

太阳活动预报简论

王家龙

(中国科学院北京天文台)

张柏荣

(中国科学院云南天文台)

提 要

本文对太阳活动预报的目的、方法以及预报的现状和发展趋势作了简评,特别对太阳活动的长期、中期和短期预报作了论述。文章最后总结了各类太阳活动预报面临的改进问题,并简单讨论了太阳活动预报和空间环境服务组织的工作问题。

一、引 言

自1928年G. Ferrie在法国开始做太阳活动和地球物理资料的日常广播服务以来,随着人类对无线电通讯的广泛应用和日地关系研究的开展,特别是随着近二十多年人类对日地空间的开发利用,太阳活动预报已经逐步发展成为一种具有相对独立的研究特征和用途日益扩大的太阳服务工作。

观测表明,地磁活动和气象、水文等方面都有与太阳黑子活动相关联的变化。爆发性的太阳活动,如太阳耀斑,对地球环境的影响也已逐渐为人们所熟知。太阳活动影响着人类对日地空间的开发,它能够改变人造卫星的轨道、缩短人造卫星的寿命,损伤宇航人员及损毁飞行器上的装备,如传感器和计算机。太阳活动对通讯和导航等的影响在生产和国防上可能带来的损失是显而易见的。另一方面,太阳活动对人类生活环境可能产生的影响也是人们普遍关注的一个问题。

常规的太阳活动预报主要服务于地球空间环境和地球物理现象预报,也服务于相应的研究工作。因此,世界上不同的预报组织做预报工作的方式和发布的预报内容不尽相同。

虽然在国内外还没有专门的杂志介绍太阳活动预报,许多有关的文章或报告零散地发表于各种期刊中,但是由于日地预报的重要性与日俱增,国际上专门召开过几次大型日地预报讨论会。作为会议内容的反映,于1972、1979—1980年和1986年出版的三个专集^[1-3],包含了大量的预报论文。这三个文集的内容,大体上反映了近二十多年来太阳活动预报工作和研究的进程。

本文对太阳活动预报的分类、预报方法、效果及预报工作现状和发展趋势作概括性介绍和评论。

国家自然科学基金及科学院太阳峰年基金资助课题。

1989年6月27日收到。

1989年8月27日收到修改稿。

二、太阳活动预报的分类、方法和简评

对于太阳活动预报可以根据它的方法、对象等作种种分类,较常用的是按预报的时间提前量来分类预报。按预报提前时间的长或短可分为长期、中期和短期预报等三类。在相邻的两类之间没有公认的严格界限。一般认为,长期预报是指提前量为一年或几年以上至几十年或更长时间的预报,中期预报是指提前量为半个或一个太阳自转周以上至几个月的预报,而短期预报是指提前量为几天或更短至几十分钟的预报。太阳活动预报的这三种分类,主要是依据太阳上各种活动过程的时间尺度,预报技术方法的差别以及预报使用者的工作要求。

1. 太阳活动的长期预报

主要预报内容是太阳黑子数的长期变化,特别是黑子数的太阳周变化。黑子数或称黑子相对数虽然是一个缺乏物理意义的统计量,但是由于它已有二百多年的观测历史,积累的资料多而完整^[4],作为一个统计量它能清楚地表征太阳活动的周期性^[5],受到了广泛的重视。下面我们吧太阳黑子周或更长期的黑子活动的预报按其方法分为四种叙述。

(1) 时间序列法:这种方法将黑子数作为时间的函数进行统计预报,其中比较典型的是把黑子数的观测值或某种平滑值看成一个非平稳随机时间序列^[6-8]。为研究太阳黑子活动的周期性,使用了包括古代极光及黑子目视记录的历史资料。至今已发现太阳黑子活动具有 11 年、22 年、80 年左右以及 200 年左右的周期^[9-12]。

与上述方法相类似的是时间曲线拟合法。Wilson^[13]曾提出长短太阳黑子周的概念,他用三条正弦曲线相加来拟合黑子数曲线,外推预报值。也有的作者用其他曲线或多条线回归法预报黑子数^[14,15],布鲁塞尔黑子指数中心则用一种简单易行的规范曲线法做预报^[16]。

