

我国近 30 年龙卷风研究进展

郑峰^{1,2,3} 谢海华³

(1 中国气象科学研究院,北京 100081; 2 南京信息工程大学,南京 210044; 3 温州市气象局,温州 325027)

摘要 从 3 方面总结了龙卷风研究成果:①研究概况,最初的龙卷风灾后调查到开展天气气候特征分析至近年来开展龙卷风本体结构、产生机制的探讨,获得了丰硕成果;②研究方法提高,从事实调查到利用统计方法,从利用台站常规观测资料到运用卫星、多普勒雷达、风廓线仪等非常规资料开展分析,近年数值模式 WRF、ARPS 等也被用来研究龙卷风,研究的方法手段不断得到改进;③龙卷风研究、预报面临的困难和未来展望。

关键词 龙卷风 成果 方法

引言

龙卷风是一种小尺度的强烈涡旋。它来势凶猛,破坏力极大,除极大的阵风和气压变化外还常伴随着雷暴、冰雹和强降水,因此是建筑设计、工农业和生命财产保险、防灾救灾等诸项事业中应予以重视的灾害性天气现象^[1]。近年来国内对龙卷风研究和预防有了崭新的成果^[2~3],沈树勤^[4]分析了江苏境内台风前部龙卷风特征及其萌发原因;陈永林^[5]对 1999 年 9 月 6 日发生在上海的龙卷风作了详细的物理剖析;黄忠等^[6]对台风外围发生的龙卷天气成因进行分析;林仲青等^[7]、林志强^[8]、麦毓江^[9]都对受 9406 号强热带风暴外围影响,珠江三角洲部分地区出现的龙卷风作了一些研究;纪文君等^[10~11]研究了半岛效应、山地地形,以及海陆热力差异引发的龙卷风;也有人介绍了国外龙卷风研究^[12~14]。

1 龙卷风研究概况

20 世纪 80 年代龙卷风研究基本停留在灾害的描述,包括灾情、灾害现场特征、龙卷风路径推测以及诸多陆龙卷风、水龙卷风的照片见诸期刊和报端等。例如,河北涞水的一次龙卷风描述^[15]。同时,提出开展龙卷风研究的问题^[16]。

1.1 统计特征

进入 20 世纪 90 年代后,气象工作者开展了大

量的龙卷风天气气候分析^[17~26]。研究了大量的龙卷风个例和全国及区域龙卷风的气候特征,获得珍贵的观测资料。通过分析得到龙卷风活动规律、产生条件、物理量场等要素。初步得出我国龙卷风的时空分布特征^[2]。图 1 为我国龙卷风的分布,长江口三角洲、苏北、鲁西南、豫东等平原、湖沼区以及雷州半岛等地都是龙卷风的易发区。

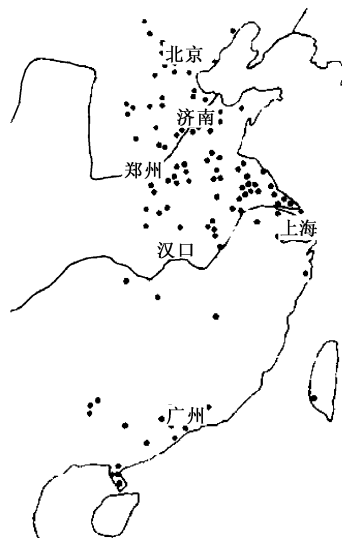


图 1 1980~1993 年灾害性龙卷风分布(部分记录)^[2]

