

# 海南龙卷统计特征

郑艳<sup>1,2</sup> 林正扬<sup>1,3</sup> 蒋贤玲<sup>1,2</sup>

(1 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203; 2 海南省气象台, 海口 570203;  
3 海南省三沙市气象局, 三沙 573199)

**摘要:** 统计了2004—2019年海南岛及其沿海(不包括南海海域)的陆龙卷和水龙卷,按照影响系统将陆龙卷分为热带气旋龙卷和非热带气旋。结果表明:1)热带气旋龙卷以9月最为多发,主要发生在夜间到次日凌晨;约90%的龙卷是由台风或强台风引发的,龙卷发生时台风中心距离龙卷发生地约200~400 km;海南岛南部西行的台风引发的龙卷出现在东部沿海,中部西行的台风引发的龙卷出现在北部沿海,东部西北行的台风龙卷出现在北部沿海。2)非热带气旋龙卷主要出现在春季,其中以5月最为多发,超过90%的非热带气旋龙卷发生在午后;海风锋引发的龙卷落区位于海南岛北部地区,最强可达EF2级,边界层中 $\beta$ 尺度海风锋辐合线是这类龙卷发生发展的关键因素;干冷空气引发的龙卷落区位于海南岛北部和东部地区,约23%为EF1级,其余均为EF0级,边界层切变线是这类龙卷的触发机制。

**关键词:** 热带气旋龙卷, 非热带气旋龙卷, 水龙卷

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.06.013

## Statistical Characteristics of Tornado in Hainan Province

Zheng Yan<sup>1,2</sup>, Lin Zhengyang<sup>1,3</sup>, Jiang Xianling<sup>1,2</sup>

(1 Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou 570203  
2 Hainan Meteorological Observatory, Haikou 570203 3 Sansha Meteorological Bureau, Sansha 573199)

**Abstract:** Land tornadoes and water tornadoes of Hainan Island and along the coast (excluding the South China Sea) from 2004 to 2019 were analyzed. According to the impact system, land tornadoes are divided into tornadoes associated with tropical cyclones (TCs) and non-TCs. The results show that: (1) tornadoes associated with TCs occur most frequently from night to next early morning in September. About 90% of the tornadoes are caused by typhoons or severe typhoons. When the tornado occurs, it is 200–400 km away from the center of the typhoon. Tornadoes caused by the westward typhoons through the southern part of Hainan Island appeared in the eastern coastal region, while those caused by the westward typhoons through the middle and northwestward through the east appeared in the northern coastal region. (2) Tornadoes associated with non-TCs mainly occur in spring, with the most frequent occurrence in May, and more than 90% occur in the afternoon. Tornadoes triggered by the sea breeze front are located in the northern area of Hainan Island, with the strongest reaching EF2 level. The meso- $\beta$  scale sea breeze front convergence line in the boundary layer is a key factor for the development of this type of tornado. The dry cold air induced tornadoes are located in the northern and eastern areas of Hainan Island, and about 23% are of EF1 level, with others EF0 level. The boundary layer shear line is the trigger mechanism of this type of tornado.

**Keywords:** tropical cyclone tornado, non-tropical cyclone tornado, waterspout

### 0 引言

龙卷是最强烈的强对流天气,最大地面风速可达140 m/s,因其具有突发性强、生命史短等特点,实际业务预报和预警难度较大。随着我国多普勒雷达陆续布网投入业务应用,业务一线的预报员<sup>[1-7]</sup>先后对广东、江苏、安徽、湖南和东北地区多个龙卷个例的雷达回波特征进行分析,为龙卷业务监测和短临预警提

供依据。

近年来,多位学者对中国以及区域的龙卷时空特征和环境条件进行统计分析,以期实现对龙卷这种小概率的极端天气用相似法进行统计预报<sup>[8]</sup>。王秀明等<sup>[9]</sup>对发生在东北的13个龙卷个例环境特征进行分析,表明东北龙卷多发生在东北冷涡背景下,直接影响系统为冷涡南侧次天气尺度短波槽,且常出现在槽区或前倾槽后,龙卷风暴主要由干线及其伴随的强边界层辐合触发。曾明剑等<sup>[10]</sup>对江苏梅雨期龙卷天气的环境特征进行合成分析,表明地面中尺度气旋的右侧附近(100 km)、对流层低层中尺度低涡右下方约200~300 km处和低空急流左后侧之间区域是龙卷易

