

# 中亚区域干湿及极端降水研究综述

姚俊强 曾勇 李建刚 杨莲梅

(中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 中亚区域是全球最大的非地带性干旱区, 是我国天气上游关键区, 对中国西北及东部地区的灾害性天气发生和区域气候变化具有重要影响。中亚干湿气候环境表现出明显的“西风模态”特征。在亚轨道时间尺度上, 太阳辐射等外部驱动对中亚区域水热变化起主导作用, 而在百年-年代际尺度上, 内部变率对中亚降水变化更为重要。高、中、低纬系统和中亚低值系统的活跃, 共同造就了中亚东部(新疆)降水年代际和年际异常增多。西亚西风急流是联系高、中、低纬环流系统相互作用的纽带。中亚区域干湿变化总体不显著, 但进入21世纪后有明显的下降趋势。在现有气象业务观测网和移动观测设备的基础上, 在伊犁河谷开展了针对中尺度系统和云微物理特征的强化观测试验, 建立规范易用的观测数据共享平台, 为进一步研究干旱区极端降水的精细化结构和触发机制提供数据支持。

**关键词:** 中亚, 干湿气候, 极端降水, 暴雨试验

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.04.002

## A Review of Dry-Wet Climate Change and Extreme Precipitation in Central Asia

Yao Junqiang, Zeng Yong, Li Jiangang, Yang Lianmei

(Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002)

**Abstract:** Central Asia is the largest non-zonality arid areas in the world, and the regional climate and weather is significantly different with the Europe and East Asia. It is a key region, which is weather upstream in Northwest China and the eastern region of the severe weather, and regional climate change has an important effect. However, the regional climate research in Central Asia is unclear, especially extreme precipitation. The change of wet-dry climate in Central Asia is different with that of East Asia monsoon region, and it shows obvious characteristics of “westerly mode”. On the suborbital time scale, the external drive, such as solar radiation, plays an important role in the hydrothermal change in Central Asia, while, the internal variability is more important for the precipitation change on the centennial to decadal scale in Central Asia. The interdecadal and interannual precipitation anomalies in Xinjiang are caused by the activity of high, medium and low latitude systems and low value systems in Central Asia. The Western Asia westerly jet is the link that connects the interaction of the high, middle and low latitude circulation systems. The regional dry and wet changes are insignificant on the whole region, but there is an obvious decreasing trend in the 21st century. Based on the existing weather observation network, we conduct the intensive observation experiments of the mesoscale systems and cloud physical characteristics of extreme precipitation in the typical regions in Central Asia, and we also establish a standardized sharing platform, to further study the structure of extreme precipitation and trigger mechanism of extreme precipitation in Central Asia.

**Keywords:** Central Asia, dry-wet climate, extreme precipitation, rainstorm

### 0 引言

中亚区域包括中亚五国和我国新疆区域, 是全球最大的非地带性干旱区, 区域天气气候与欧洲和东亚地区显著不同。区域内山盆交错分布, 荒漠与绿洲共存, 水循环变化显著, 形成独具特色的气候系统格

局<sup>[1-2]</sup>。中亚区域对全球变化响应敏感, 极端降水事件频发, 且有显著增多态势<sup>[3-5]</sup>。同时, 中亚区域还是我国天气气候的上游区, 是国家实施“丝绸之路经济带”的核心区。尽管在中亚区域气候、环境和生态研究取得了重要进展<sup>[6-10]</sup>, 但中亚极端干湿多时间尺度演变特征及形成机制、暴雨精细结构及触发机制、云微物理特征和精细化无缝隙预报关键技术尚缺乏深入系统研究, 如何完整认识上述关键科学问题和解决关键技术仍是中亚天气气候研究中极具挑战性的前沿研究。因此, 研究这一区域极端降水形成机制及其预报

收稿日期: 2019年4月23日; 修回日期: 2020年4月30日  
 第一作者: 姚俊强(1987—), Email: yaojq@idm.cn  
 通信作者: 杨莲梅(1969—), Email: yanglm@idm.cn  
 资助信息: 国家重点研发计划项目课题(2018YFC1507101; 2018YFC1507102)

预测能力提升具有重要意义。

中亚区域天气气候独具特色，且是我国天气上游关键区，对中国西北及东部地区的灾害性天气发生和区域气候变化具有重要影响，但国内外对该区域气象灾害研究薄弱，中亚气象防灾减灾在“丝绸之路经济带”建设中面临严峻的科技挑战。本研究综述中亚极端干湿和暴雨演变机制，以及开展的暴雨野外观测试验，提出拟解决的科学问题。

## 1 中亚区域干湿气候变化研究进展

### 1.1 中亚区域气候变化

在全球变化背景下，全球气候系统正经历着剧烈的变化，北半球中纬度地区变暖最快，而中亚地区近百年来气候变暖幅度是北半球的两倍多，气候系统异常敏感。中亚区域对20世纪全球出现的第二次暖期有明显的响应，气温发生了明显的增暖。中亚地区增温持续时间较长且增温幅度较大（ $-1.3\sim 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），远大于全球气温的变化幅度（ $-0.6\sim 0.55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）<sup>[8]</sup>。近50年来，中亚地区年均气温有明显的上升趋势，1980年之后增温更明显，其中在1998年左右出现跃变式升高且维持高温波动，使近20年成为近半个世纪以来最暖的时期。冬季增温最快，预估未来会延续变暖的态势。空间分布上中亚北部升温幅度大于南部，同时增温显著区域也明显增大。中亚地区气温在1998年左右出现跃变式升高且维持高温波动，使近20年成为近半个世纪以来最暖的时期<sup>[11-14]</sup>。

