

# 云南严重低温霜冻灾害天气个例分析

解明恩<sup>1</sup> 程建刚<sup>1</sup> 鲁亚斌<sup>1</sup> 范 菠<sup>2</sup>

(1 云南省气象局,昆明 650034;2 云南省思茅市气象局,思茅 665000)

**摘要** 1999 年 12 月下旬特大霜冻灾害是云南 1951 年以来损失最大的一次自然灾害,受灾面积 85 万  $\text{h m}^2$ ,直接经济损失 55 亿元。利用高空和地面气象资料,分析了严重低温霜冻灾害的天气成因,并与历史上的 1973/1974、1975/1976 年冬季云南两次严重霜冻灾害进行了比较。结果表明:特大霜冻灾害是在云南连续暖冬背景下发生的,对云南经济作物和热带作物的危害最大。高空冷平流与地面冷高压控制下长时间夜间晴空辐射冷却降温是此次重霜冻形成的主要原因,500 hPa、700 hPa 偏北气流和干冷南支槽是主要影响天气系统。碧空无云、静风、湿度小、气温低、气压高、露点温度特低是此次重霜冻的主要气象要素变化特征。冻害以滇南热带作物种植区最为严重。  
**关键词** 霜冻 低温 冷平流 晴空辐射 暖冬

## 引言

云南地处低纬高原地区,冬季较少受冷空气影响,一般只有东部地区受昆明准静止锋天气的影响,而多阴冷天气,其它地区则是晴朗天气,山区夜间多辐射霜出现,云南冬季一般不易出现严重的霜冻,但在有利的大气环流形势下,可出现严重的霜冻灾害,对此云南气象工作者进行了相关研究<sup>[1-6]</sup>。1999 年 12 月下旬,由于受北方强冷空气和晴空辐射冷却的共同影响,云南、贵州、广西、广东、福建、海南等西南和华南地区出现了近 20 年来,部分地区为建国以来最严重的一次霜冻灾害,经济损失达数百亿元,仅广东、广西 2 省(区)农作物受灾面积分别为 100 万和 130 万  $\text{h m}^2$ ,直接经济损失超过 100 亿和 200 多亿元。云南出现了波及全省 16 个地州市的 128 县长时间低温霜冻和冰冻灾害,造成全省蚕豆、油菜、蔬菜、花卉、甘蔗、橡胶、香蕉、咖啡、茶树、早稻等亚热带农作物、经济作物和热带作物严重受灾,农作物受灾面积为 85 万  $\text{h m}^2$ ,全省因霜冻灾害造成的直接经济损失达 55 亿元,是云南有记录以来一次性自然灾害造成经济损失最大的一次,属云南历史上罕见的特大霜冻灾害。有关作者从不同侧面对这次持续暖

冬背景下出现的重霜冻灾害过程进行了研究<sup>[7-16]</sup>。本文利用高空和地面气象资料对这次特大霜冻过程进行了研究,以期提高对云南低纬高原地区重霜冻天气过程的认识,对做好云南冬季农经作物和热区冬季农业开发的防寒减灾防灾工作有一定的参考作用。

## 1 特大霜冻灾害概述

这次强寒潮自 1999 年 12 月 21 日开始从东向西影响云南全省,到 2000 年 1 月 2 日结束,低温维持时间长达 13 天。云南除滇东地区外,一般寒潮过程在云南造成的冷害日数仅为 2~4 天左右,而这次特大冷害持续时间之长为历史罕见。全省 16 个地州市的 128 县(市)均受影响,使滇中等地的蚕豆、油菜、蔬菜、花卉等农作物和经济作物遭受严重损失,同时冻损太阳能热水器数万件,冻裂自来水管无数,使城市居民生活受到影响。滇南地区的橡胶、甘蔗、茶树、咖啡、香蕉等热带作物遭受毁灭性冻害,全省农作物受灾面积达 85 万  $\text{h m}^2$ 。

