

年度评述

2018年中国龙卷活动特征

黄先香^{1, 2} 炎利军¹ 蔡康龙¹ 李兆明¹

2018年中国可确认的龙卷天气过程有10次、共产生22个龙卷,主要发生在4—9月。其中,EF1级或以上强度的龙卷有19个,EF1级或以上强度龙卷数量明显多于2004—2013年的龙卷记录年平均值。台风相关的龙卷天气过程是2018年龙卷事件的主要特征,台风龙卷有16个,占到总数的73%。其中,1814号台风摩羯外围环流中出现了11个龙卷,在我国近30年来有记录的单个台风外围龙卷数量中居第二位。2018年台风外围龙卷数量与非台风龙卷数量相比是显著偏多的。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.01.009

(1 佛山市气象局佛山市龙卷风研究中心;
2 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室)
收稿日期: 2018年12月24日; 修回日期: 2019年1月8日

龙卷是对流风暴产生的最猛烈的天气现象,易于导致严重气象灾害^[1-4],例如2016年6月23日江苏省盐城市阜宁县发生的EF4级龙卷,导致98人死亡、846人受伤,并有大量建筑物被损毁^[4-6]。2018年中国多地发生龙卷天气,尽管未造成严重的人员伤亡,但导致了较大的经济损失和很大的社会影响,因此本文给出2018年我国的龙卷活动情况和灾情特征,从而为发展龙卷的灾情调查和预警技术提供参考。

由于气象探测技术手段和能力所限,本文所用的龙卷灾情资料主要是通过与当地气象部门共同开展龙卷灾情调查,对龙卷路径沿线的受灾村居与工业区现场走访、勘查取证、无人机航拍、影像资料收集等方

式,再结合多种气象数据,经多方会商综合确认的龙卷及其灾害等级。由于龙卷尺度小、生消快等特点,灾调和分析过程中仍难免存在个别案例的强度定级等还需商榷。

2018年我国能够确认的龙卷天气过程有10次(表1),确认发生22个龙卷,其中EF1级或以上强度的龙卷有19个,高于2004—2013年全国记录到的年平均EF1级或以上强度的龙卷数量(14.3个)^[7];EF2级龙卷发生在5个地方,分别是广西柳州、吉林松原、山东滨州、江苏徐州、广东佛山;EF3级龙卷有2次,发生在天津静海、广州南沙。

2018年龙卷发生时间集中在4—9月,其中8月最

表1 2018年中国龙卷活动情况

Table 1 Activity characteristics of tornadoes in China in 2018

天气过程编号	龙卷发生时间和地点	强度	环流型
1	4月20日19:10广西区柳州市柳北区	EF2	南支槽
2	5月7日11:40广东省潮州市饶平县	未定	高空槽
3	5月21日15:40广东省中山市	EF1	高空槽
4	5月28日12:00吉林省松原市长岭县	EF2	东北冷涡
5	6月8日01:40、14:03广东省广州市南沙区、佛山市南海区	EF3、EF1	台风艾云尼
6	8月4日12:50内蒙古海力素国家基准气候站	EF0	高空槽
7	8月13日17:30天津市静海区	EF3	台风摩羯
	8月13日23:00—14日14:00山东省枣庄、潍坊、烟台、滨州、德州和东营等市	EF0~EF2	台风摩羯
8	8月18日18:40、19:46江苏省徐州市铜山区、丰县	EF1~EF2	台风温比亚
9	8月31日14:25广东省广州市番禺区	EF1	季风低压
10	9月17日09:37、13:15广东省佛山市三水区、肇庆市鼎湖区	EF2、EF1	台风山竹

多,有14个龙卷生成,占到了总数的64%。出现龙卷的7个省(区、市)中,山东最多,有10个龙卷;其次是广东,有7个龙卷。22个龙卷中,有16个是台风龙卷,占到了总数的73%。其中,1814号“摩羯”是近年来最高产龙卷的台风,在其外围环流中出现了11个龙卷。

