

# 定容球飞行高度的控制及其 定高释放方法的探讨

曹文俊 朱 汶

## 提 要

定容球能否在预定高度上达到平衡,直接影响到定容球飞行高度控制得是否理想。本文介绍了国产定容球的净举力决定方法及双定容球的同时定高释放方法,并作了探讨。

在大气预断评价(影响评价)等工作中,需计算高架连续点源所造成的污染物的浓度分布场。由高架连续点源所排放出的污染物的分布,除了与源强、烟气抬升高度、风速有关外,还与横向扩散参数( $\sigma_y$ )、垂直向扩散参数( $\sigma_z$ )有关,而 $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$ 又受大气稳定度、地形、下垫面的粗糙度等因素的影响。由于大气稳定度实质上是随高度而变的,因而 $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$ 也随高度而变。因此,为使计算出的污染物的浓度分布与实际污染物浓度分布吻合较好,除了所使用的气象参数要求正确外,还必须了解烟囱排放高度附近的空气在不同稳定度条件下的扩散能力。这就需采用释放示踪剂、释放平衡气球或定容气球等扩散试验方法,求算扩散参数( $\sigma_y$ 和 $\sigma_z$ )。要使由定容球(即定高气球)飘移轨迹求算出的 $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$ 能真实代表烟囱排放高度邻近的空气扩散能力,就要求定容球的飘移高度与烟囱排放高度相近。本文根据为扬子乙烯工程大气环境影响评价而作的定容球野外试验的资料,讨论了定容球飞行高度的控制及定高释放的方法。

## 一、定容球飞行高度的控制

设在大气中不存在系统性垂直运动的情况下,要求定容球能沿预定高度( $z'$ 米)飞行。这就要求定容球升达 $z'$ 高度时,其净举力 $F$ (克力)应为零。故 $z'$ 高度实质是定容球的平衡高度。定容球升至 $z'$ 高度时能否达到平衡,主要取决于定容球在地面时的净举力取得是否合适。定容球扩散试验表明,每次释放定容球时,它们在地面时的净举力并不

1985年2月17日收到,5月24日收到修改稿

\*陈建勋、吴息、沈觉成等“扬子乙烯工程大气影响评价课题组”的成员均参加了部分工作

相同。定容球的飞行高度随定容球在地面时的净举力的变化而变化。故正确决定定容球在地面时的净举力是极为重要的。为了正确决定定容球在地面时的净举力，就要求有预定高度 $z'$ 上的气压、气温、湿度的实时资料，还要了解定容球体积随超压的变化规律、定容球的漏气速率和日照的影响。国外采用近于非弹性材料聚酯薄膜(Mylar)作成的四面体形的定容气球，其优点是气球的体积不随球内气体温度而改变，气球的飞行高度主要与环境空气密度等有关<sup>[1]</sup>。这种定容球在上升过程中几乎能保持体积不变。故在知道了预定高度 $z'$ 上的气压、温度等实时资料后，能较易决定定容球在地面时的净举力。我们所用的定容球是国产定容球，外形呈正四面体，由聚酯薄膜材料制成，内充氢气。根据超压试验，这种定容球的最大超压仅7百帕左右。按理定容球是不会改变体积的，但是根据我们测试，国产定容球的体积随超压大小而改变，且其变化规律难以用解析式表达。因此，要完全用理论方法决定定容球在地面时的净举力实际是极困难的。由于国产定容球在上升过程中不能保持体积不变，故定容球在上升过程中并不是严格的定容过程；又因定容球的球皮存在应力，故定容球在上升过程中也并不能象“气块”一样绝热膨胀。由此可见，国产定容球在地面时的净举力将不同于定容过程与绝热过程所对应的地面净举力。从实用角度考虑，我们采用以下半经验的步骤决定定容球在地面时的净举力：先不计日照、漏气、空中水汽的影响，根据绝热方程、状态方程、压高公式和浮力计算公式，分别求出定容球体积假设作绝热膨胀与保持定容两种情况下，为使定容球升达 $z'$ 高度达到平衡而在地面时所需的净举力 $F_1$ 和 $F_2$ ；根据定容球的飞行情况，先找出一般情况下定容球在地面时所需的净举力 $F$ (理论值)与 $F_1$ 和 $F_2$ 的关系式(半经验公式)；然后根据每次放球时的地面湿度，再对理论值 $F$ 略作修正。

