

太阳系天体位置、固体潮与地震预测*

李 勇**

(中国科学院国家天文台, 北京 100012)

摘要 据历史时期地震资料, 可得出震概率与太阳系主要天体位置分布的相关性, 以及震级与震中引潮力的相关性. 处理了 1900~1996 年中国北京周边 $\pm 3^\circ$ 地区 4.5 及以上级的完整的 204 次地震数据. 指出该相关性模型也许可用于地震预测, 并作初步尝试. 但是, 对于这种基于统计的探索工作, 尚需反复实践和检验, 仅供学界进一步的研究和讨论.

关键词 行星位置 固体潮 地震预测 北京 统计 天文地球动力学

当今, 尽管对地震这一世界难题的研究仍处于艰难的摸索阶段, 但研究并未停止. 工作已不仅注重预测模型的构建^[1-3], 也考虑触发机制问题, 甚至包括降雪对地震的影响^[4]. 但或许由于地震发源于地球内部, 无法直接获取观测资料, 加之其他诸多复杂因素, 致使研究工作进展缓慢^[5]. 目前有关天文地震学^[6,7]领域的研究, 除利用天体周期^[8]及时纬观测资料^[9]可进行地震预报外, 其余则多集中于地震与: (i) 地球自转^[10-16]; (ii) 太阳活动^[17]; (iii) 天体引潮力^[18-23]; (iv) 天体位置 (主要为行星联珠、会聚等特殊位置)^[24-28]等相关性的研究. 考察这些工作, 其实用性尽管有强弱之分, 但它们无疑为后续研究打下了基础. 本工作属后两项内容.

地震时太阳系主要天体(日、月及行星)都处于确定位置, 利用这一关系, 通过对某地区历史资料的归算, 可从理论上建立某时间地震的发震概率与天体位置的相关性. 基于对地震频度和能量统计的基础工作^[29], 及对先期模型的改进^[30], 本文尝试采用该相关性建立地震的时间预测模型. 此外, 研究天体与地震的相关性, 仅仅讨论天体的位置似乎还不够. 随着固体潮理论已趋成熟^[31,32], 研究天体摄动, 特别是引潮力对地震的作用和影响已成为可能. 这也是不可忽视的

2004-12-12 收稿, 2005-02-22 收修改稿

* 天元基金资助项目(批准号: A0324673)

** E-mail: yli@bao.ac.cn

重要因素,或许还涉及到地震的触发机制问题.为此,本文同样可以得出地震震级与固体潮(大小和方向)的相关性,并尝试建立了地震的震级预测模型.概言之,就是通过历史资料,推算地震发生时天体的位置及震中的引潮力,再由建立的相关性模型对可能发生的地震作出预测.

然而,地震研究极为复杂,影响因素众多,需要多种手段的内外因耦合尤其是天地耦合的预测,方可获得较好效果^[33].就本文而言,目前研究者仍对天体因素是否调制、影响,甚至足以触发地震争议较大,尚无定论.我们估且把它当作诱因之一,而最终地震发生与否还取决于其自身的孕育过程.实际上,地震研究的现状已使悲观者甚至认为地震根本无法预测^[34],难道它将永远成为未解之谜?本文的工作仅是对一种发震可能性所作的预测和尝试.

1 地震资料

根据这一思路,本文研究了北京(东经 $116^{\circ}.4$, 北纬 $39^{\circ}.9$)及其周边地区(经纬度 $\pm 3^{\circ}$ 范围)的1900~1996年间的所有地震,这相当于北京方圆约400 km的范围.研究局部区域地震,就可认为该区域内的地球物理因素相近,从而从某种程度上简化了问题的复杂性.图1给出了该区域及相应的地震分布,其中三角形指1900~1996年的204次地震,用于构建相关性模型;圆形为1997年1月1日至2003年3月31日的17次地震,用于模型的检验.

值得注意的是,这一区域内也曾经发生过强震.著名的有:(i)1679年9月2日的三河—平谷8.0级地震(北京距震中仅约40 km);(ii)1966年3月22日的河北邢台7.2级地震;(iii)1969年7月18日的山东渤海7.4级地震;(iv)1976年7月28日的河北唐山7.8级地震.虽然这一地域自1977年以来的25年间无6.5级以上大震,同时也有研究认为北京地区近期不会发生较强地震^[35],但对地震的警惕性仍不能放松.