在不同地域,龙卷风发生最多的月份亦有差异。在广东省龙卷风发生最多的月份是 4 月和 5 月;在河北、山东省龙卷风发生最多的月份是 7 月和 8 月。

观测记录和灾情报告表明,龙卷风在一天中的任何时间都可能发生,而以午后发生最多,其中 15:00~16:00 为发生高峰时段(图 2)。

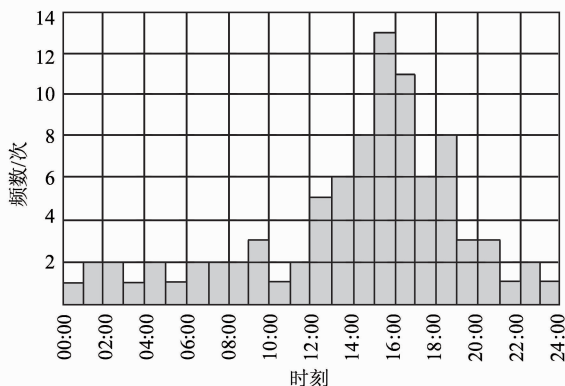


图 2 龙卷风发生频数日变化^[2]

1.2 机理分析

许多气象学家对龙卷风的形成机制进行了探讨^[27~29]。纪文君等^[30]利用角动量守恒原理,提出龙卷风发生的可能机制:绝对不稳定的大气—空气迅速上升—形成低压区—周围(较大的水平涡度)大气的辐聚—形成快速旋转的流体—惯性离心力的作用使辐聚限制在最小半径为圆柱以外(地面层除外)—最小半径为圆柱内空气的无卷挟高速上升—加强了龙卷风中心区的低压(气压更低)。如此循环,正反馈加强,龙卷风形成。伍培云、陆建隆^[31]采用流体运动与地球自转相结合,并用流体旋转动力学模型对龙卷风形成强烈旋涡的机理进行了探讨,得到了明确的龙卷风旋转方向。应用动力学模型指出龙卷风的产生是气体的自由涡现象(图 3)。高空低气压引起地面气体沿 OO' 上升,地表周围的空气向 OO' 聚拢,去填补上升了的空气。也由于地球自转的原因,气压的降低,再由绕 OO' 旋转的气流受离心力的作用,所以旋转的气流要水平膨胀,在高空旋转速度趋于缓和,因此一般看到的龙卷风是倒漏斗状。可见,地面龙卷风可对地面的物体产生很大的破坏力和杀伤力。

刘式达等^[32]绘出龙卷风的三维结构,有水平辐散辐合的涡旋,呈三维螺旋型,常见是漏斗状,龙卷风大口朝上(图 4)。陈冠^[33]协调、配合应用 ALIAS 软件集成的粒子效果和相关功能模块创造出类似龙卷风的动画效果(图 5)。

1.3 避险方法

龙卷风的特点是范围小、寿命短(一般只有几分

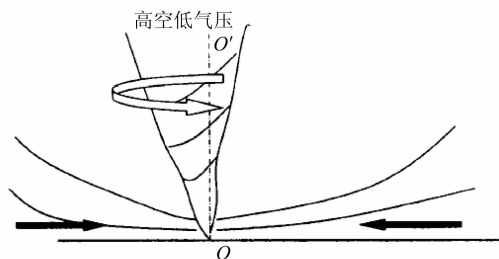


图 3 龙卷风的动力学模型^[31]

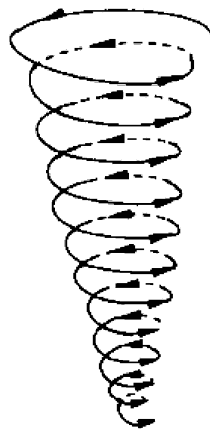


图 4 龙卷风的结构^[32]

钟),来去匆匆,一掠而过。使人们很难对其进行有效防范。根据前人总结的预防经验,人们仍然可以采取一些应急措施来躲避龙卷风的侵害^[34]:①最安全的地方是由混凝土建筑的地下室;②寻找与龙卷风路径垂直的低洼区藏身;③跑进靠近大树的房屋内躲避等。

