

# 两次飞机增雨的非参数检验

宋润田 刘力威

(北京人工影响天气办公室 100081)

## 提 要

该文应用 W-M-W (Wilcoxon-Mann-Whitney) 和 Wilcoxon 带符号的秩和检验等非参数方法<sup>[1]</sup>, 对1990年两次飞机增雨进行了效果检验。检验结果表明: 作业开始后3小时“卷流区”<sup>[2]</sup>和“非卷流区”的两量有显著性差异; 作业前3小时与“卷流区”相对应的同一区域雨量与作业开始后3小时“卷流区”的两量有显著性差异。主要是由人工播撒造成的。文章对增雨效果及其显著程度进行了定量估计。

**关键词:** 人工增雨 非参数检验 秩和检验

## 1 资料和作业设计

### 1.1 资料

区内( $1.68 \times 10^4 \text{ km}^2$ )市属气象(候)站共20个, 水文、雨量站(点)182个, 周边的河北省20个气象(候)站逐时降水资料。作业日期和时段: 1990年8月28日6:48—7:40; 1990年9月3日8:08—9:10。

### 1.2 作业设计

“卷流区”和“非卷流区”, 即采用一个移动的目标区及一个移动的与之相应的对比区<sup>[1]</sup>。

“卷流区”: 以飞机播撒轨迹为播撒线元(如附图中的 TD、DE、EB、BA 等), 以播撒高度的高空风向为播撒作用方向(如附图中的箭矢 HF-243°), 则播撒高度的高空风速( $21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )与播撒有效时间(附图取1.5小时)之积为有效播撒距离(如附图中的 BO、DK 等)。沿播撒线元两端分别作平行于高空风向的平行线, 其长度与有效作用距离等长, 连结所作平行线的末端, 组成若干平行四边形(如附图中四边形 ABOQ、EBOP、EDKP 等), 定义这些平行四边形为播撒有效面积元。将这些相互交错重叠的面积元所组成的不规则多边形的外围线所围成的区域定义为

“卷流区”(如附图中的多边形 A-B-O-G-K-P-E-Y-A)。

“非卷流区”: “非卷流区”确定的原则是: ①与“卷流区”的面积大致相当; ②为防止播撒物扩散污染, “非卷流区”在“卷流区”下风方的面积应取尽量小。具体作法是: 令“卷流区”外围与高空风向的几条平行线段(附图中的 BO、GK、EP、AY 等)之间最大垂直距离为 H(如附图中的 BX), 在相距为 H 的这组线段两侧分别作与其距离为 H/2 的两条平行线(附图中的 VL、SN), 在与“卷流区”上风方极 endpoint(附图中 B)相距为 H/2 的上风方作垂直于高空风向的垂直线(附图中 VS), 同样在“卷流区”下风方极 endpoint(附图中 K)作垂直于高空风的垂线(附图中的 LN)。四条直线在“卷流区”外围组成矩形(附图中矩形 VSNL), 把矩形区域内除去“卷流区”的其余部分定义为“非卷流区”。

