



论文

行星地球的地震预警系统可获取模拟地震指数

李勇*

中国科学院国家天文台, 北京 100012

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

收稿日期: 2009-09-23; 接受日期: 2010-03-15

国家自然科学基金资助项目(批准号: 10973022)

摘要 利用历史时期的地震数据, 以及地震震中固体潮参数的分布特征, 通过其相关性可设计发震概率的预报函数, 为此我们提出一种行星地球的地震预警系统的设计方案, 该模型理论上可模拟预报任何时间、任何地点的强震发震概率. 此外, 该系统亦可方便地获取全球或局部区域的模拟地震指数. 实现精确的定点预报与区域的指数预测相结合. 采用 NEIC 提供的全球 1544 次 $M \geq 6.5$ 级地震数据, 举例给出全球和台湾附近地区 2010 年 1 月 1 日 UT=0:0 的瞬时地震指数, 以及台湾附近地区的平均地震指数. 基于对美国旧金山所作 10 年的强震定点预测, 给出其附近区域在 2015 年 6 月 24 日 ± 15 日内的平均地震指数.

关键词 地震, 预警系统, 天文地球动力学, 指数

PACS: 91.10.Tq, 91.30.pd, 96.15.Wx, 91.30.Ab

1997 年, Geller 等提出地震无法预测^[1], 随后争论不断, 研究亦不断. 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^[2]. 在天文地震学领域^[3,4], 除利用天体周期^[5]及时纬观测资料^[6]有可能用于地震预报外, 其余则多集中于地震与地球自转^[7-13]、太阳活动^[14]、天体引潮力^[15-17]以及天体位置(主要为行星联珠、会聚等特殊位置)等相关性的研究^[18-20].

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^[21,22], 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, 这或许还涉及到地震的触发机制问题. 然而, 影响地震的因素众多, 有时还需要多种手段的配合方可获得较好效果^[23]. 目前有研究者仍对天体因素是否调制、影响, 甚至足以触发地震存有争议, 尚无定论. 我们姑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.

可喜的是, 2005 年 Gerstenberger 等人^[24]提出了一种对美国加州未来各地地震概率分布的预测方法, 并绘制“24 h 地震预报图”. 不过他们强调说, 这一模型产生的基础是他们对加州过去的余震和地表震动历史资料的统计, 以及对加州地震带断层运动的了解. 因此, 地震预报图最合理的用途, 应该是在一次较大的地震发生之后用来预报余震. 本文得益于此, 提出获取模拟地震指数的方法, 并将其用于对加州旧金山地区的地震预警.

1 模型概要

经过先期的准备^[25], 我们研发出行星地球地震预警系统(测试版)^[26], 这项原创性工作是依据震中固体潮及其参数分布特征而建立的动力学预警模型,

理论上可精确获取数字化强震预警信息,并可方便地提供任何地点,在任意时段的强震预警信息.系统初步建成后曾进行过有益的尝试,积累了一些模拟预测和检验的经验,试图成为地震预测的辅助手段.

系统的建立可分为三步: (i) 归算历史资料,即根据历史时期的地震时间及地理位置,计算并还原模型所需要的力学参数; (ii) 建立相关性模型,即由这些力学参数建立其与地震发生概率的相关性; (iii) 利用相关性模型构建预报函数,从而作实际地震的模拟预测并提供预警信息.

实际在具体操作时,建立的相关性模型可反复使用,方便预警,直到地震数据更新为止.预测时只要直接将地点及时间等参数输入模型即可获取精确预测结果.根据行星地球的地震预警系统(测试版),不仅可事先对某地域进行精确地震概率预测,亦可事后用于对地震事件的检验,甚至还可用于发布全球或局部地区的模拟地震指数,以服务社会.我们希望该系统能有助于地震预测,有所作为.同时,作为试验亦可与其他预测手段进行比对,以便总结经验.

