第5卷 第3期 空间科学学报 Vol. 5, No. 3
1985 年 7 月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE July, 1985

用全球等效太阳黑子数 IG_{12} 进行电离层长期预报

刘瑞源 刘克峰 周宇知
（中国电波传播研究所）

摘 要

本文利用中国电离层垂直探测站的资料研究应用全球等效太阳黑子数 IG_{12} 进行电离层长期预报的可能性. 结果表明，指数 IG_{12} 与电离层特性参数（f_0F_2 或 $F_2(3000)MUF$）的相关性比太阳黑子数 R_{12} 与电离层特性参数的要好.

利用 CCIR 第 340 号报告，对 IG_{12} 应用于预报 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$ 的功效进行了估算，并与目前使用的 R_{12} 进行了比较. 所得结果表明，在用 CCIR 预报方法时，用 IG_{12} 代替 R_{12} 可以得到精度更高的预报值. 对提前 12 个月的预报，f_0F_2 和 $F_2(4000)MUF$ 的预报精度分别平均提高 18% 和 10% 左右. 对 IG_{12} 指数用于预报的其他优点亦进行了讨论.

一、引 言

目前，国际上有多种方法，采用不同的太阳活动指数来进行电离层长期预报，其中使用得最为广泛的是国际无线电咨询委员会推荐的 CCIR 电离层特性参量数值图表法，即 CCIR340 号报告中的方法[1]，所用的太阳活动指数是太阳黑子数 12 个月流动平均值 R_{12}. 为了在使用 CCIR 数值图表时进一步提高电离层预报的精度，一个称为全球等效太阳黑子数的新的太阳指数 IG 被提出来了[2]. 计算结果表明，用 IG_{12} 代替 R_{12} 进行 f_0F_2 的预报，对预报精度的改进是很可观的. 鉴于此，国际无线电咨询委员会通过了新的意见书[3]，建议各国开展对这一指数的全面研究，把它与其他太阳活动指数用于 f_0F_2 预报进行比较并将结果报告给下一次全会.

本文利用我国电离层观测站的数据对 IG_{12} 指数用于 f_0F_2 预报的精度进行了估算，同时还研究 IG_{12} 指数用于 F_2 层 3000km 传输因子 $M(3000)F_2$ 和电路最高可用频率 MUF 的情况并与原有使用 R_{12} 指数进行预报的情况作了比较，以便对 IG_{12} 指数能否全面取代 R_{12} 指数用作电离层长期预报作出评价.

二、IG 指数的推算

IG 指数是一种描述太阳活动性的电离层导出指数，它利用分布在全球的 13 个具有

本文于 1984 年 12 月 3 日收到.

代表性的电离层观测站正午 f_0F_2 的月中值，由 CCIR 340 号报告隐含的 f_0F_2-R_{12} 线性回归线转换成相应的局地等效太阳黑子数，取 13 个站的中值即为该月的 IG 指数．文献[2]中列出了这 13 个电离层观测站的名称和 156 条回归线的参数，同时还给出了 1943 年至 1981 年每月的 IG 指数值和它的 12 个月流动平均值 IG_{12} 的值．

三、IG_{12} 指数与电离层传播参量的相关性

对于电离层 F_2 层临界频率 f_0F_2 与各种太阳活动指数之间的相关关系，已经有不少文章进行了讨论[4-6]．本文用中国的电离层观测站的资料讨论电离层传播参量分别与 IG_{12} 指数和 R_{12} 指数的相关关系．这些电离层参量不仅有 f_0F_2，而且有 F_2 层 3000km 传输因子 $M(3000)F_2$ 和 3000kmF_2 层最高可用频率 $F_2(3000)MUF$．所用的四个电离层观测站的地理经纬度及统计分析所用资料的起迄时间列于表 1．对每个台站，按 12 个月和 8 个时段进行统计分析，故共有 96 个小时-月份组．

表 1　电离层探测站的经纬度和使用资料的起迄时间

站　名	地理位置		使用资料时间	
	经度(东经)	纬度(北纬)	开　始	终　止
满洲里	117°27′	49°35′	1955.1.	1980.12.
重　庆	106°25′	29°30′	1946.1.	1981.12.
广　州	113°21′	23°09′	1955.1.	1980.12.
海　口	110°20′	20°00′	1957.1.	1980.12.