2 发震概率与天体位置

令 N 表示采用地震资料数据量, x_i 为资料 i 对应的天体位置,天体的公转周期为 T ,定义某天体 j 位于其周期内某日 x_0 处的发震概率函数:

$$R_j(x_0) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{s_i}$$

(i) 若 $\text{abs}\left(x_i - x_0 \times \frac{360^{\circ}}{365^d \cdot 2422 \times T}\right) \leq 180^{\circ}$, $s_i = \text{abs}\left(x_i - x_0 \times \frac{360^{\circ}}{365^d \cdot 2422 \times T}\right)$; 若 $\text{abs}\left(x_i - x_0 \times \frac{360^{\circ}}{365^d \cdot 2422 \times T}\right) > 180^{\circ}$, $s_i = 360 - \text{abs}\left(x_i - x_0 \times \frac{360^{\circ}}{365^d \cdot 2422 \times T}\right)$. (ii) 当

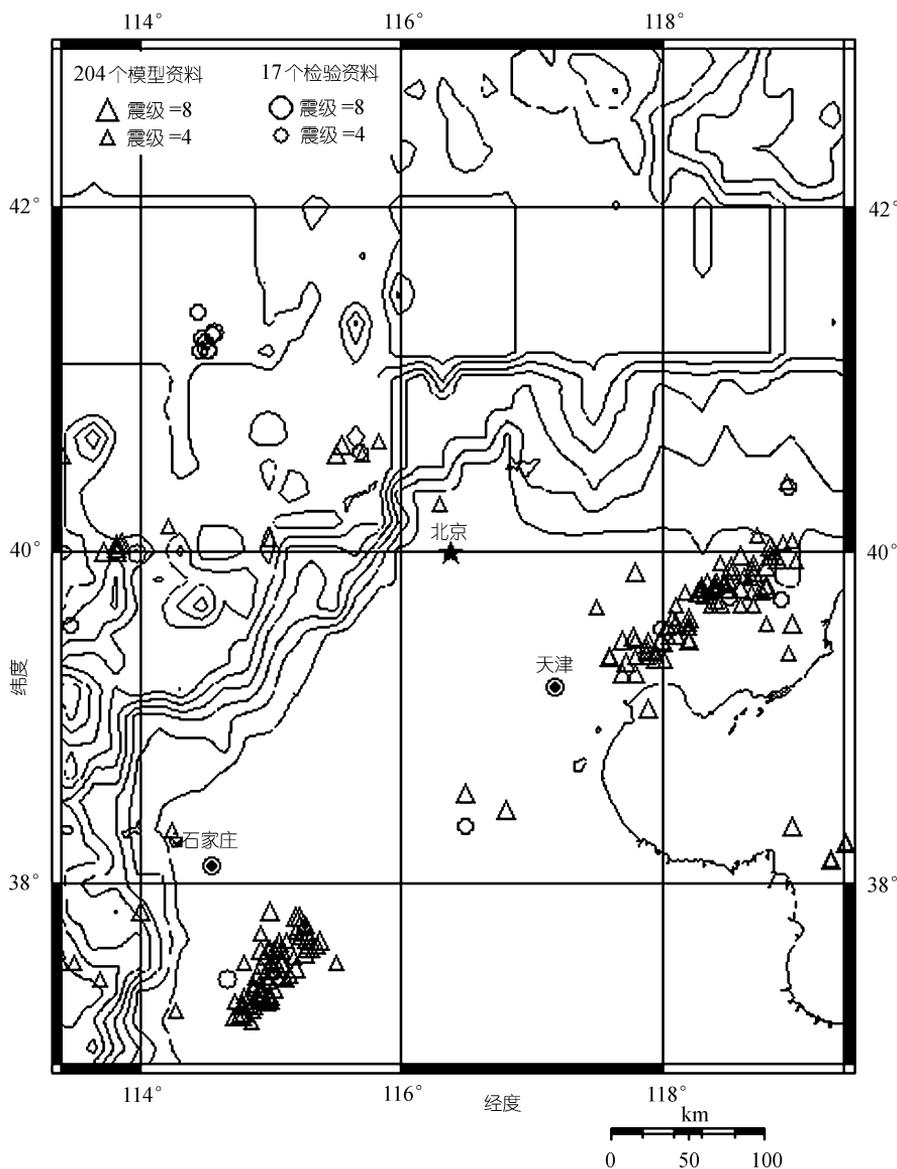


图1 北京周边 $\pm 3^\circ$ 地区的 $M \geq 4.5$ 地震分布
 三角形指 1900-1996 年的 204 次地震, 圆形为 1997 年 1 月 1 日至 2003 年 3 月 31 日的 17 次地震.
 其形状的大小表示震级

