观测网 GPS 反演水汽状况与中国东部南方雪灾及其对流云

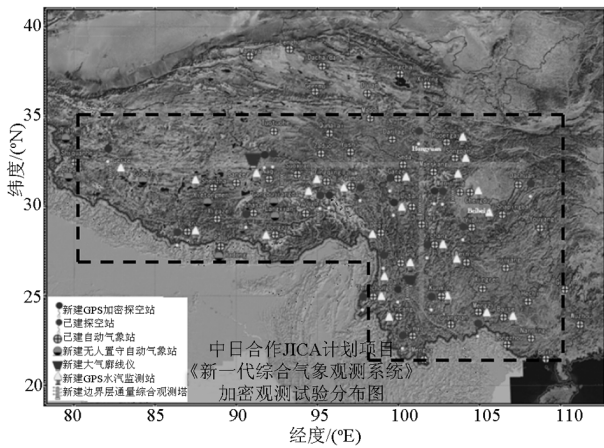


图 10 高原及东缘关键观测区(“直角型”框区域)

JICA 项目新一代综合气象观测系统站网布局

Fig. 10 The observing network for a New Integrated Observational System in the Tibetan Plateau (NIOS)

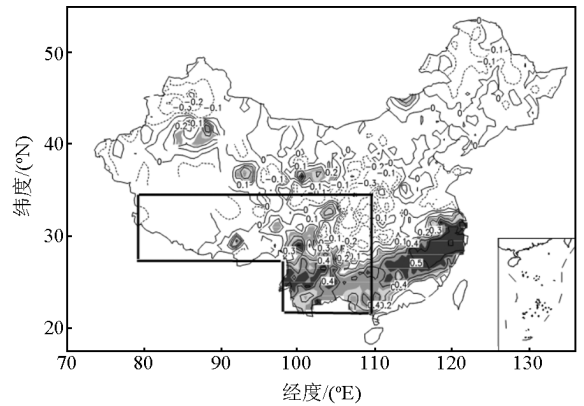


图 11 2008 年 1 月 10 日 08 时—2 月 2 日 20 时中国各站点降水量与“上游”关键区 GPS 观测站网区域整层水汽量(PWV)的滞后 24 h 相关系数场

Fig. 11 The lag correlation coefficients(24 h) of precipitation over China with regional mean

PWV of GPS stations in Yunnan and its ambient areas

活动的相关性。图 11、图 12 分别为“直角型”框区域 GPS 测站网反演获取水汽总量(大气可降水量 PWV)与滞后 24 h 中国南方雪灾过程降水、云顶黑体辐射温度(TBB)相关系数场,由图 11、图 12 均可见上游关键敏感区的水汽含量与后期(滞后 24 h)中国东部南方雪灾过程降水量与对流云活动(TBB 低值区)均呈显著相关,其中图 11“直角型”框关键区的 GPS 反演计算获取的大气可降水量与滞后 24, 30 h 南方雪灾过程降水量的相关系数分别达 0.602 5, 0.552 5, 远远超过 0.001 的显著性检验水平。两类显著相关区均可描述出从“直角型”框敏感区内自云南延伸至江淮流域带状高相区,其高相关极值区位于长江中下游或江淮区域,另外,滞后 48 h 相关特征乃十分显著;上述分析表明上游水汽输送敏感区(“直角型”框区)水汽状况对后期长江流域对流活动及其降雪具有前兆性“强信号”。

从图 4、图 5 可以发现,2008 年中国南方雨雪冰冻灾害期间,“直角型”框区域所布设的 GPS 水汽观测站点正好位于西南水汽输送通道上游敏感区。为此,分析 2007 年 12 月 23 日—2008 年 1 月 8 日南方降雪过程(100°E 以东,35°N 以南),发现高原东缘坡面南—北轴向 7 个 GPS 站点反演的大气可降水量 PWV(整层水汽量)与中国南方雪灾过程发生、维持与消亡呈显著相关,即南方雪灾发生之前,上游地区南—北 7 个 GPS 站反演水汽总量突增;上游 7 站反演水汽量维持高值时段,下游南方雪灾过程持续,当上游 GPS 测站反演水汽量突然剧减时,南方暴雪

