

文章编号:1673-8411 (2015) 04-0015-06

## 近 10a 海南岛冰雹天气统计特征与概念模型

郑艳 刘丽君 吴春娃

(海南省气象台 海口 570203)

**摘要:**利用常规资料和海口多普勒雷达资料对 2004–2014 年海南岛出现的 22 次冰雹过程进行统计分析。结果表明:海南岛冰雹均出现在春季;冰雹落区集中在东方–琼中–琼海一线的五指山以北地区;按照影响系统可分为西南低压槽 I 型、西南低压槽 II 型、东路冷空气型和西路冷空气型;西南低压槽 I 型冰雹落区在儋州和澄迈,西南低压槽 II 型落区较分散,二者出现的时间集中在 14:00–17:00;冷空气型冰雹发生时间与锋面到达时间密切相关,西路冷空气型冰雹落区集中在东方和昌江,东路冷空气型则在海口、临高和文昌;西南低压槽 I 型湿层可达对流层上层,具有强热力条件,触发机制为海陆风辐合线;西南低压槽 II 型和冷空气型 600–500 hPa 有明显干区,边界层华南沿海至海南岛北部地区有冷式切变;0℃层高度集中在 4.3–5.1 km,–20℃层高度为 7.6–8.4 km;冰雹直径与低层垂直风切变大小有一定的正相关;直径大于等于 20 mm 的大冰雹  $\Delta T_{850-500} \geq 27^\circ\text{C}$ ;基于海口多普勒雷达提炼的海南岛冰雹临近预报指标为最大组合反射率  $CR \geq 55 \text{ dBZ}$ , 50 dBZ 强回波高度达到–20℃层,最大垂直液态水含量 VIL 值  $\geq 60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ,回波顶高  $ET \geq 15 \text{ km}$ 。

**关键词:**热带地区;冰雹;概念模型;预报指标

**中图分类号:**p456.8

**文献标识码:**A

## Statistical characteristics and conceptual model of hail weather in Hainan Island during recent 10years

Zheng Yan, Liu Li-jun, Wu Chun-wa

(Hainan Province Meteorological Observatory, Haikou Hainan 570203)

**Abstract:** Based on the conventional data and Doppler radar data from 2004 to 2014 in the Hainan Island, 22 hail processes were analyzed. The results show that: hail of Hainan appear in the spring; dropping zone concentrated in the north area of Wuzhishan ( Donggfang – QiongZhong – Qonghai line) ; According to the affecting system, the hail weather can be divided into four types: southwest trough I , southwest trough II , east road of cold air and west road of cold air; hail of southwest trough type I drops in Danzhou and ChengMai, dropping zone of southwest trough type II is dispersed, both of these two types of hail appearing time is on PM 14:00– 17:00; Cold air type hail occurrence time is closely related to the frontal arrival time, the dropping zone of west road of cold air type hail concentrates in the Dongfang and ChangJiang, while the east road of cold air located in Haikou, Lingao and Wenchang; wet layer of southwest trough type I could be up to the upper troposphere with strong thermal conditions and the solar wind convergence line as the triggering mechanism; There is obvious dry area in 600–500 hPa of southwest trough II type and cold air type, and cooled shear in the boundary layer of the coastal areas in south China and the north of Hainan island; the height of 0 °C layer is concentrated in 4.3 to 5.1 km, and –20 °C layer height is 7.6 to 8.4 km; The diameter size of hail and lower vertical wind shear has certain positive correlation; the big hail with its diameter over or equaling

收稿日期:2015-07-25

基金项目:海南省自然科学基金项目(414200);海南省气象局重点项目(HNXXZD201410)

作者简介:郑艳,女,高级工程师,主要从事强对流和热带气旋预报技术研究。E-mail:hnzy@126.com

to 20 mm, the  $\Delta T_{850-500}$  is over or equal to  $27^{\circ}\text{C}$ ; the hail forecasting indexes, which is extracted from Doppler radar data in Haikou, is the maximum CR over or equaling to 55 dBZ, strong echo of 50 dBZ reaching  $-20^{\circ}\text{C}$  layer height, maximum vertical liquid water content  $VIL \geq 60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ , high echo top  $ET \geq 15 \text{ km}$ .

