

关于Maunder极小期的讨论

罗葆荣 丁有济

(中国科学院云南天文台)

提 要

本文综述了关于Maunder极小期的各种流派的观点,在对有争议的主要问题进行讨论的同时,阐明了我们的观点。

一、关于Maunder极小期之争

1894年Maunder在Schwabe(1843)和Wolf(1848)提出和肯定太阳活动存在11年周期的基本规律之后,提出太阳在1645—1715年间存在着一个黑子极小期。长期以来人们并没有把这个极小期和太阳活动11年周期的基本规律对立起来,因而也没有引起更多的争议。1976年Eddy^[1]用他搜集的黑子数、极光、日全食时的日冕形态及树木年轮中所含同位素¹⁴C的变化,证明太阳活动在1645—1715年间确是一个极小期。他称之为:“Maunder Minimum”(以下简称M. M. 期)。Eddy的工作引起了人们对太阳活动长期变化的关注。然而Eddy认为^{[1], [2]}, 在1645—1715年间太阳活动实际停止了。太阳活动的11年周期可能不是长期以来一直存在的,它只不过是近两三百年来才有的暂时现象。11年周期仅仅是广阔而深邃的大海潮流中的一个小涟漪。Eddy在他后来的一些文章里进一步阐述和发挥了上述观点^{[3], [4]}。

Eddy的文章发表后引起了强烈的反响。我国学者^[5-11]用我国古代目视黑子记录(包括方志记录)及古代极光记录所作的大量工作,对Eddy的上述观点提出异议。邹仪新、张筑文、李维宝及我们^[5-9]指出在M. M. 期及以前相当长的时期,太阳活动仍然表现出11年周期的活动规律;然而作为太阳活动水平较低的M. M. 期仍然存在。徐振韬等^[10]根据在我国地方志中新发现的在1645—1715年间的古黑子记录驳斥了“太阳活动实际停止了”的论点,指出在这个时期太阳活动仍表现出11年周期的规律。但认为太阳活动在这段时期已达到神田茂黑子表中每10年有1个黑子记录的平均水平,因而M. M. 期是资料占有不足所作的错误推论,并从Eddy否定M. M. 期里存在着周期规律的观点出发,认为M. M. 期的概念同太阳活动周期性的概念是互不相容的,从而否定M. M. 期的存在。常国华^[11]用6种加以修正的自相关统计方法对欧洲望远镜黑子数及加入中国方志的目视黑子进行计算,认为不能绝对地说在M. M. 期太阳活动停止了,或者说M. M. 期仍然存在着11年周期的活动性。Link^{[12], [13]}、Gleissberg^[14]、Vitinsky^[15]、Schröder^[16]、Cullen^[17]、Robinson^[18]等对Eddy的观点亦持怀

1985年7月20日收到。

1985年12月2日收到修改稿。

疑态度, 尤其是 Landsberg^[19] 从被他称之为“未开发的日记”里搜集的17世纪至18世纪初的52个黑子记录, 对 M. M. 期的存在也表示异议。而 Stephenson 和 Clark^[20-22] 等却支持 Eddy 的观点, 对中国的目视黑子记录, 尤其是方志记录的科学价值表示怀疑。1983年6月 Eddy 发表题为“再论 Maunder 极小期”的文章^[23] 对徐振韬和 Landsberg 等上述持不同观点者进行反驳, 从而使 M. M. 期这个问题成为当今太阳物理学中争论十分激烈的一个问题。

争论的焦点主要集中在: ①中国古代目视黑子记录特别是方志记录, 对研究古代太阳活动是否有科学价值? ②作为太阳活动水平较低的 M. M. 期是否存在? ③在1645—1715年的70年中太阳活动实际停止了吗? 在这段时期里以及在这之前一段时期是否表现出太阳活动11年周期的基本规律?