由于系统起先针对定点,即根据某地经纬度给出其精确的地震预警信息.如何将系统对地震的定点预测进一步拓展到可对区域甚至全球进行预测,从而获取该地域的模拟地震指数,以实现当初对模型的设想,为此我们改进了原设计方案,使其能够承担这一工作.地震指数是用于表示地震发震概率大小的数值,可分级表示;同时,地震指数还可分为瞬时

地震指数和平均地震指数 2 类,下文分别举例说明.

模型所需地震数据并不复杂,时间、地点、震级三要素俱全即可.这样的数据已有较长的时间积累,不同于用新技术手段所获取的数据.本工作仍采用美国地质勘探局地震情报中心 NEIC(National Earthquake Information Center of U.S. Geological Survey)提供的地震数据,时间区间为 1973 年 1 月至 2009 年 3 月.在该时段内全球 6.5 级及以上地震计 1544 个.本文利用该数据建模,理论上可对 6.5 级以上地震进行预警.

2 瞬时地震指数

瞬时地震指数,即据瞬时采样所获取的地震发震概率数据综合而得.作为举例,图 1 给出了 2010 年 1 月 1 日, UT = 0:00 时,深度为 10 km, 全球范围内的瞬时地震指数.采样时取步长等于 0.2°, 这样全球计有 1.62×10^6 个格点值,其中最小值 1127.11, 最大值为 2026.84, 均值 1349.39. 瞬时地震指数反映了某地瞬时发震概率的大小,本例取: 瞬时地震指数= 瞬时格点值(图 1).

图 1 未见高概率的红色区域.说明此时此刻就全球范围看,存在 $M \geq 6.5$ 的地震区域的概率较小.由于图 1 涉及的数据量较大,且没有标记出峰值的位置,现将其时全球 30 个最大地震指数及相应的地理位置列于表 1.

表 1 预测 2010 年 1 月 1 日 UT=0:0 时全球瞬时 $M > 6.5$ 地震指数的 30 个峰值^{a)}

序	纬度	经度	地震指数	序	纬度	经度	地震指数
1	-5.0	182.6	2026.84	16	-4.8	2.6	2015.59
2	-5.0	2.6	2026.21	17	4.8	3.0	2015.50
3	4.8	2.8	2022.79	18	5.0	2.8	2015.32
4	-4.8	182.6	2021.17	19	-5.2	183.0	2015.14
5	-5.0	182.8	2020.99	20	-4.8	2.8	2015.14
6	-5.0	2.8	2020.45	21	-5.0	183.0	2014.87
7	4.8	3.2	2019.91	22	-4.8	183.0	2014.51
8	-5.2	182.8	2019.73	23	-5.0	183.2	2013.16
9	4.8	2.6	2019.55	24	4.8	3.4	2012.71
10	-5.2	182.6	2019.01	25	-5.2	183.4	2012.53
11	-5.2	2.8	2018.65	26	5.2	2.8	2011.90
12	5.0	2.6	2018.29	27	4.8	182.6	2011.54
13	-5.0	183.4	2017.48	28	-4.8	183.4	2011.36
14	-4.8	182.8	2017.12	29	4.8	183.4	2011.09
15	-5.2	2.6	2016.49	30	-5.2	3.0	2010.55