**Key Words:** tropical zone; hail; conceptual model; forecast indicator

## 引言

冰雹是短时强对流天气的主要类型之一,伴随着雷雨大风,常常会造成不同程度的灾害。近年来,多位专家学者<sup>[1-4]</sup>对我国及本地区的冰雹天气进行了统计分析。中央气象台总结了每日出现 10 个以上降雹站的大范围降雹过程的天气形势,将冰雹天气形势划分为高空冷槽型、高空冷涡型、高空西北气流型和南支槽型等四个类型<sup>[5]</sup>。廖晓农等<sup>[6-9]</sup>认为华北地区的冰雹大多发生在华北冷涡或蒙古东部冷涡的环流背景下,使高层冷空气叠加在低层暖湿空气上,导致不稳定层结发展。夏丽花等<sup>[10]</sup>指出 2012 年 4 月 10–12 日福建省持续性冰雹过程是在稳定的大尺度环流背景条件下产生的。王华等<sup>[11]</sup>研究了山区地形和城市边界层在北京强对流天气中的作用。朱敏华和廖玉芳等<sup>[12-13]</sup>对三体散射长钉回波特征进行了统计分析,认为 S 波段新一代天气雷达产生三体散射现象,则强冰雹的可能性几乎是 100%。冯晋勤等<sup>[14]</sup>统计福建龙岩中气旋产品指出大部分持续 3 个体扫以上中气旋对应风暴属超级单体风暴,与冰雹、雷雨大风和短时强降水等强对流天气有很好的对应关系。目前,对  $20^{\circ}\text{N}$  以南热带地区的冰雹特征和成因还鲜有研究。我们通过对 2004–2014 年海南岛出现的 22 个冰雹日进行统计分型,归纳了西南低压槽型和冷空气型冰雹天气的概念模型,提炼了基于海口

多普勒雷达的冰雹预报指标。

## 1 海南岛冰雹日概况

普查 2004–2014 年“海南省气象灾情报表”和“海南省气象灾害大事记”,海南岛共有 22 日、28 站次冰雹,均出现在春季(3–5 月),最早发生在 3 月 20 日,最晚为 5 月 29 日。冰雹一般范围较小、局地性强,超过 86% 的冰雹仅出现在 1 个市县;2013 年 3 月 20 日先后有 5 个市县出现了冰雹,范围之广、强度之大为海南省近 10a 所罕见<sup>[15]</sup>。冰雹落区集中在东方–琼中–琼海一线的五指山以北地区,冰雹日数最多为澄迈(5 日)。从月分布来看(图略),4 月份为 10 个冰雹日,约占总数的 45%;3 月和 5 月各有 6 个冰雹日。海南岛年平均冰雹日数为 2 个;2005 年和 2013 年各有 4 个冰雹日,为历年最多;2004 年和 2010 年海南岛未出现冰雹。

## 2 海南岛冰雹日天气尺度系统分型

根据“海南地区天气系统过程分类标准”给出的影响海南的 4 大类 13 种天气系统过程分类标准,我们对 2004–2014 年海南岛 22 个冰雹日的天气系统进行统计分析,发现海南岛冰雹出现在 2 大类 4 种环流背景下,我们定义为西南低压槽型(西南低压槽 I 型、西南低压槽 II 型)和冷空气型(东路冷空气型、西路冷空气型)。西南低压槽型定义(图 1a):主力在

