

史悦, 郑建萌, 张万诚, 等. 2016年1月云南低温雨雪灾害的原因分析[J]. 灾害学, 2017, 32(4): 208-213. [SHI Yue, ZHENG Jianmeng, ZHANG Wancheng, et al. Analysis on the Causes of low Temperature and Snow Disaster in Yunnan in January 2016[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(4): 208-213. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.04.035.]

## 2016年1月云南低温雨雪灾害的原因分析\*

史悦<sup>1,2</sup>, 郑建萌<sup>3</sup>, 张万诚<sup>2</sup>, 马涛<sup>4</sup>, 高竟翔<sup>1</sup>

(1. 云南大学大气科学系, 云南昆明 650091; 2. 云南省气象科学研究所, 云南昆明 650034;  
3. 云南省气候中心, 云南昆明 650034; 4. 云南省昭通市气象台, 云南昭通 657000)

**摘要:**应用高空探测资料、地面实况观测资料、以及美国 NCEP/NCAR 1° × 1°再分析资料, 分析 2016 年 1 月 22 日至 26 日云南出现的大范围低温雨雪灾害性天气产生的原因。结果表明: 这次过程造成滇中及以东以北大部地区最高气温降幅达 10℃ ~ 18℃, 全省出现大范围持续雨雪天气, 滇中及以东以北地区和南部高海拔地区降雪明显有 9 个县最低气温突破历史同期极值。这次灾害天气过程是强冷空气南压影响云南形成降温, 并受南支槽东移影响, 孟加拉湾的西南暖湿气流与北方冷空气交汇造成云南大部分地区出现雨雪天气。另外, 水汽条件、动力条件的较好配合也是这次强寒潮天气产生的原因。

**关键词:** 低温雨雪; 灾害; 南支槽; 水汽输送; 云南

**中图分类号:** P467; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)04-0208-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.04.035

寒潮是高纬度强冷空气南下形成剧烈的降温降雪天气过程, 其产生与一些天气系统的活动和环流调整密切相关, 由于云南特殊的地理位置和地形条件, 使得北方的冷空气不易影响云南, 造成云南的寒潮天气与全国其它大部份地区的特征并不一样, 一是降温幅度较小, 二是降温幅度慢, 这种缓慢降温造成的低温天气使其影响更大; 另外, 云南大部分地区四季如春, 极少出现降雪天气, 往往一次降雪天气就给云南带来重大灾害。因此, 对云南来说, 降雪就是寒潮天气。这种寒潮天气过程带来的剧烈降温、雨雪天气给工农业生产、交通运输、电力输送、通讯等会造成严重影响, 对它的准确预报显得非常重要。

研究表明造成云南出现灾害性极端天气气候如强降温或强降水的天气系统主要有环流异常、水汽输送异常以及外部强信号如海温异常等<sup>[1-5]</sup>, 过去有许多气象工作者对寒潮和降雪过程进行了诊断和分析, 王遵娅等<sup>[6]</sup>分析近 53 年来中国寒潮的变化特征及其可能的原因, 索渺清等<sup>[7]</sup>分析了 2007 年 11 月云南德钦高原暴雪产生的原因表明南支槽在孟加拉湾维持, 有利于将孟加拉湾风暴产生的水汽输送上高原, 为高原东南部地区的低温雨雪天气提供了充足的水汽来源。张腾飞等<sup>[8-9]</sup>对

2000 年以来云南出现的四次强降雪过程进行分类对比分析和诊断分析, 任菊章等<sup>[10]</sup>研究了冬季西伯利亚高压的季节内变化对温度的影响, 许美玲等<sup>[11]</sup>研究表明影响云南的冷空气路径一是东北路径, 冷空气从河西走廊翻过秦岭到达四川盆地或贵州后, 从滇东北进入, 它是冷空气影响云南次数最多的(占 63%); 二是偏东路径, 冷空气主力偏东进入华南一带, 产生回流天气, 从滇东南进入影响滇东地区(略占 28%); 三是西北路径, 高空冷平流直接翻过青藏高原, 冷空气从高原东南部横断山进入滇西北。

