

一种可能的地震前兆及其应用问题的讨论

尹志强, 王博, 田立丽, 王红旗, 韩延本*

中国科学院国家天文台, 北京 100012

* 联系人, E-mail: hyb@nao.cas.cn

40年前的1976年7月28日, 一个7.8级的特大地震发生在河北唐山。这是一次震源深度约12 km的浅源地震, 最大烈度为11度, 唐山市超过95%的民用建筑倒塌和受到严重破坏, 造成了24万余人丧生、16万余人严重受伤的惨重后果。一个工业城市几乎被夷为废墟, 造成了非常巨大的财产损失, 在全国人民的心中留下了难以磨灭的伤痛。

1966年3月邢台发生大地震后, 周恩来总理在视察慰问灾区指导救灾时对地震科学研究作过重要指示, 要求对地震找出规律, 总结出经验, 中国一定要有自己的地震预报系统。在周总理重要指示的鼓舞下, 不仅我国地震学者加强了对地震活动规律及预测的研究, 也吸引了一批相关学科的学者参与这些研究工作。唐山大地震的发生更使人们迫切感到需进一步推动地震研究。此时, 中国科学院北京天文台天体测量室的研究人员发现, 其沙河观测站(距唐山约160 km)的天文时间和纬度的观测资料在唐山地震前曾经隐约出现过某种幅度不大的短期异常, 他们猜测这种短期异常可能与唐山地震有关, 并随之对其开展了仔细的研究。

天文时间和纬度的观测资料反映着地球自转的变化, 同时受多种地球物理因素的影响。为了更好地揭示测量资料中可能与地震有关的信息, 张国栋、李致森等分析了由沙河观测站目视等高仪的测时和测纬资料计算出的称为“残差”的数据(这些残差主要保留着地方性地球物理因素影响的成分), 结果发现该仪器的测时和测纬残差资料在唐山地震前数月都出现与平时不同的较明显异常波动。联想到1966年3月在沙河观测站西南部约300 km处的邢台也发生过大地震, 他们也对当时的观测数据进行了分析研究, 发现其测时残差也在地震前出现过较大异常。

为进一步确认这种时纬观测残差异常变化与测站周边地区发生的大地震之间的可能联系, 他们又分析了国内外其他一些天文时纬仪器的观测资料, 包括北京天文台天津纬度站、日本东京天文台、水泽国际纬度站及前南斯拉夫贝尔格莱德天文台等, 发现这些台站的测时、测纬残差也多在测站周围的大地震前夕出现过类似的情况, 初步证实了天文测时测纬残差会在仪器周围的大地震前出现短期异常波动的现象^[1]。之后, 我国有更多学者参与这方面的研究, 不仅加深了对这一现象的认识, 而且对其物理机



韩延本 中国科学院国家天文台研究员、博士生导师, 政府特殊津贴享受者。长期从事天体测量学、天文地球动力学及天文学与地球科学的交叉研究工作, 在国内外学术刊物上发表研究论文两百余篇。研究成果曾分别获得1988年度中国科学院科技进步二等奖、1990年度中国科学院自然科学研究二等奖、1996年度中国科学院科技进步二等奖及2010年度北京市科学技术三等奖。

制进行了初步探讨^[2~5]。特别是天文学者与地震学者联合, 以云南天文台的光电等高仪为主要设备, 持续进行了提取震前天文时纬异常信息并向地震部门报告的初步试验, 取得可喜结果。

天文时纬残差震前异常现象的发现及后续研究曾分别获得1989和1996年度中国科学院科技进步二等奖。这些研究也曾得到国内外地震学家和国际组织的关注和重视, 例如, 在国际天文学联合会(IAU)第19、20和21届大会上一些学者认为天体测量仪器可以在地震预测研究中发挥作用^[6~8]; 我国地震学家陈颙院士^[9]曾经指出, 该研究是属于探索地震前兆复杂性方面涌现出的“新思路、新方法、新理论”。