2018年多数台风龙卷发生在台风中心右前侧(东北象限)、距离台风中心200~400 km的范围内,这与以往对台风龙卷研究^[8-11]所指出的龙卷主要位于台风的右前象限、距离台风中心300~400 km的结论是一致的。还有少数台风龙卷位置例外,其中,1804号“艾云尼”台风环流中生成的广东佛山龙卷距离台风中心最近,仅有92 km;而“摩羯”台风外围环流中所产生的天津静海龙卷距离台风中心最远,达到725 km,属于远距离台风低层倒槽与中层西风槽共同作用产生的龙卷。沈树勤^[9]曾分析过距离台风中心在800 km以上的3个台风龙卷个例,Schultz等^[12]和McCaul^[13]也曾分别采用750和800 km作为美国热带气旋龙卷的距离统计上限。

2018年有2人死于龙卷灾害,分别是6月8日广州

龙卷和8月18日徐州龙卷,前者是成年人,死于简易性房屋坍塌;后者是儿童,由房屋大面积玻璃破碎所致。

4月龙卷

4月中旬广西柳州有1个龙卷发生,这是年内我国第一个龙卷灾害天气过程。4月20日傍晚,受南支槽和低空急流影响,柳州市柳北区沙塘镇上空有微型超级单体风暴发展。19:10前后,沙塘镇遭受了龙卷袭击,视频显示大量的铁皮和木板随龙卷在空中旋转,造成了高压线短路,爆出巨大的火花;多处工棚、屋顶遭到破坏,玻璃破碎,多处直径超过15 cm的树木折断或连根拔起,其中有一株直径约43 cm的大树被扭断;框架结构的房屋屋顶被刮掉;师范学院有一处空调室外机的金属外壳顶部被吹飞,位于2楼的电脑室单边向外开的厚约0.5 cm的铁门被吹嵌入门框内侧,铁门严重变形,篮球架被吹倒。受灾严重的是木材厂,龙卷造成铁皮厂房的垮塌,受损面积约900 m²,铁皮散落在周边区域(图1)。因工人外出就餐,没有造成人员伤亡。本次龙卷于19:10前后

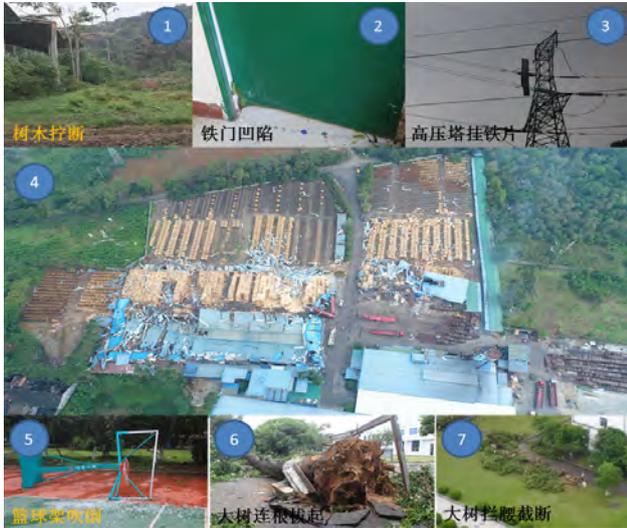


图1 2018年4月20日柳州市柳北区沙塘镇一带龙卷灾害
Fig.1 Tornado damage to Shatang Town in Liubei District, Liuzhou City on April 20, 2018

在沙塘镇触地，随后向东北方向移动，移动路径长约2 km，持续时间约10 min，最大破坏直径约400 m，龙卷级别为EF2级，属强龙卷。

5月龙卷

5月有3次龙卷过程，2次发生在广东，1次发生在吉林。

5月7日11:40，受高空槽影响，广东省潮州市饶平县钱东镇出现龙卷，钱东镇政府的工作人员在距离龙卷约3 km的位置上拍摄到了3 min的龙卷视频。该次龙卷移动方向大致是西南偏西向东北偏东，由于下垫面为广阔的鱼塘，因此没有明显的树木倒伏等痕迹，龙卷移动路径约为1.5 km，强度没有办法判断。