#### (一) 设定容球能象“气块”一样自由膨胀

此时可把定容球视为“气块”。设定容球在地面时的净举力为 $F_1$ ，上升到 $z'$ 高度时净举力恰为零。则 $F_1$ 可按以下步骤求得。

##### 1. 求地面空气密度 $\rho'$

$\rho'$ 可用下式求得

$$\rho' = \frac{p_0}{R_d T' (1 + 0.378 \frac{e}{p_0})} \quad (1)$$

其中 $p_0$ 、 $T'$ 、 $e$ 分别是地面气压、空气温度及水汽压，均可从地面气象观测项目中得到。  
 $R_d = 0.287$ 焦耳/克·度

##### 2. 求定容球在地面释放时的实际体积 $V_0$

定容球在地面释放时的实际体积 $V_0$ 可由下式求得

$$V_0 = \frac{f}{g} \cdot \frac{1}{(\rho' - \rho'')} \quad (2)$$

其中 $g$ 是重力加速度； $f$ 是定容球在地面时的总举力，它等于定容球的净举力与球皮等附加物的重量之和； $\rho'$ 可由(1)式求得； $\rho''$ 是氢气密度，因氢的分子量小，故氢气密度随温度及气压变化的改变量的绝对值很小。例如，在标准大气条件下，即使定容球象“气

块”一样能自由膨胀。当从地面上升到300米高度时， $\rho''$ 仅减小2.5克/米<sup>3</sup>，这仅占地面时 $\rho''$ 的3%。因而(2)式中的 $\rho''$ 可用标准状况下的氢气密度值代替。

3. 求定容球预定高度 $z'$ (米)上的气压 $p$

高度 $z'$ (米)上的气压 $p$ 可由下式求得

$$p = p_0 \cdot e^{-(z'/29 \cdot 3 \bar{T})} \quad (3)$$

其中 $\bar{T}$ 为地面空气温度与 $z'$ 高度处的温度( $T$ )之平均值。而 $z'$ 高度处的温度，可由低空探空仪测得。

4. 求定容球到达预定高度 $z'$ 处的实际体积 $V$

定容球按绝热膨胀上升到达 $z'$ 高度时的实际体积 $V$ ，可按理想气体在准静态绝热过程中压强与体积变化的关系式(泊松公式)求得

$$V = V_0 \cdot \left(\frac{p_0}{p}\right)^{1/\gamma} \quad (4)$$

其中 $\gamma = 1.405$ ，它是氢的定压比热与定容比热两者的比值。 $p$ 由(3)式可得。

5. 求定容球预定高度上的空气密度 $\rho$

定容球预定高度 $z'$ 处的空气密度 $\rho$ 由下式求得

$$\rho = \frac{1}{R_d} \cdot \frac{p}{T} \quad (5)$$

因 $z'$ 处的湿度较难测得，故此处忽略了水汽的影响。

6. 求定容球在地面时的净举力 $F_1$

由(5)式求得 $\rho$ 、由(4)式求得 $V$ 后，则定容球到达 $z'$ 高度处的总举力 $f'$ 为

$$f' = V \rho g \quad (6)$$

其中各量已知， $f'$ 可求。又因 $f$ 与 $f'$ 之差即为 $F_1$ ，故 $F_1$ 可求。

(二) 设定容球在上升过程中体积不变

若定容球在上升过程中体积不变，为使定容球升至 $z'$ 高度时能达到平衡，则定容球在地面时的净举力 $F_2$ 可按如下方法决定。由(2)式求得 $V_0$ 、由(5)式求得 $\rho$ ，再利用 $f'' = \rho V_0 g$ 的关系式(其中 $f''$ 为定容球按定容过程到达 $z'$ 高度时所受的总举力)，就可求得 $f''$ 。再求 $f$ 与 $f''$ 之差，即为 $F_2$ 。