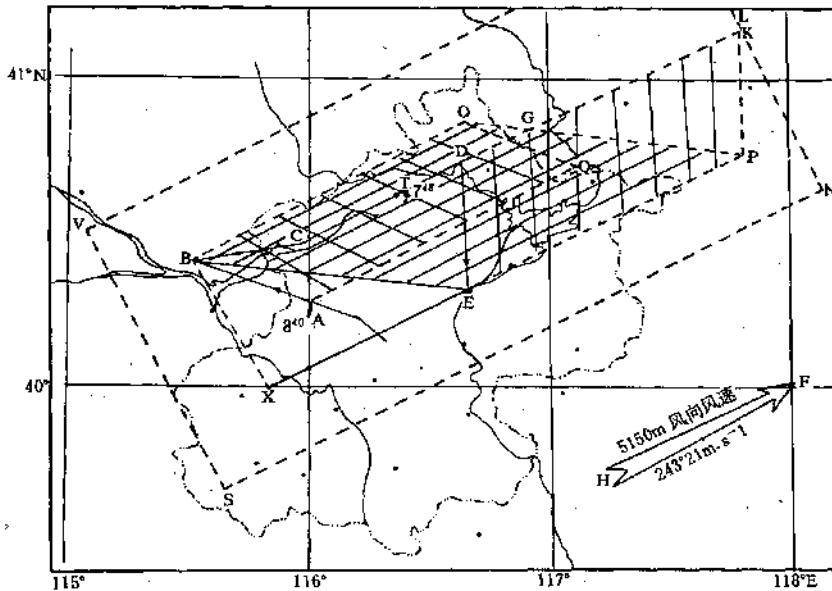
## 2 两次飞机增雨的非参数检验

### 2.1 W-M-W 检验

大尺度系统性的稳定性降水, 在相对尺度较小的同一区域, 降水的时空分布往往比较均一, 中小尺度地形的作用也只有有较强风暴产生和移经时才明显地表现出来。人

工增雨的效果一方面表现在作业后“卷流区”雨量明显比“非卷流区”的偏大;另一方面也表现为同在“卷流区”和与之相对应的同一区域,作业后比作业前雨量明显偏大。基于以上考虑,分别以“卷流区”和“非卷流区”作业开

始后3小时的雨量为A组;以“卷流区”作业开始后3小时的雨量和与其相对应的同一区域作业前3小时雨量为B组,同时对两作业日进行W-M-W检验(见表1)。



附图 卷流区和非卷流区分划图(1990. 8. 28)

斜线阴影区为各播撒面积元,点曲线为区界,箭头实线为飞行轨迹,飞行轨迹上所标数字为播撒开始和结束时间

表1 W-M-W 检验及其效果

时间	组别	$n_1$	$n_2$	$T_{n1}$	U(双边) (-1.96, 1.96) $\alpha=0.05$	结论
8月23日	A	50(卷)	64(非)	3787	5.20	U 在规定值域之外, 否定 $H_0$ (即作业开始后3小时“卷流区”和“非卷流区”的雨量有显著性差异)
	B	41(对同)	50(卷)	1067.5	-6.50	U 在规定值域外, 否定 $H_0$ (即作业开始后3小时“卷流区”和作业前3小时与“卷流区”相对应的同一区域的雨量有显著性差异)
9月3日	A	51(卷)	58(非)	3197	2.38	同8月28日 A
	B	48(对同)	51(卷)	1673	-5.09	同8月28日 B

注:表中“卷”“非”“对同”分别代表“卷流区”、“非卷流区”、相对应“卷流区”的同一区域。

以上检验说明,大尺度系统性的稳定降水,在相对尺度小得多的区域(包括“卷流区”和“非卷流区”),降水量有显著性差异,主要是由人工播撒造成的。A组是在播撒后不同

的地形条件下的,而B组是播撒前后同一区域、同样地形条件下的。以上结果并不能支持地形是造成这种显著差异的说法。

## 2.2 Wilcoxon 带符号的秩和检验和符号检验

应用8月28日和9月3日的资料,进行了Wilcoxon带符号的秩和检验及符号检验。检验结果见表2、表3。同时对相对增雨量P做了估算,结果见表3。

表2 Wilcoxon 检验结果

时间	样本统计量	符号秩项统计量 T 的分布	统计结果
8月28日	$n=41$ $T= T_- =7$	$n=14$ $T_0=7$ $\alpha=0.01$ (单边)	$n=41; T=T_0=7$ 在 $\alpha=0.01$ (单边)的显著性水平处拒绝 $H_0$
9月3日	$n=38$ $T= T_- =52$	$n=20$ $T=52$ $\alpha=0.024$ (单边)	$n=38; T=T_0=52$ 在 $\alpha=0.024$ (单边)的显著性水平处拒绝 $H_0$

表3 符号检验

时间	样本统计量	符号检验表相关量(双边)	统计结果
8月28日	$n=n_++n_-$ $=39+2=41$ $r=\min(39,2)=2$	$n=41$ $\alpha: 0.01, 0.05, 0.10, 0.25,$ $n: 11, 13, 14, 16$	$r=2 < 11$ 在 $\alpha=0.01$ 的显著性水平处拒绝 $H_0$
9月3日	$n=n_++n_-$ $=31+6=37$ $r=\min(31,6)=6$	$n=37$ $\alpha: 0.01, 0.05, 0.10, 0.25$ $n: 10, 12, 13, 14$	$r=6 < 10$ 在 $\alpha=0.01$ 的显著性水平处拒绝 $H_0$

