

龙

卷

朱明道

风

龙卷风是一种伴随着高速旋转的漏斗状云柱的强风涡旋。这个从对流云底部伸出来、好似象鼻状的龙卷漏斗，可以说是自然界所产生的最奇异的天气现象之一（见封三龙卷照片）。龙卷中心附近的水平风速可达100—200

米/秒，最大风速可达300米/秒，比强台风中最大风速还要大几倍。它可把高达数十米的大树连根拔起，甚至将重达11万公斤的巨型油罐轻轻提起并抛到离原地达120米的地方。

龙卷中心气压很低，可以低到400毫巴，极端情况下，可以降到200毫巴。气压降低与龙卷剧烈地旋转有关。在龙卷内部很大旋转速度的作用下，产生很大的离心力，造成龙卷内部气压猛烈降低。海洋上的龙卷可把水柱吸离海面达7米高度，而在真空的玻璃柱中，整个大气的压力只能把水抬高到离海平面10米，可以想象龙卷内部的空气是非常稀薄的。龙卷经过时，建筑物玻璃窗往往向外突出就是这个道理。由上可见，龙卷中极大风速和剧烈的气压差是造成它巨大破坏力

的重要原因。

龙卷内部由于空气极为稀薄，导致温度急剧降低，促使水汽迅速凝结，这是形成漏斗云柱的一个重要原因。它具有很大的吸吮作用，水龙卷可把鱼群吸吮到对流云中，再抛到陆地下降为“鱼雨”；陆龙卷则吸吮田野庄稼，抛到另一地方下降为“谷雨”。约在两千年前，我国汉代法家王充在《论衡》中就记载了天降谷雨的现象，并作了比较科学的解释。

### 龙卷漏斗的气流结构

龙卷漏斗是由内层气流和外层气流，即对流云底部向下伸展并逐渐缩小的涡旋漏斗和地面向上辐合并逐渐缩小的涡旋气柱，这样的双层结构所组成的（见图1）。漏斗的内层发展着下沉运动，外层发展着

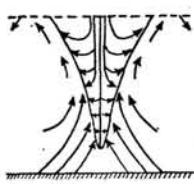


图1 龙卷漏斗的气流结构

气流。用电影照相方法测定龙卷内部风的切向分速(即旋转分速)和垂直分速,证实龙卷漏斗确实具有双层结构。漏斗外层的上升气流常自地面卷起沙尘,或自水面卷起水滴,这些沙尘杂物相互撞击,造成龙卷来临时有很大声响。有时,由于龙卷漏斗的某一段没有凝结的水滴,漏斗的下垂云柱与上升的沙尘、水滴之间,有一段目视模糊的部分,俨如龙卷云柱中断。

龙卷漏斗的直径,从零米(不及地)到几百米,平均为250米左右,最大不超过1公里。漏斗云柱的可见高度为800—1,500米,再向上就进入对流云体了。高空飞机照相表明,在对流云最高云塔的下风方,云顶有时有一个大约3000米深的圆锥形的坑,在适合条件下,能够出现140米/秒的龙卷旋风。这一观测指出,龙卷环流事实上可发展到贯穿整个对流云。

### 龙卷漏斗的旋转方向

龙卷绕着垂直轴旋转时,大多数是按气旋式旋转,但也有少数作反气旋式旋转。有人从龙卷破坏物的抛散轨迹明显看出,龙卷自东向西经过树林留下风折痕迹:北风吹倒的一排树在底层,东风吹倒的树躺在它的上边,南风吹倒的树躺在最上层。可见,这里曾经有过涡旋运动,涡旋方向是气旋式的。有人从550个龙卷破坏物抛散轨迹中,发现29个具有反气旋式涡旋,这说明龙卷确实有着不同旋转方向。对此现象目前有两种不同的解释:

1. 据流体运动的涡管原理,流体内部构成涡旋后,它的旋转轴不

能在流体内部自行终止,而是涡旋轴两端互相连接起来;或者,涡旋轴两端逐渐弯曲并停止在流体的界面上(地面)上。

飞机观测指出,龙卷环流贯穿整个对流云,云体内的水平轴涡旋运动一旦形成,它的两端就有逐渐弯曲并互相连接起来的趋向。但在衔接之前,往往已到达地面或水面,于是同时形成两个龙卷,右旋龙卷和左旋龙卷。按此理,对流云底一旦出现龙卷,应该总是左、右龙卷同时出现,但由于环境风场和地面摩擦的关系,北半球摩擦层的风通常随高度向右旋转,这使右旋龙卷比左旋龙卷的形成条件有利,因而,气旋式的右旋龙卷比较常见,左旋龙卷出现次数远少于右旋龙卷。由此看来,具有垂直轴的龙卷漏斗只是横贯对流云的整个龙卷涡旋气柱的一部分,水平轴龙卷涡旋的主要部分却隐藏在对流云里。证实水平轴龙卷涡旋存在的事实有二:

①龙卷移动时,龙卷漏斗有时与地面失去接触,漏斗底部脱离地面而引起破坏带中断,但往往很快又重新下达地面,如此反复进行,说明涡旋的水平轴部分是可能存在的。东北兴城地区的一次龙卷调查发现,龙卷底部所到之处,树木被折犹如刀削,它触及树尖,树尖就被削平,触及树干,树干就被折断,触及地面,树根就被拔起,龙卷漏斗伸缩无常,破坏程度也不一样。

②被龙卷吸吮而卷扬到空中的鱼、谷和破坏物碎屑,不仅常常跌落在龙卷附近,而且,还往往穿越云体,抛掷到贯穿对流云体直径方向约10公里距离之外。可以推论,只有通过水平轴涡旋,才可能使抛散物跌向另端。

2. 根据流体力学关于旋转圆柱体(对流云)与环境流体(周围风场)的作用,可诱生一个高速旋转涡旋(龙卷环流)的效应。此时,与环境流体运动方向相同的一侧,速度将增加,压力将减小;与环境

流体运动方向相反的一侧,速度将减慢,压力将增大。这样,圆柱体(对流云)就将受到一个气压梯度力而引起加速旋转的作用。这个力垂直于圆柱体的轴,并指向速度增加、压力减小的一侧。这个力就可导致圆柱体诱生的涡旋(龙卷环流)作气旋式或反气旋式旋转(见图2)。

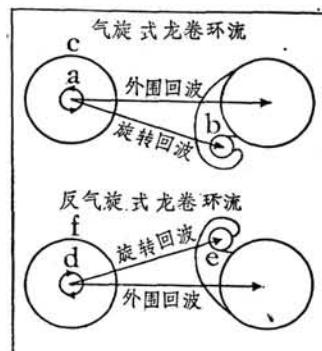


图2 旋转对流云与周围风场相互作用而诱生的右旋龙卷(上)和左旋龙卷(下)

小圆环a和d为旋转着的对流云,大圆环c和f为周围风场,b和e为诱生的龙卷环流

现在,把周围风场(大尺度天气形势)视作运动着的环境流体,把产生龙卷的对流云视作垂直于周围风场的旋转圆柱体,那么,当周围风场与对流云体的相对运动为气旋式环流时(见图2上图),对流云将被上述气压梯度力推向前进方向的右侧,并由于流体混合粘滞作用,在旋转着的对流云右后方将诱生一个气旋式的环流,由于它作高速旋转,使环流收敛集中于一较细空气柱,于是产生了气旋式的右旋龙卷。反之,当周围风场与对流云体的相对运动为反气旋式环流时(见图2下图),将产生反气旋式的左旋龙卷。

雷达探测证实,龙卷形成的上述过程在实际大气中确实存在(见图3)。图中大片回波区为周围风场伴现的云系回波,钩形弯窿区为对流云与周围风场作用诱生的气旋式龙卷环流,眼区即龙卷所在。但是,

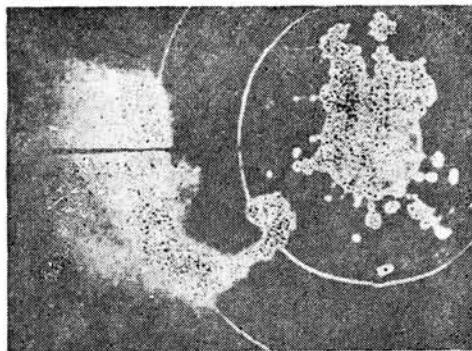


图3 龙卷雷达回波

有的资料表明，在同一气旋式的龙卷环流中，由于部位不同，可能同时出现左、右旋龙卷，说明这种机制仍有待进一步深入探讨。

#### 龙卷气旋和龙卷反气旋

龙卷漏斗的平均直径约250米，而龙卷雷达回波圈的半径却可达5,000米，这说明，包围着龙卷漏斗的大气中，还存在着另一高速旋转的、其截面比龙卷漏斗大十倍以上的小尺度天气系统，这个小系统旋转方向有气旋式和反气旋式的，也就是说，有龙卷气旋与龙卷反气旋。它的形成机制见图4。