本文以17世纪至18世纪初的古代目视黑子记录为基础, 参照与太阳活动有关的其他资料, 进一步阐明我们对上述三个问题的观点, 以此和 Eddy 等商榷。

二、中国古代目视黑子记录的科学价值

早在本世纪初, 美国天文学家 Hale 就说过: “中国古人测天之精勤至可惊人。日斑之观测远在西人之前约两千年。历史记载不绝, 且相传颇确, 自可徵信。”(G. E. Hale, *The Depths of the Universe* 1910)^[24] 似乎中国古代目视黑子记录早已被西方学者给予公正评价和肯定了。可是, 看了 Eddy 的一席话就会觉得, 进一步讨论中国古代目视黑子记录的科学价值并不是多余的。

Eddy^[23] 说: 黑子经常被记录为太阳上离奇有趣的黑暗物体, “日中有黑子, 乍二乍三, 如粟大。”这种记录是罕见的, 而且它们的数目从这个世纪到那个世纪变化相当大。要么一个黑子也没有, 要么就有很多。现实的问题在于: 黑子数记录要么是由于变化力而减少或增加; 要么是由于政治的或占星的因素而被歪曲。象 Stephenson 和 Clark 指出的那样, 肉眼黑子记录是非常低效的, 在能看到黑子的很长时期里, 平均10,000个黑子仅能捕捉到1个。正史和地方志记录日期之间仅能被低劣地符合: 33个观测里最多有3个符合。

据《通鉴外记》记载, 我国最早的黑子记录是在公元前781年, 被一致公认的是公元前28年, 比西方用望远镜观测黑子约早2,000多年。自春秋以来, 历代均设有执掌天文的官署, 比较系统地观测记录包括黑子在内的各种天象。尽管这些记录可能是出于政治的或占星的目的, 人们对黑子的认识也还处于感性的和形态的描述, 记录也确是不甚完备, 但这些缺点并不影响记录本身的客观性和科学性。只要秉着去粗取精, 去伪存真的精神去认真考证, 用适当的方法去处理和运用它们, 这些古老而丰富的记录无疑是一部珍贵的科学资料宝库。

所谓“10,000个黑子只能捕捉到1个”, 因此肉眼黑子记录是“低效的”。先且不论这个比例是否夸张, 只要承认目视黑子是按一定比例被捕捉到的, 那么其科学价值也就被肯定了。正象矿产品质的化验, 商品合格率的检验, 无一不是随机地抽取一定比例的样品检测计算得到的。目视黑子正是古代太阳黑子的一个样品序列。只要采取适当的科学方法去处理它们, 其结果是无可怀疑的。

目视黑子记录可能“由于政治的或占星的因素而被歪曲了。”中国古代统治者设专门机构

观测天象可能会出自政治的或占星的需要。然而，不论出于什么目的，担负天象观测的官员总是客观地记录下了包括黑子在内的各种天象。弄虚作假是犯欺君之罪的，因而这些记录是客观事实的真实写照，是可徵信的。

至于对目视黑子“离奇有趣”的描述，三十年代朱文鑫^[24]先生就已解释得十分清楚了。他说：“史言如枣如李，如卵如桃者，书其形状也。数日而伏，数日而灭者，明其消长也。赤日无光，昼昏日曛者，所以祥当时观测之情形也。揆诸近世学理，无不密合。”表明人们对太阳黑子的认识已具有相当高的水平。

“正史和方志记录日期之间仅能低劣地符合”，“方志记录的可靠性还缺乏证实”。这无疑是一种偏见。方志是地方性的官方记录。我国幅员辽阔，方志记录散见于全国各地，浩如烟海。“方志之作，纵以纪时，横以纪地而已。”它不但能印证正史记录，而且更主要的是正史的一个有力的补充。和正史“符合”者，印证也；不“符合”者，补充也。完全“符合”就没有起到补充的作用；全不“符合”就没有印证的价值。有时同一条黑子被正史及多处地方志同时记录。例如1618年6月下旬的大黑子群被正史及五家方志同时记录下来^[25]。此类例子不胜枚举。由此，方志之科学价值便足见一斑了。

为了更进一步说明目视黑子的科学价值，我们曾用望远镜时代以后的目视黑子(包括方志记录)的自相关函数滑动曲线(a)与同期的 Zürich 所定的(b线中1705年以后部分)及Schöve估计补充的(b线中1740年以前部分) 11年周期各峰值的包络线作了比较(图1)，二者基本“符合”。

