

高层卫星风的误差分析

王永宽

(国家气象局卫星气象中心)

在日本静止气象卫星(GMS)云风估算系统(CWES)业务中,每天00, 12时(GMT)两次探测风,每次由3—4张相隔30分钟的红外(IR)或可见(VIS)卫星图象资料,采用人机交互方法(MM)或环形胶片方法(FL),由两张顺序帧图象跟踪云求得卫星风。MM法得到低层风,FL法得到高层风。

与无线电测风比较,卫星风测量精度要差得多。卫星风误差源大体可分为风推导系统误差和气象学误差。前者属系统“噪声”,后者较复杂,是随机变化的。Hubert等^[1](1979)给出IR图象低层风速误差为4.7m/s, Hamada^[2](1980)给出VIS图象低层风速误差小于3m/s。根据作者统计,高层卫星风速误差远大于这些值,其中相当数量的资料,其风速误差大于10 m/s。显然,这样为高层风资料是远不能满足数值天气预报等方面的要求。本文中设计了按风速大小分类的统计方法,对高层卫星风误差作出初步分析。

1. 资料统计

选取1981年10月、1982年6, 7月和1983年1月GMS卫星风资料,相应对照中国境内无线电测风资料。卫星风位置与无线电探空站(简称高空站)的距离范围为两种:六月选择以高空站为中心的1°经、纬度为半径的近似圆面积;其它三个月则均以高空站为中心的2°×2°经、纬度的近似正方形面积。表1为卫星风400—100mb高度(十月为标准等压面邻近高度)资料数目。

表 1

高度(mb)	400	300	250	200	150	100	累 计
1981, 10.		13	13	39	40	51	156
1982, 6.		119	53	138			310
1982, 7.			148	411			559
1983, 1.	208			58			266

将卫星风基本上按5.0 m/s风速间隔统计,与无线电测风比较结果如表2。表中 $\overline{\Delta\theta}$ 表示卫星风的风向平均误差(度), $\overline{\Delta V}$ 为风速绝对平均误差(m/s), V_s 为卫星风速, $N^{(1)}$ 为资料数目。表中四个月的 $\overline{\Delta\theta}$ 及其变化率均随 V_s 增加而变小, $\overline{\Delta V}$ 随 V_s 增加则变大,另外, $\overline{\Delta\theta}$ 和 $\overline{\Delta V}$ 在 $V_s=15$ m/s前后有显著差别。根据这些规律,将 V_s 划分A(<15 m/s)和B(>15 m/s)两档(如表3),该表中 σ_θ, σ_v 为卫星风的风向、风速均方根误差(rms), $\overline{V_s}$ 为 V_s 的

* 本文于1983年7月13日收到,1983年11月10日收到修改稿。

⁽¹⁾ 本文所有图表中使用的相同符号,其物理意义和量纲均相同。

表 2

V_s (m/s)	1981,10.			1982,6.			1982,7.			1983,1.		
	N	$\Delta\theta$	$\Delta\bar{V}$	N	$\Delta\theta$	$\Delta\bar{V}$	N	$\Delta\theta$	$\Delta\bar{V}$	N	$\Delta\theta$	$\Delta\bar{V}$
0—10.0	1	41	3.9	9	47	3.1	19	32	3.2	2	38	2.0
10.1—15.0	6	45	4.3	26	29	3.9	92	22	3.7	14	19	2.9
15.1—20.0	14	13	8.5	43	13	5.2	154	17	4.5	40	16	6.1
20.1—25.0	19	11	15.9	67	14	6.1	140	15	5.4	32	13	4.4
25.1—30.0	26	13	14.2	50	15	6.2	73	13	5.9	35	10	5.9
30.1—35.0	17	11	11.7	57	11	5.3	41	10	6.3	23	8	9.1
35.1—40.0	24	12	9.3	20	7	5.1	23	8	6.2	22	8	11.7
40.1—45.0	15	9	8.7	22	9	6.1	15	6	5.7	21	7	9.0
>45.0	34	9	10.5	16	9	11.7	2	4	8.0	77	8	11.2

