

沙河、兴隆、怀柔太阳光学观测的 候选台址的比较

史忠先 艾国祥 陈传乐 张善礼 王建民

(中国科学院北京天文台)

一、光学观测对比方案的选择

假如湍流大气是在均匀的大气层中渗入许多大小尺度不一的湍流元构成,湍流元本身的温度均一,并与周围未扰动介质的温度差 ΔT ,在光波范围内,它引起的折射系数差 Δn 应为^[8]:

$$\Delta n = -2.9 \times 10^{-4} \frac{1}{\rho_0} \frac{\rho(h)}{T(h)} \Delta T = -A(h) 10^{-8} \Delta T$$

$\rho(h)$ 、 $T(h)$ 为高度 h 处的空气密度和温度, ρ_0 为标准温度压力下的空气密度($\rho_0 = 1.3 \times 10^{-3}$ 克·厘米⁻³)。

可见直接测量 ΔT 随高度的变化,就能对候测地的大气质量优劣作一判断^[9]。但用气球携带铂丝温度计来测 ΔT 随高度变化的方法,由于气球随风飘动,测点时刻在变,结果归算较难;用竖杆携温度计方法,所测高度又大受限制;动用飞机也只能提供有限的的数据。我们直接测 ΔT 的目的主要在于定边界层的高度,把它作为圆顶应建高度的依据^[10]。

光学观测不外是对比象的运动、模糊、畸变、闪烁,对太阳观测来说主要是对比象的运动和模糊。早期大多对太阳边缘的抖动情况进行目视,后来采用宁静度鉴别器监视^[11]。但有时运动相对平静,象却是模糊的,因此,模糊的观测最近得到重视。勃兰特(Brandt)提出一个运动和模糊同时测量的方法^[12],贝柯斯(Beckers)也提出一种方法^[13],但最简单的方法莫过于对日面精细结构进行目视^[16]和照相^[17]了。由于视度(Seeing)的剧烈变化,目视是难于监视的。故我们采用照相方法,这有云南天文台的经验可供借鉴^[1]。

我们的目的是为孔径35cm的望远镜选址,故选用口径15cm的望远镜进行观测对比。为了排除近地几米大气的恶劣影响,将望远镜安放在5米高的基墩上,露天观测。

我们选用的是折轴型折射望远镜,物镜焦距2250mm。太阳象用目镜放大到50cm左右,用电影机进行连续摄影。目镜前后加了四块滤光片,使曝光时间控制在1/400—1/800秒之间,排除了象运动对成象的影响。由于光球米粒只比光球平均背景亮4—17%,暗经比平均背景暗10—20%,故采用了高反差伊尔福(Ilford)全色微粒胶卷。此外,为了避免望远镜内部湍流和焦距变动的影晌,每次拍摄前方把望远镜对向太阳。迅速目视调焦后摄影。

为了取得15秒内视度剧烈变化的情况,我们采用2小时拍一次,一次拍15秒—25秒,全天拍6次(7^h, 9^h, 11^h, 13^h, 15^h, 17^h)的方法。这样每次可取得200幅左右的照相。

二、观测资料的处理、统计分析

观测从5月14日始，7月25日止。这是北京地区最好的观测季节。三地资料取得的情况见下表：

表1 观测情况

地 点	观测时间	观测日数	观测次数	照相数
沙 河	5.14—5.24	9	38	6875
	7.12—7.14	3	9	1734
	7.21—7.25	5	20	4009
兴 隆	5.29—6.9	9	42	11132
怀 柔	6.14—6.30	11	50	9338
	共	37	159	33088

将所取资料按成象质量的优劣分为六等，等级划分的标准规定如下。

1等：画面80%以上的区域达仪器的极限分辨，米粒清晰可见；另外的区域米粒基本保持原有形态，但暗边界不清楚（我们称之为轻微模糊区）。

2等：画面50—80%的区域达仪器的极限分辨；另外的区域有一部分属轻微模糊区，其余部分的米粒失去原有形态，但米粒仍可从模糊的背景上一粒粒看出来（我们称之为中等模糊区）。