2 龙卷风研究方法

从常规气象观测到应用风廓线仪、多普勒雷达和数值模式有力地推动了龙卷风研究和预测^[34~35]。

2.1 常规气象观测

图 6 是 2000 年“启德”台风外围的浙江省温岭市横河镇气象观测站的日记气压计(日转式)记录留下的气压迹线,当时龙卷风就发生在测站附近,十分清晰地显示出一个漏斗,大约 5 min 内气压下降 7.7 hPa,其中 00:46 瞬间陡降 5 hPa,最低降至 986.1 hPa。而 00:00 和 01:00 的正点气压分别为 996.1 hPa、992.9 hPa。从图中可以看出,龙卷气压漏斗从 00:38 开始,约至 00:53 结束,影响持续 15 min 左右。

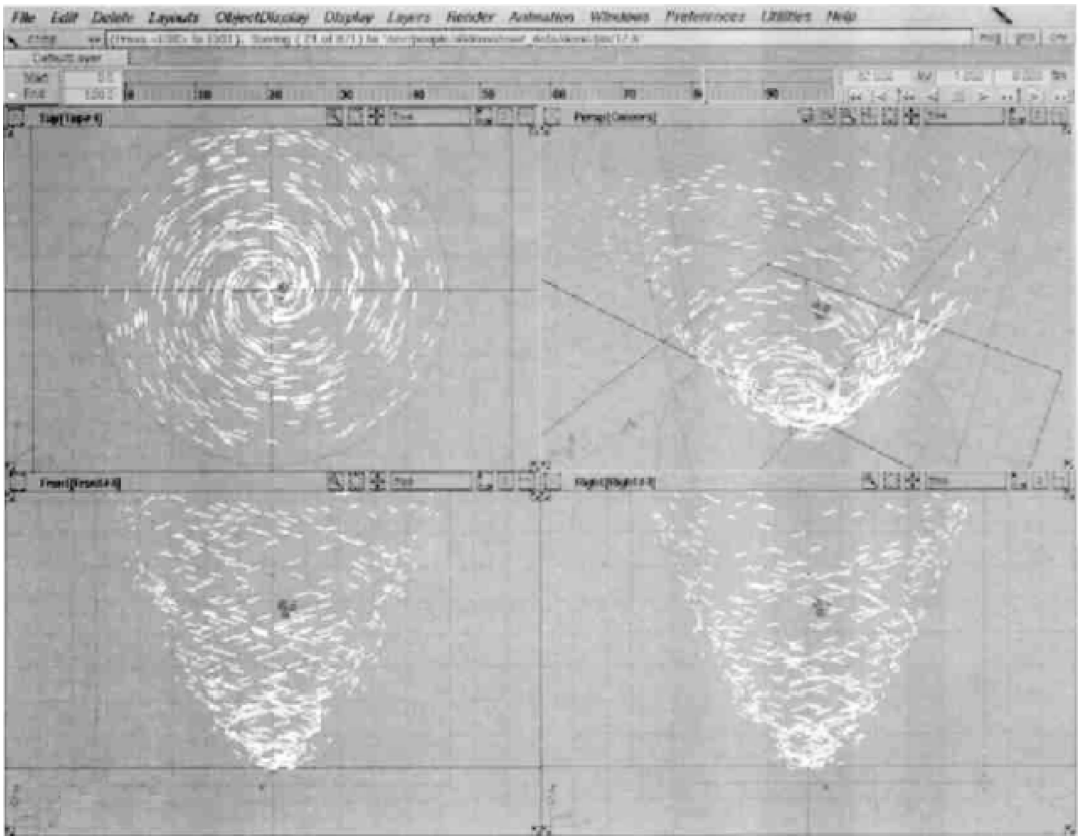


图 5 计算机模拟的龙卷风动画^[33]

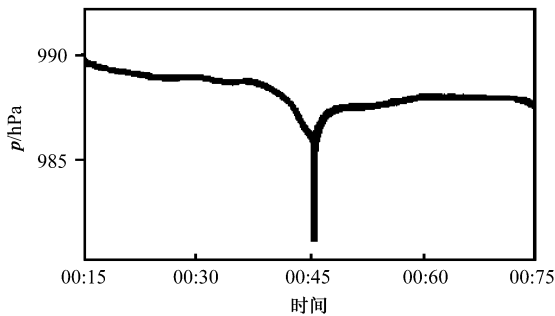


图 6 龙卷风过测站附近时自记气压迹线^[26]