研究表明, 该现象有可能提炼成为一种有价值的短期地震前兆^[10~18]。如果用几架望远镜在多震地区布设观测网, 不仅可能对未来发生的大地震监测到前兆信息, 而且如果网中有多架仪器在一次大地震前同时观测到异常, 利用这些异常出现的时间差及异常幅度的梯度变化, 结合地质构造和仪器的震中距等信息, 可深入研究异常与地震三要素的定量关系, 使该现象发展成为一种更为有效的短期地震前兆。

自20世纪90年代以来, 我们曾多次提议并撰文呼吁在多地震地区组建试验观测网^[13,16,18], 由于各种原因这一愿望未能实现。主要是由于当时从事天文时纬观测的望远镜少, 新造望远镜和观测室需要的费用甚多, 并且因为这些仪器多为人工测量, 需要较多熟练的观测人员, 造成了

组建和运行这样的观测网的困难. 为此, 我国部分天文工作者在持续努力推动各种观测实验和分析研究工作^[19~28]的同时, 不断探讨和研制适于组网的测量仪器. 令人欣慰的是, 近年来这一工作有了可喜的进展, 一种适于组网的高精度、高自动化、低成本 CCD 天顶望远镜(DZT), 已经在中国科学院国家天文台研制成功^[29~31].

进入 21 世纪以来, 全球大地震频发, 虽然现在还不能断定全球是否进入了新的地震活跃期, 但 21 世纪地震频次的确比 20 世纪高了一些. 据中国地震信息网数据(<http://www.csi.ac.cn/publish/main/813/2/index.html>), 21 世纪的 16 年间, $M \geq 7.5$ 的大地震发生了 110 多次, 年均约 6.9 次, 高于 20 世纪的年均约 4.9 次, 其中 $M \geq 8$ 的大地震 23 次, 年均约 1.45 次, 略高于 20 世纪的年均约 1.04 次; 而 $M \geq 8.5$ 的巨大地震发生了 6 次, 20 世纪的百年间发生了 5 次, 频次明显提高. 大地震造成大量人员伤亡和巨大财产损失. 据美国地质勘探局(USGS)网站公布的数据(<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/>), 造成死亡超过 2 万人的地震就有 7 次之多, 其中 2005 年巴基斯坦 7.6 级地震及 2008 年中国汶川 8 级地震, 各死亡 8 万余人, 2004 年的印尼 9.1 级地震引发海啸, 死亡 22 万余人, 2010 年海地地震造成的死亡人数高达 31 万余人, 这些灾难是极其惨重的.

因此, 推进地震预测研究和试验显得更为迫切, 关键的问题是筛选出更多有效的地震前兆, 研究捕捉地震前兆异常的良好方法和手段. 在唐山大地震发生暨天文时纬残差震前异常现象发现 40 周年之际, 本文在简要介绍发现天文时间和纬度观测资料的残差在震前出现短期异常波动现象及相关研究进展的基础上, 讨论如何将该现象发展成为有效地震前兆, 以及利用 DZT 组建地震预测观测网提供短期地震预测信息的意义和可行性, 提出建网的方案和讨论有关问题.

1 震前天文时纬残差异异常现象

所谓天文时间和纬度的观测, 是用专门的天体测量望远镜测量天体因地球自转形成的位置变化, 并用这些数据归算出测点的天文经纬度变化和描述地球整体自转运动的世界时和地极坐标. 早期的时间和纬度测量采用一些地面光学天体测量望远镜进行, 如等高仪、中星仪、照相天顶筒等(它们也被称为“经典仪器”), 其观测以铅垂线为基准, 测量和归算的结果称为地球自转参数(ERP). 一个国家或全球可以建立资料处理系统, 统一解算出综合结果, 提供给有关部门使用, 开展“时间和纬度服务”及地球自转变化的研究. 现在这些数据由现代空间测量技术如 VLBI, SLR, GPS 等仪器观测得到, 由“国际地球自转参数与参考系服务”(IERS)统一解算和发布结果. 由于现代空间测量技术的观测不以铅垂线为参考, 获得的资料不能用于研究

与铅垂线变化有关的课题. 本文所说的天文时纬观测专指由地面光学天体测量望远镜所获得的数据.

