

陈虹杏, 谌芸, 陆尔, 等. 2008 年初南方雨雪冰冻期间降水过程的温湿异常. 应用气象学报, 2015, 26(5): 525-535.
doi:10.11898/1001-7313.20150502

2008 年初南方雨雪冰冻期间降水过程的温湿异常

陈虹杏¹⁾²⁾ 谌芸¹⁾³⁾ 陆尔^{2)*} 李慧²⁾

¹⁾(成都信息工程大学, 成都 610225) ²⁾(南京信息工程大学, 南京 210044)

³⁾(国家气象中心, 北京 100081)

摘 要

2008 年 1 月 10 日—2 月 2 日我国中南部地区发生了严重的低温雨雪冰冻灾害。该文分析此次过程的冷空气活动和水汽输送, 比较两者在降水形成中的相对重要性。利用文中定义的两个参量, 可以直接比较水汽和温度这两个量在降水中所起的作用, 并比较两者作用的相对重要性。结果表明: 在低层(850 hPa 及以下), 我国中南部地区温度偏低、水汽偏少, 但温度偏低对降水偏多的正贡献大于水汽偏少的负贡献, 两者的净贡献为正, 因此, 冷空气活动主导降水。在较高层(600 hPa 及以上), 中南部地区水汽偏多、温度偏高, 但水汽偏多对降水的正贡献大于温度偏高的负贡献, 因此, 水汽输送主导降水。在中层(700 hPa), 干冷空气和暖湿空气混合导致, 中南部地区水汽偏多、温度偏低, 两者均有利于空气饱和, 对降水均起正作用; 计算结果显示, 水汽的贡献略强于温度的贡献。

关键词: 低温雨雪冰冻灾害; 冷空气活动; 水汽输送

引 言

低温雨雪, 特别是冰冻、暴雪等灾害性天气一直是气象科研和业务部门关注的重点, 也是政府和公众每年冬季最关心的灾害性天气之一, 这类天气使交通、电力、通讯、建筑等损失严重^[1-2]。2008 年 1 月 10 日—2 月 2 日我国中部及南部遭遇了一场严重的低温冰冻雨雪灾害, 影响了 20 多个省、市、自治区, 此次灾害影响范围之广, 持续时间之长, 强度之大, 灾害之重为历史罕见, 造成严重的经济损失和重大人员伤亡^[3-8]。

国内外已有许多针对此次低温雨雪冰冻灾害的研究。从大尺度大气环流角度, 阻塞高压、南支槽、静止锋、西太平洋副热带高压异常等是造成此次灾害的重要原因, 此次灾害受多种尺度系统的影响及其相互作用^[9-12]。高洋等^[13]从大气热力结构异常分析, 高层主要为冻雨提供了必要的水汽条件; 低层冷

空气为冻雨的维持提供了条件; 这种温度垂直结构导致对流层低层形成明显的逆温层, 一旦近地面层温度低于 0℃, 有利于雨水到达地面后形成冻雨。同时, 逆温层不断加强并长时间维持是大范围冻雨持续出现的主要原因^[14-15]。田野等^[1]指出在倾斜锋区存在的背景下, 形成了产生冻雨的大气逆温层结构和适宜的地面温度条件。叶飞^[16]对此次灾害天气进行了等熵位涡分析, 结果表明, 这次灾害性天气的冷空气来之于西伯利亚中部及北极地区。易明建等^[17]分析表明: 高位涡冷空气向下向南伸展到中低纬度对流层, 引起对流层温度和环流的改变, 是产生这次大范围冰雪灾害的重要原因之一。黎惠金等^[18]分析指出, 由于高、低位涡的不断活动、发展、更替, 使冷空气不断补充南下与南方暖湿空气汇合, 造成华南低温雨雪冰冻天气长时间持续。周长艳等^[19]分析指出青藏高原南侧、孟加拉湾北部的南支偏西风水汽输送和来源于西太平洋副热带高压南侧的偏东风水汽输送为我国南方地区源源不断输送了

2015-02-13 收到, 2015-05-04 收到再改稿。

资助项目: 国家重大科学研究计划(2012CB955900), 国家自然科学基金项目(41275092, 41230422, 41230528), 江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)

* 通信作者, email: elu@nuist.edu.cn

大量水汽。此外,还有学者运用数值模式资料对雨雪过程的水汽条件、凝结条件和不稳定条件等进行分析,指出凝结函数降水运动和水汽通量辐合降水运动是此次灾害过程4次降水过程的主要天气学原因^[20-21]。杨玮等^[22]利用奇异值分解方法分析了水汽输送通量异常场和降水异常场之间的关系,揭示出两对统计显著且天气意义清晰的耦合模态。

由以上研究可以看出,我国南方的这次灾害过程与冷空气活动和水汽输送存在密切关系。但这些研究尚未对水汽和温度的异常在降水异常中的相对贡献进行分析。Lu等^[23]研究表明,2009—2010年我国西南地区严重干旱是由水汽和温度的协同变化造成的。Lu等^[24]分析了2011年春季长江流域的严重干旱,指出这次春旱中,偏低气温有利于降水,干旱是由水汽的异常偏少造成的。值得注意的是,在不同的旱涝事件中,水汽和温度异常所起作用并不相同,两者对降水异常所起作用,需要进行具体研究。本文针对2008年初南方的冰冻雨雪灾害,利用上述文献中的分析工具,比较由冷空气活动和水汽输送所造成的温度和水汽异常作用的相对大小,有利于更好地认识此次灾害形成的大气过程,为冰冻雨雪灾害的预测提供参考。

1 资料和方法

本文使用的资料包括:①台站降水、气温资料,来自中国地面气候资料日值数据集,即756个基本、基准地面气象观测站及自动气象站1951年以来的逐日数据集资料;②格点逐日资料,来自NCEP/DOE提供的全球日平均再分析资料,包括10~1000 hPa共17层等压面的位势高度、风、温度、相对湿度等,空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,时段选取1979—2008年,共30年。文中的气候平均态,均指1979—2008年30年平均。

Bretherton等^[25]指出,降水和相对湿度在季节尺度和逐日时间尺度上具有很高的正相关关系。Lu等^[26]利用大空间样本进一步指出,季节总降水量与季平均相对湿度有非常好的正相关,空气的偏冷和水汽的偏多均有利于空气形成饱和(季平均的相对湿度较高),据此提出了一个比较降水的年际变化中水汽异常和温度异常相对重要性的方法,该方法在文献^[23]的研究中已有应用。