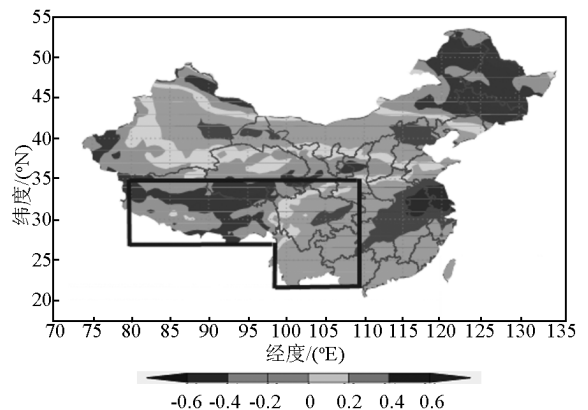


图 12 2008 年 1 月 24 日 08 时—2008 年 1 月 30 日 20 时中国区域云顶黑体辐射温度(TBB)与“上游”关键区云南大理 GPS 观测站整层水汽量(PWV)滞后 24 h 相关系数场

Fig. 12 The lag correlation coefficients (24 h) of TBB with GPS PWV in Dali station, Yunnan, China

过程趋于消亡、结束。因此,南—北轴向大地形坡面的 7 个 GPS 测站反演水汽量状况可作为下游南方雪灾发生、维持与结束各阶段的“前兆性”“强信号”(见图 13)。

5.2 灾害预警监测信息模式同化应用技术平台

正如 WWRP/THORPEX“观测系统研究与可预报性试验”计划中所提到的,对于某一预报所关心的高影响灾害天气,在灾害天气上游地区通常存在着对应的预报敏感区域,如果能确定这一敏感区域

并选取有效的观测要素,并将这些观测资料同化到数值模式中,将会大大提高其下游地区的高影响天气的预报能力数值预报水平^[20]。“世界屋脊”青藏高原(QXP)东南部边缘正好位于孟加拉湾向长江—淮河流域进行水汽输送的通道上^[21,22],文章研

究分析可知高原“直角型”框关键敏感区观测网可具有上游前兆信息的地域优势。因此,可将此区域选为模式同化系统的预报敏感区^[23],如图 14(a)所示。

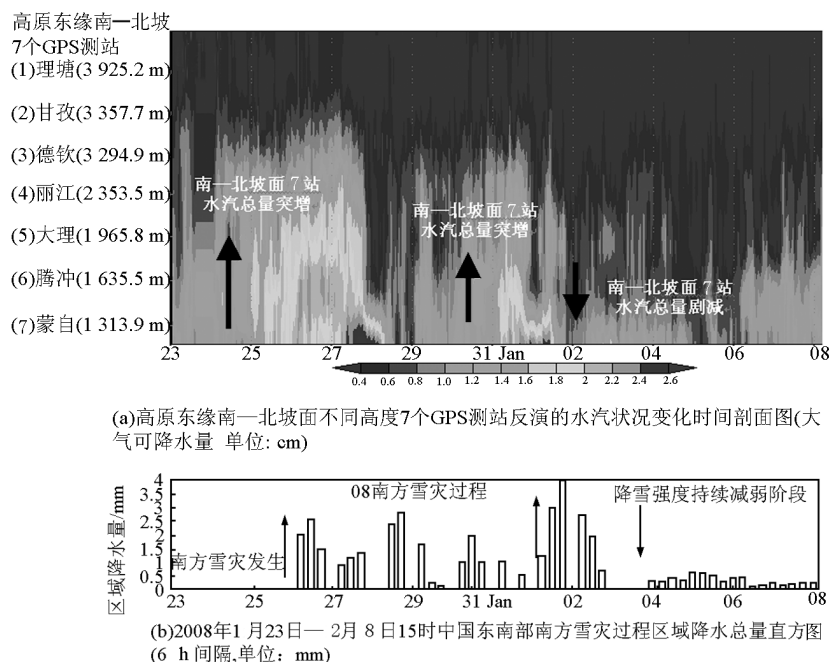
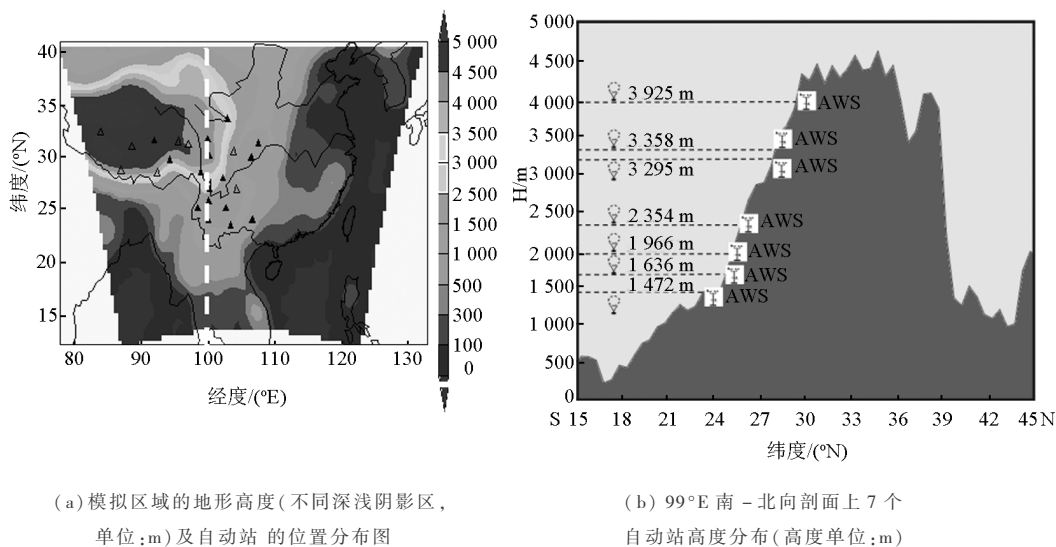


