

# 我国龙卷预警试验的前沿阵地

——访佛山市龙卷风研究中心炎利军主任

■ 张萌

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.01.010

**张萌:** 请用通俗易懂的语言简单描述一下龙卷所代表的小尺度强对流天气, 并针对2018年总体情况, 给出龙卷和小尺度灾害“年景”的准确解读。

**炎利军:** 龙卷等小尺度强对流天气的监测预警是世界性难题。这也是由它们自身的特点决定的。以小尺度灾害天气的典型代表——龙卷为例, 至少具有5个特点: 个头小、寿命短、脾气大、出生环境复杂, 还喜欢玩快闪。所谓“个头小”, 是指它的尺度小, 它影响的范围一般在100 m以下, 强龙卷可达几百米到1 km; “寿命短”, 是指它的持续时间短, 它的持续时间一般是几分钟到十几分钟, 短的只有几秒到几十秒, 当然也有极少数持续时间可达到几十分钟, 最长一般不超过1 h; “脾气大”, 是指它的破坏力极大, 它虽然影响范围小, 持续时间短, 但一旦发生, 往往会造成严重的灾害, 龙卷有极强的破坏力, 强龙卷常常在短时间内造成重大的人员伤亡和财产损失, 其危害很大的原因主要在于以下几个方面: 风速极大, 其中心最大风速可达100~200 m/s, 旋转性强、风向变化大, 强龙卷能将大量物体卷起抛出; “出生环境复杂”, 是指龙卷可以发生在台风的环境中, 也可以发生在暴雨的环境中, 有时候还伴有冰雹、雷暴等极端天气; 所谓龙卷的“快闪”, 主要是指龙

【编者语】

2018年佛山市对两次台风龙卷过程进行了预警试验, 发布了独立的、到达镇街的龙卷预报, 取得了较好的效果, 本刊针对我国龙卷发生态势、实际预警发布过程中存在的困难等问题采访了佛山市龙卷风研究中心主任炎利军。

卷的突发性强、移动速度快, 龙卷移动速度一般为40~50 km/h, 最快可达100 km/h。也正是龙卷自身这些独特特点, 使得我们对龙卷的“习性”还了解得不够, 对龙卷形成的机理也还不清楚。所以, 目前对龙卷的监测和预警仍极为困难。

2018年, 在上级单位和广东省内外兄弟气象部门的帮助和支持下, 佛山市龙卷风研究中心(以下简称“龙卷中心”)参与了国内16次疑似龙卷天气过程的灾情调查, 经现场勘察、航拍、采访目击者等, 最后确定, 2018年可以确认的龙卷有22个, 天气过程有10次。需要说明的是, 实际龙卷发生次数应大于该数, 因为龙卷中心是根据新闻媒体报道或内部资讯得知龙卷发生后到现场进行灾情调研, 因此并不全面。2018年国内至少有19个EF1级或以上强度的龙卷发生, 跟气象干部培训学院范雯杰和俞小鼎老师所统计的, 2004—2013年中国EF1级或以上强度龙卷的平均情况相比, 是略偏多的, 其中台风外围龙卷偏多起到一定作用, 2018年应该是龙卷等小尺度灾害偏多年景。

**张萌:** 近5~10年中国龙卷发生频率是否有增加趋势? 有人说龙卷和飑线等灾害天气多发趋势与人口覆盖更广泛和气象探测网覆盖更加密集有关, 是否有一定道理?

**炎利军:** 近几年中国由于出现了几次持续时间长、强度大的龙卷, 包括2015年台风彩虹外围佛山EF3级龙卷、2016年江苏盐城阜宁EF4级龙卷、2017年内蒙古赤峰EF4级龙卷, 从而提高了人们对龙卷的关注度, 也引发了中国龙卷发生频率是否增加的思考。相对统计数据而言, 近5年来我国EF3级及以上强度的龙卷有多发趋势。

一方面, 随着经济社会发展、人口增长以及城市建设加快, 气象灾害对人们生命财产的影响越来越



图1 本刊编辑采访炎利军主任(摄影:李兆明)