为了方便将水汽异常和温度异常作用分开,定

义如下的量,以比较某次过程的相对湿度与多年平均相对湿度的差异:

$$I_r = \ln \frac{r}{r_{\text{nor}}}, \quad (1)$$

其中, r 为某次过程的相对湿度, r_{nor} 为多年平均的相对湿度(nor表示多年平均)。

将相对湿度 r 用比湿 q 和温度 T 下的饱和水汽压 e_s 表示,并定义:

$$I_q = \ln \left(\frac{q}{q_{\text{nor}}} \right), \quad (2)$$

$$I_T = \ln \left(\frac{e_s(T_{\text{nor}})}{e_s(T)} \right), \quad (3)$$

于是式(1)可写为

$$I_r = I_q + I_T. \quad (4)$$

在上述定义中, I_q 反映水汽异常,其正值表示这次过程水汽偏多; I_T 反映温度异常,其正值表示这次过程温度偏低。利用式(4),可方便地将相对湿度的异常中由水汽异常和温度异常的贡献分离开。

相应于此次雨雪冰冻灾害的降水偏多($P > P_{\text{nor}}$,其中 P 表示某次过程的降水量, P_{nor} 表示多年平均的降水量),相对湿度为正距平,可表示为 $r > r_{\text{nor}}$,即 $I_r > 0$ 。根据式(4),可分成3种情况:① $I_q > 0$ 且 $I_T > 0$,即水汽偏多、温度偏低,水汽和温度异常均对降水偏多起正的作用。这是常见的情况,它们贡献的相对大小,可通过比较 I_q 和 I_T 的值判定。② $I_q > 0$ 但 $I_T < 0$,即水汽偏多有利于多雨,而温度偏高不利于多雨,从量值看,水汽正贡献大于温度负贡献,即 $I_q > |I_T|$,因而降水由水汽主导。③ $I_T > 0$ 但 $I_q < 0$,表示在多雨的事件中,水汽可以比常年少,这种情况下的降水由低温主导,特别低的温度的正贡献大于水汽少的负贡献,即 $I_T > |I_q|$ 。

2 降水和近地面温度异常

2008年1月10日—2月2日的低温雨雪冰冻灾害,其降水主要集中在长江中下游及以南的大部分区域(图1a)。江苏南部、安徽南部、江西大部、福建西部、湖南南部、广西东部、广东北部降水量超过100 mm,较往年明显偏多(图1b)。从降水日数看,中南部地区降水日数较往年明显偏多(图2),在长江中下游及以北部分区域,降水日数比往年多8 d以上。在以往冬季雨雪较少的南方,降水日数也偏多。

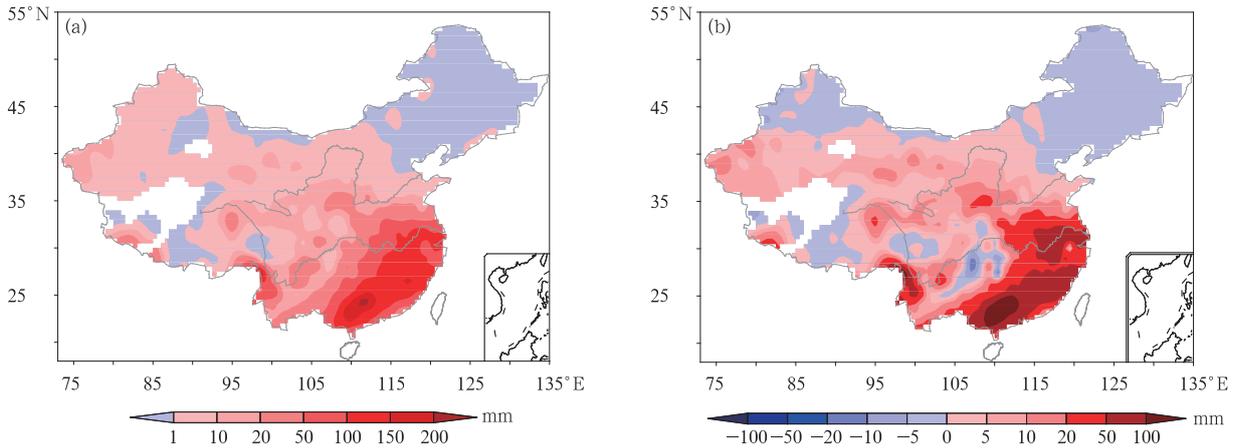


图 1 2008 年 1 月 10 日—2 月 2 日降水量(a)和降水量距平(b)分布(相对于 1979—2008 年平均)
 Fig. 1 The distribution of precipitation(a) and precipitation anomaly(b) from 10 Jan to 2 Feb in 2008
 (relative to the average of the period of 1979—2008)

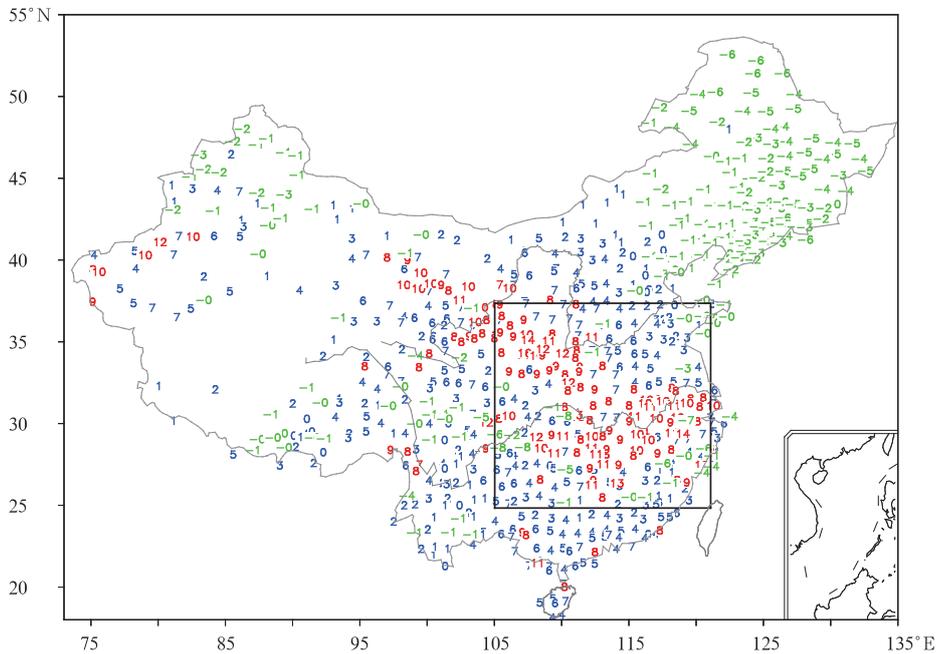


图 2 2008 年 1 月 10 日—2 月 2 日降水日数距平
 (单位:d,方框区域为 25°~37°N,105°~121°E)
 Fig. 2 The anomaly of the number of rainy days from 10 Jan to 2 Feb in 2008
 (unit:d,25°—37°N,105°—121°E is used for regional mean)

当日平均气温低于 1℃时,将这一日定义为低温日^[6,27]。2008 年灾害期间,我国中部和南部大部分区域低温日数较往年偏多,部分地区较常年偏多 10~15 d 以上(图 3a)。该区域与降水日数明显偏多的范围大致相符。综合这两个方面,将本次雨雪

