

郑婧,许爱华,刘波,等. 江西大雪天气的时空变化及其影响系统分析[J]. 气象,2010,36(4):30-36.

江西大雪天气的时空变化及其影响系统分析^{*1}

郑 婧 许爱华 刘 波 许 彬

江西省气象台,南昌 330046

提 要: 利用 NCEP2.5°×2.5°再分析资料和常规观测资料,对 1980—2008 年江西省 50 次区域性大雪过程的时空变化及其影响系统进行归纳分析,得出:江西省大雪发生频次具有 5 年左右振荡周期,20 世纪 90 年代以前发生大雪次数较多,变化幅度大,20 世纪 90 年代以后年际变化减小。空间分布上,自西北向东南出现大雪的频次逐渐减少。大雪期间,阻塞高压、中低纬锋区异常强盛;80% 的大雪天气存在阻塞高压,以贝加尔湖阻塞高压最多;70% 受南支槽影响;700 hPa 切变线是对流层中低层的主要影响系统,其南侧西南急流最大风速达 $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,雪区位于冷式切变线以南 1~3 个纬距内,或暖式切变附近;当 850 hPa 和 700 hPa 同时存在切变线时,降雪天气更加明显;对流层中低层有 98% 的大雪天气存在逆温;1000 hPa 温度 $< 1 \text{ }^\circ\text{C}$,925~850 hPa 温度 $\leq -2 \text{ }^\circ\text{C}$,700 hPa 温度 $\leq 0 \text{ }^\circ\text{C}$;地面冷空气多为中路,蒙古冷高压异常强大。

关键词: 大雪,环流特征,影响系统,热力结构特征

Analyses on the Space-Time Distribution Characteristics and Their Influence Systems of Heavy Snow in Jiangxi

ZHENG Jing XU Aihua LIU Bo XU Bin

Jiangxi Provincial Meteorological Observatory, Nanchang 330046

Abstract: Based on NCEP 2.5°×2.5° reanalyzed data and daily observation data, the characteristics of climatic situation and influencing systems of 50 regional heavy snow events in Jiangxi from 1980 to 2008 were summarized and analyzed. The results show that: The heavy snow events in Jiangxi had a period of about 5 years. Before the 1990s, heavy snow events happened often and had large variations. Afterwards, the interannual variations tended to occur less frequently. As to the spatial variation, the frequency of heavy snow was characterized by the distribution of gradually reducing from the northwest to the southeast. During heavy snow periods, the blocking high and the frontal zone in mid-low latitudes were extremely powerful. The 80% heavy snow events were associated with blocking high, most of which were Baikal Lake blocking highs. While 70% of the events were associated with the south branch trough. Most heavy snow events were associated with shear lines at 700 hPa. And there was significant southwest jet with an over $16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ axis at the south of it. Normally, the snowing region was 1—3 degrees in latitudes south of a cold shear line or at the neighborhood of a warm shear line. If there was a shear line at 850 hPa simultaneously, the snow would be heavier. The 98% of the events were accompanied by inversion layers in the troposphere. The vertical distribution of temperature was characterized by $< 1 \text{ }^\circ\text{C}$ at 1000 hPa, $\leq -2 \text{ }^\circ\text{C}$ at 925—850 hPa and $\leq 0 \text{ }^\circ\text{C}$ at 700 hPa. Mostly, the surface cold air was from the middle area where an extremely strong Mongolia cold high offered a favorable condition for snowfall.

Key words: heavy snow, circulation characteristics, influencing system, characteristics of thermal stratification

* 中国气象局新技术推广项目“冻雨、大雪预报方法研发与技术推广”(基金编号:CMATG2009MS03);江西省气象局重点项目“江西冻雨、大雪、冰冻预报方法研究”资助

