

# 垂直气流的气球探测方法（下）

王 昂 生 徐 乃 璋

前文关于垂直气流的气球探测方法中介绍了平衡气球法和计算法。但是这种方法在实际应用中往往遇到障碍。因为在风暴中由于降水、结冰等因素，原来晴空中浮力与阻力平衡的简单关系难以确立，因而计算困难。这种条件下的垂直方向运动方程可写成：

$$m \frac{dW_0}{dt} = A - R - f(t) - \varphi(t) \quad (1)$$

式中  $m$  是气球系列（包括球皮、氢气和负荷仪器等）的质量， $A$  是初始净举力， $R$  是阻力，

$$R = \frac{C\rho S}{g} W_0^2 \quad (2)$$

这里  $C$  是阻力系数、 $\rho$  是空气重力密度， $S$  是球的正截面， $S = \frac{\pi}{4} D^2$ ， $D$  是气球直径， $g$  是重力加速度， $W_0$  是气球相对空气的垂直速度。 $f(t)$  是云中降水结冰

造成的球皮荷重，但它是一个难以预知的变量； $\varphi(t)$  是气球渗漏和太阳辐射等造成的影响，一般说来云中比云外弱，可以忽略。在降水荷冰情况下，气球速度等参量变化甚大，直接影响了气球阻力，阻力系数  $C$  也是时间的函数。这样(1)式就由于不确定的随机参量较多而不能简单地计算获得  $W_0$  了。实际观测表明，前文所述办法在强风暴内降水区难以应用。图 1 给出了

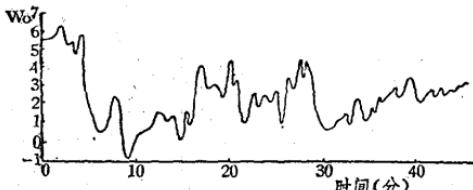


图 1 1964年8月11日17时06分雷雨云里气球相对空气垂直速度  $W_0$  的观测结果。（南京）

1964年8月11日17时06分气球在雷雨云中的相对空气垂直速度 $W_0$ 的观测结果，由图可见，这次气球在施放时 $W_0$ 约5—6米/秒，四分钟后突然遇雨而减小，在九分钟时一度变负，这反映强烈降水致使气球失去浮力的现象。以后在雨区飞行中，气球起伏变化也很大，所以前文介绍的办法不宜在风暴云体中使用。因此，进行强对流云体内垂直气流的直接探测就十分必要了。

气球携带仪器探测的关键仍在于测量 $W_0$ ，实践表明，采用桨叶式相对垂直测速仪是一种简便易行的好办法。这种仪器结构如图2所示，它由桨叶、转轴、变速齿轮组、接触星与簧片、支架、外壳、保护罩、防冻套和引出导线几部分组成。当仪器相对气流运动时，垂直方向气流沿仪器外壳流过桨叶，带动这些具有一定倾角的桨叶沿轴转动，进而使齿轮组运动，经减速后的齿轮带动接触星。接触星是由两段弧长不等而又隔开凸部构成的凸轮片，转动时它与簧片接通或断开，形成时间序列上一长一短的电路开关，在测示系统中形成长短脉码。依据鉴定，可以由长短电码出现的先后判别气流是上升或下沉。仪器全重约200克，直径16厘米，筒高15厘米。当转速小于7米/秒时，其讯号频率低于200次/分。仪器设计考虑了防止水平风影响，并以齿轮保护罩及防冻套防止雹云中结冰影响。

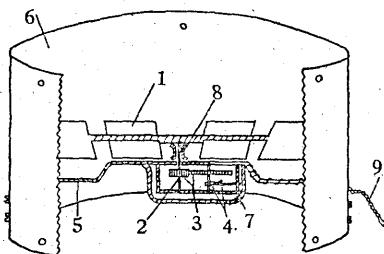


图2 桨叶式相对垂直测速仪

1.桨叶 2.转轴 3.变速齿轮组 4.接触星与簧片 5.支架 6.外壳 7.保护罩 8.防冻套 9.引出导线

桨叶式测速仪感应 $W_0$ 与转动频率 $\omega$ 相关，可表达为下列级数：

$$W_0 = a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \omega^i = f(\omega) \quad (3)$$