因地方性地球物理因素的影响, 不同地点望远镜观测得到的时间和纬度结果与全球统一归算的结果之间存在差异和波动, 这类差异和波动简称为天文测时、测纬资料的“残差”(ATLR 或 RATL). 一些作者的论文对 ATLR 的计算方法和公式做了详细的介绍, 有的还给出了时纬残差异与地震关系的曲线, 因篇幅所限这里不再赘述, 有兴趣的读者可以参阅文献[1,3,10,11,14,18,21]. 在过去的几十年间, 国内外测量精度较高且观测资料连续性较好的一些天文时纬测量仪器中, 周围一定范围内发生了数十次 $M \geq 6$ 的地震, 超过 3/4 的仪器在地震前有比较明确的与地震有关的时纬残差短期异常, 也存在部分仪器在地震前无观测异常, 或者有异常而无地震的情况^[1,15].

我们曾在以往的论文中叙述过 ATLR 震前短期异常现象的特征, 因其涉及本文讨论 ATLR 如何用于获取地震预测信息的问题, 仍然在这里概括列出: (1) 在仪器周围数百公里范围内发生某些地震的前夕, 测时与测纬残差 5 日均值的 3 点平滑序列同时或单一出现短期异常波动; (2) 可能引起残差异常的有仪器周围较大地域内的强震、大震(约 200 km 内的 6 级以上地震, 或 300, 400 km 内的 7 级以上地震), 或较小地域内的中等地震(约 100 km 范围的 5 级以上地震); (3) 残差异常出现的时间约超前地震发生时间数周至数月; (4) 存在着时纬残差有异常但无地震, 或有地震但无时纬残差异常的一些例外情况.

经典时纬仪器的观测以铅垂线为基准, 张国栋^[2]研究认为, ATLR 震前短期异常可能主要来自震中周围一定范围内地下物质(如地下水等)的异常运动引起的地方铅垂线的较大变化. 震前包括垂线变化在内的重力场变化已被很多研究证实^[32~36], 邢台及唐山地震前震区周围很大范围里众多水井的水位呈现了异常变化^[37,38]. 但就铅垂线的异常变化来说, 影响的因素不只是地下水, 地质构造的复杂性使得地下物质运动形成的异常体的大小、形状和位置也呈现复杂的状况^[34], 因而不同地震孕育过程中重力场变化对 ATLR 的影响会有差别, 甚至相当复杂. 因此, ATLR 震前异常的物理机制还需要深入研究. 本文提出的组建观测网的想法如果得以实现, 可获得丰富的高精度天文时纬资料, 有利于深入研究该现象的机制.

2 组建观测网的意义和条件

以前参与天文时纬观测的望远镜数量有限, 属多种型号, 测量方法和精度也不尽相同, 望远镜安放地点的地质构造存在差别, 地点分散, 一次地震被两个望远镜同时观测到的情况甚少. 这些客观条件使得精细比较震前残差异的特征, 尤其是定量地描述残差异与地震三要素的关系十分困难. 为使 ATLR 尽快发展成为可实际应用的短期

地震前兆, 研究认为必须在多震地区组建包含多架望远镜的观测网(同型号更好)。这样的观测网既有利于及时观测得到震前的 ATLR 异常, 为未来的大地震提供有价值的预测信息, 多仪器获得的丰富的高精度资料可深入研究异常与地震三要素的定量关系, 得到提供更高质量预测信息的方法, 同时有利于对现象的物理机制开展更深入的研究。

组网需要一批合适的天体测量望远镜, 为此, 国家天文台开始考虑并着手研制新型天文时纬测量仪器, 并在 2011 年研制成功国内首台小型数字化天体测量望远镜样机(DZT-1)。DZT 通过观测天顶附近的恒星解算出 ERP, 进一步计算得到 ATLR。观测天顶附近的恒星可最大限度地减少大气折射的影响, 可获得高精度的测量结果, 这有利于有效地检测到震前的 ATLR 异常。试观测表明仪器的性能优良, 具备了高精度、小型化、高自动化、易操作、高效率 and 低成本的特点。利用此类仪器可获得丰富的观测资料, 并且仪器制造及建设观测室的费用明显降低, 减少人力而利于观测网的持续运行。我们曾在本刊详细介绍过 DZT 的特征及资料处理方法^[29-31], 本文不再赘述。DZT 的成功研制为观测网的组建和持续运行提供了非常有利的条件。