图 13 2008 年 1 月 23 日—2 月 8 日南方雪灾过程上游关键区 GPS 测站反演水汽状况与中国东部下游区域降水总量的相关变化

Fig. 13 Hourly precipitable water vapor (PWV) observed from 7 GPS stations with terrain height over the Tibetan Plateau during 08:00 BST on 3 Jan. 2008 to 8 Feb. 2008 08:00 (curve) and total precipitation in every 6 hours over the southern of China during 08:00 BST on 3 Jan. 2008 to 08:00 BST 8 Feb. 2008 (columns)



(a) 模拟区域的地形高度(不同深浅阴影区, 单位:m)及自动站的位置分布图

(b) 99°E 南—北向剖面上 7 个自动站高度分布(高度单位:m)

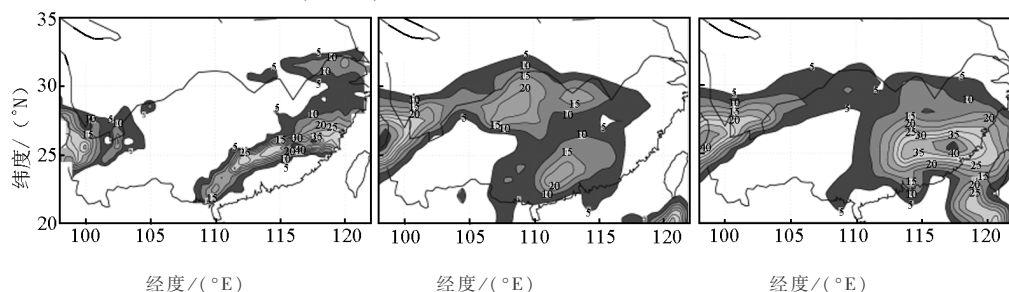
图 14 地形及高度分布图

Fig. 14 Terrain height and the illustration of radio soundings at the corresponding height of AWS stations

由于青藏高原“台地”位于对流层中部,地面气压平均约 500 hPa 左右,且高原东南缘地势南—北向坡面陡峭,呈“南低北高”大地形结构,因此,位于高原坡面上不同高度的自动站同步观测信息能够与不同高度层无线电探空探测获取的大气垂直廓线信息存在某种程度的关联性,如图 14(b)所示。另外,高原坡面自动站资料在探测时间频数、定位、定高等方面均具有其他探空工具所不具备的优势。将上述高原大地形坡面上不同高度自动气象站同步观测到的大气“廓线”信息同化到数值模式中,其对于提高模式高原下游天气预报水平,无疑具有重要的学术意义及业务应用价值。