苏联时期，中亚地区进行了较早的气候观测，积累了丰富的观测资料。但苏联解体后，中亚五国的气象观测陷入困境，大量站点停止观测，持续性的观测资料较少，限制了中亚地区气候变化的研究。随着遥感等多源技术的发展，大量的代用资料、卫星遥感资料和再分析资料逐渐得到使用，但这些资料在中亚的适用性还不清楚。胡增运等<sup>[8]</sup>评估了多源资料在中亚地区的适用性。总体来看，空间插值降水产品和卫星降水产品在中亚地区精度高于再分析数据，而再分析数据中MERRA降水产品在中亚地区适用性最好。20世纪以来中亚地区年降水呈现增加趋势，但具有显著的空间差异性。在过去60年，新疆降水增加，而中亚五国降水减少。研究发现厄尔尼诺现象对降水年际变化有重要影响，厄尔尼诺年时该地区降水增加，拉尼娜年时降水减少<sup>[12]</sup>。Peng等<sup>[15]</sup>指出中亚夏季降水在1961—2013年间增加了20.78%，诊断归因认为人为活动可以通过动力和热力作用共同引起降水增加。

### 1.2 中亚区域多时间尺度降水变化

国内外学者在中亚区域干湿气候变化方面开展了

一系列研究工作，发现在不同时间尺度上，中亚干湿气候环境变化显著不同于东亚季风区，表现出明显的“西风模态”特征，并提出了不同时间尺度上气候变化的机制<sup>[7, 11, 16-19]</sup>。

在亚轨道时间尺度上，太阳辐射等外部驱动对中亚区域水热变化起主导作用<sup>[16]</sup>；晚全新世以来，冬季太阳辐射增强，而夏季太阳辐射减弱，使得冬夏季降水增加<sup>[17, 20-21]</sup>。在百年一代际尺度上，内部变率对中亚降水变化更为重要，“丝绸之路”遥相关（SRP）直接调控中亚地区降水的变化<sup>[22-23]</sup>。年代际时间尺度变率方面，北大西洋年代际振荡（AMO）通过调控北大西洋涛动（NAO）的位相变化，进而影响到中亚的降水<sup>[20]</sup>。太平洋年代际振荡（PDO）和AMO共同影响印度夏季风的强度，通过调制SRP影响中亚的降水<sup>[24-29]</sup>。高、中、低纬环流系统和中亚低值系统的活跃，共同影响了中亚东部新疆地区降水年代际和年际异常，而西亚西风环流是联系高、中、低纬环流系统相互作用的纽带<sup>[30-31]</sup>。此外，青藏高原和印度洋对区域降水年际变化也有重要的影响，印度洋和阿拉伯海海温升高，加强了低纬度向中纬度的经向输送，配合中亚上空的气旋环流，将印度洋水汽进一步输送至中亚<sup>[32-33]</sup>。

中亚区域日尺度观测资料的缺乏，极端降水的影响较少。基于22个站点的观测资料，发现1938—2005年中亚区域极端降水指标有明显增加趋势，但连续干旱天数（CDD）存在下降趋势。同时，极端降水存在明显的空间差异性和非均质性<sup>[34]</sup>。

### 1.3 中亚区域干湿气候变化

基于多种干湿指数发现，中亚区域气候有变干的趋势<sup>[13]</sup>。常用的PDSI指数显示，1964年以来中亚区域干湿变化总体不显著，但进入21世纪后有明显的下降趋势，有65%的区域出现干旱化，归因分析发现气温变化对干旱影响最大，降水变化加大了干旱的变率，而气象干旱可以影响到生态农业干旱和水文干旱<sup>[14]</sup>。基于SPEI指数发现，中亚区域干旱面积覆盖率变化不大，从20世纪60年代至70年代初的22%，到20世纪80年代到90年代初的30%，但在90年代中期以来干旱面积逐渐增加，其中70年代中期和90年代后期经历了比较干旱的阶段，1975年干旱覆盖率达到60.7%<sup>[35]</sup>。区域来看，中亚中部哈萨克平原有变干趋势，但其他区域均有变湿态势<sup>[36]</sup>。CMIP5模式预估发现未来中亚地区干旱化的趋势将继续延续，在西南部变干会更加明显<sup>[35]</sup>。在中亚东部的新疆地区，20世纪80年代中后期以来呈“暖湿化”特征，但1997年之后，干旱变化趋势、干旱频率、干旱发生月份和干旱站次比等方面均

有明显增加, 导致70%以上的区域变干<sup>[37-38]</sup>。

在机理方面, 目前还没有统一的认识。有研究发现中亚地区干湿变化可能受欧亚太平洋遥相关型、阻塞高压和北极涛动等的影响<sup>[35]</sup>。在湿润年份, 西风急流增强, 中亚一里海地区槽及上下游的脊有所加强, 在对流层低层由低纬经阿拉伯海向北输送至中亚的偏南气流增强, 是中亚水汽输送的来源之一<sup>[36]</sup>。AMO对中亚东部新疆干湿变化有明显影响, AMO正相位(AMO负相位)对应着新疆的干旱时期(湿润时期), 特别是在1997年之后对应更加明显<sup>[37]</sup>。当AMO正(负)位相时, 印度夏季风加强(减弱), 印度夏季降水更多(少), 而新疆夏季降水更少(多)。南亚高压、西风急流和伊朗副高系统变化是链接AMO和新疆干湿变化的关键系统<sup>[31]</sup>。此外, 新疆北部干旱与ENSO事件密切相关, 且比ENSO海温异常滞后12个月。干旱(湿润)时期对应着海温负(正)异常, 即拉尼娜事件(厄尔尼诺事件)会引起严重干旱(湿润)<sup>[37]</sup>。但并非所有ENSO事件都会引起新疆北部发生干旱或湿润事件。因此, ENSO和新疆干湿的机理还需深入研究。