表 3

项 目	1981,10.			1982,6.			1982,7.			1983,1.		
	A	B	累计	A	B	累计	A	B	累计	A	B	累计
N	7	149	156	35	275	310	111	448	559	16	250	266
$\Delta\theta$	44	11	13	34	12	15	23	14	16	22	10	11
$\Delta\bar{V}$	4.2	11.4	11.1	3.7	6.1	5.8	3.6	5.3	5.0	2.8	8.4	8.1
σ_θ	49	14	17	46	15	19	33	20	23	29	14	15
σ_r	5.0	14.2	13.9	5.0	7.6	7.3	4.6	6.9	6.5	3.8	11.7	11.4
$\bar{V}_s$	12.1	35.3	34.3	11.6	29.0	27.0	11.8	24.1	21.7	12.4	36.6	35.1
P_r	35	32	32	32	21	21	31	22	23	23	23	23

平均值, P_r 为风速的相对误差(%, 其值为 $\Delta\bar{V}$ 与 $\bar{V}_s$ 之比)。表 3 表明: $V_s < 15$ m/s 时, $\Delta\theta, \sigma_\theta$ 为 $20^\circ - 40^\circ, 30^\circ - 50^\circ, \Delta\bar{V}, \sigma_r$ 为 $3 - 4, 4 - 5$ m/s; $V_s > 15$ m/s 时, $\Delta\theta, \sigma_\theta$ 均小于 20° , 各月风速误差差异甚大, 六、七月 $\Delta\bar{V}, \sigma_r$ 为 $5 - 6, 7 - 8$ m/s, 十、一月则很大, $\Delta\bar{V}, \sigma_r$ 为 $8 - 11, 12 - 14$ m/s; $V_s < 15$ m/s 时, P_r 为 $30 - 35\%$ (除一月), $V_s > 15$ m/s 时, 十月 P_r 为 32% , 其余三个月则明显地小 (P_r 为 $20 - 25\%$)。

2. 分 析

由前节知道, 卫星风向误差有较明显的变化规律, 而且误差值并不太大, 风速误差则不然, 故本节着重分析风速误差。下面对卫星风主要误差因子作一讨论。

1) CWES 误差

该部分主要包括卫星轨道、姿态和图象分辨率等引起的误差。利用三点测距方法, 日本 GMS 轨道测量误差为 0.5 可见光像素(星下点为 0.6 km); 采用地标导航方法, 卫星姿态测量误差为 2 个可见光像素(星下点为 2.5 km); GMS IR 图象分辨率星下点为 5 km(本文资料均为 IR 图象)。三种误差累加为 5.6 km, 这将引起 3.1 m/s(星下点)的风速误差, 三者中起主要作用的是 IR 图象分辨率。

随着卫星图象位置地心角(以 GMS 位置为中心)的增加, 上述误差即相应地增大。我国高空站所处位置平均取 40° , 风速误差则增大到 4.7 m/s。 $V_s < 15$ m/s 时, 表 3 σ_r 值与 4.7 m/s 相当, $V_s > 15$ m/s 时, 四个月 σ_r 值不同程度地大于 4.7 m/s, 若消除 CWES 影

响, σ_r 值则由 14.2, 7.6, 6.9 和 11.7 m/s 降为 13.4, 6.0, 5.1 和 10.7 m/s, 这就意味着还有更严重的误差因子。

2) 云高确定误差

在估算高层卫星风高度时, 由于踪云(卷云)的红外放射率不能准确确定, 踪云温度就无法精确获得, 相应地存在着卫星风高度误差, 它严重地影响着卫星风的测量精度。在目前难以进行现场比较条件下, 现仅作下面几方面分析。

(1) 选用 1981 年 10 月 GMS“月报”中“云顶高度”资料, 对照我国高空站(踪云与高空站的距离范围同前)测温资料, 根据高度在 500 mb 以上 67 个资料的统计结果, 温度误差(rms)为 4.4°C, 相应地产生的云高误差(rms)为 65 mb。由此可以推断, 高层卫星风的云高确定误差(rms)要大于该值。

(2) 表 4 为广州、上海和沈阳与所选卫星风相同的四个月无线电测风资料的风速均方根垂直切变量(m/s·(50mb)), 各月各高度层资料数目为 44—62。由表可知, 风速垂直切变量较低纬度(广州)比较高纬度(上海、沈阳)小; 较低层比较高层小, 例如大部分较高纬度的 150—100 mb 层切变量大于 10, 1983 年 1 月上海竟达 21。所以, 对于相同高度确定误差, 踪云所处不同高度、不同纬度将会产生差异较大的风速误差。

