

短 論

对苏联札依齐柯夫用梳齒式無線电  
探空仪測量自由大气鉛直运  
动方法的改進意見\*

李 其 琛

(北京大学 气象專業)

提 要

利用梳齒式無線电探空仪測量自由大气鉛直运动的时候,需要知道气球和空气間相对鉛直速度  $W_0$ 。为了計算  $W_0$ , 本文建議採用关系

$$\rho W_0 = a \rho \omega + b, \quad (i)$$

以代替札依齐柯夫提出的关系

$$\frac{W_0}{\omega} = A + B \frac{\rho_0}{\rho \omega}, \quad (ii)$$

式中的  $\rho$  是空气密度,  $\omega$  是無線电探空仪風車轉速。由於 (i) 式中的系数  $a, b$  比較容易正确的决定, 因此能够得到  $W_0$  的正确数值。这样就消除了因  $W_0$  不正确而引起的計算空气鉛直运动速度  $W$  的誤差。

当探空气球的升速  $W_a$  及气球与空气間相对鉛直速度  $W_0$  能够知道时, 大气的鉛直运动速度  $W$  可由下式求出:

$$W = W_a - W_0. \quad (1)$$

苏联札依齐柯夫 (П. Ф. Зайчиков) 成功地利用了梳齒式無線电探空仪 (以下簡称作探空仪) 來測量  $W_0$ , 建立了决定大气鉛直运动的一种新方法<sup>[1]</sup>。

札依齐柯夫認為:  $W_0$  与探空仪風車轉速  $\omega$  之間, 適合下列关系

$$\frac{W_0^2}{\omega^2} = \frac{b}{a} + W_1^2 \frac{\rho_0}{\rho \omega^2}, \quad (2)$$

\* 本文为中央气象局与北京大学关于垂直远动直接測量研究合同报告之一。1955年11月30日收到。

式中的  $\alpha, b, W_1$  對於固定的探空儀來說，都是常數。 $W_1$  是使探空儀風車開始轉動所需之最小風速， $\rho$  是空氣密度， $\rho_0$  是地面空氣密度。如以  $\frac{W_0^2}{\omega^2}$  為縱坐標， $\frac{\rho_0}{\rho\omega^2}$  為橫坐標，則 (2) 式在這坐標系內表現為一直綫。為了決定這根直綫，札依齊柯夫將整個被探測層分為若干薄層，求得每一薄層的  $\frac{\rho_0}{\rho\omega^2}$  平均值；又以直接算出的氣球通過每一薄層的平均升速  $W_a$  代替  $W_0$ ，求得每一薄層的  $\frac{W_a^2}{\omega^2}$  平均值。於是在上述坐標系內，可以得到一系列比較分散的點。根據這些點作一直綫，使所有點盡量均勻地分佈在直綫兩旁。札依齊柯夫假定：整個被探測層中每薄層鉛直運動分量之總和為零，即

$$\sum_{i=1}^n W_i = 0, \quad (3)$$

$W_i$  是第  $i$  薄層空氣鉛直運動速度。這樣，上述直綫就接近為公式 (2) 所決定的直綫。根據直綫，可將每一薄層的  $W_0$  平均值求出。再以  $W_0$  代入 (1) 式，就可計算每一薄層空氣鉛直運動的平均速度了。

根據實驗，札依齊柯夫指出： $W_0$  與  $\omega$  之間也適合下列關係

$$\frac{W_0}{\omega} = \frac{b}{\alpha} + W_1 \frac{\rho_0}{\rho\omega}. \quad (4)$$

利用這個關係，按上述方法，同樣可以求得  $W_0$  和  $W$ 。根據札依齊柯夫研究的結果，利用關係式 (2) 和關係式 (4) 所算出的  $W$  的數值非常接近。

