

太阳活动区活动性的模糊预测

周树荣^{1,2} 黄光力^{1,2} 吴琴娣¹ 方 成³

(1. 中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

(2. 中国科学院国家天文台 北京 100012)

(3. 南京大学天文系 南京 210093)

摘 要

运用模糊数学的理论和方法对太阳活动区的活动性进行了预测。为了综合评估和预测活动区的活动性,根据耀斑与黑子群特征因子间的关系,构造了隶属函数。通过数据处理与分析,得到了对活动区活动性较好的预测结果,预测的准确性 > 95%。已成功编制了太阳活动预报的数据处理实用软件,根据黑子群的特征因子值,即刻就能得到活动区活动性的预报结果,预测结果表明模糊综合评估方法能很好地预报太阳活动。

关键词 模糊预测 — 活动区活动性 — 太阳: 黑子 — 太阳: 耀斑

分类号 P182.9

1 引 言

传统的太阳活动预报是根据日面黑子群演化过程中的某些形态变化特征和射电辐射流量的变化,预测太阳耀斑及其伴随的地球物理效应。传统的预报方法虽有很多,但由于各预报因子间缺乏必要的数学关系,因此迄今还没有一种传统的方法能准确地预报活动区的活动性和预测太阳耀斑。模糊综合评估方法能通过严密的数学关系式,将各种预报因子联系起来,综合地评估黑子活动区的活动性,有效提高预报的准确性。

模糊数学是近二三十年来创立的一门崭新的学科分支^[1,2]。本文应用模糊数学理论与方法,构造隶属函数,进行综合评估研究,探索黑子活动区的活动性在活动区光学和射电辐射特征间的联系,通过数据处理与分析,试图获得较准确的预报结果。

2 模糊统计与结果

为了便于统计和对太阳活动区的活动性进行模糊预测, 将黑子群各个特征因子对应的量, 从小到大分成了四个数值范围, 并依次与活动区的活动性: 弱、一般、较强和很强的等级标准相对应。表 1 给出了这些数值范围和对应的等级标准。

表 1 影响因子的 4 个等级范围和影响权重

等级与 权重	流量增长 (%)	黑子 类型	跨度日心角 /($^{\circ}$)	面积 / 10^{-6} 半球面	黑子计数 / 个	磁型	黑子群 形态
弱 (G1)	< 5	1~10	0~5	1~250	1~5	A	0
一般 (G2)	5~10	11~20	6~10	251~750	6~10	B	0
较强 (G3)	11~15	21~30	11~15	751~1250	11~35	BD,BG	0
很强 (G4)	> 15	31~40	> 15	> 1250	> 35	BGD	1 或 0 ^注
影响权重	0.08	0.18	0.12	0.07	0.05	0.22	0.28

注: 黑子群形态如是单个团状结构的 δ 型黑子时取 1, 否则取 0。

根据 1989 年 1 月 ~ 1990 年 12 月期间的 1100 多个活动区中不同级别的 6800 个软 X 射线、 $H\alpha$ 耀斑与黑子群资料^[3], 运用对号入座的模糊统计法, 统计了耀斑与黑子群各项特征因子间的关系, 计算了不同等级标准中的耀斑平均产率和活动区占有率。表 2、表 3 和表 4 分别给出了有关的统计结果。表 2 和表 3 分别是耀斑的平均产率和活动区占有率与黑子群各项特征因子间的关系。

表 2 ≥ 1 级和 $\geq C$ 级耀斑的产率与黑子群各项特征因子间的关系

黑子群 特性	耀斑属性	耀斑的平均产率 (耀斑个数 / 单个活动区)			
		G1	G2	G3	G4
面积	$H\alpha$	0.43	1.51	3.07	8.32
	软 X 射线	2.08	9.21	26.6	36.0
计数	$H\alpha$	0.07	0.43	1.18	2.26
	软 X 射线	1.25	4.25	13.84	18.6
跨度	$H\alpha$	0.10	0.60	2.51	2.89
	软 X 射线	0.43	2.47	15.2	24.6
磁型	$H\alpha$	0.15	1.11	2.60	8.26
	软 X 射线	0.28	2.13	13.5	15.6

表 3 ≥ 1 级耀斑的活动区占有率与黑子群各项特征因子间的关系

黑子群特性	≥ 1 级耀斑的活动区占有率			
	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
面积	0.239	0.57	0.878	1
计数	0.07	0.299	0.562	1
跨度	0.067	0.348	0.813	0.977
磁型	0.5	0.589	1	1