收稿日期: 2020年7月15日; 修回日期: 2020年10月11日  
第一作者: 郑艳(1970—), Email: hnzyan@126.com  
资助信息: 海南省气象局重点项目(HNQXZD201410),  
海南省气象局青年基金项目(HNQXQN202004)

发区。黄先香等<sup>[11]</sup>分析珠江三角洲台风龙卷的活动特征,指出多数龙卷位于台风中心的东北象限,台风中心在广东湛江—广西东南部或北部湾附近时是珠江三角洲龙卷发生的高风险期。范雯杰等<sup>[12]</sup>对1961—2010年中国165次EF2或以上级强龙卷统计分析表明,强龙卷主要分布在中国江淮地区、两湖平原、华南地区、东北地区和华北地区东南部等平原地区。

海南省属于热带海洋性气候,也是我国龙卷多发的省份之一<sup>[13]</sup>,EF2级龙卷往往造成重大的人员伤亡和财产损失,加强龙卷过程统计分析对防灾减灾意义重大。目前对海南龙卷的研究仅限于个例分析<sup>[14-17]</sup>。本文对2004—2019年海南龙卷进行分类统计分析,以期对热带地区的龙卷预报预警提供依据和参考。

## 1 资料来源和个例说明

### 1.1 资料来源

龙卷资料主要来源于《海南省气象灾情报表》《海南省气象灾害大事记》《中国气象灾害年鉴》等。2004年以来,收到灾情后,海南省气象台和市县气象局相关人员一般均能在第一时间赶赴受灾地进行实地调查、走访,结合加密自动站和雷达资料等对龙卷进行定级,并通过灾情直报系统上传至中国气象局。

### 1.2 个例统计范围和分类

龙卷个例仅限于出现在海南岛及其沿海(不包括

南海海域)的陆龙卷和水龙卷。我国龙卷主要分为西风带龙卷和热带气旋龙卷<sup>[18-19]</sup>。在弱的大尺度大气背景下,由于午后海陆热力差异,海南岛北半部地区维持的中尺度海陆风辐合线触发的龙卷不能归属为西风带龙卷,因此本文将海南陆龙卷分为热带气旋龙卷和非热带气旋龙卷。

2004—2019年,海南共有8次热带气旋龙卷过程、10个龙卷,20次非热带气旋龙卷过程、21个龙卷,3次水龙卷过程、3个龙卷。

## 2 热带气旋龙卷统计特征

### 2.1 热带气旋龙卷时间分布

表1给出了2004—2019年海南热带气旋龙卷过程概况。海南热带气旋龙卷均出现在8—10月,其中9月最为多发,占总数的62.5%。热带气旋龙卷主要发生在夜间到次日凌晨,其中有8个龙卷的发生起始时间在21时—次日06时,占到总数的80%,另外2个龙卷发生在傍晚17—18时。夜间到次日凌晨正是中低层干冷空气容易向南侵入海南岛的时段,中低层干冷空气激发热带气旋外围螺旋雨带中的超级单体产生,同时增大低层垂直风切变,从而引发龙卷<sup>[14]</sup>。珠江三角洲热带气旋龙卷主要发生在白天(10—20时),白天经过太阳辐射后,大气层结最不稳定、强对流天气最易发生,夜间20时—次日06时龙卷较少发生<sup>[11]</sup>。海南热带气旋龙卷与珠江三角洲热带气旋龙卷的形成机理可

表1 2004—2019年海南热带气旋龙卷过程概况  
Table 1 Tropical cyclone tornado survey in Hainan Province in 2004—2019