(2) 活动周参量法:此法是利用不同活动周或活动周内部各参量,如极值、上升或下降段的时间长度之间的经验关系做预报。主要预测未来太阳周黑子相对数极大值及其时间位置。这是长期太阳活动预报的重点工作之一。这种预报所使用的经验公式,多是由概率统计法(如文献[17-19])和相关分析法(如文献[20, 21])所得到的。在文献[20]中,作者引入高值周与低值周的概念,对不同的周使用不同的预报公式。在文献[21]中,作者对奇数和偶数周分别给出预报方程。

另一种利用太阳活动周内部性质之间关系的预报方法可以称为太阳活动现象先兆法。此法是基于这样的认识,即太阳活动实际上主要是磁活动,强的中低纬磁场活动必然是由太阳周开始时出现在极区或高纬的弱磁场或弱磁场的某种活动形式演化来的。因此,根据极小期的某种测量,如极区光斑的数目、新周黑子的纬度、极区磁场强度等,应能预报极大期黑子活动情况。文献[22]曾用下式做太阳周黑子数极大值预报。

$$R_m = 110 |B|$$

其中 B 为极小期极区磁场强度, R_m 为黑子数极大值。

(3) 地球物理现象先兆法:此法利用极小期或太阳周下降期的地球物理量的测量来预报下一个太阳周黑子数极大值。例如, Kane^[23]在 1987 年用 21 周地磁指数平滑极小值预报第 22 周黑子数,极大年均值为 185 ± 40 。这个预报值可能与实际值很相近,但预报提前量不

多。

在地球物理先兆法中, 值得特别提到的是异常磁静日法^[24]。研究发现, 异常磁静日(AQD)事件的幅度与静日 $S_q(H)$ 幅度之差、AQD 事件的平均幅度及 AQD 数目的变化率在极小期的数值与其后的活动周黑子数极大值彼此相关^[25,26]。Brown^[27]在 1979 年发表的用异常磁静日法预报的第 21 周黑子数极大年年均值(155 ± 81)与实际观测的峰年年均值(155.3)相符极好。

这种地球物理现象先兆预报法, 在物理上是说得通的, 它把极小期地磁场的活动状况, 通过极小期的太阳磁场与极大期太阳的磁活动状况联系起来。

(4) 行星位置法: 行星或其集体在太阳上的潮汐力对太阳活动的影响究竟有多强, 能否用行星的作用来预报太阳活动等等, 是一直在争论的问题^[28,29]。我国也有人作过这方面的工作^[30,31]。近些年以 Landscheidt 为主力, 将行星位置预报方法的研究又推进了一步。他们计算太阳绕太阳系质心运动的转矩, 并探讨与黑子活动周期的关系等^[32,33], 对太阳活动做预报。当前, 用行星位置预报太阳活动还处于研究多于应用的阶段。

(5) 简评太阳活动的长期预报方法: 容易看出, 前述各种太阳活动长期预报方法具有不同的指导思想。时间序列法及第二种方法的第一部分的基本假设是未来的太阳黑子数的变化遵从以往太阳黑子数的变化所显示出的统计规律。这类方法比较简便, 受到广泛的应用。但是给出的预报, 就上一个太阳周(第 21 周)来看, 普遍偏低。大部分预报值与实测值相差 20% 以上。这类方法的优点是既能预报幅度又能预报时间位相。急待改进的是提高预报值。

太阳活动现象先兆法和地球物理现象先兆法虽然也是用统计公式, 但其物理思想比较明确。先兆法对上一个太阳周(第 21 周)黑子数极大值的预报比较正确, 预报值非常接近实测值 165^[34]。这类方法一般是在极小期出现后才能做预报, 时间提前量较小, 至于能否预报位相还有待研究。第 22 周太阳黑子活动水平将是对这类方法的重要检验。

