

太阳活动规律研究的概况

陈 彪

太阳物理学中一个重要的研究课题，就是利用太阳表面上出现的黑子数目的多少，来探究总的太阳活动的程度。作为总的太阳活动的指标，用修匀的月平均黑子相对数来表示仍是合理的。本文实际上是介绍历年来

天文工作者利用上述黑子出现多少的变化来分析太阳活动程度的强弱，探讨其总的规律的概况。

由于太阳活动程度的强弱和某些气象、地理现象的涨落有关，因此对于太阳活动规

律性的探索也就为其他有关学科所注意。但若要进一步探寻太阳活动如何影响地球上的一些现象，则必须将日地间物质的状态作深入分析才能作出回答。本文只拟论述太阳活动问题而不在日地关系上作介绍。

以黑子相对修匀月平均值 R 作纵座标，时间为横座标作图，如图 1 甲。可以看出，它们有约 11 年的周期。由 1749 年开始到 1965 年的 216 年间，已经有了 19 个周期。为了方便起见，通常把 1755.2 年到 1766.5 年的那一周称为第 1 周，以下类推，直到 1954.4—1965(?) 的第 19 周。我们可以看到，每周的时间长短和活动程度各

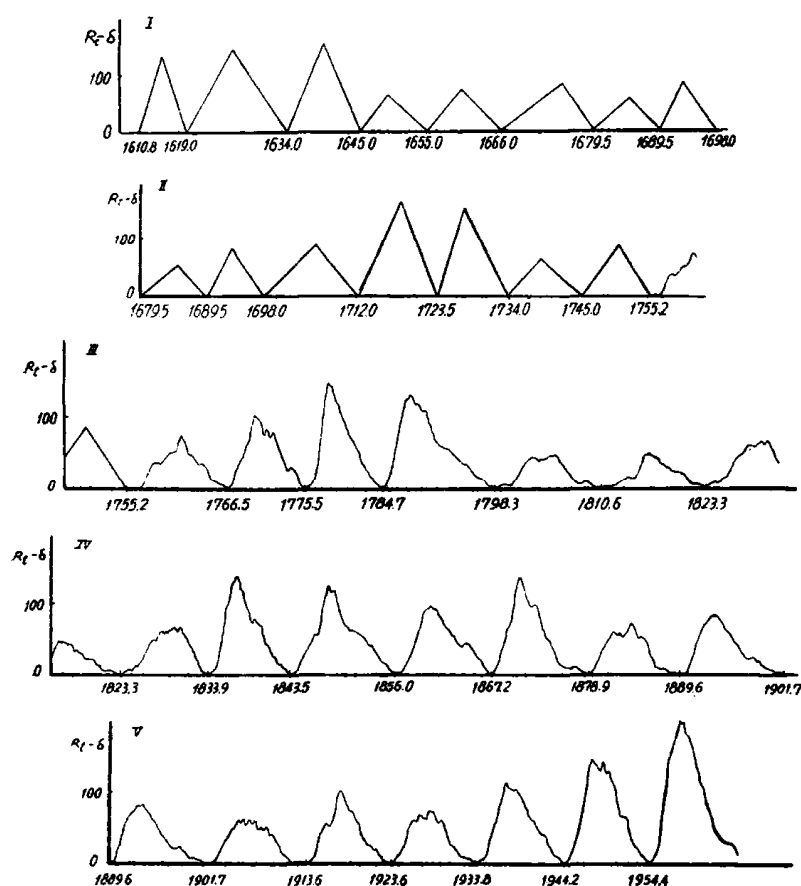


图 1 甲 纵轴 $R_t - \delta$ 中的 δ 是基数，需要减掉；横轴表示时间，单位年份*

有不同。

本世纪初，利用物理光学技术，发现了相邻两周黑子的磁性不同，所以又可以给相邻两周的R值以相反的符号，由此可得图1乙。图1就是迄今为止太阳工作者所能得到的反映太阳活动总趋势的仅有的长期资料。虽然图1尚不能概括太阳活动的各方面细节，但由于太阳活动的许多方面，如耀斑出现的频数、日面活动现象的增减、日冕活动的强弱，都与图1的趋势同步，所以它也是一个可用的活动总指标。