图 14(a)为模拟区域地形高度及自动站的位置分布图。实心三角形表示于某一时间层(2008 年 1 月 25 日 00:00 UTC)上资料被同化进模式的站点,空心三角形表示缺测或未通过质量控制检验的站点,图 14(b)为 99°E 处南—北向剖面,如左图虚线所示,7 个自动站的高度分布以及相应高度上的无线电探空示意图。模拟试验研究结果表明,将青藏高原东缘南—北向坡面自动气象站(AWS)资料同

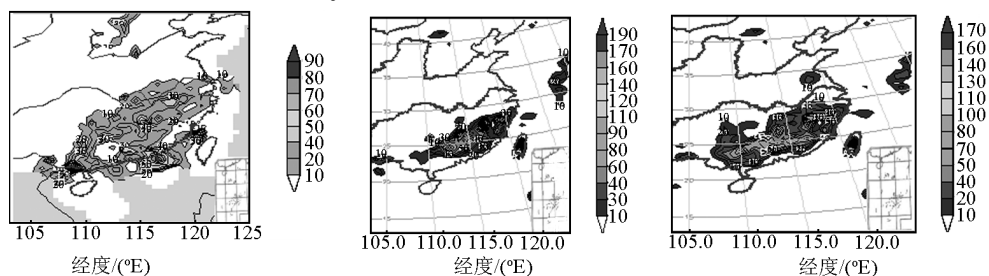
化引入 WRF(weather research and forecasts)模式中(方案 DA-1),所模拟的 2008 年 1 月 17—20 日长江下游流域暴风雪过程,与模式未同化控制试验方案(CNTR-1)相比较,在模式降水强度与落区较大程度上有改进效果,但部分降水中心模拟与实况有差距(见图 15)。另外,采用青藏高原及其周边地区“直角型”框区关键观测区 GPS 水汽观测站网资料模式同化方案(DA-2)与未同化控制试验方案(CNTR-2)相比较,“上游”站网资料同化方案计算对于预报下游中国东部区域夏季暴雨降水强度与落区有改进,但整体落区范围仍与实况有偏差(见图 16)。大样本数值模式同化试验检验结果表明高原东南缘“南低北高”大地形坡面自动气象站、GPS 测站网同化信息优化方案存在潜在应用价值,此方法在一定程度上能够改善或“调整”对天气系统上游高敏感区的大气动力、热力三维结构客观性描述,有助于有效反映高原东部下游灾害性天气系统发生、发展的上游敏感区“强信号”特征,以提升模式对下游灾害天气的预报能力。



(a) 实况观测;(b) 模式控制试验方案(CNTR-1),即未采用高原东缘自动气象站资料同化方案;
(c) 采用高原东缘南—北向坡面自动气象站资料同化方案(DA-1)模式计算结果

图 15 2008 年南方雪灾过程数值试验 24 h 累积降水量分布图
(2008 年 1 月 26 日 00:00 UTC 至 27 日 00:00 UTC)(单位:mm)

Fig. 15 24 h accumulated precipitation ending at 00:00 UTC on 27
January 2008 for observations and simulations



(a) 实况;(b) 模式控制试验方(CNTR-2),即未采用高原及东缘 GPS 水汽站网资料同化方案;
(c) 采用高原及东缘 GPS 水汽站网资料同化方案(DA-2)

图 16 2007 年 6 月 13 日中国东南部暴雨过程数值试验 24 h 累积降水量分布图(单位:mm)

Fig. 16 24 h accumulated precipitation of Southeast part of China ending at 18:00 BST
on 13 June, 2007 for observations and simulations(Unit:mm)

6 高原及东缘灾害天气上游关键区网监测、预警系统流程

上述“直角型”框区观测系统分别建立了云南、四川、西藏等数据信息分中心,并充分发挥中国气象局 9210 卫星通讯系统的传输功能,该系统在国家气象信息中心、中国气象科学研究院网络部构建数据综合处理、存档、监控流程。青藏高原及其东部周边