a) 表 1 提供了 30 个最大的瞬时地震指数,其多聚于赤道南北纬 5°附近,且经度在 3°或 183°附近区域

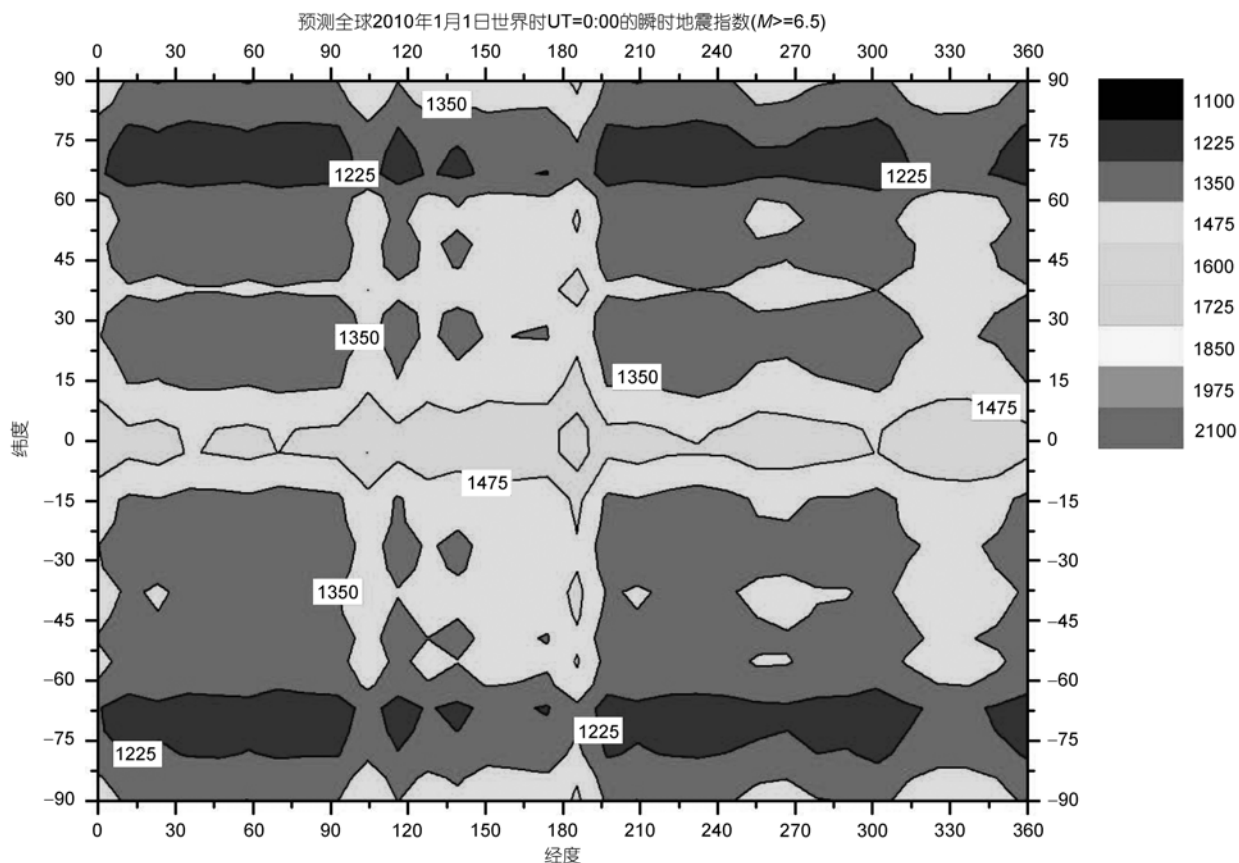


图 1 2010 年 1 月 1 日 UT=0:00 时全球瞬时 $M > 6.5$ 地震指数, 深度取 10 km

3 平均地震指数

平均地震指数, 即由系统对给定时间段进行采样, 将所获取的地震发震概率数据取平均而得. 作为举例, 图 2 给出了 2010 年 1 月, 深度为 10 km, 我国台湾附近地区的平均地震指数. 采样时取北纬 $21.8^{\circ} \sim 25.4^{\circ}$, 东经 $120^{\circ} \sim 122^{\circ}$, 步长 $= 0.25^{\circ}$. 这样计有 135 个格点值, 其中每个格点值又由 22500 个值平均所得 (每 2 min 采样), 最小值 1277.91, 最大值为 1570.16, 均值 1402.23. 平均地震指数反映了某地一段时间内平均发震概率的大小, 本例取: 平均地震指数=格点平均值(图 2).

图 2 所示, 2010 年 1 月, 台湾附近地区的高地震指数区域集中在右下角.

当然, 瞬时地震指数还可采用另一种方式, 即用格点的瞬时值与平均值的差来表示, 这样或许更能反映起伏情况. 以台湾附近区域为例, 先取 2010 年元旦 UT=0:0 时的瞬时采样值, 再定义: 瞬时地震指数=

瞬时格点值-格点平均值(图 3).

图 3 所示, 2010 年元旦 UT=0:0, 瞬时地震指数较高的区域集中在左侧, 比较图 2 和 3 可见如此定义的瞬时地震指数与该区域元月的平均地震指数差异明显.