在以下的数节里，我们将分别叙述历年来对图1的各种分析处理的概念和方法以及结果，并作一些讨论。

一 周期的探求和对观测曲线的数学逼近

最早论及太阳活动周期的是希瓦贝(Schwabe H.)^[1]，他在1843年根据当时所能有的资料宣称太阳黑子数有周期为10年左右的变化；1852年吴尔芙(Wolf R.)^[2]

求得了较为准确的11.1年周期。54年之后，舒斯特(Schuster A.)^[3]于1906年，利用1749—1900年的Wolf相对数探求未知周期，得到下述结果：(1)若把1749—1900年的数据统一处理，可得一个肯定的11.125年周期

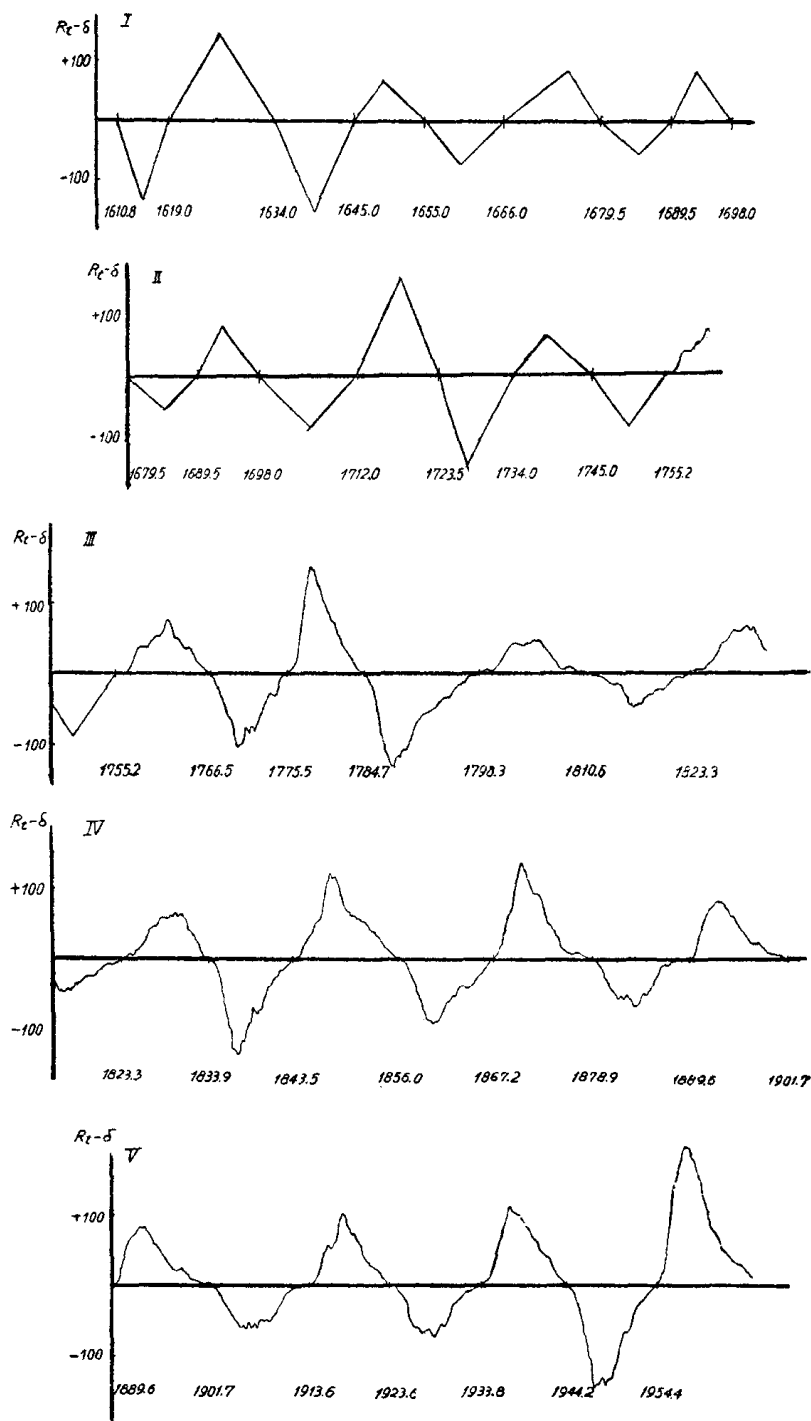


图1乙 说明同图1甲*

* 本图在1852年以前的数据是吴尔夫(Wolf R.)在1852年左右按照他所定的规则整理的。可靠的、逐月的数字直推到1749年。1749年以前只是大致峰、谷年时间和峰值，作参考之用。由于他的整理工作，所以1852年以后，世界各地的观测均按他的规程纪录下来，一直沿用至今。

以及一些可疑的在 10 年左右的周期; (2) 若把 1749—1900 年的数据分成两段[(1749—1826) 和 (1826—1900)] 来处理, 则此两段所给的结果全然不同, 由前段数据, 则得 11.125 年的周期; 根据后段数据则给出了 13.7 及 9.2 年二种周期。

1913 年, 木村(Kimura H.)^[4]利用 1749—1911 年的数据, 第一次设法用三角函数

$$R = \sum_j A_j \sin\left(\frac{2\pi}{T_j} t + H_j\right) \quad (1)$$

来逼近图 1 甲曲线。木村的尝试, 求得了 29 组 (A_j, T_j, H_j) 的数值。他的结果经特纳尔(Turner H. H.)^[5]的探究, 发现(1)式其实是一个以 $T_0 = 156$ 年为基本周期的富立叶展开:

$$R = \sum_j A_j \sin\left(\frac{2\pi j}{T_0} t + H_j\right) \quad (2)$$

(1)式中所有的 T_j 实质均等于 T_0/j , 此中以 $j = 14$ 的振幅 A_j 最大。相应的 $T_j = T_0/j = 11.14$ 年。