2009年2月10日收稿; 2009年10月10日收修定稿

第一作者:郑婧,主要从事短期天气预报业务与研究. Email:397561016@qq.com

引言

近年来,很多学者对我国错综复杂的大雪天气开展了大量的研究工作^[1-10],得到了不少有益的启示。前人的研究表明,大雪与冷暖空气交锋即锋生现象是分不开的^[11-12],这种锋生过程不仅与西风带环流调整有关,而且与副热带的环流型更是息息相关^[13]。如同暴雨一样,冷暖空气不同高度的配置和中低空西南气流仍是降大雪甚至是暴雪的重要条件^[14],可以说,大雪天气的产生是由中层锋区的扰动加强、低层冷空气的入侵、中低层西南急流的建立以及适宜的热力条件综合作用的结果^[15]。国内外对大雪的研究方法较为多样化,很多学者按大雪出现的环流形势、锋区和流场扰动的配置、系统的演变、急流轴的变化及卫星云图特征,建立天气预报模型^[15-20]。也有一些研究认为冬季的降水量往往与夏季的热状况和流场特征存在着较好的相关,通过选取盛夏季节的气温、气压等预报因子,对大雪的长期预报进行尝试^[12]。

作为江西省冬半年重要的灾害天气之一,大雪经常和冰冻相伴出现,给交通、电力、通信、工农业生产和人民生活造成严重影响。由于江西地理位置偏南,南北纬度跨度较大,降雪发生时常常伴随着雨和冰粒,这种降水相态的复杂变化给预报带来了较大的难度。同时,对于这种形成机理复杂的灾害性天气,江西尚未建立完整的预报概念模型,只是针对少数典型个例进行了初步统计,因此非常有必要针对此类天气做一些基础性分析研究工作。文章的重点是针对1980—2008年江西省50次大雪天气过程的环流形势、中低层天气尺度系统以及热力锋区结构特征进行统计分析,试图找出利于江西出现区域性大雪天气的影响因子,为大雪预报方法的建立奠定基础。

使用资料包括:(1)1980年1月至2008年2月地面、高空常规观测资料,主要用于中低层天气尺度系统分析和热力结构特征分析;(2)NCEP 1980年1月至2008年2月每日4次的再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 经纬度。由于NCEP资料网格距较大,主要用于500 hPa环流特征和地面形势特征分析。

1 江西大雪的气候特征

1.1 大雪的选取时间及标准

南方大雪不同于北方,降雪发生时常常伴随着雨、冰粒,降水相态的复杂变化导致降水量和积雪深度线性相关较差。所以,对南方大雪的选取标准就不能只考虑降水量这一个特征量,还必须同时考虑积雪深度。文章沿用江西省大雪预报业务标准,即江西范围内10站以上日雪量 ≥ 5 mm且积雪深度 ≥ 2 cm作为一个大雪日。

通过普查1980—2008年29年冬季降水资料及相关历史天气图,共选取满足上述标准的大雪天气个例50例。

1.2 大雪过程次数的年际变化和月变化

江西省冬季大雪出现在12月至次年3月,最早出现的时间为12月上旬,最晚发生在3月中旬。通过对1980—2008年的大雪气候特征进行统计分析可以看出,江西省冬季大雪具有明显的年际、月际变化。

1.2.1 年际变化

1980—2008年,江西省共出现50次大雪过程,平均每年为1.72次。一个冬季出现4次或以上的大雪过程的年份有3个(1984、1985、1991年),其中最多的为1984年,共出现10次大雪过程。没有出现大雪过程的有6年(1981、1986、1987、2000、2001、2007年),占总年份的21.4%。

图1给出29年间大雪过程发生频次的年际变化,总体呈现为逐渐减少的趋势。如图1a所示,1982—1985年(冷冬)是江西省大雪天气的多发期,共出现大雪过程19次,占总次数的38%;1986—1987年江西连续两年未出现大雪;20世纪80年代后期到20世纪90年代后期(1988—1999年,属偏暖冬期),与20世纪80年代前期相比有减弱的趋势,大雪过程的次数在年平均值附近来回震荡;之后的9年,大雪天气频次再一次进入低值区,平均每年0.89次,远低于均值,其中2000—2001年江西无区域性大雪,2008年则出现了历史罕见的低温雨雪冰冻天气。

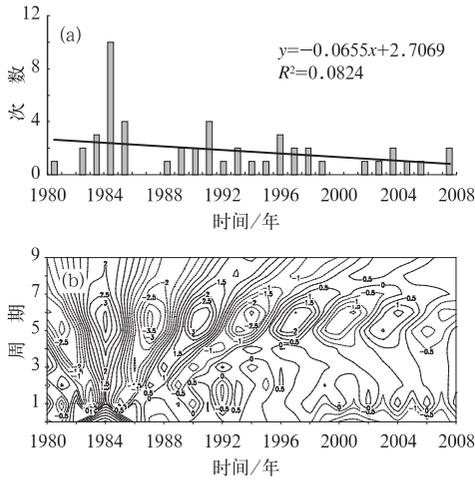


图 1 江西出现区域性大雪过程次数的年际变化和趋势线(a)及其小波系数周期性特征(b)