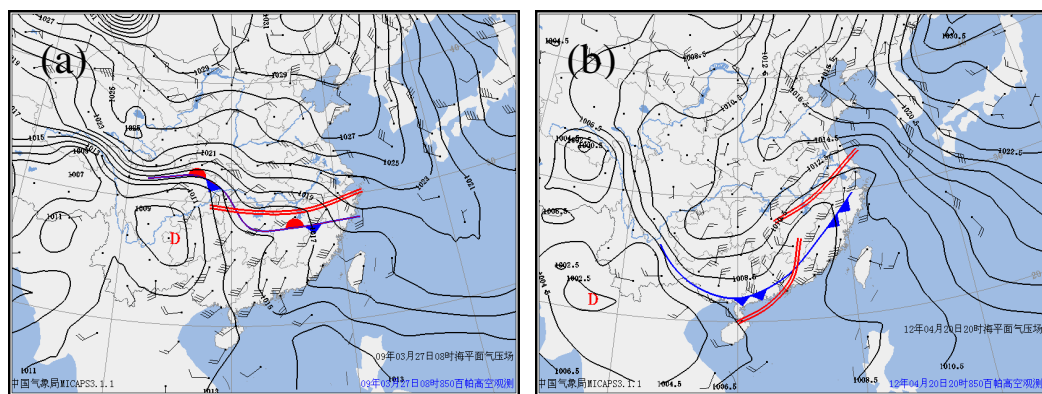


图 1 西南低压槽型(a)和冷空气型(b)850 hPa 风场和地面气压场形势特征

表 1 2004–2014 年海南岛冰雹个例统计分型表

西南低压槽 I 型		西南低压槽 II 型		东路冷空气型		西路冷空气型	
日期	初始时刻	日期	初始时刻	日期	初始时刻	日期	初始时刻
2013-5-29	14: 30	2014-5-20	14: 00	2014-4-7	17: 00	2013-4-30	16: 00
2011-5-1	16: 00	2014-4-2	16: 00	2013-3-29	08: 20	2012-4-21	02: 00
2005-4-30	下午	2013-3-20	17: 00	2012-4-6	13: 30	2011-4-18	03: 00
2005-4-29	16: 40	2009-3-27	16: 00	2009-3-29	17: 50	2007-4-24	15: 50
		2008-5-29	16: 00	2009-3-24	17: 00		
		2008-3-29	16: 30				
		2006-4-23	15: 00				
		2005-5-10	16: 50				
		2005-5-1	15: 50				

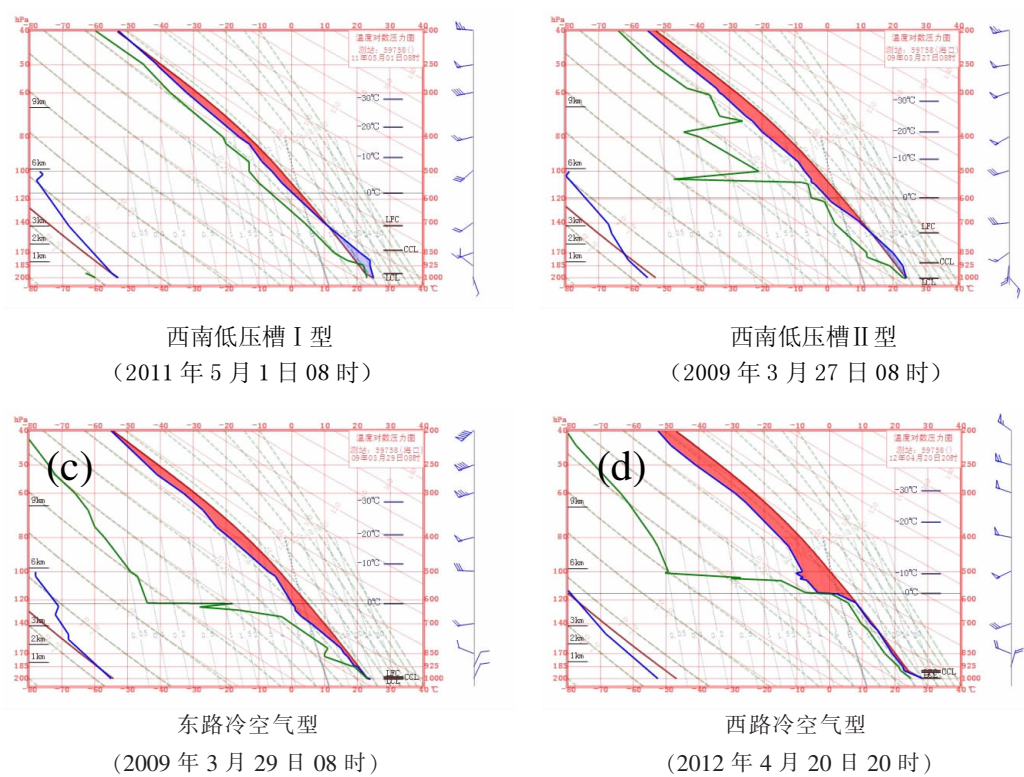


图 2 海南岛 4 类冰雹日典型个例海口站 (59758) T–lnp 图

我国西南、华中地区,有时在越南北部或北部湾的低  
压槽(常被冷空气南压)伸向海南岛,海南岛的气压  
梯度大;1500 m(850 hPa)高空,海南岛吹 S–SW–W  
风,典型的吹气旋性西南风。冷空气天气型定义(图  
1b):冷空气到达华南沿海时,24 小时变压,重庆大  
于(或小于)汉口;1500 m(850 hPa)高空,冷高压中  
心从恩施以西(或以东)地区南下,冷空气主力从  
110°E 以西(或以东)地区侵袭海南岛;称为冷空气  
偏西(或偏东)下影响。