收稿日期: 2019年1月21日

大,使得人们对龙卷等灾害性天气的关注度提高;另一方面,智能手机、互联网等通信技术的发展,越来越多灾害性天气更容易被人们发现并呈现于大众媒体上,得到更广泛的报道和宣传,让更多的人关注和了解;同时随着气象现代化建设的推进,天气雷达、自动气象站等气象探测网的加密也使得观测网越来越精细,龙卷的踪影和蛛丝马迹也可能会被捕捉到。因此,龙卷和飏线等灾害性天气多发趋势或与人口分布更广泛和气象探测网覆盖更加密集有关。

**张萌:** 如果增加,您认为是由于仪器精细化发展能够捕捉到的龙卷变多了,还是因为气候变化等原因确实使龙卷数量增加了?

**炎利军:** 可以比较肯定的是,随着经济社会的发展,智能手机和社会视频进一步普及,以及探测仪器的技术革新,让我们有机会发现更多的龙卷。以前大家不大了解龙卷的时候,可能会把龙卷灾害归到普通雷雨大风造成,或者强度较弱的龙卷由于无人发现或没有造成很大灾害,而没有报道或记录。对于气候变化如何影响我国龙卷的活动,我们还需要收集更长时间序列的龙卷发生情况,做进一步的分析。

**张萌:** 中国的龙卷相比其他龙卷多发国家,例如美国,具有什么特色?

**炎利军:** 美国是世界上龙卷发生频率最高的国家(年平均超过1000个),因此对龙卷的研究开始早且较为深入。中国年平均龙卷发生频率不到美国的十分之一,对龙卷的研究处于初级阶段。

中国龙卷相比美国龙卷,发生频率低,发生时间相对集中,大都发生在春夏两季;发生地域性强,主要集中在长江三角洲江苏北平原至黄淮平原、广东和广西、东北等地势平坦地区;强龙卷具有在某地频发的特点,比如苏北地区等。美国龙卷发生频率高,全年可能发生龙卷,主要集中在春夏秋季;有两个龙卷高发区,一个是佛罗里达州,另一个是美国中南部的“龙卷走廊”,强龙卷主要集中在“龙卷走廊”。

**张萌:** 近年来我国很多地方出现龙卷,在不同地区,龙卷生成的机理有何差异?

**炎利军:** 龙卷的形成机理大致是:大气不稳定产生强烈的上升气流,上升气流在对流层的中部开始旋转,形成中尺度气旋。中尺度气旋向地面发展和向上伸展,变细增强,在气旋内部形成龙卷核心。当发展的涡旋到达地面高度时,地面气压急剧下降,地面风速急剧上升,形成龙卷。

在我国,龙卷在不同的地区有不同的影响系统,东北地区主要为东北冷涡,江淮流域主要是副高西侧的西风带中的对流系统,而华南则主要为台风以及华

南前汛期冷暖空气对峙引发的锋面和飏线系统引起的。另外,华南地区强龙卷超过一半发生在台风外围环流中,属于浅对流龙卷,或者微型超级单体龙卷,华南前汛期冷暖空气交汇形成的对流系统中出现的龙卷多为弱龙卷。

**张萌:** 伴随台风生成的龙卷呈什么趋势?带来龙卷的台风是否变多?是否有一个台风带来多个龙卷的情况?如果说未来影响我国的台风可能增多,那么是否预示着相关龙卷活动也更多?

**炎利军:** 早在20世纪50年代,美国学者开始对台风外围龙卷有所研究,研究表明:1948—1986年登陆美国的大约59%台风产生龙卷;1961—1982年登陆日本的台风中,大约有40%产生龙卷。国内由于龙卷研究刚处于起步阶段,龙卷个例较少,目前大部分台风龙卷的研究主要为个例分析,尚无台风龙卷发生概率方面的统计。陈联寿等指出,台风龙卷大多出现在相对台风移动方向的右前侧,距离台风中心300~400 km发生概率高。