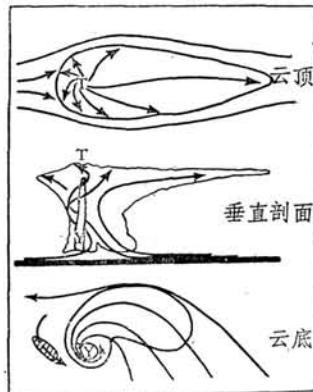


图4 龙卷环流（气旋式）形成的三度空间模式

1. 从图4可以看到，气旋式旋转的周围风场中，有一螺旋上升气流区（成熟阶段），由于旋转积雨云与周围风场（气旋式）的作用，旋

转着的猛烈上升气流区（Y）被甩到云体的右后方，此时，出现了往往伴有龙卷漏斗的龙卷气旋。中部的垂直剖面上旋转着的高速上升气流束，把近地面的大气收敛集中到一个小区域内并向上输送，当窜到云顶高度时，已成为气流辐散中心（T），旋转方向与大气下层的气流方向相同。

2. 用电影胶片计算了这个螺旋上升气流束的平均垂直速度为300米/秒，这种速度可把云底的空气在6—7分钟内带到12公里以上的平流层。而空气粒子要沿上升气流束旋转一周有时约需20分钟，这使得上升气流内的空气粒子在到达云砧高度以前，甚至还没能完成360度旋转，这表明上升气流束的垂直轴随高度是倾斜的。

3. 在螺旋形的高速上升气流中的云滴，有时由于高速上升气流过

于猛烈，水汽来不及凝结增大就已窜到云顶。这时，雷达探测中的龙卷漏斗云发生区呈一个无回波的空洞区。

有人用雷达资料分析了一个中间尺度气旋分裂为5个中尺度气旋的实例，发现5个中尺度气旋都伴有钩状雷达回波的龙卷环流。值得注意的是，龙卷环流都位于中尺度高压的边界上，这意味着中尺度高压的边界，对猛烈旋转着、从而易于诱发龙卷活动的对流云的发展提供了有利条件。由于中尺度高压前沿各有一条飑线，它们在向前传播过程中，分别交叉于若干点，这些点的轨迹线两侧的风向和风速都有很大差异，造成绕垂直轴旋转的涡旋，逐渐发展到较深层次时，就出现龙卷环流。轨迹线两侧的气流切变，可以是气旋式也可以是反气旋式的，因而形成的龙卷就有右旋与左旋之分。

由此可见，龙卷环流与中尺度和大尺度的环流背景有着密切的关系。

## 炮击陆龙

1975年7月25日，在辽宁省西部丘陵山地的林西县出现一次强冰雹天气过程。25日17时30分，强大雹云自北而南向林西县城南约15公里（直线距离）的消雹试验点移来。17时50分开始消雹试验，用三七高炮向西、北方对雹云进行扇形轰击。18时05分，在两门高炮继续轰击雹云的同时，突然在炮位的正东方约5公里处出现一股强大的陆龙卷，上粗下细的漏斗形灰色云柱由积雨云底直伸到地平线附近（由于有小丘遮挡，看不到龙卷是否及地，事后调查也未发现龙卷接地带的迹象）。且明显看出漏斗状云柱呈一圈圈的螺纹状，作气旋式反时针旋转。发现龙卷后，当即调转炮口，对准漏斗状云柱与积雨云底衔接处轰击。这时，见有几发泄光弹

在接近龙卷云柱时突然以较大的曲率向右偏斜，这说明龙卷云柱根部旋转的气流的强度非常之大。连续轰击40余发炮弹后，龙卷云柱根部先变松散，而后崩溃，继而整个漏斗云很快消失。这次龙卷由发现到消失约10分钟。

（辽宁昭盟气象局人控科）

## • 读者来信 •

目前，不少气象台站在天气预报广播中，把空气温度称为“温度”。我们认为不够确切。温度有气温、水温、地温、泥温等等，如不明确讲是气温，往往容易造成误会。因此，建议在今后的天气预报广播节目中，把空气温度称为“气温”、“最高气温”、“最低气温”，以防造成误解。

（广西武宣县气象站 黄庆生）