5月21日15:40，广东省中山市东升镇白鲤村出现龙卷，市民录下了龙卷视频。由于龙卷影响区域为大范围鱼塘，影响不严重，仅造成两处屋顶的石棉瓦和铁皮被掀翻。该次龙卷移动路径为1.1 km，持续时间约22 min，强度级别为EF1级，属于弱龙卷。

5月28日12:00前后，受东北冷涡影响，吉林省松原市长岭县太平川镇出现龙卷。受灾严重的地点为烈士墓和养殖场，其中烈士墓范围的商品房玻璃破碎，铁皮厂房顶掀翻、房屋瓦片吹飞，电线杆折断，部分直径超过20 cm的杨树被吹倒或折断。龙卷持续时间约15 min，移动路径约为6.0 km，强度为EF2级。

6月龙卷

6月出现2个龙卷，都是台风龙卷，均位于广东省。受1804号台风艾云尼环流影响，6月8日01:40、14:03前后在广州市南沙区横沥镇、佛山市南海区大沥镇先

后出现两个龙卷。

6月8日01:40前后，广东省广州市南沙区横沥镇云水雅苑住宅小区及附近工地遭受龙卷袭击，导致厂房的铁皮顶、房屋玻璃受损，路边树木倒伏、电线杆折断，临时搭建的简易住房被吹倾斜，简易住房的外墙面散落在四周，移动板房被吹翻，造成1人死亡、8人受伤。龙卷路径长度约1.1 km，最大影响直径达到200 m，强度为EF3级。龙卷发生在台风中心的右前侧（东北象限），距离台风中心约183 km。

6月8日14:03前后，广东省佛山市南海区大沥镇沥东社区发生龙卷，报料人录到5 s视频。龙卷造成厂房铁皮屋顶被掀，破坏面积约2000 m²，多辆汽车被砸，没有造成人员伤亡。龙卷影响时间约30 s，路径长度约380 m，强度为EF1级。龙卷发生在台风中心的偏东方，距离台风中心约92 km，这是我国近年来距离台风中心最近的一个龙卷，属于台风环流内部龙卷，为历史罕见个例。第一作者在此次龙卷发生前58 min（即13:05）成功发布了龙卷警报。8日中午前后，一条南北向的强回波带自南向北影响佛山禅城区南庄至南海区里水、大沥一带，强回波带由多个对流单体组成，单体之间间隙较小，几乎连续，这也使得对龙卷母体风暴的辨析更加困难，尽管12:54广州多普勒雷达1.5°仰角速度图上还只是弱中气旋，但当天的环境条件有利于龙卷的发生，弱中气旋未来加强为中等强度以上中气旋的可能性比较大，且考虑到大沥一带是佛山历史龙卷高发区等综合因素，预计大沥一带未来出现龙卷的风险比较高，本文第一作者于13:05针对大沥镇等5个镇街发出了龙卷警报，14:03许大沥镇出现龙卷灾害。实际上，在发布大沥龙卷之前的11:50还对佛山南海西樵、丹灶等地发出过一次龙卷预警，但是没有龙卷出现。

8月龙卷

8月出现14个龙卷。其中，1个西风带系统龙卷，1个季风低压外围龙卷，其余12个是台风外围龙卷。

8月4日12:50前后，受高空短波槽影响，内蒙古自治区巴彦淖尔市乌拉特后旗获各琦苏木海力素国家基准气候站东侧4~5 km处出现龙卷，海力素国家基准气候站站长等多位工作人员分别从不同的角度和时次拍到了龙卷视频（图2）。由于龙卷风发生地附近人迹罕至、树木极少、植被稀疏，没有造成人员伤亡和财产损失。通过现场勘查取证、影像资料收集、现场走访及多种气象数据综合分析研判，确定龙卷出现时段为12:49—12:57，持续时间为8 min左右，强度为EF0级。



图2 2018年8月4日巴彦淖尔市海力素观测场附近龙卷
Fig. 2 A tornado near Hailisu Observatory in Bayannaocer City on August 4, 2018