2016 年 1-2 月冬季强寒潮造成了云南严重的雪灾和低温冻害, 共造成 470.8 万人受灾, 农作物受灾面积 489.4 km<sup>2</sup>、绝收 36.4 km<sup>2</sup>, 房屋倒塌 64 间、损坏 1 668 间, 直接经济损失 28.3 亿元, 其中农业经济损失 25.5 亿元, 灾害损失在近 10 年中属偏重的年份<sup>[12]</sup>。2016 年 1 月低温冷害及雪灾偏重, 其中最严重的是 1 月 22-26 日, 云南受寒潮天气过程影响, 全省出现大范围雨雪天气, 滇中及以东以北地区和南部高海拔地区降雪明显, 海拔 1 400 m 以上区域出现大范围积雪和冰冻, 并造成严重的损失<sup>[12]</sup>。因此, 本文应用高空探测资料、地面实况观测资料、以及美国 NCEP/NCAR 1°

\* 收稿日期: 2017-04-28 修回日期: 2017-06-19

基金项目: 国家自然科学基金(41665005, 41440034, 41765003); 云南省科技惠民专项“云南强对流灾害性天气短时临近预警系统研究”(2016RA09603)

第一作者简介: 史悦(1993-), 女, 云南楚雄人, 硕士研究生, 主要从事天气气候诊断分析研究. E-mail: xdlboom@163.com

通讯作者: 郑建萌(1966-), 女, 云南个旧人, 高级工程师, 主要从事天气预报诊断及气候预测分析. E-mail: hhzh@sina.com

表 1 2016 年 1 月最低气温突破历史最低记录情况表

站点	沾益	马龙	鲁甸	双柏	澄江	新平	红河	绿春	屏边
实况值/°C	-6.7	-8.1	-9.6	-4.4	-4.3	-2.1	1.0	-1.8	-1.9
历史记录/°C	-6.2	-7.4	-9.4	-2.4	-3.9	-1.8	2.8	0.2	-0.8

× 1°再分析资料分析造成这次低温雨雪灾害天气的原因。

## 1 强寒潮天气概况及灾情

### 1.1 强寒潮天气过程概况

从 1 月 22 日晚间开始至 26 日, 云南大部地区自东向西受强冷空气影响。24 日滇中及以东以北地区的最低气温普遍在  $-10.2 \sim 0^{\circ}\text{C}$  之间。滇中及以东以北大部地区最高气温降幅达  $10 \sim 18^{\circ}\text{C}$ , 其中文山州的丘北、西畴、马关等站气温降幅最大达  $22^{\circ}\text{C}$  以上。全省 9 个县最低气温突破历史同期极值(表 1), 其中滇东北鲁甸最低气温达  $-9.6^{\circ}\text{C}$ , 滇中澄江、双柏最低气温分别达  $-4.4^{\circ}\text{C}$ 、 $-4.3^{\circ}\text{C}$ , 滇东南的屏边、绿春最低气温降为  $-4.4^{\circ}\text{C}$  和  $-4.3^{\circ}\text{C}$  等。

从图 1 可以看出, 低温影响区域覆盖全省大部地区, 103 个站的最低气温在  $5^{\circ}\text{C}$  以下, 占全省的 82%, 其中有 76 个站的最低气温在  $0^{\circ}\text{C}$  以下, 是 1980 年以来 1 月份低温范围最大的。全省有 28 个站日最高气温小于  $0^{\circ}\text{C}$ , 71 个站日最高气温小于  $5^{\circ}\text{C}$ , 为 1961 年以来 1 月同期最多的, 在整个冬季位列历史上的第 2 位。全省雨雪天气过程最低气温  $0^{\circ}\text{C}$  以下平均持续日数达 2.2 d, 最低气温  $5^{\circ}\text{C}$  以下全省平均持续日数达 4.6 d, 低温持续日数为近 10 年来最长。受大范围雨雪天气影响, 1 月下旬全省平均日照仅 40.8 h, 较常年同期偏少 41.2%, 为 1961 年以来同期最少年份。