表 2　重庆站正午电离层诸参量分别与 IG_{12} 和 R_{12} 的相关系数和线性回归的残差

月份	相关系数						线性回归的残差					
	f_0F_2		$M(3000)F_2$		$F_2(3000)MUF$		f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(3000)$ MUF(MHz)	
	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}
1	0.947	0.955	−0.852	−0.824	0.833	0.869	0.769	0.716	0.136	0.148	2.866	2.558
2	0.944	0.961	−0.880	−0.864	0.853	0.891	0.834	0.698	0.101	0.107	2.969	2.577
3	0.942	0.959	−0.852	−0.830	0.810	0.851	0.740	0.623	0.110	0.118	2.734	2.449
4	0.923	0.955	−0.826	−0.808	0.747	0.803	0.839	0.650	0.111	0.116	3.168	2.840
5	0.936	0.956	−0.819	−0.805	0.842	0.879	0.752	0.628	0.094	0.098	2.490	2.202
6	0.927	0.941	−0.760	−0.740	0.821	0.856	0.605	0.546	0.105	0.108	1.909	1.730
7	0.942	0.954	−0.659	−0.634	0.866	0.894	0.596	0.534	0.113	0.117	2.005	1.799
8	0.938	0.951	−0.719	−0.717	0.867	0.881	0.665	0.595	0.122	0.123	2.080	1.969
9	0.936	0.953	−0.777	−0.748	0.833	0.874	0.873	0.748	0.126	0.133	3.138	2.753
10	0.934	0.956	−0.866	−0.844	0.787	0.841	0.859	0.702	0.114	0.122	3.100	2.721
11	0.946	0.967	−0.845	−0.832	0.840	0.887	0.858	0.670	0.141	0.147	3.002	2.549
12	0.936	0.958	−0.866	−0.850	0.863	0.912	0.865	0.706	0.121	0.127	2.767	2.250
平均	0.938	0.956	−0.810	−0.791	0.830	0.870	0.771	0.651	0.116	0.122	2.685	2.366

以重庆站为例子，表 2 给出了正午电离层参量分别与 IG_{12} 和 R_{12} 的相关系数和线性迴归的残差及其平均值. 从结果看 f_0F_2 和 $F_2(3000)MUF$ 来说，IG_{12} 与之的相关性要比 R_{12} 的好，对 $M(3000)F_2$ 来说情况则反过来，R_{12} 与之的相关性要比 IG_{12} 的好一些，但由于 $M(3000)F_2$ 随太阳活动性的变化范围不大，线性迴归后的残差很小，在两种情况下残差基本上是相等的，因此所感兴趣的是这两个指数对 f_0F_2 和 $F_2(3000)MUF$ 的相关性. 为便于比较，对每个站的 96 个小时-月份组进行统计，数出 IG_{12} 的相关性优于 R_{12} 的次数并计算其相对百分数，结果列于表 3. 从表中可以看出在大多数时段和月份，IG_{12} 的相关性优于 R_{12}.

表 3 在所有的小时-月份组中 IG_{12} 与 f_0F_2 和 $F_2(3000)MUF$ 的相关性优于 R_{12} 的百分数

站 名	与 f_0F_2 的相关性	与 $F_2(3000)MUF$ 的相关性
满 州 里	64	76
重 庆	71	79
广 州	84	83
海 口	85	82
平 均	76	80