3 DZT 观测网的初步构思

根据以往许多研究得到的结果, 一般来说 ATLR 异常

可对百余千米、甚至约 200 km 范围内的 $M \geq 6.0$ 的地震, 以及对约 200~400 km 范围内的 $M \geq 7.0$ 或更大震级的地震做出反应, 目前这些震中距值还只是一个统计结果(实际上因地质构造的复杂性, 设置在不同地区的仪器反映地震的范围会有差别)。而组建观测网时不希望网中存在一些监测不到的区域, 以尽可能减少提供地震预测信息时的“漏报”, 同时又希望观测网有相对较大的覆盖面积。因此建网时如何布置仪器需要仔细研究和讨论, 希望观测网能对可能发生的 6 级以上破坏性地震提前给出较可靠的预测信息, 如果希望有 2~3 架仪器同时反映出一个地震的震前异常信息, 我们曾初步设想仪器的间距适当小一些, 例如不超过约 100 km^[28]。但是间距太小会使观测网的覆盖面积相对较小, 若增大覆盖面积则需要较多的仪器而增加组网的费用。如果希望主要为破坏性较大($M \geq 6$ 及接近和大于 7 级的)地震提供预测信息, 仪器的间距则可适当大一些, 例如到 200~300 km, 则覆盖面积也相对较大, 例如一个包含 8~10 架 DZT 的观测网, 大约可覆盖线度为 600~800 km 的地区。

经综合考虑, 初步采用以下几种方式布置 DZT 观测网(图 1)。当然, 在实际布网时, 还要根据所选定建网地区的地质构造、地表情况等条件确定每个仪器的具体位置。由于强地震前夕地震的孕育过程变得更为复杂、易变, 震中周围地球物理场出现异常的区域并非均匀和对称分布, 因此布置仪器的位置要根据地区特征和实际需要研究

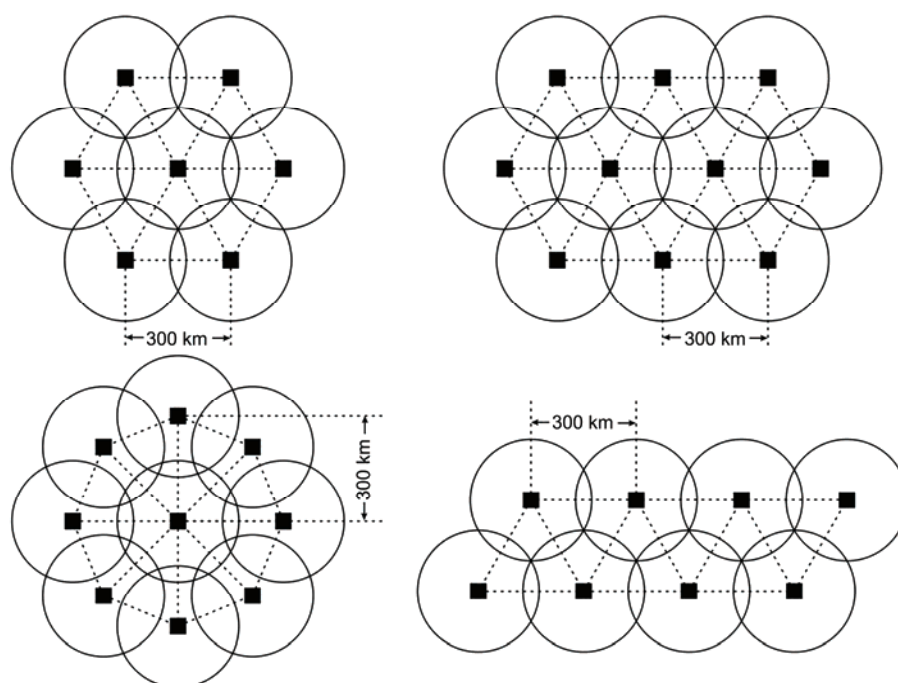


图 1 利用 DZT 组建地震预测网的仪器位置示意图。黑色方块表示仪器的位置, 圆圈表示每架仪器覆盖的大致范围

Figure 1 Positions of DZTs used for setting up earthquake prediction network. Black squares for DZTs, circles for coverage areas of each instrument