(三) 决定定容球在地面时实际所需的净举力 $F'$

定容球在上升过程中既非定容过程，也不象上升气块那样能“自由膨胀”，所以定容球在地面时实际所需的净举力 $F'$ 将不同于 $F_1$ 与 $F_2$ 。根据我们的试验，可再按下述步骤决定定容球在地面时的实际净举力 $F'$ 。

1. 按下式(半经验式)先计算出定容球地面净举力的理论值( $F$ )

$$F = \frac{1}{3} F_1 + \frac{2}{3} F_2 \quad (7)$$

2.再对净举力的理论值(F)作些修正。修正的依据是:(1)若地面空气湿度较大,则当时地面的空气密度将小于一般情况下的地面空气密度,此时定容球在地面时所具有的浮力,也将小于一般情况下所具有的浮力,故需将F值适当增加些(增量一般应小于1克力);(2)若定容球是作相继释放,则在决定定容球的F'时,还应参考前一次定容球的实际飞行情况及其F'值。

表1 定容球的F值与F'值

编号	时 间		P <sub>0</sub>	T'	T <sub>300</sub>	地面水汽压	F	F'	释放高度	飞行高度范围	
	月	日	(百帕)	(°C)	(°C)	(百帕)	(克力)	(克力)	(米)	(米)	
1	5	26	17 05	1009.3	28.8	25.0	16.4	2.1	2.0	320	210—418
2	5	26	17 05	1009.3	28.8	25.0	16.4	2.1	2.0	319	208—408
3	5	29	16 23	1000.0	25.6	22.5	28.6	2.5	3.0	281	281—372
4	5	29	16 23	1000.0	25.6	22.5	28.6	2.5	3.0	286	286—339
5	5	30	17 48	1000.0	28.7	25.5	27.2	2.6	3.0	259	259—387
6	6	7	15 45	1008.0	26.2	23.0	13.7	5.5	5.0	245	245—387
7	6	10	10 30	1011.5	23.6	19.4	18.1	3.0	3.0	272	110—380
8	11	20	15 43	1027.7	19.2	15.0	18.4	7.5	5.0	267	267—407
9	11	21	14 19	1024.2	15.7	12.5	15.9	7.5	7.5	293	240—298

表2 定容球的飞行高度(z米)随水平距离(X公里)的变化

z (米) 编 号	X (公里)	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
		1	320	365	418	365	301	283	304	310	256				
2	319	355	408	362	308	292	315	265	223	223	275	280	239	208	
3	281	296	325	354	372	372									
4	286	296	311	333	339	333	325								
5	259	310	332	317	310	342	369	387	375	372	364	350	328	302	
6	245	282	302	333	369	383	387	370	350	332	319	309	286	255	
7	272	380	369	340	277	200	184	110	250						
8	267	306	333	357	385	400	407	394	380	361	338	323	296	275	
9	293	263	267	285	298	284	273	275	240						

表1列出了9个定容球的F值与F'值的对照情况,表2列出了这9个定容球的实际飞行高度随水平距离的变化。这9个定容球在地面时的实际净举力都是只对(7)式的计算值略

作修正而得出的。这些定容球移动在水平距离数公里内时其离地高度实际是有时升、有时降的，这是由边界层内的空气湍流运动所造成的。各个球的高度下降速度也有不同，这是由各个球的漏气情况存在差异所造成的。但总的来看，这些定容球大致都能在预定高度(300米)附近飘移。由此可见，求F值的(7)式及对F值的修正依据，是可供实际工作参考的。

据我们的定容球扩散试验，在绝大多数情况下， $F'$ 小于8克力。在某些资料上曾报导定容球在地面时的净举力为1—3克力<sup>\*</sup>，我们认为这仅是表1中的一部分定容球的情况，并不适用于各种情况。