3等：画面25—50%的区域达极限分辨；剩余部分是中等模糊区、或一部分只见一丝米粒的痕迹——严重模糊。

4等：米粒扩散变形，失去原有形态，但大部分画面轮廓较清楚。

5等：米粒清晰可见区或轻微模糊区小于画面的1/4，其余只有小部分属中等模糊，大部分为严重模糊区。

6等：全部画面严重模糊，或完全不见米粒痕迹（我们称之为完全扩散）。

由于大部份米粒的直径为1—3弧秒，暗边界（暗经）的宽度只有十分之几弧秒，所以可以粗略地认为在米粒清晰可见区域达仪器的极限分辨，在严重模糊区中只能见一些大米粒的痕迹，估计分辨率为3.5"，完全扩散区连最大的米粒也看不见，故分辨率应在5"之上。中等模糊区的角分辨应小于3"的约为2.5"，轻微模糊区的角分辨应小于2"，估计为1.5"。按这种估计，1等照片的平均分辨约为1"，2—6等分别为1.5"、2"、2.5"、3"、>3.5"。

按这一划分标准处理资料，得到如下结果：

实际上由于天气的变化，观测次数平均每日只有4次，7^h和17^h的观测次数最少，每次照相的数目亦少些，而三个地方在这两个时段视度又最坏，故若把所得照相总加起来后求各等照相所占的百分比，相当于对各观测时段加了权重因子，等权观测成了不等权的了，因此不合理。故我们分时段求各等占该时段照相总数的百分比，然后将6个时段各等百分比各自相加平均，结果列在表2总计一行百分比栏。如果将1—2等，1—3等，1—4等相加可得表3。（为比较，1等结果也录于此）：

表2 各等资料所占百分比统计

沙河 (5.14—5.24)															
时 段	等级		1		2		3		4		5		6		总 张
	百分比	张	百分比	张	百分比	张	百分比	张	百分比	张	百分比	张	百分比	张	
7h		0	0	0	0	14	1.8	5	0.6	99	12.4	679	85	797	
9h		0	0	6	0.5	26	2.3	47	4.1	145	13.0	909	80	1135	
11h		0	0	26	1.9	231	16.9	85	6.2	285	20.9	738	54.1	1365	
13h		0	0	13	1.1	130	11.1	67	5.7	267	22.8	693	59.2	1170	
15h		11	0.7	54	3.3	130	8.0	331	20.4	220	13.6	873	53.9	1619	
17h		0	0	0	0	0	0	29	3.7	119	15.1	641	81.2	789	
总		11	0.1	99	1.1	531	6.7	564	6.8	1137	16.3	4533	69.0	6875	

沙河 (7.12—7.24)															
时 段	等级		1		2		3		4		5		6		总 张
	百分比	张	百分比	张	百分比	张	百分比	张	百分比	张	百分比	张	百分比	张	
7h		0	0	0	0	0	0	20	2.9	245	35.2	432	62.0	697	
9h		0	0	0	0	51	4.8	6	0.6	380	35.8	625	58.9	1062	
11h		0	0	0	0	72	9.2	33	4.2	338	43.3	338	43.3	781	
13h		0	0	4	0.4	129	11.3	25	2.2	507	44.3	479	41.9	1144	
15h		1	0.1	26	2.2	83	6.9	20	1.7	409	34.0	663	55.2	1202	
17h		0	0	0	0	11	1.3	308	35.9	116	13.5	312	43.9	857	
总		1		30	0.4	346	6.6	412	7.9	2045	34.3	2909	50.8	5743	
沙河合			0.1		0.8		6.6		7.3		25.3		59.9		

