

2021年中国龙卷活动及灾情特征

植江玲¹ 黄先香¹ 白兰强¹ 蔡康龙¹ 李彩玲¹ 李兆明¹
张晶晶¹ 关良² 盛杰² 周康辉² 徐纵横³ 何秋蕊⁴ 麦文强⁴ 彭斯琪⁵

(1 佛山市龙卷风研究中心, 佛山 528000; 2 国家气象中心, 北京 100081;

3 广西师范大学, 桂林 541000; 4 佛山市气象局, 佛山 528000; 5 三水区气象局, 佛山 528144)

摘要: 2021年中国经确认的龙卷天气过程有39次, 总计58个龙卷, 其中EF2级或以上强度龙卷数量16个, EF3级龙卷6个, EF2级和EF3级龙卷数量明显多于2004—2013年的龙卷记录年平均值。龙卷发生在4—10月, 其中7月最多。龙卷共导致23人死亡、470多人受伤。龙卷的地理分布呈现出北多南少的特征。有55个龙卷为西风带龙卷, 另外有2个台风外围龙卷和1个东风波系统龙卷, 冷涡和高空槽为龙卷出现的主要天气形势。其中, 7月11—13日在黄淮气旋的影响下, 一共生成了9个龙卷(其中1个为水龙卷), 这是近十年来西风带系统生成龙卷数量最多的天气过程。

关键词: 龙卷, 中国, 2021年, 灾情特征

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.01.004

龙卷是地球大气中最为剧烈和最具有破坏性的天气现象, 可在短时间内造成重大人员伤亡和财产损失, 其预报预警在当前依然存在极大的困难^[1-3]。2021年极端大风和龙卷天气多发, 龙卷致灾重, 有23人死于龙卷灾害, 导致了较大的经济损失和社会影响; 其中“5.14”湖北武汉龙卷、江苏苏州龙卷造成的伤亡人数较多, 成为年度影响最大且最强的龙卷, 其中湖北武汉龙卷造成10人死亡, 230多人受伤, 江苏苏州龙卷造成4人死亡, 150多人受伤。

2021年佛山市龙卷风研究中心通过现场灾情调查、气象部门确认、权威媒体发布和抖音、快手、微博等自媒体平台上发布的经确认的龙卷视频和图片等方式, 一共收集了58个发生在陆面上的龙卷(本文将发生在陆面上的龙卷简称为“陆龙卷”)和46个水龙卷的活动情况, 其中经过现场调查和官方报道确认的陆龙卷个数为27个, 另外通过自媒体平台上发布的经确认的龙卷视频等方式收集的陆龙卷个数为31个(表1)。

表1 2021年中国龙卷记录概况

	陆龙卷	水龙卷	总数
现场调查	23	/	23
官方报道	4	/	4
自媒体	31	46	77
合计	58	46	104

收稿日期: 2021年12月10日; 修回日期: 2022年1月7日

第一作者: 植江玲, Email: jlz90@qq.com

通信作者: 黄先香, Email: fsqxj@163.com

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); 佛山市院士专家工作站项目(2021002); 广东省气象局科研项目(GRMC2021LM06)

从年度活动等级和灾情(表2)可以看出, 2021年有16个EF2级或以上的强龙卷, 而2004—2013年全国一共记录到的EF2级和EF3级龙卷数量分别为19个和3个^[3], 高于2004—2013年全国记录到的年平均EF2或以上级龙卷数量13.8个, 强龙卷数量明显偏多; 其中有6个EF3级龙卷, 为2018年以来记录到EF3级龙卷数量最多的一年^[4-6], 高于2004—2013年全国记录到的年平均EF3级龙卷数量5.7个。

从龙卷的地理分布来看, 陆龙卷的空间分布呈北多南少(图1a), 主要发生在长江以北的东部地区, 另外华南沿海也有少数龙卷发生, 其中强龙卷分布在东北地区、内蒙古东部、华北地区东南部、江淮流域和华南沿海, 基本上为我国龙卷高发的地区^[3]。此外, 能够确认发生的水龙卷个数为46个(表2), 从水龙卷的分布可见(图1b), 除了东北地区以及东部沿海地区外, 华南沿海也是水龙卷多发的地区, 此外西部内陆局地也有水龙卷发生。

从龙卷的逐月分布可见(图2a), 龙卷出现在4—10月, 以7月最多。其中陆龙卷主要集中在5—8月发生, 水龙卷则主要出现在7—10月。从龙卷发生的天气形势来看(图2b), 陆龙卷主要出现在西风带系统中, 58个陆龙卷中有55个为西风带系统龙卷, 只有2个台风龙卷和1个东风波系统龙卷, 冷涡和高空槽为龙卷发生的主要天气形势; 而触发水龙卷的主要天气系统为高空槽, 此外冷涡、台风和低空急流等也是水龙卷发生的主要天气形势。其中7月11—13日在黄河气旋影响下先后出现至少9个龙卷, 其中包含1个水龙卷, 成为年内出现龙卷个数最多的西风带天气系统。