4 预警样本

1906 年 4 月 18 日美国加州的旧金山地区曾发生 8.3 级强震, 现在大震的威胁时刻存在. 本文选择旧金山地区作为预警样本. 当然该方法亦适用于其他地区, 特别是发生过大地震的区域, 中国也不例外.

首先, 选择区域内某关注点(如某次地震的震中), 采用行星地球的地震预警系统作定点预警. 例如, 我们曾对 1906 年旧金山大地震的震中位置作过 10 年(2006 ~2015 年)预警, 当时还提供了 6 个预警日期(图 4)^[26].

这是一个典型的定点预警, 但困扰我们的是它究竟能覆盖多大的区域? 现在有了地震指数概念就

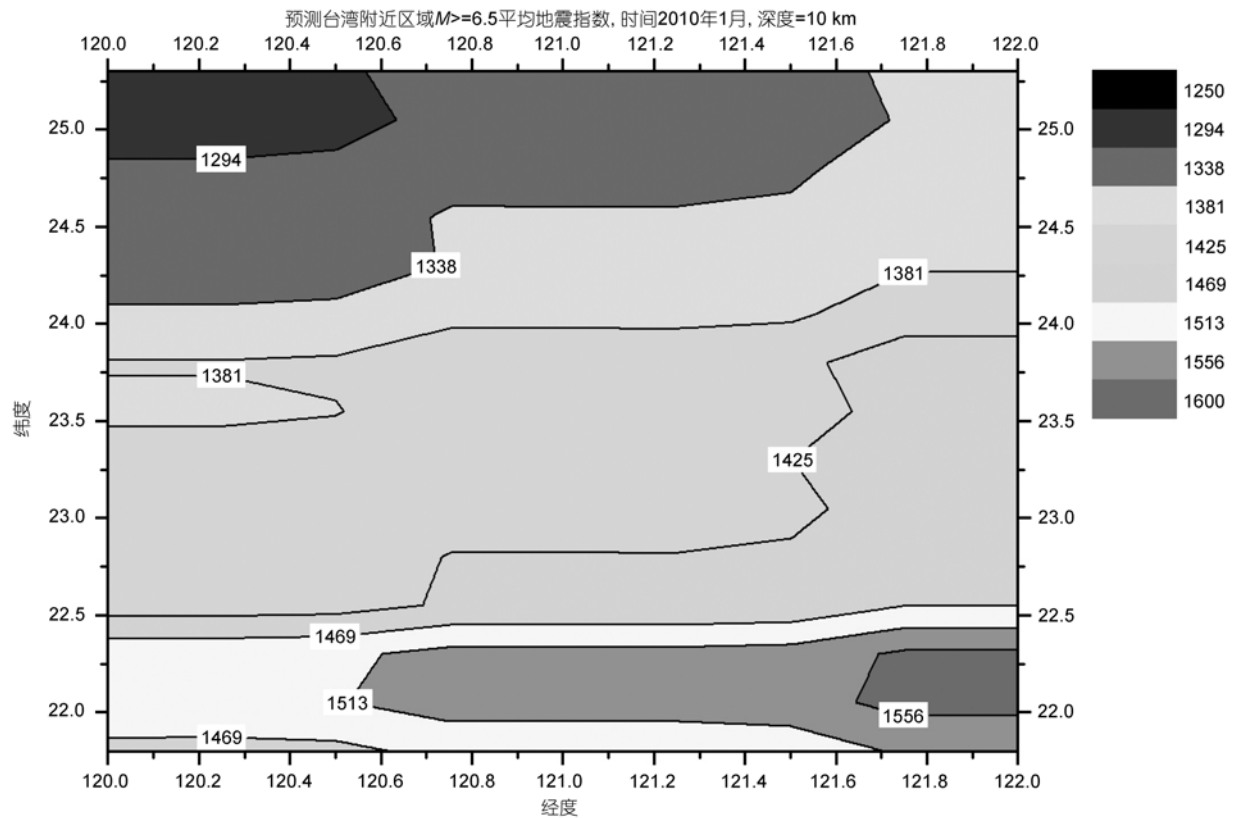


图2 预测2010年1月我国台湾附近区域 $M \geq 6.5$ 平均地震指数, 深度为10 km

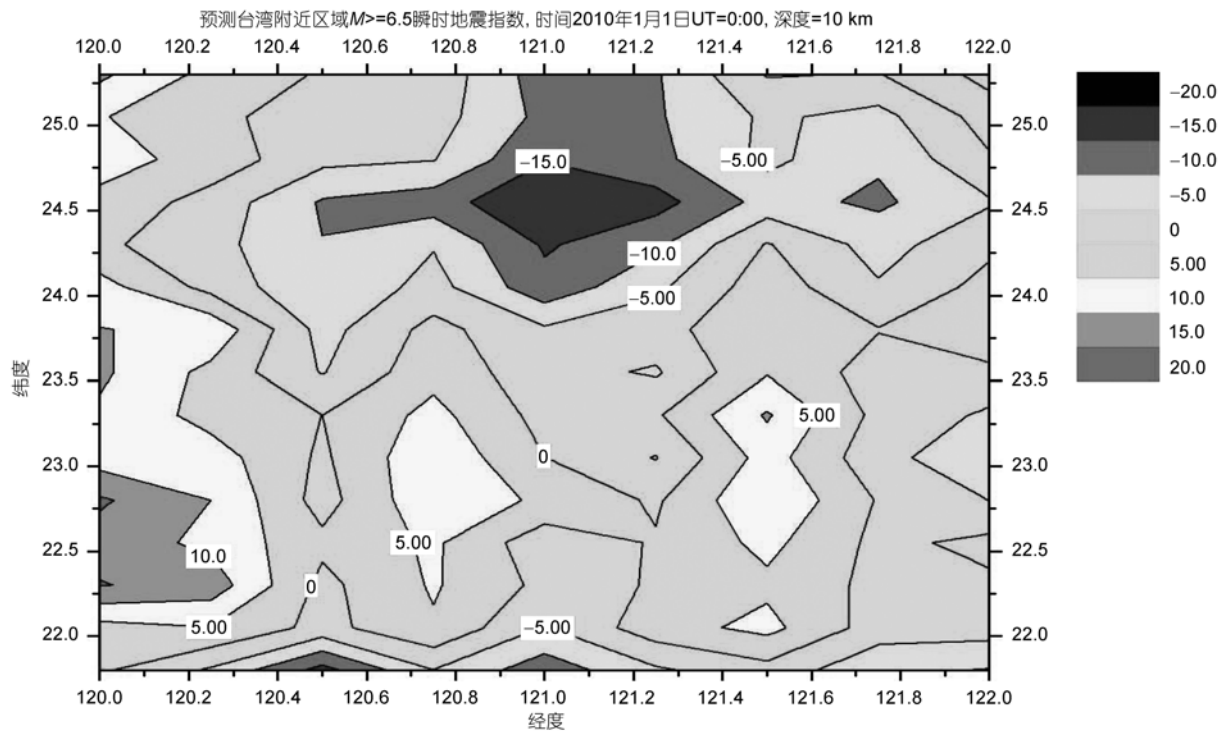


图3 预测2010年元旦UT=0:00时台湾附近区域瞬时 $M \geq 6.5$ 地震指数, 深度为10 km