确定。如果可能, DZT 尽可能设置在现有的地震台站上, 使得可以方便地使用市电和通讯设备, 以便于对仪器进行远程控制和观测数据的传输。特别是, 地震台一般设置多种获取地震、地质与地球物理信息的观测设备, 震前 ATLR 异常与地震的关系上表现出“漏报”和“虚报”较少的特点, 将 DZT 与其他多种地震和地球物理测量仪器进行并置观测及对观测数据进行综合分析处理, 可获得更有价值的观测和处理结果。

4 讨论与结语

天文时纬残差在地震前夕出现短期异常波动的现象于 1976 年唐山大地震后发现, 至今已经 40 年。这期间一些学者不断开展相关的研究工作, 也进行了提取地震预测信息的少量试验, 表明该现象可以发展成为一种有价值的短期强震前兆。由于以前缺乏合适的仪器等客观困难, 难以组建观测网以深入探讨该异常与地震三要素的定量关系。具有高精度、高自动化和低造价特点的 DZT 的研制成功, 使得组建试验观测网的仪器和运行困难变得相对容易解决。我们认为应当充分利用这个有利条件, 尽快在多震地区组建观测网, 既有利于该研究的深入发展, 也能在观测网的运行过程中不断优化由此提取地震预测信息的方法, 使其为大地震预测提供有一定价值的信息。我国东临太平洋地震环带, 西接欧亚地震带, 地域广阔, 地质构造

复杂, 大地震多发, 有些地震造成了惨重的灾难, 因此不断寻找有效的地震预测方法对我国来说显得尤为重要和迫切。

天文观测需要在晴或少云的夜间进行, 组建观测网最好选择天气较好、地震活动性较强而又需要重点监视的地区, 例如可考虑在华北、西北、西部及西南地区建网。可以先组建一个试验观测网, 待取得一定的组网和运行经验后, 再向其他地区推广。从监测地震前兆的重要性来说, 应当首先考虑在华北地区组网, 该地区重要的大中城市集中、人口密集、经济发达, 发生大地震造成的人员伤亡、财产损失和对国家发展的影响都很大, 深入研究该地区地震发生的规律和监测地震前兆活动都有非常重要的意义。华北网可以国家天文台和有关地震部门为依托, 多单位合作组建和运行。DZT 似可设置在大体南起河北中部, 北至内蒙古南部, 西起山西, 东至河北东部(如唐山东部)的范围内。同时, 鉴于设想组建的是试验观测网, 也可考虑利用有限的经费先组建一个包含 4~5 架仪器的小型网, 待运行几年取得经验后再进行扩展。到那时, 还可考虑在地震活动性相对更强一些的我国西部或西北部地区也组建一网, 那里晴天和少云的夜间相对较多, 获得更多的震例有利于积累经验及深入研究 ATLR 与地震三要素的定量关系。不管在什么地区组网, 网的区域和 DZT 的具体安放位置, 都需要天文与地震部门的有关专家进行深入的研究和讨论后确定。

