

牛法宝, 杞明辉, 杨素雨, 等. 2013. MJO 不同活动中心位置对云南冬半年降水过程的影响. 气象, 39(9): 1145-1153.

MJO 不同活动中心位置对云南冬半年降水过程的影响^{* 1}

牛法宝¹ 杞明辉¹ 杨素雨¹ 琚建华²

¹ 云南省气象台, 昆明 650034

² 云南省气象局, 昆明 650034

提 要: 通过对热带对流季节内振荡(MJO)的研究和业务实践应用表明, 利用对 MJO 传播过程来研究延伸期(10~30 d)天气已经成为一种新的、可行的手段。然而, 在明确了 MJO 的活动位置条件下如何依据大气环流条件来把握云南冬季降水过程的延伸期预测, 是预报实践中需要解决的重要问题。本文考虑云南冬半年在有北方冷空气南下入侵云南前提下, MJO 活动位置(分为“干窗口”和“湿窗口”两种情况)及有无合适的水汽引导环流条件(分为“孟加拉湾一带 90°E 附近有南支槽系统”和“孟加拉湾至中南半岛西侧一带为反气旋环流”两种情况)主要有 4 种不同的配置类型, 选取 MJO 影响下前 3 种不同配置类型的天气过程进行对比分析, 期望能为云南冬半年延伸期天气预测过程中较好地把握过程降水及降水强度提供理论依据。分析表明: MJO 活动中心进入孟加拉湾及西太平洋热带地区(本文称之为 MJO“湿窗口”)以后将会充分激发这些地区的对流活动, MJO 活动中心在孟加拉湾及西太平洋热带以外地区(本文称之为 MJO“干窗口”)时不能充分激发云南上游热带地区的对流活动。在有北方南下冷空气影响云南的背景情况下, MJO 在“湿窗口”时, 要使云南出现大范围的降水天气过程必须还要有合适的环流条件(90°E 附近南支槽前或西太平洋副热带高压西侧的偏南气流)引导热带地区的水汽进入云南; MJO 在“干窗口”时, 即便有合适的水汽输送与扰动环流条件, 仍然不能造成云南大范围的降水天气过程。由于 MJO 在激发水汽方面的贡献非常明显, 利用 MJO 的东传规律可以有效地进行云南冬半年降水的延伸期天气预测, 并对中短期天气预报业务起到很好的指导作用。

关键词: MJO, 干湿窗口, 云南, 冬半年, 降水过程

中图分类号: P461

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.09.009

Influence of MJO Center Position on Precipitation Process of Yunnan in Winter Half Year

NIU Fabao¹ QI Minghui¹ YANG Suyu¹ JU Jianhua²

¹ Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034

² Yunnan Meteorological Bureau, Kunming 650034

Abstract: The research of MJO has showed that it is a new and workable method for studying the extended-period weather forecast (10 to 30 days) to use the propagation process of MJO. However, how to predict the extended-period rainfall process in winter Yunnan is an important problem to be solved in forecast operations. In this paper, rainfall circulation configurations under the influence of MJO are divided into three types, and the corresponding three weather processes are contrasted and analyzed in order to find the forecast predictors for the extended-period weather forecast. The results showed that firstly, the tropical

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306022)、NSFC-云南省联合基金项目(U0833602 和 U1133603)及气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2013M48)共同资助

2012 年 6 月 29 日收稿; 2012 年 8 月 18 日收修定稿

第一作者: 牛法宝, 主要从事中短期天气气候预测和研究. Email: fbybs@163.com

通信作者: 琚建华, 主要从事全球气候变化和热带季风研究. Email: jujh@cma.gov.cn

convection activities will be fully aroused when MJO activity center enters into the west Bengal and tropical regions of Pacific (called “wet window”). Otherwise, the tropical convection activity is not active in the upstream region of Yunnan (called “dry window”). Secondly, when MJO is in wet window, the occurrence of precipitation process is under the condition of cold air and suitable circulation. Southerly winds of Southern branch trough or the West Pacific subtropical high guides the water vapor into Yunnan. But, when MJO is in dry window, even though there is befitting condition of water vapor and circulation perturbation, the large-scale rainfall process does not happen.

Key words: MJO, dry-wet window, Yunnan, winter half year, precipitation process

引 言

近年来,在全球变暖的气候背景下,极端天气事件频频发生。特别是我国西南地区的严重干旱天气对人们的生产、生活造成了很大影响。因此,延伸期天气预报(10~30 d 天气预报)在库塘蓄水、人工增雨作业等抗旱救灾工作中的作用显得极其重要,社会对延伸期天气预报的长时效有着极其迫切的需求。然而当前开展延伸期天气预报的手段还非常有限。Madden 等(1971)研究发现热带大气在风场和气压场具有季节内振荡现象即 MJO(Madden-Julian Oscillation),并进一步证实了全球热带地区都存在类似的 MJO 特征,并逐步向东传。Wheeler 等(2004)创建了一个描述 MJO 观测结果的逐日独立指数即 RMM 指数(All-Season Real-Time Multivariate MJO Index,即全年实时多变量 MJO 指数)。近年来,利用 MJO 研究延伸期天气预报已经引起了国内外气象学者们的高度关注。通过分析研究认为:MJO 是热带大气季节内振荡的强信号,MJO 的传播不仅对热带天气和气候产生影响,也会通过对流强迫或遥相关对热带外天气和气候产生影响(丁一汇等,2010;蒋国荣等,2005;何金海等,1996;陶诗言等,2007;张娇等,2011;李多等,2012;李崇银等,2012;贾小龙等,2012;李崇银等,1998;琚建华等,2005)。可见,季节内振荡理论可以作为开展延伸期天气预报的基础(李崇银,2004)。

