

2006~2015年昆明准静止锋变化趋势及春季不同类型静止锋环流特征

肖艳林*, 夏阳#, 池再香, 张润琼, 吴华洪, 严锐

贵州省六盘水市气象局, 贵州 六盘水
Email: 1542280456@qq.com, #364701511@qq.com

收稿日期: 2021年4月19日; 录用日期: 2021年5月24日; 发布日期: 2021年5月31日

摘要

采用中国气象局国家气象信息中心整编的中国地面逐日观测资料和欧洲中长期天气预报中心ERA-interim逐日再分析资料, 对2006~2015年云贵高原地区昆明准静止锋的时间变化特征进行分析, 并探讨了春季不同类型昆明准静止锋的环流差异。结果表明: 1) 近十年昆明准静止锋日数呈减少趋势, 静止锋活动日数在117 (2010年)~164 (2012年)天之间。2) 昆明准静止锋全年均可出现, 但其活动有明显的季节特征, 其中1月和12月出现天数最多, 7月最少。3) 昆明准静止锋以b类为主, 月平均活动日数最多的是12月; 其次是c类, 活动日数最多的是1月和2月; 出现天数最少的是a类。4) 当春季亚洲上空中高纬度为一槽一脊型, 东亚大槽较强, 副高强度较弱时, 易形成a类静止锋。b类静止锋时, 亚洲中高纬呈多波动分布, 亚洲地区多低槽活动, 冷空气活动频率高, 副高强度较强, 冷暖空气势力相当导致静止锋能够长时间维持。c类静止锋时的冷空气活动势力则明显弱于西南暖湿气流, 导致准静止锋偏弱偏东。5) a类静止锋的纬向环流中, 与云贵高原东部存在明显的异常环流圈下沉支相对应, 中高层的深厚冷空气覆盖了云贵高原大部地区。b类和c类静止锋的则不存在明显的异常纬向环流圈, 在各层大气中受到与暖湿气流相对应的异常上升气流所影响, 另外c类静止锋的近地面存在1 m/s左右的西风异常区, 表明其受暖湿气流影响强度明显高于其他两种类型。

关键词

静止锋, 环流特征, 分型, 春季

Variation Trend of Kunming Quasi-Stationary Front and Circulation Variation of Different Types Front in Spring from 2006 to 2015

*第一作者。
#通讯作者。

Yanlin Xiao*, Yang Xia#, Zaixiang Chi, Ruiqiong Zhang, Huahong Wu, Rui Yan

Liupanshui Meteorological Bureau in Guizhou, Liupanshui Guizhou

Email: 1542280456@qq.com, #364701511@qq.com

Received: Apr. 19th, 2021; accepted: May 24th, 2021; published: May 31st, 2021

Abstract

Based on the daily observation data of China compiled by Meteorological Information Center of China Meteorological Administration and the daily reanalysis data of ERA-interim from the European Centre for medium and long range weather forecasting, the temporal variation characteristics of Kunming quasi-stationary front in YunGui Plateau from 2006 to 2015, and the circulation differences of different types of Kunming quasi-stationary front in spring were discussed. Studies indicate, firstly, days of Kunming quasi-stationary front is decreasing, it is between 117 (2010) and 164 (2012) every year. Secondly, Kunming quasi-stationary front can appear all the year, and it has obvious seasonal characteristics, among which the days in January and December are the most, and the least in July. Thirdly, Kunming quasi-stationary front is dominated by b-type, with the most active is December, followed by type c, the most active is January and February, and the least active days in type a. Fourthly, in spring, when there appears one trough and one ridge in the middle and high latitudes over Asia, the East Asian trough is stronger and the subtropical high is weaker, it is easy to form the a-type stationary front. In the case of b-type stationary front, the middle and high latitudes of Asia are characterized by multi wave distribution, low trough activity, high frequency of cold air activity, strong intensity of subtropical high, and equal cold and warm air forces, which lead to the stationary front to maintain for a long time. The cold air of c-type stationary front is obviously weaker than the southwest warm and humid air flow, which leads the quasi stationary front to be weakening and locating to the East. Fifthly, in the zonal circulation of a-type stationary front, there is an obvious sinking branch of abnormal circulation circle in the east of YunGui Plateau, and the deep cold air in the middle and upper layers covers most of YunGui Plateau. There is no obvious abnormal zonal circulation circle for b-type and c-type stationary front, which is affected by the abnormal updraft corresponding to the warm and humid air flow in each layer of the atmosphere. In addition, there is a westerly anomaly area of about 1 m/s near the surface of c-type stationary front, which indicates that the influence intensity of warm and humid air flow is significantly higher than other two types.