致谢 衷心感谢审稿专家对本文提出的中肯的修改意见和建议。

推荐阅读文献

- 1 Li Z S, Zhang G D, Zhang H Z, et al. Correlation between the short anomalies of residuals of astronomical time and latitude and the major earthquakes around the observatories (in Chinese). *Acta Geophys Sin*, 1978, 21: 278–291 [李致森, 张国栋, 张焕志, 等. 天文测时测纬的一种短时间异常与台站附近强震的对应关系. *地球物理学报*, 1978, 21: 278–291]
- 2 Zhang G D. Deviation of the vertical caused by change of ground water level before a strong earthquake (in Chinese). *Acta Seismol Sin*, 1981, 3: 152–159 [张国栋. 强震前地下水活动引起的垂线变化. *地震学报*, 1981, 3: 152–159]
- 3 Han Y B, Hu H, Du H R. Occurrence of short-period anomaly of residuals of astronomical time-latitude at Yunnan observatory preceding the Luquan earthquake ($M_L=6.3$) (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 1986, 32: 1244–1246 [韩延本, 胡辉, 杜红荣. 禄劝 6.3 级地震前云南天文台时纬残差的初步分析. *科学通报*, 1986, 32: 1244–1246]
- 4 Han Y B, Li Z S, Zhang G D. Short-period anomalous fluctuations of astronomical time and latitude and vertical line variations before major earthquake. *Wiss Z Techn Univers*, 1989, 38: 43–44
- 5 Han Y B, Li Z S, Zhang G D. Possibility of providing information for major earthquake by astronomical time and latitude observations (in Chinese). In: *Contact Group of Astronomy-Earth-Biology Compositive Research of China Association for Science and Technology*, ed. *Compositive Research of Astronomy-Earth-Biology*. Beijing: China Science and Technology Press, 1989. 190–194 [韩延本, 李致森, 张国栋. 天文时纬观测提供强震预测信息的可能性. 见: 中国科协天地生综合研究联络组, 编. *天地生综合研究*. 北京: 中国科学技术出版社, 1989. 190–194]
- 6 Swing J P. Rotation of the Earth. In: *Transactions of the International Astronomical Union*, ed. *Proceeding of the Nineteenth General Assembly*. Delhi: Kluwer Academic Publishers, 1985. XIXB
- 7 Kotaczal B. Rotation of the Earth. In: *Transactions of the International Astronomical Union*, ed. *Proceeding of the Twentieth General Assembly*. Baltimore: Kluwer Academic Publishers, 1988. XXB