灾害的研究范围定为 25°~37°N,105°~121°E。从日平均温度距平图(图 3b)可知,除西南小部分地区以外,大部分区域温度比往年低。在西北部、中部、南部,形成一带状的负距平大值区,在该区域中,温度比往年低 3℃ 以上。

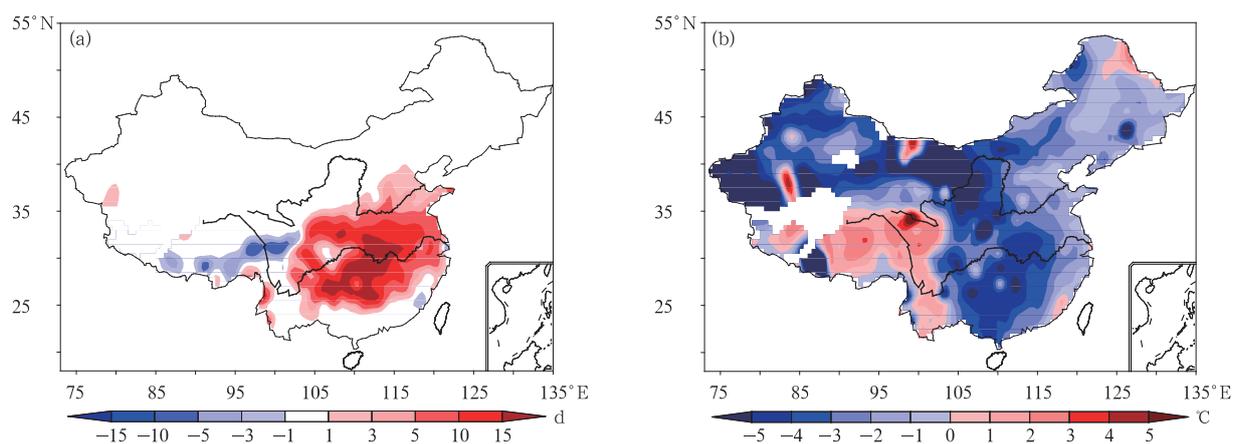


图3 2008年1月10日—2月2日低温日数距平(a)和平均温度距平(b)

Fig. 3 The anomaly of the number of cold days(a) and the anomaly of air temperature(b) from 10 Jan to 2 Feb in 2008

3 大尺度环流及冷空气活动和水汽输送

3.1 大尺度环流

2008年1月10日—2月2日500 hPa高度场(图4)显示,这次过程的经向环流比多年平均偏强。

在距平图(图略)上,亚洲中高纬度地区呈西高东低的形势,乌拉尔山到贝加尔湖之间位势高度为正距平,俄罗斯东部至我国东北位势高度为负距平。在该过程中,阻塞高压持续偏强,维持在乌拉尔山以东(图略)。强的经向环流和阻塞形势的维持,有利于南方和北方之间的空气交换,特别是北方冷空气

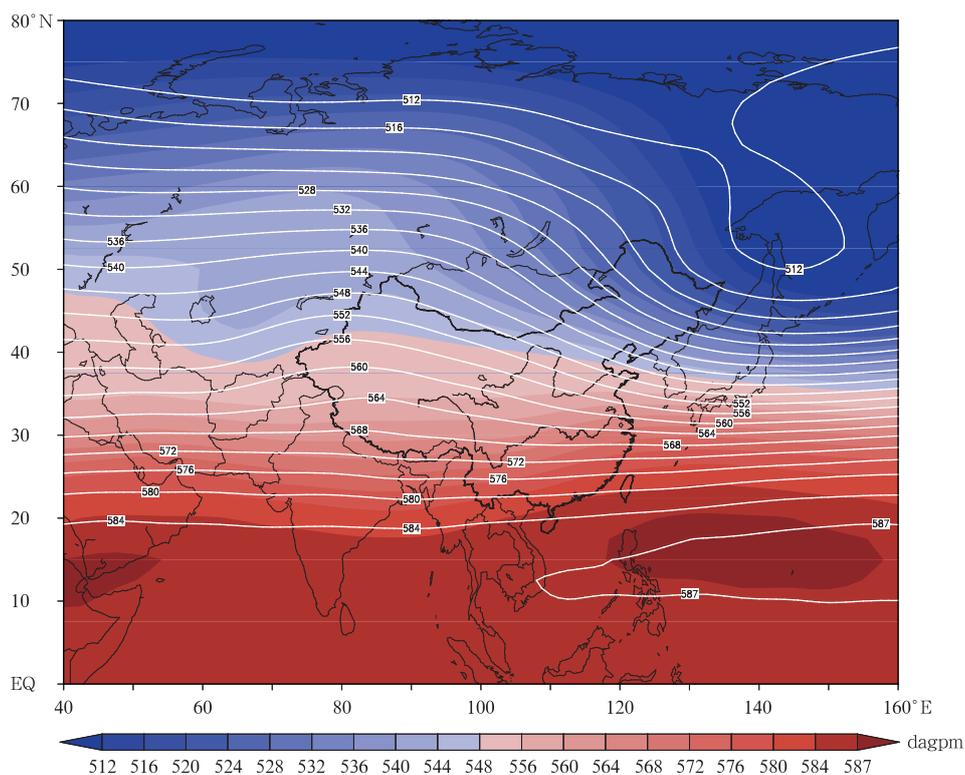


图4 2008年1月10日—2月2日500 hPa位势高度场(阴影)(等值线为气候平均场,单位:dagpm)

Fig. 4 500 hPa geopotential height(the shaded) and the climatic mean(the contour, unit: dagpm) from 10 Jan to 2 Feb in 2008

的南下。

由图 4 可知,这次过程的副热带高压比常年偏北、偏东,这个较有利的位置使水汽通过其西侧的南风向我国中南部输送,为降水提供水汽。同时,副热带高压偏北,也能阻挡北方冷空气继续向南推进,使其稳定在我国中南部地区^[28]。此外,这次过程中南支槽活跃,有利于孟加拉湾的水汽通过南支槽前的西南气流向我国中南部输送。

这些环流系统,特别是阻塞高压和副热带高压的异常,将北方异常的干冷空气和南方异常的暖湿空气带到了中南部地区,使该地区形成了有利于降水偏多的水汽和温度异常。

3.2 北方冷空气活动

叶飞^[16]指出,若不考虑涡度,因冷空气气团的静力稳定度较大,其位涡值也较高,因此,高位涡可用于代表冷空气。由于在绝热无摩擦情况下,大气

中位涡具有守恒性,因此,位涡与位温和比湿一样,可以用来跟踪气块移动^[29-30]。位涡也被运用于解释暴雨、阻塞等一些天气系统的演变和大尺度运动的机理^[31-32]。这里用等熵位涡分析此次过程中的冷空气活动。图 5 是不同高度层 2008 年 1 月 10 日—2 月 2 日的平均等熵位涡。500 hPa 上高位涡中心位于鄂霍次克海,黄河流域和长流流域之间有一高位涡带。600 hPa 上有一高位涡带从亚洲东北部和西北太平洋伸向我国长江、黄河流域,它与低纬度地区的低位涡在此汇合,形成高位涡中心。700 hPa 上冷空气主要从 40°N 向南输送至我国中南部,在此形成高位涡中心。850 hPa 上冷空气分为西南和东南两支向南扩散,在长江中下游流域被南方暖空气截断,呈一高位涡中心。从 850 hPa 逐日等熵位涡图(图略)分析,有源源不断的冷空气从北方不同方向入侵南方,在中南部地区被来自南方的暖湿

