# 701雷达观测的同步性、准时性与测风误差

李白佳

（云南省气象局）

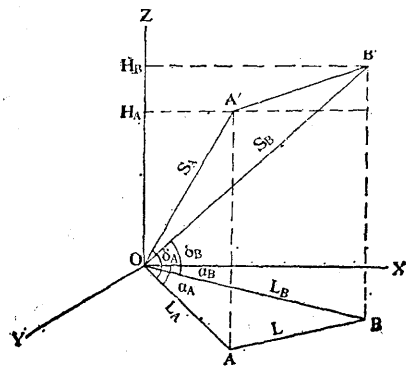
**提　要**

本文的研究表明，701雷达观测的同步性与准时性对风速误差的影响是显著的。并认为非同步与非准时的时差应小于2s及3s。

随着微机在雷达测风中的应用，高空风计算的错情已大为减少。但是，以人工操作获取的观测数据，仍存在着非同步性和非准时性的误差。它们给测风质量带来了影响，在某些情况下，这种观测误差可以超过计算误差，以至成为高空风探测过程的重要技术问题。本文对701雷达观测数据同步性、准时性问题进行的误差分析，提出了当前对测风质量的定量要求，并为今后测风雷达获取数据的自动化操作提供了参考资料。

## 一、观测数据的同步性与测风误差

雷达跟踪探空气球的投影如附图所示。




附图　探空气球投影图

图中A、B为某两相邻的水平投影点，其坐标分别是A($x_A$、$y_A$)，B($x_B$、$y_B$)；$L_A$、$L_B$为A、B两点到测站的水平距离，$\alpha_A$、$\alpha_B$是它们的方位角；L为A、B间气球投影的水平位移；$S_A$、$S_B$为A′、B′空间坐标点到测站的斜距，$\delta_A$、$\delta_B$是它们的仰角。则风速v可由下式求得：

$$v^2=\frac{S^2_B\cos^2\delta_B+S_A^2\cos^2\delta_A}{t^2}-\frac{2S_BS_A\cos\delta_B\cos\delta_A\cos(\alpha_B-\alpha_A)}{t^2}\quad(1)$$

式中，t为计算两点间的时间间隔。

若在雷达观测过程中存在非同步性误差，即方位、仰角和斜距数据的获取不在同一时刻，存在参差不齐的时间差。将（1）式微分，并假定$\cos\delta_B\approx\cos\delta_A$，$\cos(\alpha_B-\alpha_A)\approx1$（当A、B两点时间间隔很短时），则

$$v\approx\frac{(S_B-S_A)\cos\delta}{t}\quad(2)$$

又设$dS_A$、$d\alpha_A$、$d\delta_A$均为0（即假定A分钟读数同步，仅是B分钟读数不同步），经过简化，得观测数据非同步性造成的风速绝对误差$\Delta v_m$为：

$$\Delta v_m=\frac{\cos\delta}{t}\Delta s+\frac{H}{t}\Delta\delta+\frac{H^2\mathrm{ctg}\delta\sin(\alpha_B-\alpha_A)}{(H_B-H_A)t}\Delta\alpha\quad(3)$$

式中，第一项为斜距读数不同步引起的风速误差（$\Delta v_s$），第二项为仰角读数不同步引起的风速误差（$\Delta v_\delta$），第三项为方位角读数不同步引起的风速误差（$\Delta v_\alpha$）。

还可以证明，在风向少变的情况下，风向误差近似等于方位角误差$\Delta\alpha$，且斜距误差$\Delta S$、仰角误差$\Delta\delta$和$\Delta\alpha$是随着斜距、仰角和方位角的变化速度及非同步性时差的增加而增大。通常$d\delta/dt<0.05°\cdot s^{-1}$，$d\alpha/dt<0.1°\cdot s^{-1}$，$dS/dt$一般为20—30$m\cdot s^{-1}$，在大风层中，斜距变化速度可达60$m\cdot s^{-1}$以上。

在实际工作中，方位、仰角之间的非同步性时差一般不大，但斜距观测数据的非同步性时差却可能超过5s。在大风层中，则可引起5$m\cdot s^{-1}$左右的风速误差，使相对误差超过10%，达不到测风精度的要求。因此，为了保障测风的质量，应控制斜距读数

的非同步性时差不超过 2s。在观测的头 20 min，特别是在计算时间间隔转折的几点，观测数据的严格同步尤其重要。

## 二、观测数据的准时性与测风误差

尽管雷达的观测数据是同步的，但若某一组方位、仰角和斜距读数时间超前或滞后，即观测存在非准时性误差。这样计算的时间间隔 $\Delta t$ 便不正好是整分钟，也将造成测风误差。