此后, 于 1927 年余耳(Yule G. U.)^[6]根据太阳活动是在一基本周期上重迭了扰动而形成的概念, 利用 1753—1920 年数据得到其基本周期为 11.164 年。

为了用数学形式表示周期变化的规律, 欧本海姆建立了下面的表达式^[7]:

$$\begin{aligned} R &= A_0 + A \cos T; \\ T &= \varphi t + \sum x_m \cos(m\phi t - \xi_m) \quad (3) \\ m &= 0, 3, 4, 5, \dots 9. \end{aligned}$$

利用此式, 他求得的基本周期是 11.25 年, 并推得由 1610 年到 1933 年的峰、谷年代和对应峰年的峰值, 所得的年代的 O-C 均方值对峰年和谷年分别为 ± 0.90 年和 ± 1.39 年, 峰年峰值 O-C 均方值为 ± 16.1 。

1939 年安德逊(Anderson C.)^[8]用与(2)

式一样的富立叶级数逼近图 1 乙, 参考了木村和特纳尔的结果, 取 $T_0 = 312$ 年, 展开了更多的项数。1959 年, 参考了第 19 周峰年的特大值, 他又对 T_0 作了修改: $T_0 = 338$ 年^[9]。他的展开式中, 有两个系数特大, 它们对应于 $j = 14$ 和 $j = 19$; 由之得 $T_{14} = 22.5$ 年, $T_{19} = 17.8$ 年。由于这两个系数特大, 所以他认为除了 22.5 年是一个实际周期外, 太阳活动还有另一个 17.8 年的周期。

我们在近年的工作中, 核实了这两个数字^[10]。我们赞同安德逊的观点, 独立地求得此二不可约的周期: $T_1 = 22.4$ 年, $T_2 = 17.8$ 年。

核实了 $T_1 = 22.4$ 年, $T_2 = 17.8$ 年之后, 我们采用了变振幅的正弦曲线来逼近图 1 乙:

$$\begin{aligned} R &= c(t) \sin\left(\frac{2\pi}{T_1} t + \delta_1\right) + \\ &+ b(t) \sin\left(\frac{2\pi}{T_2} t + \delta_2\right) \quad (4) \end{aligned}$$