表 4

高 度 层 (mb)	广州(23.1°N)				上海(31.2°N)				沈阳(41.8°N)			
	十月	六月	七月	一月	十月	六月	七月	一月	十月	六月	七月	一月
500—400	1.7	1.6	1.5	4.3	4.8	4.2	2.6	7.6	4.5	1.7	2.3	3.4
400—300	1.9	1.5	2.6	7.7	5.6	5.3	3.4	9.6	7.9	2.9	4.4	3.9
300—250	2.9	3.2	3.8	7.8	7.1	5.4	4.8	9.8	5.7	5.4	7.5	4.8
250—200	3.2	3.8	5.6	4.4	4.7	5.9	5.6	8.5	7.5	5.4	6.7	4.9
200—150	4.0	4.6	5.3	7.5	6.6	7.4	6.4	10.4	6.4	7.1	6.1	4.3
150—100	5.5	4.7	4.6	13.1	12.8	17.3	12.2	20.5	12.9	6.7	11.1	5.9

(3) 将十、六和一月三个月风速偏差 $|\Delta V| \geq 15$ m/s 的风速值从 $V_s > 15$ m/s 资料中取出, 判断其中因踪云高度确定不准而受严重影响的资料, 最后将它们从表 3 B 栏 σ_r 值中剔除, 表 5 表明对这些资料的处理结果。脚注“1”表示 $|\Delta V| \geq 15$ m/s 的数据, “2”为“1”中严重受云高确定不准影响的数据, “3”为从 $V_s > 15$ m/s 中剔除“2”资料后的数据, N_1/N , N_2/N_1 单位为%。表 5 显示出十月风速大偏差数据比率很高(34.2%), 而六月只有 5.5% (七月为 3.6%)。三个月中约 90% 风速大偏差资料的主要误差源是云高确定不准, 删去这些数据后的风速误差将显著地减小, 各月间差别也将小得多。

表 5

年、月	N	N_1	N_1/N	$\overline{\Delta V_1}$	σ_{r1}	N_2	N_2/N_1	$\overline{\Delta V_2}$	σ_{r2}	N_3	$\overline{\Delta V_3}$	σ_{r3}
1981, 10.	149	51	34.2	21.2	21.9	47	92.2	21.1	21.8	102	6.9	8.7
1982, 6.	275	15	5.5	17.6	17.8	13	86.7	17.5	17.6	262	5.5	6.7
1983, 1.	250	46	18.4	22.3	23.6	40	87.0	21.7	22.7	210	5.9	8.1

(4) 表 3 $V_s > 15$ m/s 的卫星风中, 十月 σ_r (14 m/s)、 P_r (32%) 均为最大。由表 1 可

知,十月中 58% 卫星风的高度取 150—100 mb 范围,这正是风速垂直切变最大的层次,其它几个月均低于该层。如将各月卫星风按不同纬度范围与邻近高空站的不同高度无线电测风资料比较,则得到一系列风向、风速误差值,表 6 为十月的比较结果。 $\overline{\Delta\theta}$ 为风向绝对平均误差, $\overline{\Delta V}$ 为风速平均误差, P 为 400—100 mb 间某层等压面高度。在 30° — 40° N 范围占总数 61% 的资料中, $\overline{\Delta V}$ (13 m/s) 远大于高度 $P=300$ mb 的 $\overline{\Delta V}_P$ (8 m/s)。若高于 (低于) 30° N 范围的云高取作 300 (200) mb, 十月 $\overline{\Delta V}$ 则由 11.1 m/s 降为 8.0 m/s。由上分析,十月卫星风速误差为最大的主要原因是云高确定误差偏大。

表 6

纬度 (°N)	卫星风高度			400 mb		300 mb		250 mb		200 mb		150 mb		100 mb	
	N	$\overline{\Delta\theta}$	$\overline{\Delta V}$	$\overline{\Delta\theta}_P$	$\overline{\Delta V}_P$	$\overline{\Delta\theta}_P$	$\overline{\Delta V}_P$	$\overline{\Delta\theta}_P$	$\overline{\Delta V}_P$	$\overline{\Delta\theta}_P$	$\overline{\Delta V}_P$	$\overline{\Delta\theta}_P$	$\overline{\Delta V}_P$	$\overline{\Delta\theta}_P$	$\overline{\Delta V}_P$
18—25	13	31	5.5	55	7.8	34	6.7	26	5.4	18	4.9	21	4.6	38	7.1
25—30	19	11	9.1	16	13.7	14	10.2	13	10.1	13	8.8	9	8.6	14	12.4
30—35	63	12	13.0	9	7.9	6	7.8	9	14.9	12	18.9	13	16.5	11	7.0
35—40	32	8	12.6	8	10.9	7	8.0	7	11.0	7	14.7	11	14.0	10	11.9
40—50	29	11	8.9	10	9.8	10	9.4	13	11.0	14	9.8	17	11.4	20	11.5