注: 耀斑占有率定义为某类型黑子活动区中产生 ≥ 1 级耀斑的数量与 ≥ 1 级耀斑的总数之比。

表 2 和表 3 中的 G_1 、 G_2 、 G_3 和 G_4 分别是表 1 中的活动区活动性的四个不同等级。严格地说,弱、一般、较强和很强四个等级间没有明确的界限,从统计结果来看可理解为弱表示活动区不产生或仅产生少量 S 级耀斑;一般表示活动区除产生多个 S 级耀斑外还能产生 1~2 个 1 级耀斑;较强表示活动区能产生 2 个以上 1 级耀斑或 1~2 个 2 级耀斑;很强表示活动区能产生 2 个以上 2 级耀斑或 1~ 数个 3 级和 4 级耀斑。

为了便于将黑子群的类型输入计算机对太阳活动水平进行综合评估和预测,已将黑子群的类型按其耀斑占有率和耀斑强度的大小,从 1 到 40 给予人为的量化(表 4),以此作为黑子群类型的代码,之所以用“代码”代替类型输入计算机,是因为黑子群的类型十分复杂,英文字母组成的类型难以用于计算和综合评估,而且也很难表示活动区活动性的强弱。代码不但能代表黑子群的类型(每个代码对应一种黑子类型),而且还能表示活动区活动性的强弱水平(详见表 1)。从表 1 和表 4 可看出,代码愈大,与其对应类型的活动区的活动性愈强。表 4 给出了黑子群类型与其代码的对应表。

表 4 太阳黑子群类型与其代码的对应表

黑子群 类型	耀斑 数量	耀斑 占有率	类型 代码	黑子群 类型	耀斑 数量	耀斑 占有率	类型 代码
AXX	4/2/0	0.008	16	EHI	6/0/0	0.008	18
BXO	16/1/0	0.022	23	EHO	2/2/0	0.005	13
CAI	3/2/0	0.006	15	EKC	65/19/8	0.116	39
CAO	12/8/0	0.025	31	EKI	42/8/3	0.067	37
CHI	1/0/0	0.001	1	EKO	15/2/2	0.024	28
CKI	1/0/0	0.001	2	ESI	0/1/0	0.001	12
CKO	4/0/0	0.005	9	ESO	5/1/0	0.008	17
CRO	3/2/0	0.006	14	FAI	16/5/0	0.027	29
CSO	15/4/0	0.024	27	FAO	11/3/0	0.018	24
DAI	25/10/0	0.044	33	FHI	6/1/0	0.009	19
DAO	38/11/0	0.062	35	FHO	1/0/0	0.001	3
DHO	0/1/0	0.001	11	FKC	81/29/5	0.145	40
DKC	12/5/0	0.022	26	FKI	56/10/2	0.086	38
DKI	31/19/1	0.064	36	FKO	9/5/0	0.018	25
DKO	19/5/0	0.030	30	HAI	1/0/0	0.001	4
DRO	3/0/0	0.004	5	HAO	3/0/0	0.004	7
DSI	4/0/0	0.005	10	HAX	4/2/0	0.008	20
DSO	9/4/0	0.016	22	HHX	3/0/0	0.004	8
EAI	23/9/2	0.043	32	HIRX	3/0/0	0.004	6
EAO	34/6/0	0.051	34	HSX	2/4/0	0.008	21

注:耀斑数量 X/Y/Z 中 X、Y 和 Z 分别表示 1、2 和 3 级耀斑的数量。

表 2、表 3 和表 4 中的结果表明,活动区中 $\geq C$ 级 X 射线耀斑和 ≥ 1 级 $H\alpha$ 耀斑的平均产率与黑子群中各项特征因子(面积、黑子计数、日面跨度、磁型和类型等)均呈正的相关,

而且随着活动区活动性的增强, 活动区的占有率越来越高, 这表明高活动性的活动区愈来愈集中。从表 3 可看出, 凡在第四等级范围内出现的活动区, 全是活动性很强的活动区, 这对于太阳活动预报来说是极为重要的。

某些研究结果表明, 活动区演变发展过程中, 活动区的缓变射电辐射也随之变化^[4,5], 因此射电流量增长或减少的幅度可作为太阳活动水平变化的较好指示器。

3 基本原理与方法

3.1 构造隶属函数

在表 1 中, 我们确定了 10cm 射电流量的相对增长 u_1 (相对 3 日前流量水平, 简称流量增长)、黑子群的类型 u_2 、日面跨度 u_3 、面积 u_4 、黑子计数 u_5 、磁型 u_6 和黑子群形态 u_7 等 7 项活动区的特征因子, 作为太阳活动预报的基本物理量, 简称影响因子 U 。其集合为