西南低压槽型冰雹的触发机制是海陆风辐合

线。海南岛中南部地区为山区,呈现中间高、四周低  
的地形特征<sup>[16]</sup>;翟武全等<sup>[17]</sup>通过数值模拟研究不同  
背景环流场下海南岛海陆风环流发现,背景风为西  
南风时,西北部沿海出现的西北方向的海风易在儋  
州一带与背景风汇合,因而该地区是强天气易发区。  
海南岛午后地面气温快速升高,局地加热不均匀,对  
流风暴沿着海陆风辐合线生成发展,冰雹初始出现  
的时间集中在 14:00–17:00。从图 2a 和图 2b 可见,  
西南低压槽 I 型湿层厚,可伸展至对流层上部,而西  
南低压槽 II 型中层(500hPa 附近)有明显的干区。西

南低压槽Ⅰ型冰雹落区在海南岛西北部内陆地区的儋州和澄迈,西南低压槽Ⅱ型冰雹落区较分散。

冷空气型冰雹的触发机制是锋面和切变线。西风槽东移过境(110°E),引导地面较强冷空气南下,中层(600–500hPa)有明显的干区(图2c、2d),对流风暴在地面锋面南侧暖区爬线上发展成熟,冰雹发生时间与锋面到达时间密切相关;西路冷空气冰雹落区集中在海南岛西部地区的东方和昌江,东路冷空气则在海南岛北部地区的海口、临高和文昌。

从2004–2012年海南岛春季冰雹个例统计分型表可见(表1),西南低压槽Ⅱ型冰雹日数为9日,约占总日数的40%,西南低压槽Ⅰ型、东路和西路冷空气型冰雹日数相当;西路冷空气型冰雹日均出现在4月份,5月份未出现冷空气型冰雹;3月份未出现西南低压槽Ⅰ型冰雹;西南低压槽Ⅱ型冰雹3–5月份均有出现,5月份最多,3月份次之。

### 3 海南岛冰雹天气概念模型

通过对2004–2014年海南岛22个冰雹日的统计,本文归纳总结了西南低压槽Ⅰ型、西南低压槽Ⅱ型、东路冷空气型和西路冷空气型4类冰雹的主要影响天气系统、触发机制、冰雹落区等特征,在此基

础上建立各型冰雹天气概念模型,详见图3。对其简述如下:

#### 3.1 西南低压槽Ⅰ型冰雹天气概念模型

500hPa西太副高偏南,控制南海大部地区,海南岛处于副高北侧边缘不稳定区中;南支槽常常东移至云南西部地区,海南岛位于槽前,西南暖湿气流强烈发展;地面至850hPa西南低涡中心均在四川盆地附近摆动,海南岛位于其底部吹西南风,持续的西南风使得“焚风效应”显著,海南岛西北部地区最高气温可达37–39℃。风随高度顺转有暖平流,午后随着地面气温快速升高,冰雹出现在海陆风辐合线附近的儋州和澄迈。

#### 3.2 西南低压槽Ⅱ型冰雹天气概念模型

500hPa南支槽东移至云南中部地区,海南岛位于槽前,西南暖湿气流强烈发展;中高纬西风槽偏东偏北,地面锋面在南岭附近静止或锋消,西南低涡明显南落,中心位于广西、云南一带;海南岛北半部地区位于500hPa干舌与850hPa湿舌叠置区,中层干冷下沉气流与低层暖湿气流上下配置,形成强烈对流不稳定;同时,925hPa冷式切变位于华南沿海,其尾部偏北干冷气流与来自南侧的暖湿气流交汇。冰雹出现在海南岛北半部地区,落区较分散。