Fig. 1 Time series of annual number for snowy days (a) and its wavelet analysis (b)

另外, Morlet 小波分析(图 1b)显示,江西区域大雪发生的频次在时间尺度上具有明显的周期性变化。图中正实线代表正值,对应着大雪发生频次偏多年,虚线代表负值,对应着大雪发生频次偏少年。小波系数等值线的疏密程度反映了大雪过程发生频次的多少,次数越多,则实线等值线越密集。结果显示,1980—2008 年主要表现为准 5 年的周期振荡。20 世纪 90 年代以前,周期振荡信号较强,等值线非常密集,其中 1983—1985 年和 1991 年都对应着相对较大的正值中心,尤以 1984 年的振荡最为强烈,表明这期间发生大雪次数较多,变化幅度大。20 世纪 90 年代以后振幅相对较小,说明大雪发生次数少且年际变化小。小波系数反映的大雪频次变化和实

际时间序列年际变化一致。

1.2.2 月际变化

据 29 年资料统计,各月出现大雪的频次差别较大。大雪次数最多在 1 月,出现 27 次,占总次数的 54%;其次是 2 月,出现 12 次,这两个月的大雪次数占全年的 78%;最少是 12 月和 3 月,分别出现 8 次和 3 次。

1.3 空间分布特征

在 50 例区域性大雪天气个例中,统计各测站出现大雪的频次(图 2a),基本上呈现出自西北向东南逐渐减少的特征,特别是赣西北地区,由于地理位置偏北,出现大雪的频数更高一些,多数都在 35 次以上,而赣南的频数仅在 10 次以下。此外,北部高山站出现大雪的频数较其他县站明显偏多,例如庐山,在 50 次区域大雪过程中,该站有 49 次出现大雪。

从江西历年大雪天气过程累积积雪深度分布图来看(图 2b),各地区冬季积雪的地理分布不均匀。由九江市北部沿九岭山脉至宜春市西部为一积雪的高值中心,另一个高值中心由景德镇地区向西南方向延伸,经万年、余江到达抚州市北部,两片高值区内累积积雪深度均超过 200 cm。两高值区之间的鄱阳湖平原相对为一低值区,自鄱阳湖平原往南,积雪深度继续减小,在最南边的赣州地区,多年积雪深度累积不足 10 cm。这种分布与地形的作用有直接的关系。江西东、南、西三面环山,冬季在庐山、九岭山以及武功山的迎风坡一侧,也就是九江市的北部和宜春市的西部,气流的抬升作用使降雪量更大;同时,山区夜间气温相对较低,对降雪、积雪的出现

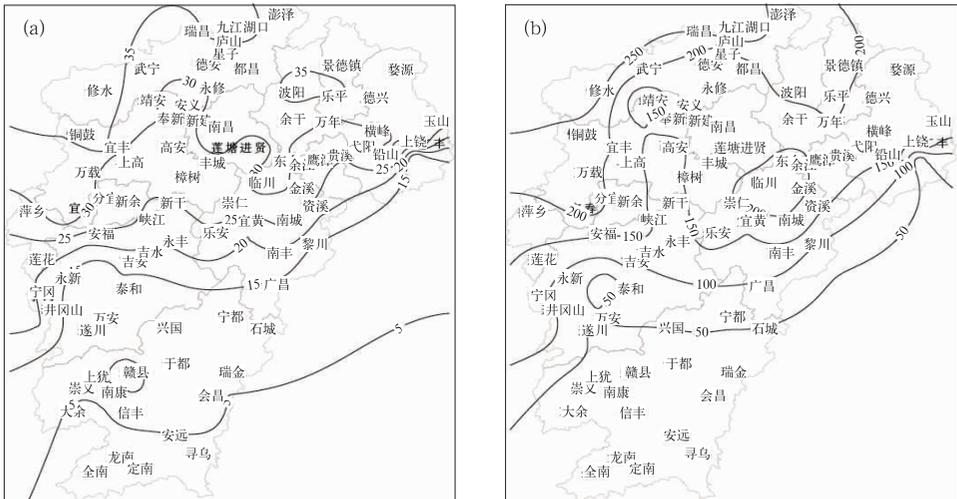


图 2 江西区域大雪天气过程频次(a, 单位:次)和累积积雪深度(b, 单位:cm)分布

Fig. 2 Spatial distribution for frequency of snowy days (a, units:times) and accumulated depth of snow (b, units: cm)