1951 年以来云南共发生 3 次波及全省的严重霜冻灾害,即 1973 年 12 月下旬至 1974 年 1 月上旬、1975 年 12 月中旬至 1976 年 1 月上旬、1999 年

云南省自然科学基金重点项目“云南重大气候灾害形成机理研究”(2003D0014Z)资助

作者简介:解明恩,男,1966 年生,高级工程师,主要从事天气气候研究,Email:xmnl808@sina.com

收稿日期:2004 年 3 月 9 日;定稿日期:2004 年 5 月 10 日

12月下旬至2000年1月上旬。由于前2次是发生在云南冷害严重的冷气候背景年代,加之当时云南热带经济作物种植规模较小,品种单一,农作物结构不合理,产值低,且基本上无冬季现代化农业开发项目。而近年来云南冬季现代化农业开发力度,特别是冬季热区开发力度加大,反季种植规模扩大,花卉、蔬菜等附加值高的新兴农产业不断涌现。同时,这次冷害是在云南近10余年无重霜冻的暖冬背景下发生的,作物自身的防寒能力较低,故低温霜冻造成的损失是前2次的数十倍。

这次特大霜冻对滇南地区危害最大,打破了西双版纳州景洪市和元江、河口、元阳等炎热河谷地区终年无霜的历史,使定植的橡胶、咖啡、香蕉、西番莲等热带经济作物,以及甘蔗、香蕉、菠萝、芒果等热带水果和冬季农作物遭受严重寒害,其中仅西双版纳州就损失达4亿多元。

表1 云南部分站1999年12月下旬气温与历年和1998年同期气温差值

	昆明	沾益	玉溪	蒙自	思茅	景洪	元谋	元江	勐腊	河口
与历年比较	-3.2	-4.6	-3.0	-5.4	-3.6	-5.3	-6.8	-6.2	-5.7	-4.2
与1998年比较	-6.6	-6.8	-6.4	-7.9	-7.6	-8.1	-5.9	-8.4	-8.5	-7.7

## 2.2 最低气温

12月下旬全省除南部和西部个别低海拔地区外,极端最低气温皆在0℃以下,其中滇中及以北以东地区在-4℃以下,受地形影响,除滇西北外,低温以东部的曲靖地区最低,滇南大部地区为0~-2℃,低海拔地区为1~2℃,达到了严重危害热带作物的低温下限。将12月21~31日的逐日最低气温进行加权平均处理,也得出在此时段内滇中及以北以东地区平均最低气温为-1~-5℃,滇南大部地区为1~3℃左右,低海拔地区为3~6℃左右。

## 2.3 降温及低温持续时间

分别选取昆明、思茅、景洪为A组(代表不同纬度地区),选取云南著名的三大“火炉”元谋、元江、河口为B组(代表低海拔地区)进行低温分析。从日平均气温变化看(图略),A组与B组均表现为明显的U型降温特征,但因纬度和海拔高度不同,降温与持续时间不同。A组中昆明自21日起因受强冷空气影响,气温开始下降,22日达最低,气温仅为2℃,然后气温缓慢回升,21~27日气温均低于5℃,为主要的低温时段,冻害主要发生在这一时段内,48h内日平均气温最大降温幅度为5.6℃,有剧降缓

## 2 低温实况

### 2.1 平均气温

1999年12月下旬云南主产粮区的哀牢山脉以东以北地区日平均气温低于6℃,滇南热带作物和经济作物区除少数低海拔地区日平均气温为10℃外,日平均气温也低于8℃。与多年平均值相比,全省大部地区旬气温偏低2~6℃,其中滇中以东以南地区偏低最明显,表明此次霜冻降温覆盖全省,但以中部、东部和南部为重。由于云南自1987年后气候变暖,1993年起连续出现暖冬,其中1998年冬季是有气象记录以来最强的一个暖冬。故1999年12月下旬气温与1998年同期相比,全省大部地区气温偏低达4~8℃,降温剧烈。表1是部分代表站的降温情况,表明此次霜冻与近年出现的暖冬相比,降温幅度非常大,降温最大的地区主要分布在云南冬季气温较高的南部热作区。