序号	时间	地点	台风编号名称	等级	主要灾情
1	2005年9月27日01:00	临高临城镇	0518达维	EF2	6人死亡,10多人受伤,倒塌房屋6间
2	2006年8月2日18:40	文昌蓬莱镇	0606派比安	EF0	损失轻微
3	2006年9月30日23:20	万宁南桥镇、东澳镇	0616象神	EF2	1人死亡,12人受伤,倒塌损坏房屋77间
4	2008年9月24日06:03	澄迈桥头镇	0814黑格比	EF1	掀翻30间房屋屋顶
5	2012年10月27日17:00	琼海博鳌镇	1223山神	EF2	倒塌损坏房屋10间,8根电杆刮倒
6	2013年9月30日03:50	万宁后安镇	1321蝴蝶	EF2	2人受伤,房屋倒塌、树木和电杆折断数目不详
7	2014年9月15日21:45	澄迈桥头镇	1415海鸥	EF1	倒塌房屋15间
8-1	2019年8月29日02:30	屯昌新兴镇、西昌镇	1912杨柳	EF2	房屋受损面积为1720 m <sup>2</sup>
8-2	2019年8月29日04:00	儋州那大镇	1912杨柳	EF2	8人死亡8人受伤,115间房屋受损,若干电线杆、路灯刮倒
8-3	2019年8月29日04:40	白沙打安镇、七坊镇	1912杨柳	EF0	大面积橡胶树折断

能有所不同。

### 2.2 龙卷与台风路径

海南热带气旋龙卷主要由台风或强台风引发的,约占总数的90%,与中国热带气旋龙卷特征不一致<sup>[20]</sup>。按照龙卷落区与同时刻台风的相对位置将8次热带气旋龙卷过程分为3类(图1):1)龙卷发生在台风移动方向右后侧,约占总数的50%;2)龙卷发生在台风移动方向左前侧,约占总数的40%;3)龙卷发生在台风移动

方向右前侧,约占总数的10%。

1类特征:均为秋季台风(9—10月),龙卷发生时台风强度为12~15级(台风或强台风级),龙卷强度为EF2级。海南岛南部西行的台风引发的龙卷出现在东部沿海,龙卷发生时台风位于109°—110°E、16°—17°N(图1a);海南岛中部西行的台风引发的龙卷出现在北部沿海,龙卷发生时台风位于北部湾海面。这类龙卷发生时台风距离龙卷发生地