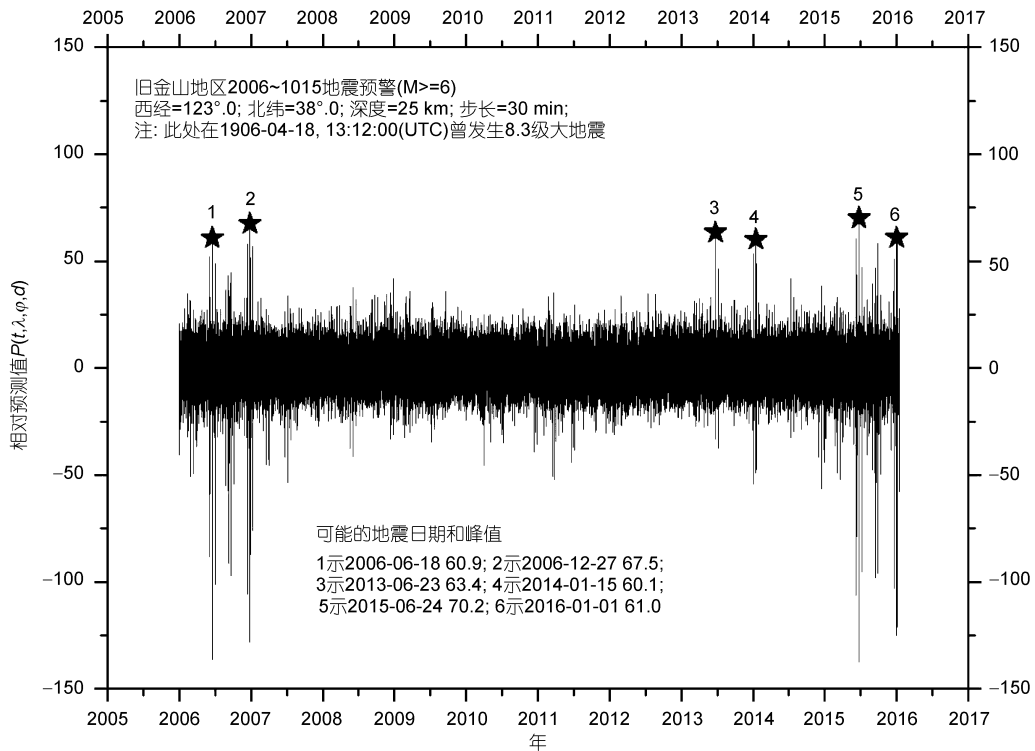


图 4 对美国 San Francisco 所作 10 年预警(引自文献[26])

便于判断了. 例如, 针对其中某个重点关注日期(或预警日期), 我们可配套给出附近区域的瞬时(或平均)地震指数, 图 5 就给出了图 4 中第 5 个预警时间的平均地震指数.

图 5 给出了 2015 年 6 月 24 日 ± 15 日, 深度为 25km, San Francisco 附近地区的平均地震指数. 采样时取北纬范围从 $35^\circ \sim 40^\circ$, 经度范围为 $-125^\circ \sim -120^\circ$, 步长=0.25°. 这样计有 441 个格点值, 其中每个格点值又由 9000 个值平均所得(每 5 min 采样). 其中最小值 1254.75, 最大值为 1416.85, 均值 1365.79. 我们取: 平均地震指数=格点平均值(图 5).