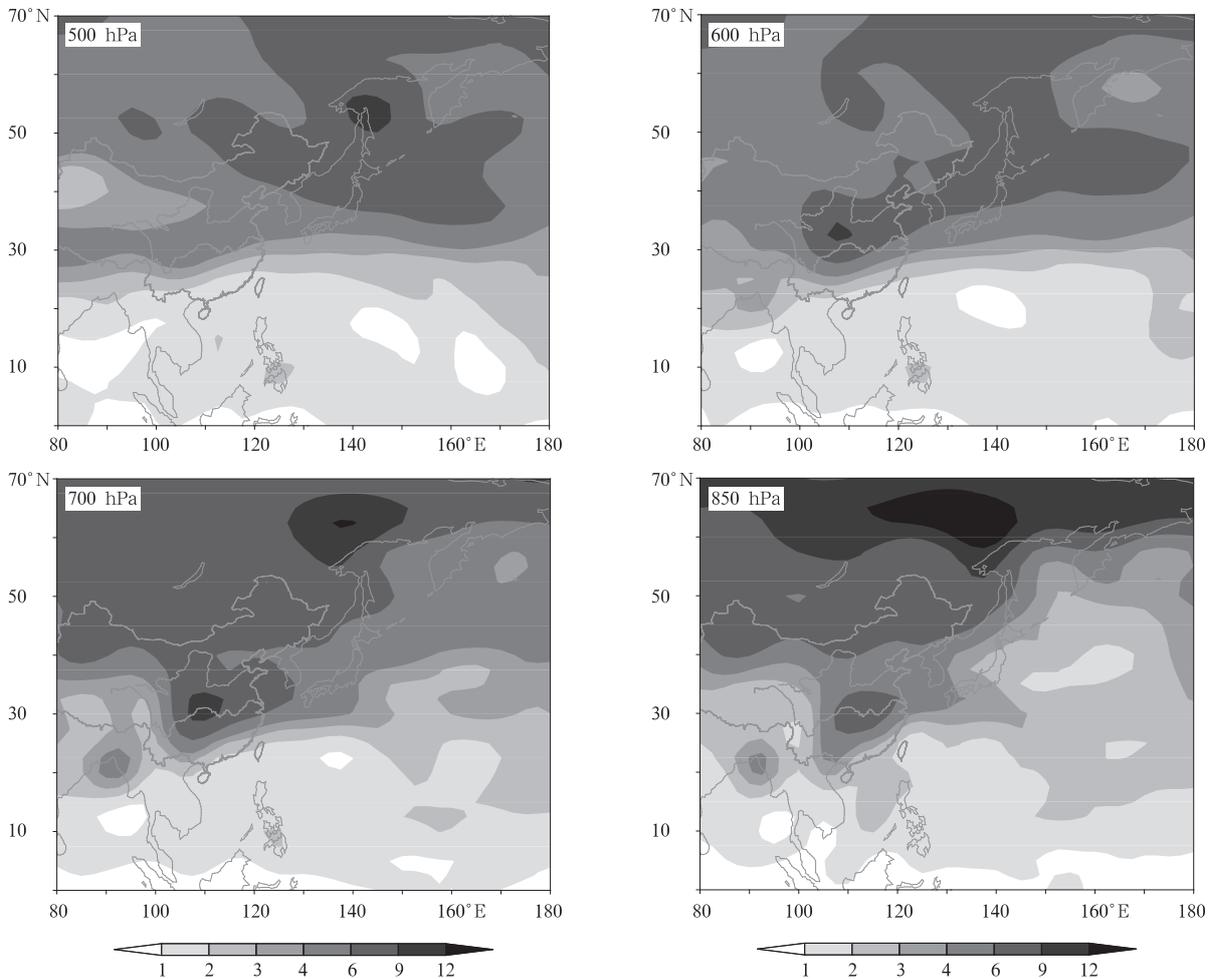


图 5 2008 年 1 月 10 日—2 月 2 日不同高度层等熵位涡(单位: $10^{-8} \text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Fig. 5 The entropic potential vorticity at different levels from 10 Jan to 2 Feb in 2008(unit: $10^{-8} \text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)

空气截断,形成高位涡中心。在该过程中,冷空气活动尤为活跃,中南部地区受冷空气影响最严重。从850 hPa到600 hPa均可看到,来自北方的冷空气入侵至我国中南部,被南方的暖湿空气截断,形成高位涡中心,表明冷空气在此处活动较强,该区域受冷空气影响较为严重。这样的环流形势下,北方的干冷空气与南方的暖湿空气在中南部汇合,静止锋维持,造成持续时间较长的降水过程。

3.3 南方水汽输送

水汽是降水形成的重要条件。一般而言,水汽越充足,越容易形成降水。2008年水汽输送主要来源于孟加拉湾和我国南海地区(图6a),这与多年平均(图6b)形势一致,但强度偏强(图6c)。2008年初,南支槽活跃,其槽前西南风带来的孟加拉湾地区的水汽偏多。同时,西太平洋副热带高压位置偏北,这有利于副热带高压西侧的水汽向我国南方地区输