之前,琚建华等(1999;2008;2010)、李汀等(2012a)对热带印度洋 MJO 的活动规律,进行了深入的分析研究,并利用其东传特征针对云南干旱条件下延伸期降水预测的需求进行了一系列(4次)的云南冬半年(11月至次年5月)(许美玲等,2011)延伸期天气预测试验(李汀等,2012b;牛法宝等,2012)。试验的检验表明:利用 MJO 进行云南冬半年延伸期天气预测取得了较好的效果,当 MJO 活

动中心在孟加拉湾及西太平洋热带以外地区(本文称之为 MJO“干窗口”)时不能充分激发云南上游热带地区的对流活动,云南的降水极不明显;当 MJO 活动中心进入孟加拉湾及西太平洋热带地区(本文称之为 MJO“湿窗口”)以后将会充分激发这些地区的对流活动,云南的降水日数及降水强度明显增多、增强,确实为提高云南省气象台冬半年干湿预报和雨雪天气预报的水平提供了实用的理论依据(李汀等,2012b;牛法宝等,2012)。但云南冬半年“湿窗口”的降水实况也表明:在“湿窗口”并不是所有时段的降水呈正距平(即在“湿窗口”有可能呈多次过程降水)。此外在“湿窗口”期的同一次降水过程中,其逐日的降水强度差异也很大,历史资料表明 2010 年 12 月 11 日在 MJO 影响下云南出现少见的云南冬季暴雨天气过程。而云南冬半年的延伸期过程降水预测及降水强度预测在冰冻雨雪及干旱等灾害性天气的气象服务工作中意义更为深远。

此外,许美玲等(2011)经过对大量历史资料的统计认为:云南冬半年南支槽活动非常频繁,对于冬半年受西风带干燥气流控制的云南而言,东移过 90°E 的南支槽对云南的影响较大,南支槽系统是产生降水的主要天气系统;在有北方南下冷空气入侵云南的情况下,南支槽加强东移到 90°E 附近时槽前的西南气流与前期滞留在云贵高原上的冷空气汇合,将导致云南出现强降水天气过程。

因此,在有冷空气入侵云南的前提下,“不同 MJO 活动中心位置”以及“孟加拉湾一带 90°E 附近是否具有南支槽”都是影响云南冬半年降水天气的重要因素。为了更深入、详细地揭示 MJO 在云南冬半年降水过程中的贡献,更好地在延伸期天气预测中应用 MJO,本文将在分析研究以上两类“重要因素”对云南冬半年降水天气过程影响机理的基础上,着重从 MJO 活动规律与孟加拉湾一带热带地区水汽条件关系的角度结合云南降水实况进行详细对比分析,期望能为云南冬半年延伸期天气预测的

过程降水及降水强度提供较为可靠的理论依据。

1 资料与方法

本文使用澳大利亚气象局监测的逐日 MJO 指数、NCEP 每 6 h 一次的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料及云南省 08 时至 08 时的逐日降水数据。

美国 NOAA/CPC 的 MJO 指数 (CPC): 该 MJO 指数 (MJO-Index) 由美国国家气候中心 (Climate Prediction Center, CPC) 提供。用扩展型经验正交函数 (Extended Empirical Orthogonal Function, EEOF) 对 1979—2000 年间非 ENSO 年和弱 ENSO 年冬季 (当年 11 月至次年 4 月) $0^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$ 纬带上候平均 200 hPa 速度势 (200 hPa Velocity Potential, CHI200) 距平场进行分析, 用逐候 CHI200 距平在第一个 EEOF 的 10 个滞后模态 (time-lagged patterns) 上的投影分别构造出 10 个逐候 MJO 指数 (下称 MJO1—10), 它们分别对应着 MJO 对流主体位于不同经度位置时的变化。该指数可在如下网址获得: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_mjo_index/details.shtml。

根据 Wheeler 等 (2004) 创建地描述 MJO 的 RMM 指数, 可以将表征 MJO 活动中心的位置及强度按 8 个位相表示出来 (图 1)。MJO 从 1~8 位相逆时针东传, 各个不同的位相可反映 MJO 活动中心所处的地理位置。当 MJO 活动中心位置处于 3~6 位相时, MJO 活动中心在孟加拉湾—西太平洋热带地区 (即本文所称 MJO 进入“湿窗口”); 当 MJO 活动中心位置处于 7、8、1 和 2 位相时, MJO 活动中心在东太平洋—西半球—西印度洋热带地区 (即本文所称 MJO 进入“干窗口”)。

利用 MJO 开展云南省延伸期天气预测试验, 实际上是应用 MJO 30~60 d 的振荡周期及东传规律进行“干、湿窗口”的预测 (1~30 d 以上的水汽背景条件预测), 预测试验表明 (李汀等, 2012a; 牛法宝等, 2012): 在延伸期“降水趋势”的预报方面 MJO 的指示意义很强, 但没有解决“降水过程”预测问题。本文为了探讨这个问题, 着重从“MJO 与水汽、环流条件等因素的关系”方面入手, 分析应用 MJO 开展延伸期天气预测时需要关注的事项。

为了研究方便, 本文将 MJO 活动中心位置分为 MJO“干窗口”和 MJO“湿窗口” (下同); 对于“水汽输送环流条件”, 本文将孟加拉湾一带 90°E 附近有南支槽系统称“具备合适的水汽输送环流条件”,

把与此完全相反的环流形势 (即孟加拉湾至中南半岛西侧一带为反气旋环流) 称“不具备合适的水汽输送环流条件” (下同)。

本文在对 MJO 活动中心所处不同位置和孟加拉湾一带不同水汽输送环流条件的不同配置进行分类、定义的基础上, 除了对不同配置类型下天气过程的影响因素进行对比分析以外, 还对不同配置类型下天气过程的水汽通量、水汽通量散度、垂直速度等物理量进行诊断分析。