#### (四)定容球扩散试验个例

按(7)式求出的F值，略作修正后就得到 $F'$ 值，这在绝大多数情况下均是可用的。例如，我们在1983年5月30日17时48分释放定容球时， $p_0$ 是1000百帕， $T'$ 是28.7℃，300米高度处的温度( $T_{300}$ )是25.5℃，地面水汽压是27.2百帕。按(7)式计算出的 $F=2.6$ 克力。因当时的地面水汽压较大，故把 $F'$ 取为3克力。又如，在1983年11月21日14时19分释放定容球时， $p_0$ 是1024.2百帕， $T'$ 是15.7℃， $T_{300}$ 是12.5℃，地面水汽压是15.9百帕。按(7)式计算出的 $F=7.5$ 克力。因当时地面水汽压不太大，故把 $F'$ 也取为7.5克力。在图1中绘出了这两个球的飞行轨迹(剖面图)。

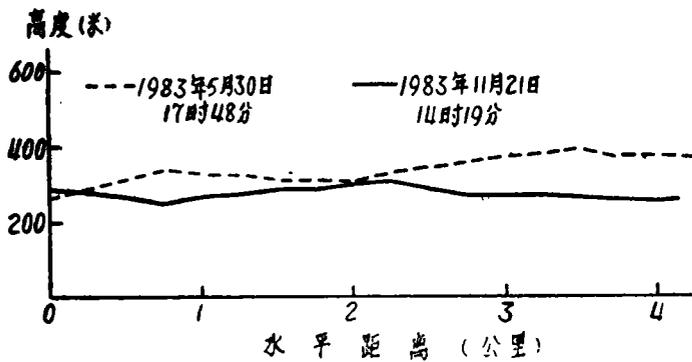


图1 定容球的飞行轨迹

按(7)式计算出的 $F=2.6$ 克力。因当时的地面水汽压较大，故把 $F'$ 取为3克力。又如，在1983年11月21日14时19分释放定容球时， $p_0$ 是1024.2百帕， $T'$ 是15.7℃， $T_{300}$ 是12.5℃，地面水汽压是15.9百帕。按(7)式计算出的 $F=7.5$ 克力。因当时地面水汽压不太大，故把 $F'$ 也取为7.5克力。在图1中绘出了这两个球的飞行轨迹(剖面图)。

由图1可见，这两个定容球的飞行高度在预定高度附近，且这两个定容球的F值取得是合适的。

#### (五)其它注意点

释放国产定容球时，还应注意以下几点。

1.关于日照的影响。根据我们所作的日照增温试验，定容球充气后，球内温度在第1个十分钟内受太阳辐射的影响最大，其后球内温度受日照的影响较小。因而只需把定容球从工作棚移至阳光下停留10分钟后再释放，就可减少辐射的影响。

2.关于国产定容球的漏气问题。据我们试验，国产定容球在充气后第1个20分钟内漏气较明显，故定容球在工作棚内充气后应停留20分钟，有明显漏气者，应予剔除。

3.关于预定飞行高度上湿度对定高飞行的影响。因在我们的定容球扩散试验中，未测预定飞行高度上的湿度，故在上述计算F值时，并未考虑预定高度上的湿度对定高飞行的影响。这有时会带来较大误差。今后应进一步试验预定高度处的湿度对定高飞行的影响。

\*冶金部建筑研究总院环境所，包钢含氟烟气影响研究(环境影响报告书)，76，1983，9

## 二、定高释放的方法

定容球若在地面释放，因体积大、净举力又小，故升速极慢，定容球很难在近距离内升至飞行预定高度 $z'$ 。为解决这一难点，我们将定容球用系留气球带至 $z'$ 高度（如300米）再释放。共用三种释放方法作了试验。