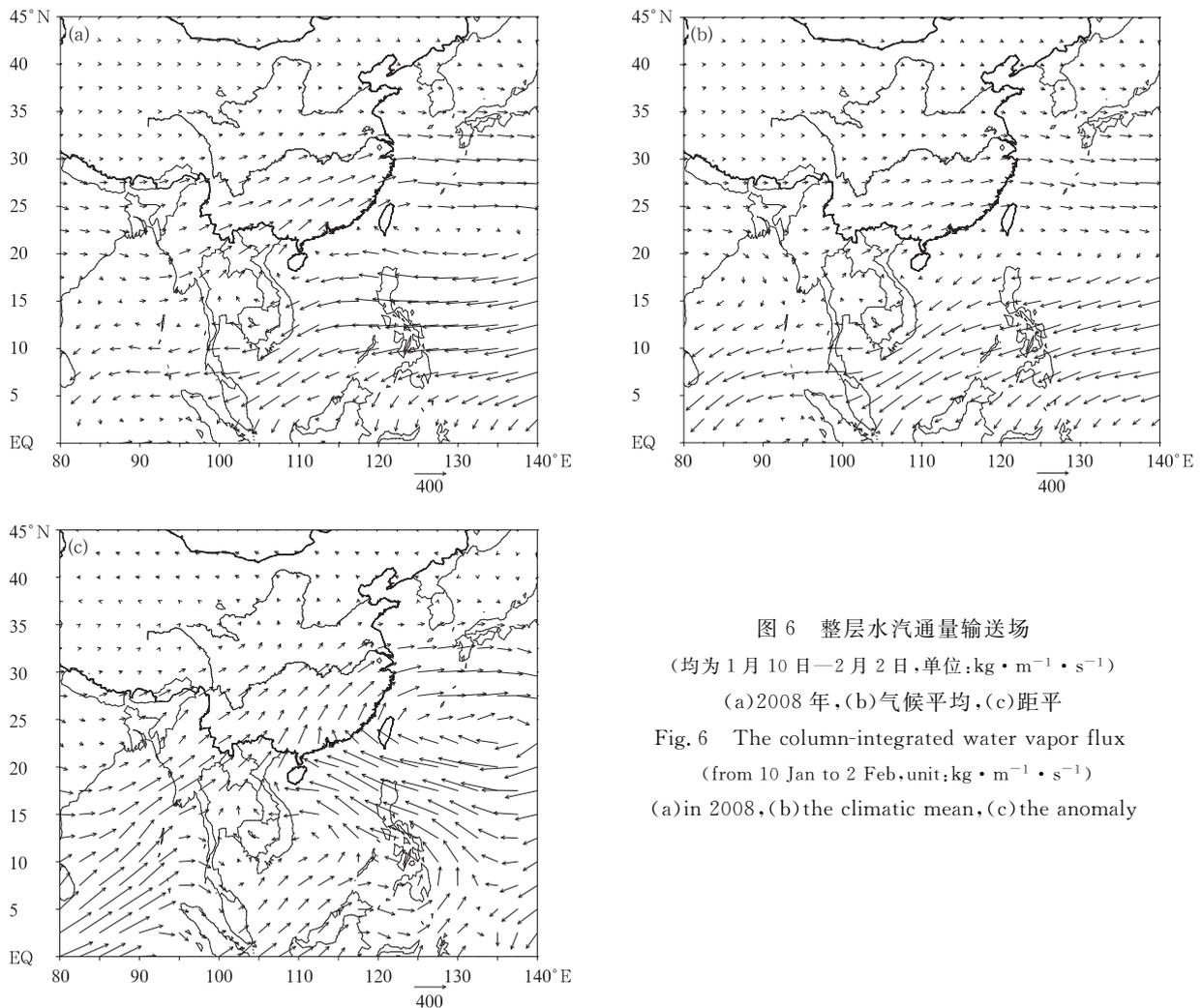


图6 整层水汽通量输送场

(均为1月10日—2月2日,单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a)2008年,(b)气候平均,(c)距平

Fig. 6 The column-integrated water vapor flux

(from 10 Jan to 2 Feb, unit: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

(a)in 2008, (b)the climatic mean, (c)the anomaly

送。偏强的水汽输送,给南方及中部地区降水提供了充足的水汽条件^[18]。

中南部地区的整层水汽输送比常年偏多,但在不同层次上,水汽并不总比常年偏多。在850 hPa上,虽有水汽从南海和孟加拉湾输送来,但由于北方强冷空气的阻挡,大部分暖湿空气被抑制在长江以南及西南地区,在灾害较为严重的区域,水汽呈弱的辐散,水汽输送偏少(图略)。由850 hPa比湿距平

场(图7a)也可知,中南部地区水汽偏少。水汽偏多的区域位于我国东南方向洋面。该层上水汽的变化主要由水汽的水平输送(辐合和辐散)造成,但也与水汽在垂直方向的辐合和辐散有关。

在垂直方向上,低层(925 hPa和850 hPa)我国大部分区域水汽偏少,700 hPa及以上,中南部地区为水汽输送的辐合区,水汽偏多的区域逐渐向西北推进,500~700 hPa水汽偏多区域逐渐从东南方的

洋面向长江和黄河流域扩大,甚至抵达西北地区。这次过程中,从低层到高层,水汽逐渐从偏少变为偏

多(图略)。

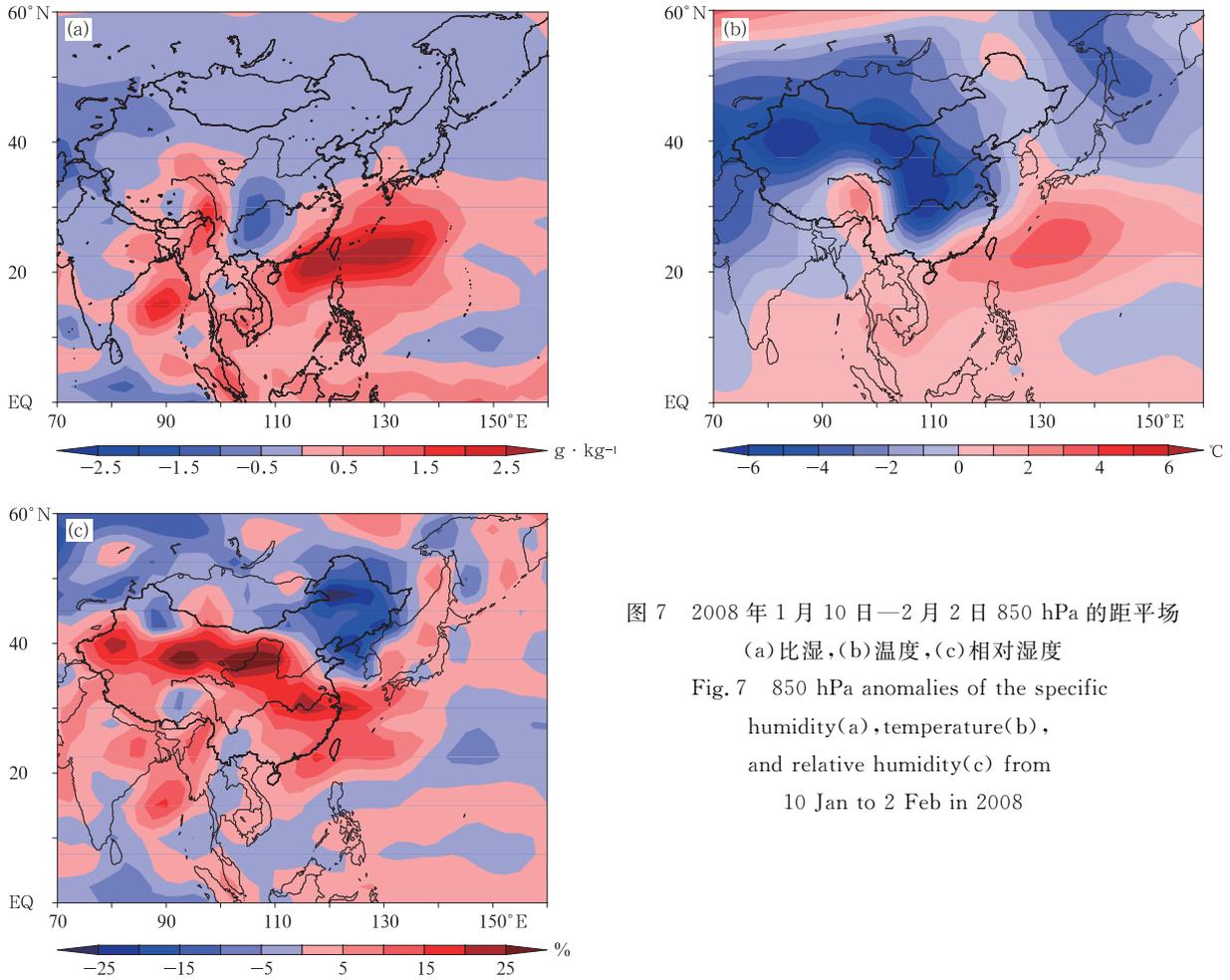


图 7 2008 年 1 月 10 日—2 月 2 日 850 hPa 的距平场 (a)比湿,(b)温度,(c)相对湿度
Fig. 7 850 hPa anomalies of the specific humidity(a), temperature(b), and relative humidity(c) from 10 Jan to 2 Feb in 2008