2.2 风廓线仪

陈永林^[5]利用风廓线仪的观测资料对上海 1999 年 9 月 6 日发生的龙卷风作了较为详细的物理剖析。在 05:00~07:40 的风廓线仪测风资料中可以发现风的演变,此期间近地层出现了异常的旋转变化的。由图 7 可见,05:05~05:40, 3000 m 以下主要是 S-SW 风,但 06:05 测得自地面到 1200 m 突然出现了风向逆转 360° 的异常情况。对应应在 06:09 的雷达回波图上,此时青浦正有一块强对流回

波在向东移动。在常规的探空资料上得不到如此密集的测风资料,近地层风向的异常旋转自然无法知晓。因此,两者的配合使用,更有利于监测龙卷风的发生发展。

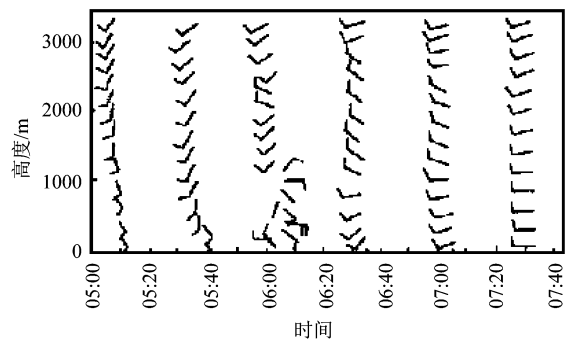


图 7 05:00~07:40 风廓线仪测风^[5]

2.3 多普勒天气雷达

1970 年 Donaldson 首次利用多普勒天气雷达观测到了超级单体中的“龙卷气旋”,即现在广泛使用的所谓“中气旋”。另外,新一代多普勒雷达 CINRAD/SA 中的重要产品中气旋(M)、弱回波区(WER)、龙卷涡流特征(TVS)等产品能为龙卷风的

监测预警提供警示指标。中气旋往往与强天气有关,根据多年雷达资料统计,大部分中气旋伴有雷雨大风、冰雹等强天气,5%~20%的中气旋伴有龙卷风。强烈中气旋的出现和维持,特别是中层气旋的加强,表明龙卷风的产生有很大可能性,此时立即发布龙卷风预警,将意味着可以提前对龙卷风做出预警^[37]。近年来多普勒雷达被广泛应用于龙卷风的监测预报^[38]。

2.4 WRF 数值预报模式

WRF(Weather Research & Forecast Model)模式系统是由美国研究、业务及大学的科学家共同参与开发研究的新一代中尺度预报模式和同化系统。WRF 模式作为一个公共模式,免费对外发布,第1版在2000年10月发布。WRF 模式采用高度

模块化、并行化和分层设计技术,集成了迄今为止在中尺度方面的研究成果。重点考虑从云尺度到天气尺度等重要天气的预报,水平分辨率重点考虑1~10 km,提供了各种不同的物理方案选择。与之相比,2004年6月发布的第2版主要优势是增加了嵌套域的功能,同时各个区域之间有灵活的比率。模拟和实时预报试验表明,WRF 模式系统在预报各种天气中都具有较好的性能,具有广阔的应用前景。刘宁微等^[39]利用 WRF2.0 对2005年6月10日发生在辽宁省的一次龙卷风过程进行了数值模拟。模拟结果表明:WRF 模式能够比较成功地再现龙卷风过程,模拟结果中所体现出的强烈的对流运动和较小的影响范围,十分符合龙卷风这种小尺度强对流系统的特征(图8)。