在风向少变的情况下，风向误差近似为 0。根据前定条件，可获得观测数据的非准时性风速的绝对误差 $\Delta v_t$：

$$\Delta v_t = \frac{H_B - H_A \cdot ctg\delta}{t^2}\Delta t \qquad (4)$$

观测读数非准时性误差试验如附表。

附表　观测读数非准时性误差试验数据

| 序号 | $\Delta t^*$ (s) | $\delta$ (°) | $\alpha$ (°) | S (m) | 准时计算 | | 实际时间计算 | | $\Delta v_t$ (m·s$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 风向 (°) | 风速 (m·s$^{-1}$) | 风向 (°) | 风速 (m·s$^{-1}$) | |
| 1 | 5 | 53.7 | 83.1 | 680 | 263 | 6.7 | 263 | 6.6 | 0.1 |
| 2 | −2 | 42.0 | 74.6 | 1240 | 248 | 8.8 | 248 | 9.5 | 0.7 |
| 3 | 3 | 39.6 | 73.6 | 1860 | 252 | 8.5 | 252 | 8.6 | 0.1 |
| 4 | 0 | 39.5 | 74.4 | 2520 | 257 | 8.5 | 257 | 9.0 | 0.5 |
| 5 | 5 | 40.3 | 74.7 | 3120 | 256 | 7.3 | 256 | 7.1 | −0.2 |
| 6 | −2 | 40.4 | 78.1 | 3740 | 275 | 8.2 | 275 | 9.0 | 0.8 |
| 7 | 4 | 37.1 | 32.8 | 4580 | 279 | 14.1 | 279 | 13.7 | −0.4 |
| 8 | 2 | 34.3 | 91.0 | 5630 | 298 | 19.3 | 298 | 19.1 | −0.2 |
| 9 | 6 | 30.3 | 95.3 | 7020 | 289 | 24.4 | 289 | 22.7 | −1.7 |
| 10 | 0 | 27.2 | 98.5 | 8740 | 290 | 29.2 | 290 | 29.7 | 0.5 |
| 11 | 1 | 25.2 | 102.3 | 10420 | 299 | 29.2 | 299 | 29.1 | −0.1 |
| 12 | −1 | 23.4 | 107.6 | 12280 | 312 | 34.6 | 312 | 35.6 | 1.0 |
| 13 | 6 | 20.2 | 112.8 | 14840 | 313 | 48.2 | 313 | 45.6 | −2.6 |
| 14 | 1 | 17.9 | 116.7 | 17640 | 315 | 50.7 | 315 | 50.3 | 0.4 |
| 15 | 4 | 16.2 | 118.2 | 20840 | 306 | 54.4 | 306 | 51.4 | −3.0 |
| 16 | 0 | 15.4 | 119.3 | 23840 | 307 | 50.0 | 307 | 50.4 | 0.4 |
| 17 | 5 | 14.1 | 120.2 | 27030 | 307 | 54.2 | 307 | 50.5 | −3.7 |
| 18 | 0 | 12.6 | 120.8 | 30040 | 306 | 51.9 | 306 | 52.4 | 0.5 |
| 19 | −2 | 12.0 | 121.2 | 33580 | 305 | 58.9 | 305 | 61.4 | 2.5 |
| 20 | 5 | 11.2 | 121.6 | 36700 | 306 | 52.7 | 306 | 49.1 | −3.6 |

* $\Delta t$为负表示观测时间提前，为正表示观测时间推迟

计算结果表明，雷达测观的准时性也很重要。当观测时间提前或推迟都将引起明显的风速误差。如果观测时间差 $\Delta t$ 大于 6s，风速的相对误差就可能超过 10%。因此，为了保障测风的精度，应控制观测时间的非准时性时间差不超过 3s。

为了估计无线电测风方法的精确度，世界气象组织推荐了高空测风风速均方差公式：

$$\sigma_v^2 = \frac{2}{t^2}\left(\frac{Q^2}{1-Q^2}\sigma_s^2 + \Delta H^2\sigma_\delta^2 + \Delta H^2 Q^2 \sigma_\alpha^2\right) \qquad (5)$$

式中 $\sigma_v$ 为雷达测风的风速均方差，$\sigma_s$、$\sigma_\delta$、$\sigma_\alpha$ 分别为测量斜距、仰角和方位角的均方差，$\Delta H$ 为计算气层间的高度差，$Q = ctg\delta$。

当观测数据存在非准时与非同步性误差时，由此而引起的斜距、仰角、方位角的误差都将造成测风误差。但由于探空气球的轨迹随风而变化，故要进行精确的定量分析，仍然是一个困难的课题。

## 三、初步结论

1. 在 701 雷达观测过程中，如果忽视了获取数据的同步性与准时性，便将造成测量风向和计算风速的误差。其中风速的误差比较显著，在大风层中，绝对误差可达 5—6 m·s$^{-1}$。

2. 为了保证测风精度的要求，雷达观测的非同步性时差不应超过 2s；非准时性时差

不超过 3s。

3.在目前的设备和技术条件下，加强观测人员的责任心及提高操作技术水平是十分必要的。但从根本上考虑，关键是实现雷达自动跟踪与数据客观获取的自动化观测系统。

## 参 考 文 献


〔1〕A. A克米托、B. Д. 斯切潘宁柯等著，气象情报获取和传递系统，章基嘉、申亿铭、周文贤、顾钧禧合译，总参气象局，1975年。

〔2〕张冲，701雷达测风方法的选择和风速的误差分析，气象，1982年，8期。