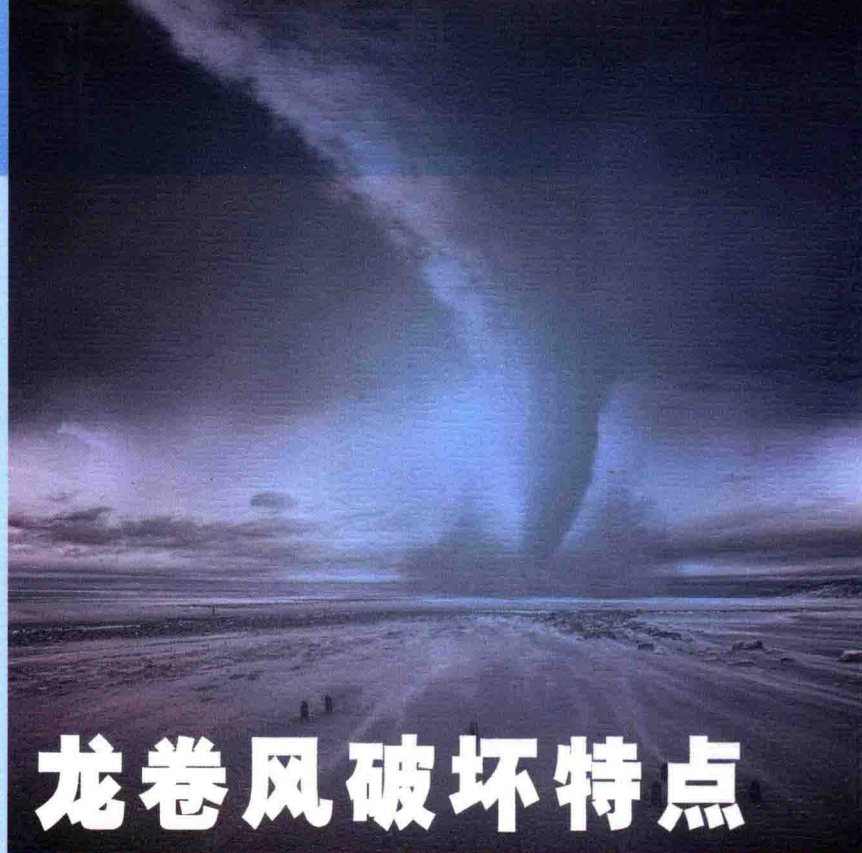




龙卷风破坏特点 与灾后重建研究

盐城工学院志愿者小组 编著



龙卷风破坏特点 与灾后重建研究

盐城工学院志愿者小组 编著



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

龙卷风破坏特点与灾后重建研究 / 盐城工学院志愿者小组编著. — 南京 : 南京大学出版社, 2016. 12

ISBN 978-7-305-17947-1

I. ①龙… II. ①盐… III. ①龙卷风—破坏分析②龙卷风—灾区—重建—研究—盐城 IV. ①P445②D632.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 287945 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号

邮 编 210093

出 版 人 金鑫荣

书 名 龙卷风破坏特点与灾后重建研究

编 著 盐城工学院志愿者小组

责任编辑 陈兰兰 李鸿敏

编辑热线 025-83593947

照 排 南京南琳图文制作有限公司

印 刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 12.25 字数 285 千

版 次 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-17947-1

定 价 65.00 元

网址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

微信服务号: njyuxue

销售咨询热线: (025) 83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购图书销售部门联系调换

序 言

2016年6月23日爆发的龙卷风灾害经专家组判定为EF4级,风力超过17级。此次灾害是我省近50年来级别最高、强度最大的一次龙卷风灾难。盐城工学院教职工在灾后第一时间自发奔赴灾区参加救援工作。在土木工程学院荀勇教授的带领下,“龙卷风破坏特点与灾后重建工作”研究小组赴灾害现场实地调查后,结合气象学、流体力学、建筑学、土木工程技术等学科专业知识,深入研究了龙卷风的起因和破坏特点,并且对灾后重建、既有建筑鉴定和加固提出相关建议,研究成果编著成本书。

本书是研究小组的工作结晶,也是从土木工程角度编著的关于龙卷风及灾后重建工作研究的专著。本书中对龙卷风及其破坏特点的研究、6.23龙卷风现场调研资料,以及有关灾后重建的研究成果具有较高的学术价值,为受灾地区及周边城市的建设工作提供应用指导,也为后续研究者深入研究龙卷风对农村的破坏情况及灾后重建工作提供一份有价值的借鉴成果。

盐城工学院党委书记

教授、博士生导师



前 言

2016年6月23日,江苏盐城市阜宁和射阳发生了EF4级龙卷风,盐城工学院教职工不仅捐款救灾,而且有多名教师自觉奔赴灾区担任志愿者参加救援工作。

盐城工学院土木工程学院专职教师、兼职教授、曾在该院完成硕士论文的校友,在没有立项和资助的情况下,自愿组成了“龙卷风破坏特点与灾后重建工作研究小组”,围绕龙卷风相关的自然科学知识与工程技术经验等内容,开展了调查、收集、分析、总结等一系列活动;并且对盐城市地方政府的抗灾组织从受灾现场拍摄的灾害图片进行了分类和研究;结合当地的历史、地理、文化和社会经济特点,提出了灾后重建建议和参考案例。该小组在7月份的酷暑中加班加点、连续奋战,一鼓作气完成了《龙卷风破坏特点与灾后重建研究》这本书稿,希望能够为江苏盐城市阜宁和射阳灾区的灾后重建工作提供一份有价值的参考资料,同时,该书也可以作为设计和研究工作者的参考书。