## 2 中亚区域极端降水研究进展

中亚地区由于其所处的独特地理位置和落后的经济发展水平, 对于极端降水事件的监测手段较为落后, 对其“捕捉”和研究的能力明显不足。在全球变暖的背景下, 中亚极端降水呈现增多的趋势<sup>[39-40]</sup>。由于复杂地形和较低的地表植被覆盖率, 极端降水事件往往会造成洪水、泥石流、城市内涝和滑坡等次生灾害, 对社会经济造成严重的影响<sup>[41-43]</sup>。随着国家“一带一路”倡议的实施, 加强中亚地区极端降水事件的监测、预警和研究显得尤为重要。近年来该地区的极端降水研究取得了一些重要进展, 但研究成果主要集中在我国新疆区域, 且主要为夏季极端暴雨和短时强降水事件。

在新疆极端暴雨过程中, 高、中及低空三支气流有利配合有利于暴雨产生, 高空强烈辐散与低空辐合之间的耦合不仅增加了低层水汽在暴雨区汇集, 也通过增强垂直速度将更多的潮湿空气向上输送, 使高层大气湿度增加<sup>[44-46]</sup>; 阿拉伯海和孟加拉湾的水汽通过接力方式可以影响到南疆暴雨, 且新疆典型暴雨过程的水汽输送路径存在明显差异, 这种差异与天气系统异常关系密切。同时, 暴雨过程水汽集中迅速, 主要集中于700 hPa以下<sup>[47-49]</sup>。新疆暴雨事件的水汽主要是由西风带输送, 水汽源区主要是中亚区域和新疆本地。不同区域的水汽源区也有略微的不同。对于阿勒泰地区, 新疆区域和中亚区域仍然是主要的水汽源区, 但是地中海—黑海—里海区域也是其重要的水汽

源区; 对于伊犁河谷, 水汽源区最主要是新疆区域和中亚地区, 两者水汽贡献都约为40%; 对于哈密地区, 最大的水汽源区是新疆区域, 其水汽贡献几乎达到了70%; 而对阿克苏—喀什地区来说, 最主要的水汽源区是中亚区域, 接下来是新疆区域<sup>[47]</sup>。可见, 新疆暴雨的水汽源区与东部季风区暴雨的水汽源有明显不同。

通过对极端暴雨和短时强降水事件的大量个例分析后发现, 低空风场辐合线、云图上快速生成、发展、移动的中尺度对流云团和多普勒天气雷达上变化迅速的中尺度对流系统是造成新疆暴雨强降水的直接系统, 由于水汽输送明显弱于我国东部季风区, 该区域中尺度系统生命史一般较短, 同时局地性明显<sup>[50-56]</sup>。在环流形势稳定维持和水汽通道异常强盛时期, 新疆夏季极端降水过程可维持较长时间, 期间不断有中尺度对流系统移过暴雨区, 犹如“列车效应”造成极端大暴雨天气过程<sup>[55]</sup>。近年来随着中尺度数值模式的发展, 通过数值模拟手段对新疆极端降水的触发机制和组织化机理研究取得了一定进展, 重力波、地形、低空急流在新疆极端降水过程中有十分重要的作用, 天山地形及其引起的气流辐合及重力波是极端降水触发的关键<sup>[43, 56-58]</sup>。中亚低涡(槽)、天山静止锋、高低空急流和水汽聚集等是极端降水形成和组织化不可缺少的关键条件<sup>[41, 59-60]</sup>, 其中, 中亚低涡是影响该地区极端降水的关键影响系统。张云惠等<sup>[45]</sup>在已有研究的基础上修订了中亚低涡的定义, 并根据其结构特征将其分为深厚型和浅薄型两类; 杨莲梅等<sup>[59]</sup>对中亚低涡的研究进展进行了总结, 得到了中亚低涡造成强降水天气的环流配置和水汽特征, 并对中亚低涡的动、热力结构进行了概括, 指出其在暴雨过程中存在明显的能量转换和频散特征, 并出版了《中亚低涡年鉴1971—2017》<sup>[61]</sup>。

## 3 西天山降水云微物理综合观测试验

### 3.1 观测试验的设计

西天山降水云微物理综合观测试验(图1)在现有业务观测网的基础上(包括1838个自动气象站、14部多普勒天气雷达、105部雨滴谱观测仪、46部闪电定位仪、63台GPS/MET水汽探测仪), 以西天山伊犁河谷为试验基地, 利用移动观测设备(双偏振雷达、风廓线雷达、毫米波云雷达、地基微波辐射计等)开展降水天气的中尺度系统和云微物理参数特征协同强化观测试验, 获取降水环境、中尺度系统和云微物理参数高精度三维精细化结构信息; 对观测资料进行质量控制, 反演关键云微物理过程、水相态物质的质量和滴谱分布参数, 建立极端降水天气个例的水汽、云、降水