1 2021年逐月龙卷过程概述

本节主要对2021年在陆面上发生的龙卷过程以

表2 2021年中国陆龙卷活动情况及灾情

过程编号	时间	地点	强度等级	环流型	伤亡	来源
1	2021-04-30 13: 00前后	黑龙江黑河	/	东北冷涡	无	自媒体
2	2021-05-05 12: 59—13: 02	黑龙江佳木斯	EF1 (行标二级)	东北冷涡	无	现场调查
	2021-05-05 13: 25—13: 28	黑龙江鸡西	EF1 (行标二级)		无	现场调查
3	2021-05-10 14: 00前后	湖北武汉	/	高空槽	无	官方报道
4	2021-05-14 18: 50—19: 12	江苏苏州、浙江嘉兴	EF3 (行标三级)	切变线/西南急流	4人死, 151人伤	现场调查
5	2021-05-14 20: 33—20: 54	湖北武汉	EF3 (行标三级)	切变线/西南急流	8人死, 236人伤	现场调查
6	2021-05-24 10: 50	黑龙江鸡西	/	东北冷涡	无	自媒体
7	2021-05-26 傍晚	天津滨海新区	/	高空槽	无	自媒体
8	2021-05-27 下午	黑龙江绥化	/	高空槽	无	自媒体
9	2021-05-28 白天	辽宁沈阳	/	高空槽	无	自媒体
10	2021-05-31 16: 25前后	云南文山	/	南支槽/切变线	无	官方报道
11	2021-06-01 13: 48前后	黑龙江黑河	/	东北冷涡	无	自媒体
	2021-06-01 16: 55—17: 10	黑龙江哈尔滨	EF2 (行标三级)		1人死, 18人伤	现场调查
	2021-06-01 17: 15—18: 10	黑龙江尚志	EF3 (行标三级)			现场调查
12	2021-06-03 15: 00前后	江苏徐州	/	高空槽	无	自媒体
13	2021-06-06 17: 00前后	黑龙江绥化	/	东北冷涡	无	自媒体
14	2021-06-09 15: 50—16: 47	黑龙江齐齐哈尔	EF2 (行标三级)	东北冷涡	无	现场调查
	2021-06-09 16: 01—16: 24	黑龙江齐齐哈尔	EF2 (行标三级)		无	现场调查
15	2021-06-12 20: 30—21: 00	广东茂名	EF1 (行标二级)	台风“小熊”	无	现场调查
16	2021-06-15 0: 00前后	江苏徐州	EF2 (行标三级)	高空槽	12人伤	现场调查
17	2021-06-25 14: 10—14: 40	内蒙古锡林郭勒	EF3 (行标三级)	东北冷涡	6人死, 14人伤	现场调查
	2021-06-25 15: 05前后	河北张家口	/		7人伤	自媒体
18	2021-06-26 16: 00前后	内蒙古呼伦贝尔	/	东北冷涡	无	自媒体
19	2021-07-01 10: 15前后	河北张家口	/	高空槽	无	自媒体
20	2021-07-02 15: 07—15: 22	内蒙古兴安盟	EF3 (行标三级)	东北冷涡	无	现场调查
21	2021-07-05 白天	内蒙古锡林郭勒	/	东北冷涡	无	自媒体
22	2021-07-06 13: 00前后	内蒙古赤峰	/	东北冷涡	无	自媒体
23	2021-07-07 11: 00前后	黑龙江齐齐哈尔	/	东北冷涡	无	自媒体
24	2021-07-08 13: 00前后	青海黄南	/	高空槽	无	自媒体
25	2021-07-08 14: 00前后	湖北荆州	/	高空槽	无	自媒体
26	2021-07-11 19: 00前后	山东聊城莘县	EF2 (行标三级)	黄淮气旋	无	现场调查
	2021-07-11 19: 00前后	山东聊城东昌府区	EF2 (行标三级)		无	现场调查
	2021-07-11 19: 00前后	山东聊城茌平区	EF2 (行标三级)		2人死, 7人伤	现场调查
	2021-07-11 19: 50前后	河北邢台	/		无	现场调查
	2021-07-11 20: 00前后	山东聊城高唐、德州夏津	EF3 (行标三级)		25人伤	现场调查
	2021-07-12 14: 20前后	山东滨州	EF1 (行标二级)		无	现场调查
27	2021-07-13 15: 10—15: 50	内蒙古兴安	/	东风波	无	自媒体
	2021-07-13 17: 00—17: 10	内蒙古呼伦贝尔	/		无	自媒体
	2021-07-14 15: 30前后	台湾屏东	/		/	自媒体
28	2021-07-21 15: 45—16: 15	河北保定	EF2 (行标三级)	东南急流	2人死, 6人伤	现场调查
29	2021-07-24 下午	内蒙古锡林郭勒	/	高空槽	无	自媒体
30	2021-07-27 13: 30前后	黑龙江齐齐哈尔	/	东北冷涡	2人伤	官方报道
	2021-08-10 14: 40—15: 10	山东滨州	EF1 (行标二级)		无	现场调查
31	2021-08-10 14: 40—15: 10	山东滨州	EF1 (行标二级)	高空槽	无	现场调查
	2021-08-10 15: 05—15: 15	山东滨州	EF0 (行标一级)		无	现场调查
32	2021-08-19 18: 30前后	内蒙古锡林郭勒	/	高空槽	无	自媒体
33	2021-08-20 17: 15前后	江苏淮安	/	高空槽	无	自媒体
	2021-08-20 18: 30前后	江苏盐城	/		1人伤	自媒体
34	2021-08-22 下午	内蒙古赤峰	/	东北冷涡	无	自媒体
35	2021-08-23 15: 30前后	江苏淮安	/	高空槽	无	自媒体

过程编号	时间	地点	强度等级	环流型	伤亡	来源
36	2021-08-25 15: 30前后	辽宁鞍山	/	东北冷涡	无	自媒体
	2021-08-25 16: 00前后	辽宁葫芦岛	EF2 (行标三级)		0人死, 1人伤	官方报道
	2021-09-08 15: 30前后	内蒙古通辽	/		无	自媒体
37	2021-09-08 16: 35前后	内蒙古通辽	/	东北冷涡	1人伤	自媒体
	2021-09-08 17: 00前后	内蒙古通辽	/		无	自媒体
	2021-09-08 17: 11前后	辽宁锦州	/		无	自媒体
38	2021-10-01 13: 58—14: 50	山东烟台	/	高空槽	无	自媒体
39	2021-10-08 14: 39—14: 43	广东揭阳	EF2-EF3 (行标三级)	台风“狮子山”	无	现场调查