1955 年夏天，北京大學物理系氣象專業同學在西北及華北某地用札依齊柯夫的方法進行了多次自由大氣鉛直運動的觀測。在進行記錄處理的時候發現：無論在以  $\frac{W_a^2}{\omega^2}$  為縱坐標， $\frac{\rho_0}{\rho\omega^2}$  為橫坐標的坐標系內；或者是在以  $\frac{W_a}{\omega}$  為縱坐標， $\frac{\rho_0}{\rho\omega}$  為橫坐標的坐標系內；所得到的點往往都非常分散。並且由於橫坐標  $\frac{\rho_0}{\rho\omega^2}$ （或  $\frac{\rho_0}{\rho\omega}$ ）的數值在整個被探測層的中下層都變化得很緩慢，因此多數點都集中在縱坐標軸附近的地方。這樣就不容易正確地劃出所需要的直綫來。我們曾隨意選擇了五次鉛直運動的觀測記錄，來計算  $\frac{W_a}{\omega}$  和  $\frac{\rho_0}{\rho\omega}$  之間的相关係數  $\gamma$ 。結果五次記錄中只有一次  $\gamma$  達到 0.95，另外三次  $\gamma$  分別等於 0.86, 0.76, 0.70，還有一次相关係數  $\gamma$  只有 0.02。因為  $\frac{\rho_0}{\rho\omega}$  和  $\frac{W_a}{\omega}$  之間的相关係數（ $\frac{\rho_0}{\rho\omega^2}$  和  $\frac{W_a^2}{\omega^2}$  之間的相关係數亦如此）常常都不夠大，所以按點作綫時感到很困難，有時更因  $\gamma$  太小而無法作綫（如  $\gamma=0.02$  的那一次觀測）。顯然，所作直綫的坡度及位置正確與否是直接影響計算結果的。點子過於分散所引起的困難，往往導至錯誤的結論。

為了解決這個問題，作者對札依齊柯夫利用梳齒式探空儀的記錄計算空氣鉛直運動的方法，提出如下的修正意見。

採取札依齐柯夫表示  $W_0$  和  $\omega$  之間关系的公式 (4), 以  $\rho\omega$  乘 (4) 式兩边, 於是得到

$$\rho W_0 = \frac{b}{a} \rho\omega + W_1 \rho_0 = A(\rho\omega) + B. \quad (5)$$

對於一个固定的探空仪而言, 式中的  $A, B$  都是常数。如以  $\rho W_0$  为縱坐标,  $\rho\omega$  为橫坐标, 則 (5) 式在这坐标系内表现为一直綫。为了决定这一直綫, 可將整个被探测層分为若干薄層, 求出每一薄層的  $\rho\omega$  平均值; 再以探空仪通过每一薄層的平均升速  $W_a$  代替  $W_0$ , 求出每一薄層的  $\rho W_a$  平均值來。这样, 在新的坐标系内也可以得到一系列的点。假定: 在整个被探测气層中, 因鉛直运动而引起的向上傳輸和向下傳輸的空气質量相等, 即

$$\sum_{i=1}^n \rho_i W_i = 0. \quad (6)$$

在这样的假定下, 就可以按照上述所得点作直綫, 使所有点尽可能均匀地分佈在直綫兩旁。这一直綫就應該与被 (5) 式所决定的直綫非常接近。利用这一直綫, 可以計算每一薄層的平均  $W_0$ , 並進一步求出  $W$  來。

根据多次比較的結果看出, 按修改后的方法得到的点子分佈的規律性, 要比原來的的方法明顯得多。在新的坐标系内, 大部分点都非常接近一根直綫, 並且相当均匀的分佈在直綫的各段上。

点子分佈的規律性可由相关系数看出。表 1 中給出了五次观测記錄的  $\frac{W_a}{\omega}$  与  $\frac{\rho_0}{\rho\omega}$  之間的相关系数, 以及  $\rho W_a$  与  $\rho\omega$  之間的相关系数。由这个表可以很明顯地看出, 改換坐标后, 相关系数大大增大。  $\rho W_a$  和  $\rho\omega$  之間的相关系数一般都在 0.97 以上。当  $\frac{W_a}{\omega}$

表 1.