研究小组的组长:荀勇(盐城工学院二级教授),张亚仿(盐城工学院兼职教授、研究员级高工)。研究组成员:徐兵、张静红、顾海燕、王玉娟、张荣兰、胡艳丽、唐文彬、裴慧芳、刘照球、荀琦、徐会(以上成员为盐城工学院专职教师)、肖保辉(黄河科技学院讲师)。此外,3名正在盐城工学院土木工程学院做硕士论文的研究生贾磊、曹鹏、田高伟也参加了本书的编写工作。本书第一、二章由张静红编写;第三章第一、二节和第五章第二节由顾海燕编写(唐文彬、裴慧芳收集资料);第三章第三节和第六章由张荣兰编写;第四章和第五章第一节由王玉娟编写;第五章第三节由顾海燕和肖保辉编写;第五章第四节由胡艳丽编写;第七章由徐兵编写。徐兵协助荀勇和张亚仿做了大量的统稿工作。

由于时间仓促,书中缺点和错误难免,欢迎广大读者批评指正。

感谢盐城市抗灾和重建组织为本书提供了大量的调研数据和图片资料;感谢盐城工学院土木工程学院教师李兰英等在抗灾一线担任志愿者时为本项目研究工作提供信息;感谢盐城工学院创新人才团队对本书出版的资助。

荀 勇 张亚仿
2016. 7. 23 于盐城

目 录

前 言	1
第一章 龙卷风与当代江苏地区龙卷风出现的历史	1
第一节 龙卷风及其成因	1
第二节 龙卷风的分类及强度等级	10
第三节 世界各地龙卷风的危害	13
第四节 近 50 年江苏地区龙卷风历史	15
第二章 龙卷风对结构设施的作用特征	22
第一节 龙卷风风场的研究	22
第二节 龙卷风对结构设施的破坏作用	31
第三章 “6·23”龙卷风灾难调查	39
第一节 “6·23”龙卷风概况以及调查	39
第二节 “6·23”龙卷风灾害情况调查分析	41
第三节 盐城“6·23”龙卷风致结构破坏原因分析	77
第四章 灾后重建目标与原则	80
第一节 盐城地区乡村发展概况	80
第二节 受灾区概况	82
第三节 重建规划目标与原则	84
第五章 灾后重建策略	94
第一节 灾后重建规划研究	94
第二节 农村住宅建筑设计	107
第三节 农村住宅地下室设计	111
第四节 江苏沿海地区农村居民热环境热舒适研究	118
第六章 灾区既有建筑物结构鉴定与加固	131
第一节 灾区既有建筑结构可靠性鉴定	131
第二节 既有建筑物抗风加固	141
第三节 抗强风加固工程实例	150
第七章 一般风荷载及结构抗风设计	160
第一节 一般风荷载	160
第二节 工程结构抗风设计要点	172

第一章 龙卷风与当代江苏地区龙卷风出现的历史

第一节 龙卷风及其成因

一、大气边界层中的风

风,是空气相对于地球表面的运动,主要是由太阳对地球大气的加热不均匀引起的。太阳辐射造成了地球上不同地区之间的气压差,空气从气压高的地方向气压低的地方流动传输就形成了风。从地理上来看,赤道和低纬度地区承受太阳辐射能量较多,而极地和高纬度地区承受的热量较少。吸收热量较多的赤道地区的空气因为受热膨胀,由地表向高空上升,气压较低;而极地地区气温低,空气冷却收缩且向地表下沉。因此,在气压梯度力作用下产生大气的三圈环流,形成了赤道低气压带、副热带高压带、副极地低气压带和极地高压带。在地转偏向力(北半球向右,南半球向左)作用下,形成了地球上的六个风带,如图 1-1 所示。

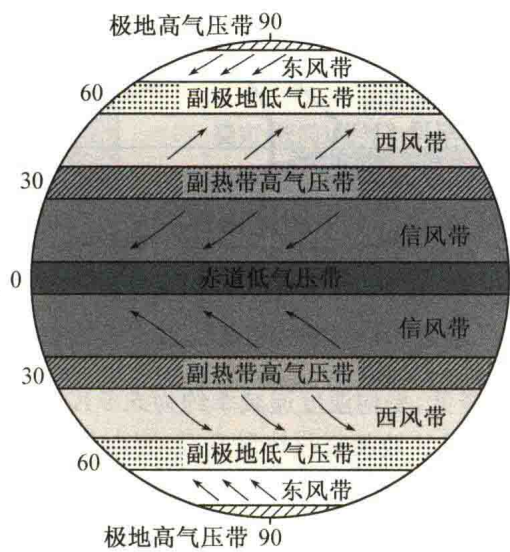


图 1-1 地球上的气压带和风带

从垂直地表的方向看,地面以上存在着一个很厚的空气层——大气层,大气层的主要成分为氮气、氧气和悬浮于其中的固体粒子或液体粒子(气溶胶),它的密度随高度增大而逐渐减小。按大气温度随高度分布的特征,可把大气分成对流层、平流层、中间层和热层(如图

