

平衡气球探测方法的研究

周朝辅 蒋维楣 谢国樑 李宗恺 潘云仙

唐士豹 朱曾望

(南京大学气象系)

(渡口市环保监测站)

THE RESEARCH OF BALANCE BALLOON SOUNDING METHOD

Zhou Chaofu Jiang Weimei Xie Guoliang Li Zongkai
Pan Yunxian

(Department of Meteorology of Nanjing University)

Tang Shibao Zhu Cengwang

(Environmental protection Monitoring Station of Du Kou city)

Abstract

In this paper the main factors affecting the balance of the balloon have been analyzed. They are leaking out of gases from balloon, heating of balloon caused by solar radiation, changing of ambient atmospheric temperature and pressure, changing of weight of balloon appendage, etc. Various values of the error and the ways of reducing these errors found experimentally have been listed here. The balloon sounding method, detailed observing program and 135 groups of tests with this method in a mountain area are presented in the paper. The results of the tests show that the sounding method is successful for studying the characteristics of air flow pattern in valley and city and the parameters of atmospheric diffusion in mountainous areas.

一、概述

有许多种测定大气扩散参数的方法^[1,2], 诸如通过对污染物或示踪物取样测量浓度的分布; 激光雷达探测烟云; 光学轮廓(照相)法; 标记粒子(平衡气球或等容气球)法等。在这些方法中, 气球测定法较简单, 而且又是一种直接的拉格朗日测定方法, 因而有其优越性。但我们发现使用者多

半对探测方法本身存在的问题研究得不够充分。

平衡气球探测法是立足在“气球平衡”, 即气球在飞行过程中其净举力为零的基础上的。此时, 气球的运动轨迹才能代表它所在高度层空气运动的路径和运动状况, 才能用来估算三维空间的大气湍流扩散特征。

但是, 要保持气球净举力为零是极其困

30(4), 685-691(1975).

[7] Dean, O. Clver, Biotechnology and Bioengineering. 10(6), 877-889(1968).

[5] Lundholm, I. Monica, Appl. and Environ. Microbiol. 44(1), 179-183(1982).

[8] Tobim, R.S., Dutka., B.J., Appl. and Environ. Microbiol. 34(1), 69-79(1977).

[6] Chales, H. Zierdt, Appl. and Environ. Microbiol. 38(6), 1166-1172(1979).

难或不可能的。我们所能追求的实质上是一种“准平衡”状态。特别在测量大气垂直运动时，存在着众多的误差，只有对它们进行充分的研究，才能确切地知道各种误差的大小及减少这些误差的途径，实行一套可行的探测方法。

通过实验，我们得出了一套有关平衡气球的探测方法，并已应用该方法进行气流轨迹和扩散参数测量，获得了较为满意的结果。

二、对影响气球平衡的主要因子的研究

气球的净举力可以表示为

$$A=(\rho-\rho_H)Vg-B \tag{1}$$

式中， ρ 为空气密度； ρ_H 为球内气体密度； V 为气球体积； B 为球皮及其附加物重量。

若在地面使气球平衡，即使其净举力为零，但当气球施放后，将会由于各种原因使它会变得不平衡。影响气球平衡的主要原因有：

1. 球内气体的泄漏

为了寻找使气球泄漏率最小的方法，我们用20号气球分别作了几种试验：（1）只充灌氢气；（2）充灌氢气和二氧化碳气，其体积比为1.7:1^[3]或其它比例；（3）用双层球皮充灌混合气体。试验表明：在气球初始体积相同条件下，采用体积比为1.7:1的氢和二氧化碳混合气体充灌气球效果最佳，其第一个小时的最大泄漏率比单充氢气时约小18倍，为0.18克/小时；时间越长，

气球体积越大，其泄漏率也越大，而且 $\frac{V_n}{V_{0.6}}$ 与 $\frac{f_n}{f_{0.6}}$ 之间具有近似正比的关系（ f 为第一个小时气球的泄漏率，下标为气球初始直径）；双层比单层球皮的泄漏率约减少 $\frac{1}{2}$ ，但不经济。