2 MJO 活动中心位置与水汽输送环流条件的配置类型及不同配置类型下天气过程个例的选取原则

冬半年, 在有北方冷空气南下入侵云南的前提下, 依据传统经验云南能否出现大范围降水 (降雪) 天气过程, 主要看 90°E 附近有无南支槽前 (或西太平洋副热带高压西侧) 的偏南气流 (即西南暖湿气流) 影响云南 (许美玲等, 2011)。同时, 在实际业务预测当中, 李汀等 (2012b) 和牛法宝等 (2012) 发现热带 MJO 的活动对云南大范围降水过程具有显著的影响, 而过去的研究基本没有考虑到 MJO 的作用。为了客观地分析 MJO 活动中心位置与不同水汽输送环流条件配置下可能对云南大范围降水的影响, 根据对影响云南冬半年降水的环流形势和 MJO 中心活动位置的普查, 我们发现可以根据孟加拉湾一带水汽输送环流条件与 MJO 活动中心位置而将影响云南冬半年降水天气形势配置类型分为 4 种 (表 1)。

天气过程的选取原则: 为了便于对比分析每个天气过程以 7 天 (一周) 为时间长度; 每个天气过程必须符合配置类型的分型条件。具体分型如下。

类型 I: 地面有北方冷空气入侵云南; MJO 位于“湿窗口”; 具备“合适的水汽输送环流条件” (表 1)。

选择 2010 年 12 月 6—12 日的天气过程作为类型 I 的典型个例 (表 2)。在该时段 MJO 位于“湿窗口” (图 1), 500 hPa 高度场在 90°E 以西印度次大陆东侧有南支槽缓慢东移, 地面有北方冷空气南下入侵云南。在该过程中, 南支槽于 12 月 11 日移到 90°E 附近, 其低槽发展最为强盛, 故重点分析该日的水汽及环流形势。

类型 II: 地面有北方冷空气入侵云南; MJO 位于“湿窗口”; 但不具备“合适的水汽输送环流条件” (表 1)。

表 1 4 种不同类型天气过程形势配置

Table 1 The four circulation configurations of 4 different weather processes

天气过程配置类型	类型 I	类型 II	类型 III	类型 IV
MJO 活动中心位置	湿窗口	湿窗口	干窗口	干窗口
合适的水汽引导环流条件	具备	不具备	具备	不具备
北方南下冷空气入侵云南	有	有	有	有

表 2 3 种不同配置类型天气过程的个例时段

Table 2 The time of rainfall processes corresponding three circulation configurations

类型	年月	日期						
		第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天	第 6 天	第 7 天
I	2010 年 12 月	06 日	07 日	08 日	09 日	10 日	11 日	12 日
II	2011 年 12 月	19 日	20 日	21 日	22 日	23 日	24 日	25 日
III	2011 年 11 月	12 日	13 日	14 日	15 日	16 日	17 日	18 日

选择 2011 年 12 月 19—25 日的天气过程作为类型 II 的典型个例(表 2)。在该时段 MJO 位于“湿窗口”(图 1),该时段 500 hPa 高度场在 90°E 以西印度次大陆东侧没有南支槽的活动,该地区为反气旋天气环流控制,地面有北方冷空气南下入侵云南。2011 年 12 月 23 日孟加拉湾一带的反气旋形势最为明显,故重点分析该日的水汽及环流形势。

类型 III:地面有北方冷空气入侵云南;具备“合适的水汽输送环流条件”;但 MJO 位于“干窗口”(表 1)。

选择 2011 年 11 月 12—18 日的天气过程作为类型 III 的典型个例(表 2)。在该时段 MJO 位于“干窗口”(图 1),500 hPa 高度场在 90°E 以西印度次大陆东侧有南支槽的缓慢东移,地面有北方冷空气南下入侵云南。在该过程中,南支槽于 11 月 14 日移到 90°E 附近,其低槽发展最为强盛,故重点分析该日的水汽及环流形势。

类型 IV:地面有北方冷空气入侵云南;但 MJO 位于“干窗口”;也不具备“合适的水汽输送环流条件”(表 1)。

此类型下不论从哪个因素考虑均不利于云南出现大范围的显著降水,故本文对该类型天气过程不作分析,以下的研究分析仅以前三种配置类型为主。

3 三种配置类型的天气过程中 MJO 活动中心位置及云南降水实况

李汀等(2012a)和牛法宝等(2012)利用热带印度洋 MJO 的活动规律,针对云南冬半年延伸期降水预测的需求进行了一系列的云南冬半年延伸期天气预测试验。这些试验发现:当 MJO 活动中心位

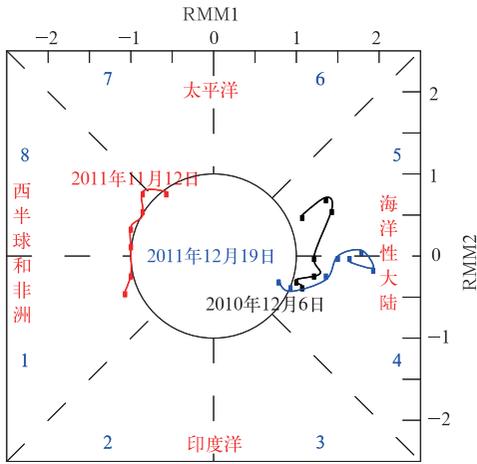
于“湿窗口”时对云南冬季延伸期降水预测有很好的指示意义;但同时发现:MJO 在“湿窗口”阶段,并不是整个时段云南都会出现降水。因此,在应用 MJO 进行延伸期天气预测过程中,除了要考虑 MJO 活动中心位置条件外,还需考虑哪些因素是本文研究的重点。