1-2)。赤道附近及热带对流层的厚度约为 15~20km;极地和 中纬度带厚度约 8~14 km。对于整个大气圈而言,对流层只是很薄的一层,但它却集中了大气质量的 75%和几乎全部水汽、云和降水,主要的天气现象如寒潮、台风、雷雨、闪电等都发生在这一层。

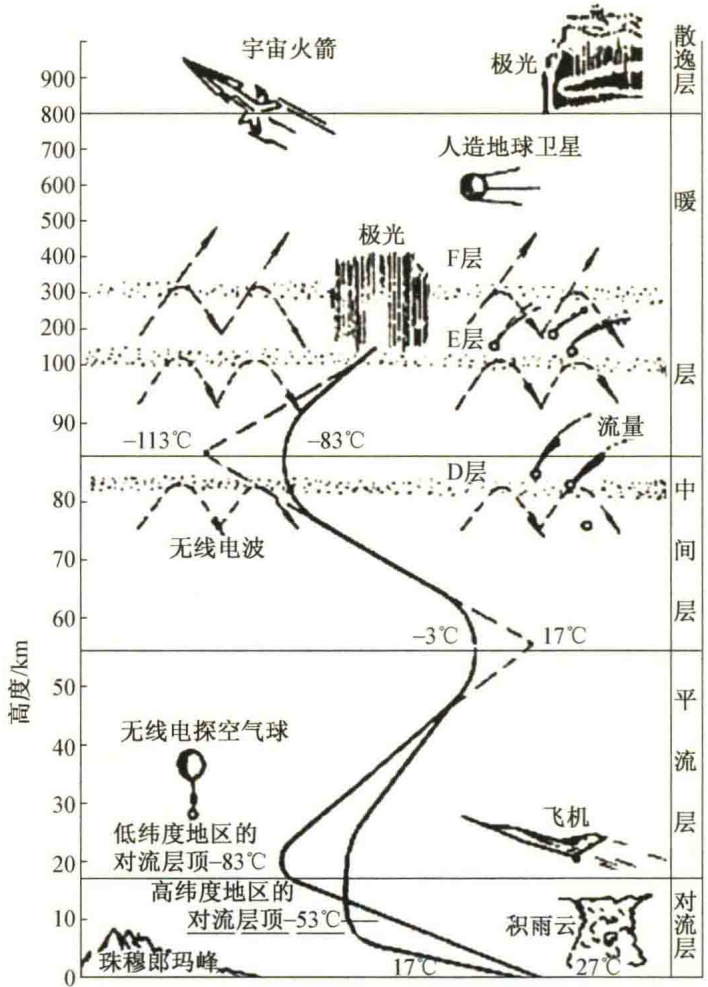


图 1-2 大气边界层垂直分层

对流层的主要特征是:

- (1) 温度随高度升高而降低,平均温度递减率约为 6.5 K/km。大气主要通过吸收地面的长波辐射、对流和湍流等方式从地面吸收热量升温,因而越接近地面的大气得到的热量越多,造成对流层的气温随高度升高而降低。大气温度随高度降低的结果是对流层内有强烈的对流运动,有利于水汽和气溶胶粒子等大气成分在垂直方向的输送。
- (2) 大气的垂直混合作用强。在低空,大气由于从地面得到热量受热上升,高层冷空气下沉,造成对流层内产生强烈的垂直混合作用,最大上升气流速度可达 20~30 m/s,强烈的垂直混合作用往往会带来强对流性天气,如雷雨大风、龙卷风、冰雹和飑线等灾害性天气。
- (3) 气象要素水平分布不均匀。由于各地纬度和地表性质的差异,地面上空空气在水平方向上具有不同物理属性,压、温、湿等要素水平分布不均匀,从而产生各种天气过程和天

气变化。

在对流层的底部,从地面开始至 600~1 000 m 高度的一层大气,其运动明显受到地表摩擦的影响而在地表附近形成很大的风速垂直梯度,其受地面热力的影响使低层大气的温度分布也呈现出很大的垂直梯度,这一层被人们称为大气边界层。而在边界层以外,流速基本不随高度变化,称为自由大气。自由大气中风主要受气压梯度力、科里奥利力和地面摩擦力的支配。

大气边界层又可进一步划分为近地层和上部摩擦层(也称 Ekman 层)。从地表到 50~100 m 为近地层,这一层内的大气运动常呈明显的湍流性质,而且近地层中的风向基本上不随高度变化。在近地层以上,地表的影响随高度不断减弱,而地转力的影响逐渐增强,使得风向不断变化直到最后气流基本上只受气压梯度力和科里奥利力的作用,风向也不再改变,由此就形成了著名的 Ekman 风速螺旋线,风向的变化直到 Ekman 层的顶部终止。