观测次数	1	2	3	4	5
$\frac{W_a}{\omega}$ 与 $\frac{\rho_0}{\rho\omega}$ 之間的相关系数	0.95	0.84	0.76	0.70	0.02
$\rho W_a$ 与 $\rho\omega$ 之間的相关系数	0.99	0.99	0.97	0.99	0.58

和  $\frac{\rho_0}{\rho\omega}$  之間的相关系数只有 0.02, 亦即毫不相关时,  $\rho W_0$  和  $\rho\omega$  之間的相关系数亦有 0.58。原來不能整理的記錄採用新的方法后, 也可以整理了。

圖 1 是將一次探空記錄按公式 (4) 計算后作出的。由圖看出, 点的分佈是非常不規則的。令  $\frac{W_0}{\omega}$  由地面到高空整个变化范围为 100, 那末, 在一般情况下, 因鉛直运动使点偏离直綫的数值可达 15, 个别情况下甚至可达 50。圖 2 是將同一份观测記錄按修改后的方法作出的。由圖看出, 所有的点都非常接近圖中所繪的直綫。令  $\rho W_0$  由地面

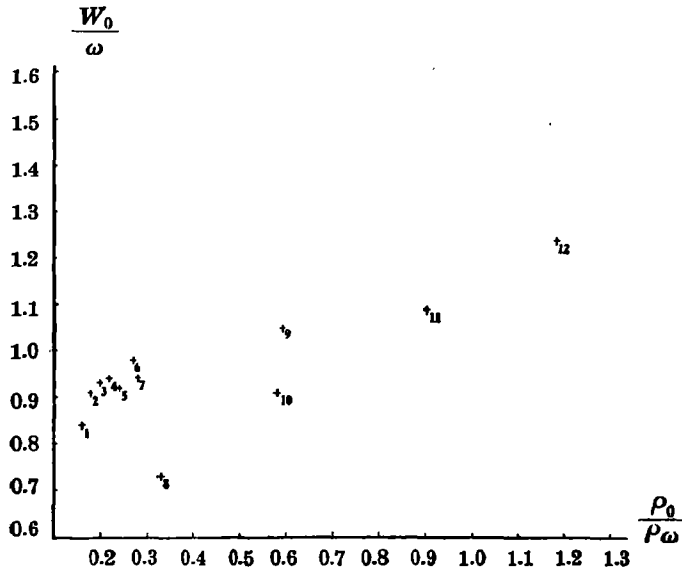


圖 1.

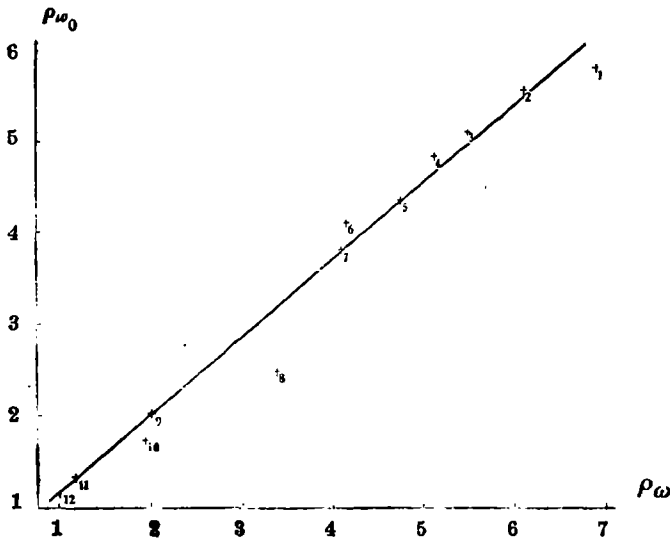


圖 2.