行星位置预报法的主要问题是其物理机制尚需明确。应该肯定, 行星(特别是大行星)的位置通过引力机制对太阳会有影响, 而且行星的位置适于做预报因子。但是从效果上看, Landscheidt^[33]用这种方法对第 22 周黑子数极大值及其时间位置所做的预报($R < 60$ 和 1995 年)显然与实际情况相差甚远。行星位置这个外在因素究竟对太阳活动的幅度能有多大的控制作用或影响? 这是需要进一步探求的。近期有人^[34,35]试用模糊数学方法做预报, 文献^[35]的预报值较其它预报似乎更接近实际值, 但其预报提前量也较短, 预报发表的时间已接近峰年。Brown^[38]对长期预报作过讨论。

关于长期预报中的预报量问题, 除黑子相对数外, 太阳在 2800MHz 射电波段的辐射流量密度、日面上每天的黑子总面积及其分布以及各波段的太阳爆发, 可望成为未来的主要的长期预报量。这些量具有明确的物理意义, 是预报使用者关心的量。但这些量的资料积累时间短, 不够完整, 用经典方法观测比黑子数观测麻烦, 改用现代化手段观测则需要相当大的投资。

2. 太阳活动的中期预报

中期预报内容以太阳耀斑为主。中期预报实质上是要预报新太阳活动区的产生及其活动性, 预报已有的日面上的活动区将在什么时候有大幅度的活动。因为缺乏对活动区演化的

物理过程和规律的了解,中期预报是目前最困难的太阳活动预报。现在的中期预报方法是综合经验预报法,该方法主要根据以下几个方面的考虑做出预报:(1)长期预报所提示的活动水平和位相,(2)活动经度的分布特征,(3)各活动经度的统计性质,(4)黑子群的类型在时间—经度图上的分布,(5)活动区回转能力及活动能力的估计,(6)活动的周期性,如三个自转周或80天左右的周期,(7)行星位置的考虑,(8)日冕增强辐射区的出现等等^[38-48]。如果要直接预报地球物理效应,还应该考虑冕洞的存在及回转以及质子事件的东西不对称性等。图1是根据文献[44]的资料画出的在地球附近观测到的质子事件(1977.9—1982.12)所对应的耀斑的日面分布。从图1容易看出分布的东西不对称性。

中期预报的经验数值化无疑是中期预报的改进方向之一^[39,48]。在用单指标数学模型做中期预报这方面也有进展,例如文献[49]的工作。但是在预报量(如黑子数)变化的关键处即峰与谷处与实际偏差较多。今后的中期预报工作,在继续积累和总结经验方法的同时,应该在较明确的物理思想指导下研究活动区的产生和演化规律。太阳大尺度磁场的剪切、挤压及太阳大气较差自转的监

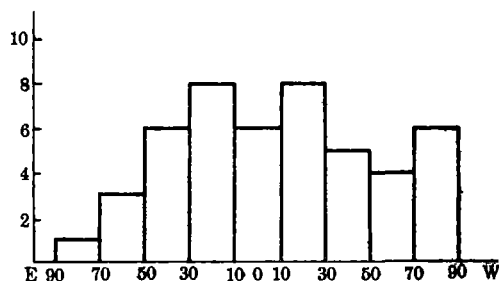


图1 1977年9月至1982年12月质子耀斑的日面分布

测及其与活动区关系的研究,是个有希望的领域。对活动区做适合于预报工作的分类是中期预报的另一项基础性工作。中期预报还应不断用新的研究成果,如文献[50, 51]给出的结果,改进技术方法。总之,需要从经验知识的数值化和活动区演化的物理研究诸方面向客观预报改进。

当然,一颗能对太阳“背面”进行观测监视的人造行星,会极大地有助于中期预报水平的提高。

3. 太阳活动的短期预报

短期预报的时间提前量为几十分钟至两、三天,预报内容也以耀斑为主。其预报方法大致可分为三种,概述如下。

(1) 先兆法:在耀斑发生之前,常可在光波波段、射电波段或X射线波段观测到该活动区的某些异常现象,这些现象超前于耀斑发生的时间是不同的,因此可利用它们做不同提前量的预报。常用的先兆现象有色球的暗条活动及纤维规整排列^[52-57]、不同层次预热现象— H_{α} 、UV或X射线亮点及射电先兆爆发或短波辐射增强^[58-61]、黑子群呈特强活动类型^[62-66]、黑子群有特殊运动或变化^[67-72]、活动区纵磁场中性线的变化^[58,73-76]等。有经验的预报员利用先兆现象可以给出相当准确的短期预报。这种预报的水平与预报者的主观经验密切相关,它应朝客观预报的方向改进。