我们发现 $b(t)$ 也有在 180 年之内重复的趋势, 而通常所认定的 80 年周期, 实际上是 T_1 及 T_2 差拍的结果。

由以上的叙述看来, 利用三角函数展开或其组合来逼近观测曲线, 可以在一定程度上把已有的观测值近似地表出, 并且得到肯定的 22.4(11.2)年的周期, 可能的 17.8(8.9)年的周期和某些在 180 年内重复出现的迹象。但若用上述展开式去预告未来的活动, 则因数据年代有限(216 年), 比它更长的独立周期值无法测得而显得不太可靠, 例如 19 周的高峰值就是未能预告的。

二 周期独立假说和周期相似趋势

上节的结果表明, 对 R 曲线的数学逼近的方式可以很多, 并可以用传统的方法在周

期的数值上作比较符合实际情况的探索,但对于每一周的活动程度,却只能用增加参数的方式来逼近;这样求得的数字上的一致,是不能代表物理上的真实性的。

瓦德迈耳(Waldmeier M.)因此就提出周期独立的假说^[11]。他认为,太阳活动的22(或11)年的周期是存在的,但各周期的活动程度是独立的,所以每一周期活动的强弱不能由以前的历史来判断,因而是不能用周期开始前的活动趋势来预告本周期的活动,只能根据本周期前一阶段的历史来预告本周期后一阶段的活动。

根据这一观念,瓦德迈耳以及其他一些工作者就在用哪些参数能够代表一个周期的活动上作了研究。他本人提出了五个参数,即:修匀月平均相对数峰、谷值 W_M, W_m ; 上升支长度 T_r ; 活动发展速度 V ; 下降支长度 T_f 。

1938年,斯图尔特(Stewart J. Q.)和潘诺夫斯基(Panofsky A. A.)^[12]用

$$R = Ft^a e^{-\beta t} \quad (5)$$

作为描述一个周期内的黑子活动曲线方程,此中 t 为自周期开始时算起的时间, F, a, β 均为参数,每周期均不同。1952年赫沃柯娃(Chvojikova E.)又用^[13]

$$R = \frac{W_M}{2} \left[1 - \cos \frac{2\pi t}{aT + (1-a)t} \right] \quad (5)$$

来表示一周内的黑子活动曲线。此中 W_M 为本周峰值, T 为周期延续时间, a 为参数。用这样的观念和方法,摈弃了太阳活动的连续性概念,只能得到用一周的前一部分的数据来预告本周尚未到来的活动,已知数据愈多,预告准确度愈高,所以,它一般是对下降支有用,对上升支和峰值,往往不能准确预告。

这里显然有需要补救的地方,有人认为,虽然各周活动有强有弱,但不能断然认定各周之间是完全独立的,因为太阳活动是一个重复性的自然现象,总有一些周期的变化趋势是相似的。由图1可以看出,上升快、下降慢的周期就有第2、3、4、8、9、10、11、13、15、17、18、19等周;上升和下降都较平稳的有第1、5、6、7、12、14、16诸周。根据每一周期开始时的上升趋势,来和以前的周期相比,可以估计出本周的活动。

除了单独一周黑子活动曲线的相似之外,我们还发现,可以有几个连续的活动周期的集体相似,我们可称之为相似周期群。例如赫林斯克(Herrinck P.)就认为周期群第1、2、3周和第16、17、18周相似^[14],因而得出第20周活动较弱的结论。但是也有人认为,第1、2、3周应和第17、18、19周相似^[15],因而肯定第20周活动仍应较强。本文作者曾比较了自1610年至今的相似周期群,倾向于后一看法^[16]。

1940年,格莱斯堡(Gleissberg W.)^[17]也认为连续周期之间不是彼此完全无关的,利用它们之间的联系和其中表现出来的长期变化的规律,可以作长期或超长期的预告。他引入下列描述周期的参数:(1)每周峰值 W_M ; (2)活动上升时幅 t_r ,即由相对数为 $\frac{1}{4} W_M$ 上升到 W_M 的时幅,避免了周期开始时的不确定性;(3)低活动时幅 t_f ,即由前一周期下降支 $\frac{1}{4} W'_M$ 起到本周期上升支 $\frac{1}{4} W_M$ 止的时间;(4)活动下降时幅 t_d ,即由峰值 W_M 下降到 $\frac{1}{4} W_M$ 的时幅。他将这些参数每连续四周取平均值,发现这些平均值表现出有80—90年的变化规律。他利用这些规律用一些统计方法探求了预告未来周期的方法。