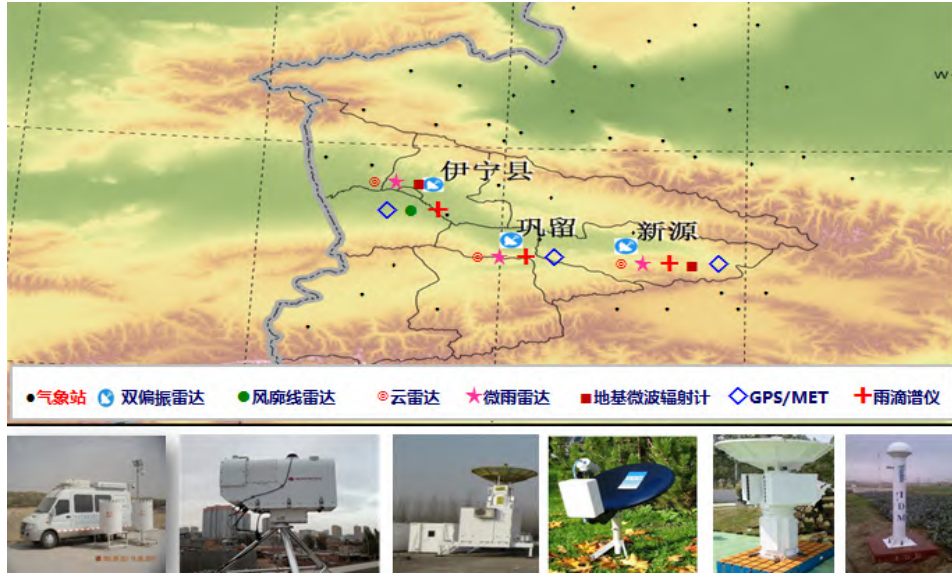


图1 西天山降水云微物理综合观测试验的总体布局

Fig. 1 Overall of the extreme precipitation observation site in Central Asia

粒子相态分布、动力、热力等垂直结构变化数据集。

### 3.2 观测试验基地的建立

选取西天山伊犁河谷作为该强化观测试验(图2)的主要区域,分别挑选伊犁河谷西段的伊宁、中段的巩留、东段的新源作为代表站,根据原有业务观测网的运行情况,考虑各种仪器的最优配置以及观测试验运行所需的基础条件,在伊犁河谷初步建立了综合观测基地并进行组网实时观测。其中自动气象站、闪电定位仪、激光雨滴谱仪和GPS/MET水汽探测仪正常运行,在伊宁县站原有观测设备(业务探空、C波段多普勒天气雷达)的基础上架设了二维视频雨滴谱仪、MP-3000地基微波辐射计、CFL-03车载风廓线雷达、MRR-2微雨雷达、CM-120激光云高仪,在巩留县站原有X波段天气雷达的基础上安装了二维视频雨滴谱仪、微雨雷达,在新源县站架设了地基微波辐射计、方舱式风廓线雷达、毫米波云雷达、微雨雷达、激光

云高仪、雨滴谱仪和C波段双偏振多普勒雷达等。此外,还在境外中亚天山建立了长期观测站点,包括在吉尔吉斯斯坦的Kara-Batkak、塔吉克斯坦的Bardara建立了10要素自动气象站,2018年10月至今在降水关键季节(6—8月,11月一次年2月)进行了中尺度系统和云微物理三维立体协同组网加密观测试验,目前各设备运行良好。

### 3.3 开展强降水大气边界层和云微物理综合观测试验

2018年12月—2019年3月,利用伊犁河谷试验基地的多普勒天气雷达、激光雨滴谱仪、微型雨雷达、云雷达、风廓线雷达、地基微波辐射计、GPS/MET水汽探测仪等对冬季强降雪天气过程开展云微物理综合观测(图3),获取了极端降水过程前后大气环境(温度、湿度、风场、水汽)、中尺度系统和云微物理特征的高分辨率三维精细化结构的观测信息,为开



图2 伊犁河谷、中亚吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦强化观测试验基地

Fig. 2 Strengthened observation base in the Ili River Valley, Kyrgyzstan and Tajikistan over Central Asia



图3 强降雪天气的大气环境和云微物理特征野外观测

Fig. 3 Field observation of atmospheric environment and cloud microphysical characteristics of heavy snowfall weather process

展极端降水的动、热力和云微物理精细结构及其形成和组织化机理的研究提供基础资料。

2019年6月27日—8月4日，在伊犁河谷新源县开展了大气对流层探空加密观测试验（图4）。利用北斗/GPS双模探空仪对伊犁河谷东部不同天气条件下大气温、压、湿、风的垂直变化开展观测。加密观测期间，每天释放探空气球5~7次，平均释放高度达到24 km，最高达31 km，数据质量较好。

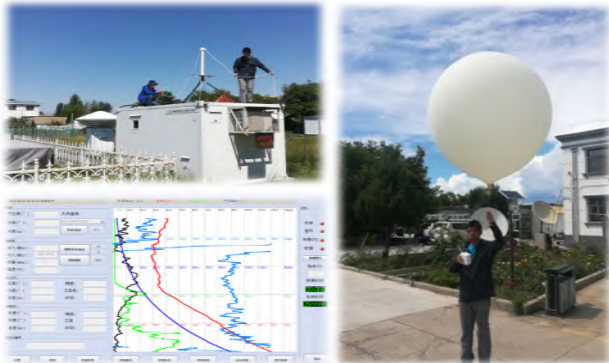


图4 GPS探空仪的架设、高空气象要素的观测和气球的释放  
Fig. 4 The erection of GPS, observation of meteorological elements and the balloons