2. 辐射增温影响

太阳直接辐射使球内气体增温，使气球净举力增加。我们按上述最佳比例混合气体将20号白色气球充灌至直径为0.6米，进行如下几项试验，得到以下结果：

（1）用两支经过校正的温度表，分别测量球内外气温。将气球交替置于有或无太阳直接照射的环境下，其结果如表1所示。

从表1看出，太阳直接照射引起的球内气体增温是很迅速的，只需经过3分钟时间即可增温3~5℃，但由于球内外热交换，球内气体增温至一定程度后即趋于相对稳定。同样，当气球从阳光下移至背阴处，球内气温也只需3~4分钟时间即可冷却到原先温度。

1981年12月2日 南京无云 表 1

有无太阳照射	时 间	球内外温差(℃)
有	10:50	2.7
无	10:51	1.6
无	10:56	0.2
无	10:59	0.2
有	11:00	1.8
有	11:03	4.8
有	11:04	4.6
有	11:11	3.0
无	11:12	1.1
无	11:14	0.0
无	11:15	0.3
有	11:16	1.5
有	11:18	3.8
有	11:19	3.8

（2）先做十分钟气球泄漏试验，证明该气球的泄漏率近似为零，再测量气球净举力随球内气温的变化，其结果如表2所示。

由表2看出，球内气温每增加1℃， A 值增大约0.5克。由此可见，辐射增温远大于泄漏对于 A 值的影响。

上述试验表明，由于辐射增温迅速而剧烈，故室内平衡了的气球移至室外经阳光照射后，就会失去平衡，但由于球内气温会很快达到一个相对稳定的状态，因此可以先将

气球净举力与温度的变化 表 2

试验序号	1	2	3	4
$\Delta A / \Delta t$ (g/°C)	+0.53	+0.52	+0.54	+0.45

气球在阳光下照晒,待球内气温相对稳定后再调节气球平衡,就可以使辐射增温的影响大大减少。

(3)当地面风速较大时,在室外调节气球平衡极其困难。为了在风速较大时,也能在阳光下调节气球平衡,可以设置人造玻璃房。我们用热电偶温度表测量白色气球受太阳照射后球皮增温,和阳光经玻璃减弱后的球皮增温,得出玻璃使球皮增温减小约6%。玻璃房不宜太小,并使房内外温差不宜太大。

3. 环境气温变化的影响

将经过校正的两台精密天平和两支温度表分别置于两只温度不同的大柜子中,将气球迅速移动于高温或低温环境中,测定其环境温度和A值变化,试验结果如表3所示。

环境温度与A值变化 表 3

气球环境温度变化	ΔA (g)	时间(s)
8.2°C变为11.4°C	0	0
	-1.1	30
	0	132
8.2°C变为11.2°C	0	0
	-0.5	30
	0	120
11.4°C变为8.2°C	0	0
	+0.6	25
	0	60
12.2°C变为8.2°C	0	0
	+0.7	5
	0	65

从表3看出,A值随气球环境气温的增减,最初成相反变化的关系,尽管A值的变化速率并不完全相同,但由于球内外热交

换,A值总具有还原到原先大小的趋势,这种变化非常迅速,以致当环境气温变化3.4°C时,只需一两分钟时间, ΔA 即为零,如果气球所处环境有风,这种变化速度可能还要快一些。试验结果表明,只要将气球在施放高度上停留两三分钟再行施放,就能消除环境气温变化对气球平衡的影响。至于气球在飞行过程中,由于高度变化不会很快,故气球在飞行过程中的高度变化对A值影响也不会很大。

4. 环境气压变化的影响

在一个约3立方米的钢质密封箱内进行气压试验。试验结果如表4所示。

气压与A值的变化 表 4

气压P (mb)	ΔA (g)	气压P (mb)	ΔA (g)
1035	0	1017	-0.12
1030	-0.06	1012	-0.12
1027	-0.12	1007	-0.15
1022	-0.12	997	-0.18