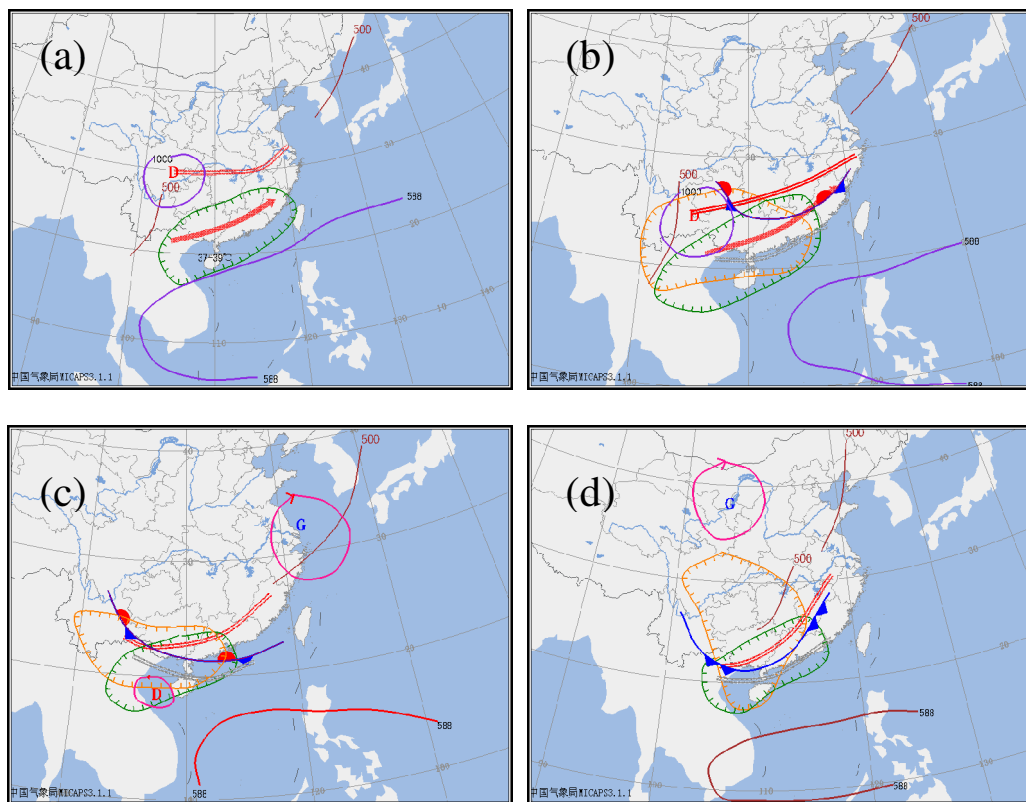


图3 海南岛西南低压槽Ⅰ型(a)、西南低压槽Ⅱ型(b)、东路冷空气型(c)、西路冷空气型(d)冰雹天气概念模型



### 3.3 东路冷空气型冰雹天气概念模型

500hPa 西风槽位于黄海至华东沿海,槽后西北西风引导地面冷空气南下,锋面到达华南沿海静止或锋消,地面冷高压中心位于长江出海口附近,华南沿海以北我国大部地区受冷高脊控制,冷高脊大体呈东西向,西南低涡中心南落至北部湾南部海面;925hPa 冷式切变东段位于海南岛北部地区;500hPa 干舌与 850hPa 湿舌也叠置在海南岛北部,形成强烈对流不稳定层结。冰雹出现在海南岛北部地区的海口、临高和文昌。

### 3.3 西路冷空气型冰雹天气概念模型

500hPa 中高纬西风槽位于黄海至华东沿海,高原槽东移过 110°E,槽后强劲的西北风引导地面冷空气快速南下,地面冷锋到达华南沿海后可自西北向东南扫过海南岛,地面冷高压中心位于黄河中上游,冷高脊大体呈西北-东南向;925hPa 冷式切变西段位于海南岛西北部沿海;500hPa 槽后干冷空气与 850hPa 切变线南侧暖湿空气交汇在海南岛上空,形成强烈对流不稳定层结。冰雹出现在海南岛西部地区的东方和昌江。

## 4 海南岛冰雹日一些参数统计

普查 2004–2014 年海南岛 22 个冰雹日的地面和高空常规观测资料。资料时间选取标准为:冰雹发生在白天的取当日 08 时;发生在凌晨的取前一日 20 时。计算海口站(59758,下同)1000–850hPa 低层垂直风切变(约 0–1.5km)、垂直温度梯度( $\Delta T_{850-500}$ )和 0℃层、-20℃层高度。由于海口多普勒雷达 2006 年 9 月份才开始投入业务应用,因此我们普查 2007–2014 年海南岛 16 个冰雹日海口多普勒雷达资料,筛选冰雹发生时刻发生地的最大垂直液态水含量 VIL、回波顶高 ET 和最大组合反射率 CR。通过统计对比以上所述的特征值,试图寻找海南岛冰雹天气的预报指标和特征量。