1814号台风摩羯外围环流中至少出现11个龙卷，先后影响了天津市、山东省。

8月13日17:30前后，在台风“摩羯”登陆18.5 h后，受台风低层倒槽与中层西风槽共同影响，天津市静海区静海镇西五里到大口子门附近出现龙卷，导致房屋损毁179间、倒塌4间，倒伏或折断电线杆8根、电塔3座，农作物受灾面积有854.7 hm²，造成2人受

伤，直接经济损失超过4700万元。龙卷经过静海区静海镇魏家庄村—北五里村—西五里村—梁头镇小李庄村（图3），自东北向西南方移动，路径长度约5 km，宽度几米到几百米，持续时间约15 min，强度为EF3级。龙卷位于台风中心的正北方向，距离台风中心约725 km，这是我国近年来距离台风中心最远的一个龙卷。



图3 2018年8月13日天津市静海区龙卷路径及灾害
Fig.3 Tornado track and damage in Jinghai District, Tianjin City on August 13, 2018

随后1814号台风摩羯又在山东省至少产生了10个龙卷。其中，8月13日23:00前后1个龙卷影响了山东省南部的枣庄市台儿庄区涧头集镇谷庄村、张山子镇官庄村一带；14日09:30—14:00，又有9个龙卷先后影响山东省北部的潍坊市昌邑市柳疃镇西辛安庄村和渔尔堡村（09:30—09:50）、烟台市莱州市朱桥镇大冢坡、大兰邱家村一带（10:20—10:40）、滨州市惠民县姜楼镇（12:10前后）与桑落墅镇哨马张村（13:40—13:50）、阳信县洋湖乡马上和村

（13:10—13:20）、德州市庆云县尚堂镇李含贵村（13:30—13:50）以及东营市利津县盐窝镇北岭社区台前村（13:10—13:20）、垦利孤东油田（10:40前后）和河口六合街道南旺村附近（14:00前后）。另外，14日下午，滨州市阳信县水落坡镇任集村也出现了疑似龙卷灾害。上述多个龙卷路径长度在50 m~5 km，破坏宽度在20~150 m，强度介于EF0~EF2级。龙卷出现在“摩羯”登陆后34.5~39.0 h时段内、距离“摩羯”中心300~430 km的东北象限

螺旋雨带中。这些区域均为靠近海岸线的陆地，地势非常平坦。其中，潍坊市昌乐市柳疃镇西辛庄村和渔尔堡村均紧邻潍河且位于潍河的西侧（左侧）；烟台市莱州市朱桥镇大冢坡、大兰邱家村龙卷距离海岸线约7 km。其余7个龙卷均发生在黄河北侧（左侧）约50 km的平原范围内。龙卷造成的灾害主要表现为民房和厂房受损，瓦片和彩钢瓦被吹飞，棚架倒塌，树木、庄稼倒伏或折断，电线杆、广告牌和院墙倒塌。其中，最强龙卷发生在滨州市惠民县姜楼镇，距离海岸线约130 m，路径长约4.5 km，破坏宽度150 m，房屋严重受损，树木被折断或拔起，3吨重的钢梁被吹飞，破坏等级至少达到了EF2级。另外，袭击德州市庆云县尚堂镇龙卷，导致窗玻璃破碎，多人受轻伤，1名儿童小手指被切断，受伤较重。

1815号台风温比亚外围环流中出现了2个龙卷。其中，8月18日18:40前后，1个龙卷首先在江苏省徐州市铜山区刘集镇郭桥村触地，随后向西北方向移动，经过马宅子、许集、许楼村等地，最后在刘集镇潘屯消散，整个移动路径长约8 km，持续时间约25 min。龙卷导致1名儿童死亡，并造成房屋严重受损，杨树拦腰折断，大树被连根拔起，大片庄稼被吹倒（图4）。龙卷破坏宽度普遍在40~50 m。其中，