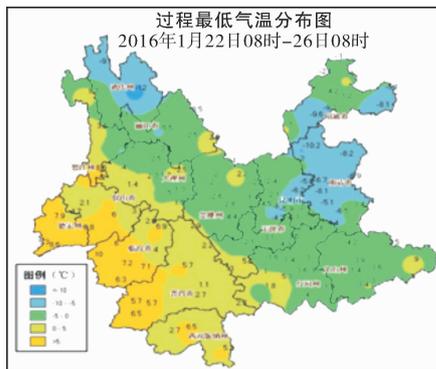


图 1 2016 年 1 月 22 - 26 日过程最低气温分布图

伴随强降温, 这次强冷空气造成全省出现了大范围的持续雨雪天气, 降雪区域主要集中在昭通、曲靖、昆明、文山北部、红河北部、玉

溪北部、楚雄东部、迪庆、大理东部等区域。全省出现大范围持续雨雪天气, 共有 74 个县站出现降雪(图 2), 滇中及以东以北地区和南部高海拔地区降雪明显, 海拔 1 400 m 以上区域出现大范围积雪和冰冻。最大积雪深度位于昭通市的威信站达 9 cm(1 月 24 日 11 时)。降雨主要出现在滇南及滇西南的大部地区, 从 1 月 22 日 08 时 - 26 日 08 时, 全省累积雨量超过 25 mm 的有 7 站, 最大雨量出现在红河州的建水站达 44.2 mm, 29 站出现小到中雨, 大部站出现小雨。



图 2 2016 年 1 月 22 - 26 日云南降雪落区分布图

### 1.2 灾情

(1) 农牧业: 云南省大部地区 1 月热量条件较好、土壤墒情适宜、光照充足, 气象条件对云南农业、经济作物如夏粮作物生长、花卉栽培等较为有利。因此, 1 月是云南农业的关键季节。而 2016 年 1 月下旬云南出现的低温是 1980 年以来影响范围最大、持续时间最长的一次强寒潮天气, 这次强寒潮天气使全省农作物不同程度受灾: 对哀牢山以东以北地区蚕豆、油菜等, 滇东北冬小麦造成了一定程度的冻害; 滇中以南的花卉等遭受严重寒害。夏粮作物处于低温敏感性较高阶段, 影响较大, 受害程度超过 2013 年 12 月, 仅次于 2008 年; 西双版纳州、文山州、普洱大部最低气温低于  $5^{\circ}\text{C}$ , 对茶叶、甘蔗、咖啡、橡胶、三七等经济作物的影响严重, 其中茶叶受灾面积约 77  $\text{km}^2$ 。强寒潮共造成 226.6  $\text{km}^2$  农作物受灾, 绝收 10.2  $\text{km}^2$ , 其中位于滇中的昆明市和玉溪市灾情最重, 受灾面积分别达 65.1  $\text{km}^2$  和 43.5  $\text{km}^2$ , 合计占全省受灾总面积的 47.9%。另外, 强寒潮造成迪庆州、怒江州、丽江市、昭通市等地畜牧业损失严重, 共有约 4.35 万头(只)草食牲畜因灾

死亡<sup>[12]</sup>。

(2)供电供水：这次强寒潮天气对部份州(市)的供电、供水造成严重影响，曲靖市、昆明市、大理州、楚雄州、红河州的80多个风电场出现结冰，影响或中止发电。多条输电线路覆

冰，其中曲靖供电局覆冰线路总计298条<sup>[12]</sup>。另外，部分地区供水设施冻裂，城市生活供水受到较大影响，其中昆明市共有284个小区(主城区247个)，约5万多用户出现供水设施(水管、水表)结冰、冻裂。