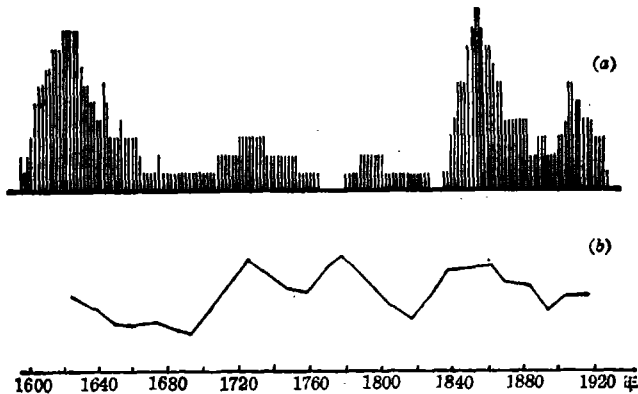


图1. 目视黑子滑动值(a)和近代望远镜观测值(b)的比较。

其实 Eddy 也作过类似的图^[26](图2)，表明 M.M. 期间目视黑子与欧洲望远镜记录高度“符合”。

由上分析可见具有两千多年记载的古代目视黑子记录对于研究古代太阳活动是一份十分有价值的珍贵资料。然而，由于历史的局限性，它本身也存在着一些弱点。若能与同时代的极光、日冕形态、树轮中的同位素 ^{14}C 及其他与太阳活动有关的资料配合使用就将得出置信水平更高的结果。而 Eddy^[26]却认为：“确定突出周期的存在，重要的是树轮同位素碳的客观记录。”“同位素碳资料是检验以黑子数为度量的太阳活动水平的代表。”似乎其他资料都是微

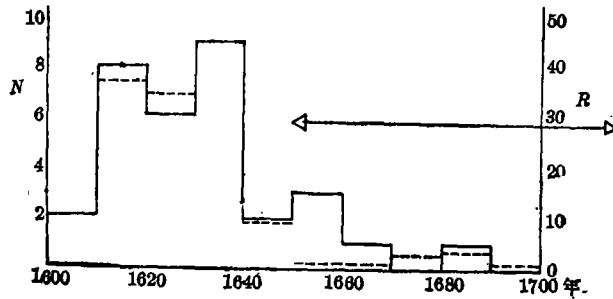


图 2. Eddy收集的目视黑子频数(虚线)和望远镜观测(实线)的比较^[82]

不足道的。同位素 ^{14}C 具有连续性等优点, 它无疑是研究太阳活动盛衰变化的一种有意义的资料。但必须指出: 太阳活动对宇宙线的调制, 宇宙线对 ^{14}C 的产生所起的作用是一个十分复杂的过程, ^{14}C 在高层大气中的变化到地球表面的变化需要 10—50 年的迟滞^[32-34]。用如此间接的、在时间尺度上又如此粗糙的资料作为度量太阳活动水平的主要代表似乎是本末倒置了, 用它来研究太阳活动的 11 年周期更似乎是不可能的。

三、Maunder 极小期的存在

1976 年 Eddy 发表论证 M. M. 期的文章后, 国内多数学者^[5-8]根据我国正史中的古黑子记录和古极光记录对 Eddy 的“在 M. M. 期里太阳活动实际停止了”等观点表示异议, 但多数学者^[5-8]指出 M. M. 期的存在仍然是一客观事实。稍后, 我们^[9]用包括新发掘的方志记录在内的古黑子记录^[25]对古代太阳活动的各种周期进行了分析, 除了得出 11 年周期外, 还得到 61 年和大约 250 年的周期。它们与 Eddy 用 ^{14}C 所得到的 6 个极大期和 6 个极小期(包括 M. M. 期)在公元后的 3 个基本吻合。对公元后 Eddy 没有给出的另外几个极大期和极小期, 我们用当时的年号给予补充命名^[9]。我们认为, M. M. 期是太阳活动 61 年和 250 年周期的共同调制下产生的(图 1), 正是它们的一个极小期。