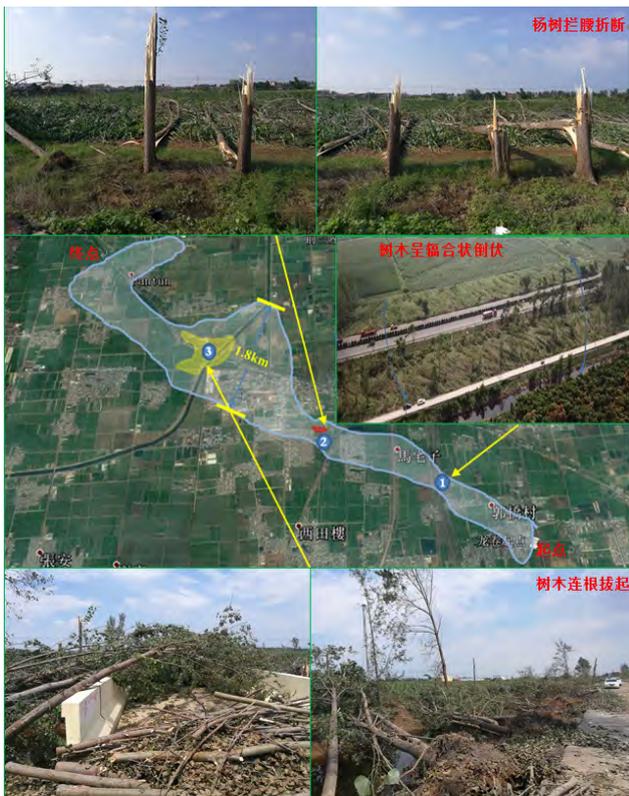


图4 2018年8月18日徐州市铜山区龙卷路径及灾害
Fig.4 Tornado track and damage in Tongshan District, Xuzhou City on August 18, 2018

在许楼村附近，龙卷最大破坏直径达到1.8 km，现场有大量树木被连根拔起，龙卷级别为EF2级，属于强龙卷。龙卷出现在台风温比亚移动方向东北象限的螺旋云带中，龙卷发生地刘集镇距离台风中心约300 km。

台风温比亚外围环流中的另一个龙卷出现在8月18日19:46前后、丰县凤城街道谢集村附近，持续时间约1 min，路径长度约500 m，破坏宽度30~40 m，附近气象站测得最大风速30.5 m/s（11级），造成部分民房受损，强度为EF1级。龙卷同样发生在台风温比亚移动方向东北象限的螺旋云带中，龙卷发生地距离台风中心约290 km。前后两处龙卷的距离为53 km。

8月31日14:25前后，受季风低压外围环流影响，广东省广州市番禺区石楼镇岳溪村出现龙卷，约2600 m²的铁皮厂房顶被掀翻，龙卷路径长度约80 m，主要影响区域为该村一家企业的第四车间，最大破坏宽度为52 m，强度为EF1级。

9月龙卷

9月出现2个龙卷，都是台风龙卷，均位于广东省。受1822号台风山竹外围环流影响，9月17日在广东省佛山市三水区白坭镇、肇庆市鼎湖区永安镇先后出现2个龙卷。龙卷发生地分别距离台风中心490和540 km，属于台风外围龙卷。

9月17日09:37前后，龙卷首先在广东省佛山市三水区白坭镇金竹村附近触地，随后龙卷向西北偏北方向移动，经过三水区西南街道，最后于10:00在肇庆市四会区挹泊村减弱消失。龙卷持续时间约23 min，移动路径长达18 km，平均移动速度为47 km/h，最大破坏宽度为150 m。龙卷造成简易棚屋被摧毁、屋顶瓦片被吹走、部分围墙倒塌、直径约40 cm的大榕树折断、树木被连根拔起或被吹倒等，强度为EF2级（图5）。第一作者及团队提前37 min发布了该次龙卷预警，这也是年内第二次龙卷预警的成功尝试。此次天气过程中，最早在当日08:30前后的广州多普勒雷达0.5°、1.5°仰角上监测到有微型超级单体风暴发展，对应速度上仍是弱中气旋，08:42—08:54，微型超级单体风暴进一步增强，低层0.5°仰角出现中等强度中气旋，底高在1 km以下，基于三水区白坭镇一带是佛山历史上龙卷多发区等综合因素考虑，本文第一作者及团队于09:00针对白坭镇等4个镇街发出了龙卷警报，09:37许龙卷在白坭镇触地。实际上在当日15:00还发出了另一次龙卷预警，没有出现龙卷。6月8日“艾云尼”台风龙卷和9月17日“山竹”台风龙卷过程，预警成功两次，空报两次。表明，并非具备相似条件的区域都有龙卷出现，业务上对龙卷的具体落