(2) 经验公式法:此法使用活动区参量与耀斑产率的统计关系做预报^[77-79],大量的工作在于定出统计公式。Kumagai^[80]曾用32GHz太阳射电亮温度的增长与耀斑日产率的关系做预报。波兰人曾将十几个参量用计算机筛选,对C级、M级和X级的X射线耀斑做统计预报^[81]。

这类预报的时间提前量一般为一至三天。其提前量、预报水平都与导出经验公式时所依

据的资料和预报时使用的资料有关。因此, 每个预报单位应该有自己的预报经验公式, 不断改进这些公式, 并设法与其他预报单位的公式相联系。只有在统一设备、统一方法的前提下, 才能使各预报单位的预报规范化。

(3) 物理预报法: 用物理方法做太阳活动短期预报主要是基于对耀斑储能过程的认识而逐渐发展起来的^[72-84], 现在还没有达到应用的阶段。有相当多的工作试图通过无力磁场能量和无力因子的研究来做耀斑预报^[75,76,85-88]。观测表明, 耀斑的位置与活动区速度场视向分量的反变线有关, 理论上认为活动区速度场与磁场的相互作用的观测和研究会有助于对耀斑物理过程的了解^[89-90]。近期发现, 由磁场观测所确定的电流核的位置与耀斑亮核的位置相符^[97], 因而由磁场的观测所推算出的电流核来预报耀斑可能是一条耀斑物理预报的途径。虽然物理预报尚不能给出常规方法和投入常规应用, 作为一种潜在有力的预报方法正日益受到重视^[98]。

4. 预报的检验与评价

预报的检验与评价无疑是太阳活动预报中的一项重要工作, 预报的客观检验和是否满足预报使用者的需求应该是评价预报工作的两个标准。事实上要比较不同预报系统的预报水平是很困难的, 因为不同预报系统预报的内容和描述方法往往不同。国际上常用列表或画图的方法, 把预报的情况与实际发生的情况作比较来进行预报检验。

在讨论预报的检验或者评价太阳耀斑和质子事件预报的水平时, 常需用下面定义的几个指标:

$$\begin{aligned} \text{报准率} &= \frac{\text{报准的事件数目}}{\text{事件的实际发生数目}}, & \text{漏报率} &= 1 - \text{报准率}, \\ \text{预报准确程度} &= \frac{\text{报准的事件次数或时段}}{\text{预报事件发生的数目或时段}}, & \text{虚报率} &= 1 - \text{预报准确程度}, \end{aligned}$$

显然可知, 用任何一个单一指标都不能完整地衡量预报水平。理想的预报方法应该有较高的报准率和较低的虚报率。实际上不容易同时得到低漏报率与低虚报率, 报准率较高的方法常常有较高的虚报率。

与预报的检验和评价有关的另一个量是预报事件发生的次数或时段与总的预报次数或时段之比, 称为相对预报次数或相对预报时间。报准率与相对预报时间之比是一个重要的评价预报的量, 可称为单位相对预报时间的报准率。文献[99]提出用质子事件预报和安全期预报的单位相对预报时间的报准率之积来衡量预报。文献[100]提出用信息论指标评价预报水平。如果在某种预报任务中, 用户允许预报者在一定时期内任选预报时段, 那么除上述各种衡量指标外, 还应考虑拒报率问题。可定义拒报率为:

$$\text{拒报率} = 1 - \frac{\text{做预报的时段或次数}}{\text{用户给定可以做预报的时段或次数}}$$

应注意的是, 不同的预报用户对上述不同的指标会有不同的要求或偏爱。总之, 预报的衡量与评价不但关系到预报者, 也关系到使用者。

三、国际太阳活动预报工作概况

国际太阳活动预报工作是通过国际无线电联盟快速日地物理资料交换计划和全球联合观测组织(IUWDS)进行协调的。IUWDS是国际无线电科联协同国际大地测量与地球物理协会、国际天文学联合会设立的指导全球性日地物理研究工作的组织,它指派有关国家的研究单位作为它的国际性组织,其中包括地区性警报中心和辅助性警报中心。这些中心的大致情况是^[101]:

Boulder 中心——设在美国科罗拉多州的 Boulder 市,是美国海洋与大气管理局和空军合办,作空间环境研究与服务的组织。每天发布太阳地球物理资料及其情况的总结和预报。这个中心同时兼作世界警报局,它的短期预报也是用经验法,有经验的预报员能有 70% 以上报准的把握。

巴黎中心——设在法国巴黎墨东天文台,做日地资料交换,情况总结和预报。

莫斯科中心——设在苏联莫斯科地球物理研究所,每天发布太阳和地球物理资料,做太阳和地磁、电离层扰动预报。

东京中心——除类似的资料及预报外,每半周发布七天的无线电通讯预报。

悉尼中心——设在澳大利亚悉尼的电离层预报服务中心,每天除发布日地资料外,还向世界警报局发信息,有时也向新西兰、南极和境内发预报。

达姆斯塔德中心——设在西德的 Darmstadt,发布日地资料,做资料的快速交换。

除上列区域性中心外,还有设在斯德哥尔摩、布拉格、新德里和伊尔库茨克的辅助性中心。这样,全世界已形成较完整的太阳活动的观测、预报研究及服务网。

苏联在太阳活动和地球物理扰动的观测和研究方面有相当的实力,在太阳活动预报领域主要从事活动指标、一年半或更长的长期预报、一周至几个太阳自转周的中期预报和几个小时至几天的短期预报等四种研究^[102]。对耀斑预报水平的估计是“还不能做出可信程度大于 75% 的超过 3 日到 5 日的预报”。

太阳活动预报之所以受到国际上的重视,不仅在于它具有太阳物理的意义,更主要的是它具有强烈的应用性和服务性。各国为了提高预报及环境服务工作的质量和水平,除大力探求预报方法外,仍然强调加强空间观测、加强地面与空间的联合观测、扩大观测网和资料交换工作。这些是预报工作的基础和保障。

四、结论和讨论

当前各类太阳活动预报均以经验预报方法为主。较好的长期预报值与实际观测值之差可小于 20%,甚至 10%。长期预报的改进方向应该是在明确的物理思想指导下探讨新的预报方法或经验公式。太阳周的理论研究还未能处于直接做预报的地位。中期预报是当前最困难的预报,它面临把经验知识合理地数值化的问题。有关活动区演化的研究可能给中期预报带来突破性进展。短期预报的准确程度强烈地依赖于预报员的主观经验,应该大力向客观化改

进。同时, 长、中、短期太阳活动预报面对的一个共同问题, 是寻求或合理地规定评价预报水平的方法, 以便预报者和预报使用者提高他们即独立又相关的工作。

太阳活动预报组织应该是日地空资料与环境预报服务中心的一个重要组成部分。太阳活动预报服务于日地空的状态预报和研究工作, 是它得以发展的主要原因。只有太阳物理、空间物理和地球物理工作的结合才能做出更适合用户使用的预报。太阳活动预报组织一方面要保持已投入使用的预报方法的相对稳定性, 另一方面也要与相应的研究机构有良好的合作关系, 不断收集新的有关的研究成果, 如近年发现的硬X射线爆发的周期性^[103]等以改进预报工作, 同时还要注意到一些潜在的有重要意义的研究工作, 例如太阳常数的观测与分析。虽然太阳总辐射的长短期变化及其与黑子总面积的关系仍然在研究或争论之中^[104-106], 但这种工作可能涉及到有关人类生存环境的预报问题。