### 3.4 观测试验数据获取和应用

利用新疆气象信息中心大型服务器，基于专有网络收集常规气象业务观测网资料以及野外强化观测资料，建立了基础数据库（图5）。按照降水类型和强度等进行分类归档，实现实时数据传输、质量控制、历史数据存储，产生快速查看数据和图像集。通



图5 大型计算机集群和专有数据库

Fig. 5 Large computer clusters and proprietary databases

过综合性资料质量控制后建立了中亚极端降水野外科学试验个例共享数据集，为项目提供可靠的研究资料保障。

利用毫米波雷达观测数据，分析了2019年2月伊犁河谷新源强降雪天气过程的降水云系雷达反射率因子、径向速度和粒子含水量垂直高度上的变化等宏观结构特征（图6），为进一步提高和改善云—降水微物理过程的精度提供依据。

## 4 未来研究方向与展望

1) 中亚天气和云降水物理。建设西天山云降水物理观测试验基地，开展云降水物理观测试验，建立高质量多源观测资料数据平台；开展云降水物理观测分析、数值模拟和云水资源研究；开展中亚天气演变规律和形成机理研究；开展多源观测资料应用技术和灾害性天气监测预警技术研究。

2) 中亚气候与气候变化。围绕历史代用资料、观测资料、模式输出和极端事件等建立中亚区域千年—百年—年代际和年际等多尺度气候变化序列，开展中亚区域多时空尺度气候变化研究；揭示中亚区域极端气候事件发生、发展和维持机理，研发极端事件气候监测、评估指标和预测模型；开展森林生态气象监测，研究干旱区树木生理特征和树木径向生长的气候限制因子及其生理学机制；开展气象灾害风险评估与气候变化应对研究。

3) 中亚沙漠气象。依托中亚区域沙漠气象野外科学试验基地，揭示中亚区域不同类型下垫面的边界层结构及其陆面过程演变规律，探究边界层过程对区域天气气候的影响机制；开展沙尘灾害演变特征及其对生态环境的影响评估研究；推动沙漠气象探测技术及研究成果在气象业务和工程上的应用转化。

4) 中亚区域数值预报模式。开展非常规观测资料的质控和同化技术研究，研发高分辨率模式下的物理过程不确定性诊断和复杂地形下的模式地形订正技术、动力降尺度技术，建立中亚区域多系统/多技