经过如此处理, 图 4 和 5 的组合更加全面地考察了美国旧金山附近区域可能的地震危险性, 当然对于图 4 中的其他峰值亦可仿此处理. 这就是利用行星地球的地震预警系统(测试版)对一个地区所做的完整预警样本.

5 几点讨论

行星地球的地震预警系统(测试版), 能对任何地点作精确的地震概率预报, 方便快捷, 可提供全球数

字化的地震指数, 亦可进行服务尝试. 其理论核心是基于行星际力学关系进行统计分析, 建立预报函数作概率预测. 目前在没有发现必震信号的情况下, 概率预测应是较好方式. 实际操作时先由历史数据反演力学参数, 再建立这些参数与地震的相关性模型, 最后利用相关模型进行地震预报. 当然, 需要强调的是, 由于影响地震的因素众多, 仅考虑太阳系天体及固体潮因素局限性难免. 本文只是举例给出了通过该系统获取全球或局部区域地震指数的方法, 其结果可供进一步研究参考.

5.1 关于系统的特点

天文学与地震学的结合形成了天文地震学. 对地震预测而言, 采用本系统获取的时间和地点精度都较高, 原因在于行星际天体的运动规律和动力学模型已知, 一旦将天文学用于地震预测领域, 即可得到高精度的时间和位置参数, 这是方法本身所保证的.