随着观测、资料和研究工作的进展, 随着用户对预报的需求的多样化和明确化, 太阳活动预报水平必然会有较大的提高。大力发展空间观测, 加强和扩大地面观测网, 加强地面与空间的联合观测和分析以及提高快速交换的资料的质量, 将会特别有助于预报水平的提高。太阳活动预报及空间环境服务工作的开展, 要求有较多的人力、物力和财力的投入, 这也正是促进国内和国际上大力开展联合观测与合作研究的一个动力。

参 考 文 献

- [1] McIntosh, P. S. and Dryer, M. (eds.), *Solar Activity, Observations and Predictions* (1972), NOAA, Boulder.
- [2] Donnelly, R. F. (ed.), *Proc. of Solar-Terrestrial Predictions (1979,1980)*, NOAA, Boulder.
- [3] Simon, P. A., Heckman, G. and Shea, M. A. (eds.), *Proc. of Solar-Terrestrial Predictions*, NOAA and AFGL, (1986).
- [4] Waldmeier, M., *The Sunspot Activity in Years 1610—1960*, Schulthess and Co., Zurich, (1961).
- [5] Bray, R. J. and Loughhead, R. E., in *Sunspots*, p. 240, Chapman and Hall Ltd., London and New York, (1964).
- [6] 张建中等, 北京天文台台刊, (1974), No. 3, 59.
- [7] 王家龙等, 北京天文台台刊, (1975), No. 5, 47.
- [8] 曹振华等, 紫金山天文台台刊, 7 (1988), 166.
- [9] 丁有济等, 天文学报, 23 (1982), 287.
- [10] Schove, D. J., *JGR*, 62 (1955), 127.
- [11] 邹仪新, 北京天文台台刊, (1978), No. 2, 87.
- [12] Bray, R. J. and Loughhead, R. E., in *Sunspots*, Ch. 6, Chapman and Hall Ltd., London and New York, (1964).
- [13] Wilson, R. M. et al., in *STP Proc.*, ed. by P. A. Simon et al., p. 26, (1986).
- [14] 张桂清, 地球物理学报, 32 (1989), 116.
- [15] 张桂清, 天体物理学报, 8 (1988), 131.
- [16] Koeckelenbergh, A., in *STP Proc.*, ed. by P. A. Simon et al., p. 113, (1986).
- [17] 徐振韶等, 天文集刊, 第1集 (1978), 73.
- [18] 范岳华, 北京天文台台刊, (1978), No. 13, 39.
- [19] 赵爱娣, 紫金山天文台台刊, 7 (1988), 310.
- [20] 王家龙等, 地球物理学报, 28 (1985), 641.
- [21] 董士仑, 天文学报, 27 (1986), 53.
- [22] Schatten, K. H., in *STP Proc.*, ed. by P. A. Simon et al., p. 92, (1986).
- [23] Kane, R. P., *Solar Phys.*, 108 (1987), 475.
- [24] Brown, G. M., *Nature*, 251 (1974), 592.
- [25] Brown, G. M. and Butcher, E. C., *Planet. Space Science*, 29 (1981), 73.