图5 2018年9月17日佛山市三水区到肇庆市四会区龙卷路径、强度及灾害

Fig.5 Tornado track, intensity and damage from Sanshui District, Foshan City to Sihui District, Zhaoqing City, on September 17, 2018

区和发生时间等的短临预报还存在极大困难。

9月17日13:15左右,肇庆市鼎湖区永安镇发生龙卷,持续时间比较短,破坏区域很小。龙卷路径上的房屋受损,强度为EF1级。

总结与讨论

2018年我国可确认的龙卷数量达到22个,其中EF1级或以上强度龙卷较2004—2013年的年平均统计结果^[7]是属于偏多的年景。龙卷活动时段集中在4—9月,以8月最多。年度首个龙卷发生在4月20日,最晚龙卷发生在9月17日。台风龙卷占到年度龙卷总数的73%,首个台风龙卷发生在6月8日,此类龙卷主要发生在夏季的6月、8月以及初秋9月。

在台风环流背景场中产生多个龙卷是2018年龙卷过程的一个重要特点。其中,最为突出的1814号台风摩羯,其外围环流中先后出现至少11个龙卷。从以往研究成果看,在近30年来,这个数量仅次于1989年9月16日第23号台风外围环流在江苏省盐城市、南通市和泰州市等地产生的23个龙卷。年度台风龙卷数量占

到总数的73%,显著多过西风带系统龙卷。为何2018年台风龙卷如此活跃且单次台风过程蕴含着多个龙卷?这种台风龙卷的高活跃度是否与年度大气环流异常、台风活动特征等存在某些联系,还值得做进一步研究。

致谢

感谢天津市气象台、山东省气象台、徐州市气象台、柳州市气象台、广东省气象台、广州市气象台、番禺区气象局、南沙区气象局、巴彦淖尔市海力素国家基准气候站,以及北京大学孟智勇教授等对龙卷灾害调查提供的支持和帮助。

资助信息

广东省科技厅社会发展科技协同创新体系建设专项(2019B020208015);灾害天气国家重点实验室开放课题(2018LASW-B18);国家自然科学基金(41675023)

参考文献

- [1] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用.北京:气象出版社,2006:130-143.
- [2] 俞小鼎,郑媛媛,张爱民,等.一次强龙卷过程的多普勒天气雷达研究.高原气象,2006,25(5):914-924.
- [3] 俞小鼎,王秀明,周小刚.雷暴与强对流临近预报技术进展.气象学报,2012,70:311-337.
- [4] 郑永光,朱文剑,姚聃,等.风速等级标准与2016年6月23日阜宁龙卷强度估计.气象,2016,42(11):1289-1303.
- [5] 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.
- [6] 郑永光,朱文剑,田付友.2015年“东方之星”翻沉事件和2016年阜宁EF4级龙卷对流风暴环境条件、结构特征和机理.气象科技进展,2018,8(2):44-54.
- [7] 范雯杰,俞小鼎.中国龙卷的时空分布特征.气象,2015,41(7):793-805.
- [8] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论.北京:科学出版社,1979:464-465.
- [9] 沈树勤.台风前部龙卷风的一般特征及其萌发条件的初步分析.气象,1990,16(1):11-15.
- [10] 郑媛媛,张备,王啸华,等.台风龙卷的环境背景和雷达回波结构分析.气象,2015,41(8):942-925.
- [11] 黄先香,俞小鼎,炎利军,等.广东两次台风龙卷的环境背景和雷达回波对比.应用气象学报,2018,29(1):70-83.
- [12] Schultz L A, Cecil D J. Tropical cyclone tornadoes,1950-2007. Mon Wea Rev,2009,137:3471-3484.
- [13] McCaul E W. Buoyancy and shear characteristics of hurricane tornado environments. Mon Wea Rev,1991,119:1954-1978.