对我们日常生活影响最大的是近地层中的气流运动,它的特征:近地层内的风几乎总处于湍流状态,风速存在着强烈的脉动,这对地表水气、热量和物质的扩散影响很大;由于地表热辐射的影响,空气热分层情况(层结)循环地出现稳定和不稳定之间的转化。一般地,白天由于太阳辐射的影响,地表温度较上空高,上空的冷空气下沉而地表热空气上升,导致空气层不稳定;而在夜间,地表温度下降使得地面温度比上空低,地面冷空气密度大而保持不动,空气层是稳定的,如图 1-3 所示。此外,地表起伏和覆盖物的频繁变化使得近地层内的空气流动趋向于复杂。

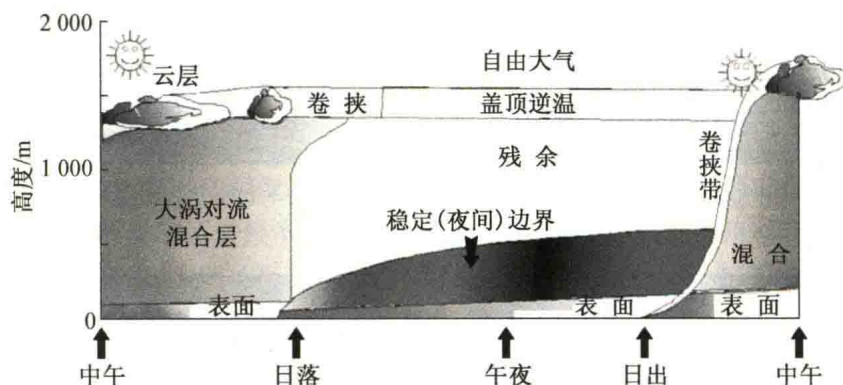


图 1-3 大气边界层空气层结的日变化

二、风的类型

自然界中比较常见的几种风包括热带气旋、台风、飓风、季风、龙卷风等。

1. 热带气旋、台风

热带气旋是发生在热带或副热带海洋上的低气压或空气涡旋。在北半球逆时针方向旋转,在南半球顺时针方向旋转。热带气旋的形成因地区不同而异,它主要由太阳辐射在洋面产生的大量热能转变为动能(风能和海浪能)而产生。

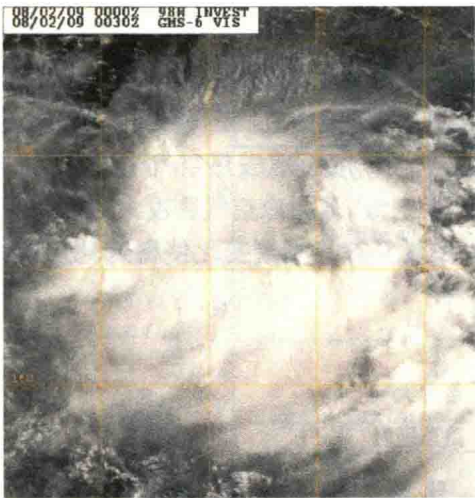
热带气旋的形成随地区不同而有差异,主要由太阳辐射在海洋表面所产生的大量热能加速空气分子热运动后而产生,热低压区和稳定的高压区气压之间产生空气流动,由于平衡

产生相互补充的力使之成为螺旋状流动,气压高低相差越大,旋转流动的速度越快。旋转流动的中心即热带旋风中心,习惯上称为“眼”,在“眼”的范围内相对平衡,无风也无云层。紧紧环绕在“眼”周围的圆环形风为强烈的暴风,并在旋转中水平移动。

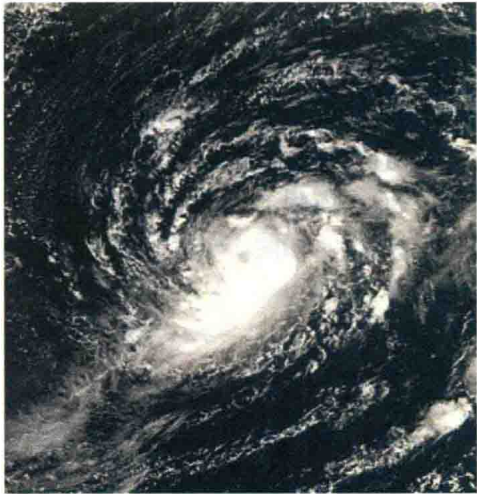
热带气旋的强度以其中心附近的平均风力来确定。1989 年起,世界气象组织据此规定了四个强度等级,即国际热带气旋的名称与等级标准。

- (1) 热带低压:中心附近最大风力达到 6~7 级,即风速为 10.8~17.1 m/s。
- (2) 热带风暴:中心附近最大风力达到 8~9 级,即风速为 17.2~24.4 m/s。
- (3) 强热带风暴:中心附近最大风力达到 10~11 级,即风速为 24.5~32.6 m/s。
- (4) 台风:中心附近最大风力达到 12 级以上,即风速在 32.6 m/s 以上。