- [26] Brown, G. M., in STP Proc., ed. by P. A. Simon et al., p. 4, (1986).
- [27] Brown, G. M., in Solar-Terrestrial Predictions Proc., ed. by Donnelly, R. F., p. 264, NOAA, Boulder, Vol. 2, (1979, 1980).
- [28] Wood, K. D., *Nature*, 240 (1972), 91.
- [29] Dingle, L. A. et al., *Solar Phys.*, 31 (1973), 243.
- [30] 董士仑、林柏森, 北京天文台台刊, (1973), No.2, 55.
- [31] 杨志根、赵 铭, 天文学报, 29 (1988), 297.
- [32] Landscheidt, T., *J. Interdisc. Cycle Res.*, 12 (1981), 3.
- [33] Landscheidt, T., in STP Proc., ed. by P. A. Simon et al., p. 48, (1986).
- [34] 赵福民、蒋明汉, 空间科学学报, 5 (1985), 237.
- [35] 宋 谊、紫金山天文台台刊, 7 (1988), 46.
- [36] Brown, G. M., in STP Proc., ed. by P. A. Simon et al., p. 1, (1986).
- [37] Warwick, C. S., *Astrophys. J.*, 141 (1985), 500.
- [38] Verma, V. K. et al., *Solar Phys.*, 112 (1987), 341.
- [39] 范岳华等, 北京天文台台刊, (1976), No. 7, 51.
- [40] 王家龙等, 北京天文台台刊, (1974), No. 3, 34.
- [41] Guo, Q. in Solar-Terrestrial Predictions Proc., ed. by R. F. Donnelly, p. 168, NOAA Boulder, Vol. 1, (1979).
- [42] 艾国祥等, 北京天文台台刊, (1974), No. 3, 27.
- [43] Tang, F., *Solar Phys.*, 89 (1983), 43.
- [44] Gaizauskas, V., *Adv. Space Rev.*, 2 (1983), 11.
- [45] 曹天君等, 天文学报, 21 (1980), 349.
- [46] Musman, S. A. and Altrock, R. C., *J. Geophys. Res.*, 83 (1987), 4817.
- [47] 李 威, 北京天文台台刊, (1984), No. 4, 42.
- [48] Zhang Bairong et al., in STP Proc., ed by P. A. Simon et al., p. 324, (1986).
- [49] 张桂清, 天文学报, 27 (1986), 327.
- [50] Verma, V. K., *Solar Phys.*, 114 (1987), 185.
- [51] Bai, T. and Sturrock, P. A., *Nature*, 327 (1987), 601.
- [52] Martin, S. F. and Ramsey, H. E., in Solar Activity Observations and Predictions, ed. by P. McIntosh and M. Dryer, p. 371, NOAA, Boulder, (1972).
- [53] Martin, S. F., *Solar Phys.*, 68 (1980), 217.
- [54] 云南天文台太阳色球观测组, 云南天文台台刊, (1977), No. 1, 26.
- [55] 罗葆荣, 天文学报, 23 (1982), 96.
- [56] 王家龙等, 天体物理学报, 6 (1986), 26.
- [57] 王家龙等, 空间科学学报 7 (1987), 247.
- [58] Cheng, C. C. et al., *Astrophys. J.*, 298 (1985), 887.
- [59] Wang, J. L., Chinese SGD, Special Issue 2 (1989), 42.
- [60] 尹其半, 北京天文台编, 太阳物理中若干问题调研报告, p. 1, (1972).
- [61] 朱祖彦等, 天文学报, 25 (1984), 401.
- [62] Krivsky, L., in Solar Activity Observations and Predictions, ed. by P. McIntosh and M. Dryer, p. 389, NOAA, Boulder, (1972).
- [63] 董士仑等, 北京天文台台刊, (1979), No. 1, 8.
- [64] 中国科学院北京天文台太阳室, 天文学报, 15 (1974), 40.
- [65] 张柏荣, 张 衡, 云南天文台台刊, (1981), No. 3—4, 70.
- [66] Vorpahl, J. A., *Solar Phys.*, 28 (1973), 115.
- [67] 丁有济等, 天文学报, 17 (1976), 60.
- [68] Ding Youji and Zhang Bairong, in Solar-Terrestrial Predictions Proc., ed. by R. F. Donnelly, p. 40, Vol. 1, (1979).
- [69] 张桂清等, 天文学报, 25 (1984), 31.
- [70] Guo Quanshi et al., in Proc. Kunming Workshop on Solar Phys. and Interplanet. Travelling Phenomena, ed. by de Jager, C. and Chen Biao, p. 642, Science Press, Beijing, (1985).
- [71] Wang Jialong et al., Chinese SGD, Special Issue 1 (1986), 10.
- [72] 朱祖彦, 紫金山天文台台刊, 7 (1988), 151.
- [73] Severny, A. B., *Izv. Krymsk. Astrofiz. Obs.*, 22 (1960), 12.
- [74] Severny, A. B., *Ann. IQSY*, 3 (1969), 11.
- [75] 马 骅, 艾国祥, 天文学报, 20 (1989), 374.