较为有利。另一方面,冷空气常常从湖北、湖南南下进入江西,使得赣西北的降温幅度也相对较大。而鄱阳湖平原位于赣北的中心,在冬季由于湖面的热力作用经常为一高温中心,因此积雪相对北部山区来说稍少。

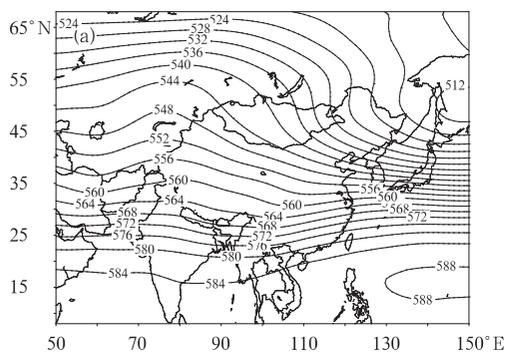
2 影响江西大雪的天气形势特征

形成大雪天气的环境场具有一定的共性和差异,充足的水汽供应、冷空气的大举南下和对流层中低层 0°C 以下的温度层结是产生大雪的先决条件,因此,大雪是形成在特定的环流背景下。下文将重点对产生江西大雪天气的500 hPa环流特征、天气尺度系统特征以及热力层结分布作分析。分析手段为将1980—2008年所有出现区域大雪天气时段内的环境分量分别作平均,并与该29年中所有冬季(12—2月)的平均环流场进行对比。为叙述方便,文中称该50例大雪样本的各种环境场平均为样本平均,称29个冬季的各种环境场平均为冬季平均,称大雪样本平均场与冬季平均场之间的距平为距平场。

2.1 500 hPa环流特征

2.1.1 高纬度环流分析

样本500 hPa平均环流(图3a)显示,在亚洲东岸以及欧洲东部分别存在两个明显的大槽,两槽之间为一高压脊。将其与冬季平均环流场(图略)作对比,可以看出,两者在中高纬的形势是相似的,均为



两槽一脊型,但槽脊的强度和经向度上有所不同。

亚洲东岸,由鄂海低压处伸出一庞大的低槽直抵江南,使得冷空气由高纬地区长驱直入进入江西。与冬季平均图(图略)相比,该槽较历年偏西10个经距,对应此区域的负距平达 $-4\sim-6$ dagpm。此外,欧洲东部的低槽较历年偏东 $10\sim15$ 个经距,而造成位于两低槽之间的东亚长波脊经向度加大,阻塞形势特征更显著。

普查逐次江西区域性大雪天气过程的500 hPa环流形势发现,其中80%的大雪天气存在阻塞高压,其中贝加尔湖阻塞高压($50^{\circ}\sim70^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\sim110^{\circ}\text{E}$)出现的比例最高,50次过程中,有21次阻塞高压位于贝加尔湖附近,其次是乌拉尔山阻塞高压($50^{\circ}\sim70^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim80^{\circ}\text{E}$),共出现11次,其余的主要是位于欧洲东部或鄂霍次克海区。这种稳定长波脊的存在,使东亚上空环流背景少动,冷空气在贝加尔湖附近的横槽内聚积。与之对应的是,乌拉尔山以东至贝加尔湖的广大地区与历年相比最大正距平达到8 dagpm(图3b)。显然,样本平均场的阻塞高压强度较历年明显偏强。再加上阻塞高压与鄂海低压的相持(图3a),使得这两个强盛的系统之间形成了西北—东南向的强气压梯度,对于引导高纬地区的冷空气南下也具有非常重要的意义。