图 1 给出了本文选取的 3 次天气过程中 MJO 的活动情况。本文用不同的颜色标出了 3 次过程中 MJO 活动的位置和强度。过程一(黑线)和过程二(蓝线)中 MJO 位于“湿窗口”,过程三(红线)中 MJO 位于“干窗口”。

图 2 给出了三种类型过程中对应的云南大范围降水的逐日演变情况。表明:只有类型一的情况下云南出现了显著的降水,而另外两种类型则没有出现显著降水。

类型 I 天气过程在 2010 年 12 月 6—12 日期间,及类型 II 天气过程在 2011 年 12 月 19—25 日期间,MJO 活动中心位置均在“湿窗口”,云南的降水应该是显著的(李汀等,2012b;牛法宝等,2012),但图 2 却表明类型 II 天气过程中云南逐日的降水量基本呈负距平。类型 III 天气过程在 2011 年 11 月 12—18 日期间,90°E 附近有南支槽系统东移,同时有冷空气南下入侵云南,依据传统预报经验,云南将出现大范围的强降水天气(许美玲等,2011),但在这次天气过程中云南逐日的降水量仍然呈负距平(图 2)。

图 3 给出了本文选取的 3 次天气过程中云南过程降水的分布情况。图 3a 为 2010 年 12 月 6—12 日期间的过程累积降水量分布图,由该图知:云南出现大范围降水天气,其中滇中及以南地区的降水基本上在 25 mm 以上。图 3b 为 2011 年 12 月 19—25 日期间的过程累积降水量分布图,由该图知:云南东



← 2010年12月6—12日 → 2011年12月19—25日 → 2011年11月12—18日

图 1 三次天气过程的 MJO 逐日东传示意图
Fig. 1 The sketch map of MJO eastward and daily transmission in three rainfall processes

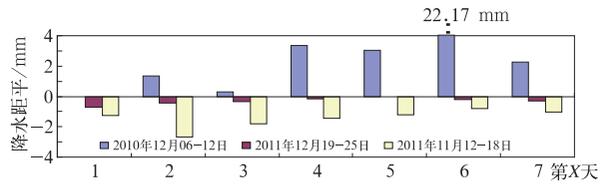


图 2 三次天气过程的逐日降水距平合成图(单位: mm)
Fig. 2 The anomaly composition map of daily precipitation in three rainfall processes (unit: mm)

月 12—18 日期间的过程累积降水量分布图, 由该图知: 云南仅在滇东北、滇西北出现小范围的累积降水量在 1~10 mm 之间的降水天气, 其他大部分地区的过程累积降水量在 1 mm 以下, 基本无有效降水。

南支槽系统是云南冬半年影响降水的主要天气系统之一(许美玲等, 2011), 而 MJO 作为一个具有季节内振荡时间尺度的扰动系统, 在云南冬半年的降水预测中也有很好的指示意义(李汀等, 2012a; 牛法宝等, 2012), 这两个不同时间尺度系统之间的相互配置对云南大范围降水的影响机理, 将是本文后面需要着重分析的问题。

部地区受静止锋天气系统影响累积降水量在 1~10 mm 之间, 除此之外, 其他大部分地区的过程累积降水量基本上在 1 mm 以下。图 3c 为 2011 年 11

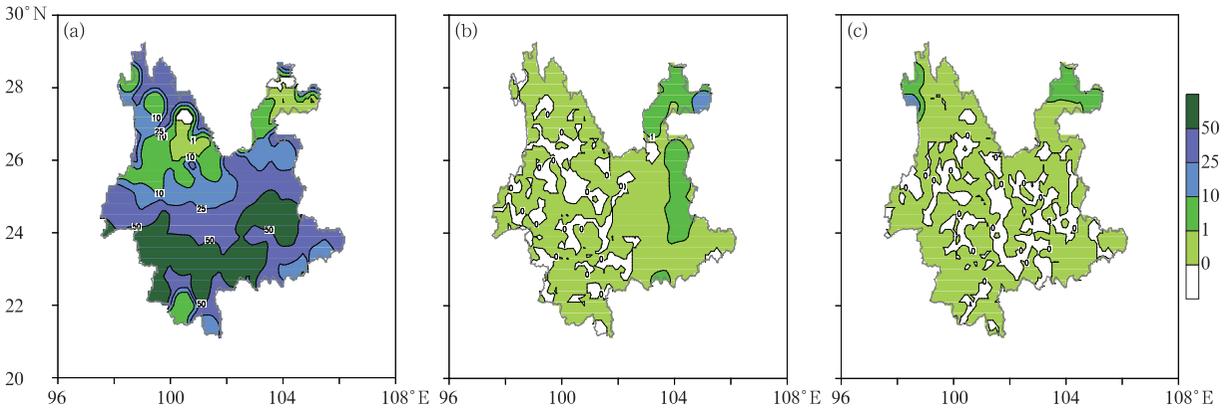


图 3 2010 年 12 月 6—12 日(a)、2011 年 12 月 19—25 日(b)和 2011 年 11 月 12—18 日(c) 云南过程降水分布(单位: mm)

Fig. 3 The precipitation distributions over Yunnan in December 6 to 12, 2010 (a), December 19 to 25, 2011 (b), November 12 to 18, 2011 (c) (unit: mm)