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7\}, \quad (1)$$

而评估活动区活动性的四个等级

$$V = \{G_1, G_2, G_3, G_4\}.$$

根据表 1 中的评估活动区活动性的 4 个等级标准, 以及各项因素对活动性预测影响的特征, 先进行归类, 然后分别用不同的函数形式构造隶属函数。如 10 cm 流量增长、黑子群类型和日面跨度等相对于活动性预测的隶属函数用梯形分布函数描述; 黑子面积和黑子计数则用哥西分布函数; 磁型用矩形分布函数作为隶属函数^[2]。

表 5 给出了它们的隶属函数的形式和 X_{nj} 值的取值范围, 表中没有列出黑子群的形态结构 u_7 。当黑子群为单个团状结构 δ 型黑子时, 对应的隶属度值 μ_{17} 、 μ_{27} 和 μ_{37} 取 0, 而 $\mu_{47} = 1$; 否则, μ_{17} 、 μ_{27} 、 μ_{37} 和 μ_{47} 全取 0。实际计算时, 有时射电流量增长 < 0 , 这时不论其值大小, X_{n1} 值全部取 0。只有 $X_{n1} > 0$ 时, 才以实际数值输入。

3.2 确定单项因素评判矩阵与模糊综合评判指标

根据影响因子对应的隶属度值, 可得到单项因素评判矩阵 R :

$$R = (r_{ij})_{7 \times 4}, \quad (2)$$

其中 $r_{ji} = \mu_{ij}$, $j = 1 \sim 7$, 而 $i = 1 \sim 4$, 表示活动区活动性的 4 个等级。模糊综合评判指标 B 定义为 A 与 R 的模糊关系的合成运算, 即

$$B = A \cdot R = (b_1 \quad b_2 \quad b_3 \quad b_4), \quad (3)$$

其中 $A = (a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4 \quad a_5 \quad a_6 \quad a_7)$ 代表 7 项活动性预测影响因子的权重, 表 1 最后一行给出了它们的值。它是根据耀斑产率与黑子群各项特征因子间的关系, 以及预报者多年的实践经验确定的。在计算表 6 中模糊综合评判指标 b_i 值时, 可适当调整权重, 以期得到最好的预测结果。

$$b_i = \sum_{j=1}^7 a_j \cdot r_{ij}, \quad (4)$$

表 5 隶属函数与取值范围

影响因素	u_1, u_2, u_3		u_4, u_5		u_6	
隶属函数	梯形分布函数		哥西分布函数		矩形分布函数	
$\mu_{1j} =$	1	$0 \leq X_{nj} \leq D_1$	1	$0 \leq X_{nj} \leq D_1$	$\mu_{n1} = 1$	$X_{nj} = A$
	$\frac{D_2 - X_{nj}}{D_2 - D_1}$	$D_1 < X_{nj} \leq D_2$	$\frac{1}{1 + ((X_{nj} - D_1)/5)^2}$	$D_1 < X_{nj} \leq D_2$		
	0	$X_{nj} > D_2$	0	$X_{nj} > D_2$	$\mu_{n1} = 0$	$X_{nj} \neq A$
$\mu_{2j} =$	X_{nj}/D_1	$0 < X_{nj} \leq D_1$	$\frac{1}{1 + ((X_{nj} - 0)/5)^{-2}}$	$0 < X_{nj} \leq D_1$	$\mu_{n2} = 1$	$X_{nj} = B$
	1	$D_1 < X_{nj} \leq D_2$	1	$D_1 < X_{nj} \leq D_2$		
	$\frac{D_3 - X_{nj}}{D_3 - D_2}$	$D_2 < X_{nj} \leq D_3$	$\frac{1}{1 + ((X_{nj} - D_2)/5)^{-2}}$	$D_2 < X_{nj} \leq D_3$	$\mu_{n2} = 0$	$X_{nj} \neq B$
$\mu_{3j} =$	0	$X_{nj} \leq D_1$	0	$X_{nj} \leq D_1$	$\mu_{n3} = 1$	$X_{nj} = BG, DG$
	$\frac{X_{nj} - D_1}{D_2 - D_1}$	$D_1 < X_{nj} \leq D_2$	$\frac{1}{1 + ((X_{nj} - D_1)/5)^{-2}}$	$D_1 < X_{nj} \leq D_2$		
	1	$D_2 < X_{nj} \leq D_3$	1	$D_2 < X_{nj} \leq D_3$	$\mu_{n3} = 0$	$X_{nj} \neq BG, DG$
$\mu_{4j} =$	$\frac{D_4 - X_{nj}}{D_4 - D_3}$	$X_{nj} > D_3$	$\frac{1}{1 + ((X_{nj} - D_3)/5)^2}$	$X_{nj} > D_3$	$\mu_{n4} = 1$	$X_{nj} = BGD$
	0	$X_{nj} \leq D_2$	0	$X_{nj} \leq D_2$		
	$\frac{X_{nj} - D_2}{D_3 - D_2}$	$D_2 < X_{nj} \leq D_3$	$\frac{1}{1 + ((X_{nj} - D_2)/5)^{-2}}$	$D_2 < X_{nj} \leq D_3$	$\mu_{n4} = 0$	$X_{nj} \neq BGD$