2.1.2 中低纬度锋区特征

由图3可见,欧亚大陆上空在中低纬度地区纬向气流非常强盛,伴有 $-2\sim-6$ dagpm的负距平。南支槽主槽区位于 90°E 附近,在其以东的平直西

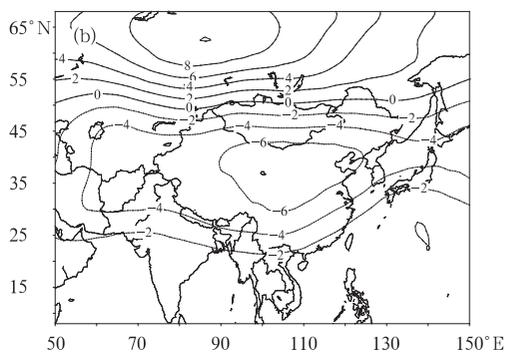


图3 1980—2008年江西大雪过程500 hPa平均环流(a)和距平(b)分布(单位:dagpm)

Fig 3 Mean circulation (a) and its departure (b) of the snowy days on 500 hPa (unit: dagpm)

风气流中,锋区密集。逐次过程的环流形势显示,在副热带平直而强盛的西风锋区上,常有波动生成或从上游移来,产生强劲的西南气流或低空急流,为长江流域的降水(雪)输送动量、热量和水汽。

一般来说,由旋转低槽带下的冷空气的影响区域比较偏北,难以造成江西大范围的雨雪天气。据

统计,在过去29年的50次区域大雪过程期间,只有4例是纯粹地由阻塞高压崩溃、横槽转竖所造成。其余的个例中,有70%是受南支槽影响,且南支槽位于 $100^{\circ}\sim115^{\circ}\text{E}$ 。其中,当南支槽与中纬度转竖的横槽耦合叠加时,往往带来明显的降雪天气。例如1991年12月27日,几乎全省范围出现大雪,赣

北积雪深度普遍在 15~20 cm。此次过程的环流形势类似于图 3a, 由于亚洲东部的低槽自北向南逐渐西斜, 其槽底与 90°E 附近的南支主体几乎相接。二者的耦合叠加, 使高纬地区的大型扰动和低纬地区发生联系, 出现自北向南的振幅加大现象, 高纬地区冷空气也就顺势南下到达江南, 从而引发了强烈的降雪和降水天气。

综上, 大雪样本平均场上欧亚地区从高纬到中低纬度呈现“正一负”的位势高度距平分布特征, 意味着阻塞高压、中低纬锋区较多年平均强盛。高纬与中低纬长波槽的“共振”, 有利于强冷空气向江南爆发, 形成江西大范围降雪天气。

2.2 中低层天气尺度系统特征

有研究指出, 大雪大多数都和中小空急流的扰动、东进以及合并关系密切, 即冷锋和高空槽、中低层切变相配合而降大雪。经普查, 江西冬季大雪期间, 对流层中低层大多是伴有切变的, 其中 700 hPa 切变线为主要的天气系统, 其存在的概率为 56%, 切变线范围在 25°~32°N, 雪区主要位于 700 hPa 冷式切变线以南 1~3 个纬距内, 或是暖式切变附近, 雪区伴随着暖切的南移而扩展。

雪量的大小与西南暖湿气流的强度有关, 一般来说, 中低层接近或低于 0 °C 的气层越厚, 对江西大雪越有利。经统计, 在历次冬季大雪过程中, 700 hPa 西南气流非常强盛, 急流轴最大风速均在 16 m·s⁻¹ 以上。水汽主要来源于孟加拉湾南支槽或是南海北部源源不断的输送, 从而形成由北部湾经广西伸向江西的水汽通道。当 850 hPa 和 700 hPa 同时存在切变线时, 由于深厚的湿层, 往往能带来更强烈的降雪天气。

2.3 热力结构特征

雪的增长主要发生在 500 hPa 以下的中低层, 其形成主要是由于在混合云中冰水共存, 从而使冰晶不断凝华增大, 成为雪花。当云下气温低于 0 °C 时, 雪花可以一直落到地面而形成降雪。如果云下气温高于 0 °C 时, 则可能出现雨夹雪或冻雨。因此, 0 °C 层的高度以及 500 hPa 以下大气层的温度层结分布都对降雪的形成有着重要影响^[21]。