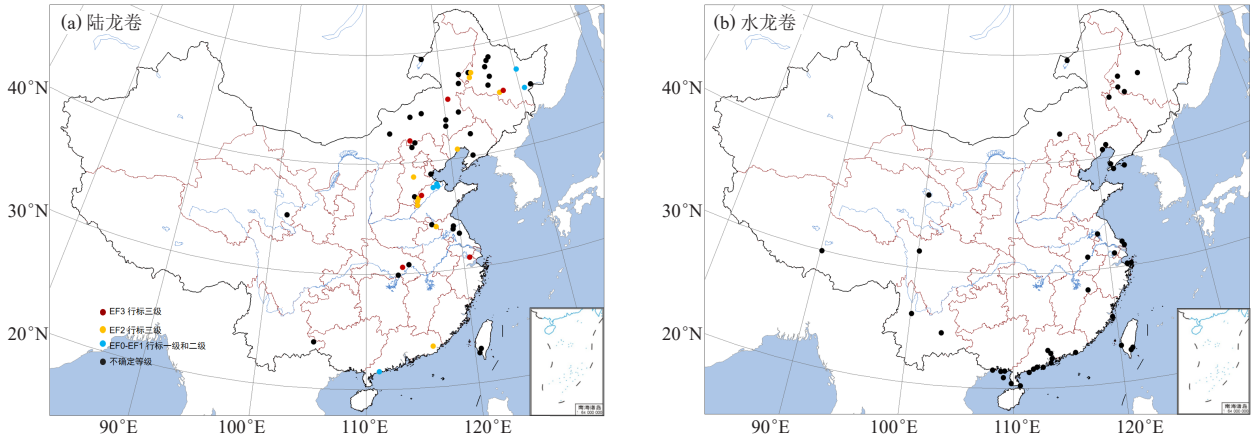


图1 2021年中国龙卷分布

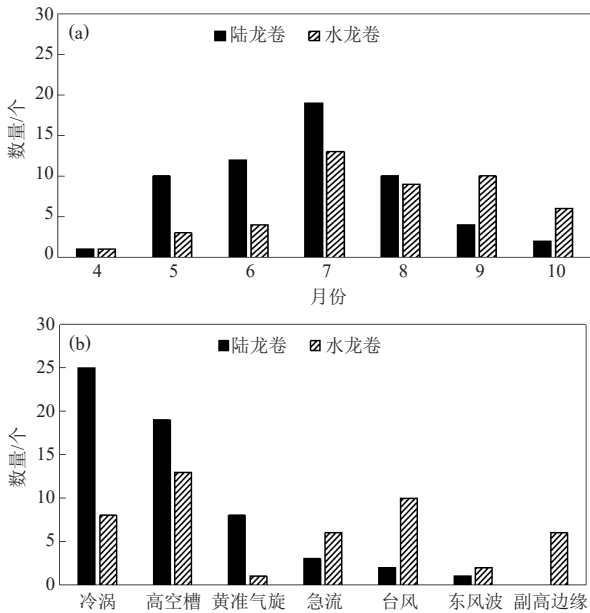


图2 2021年中国龙卷个数逐月分布 (a) 和环流形势分布 (b)

及佛山市龙卷风研究中心参与调查的龙卷灾情进行分析, 灾情资料主要是通过与当地气象部门共同开展的龙卷现场灾情调查, 再结合气象监测资料等, 经多方会商综合确认龙卷路径及其灾害等级, 但由于龙卷尺度小、生消快等特点, 灾调和分析过程中难免存在个别个例强度定级等还需商榷。

1.1 4月龙卷

4月一共有1个龙卷发生, 为西风带系统龙卷, 龙卷发生在黑龙江省。

4月30日13: 00前后受东北冷涡影响, 黑龙江省黑河市北安市二井镇三井村建昌村发生龙卷, 有多位市民拍摄到了清晰的龙卷影像(图3), 由于没有收集到更全面的灾情资料, 龙卷强度待定。

1.2 5月龙卷

5月有9次龙卷过程、10个龙卷发生, 均为西风带系统龙卷, 分别发生在黑龙江(4个)、湖北(2个)、江苏、天津、辽宁和云南。

5月5日受东北冷涡、切变线和西南急流共同影响, 黑龙江发生了1次龙卷天气过



图3 2021年4月30日黑龙江省黑河市北安市龙卷

程、共产生2个龙卷，这是佛山市龙卷风研究中心该年参与的第1个龙卷灾害天气过程。第1个龙卷发生在5日12:59—13:02佳木斯市汤原县附近，龙卷风自西南向东北偏东方向移动，龙卷灾情路径长度约为1.8 km，最大影响宽度约为110 m，主要灾情指示为厂房彩钢顶超过20%面积受损、厂房掀倒和少量树木的倒伏(图4)，龙卷破坏程度为EF1级，对应我国行业标准二级^[7]，属于中等强度龙卷。第2个龙卷发生在5日13:25—13:28鸡西市恒山区小恒山附近，龙卷风自西北偏北向东南偏南方向移动，主要影响了小恒山小区，龙卷灾情路径长度约为1.5 km，最大影响宽度约为90 m，造成民房的彩钢顶、房屋玻璃受损、铁塔避雷针倾倒和少量树木的倒伏(图5)，破坏程度相当于EF1级，对应我国行业标准二级，属于中等强度龙卷。

5月14日江苏和湖北分别发生1次强龙卷天气过程，为年度致灾最重的2个龙卷。14日18:50—19:12，受切变线和低空急流影响，江苏省苏州市和浙江省嘉兴市交界处发生龙卷风，造成4人死亡，150余人受伤。国家气象中心会同江苏省气象台、中国气象科学研究院、南京气象科技创新研究院、南京大学和佛山市龙卷风研究中心等单位专家对该次灾害过程进行了详细的现场调查。此次龙卷风自西向东南偏东方向移动，龙卷始发于江苏省苏州市吴江区盛泽镇，最后在浙江省嘉善县天凝镇消散，跨越两个省份，影响路径长度约为19 km，其中影响江苏省长度约为8 km，最大影响宽度约为480 m(图6)。主要灾情指示为高压铁塔扭曲、水泥钢筋电线杆折断、厂房和空心铁制广告柱受损等，破坏等级为EF3级，对应我国行业标准三级，属于强龙卷。



图4 2021年5月5日黑龙江省佳木斯市汤原县龙卷路径及灾害



图5 2021年5月5日黑龙江省鸡西市恒山区龙卷风路径及灾害

5月14日20:40前后，湖北省武汉市蔡甸区千子山附近出现严重对流大风灾害。此次大风天气共造成10人死亡，230多人受伤，多处房屋、工棚、建筑塔吊倒塌、大量树木折断或连根拔起，造成了严重灾情。国家气象中心会同湖北省气象局、中国气象科学研究院、佛山市龙卷风研究中心等单位专家对该次灾害过程进行了详细的现场调查。

由于此次龙卷发在傍晚至夜间，且龙卷途经地居民较少，未发现有效视频可直接证明发生龙卷，通过现场调查并结合雷达分析后确认此次灾害主要是龙卷风袭击导致。从武汉单站雷达监测分析显示，14日20:12—20:54强回波自西向东过境武汉蔡甸地区并快速发展演变为超级单体，20:24起超级单体进入成熟阶段，中气旋结构清晰，并伴有钩状回波、穹隆特征，且1.5°仰角中气旋中心移动路径具备龙卷特征(图7a)。此外风灾路径长且纵横比大，风灾破坏路径