由以上叙述看来,当我们脱离了用连续的三角函数逼近观测曲线的作法之后,应该既不否定太阳活动的周期间连贯性,也考虑到每一周期的特殊情形,才能在周期独立假说和周期相似趋势之间作合理的说明,并利用已知事实作进一步的研究。

三 本课题的研究前景

迄今为止,研究总的太阳活动趋势的方式很多,但肯定的结果,除了大约 22.4(11.2)年的周期以外,就没有公认的了。例如,对于未来周期的活动强度预告,就因为对于周期活动强度的解释尚未完善而无法统一;又例如,对于未来周期上升趋势的预告,也因为对于周期本身研究得不透彻而无法一致。追究原因,可能有两方面需要考虑:

第一方面,是资料问题。我们用以分析太阳总的活动趋势的是黑子相对数。有人认为,它并不是一个代表太阳活动总趋势的好标志^[18]。因为,实质上黑子相对数是黑子数和黑子寿命的乘积。采用了黑子相对数就等于把反映太阳活动总趋势的黑子数和反映产生黑子的局部地区的特点的黑子寿命混合在一起讨论,因此就把太阳总的活动规律性和局部活动区的活动随机性掺合在一起了。这正是我们在黑子相对数曲线上看到的规律性(22.4 年平均周期)和随机性(活动强度和周期的特殊情况)的双重表现。因此,有人就从黑子群数而不从相对数的角度出发来作太阳活动总趋势的研究^[18]。但是也可以争辩说,黑子群寿命实质上是黑子所在活动区的活动程度的反映,它也是反映活动的总趋势

的一个指标。因此全面的活动趋势应该是活动的数量、黑子数和活动的质量,黑子寿命的乘积,恰恰应该是黑子相对数。

第二方面是目前尚缺乏理论研究的合理途径,因此尚不能指引对观测数据的分析。一般都知道,太阳活动是太阳表面下一个不深的层次:对流层的运动在太阳表面上的反映。由于对流层的运动有其总的趋势,也有局部的“漩涡”,所以对它的研究也应从规律性和随机性两方面着手。迄今为止,研究太阳活动规律理论的,多将注意力放在描绘出一种合理的对流层流动模型,力图推出 22 年周期的数值,而忽略了活动区强度和寿命的研究,因此不能对观测上出现的数据处理的方向问题指出合理的途径。

- [1] Schwabe H., *Astr. Nach.*, **21**, 233 (1843).
- [2] Wolf R., *Vier. Natur. Gesel. Zür.*, 252, 1859.
- [3] Schuster A., *Phil. Trans. Roy. Soc. A.*, **206**, 69 (1906).
- [4] Kimura H., *M.N.*, **73**, 543 (1913).
- [5] Turner H. H., *M.N.*, **73**, 549 (1913).
- [6] Yule G. U., *Phil. Trans. Roy. Soc. A.*, **226**, 267 (1926).
- [7] Oppenheim S., *Astr. Nach.*, **232**, 369 (1928).
- [8] Anderson C., *Terr. Mag. and Atm. Elec.*, **44**, 175 (1939).
- [9] Anderson C., *JGR*, **54**, 445 (1959).
- [10] 陈彪、印春霖, *天文学报*, **13**, 89 (1965).
- [11] Waldmeier M., *Astr. Nach.*, **259**, No. 6208, 1936.
- [12] Stewart J. Q. and Panofsky A. A., *Ap. J.*, **88**, 385 (1938).
- [13] Chvojková E., *B.A.C.*, **3**, No. 2, 1952.
- [14] Herrinck P., *Nature*, **184**, 51 (1959).
- [13] Minis C. M., *Nature*, **186**, 462 (1960).
- [16] 陈彪, *天文学报*, **10**, 1 (1962).
- [17] Gleissberg W., *Obs.*, **63**, No. 795, 1940; *Ap. J.* **96**, 234 (1942).
- [18] Kopécky M., *Ann. de. Ap.*, **24**, 64 (1961).