

# 太阳黑子的11年周期与超长期气候预报

北京大学地球物理系统计预报组

目前在做超长期气候预报时，人们经常用到太阳黑子。为了今后工作方便，我们在这里把有关太阳黑子的资料及11年周期的分析方法，做一个扼要的介绍。

关于太阳黑子最完整的记录是瓦尔德梅尔整理的苏黎士天文台1610—1960年的观测结果<sup>[1]</sup>。其中1749年以后有逐月的相对黑子数。1700—1748年仅有年平均相对黑子数。1610—1699年期间只有太阳黑子11年周期的最高(M)及最低(m)出现的时间。此外，美国地球物理研究杂志<sup>[2]</sup>按月公布苏黎士天文台的初步黑子数。每年初公布上一年经过最后核算的黑子

表1 年平均相对黑子数

年	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1700	5	11	16	23	36	58	29	20	10	8
1710	3	0	0	2	11	27	47	63	60	39
1720	28	26	22	11	21	40	78	122	103	73
1730	47	35	11	5	16	34	70	81	111	101
1740	73	40	20	16	5	11	22	40	60	80.9
1750	83.4	47.7	47.8	30.7	12.2	9.6	10.2	32.4	47.6	54.0
1760	62.9	85.9	61.2	45.1	36.4	20.9	11.4	37.8	69.8	106.1
1770	100.8	81.6	66.5	34.8	30.6	7.0	19.8	92.5	154.4	125.9
1780	84.8	68.1	38.5	22.8	10.2	24.1	82.9	132.0	130.9	118.1
1790	89.9	66.6	60.0	46.9	41.0	21.3	16.0	6.4	4.1	6.8
1800	14.5	34.0	45.0	43.1	47.5	42.2	28.1	10.1	8.1	2.5
1810	0.0	1.4	5.0	12.2	13.9	35.4	45.8	41.1	30.1	23.9
1820	15.6	6.6	4.0	1.8	8.5	16.6	36.3	49.6	64.2	67.0
1830	70.9	47.8	27.5	8.5	13.2	56.9	121.5	138.3	103.2	85.7
1840	64.6	36.7	24.2	10.7	15.0	40.1	61.5	98.5	124.7	96.3
1850	66.6	64.5	54.1	39.0	20.6	6.7	4.3	22.7	54.8	93.8
1860	95.8	77.2	59.1	44.0	47.0	30.5	16.3	7.3	37.6	74.0
1870	139.0	111.2	101.6	66.2	44.7	17.0	11.3	12.4	3.4	6.0
1880	32.3	54.3	59.7	63.7	63.5	52.2	25.4	13.1	6.8	6.3
1890	7.1	35.6	73.0	85.1	78.0	64.0	41.8	26.2	26.7	12.1
1900	9.5	2.7	5.0	24.4	42.0	63.5	53.8	62.0	48.5	43.9
1910	18.6	5.7	3.6	1.4	9.6	47.4	57.1	103.9	80.6	63.6
1920	37.6	26.1	14.2	5.8	16.7	44.3	63.9	69.0	77.8	64.9
1930	35.7	21.2	11.1	5.7	8.7	36.1	79.7	114.4	109.6	88.8
1940	67.8	47.5	30.6	16.3	9.6	33.2	92.6	151.6	136.3	134.7
1950	83.9	69.4	31.5	13.9	4.4	38.0	141.7	190.2	184.8	159.0
1960	112.3	53.9	37.5	27.9	10.2	15.1	47.0	93.8	105.9	105.5
1970	104.5	66.6	68.9							

数，称为最后黑子数。但1968年—1969年期间该刊曾一度停止公布。这段时间可以用美国环境科学服务管理局的“太阳—地球物理资料”[3]。因为这三种资料都是苏黎士天文台的最后黑子数。所以资料前后是连贯的、统一的。