注: n 为 N 组数据组的序号, $j = 1 \sim 7$ 对应于 7 项影响因子。 X_{nj} 是第 n 个活动区第 j 个特征因子的值。 D_1 、 D_2 、 D_3 和 D_4 是表 1 中对应等级的上限。

或
$$b_i = \vee(a_j \wedge r_{ji}), \quad i = 1 \sim 4. \tag{5}$$

模糊算子 \vee 、 \wedge 分别表示取大取小运算。

归一化后得

$$\begin{aligned}
 B^* &= (b_1/\sum b_i \quad b_2/\sum b_i \quad b_3/\sum b_i \quad b_4/\sum b_i) \\
 &= (b_1^* \quad b_2^* \quad b_3^* \quad b_4^*), \quad i = 1 \sim 4
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

计算结果 b_1^* 、 b_2^* 、 b_3^* 、 b_4^* 分别表示活动区活动性的 4 个等级标准 (弱, 一般, 较强, 很强) 的综合评判指标。按最大隶属原则就可以预测活动区活动性的未来形势。

4 实例计算与结果分析

根据 1989 年 1 月 ~ 2000 年 12 月 SGD 周刊中的资料 [3] 和表 5 中的隶属函数公式, 对 43 个活动区 (活动区是任意选的) 的活动性进行了综合评估。现以 9077 活动区为例加以说明。该活动区于 2000 年 7 月 7~21 日穿过日面。根据 7 月 10 日 AR9077 的各项特征因子的值 X_j ,

按表 5 中的隶属函数计算了不同等级标准的隶属度值 μ_{ij} 。从而得到单项因素评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.47 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0.07 & 1 & 0.93 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

模糊综合评判指标:

$$B = A \cdot R = (0.08 \ 0.18 \ 0.12 \ 0.07 \ 0.05 \ 0.22 \ 0.28) \cdot R \\ = (0 \ 0 \ 0.26 \ 1).$$

归一化得

$$B^* = (0 \ 0 \ 0.21 \ 0.79).$$

按照最大隶属原则取 $b_4^* = 0.79$, 这就表示 AR9077 以后在日面期间的活动性是很强的。也就是说这个活动区在 7 月 10 日以后很可能产生 2 个以上 2 级耀斑或 1~2 个 3 级耀斑。

根据表 5 中的隶属函数和 43 个黑子活动区的原始资料, 已计算出了每个活动区的综合评判指标, 结果已列入表 6, 表中还同时给出了每个活动区的实际活动情况。表 6 中耀斑以数 $S/X/Y/Z$ 形式给出: S 、 X 、 Y 和 Z 分别代表 S 、1、2 和 3 级耀斑数, “+”表示边缘 X 射线耀斑。计算隶属函数的隶属度值时, 所涉及到的七项影响因子的原始资料, 按下述原则选取: ①对于从日面东边缘转出的活动区, 选用活动区位于日面 $E40^\circ \sim 50^\circ$ 处时的值; ②对于日面上新生的活动区, 原则上选用新生后的第 3 日或第 4 日的资料。对于一个活动区, 无论它是从日面东边缘转出的还是日面上新生的, 只要它迅速发展, 且有产生 1 级耀斑或 M 级 X 射线耀斑的可能, 都可以根据活动区的实际演变情况, 随时选用资料进行计算和预测, 对原先预测结果进行修正。