具体而言, 系统的主要特点有: (i) 时空分辨率高、覆盖面广, 能精确地给出任意地点在任何时间的地震发震概率, 甚至能提供全球范围内的模拟地

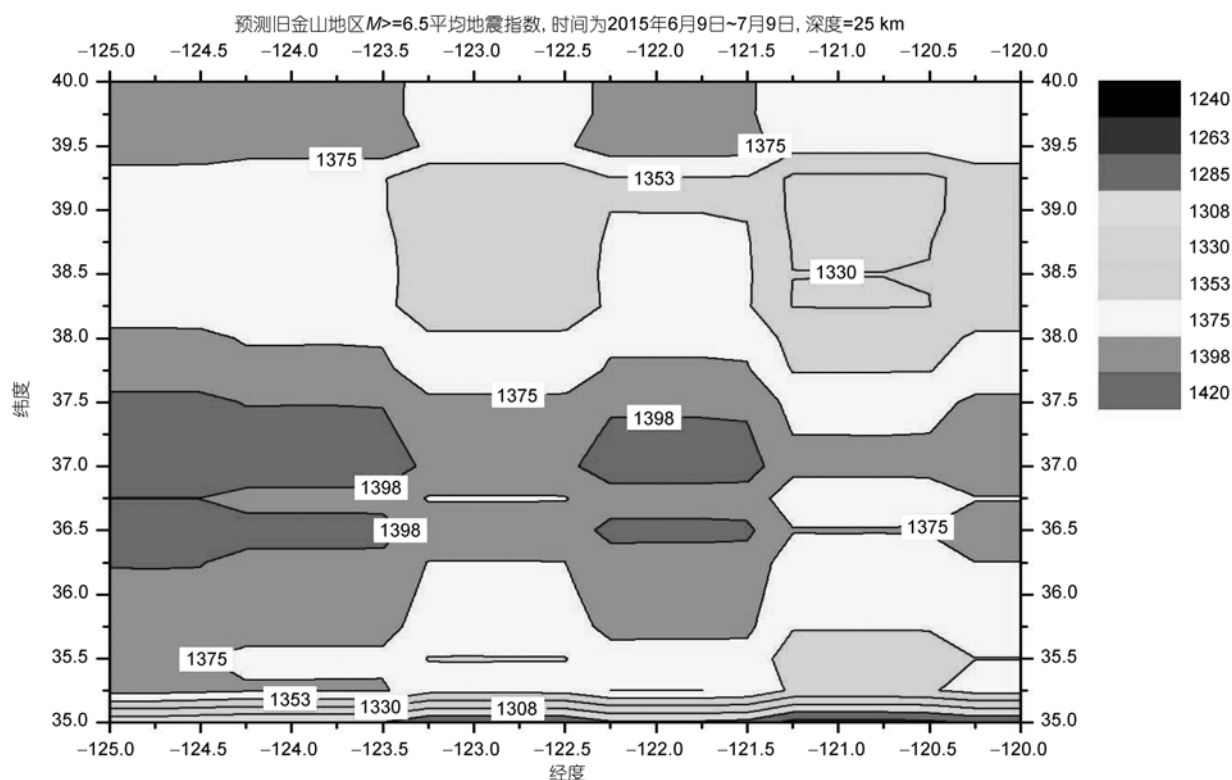


图5 预测2015年6月24日 ± 15 日 San Francisco 附近区域的平均 $M \geq 6.5$ 地震指数, 深度为 25 km

震指数. 预警曲线的时间和地点分辨率可达小时量级和公里量级, 且在整个时域上没有盲点, 在全球范围没有盲区; (ii) 能统一处理用于建模的地震数据, 维护方便、快捷, 可全方位、全天候地投入工作, 并具进一步优化和升级潜力; (iii) 自动化程度高. 因采用虚拟观测, 既不涉及布网建站及相应的投入, 又能快速响应, 跟踪处理任何实发地震. 它不受系统差、仪器差、人差等因素的影响. 其最大优势在于能上推下求, 随时获取任意地点古往今来的地震预警信息.