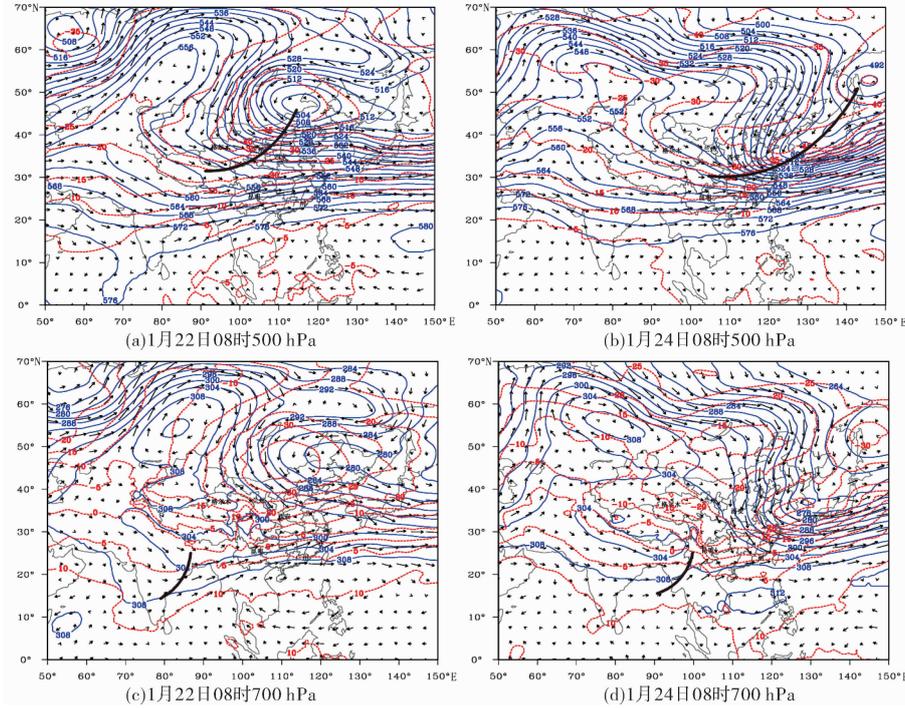


图3 2016年1月环流形势图

注：图中实线是位势高度，单位：dagpm；虚线是等温线，单位：℃；箭头表示风矢量，单位： $m \cdot s^{-1}$ 。

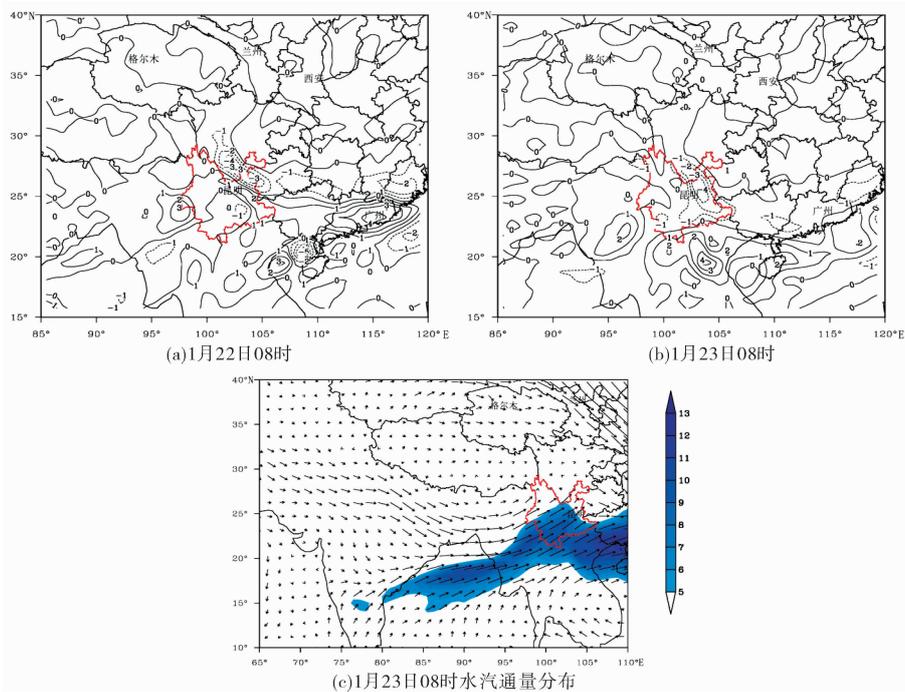


图4 700hpa水汽通量散度分布(单位： $10^{-8} \cdot g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ 虚线代表负值)和水汽通量分布(单位： $g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ )

(3)交通:受这次强寒潮天气影响,多条道路出现结冰现象,严重影响交通。昆明-安宁、昆明-曲靖、昆明-磨憨、楚雄-大理、嵩明-待补、曲靖-胜境关、曲靖-陆良等高速公路,昭通-彝良二级公路以及多条省级公路受到积雪结冰影响。另外,昆明的二环快速、西北绕城、东绕城、东三环部分路段临时封闭或交通管制,多路长途班车停运(昆明东部、北部、西北部三大客运站全线停班),多路公交减运停运。

滇中昆明长水机场、滇东北昭通机场、滇东南文山机场因跑道结冰,导致部分航班取消,其中昆明长水机场截至 24 日 21 时,航班计划进出港 919 架次<sup>[12]</sup>。

## 2 灾害天气过程出现原因分析

### 2.1 环流形势演变情况

1 月 22 日在 500 hPa 环流场上(图 3a),在巴尔喀什湖附近有一高压脊,蒙古至新疆有一东北-西南向的横槽,槽后有冷平流南压。低纬在孟加拉湾北部有弱的南支槽,云南为西南气流控制。23 日,蒙古至新疆的横槽东移,槽后冷平流南压影响西南地区(图略);24 日,原低槽东移并与东亚大槽合并加深,中国东部受东亚大槽控制,云南北部受西北气流影响,滇东北受锋区控制(图 3b),南支槽加强东移。从 22 日的 700 hPa 形势场上可以看出,孟加拉湾、中南半岛云南西南气流控制,云南南部受 12 m/s 的西南气流影响。在 24 日地面图上(图略),由于冷空气南下并在四川南部到云南东部形成冷锋,自东向西影响云南,造成云南大范围降温。到 26 日的 500 hPa 上(图略),云南受偏西气流控制,天气转好,雨雪天气基本结束。

可见,这次灾害天气过程是强冷空气南压影响云南形成降温,并受东移的南支槽影响,使孟加拉湾的西南暖湿气流与北方冷空气交汇造成云南大部分地区出现雨雪天气,并在滇中、及其以东以北地区出现降雪。

### 2.2 物理量场

#### 2.2.1 水汽通量及散度

降雨降雪的产生与水汽输送有关,并且要有水汽辐合的生产。从 1 月 22 日的散度分布图上可看出(图 4a),四川南部至云南东北部为水汽辐合即通量散度的大值区,最大中心位于四川南部至云南北部为  $-3 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其余地区为辐散。在 23 日水汽通量散度上(图 4b),水汽通量辐合区南移到云南中部、东部及南部,最大辐合区位于曲靖为  $-4 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,并且强辐合带与强雨雪落区有很好的对应。强雨雪天气的产生需要充足的水汽输送,从 1 月 23 日 700 hPa 水汽通量图上可以看出(图 4c),从孟加拉

湾至云南大部有西南水汽输送带,云南大部上空的水汽通量在  $8 \sim 12 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s}$  之间,说明云南大部份地区具有充足水汽条件。