有一个台风引起多个龙卷的情况。据记录,美国1967年飓风Beulah的外围雨带上产生了超过100个龙卷;2004年9月15—17日飓风Ivan的外围雨带上产生了118个龙卷,其中多数发生在飓风中心的东北部。在我国,2018年也有多次台风外围引发多个龙卷出现的情况。如:2018年6月8日,在1804号台风艾云尼进入广东境内逐渐减弱过程中,其外围广州南沙区、佛山南海区先后出现龙卷天气;2018年8月14日,1814号台风摩羯登陆深入内陆后,受其外围螺旋雨带影响,山东枣庄、东营、滨州、潍坊等地先后出现了多个龙卷;2018年9月17日上午,1822号台风山竹进入广西境内逐渐减弱,受其外围螺旋云系影响广东佛山三水区、肇庆鼎湖区先后出现龙卷天气。

如果未来影响我国的台风可能增多,那么预示着台风外围龙卷活动的可能性会增大。

**张萌:** 请您谈谈龙卷研究和业务之间的关系。

**炎利军:** 根据国家气象中心郑永光、张小玲等专家的研究论文和反馈信息,目前只有美国、加拿大等少数国家有开展龙卷预警业务,我国还没有正式开展龙卷预警业务。龙卷研究是一种基础性工作。特别是,2016年6月23日江苏盐城龙卷造成了严重灾害之后,2016年10月起中国气象局预报司启动为期3年的龙卷预警试验,2017年初,减灾司选取佛山、盐城开展龙卷群策群防和联动试验。目的是探索龙卷预报预警业务建设所需要的基础支撑条件、业务技术体系和预警服务体系,为在我国大范围地区建立龙卷监测预报预警业务提供经验,逐步提升致灾性强对流天气的

监测预报预警、防灾能力。广东省气象局是试点省份之一，佛山市是广东省的试点市，过去两年我们不断加强研究、凝炼指标，2018年开始龙卷预警试验。

但是目前我国龙卷研究还处于起步阶段，龙卷监测能力与美国等已开展龙卷业务的国家相比仍存在较大差距，龙卷研究亟待加强，可考虑先在龙卷高发地进行龙卷试验。在龙卷试验期间，至少需要加强以下几方面工作：1) 龙卷历史资料不全面，需要通过普查收集更完整的历史龙卷资料，建立完整规范、质量可靠、长时间序列的龙卷数据库，进行我国龙卷天气个例和气候特征的研究；2) 加强雷达、自动气象站等观测资料对龙卷的分析与应用，目前我国建成了多部双偏振雷达，相控阵雷达也处于规划中，发展好双偏振雷达和相控阵雷达技术，加强利用天气雷达和自动气象站等设备监测龙卷的科学研究和技术累积；3) 加强业务人员对龙卷形成机理、龙卷识别、风灾灾害调查等方面技术的培训，提高龙卷监测能力；4) 开展龙卷数值模拟研究。

**张萌：**2018年龙卷中心成功进行了龙卷预报，请您介绍当时决定发布预警的最主要的判断依据。未来类似准确的龙卷预报是否可以期待？

**炎利军：**2018年6月8日是基于大尺度环境条件利于佛山龙卷发生，如台风的强度、移动路径和历史统计的易发台风龙卷的路径相似，台风登陆后强的西南风和东南风急流在珠江口汇合，珠三角是低的抬升凝结高度，强的0~1 km垂直风切变等条件利于龙卷的发生，在短时临近上监测到有多个中气旋加强发展，移动路径可能经过佛山市地势相对平坦的区域，这些区域也是佛山历史上龙卷多发区，因此进行了龙卷预警。

过去5年，龙卷中心重点加强了龙卷大尺度环境条件、灾情调查分析和雷达识别等方面的研究，特别是对台风外围龙卷进行了深入分析，总结出龙卷易发的大尺度环流形势和从雷达图快速判断龙卷的技术指标。开发了《佛山市龙卷风及雷雨大风等灾害预警靶向发布系统》，通过该发布系统可以监测到台风外围龙卷发生的大尺度环境条件，物理量参数等是否利于龙卷的发生。台风外围龙卷的发生虽有一定规律性，但目前的仪器监测仍存在很大的难度，特别是弱龙卷可能会出现很多的漏报和空报，可以继续开展龙卷预警试验。