表1为上述三种资料汇集的1700—1972年共273年年平均相对黑子数。1749年之前是比较粗略的，故只有整数位。表中左边第一列为每10年的第一年年代，每一横行的数字即为从这一年开始的10年的相对黑子数。表中第一行的数字表示10年中的第几年。如1700年为5，1701年为11，1702年为16等等。

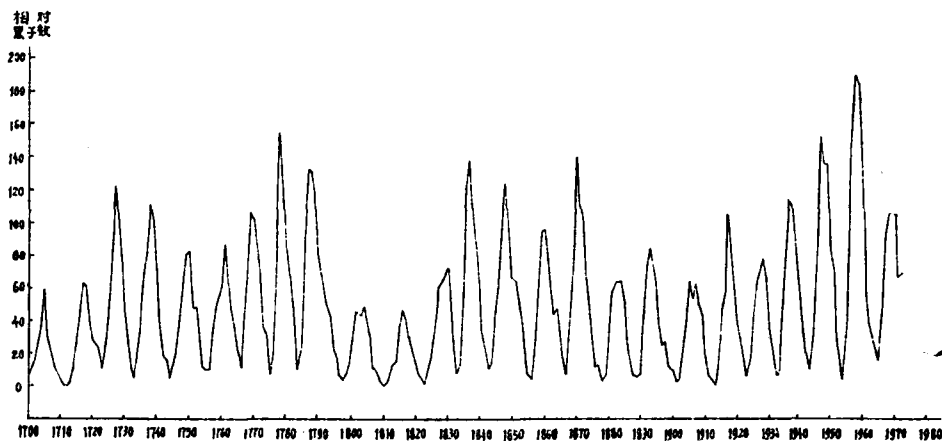


图1 年平均相对黑子数

表2 11年周期最高最低及长度(单位均为年)

周	最低	最高	上升	下降	周期
	1,610.8	1,615.5	4.7	3.5	8.2
	1,619.0	1,626.0	7.0	8.0	15.0
	1,634.0	1,639.5	5.5	5.5	11.0
	1,645.0	1,649.0	4.0	6.0	10.0
	1,655.0	1,660.0	5.0	6.0	11.0
	1,666.0	1,675.0	9.0	4.5	13.5
	1,679.5	1,685.0	5.5	4.5	10.0
	1,689.5	1,693.0	3.5	5.0	8.5
	1,698.0	1,705.5	7.5	6.5	14.0
	1,712.0	1,718.2	6.2	5.3	11.5
	1,723.5	1,727.5	4.0	6.5	10.5
	1,734.0	1,738.7	4.7	6.3	11.0
	1,745.0	1,750.3	5.3	4.9	10.2
1	1,755.2	1,761.5	6.3	5.0	11.3
2	1,766.5	1,769.7	3.2	5.8	9.0
3	1,775.5	1,778.4	2.9	6.3	9.2
4	1,784.7	1,788.1	3.4	10.2	13.6
5	1,798.3	1,805.2	6.9	5.4	12.3
6	1,810.6	1,816.4	5.8	6.9	12.7
7	1,823.3	1,829.9	6.6	4.0	10.6
8	1,833.9	1,837.2	3.3	6.3	9.6
9	1,843.5	1,848.1	4.6	7.9	12.5
10	1,856.0	1,860.1	4.1	7.1	11.2
11	1,867.2	1,870.6	3.4	8.3	11.7
12	1,878.9	1,883.9	5.0	5.7	10.7
13	1,889.6	1,894.1	4.5	7.6	12.1
14	1,901.7	1,907.0	5.3	6.6	11.9
15	1,913.6	1,917.6	4.0	6.0	10.0
16	1,923.6	1,928.4	4.8	5.4	10.2
17	1,933.8	1,937.4	3.6	6.8	10.4
18	1,944.2	1,947.5	3.3	6.8	10.1
19	1,954.3	1,957.9	3.6	6.9	10.5
20	1,964.8	1,968.9	4.1	(7.1)	(11.2)

图1为年平均相对黑子数的曲线。从这曲线可以看出，相对黑子数的11年左右周期性变化是很明显的。但是周期长度并不总是11年，有时长些，有时短些，每个周期的M值也不同。