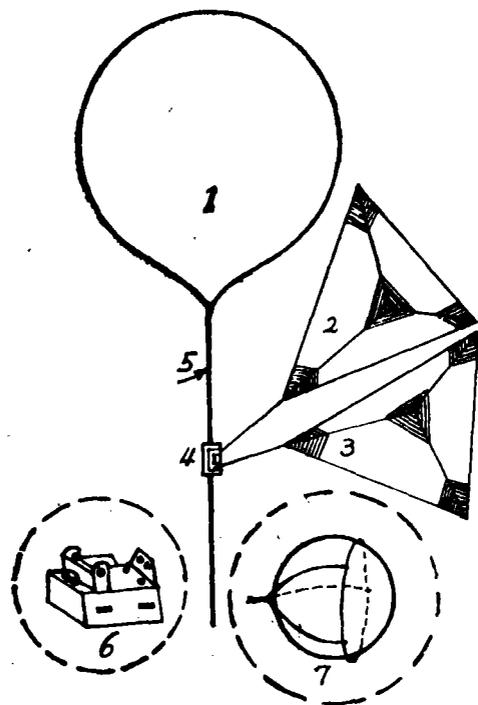


图2 双定容球同时释放示意图

- 1, 系留气球; 2, 3, 定容球;  
4, 释放装置; 5, 系留绳索;  
6, 释放器; 7, 释放环

内充进适量气体(10号气球经充气后应在释放环内张紧); 再在定容球的下部系一乒乓球, 然后把乒乓球卡在金属环与10号气球之间。在对10号气球刺洞、放气后, 则随10号气球内气体的减少, 10号气球对金属环的压力将逐渐减小, 定容球在风力的作用下能把原来被金属环卡住的乒乓球拉出去, 达到释放定容球的目的。利用释放环释放定容球的优点是, 可进行双定容球的同时释放。但在风较大时, 释放时间、释放高度均难以控制, 就这一点说释放环比不上微型机电自控释放器。

### (三)利用电子定时释放器

电子定时释放器可从市场购得。经试验表明, 这种释放器适用于单定容球释放, 风较大时释放高度也难以控制。

定容球的定高释放, 还可利用高烟囱等进行。据我们的试验, 微型机电自控释放器、释放环都是较实用的工具。

### (一)采用微型机电自控释放器

微型机电自控释放器是我们自制工具。它装有释放栓, 依靠微型直流电机的作用, 能在预定时间将释放栓打开。先把微型机电自控释放器固定在系留气球的绳索上。在释放双定容球前, 先在每个定容球上装小金属环, 再将每个小金属环套在释放栓上。根据规定的时间, 调整微型机电自控释放器上的时间控制旋钮。当系留气球携带定容球上升前接通电源, 则在定容球升达预定高度后, 释放栓就能按时打开, 两个定容球就能同时放出(图2)。经试验表明: 微型机电自控释放器具有能同时释放双定容球的优点, 并在风速较大的情况下也能适用。

### (二)利用释放环

一般使用的释放环方法<sup>[2]</sup>, 仅能作单球释放。为了能同时进行双球释放, 我们对释放环方法作了如下改进。把一个直径约20厘米的金属环用线结成半球状的网络, 再把这金属环系在系留气球的绳索上(见图2)。释放定容球前, 先将10号气球放在释放环网络

### 三、结 语

1. 对国产定容球来说, 在规定了飞行预定高度后, 其地面净举力的理论值为

$F = \frac{1}{3}F_1 + \frac{2}{3}F_2$ 。式中 $F_1$ 是假定定容球能象气块一样自由膨胀时在地面应有的净举力,  $F_2$ 是假定定容球严格按定容过程时在地面应有的净举力。

2. 国产定容球在地面的净举力一般应小于8克力, 其性能尚不稳定, 此数值仅供参考。今后有待研究湿度对净举力的影响和订正问题。

3. 微型机电自控释放器与释放环都是双定容球同时、定高释放的较好工具。

### 参 考 文 献

- [1] 斯莱德, D.H. 著, 张永兴等译, 气象学和原子能, 282, 原子能出版社, 1979。  
[2] 陈长和等, 用平衡气球估算静风条件下的三维扩散参数, 兰州大学学报, 1981, 2期, 133。

## ALTITUDE CONTROL OF TETROON AND ITS RELEASE TO THE PREDETERMINED LEVEL\*

Cao Wenjun      Zhu Wen

### ABSTRACT

Whether the tetroom can be kept at the predetermined level directly affects the success of the flight. A way to determine the free lift of tetrooms made in China and of releasing two tetrooms at the same time to the predetermined level is introduced.

\*Chen Jianxun, Wu Xi, Shen Jiaocheng and other members of the Evaluation Group of Effluent of the Yangtze Ethylene Plant take part in this work