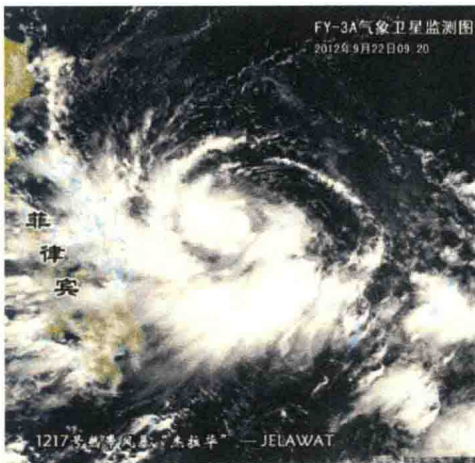
上述各等级气旋的气象云图如图 1-4 所示。



(a) 热带低气压



(b) 热带风暴“海燕”



(c) 强热带风暴“杰拉华”



(d) 2016 年台风“尼伯特”

图 1-4 热带气旋卫星云图

2. 飓风

将大西洋和北太平洋地区强大而深厚的热带气旋(最大风速达 32.7 m/s , 风力 12 级以上)称为飓风, 也泛指狂风和任何热带气旋以及风力达 12 级的任何大风。飓风中心有一个风眼, 风眼愈小, 破坏力愈大, 其意义和台风类似, 只是产生地点不同, 如图 1-5 所示。在北半球, 飓风呈逆时针方向旋转, 在南半球则呈顺时针方向旋转。飓风产生于热带海洋的原因之一是因为温暖的海水是它的动力“燃料”, 它一般伴随强风、暴雨, 严重威胁人们的生命及财产安全, 对民生、农业、经济等均会造成极大的冲击, 是一种影响较大、危害严重的自然灾害。



图 1-5 飓风的卫星云图

3. 季风

季风是大气流中出现最为频繁的风, 它是由内陆和海洋空气温差引起的风。由于陆地上四季的气温变化比海洋大, 所以季风冬季由内陆吹向海洋, 夏季由海洋吹向内陆, 大陆和海洋在一年之中增热和冷却程度不同, 在大陆和海洋之间大范围的、风向随季节有规律改变的风, 称为季风。形成季风最根本的原因是地球表面性质不同, 热力反映存在差异。季风是由海陆分布、大气环流、大陆地形等因素造成的, 以一年为周期的大范围的冬夏季节盛行风向相反的现象, 通常分为夏季风和冬季风, 图 1-6 给出了常见季风的分布情况。亚洲大陆陆地辽阔, 所以亚洲受到季风的影响非常强烈。

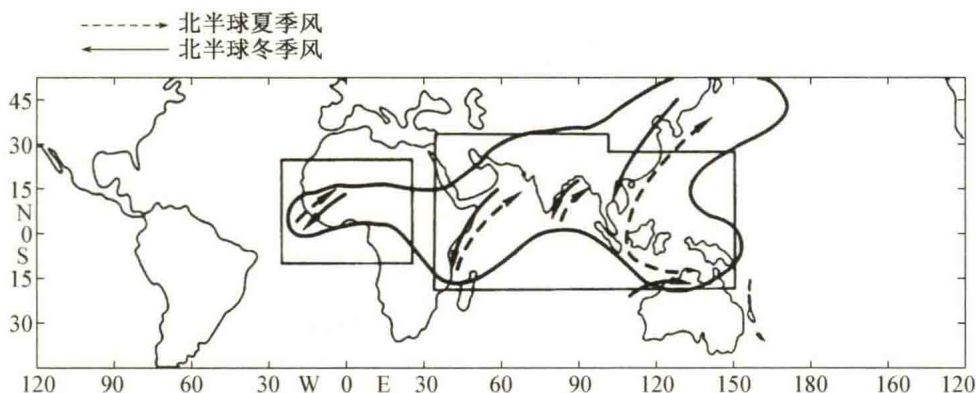


图 1-6 季风地理分布图

4. 龙卷风

龙卷风是大气中最强烈的涡旋现象,它是从雷雨云底伸向地面或水面的一种范围很小而风力极大的强风旋涡。常发生于夏季的雷雨天气时,尤以下午至傍晚最为多见,影响范围虽小,但破坏力极大。

一般情况下,龙卷风(就地旋转)的风速在 $50\sim 150\text{ m/s}$,极端情况下,可达到 300 m/s 或超过声速。超声速的风能,可产生极大的威力。尤其可怕的是龙卷风内部存在低气压,所以,龙卷风犹如一个特殊的吸泵,往往把触及的水和沙尘、树木等席卷而起,形成高大的柱体,如图 1-7 所示。



图 1-7 龙卷风

龙卷风的内部气压极低,当它扫过建筑物顶部或车辆时,建筑物或车辆内外形成强烈的气压差,顷刻间就会发生“爆炸”。如果龙卷风的“爆炸”作用和巨大风力共同施展威力,那么它们所产生的破坏和损失将无法估量。