从表4看出,当气压下降时,由于球皮的膨胀具有一定滞后,跟不上环境气压的变化,A值总是呈现负值变化。但A值并不随气压的下降均匀改变,这反映出球皮的膨胀具有突发性,即气压变化到一定程度后球皮会突然膨胀一下。将上述试验重复进行几次,得到气压每下降1毫巴,气球A值平均减小0.004克,最大可减小0.005克。因此,若气球在飞行过程中高度变化不大,则环境气压的影响可以忽略,但若高度变化很大,气压变化对气球垂直速度的影响就必须考虑。

5. 气球附加物重量变化的影响

气球的升速W可以表示为:

$$W = \frac{\sqrt{A}}{D\sqrt{kp}} \quad (2)$$

式中, $K = \frac{\pi c}{4g}$; c为阻力系数; g为重

力加速度； D 为气球直径。

根据（2）式可算出，由于 A 值改变所引起的气球垂直速度的变化如表5所示。

A 值与垂直速度的变化 表 5

ΔA (g)	W (m/s)	ΔA (g)	W (m/s)
0.1	0.12	2.0	0.52
0.2	0.16	3.0	0.63
0.3	0.20	5.0	0.82
0.5	0.27	12.0	1.28
1.0	0.37		

夜间平衡气球观测不能采用挂灯笼蜡烛的办法，以免引起 A 值的明显变化。当清晨球皮上可能附着露水时，也不能用此法观测。

三、平衡气球探测方法综述

综上所述，平衡气球的探测方法和观测步骤可归纳如下：

1. 选用20号白色气球，充灌体积比为1.7比1的氢气和二氧化碳气，充气直径为60厘米。

2. 调节气球平衡前最好先做几分钟泄漏试验，或至少在一批气球中抽样检查其泄漏率。

3. 白天在室外先让充灌好的气球经受阳光照射3分钟以上时间，然后仍在阳光下调节气球平衡。如室外风大，可在玻璃房中调节气球平衡，但应使房内外气温基本一致。

4. 用系留气球将平衡气球带至预定施放高度，并在该高度用电子释放器控制，使气球停留2~3分钟再行释放。当风速较大不能使用系留气球时，可用固定升速的自由浮升气球通过电子释放器控制时间系带平衡气球至预定高度释放，但控制时间应比系留气球系带方式适当长些。

5. 夜间观测使用电池电珠。平衡气球上出现露水时不能观测。

6. 平衡气球最好在无太阳直接照射的阴天和夜间或无云晴天使用。在有云天气太阳

时隐时现时，将使测量产生较大误差。若气球飞行高差很大时，需考虑气压变化的影响。

7. 气球飞行方向变化大，最好用矢量法^[5]进行资料的处理。

四、用平衡气球法探测流场特征实例

1981年12月至1982年1月应用上述方法在四川省某山区进行了为期10天的平衡气球探测试验，其目的是了解山区流场特征和实测扩散参数（有关分析结果将另行发表公布）。试验期间共放球135个，其中层结状况为中性占64组，不稳定占62组，稳定占9组。用系留气球将平衡气球带至预定高度释放，用双经纬仪跟踪观测，读数时间间隔为15秒。

分析平衡气球的轨迹证实，数据具有较好的规律性，球的平衡和探测技术较为成功。最明显的实例之一是气球的铅直轨迹与层结类别配合得十分好。图1是不同层结情况下的五组气球轨迹。由图1可见，不稳定层结时的气流轨迹与稳定层结时的大不相同，前者曲折起伏大，后者曲折起伏小。特别是在不稳定层结的三组轨迹中随着时间的推延，层结由强不稳、中不稳到弱不稳的性状，在平衡气球的飞行轨迹上也反映得十分明显。类似现象在气球的其它飞行轨迹上也有反映。