$$s_i \geq \frac{360^\circ}{365^d \cdot 2422 \times T} \text{ 时, } s_i = s_i \times \frac{365^d \cdot 2422 \times T}{360^\circ}; \text{ 当 } s_i < \frac{360^\circ}{365^d \cdot 2422 \times T} \text{ 时, } s_i = 1.$$

因模型的采样间隔为日, 这就将模型的分辨率限定为 1 日. 概率函数实际是用每次历史地震发生时该天体所处位置与设定位置的距离(转换成积日)的倒数表

示, 即距离值越小, 发震率频度越高, 反之则小, 但最大值为 1, 最小可接近于 0. 于是, 本文针对太阳系主要天体(水星、金星、火星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星及月、日)具体计算了地震发生时的: 1) 视黄经值 x_i . 2) 发震概率函数值 $R_j(x_0)$.

图 2 所得即为太阳系 10 天体的发震概率 $R_j(x_0)$ 分布的归一化值. 它是一个连续的、无盲区的的结果, 其特点和强弱关系十分明显, 且包含了全部采用资料的信息. 利用这一分布关系进而可对地震的发震时间作出预报. 但由于 1900 年后才有较准确的地震记时资料, 基于百年资料, 对于海王星和冥王星这些较长周期的天体, 其发震率模型自然尚不够完整, 图 2 较平滑的区域就因缺少资料造成.

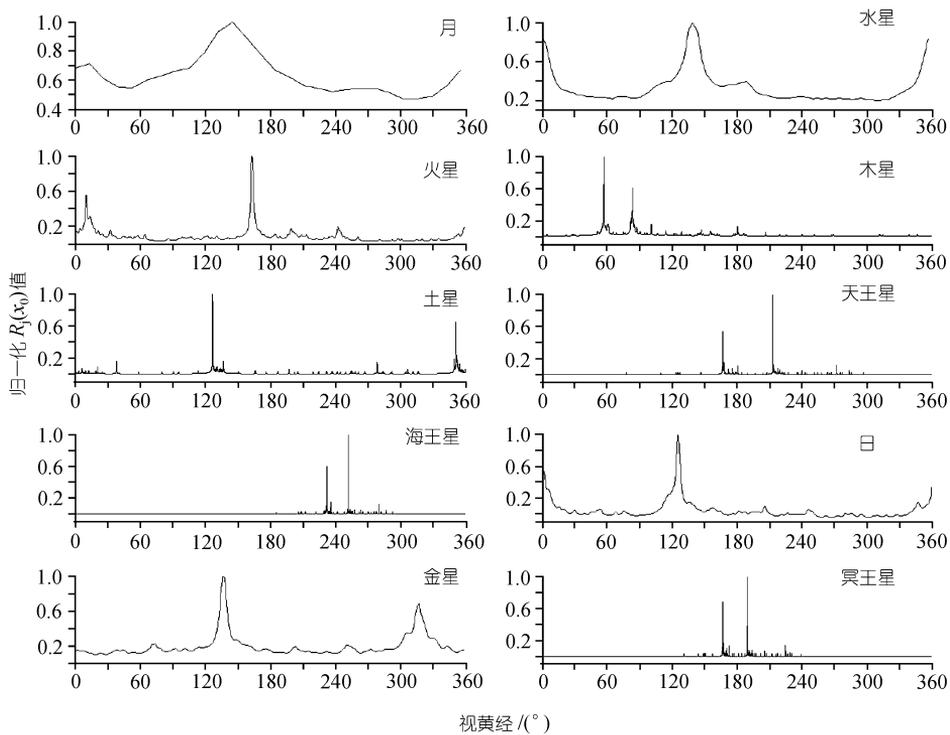


图 2 太阳系 10 天体的视黄经位置与地震发震概率的相关性模型 $R_j(x_0)$

3 地震震级与固体潮

本文计算了 204 次地震时震中所受引潮力. 经考察比较, 现尝试建立引潮力的水平分量及其方位角与震级 M 的相关性模型: $M = M(F_{xy})$ 及 $M = M(AZ)$, 用图 3 表示, 其中 F_{xy} 表示引潮力水平分量的大小, 方位角 AZ 则代表 F_{xy} 的方向(由北点向东计量为正, 向西计量为负). 至于具体的计算方法及过程, 本文未作详述^[36].