从表2、表3的检验结果可得出结论为:播撒后“卷流区”雨量和播撒前与“卷流区”相对应的同一区域雨量有显著性差异。

“卷流区”的雨量比播撒前与之相对应的同一区域雨量分别增加100%,40%的概率为99%和95%。

从表4可知,在8月28日和9月3日播撒后,

表4 相对增雨量P的估算

时间	样本统计量	符号检验表相关量(双边)	统计结果
8月28日	$P=1$ 时 $n=n_++n_-=30+11=41$ $r=\min(30,11)=11$	$n=41$ $\alpha: 0.01, 0.05, 0.10, 0.05,$ $n: 11, 13, 14, 16$	$r=11$ 在 $\alpha=0.01$ 的显著性水平处相对增雨量P的极大值为1.0
9月3日	$P=0.4$ 时 $n=n_++n_-=26+12=38$ $r=\min(26,12)=12$	$n=38$ $\alpha: 0.01, 0.25, 0.10, 0.25$ $n: 10, 12, 13, 14$	$r=12$ 在 $\alpha=0.01$ 的显著性水平处相对增雨量P的极大值为0.40

## 3 人工降水量的定量估算

设定“卷流区”的面积为S,能采集到作

业开始后3小时雨量的站(点)为m个,其各站(点)3小时雨量为  $R_i (i=1, 2, 3, \dots, m)$ ,

则作业后各站(点)的均值为 $\bar{R}_m = [\sum R_i] / m$ 。在与“卷流区”相对应的同一区域能采集到的作业前3小时雨量的站(点)为  $n$  个,各站(点)雨量为  $R_j (j=1, 2, 3, \dots, n)$ , 则作业前3小时各站(点)的均值 $\bar{R}_n = [\sum R_j] / n$ 。

于是,“卷流区”的增水量  $W$  计算如下:

$$W = \Delta R \times S = (\bar{R}_m - \bar{R}_n) \times S$$

据此,两次作业日增水量的估算见表5。

表5 作业日增雨量估算

日期	站(点)数	$\sum R$	$\bar{R}$	$\Delta R$	$S(\text{km}^2)$	$W(10^4 \text{kg})$
8月	$m=50$	1049	20.98	13.30	8347.5	1.11
28日	$n=41$	315	7.68			
9月	$m=51$	578.2	11.34	9.73	11309.6	1.10
3日	$n=48$	77.1	1.61			

#### 4 结语

4.1 以作业开始后3小时“卷流区”雨量分别和作业开始后3小时“非卷流区”雨量、作业前3小时与“卷流区”相对应的同一区域的雨量

进行组合,作  $W-M-W$  检验;以作业开始后3小时“卷流区”和作业前3小时与“卷流区”相对应的同一区域内同站(点)的成对雨量数据进行 Wilcoxon 检验。检验结果表明,对应区域雨量同样有显著性差异,说明人工播撒有效。

4.2 采用随机窜渡之类的统计设计试验来证明其效果,是当今世界上较为科学的方法<sup>[1]</sup>,目前在国内抗旱作业中使用尚有困难。本方法针对具体作业设计,采用各种非参数方法对两次作业日进行效果检验,旨在获得比较客观的评价。鉴于天气系统时空分布、变化纷繁复杂和受各种环境条件的影响,加之试验次数不多,要获得更为可靠的效果评价,还需作更多的工作。

#### 参考文献

- 1 Hoss, W. N., 1974, 人工影响天气和气候, 王岳生、徐华英等译, 北京: 科学出版社, 1985.

## A Non-Parameter Test of the Twice Artificial Precipitations by Air-craft

Song Runtian      Liu Liwei

(Beijing Municipal Weather Modification Office)

### Abstract

In order to understand the effect of the twice artificial precipitations by air-craft in 1990, the non-parameter techniques by  $W-M-W$  (Wilcoxon-Mann-Whitney) and Wilcoxon are used. The results show that the rainfalls vary in great amount between the plume area and non-plume area in 3 hours since operating. And the significant variations are also found in the plume area between 3 hours after and 3 hours before operating. Therefore, it is easy to understand that artificial seeding brings out the significant increment of rainfall. The rainfall enhancement are estimated quantitatively.

**Key Words:** artificial precipitation non-parameter test