升的特点。而思茅和景洪的降温幅度不如昆明剧烈,48h内最大日均温下降仅为2℃左右,但低温阶段持续时间长且在同一强度附近维持,思茅6~7℃的低温持续5天(23~27日),景洪8~9℃的低温持续4天(24~27日)。B组则有降温剧烈升温迅速的特点,48h最大降温分别为元谋6.3℃、元江7.1℃、河口5.0℃,元谋最低气温出现于25~26日的2天内,低于7℃左右的低温持续了7天,而元江和河口则主要出现于23~27日的5天内,日均温分别为8~9℃和10~11℃左右。

从最低气温逐日演变看(图略),A组中昆明低于0℃的天数达6天(22~27日),思茅低于1℃的日数达5天(23~27日),景洪接近和低于2℃的日数为3天(25~27日),极端最低气温昆明和思茅出现于25日,景洪出现于27日。B组中元谋低于0℃的天数为4天(25~28日),极端最低为-1.3℃(25~26日2天),元江低于3℃的时间为5天(23日和25~28日),极端最低为2℃(25和27日),河口低于4℃的日数为5天(24~28日),极端最低为2.5℃(27日)。从低温演变得出,此次低温霜冻是非常严重的,滇中及以北地区出现了冰冻现象,这是

云南冬季近 10 多年来少有的,连云南最热的三大“火炉”也出现了结霜现象。

### 2.4 3 次特大霜冻的比较

将 1973/1974 年、1975/1976 年和 1999/2000 年冬季 3 次特大霜冻冷害的部分代表站最低气温进行比较(表略),从极端最低气温看,此次霜冻灾害思茅以北地区气温高于前两次,以南地区低于或与前两次相当。从低温强度看,中北部地区不如前两次强,而南部低海拔地区则比前两次强或与前两次相当。从云南气候变化的年代际变化看(图略),20 世纪 60~80 年代中期云南处于气温偏冷期,80 年代中期以后处于气温偏暖期,连续 10 余年频繁出现暖冬现象,1998 和 1999 年是云南近 50 年来最暖和次暖年。1973/1974 年和 1975/1976 年的重霜冻均出现在云南偏冷期的强低温位相,而 1999/2000 年重霜冻却出现在云南偏暖期的强高温位相,故这次暖冬背景下的重霜冻对云南经济作物和热带作物的危害更大。

## 3 重霜冻天气成因分析

### 3.1 冷平流与晴空辐射冷却双重降温

1999 年 12 月 15~23 日我国大部地区经历了入冬以来最强的一次强冷空气活动。云南重霜冻过程由 12 月 20 日自滇东北入境的强冷空气引发。20 日 08:00 地面冷锋位于云南会泽—沾益—广西河池一线,锋后在四川盆地有 +6 hPa 和 -5 °C 的 24 h 变压和变温中心存在。21 日 08:00 锋面西南移,到达楚雄