地区 GPS 反演水汽和 AWS 自动气象站观测数据,将实时纳入中国气象局国家气象信息中心数据采集、传输系统,并可分发国家气象中心、国家卫星气象中心、中国气象科学研究院及省级应用单位,系统流程构建了国家级—省级数据监测、传输、综合分析平台,以实现国家级—省级部门网络系统业务应用流程(见图 17)。

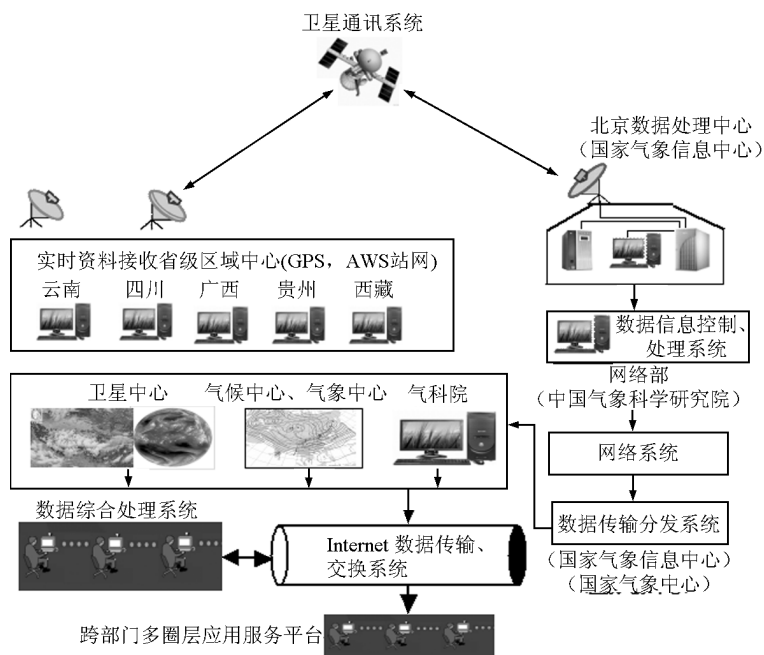


图 17 高原及东缘综合观测系统数据采集、传输和处理平台

Fig. 17 The data collection, communication, and processing systems and platforms of a New Integrated Observational System in the Tibetan Plateau (NIOST)

7 结语

根据中国区域大范围洪涝、暴雪天气预报上游关键区,以及高原气候变化敏感区多圈层信息平台等重大需求。提出建网新思路与应用新技术方案,从“世界屋脊”青藏高原为灾害性天气上游关键区与气候信号敏感区的观点出发,首次设计、构建了新一代气象综合观测预警长期监测系统,实现科学试验—工程建设—工程应用开发途径。进一步将高原及东缘水汽输送上游关键区 AWS, GPS 站与下游区域观测站联网,可实现中国长江流域及东部区域 GPS 水汽观测站网实时拼接,发展高原及周边灾害天气上游早期预警系统监测平台,该系统工程设计,初步构建了高原及周边关键区综合气象信息双向传

输、处理与模式同化软件、业务流程,为灾害性天气预报与区域气候变化可提供多功能业务服务应用平台。

采用高原东缘南—北轴向观测数据信息(GPS 测站与 AWS 站)应用于改进 WRF 模式三维变分方案,实现了模式优化站网信息同化技术,可提升中国区域暴雨、南方雪灾模式预报能力,针对夏季暴雨、南方暴雪,检验证明高原观测工程布网“早期预警”有较显著效果。