到高空整个变化范围为 100, 那末, 在一般情况下, 因鉛直运动使点偏离直綫的数值很少超过 6, 最大亦不致超过 15. 按这些点作直綫就容易得多, 大大的减少了誤差的可能性。

还应当指出, 在原来的方法中, 作者曾假定在整个被探测層中, 各薄層鉛直运动速度分量的总和为零, 即假定 (3) 式成立。但在他所用的坐标系內, 所得到的直綫实际上只滿足

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{W_a^2}{\omega^2} - \frac{W_0^2}{\omega^2} \right)_i = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{\omega^2} (W_a^2 - W_0^2) \right]_i = 0, \quad (7)$$

或是只滿足

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{W_a}{\omega} - \frac{W_0}{\omega} \right)_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{W}{\omega} \right)_i = 0. \quad (8)$$

$\omega$  是个变数, 因此所得到的直綫顯然与原假定 (3) 式不合。

在修改后的方法中, 作者的假定是在整个被探测層中, 因鉛直运动而引起的向上傳輸和向下傳輸的空气質量相等, 即假定 (6) 式成立。作者認为这假定和大气中的实际情况是比较接近的。在縱坐标为  $\rho\omega_0$ , 橫坐标为  $\rho\omega$  的坐标系內, 所得到的直綫直接滿足假定的关系式 (6)。

此外, 修改后的方法所需的計算比原来的方法簡單。

用修改前的方法和修改后的方法計算鉛直运动, 在不發生直綫划得不适当的情况下, 所得的結果相当一致。

根据苏联札依齐柯夫、赫聶夫斯卡婭<sup>[2]</sup>(И. В. Ханевская)和傅金娜<sup>[3]</sup>(В. И. Фокина)等人的研究, 用梳齒式探空仪測量大气鉛直运动的方法所得到的結果, 是相当正确的。今年夏天北京大学同学在西北、華北实验的結果也証实了这一点。下面是今年在北京大学观测的一次例子。在这次观测中, 測量高空温度、湿度、气压和气球升速  $W_a$  的是芬蘭变高频式無線电探空仪, 感应相对湿度

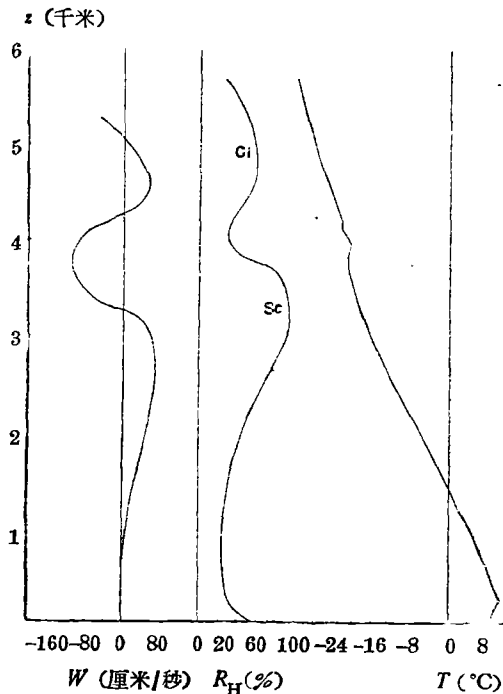


圖 3. 垂直运动( $W$ )相对湿度( $RH$ )及温度( $T$ )隨高度之分佈。

表 2.

No	分	秒	No	分	秒	No	分	秒	No	分	秒	No	分	秒	No	分	秒	No	分	秒	No	分	秒			
	1	17		3	38					10	37			38		15	02		17	15		20	01		48	
		45		4	10		8	14		11	15		13	04			32			60			47		23	15
	2	21			46			55			44			35		16	08			18	35		21	28		44
		59		5	18		9	57		12	12		14	30			30			19	24		22	24		29

表 3.