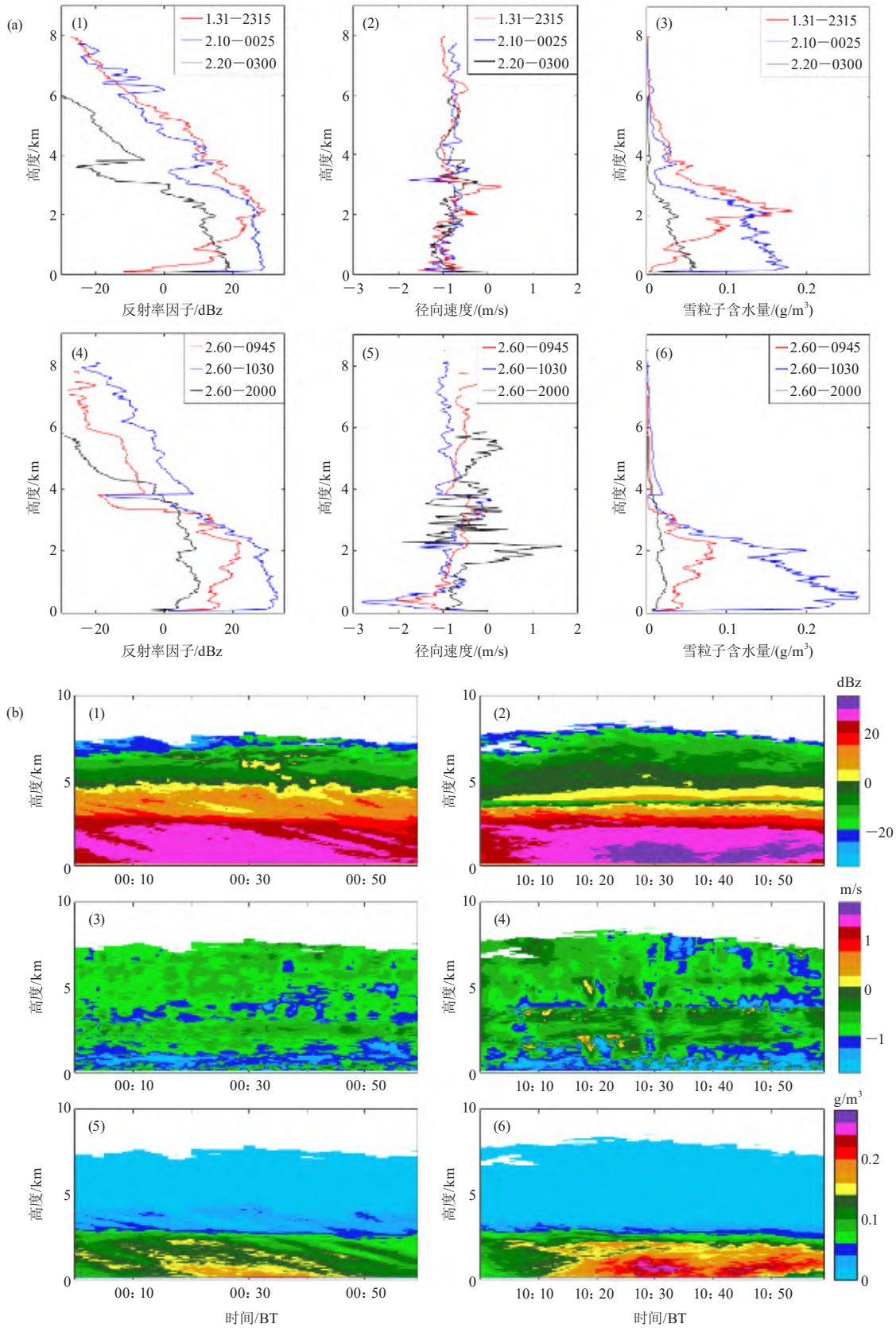


图6 2019年2月强降雪过程云雷达参数垂直廓线 (a) 及时空变化特征 (b)

Fig. 6 Vertical profile of cloud radar parameters and spatiotemporal variation characteristics during heavy snowfall in February 2019

术/多模式结果集成(融合)和释用系统;开展区域集合预报系统产品的加工和解释应用研发。

5) 中亚气象灾害防御技术。开展农牧林、能源、交通气象灾害致灾机理研究,构建致灾、预警、监测诊断与风险评估指标体系和防御标准,发展灾害发生监测识别方法、预测预警、风险评估与防御服务关键技术,为丝绸之路经济带核心区、中巴经济走廊气象防灾减灾提供技术支撑。开展中亚区域污染天气形成机理、区域联防联控、大气成分监测分析技术等研究,完善区域环境气象数值预报模式,开展污染天气综合预报预警技术研究;建立中亚区域生态气象遥感数据集,开展遥感探测新方法在灾害性天气预报中的应用。