—元江—屏边一线,昆明位于锋后,滇东北、滇东出现降雪天气,昆明在下午出现短暂的雨夹雪天气,滇中地区阴冷。22 日 08:00 锋面继续西移,位于丽江—大理—思茅一线,强度减弱,锋后与锋前大部地区为晴空少云区,在昆明附近有 -6 °C 的降温中心和 +5.4 hPa 的变压中心。12 月 22 日至 1 月 2 日全省持续 10 余天碧空少云,晴空辐射冷却剧烈,尽管中午艳阳当空,人们仍感到寒气袭人。可见,这是一次强寒潮过后突然转晴的剧烈降温,冷平流与晴空辐射双重降温且以晴空辐射冷却为主。表 2 为昆明与思茅站的高空降温情况。可见,此次降温主要集中在低层的 700 hPa 以下,500 hPa 降温强度不大,主要降温时间出现在 22 日,700 hPa 降温幅度为 6 °C(昆明)和 10 °C(思茅),南部大于北部,500 hPa 降温仅为 4 °C(昆明)和 1 °C(思茅),降温后高空气温基本维持少变,28~29 日 500 hPa 又有一次冷平流降温。形成霜冻的基本条件是夜间微风或静风,少云、低温、干燥。在整个霜冻天气过程期间(12 月 22~31 日),每天午后 14:00,云南碧空无云,相对湿度小,露点温度特低,昆明等地均维持在 0 °C 以下,其中 26 日和 22 日分别为 -12.5 °C 和 -8.9 °C,表明冷空气特别干燥。自 22 日开始,昆明本站地面气压连续 5 天偏高,其中 22 和 23 日 08:00 比 21 日 08:00 分别偏高 5.4 hPa 和 4.5 hPa。冷高压控制下持续数日的夜间晴空辐射冷却是这次重霜冻发生的主要原因。若只是强寒潮影响且有云层覆盖,则霜冻危害轻得多。天气实况表明,云南历史上出现的 3 次特大霜冻均与剧烈的晴空辐射冷却有关。

表 2 1999 年 12 月 20~31 日昆明、思茅站高空气温与 24 h 变温

	500 hPa											700 hPa											°C	
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		30
昆明 T	-11	-9	-13	-12	-11	-14	-13	-8	-11	-17	-13	-11	-2	-3	-9	-7	-8	-5	-1	-1	-2	-1	7	4
昆明 ΔT	/	+2	-4	+1	+1	-3	+1	+5	-3	-6	+4	+2	/	-1	-6	+2	-1	+3	+4	0	-1	+1	+8	-3
思茅 T	-9	-6	-7	-7	-4	-5	-7	-7	-9	-10	-9	-9	6	4	-6	-6	-5	-6	-4	0	7	3	7	6
思茅 ΔT	/	+3	-1	0	+3	-1	-2	0	-2	-2	+1	0	/	-2	-10	0	+1	-1	+2	+4	+7	-4	+4	-1

### 3.2 700 hPa 冷高压迅速跃上并盘据云贵高原

云南省平均海拔 2000~2500 m 左右,700 hPa 环流能较好地揭示云南近地面大气状况特征。由 700 hPa 冷高压中心移动路程(图 1)看出,12 月 20 日 700 hPa 冷高压中心位于酒泉附近,21 日向东南移到四川北部的松潘,22 日开始跃上云贵高原,位于昭通附近,然后长达 5 天盘据在滇中地区,26 日

后随南支槽东移出云南。这是一次典型的自青藏高原东侧迅速南下经四川盆地跃上云贵高原然后向西推移的东路冷空气过程,南下速度快,在云南境内徘徊时间长,随冷高压跃上云南,锋区由川滇交界处迅速南推至滇南到老挝、越南北部一带,因冷高压中心周围剧烈的下沉运动,全省碧空而见不到锋面存在。

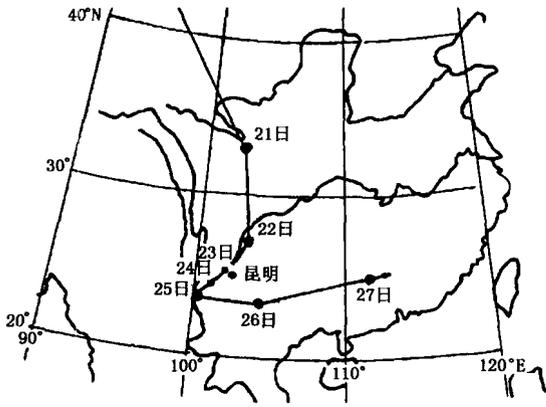


图 1 700 hPa 冷高压中心移动路径(北京时间 08 :00)