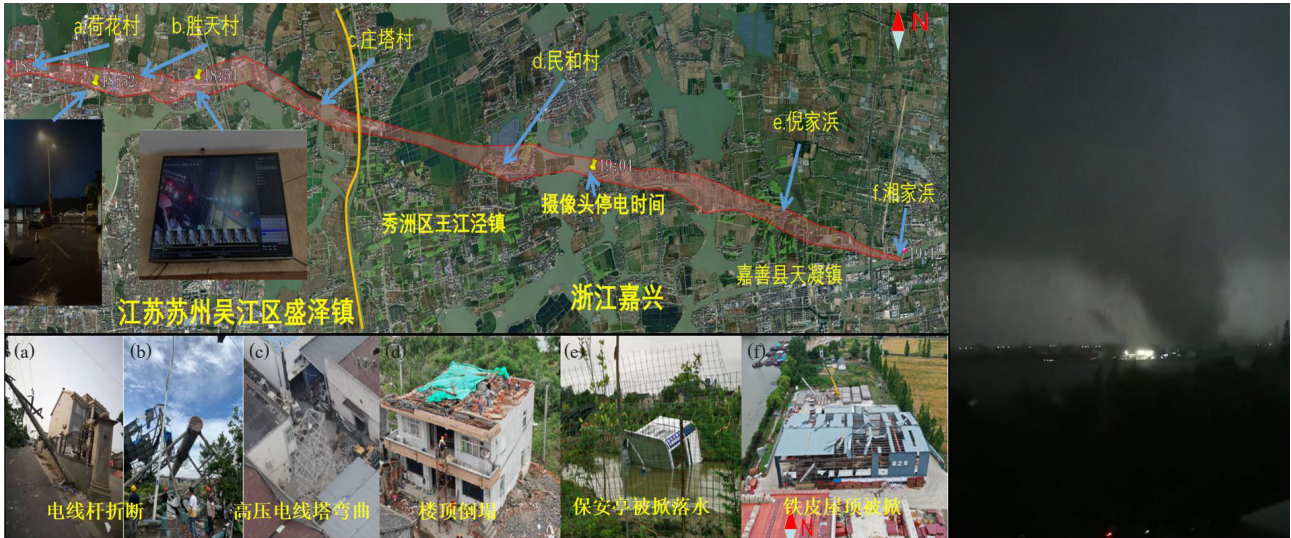


图6 2021年5月14日江苏省苏州市盛泽镇到浙江省嘉兴市天凝镇龙卷风路径及灾害

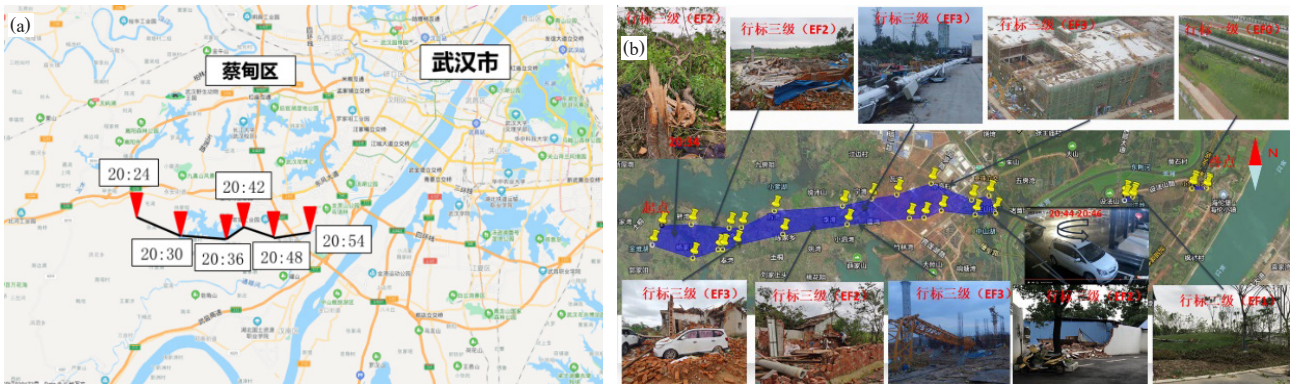


图7 2021年5月14日武汉雷达1.5°仰角中气旋中心路径 (a) 和武汉市蔡甸区龙卷风路径及灾害 (b)

长度约为17.95 km, 其中连续破坏路径为11 km, 最大破坏直径约为1 km; 受灾指示物倒伏呈辐合状, 大量受灾指示物呈扭曲状且出现大量树木被撞顶等特征, 均符合龙卷破坏特征。另外有目击者表示: 看到大风旋转、由南风转北风, 有轰隆火车声等, 符合龙卷过境特征。经过调查确认, 14日20:33—20:53龙卷自西南向东北方向移动(图7b), 先后途径友爱村、新集村、千子山陵园、军山科技产业园3期和川江池公园, 造成大面积松树折断, 还有直径约60 cm的树木折断, 部分树木呈扭曲折断或被撞顶, 川江池公园多处小树连根拔起, 龙卷还导致了多处房屋倒塌、墓地石碑断裂、工棚倒塌、厂房掀顶、多个建筑吊塔倒塌和大量抛射物(建筑铁皮被卡在树上, 部分呈扭曲状)。龙卷路径长度约18 km, 最大破坏直径为800~1000 m, 龙卷强度等级EF3级, 我国行业标准三级, 属于强龙卷。

1.3 6月龙卷

6月有8次龙卷过程、12个龙卷发生, 包括11个西风带系统龙卷和1个台风外围龙卷; 其中有6个龙卷发

生在东北地区, 内蒙古和江苏各2个, 河北和广东各1个。

6月1日, 受东北冷涡和低空南风急流共同影响, 黑龙江发生1次龙卷过程, 共产生了3个龙卷, 造成1人死亡, 多人受伤。其中, 1日13:48前后, 1个龙卷首先在黑龙江省黑河市五大连池市龙镇县触地(图8a), 视频中可见龙卷导致屋顶被吹走、铁皮屋坍塌等灾害。1日16:55—17:10, 第2个龙卷发生在黑龙江省哈尔滨市平山镇(图8b), 龙卷先后经过平山镇板棚子和太平沟, 经国家气象中心和中国气象科学研究院到现场调查后确定龙卷强度等级为EF2, 对应我国行业标准三级, 属于强龙卷。1日17:15—18:10, 第3个龙卷发生在黑龙江省尚志市(图8c), 龙卷先后影响孟家村、喜店村、蜜蜂村南、庆有村、会桐村、长寿村和长新村, 经现场调查后确定龙卷破坏等级为EF3, 对应我国行业标准三级, 属于强龙卷。