#### 参考文献

- [1] Lioubimtseva E, Henebry G M. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability, and adaptations. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73(11): 963-977.
- [2] Li Z, Chen Y, Fang G, et al. Multivariate assessment and attribution of droughts in Central Asia. *Scientific reports*, 2017, 7(1): 1316.
- [3] Bothe O, Fraedrich K, Zhu X. Precipitation climate of Central Asia and the large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 2012, 108(3-4): 345-354.
- [4] Schiemann R, Lüthi D, Vidale P L, et al. The precipitation climate of Central Asia—intercomparison of observational and numerical data sources in a remote semiarid region. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 2008, 28(3): 295-314.
- [5] Aizen E M, Aizen V B, Melack J M, et al. Precipitation and atmospheric circulation patterns at midlatitudes of Asia. *International Journal of Climatology*, 2001, 21: 535-556.
- [6] Sorg A, Bolch T, Stoffel M, et al. Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). *Nature Climate Change*, 2012, 2(10): 725.
- [7] Chen F, Jia J, Chen J, et al. A persistent Holocene wetting trend in arid central Asia, with wettest conditions in the late Holocene, revealed by multi-proxy analyses of loess-paleosol sequences in Xinjiang, China. *Quaternary Science Reviews*, 2016, 146: 134-146.
- [8] Hu Z, Zhang C, Hu Q, et al. Temperature changes in Central Asia from 1979 to 2011 based on multiple datasets. *Journal of Climate*, 2014, 27(3): 1143-1167.
- [9] Mannig B, Müller M, Starke E, et al. Dynamical downscaling of climate change in Central Asia. *Global and Planetary Change*, 2013, 110: 26-39.
- [10] Huang J, Li Y, Fu C, et al. Dryland climate change: Recent progress and challenges. *Reviews of Geophysics*, 2017, 55(3): 719-778.
- [11] Chen F H, Huang W, Jin L Y, et al. Spatiotemporal precipitation variations in the arid Central Asia in the context of global warming. *Science China Earth Science*, 2011, 54: 1812-1821.
- [12] Hu Z, Zhou Q, Chen X, et al. Variations and changes of annual precipitation in Central Asia over the last century. *International Journal of Climatology*, 2017, 37: 157-170.
- [13] Hu Z, Chen X, Chen D, et al. “Dry gets drier, wet gets wetter”: a case study over the arid regions of central Asia. *International Journal of Climatology*, 2019, 39(2): 1072-1091.
- [14] Li Z, Chen Y, Li W, et al. Potential impacts of climate change on vegetation dynamics in Central Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2015, 120(24): 12345-12356.
- [15] Peng D D, Zhou T J, Zhang L, et al. Human contribution to the increasing summer precipitation in Central Asia from 1961 to 2013. *Journal of Climate*, 2018, 31(19): 8005-8012.
- [16] Chen F, Yu Z, Yang M, et al. Holocene moisture evolution in arid central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history. *Quaternary Science Reviews*, 2008, 27(3-4): 351-364.
- [17] Chen F H, Chen J H, Holmes J, et al. Moisture changes over the last millennium in arid central Asia: a review, synthesis and comparison with monsoon region. *Quaternary Science Reviews*, 2010, 29(7-8): 1055-1068.
- [18] Caves J K, Winnick M J, Graham, et al. Role of the westerlies in Central Asia climate over the Cenozoic. *Earth and Planetary Science Letters*, 2015, 428: 33-43.
- [19] Chen F, Chen J, Huang W, et al. Westerlies Asia and mon-soonal Asia: Spatiotemporal differences in climate change and possible mechanisms on decadal to sub-orbital timescales. *Earth-Science Reviews*, 2019, 192: 337-354.
- [20] Huang W, Chen J H, Zhang X J, et al. Definition of the core zone of the “westerlies-dominated climatic regime”, and its controlling factors during the instrumental period. *Science China: Earth Sciences*, 2015, 58(5): 676-684.
- [21] Huang W, Feng S, Chen J, et al. Physical mechanisms of summer precipitation variations in the Tarim Basin in Northwestern China. *Journal of Climate*, 2015, 28: 3579-3591.
- [22] Huang W, Chang S Q, Xie C L, et al. Moisture sources of extreme summer precipitation events in North Xinjiang and their relationship with atmospheric circulation. *Advances in Climate Change Research*, 2017, 8(1): 12-17.
- [23] Huang W, Chen J H, Zhang X J, et al. Definition of the core zone of the “westerlies-dominated climatic regime”, and its controlling factors during the instrumental period. *Science China Earth Sciences*, 2015, 58(1): 676-684.
- [24] Huang W, Feng S, Chen J, et al. Physical mechanisms of summer precipitation variations in the Tarim Basin in Northwestern China. *Journal of Climate*, 2015, 28(9): 3579-3591.
- [25] Huang W, Chen F H, Feng S, et al. Interannual precipitation variations in the mid-latitude Asia and their association with large-scale atmospheric circulation. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(32): 3962-3968.
- [26] Feng S, Hu Q. Variations in the teleconnection of ENSO and summer rainfall in northern China: A role of the Indian summer monsoon. *Journal of Climate*, 2004, 17(24): 4871-4881.
- [27] Feng S, Hu Q. How the North Atlantic Multidecadal Oscillation may have influenced the Indian summer monsoon during the past two millennia. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(1): L01707.
- [28] Wei W, Zhang R, Wen M, et al. Impact of Indian summer monsoon on the South Asian high and its influence on summer rainfall over China. *Climate Dynamics*, 2014, 43(5-6): 1257-1269.
- [29] Zhang X, Jin L. Association of the Northern Hemisphere circumglobal teleconnection with the Asian summer monsoon during the Holocene in a transient simulation. *The Holocene*, 2016, 26(2): 290-301.
- [30] 戴新刚, 汪萍, 张凯静. 近60年新疆降水趋势与波动机制分析. *物理学报*, 2013, 62(12): 1-11.
- [31] 杨莲梅, 关学锋, 张迎新. 亚洲中部干旱区降水异常的大气环流特征. *干旱区研究*, 2018, 35(2): 249-259.
- [32] Zhao Y, Zhang H. Impacts of SST warming in tropical Indian Ocean on CMIP5 model-projected summer rainfall changes over Central Asia. *Climate Dynamics*, 2016, 46(9-10): 3223-3238.
- [33] Zhao Y, Huang A, Zhou Y, et al. Impact of the middle and upper tropospheric cooling over Central Asia on the summer rainfall in the Tarim Basin, China. *Journal of Climate*, 2014, 27(12): 4721-4732.
- [34] Zhang M, Chen Y, Shen Y, et al. Changes of precipitation extremes in arid Central Asia. *Quaternary International*, 2017, 436: 16-27.
- [35] 他志杰. 中亚地区干湿时空演变特征及未来情景预估研究. 新疆大学, 2019.
- [36] 迪丽努尔·托列吾别克. 中亚干湿气候变化及其大气环流异常分析. 南京: 南京信息工程大学, 2018.
- [37] Yao J, Tuoliewubieke D, Chen J, et al. Identification of drought events and correlations with large-scale ocean-atmospheric patterns of variability: a case study in Xinjiang, China. *Atmosphere*, 2019, 10(2): 94.
- [38] Yao J, Zhao Y, Chen Y, et al. Multi-scale assessments of droughts: a