5. 其他风灾

其他能形成灾害的风有雷暴大风、“黑风”等。

雷暴大风天气是强雷暴云的产物。强雷暴云,又称强风暴云,主要是指那些伴有大风、冰雹、龙卷风等灾害天气的雷暴。雷暴大风突发性强,持续时间短,风力一般达到 8~12 级(风力的分级情况见表 1-1),有很大的破坏力。当强风暴云中伴有大冰雹和龙卷风时,其破坏性更大。

“黑风”是一种强烈的沙尘暴或沙暴,它是由强风将地面大量的浮尘细沙吹起,卷入空中,使空气浑浊、能见度降低的一种恶劣天气现象。

三、常规风的等级

风力是指风吹到物体上所表现出的力量的大小。风的级别是根据风对地面物体的影响程度确定的。在气象上,目前一般按风力大小将风划分为十三个等级,详见表 1-1^[6,7]。

表 1-1 风力等级区分表

风力等级	名称	海面状况		海岸渔船征象	陆地地面物特征	距地 10 m 高处 相当风速	
		浪高/m				km/h	m/s
		一般	最高				
0	静风			静	静,烟直上	<1	0~0.2
1	软风	0.1	0.1	寻常渔船略觉摇动	烟能表示方向,但风标不能转动	1~1.5	0.3~1.5
2	轻风	0.2	0.3	渔船张帆时,可随风移动每小时 2~3 km	人面感觉有风,树叶有微响,风向标能转动	6~11	1.6~3.3
3	微风	0.6	1	渔船渐觉颠动,随风移动每小时 5~6 km	树叶及微枝摇动不息,旌旗展动	12~19	3.4~5.4
4	和风	1	1.5	渔船满帆时倾于一方	能吹起地面灰尘和纸张,树的小枝摇动	20~28	5.5~7.9
5	清劲风	2	2.5	渔船缩帆(即收帆一部分)	有叶的小树摇摆,内陆的水面有小波	29~38	8.0~10.7
6	强风	3	4	渔船加倍缩帆,捕鱼需注意风险	大树枝摇摆,电线呼呼有声,举伞困难	39~49	10.8~13.8
7	疾风	4	5.5	渔船停息港中,在海上下锚	全树摇动,迎风步行感觉不便	50~61	13.9~17.2
8	大风	5.5	7.5	近港渔船皆停留不出	微枝折毁,人前行感觉阻力甚大	62~74	17.2~20.7
9	烈风	7	10	汽船航行困难	烟囱顶部及平瓦移动,小屋有毁	75~88	20.8~24.4
10	狂风	9	12.5	汽船航行颇危险	陆上少见,见时可将树木拔起或将建筑物摧毁	89~102	24.5~28.4
11	暴风	11.5	16	汽船遇之极危险	陆上很少,有时必有重大损毁	103~117	28.5~32.6
12	飓风	14		海浪滔天	陆上绝少,其捣毁力极大	118~133	32.7~36.9

在天气预报中,常听到如“北风 4 到 5 级”之类的用语,此时所指的风力是平均风力;如听到“阵风 7 级”之类的用语,其阵风是指风速忽大忽小的风,此时的风力是指最大风力。

中国气象局于 2001 年下发《台风业务和服务规定》,以蒲福风力等级将 12 级以上台风补充到 17 级。12 级台风定为 32.4~36.9 m/s;13 级为 37.0~41.4 m/s;14 级为 41.5~46.1 m/s;15 级为 46.2~50.9 m/s;16 级为 51.0~56.0 m/s;17 级为 56.1~61.2 m/s。琼海 30 年前那场台风,中心附近最大风力为 73 m/s,已超过 17 级的最高标准,称为 18 级,也是国际航海界关于特大台风的普遍说法。

四、龙卷风及其成因

龙卷风是大气中强烈的破坏性天气现象之一,常发生于夏季雷雨天气时,尤以下午至傍晚最为多见。虽然龙卷风接近地表范围内的水平尺度很小(直径介于几米到几百米),但其风速很大(极大风速每小时可达 150~450 km)。所经之处,常会发生拔起大树、掀翻车辆、摧毁建筑物等灾害事故;龙卷风还能导致成片庄稼、成万株果木瞬间被毁,令交通中断并造成相当数量的人员伤亡,使当地经济遭受重大损失。

气象界的学者认为,龙卷风和对流层内的“中气旋”密切相关。中气旋是一种空间上几千米到十几千米、持续时间 1 小时至 1 天的小尺度大气涡旋,自 Donaldson(1970)利用多普勒雷达首次观测到超级单体中的“龙卷气旋”^[1]以后,大量多普勒雷达观测事实进一步证实了中气旋的存在。统计表明,产生龙卷的中气旋占总数的 20% 左右,如果探测到中等强度以上的中气旋其底到地面的距离小于 1 km,龙卷风产生的概率达 40% 以上。

统计数据显示,全年中“中气旋”主要出现在 4~8 月份,其中 7 月份出现的次数最多。当“中气旋”的顶高突然下降或最强切变高度下降并逼近底高的时候,表明“中气旋”明显加强;而在“中气旋”的最强切变高度明显上升的时候,“中气旋”将趋于消亡。