6月9日受东北冷涡底部的西南急流影响, 黑龙江省齐齐哈尔市发生了1次龙卷天气过程, 共产生了2个

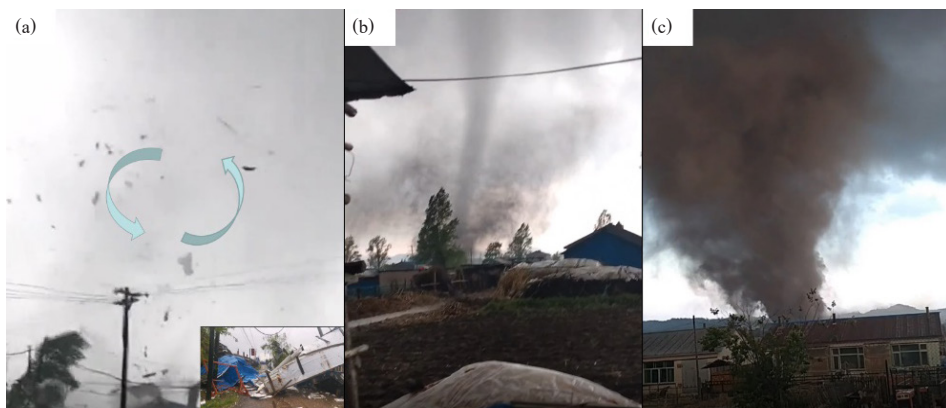


图8 2021年6月1日黑龙江省黑河市龙镇(a)、哈尔滨市平山镇(b)和尚志市(c)龙卷视频截图

龙卷，黑龙江省气象部门对此次风灾过程进行了现场调查。第1个龙卷发生在9日15:50—16:47(图9a)，龙卷经过齐齐哈尔市梅里斯达斡尔区长胜村、哈雅村、雅尔塞村和全好村，无人员伤亡；第2个龙卷发生在6月9日16:01—16:24(图9b)，龙卷经过黑龙江省齐齐哈尔市梅里斯达斡尔族区小红星村，无人员伤亡。上述2个龙卷的强度等级都为EF2级，对应我国行业标准三级，属于强龙卷。

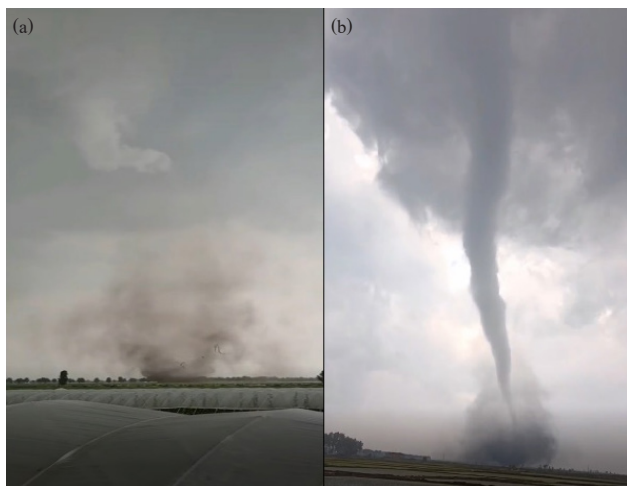


图9 2021年6月9日黑龙江省齐齐哈尔市梅里斯达斡尔族区哈雅村(a)和小红星村(b)龙卷视频截图

6月12日20:30—21:00，受台风“小熊”外围环流影响，广东省茂名市电白区麻岗镇出现龙卷。龙卷发生时，“小熊”中心位于北部湾西南部海面上，强度为热带风暴级，6级风圈半径为310 km，龙卷发生在距“小熊”中心东北象限约441 km的外围螺旋雨带中，属于台风外围龙卷，与以往研究的台风龙卷主要发生区域一致^[8-11]。14日早上，电白气象局进行实地调查。根据现场目击证人描述：龙卷发生时听到起风时室外“嗡嗡”声，根据地面旋转的碎屑沙尘等特征的描述，有小龙卷的天气特征。通过当地气象部门调查发现，

龙卷导致大棚、铁皮屋等建筑物倒塌损毁，树木折断(图10)，造成经济损失70余万元，无人员伤亡；龙卷破坏程度相当于EF1，对应我国行业标准二级。

6月15日00:00前后，受高空槽、切变线和低空急流共同影响，江苏省徐州市铜山区房村镇发生龙卷，龙卷经过申集村、鹿台村、阎庄和伊庄，造成

12人受伤，当地气象部门进行了现场调查，确定强度等级为EF2，对应我国行业标准三级，属于强龙卷。

6月25日受东北冷涡影响，内蒙古自治区锡林郭勒盟和河北省张家口市沽源县交界处发生1次龙卷过程，共产生2个龙卷，多名群众拍摄到了龙卷视频。14:10—14:40，内蒙古自治区锡林郭勒盟发生龙卷，龙卷经过太仆寺旗马坊子村、建国村和三级地村，造成6人死亡14人受伤。视频显示，树木被龙卷连根拔起和折断、加油站加油设备被摧毁、砖结构的围墙倒塌以及平房屋顶被摧毁(图11)。经国家气象中心和中国气象科学研究院现场调查后确定龙卷强度等级为EF3，对应我国行业标准三级，属于强龙卷。15:05前后，河北省张家口市沽源县闪电河乡和双脑包村发生龙卷，造成7人受伤，视频显示大量铁皮和木板随龙卷在空中旋转。由于没有收集到更全面的灾情资料，龙卷强度待定。

1.4 7月龙卷

7月强对流天气多发，记录到的龙卷数量最多，共有12次龙卷过程、19个龙卷发生，包括18个西风带系统龙卷和1个东风波系统龙卷，其中有6个龙卷发生在内蒙古，5个在山东，3个在河北，2个在内蒙古，湖北、青海和台湾各1个。

7月2日受东北冷涡影响，内蒙古自治区兴安盟和黑龙江省绥化市先后产生2个龙卷。其中第1个龙卷风发生在内蒙古自治区兴安盟科尔沁右翼中旗翁根海拉苏嘎查附近，多名群众从不同角度拍到了清晰的龙卷视频，佛山市龙卷风研究中心人员会同当地气象部门进行了现场调查，确定龙卷发生在15:07—15:22，龙卷造成输电铁塔倒塌和扭曲、大片树木折断和扭曲，龙卷自西北偏西向东南偏东方向移动，龙卷灾情路径长度约11 km，最大影响宽度约480 m(图12)；龙卷破坏程度为EF3级，相当于我国龙卷强度行业标