表2为自1610年到目前的33个11年周期相对黑子数的m值与M值出现的时间(以年为单位，小数点表示点几年而不是月)。这时间是根据月平均相对黑子数的滑动平均值确定的。平均公式如下：

$$\bar{R}_0 = \frac{R_{-6} + R_{+6} + 2 \sum_{-5}^5 R_i}{24}$$

$\bar{R}_0$ 为某个月的滑动平均相对黑子数， $R_i$ 为观测的月平均相对黑子数。这样确定了一系列的m值与M值。一般按黑子活动的特点取m为一个周期的开始。由于1749年之后才有准确的月相对黑子数记录，所以把这以后的第一个m值即1755年开始的太阳活动11年周期定为第1周。以后每个m做为一个新的周期，到目前为止

正是第 20 周的末尾。

每个周期之中自  $m$  到  $M$  太阳黑子逐渐增加称为升段，自  $M$  值到下一个  $m$  值，太阳黑子逐渐减少，称为降段。表 2 中给出每个周期的升、降段的长度及周期长度。

表 3 是不同长度升段及降段出现的频次分布。在过去的 33 个周期中升段较短，3—5 年的居多，平均为 4.9 年。在 32 个降段之中 5—7 年的占了大约三分之二，平均为 6.2 年。第 20 周的降段还未结束，括弧中的数字是估计值，没有统计在内。

表 3 太阳活动 11 年周期升段与降段的长度频次分布

长 度 (年)	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	5.1	5.6	6.1	6.6	7.1	7.6	8.1	8.6	9.1	9.6	10.1
	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5
升 段	1	6	5	3	6	4	1	2	3	1	0	0	1	0	0	0
降 段	0	1	1	2	3	4	5	5	5	1	3	1	0	0	0	1

表 4 1610 年以来 33 个太阳活动 11 年周期长度频次分布

长 度 (年)	8.1	8.6	9.1	9.6	10.1	10.6	11.1	11.6	12.1	12.6	13.1	13.6	14.1	14.6
	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0
频 次	2	1	1	4	6	5	3	2	3	1	1	2	0	1

表 4 为不同长度周期出现次数，可见 10—11 年最多。但最短的只有 8 年多，最长的有 15 年，几乎相差一倍，可见变化是很大的。平均为 11.1 年即 11 年周期。第 21 周估计在 1976 年开始，依此估计第 20 周长 11.2 年，在表 2 中用括弧括出，同样求平均值及做表 4 时均未统计在内。

由于 11 年周期有这样大的变化，所以在寻求与大气环流及气候的关系时，一般不用周期分析的方法，而用排表的方法<sup>[4][5]</sup>。这方法的原理是把  $m$  与  $M$  年对准。但是讨论气候振动多以年为单位而从图 1 上可以看到有时年平均相对黑子数 11 年周期有双峰或偏峰现象。如第 14 周中 1905 年相对黑子数已达到最高 63.5，而且 1906 年已下降到 53.8，但 1907 年又回升到 62.0。又如最近的第 20 周，1968 年为 105.9，绝对值最大，而 1969 年为 105.5 比它略小。并且 1970 年仍为 104.5，同时 1967 年则比较小，为 93.8。这样以 1969 年为最高年似乎更合适。因此采用 3 年加权滑动平均来决定最高年，即：

$$[R_0] = \frac{R_{-1} + 2R_0 + R_1}{4}$$

$m$  年则仍按国际规定的每个周期开始年或黑子数绝对最少的年。 $m$  与  $M$  之间，即升段记为  $m+1, m+2, M-2, M-1$  年。 $M$  与  $m$  之间，即降段记为  $M+1, M+2, M+3, m-3, m-2, m-1$ 。升段与降段年数不同是考虑相对黑子数 11 年变化的特点。具体那一年应排在何位置除依顺序排列之外，考虑该年相对黑子数的大小。凡黑子数大于本周期平均的排在  $M$  附近，即自  $M-2$  到  $M+3$ 。凡黑子数小于本周期平均的排在  $m$  前后，即  $m-3$  到  $m+2$ 。但每个周期长度不同，故有的位置排了两年，有的位置则空缺着。1610 年以来的 33 个周期排列如表 5。