四、用 IG_{12} 指数代替 R_{12} 指数进行电离层长期预报

1. 方法

用 IG_{12} 指数代替 R_{12} 指数进行电离层长期预报的步骤为：首先用改进的 McNish-Lincoln 方法[7]求得 IG_{12} 的预报值，然后使用 CCIR 电离层特性数值图表（奥斯陆文本），在所有步骤中用 IG_{12} 代替 R_{12}，包括把图表的参考点 $R_{12}=0$ 和 100 重新定义为 $IG_{12}=0$ 和 100. 预报的电离层传播参量除 f_0F_2 外，尚有 $M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$. 之所以要预报 $F_2(4000)MUF$ 是因为对任意长的电路，其最高可用频率都可由 f_0F_2 和 $F_2(4000)MUF$ 得出. 而 $F_2(4000)MUF$ 与 $M(3000)F_2$ 的关系为

$$F_2(4000)MUF = 1.1 \times f_0F_2 \times M(3000)F_2. \tag{1}$$

实际上，$F_2(4000)MUF$ 与 $F_2(3000)MUF$ 只相差一个 1.1 的因子，所以上节所讨论的太阳活动性指数与 $F_2(3000)MUF$ 的相关性亦即是与 $F_2(4000)MUF$ 的相关性.

预报误差 SD 可以用预报值和观测值之差的均方根值来估计：

$$SDF = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum[F(\text{预报})-F(\text{观测})]^2}. \tag{2}$$

其中 N 为参加统计的个数，F 为电离层参量，它可以是 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 或者 $F_2(4000)MUF$.

2. 计算结果及分析

对表 1 所列四个电离层观测站进行预报试验. 预报的参量为 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$，分提前 6 个月和 12 个月的预报两种，预报 8 个小时（00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 LT）12 个月的月中值. 为了与 CCIR 原有的方法进行比较，按照公式(2)计

表 4A　用 IG_{12} 和 R_{12} 作提前六个月和提前十二个月的 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$ 预报的预报误差

月份	提前六个月						提前十二个月					
	f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)		f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)	
	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}
1	0.99	1.07	0.15	0.17	4.09	3.83	1.10	1.02	0.15	0.17	4.30	3.71
2	0.81	0.82	0.09	0.10	2.74	2.61	0.98	0.73	0.09	0.09	3.20	2.44
3	1.13	1.02	0.20	0.21	4.89	4.24	1.24	0.95	0.20	0.20	5.12	4.18
4	0.87	0.79	0.17	0.19	2.47	2.20	0.96	0.71	0.17	0.18	2.85	2.01
5	0.54	0.46	0.12	0.14	2.14	1.80	0.64	0.45	0.12	0.14	2.28	1.79
6	0.33	0.26	0.12	0.13	1.22	1.01	0.34	0.29	0.12	0.14	1.23	1.01
7	0.48	0.46	0.15	0.15	1.61	1.58	0.45	0.51	0.15	0.16	1.56	1.57
8	0.45	0.36	0.15	0.16	2.03	1.81	0.53	0.42	0.15	0.17	2.14	1.80
9	1.08	0.98	0.21	0.22	4.51	4.10	1.23	1.08	0.20	0.24	4.84	4.21
10	0.94	0.84	0.09	0.10	3.54	3.12	1.14	1.03	0.09	0.11	4.00	3.50
11	0.75	0.66	0.08	0.08	2.58	2.34	0.95	0.80	0.09	0.09	2.99	2.55
12	0.85	0.97	0.15	0.15	2.94	3.32	0.95	0.95	0.15	0.15	3.07	3.25
平均	0.77	0.72	0.14	0.15	2.90	2.66	0.88	0.75	0.14	0.15	3.13	2.67

满州里正午月中值

表 4B　用 IG_{12} 和 R_{12} 作提前六个月和提前十二个月的 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$ 预报的预报误差