### 4.1 特殊高度层

从海口站 T-lnP 图发现,海南岛冰雹日的 0℃层高度集中在 4.3–5.1 km(600hPa 附近),与文献<sup>[1]</sup>中冰雹云的 0℃层高度一致;-20℃层高度为 7.6–8.4 km(400hPa 附近);-20℃层与 0℃层的高度差约为 3 km。

### 4.2 低层垂直风切变

计算海口站 1000–850hPa(约 0–1.5km)低层垂直风切变发现,低层垂直风切变大小与冰雹直径有一定的正相关。最大冰雹直径 $\geq 10$  mm 的冰雹日低

层垂直风切变均超过  $4 \text{ m}\cdot\text{S}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ 。2005 年 5 月 10 日琼海观测到最大冰雹直径 45 mm,当日 08 时海口站低层垂直风切变达到  $9.83 \text{ m}\cdot\text{S}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ 。

### 4.3 垂直温度梯度

许爱华等<sup>[18]</sup>统计 1980–1995 年,1999–2001 年共 19 年 3–9 月的资料,对南昌强垂直温度梯度与江西强对流天气过程的关系进行分析,结果表明,当  $\Delta T_{850-500} \geq 27^\circ\text{C}$  时,江西强对流发生概率达到 85%。

我们计算海南岛 21 个冰雹日(2007 年 4 月 24 日 08 时缺高空观测资料)海口站的 850hPa 与 500hPa 温度差  $\Delta T_{850-500}$  发现,21 个冰雹日  $\Delta T_{850-500}$  均大于等于  $23^\circ\text{C}$ ,最大差值达到  $29^\circ\text{C}$ ;西南低压槽 I 型 4 个冰雹日  $\Delta T_{850-500}$  均介于  $27-29^\circ\text{C}$  之间,即在 500hPa 与 850hPa 之间平均气温直减率超过  $0.675^\circ\text{C}/100\text{m}$ ,比对流层内平均气温直减率( $0.6^\circ\text{C}/100\text{m}$ )大<sup>[5]</sup>,说明在强热力条件下,且有天气系统作为触发条件时,对流稳定层结大气中也可出现冰雹。另外,出现直径大于等于 20mm 大冰雹的冰雹日中约有  $86\% \Delta T_{850-500} \geq 27^\circ\text{C}$ 。

### 4.4 多普勒雷达特征值

普查 2007–2014 年 16 个冰雹个例的海口多普勒雷达资料发现,最大组合反射率 CR 均 $\geq 55$  dBZ,接近 50%的个例 $\geq 65$  dBZ;最大垂直液态水含量 VIL 值大约  $78\% \geq 60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ;回波顶高 ET 均在 11 km 以上,大约  $67\% \geq 15 \text{ km}$ ,最高可伸展至 18 km。基于海口多普勒雷达提炼的海南岛冰雹临近预报指标为最大组合反射率  $\text{CR} \geq 55\text{dBZ}$ ,50dBZ 强回波高度达到-20℃层,最大垂直液态水含量 VIL 值 $\geq 60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ,回波顶高  $\text{ET} \geq 15 \text{ km}$ ,业务应用效果良好。值得注意的是,上述冰雹临近预报指标对琼中地区的冰雹预警能力较差。2009 年 3 月 27 日琼中观测到的冰雹直径为 20mm,冰雹发生时的 VIL 值和 CR 值分别为  $25\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  和 55 dBZ,远小于预报指标,可能是因为琼中距离海口雷达较远,超过 110km,且处于山区,地形对雷达回波有阻挡和衰减作用造成的。

## 5 小结

(1)海南岛冰雹均出现在春季(3–5 月),4 月份冰雹日最多;冰雹落区集中在东方-琼中-琼海一线的五指山以北地区。

(2)按照影响天气系统,海南岛冰雹可分为西南低压槽 I 型、西南低压槽 II 型、东路冷空气型和西路

冷空气型。西南低压槽Ⅰ型和西南低压槽Ⅱ型冰雹初始出现时间集中在 14:00–17:00, 西南低压槽Ⅰ型冰雹落区在海南岛西北部内陆地区的儋州和澄迈, 西南低压槽Ⅱ型冰雹落区较分散; 冷空气型冰雹发生时间与锋面到达时间密切相关, 西路冷空气冰雹落区集中在海南岛西部的东方和昌江, 东路冷空气则在海南岛北部的海口、临高和文昌。