Keywords

Quasi-Stationary Front, Circulation Variation, Different Types, Spring

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

云贵高原为位于青藏高原的东南侧，靠近孟加拉湾和中国南海，具有突出的季风气候特点[1]，境内多高原、山地、丘陵、盆地，地形崎岖复杂[2]，有典型的喀斯特地貌，因红壤广布，又有“红土高原”之称。由于云贵高原特殊地形的作用，天气十分复杂。近年来，随着全球变暖，极端天气事件增多[3]。王曼等[4]研究得出，云贵高原地形的阻挡和特定天气系统配置共同作用导致昆明准静止锋的形成和维持。

樊平等研究指出[5], 昆明准静止锋锋通常位于四川宜宾 - 贵州兴仁 - 云南光南一带, 呈西北 - 东南向。目前, 不少学者对昆明准静止锋进行研究, 尤红等[6]研究得出, 低层冷平流和高层强冷平流下传是引起强降温的原因, 并通过辐散下沉运动来实现的, 中低层暖湿气流沿昆明准静止锋后冷空气爬升是产生强降雪的动力条件。段旭等[7]对昆明准静止锋的结构进行了研究, 得出沿纬度方向在 650 hPa 以下准静止锋的等温线接近垂直, 在 700 hPa 以下为锋及锋后高湿区, θ 等值线在 103°E 附近出现密集等熵线。严小冬等[8]分析了贵州强冻雨天气的环流特征, 表明贵州强冻雨天气主要受海拔高度、相对高度、迎风坡和背风坡、静止锋区、冷空气厚度和不同高度冷空气活动等多种因素的综合影响。杨贵名等[9]指出, 2008 年初低温雨雪冰冻期间, 冷暖气团长期对峙是“低温雨雪冰冻”天气持续的主要原因, 期间准静止锋稳定、少动, 锋面较平缓, 冷暖气团形成的逆温很明显。还有研究认为, 准静止锋是湿度锋, 其大气环流特征与高原关系密切[10]。周明飞等[11]认为, 静止锋的存在使得低层有稳定的逆温层, 滇黔静止锋后的贵州中东部易出现高架雷暴。杜正静等[12]通过对 1964~2000 年贵州出现的严重冰冻天气过程进行分析指出, 南下的冷空气由于云贵高原的阻挡作用, 低层湿空气被强迫抬升辐合, 为冰冻天气的形成提供了水汽条件和动力条件。段旭等[13]也指出, 昆明准静止锋天数与冰冻天气也保持着高同步性, 相关系数为 0.539, 通过了 0.01 的显著性水平检验。此外, 杜正静[10]等通过对 2001~2003 年昆明准静止锋的统计, 把静止锋分为 4 个类型, 得出昆明准静止锋在春夏、秋冬交替季节分别存在骤降、弱升突变, 位于滇东的 II 型静止锋是昆明准静止锋影响云贵地区的主要方式。近年来, 昆明准静止锋在云贵高原干旱、寒潮及降水研究中[14] [15], 都是讨论的重要问题之一。

目前对昆明准静止锋的研究很多, 但几乎都是对几次过程或较短时间内的研究, 对较长时间昆明准静止锋变化趋势分析和对春季云贵准静止锋活动日数与环流之间关系的分析较少。本文通过对 2006~2015 年昆明准静止锋的统计, 引用张精华[16]对昆明准静止锋的分类, 分析这 10 年昆明准静止锋的变化趋势, 和春季不同类型静止锋的环流特征。

2. 资料与方法

2.1. 资料及方法

采用的观测资料选自中国气象局国家气象信息中心整编的中国地面观测站逐日观测资料, 选取 2006~2015 年间云贵高原地区的逐日资料进行分析。这里云贵高原的范围定义为云南、贵州及周边地区。

地面风等要素场资料选用欧洲中心的 ERA-interim 再分析逐日资料集, 资料的水平分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$, 时段同样选取了 2006~2015 年。

2.2. 方法

主要的方法有线性估计, 即是对静止锋的总日数、不同类型静止锋的日数进行统计, 从而得出多年静止锋及不同类型静止锋的气候变化特征; 合成分析, 即是对每天的静止锋进行分型[17], 把不同类型的静止锋分别进行合成, 从而得出不同类型静止锋的平均气候特征。

秦剑[17]认为昆明准静止锋具有明显的日变化, 但其平均地理位置归纳为在沾益、威宁以西, 昭通以南, 昆明和会泽的东北方。张精华[16]根据地面流场差异、从天空状况和天气现象差异、温度场和气压场的差异、海平面气压场差异、卫星云图差异、温度场差异、假相当位温温度梯度等要素差异, 并结合实际业务经验来定义昆明准静止锋的位置, 选取昆明、沾益、贵阳 3 个站点来划分昆明准静止锋的位置(图 1), 从而将昆明准静止锋按照影响区域细化为 3 类: a 类静止锋(锋面过昆明); b 类静止锋(锋面在沾益与昆明之间); c 类静止锋(锋面在沾益与贵阳之间)。本文将引用此分型对昆明准静止锋进行环流分析。