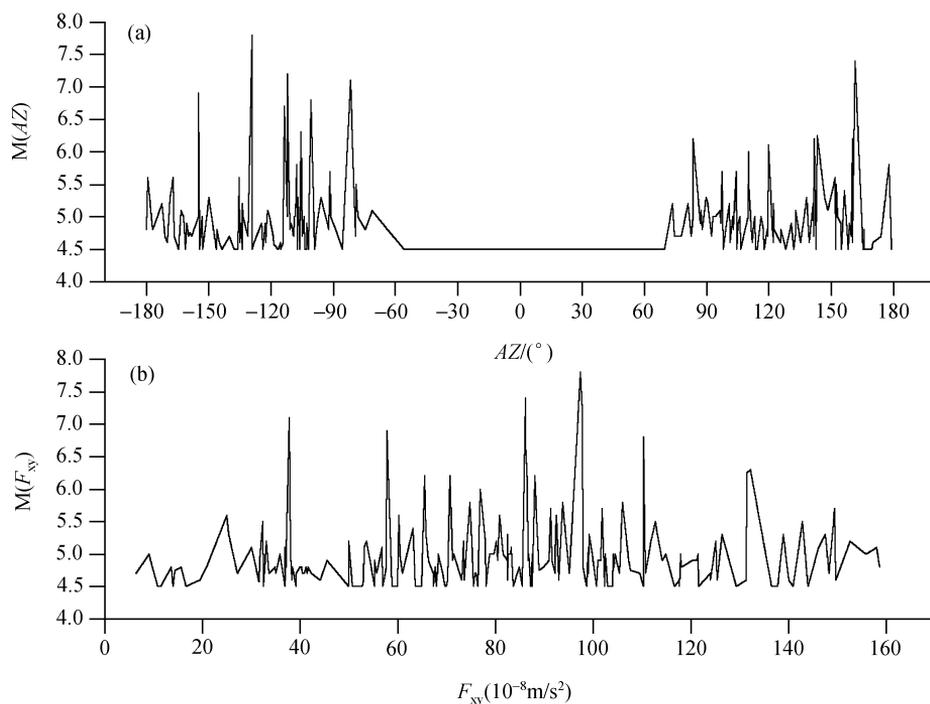


图 3

(a) 引潮力方位角 AZ 与地震震级的相关性模型 $M(AZ)$; (b) 引潮力水平分量 F_{xy} 与地震震级的相关性模型 $M(F_{xy})$

图 3 的 $M(F_{xy})$ 还反映出引潮力的大小并不与地震震级的大小同步. 此外, $M(AZ)$ 表明, AZ 似乎还存在约 110° 范围的盲区 ($-55^\circ < AZ < 55^\circ$).

4 预测尝试

预测工作分两步进行: 1) 由发震概率与太阳系主要天体位置的相关性(模型 1) 预测未来可能发生地震的时间; 2) 由地震震级与固体潮的相关性(模型 2), 并借助其他方法得到的时间、地点, 来预测相应的地震震级.

显然, 模型 1 的建立与选用地震资料的区域及震级有关. 对每一相关天体, 预测工作是这样进行的, 先设定步长, 计算出待测时间范围内每一时刻各天体的视黄经值, 再将由模型(图 2) 得到的诸天体在相应位置的发震概率数值代入, 最后得到的以时间为自变量的概率曲线就是预测结果. 实际上, 为了更有效地进行预测, 还可将不同天体的预测结果进行叠加处理. 本文并未采用天王星、海王星和冥王星这些长周期行星的结果, 图 4 给出 1997~2010 年间, 由日、月及金、木、水、火、土星 7 星的组合模型所作的逐日(北京时间 $0^h:00$) 概率预测曲线 $P(t)$, 取:

$$P(t) = \sum_{j=1}^7 R_j(x_0).$$

它显示每天发震可能性的大小, 相当于给出了地震的危险指数. 图中 22 个“十字”为主要峰值的位置, 平均 0.64 年(232 d)给出 1 个预测, 其详细数据列于表 1, 这些日期的附近表示地震的发震概率较大, 为易发时间.