图 2 为 1999 年 12 月 22 日的 700 hPa 高度图, 云南为 316 dagpm 冷高压前部的偏北气流控制, 川滇之间有  $-10^{\circ}\text{C}$  的冷中心存在, 孟加拉湾为 316 dagpm 暖高压, 云南为极强的冷舌区控制, 冷气团长期滞留云南导致冻害发生。随着强冷空气入侵云南, 云南地面气温自滇东北向滇西南迅速下降, 这时孟加拉湾为相对高压区, 前部为偏北气流而不是暖湿的西南气流, 故强冷空气入侵并没有形成冬季典型的冷暖气团在云南交汇产生大范围雨雪天气。27 日后在  $85^{\circ}\text{E}$  附近形成南支槽, 云南 700 hPa 转为槽前的西南气流控制, 一直维持到 31 日, 但由于湿度较小, 云南及华南均为  $T - T_d$  的大值区, 故不但没有降水产生, 连南支槽云系也没有出现, 全省皆持续数日碧空。表明此次霜冻过程后期有南支槽影响而非一直受偏北气流引导, 这从单站高空风向剖面图(图略)中也可得到证实。这也是本次霜冻与前两次重霜冻的主要差异之一, 若后期无南支槽生成, 那么此次低温霜冻的持续时间和危害程度还会加强。

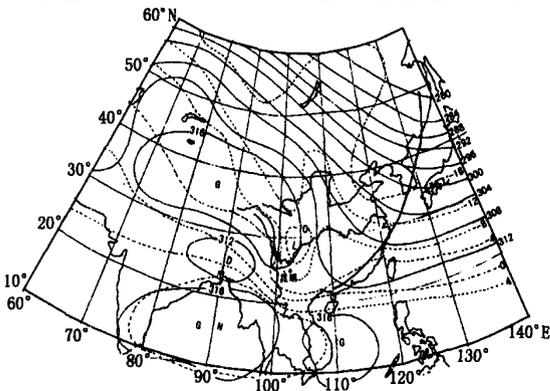


图 2 1999 年 12 月 22 日 08 :00 时 700 hPa 高度(单位: dagpm)

### 3.3 前期 500 hPa 偏北气流引导, 后期冷性南支槽影响

12 月 20 ~ 26 日 500 hPa 高空图上云南主要受西北气流引导, 其中以 23 ~ 26 日的偏北风分量最大, 20 ~ 25 日  $100^{\circ} \sim 110^{\circ}\text{E}$  经度范围内从高纬度的贝加尔湖地区, 中纬度的青藏高原东部地区到低纬度的云南和中南半岛地区均为高压脊控制, 经向环流明显, 印度半岛东部—孟加拉湾—中南半岛一带为 588 dagpm 高压环流, 但与 1973/1974 年、1975/1976 年霜冻环流相比, 经向环流和偏北引导气流没有前两者强。26 日高纬地区的高压脊东移, 贝加尔湖—巴尔喀什湖地区转为高空低槽控制, 同时伴有冷温度槽, 造成天山附近  $5 \sim 7^{\circ}\text{C}$  的降温, 青藏高原南部在  $85^{\circ}\text{E}$  附近有弱南支槽生成, 27 日南北低槽打通并有冷温槽配合, 造成青藏高原北部  $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$  的降温, 云南转为强西南气流(风速大于  $22 \text{ m/s}$ ) 控制, 并持续到 29 日, 30 日在  $90^{\circ}\text{E}$  又有新的南支槽生成, 30 ~ 31 日云南省均为西南气流控制。与前两次霜冻自始至终均受强偏北气流控制不同, 此次霜冻后期有干冷的南支槽东移影响, 但既无降水也无云系生成, 使得晴空辐射冷却得以维持。图 3 和图 4 分别为 22 日和 27 日的 500 hPa 高空环流图, 可看到寒潮入侵时(霜冻前期)和南支槽东移影响时(霜冻后期)云南等地的环流特征明显不同。图 5 是 500 hPa 高空槽、温度槽与强降温区动态演变图。可见在霜冻发生的后期, 中高纬度西风槽与南支槽同位叠加, 促使冷温度槽剧烈南移,  $\Delta T_{24} \geq -5^{\circ}\text{C}$  的强降温区有规律地自青藏高原东侧南移, 直泻云贵高原, 表明后期影响云南的南支槽引导青藏高原东侧干冷气团补充南下, 高层剧烈的冷平流降温使