#### 2.2.2 动力条件

垂直速度对天气系统的发生、发展影响极大。图 5 是沿  $25^\circ\text{N}$  垂直速度剖面,从图 5a 可以看出,1 月 23 日 08 低温雨雪过程开始后,上升运动位于  $104^\circ\text{E}$  以西,激烈的上升运动在  $103^\circ\text{E}$  附近,上升高度达到 200 hPa 附近,最大值在 700 hPa 附近达到  $-9 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,表明这次过程具有较强的动力抬升运动。24 日上升运动范围扩大(图 5b),从  $96^\circ\text{E} \sim 105^\circ\text{E}$  均为上升运动,但强度明显减弱,最大值为  $-5 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。25 日上升运动位于  $99^\circ\text{E}$  以西(图略),云南除西部边缘的大气为上升运动外,大部分地区均为下沉气流,低温雨雪天气过程减弱结束。分析过程前后垂直速度的变化表明,过程开始前期垂直速度的增加、大气上升运动的加强会促使水汽凝结,产生雨雪天气;过程发生时,上升运动的范围扩大,随着上升气流转为下沉气流,低温雨雪天气结束。因此强烈的上升运动为雨雪天气提供了较好的动力条件。

## 3 卫星云图的演变

卫星的观测具有连续性,因此从卫星云图上可以更清楚的看出南支槽的演变。图 6 是此次过程前后的卫星云图演变图。过程开始前 1 月 22 日 18:30(图 6a),从孟加拉湾中部到云南南部有一条清晰的东北-西南向南支槽云系活动,云南北部有一条南北向的冷锋云系。1 月 23 日 08:30(图 6b)南支槽云系东移,与锋面云系在滇东北一带汇合,造成昭通、红河、曲靖一带降雪天气。1 月 23 日 18:30(图略)从孟加拉湾北部沿中南半岛东移而来的南支槽云带在云南东南部扩大加宽,进一步与冷锋云系结合。24 日 18:30(图 6c)云系在云南东北部发展最强,云南省东北部和西北部部分地区云顶温度达到  $-50^\circ\text{C}$  以上,24 日也是此次过程中影响的最强时段,冷空气自东向西影响云南省大部分地区。26 日 18:30(图 6d),南支槽云系东移出云南,锋面云系减弱消失,造成云南的雨雪灾害性天气过程结束。

综上所述,此次灾害天气过程是强冷空气南压影响云南形成降温,受南支槽东移影响,孟加拉湾的西南暖湿气流与北方冷空气交汇造成云南大部分地区出现雨雪天气,并在滇中、及其以东以北地区出现降雪。过程开始前,垂直速度逐渐增加、大气上升运动加强,伴随着过程影响的发生,上升运动加强且范围扩大,水汽辐合加强,产生雨雪天气;随着上升气流减弱,水汽辐合减弱,低温雨雪天气结束。

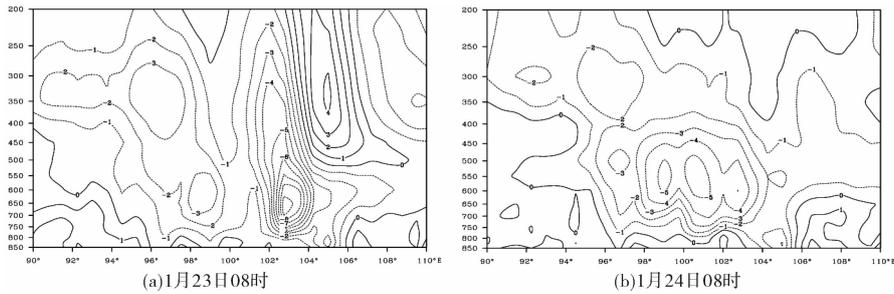


图5 沿25°N垂直速度的垂直剖面(单位:  $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )

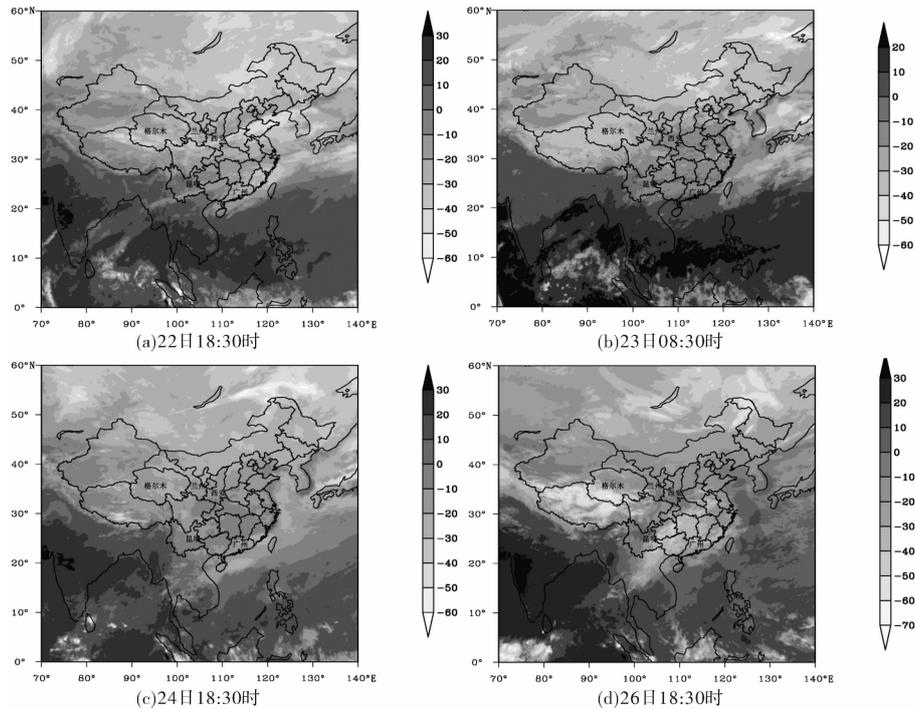


图6 TBB 卫星云图演变(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )

## 4 结论与讨论

这次强冷空气使全省出现大范围持续雨雪天气, 海拔1 400 m 以上区域出现大范围积雪和冰冻。是1980年以来1月份低温影响范围最大、持续时间最长的一次强寒潮天气, 给农林牧业和交通、电力等行业造成严重损失。这次造成云南大范围的降雨雪灾害天气的主要原因是, 来自高纬的强冷空气南下造成云南大范围强降温, 并与南支槽带来的西南气流水汽交汇, 造成能在云南产生强低温雨雪天气。水汽条件、动力条件的较好配合也是这次强寒潮天气产生的原因。

### 参考文献:

- [1] 任菊章, 张万诚, 万云霞, 等. 冬季全球大气季节内振荡的特征分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2013, 35(1): 63-69.
- [2] 张万诚, 郑建萌, 万云霞, 等. 气候变化背景下低纬高原地区水资源分布及其变化[M]. 北京: 气象出版社, 2014.
- [3] 田永丽, 张万诚, 陈新梅, 等. 近48年云南6种灾害性天气事件频数的时空变化[J]. 云南大学学报, 2010, 32(5): 561-567.
- [4] 杨晓静, 徐宗学, 左德鹏, 等. 云南省1958-2013年极端降水时空变化特征分析[J]. 灾害学, 2015, 30(4): 178-186.
- [5] 张万诚, 郑建萌, 任菊章. 云南极端气候干旱的特征分析[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 59-64.
- [6] 王遵娅, 丁一汇. 近53年中国寒潮的变化特征及其可能原因[J]. 大气科学, 2006, 30(6): 1068-1076.
- [7] 索渺清, 丁一汇. 南支槽与孟加拉湾风暴结合对一次高原暴雪过程的影响[J]. 气象, 2014, 40(9): 1033-1047.
- [8] 张腾飞, 鲁亚斌, 张杰, 等. 2000年以来云南4次强降雪过程的对比分析[J]. 应用气象学报, 2007, 18(1): 64-72.
- [9] 张腾飞, 鲁亚斌, 张杰, 等. 一次低纬高原地区大到暴雪天气过程的诊断分析[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 696-703.
- [10] 任菊章, 郑建萌, 许彦艳, 等. 2007年冬季西伯利亚高压季节内变化对云南气温的影响[J]. 云南大学学报, 2015, 37(3): 386-398.
- [11] 许美玲, 段旭, 杞明辉. 云南省天气预报员手册[M]. 北京: 气象出版社, 2011.
- [12] 云南省气象局. 云南省气候公报2016[R]. 昆明: 云南省气象局, 2016.