2.3.1 逐层温度锋区分布

通过分析逐次大雪过程的温度层结得出, 冷空气由对流层中低层逐渐向近地面扩散。850~1000 hPa 上, 长江以南在 110°~120°E 的地区为一东北

一西南向的密集温度锋区, 对应于 25°~30°N 的 5 个纬距内, 温差达到 6~9 °C, 冷舌则主要位于湘、黔、桂一带。

伴随着冷空气的南侵, 0 °C 层也向下伸展。利用常规高空探空观测资料, 对大雪样本的各层温度进行平均(图略), 发现在江南上空, 0 °C 层已降至 1000 hPa。作为最容易出现降雪的赣北, 1000 hPa 温度基本都在 0 °C 以下, 赣中温度则在 1~2 °C。在其之上的 925 hPa, 温度迅速降低, 0 °C 线到达赣南南部, 全省温度在 -2~-5 °C。与 925 hPa 相比, 850 hPa 和 700 hPa 温度有所增加, 0 °C 线北抬至 26°~27°N 之间, 表现为逆温结构。其中 850 hPa 赣北、赣中温度在 -5~0 °C, 700 hPa 赣北、赣中温度在 -3~0 °C。

相较冬季的平均温度场(图略), 虽然锋区的配置形势与样本平均相似, 但是温度较样本平均明显偏高。在江南上空 0 °C 层高度位于 700 hPa, 江西区域内, 850 hPa 和 925 hPa 温度在 3~7 °C, 1000 hPa 达到 7~10 °C。由此可见, 对流层中低层整层大气在 0 °C 以下时, 有利于冰晶和过冷水滴的凝结增长并维持, 从而产生降雪。

2.3.2 垂直温度层结特征

当近地层存在冷空气垫时, 低层暖湿空气在冷垫上滑行爬升, 中层出现强辐合上升运动, 导致中低层形成强烈逆温层, 这种形势是造成降雪天气出现的有利条件。

由于江西地形南北纬度跨度较大, 以 27°N 为分界线将大雪样本按落区划分为北部大雪和南部大雪两类, 分别对其发生时段内的逐层温度进行平均, 得出南昌、赣州站的平均探空曲线(图 4a、4b)。可以看出, 不论是北部样本平均还是南部, 几乎整层温度均在 0 °C 以下, 并且在 925~700 hPa 呈现明显的逆温结构。其中赣州的逆温强度更强, 达到 -5 °C, 南昌在 -3 °C 左右。而冬季的平均探空曲线显示(图 4c、4d), 由对流层低层向上, 温度随高度的增加而递减, 不呈现逆温结构。另外, 逐个样本的探空层结分布上也表现了同样的形势(图略), 98% 以上的样本在垂直结构上存在逆温。

进一步对逐次大雪个例的温度垂直分布进行统计, 发现在大雪发生区域, 80% 以上的样本温度满足 1000 hPa 温度 < 1 °C, 925~850 hPa 温度 ≤ -2 °C, 700 hPa 温度 ≤ 0 °C 的规律, 可将其作为江西大雪预报的参考依据。