时间	提前六个月						提前十二个月					
	f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)		f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)	
	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}
00:00	0.62	0.57	0.11	0.11	2.00	1.89	0.68	0.59	0.12	0.11	2.06	1.91
03:00	0.67	0.51	0.11	0.11	2.40	2.23	0.72	0.62	0.11	0.11	2.47	2.24
06:00	0.54	0.50	0.15	0.15	2.11	1.98	0.58	0.52	0.14	0.15	2.17	2.01
09:00	0.74	0.70	0.13	0.13	3.12	2.75	0.86	0.74	0.12	0.13	3.39	2.82
12:00	0.77	0.72	0.14	0.15	3.04	2.79	0.86	0.75	0.14	0.16	3.28	2.80
15:00	0.76	0.66	0.12	0.13	2.84	2.49	0.88	0.70	0.12	0.14	3.12	2.52
18:00	0.86	0.83	0.11	0.11	3.49	3.27	0.96	0.87	0.11	0.11	3.68	3.33
21:00	0.75	0.71	0.13	0.13	2.86	2.73	0.79	0.72	0.13	0.13	2.93	2.75
平均	0.71	0.65	0.13	0.13	2.73	2.52	0.79	0.69	0.12	0.13	2.89	2.55

满州里八个时段的月中值(十二个月的平均值)

算了用 IG_{12} 和 R_{12} 进行预报时的预报误差. 各站正午值的预报误差列于表 4A—7A, 8 个小时的预报误差(年平均值)列于表 4B—7B, 而对所有的小时-月份组的平均值列于表 8. 下面分别讨论 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$ 的预报情况.

表 5A 用 IG_{12} 和 R_{12} 作提前六个月和提前十二个月的 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$ 预报的预报误差

月份	提前六个月						提前十二个月					
	f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)		f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)	
	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}
1	0.90	0.90	0.14	0.16	3.06	2.98	0.94	0.69	0.14	0.15	3.17	2.58
2	0.91	0.86	0.12	0.11	3.08	3.32	1.05	0.91	0.12	0.11	3.34	3.24
3	1.08	0.74	0.12	0.11	3.39	3.05	1.17	0.85	0.12	0.12	3.35	3.03
4	0.93	0.72	0.11	0.12	3.53	3.26	1.03	0.84	0.11	0.12	3.72	3.39
5	1.01	0.79	0.10	0.10	2.97	2.57	1.13	0.84	0.10	0.10	3.25	2.70
6	1.40	1.00	0.14	0.12	3.40	2.59	1.24	0.98	0.13	0.13	3.05	2.52
7	0.90	0.70	0.16	0.16	2.24	1.85	0.96	0.68	0.16	0.15	2.26	1.83
8	1.15	1.02	0.13	0.13	3.24	3.11	1.24	1.00	0.13	0.12	3.53	3.21
9	1.24	1.07	0.13	0.14	4.26	3.85	1.42	1.03	0.13	0.14	4.65	3.81
10	0.92	0.84	0.12	0.13	3.03	3.02	1.03	0.86	0.12	0.12	3.23	3.10
11	0.98	0.97	0.17	0.17	3.62	3.80	1.07	0.98	0.18	0.16	3.66	3.97
12	0.91	0.87	0.15	0.15	2.59	2.61	1.02	0.74	0.16	0.14	2.79	2.45
平均	1.03	0.87	0.13	0.13	3.20	3.00	1.11	0.86	0.13	0.13	3.35	2.99

重庆正午月中值

表 5B 用 IG_{12} 和 R_{12} 作提前六个月和提前十二个月的 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$ 预报的预报误差

时间	提前六个月						提前十二个月					
	f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)		f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)	
	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}
00:00	1.03	0.96	0.20	0.19	3.32	3.29	1.12	0.98	0.20	0.19	3.53	3.35
03:00	0.66	0.59	0.17	0.18	2.27	2.06	0.71	0.59	0.17	0.18	2.42	2.10
06:00	0.73	0.67	0.23	0.22	2.38	2.33	0.76	0.67	0.23	0.22	2.42	2.35
09:00	0.86	0.84	0.20	0.19	2.90	3.18	0.94	0.84	0.20	0.19	2.99	3.21
12:00	1.03	0.88	0.13	0.13	3.20	2.99	1.10	0.86	0.13	0.13	3.36	3.01
15:00	1.20	1.04	0.15	0.15	3.77	3.55	1.29	1.02	0.16	0.15	3.91	3.57
18:00	1.38	1.26	0.18	0.18	4.56	4.38	1.50	1.25	0.18	0.17	4.79	4.46
21:00	1.35	1.32	0.15	0.15	4.29	4.23	1.50	1.33	0.15	0.15	4.69	4.25
平均	1.03	0.95	0.18	0.17	3.33	3.27	1.12	0.94	0.18	0.17	3.52	3.30