气球在飞行过程中平衡情况是否良好可从另一实例中看到。图2是气球在上下均是

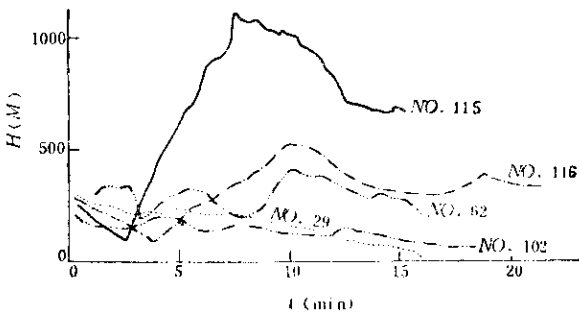


图 1 不同层结时的气球轨迹

逆温层的中性气层内飞行的一次个例,图3是与之相应的层结曲线。从图3可看到,250米至300米是一层较强的薄逆温层,强度为 $2^{\circ}\text{C}/100\text{米}$;50米至100米也是一层逆温层,强度较弱为 $1.4^{\circ}\text{C}/100\text{米}$,其间100米至250米是一层中性层。将图3与图2相对应,气球的飞行高度为82米至174米,正好在中性层内。整个飞行过程气球的轨迹图象虽有明显的起伏,但基本上是平稳的。

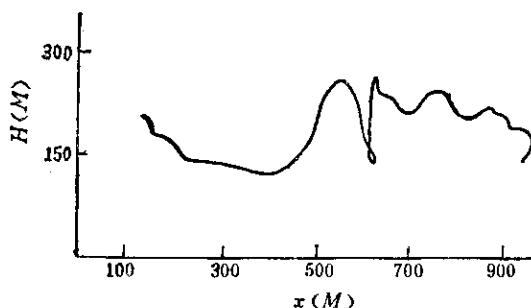


图2 中性气层内的气球铅直轨迹

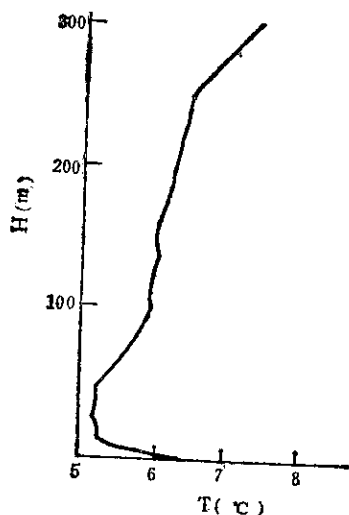


图3 层结曲线

分析图2的轨迹,可说明如下问题:

(1)处于两层逆温之间的中性层,铅直交换不可能太激烈,当把平衡气球送至中性层释放时,气球的铅直轨迹高度变化理应不大,但由于中性层结下的湍流交换仍然存在,故仍有明显的起伏,说明图象是合理的。

(2)开始气球几乎是平直飞行,当飞行400米后才有明显但幅度不大的起伏,说明飞行过程中气球的净举力始终保持在近似为零的状况。

(3)上下逆温层对其间中性层的湍流交换会有一些抑制作用,但并未直接限制气球的飞行,因为气球的最高飞行高度并未到达上逆温层底,而最低的飞行高度亦未达到下逆温层顶,说明气球的飞行轨迹客观地反映了气球的平衡状况以及中性层的湍流脉动状况。

此外,我们还根据135组平衡气球的飞行轨迹分析了山谷风效应、山谷风转换期的漫烟扩散过程等,规律性都较明显,说明平衡气球探测方法及上述探测技术在研究山谷和城市流场特征及推求扩散参数方面是可行的一种手段。

参考文献

- [1] 斯莱德, D.H., 气象学与原子能, 107—174, 张永兴等译, 原子能出版社, 北京, 1979。
- [2] 南京大学气象系湍流组, 环境科学学报, 1(1), 31—40(1981)。
- [3] Longhetto, A., Atmos. Envir., 5, 327—331(1971)。
- [4] 阿维尔基耶夫, M.C., 气象学, 29—33, 沈鸿等译, 高等教育出版社, 北京, 1958。
- [5] Thyer, N., J.Appl.Meteo., 1, 66—68(1962)。