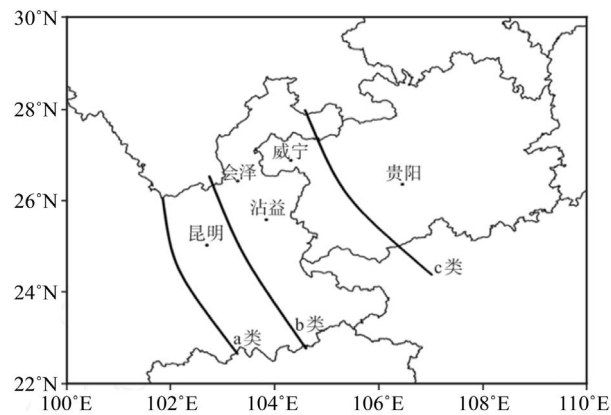


Figure 1. Location distribution of different types of Kunming quasi static front

图 1. 昆明准静止锋活动类型的位置分布

3. 昆明准静止锋年际、月际变化特征

3.1. 昆明准静止锋年际变化特征

从 2006~2015 年昆明准静止锋影响日数年际变化来看(图 2), 2006~2015 年昆明准静止锋日数总体呈减少趋势, 全年出现昆明准静止锋的日数在 117~164 天之间, 也就是几乎半年或以上日期存在昆明准静止锋。昆明准静止锋日数最多的是 2012 年的 164 天, 其次为 2008 年的 158 天, 静止锋日数最少的是 2010 年的 117 天, 其次是 2015 年的 120 天。2013 年至 2015 年昆明准静止锋日数变化不大。

从 2006 年至 2015 年, 昆明准静止锋日数呈减少趋势, 跟全球变暖的大背景比较一致。

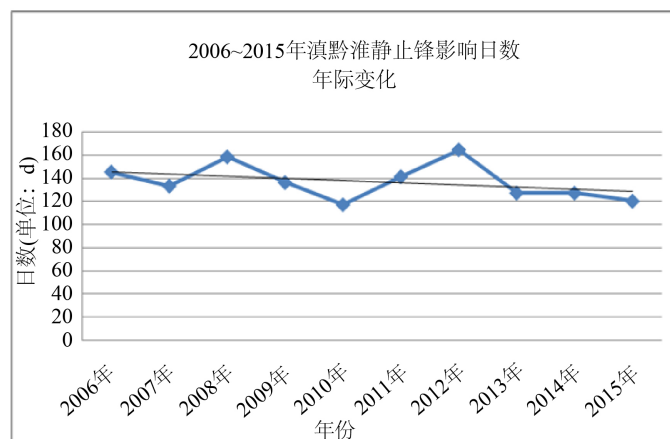


Figure 2. Interannual variation of influence days of the Kunming quasi-stationary front from 2006 to 2015 (The black solid line is the trend line)

图 2. 2006~2015 年昆明准静止锋影响日数年际变化(黑实线: 趋势线)

3.2. 昆明准静止锋月际变化特征

由 2006~2015 年昆明准静止锋平均日数逐月分布(图 3)看出, 昆明准静止锋的活动有明显的季节特征, 主要出现在冬半年, 每年的 11 月至次年 4 月, 月平均日数都在 10 天以上, 最长可达近 1 个月。结合表 1 分析, 11~3 月, 出现昆明准静止锋的月平均日数高达 15~21 天, 12 月、1 月的月平均日数都为 21 天,

频率达 68%；4 月、5 月、9 月和 10 月出现次数稍少，每月在 7~13 天之间，频率在 67%~31.1%之间。6~8 月，昆明准静止锋极少出现，月平均日数仅 2~3 天，其中 7 月出现的天数最少，仅为 2 天，频率仅为 6%。全年中 12 月和 1 月活动频数最高，7 月基本上不存在。

综上所述，昆明准静止锋全年都可出现，出现天数最多是 1 月和 12 月，频率达 68%，最少的是 6~8 月，以 7 月出现的天数最少，频率仅为 6%。

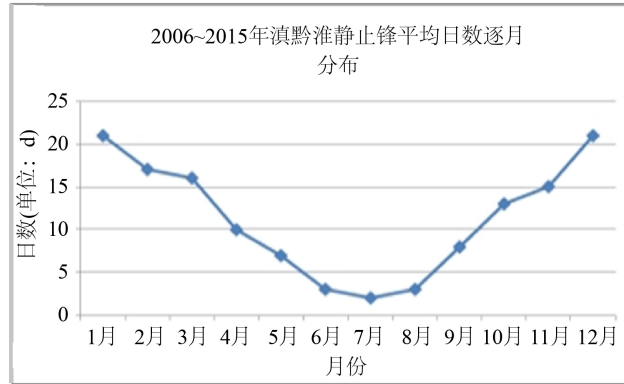


Figure 3. Distribution of monthly average days of the Kunming quasi-stationary front from 2006 to 2015

图 3. 2006~2015 年昆明准静止锋月平均日数逐月分布

Table 1. Distribution of monthly average days of the Kunming quasi-stationary front from 2006 to 2015