重庆八个时段的月中值(十二个月的平均值)

IG_{12} 指数用于 f_0F_2 的预报 由表中看出,用 IG_{12} 指数代替 R_{12} 指数进行 f_0F_2 的预报可使预报误差明显地减小. 这结果与文献[2]中的结论是一致的. 即利用 CCIR 电离层特性数值图表进行 f_0F_2 的预报时,全球等效太阳黑子数 IG_{12} 比 R_{12} 好,由此可得更精确的预报. 说明这一结论不仅适用于文献 [2] 中的 16 个电离层观测站,同时也适用于

表 6A　用 IG_{12} 和 R_{12} 作提前六个月和提前十二个月的 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$ 预报的预报误差

月份	提前六个月						提前十二个月					
	f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)		f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF (MHz)	
	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}
1	1.38	1.25	0.16	0.17	4.58	4.37	1.39	1.16	0.16	0.16	4.62	4.29
2	1.47	1.29	0.15	0.15	5.02	4.79	1.53	1.32	0.17	0.15	5.06	4.88
3	1.66	1.51	0.15	0.15	5.82	5.57	1.70	1.52	0.16	0.15	5.81	5.63
4	1.87	1.65	0.17	0.18	7.20	6.86	1.91	1.71	0.18	0.18	7.26	7.00
5	1.75	1.52	0.13	0.14	6.36	5.90	1.81	1.55	0.14	0.15	6.41	5.93
6	1.54	1.35	0.16	0.16	5.41	5.03	1.59	1.37	0.16	0.17	5.43	4.97
7	1.45	1.42	0.16	0.16	3.92	3.63	1.46	1.34	0.16	0.16	3.99	3.48
8	1.74	1.49	0.14	0.14	6.05	5.60	1.80	1.51	0.14	0.14	6.21	5.50
9	1.86	1.74	0.15	0.16	7.13	6.93	1.93	1.73	0.15	0.16	7.29	6.83
10	1.45	1.28	0.15	0.15	5.70	5.49	1.49	1.24	0.15	0.16	5.76	5.34
11	1.66	1.48	0.17	0.18	6.11	5.88	1.70	1.47	0.18	0.19	6.14	5.77
12	1.26	1.06	0.19	0.19	4.73	4.45	1.32	1.02	0.20	0.19	4.66	4.38
平均	1.59	1.42	0.16	0.16	5.67	5.37	1.64	1.41	0.16	0.16	5.75	5.33

广州正午月中值

表 6B　用 IG_{12} 和 R_{12} 作提前六个月和提前十二个月的 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$ 预报的预报误差

时间	提前六个月						提前十二个月					
	f_0F_2(MHz)		M(3000)F_2		$F_2(4000)$ MUF(MHz)		f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)	
	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}
00:00	1.82	1.62	0.14	0.14	6.16	5.27	2.04	1.57	0.14	0.14	6.68	5.34
03:00	1.45	1.30	0.19	0.20	5.81	5.26	1.59	1.34	0.19	0.20	6.14	5.32
06:00	0.63	0.62	0.22	0.22	2.15	2.19	0.67	0.64	0.23	0.22	2.16	2.21
09:00	0.77	0.71	0.15	0.15	2.56	2.59	0.85	0.73	0.16	0.15	2.63	2.54
12:00	1.59	1.42	0.16	0.16	5.64	5.36	1.64	1.41	0.16	0.16	5.70	5.32
15:00	2.14	1.94	0.17	0.17	7.16	6.95	2.18	1.93	0.19	0.18	7.19	6.90
18:00	2.26	1.99	0.17	0.18	7.64	7.28	2.34	1.97	0.19	0.18	7.73	7.18
21:00	2.23	1.83	0.19	0.19	7.42	6.43	2.44	1.89	0.19	0.20	7.86	6.42
平均	1.61	1.43	0.17	0.18	5.57	5.17	1.72	1.44	0.18	0.18	5.76	5.16