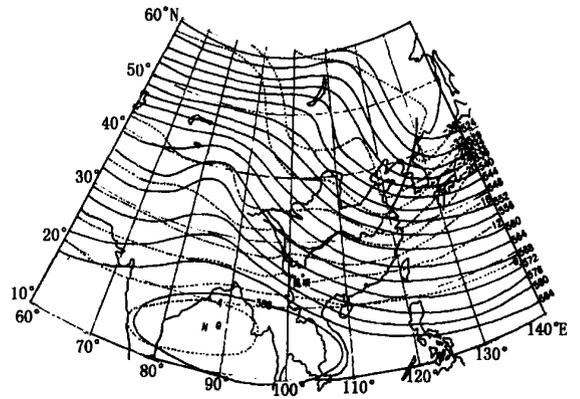


图 3 1999 年 12 月 22 日 08 :00 500 hPa 高度(单位: dagpm)

得南支槽前难于形成云层和降水,晴空辐射冷却继续维持。

冷却得以维持。

(3)从低温强度看,“99.12”云南重霜冻滇中及以北部地区不及1973/1974年、1975/1976年强,而南部低海拔局部地区则比前两次强,打破了滇南低热河谷地区无霜的历史。

(4)1973/1974年和1975/1996年的重霜冻均出现在云南偏冷期的强低温位相,而1999/2000年重霜冻出现在云南偏暖期的强高温位相,连续暖冬背景下的重霜冻对云南经济作物和热带作物的危害更大。

参考文献

- 1 秦剑,解明恩,刘瑜,等. 云南气象灾害总论. 北京:气象出版社, 2000
- 2 霍义强,石鲁平,解明恩. “2.25”云南重霜冻天气分析. 云南气象,1989,(2):10-15
- 3 沈如桂. 一次罕见的侵袭云南的强寒潮. 云南气象文选,1980, 126-128
- 4 秦剑,琚建华,解明恩. 低纬高原天气气候. 北京:气象出版社, 1997
- 5 谢应齐. 云南省农业自然灾害区划. 北京:中国农业出版社, 1995
- 6 王宇. 云南省农业气候资源及区划. 北京:气象出版社,1990
- 7 潘里娜,王恒康. “99.12”云南低温重霜冻分析. 云南气象, 2002,(1):33-35
- 8 吴兴国. 广西冬季重大霜冻天气过程特征分析. 广西气象, 2000,21,(1):3-5
- 9 何燕,谭宗琨,冯源. 1999年严重霜冻、冰冻天气对广西农业的影响. 广西气象,2000,21(1):6-8
- 10 高安宁. “99.12”广西严重霜冻、冰冻天气过程特征及预报分析. 广西气象,2000,21(1):9-11
- 11 涂方旭,董蕙青,李雄. 广西霜日的气候变化特征及其与500 hPa位势高度的关系. 广西气象,2000,21(1):15-17
- 12 钟利华,况雪源,谢少凤. 广西1999年12月严重霜冻与典型霜冻重年的环流对比分析. 广西气象,2000,21(1):18-21
- 13 林良勋. 近二十年广东的霜冻气候及其变化特征. 广东气象, 2000,(4):7-9
- 14 谢韶. 1999年12月22日~26日低温霜、冰冻天气过程分析. 广东气象,2000,(4):12-13
- 15 李书桂,成细妹. 连州市99.12低温霜冻分析. 广东气象,2000, (4):14-15
- 16 谭应中,高锡帅,黄文龙,等. 西双版纳州低温寒害基本特征及减灾对策. 中国农业气象,2002,23(2):44-48