4 中南部地区水汽和温度异常重要性比较

以往研究大多强调水汽对降水的作用。但降水形成的决定性条件是大气饱和。Lu 等^[26]指出,即使水汽偏少,只要空气足够冷,使大气达到饱和,仍可导致偏多的降水。反之,尽管大气有偏多的水汽,如果温度严重偏高,空气难饱和,降水也不会偏多。利用大的空间样本,季节总降水量与季平均的相对湿度有非常好的正相关,这个关系比降水与水汽关系更显著。因此,可用相对湿度表征降水的年际变化。通过该关系,可在将降水与水汽联系起来的同时,再引入温度变化,也就是考虑了水汽和温度的协同变化。

这次过程中,整层水汽偏多,但低层水汽偏少,

从低层到高层,水汽由偏少逐渐转为偏多。分析这次降水过程的影响因素,除了要考虑不同层次水汽异常的作用,还应考虑由经向环流强和阻塞高压维持所造成的温度异常的作用。850 hPa 上中南部地区温度偏低,呈负距平中心(图 7b),有利于空气饱和。从低层到高层,温度由偏低逐渐转为偏高,因此,温度在不同层上的作用也不同。从 850 hPa 相对湿度距平(图 7c)看,除东北地区外,大部分区域相对湿度偏高,在西北、黄河流域、长江中下游及华南地区,有一带状的正距平大值区。这与图 1b 中降水偏多的区域有很好的对应关系。在对流层其他层上,同样也有相对湿度的正距平大值区(图略)。这里用第 1 章给出的 I_q 和 I_T ,分析不同层上水汽和温度异常在这次降水异常中的相对作用。

图 8 是 2008 年 1 月 10 日—2 月 2 日的 I_q, I_T ,

$I_q + I_T$ 分布。850 hPa上由于经向环流偏强,有利于南方暖湿空气向北输送,也有利于北方的干冷空气入侵南方。在中南部地区,虽有来自南方的湿空气,但因来自北方的冷空气很强,它同时也是干空气,两者在该地区混合,使该地区水汽比常年偏少,这不利于空气饱和,从淮河流域到长江以南的地区, $I_q < 0$,对偏多的降水有负贡献。另一方面,来自北方的干

冷空气,其偏冷程度比来自南方暖湿空气偏暖程度更强,两者在中南部交汇后,温度比常年偏低,饱和水汽压偏低,有利于空气饱和,对降水偏多有正贡献, $I_T > 0$ 。在中南部地区,尽管空气中水汽偏少,但空气偏冷程度更强,温度偏低对降水的正贡献可抵消水汽偏少对降水的负贡献, $I_q + I_T > 0$,两者的净贡献为正。因此,冷空气活动对降水起主导作用。

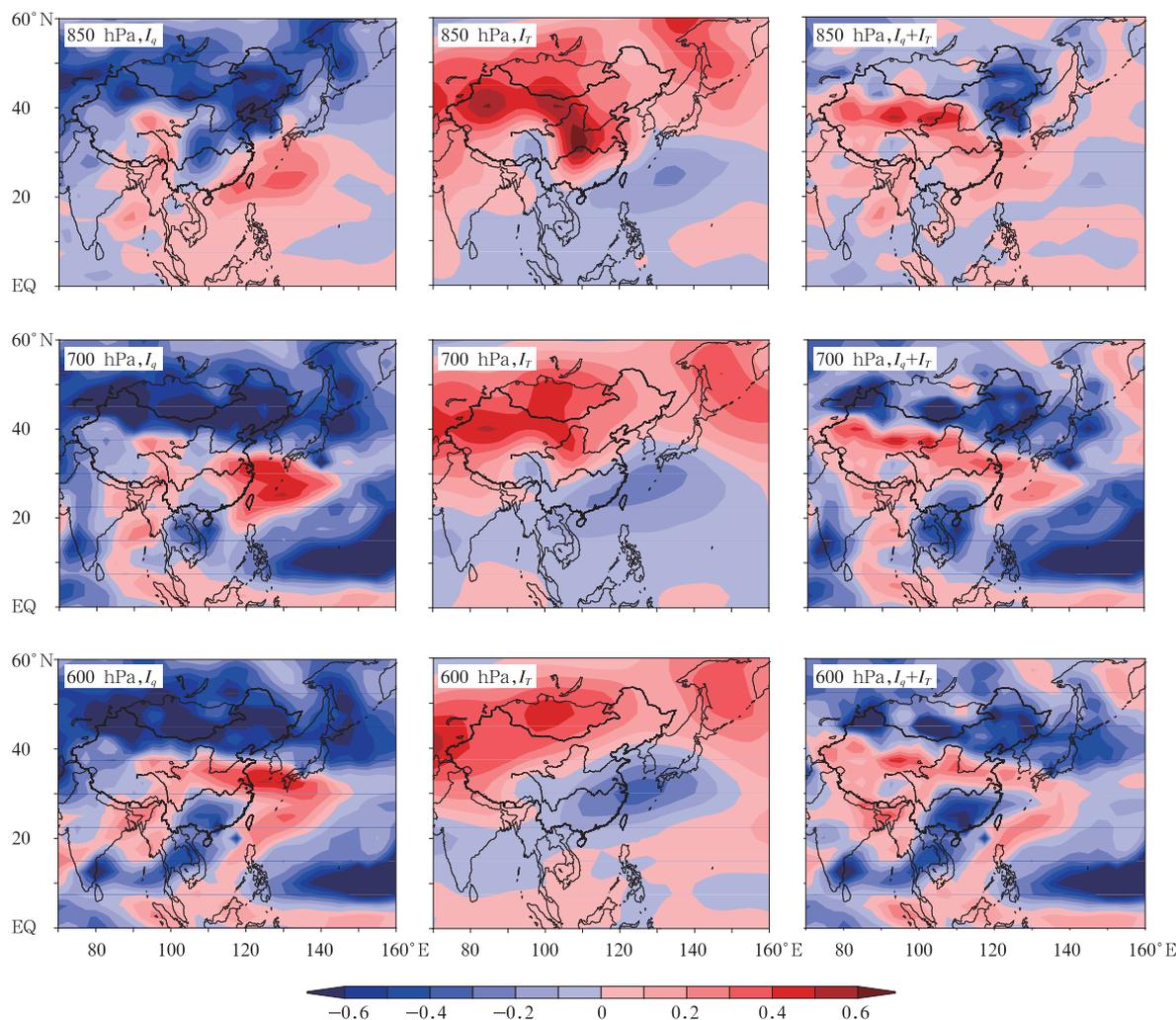


图8 2008年1月10日—2月2日850 hPa,700 hPa和600 hPa平均的 $I_q, I_T, I_q + I_T$

Fig. 8 Distributions of the averaged I_q, I_T and $I_q + I_T$ at 850 hPa, 700 hPa and 600 hPa from 10 Jan to 2 Feb in 2008