广州八个时段的月中值(十二个月的平均值)

我国地区;不但适用于正午的 f_0F_2 预报,而且也适用于其他时间. 其原因是两方面的,首先由于 IG 指数是一种电离层导出指数,它对于 f_0F_2 的相关性比 R_{12} 的更好,第三节的计算结果亦说明了这一点. 其次,IG 的当月值与其流动平均值的偏离要比太阳黑子数 R 小,这就使得 IG_{12} 的预报精度要比 R_{12} 高.

表 7A 用 IG_{12} 和 R_{12} 作提前六个月和提前十二个月的 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$ 预报的预报误差

月份	提前六个月						提前十二个月					
	f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)		f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)	
	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}
1	0.84	0.71	0.14	0.17	3.50	3.20	0.86	0.69	0.13	0.16	3.60	3.26
2	0.95	0.82	0.17	0.17	3.46	3.32	1.02	0.85	0.17	0.17	3.47	3.38
3	0.92	0.75	0.17	0.17	3.30	3.37	0.93	0.79	0.18	0.17	3.26	3.41
4	1.01	0.84	0.11	0.12	3.62	3.68	0.98	0.92	0.11	0.12	3.69	3.82
5	1.35	1.13	0.11	0.12	4.94	4.58	1.40	1.24	0.11	0.12	5.06	4.81
6	1.39	1.16	0.15	0.15	5.17	4.81	1.42	1.24	0.15	0.15	5.26	4.94
7	1.34	1.13	0.19	0.20	5.51	5.19	1.32	1.12	0.19	0.20	5.51	5.15
8	1.47	1.27	0.25	0.26	6.42	6.34	1.47	1.28	0.25	0.26	6.56	6.39
9	1.04	0.91	0.24	0.23	4.59	4.73	1.05	0.90	0.24	0.24	4.62	4.60
10	0.89	0.77	0.12	0.12	2.80	2.92	0.92	0.79	0.13	0.13	2.79	2.86
11	1.17	1.00	0.16	0.17	4.99	4.89	1.24	0.95	0.16	0.17	5.04	4.79
12	1.06	0.88	0.19	0.20	4.75	4.56	1.15	0.86	0.19	0.20	4.81	4.54
平均	1.12	0.95	0.17	0.17	4.42	4.30	1.15	0.97	0.17	0.17	4.47	4.33

海口正午月中值

表 7B 用 IG_{12} 和 R_{12} 作提前六个月和提前十二个月的 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$ 预报的预报误差

时间	提前六个月						提前十二个月					
	f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)		f_0F_2(MHz)		$M(3000)F_2$		$F_2(4000)$ MUF(MHz)	
	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}	R_{12}	IG_{12}
00:00	1.74	1.36	0.22	0.23	7.82	6.91	1.85	1.59	0.22	0.23	8.08	7.10
03:00	0.84	0.79	0.28	0.29	4.00	3.62	0.87	0.84	2.80	0.29	4.10	3.72
06:00	0.98	0.94	0.20	0.21	4.35	4.13	1.01	0.94	0.20	0.21	4.40	4.14
09:00	0.98	0.82	0.18	0.19	4.20	3.91	1.01	0.82	0.18	0.19	4.30	3.90
12:00	1.12	0.95	0.17	0.17	4.44	4.31	1.15	0.98	0.17	0.18	4.48	3.33
15:00	1.23	0.88	0.16	0.17	4.98	4.96	1.20	0.99	0.17	0.18	4.97	4.95
18:00	1.48	1.44	0.19	0.20	6.55	6.44	1.65	1.45	0.19	0.21	6.59	6.41
21:00	1.73	1.35	0.25	0.26	7.42	6.64	1.84	1.43	0.25	0.26	7.66	6.76
平均	1.26	1.07	0.21	0.22	5.47	5.11	1.32	1.13	0.21	0.22	5.57	5.16