最近, 我们根据文献[25]、[9]、[26]和[29]所列, 把 1600—1715 年间的全部黑子归纳于表 1。这段时间共记载目视黑子 43 条(笔者认为同条的重复记录只算 1 条), 其中 M. M. 期 11 条, 比文献[10]在 M. M. 期的 6 条增加了 5 条。用该表每 10 年的平均目视黑子数绘制成直方图(图 3)。由图明显看出 17 世纪后半期和 18 世纪初仍然是一个黑子数显著下降的时期。其实, 图 4 及附表^[10]也证明了这段时期黑子显著下降的事实。笔者还以[25]为基础逐步扩大时段的长度求目视黑子每 10 年的平均数。在表 2 所列不同长度的时段里, 1645—1715 年间的黑子平均数仍然是最低的(表 2)。而且时段越往后取, M. M. 期的黑子平均值与该时段的平均值的差距越大。表 2 最后一栏是 M. M. 期的黑子平均数(n)和某时段的黑子平均数(N)的差与该时段黑子平均数(N)的百分比, 即距百分比: $C = (n - N) / N$ 。它表示 M. M. 期的黑子平均数与某时段黑子平均数相差百分之几。

以上进一步说明 M. M. 期存在的客观事实。我们还可以引用一些与太阳活动有关的其他资料来作为佐证。竺可桢^[30]根据物候绘制的中国近五千年气温曲线(图 5)是被公认的中国

表 1 17世纪—18世纪初中国目视黑子记录

序号	日期	资料来源	序号	日期	资料来源
1	1603.4.16	[10][25]	24	1638.3.16	[10]
2	1604.3	[24][9][10][25]	25	1638.9.8	[24]
3	1613.3.30	[24][9][10][25]	26	1638.12.9	[24][9][10][25]
4	1616.9.10—10.10	[9][10]		1638	[24][9]
	1616.10.10	[24][9][10]	27	1639.2.7	[24][9][10][25]
5	1617.1.11	[24][9][10]	28	1639.3.16	[25][10]
6	1617	[24][9][10][25]	29	1639.10.26	[10]
7	1618.4.25—5.23	[24][9][10]	30	1640.4.13	[24]
8	1618.5.24—6.21	[24][9][10]	31	1643.2	[24]
9	1618.6.20—22	[24][9][10][25]	32	1643.6.16—7.15	[24][10]
10	1619.9.10	[28]		1643	[24]
11	1621.5.23	[24][9][10]	33	1647.5	[24][10]
12	1622.5.3	[24][9]	34	1647.7.28	[24][9]
13	1624.3.17	[24][9][10][25]	35	1648年夏	[24]
14	1624.4.16	[10][25]	36	1650.10.25	[10]
	1624.4.25	[24]	37	1655.4.30	[24][9][10]
15	1624.5.26	[24][10][9][25]	38	1656.1.26—4.23	[24][9][10]
16	1625.5.6—8.2	[10]	39	1659.6.12	[24]
17	1625.9.2	[24][9]	40	1665.2.20	[24][9][10]
18	1626.4.26—8.21	[9][10]		1665.2	[24]
19	1630.8.5—	[24]		1665年春	[24]
20	1631.2.25	[24][9][10]	41	1684.3.16—3.18	[9][10]
21	1632	[9]	42	1703.8	[24]
22	1635.2.17—3.18	[24][10]	43	1709	[24][9]
23	1637	[24][9][10]			

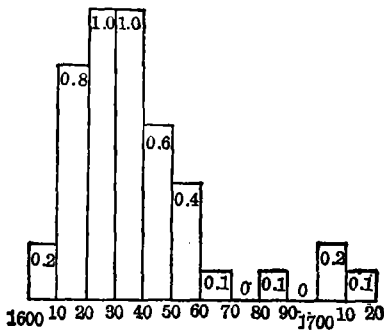


图 3. Maunder 极小期目视黑子频数分布。

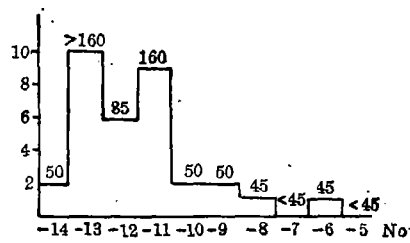


图 4. 黑子记录频次分布^[10]。

古代气候变化的代表。可以明显看出，在 M.M. 期间该曲线突然地显著下降。此外，从祁连山三棵近千年的园柏年轮平均指数十年滑动均值变化曲线^[29](图 6)也可看出 M. M. 期有一个显著下降。看来这些事实并不是与太阳活动无关的孤立事件。