No	时间 $\tau$	高度 $H$	高度差 $\Delta H$	时间差 $\Delta \tau$	升速 $W_a$ (次/秒)	风单转速 (次/秒)	气压 $P$ (mb)	温度 $T$ ( $^{\circ}C$ )	相对湿度 $R_H$ (%)	密度 $\rho$ (克/米 <sup>3</sup> )	平均密度 $\bar{\rho}$ (克/米 <sup>3</sup> )	$\bar{\rho} W_a$	$\bar{\rho} \omega$	$\bar{\rho} W_0$	$W_0$	$W$ (厘米/秒)
0	0'00"	0					1010	8.2	55	1.251						
1	0'56"	252	252	56"	4.50		979	10.5	30	1.203	1.227	5.522				
2	3'32"	877	625	2'36"	4.01	2.27	906	5.3	25	1.134	1.169	4.688	2.654	4.69	4.01	0
3	6'44"	1815	938	3'12"	4.86	2.62	804	- 4.0	39	1.041	1.088	5.309	2.851	5.09	4.68	20
4	9'26"	2571	756	2'42"	4.67	2.18	728	- 12.3	72	0.973	1.007	4.708	2.188	3.85	3.82	85
5	11'18"	2990	419	1'52"	3.73	1.83	688	- 16.5	90	0.935	0.954	3.588	1.746	3.00	3.14	59
6	13'59"	3655	665	2'41"	4.13	2.66	628	- 21.2	77	0.869	0.902	3.725	2.399	4.23	4.69	-56
7	16'28"	4092	437	2'29"	2.93	2.42	591	- 22.2	80	0.821	0.845	2.476	2.045	3.58	4.24	-181
8	19'50"	4828	736	3'22"	3.65	1.90	533	- 27.1	60	0.755	0.788	2.876	1.497	2.55	3.24	41
9	24'20"	5596	768	4'30"	2.84	2.09	477	- 31.7	27	0.689	0.722	2.050	1.509	2.57	3.56	-72

度的是腸衣(能很灵敏地感应相对湿度的变化),測量風車轉速 $\omega$ 的是 P<sub>3</sub> 043 型梳齒式無線电探空仪。观测数据排列於表 2 和表 3 中,鉛直运动的計算結果表示在圖 3 中。可以明顯地看出:鉛直运动速度随高度的变化,和温度湿度随高度的变化非常吻合。在相对湿度高的地方以及層積云、卷云中都观测到上升气流;在相对湿度顯著变小的地方都观测到下降气流;逆温層以上是下降气流,以下是上升气流。由此可以看出,鉛直运动的計算結果是正确的。

用梳齒式無線电探空仪測量自由大气鉛直运动速度的方法,应用於地形复雜的山区和直展云發展的地方以測量鉛直运动,更具有良好的效果。同时,这种方法的观测过程很簡單,可以和高空温、湿、压、探測同时進行,而無需增加任何其他仪器。因此,值得在实际工作中加以採用。

本文蒙謝义炳教授、嚴开偉先生指正,蒙蔡穎强同志协助計算,謹此致謝。

### 参 考 文 献

- [1] Зайчиков, К вопросу об измерении вертикальных движений воздуха в свободной атмосфере с помощью гребенчатого радиозонда. *Труды ЦАО*, 1953.
- [2] Хачевская, Об устойчивости вертикальных движений воздуха, измеряемых радиозондом, в прострачстве. *Труды ЦАО*, 1953.
- [3] Хачевская и Фокина, О влиянии ошибок в нижнем слое атмосферы на точность вертикальных движений воздуха, измеряемых радиозондом. *Труды ЦАО*, 1953.

## ЗАМЕЧАНИЕ О УЛУЧШЕНИИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ГРЕБЕНЧАТОГО РАДИОЗОНДА

Ли Ци-шэнь

(Метеорогическое отделение Пекинского университета КНР)

РЕЗЮМЕ

В методе, разработанном П. Ф. Зайчиковым, измерения вертикальных движений в свободной атмосфере с помощью гребенчатого радиозонда, введено соотношение относительно воздуху вертикальной скорости шара к вращающейся скорости пропеллера радиозонда,

$$\frac{W_0}{\omega} = A + B \frac{\rho_0}{\rho \omega}, \quad (i)$$

где  $\rho$ —плотность воздуха, А и В—постоянные. Для расчета  $W_0$  необходимо определить коэффициенты А и В в выражении. Это затрудняет нас получить точнее

результат.

В целях разрешения этого вопроса автор предложил принять следующее соотношение

$$\rho W_0 = a\rho\omega + b, \quad (\text{ii})$$

где  $a, b$ —постоянные. Их точно определить легче, и поэтому можем получить точнее значение  $W_0$ . Это освободило нас от ошибки, обусловленной неточным определением  $W_0$ , в расчете скорости вертикальных движения  $W$ .