- case study in Xinjiang, China. Science of The Total Environment, 2018, 630: 444-452.
- [39] 韩云环, 马柱国, 杨庆, 等. 增暖背景下新疆昼夜降水的变化特征. 气候与环境研究, 2014, 19(6): 763-772.
- [40] Dong W, Lin Y, Wright J S, et al. Summer rainfall over the southwestern Tibetan Plateau controlled by deep convection over the Indian subcontinent. Nature Communications, 2016, 7: 10925.
- [41] 谢泽明, 周玉淑, 杨莲梅. 新疆降水研究进展综述. 暴雨灾害, 2018, 37(3): 204-212.
- [42] 刘晶, 周玉淑, 杨莲梅, 等. 伊犁河谷一次极端强降水事件水汽输送特征分析. 大气科学, 2019, 43 (5): 959-974.
- [43] 刘晶, 周雅蔓, 杨莲梅, 等. 伊犁河谷“7·31”极端暴雨过程不稳定性及其触发机制研究. 大气科学, 2020, 待刊.
- [44] 陈春艳, 孔期, 李如琦. 天山北坡一次特大暴雨过程诊断分析. 气象, 2012, 38(1): 72-80.
- [45] 张云惠, 杨莲梅, 肖开提·多莱特, 等. 1971—2010年中亚低涡活动特征. 应用气象学报, 2012, 23(3): 312-321.
- [46] 张云惠, 陈春艳, 杨莲梅, 等. 新疆西部一次罕见暴雨过程的成因分析. 高原气象, 2013, 32(1): 191-200.
- [47] 杨莲梅, 李霞, 张广兴. 新疆夏季强降水研究若干进展及问题. 气候与环境研究, 2011, 16(2): 188-198.
- [48] 杨莲梅, 张云惠, 汤浩. 2007年7月新疆三次暴雨过程的水汽特征分析. 高原气象, 2012, 31(4): 963-973.
- [49] 张俊兰, 李娜, 秦贺, 等. 新疆一次暴雨过程的观测分析及水汽特征. 暴雨灾害, 2016, 35(6): 537-545.
- [50] 张云惠, 李海燕, 蔺喜禄, 等. 新疆西部持续性暴雨环流背景及天气尺度的动力过程分析. 气象, 2015, 41(7): 816-824.
- [51] 孔期, 郑永光, 陈春艳. 乌鲁木齐7-17暴雨的天气尺度与中尺度特征. 应用气象学报, 2011, 22(1): 12-22.
- [52] 李如琦, 李建刚, 唐冶, 等. 中亚低涡引发的两次新疆西部暴雨中尺度特征对比分析. 干旱气象, 2016, 34(2): 297-304.
- [53] 曾勇, 杨莲梅. 新疆西部一次暴雨强对流过程的中尺度特征分析. 干旱气象, 2017, 35(3): 475-484.
- [54] 曾勇, 杨莲梅. 新疆西部两次短时强降水天气中尺度特征对比分析. 暴雨灾害, 2017, 36(5): 410-421.
- [55] 曾勇, 杨莲梅. 新疆西部一次极端暴雨事件的成因分析. 高原气象, 2018, 37(5): 1220-1232.
- [56] 曾勇, 杨莲梅, 张迎新. 伊犁地区一次罕见特大暴雨中尺度系统的数值模拟. 干旱气象, 2020, 待刊.
- [57] Yang R, Liu Y, Ran L K, et al. Simulation of a torrential rainstorm in Xinjiang and gravity wave analysis. Chinese Physics B, 2018, 27(5): 059201.
- [58] 郭楠楠, 周玉淑, 邓国. 中亚低涡背景下阿克苏地区一次强降水天气分析. 气象学报, 2019, 77(4): 686-700.
- [59] 杨莲梅, 张云惠, 秦贺. 中亚低涡研究若干进展及问题. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(5): 1-8.
- [60] 曾勇, 周玉淑, 杨莲梅. 新疆西部一次大暴雨形成机理的数值模拟初步分析. 大气科学, 2019, 43 (2): 372-388.
- [61] 杨莲梅. 中亚低涡年鉴1971—2017. 北京: 气象出版社, 2019.

## 世界气象组织“气象环境与COVID-19”会议专家组介绍 (I)

### 张伊

世界气象组织(WMO)参与策划和组织的“气象环境与COVID-19”会议, 2020年8月在线召开, 这次会议专家组的15位成员中, 代表WMO的首席科学家、以及代表WMO和WHO(国际卫生组织)的两位专家全程参与主持会议(其余专家组成员见53页), 两位专家的背景情况简介如下。

### 于尔格·卢特巴赫 (Jürg Luterbacher)



于尔格·卢特巴赫教授是WMO科学与创新司司长。他1968年生于瑞士, 曾在瑞士伯尔尼大学学习自然地理学、植物学、化学和地质学, 获得伯尔尼大学理学院气候科学博士学位。卢特巴赫曾在瑞士Meteotest公司担任首席天气预报员。在过去的10年里, 他回到校园, 一直活跃在气候学、气候动力学和气候变化领域, 曾担任地理系主任, 同时是德国吉森大学国际发展与环境研究中心的成员。自2020年1月起担任WMO科学与创新司司长, 同年5月起担任WMO首席科学家。

卢特巴赫教授是政府间气候变化专门委员会(IPCC)评估报告(AR5)第5章“来自古气候档案的信息”的主要作者、AR4的共同作者。最近为本科

学生出版了一本关于气候学基础知识的书。此外, 还担任了各种气象学和气候学杂志的编辑。

### 乔伊·舒马克-吉列莫特 (Joy Shumake-Guillemot)



乔伊·舒马克-吉列莫特博士是WHO/WMO气候与健康联合办公室全球高温健康信息网络联合主席。她1998年在密歇根大学取得学士学位, 2012年于约翰霍普金斯大学取得环境卫生科学的公共卫生博士学位, 现任WHO/WMO

在瑞士日内瓦的气候与卫生联合办公室负责人。她也是一名环境卫生科学家和公共卫生从业人员, 曾与WHO、WMO、联合国儿童基金会和其他机构合作, 制定适应气候变化和风险管理的公共卫生政策和方案, 在非洲、亚洲和拉丁美洲均有丰富的实地经验, 支持公共卫生和人道主义援助项目。

舒马克-吉列莫特博士目前的工作重点, 是使WMO和WHO能够充分合作, 加速气候和天气信息的提供、获取和使用, 从而改善公共卫生政策和实践。作为全球高温健康信息网络的创始人和联合协调员, 在联合国环境署、世卫组织和气象组织之间的卫生、环境和气候变化联盟(HECCC)中发挥主导协调作用。

(作者单位: 中国气象局气象干部培训学院)