表 1. 2006~2015 年昆明准静止锋月平均日数分布

年份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2006年	20	22	14	11	9	8	2	4	9	17	11	18
2007年	18	16	12	8	6	3	4	9	8	14	10	25
2008年	23	26	20	13	9	3	4	4	9	10	14	23
2009年	23	8	13	11	6	3	4	6	8	21	12	21
2010年	14	10	11	9	7	4	2	2	11	15	16	16
2011年	29	14	18	8	6	2	2	2	10	14	10	26
2012年	28	23	17	13	6	2	2	3	15	14	20	21
2013年	20	12	19	15	6	3	0	1	4	10	20	17
2014年	16	17	22	7	6	2	1	1	4	10	18	23
2015年	18	16	13	10	6	1	1	3	8	6	15	23
频率占比	68%	61%	52%	33%	22%	10%	6%	10%	27%	42%	50%	68%

4. 不同类型昆明准静止锋月平均活动日数分布

引用张精华等[16]对昆明准静止锋的 3 类分型，对 2006~2015 年昆明准静止锋不同类型的月平均影响日数分布进行统计。

由表 2 可见，昆明准静止锋以 b 类静止锋为主，其中，11 月至次年的 4 月 b 类静止锋出现的月平均日数均大于 10 天，出现最多的月份是 12 月，月平均天数为 17 天，其次是 1 月的 14 天。出现 c 类静止锋月平均影响日数均 ≤ 5 天，其中，出现最多的是 1 月和 2 月，月平均影响日数为 5 天。出现 a 类静止

锋的月平均影响日数均 ≤ 3 天, 其中出现最多的是12月, 月平均影响日数为3天。

Table 2. Distribution of monthly average influence days of different types of Kunming quasi-stationary front from 2006 to 2015
表 2. 2006~2015 年昆明准静止锋不同类型的月平均影响日数

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
a类	2	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	3
b类	14	12	13	12	6	2	1	2	7	9	11	17
c类	5	5	3	1	1	0	0	0	0	3	3	1

5. 春季不同类型准静止锋的环流特征

由于云贵地区春季天气变化多端, 且静止锋活动较频繁, 对贵州的影响较冬季更甚, 但前有研究对春季昆明准静止锋活动日数与环流之间关系的分析较少, 为进一步明确各种类型昆明准静止锋发生的机制差值, 下文对春季不同类型准静止锋环流特征进行了分析。

5.1. 春季不同类型准静止锋 500 hPa 位势高度场分布

由不同类型静止锋的 500 hPa 位势高度合成(图 4(a), a 类; 图 4(b), b 类; 图 4(c), c 类)可见, 不同类型昆明准静止锋发生时的 500 hPa 位势高度分布之间存在明显差异, 当为 a 型静止锋时(图 4(a)), 亚洲