海口八个时段的月中值(十二个月的平均值)

IG_{12} 用于 $M(3000)F_2$ 的预报 其预报精度与采用 R_{12} 时基本相同，在低纬度的两个观测站则略差一些. 这种情况大致可以认为是以下几种因素造成的: (1)在导出 IG 指数时用的是数值图表中所隐含的 f_0F_2-R_{12} 迴归线，而预报 $M(3000)F_2$ 时用的是另一条 $M(3000)F_2$-R_{12} 迴归线. 因此 IG_{12} 虽然能使 f_0F_2 的预报精度提高，却不能保证使

表 8　用 IG_{12} 和 R_{12} 作提前六个月和提前十二个月的 f_0F_2 和 $F_2(4000)MUF$ 预报的预报误差及改善的百分数

站名	提前六个月						提前十二个月					
	f_0F_2(MHz)			$F_2(4000)MUF$(MHz)			f_0F_2(MHz)			$F_2(4000)MUF$(MHz)		
	R_{12}	IG_{12}	改善(%)	R_{12}	IG_{12}	改善(%)	R_{12}	IG_{12}	改善(%)	R_{12}	IG_{12}	改善(%)
满州里	0.71	0.65	9.2	2.73	2.52	8.3	0.79	0.69	14.5	2.89	2.55	13.3
重　庆	1.03	0.95	8.4	3.33	3.27	1.8	1.12	0.94	19.1	3.52	3.30	6.7
广　州	1.61	1.43	12.6	5.57	5.17	7.7	1.72	1.44	19.4	5.76	5.16	10.4
海　口	1.26	1.07	17.8	5.47	5.11	7.0	1.32	1.13	16.8	5.57	5.16	7.9
平　均			12.0			6.2			17.5			9.6

所有的小时-月份组的平均值

$M(3000)F_2$ 的精度提高．(2) f_0F_2 与太阳活动性是正相关，而 $M(3000)F_2$ 与太阳活动性呈负相关．由第三节看出，IG_{12} 与 f_0F_2 的相关系数比 R_{12} 的高，而 IG_{12} 与 $M(3000)F_2$ 的相关系数(绝对值)比 R_{12} 的略低．由正相关特性推出的 IG 指数在导致 f_0F_2 预报改善的同时，一般来说会影响与之负相关的 $M(3000)F_2$ 的预报精度．(3) $M(3000)F_2$ 随太阳活动性变化范围不大，所以无论采用 R_{12} 还是 IG_{12}，其预报误差大致相同．

IG_{12} 指数用于 $F_2(4000)MUF$ 的预报　对绝大多数月份和时段要比用 R_{12} 来得好．从表 8 中的数据来看，平均来说，对提前 6 个月的预报改善 6% 左右，对提前 12 个月的预报改善 10% 左右．这是因为在 CCIR 预报方法中，$F_2(4000)MUF$ 的预报值是利用 f_0F_2 和 $M(3000)F_2$ 的预报值用公式(1)计算出来的．由于 IG_{12} 在预报 f_0F_2 时明显地优于 R_{12} 指数，而在预报 $M(3000)F_2$ 时两者差不多，所以在预报 $F_2(4000)MUF$ 时总的效应仍然是 IG_{12} 指数优于 R_{12} 指数．若在 CCIR 预报方法中采取象 f_0F_2 一样直接预报 $F_2(4000)MUF$，那么根据第三节中相关性分析的结果可以预计，用 IG_{12} 指数代替 R_{12} 指数，改善的幅度会更大．由我国的电离层观测站数据的比较结果得到如下启示，在使用 CCIR 电离层数值图表时，亦可用 IG_{12} 指数代替 R_{12} 指数进行全球范围的 $F_2(4000)MUF$ 预报．