龙卷风的形成一般可分为下面四个阶段:

(1) 大气的不稳定性产生强烈的上升气流,由于急流中的最大过境气流的影响,它被进一步加强。

(2) 由于与在垂直方向上速度和方向均有切变的风相互作用,上升气流在对流层的中部开始旋转,形成中尺度气旋。

(3) 随着中尺度气旋向地面发展和向上伸展,它本身变细并增强。同时,一个小面积的增强辐合,即初生的龙卷在气旋内部形成,产生气旋的同样过程,形成龙卷核心。

(4) 龙卷核心中的旋转与气旋中的不同,它的强度足以使龙卷一直伸展到地面。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,形成龙卷风。

还有学者提出了龙卷风形成的其他机制,如纪文君等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^[2]。伍培云、陆建隆则指出龙卷风的产生是气体的自由涡现象,如图 1-8 所示,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,气压降低,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,因此龙卷风一般是倒漏斗状^[3]。

那么,龙卷风是怎么形成的呢?

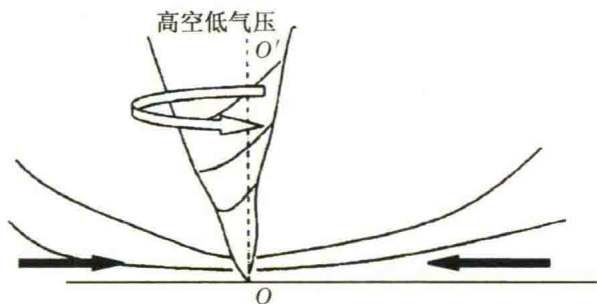


图 1-8 龙卷风动力学模型

以本次盐城地区龙卷风为例,龙卷风产生的基本条件是冷暖空气的激烈交锋(底层大范围湿热、中层小范围干冷入侵)、强大的高空急流和垂直风切变。6月23号下午,副热带高压北抬到江苏沿江附近,苏北大部在副高北侧西南急流中,地面在暖低压倒槽中,湿热异常,露点温度超过28度,达到广东沿海的水准,大气能量极为充沛;同时东北冷涡也在行动,它从高空甩下来的一小股干冷空气侵入西南湿热气流中,诱发出强度惊人的超级单体,并最终导致极端龙卷风的诞生。简单地说,这次异常的龙卷风,主要和异常强的暖湿气流以及冷空气的精密配合有关。此次盐城阜宁的龙卷风发生的过程与中气旋的理论较为符合,角动量守恒原理和气体自由涡理论并不能解释气流从上向下发展的过程,也很难解释龙卷风蕴含巨大能量的事实。

从图1-9可以看出,湿热空气势力范围直达北京,阜宁县位于西南暖低压的倒槽之中,地面到3000m高空为深厚且湿热的空气。与此同时,东北冷涡甩下来一小股冷空气,自山东半岛侵入江苏,恰好在苏北灌溉总渠沿线与暖湿气流交汇。

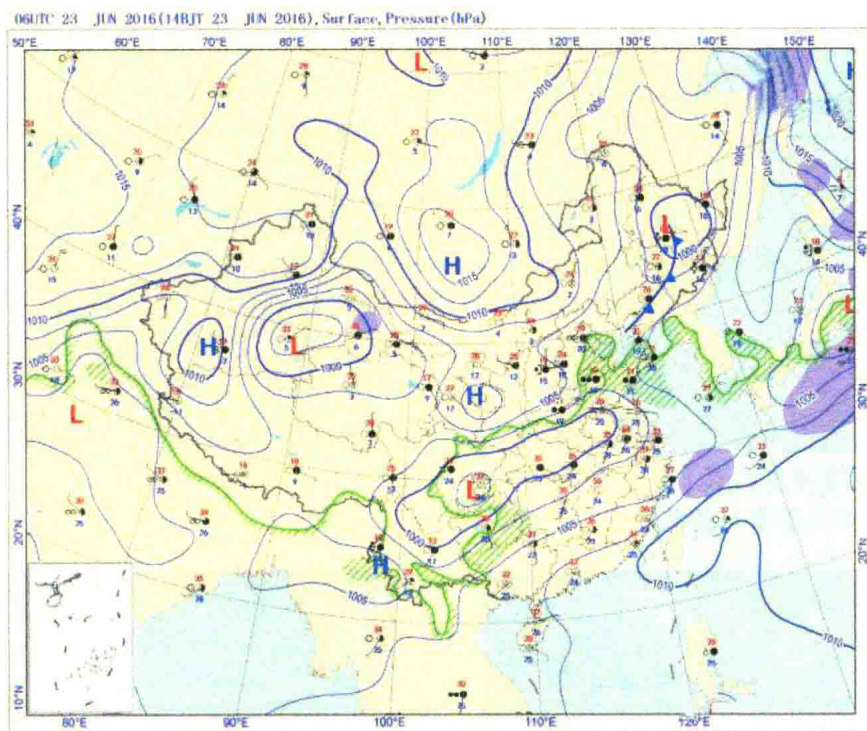


图1-9 2016年6月23日下午两点的地面天气图

五、龙卷风的预报

天气预报中的风速、温度、雨雪、沙尘暴等信息都是利用大气方程计算得到的,在计算前,首先要对地球进行网格划分,然后将大气方程在网格上进行离散,最后根据初始条件和边界条件求解出方程,这样就可以得到天气预报需要的信息。由于现代天气预报时间间隔长(大多为30分钟预报一次)、空间尺度大(网格尺寸至少为几公里),因此要预报出龙卷风