4 MJO 影响下三种配置类型天气过程的大气环流背景及物理量条件分析

4.1 类型 I 的天气过程大气环流背景及物理量条件

类型 I 典型过程(2010 年 12 月 6—12 日)中,

由于 MJO 活动中心的位置在“湿窗口”(图 1), 该时段内云南出现一次明显的连续性降水天气过程(图 2), 12 月 11 日降水强度达到暴雨降水过程标准。由 500 hPa 逐日(图略)形势图可知, 过程一时段内青藏高原南部南支槽活动非常活跃, 11 日南支槽东移到 90°E 以西的印度次大陆东侧区域后明显加深, 孟加拉湾至云南一带受南支槽前的西南气流控制(图 4a), 云南中部及以南地区的降水明显加强, 云南 125 个测站中, 出现大雨 31 个测站, 暴雨

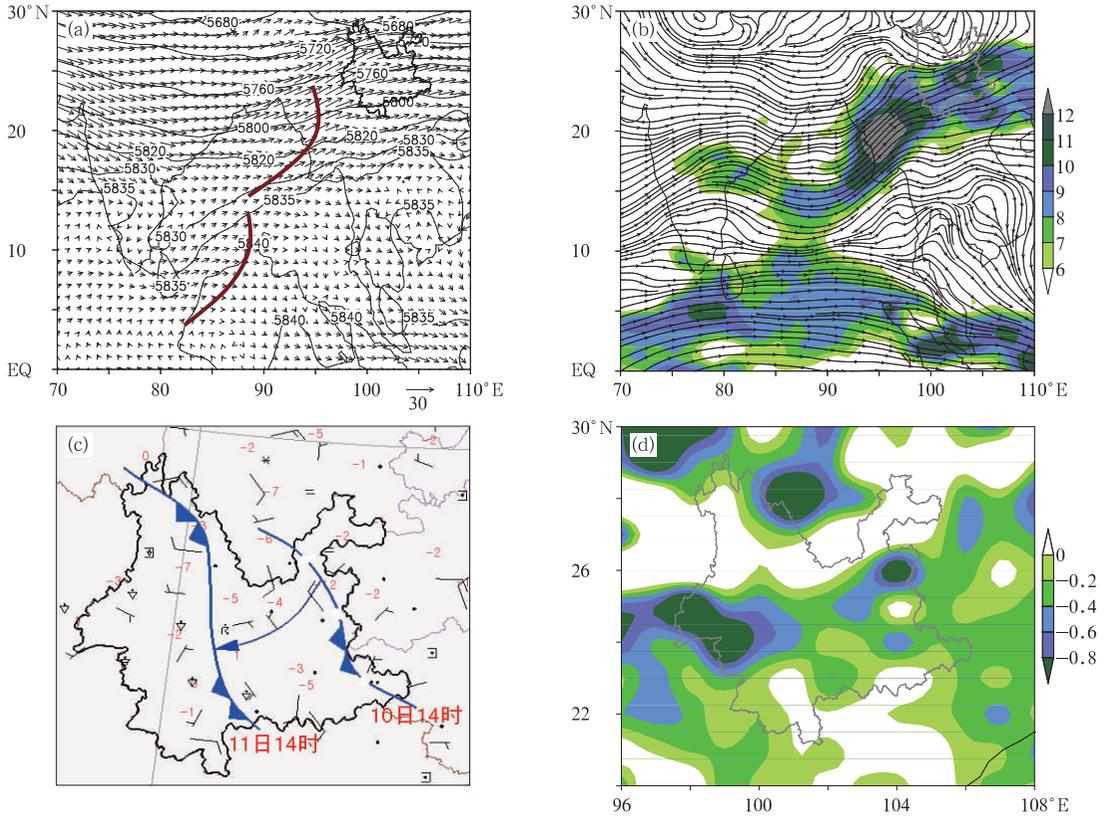


图 4 2010 年 12 月 11 日 08 时 500 hPa 风场、高度场(a, 单位: gpm), 08 时 700 hPa 流场及水汽通量(b, 单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), 14 时地面形势(24 h 变温)(c, 单位: $^{\circ}\text{C}$), 14 时 700 hPa 垂直速度(d, 单位: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 4 The wind and height fields at 500 hPa at 08:00 BT 11 December 2010 (a, unit: gpm), the flow field and vapor flux at 700 hPa at 08:00 BT (b, unit: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$), temperature variations in 24 h in the weather situation of surface at 14:00 BT (c, unit: $^{\circ}\text{C}$), the vertical velocity at 700 hPa at 14:00 BT 11 December 2010 (d, unit: $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

16 个测站,达到全省性暴雨天气过程,其降水分布如图 3a 所示,这在冬半年云南季节性干季出现如此大范围的强降水,在历史上是极为罕见的。分析 700 hPa 热带地区的水汽条件表明:由于 MJO 在“湿窗口”(见图 1),700 hPa 热带地区的水汽条件非常好(图略),特别是 11 日强降水发生前 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}\text{N}$ 、 $80^{\circ} \sim 100^{\circ}\text{E}$ 一带的水汽通量达 $6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上(图 4b),水汽条件非常充沛。而 500 hPa 的环流背景有利于引导赤道附近孟加拉湾一带被 MJO 激发起来的大量水汽(即 MJO 激发该区域对流活动,进而导致该区域大气中的水汽含量充沛,下同)向云南输送,云南中部及以南地区的水汽通量达 $6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。同时,北方南下冷空气 10—11 日在云南自东北向西南方向加强推进(图 4c),700 hPa 云南大部分地区存在明显的上升运动(图 4d)。

可见,云南冬季类型 I 天气过程产生连续性降水的主要原因是:MJO 活动中心进入“湿窗口”充分激发了孟加拉湾一带热带地区的水汽,为此配置类型下云南大范围的降水过程提供了源源不断的水汽;合适的水汽引导环流条件(南支槽前的西南气流)使“水汽源地”的充沛水汽向云南输送成为可能;北方南下冷空气进入云南,加强了云南境内气流的辐合上升运动。这种形势在 12 月 11 日最为明显,进而导致 11 日云南冬季暴雨天气过程的出现。故 2010 年 12 月 11 日云南冬季暴雨天气过程是在 MJO,以及 90°E 附近东移南支槽及北方南下冷空气的共同影响下产生的。