- 8 Bergeron J. Rotation of the Earth. In: Transactions of the International Astronomical Union, ed. Proceeding of the Twenty-First General Assembly. Buenos Aires: Kluwer Academic Publishers, 1991. XXIB
- 9 Chen R. Summary speech at the national workshop on earthquake tendency of 1989 (in Chinese). Seismic Situation Study, 1989, 2: 10 [陈颢. 在 1989 年度全国地震趋势会商会上的总结讲话. 震情研究, 1989, 2: 10]
- 10 Hu H, Kan R J, Wang R, et al. A method for predicting a strong earthquake by means of astrometric observations. Astron Astrophys, 1989, 224: 321–322
- 11 Liao D C, Zheng D W. Earthquake ($M_s=5$) in Taicang and anomalous residuals of time determination at Shanghai observatory (in Chinese). Chin Sci Bull, 1990, 35: 1838–1839 [廖德春, 郑大伟. 江苏太仓五级地震与上海天文台测时异常. 科学通报, 1990, 35: 1838–1839]
- 12 Han Y B, Li Z S. Possible contributions of classical astrometric instrument to the study of geoscience and requirements on star catalogues. In: Lieske J H, Abalakin V K, eds. IAU Symposium: Inertial Coordinate System on the Sky. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. 169–172
- 13 Han Y B, Li Z S, Zhang G D. Using classical astronomical instruments for short term earthquake prediction and setting up astronomical time and latitude earthquake observation networks (in Chinese). In: Committee of Astronomy and Natural Disaster, ed. Astronomy and Natural Disaster. Beijing: Earthquake Press, 1991. 9–16 [韩延本, 李致森, 张国栋. 经典天测仪器用于短期地震预报及组建天文时纬测震网. 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. 9–16]
- 14 Han Y B. Relationship between residual anomalies of time-latitude and earthquakes. Chin Sci Bull, 1993, 38: 303–307 [韩延本. 北京天文台 II 型光电等高仪时纬残差异常与地震的相关性. 科学通报, 1992, 12: 1105–1108]
- 15 Liao D C, Jin W J, Zheng D W, et al. An analysis of optical observations in China during 1986 to 1991 (in Chinese). Ann Shanghai Observatory Acad Sin, 1994, 15: 28–33 [廖德春, 金文敬, 郑大伟, 等. 1986~1991 年间我国六架仪器的时纬观测分析. 中国科学院上海天文台年刊, 1994, 15: 28–33]
- 16 Han Y B, Zhang G D, Hu H, et al. The significance and feasibility of setting up the observation network of astronomical time and latitude for earthquake monitoring in Yunnan Province (in Chinese). J Seismol Res, 1994, 17: 1–6 [韩延本, 张国栋, 胡辉, 等. 组建云南天文时纬测震网的意义及可行性. 地震研究, 1994, 17: 1–6]
- 17 Kan R J, Hu H. The major earthquakes in and around Yunnan and variation of astronomical time-latitude residuals determined in Yunnan observatory (in Chinese). Earthq Res China, 1995, 11: 299–309 [阚荣举, 胡辉. 云南及其周邻大地震与云南天文台时纬残差变化. 中国地震, 1995, 11: 299–309]
- 18 Hu H, Han Y B. Application of the anomaly of astrometric observations to earthquake prediction study. In: Forsberg R, Feissel M, Dietrich R, eds. International Association of Geodesy Symposia, IAG Scientific Assembly. Berlin: Springer, 1997. 460–464
- 19 Hu H, Kan R J, Li X M. Application of the residuals of astronomic time and latitude in the earthquake prediction. Chin Sci Bull, 1996, 41: 104–1106
- 20 Hu H, Su Y J, Fu H, et al. Anomalies in time-latitude residuals at Yunnan Observatory before Dayao and Puer earthquakes (in Chinese). J Nat Disasters, 2007, 16: 106–110 [胡辉, 苏有锦, 付虹, 等. 大姚、普洱地震前云南天文台时纬残差异常. 自然灾害学报, 2007, 16: 106–110]
- 21 Han Y B, Ma L H, Hu H, et al. Application of astronomic time-latitude residuals in earthquake prediction. Earth Moon Planets, 2007, 100: 125–135
- 22 Hu H, Han Y B, Su Y J, et al. Anomalous variations of daily residual fluctuations of astronomical time of the astrolabe in the Yunnan observatory during 2008 to 2009 (in Chinese). Astr Res Technol, 2011, 8: 91–94 [胡辉, 韩延本, 苏有锦, 等. 2008~2009 年云南天文台光电等高仪时纬残差的异常波动. 天文研究与技术, 2011, 8: 91–94]
- 23 Li Z X, Li H. Plumb line variation at Tangshan during 1987–1998 and its relation with the earthquakes around. Sci China Ser D-Earth Sci, 2009, 52: 101–107 [李正心, 李辉. 1987~1998 年间唐山铅垂线变化及其与周围地震的关联. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38: 432–438]
- 24 Li Z X, Li H. Earthquake-related gravity field changes at Beijing-Tangshan gravimetric network during 1987–1998. Stud Geophys Geod, 2009, 53: 185–197
- 25 Li Z X, Li H, Li Y F, et al. Non-tidal variations in the deflection of the vertical at Beijing observatory. J Geodesy, 2005, 78: 588–593
- 26 Wang B, Yin Z Q, Han Y B. Progress of research on anomalies of astronomical time and latitude observations before earthquake. Chin Sci Bull, 2012, 57: 3547–3555 [王博, 尹志强, 韩延本. 地震前天文时纬观测异常现象的研究进展. 科学通报, 2012, 57: 2043–2050]
- 27 Zhang G D, Han Y B, Zhao F Y. Earthquake precursors detected by astronomical observations (in Chinese). Acta Seismol Sin, 2002, 24: 75–81 [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: 75–81]
- 28 Han Y B, Wang H Q, Yin Z Q, et al. Significance and feasibility set up test measurement networks in Huabei and Xibei regions for variation of the vertical (in Chinese). Prog Geophys, 2012, 27: 1287–1293 [韩延本, 王红旗, 尹志强, 等. 建立华北及西北地区垂线变化试验监测网的意义和可行性. 地球物理学进展, 2012, 27: 1287–1293]