## Analysis on the Causes of low Temperature and Snow Disaster in Yunnan in January 2016

SHI Yue<sup>1,2</sup>, ZHENG Jianmeng<sup>3</sup>, ZHANG Wancheng<sup>2</sup>, MA Tao<sup>4</sup> and GAO Jingxiang<sup>1</sup>

(1. *Department of Atmosphere science, Yunnan University, Kunming 650091, China*; 2. *Meteorological Institute of Yunnan Province, Kunming 650034, China*; 3. *Climate Center of Yunnan Province, Kunming 650034, China*; 4. *Zhaotong Meteorological Observatory, Zhaotong 657000, China*)

**Abstract:** This process was analyzed based on atmospheric sounding data, ground observation data and NCEP/NCAR1° × 1° interval reanalysis data. This paper analyzed the causes of the large-scale low-temperature rain and snow disaster in Yunnan from January 22 to 26, 2016. Results showed that this process resulted in a decrease in temperatures of 10 ° C to 18 ° C in most parts of the north and east and the central of Yunnan province. The province has a large range of sustained rain and snow weather, the snowfall in central and north and the east regions and southern high altitude areas was obviously, 9 counties have a minimum temperature breakthrough over the same period the extreme value. The course of this disaster weather process was that the strong cold air moving southward caused Yunnan cooling, and because of the south trough moving eastward, the southwest warm and humid air flow of the Bay of Bengal intersected with the north cold air. In addition, the good cooperation of water vapor condition and dynamic condition was also the reason of this cold wave weather process.

**Key words:** low temperature and snow disaster; south trough; water vapor transport; Yunnan

(上接第 188 页)

- |   |  |
|---|--|
| <p>[4] 陈振拓, 李志强, 丁文秀, 等. 面向防震减灾的人口数据空间化研究——以 2007 年宁洱地震灾区为例[J]. 震灾防御技术, 2012, 7(3): 273-284.</p> <p>[5] 吴健宏, 翁文国, 倪顺江. 基于 GIS 和 Multi-Agent 的城市应急疏散[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2010, 50(8): 1168-1172.</p> <p>[6] 尹大拙, 方裕. 疏散规划的一种优化算法[J]. 地理与地理信息科学, 2013(2): 31-35.</p> | <p>[7] 吴广, 江辉仙, 陈芬. 大型商场及其周边应急疏散空间动态分配研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2016, 32(1): 94-101</p> <p>[8] 曹爱春, 杨晓艇, 侯旭东. Agent-CA 的体育场馆人群疏散模型[J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(24): 229-232.</p> <p>[9] Kepaptsoglou K, Karlaftis M G, Mintsis G. Model for planning emergency response services in road safety[J]. Journal of Urban Planning and Development, 2011, 138(1): 18-25.</p> |
|---|--|

## A Simulation Experiment of Urban Complex Emergency Evacuation Based on the Forecast of Disaster-evaded Population

JIANG Huixian<sup>1,2</sup>, NIE Minxuan<sup>1</sup>, WU Juan<sup>1</sup> and WU Guang<sup>1</sup>

(1. *School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China*; 2. *Fujian Provincial Engineering Research Center for Monitoring And Assessing Terrestrial Disasters, Fuzhou 350007, China*)

**Abstract:** This article takes Fuzhou Wanda Plaza as a case to study urban complex, and it selects the temporary refuge in the region, and then determine the unit of evacuation and the corresponding population forecast for exports in the large-scale shopping malls and residential buildings of urban complex. It also constructs allocated models of emergency evacuation for the prevention of disaster which corresponds with the population distribution and verifies its effectiveness. Besides, it designs a system of simulation test about urban complex emergency evacuation for the affects people quickly and accurately reach the designated refuge, which provides the fastest and safest way of navigation program. This research can provide decision and support for virtual drill emergency rescue of urban catastrophic events.

**Key words:** emergency evacuation; path guidance; urban complex; refuge; space allocation