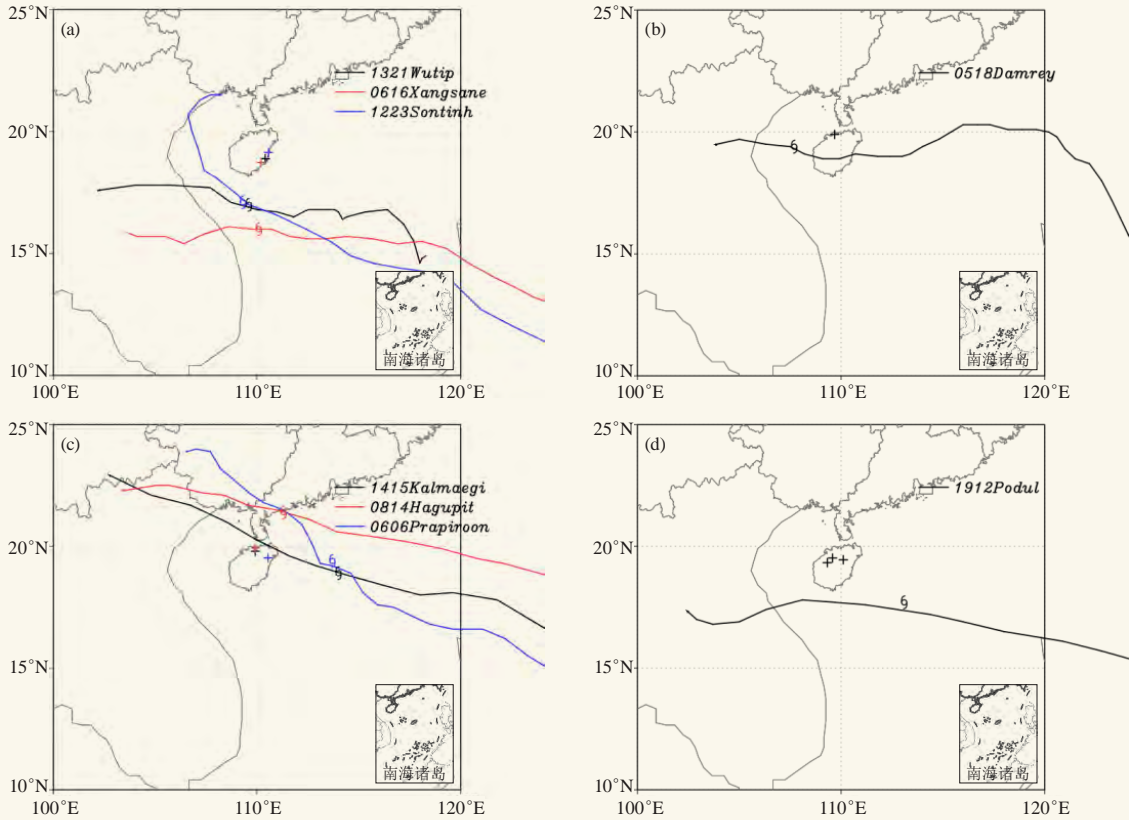


图1 2004—2019年海南引发龙卷的台风路径 (+代表龙卷落区; 6代表龙卷发生时台风位置)  
Fig. 1 The path of the typhoon that triggered the tornado in Hainan Province in 2004—2019  
(+: tornado; 6: typhoon position)

200~300 km (图1b)。

2类特征: 8—9月台风自海南岛东部西北行; 龙卷发生时台风强度为12~15级(台风或强台风级); 龙卷强度较1类偏弱, 秋季台风引发的龙卷为EF1级, 夏季台风引发的龙卷更弱为EF0级; 龙卷出现在北部沿海; 龙卷发生时台风位于109°—110°E、16°—17°N, 距离龙卷发生地220~440 km (图1c)。

3类特征: 2019年8月29日凌晨1912“杨柳”台风在南海中部向海南岛南部西行过程中台前飢线中的超级单体引发了屯昌、儋州、白沙系列龙卷, 龙卷最大强度为EF2级; 龙卷发生时台风强度为9级(热带风暴级); 龙卷出现在内陆地区; 龙卷发生时台风距离龙卷发生地约400 km (图1d)。

### 3 非热带气旋龙卷统计特征

#### 3.1 非热带气旋龙卷时空分布

表2给出了2004—2019年海南非热带气旋龙卷过程概况。海南非热带气旋龙卷主要出现在春季(3—5月), 其中以5月最为多发, 占总数的30%。超过90%的非热带气旋龙卷发生在午后13—17时, 龙卷落区位于海南岛北部和东部沿海地区, 其中海口最多为

10个, 约占总数47.6% (图2); 白天地面太阳辐射加热迅速增大的CAPE值为超级单体风暴的生成提供了有利的环境条件, 海陆风效应而显著增大低层垂直风切变午后由于海陆热力差异, 海南岛北半部地区维持的中尺度海陆风辐合线触发的龙卷<sup>[15]</sup>。

#### 3.2 非热带气旋龙卷分类

##### 3.2.1 海风锋引发龙卷

海风锋引发的龙卷落区位于海南岛北部地区, 最强可达EF2级。边界层中 $\beta$ 尺度海风锋辐合线是这类龙卷发生、发展的关键因素<sup>[15-16]</sup>。龙卷发生当日地面西南热低压中心一般在四川盆地附近维持, 海南岛处于低压槽控制下, 受持续偏南风影响, 白天最高气温北部地区普遍升至36~38℃, 午后海陆风效应增强, 海南岛北部地区维持中尺度海风锋辐合线; 大气环境整层较干, 特别是中层干层显著, 环境温度垂直递减率较大, 且低层垂直风切变较大。雷暴在海风锋辐合线附近触发从而引发龙卷。