- [76] 艾国祥, 孔繁熙, 天文学报, **23** (1982), 211.
- [77] 杨自强等, 北京天文台台刊, (1974), No. 3, 46.
- [78] 张柏荣, 云南天文台台刊, (1979), No. 3, 18.
- [79] 董士仑等, 北京天文台编, 太阳物理和射电天文座谈会报告选编, 第 32 页, (1973).
- [80] Kumagai, H. in STP Proc., ed by P. A. Simon et al., p. 170, (1986).
- [81] Paszkiewicz, E., Ibid., p. 306.
- [82] Gold, T. and Hoyle, F., *M. N. R. A. S.*, **120** (1960), 8.
- [83] 胡文瑞, 中国科学, (1977), No. 1, 69.
- [84] 吴林襄, 胡文瑞等编著, 太阳耀斑, 北京, 科学出版社, (1983).
- [85] Ding, Y. J. et al., *Chinese Astron.*, **2** (1978), 218.
- [86] Yang, H. S. et al., *Solar Phys.*, **84** (1983), 139.
- [87] 王家龙, 中国科学, (1985), No. 9, 840.
- [88] 林元章, 天文学进展, **4** (1986), 91.
- [89] Marters, M. J. et al., in IAU Symposium, No. 43, p. 435, (1971).
- [90] Zirin, H. and Tanaka, K., *Solar Phys.*, **32** (1973), 173.
- [91] 李 京, 太阳联测资料会议文集, (1989), 待出版.
- [92] 李 威, 同上.
- [93] 胡文瑞, 空间物理论文集, 第 88 页, 科学出版社, (1980).
- [94] Su Qingrei, *Solar Phys.*, **75** (1982), 229.
- [95] Gu Xiaoma et al., *Solar Phys.*, **87** (1983), 155.
- [96] Ding Youji et al., in Proc. Kunming Workshop on Solar Phys. and Interplanet. Travelling Phenomena, ed. by de Jager, C. and Chen Biao, p. 673, Science Press, Beijing, (1985).
- [97] Lin Yuanzhang and Gaizauskas, V., *Solar Phys.*, **109** (1987), 81.
- [98] 范大雄, 天文学进展, **5** (1987), 272.
- [99] 崔振兴, 北京天文台台刊, (1974), No. 3, 70.
- [100] 张柏荣, 云南天文台台刊, (1978), No. 1, 8.
- [101] Sawyer, C. et al., in Solar Flare Prediction, p. 99, Colo. Assoc. Univ. Press Boulder, (1986).
- [102] Kuklin, G., in STP Proc., ed. by P. A. Simon p. 154, et. al., (1986).
- [103] Kiplinger, A. L. et al., *Bull. A. A. S.*, **16** (1984), 891.
- [104] Hudson, H. S., *Adv. Space Res.*, **4** (1984), No. 8, p. 113.
- [105] Frohlich, C., *Adv. Space Res.*, **4** (1984), No. 8, p. 117.
- [106] Frohlich, C. and Eddy, J. A., *Adv. Space Res.*, **4** (1984), No. 8, p. 121.

(责任编辑 林一梅)

On Solar Activity Predictions

Wang Jialong

(Beijing Astronomical Observatory, Academia Sinica)

Zhang Bairong

(Yunnan Astronomical Observatory, Academia Sinica)

Abstract

A brief review of solar activity predictions is presented in this paper. In addition to a short description of solar prediction methods, improvement problems of these kinds of solar forecastings are discussed. Pointed out are that (1) for long-term solar predictions the improvement should be done by developing new methods under help of clear physical ideas rather than doing more so called pure statistics, (2) for medium-term predictions the improvement should be done firstly by digitizing the known rules and knowledge about solar active regions and (3) obviously, short-term solar predictions are now faced to transform predictional skill of individual forecasters into an objective forecasting method. It is believed that, on the other hand, space and multi-wavelength observations and physical research of solar cycles, active regions and flares are strongly needed for solar predictions with a high quality. In the second part of the paper the evaluation of a prediction, the present situation of solar predictions over the world and what should be done in a forecasting centre are discussed briefly.