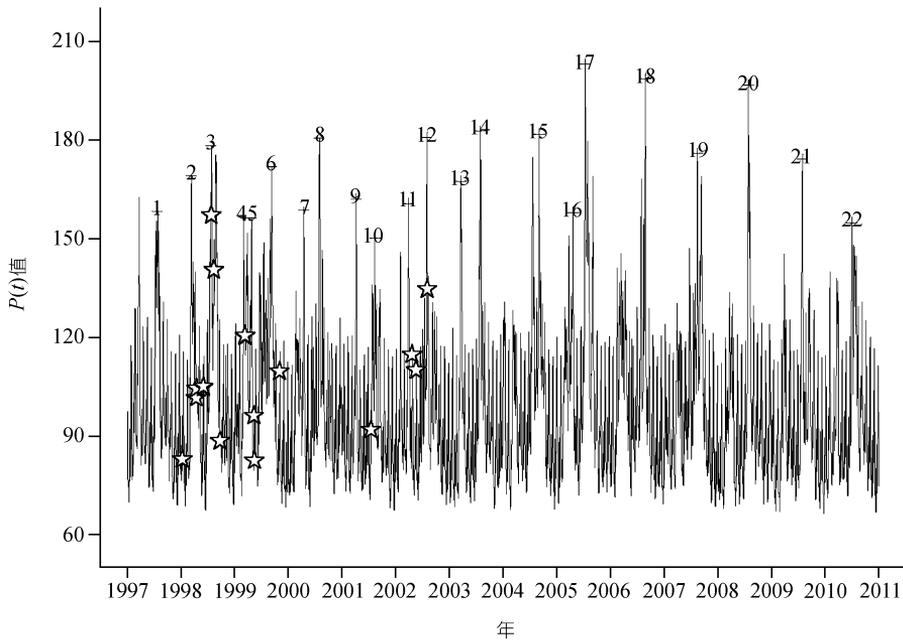


图 4 预测北京及 $\pm 3^\circ$ 周边地区 1997~2010 年间的地震易发时间

然后, 由该 22 个发震概率较大的时间点, 计算出其时引潮力 F_{xy} 和 AZ 值, 地点取北京, 深度取 0 km. 再据模型 2, 通过内插, 对相应的地震震级作出预测(表 1). 所得震级的预测范围为 6.4~4.5 间, 均值为 4.9~5.0. 这样本文相当于完成了对地震的时间和震级两要素的预测.

5 检验

为考察模型的可行性, 检验工作必不可少. 本文采用中国地震台网 (<http://ibmf50.cnsdmc.ac.cn/cgi-bin/db2www/schdata.d2w/input>) 测定并公布的所有该地区自 1997 年 1 月 1 日至 2003 年 3 月 31 日的 17 次 $M \geq 4.5$ 地震用于检验(表 2), 其中时间“误差”用实际发震时间距最近峰值的日数(绝对值)表示, 由模型 1 预测所得的时间平均误差为 31.5 d. 显然其大小还与圈定的峰值数有关. 图 4 中的星形则表示这 17 次地震在预测图中的实际位置. 通过模型 2 预测震级的方法如

上所述, 两者预测所得震级误差的平均值分别为 0.11 和 0.10, 其绝对值的平均则是 0.44 和 0.52.