表5 太阳活动11年周期的排列

周	m	+1	+2	-2	-1	M	+1	+2	+3	-3	-2	-1	m	
	1610	1611	1612	1613	1614	1615	1616					1617	1618	1619
	1619	1620	1621/1622	1623/ 1624	1625	1626	1627	1628	1629	1630/1631	1632	1633	1634	
	1634	1635	1636	1637	1638	1639	1640	1641		1642	1643	1644	1645	
	1645	1646	1647		1648	1649	1650	1651		1652	1653	1654	1655	
	1655	1656	1657	1658	1659	1660	1661	1662		1663	1664	1665	1666	
	1666	1667/1668	1669/1670	1671/ 1672	1673/ 1674	1675	1676				1677	1678	1679	
	1679	1680	1681/1682	1683	1684	1685	1686				1687	1688	1689	
	1689	1690	1691		1692	1693	1694	1695			1696	1697	1698	
	1698	1699/1700	1701/1702	1703	1704	1705	1706	1707		1708	1709	1710	1711	
	1711	1712/1713	1714/1715		1716	1717	1718	1719		1720	1721	1722	1723	
	1723	1724		1725	1726	1727	1728	1729		1730	1731	1732	1733	
	1733	1734	1735	1736	1737	1738	1739	1740		1741	1742	1743	1744	
	1744	1745	1746/1747		1748	1749	1750	1751	1752		1753	1754	1755	
1	1755	1756	1757	1758/ 1759	1760	1761	1762	1763			1764	1765	1766	
2	1766	1767		1768	1769	1770	1771	1772			1773	1774	1775	
3	1775	1776			1777	1778	1779	1780	1781		1782	1783	1784	
4	1784	1785		1786	1787	1788	1789	1790	1791/ 1792	1793/1794	1795/ 1796	1797	1798	
5	1798	1799	1800	1801	1802	1803	1804	1805	1806	1807	1808	1809	1810	
6	1810	1811/1812	1813/1814		1815	1816	1817	1818	1819	1820	1821	1822	1823	
7	1823	1824	1825	1826/ 1827	1828	1829	1830	1831				1832	1833	
8	1833	1834	1835		1836	1837	1838	1839	1840		1841	1842	1843	
9	1843	1844	1845	1846	1847	1848	1849	1850	1851/ 1852	1853	1854	1855	1856	
10	1856	1857		1858	1859	1860	1861	1862		1863/1864	1865	1866	1867	
11	1867	1868			1869	1870	1871	1872	1873	1874/1875	1876	1877	1878	
12	1878	1879		1880/ 1881	1882	1883	1884	1885		1886	1887	1888	1889	
13	1889	1890	1891		1892	1893	1894	1895	1896	1897/1898	1899	1900	1901	
14	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	
15	1913	1914		1915	1916	1917	1918	1919		1920	1921	1922	1923	
16	1923	1924		1925/ 1926	1927	1928	1929			1930	1931	1932	1933	
17	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940		1941	1942	1943	1944	
18	1944	1945		1946	1947	1948	1949	1950	1951		1952	1953	1954	
19	1954	1955	1956		1957	1958	1959	1960		1961	1962	1963	1964	
20	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	(1973)	(1974)	(1975)	(1976)	
21	(1976)	(1977)	(1978)	(1979)	(1980)	(1981)								