有关研究表明, 众多异极性黑子紧锁在同一个半影中的单个团状结构 δ 型黑子活动区, 是活动性极强的活动区^[6~8]。表 6 中活动区号右上角有“*”者正是这种 δ 型黑子活动区。 δ 型黑子面积有时虽小, 但它具有很强的活动性, 同样能产生大耀斑。如 5800 黑子群的面积仅有 440 个单位 (10^{-6} 半球面), 但它的活动性却很强, 它在日面期间曾产生 2 个 X 级 X 射线耀斑, 并伴随 2 次峰值流量为 380 和 7300 p.f.u. 的强质子事件。7154 黑子群也是一个 δ 型黑子, 面积仅有 390 单位, 但它在日面上却产生过一个 4B 级耀斑并伴随一个峰值流量为 4600 p.f.u. 的强质子事件。

本文对活动区活动性的预测, 属于 7~10d 的中期预报, 而中期预报又是目前最困难的预报。从预测结果可看出, 模糊综合评估方法给中期预报提供了极好的途径, 它能极大地提高预报的准确性。这种方法同样适用于 1~3d 的短期预报, 因为预报员可以根据日面活动区的发

表 6 活动区活动性的预测结果与实际活动情况的比较

活动区	取原始资料的日期	综合评估结果				预测的 活动性	实际活动情况		结果 检验
		b_1^*	b_2^*	b_3^*	b_4^*		耀斑数	质子事件峰值	
5323	1989 01 18	0.24	0.43	0.21	0.12	一般	5/0/0/0		- 致
5324	1989 01 20	0.54	0.26	0.18	0.02	弱	3/0/0/0		- 致
5395*	1989 03 19	0.00	0.01	0.21	0.79	很强	132/37/21/5	3500, 2100	致
5451	1989 04 16	0.00	0.01	0.54	0.36	较强	63/3/1/0		- 致
5528	1989 06 10	0.00	0.02	0.18	0.80	很强	99/5/1/1		致
5629	1989 08 07	0.02	0.12	0.22	0.65	很强	102/16/2/1	9200	致
5669	1989 08 31	0.00	0.04	0.28	0.68	很强	124/25/6/0	44	致
5698*	1989 09 19	0.06	0.23	0.21	0.50	很强	61/7/0/0 +1	4500,	致
5728	1989 10 08	0.29	0.40	0.15	0.16	一般	27/0/0/0		- 致
5747	1989 10 17	0.01	0.01	0.17	0.63	很强	87/20/5/2	4100	致
5783	1989 11 06	0.00	0.36	0.38	0.27	较强	90/14/1/0	71	- 致
5800*	1989 11 25	0.06	0.07	0.38	0.48	很强	42/2/2/1	380, 7300	- 致
5927	1990 02 10	0.38	0.56	0.06	0.00	一般	21/1/0/0		致
6049	1990 05 05	0.07	0.31	0.36	0.26	较强	49/3/0/0		致
6063	1990 05 15	0.00	0.08	0.34	0.58	很强	48/6/6/1	410, 180	致
6064	1990 05 15	0.00	0.10	0.52	0.37	较强	129/11/2/0		- 致
6272	1990 09 17	0.11	0.37	0.32	0.20	一般	25/5/0/0		- 致
6497	1991 02 16	0.06	0.33	0.34	0.27	较强	21/0/1/0	13	- 致
6555*	1991 03 20	0.01	0.25	0.17	0.58	很强	109/40/10/5	43000	致
6615*	1991 05 06	0.00	0.02	0.22	0.76	很强	68/7/0/0 +1	350	- 致
6659*	1991 06 05	0.00	0.08	0.39	0.54	很强	75/20/6/6	3000, 1400	- 致
6734	1991 07 21	0.00	0.10	0.41	0.49	很强	46/5/3/0		- 致
6891*	1991 10 24	0.00	0.00	0.09	0.91	很强	87/18/4/2	40, 94	- 致
7100*	1992 03 13	0.06	0.15	0.45	0.34	较强	12/0/1/1	10	- 致
7154*	1992 05 05	0.07	0.03	0.25	0.38	很强	32/3/0/0/1	4600	- 致
7205	1992 07 23	0.68	0.20	0.12	0.00	弱			致
7205*	1992 07 25	0.06	0.16	0.38	0.40	很强	51/5/2/0	390	致
7248	1992 08 04	0.00	0.17	0.40	0.43	很强	88/7/0/0	14	致
7321*	1992 10 25	0.07	0.18	0.27	0.49	很强	62/7/1/0 +1	2700, 790	- 致
8100*	1997 10 30	0.03	0.32	0.30	0.34	很强	72/7/3/0	490	致
8194	1998 04 08	0.05	0.33	0.19	0.42	很强	10/1/1/0 +1	1700	致
8210*	1998 04 28	0.05	0.26	0.28	0.41	很强	63/16/4/2	150, 210	- 致
8307	1998 08 22	0.06	0.31	0.29	0.34	很强	0/9/2/1	670	致
8525	1999 05 02	0.00	0.35	0.38	0.26	较强	16/2/2/0	14	致
8552	1999 05 27	0.00	0.21	0.48	0.31	较强	40/3/2/0	64	致
8651	1999 07 27	0.00	0.13	0.57	0.30	较强	69/7/0/0		基本 致
8739	1999 10 23	0.07	0.39	0.37	0.17	一般	44/4/0/0		- 致
8765	1999 11 14	0.08	0.28	0.27	0.38	很强	78/9/2/0		致
9026	2000 06 04	0.00	0.00	0.33	0.67	很强	67/6/4/3		致
9077*	2000 07 10	0.00	0.00	0.21	0.79	很强	84/7/5/1	24000	致
9213	2000 10 30	0.14	0.32	0.16	0.38	很强	9/1/0/1	13300	致
9231	2000 11 15	0.07	0.29	0.35	0.29	较强	46/2/1/0		致
9236	2000 11 20	0.00	0.23	0.32	0.45	很强	32/5/5/1	289	致