兴隆 (5.29—6.9)														
6h		0		0		0		0		113		14		127
7h		0	0	12	0.8	96	6.4	121	8.5	655	45.9	542	38.0	1426
9h		25	1.6	34	2.2	149	9.5	71	4.5	537	34.3	743	47.8	1564
11h		80	3.1	222	8.6	470	18.3	32	1.2	911	35.4	860	33.4	2575
13h		2	0.1	35	2.0	250	14.2	33	1.9	483	27.4	959	54.4	1762
15h		0	0	1	0.4	123	6.7	7	0.4	392	21.3	1309	71.2	1838
17h		0	0	0	0	6	0.4	61	3.3	425	23.1	1348	73.1	1840
总		107	0.8	310	2.7	1094	9.2	325	3.3	3516	31.2	5780	53.0	11132

怀柔 (6.14—6.30)														
7h		0	0	6	0.5	130	10.8	4	0.3	346	28.9	713	59.5	1199
9h		136	6.3	238	11.0	472	21.8	76	3.5	549	25.4	693	32.0	2163
11h		0	0	24	1.2	549	27.5	5	0.5	795	39.8	626	31.3	1999
13h		17	1	111	6.5	494	23.1	0	0	790	46.4	289	17.0	1701
15h		5	0.4	26	1.9	346	25.7	1	0.1	270	20.0	700	51.9	1345
17h		0	0	0	0	0	0	13	1.4	149	16.1	766	82.5	928
总		158	1.3	405	3.5	1991	19.2	99	1.0	2890	29.4	3786	45.7	9338

表3 全天对比

地 点	1 等	1—2等	1—3等	1—4等
沙 河	0.1	0.9	7.5	14.8
兴 隆	0.8	3.5	12.7	16.0
怀 柔	1.3	4.8	24.0	25.0

若三地各选三个最佳时段来比较，沙河选11^h，13^h，15^h，兴隆和怀柔选9^h，11^h，13^h，可得：

表4 最佳三时段对比

地 点	1 等	1—2等	1—3等	1—4等
沙 河	0.3	1.6	12.2	17.3
兴 隆	0.6	5.9	19.9	22.4
怀 柔	2.4	8.7	34.8	36.1

最佳的一个时段（沙河15^h，兴隆11^h，怀柔9^h，）对比：

表5 最佳一时段对比

地 点	1 等	1—2等	1—3等	1—4等
沙 河	0.4	3.2	10.6	21.2
兴 隆	3.1	11.7	30	31.2
怀 柔	6.3	17.3	39.1	42.6

由表3、4、5可明显看出，怀柔要优于兴隆和沙河。

三、视度随时间变化的情况分析

观测表明，视度在短时间内就有剧骤的变化。有时在一连串5、6等照卡中夹杂1—2张1，2等照片，不过常见的是其中夹杂1—2张3等照片。1，2，3等照片连续出现，偶而夹杂5、6等这种情况较少（沙河一次未遇）。1等照片连续出现是较罕见的，连续出现的情况如表6所示：

1等照片在怀柔有一次连续出现13张，时间超过1秒，兴隆有一次连续出现9张，略小于1秒。

一般说，凡出现1、2等照片时，3等照片亦比较多，没有遇到3等照片超过50%而没有1、2等的情况。但没有1—3等，4等超过50%，和仅有少量3等、4等超过50%的情况在沙河出现过。

如果把一次观测中1—3等照相 $\geq 80\%$ 的好资料挑出来，附以日面边缘抖动（分甲乙丙丁四等）、风和明晰度（光流读数）情况，得表7。

怀柔的7次无例地都在刮东南风的时候，明晰度都不太好。而6.24—26日在怀柔刮3—5级西北风，明晰度很好，但没有出现1—2等照片。在怀柔共观测11天，其他日子基本上刮东

南风，均出现1—2等照片。这一情况表明，怀柔视度的好坏与风向密切相关。这可能是由于怀柔点东南西三面临水，刮东南风时望远镜浸润在来自水面的较均匀的空气团中(低层)，而刮西北风时，风从后山(怀柔点北靠山)陆地刮来，望远镜为不均匀的湍流大气包围。