图10 2021年6月12日广东省茂名市电白区麻岗镇龙卷灾害



图11 2021年6月25日内蒙古自治区锡林郭勒盟太仆寺旗龙卷灾害

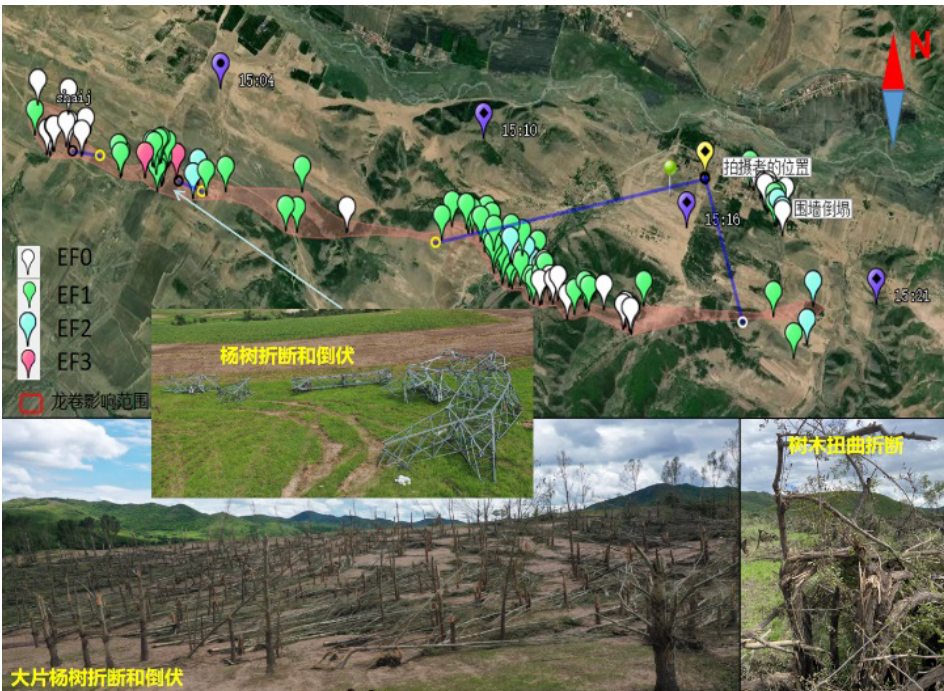


图12 2021年7月2日内蒙古自治区兴安盟科尔沁右翼中旗西哲里木镇龙卷路径及灾害

准三级，属于强龙卷。2日18:00，第2个龙卷影响了黑龙江省绥化市绥棱县三井镇前五村，属于水龙卷（图13）；由于龙卷发生在水面上，没有造成灾情，尚无法判断龙卷强度。

炉集镇（图14b），龙卷路径长度为5.8 km，最大影响宽度为0.5 km，龙卷造成的主要灾害是树木折断，强度达EF2级；第3个龙卷发生在荏平区菜屯镇（图14c），龙卷路径长度为5.2 km，最大影响宽度为1.0 km，强

7月11—13日在黄淮气旋环流影响下至少出现了9个龙卷，其中1个为水龙卷，成为了年度西风带系统中生成龙卷数量最多的天气过程。龙卷先后影响了山东省、河北省和内蒙古自治区，佛山市龙卷风研究中心参与了山东聊城龙卷过程的现场调查。

7月11日，受黄淮气旋东侧西南急流影响，山东省西部和河北东部出现暴雨局部大暴雨、雷雨大风等强对流天气，其中在莘县有市民用手机清楚地拍到了龙卷视频。7月13日佛山市龙卷风研究中心人员与聊城市气象局开展实地调查发现，聊城莘县、东昌府区、茌平区与聊城高唐至德州夏津4处受灾区域的风灾路径长度长，风灾呈连续分布，受灾范围纵横比大，路径长度在5~26 km，宽约为0.5~1.7 km，且受灾树木倒向沿龙卷前进路径呈辐合状，上述特征均符合龙卷破坏特征。通过现场调查、结合雷达特征分析和走访目击者等方式，确定11日19:00—20:00，山东聊城出现4个龙卷，造成2人死亡、多人受伤。第1个龙卷发生在聊城莘县（图14a），造成莘州中学旁工地吊塔折断，莘州中学教学楼墙砖大面积受损脱落，路径长度为20 km，最大影响宽度为1.0 km，强度达EF2级；第2个龙卷发生在东昌府区张



图13 2021年7月2日黑龙江省绥化市绥棱县水龙卷

度达EF2级；第4个龙卷发生在聊城高唐与德州夏津（图14d），造成铁制35 kV输电铁塔折断，路径长度约为26 km，最大影响宽度为1.7 km，强度达到 EF3级；EF2和EF3级相当于我国行业标准三级，属于强龙卷。其中聊城高唐-德州夏津和茌平区菜屯镇2个龙卷过程中可能伴随下击暴流。黄淮气旋环流中产生的第5个龙卷出现11日19:50前后、河北省邢台市临西县，龙卷影响了临西县赵圈村、常圈村、卢庄村和郝庄村，当地气象部门进行了现场调查。

7月12日，受黄淮气旋持续影响，山东省滨州市出现强对流天气，12日14:20前后，滨州至少产生了1个龙卷。在滨州市阳信县，多名群众从不同角度以及监控都拍摄到了龙卷视频。视频显示（图15），大量铁皮随龙卷在空中旋转，造成房屋倒塌、树木折断、民房彩钢顶吹走，龙卷破坏等级为EF1级，相当于我国行

业标准二级，属于中等强度龙卷。

7月13日，黄淮气旋北上影响内蒙古，产生了3个龙卷。其中，13日15:10—15:50，第1个龙卷首先影响内蒙古兴安盟扎赉特旗（图16a）；第2个龙卷出现在17:00—17:10，龙卷影响了呼伦贝尔市扎兰屯市