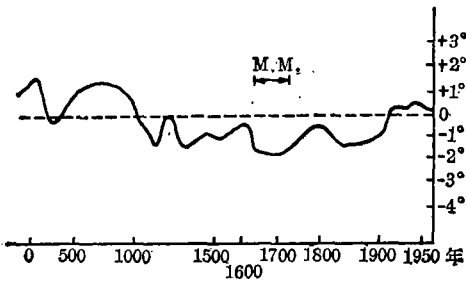
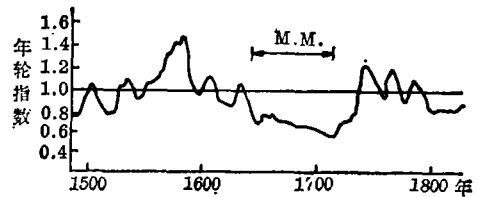
“在 1645—1715 年间的黑子数已经达到神田茂黑子表中的平均水平”的看法^[10]，那是因为只注意到在该时段补充了 6 条方志记录，却忽视了在其他时段也发掘了许许多多的方志记录

附表 17 世纪太阳活动主要参数表^[10]

活动周序号	极小年	极大年	极大相对数平均值
-14		1604	50
-13	1611	1616	>160
-12	1622	1626	85
-11	1634	1639	160
-10	1645	1650	50
-9	1653	1656	50
-8	1661	1665	45
-7	1670	1676	45
-6	1681	1684	45
-5	1690	1695	45
-4	1698		

表 2 M. M. 期与不同长度时段的黑子平均数比较表

时 段	时间长度(年)	黑子总数	每10年平均数	M. M. 期在各时段的距平百分比
1645—1715年	70	11	1.57	
1075—1715年	640	148	2.31	-0.242
1345—1715年	370	98	2.63	-0.403
1510—1715年	205	65	2.73	-0.425
1575—1715年	140	54	3.21	-0.511
1600—1715年	115	43	3.74	-0.577

图 5. 中国五千年气温曲线(部分)^[89]。图 6. 祁连山千年园柏年轮平均指数十年滑动均值^[30]。

而导致的。“只要承认周期性就要否定 M. M. 期”的观点,我们也不敢苟同。这似乎是对 M. M. 期的定义认识不同引起的争执,但由上面的事实显而易见,作为太阳活动低值时期的 M. M. 期是客观存在的。而且 M. M. 期和 11 年周期一样,已被太阳学及地学界广大学者所接受,并应用于日地关系相关研究。我们必须(也只能)抛弃错误的东西,而且必须(也只能)承认正确的东西。

四、M. M. 期的太阳活动规律

Eddy^[1-3]的“在 1645—1715 年间太阳活动实际是停止了”,“太阳活动的 11 年周期只是近

两三百年来才出现的一种暂时现象”等观点已被大多数学者^[5-10]用古代黑子记录和其他与太阳活动有关的资料所否定。徐振韬等用17世纪的目视黑子所作的列线图^[10]；丁有济等用Eddy搜集的M. M. 期的黑子数所作的相关函数图^[7](图7)；罗葆荣等用极光记录所作的频谱分析图^[8](图8)以及我们用包括新发掘的方志记录在内的目视黑子所作的自相关函数图^[9](图9)均表明无论在M. M. 期前还是M. M. 期中均表现出太阳活动一直存在着11年左右的周期。