这种持续时间通常只有十几分钟、空间尺度不足一百米的天气现象就显得非常困难了。再者,即使采用短时间间隔和小空间尺度的网格,由于龙卷风这类天气现象属于非线性很强的方程的求解结果,而天气预报所依赖的求解方法(最终化为线性方程组求解)很难计算得到龙卷风,所以我们在天气预报中很难听到有关龙卷风的预报。

第二节 龙卷风的分类及强度等级

一、龙卷风的分类

除由中气旋形成的龙卷风外,自然界中还存在着一些类似龙卷风的现象,如多漩涡龙卷、陆龙卷、水龙卷、火龙卷、阵风卷和尘卷,它们的形成机理和强度与龙卷风不同,但有时也会造成很大的破坏。

1. 多漩涡龙卷

多漩涡龙卷风指带有两股以上围绕同一个中心旋转的漩涡的龙卷风(如图 1-10)。多漩涡结构经常出现在剧烈的龙卷风上,并且这些小漩涡在主龙卷风经过的地区上往往会造成更大的破坏。

2. 水龙卷

水龙卷(或称海龙卷风, waterspout)可以简单地定义为水上的龙卷风,通常是指在水上的非超级单体龙卷风。世界各地的海洋和湖泊等都可能出现水龙卷。在美国,水龙卷通常发生在美国东南部海岸,尤其在佛罗里达南部和墨西哥湾。我国曾多次发生水龙卷现象,如 2009 年 10 月 4 日上午 7:30,渤海湾海面惊现 3 条“龙吸水”壮观景象,它们将大量海水吸到空中,随后带来雷阵雨;2010 年 7 月 27 日上午 9 点多,在香港和深圳之间海域出现了罕见的龙卷风,在海面上形成了难得一见的 3 条“龙吸水”景观;2014 年 10 月 20 日上午,青海湖也发生了一次 9 条水龙卷共存的罕见现象(如图 1-11)。



图 1-10 多漩涡龙卷图



图 1-11 青海湖的“龙吸水”

水龙卷虽在定义上是龙卷风的一种,不过由于发生在无人居住的水面上,所以破坏性要比通常意义上的龙卷风要小,但是它们仍然是相当危险的。水龙卷能吹翻小船、毁坏船只,当吹袭陆地时就有更大的破坏力,甚至会夺去生命。

3. 陆龙卷

陆龙卷(landspout,美国国家气象局称 dust-tube tornado)是一个术语,用以描述一种和中尺度气旋没有关联的龙卷风(如图 1-12)。陆龙卷和水龙卷有一些相同的特点,例如强度相对较弱,持续时间短,冷凝形成的漏斗云较小,且经常不接触地面等。虽然强度相对较弱,但陆龙卷依然会带来强风和严重破坏。如 1995 年在美国俄克拉荷马州阿得莫尔市发生的一场陆龙卷,屋顶之类的重物被吹出几十英里之远,大多数碎片落在龙卷通道的左侧,按重量不等常常有很明确的降落地带,较轻的碎片飞到 300 多千米外才落地。

4. 阵风卷

阵风卷(gustnado)是一种与阵风锋、下击暴流有关的小型垂直方向旋转的气流。严格来说它们和云没有关联,所以是否属于龙卷风还存有争议。当从雷暴中溢出的快速移动干冷气流流经溢出边缘的静止暖湿气流时,会造成一种旋转的效果(可用“滚轴云”解释,如图 1-13),若低层的风切变够强,这种旋转就会水平(或倾斜)进行,并影响到地面,最终的结果就是阵风卷。阵风卷的旋转方向不固定,可顺时针,亦可逆时针。



图 1-12 陆龙卷



图 1-13 阵风卷

5. 尘卷

尘卷(dust devil)也是一种柱状的垂直旋转气流,因此和龙卷风很像。然而,它们发生在晴朗的天气下,并且绝大多数情况下比最弱的龙卷风还要弱。气温较高时,如果地面因高温形成很强的上升气流,并且此时有足够的低层风切变,上升的热气流就可能做小范围的气旋运动,此时尘卷便会形成(如图 1-14)。尘卷之所以不属于龙卷风,是因为它们在晴朗的天气条件下形成,而且和云没有联系。不过,它们偶尔也能引起大的破坏,尤其在干燥地区,如 2016 年 4 月 20 日下午 4:25 左右,甘肃瓜州县渊泉小学开运动会时,塑胶场地突发“龙卷风”,三(1)班学生李佳琪被卷起几米高,随后被甩下。经 120 紧急送医诊断,李佳琪同学后脑勺轻微受伤,并无大碍。事后,气象专家判定这是一个非常典型的尘卷风。



图 1-14 尘卷