在寻找气候要素与 11 年周期的关系时, 该要素的值按表 5 排列, 如果在那一列有比较集中出现某种特征的趋势, 如偏冷的多或偏涝的多, 即可在预报中参考。

例如北京的汛期降水量, 在  $M$ 、 $M+1$ 、 $m$  及  $m+1$  年较常出现偏多的年<sup>[6]</sup>。在 20 个太阳活动周期之中属于这 4 种年的共有 81 年。其中 1 级(多雨) 28 次, 2 级(正常) 39 次, 3 级 14 次。为了检查这个结果有没有统计意义, 采用  $\chi^2$  检验。把上述频次分布与期望频次比较, 按下式计算  $\chi^2$  值。

$$\chi^2 = \sum \frac{d^2}{E}$$

$d$  为每一级的期望频次  $E$  与子样频次的差。由于 1—3 级的气候概率为 25%、48% 及 27%, 所以 1—3 级的  $E$  分别为 20、39 及 22。显然  $d$  为 8、0、-8。按上式算出  $\chi^2$  值为 6.11。超过了自由度为 2 时 5% 的信度要求 5.99。由此可以得到结论: 这四种年的 1—3 级这种频次分布是与气候频率有显著差异的。这差异就是出现多雨的机会多, 而出现少雨的机会少。因此在做超长期预报时可以考虑这个特点。但要注意这并不意味着凡是这 4 种年都出现 1 级。实际上过去的 81 个这样的年中就有 14 次少雨, 占 17%。而是说这四种年, 即处于太阳活动的这个时期出现多雨的机会比气候概率大。

但是不管我们找到的要素与太阳活动的关系如何, 要做气候预报首先就要预报太阳活动。最主要的就是要预报  $m$  与  $M$  出现的时间。关于太阳黑子的预报国外做的不少, 国内也有所尝试<sup>[7-9]</sup>。方法几乎全是统计性的。主要根据 11 年周期的特点, 同时考虑 22 年的太阳磁周以及世纪周期或更长的周期。但是至今太阳黑子的预报并不十分成功。例如按文献<sup>[9]</sup>在 1965 年预报  $M$  将在 1968 前后出现, 误差不很大。但最高值报 140 则过大了。而按文献<sup>[8]</sup>最高值报 110 与实况很接近, 但出现时间则差的较多。国外对 21 周以至 24 周的预报分歧也很大。特别是太阳活动, 前面报错了就直接影响后面。所以时间愈长愈不好报。目前看来报半个周期, 即至多 3—5 年还稍好, 再长时间误差就太大了。至于第 21 周, 大多数作者认为将于 1976 年前后开始。而第 21 周的  $M$  比较不好统一。考虑到目前太阳活动正是长期趋势的减弱阶段, 11 年周期长度较大。所以 21 周的  $M$  大约要到 80 年代如 1981 或 1982 年才会出现。所以表 5 中暂时把 1976 年排为  $m$ , 1981 年排为  $M$ , 都用括弧标出。

至于逐月的黑子预报, 在文献<sup>[3]</sup>中每个月发布订正的将来 2—3 年太阳黑子预报。表 6 为了应用方便给出近 22 年的逐月相对黑子数, 以及 1973 年 3 月发布的 1973 年 3 月—1975 年 2 月的相对黑子数, 1973 年 1—2 月为初步观测值。所有的预报值均用括弧括出。

最后要说明, 关于太阳活动的预报应专门进行研究, 这里不过是对一些作者的预报进行了一些综合分析, 以后还需要不断订正。同时关于排表的方法, 也还可以进行各种研究, 寻找更合适的排表方法或其它方法, 如何进行统计检验也需进一步探讨。以上只是提供一些线索供大家讨论。同时, 如果用单月的要素, 那末用表 5 就不合适了。应该用该月太阳黑子数重新排表。