700 hPa上水汽正贡献的区域由东南方向洋面延伸到江淮流域,水汽对降水贡献出现了由负贡献向正贡献的转变。温度对降水正贡献的区域向北缩小,长江以南转为负贡献,在中南部地区仍为正贡献, $I_T > 0$ 。干冷空气和暖湿空气在700 hPa混合,

使中南部地区水汽偏多、温度偏低,两者均利于空气饱和,对降水均起正的贡献。

600 hPa及以上各层情况与850 hPa大致相反。600 hPa上北方侵入的干冷空气较弱,而南方输送来的暖湿空气较强,两者在中南部混合后,水汽正贡

献区域进一步向西扩展至黄河流域,中南部地区的水汽偏多,水汽呈正贡献, $I_q > 0$;温度正贡献的区域继续向西北撤退,温度偏高,中南部地区转为呈负贡献, $I_T < 0$ 。因此,尽管空气偏暖不利于空气饱和,但水汽偏多程度更大。水汽偏多对降水的正贡献大于温度偏暖的负贡献,即 $I_q > |I_T|$,两者净贡献为正, $I_q + I_T > 0$ 。说明水汽输送在这些较高层次对降水的偏多起主导作用。

从区域平均的 $I_q, I_T, I_q + I_T$ 的垂直廓线(图9)看,从低层到高层,水汽和温度异常对降水偏多的贡献有变化。925 hPa 和 850 hPa 上冰冻雨雪区空气较常年偏干,对降水有负贡献($I_q < 0$)。但该区域空气偏冷,对降水有正贡献($I_T > 0$)。空气偏冷的正贡献比空气偏干的负贡献大($I_q + I_T > 0$),两者净贡献为正,有利于降水偏多,冷空气活动在此过程中起主导作用。由低层向高层水汽逐渐增多,水汽作用由负贡献向正贡献转变,在700 hPa上呈正贡献。该层水汽和温度均为正贡献,利于空气饱和,对降水起正作用。计算结果表明,水汽正贡献强于温度正贡献。600 hPa及以上层次水汽正贡献作用有增大趋势。温度正贡献逐渐减小,在600 hPa转为负贡献。水汽偏多的正贡献比温度偏冷的负贡献大,两者净贡献为正,有利于降水偏多。在该层,强水汽输送对降水起主导作用。

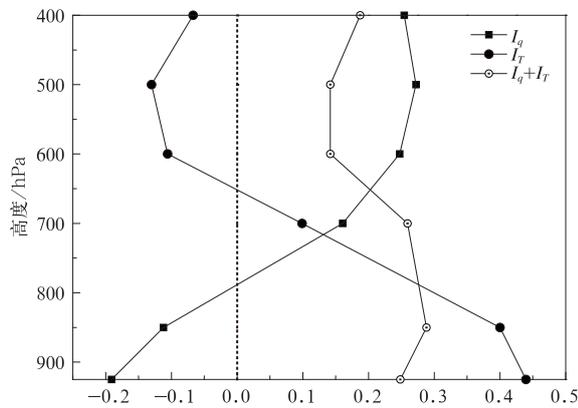


图9 2008年1月10日—2月2日我国中南部地区(25°~37°N, 105°~121°E)平均的 I_q, I_T 和 $I_q + I_T$ 的垂直廓线

Fig. 9 Vertical profiles of I_q, I_T and $I_q + I_T$ averaged over the disaster area (25°-37°N, 105°-121°E) from 10 Jan to 2 Feb in 2008

5 结论与讨论

2008年1月10日—2月2日我国中南部地区发生了严重的低温雨雪冰冻灾害,本文分析2008年1月10日—2月2日冷空气活动和水汽输送,比较两者在降水过程中的相对重要性。结果表明:

1) 分析发现,各层的水汽和温度异常并不相同。低层水汽偏少、温度偏低。由低层到高层,水汽逐渐偏多、温度逐渐偏高。在高层,水汽偏多、温度偏高。

2) 低层(850~925 hPa)虽有来自南方的湿空气,但因来自北方的冷空气很强,同时也是干空气,两者在中南部地区混合后,使该地区水汽偏少,不利于空气饱和,对降水有负贡献;同时温度偏低,有利于空气饱和,对降水有正的贡献。温度偏低的正贡献能抵消水汽偏少的负贡献,两者净贡献为正,相对湿度偏高,有利于降水偏多。因此,低层冷空气对此次降水偏多起主导作用。

3) 较高层(600 hPa及以上层)情况大体相反,虽有干冷空气侵入,但来自南方的暖湿空气很强,使中南部地区水汽偏多,对降水有正贡献;同时,温度偏高,对降水有负贡献。水汽的正贡献能抵消空气偏暖的负贡献,两者净贡献为正。因此,在较高层,水汽输送对此次降水起主导作用。

4) 在过渡的中间层(700 hPa),干冷空气和暖湿空气混合,中南部地区水汽偏多、温度偏低,两者均对降水偏多有正贡献。计算结果表明,水汽的正贡献强于温度的正贡献。

参考文献

- [1] 田野,何宏让. 08年初南方雨雪冰冻灾害形成的温度场结构分析//第26届中国气象学会年会灾害天气事件的预警、预报及防灾减灾分会场论文集. 2009:1482-1488.
- [2] 罗宁,文继芬,赵彩,等. 导线积冰的云雾特征观测研究. 应用气象学报,2008,19(1):91-95.
- [3] 王凌,高歌,张强,等. 2008年1月我国大范围低温雨雪冰冻灾害的气候特征及成因分析 I. 气候特征与影响评估. 气象,2008,34(4):95-100.
- [4] 赵琳娜,马清云,杨贵名,等. 2008年初我国低温雨雪冰冻对重点行业的影响及致灾成因分析. 气候与环境研究,2008,13(4):556-566.
- [5] 吴乃庚,林良勋,李天然,等. 2008年初广东罕见低温雨雪冰冻天气的成因初探. 广东气象,2008,30(1):4-7.
- [6] 王遵娅,张强,陈峪,等. 2008年初我国低温雨雪冰冻灾害的