4.2 类型 II 的天气过程大气环流背景及物理量条件

类型 II 典型过程在 2011 年 12 月 19—25 日期

间 MJO 也处于“湿窗口”(图 1),但云南省并没有出现明显的降水天气过程(图 2 及图 3b)。由逐日 700 hPa 水汽条件分析表明:12 月 19—25 日过程期间,热带地区 $0^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 、 $80^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 一带的水汽条件依然很好(图略),其中 12 月 23 日在 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 、 $80^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 一带的水汽通量达 $5\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,特别是 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 一带的水汽通量高达 $12\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上(图 5b)。可见, MJO 处于湿窗口时热带地区孟加拉湾南部水汽条件是非常充

沛的。同时,北方南下冷空气 22—23 日在云南自东部向西推进(图 5c),700 hPa 云南大部分地区存在明显的上升运动(图 5d)。然而 500 hPa 逐日形势图(图略)则表明,在 19—25 日期间中南半岛至孟加拉湾一带为反气旋环流形势所控制,23 日孟加拉湾一带的反气旋环流形势最为明显(图 5a)。在这种环流背景下,热带地区的水汽不能向云南一带输送,致使云南境内 700 hPa 水汽通量值基本没有大于 $6\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的区域。

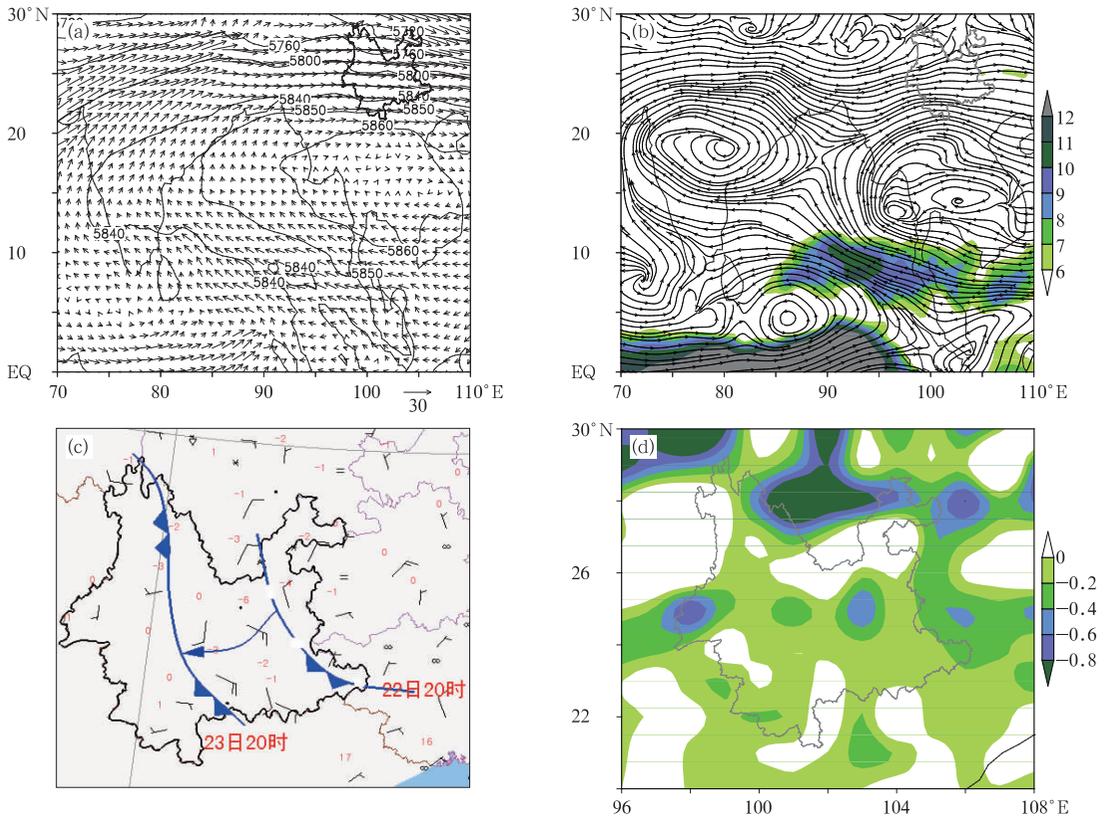


图 5 2011 年 12 月 23 日 08 时 500 hPa 风场及高度场(a, 单位: gpm), 08 时 700 hPa 流场及水汽通量(b, 单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$), 20 时地面形势(24 h 变温)(c, 单位: $^{\circ}\text{C}$), 14 时 700 hPa 垂直速度(d, 单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

Fig. 5 Same as Fig. 4, but in December 23, 2011

因此,当 MJO 活动中心位置进入“湿窗口”后,云南降水的主要水汽源地(孟加拉湾南部热带地区)的水汽同样也被很好地激发了起来;受北方南下冷空气的影响,云南境内中、低层有较好的扰动上升运动;但是,500 hPa 没有合适的水汽引导环流条件(孟加拉湾至中南半岛一带为反气旋环流),孟加拉湾一带热带地区充沛水汽无法向云南输送。故此类型下 MJO 的活动已经为云南水汽源地提供了充沛的水汽条件,北方南下冷空气也入侵到云南,但“没