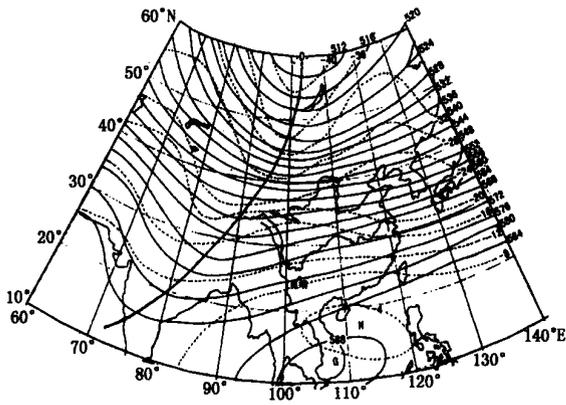


图 4 1999年12月27日08:00 500 hPa 高度(单位:dagpm)

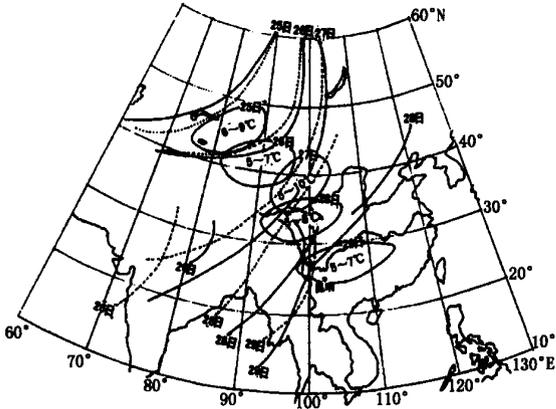


图 5 1999年12月25~29日500 hPa 高度槽线(实线)、温度槽线(虚线)和强降温区(闭合线)演变动态

4 结论

(1)“99.12”特大霜冻灾害是云南建国以来损失最大的一次自然灾害,农作物受灾面积85万hm<sup>2</sup>,直接经济损失55亿元,是云南历史上3次严重霜冻灾害中经济损失最大的一次,影响全省16个地州市128县,其中尤以滇南地区的热带作物损失最重。

(2)高空冷平流与晴空辐射冷却双重降温是形成此次重霜冻的主要原因,并以晴空辐射冷却为主。碧空无云、静风、相对湿度小、气温低、气压高、露点温度特低是此次重霜冻的主要气象要素特征。500 hPa、700 hPa脊前偏北气流引导冷高压迅速跃上云贵高原并长时间盘踞少动是造成晴空辐射冷却的主要天气系统,后期干冷南支槽的影响使得晴空辐射

## Analysis of a Serious Frostbite Weather Process in December 1999 in Yunnan

Xie Mingen<sup>1</sup> Cheng Jiangang<sup>1</sup> Lu Yabin<sup>1</sup> Fan Bo<sup>2</sup>

(1 Yunnan Provincial Meteorological Bureau, Kunming 650034;

2 Simao Municipal Meteorological Bureau, Yunnan Province, Simao 665000)

**Abstract:** The extraordinarily serious frostbite disaster occurred on the late December 1999 is the most severe natural disaster in Yunnan Province since 1951 with a  $85 \times 10^4 \text{ h m}^2$  stricken area and 5.5 billion RMB economic losses. The synoptic formation mechanisms of the serious frostbite weather process were analyzed by using radiosonde and surface meteorological data and were compared with two historical serious frostbite events occurred in 1973/1974 and 1975/1976 winters in Yunnan Province. The results show that the serious frostbite disaster occurred on the background of continuous warming winters in recent years, and the harm to economic and tropical crops in Yunnan Province reached its maximum. The long-lasting clear-sky radiance cooling at night controlled by the upper-level cold advection and the surface cold high is the main synoptic cause for the severe frostbite in December 1999, and the main influencing weather systems are the north wind steering flow and the dry-cold southern branch westerly trough in 500 and 700 hPa. The main variation features of meteorological factors for the serious frostbite include calm and cloudless situation, low air humidity, low air temperature, high air pressure, and low dew-point temperature. The most serious frostbite losses occurred over the southern Yunnan in tropical crops planting areas.

**Key words:** frostbite, low temperature, cold advection, clear sky radiance, warming winter