- 气候特征. 气候变化研究进展, 2008, 4(2): 63-67.
- [7] 郑国光. 一次历史罕见的低温雨雪冰冻灾害. 气象知识, 2008 (1): 4-6.
- [8] 熊光明, 陈权亮, 魏麟晓, 等. 平流层极涡偏移对我国冬季降水的影响. 应用气象学报, 2012, 23(6): 683-690.
- [9] 王东海, 柳崇健, 刘英, 等. 2008年1月中国南方低温雨雪冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析. 气象学报, 2008, 66(3): 405-422.
- [10] 彭艳, 王钊, 刘安麟, 等. 2008年1月中国南部低温雨雪冰冻天气特征及其与东亚大气环流异常探讨. 大气科学学报, 2010, 33(5): 634-640.
- [11] 赵思雄, 孙建华. 2008年初南方雨雪冰冻天气的环流场与多尺度特征. 气候与环境研究, 2008, 13(4): 351-367.
- [12] 常蕊, 张庆云, 彭京备. 中国南方多雪年环流特征及对关键区海温的响应. 气候与环境研究, 2008, 13(4): 468-477.
- [13] 高洋, 吴统文, 陈葆德. 2008年1月我国南方冻雨过程的热力异常及其形成原因. 高原气象, 2012, 30(6): 1526-1533.
- [14] 陶诗言, 卫捷. 2008年1月我国南方严重冰雪灾害过程分析. 气候与环境研究, 2008, 13(4): 337-350.
- [15] 高辉, 陈丽娟, 贾小龙, 等. 2008年1月我国大范围低温雨雪冰冻灾害分析 II. 成因分析. 气象, 2008, 34(4): 101-106.
- [16] 叶飞. 2008初冬季我国南方低温雨雪冰冻天气的等熵位涡分析 // 第六届长三角气象科技论坛论文集. 2009: 94-99.
- [17] 易明建, 陈月娟, 周任君, 等. 2008年中国南方雪灾与平流层极涡异常的等熵位涡分析. 高原气象, 2009, 28(4): 880-888.
- [18] 黎惠金, 李江南, 肖辉, 等. 2008年初中国南方低温雨雪冰冻事件的等熵位涡分析. 高原气象, 2010, 29(5): 1196-1207.
- [19] 周长艳, 高文良, 李跃清. 2008年1月我国低温雨雪冰冻气象灾害中的水汽输送特征. 高原山地气象研究, 2009, 28(4): 25-30.
- [20] 孙建华, 赵思雄. 2008年初南方雨雪冰冻灾害天气的大气层结和地面特征的数值模拟. 气候与环境研究, 2008, 13(4): 510-519.
- [21] 辜旭赞. 2008年1月我国南方持续雨雪过程的诊断分析. 高原气象, 2011, 30(1): 150-157.
- [22] 杨玮, 何金海, 王佳, 等. “0801南方雪灾”水汽通量与降水关系的SVD分析. 热带气象学报, 2011, 27(5): 697-702.
- [23] Lu E, Luo Y, Zhang R, et al. Regional atmospheric anomalies responsible for the 2009-2010 severe drought in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 2011, 116(D21).
- [24] Lu E, Liu S, Luo Y, et al. The atmospheric anomalies associated with the drought over the Yangtze River basin during spring 2011. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2014, 119(10): 5881-5894.
- [25] Bretherton C S, Peters M E, Back L E. Relationships between water vapor path and precipitation over the tropical oceans. *J Climate*, 2004, 17(7): 1517-1528.
- [26] Lu E, Takle E S. Concurrent variations of water vapor and temperature corresponding to the interannual variation of precipitation in the North American Regional Reanalysis. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 2010, 115(D11).
- [27] Wen M, Yang S, Kumar A, et al. An analysis of the large-scale climate anomalies associated with the snowstorms affecting China in January 2008. *Mon Wea Rev*, 2009, 137(3): 1111-1131.
- [28] 王颖, 黄勇, 卓东奇. 2008年我国南方雨雪冰冻异常天气特点与成因研究 // 中国气象学会2008年年会极端天气气候事件与应急气象服务分会场论文集. 2008: 42-49.
- [29] 王建中, 马淑芬, 丁一汇. 位涡在暴雨成因分析中的应用. 应用气象学报, 1996, 7(1): 19-27.
- [30] 赵亮, 丁一汇. 梅雨期高位涡源区及其传播过程. 应用气象学报, 2008, 19(6): 697-709.
- [31] 陆尔, 丁一汇, 李月洪. 1991年江淮特大暴雨的位涡分析与冷空气活动. 应用气象学报, 1994, 5(3): 266-274.
- [32] 毕慕莹, 丁一汇. 1980年夏季华北干旱时期东亚阻塞形势的位涡分析. 应用气象学报, 1992, 3(2): 145-156.

Anomalous Moisture and Temperature Characteristics in Precipitation Process During January 2008 Heavy Snowstorm in China

Chen Hongxing¹⁾²⁾ Chen Yun¹⁾³⁾ Lu Er²⁾ Li Hui²⁾

¹⁾ (Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225)

²⁾ (Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

³⁾ (National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

The severe cryogenic freezing rain and snow disastrous weather occurs in central-southern China from 10 Jan to 2 Feb in 2008, which lasts for nearly a month, causes huge social and economic impacts. The water vapor supply and the cold air surges of this disaster are investigated, and their effects on the formation of the heavy snowstorm are performed. The abnormality of the atmospheric circulation is that the blocking high remains stable in high latitudes of the Northern Hemisphere, the western Pacific subtropical high is more north than normal and the south branch trough is active. In this process, cold air continuously transports from north to central-southern China, forming a high isentropic potential vorticity center. At the same time, there is also strong water vapor continuously transports to north, the integrated water vapor is more than normal in the central-southern China, but at 850 hPa and levels below, the moisture is less. At different levels, anomalous temperature and moisture are different. From low layer to high layer, the air temperature change from abnormally low to abnormally high. The moisture increases and turns into more than normal at 700 hPa. Some methods are defined to examine whether moisture and temperature both play positive roles in this event. Results indicate that at 850 hPa and levels below, although warm and moist air transport from the south, dry and cold air transport from the north is very strong, so the abnormally low air temperature caused by the cold air surges dominates the abnormally high relative humidity, and the precipitation is more than normal, resulting in less moisture is less than normal, but this negative effect is weaker than the positive effect of abnormally lower air temperature. On the contrary, at 600 hPa and levels above, although the dry cold air transport from north, the warm and wet air from south is very strong, the abnormally more water vapor dominates the heavy precipitation, the air temperature is warmer than normal, and it has a negative effect at 700 hPa, the result of the blend of the warm and moist air from the south with the dry and cold air from the north is that the air over the central-southern China is moister while colder than normal. They both have positive contributions to the heavy snowstorm. It shows from calculation that at this level, the moistness of the air contributes more than the coldness of the air.

Key words: low temperature freezing rain and heavy snowfall; cold air surge; moisture supply