##### 3.2.2 干冷空气引发龙卷

干冷空气引发的龙卷落区位于海南岛北部和东部地区, 强度较海风锋引发的龙卷偏弱, 约23%为EF1



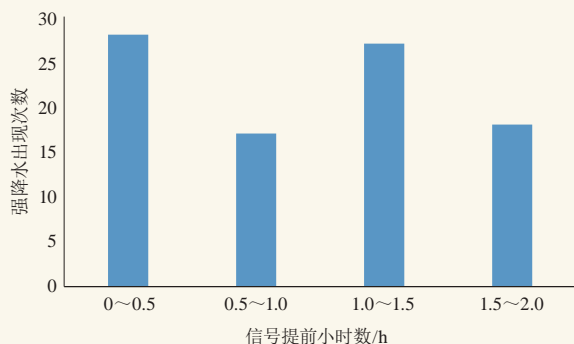


图8 信号提前小时数统计  
Fig. 8 Statistics of signal advance hours

水后出现, 同样对降水没有提前预警信号。

### 3 结论

1) 强降水发生前往往能探测到微压计滑动离散功率谱前置信号, 伴随信号增强雨强也可能随之增大。

2) 风场和气压场信号对强降水没有提前预警信号出现, 只在降水正在进行中出现可能响应。

3) 微压计功率谱的信号提前在不同强降水过程中不尽相同, 70%以上降水过程能有0.5 h的微压计功率谱信号超前预警, 50%过程能在1 h之前出现功率谱

(上接79页)

卷是由台风或强台风引发的, 龙卷发生时台风中心距离龙卷发生地约200~400 km; 海南岛南部西行的台风引发的龙卷出现在东部沿海, 中部西行的台风引发的龙卷出现在北部沿海, 东部西北行的台风龙卷出现在北部沿海。

2) 非热带气旋龙卷主要出现在春季, 其中以5月最为多发, 超过90%的非热带气旋龙卷发生在13—17时; 海风锋引发的龙卷落区位于海南岛北部地区, 最强可达EF2级, 边界层中 $\beta$ 尺度海风锋辐合线是这类龙卷发生、发展的关键因素; 干冷空气引发的龙卷落区位于海南岛北部和东部地区, 约23%为EF1级, 其余77%为EF0级, 边界层切变线是这类龙卷发生、发展的关键因素。

另外, 目前海南还没有对水龙卷进行过详细分析, 有待于今后进一步研究。

#### 参考文献

- [1] 黄先香, 炎利军, 王硕甫, 等. 1822号“山竹”台风龙卷过程观测与预警分析. 热带气象学报, 2019, 35(4): 458-469.
- [2] 朱文剑, 盛杰, 郑永光, 等. 1522号“彩虹”台风龙卷现场调查与中尺度特征分析. 暴雨灾害, 2016, 35(5): 403-414.
- [3] 张小玲, 杨波, 朱文剑, 等. 2016年6月23日江苏阜宁EF4级龙卷天气分析. 气象, 2016, 42(11): 1304-1314.
- [4] 姚叶青, 俞小鼎, 郝莹, 等. 两次强龙卷过程的环境背景场和多普勒雷达资料的对比分析. 热带气象学报, 2007, 23(5): 483-490.
- [5] 郑媛媛, 朱红芳, 方翔, 等. 强龙卷超级单体风暴特征分析与预警