式中 $a_0$ 和 $a_i$ 为待定系数。将所制仪器置于垂直风洞风场（如条件不具备，可采用水平风洞鉴定，但应校正其重力影响）里测定，其结果为：

$$W_0 = A\omega + B$$

式中A和B均为实验确定系数，B为起动风速。图3为仪器测定一个实例，图中圆点（实线）为上升气流测值，×号（点划线）为下沉气流鉴定曲线点，它们分别相应于仪器正（迎风）面及背（逆风）面感应气流值。在实际使用中还应考虑到高空重力密度对仪器的影响，根据扎依奇可夫试验，订正关系为

$$W_0 = A\omega + B \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right)^{\alpha} \quad (4)$$

式中 $\rho_0$ 和 $\rho$ 分别为地面和仪器所在高度的空气重力密度， $\alpha$ 为一实验待定系数，通常可取为1，则(4)写成：

$$W_0 = A\omega + B \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right) \quad (5)$$

我们研制的相对测速仪经多次实验鉴定、环境考验和野外施放，性能良好，其起动风速约为0.1至0.4米/秒，惯性时间小于3秒，仪器鉴定线性标准误差小于0.1米/秒，正反两面鉴定均符合(5)式，但A值略有不同。仪器性能基本稳定可靠，在强雷暴中多次施放无结冰停转现象。

为了对比仪器性能，专门进行了仪器双施放实验。1964年8月22日在南京的双施放是在晴空进行的。图4是实验的结果。图上实线是6419号仪器测量值，虚线为6420号同时观测结果，两仪器测值十分接近，它们的相对标准误差小于6%，无论在低空还是高空，其测值基本一致。这表明在实际应用中，观测一致性较好。

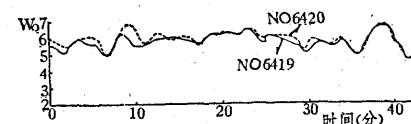


图4 1964年8月22日南京晴空双施放的仪器观测结果

就雷雨云中仪器观测实例分析来看，上述仪器比较客观地测定了气球相对空气的垂直运动速度 $W_0$ 。图5是1965年8月15日07时05分一次雷雨云中仪器的观测记录。由图可见，从放球开始到10公里高度 $W_0$ 一直都有比较正确测值。这次气球在10公里高度以下一直运行在雷雨云区里。较均匀的降水使气球相对升速在

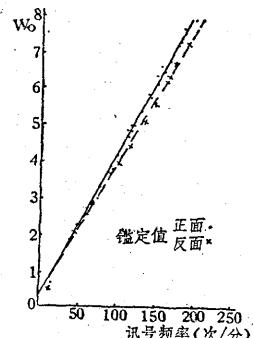


图3 相对垂直测速仪  
定曲线一例(N6051)

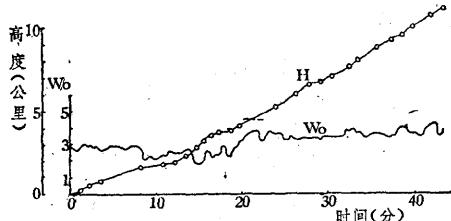


图 5 1965年8月15日07时05分北京雷雨云观测记录

前八分钟维持3米/秒左右，以后降水略为加强， $W_a$ 减少近1米/秒，在22分钟之后降水很小， $W_o$ 在0°C层以上都较均一，没有因结冰等现象致使仪器转动部分失灵，获得了较好的测量结果。