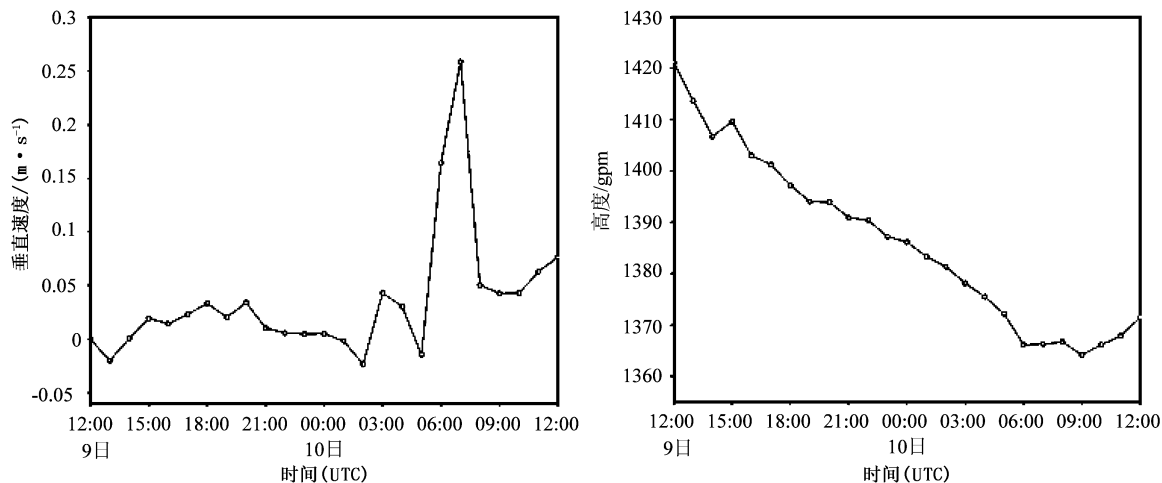


图8 模拟的龙卷风发生地850 hPa上垂直速度和高度的日变化曲线(2005年6月)^[39]

3 困难和展望

由于龙卷风属于小尺度系统,发生时间短,影响剧烈,仪器监测和开展预测仍存在困难。目前还需要进一步建设中小尺度灾害性天气监测、预警系统,提高多普勒雷达的监测能力和反演龙卷风的能力,引进和开发数值模式(如MM5、WRF、ARPS、GRAPES等)提高数值预报精度,做好龙卷风的精细监测和准确预测,达到减灾之目的是可能的。

参考文献

[1] 陈家宜,杨慧燕,朱玉秋,等.龙卷风风灾的调查与评估[J].自然灾害学报,1999,8(4):111-117.
[2] 魏文秀,赵亚民.中国龙卷风的若干特征[J].气象,1995,

21(5):36-40.
[3] 辜旭赞,张兵.双三次数值模式与理想Lamb波、龙卷扰动对比模拟分析[J].气象科技,2007,35(5):614-619.
[4] 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[J].气象,1990,16(1):11-15.
[5] 陈永林.上海一次龙卷风过程分析[J].气象,2000,26(9):19-23
[6] 黄忠,张东.台风远外围大范围强对流天气成因综合分析[J].气象,2007,33(1):25-31.
[7] 林仲青,李献洲.9403号强热带风暴外围龙卷风分析[J].广东气象,1995(3):11-13.
[8] 林志强.“6.9”南海、清远龙卷风灾情调查[J].广东气象,1995,(1):36-38.
[9] 麦毓江.940609龙卷素描.广东气象[J].1995,(6):57.
[10] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论[M].北京:科学出版社,1979:80-93.
[11] 纪文君,张羽.雷州半岛强对流天气及触发机制分析[J].海洋