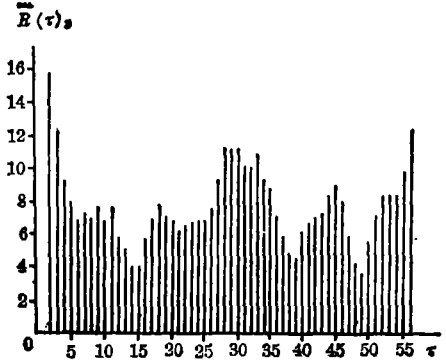


图7. 自相关函数 $\bar{R}(\tau)$ (公元1642—1715年)。

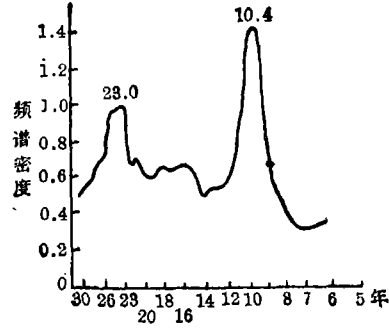


图8. 极光的频谱密度分布。

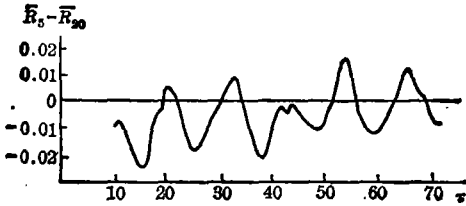


图9. 目视黑子自相关 $(R_s - R_{20})$ 曲线。

Eddy 对上述工作虽未提出有力的反驳，但仍持怀疑态度。他认为，上述结果是“仅仅在黑子数极大年里黑子才增大到足以被看到的假定下，分解这些稀疏的观测时间记录获得的早期黑子周期这一附加信念的飞跃。”“大黑子，甚至是巨大黑子，在11年周期的所有阶段，包括极小期都能被看到。这样，一个肉眼可见的大黑子群的观测只是太阳活动

一般水平的表示，或者仅仅从统计概率的观点看是11年周相的表示。”

必须指出，我们把现代统计方法应用于古代目视黑子记录时并未假定“仅仅在黑子数极大年里”才有目视大黑子群出现，而我们仅仅假定在峰年及其附近能被目视的大黑子出现的几率比在11年周期的其他位相出现的要高得多。这是以现代观测和古黑子记录在各位相上的分布为根据所作的假定。例如在第7—14周期间，不同位相上每年产生的平均目视黑子数为：低值年0.33个/年，上升年0.04个/年，峰值年0.87个/年，下降年0.56个/年。在这个假定下用现代统计方法对古代黑子所作的周期分析正是从统计概率的观点求黑子周期的变化。承认这一点就应该承认M. M. 期及在此之前相当长时间就存在着11年左右的周期的结论是可靠的。

文献[11]用不同的统计方法讨论M. M. 的周期性，使我们开阔了思路。但我们注意到文献[11]的6种计算结果中仍有4种方法得到11年左右的周期。并且，如果对各种方法的修正因子作进一步分析就可能会得到一个肯定的结论。

笔者以表1中所列 M. M. 期中经过补充了的黑子记录作自相关分析, 得到相关函数三年均滑曲线(图10)。由曲线可求得 M. M. 期的平均周期 P 及均方根误差 D :

$$P \pm D = 11.0 \pm 0.82(\text{年})$$

再次证明 M. M. 期中仍然存在着 11 年周期这一基本规律。然而, M. M. 期黑子毕竟稀少, 11 年周期并不是一目了然的。

综上所述可得出下列结论:

1. 中国古代目视黑子记录(包括“方志”记录)具有两千多年的历史, 对于研究古代太阳活动是一份十分有价值的珍贵史料。

2. “Maunder 极小期”无论从黑子记录本身或从与太阳活动有关的其他资料的分析都证明是客观存在的。它可能是受着 60 余年和大约 250 年的长周期的共同调制, 正是这种长周期的一个极小期。

3. Maunder 极小期并不是“太阳活动实际停止了。”它不但仍然活动, 而且仍然显现出太阳活动 11 年周期的基本规律。因此, 太阳活动的 11 年周期并不是近两三百年才出现的暂时现象。这种基本规律在相当长的太阳历史时期里具有一定的连续性和稳定性。