在兴隆观测期间，没有刮过东南风，故对风向的依赖关系不清楚。

表6 1等照片连续现的情况

次数 \ 连续张数													总张数	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
地点														
沙河	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
兴隆	13	7	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	107	
怀柔	16	4	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	158	

表7 各点1—3等 $\leq 80\%$ 的观测资料

地点	日期	时段	等 级						总张数	目视抖动	风	明晰度
			1	2	3	4	5	6				
兴隆	6.6	10 ^h 40 ^m	55	85	41	7	26	2	216	乙	西北5级	2.05
怀柔	6.14	1300	0	14	138	0	24	0	176	乙	东南1级	1.50
怀柔	6.19	900	39	56	79	0	27	10	211	乙	东南3级	1.45
怀柔	6.20	1300	17	92	60	0	5	1	175	丙	东南3级	1.00
怀柔	6.20	1506	5	23	104	1	17	0	150	乙	东南3级	1.20
怀柔	6.28	900	63	72	87	0	31	6	259	甲	东南3级	1.75
怀柔	6.28	930	24	49	104	0	38	5	220	乙	东南2—3级	1.65
怀柔	6.29	1500	0	0	171	0	43	0	214	丙	东南3—4级	1.50

一般说，出现好照相时象的抖动较小(见表7)，5、6等照片连续出现时抖动一般为丙、丁等。但在抖动为丙时仍取得过好资料，而在抖动为乙时却取得过坏资料，如在兴隆5月31日，5^h55^m，6^h10^m，目视抖动为乙，目视成象质量为甲，但没有取得一张1—4等照片。故模糊和抖动之间并不存在一一对应的关系。

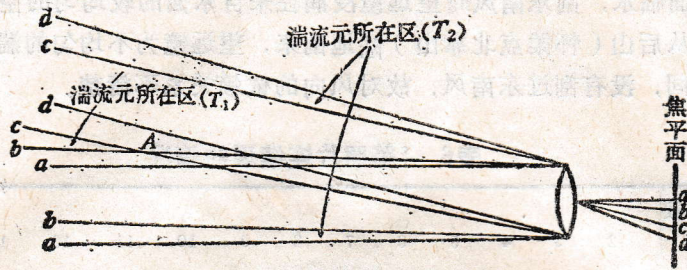
如取得了达望远镜极限分辨的照片，则应该说在视线范围内，湍流元的尺度、数量和 ΔT 相匹配，使综合影响在望远镜极限分辨之内。

观测中常见在一片模糊区中夹杂尺度为影十弧秒的清晰区，如下图所示，在模糊区ab和cd间夹一块清晰区bc。此时湍流元可由低层一直延伸到高层，如图中 T_2 区。相反，如果是清晰区中夹小块模糊区，则湍流元只能处于高层。如ab和cd为清晰区，夹着的bc是模糊区，湍流元只能处于以A为交点的b、c两线之间(T_1 区)。若ab之间的夹角为10"，bc间的夹角为20"，湍流元离望远镜的距离至少是：

$$\frac{15}{1} = \frac{20}{206265} \quad l = 1.55 \text{公里.}$$

若湍流元为内部温度均一的球⁸¹，半径 $R=10\text{cm}$ ，则它应处于离望远镜3.5公里的地方，

取太阳的地平高度为 30° ，湍流元高达1.7公里。



湍流元所在区域示意图

由此可见，获得1—2等照卡时低层很少湍流，比较平稳。而5—6等照卡出现时低层大气已处于十分紊乱的情况之中。3等照片出现，低层大气带有一定数量的湍流，高层大气亦不是太好。4等照片出现，低层大气湍流已比较严重，但 ΔT 可能不是太大。因此，视度随时间的急骤变化主要由低层大气引起，提高望远镜离地面的高度，4—6等照相就能向1—3等转化。但要取得更高分辨的照相，高层大气必需考虑，此时就要求能远离陆地、山脉，以便不均匀的气团在它长途运行过程中逐步均化。