构建的多圈层观测平台可为南水北调工程水资源评估、环境与生态等跨部门综合应用。中国东部天气上游高原敏感区观测系统的实施对长江流域洪涝、暴雨预报、防洪决策,以及长江水资源调控具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1979
- [2] 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, 1979
- [3] Ye Duzheng. Some characteristics of the summer circulation over the Qinghai - Xizang (Tibet) Plateau and its neighborhood[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1981, 62: 14 - 19
- [4] Ye Duzheng. Some aspects of the thermal influences of the Qinghai - Xizang Plateau on the atmospheric circulation[J]. Arch Meteor Geophys Bioklim, 1982, 9: 358 - 375
- [5] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京: 气象出版社, 1991
- [6] 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)、(二)、(三)[M]. 北京: 气象出版社, 1999
- [7] Ding Y H, Zhang Y Q, Ma G Q H. Analysis of the large - scale circulation features and synoptic systems in East Asia during the Intensive Observation Period of GAME/HUBEX. J[J]. Meteor Soc. Japan, 2001, 79: 277 - 333
- [8] Ding Y H, Chan J C L. The East Asian summer monsoon: An overview[J]. Meteor Atmos Phys, 2005, 69: 117 - 142
- [9] 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. 爆发地点[J]. 大气科学, 1998, 22(6): 825 - 838
- [10] 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[J]. 大气科学, 1999, 23(1): 51 - 61
- [11] 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
- [12] Xu Xiangde, Chen Lianshou, Wang Xiurong. Moisture transport sources and structure of the Meiyu rain belt along the Yangtze River valley[J]. Chinese Science Bulletin 2004, 49(2): 181 - 188
- [13] Xu Xingde, Shi Xiaoying, Wang Yuqing, et al. Data analysis and numerical simulation of moisture source and transport associated with summer precipitation in the Yangtze River Valley over China [A]. Meteorology and Atmospheric Physics 100[C]. 17 - 231 (2008) DOI 10.1007/s00703 - 008 - 0305 - 8
- [14] 施晓晖, 徐祥德, 程兴宏. 2009;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[J]. 气象学报, 2009, 67(3), 478 - 487
- [15] Flohn H. Contributions to a meteorology of the Tibetan Highlands [A]. Atmos Sci Paper. 1968, 130, Colorado State University [C]. Fort Collins, 120
- [16] 戴加洗. 青藏高原气候[M]. 北京: 气象出版社, 1990
- [17] Xu Xiangde, Zhou Mingyu, Chen Jiayi, et al. A comprehensive physical pattern of land - air dynamic and thermal structure on the Qinghai - Xizang Plateau[J]. Science in China (Series D), 2002, 45 (7): 577 - 594
- [18] Xu Xiangde, Lu Chungu, Shi Xiaohui, et al. World water tower: An atmospheric perspective [C]. Geophysical Research Letters, 35, L20815, doi:10.1029/2008GL035867, 2008, 1 - 5
- [19] Xiangde Xu, Renhe Zhang, Toshio Koi ke, et al. A New Integrated Observational System over the Tibetan Plateau (NIOST) [C]. Bulletin of American Meteorological Society 24 October 2008
- [20] THORPEX 中国委员会. 中国观测系统研究与可预报性试验计划[R]. 北京, 2005
- [21] 张人禾. El Nino 威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(4): 567 - 574
- [22] Hu G, Ding Y. A study on the energy and water cycle over Changjiang - Huaihe river basins 1991 heavy rain periods [J]. Acta Meteor Sin, 2003, 61(2): 146 - 163
- [23] 彭世球, 徐祥德, 施晓晖, 等. “世界屋脊”大地形面探测同化信息对下游天气的预警效应 [J]. 科学通报, 2008, 53(24), 3134 - 3138

The effects of sensitive region over Tibetan Plateau on disastrous weather and climate and its monitoring

Xu Xiangde

(*Chinese Academy of Meteorology Sciences, Beijing 100081, China*)

[**Abstract**] A new-generation, three-dimensional observing network on the plateau and its peripheral may not only provide a strong precursor for the development of regional disastrous weather and climate events downstream, but may also provide crucial information on cross-hemispheric energy and water cycle and global climate change. In view of the roles of the Tibetan Plateau as the upstream key region for flooding, heavy rainfall, and snowstorms in a large area of eastern China, and the most sensitive region for climate change on the global scale, a plan for setting up an observing network and application of new technology has been proposed. We have designed and constructed this new-generation observing network on the Tibetan Plateau and its peripheral regions. The development of this new observing network has gone through a path of scientific experiment engineering construction-operation application. In particular, utilizing a north-south line of observational data from GPS and AWS stations on the east fringe of the Plateau, we were able to assimilate these data into the WRF(weather research and forcaits) 3Dvar system. The ensuing predictive results indicated that the upstream observations enhanced the ability for numerical prediction of summer heavy rainfall in eastern China and winter snowstorms in south China. Verifications suggested that the observing network had a significant impact on the early warning of disastrous weather events downstream.

[**Key words**] Tibetan plateau; upstream key sensitive region; disastrous weather; early prediction and warning