3) 除上分析, 还有其它卫星风误差源。

(1) 云-风偏离。事实已证明, 云的移动不一定代表当地风的情况。例如积云云体移动大体代表云底附近风情况, 山区地方性云与风矢无关等。因此, 踪云的选择是至关重要的。

(2) 时间变化。卫星风是 30 分钟内云移动的平均状况, 无线电测风则为几分钟内的平均, 两者在时间上存在较大差别; 一帧卫星图象上的象素不是同时摄取的; 探空气球与踪云不是同时的。所有这些时间上的差异均要对卫星风与无线电测风间的比较产生影响。

(3) 云形变化。在相隔 30 分钟的两帧红外图象内, 如踪云位置确定因云形变化产生一个象素的配准误差, GMS 风速误差就增加 2.8 m/s (星下点), 云形变化越大, 风速误差就愈大。

(4) 踪云与探空气球存在位置偏离。该偏离包括三方面内容: 第一, 卫星风位置与高空站有一定距离, 本文资料选为 100 km 左右。第二, 在 30 分钟内, 踪云要移动一段距离, 风速若为 15, 30, 50 m/s 时, 踪云移动距离分别为 27, 54, 90 km。第三, 无线电探空气球要偏离高空站位置, 高度越高, 风速越大, 偏离就越大。这些距离上的偏差无疑也将对卫星风与无线电测风间的比较产生一定影响。

以上诸误差因子尚需作深入试验、研究。

3. 小 结

1) 风向误差随风速增大迅速减小。 $V_s < 15$ m/s 时, $\sigma_\theta, \overline{\Delta\theta}$ 为 30° — 50° , 20° — 40° ; $V_s > 15$ m/s 时, $\sigma_\theta, \overline{\Delta\theta}$ 均小于 20° ; $V_s > 30$ m/s 时, $\sigma_\theta, \overline{\Delta\theta}$ 均约 10° 。

2) $V_s < 15$ m/s 时, 风速误差较小, 四个月 $\sigma_v, \overline{\Delta V}$ 为 4—5, 3—4 m/s, 这与 CWES 误差相当。

3) $V_s > 15 \text{ m/s}$ 时, 风速误差较大, 1981 年 10 月、1982 年 6、7 月和 1983 年 1 月 σ_r 为 14, 7—9 和 12 m/s , $\overline{\Delta V}$ 为 11, 5—6 和 8 m/s 。

4) $V_s < 15 \text{ m/s}$ 时, 各月风速相对误差 P_r 为 30—35% (除一月); $V_s > 15 \text{ m/s}$ 时, 十月风速相对误差 (32%) 远大于其它几个月 (20—25%), 引起该差异的主要原因是十月云高确定误差过大, 消除此影响后的十月风速相对误差将降为 23%。

5) 十、六和一月 $V_s > 15 \text{ m/s}$ 资料中, 约 90% 风速大偏差 ($|\Delta V| \geq 15 \text{ m/s}$) 的主要误差源是云高确定不准, 剔除它们后的 σ_r , $\overline{\Delta V}$ 则为 7—9, 6—7 m/s 。

上述结论对用户是重要的。卫星风速较小时 (尤其低于 25°N 地区), 应着重考虑风向误差; 大风速情况下 (尤其高于 25°N 地区), 主要问题是风速误差; 云高确定在风速垂直切变大的地方, 极容易产生大的风速偏差, 用户需倍加小心。

参 考 文 献

- [1] Lester F. Hubert and Albert Thomasell, Jr. (1979), "Error characteristics of satellite-derived winds," NOAA Technical Report, NESS, 1979.
- [2] Hamada, T., "Brief description for error estimates of satellite winds derived by CWES system," 气象卫星ヤンター技術報告, 第 1 号, 昭和 55 年 3 月, 79—83, 1980.