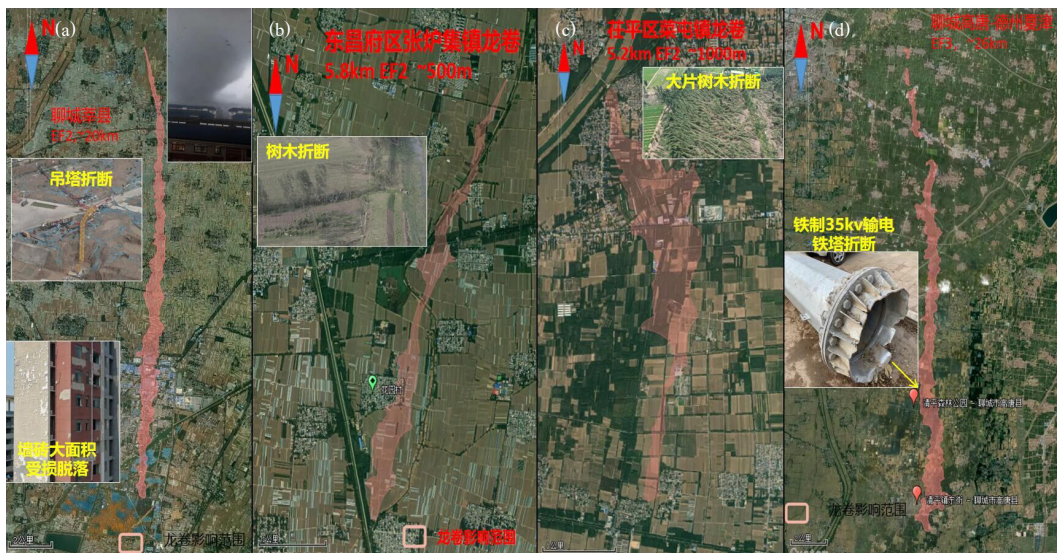


图14 2021年7月11日山东省聊城市4个龙卷路径及灾害

(a) 聊城莘县龙卷；(b) 东昌府区张炉集镇龙卷；(c) 茌平区菜屯镇龙卷；(d) 聊城高唐-德州夏津龙卷



图15 2021年7月12日山东省滨州市阳信县龙卷灾情

宫家街村、凤凰窝（图16b）；13日下午第3个龙卷发生在锡林郭勒盟正蓝旗闪电河河面上，属于水龙卷（图16c）。由于没有收集到更全面的灾情资料，上述龙卷强度待定。

7月21日15:45—16:15，受台风“烟花”外围环流输送的东南风急流影响，河北保定清苑区东吕乡东间村西南部发生龙卷，导致2人死亡、6人受伤，当地多名群众拍到了清晰的龙卷视频。视频显示大量的铁皮和木板等碎屑随龙卷在空中旋转，龙卷风导致铁皮屋顶被掀、砖结构的围墙倒塌以及树木折断（图17）。河北省当地气象部门前往现场进行灾调，确认龙卷强度等级为EF2级，对应我国行业标准三级，属于强龙卷。

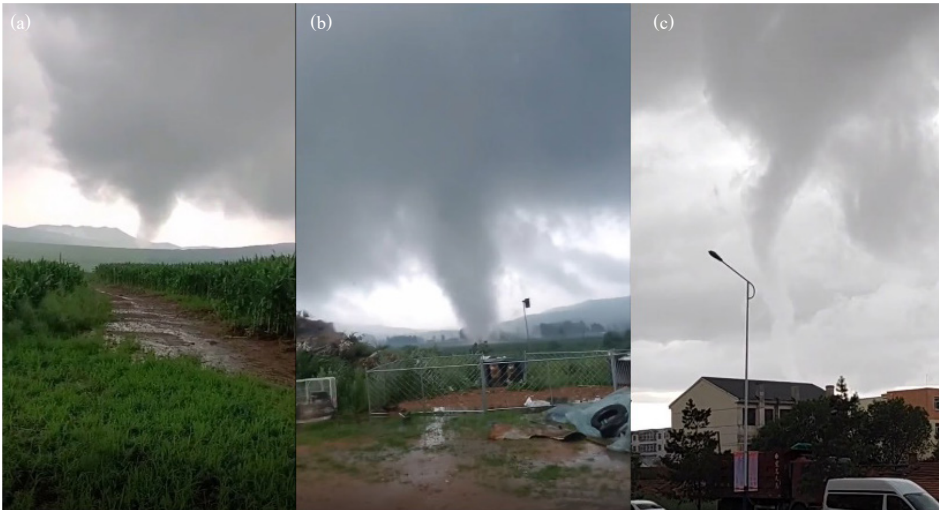


图16 2021年7月13日内蒙古自治区兴安盟扎赉特旗龙卷(a)、呼伦贝尔市扎兰屯市龙卷(b)和锡林郭勒盟正蓝旗龙卷(c)



图17 2021年7月21日河北省保定市清苑区东吕乡东间村龙卷及灾害



图18 2021年7月27日黑龙江省齐齐哈尔市拜泉县龙卷灾害

7月27日13:30前后，受东北冷涡影响，黑龙江省齐齐哈尔市拜泉县上升乡团结村团结三队发生龙卷风，把一户居民的房屋夷为平地(图18)，造成2人受伤。

1.5 8月龙卷

8月有6次龙卷过程、共10个龙卷，均为西风带系统龙卷，其中山东和江苏分别有3个龙卷发生，内蒙古和辽宁分别有2个龙卷。

8月10日受高空槽影响，山东省出现大范围强对流天气，并在山东省滨州市沾化区发生了1次龙卷过程、共产生了3个龙卷。14:40—15:10，在滨州市沾化区徒骇河河滨盐场同时产生了2个龙卷(图19)；15:05—15:15，在该河滨盐场产生第3个龙卷。龙卷分别被多名群众拍到清晰的龙卷视频，当地气象部门进行了现场调查，确定第1和第2个龙卷强度等级为EF1，对应我国行业标准二级；第3个龙卷强度等级为EF0级，对应我国行业标准一级。

8月20日受高空槽影响，江苏省淮安市和盐城市发生了1次龙卷过程，共产生了2个龙卷，均被多名群众拍到了视频。20日17:15前后，第1个龙卷首先发生在淮安市淮安区车桥镇，视频显示铁皮屋顶被掀翻。第2个龙卷发生在盐城市盐都区大冈镇，龙卷经过野陆村、佳富村、瓦屋村和花吉村，龙卷视频可见地面碎屑随龙卷在空中旋转。



图19 2021年8月10日山东省滨州市双龙卷

8月25日受东北冷涡影响，辽宁省鞍山市和葫芦岛市发生1次龙卷过程，共产生了2个龙卷。25日15:30前后，1个龙卷影响了鞍山市海城市东四方台镇东四方台村，视频显示铁皮屋顶被掀翻后随龙卷在空中旋转。25日16:00前后，第2个龙卷影响了葫芦岛市龙港区东山社区和小仙沟社区，造成1人受伤，导致房屋阳台玻璃被吹走、大树连根拔起（图20），破坏程度达到EF2级，对应我国行业标准三级，属于强龙卷。