表 1 1997~2010 年间的 22 个地震时间和震级的预测结果

序	时间预测		震级预测		序	时间预测		震级预测	
	日期	$P(t)$ 值	$M(F_{xy})$ 值	$M(AZ)$ 值		日期	$P(t)$ 值	$M(F_{xy})$ 值	$M(AZ)$ 值
1	1997.7.25	158.28	4.83	4.60	12	2002.7.30	180.78	5.12	4.68
2	1998.3.12	169.14	4.51	4.67	13	2003.3.18	167.54	4.81	5.25
3	1998.7.26	178.36	4.92	4.94	14	2003.7.31	182.75	4.50	5.38
4	1999.3.2	156.56	4.52	5.56	15	2004.9.1	181.86	5.41	5.05
5	1999.4.25	156.46	6.42	4.53	16	2005.4.20	158.04	4.83	5.59
6	1999.9.9	171.93	4.74	4.70	17	2005.7.12	203.13	4.50	4.61
7	2000.4.15	158.69	4.94	4.92	18	2006.8.24	198.64	4.87	5.22
8	2000.7.29	180.65	5.50	4.71	19	2007.8.14	175.99	5.08	4.50
9	2001.4.5	162.10	5.54	4.81	20	2008.7.25	196.67	4.85	4.75
10	2001.8.10	150.17	4.56	4.55	21	2009.7.29	174.17	4.54	4.60
11	2002.3.28	160.71	5.16	4.67	22	2010.7.1	154.91	4.91	5.22

表 2 17 次检验资料及时间和震级的预测误差

序	日期	北京时/h:m:s	北纬/(°)	东经/(°)	深度/km	震级	震级预测误差		时间预测		
							$M(F_{xy})$ 法	$M(AZ)$ 法	$P(t)$ 值	误差/d	
1	1998-1-10	11:50:39	41.12	114.51	15	6.3	-1.16	-1.56	82.96	60.52	
2	1998-4-14	10:47:52	39.65	118.51	23	4.6	0.24	0.16	101.60	33.46	
3	1998-4-16	7:13:44	39.64	118.91	28	4.7	-0.19	0.12	104.45	35.28	
4	1998-6-2	9:32:7	41.11	114.46	10	4.8	0.32	-0.27	104.79	53.58	
5	1998-6-2	10:47:32	41.11	114.53	29	4.5	1.50	0.56	105.13	53.54	
6	1998-7-27	9:17:0	41.21	114.56	33	4.5	0.00	0.40	157.13	1.39	
7	1998-8-13	18:21:53	41.19	114.48	15	4.8	-0.08	-0.12	140.50	18.77	
8	1998-9-23	21:29:44	41.16	114.50	16	4.5	0.31	0.35	88.48	59.90	
9	1999-3-11	21:18:6	41.22	114.57	17	5.6	-0.40	-0.82	120.33	9.90	
10	1999-3-12	23:16:30	41.34	114.45	18	4.6	1.40	0.18	120.56	10.99	
11	1999-5-12	8:55:17	40.30	118.97	15	4.5	0.08	0.86	96.20	17.35	
12	1999-5-15	16:11:17	39.49	113.47	9	4.5	0.45	0.86	82.59	20.67	
13	1999-11-1	21:25:15	39.91	113.98	10	5.6	-0.91	-0.64	109.68	53.87	
14	2001-7-16	12:21:40	38.30	116.49	30	4.5	0.06	0.64	91.95	24.51	
15	2002-4-22	3:34:37	37.40	114.67	24	5.0	0.18	0.67	114.75	25.13	
16	2002-5-19	7:9:22	39.46	118.00	32	4.5	0.12	0.49	110.04	52.30	
17	2002-8-3	15:57:42	40.51	115.69	10	4.7	-0.06	-0.17	134.69	4.64	
平均误差							0.11	0.10		31.52	

此外, 2003 年 8 月 16 日, 在内蒙古的巴林、阿鲁旗间(北纬 $43^{\circ}.9$, 东经 $119^{\circ}.7$) 发生了 5.9 级地震. 有趣的是, 这次地震在本工作中亦有反映, 图 4 或表 1 中的序 14 给出的预测是: 2003 年 7 月 31 日, 时间误差仅为 16 d; 震中位置在本文划定的预测区域东北, 偏差约 100 km(经度差 $0^{\circ}.3$, 纬度差 $1^{\circ}.0$); 另外, 本文预测的震级则分别是 4.5 和 5.4.

经查: 2004 年 10 月 11 日在该区域(北纬 $38^{\circ}.4$, 东经 $118^{\circ}.2$)发生了 4.7 级地震, 与本文预测的 2004 年 9 月 1 日(图 4 或表 1 中的序 15)误差 40 d, 震级误差分别为 0.7 和 0.4 级, 震中位置则完全相合.

表 2 对 17 次资料的检验表明, 两种方法预测震级的精度相仿, 但基于对最新两次地震的考察, 本文以为似用 $M(AZ)$ 法预测震级更好.