有合适的水汽引导环流条件”,形成了云南冬季环流配置的第二种类型。这种环流配置是导致云南不出现大范围显著降水的主要原因。

4.3 类型 III 的天气过程大气环流背景及物理量条件

通过详细分析类型 III 典型过程 500 hPa 逐日天气形势可知:2011 年 11 月 12—18 日青藏高原南部南支槽天气系统的活动也比较频繁(图略),特别是

11月14日东移的南支槽在 90°E 以西的印度次大陆东侧区域后同样也明显加深, 9°N 、 85°E 附近还有一个热带气旋活动,孟加拉湾至云南一带受南支槽前的西南气流控制(图6a)。这样的环流背景有利于引导热带地区孟加拉湾一带的水汽向云南输送(有合适的水汽引导环流条件)。同时,通过地面形势分析可知,11月11—14日北方南下冷空气也加强进入云南(图6c),700 hPa云南大部分地区存在明显的上升运动(图6d)。按以往的预报经验:这样的天气系统配置是云南出现强降水的形势(许美玲

等,2011)。但11月14日及前后云南逐日的降水量呈负距平(图2及图3c)。从MJO的影响来看:在2011年11月12—18日期间,由于MJO活动中心位置在“干窗口”(图1)。该时段700 hPa孟加拉湾至中南半岛一带南部热带地区的水汽条件很差(图略),其中14日 $0^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 、 $80^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 一带在有热带气旋活动的情况下,该区域的水汽通量几乎都在 $6\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,云南大部分地区的水汽通量也基本在 $6\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下(图6b)。

可见,即使有北方南下冷空气的配合,且孟加拉

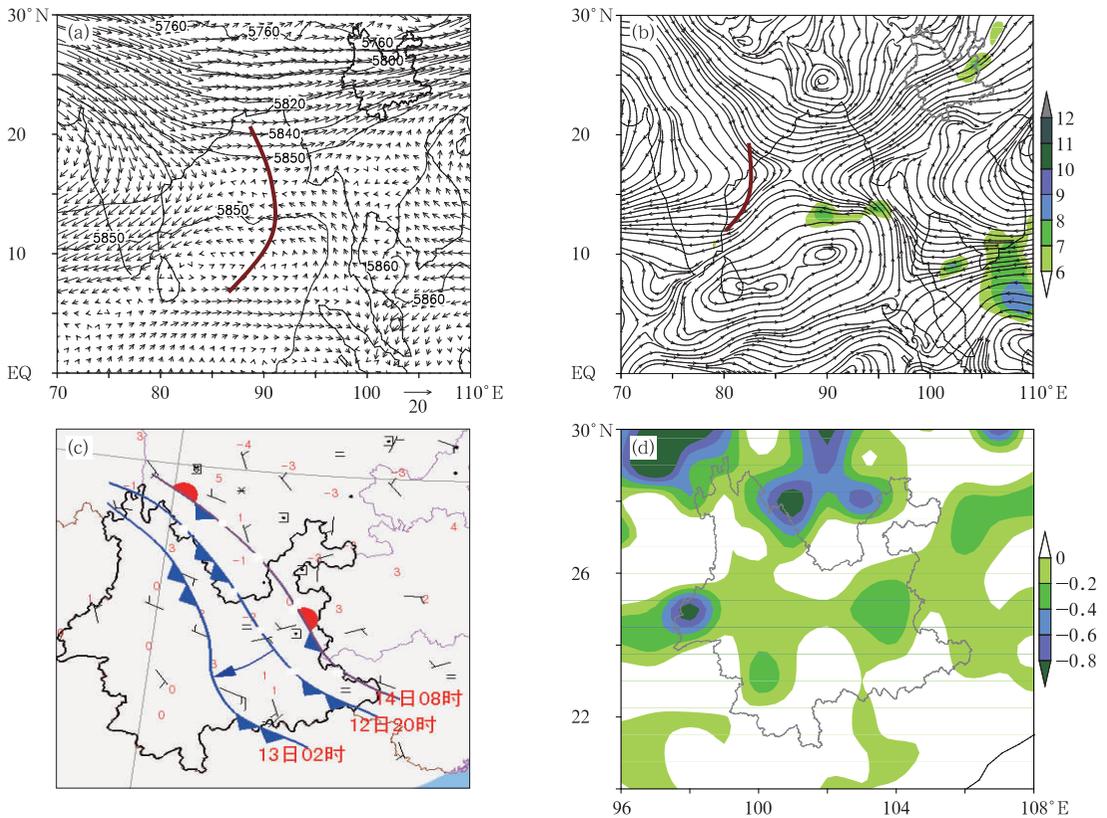


图6 2011年11月14日08时500 hPa风场及高度场(a,单位: gpm),
08时700 hPa流场及水汽通量(b,单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$),
02时地面形势(24 h变温)(c,单位: $^{\circ}\text{C}$),
14时700 hPa垂直速度(d,单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)

Fig. 6 Same as Fig. 4, but in November 14, 2011

湾南部即便有热带气旋活动,但由于MJO活动中心位置不在“湿窗口”,热带地区孟加拉湾南部的蒸汽就不能被很好地激发起来; 90°E 附近南支槽前的西南气流向云南境内输送的蒸汽就非常有限,导致这种环流背景下不易在云南形成大范围的降水天气过程。

综上所述:在有北方南下冷空气进入云南的背

景下,MJO活动中心位置在“湿窗口”、有合适的水汽引导环流条件,云南将出现大范围的显著降水(类型I);MJO活动中心位置在“湿窗口”、没有合适的水汽引导环流条件,云南则不会出现大范围的显著降水(类型II);有合适的水汽引导环流条件、MJO活动中心位置在“干窗口”,云南也不会出现大范围的显著降水(类型III)。

5 结论与讨论

通过以上对比分析,初步得到以下结论:

(1) MJO 进入“湿窗口”以后将会充分激发热带地区对应区域洋面的水汽,水汽通量可达 $6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,在合适的水汽引导环流条件配合下,有利于云南出现大范围的降水过程。MJO 在“干窗口”时,云南上游地区(孟加拉湾及南海邻近地区)水汽源地对流活动受到抑制,孟加拉湾及南海热带洋面的水汽不足,难以供应云南出现大范围的降水过程。

(2) 云南冬半年出现全省性强降水需要同时具备 3 个条件: MJO 活动中心位于“湿窗口”,活跃的对流活动使云南冬半年降水的水汽源地具备了充沛的水汽条件;有合适的水汽引导环流条件(南支槽前或西太平洋副热带高压西侧的偏南气流),使得热带充沛的水汽得以源源不断地被输送到云南;北方南下冷空气入侵云南,与南方北上的暖湿气流辐合交汇。

(3) 利用 MJO 进行云南冬半年延伸期天气预测时,在“湿窗口”云南出现较强的降水天气过程必须有合适的环流条件引导热带地区的水汽进入云南,在“干窗口”即便有合适的水汽引导环流条件,仍然不能在云南造成较强的降水天气过程。

(4) 由于 MJO 在激发水汽方面的贡献非常明显,利用 MJO 的东传规律及位相预测,不仅可以很好地进行云南冬半年延伸期天气预测,在中短期天气预测业务中仍然有很好的指导作用。

通过对影响云南的 3 类 MJO 和其他环流配置过程的分析研究认为: 以下几个问题需要进一步加以重视。

(1) 目前虽然对 MJO 的研究及应用 MJO 开展云南冬半年延伸期降水天气预测取得了一定效果(李汀等, 2012a; 牛法宝等, 2012), 但是导致云南出现大范围降水天气过程的因素是复杂的, 同时 MJO 对热带及热带外地区天气的影响也是多方面的。目前关于 MJO 对天气的影响大多以定性为主, 因此, 关于 MJO 对其他天气系统的影响以及从定量的角度研究 MJO 对降水的影响是未来需要进一步研究的方向。

(2) 关于 MJO 活动中心位置对云南降水过程的影响, 文本仅针对冬半年 3 种基本形势配置作了对比分析, 在其他季节, 特别是夏季风建立以后, 影

响云南降水的天气系统发生了变化, 水汽输送环流系统也发生了变化, 而且, 在夏半年 MJO 的强度转弱, 影响云南的降水天气过程更加复杂。利用 MJO 活动规律开展云南降水延伸期天气预测, 还需要做更加深入的研究。

(3) 大量的研究表明 MJO 的活动规律在延伸期预测中有重要意义, 因此对 MJO 的监测及预测将是一件极为迫切的工作。

参考文献

- 丁一汇, 梁萍. 2010. 基于 MJO 的延伸预报. 气象, 36(7): 111-122.
- 何金海, 丁一汇. 1996. 亚洲季风研究的新进展. 北京: 气象出版社.
- 贾小龙, 袁媛, 任福民, 等. 2012. 热带大气季节内振荡(MJO)实时监测预测业务. 气象, 38(4): 425-431.
- 蒋国荣, 刘庭杰, 何金海. 2005. 热带季节内振荡研究新进展. 南京气象学院学报, 28(2): 281-288.
- 琚建华, 刘一伶, 李汀, 等. 2010. 南海夏季风季节内振荡的年际变化研究. 大气科学, 34(2): 253-261.
- 琚建华, 钱诚, 曹杰. 2005. 东亚夏季风的季节内振荡研究. 大气科学, 29(2): 187-194.
- 琚建华, 孙丹, 吕俊梅. 2008. 东亚季风区大气季节内振荡经向与纬向传播特征分析. 大气科学, 32(3): 523-529.
- 琚建华, 叶乃青. 1999. 云南初夏雨量与前期热带 OLR 的联系. 热带气象学报, 15(1): 76-80.
- 李崇银. 2004. 大气季节内振荡研究的新进展. 自然科学进展, 14(7): 734-741.
- 李崇银, 李桂龙. 1998. 热带大气季节内振荡的进一步分析. 气候与环境研究, 3(1): 27-37.
- 李崇银, 潘静, 田华, 等. 2012. 西北太平洋台风活动与大气季节内振荡. 气象, 38(1): 1-16.
- 李多, 肖子牛, 李泽椿. 2012. 中国东部北方地区冬季降雪的时空特征及其与全球异常海温的联系. 气象, 38(4): 411-418.
- 李汀, 陶诗言, 琚建华. 2012a. 云南地区 2011 年雨季结束期(10—11月)降水延伸期预报试验. 气象科技进展, 2(2): 42-43.
- 李汀, 严欣, 琚建华. 2012b. MJO 活动位相与云南 5 月降水的关系. 大气科学, 36(6): 1101-1111.
- 牛法宝, 陶诗言, 琚建华. 2012. 对云南 2011 年冬季降水的延伸期天气预测试验. 云南大学学报(自然科学版), 34(1): 62-65.
- 陶诗言, 卫捷. 2007. 夏季中国南方流域性致洪暴雨与季风涌的关系. 气象, 33(3): 10-18.
- 许美玲, 段旭, 杞明辉, 等. 2011. 云南省天气预报员手册. 北京: 气象出版社, 101-128.
- 张娇, 王东勇, 朱佳宁, 等. 2011. 淮河流域持续性强降水的重要前期信号. 气象, 37(11): 1329-1335.
- Madden R A, Julian P R. 1971. Detection of a 40—50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. J Atmos Sci, 28(5): 702-708.
- Wheeler M C, Hendon H H. 2004. An all-season real-time multivariate MJO Index: Development of an index for monitoring and prediction. Mon Wea Rev, 132(8): 1917-1932.