表6 近22年逐月相对黑子数

年\月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1951	59.9	59.9	55.9	92.9	108.5	100.6	61.5	61.0	83.1	51.6	52.4	45.8
1952	40.7	22.7	22.0	29.1	23.4	36.4	39.3	54.9	28.2	23.8	22.1	34.3
1953	26.5	3.9	10.0	27.8	12.5	21.8	8.6	23.5	19.3	8.2	1.6	2.5
1954	0.2	0.5	10.9	1.8	0.8	0.2	4.8	8.4	1.5	7.0	9.2	7.6
1955	23.1	20.8	4.9	11.3	28.9	31.7	26.7	40.7	42.7	58.5	89.2	76.9
1956	73.6	124.0	118.4	110.7	136.6	116.6	129.1	169.6	173.2	155.3	201.3	192.1
1957	165.0	130.2	157.4	175.2	164.6	200.7	187.2	158.0	235.8	253.8	210.9	239.4
1958	202.5	164.9	190.7	196.0	175.3	171.5	191.4	200.2	201.2	181.5	152.3	187.6
1959	217.4	143.1	185.7	163.3	172.0	168.7	149.6	199.6	145.2	111.4	124.0	125.0
1960	146.3	106.0	102.2	122.0	119.6	110.2	121.7	134.1	127.2	82.8	89.6	85.6
1961	57.9	46.1	53.0	61.4	51.0	77.4	70.2	55.8	63.6	37.7	32.6	39.9
1962	38.7	50.3	45.6	46.4	43.7	42.0	21.8	21.8	51.3	39.5	26.9	23.2
1963	19.8	24.4	17.1	29.3	43.0	35.9	19.6	33.2	38.8	35.3	23.4	14.9
1964	15.3	17.7	16.5	8.6	9.5	9.1	3.1	9.3	4.7	6.1	7.4	15.1
1965	17.5	14.2	11.7	6.8	24.1	15.9	11.9	8.9	16.8	20.1	15.8	17.0
1966	28.2	24.4	25.3	48.7	45.3	47.7	56.7	51.2	50.2	57.2	57.2	70.4
1967	110.9	93.6	111.8	69.5	86.5	67.3	91.5	107.2	76.8	88.2	94.3	126.4
1968	121.8	111.9	92.2	81.2	127.2	110.3	96.1	109.3	117.2	107.7	86.0	109.8
1969	104.4	120.5	135.8	106.8	120.0	106.0	96.8	98.0	91.3	95.7	93.5	97.9
1970	111.5	127.8	102.9	109.5	127.5	106.8	112.5	93.0	99.5	86.6	95.2	83.5
1971	91.3	79.0	60.7	71.8	57.5	49.8	81.0	61.4	50.2	51.7	63.2	82.2
1972	61.5	88.4	80.1	63.2	80.5	88.0	76.5	76.8	64.0	61.3	41.6	45.3
1973	42.2	42.1	(59.3)	(57.1)	(55.4)	(53.3)	(51.6)	(50.7)	(49.0)	(46.4)	(43.8)	(41.6)
1974	(40.0)	(38.8)	(37.8)	(36.8)	(36.0)	(34.8)	(33.2)	(31.2)	(28.9)	(26.8)	(24.7)	(23.1)
1975	(21.9)	(20.3)										

## 参 考 文 献

- [1] Waldmeier the Sunspot-Activity in the years 1610—1960. Z.S. 1961.
- [2] J. Geophys. Res.
- [3] Solar-Geophysical data, U. S. Department of Commerce, Boulder, Colorado, U. S. A.
- [4] Baur, F., Physikalisch-statistische Regeln als Grundlage für Wetter- und Witterungsvorhersage, Frankfurt, 1. 1956.
- [5] Müller-Annex H. über die Schwankungen der Zonal-Zirkulation, Teil 2, Die Zonal-Zirkulation und ihre Beziehungen zu den Sonnenflecken-Relativzahlen und der Solarkonstante. Meteor. Rdsch., 13, 172—178, 1960.
- [6] 大气环流与气候的异常及其展望, 北京大学地球物理系统计预报组, 《气候异常座谈会文件》1973年6月。
- [7] 陈彪, 论太阳活动的规律, 天文学报, 第10卷第1期, 1962年。
- [8] 郭权世, 黑子相对数的经验公式, 天文学报, 第11卷, 第1期, 1963年。
- [9] 陈彪、印春霖, 关于太阳活动周期一相对数曲线的一种数学表达式, 天文学报, 第13卷, 第1期, 1965年。