在仪器的遥测工作中，我们注意到解决相对垂直速度讯息传送问题。在垂直气流观测中，除了温、压、湿信息外，还有一个频繁变动的脉码信号，为此曾采用过两种办法。第一种是采用两套探空仪发射机、频率各先调到互不干扰频段（如发射机发射频率各调为23兆及25兆附近），分别发射探空资料和垂直气流的脉码讯号。这种办法讯号互不干扰，效果较好，但需用两套同样设备，两个人同时接收，比较费事。另一种办法是将探空脉码与风车脉码分别排为正一负向两组脉码，可以大为提高通讯效率。图6是这一办法的简易电路图，由图可见，当探空脉码工作时，输出电压为正讯号；反之，当仅仅是桨叶转动发出讯号时，探空仪断路，则输出电压为负值（利用了下边带）；一旦两边脉码同时工作，则舍去了负脉冲值，只有正向脉码（探空码），从而保障了探空测值（温、压、湿）。至于气球相对空气运动速度 $W_o$ ，则可以由均等转速脉码推算。这样就可以节省一套发送接收设备，也获得了有效资料。不过由于正负脉码要记录下来才便于研究，所以采用自己显示或自己曲线为宜。图7是部分探测双边脉码示意图，上边带为探空仪电码，当两边脉码同时工作时，下边带脉码不出现。

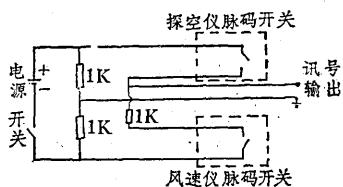


图 6 双边脉码形成的简易混合电路

测量 $W_o$ 时，由于仪器自身和鉴定误差，荷冰和雨滴等环境影响，遥测讯息误差及其它原因等将会影响测值的准确性。这些影响，总的来说，在晴好天气中最大相对标准误差为6%，在雷雨云中为13%；如以

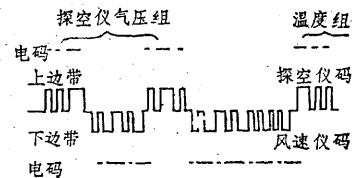


图 7 垂直气流探测双边脉码记录示意图

5米/秒测值而言，晴天最大测量误差值为0.3米/秒，雷雨天为0.7米/秒。

但是如上文所述，观测空气对地垂直运动 $W$ 是由测定 $W_a$ 和 $W_o$ 共同确定的，即

$$W = W_a - W_o \quad (6)$$

因此测定 $W$ 的误差还与 $W_a$ 测定有关。

为保证 $W$ 的可信度，在用气压测高时，必须专门鉴定气压值。我们采用反复锻炼气压膜盒的办法，使膜盒性能一致性较好，同时加密鉴定点以保证减少鉴定曲线内插值的误差。多次鉴定表明标准误差小于2毫巴，相当于中层高度约30米左右。同时 $W_a$ 测定误差与所选层次厚度有关。层厚相对误差较小，层薄相对误差较大。但是层厚将平滑较强的薄层垂直运动，所以必须根据仪器特点，选取适中的厚度以保证一定的精度。依据上述气压测量和仪器特点，我们选用300米层厚度，可以使 $W_a$ 的相对误差小于10%。

总的来说，采用仪器测定 $W$ 的办法，对300—500米厚层垂直气流观测时：在雷雨云中 $W$ 的最大相对标准误差小于16%，晴空为12%。对应于5米/秒的垂直气流，最大误差约0.6—0.8米/秒。如果层次选厚一些，误差还可以减小。

近年来，各种方式测定强风暴中垂直气流工作正在开展，但是强降水区观测都遇到一定困难，相对来说，用桨叶式相对垂直测速仪不仅简单易行，也比较可靠，在我国现有条件下较为适用。

但是，各种气球办法探测垂直气流也是有弱点的。虽然它比较简单，可以大量地进行观测，但因气球不可能按指定路线进入云中，所以难以指望得到云中各预定高度和部位上的垂直气流测值。气球升速较慢，探测过程较长，相应云体时空变化较大，只能反映不同阶段云体状况。此外，用无测速仪的气球观测来确定垂直气流则准确性较差，使用时（特别是云中探测）应十分注意。为进一步深入研究大气中垂直运动，人们还开展了多普勒雷达、飞机、火箭探测，雷达跟踪示踪物和投掷探空仪等办法去获得更大量资料，使人们在这方面有了进一步的认识，并将在云物理和人工影响天气等方面发挥有益的作用。