**张萌：**对于未来气象部门实现龙卷预报业务化的必要性和可行性方面，您有什么看法或建议？

**炎利军：**龙卷监测预警是世界性难题，尽管目前我国开展龙卷预警预报业务还存在很大的困难，但是出于防灾减灾的需要，还需大力推进包括龙卷等极端

强对流天气的短时临近监测预警业务建设。对于龙卷而言，至少还需要在三个方面做出努力：一是观测技术的变革，如使用相控阵雷达技术，提升雷达的时空监测分辨率、流场的快速探测能力，更好更快地反演三维风场动态演变特征等；二是分析技术的变革，如使用高分辨率集合数值预报模式实时预报中小尺度天气系统的活动、人工智能预测龙卷技术等；三是借助第三方的力量，这包括公共视频的龙卷图像自动识别和公众快速报告制度的建立。我国在公众报告制度方面以往重视不够，美国龙卷预警提前14.6 min，就包括了龙卷追踪志愿者及时报告所贡献的部分时效，而不仅仅是雷达监测预警贡献的预警提前量。

**张萌：**过去几年我国也发生过严重的龙卷灾害，那么我国开展龙卷预警业务的难处在哪里？

**炎利军：**我国龙卷天气预警相较美国更具有挑战性。首先是数量上不及美国的十分之一，发生概率很低，研究样本很少。其次是我国很多致灾龙卷多发生在暴雨、雷雨大风或者台风等环境中，这种强降水、雷暴、冰雹、龙卷等多种类型天气现象共生的情况下，使得我国龙卷预报预警更加困难。即使对于台风龙卷，虽然发生发展需要特定的环境条件，但是具备这些条件的区域并非都有龙卷发生，而且龙卷尺度小、突发性强、持续时间短、发生概率低，因此业务上对于龙卷的具体发生时间和落区进行预报预警存在极大的困难。

2018年佛山市对两次台风龙卷过程进行预警试验，虽然取得比较好的效果，但在实际预警发布过程中仍存在问题。比如：并不是具备产生龙卷条件的区域都会出现龙卷、龙卷空报率较高等，这也说明龙卷预警技术还不成熟、还不具备业务化的能力，这主要是因为孕育龙卷的母体风暴所处环境极为复杂，对龙卷的发生发展机理还缺乏深入研究，加上龙卷本身尺度小、突发性强、持续时间短、发生概率极低等特点，使得业务上对龙卷发生时间和地点等的临近监测识别和预报预警还存在诸多问题和困难。

**张萌：**本刊在2018年第2期和第3期，在包括龙卷中心等机构的支持下出版了两期针对龙卷和局地强对流的专辑，也请您评价和提出意见和建议。

**炎利军：**话题很好，实用性很强，而且如前面所言，2018年龙卷是比较高发的了，专辑很贴近业务需求和现实情况。两期针对龙卷的专辑主题包括“龙卷预报与研究”“强对流天气研究与业务”，内容包括了龙卷的统计特征、动力分析、数值模拟、预报预警，以及强对流天气预警业务等，内容丰富全面，为基层开展龙卷研究等方面提供了

链接：专家点评



国家气象中心强天气预报  
中心首席郑永光

龙卷是地球大气中最强烈的对流风暴。美国是发生龙卷最多的国家，中国年龙卷发生数目不到美国的十分之一。龙卷通常分为两类，一类为中气旋龙卷，另一类为非中气旋龙卷。非中气旋龙卷的监测和预警十分困难；依靠新一代多普勒天气雷达有可能对中气旋龙卷进行有效预警，比如2016年6月23日江苏阜宁EF4级龙卷和2018年佛山的两次龙卷。EF2级及以上中气旋龙卷的发展环境条件包括一定的对流有效位能、强的0~6 km垂直风切变、低的抬升凝结高度和较大的低层垂直风切变。从天气形势来看，我国龙卷易于发生在暴雨或者台风这样的天气背景下，比如2015年10月4日广东彩虹台风龙卷、2016年6月23日江苏盐城龙卷（暴雨背景）、2018年的摩羯台风龙卷等个例，这增加了我国龙卷监测识别和预报的难度。