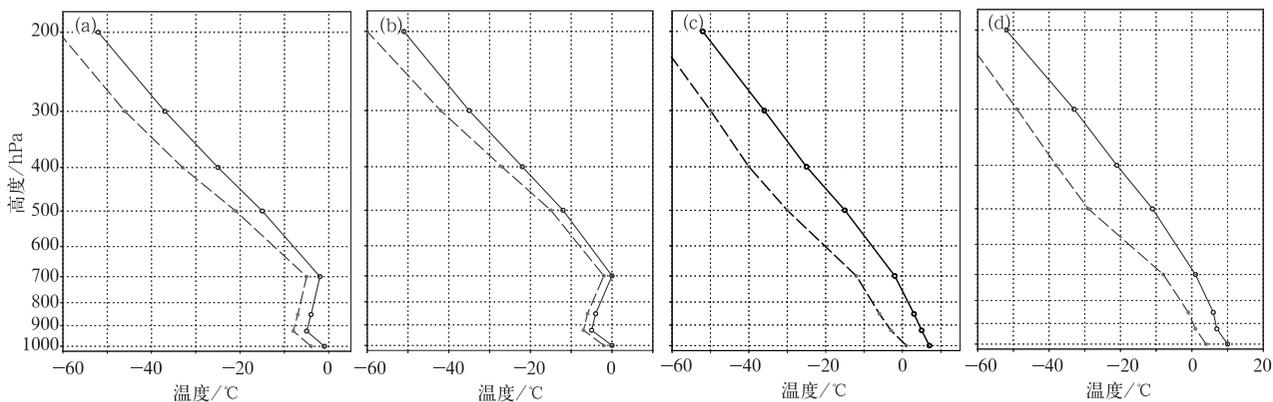


图 4 1980—2008 年江西大雪过程南昌(a)、赣州(b)平均探空曲线和冬季平均南昌(c)、赣州(d)探空曲线

Fig. 4 Mean sounding curves for snowy days (a, b) and for winter half years(c, d). (Figures (a) and (c) are the curves at Nanchang Sounding Station, and (b) and (d) are for Ganzhou Sounding Station)

2.4 地面冷空气

一次大雪过程往往伴随冷空气的大举南侵,样本平均海平面气压场上(图 5a),正是表现为明显的冷空气南下形势。与 500 hPa 贝加尔湖阻塞高压对应,该区域在海平面气压场上表现为一强大的冷性高压,高压中心强度 1040 hPa。冷空气在贝加尔湖

地区大量堆积,并自西北向东南活动,为我国中东部地区带来强烈的冷空气。逐过程海平面气压场上冷空气的活动路径与平均场类似(图略),也同样是以前从河套地区南下进入江西这种路径居多。据江西省预报员经验,这种中路冷空气的南侵常给江西带来剧烈的降温,从而为降雪的发生提供良好条件。

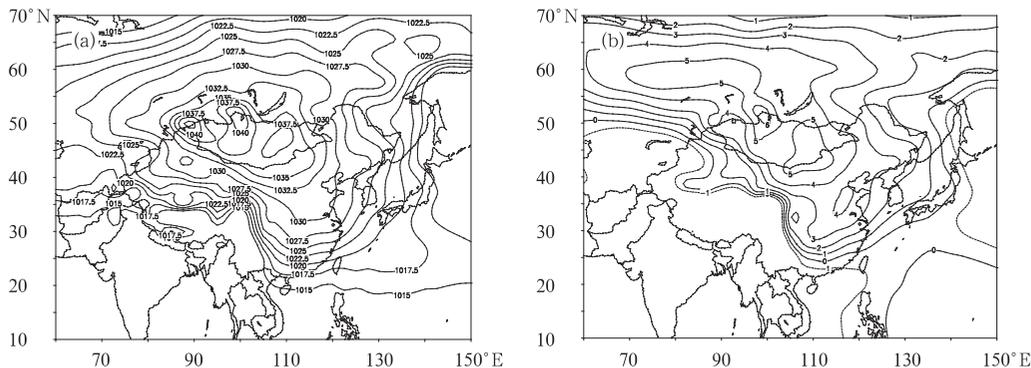


图 5 1980—2008 年江西大雪过程平均海平面气压场(a)和距平(b)分布(单位:hPa)

Fig. 5 Mean circulation (a) and its departure (b) of sea level pressure for snowy days (units: hPa)

图 5b 的冬季海平面气压距平场的形势显示,我国整个中东部地区的变压均为正距平,以蒙古高压所在区域的正距平最为显著,达到 6 hPa,说明大雪样本的亚洲冬季风较常年明显偏强,所带来的冷空气降温也就更加显著。

3 结 论

文章利用 NCEP2.5°×2.5°再分析资料和常规观测资料,对 1980—2008 年江西省 50 次区域性大

雪过程的时空变化及其影响因子进行归纳分析,结果表明:

(1) 江西省区域大雪具有明显的年际、月际变化,小波系数分析表明大雪发生频次周期在 5 年左右,20 世纪 90 年代以前发生大雪次数较多,变化幅度大,20 世纪 90 年代以后大雪发生次数减少且年际变化小。在空间分布上,出现大雪的频次基本上呈现出自西北向东南逐渐减少的特征,各地区冬季积雪分布受地理位置和地形影响明显。

(2) 江西大雪天气产生期间阻塞高压、中低纬

锋区异常强盛:有 80% 的比例存在阻塞高压,以贝加尔湖阻塞高压最多;南支槽作为主要影响系统的比例占了 70%,且多数位于 $100^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$,当南支槽与中高纬度转竖的横槽耦合叠加时,有利于形成江西大范围降雪天气。