6 讨论

1) 地震预测难以研究, 又不得不研究. 本工作避开了复杂的机制问题, 试图通过归算发震时天体的位置分布, 及震中引潮力水平分量(大小和方向)的分布, 建立了较精确的地震时间与震级的预测模型, 两种模型还具有良好的互补性. 加之模型所选定的地域, 也就基本实现了对地震三要素的预报. 这一方法的实质在于依据历史时期的地震资料建立模型, 然后再由模型预测后续地震. 表 1 用两种模型分别预测了 22 个北京及周边地区, 4.5 及以上级地震的易发时间, 这些时间的附近也是值得引起警惕的. 检验工作还初步表明, 用 $M(AZ)$ 法预测震级似比 $M(F_{xy})$ 法稍佳.

2) 定义并建立的时间模型(图 2)和震级模型(图 3), 能较完整地保留所用资料的客观信息, 并且资料还具可扩容性. 这样比通过由行星的会聚、联珠等特殊位置与地震建立的相关性更为实用, 摆脱了这类研究所难以避免的大量不可测盲区. 这一方法的可操作性较强, 预测结果较为精确. 或许还可适用于其他灾害事件的预测, 有一定普适性.

3) 对于固体潮与地震的关系问题, 长期以来, 研究者做了很多努力(见所引文献), 但这种看似必然的相关性一旦研究起来并加以量化, 也颇有难度. 主要表现在: (i) 引潮力过小, 特别是行星的引潮力, 日、月和行星引潮力之和一般不大, 大小 10^{-6} m/s^2 量级, 作为地震触发机制似有困难. (ii) 尽管引潮力展开式中含有多种周期成分, 但其时频曲线所表现的高频成份(周期小于 1 日), 并不利于预测模型的建立. (iii) 得到的某些相关性往往也不普适, 即使能做预测, 还需借助其他预报方式给出的时间范围进行. 基于这些困难的存在, 本文所做的工作仅是将由历史资料获取的地震震级与引潮力大小和方向的这种相关性, 用于给定时间和地点的地震震级预测.

4) 就目前而言, 有待改进的方面在于: (i) 依地震带分区研究, 加入地球物理因素. (ii) 采用大时间范围内的历史地震资料. (iii) 如何建立高震级的预测模型, 使预测更具实际意义, 因为这样用于构建模型的可用资料将更为有限, 数据量与震级成反比. (iv) 在研究固体潮与地震的关系上, 还需开发新思路, 介入新方法.

5) 需要强调的是, 本文仅从天体因素出发, 通过统计, 尝试对某时的发震概

率或可能性作理论预测, 包括相应的震级. 或许模型的改进、完善及反复的实践检验将有助于其成为一种地震预测的补充或参考, 但这种理论尝试或探索并不能等同于实际预测. 总之, 地震预测事关重大, 建立在行星位置基础上的统计工作, 其自身的物理根据不足、争议较大. 至于这一尝试和探索的成功与否, 尚待今后实践的检验, 本文仅供进一步研究和讨论.

致谢 对审稿者提出的修改建议深表感谢!