(3) 西南低压槽Ⅰ型湿层厚, 地面至 850hPa 海南岛位于西南低涡南部吹南南西风, 具有强热力条件, 触发机制为海陆风辐合线; 西南低压槽Ⅱ型和冷空气型 600–500hPa 有明显干区, 925hPa 华南沿海至海南岛北部地区有冷式切变。

(4) 海南岛冰雹日 0℃层高度集中在 4.3–5.1 km, –20℃层高度为 7.6–8.4 km; 低层垂直风切变的大小与冰雹直径有一定的正相关, 最大冰雹直径  $\geq 10$  mm 的低层垂直风切变均超过  $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ ; 直径大于等于 20mm 大冰雹需要更强的热力条件, 即  $\Delta T_{850-500} \geq 27^\circ\text{C}$ 。

(5) 海口多普勒雷达提炼的海南岛冰雹临近预报指标为最大组合反射率  $\text{CR} \geq 55\text{dBZ}$ ,  $50\text{dBZ}$  强回波高度达到 –20℃层, 最大垂直液态水含量 VIL 值  $\geq 60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ , 回波顶高  $\text{ET} \geq 15\text{km}$ , 业务应用效果良好。

#### 参考文献

- [1] 张芳华, 高辉. 中国冰雹日数的时空分布特征 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31 (5): 687–693.
- [2] 张琳娜, 郭锐, 何娜, 等. 北京地区冰雹天气特征 [J]. 气象科技, 2013, 41 (1): 114–120.
- [3] 刘晓璐, 刘东升, 张世林, 等. 近 30 年四川冰雹气候特征 [J]. 气象, 2012, 38 (10): 1217–1224.
- [4] 陶云, 段旭, 杨明珠. 云南冰雹的时空分布特征及其气候成因初探 [J]. 南京气象学院学报, 2002, 25 (6): 837–842.
- [5] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法 [M]. 气象出版社, 2010, 5.
- [6] 廖晓农, 俞小鼎, 于波. 北京盛夏一次罕见的大雹事件分析 [J]. 气象, 2008, 34 (2): 10–17.
- [7] 闵晶晶, 刘还珠, 曹晓钟, 等. 天津“6.25”大冰雹过程的中尺度特征及成因 [J]. 应用气象学报, 2011, 2 (5): 525–536.
- [8] 王丛梅, 景华, 王福侠, 等. 一次强烈雹暴的多普勒天气雷达资料分析 [J]. 气象科学, 2011, 31 (5): 659–665.
- [9] 王在文, 郑永光, 刘还珠, 等. 蒙古冷涡影响下的北京降雹天气特征分析 [J]. 高原气象, 2010, 29 (3): 763–777.
- [10] 夏丽花, 于超, 何小宁, 等. 福建一次持续性强对流天气过程诊断分析 [J]. 暴雨灾害, 2012, 31 (3): 280–286.
- [11] 王华, 孙继松. 下垫面物理过程在一次北京地区强冰雹天气中的作用 [J]. 气象, 2008, 34 (3): 16–21.
- [12] 朱敏华, 俞小鼎, 夏峰, 等. 强烈雹暴三体散射的多普勒天气雷达分析 [J]. 应用气象学报, 2006, 17 (2): 215–223.
- [13] 廖玉芳, 俞小鼎, 吴林林, 等. 强雹暴的雷达三体散射统计与个例分析 [J]. 高原气象, 2007, 26 (4): 812–820.
- [14] 冯晋勤, 汤达章, 俞小鼎, 等. 新一代天气雷达中气旋识别产品的统计分析 [J]. 气象, 2010, 36 (8): 47–52.
- [15] 郑艳, 李云艳, 蔡亲波, 等. 海南一次罕见强冰雹过程环境条件与超级单体演变特征分析 [J]. 暴雨灾害, 2014, 33 (2): 163–170.
- [16] 郑艳, 蔡亲波, 赵付竹, 等. 强台风“纳沙”暴雨中尺度特征分析 [J]. 自然灾害学报, 2014, 23 (4): 134–141.
- [17] 翟武全, 李国杰, 孙斌, 等. 海南岛附近四季风场的中尺度环流 [J]. 热带气象学报, 1997, 13 (4): 316–322.
- [18] 许爱华, 詹丰兴, 刘晓辉, 等. 强垂直温度梯度条件下强对流天气分析与潜势预报 [J]. 气象科技, 2006, 34 (4): 376–380.