信号提前。

4) 微压计滑动离散功率谱前置信号可以作为短时强对流的预警信号之一, 后续可以考虑把信号系统化, 或加入到气象模型中。

#### 参考文献

- [1] Hines C O. Gravity waves in the atmosphere. Nature, 1972, 239: 73-78.
- [2] Nagpal O P. The sources of atmospheric gravity waves. Contemp Phys, 1979, 20(6): 593-609.
- [3] 丁一汇. 高等天气学. 北京: 气象出版社, 1991.
- [4] 李麦村. 重力波对特大暴雨的触发作用. 大气科学, 1978, 2(3): 201-209.
- [5] Hung R J. Ray tracing of gravity waves as a possible warning system for tornado storms and hurricane. J Appl Meteor, 1978, 17: 3-11.
- [6] Hung R J. Case studies for gravity wave associated with isolated tornadic storms on 13 January 1976. J Appl Meteor, 1979, 18: 460-466.
- [7] Koch S E. Observed interaction between strong convection and internal gravity waves. Preprints at the 14th Conference on Severe Local Storms, 1985.
- [8] Curry M J, Murty R C. Thunderstorm-generated gravity waves. J Atmos Sci, 1974, 31: 1402-1408.
- [9] 李启泰, 李诗明, 赵彩. 大气重力波布阵探测灾害性冰雹过程的研究. 贵州地质, 2001, 18(2): 73-78.
- [10] 李启泰, 谢金来, 杨训仁. 灾害性冰雹过程的重力波演变特征. 气象学报, 1993, 51(3): 361-367.
- [11] 赵彩, 田英, 周涛. 贵州中部大气重力波活动的天气气候学分析. 高原气象, 1998, 17(4): 420-426.
- [12] 覃卫坚, 寿绍文, 高守亭, 等. 一次冰雹过程的惯性重力波观测及数值模拟. 地球物理学报, 2010, 53(5): 1039-1049.

- [13] 研究. 高原气象, 2009, 28(3): 617-625.
- [14] 张晰莹, 吴迎旭, 张礼宝. 利用卫星、雷达资料分析龙卷发生的环境条件. 气象, 2013, 39(6): 728-737.
- [15] 王宁, 王婷婷, 张硕, 等. 东北冷涡背景下一次龙卷过程的观测分析. 应用气象学报, 2014, 25(4): 463-469.
- [16] 陶祖钰, 赵翠光, 陈敏. 谈谈统计预报的必要性. 气象科技进展, 2016, 6(1): 6-13.
- [17] 王秀明, 俞小鼎, 周小刚. 中国东北龙卷研究: 环境特征分析. 气象学报, 2015, 73(3): 425-441.
- [18] 曾明剑, 吴海英, 王晓峰, 等. 梅雨期龙卷环境条件与典型龙卷对流风暴结构特征分析. 气象, 2016, 42(3): 280-293.
- [19] 黄先香, 俞小鼎, 炎利军, 等. 珠江三角洲台风龙卷的活动特征及环境条件分析. 气象, 2019, 45(6): 777-790.
- [20] 范雯杰, 俞小鼎. 中国龙卷的时空分布特征. 气象, 2015, 41(7): 793-805.
- [21] 魏文秀, 赵亚民. 中国龙卷风的若干特征. 气象, 1995, 21(5): 36-40.
- [22] 吴俞, 薛湛彬, 郝丽清, 等. 强台风“山神”外围超级单体引发的龙卷分析. 热带气象学报, 2015, 31(2): 213-222.
- [23] 郑艳, 俞小鼎, 任福民, 等. 海南一次超级单体引发的强烈龙卷过程观测分析. 气象, 2017, 43(6): 675-685.
- [24] 符式红, 王秀明, 俞小鼎. 相似环流背景下海南两次不同类型强对流天气对比研究. 气象学报, 2018, 76(5): 742-754.
- [25] 王秀明, 俞小鼎. 热带一次致灾龙卷形成物理过程研究. 气象学报, 2019, 77(3): 387-404.
- [26] 黄先香, 炎利军, 蔡康龙, 等. 2018年中国龙卷活动特征. 气象科技进展, 2019, 9(1): 51-55.
- [27] 李彩玲, 黄先香, 蔡康龙, 等. 2019年中国龙卷等对流大风过程及灾情特征. 气象科技进展, 2020, 10(1): 8-14.
- [28] 白兰强, 孟智勇, Sueki K, 等. 中国热带气旋龙卷的气候统计特征(2006-2018). 中国科学: 地球科学, 2020, 50(5): 619-634.
- [29] 陈元昭, 俞小鼎, 陈训来, 等. 2015年5月华南一次龙卷过程观测分析. 应用气象学报, 2016, 27(3): 334-341.
- [30] 杨伟, 方阳, 蒋帅, 等. 2017年8月13日洞庭湖水龙卷特征. 应用气象学报, 2020, 31(3): 328-338.