灾后现场天气调查工作依然是确认龙卷的最重要手段之一，但目前尚未有经过灾调确认的中国龙卷年度报告发布，因此《2018年中国龙卷活动特征》一文能够为进一步深入认识中国的龙卷提供较好的研究和业务基础资料。2018年是中国的龙卷多发年，虽然其总体灾害不强，但从该年的这些龙卷个例中可看到，龙卷的监测识别和预报预警都有非常大的难度，因此未来需要在部分重点区域布设具有高空间分辨率的双偏振雷达和其他设备来提高对龙卷的综合探测能力，以加深对龙卷尤其是强致灾龙卷的认识，并发展监测识别算法和精细数值模式来提高对强龙卷的预报预警能力。

很好的专版内容。

建议可增加国外龙卷业务开展情况介绍，比如国外龙卷预警业务系统以及国外龙卷形成机理研究成

果、龙卷识别技巧、龙卷预报预警如何开展等内容的介绍。

（作者单位：中国气象局气象干部培训学院）

（上接40页）

## 2.4 东南亚+南海海域

针对东南亚及南海热点区域，需要特别设计一个东南亚及南海海域观测区域。设计该区域的主要目的是对东南亚及南海海域进行高时间分辨率的扫描，获取邻国及海上台风区域的高频次观测数据。扫描范围：25°N—11°S。根据扫描镜运动规律，精确计算所需扫描时间为203.7 s。

## 2.5 澳大利亚及其周边海域

设计该区域的主要目的是针对澳大利亚及其周边海域开展高频次观测，为相应国家提供高时间分辨率的观测资料。扫描范围：8°—50°S，108°—168°E。根据扫描镜运动规律，精确计算所需扫描时间为126.2 s。

## 2.6 新版中国地图区域

针对新版中国地图或竖版中国地图，专门设计了一个扫描区域，包含南海在内。扫描范围：0°—55°N，65°—140°E。根据扫描镜运动规律，精确计算所需扫描时间为301.9 s。

## 3 结语

风云四号静止轨道气象卫星是世界上最先进的静止轨道气象卫星之一，此次设计建设的地面应用系统是迄今最为复杂的地面系统。卫星发射入轨后，由空

间段的卫星和地面应用系统共同构成我国新一代静止气象卫星观测系统。本文探讨了三轴稳定平台上风云四号静止轨道气象卫星成像仪复杂的工作模式，首次提出了成像仪灵活多样的观测区域设计方案，在全圆观测时间之余，可以高效利用小块观测时间，按需灵活安排高频次的多种区域观测，充分发挥静止轨道卫星高时间分辨率的优势。重点设计的观测区域包括中国大陆区域、中国大陆+海区、东海海域、东南亚+南海海域、澳大利亚及其周边海域、新版中国地图区域，包含了天气预报最关注的中心区域、沿海区域、台风与热带气旋频发区域、东南亚热点区域等，在成像仪在轨测试中发挥了重要作用，为开展业务运行奠定了坚实的基础。

### 参考文献

- [1] 张志清, 董瑶海, 丁雷, 等. 我国首颗第二代静止气象卫星风云-4 升空. 国际太空, 2016(12): 6-12.
- [2] DOC, NOAA, NESDIS, et al., Product definition and users' guide (PUG) volume 4: GOES-R rebroadcast (GRB), <https://www.goes-r.gov/users/docs/PUG-GRB-vol4.pdf>, 2014.
- [3] Kotaro B, Kenji D, Masahiro H, et al., An introduction to Himawari-8/9 - Japan's new-generation geostationary meteorological satellites. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2016, 94(2): 151-183.
- [4] 多通道扫描辐射计工作流程说明. 上海: 上海卫星工程研究所, 2014.