5.2 关于预测与检验

就本系统而言, 预测与检验并无本质差别. 作为实例, 2006 年我们曾对美国 San Francisco 市进行了 2006~2015 年的 $M \geq 6$ 级地震的精确预测, 并给出了 6 个危险日期^[26]. 尽管对预测精度的评判尚有待时日, 但其分辨率之高可见一斑. 同样, 对于其他地区的预测只须输入相应的地点参数和时间范围即可. 当然在所预测的三要素中, 时间和地点都能精确给出, 震级则由建模时所采用地震数据的震级决定. 例如我们原先的工作大多针对 6 级以上地震, 而本文则是预

测 6.5 级以上地震, 但震级的提高将减少建模所采用的地震数据, 可能导致偶然误差加大.

5.3 关于点面结合

既然系统可胜任精确的定点预测, 但如何做到点面结合, 立体保障, 本文对地震指数的考究就缘于此. 因为我们不仅需要掌握精确地点的地震预警信息, 还要掌握较大区域内地震的潜在危险. 地震指数就为此目的提出的, 高指数区域表示发震的概率较大, 但并非一定发生, 其意义就如我们所熟悉的“森林火险气象等级”、“地质灾害气象预测”等. 当然如要精确掌握某地(定点)的地震趋势, 亦可应用该系统直接对某地进行处理.

系统发展至此, 既可对某地进行精确预警, 又可提供某区域的地震指数. 这似乎实现了地震预测的终极目标. 该系统也成为真正意义上的高精度的震前模拟预警系统. 尽管它模拟预测的精度(分辨率)前所未有的, 但其预测实效还需要进一步考察, 毕竟它获取的并不是必震信号, 而只是发震概率.

致谢 感谢审稿者对本文提出的修改意见.

参考文献

- 1 Geller R J, Jackson D D, Kagan Y Y, et al. Enhanced: Earthquakes cannot be predicted. *Science*, 1997, 275(5306): 1616—1620
- 2 Wyss M. Why is earthquake prediction research not progressing faster? *Tectonophysics*, 2001, 338: 217—223
- 3 杜品仁, 徐道一. 天文地震学引论. 北京: 地震出版社, 1989. 1—258
- 4 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
- 5 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
- 6 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
- 7 Anderson D L. Earthquakes and the rotation of the Earth. *Science*, 1974, 186(4158): 49—50
- 8 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
- 9 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
- 10 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
- 11 Gu Z N. The study of excitation of the earthquake to earth's rotation. *Earth Moon Planets*, 1995, 74(1): 35—47
- 12 Zharov V E. Connection of the Earth's rotation with the atmospheric angular momentum and the strongest earthquake. *Astron Astrophys Trans*, 1996, 9: 317—327
- 13 Soldati G, Spada G. Large earthquakes and Earth rotation: The role of mantle relaxation. *Geophys Res Lett*, 1999, 26(7): 911—914
- 14 蒋窈窕. 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
- 15 Zhao J, Han Y, Li Z. Variation of lunar-solar tidal force and earthquakes taiwan island of china. *Earth Moon Planets*, 2000, 88(3): 123—129
- 16 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
- 17 吴小平, 冒蔚, 黄雍. 天文潮汐与地震. 天文学进展, 2001, 19(1): 45—54
- 18 Ip W H. Chinese records on the correlation of heliocentric planetary alignments and earthquake activities. *Icarus*, 1976, 29(3): 435—436
- 19 任振球. 全球变化. 北京: 科学出版社, 1990, 102—134
- 20 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
- 21 Melchior P. The tides of the planet earth. 2nd ed. Oxford: Pergamon Press, 1983. 1—641
- 22 方俊. 固体潮. 北京: 科学出版社, 1984. 1—442
- 23 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
- 24 Gerstenberger M C, Wiemer S, Jones L M, et al. Real-time forecasts of tomorrow's earthquakes in California. *Nature*, 2005, 435, 328—331
- 25 李勇. 太阳系天体位置、固体潮与地震预测. 中国科学 G 辑: 物理学 力学 天文学, 2005, 35(3): 327—336
- 26 李勇. 基于固体潮的地震模拟预警系统的初步设计. 地球物理学进展, 2008, 23(2): 384—391