(3)700 hPa 切变线是对流层中低层的主要影响系统,切变线范围在 $25^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$,雪区主要位于 700 hPa 冷式切变线以南 1~3 个纬距内,或是暖式切变附近。

(4) 对流层中低层西南气流强盛,700 hPa 急流轴最大风速 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,为大雪的发生提供重要的水汽条件。当 850 hPa 和 700 hPa 同时存在切变线时,降雪天气更加强烈。

(5) 大雪期间江南上空 0°C 层降至 1000 hPa,有 98% 的比例出现逆温。80% 的大雪个例在温度垂直分布上具有 1000 hPa 温度 $< 1^{\circ}\text{C}$, 925 ~ 850 hPa 温度 $\leq -2^{\circ}\text{C}$, 700 hPa 温度 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 的特点,可将其作为江西大雪预报的参考依据。

(6) 大雪期间地面冷空气多为中路,蒙古冷高压异常强大,带来的降温也更加显著,为降雪条件的产生创造良好条件。

参考文献

- [1] 乔林,林建. 干冷空气侵入在 2005 年 12 月山东半岛持续性降雪中的作用[J]. 气象,2008,34(7):27-33.
- [2] 杨成芳,周雪松,王业宏. 山东半岛冷流降雪的气候特征及其前兆信号[J]. 气象,2007,33(08):76-82.
- [3] 许爱华,乔林,詹丰兴,等. 2005 年 3 月一次寒潮天气过程的诊断分析[J]. 气象,2006,32(3):49-53.
- [4] 赵桂香. 一次回流与倒槽共同作用产生的暴雪天气分析[J].

气象,2007,33(11):41-48.

- [5] 东高红,张志茹,李胜山,等. 一次大雪天气过程的多普勒雷达特征分析[J]. 气象,2007,33(07):75-81.
- [6] 董安祥,罗琦,周陆生. 青藏高原东部一次大雪过程的湿位涡分析[J]. 甘肃科学学报,2001,14(3):43-46.
- [7] 池再香,胡跃文,白慧. “2003.1”黔东南暴雪天气过程的对称不稳定分析[J]. 高原气象,2005,24(5):792-797.
- [8] 张广同,沈桐五,李戈,等. 一次暴雪天的数值模拟及诊断分析[J]. 气象,2008,34(9):65-72.
- [9] 白人海,张志秀,高煜中. 东北区域暴雪天气分析及数值模拟[J]. 气象,2008,34(4):22-29.
- [10] 秦华锋,金荣花. “0703”东北暴雪成因的数值模拟研究[J]. 气象,2008,34(4):30-38.
- [11] 王继志. 1974 年 12 月 2 日华北大雪的初步分析[J]. 大气科学,1978,2(4):308-313.
- [12] 廉毅. 热成风适应原理在大雪短期分析预报应用中的某些尝试[J]. 气象学报,1981,39(2):183-190.
- [13] 廉毅. 我国大雪预报研究概况[J]. 气象科技,1986(3):35-37.
- [14] 陈秋士. 简单斜压大气中热成风的建立和破坏(一)[J]. 气象学报,1963,(1):50-55.
- [15] 王宁,王晓明,王兴国. 吉林省近 40 年初冬大雪天气气候特征及分型预报研究[J]. 吉林气象,2003,(1):6-9.
- [16] 曾欣欣. 浙江大雪的天气气候分析和预报[J]. 浙江气象,2008,29(1):11-14.
- [17] 刘桂琴,孟庆楠. 辽南大雪的天气模型和预报[J]. 气象,1984,10(12):18-20.
- [18] 达成荣,李凤霞,时兴合,等. 青海省大-暴雪天气环流特征及其预报方法研究[J]. 青海科技,2005,12(2):26-29.
- [19] 周淑玲,闫淑莲. 威海市冬季暴雪的天气气候特征[J]. 气象科技,2003,31(3):183-188.
- [20] 王继志,季良达. 北半球超长波的振动与冷空气活动[J]. 大气科学,1981,5(4):424-432.
- [21] 徐玉貌,刘红年,徐桂玉. 大气科学概论[M]. 南京:南京大学出版社,2002:136.