参 考 文 献

- 1 Kossobokov V G, Romashkova L L, Keilis-Borok V I, et al. Testing earthquake prediction algorithms: statistically significant advance prediction of the largest earthquakes in the Circum-Pacific, 1992~1997. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1999, 111: 187~196 [\[DOI\]](#)
- 2 Blanter E M, Shnirman M G, Le Mouel J L. Temporal variation of predictability in a hierarchical model of dynamical self-organized criticality. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1999, 111: 317~327 [\[DOI\]](#)
- 3 Bodri B. A neural-network model for earthquake occurrence. *Journal of Geodynamics*, 2001, 32: 289~310 [\[DOI\]](#)
- 4 Heki K. Snow load and seasonal variation of earthquake occurrence in Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, 2003, 207: 159~164
- 5 Wyss M. Why is earthquake prediction research not progressing faster? *Tectonophysics*, 2001, 338: 217~223 [\[DOI\]](#)
- 6 杜品仁, 徐道一. 天文地震学引论. 北京: 地震出版社, 1989. 1~258
- 7 罗葆荣. 云南天文地震学的研究进展. *云南天文台台刊*, 2002, (1): 47~54
- 8 徐道一, 郑文振, 安振声, 等. 天体运行与地震预报. 北京: 地震出版社, 1980. 63~77
- 9 张国栋, 韩延本, 赵复垣. 从天文观测提取地震前兆信息. *地震学报*, 2002, 24(1): 75~81
- 10 Anderson D L. Earthquakes and the rotation of the earth. *Science*, 1974, 186(4158): 49~50
- 11 季洪钦, 尤淑如. 地球自转不均匀性与全球中震、深震能量的相关分析及其力学关系. *天文学报*, 1988, 29(4): 326~332
- 12 赵 铭. 地球自转速率变化与中国大陆地震韵律的关系. *科学通报*, 1990, 35(18): 1402~1405
- 13 周永宏, 郑大伟. 地球自转变化与中国大陆地震活动关系的初步分析. *上海天文台年刊*, 1994, (15): 1~8
- 14 Gu Z N. The study of excitation of the earthquake to earth's rotation. *Earth, Moon and Planets*, 1995, 74(1): 35~47
- 15 Zharov V E. Connection of the earth's rotation with the atmospheric angular momentum and the strongest earthquake. *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 1996, 9: 317~327
- 16 Soldati G, Spada G. Large earthquakes and earth rotation: the role of mantle relaxation. *Geophysical Research Letters*, 1999, 26(7): 911~914 [\[DOI\]](#)
- 17 蒋窈窈. 全国历史地震与太阳黑子活动的相关性. 见: 天文与自然灾害编委会编. 天文与自然灾害. 北京: 地震出版社, 1991. 67~73
- 18 Zhao J, Han Y, Li Z. Variation of lunar-solar tidal force and earthquakes taiwan island of China. *Earth Moon and Planets*, 2000, 88(3): 123~129 [\[DOI\]](#)
- 19 胡 辉, 王 锐, 李晓明. 日月引潮力与地震. *云南天文台台刊*, 2000, (4): 101~104
- 20 吴小平, 冒 蔚, 黄 雍. 天文潮汐与地震. *天文学进展*, 2001, 19(1): 45~54
- 21 韩延本, 赵 娟, 李志安. 日月引潮力变化与地震发生时间的相关研究. 见: 特大自然灾害预测的新

- 途径和新方法编委会编. 特大自然灾害预测的新途径和新方法. 北京: 科学出版社, 2002. 76~80
- 22 赵 娟, 韩延本, 李志安. 日月引潮力的变化与台湾地震. 自然灾害学报, 2001, 10(3): 64~67
- 23 陈荣华. 引潮力对显著地震触发作用与大震关系及在雅江地震预报中的应用. 地震, 2003, 23(1): 53~56
- 24 Ip W H. Chinese records on the correlation of heliocentric planetary alignments and earthquake activities. *Icarus*, 1976, 29(3): 435~436
- 25 任振球. 全球变化. 北京: 科学出版社, 1990. 102~134
- 26 胡 辉, 赵洪声, 李晓明, 等. 云南大地震与天体位置关系初析. 见天文与自然灾害编委会编. 天文与自然灾害. 北京: 地震出版社, 1991. 127~129
- 27 李晓明, 胡 辉. 中国大地震的天体位置特征分析. 地球物理学报, 1998, 41(6): 780~786
- 28 徐秀登, 俞孟浩, 李晓明. 中国近期强震与天体的特殊位置关系分析. 云南天文台台刊, 2000, (3): 55~66
- 29 李 勇. 1900~1980 年全球六级以上地震的频度和能量. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 7~12
- 30 李 勇. 用太阳系主要天体的位置建立特大地震的时间预测模型. 天文学报, 2003, 44(4): 363~368
- 31 Melchior P. *The tides of the planet earth* 2nd ed. Oxford: Pergamon Press, 1983. 1~641
- 32 方 俊. 固体潮. 北京: 科学出版社, 1984. 1~442
- 33 任振球. 突发性特大自然灾害预测研究的新途径、新方法. 地学前缘, 2003, 10(2): 317~318
- 34 Geller R J, Jackson D D, Kagan Y Y, et al. Enhanced: earthquakes cannot be predicted. *Science*, 1997, 275(5306): 1616~1620 [DOI](#)
- 35 谢觉民, 杨国华, 薄万举. 北京地区区域性形变场与近期强震危险性研究. 华北地震科学, 2002, 20(1): 1~9
- 36 方 俊. 固体潮. 北京: 科学出版社, 1984. 30~79