四、结 论

1. 水面、山区、平原三点比较表明，水面上的点最好，这可从表3—7看出。萨莱乃夫(Salanave)用6吋折光镜在加里福尼亚州Junipero Serro峰，观测太阳估计 $1''$ 的视度占1%^[14]，伯雷(Bray)等从5吋望远镜的观测估计为 $1/180$ ^[15]，可见怀柔观测达到较好台站的水平。

三个观测点相互之间的直线距离不到100公里，怀柔和沙河间的直线距离不到40公里，却有如此明显的差别，看来主要是由局部环境不同引起的。我们在怀柔观测时值夏季，除清晨傍晚，气温一般高于水温，形成逆温层，低层大气的湍流要小得多。

2. 怀柔在东南风时出现好象，西北风时则没有，而兴隆在西北风时却有好象。这表明风向本身与好象的出现并无特定关系，主要还在于风带来的大气均匀与否。怀柔点吹东南风，风从水面上来，远处陆地的不均匀气团通过1—2公里水域，小的湍流元通过扩散已不复存在，大的温度也趋向均化，故低层大气质量比较好，如果四面环水，水域都在1—2公里以上，则就更好了。

3. 三地早7^h和下午17^h的象质量均不好。沙河与其他平原台站所得结果相同，只是在近中午时才能间歇地取得一些好资料。但兴隆与其他台站有很大差别。一般山区台站在日出后1—2小时，日落前1—2小时有较好的视度，如威尔逊山天文台^[16]，基特峰国立天文台^[17]等。而兴隆在上午9^h后才出现好象(日出3小时后)。这可能是由兴隆站的特殊地形造成的。从兴隆的观测点向东向西视线均处在山脊上，太阳天顶距较大时，观测需穿过很厚的低层大气，因此很不利。如是一个孤独的峰，早上和日落前应能取得较好的资料。怀柔水面观测，早晨当视线落在水面上时才有好象出现。下午17^h没有好象可能与气温低于水温，观测需穿过较厚的低层大气有关。

参 考 文 献

- [1] 云南天文台太阳物理研究室, 天文学报, 15, 1, (1974), 25.
- [2] 云南天文台太阳物理研究室, 天文学报, 15, 2, (1974), 173.
- [3] 史忠先, 林元章, 艾国祥, 钱善璿, 赵仁杨, 天文学报, 16, 1, (1975), 12.
- [4] J.O.S.O. Annual Report, 1970.
- [5] Mayfield, E. B., Varbec, D., Rogers, E., Janssens, T., Becker, R. A., Sky and Telescope, 37, 4, (1969), 208.
- [6] Zirin, H., Sky and Telescope, 39, 4, (1970), 215.
- [7] Gaizauskas, Y., and Kryworuchko, A., J. Royal Astro. Soc. Canada., 67, 5, (1973), 217.
- [8] Ulrich Grossmann-Doerth, Solar Phys., 6, 1, (1969), 210.
- [9] Coulman, C. E., Solar Phys., 7, 1, (1969), 122.
- [10] McMath, R. R., and Pierce, A. K., Sky and Telescope, 20, 2, (1960), 64.
- [11] Brandt, P. N., Solar Phys., 7, 1, (1969), 187.
- [12] Beckers, J. M., Applied Optics, 5, 2, (1966), 301.
- [13] Bray, R. J. and Loughhead, R. E., Observatory, 79, 909, (1959), 63.
- [14] Salanave, L. G., Sky and Telescope, 16 (1975), 320.
- [15] Bray, R. T., and Loughhead, R. E., "Sunspots", 1964, p. 15.
- [16] Howard, Robert, Solar Phys., 7, 1, (1969), 153.
- [17] Pierce, A. K., Solar Phys., 6 (1969), 498.