五、结　论

电离层导出的太阳活动指数 IG_{12} 对于 f_0F_2 和 $F_2(3000)MUF$ 的相关性比直接指数太阳黑子数 R_{12} 好，因此使用 IG_{12} 指数可以导致更为精确的电离层长期预报．

利用我国的四个电离层观测站的资料与预报结果的比较表明，在用 CCIR 电离层特性数值图表(奥斯陆文本)进行全球电离层预报时可以用全球等效太阳黑子数 IG_{12} 全面代替太阳黑子数来预报 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$，其优点是：

1. 得到更为精确的电离长期预报．对于提前 12 个月的 f_0F_2 的预报平均改善 18%，对 $F_2(4000)MUF$ 的预报平均改善 10%，而对于 $M(3000)F_2$ 的预报则基本保持一样．

2. 使用简便. 保持使用 CCIR340 号报告中的所有预报程序不变，只是在预报 f_0F_2、$M(3000)F_2$ 和 $F_2(4000)MUF$ 的部分凡是有 R_{12} 的地方都用 IG_{12} 来代替，包括把图表的参考点 $R_{12}=0$ 和 100 重新定义为 $IG_{12}=0$ 和 100. 其他的太阳活动性导出指数虽然它们与 f_0F_2 的相关性亦比 R_{12} 与 f_0F_2 的好，但由于采用的导出它们的逼归线与 CCIR 图表中所隐含的不一致，因此不能用于 CCIR 预报方法.

3. 避免了在使用 R_{12} 进行预报时所遇到的几个问题，特别是所谓的"饱和效应"和"长期变化"[2].

4. IG 指数完全由电离层数据来决定而不依赖于天文台对太阳黑子的观测和计算，也就是用电离层来预报电离层.

参 考 文 献

[1] CCIR Atlas of Ionospheric Characteristics, Report 340, ITU, Geneva, 1983.
[2] Liu, R. Y., P. A. Smith and J. W. King, *Telecommunication Journal*, Vol. **50**, p. 408, 1983.
[3] CCIR Document 6/138-E Opinion 82, ITU, Geneva, p. 170, 1983.
[4] Minnis, C. M. and G. H. Bazzard, *J. Atmos. Terr. Phys.*, Vol. **18**, p. 297, 1960.
[5] Joachim, M., *Nature*, Vol. **210**, p. 89, 1966.
[6] Wilkinson, P. J., Ionospheric Prediction Service Reportt R41, Darlinghust, New South Wales, Australia, 1982.
[7] Stewart, F. G. and S. M. Ostrow, *Telecommunication Journal*, Vol. **37**, p. 228, 1970.

Use of a Global Effective Sunspot Number IG_{12} for Long-term Ionospheric Predictions

Liu Rui-yuan Liu Ke-feng Zhou Yu-zhi

(China Research Institute of Radio-wave Propagation)

Abstract

The possibility of the use of a global effective sunspot number IG_{12} for long-term ionospheric predictions is investigated in this paper based on the data of vertical incidence sounding stations in China. It is shown that the relationship between the ionospherically-derived index IG_{12} and the ionospheric characteristic (f_0F_2 or $F_2(3000)MUF$) is better than that between sunspot number R_{12} and the ionospheric characteristic.

The efficacy of the use of IG_{12} for predicting f_0F_2, $M(3000)F_2$ and $F_2(4000)MUF$ is evaluated, using CCIR Report 340, by comparison with R_{12} in current use. The evidence presented shows that the use of IG_{12} instead of R_{12} in the CCIR prediction scheme yields more accurate values of f_0F_2 and $F_2(4000)MUF$. In the predictions of f_0F_2 and $F_2(4000)MUF$ 12-month in advance. The average improvments in accuracy are about 18% and 10% respectively. Other advantages arising from the use of the IG_{12} index are also discussed.