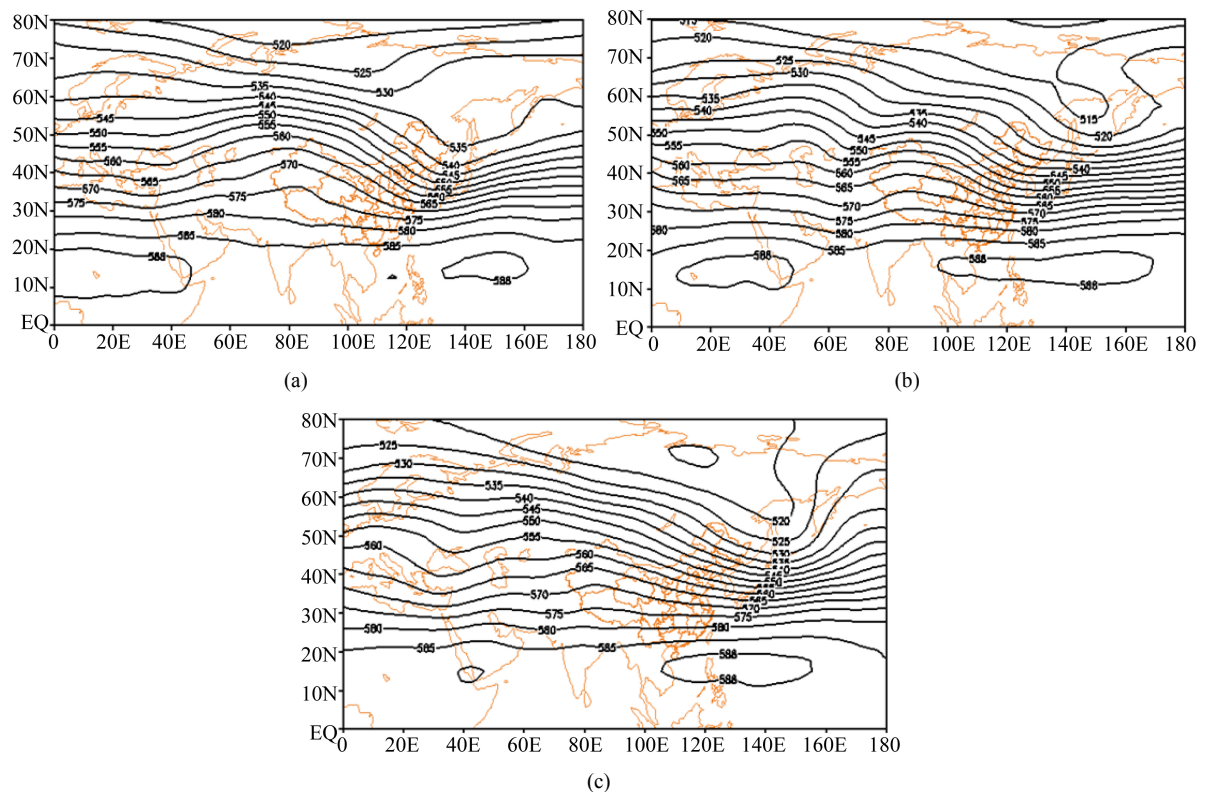


Figure 4. Composition of geopotential height in 500 hPa of different types of Kunming quasi-stationary front in the spring from 2006 to 2015 (March to May represent spring, (a) a-type; (b) b-type; (c) c-type)

图 4. 2006~2015 年春季(3~5 月)不同类型静止锋(a 类; (b) b 类; (c) c 类的 500 hPa 位势高度合成

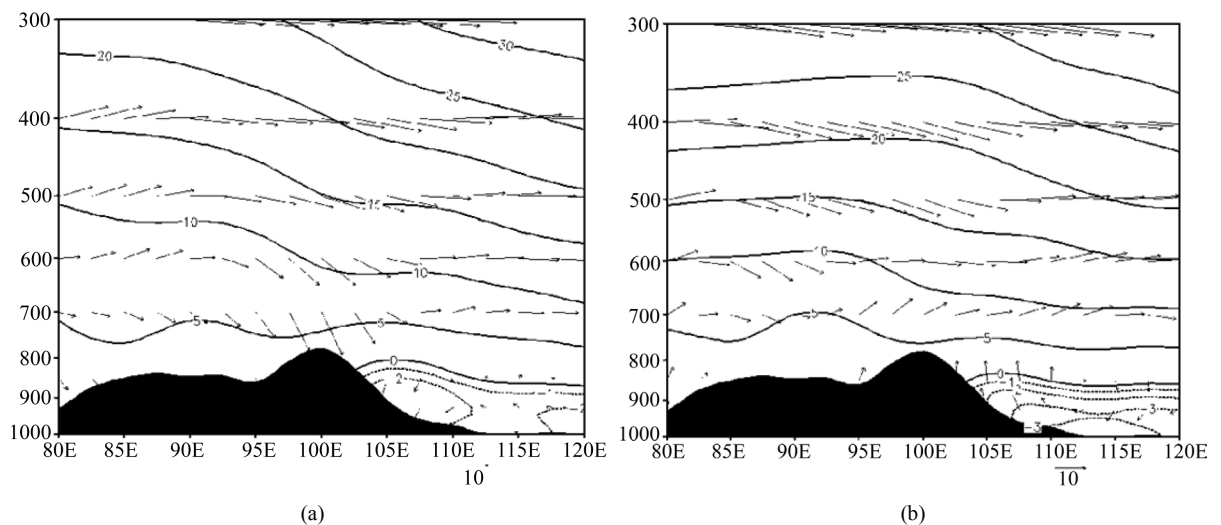
上空中高纬度为一槽一脊型，鄂霍次克海到我国东部沿海东亚大槽强度较强，且东亚大槽位置较 b 类和 c 类静止锋明显偏西，有利于春季冷空气活动偏西偏强，使得强冷空气跃上云贵高原。此外，副热带高压强度较弱，588 位势十米线所代表的西北太平洋副高中心蜷缩于菲律宾岛以东的洋面上空，云贵高原西部的暖湿气流活动偏弱，从而使静止锋在强冷空气影响下位置偏西，形成 a 类静止锋。