感谢张筑文同志对本文所作的帮助。

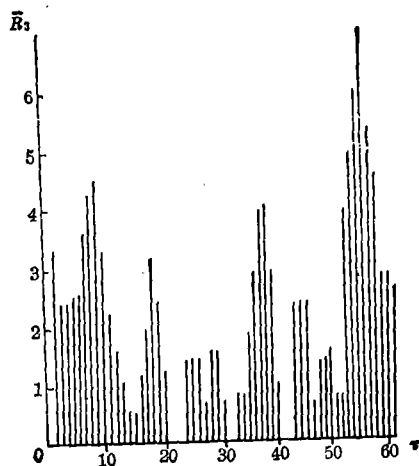


图 10. 1647—1715 年目视黑子自相关函数分布图。

参 考 文 献

- [1] Eddy, J. A., *Science*, 192 (1976), No. 4245, 1189.
- [2] Eddy, J. A., in *Proceeding of the International Symposium on Solar-Terrestrial Physics*, (1976), 958.
- [3] Eddy, J. A., *Climatic Change*, 1 (1977), 173.
- [4] Eddy, J. A., *Scientific American*, 236 (1977), 80.
- [5] 邹仪新, 黄山天体物理会议论文集, 211, (1981).
- [6] 云南天文台古代黑子整理小组, *天文学报*, 17 (1976), 217.
- [7] 丁有济, 张筑文, *科学通报*, 23 (1978), 107.
- [8] 罗葆荣, 李维宝, *科学通报*, 23 (1978), 362.
- [9] 丁有济, 罗葆荣, 冯永明, *天文学报*, 23 (1982), 289.
- [10] 徐振韬, 蒋窈窕, *南京大学学报*, (1979), No.2, 30.
- [11] 常国华, *天体物理学报*, 4 (1984), 286.
- [12] Link, F., *Astron. Astrophys.*, 54 (1977), 857.
- [13] Link, F., *Solar Phys.*, 59 (1978), 175.
- [14] Gleissberg, W., *Sterne und Weltraum*, (1977), 7/8, 229.
- [15] Vitinsky, Yu. I., *Solar Phys.*, 57 (1978), 475.
- [16] Schröder, W., *J. Atm. Terr. Phys.*, 41 (1978), 445.
- [17] Cullen, C., *Nature*, 283 (1980), 427.
- [18] Robinson, L. J., *Sky and Telesc.*, 64 (1982), 234.
- [19] Landsberg, H. E., *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser.*, B28 (1980), 181.
- [20] Stephenson, F. R. and Clark, D.H., in *Applications of Early Astronomical Records*, 87, Adam Hilger,

Bristol (1978).

- [21] Clark, D. H. and Stephenson, F. R., *Quart. J. Roy. Astron. Soc.*, 19 (1978), 387.
 [22] Clark, D. H. and Stephenson, F. R., *Nature*, 284 (1980), 590.
 [23] Eddy, J. A., *Solar Phys.*, 89 (1983), 195.
 [24] 朱文鑫, 天文考古录, 80, (1933).
 [25] 中国古代天象记录总表, 太阳黑子表(待发表).
 [26] Kanda, S., *Proceeding of the Imperial Academy (Tokyo)*, 9 (1933), 293.
 [27] 李竞, 1980年天文学的重要成就, 天文爱好者, (1981), No.2, 16.
 [28] 叶式辉, 天文爱好者, (1978), No.3, 2.
 [29] Wang, C. H., A note on sunspot records from China, in *Proceeding Conference Ancient Sun*, 135, (1980).
 [30] 竺可桢, 中国科学, (1973), No.2, 168.
 [31] 刘光远等, 气候会议资料, (1980).
 [32] Suess, H. E., Secular variations of the cosmic ray produced carbon-14 in the atmosphere and their interpretations, *J. Geophys. Res.*, (1965), No.23, 5937.
 [33] 叶式辉、张柏荣等, 访美考察报告, (1977), 未发表。
 [34] 张家诚等, 气候变迁及其原因, 附录二, p-270, 科学出版社, (1976).

(责任编辑 谢应纯)

The Discussion about Maunder Minimum

Luo Baorong Ding Youji

(Yunnan Observatory, Academia Sinica)

Abstract

In this paper some questions in dispute about Maunder Minimum are discussed. The points of view of the writers are as follows: (1) The naked-eye sunspot records (including Chinese provincial historical records) are very valuable historical data for the study of ancient solar activities; (2) Maunder Minimum is probably a period of lower solar activity, not a period in which solar activity stopped. It is most probably a minimum of a kind of longer cycles; (3) There still exists the basic law of the 11-year Sunspot cycle during the period of Maunder Minimum.