图20 2021年8月25日辽宁省葫芦岛市龙卷及灾害

1.6 9月龙卷

9月有1次龙卷过程，共产生4个龙卷，分别发生在内蒙古（3个）和辽宁（1个）。

9月8日受东北冷涡影响，内蒙古自治区通辽市多地以及辽宁省锦州市发生了1次龙卷天气过程，共产生了4个龙卷。8日15:30，第1个龙卷发生在内蒙古自

治区科左后旗；16:35前后，第2个龙卷影响了内蒙古自治区通辽市科尔沁区钱家店镇孔家窝堡村南部、四方地村；17:00前后，在内蒙古通辽市科左中旗东苏林场一分场发生了当天第3个龙卷，龙卷导致树木连根拔起、树木折断（图21）。17:11前后，第4个龙卷影响了辽宁省锦州市义县服务区附近。



图21 2021年9月8日内蒙古自治区通辽市科左中旗龙卷及灾害

1.7 10月龙卷

10月一共2个龙卷发生，其中1个为发生在山东的西风带系统龙卷，另外1个为发生在广东的台风外围龙卷。

10月8日受台风“狮子山”外围环流影响，广东揭阳发生龙卷风。8日14:39—14:43，广东省揭阳市揭东区龙尾镇附近遭龙卷风袭击，龙卷发生地位于台风“狮子山”前进方向东北象限，与台风中心距离约为725 km，与2018年台风“摩羯”在天津产生的龙卷距离相似^[4]，并在美国热带气旋龙卷的距离统计上限之内^[12-13]。龙卷风自东南向西北方向移动，影响路径长度约3.5 km，最大影响宽度约350 m；龙卷造成钢筋混凝土结构的电线杆折断、彩钢屋顶掀飞和大量树木的折断倒伏（图22），无人员伤亡，强度等级为EF2~EF3级，对应我国行业标准三级，属于强龙卷。

2 总结与讨论

2021年我国经确认的龙卷天气过程有39次，共58个陆龙卷发生，另外还收集了46个水龙卷的活动情况。该年龙卷数量属于显著偏多年景，陆龙卷数量为2018—2020年的年平均数17.0个的3.4倍；其中EF2级以上强度龙卷数量为16个，其中有6个EF3级龙卷，强龙卷数量较2004到2013年的龙卷记录年平均值明显偏多。

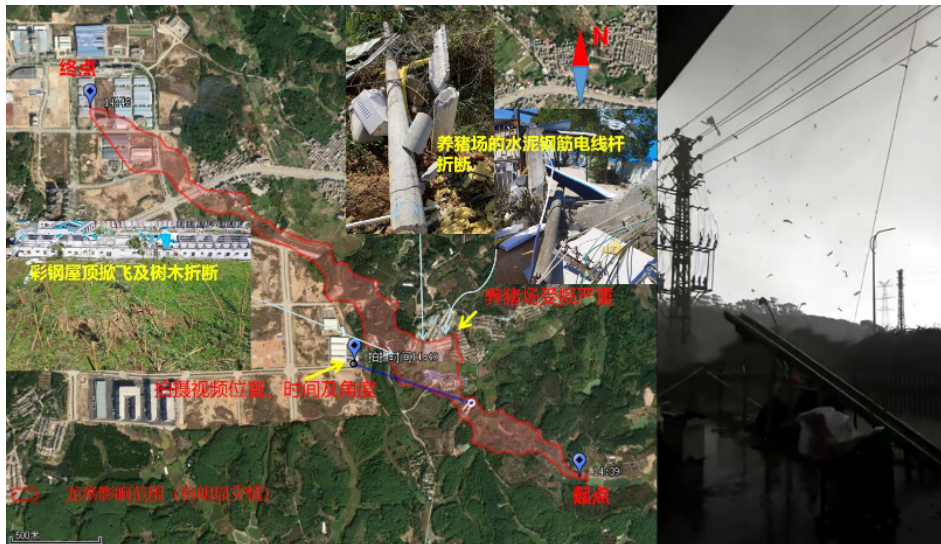


图22 2021年10月8日广东省揭阳市龙卷路径及灾害

龙卷发生在4—10月，7月最为多发，其中陆龙卷主要集中在5—8月，水龙卷则主要发生在9—10月。陆龙卷主要分布在长江以北东部地区，呈南多北少。有55个陆龙卷出现在西风带系统中，其余有2个台风外围龙卷和1个东风波系统龙卷，冷涡和高空槽为龙卷发生的主要天气形势；其中7月11—13日在黄淮气旋环流影响下出现了至少9个龙卷，其中包含1个水龙卷，为近10年有记录以来的产生龙卷数量最多的西风带天气过程。

2021年龙卷致灾较重，共导致23人死亡、470多人受伤，造成较大的经济损失和社会影响；其中湖北武汉龙卷和江苏苏州龙卷成为年度影响最大且最强的龙卷，分别造成10人和4人死亡。

2021年龙卷数量偏多且受新冠疫情影响，龙卷灾害现场调查存在较大困难，因此通过官方媒体或网络自媒体收集了大部分龙卷视频与灾害资料，今后如何利用好网络媒体进行龙卷灾害调查还值得进一步研究。

致谢

感谢国家气象中心、中国气象科学研究院、鸡西市气象局、佳木斯市气象局、江苏省气象局、湖北省

气象局、科尔沁右翼中旗气象局、聊城市气象局、揭阳市气象局以及徐纵横等气象爱好者对龙卷数据收集提供的支持和帮助。

参考文献

- [1] 郑永光. 中国龙卷气候特征和环境条件研究进展综述. 气象科技进展, 2020, 10(6): 69-75.
- [2] 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.
- [3] 范雯杰, 俞小鼎. 中国龙卷的时空分布特征. 气象, 2015, 41(7): 793-805.
- [4] 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): 50-55.
- [5] 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): 7-14.
- [6] 蔡康龙, 黄先香, 李彩玲, 等. 2020年中国龙卷过程及灾情特征. 气象科技进展, 2021, 11(1): 40-53.
- [7] 中国气象局. 中华人民共和国气象行业标准《龙卷强度等级》QX/T 478—2019. 北京: 中国气象局, 2019.
- [8] 黄先香, 俞小鼎, 炎利军, 等. 1804号台风“艾云尼”龙卷分析. 气象学报, 2019, 77(4): 645-661.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Schultz L A, Cecil D J. Tropical cyclone tornadoes, 1950-2007. Monthly Weather Review, 2009, 137: 3471-3484.
- [13] McCaul E W. Buoyancy and shear characteristics of hurricane tornado environments. Monthly Weather Review, 1991, 119: 1954-1978.