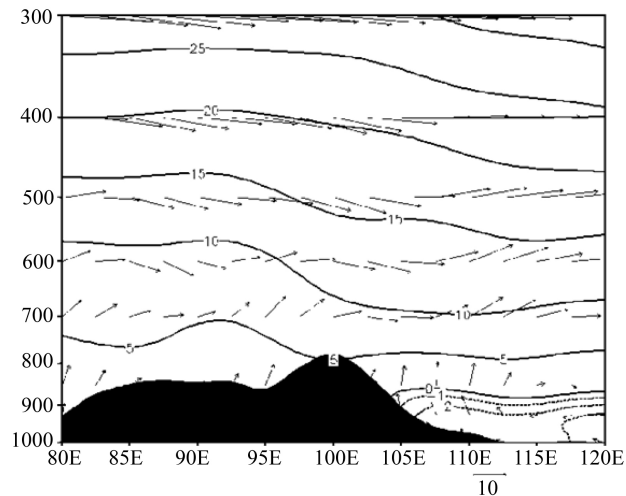
在 b 类静止锋的 500 hPa 位势高度分布(图 4(b))上，亚洲中高纬呈两槽两脊的多波动分布，其中两个低槽分别位于中亚和东亚沿岸，两脊位于里海和青藏高原以北地区，表明亚洲地区多低槽活动，冷空气活动频率高，使得中国大部处于东亚大槽后的西北气流控制之下，不断有新鲜冷空气南下补充影响，但从东亚大槽的位置来，冷空气活动路径和径向环流度较 a 类静止锋偏东，此外，西北太平洋副高强度较强，588 线北界位于南海北部，而西伸脊点更是已经达到 100°E 以西的位置，在其影响下，中国西南地区西部暖湿气流强盛，因此，在强盛暖湿空气和多股冷空气频繁补充的影响之下，在云贵高原之间形成了 b 类准静止锋，且由于冷暖空气势力相当，从而使得此型静止锋能够维持较长时间。

而对于 c 类静止锋来说(图 4(c))，尽管与 a 类静止锋相似，亚洲中高纬地区同样呈现出一槽一脊的分布形势，但高压脊位于位置偏西，而东亚大槽的位置明显偏东，位于日本岛附近地区，且从冷低压中心的位置和强度来看，明显较 b 类静止锋偏弱偏北，从而使得在此环流背景下，冷空气强度较 b 类静止锋偏弱，而活动路径较 a 类静止锋偏东，且此时的副高尽管强度不如 b 类静止锋，于是，在冷空气活动势力明显弱于暖湿气流的影响下，昆明准静止锋偏弱偏东，呈 c 类分布。

5.2. 春季不同类型准静止锋的垂直环流分布

通过不同类型静止锋背景下的纬向环流分布特征分析(图 5)，在强冷空气的影响，a 类静止锋(图 5(a))的锋面附近的东侧存在 2 m/s 的东风中心，且由于中低层深厚冷空气南下的影响，在 800 hPa 以下的气层中出现了显著的冷空气下沉气流，推动静止锋西移，此时，东西风分界线已位于 102°E ，且在锋面附近的高度亦接近 800 hPa 高度。相比之下，b 类静止锋附近的纬向环流(图 5(b))显示，锋面东侧的东风气流有所增强，中心风速可达到 3 m/s ，但其高速区离静止锋区稍远，且云贵高原东侧的大部地区均为弱的上升气流影响，东西风分界线同样较 a 类有所东移。而对比 c 类静止锋(图 5(c))来说，其东西风分界线更是已接近 105°E 的位置，且锋面附近及其东侧的东风气流明显减弱，而上升气流占据了 700 hPa 以下的深厚气层，表明暖湿气流活动较前两型更为偏东偏强，使得静止锋活动区域偏东。



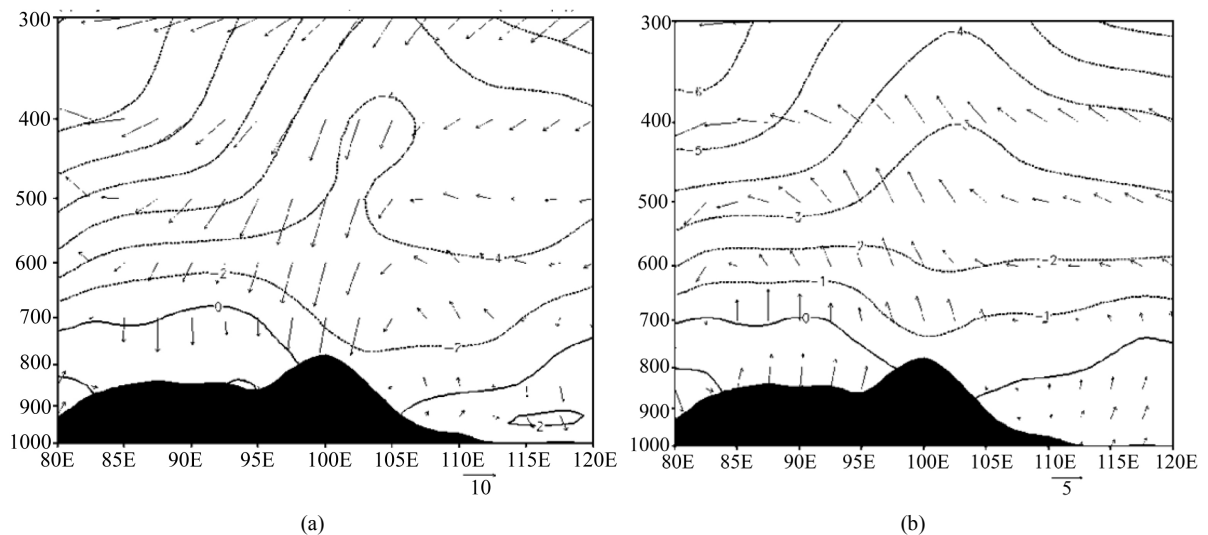


(c)