展, 随时作出评判预测。我们已编制了计算机数据处理软件, 预报员只要将黑子活动区的七项影响因子值输入计算机, 在不到 1 min 的时间内, 即可得到预测结果。

在 2000 年 7 月 10 日和 10 月 30 日, 我们利用文中的模糊综合评估方法, 准确地预测了 AR9077 和 AR9213 的活动性, 从表 6 可以看出, 这两个活动区具有很强的活动性。AR9077 在 2000 年 7 月 11~19 日期间, 总共产生了 3 个 X 级和 8 个 M 级 X 射线耀斑, 并伴随一个峰值流量为 24000p.f.u. 的强质子事件。2000 年 11 月 8 日 AR9213 在日面西边缘产生了一个 M3.7/3F 级耀斑, 也伴随了一个峰值流量为 13300p.f.u. 的强质子事件。

在被计算的 43 个活动区中, 计算结果与实际情况完全一致的有 42 群, 预测的准确性达 97.7%。从表 6 中可看出, 所有的质子事件都与活动性较强和很强的等级相对应, 而且所有峰值流量 ≥ 100 p.f.u. 的质子事件全在活动性很强的等级上。由此可见, 模糊综合评估方法用于太阳活动预报, 是一种较好的方法, 能极大的提高预报的准确性。

参 考 文 献

- 1 Feng Deyi *et al.* Fuzzy Mathematics in Earthquake Researches, Beijing: Seismological Press, 1985
- 2 韩正忠, 方宁生. 模糊数学应用, 南京: 东南大学出版社, 1993
- 3 Preliminary Report and Forecast of Solar Geophysical Data, 1989~2000, 696~1316
- 4 Zhu Z Y, Zhou A H, Zhou S R. Solar-Terrestrial Predictions Proceedings., 1980, 4G: 114
- 5 Zhou S R. 22 Max Global Character research of Solar-Terrestrial System, Special III, 云南天文台台刊 (Publications of Yunnan Observatory), 1990, (4): 86
- 6 Zirin H, Liggett M A. Solar Phys., 1987, 113: 267
- 7 Tanaka K, BBSO Preprint, 1975, No.152
- 8 Zhou S R, Zheng X W. Solar Phys., 1998, 181: 327

The Fuzzy Forecast of Activity of Solar Active Rrgiopn

Zhou Shurong^{1,2} Huang Guangli^{1,2} Wu Qindi¹ Fang Cheng⁴

(1. Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

(2. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012)

(3. Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract

In this paper, the theory and method of fuzzy mathematics are applied to forecast the activity of solar active region. According to the correlation between the flares and the characteristic factors of the sunspot groups, the membership functions are constructed to comprehensively evaluate and predict the activity of solar active regions. The precise results were obtained by data reduction and analysis with the accuracy higher than 95% after comparing with observations. An applicable software of the data reduction is successfully compiled for the solar activity prediction. Thus, when the values of characteristic factors of the sunspot groups are inputted into the computer, the predicting results of the activity of solar active regions are instantly obtained. Forecast results indicate that the method of the fuzzy comprehensive evaluation is a good one for the solar activity prediction.

Key words fuzzy forecast—activity of the active region—sun: sunspot—sun: flares