- 预报,2005,22(3):1-4.
- [12] 曾晓梅. 何种风暴引发龙卷风[J]. 气象科技,2005,33(6):101.
- [13] 曾晓梅. 全球规模最大的龙卷风试验在美国大平原进行[J]. 气象科技,2009,37(2):270.
- [14] 许晨海. 美国强天气过程预报进展[J]. 气象科技,2003,31(5):308-313.
- [15] 张军. 河北涞水的一次龙卷风[J]. 气象,1981,7(11):32.
- [16] 相德勤,李瑛. 1978年陕西乾县龙卷风纪实[J]. 灾害学,1986,12(1):67-69.
- [17] 霍星远,刘鹏飞,尹洪涛,等. 辽宁省朝阳县2005年6月10日龙卷风天气过程分析[J]. 安徽农业科学,2008,36(4):1514-1518.
- [18] 杨金莲,李璨宇. 洞庭湖湖洲“98.5”龙卷风分析[J]. 海洋湖沼通报,1998,3:13-16.
- [19] 陈家宜,杨慧燕,朱玉秋. 龙卷风风灾的调查与评估[J]. 自然灾害学报,1999,8(4):112-117.
- [20] 干莲君,田心如,张东凌. 龙卷风的风强分析与极值推断[J]. 气象科学,1999,19(1):100-103.
- [21] 鹿世谨. 福建龙卷风的活动特点[J]. 气象,1996,22(7):36-39.
- [22] 薛德强,杨成芳. 山东省龙卷风发生的气候特征[J]. 山东气象,2003,23(4):9-11.
- [23] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社,2001:396-397.
- [24] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,2000:414-415.
- [25] 俞小鼎,郑媛媛,张爱民,等. 安徽一次强烈龙卷的多普勒天气雷达分析[J]. 高原气象,2006,25(5):914-924.
- [26] 牟重行,张昌记,潘兴发. 浙江省第一例器测龙卷风记录调查[J]. 浙江气象科技,2001,22(1):41-43.
- [27] 陈联寿,丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京:科学出版社,1979:483-485.
- [28] 陈联寿. 热带气旋动力学引论[M]. 北京:气象出版社,2002:213-228.
- [29] 寿绍文,励申申,姚秀萍. 中尺度气象学[M]. 北京:气象出版社,2003:133-268.
- [30] 纪文君,刘正奇,郭湘平,等. 龙卷风生成机制的探讨[J]. 海洋预报,2003,20(1):15-19.
- [31] 伍培云,陆建隆. 盆地涡旋方向和龙卷风的形成[J]. 河北师范大学学报(自然科学版),2004,28(2):143-146.
- [32] 刘式达,刘式适,梁福明. 大气涡旋的螺旋结构[J]. 大气科学,2006,30(5):850-853.
- [33] 陈冠. 龙卷风效果的计算机模拟仿真[J]. 电子出版,1999,12:3-6.
- [34] 于丽萍. 如何躲避龙卷风[J]. 湖北气象,2002,(2):13.
- [35] 蒋汝庚. 龙卷型强风暴——1995年4月19日洪奇浙龙卷风剖析[J]. 应用气象报,1997,8(4):492-495.
- [36] 李拽英,光东华. 一次龙卷风的调查与分析[J]. 山西气象,1996,35(2):33-36.
- [37] 张红雨. 山西省域龙卷风发生特征及相关分析[J]. 研究与探讨,2007,8:39-42.
- [38] 俞小鼎. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京:气象出版社,2006:267-279.
- [39] 刘宁微,马雁军,刘晓梅. 辽宁省“05-6”龙卷风过程的诊断与数值模拟[J]. 自然灾害学报,2007,16(5):85-90.

Progress in Tornado Researches in China in Recent 30 Years

Zheng Feng^{1,2,3} Xie Haihua³

(1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081; 2 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044; 3 Wenzhou Meteorological Bureau, Zhejiang Province, Wenzhou 325027)

Abstract: The advances in tornado researches are reviewed in three aspects: (1) general description, from simple cases to weather and climatic analysis of tornadoes, the structure and the formation causes of tornadoes; (2) methods for studying tornadoes, with data only from meteorological stations in the last century, but presently data not only from stations but also from satellite, Doppler radar and numerical models (WRF, ARPS); (3) problems encountered in tornado researches and prospects.

Key words: tornado, advance, method