Figure 5. The mean zonal circulation of different types of stationary fronts between 20°N and 30°N in the spring of from 2006 to 2015 (a) a-type; (b) b-type; (c) c-type (the arrow is the vertical circulation, the Isoline is the zonal wind u , where the negative value represents the east wind)

图 5. 2006~2015 年春季(3~5 月)不同类型静止锋(a) a 类;(b) b 类;(c) c 类 [20°N ~ 30°N] 平均的纬向环流(箭头为垂直环流, 等值线为纬向风 u , 其中负值代表东风)

在对平均状况进行了分析的基础上, 这里进一步给出了不同类型准静止锋的纬向环流距平分布(图 6)。与前文的分析相对应, a 类静止锋 [20°N ~ 30°N] 平均的纬向环流距平分布中(图 6(a)), 由于受到强冷空气的影响, 云贵高原东部(100°E 以东)存在明显的异常纬圈环流, 异常环流的上升支位于贵州中东部, 强度很弱, 而与中高层深厚冷空气相联系的下沉气流支覆盖了包含云南在内的云贵高原中西部大部地区。而在 b 类(图 6(b))和 c 类(图 6(c))静止锋的异常环流分布较为类似, 两者均不存在明显的异常环流圈, 在各层大气中同样为异常上升气流所影响, 这也与暖湿气流的活动有所增强有关, 但不同之处在于, b 类静止锋的低层大气的纬向风异常偏弱, 而 c 类静止锋的 800 hPa 以下大气流中存在 1 m/s 左右的西风异常区, 无论是伸展高度还是经度, 均强于 b 类静止锋, 同样说明了此种类型的静止锋所受到的暖湿气流影响明显强度其他两种类型。



(a)

(b)

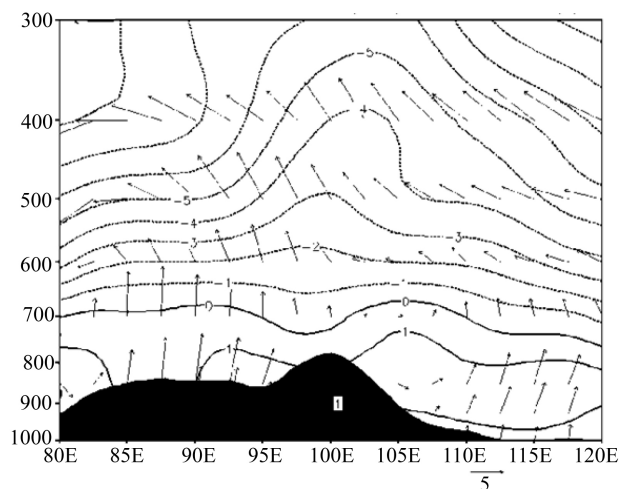


Figure 6. The mean zonal circulation anomaly distribution of different types of stationary fronts between 20°N and 30°N in the spring of 2006~2015 (a) a-type; (b) b-type; (c) c-type) (the arrow is the vertical circulation anomaly and the isoline is the zonal wind anomaly)

图 6. 2006~2015 年春季(3~5 月)不同类型静止锋(a) a 类; (b) b 类; (c) c 类 [20~30°N] 平均的纬向环流距平分布(箭头为垂直环流距平, 等值线为纬向风距平)

6. 结论

本文利用 2006~2015 年中国气象局国家气象信息中心整编的中国地面观测站逐日观测资料和欧洲中心水平分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ 的 ERA-interim 地面风等要素场资料再分析逐日资料, 选取云贵高原地区, 分析 2006~2015 年昆明准静止锋年际、月际变化趋势, 并研究春季不同类型昆明准静止锋的环流变化, 结果表明:

(1) 通过对 2006~2015 年昆明准静止锋年际变化分析, 昆明准静止锋日数呈减少趋势, 跟全球变暖的大背景基本一致, 全年出现昆明准静止锋的日数在 117~164 天之间, 昆明准静止锋日数最多的是 2012 年的 164 天, 静止锋日数最少的是 2010 年的 117 天。

(2) 通过对 2006~2015 年昆明准静止锋月际变化分析, 昆明准静止锋全年都可出现, 但昆明准静止锋的活动有明显的季节特征, 主要出现在冬半年, 11 月~次年 2 月有 15~21 天的昆明准静止锋出现, 其中出现天数最多是 1 月和 12 月, 频率达 68%, 最少的是 6~8 月, 仅出现 2~3 天, 以 7 月出现的天数最少, 仅为 2 天, 频率仅为 6%。

(3) 昆明准静止锋的活动类型以 b 类准静止锋为主, 月平均活动日数最多的是 12 月; 其次是 c 类准静止锋, 月平均活动日数最多的是 1 月和 2 月; 出现天数最少的是 a 类准静止锋, 月平均活动日数最多的是 12 月。

(4) 不同类型昆明准静止锋发生时的 500 hPa 位势高度分布之间存在明显差异, a 类静止锋时, 亚洲上空中高纬度为一槽一脊型, 东亚大槽强度较强, 副热带高压强度较弱, 云贵高原西部的暖湿气流活动偏弱, 从而使静止锋在强冷空气影响下位置偏西。b 类静止锋时, 亚洲中高纬呈两槽两脊的多波动分布, 亚洲地区多低槽活动, 冷空气活动频率高, 西北太平洋副高强度较强, 冷暖空气势力相当, 从而使得此型静止锋能够维持较长时间。c 类静止锋时, 亚洲中高纬地区呈现出一槽一脊的分布, 但高压脊位于位置偏西, 而东亚大槽的位置明显偏东, 冷空气强度较 b 类静止锋偏弱, 而活动路径较 a 类静止锋偏东, 而此时的副高尽管强度不如 b 类静止锋, 但仍表现出了一定的强度, 冷空气活动势力明显弱于暖湿气流的影响下, 昆明准静止锋偏弱偏东。

(5) a类静止锋由于受到强冷空气的影响,云贵高原东部(100°E以东)存在明显的异常纬圈环流,异常环流的上升支位于贵州中东部,强度很弱,而与中高层深厚冷空气相联系的下沉气流支覆盖了包含云南在内的云贵高原中西部大部地区。而在b类和c类静止锋均不存在明显的异常环流圈,在各层大气中同样为异常上升气流所影响,但b类静止锋的低层大气的纬向风异常较弱,而c类静止锋的800 hPa以下大气流中存在1 m/s左右的西风异常区,受到的暖湿气流影响明显强度其他两种类型,无论是伸展高度还是经度,均强于b类静止锋。

资助项目

中国气象局预报员专项项目(CMAYBY2016-066)、贵州省气象局项目(黔气科登[2020]06-19号)。

参考文献

- [1] 吉廷艳. 贵州省低纬山地气候变化趋势[J]. 山地学报, 2003, 4(21): 422-427.
- [2] 黄中艳. 滇东北山地气候特征[J]. 山地研究, 1994, 12(1): 32-38.
- [3] 张艳梅, 黄锋, 钟静, 等. 贵州主汛期极端降水事件及其环流特征分析[J]. 热带地理, 2009, 29(5): 445-449.
- [4] 王曼, 段旭, 李华宏, 等. 地形对昆明准静止锋影响的数值模拟研究[J]. 气象, 2009, 35(9): 77-83.
- [5] 樊平. 昆明准静止锋[J]. 天气月刊, 1956, 6(增刊1): 14-16.
- [6] 尤红, 曹中和, 郭文华, 等. 昆明静止锋下的云南强倒春寒天气分析[J]. 气象, 2006, 32(3): 56-62.
- [7] 段旭, 李英, 孙晓东. 昆明准静止锋结构[J]. 气象, 2002, 25(8): 6-10.
- [8] 严小东, 吴战平, 古书鸿. 贵州冻雨时空分布特征及其影响因素浅析[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 694-701.
- [9] 杨贵名, 毛冬艳, 孔期. “低温雨雪冰冻”天气过程锋区特征分析[J]. 气象学报, 2009, 67(4): 652-665.
- [10] 杜正静, 丁治英, 张书余. 2001年1月滇黔准静止锋在演变过程中的结构及大气环流特征分析[J]. 热带气象学报, 2007, 23(3): 284-292.
- [11] 周明飞, 万雪丽, 罗喜平. 贵州静止锋冷区高架雷暴冰雹特征及其成因[J]. 热带地理, 2017, 37(4): 484-493.
- [12] 杜正静, 熊芳, 何玉龙, 等. 贵州严重冰冻天气过程典型模型及环流特征分析[J]. 贵州气象, 2009, 33(1): 7-10.
- [13] 段旭, 段玮, 邢冬. 昆明准静止锋客观判识方法研究[J]. 气象学报, 2017, 75(5): 811-822.
- [14] 苗春生, 赵宁文, 王坚红, 等. 近35a云南东部春季旱涝及其环流距平波列影响[J]. 干旱区研究, 2014, 31(2): 250-260.
- [15] 廖留峰, 谷小平, 惠小英. 乌蒙山区3种大气可降水量反演法的异同[J]. 气象科技, 2015, 43(3): 387-392.
- [16] 张精华, 张万诚, 郑建萌, 等. 1970~2009年冬季昆明准静止锋的变化特征及其影响分析[J]. 高原气象, 2016, 35(5): 1298-1306.
- [17] 秦剑, 琚建华, 解明恩. 低纬高原天气气候[M]. 北京: 气象出版社, 1997: 63-66.