- 29 Wang H Q, Han Y B, Guo J Y, et al. Small astronomic instruments for measuring variation of the vertical (in Chinese). In: Chinese Geophysical Society, eds. The Chinese Geophysics. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2011. 528 [王红旗, 韩延本, 郭金运, 等. 用于测量铅垂线变化的小型天体测量仪器. 中国地球物理学会, 编. 中国地球物理. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2011. 528]
- 30 Tian L L, Guo J Y, Han Y B, et al. Digital zenith telescope prototype of China. Chin Sci Bull, 2014, 59: 1978–1983 [田立丽, 郭金运, 韩延本, 等. 我国的数字化天顶望远镜样机(DZT-1). 科学通报, 2014, 59: 1094–1099]
- 31 Wang B, Tian L L, Wang Z, et al. Image and data processing of digital zenith telescope (DZT-1) of China. Chin Sci Bull, 2014, 59: 1984–1991 [王博, 田立丽, 王政, 等. 数字化天顶望远镜观测图像及数据处理. 科学通报, 2014, 59: 1100–1107]
- 32 Barnes D F. Gravity changes during the Alaska earthquake. J Geophys Res, 1966, 71: 451
- 33 Barlik M, Rogowski J B. Variations of the plumb-line direction obtained from astronomical and gravimetric observations. Prace Nauk Politech Warsz, 1989, 33: 19–101
- 34 Gu G X, Liu K R, Zheng J H, et al. Seismogenesis and occurrence of earthquakes as observed by temporally continuous gravity variations in China (in Chinese). Chin Sci Bull, 1997, 18: 1919–1930 [顾功叙, 刘克人, 郑金涵, 等. 中国京津唐张地区时间上连续的重力变化与地震的孕育和发生. 科学通报, 1997, 18: 1919–1930]
- 35 Chen Y T, Gu H D, Lu Z X. Variations of gravity before and after the Haicheng earthquake, 1975, and the Tangshan earthquake, 1976. Phys Earth Planet Inter, 1979, 18: 330–338
- 36 Chen Y T. Earthquake prediction: Retrospect and prospect (in Chinese). Sci China Ser D-Earth Sci, 2009, 39: 1633–1658 [陈运泰. 地震预测: 回顾与展望. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39: 1633–1658]
- 37 Wu J X, Wang Y L, Li S R. The characteristics of forerunner field of underground water regime during Tangshan Earthquake and its focal evolution process (in Chinese). Seismol Geol, 1980, 2: 65–77 [吴锦秀, 王雅灵, 李声荣. 唐山地震地下水动态异常场特征与震源演化过程. 地震地质, 1980, 2: 65–77]
- 38 Cao X L, Bian Q K. Recurrence anomaly of ground water behavior before strong earthquake in north China (in Chinese). Acta Seismol Sin, 2004, 26(Suppl): 154–161 [曹新来, 边庆凯. 华北地区强地震前地下水动态的重现性异常. 地震学报, 2004, 26(Suppl): 154–161]

Summary for “一种可能的地震前兆及其应用问题的讨论”

A possible earthquake precursor and discussions on the problems of its application

YIN ZhiQiang, WANG Bo, TIAN LiLi, WANG HongQi & HAN YanBen*

National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China

* Corresponding author, E-mail: hyb@nao.cas.cn

A strong earthquake may create a large number of casualties and huge property losses. Due to the crustal structure and geotectonic movement are complex, the geophysical process during the gestation and occurrence of earthquake is extremely complex. So it is very difficult to forecast an earthquake in advance. Through studying and testing to find effectual earthquake precursors is one of the key for meliorating earthquake prediction. A phenomenon that short-term anomalies appeared in residuals of astronomical time and latitude observations before major earthquakes, which occurred in regions around the astrometric instruments, was discovered by Chinese astronomers after Tangshan Earthquake in 1976. The phenomenon called the abnormalities of the residuals of astronomical time and latitude observations (ATLR). The major characteristics of the phenomenon are generalized as follows: (1) before earthquakes that occurred in the area of several hundred kilometers radius around the instruments, short-term anomalies appeared in the three point smoothing sequence of five days average values of ATLR; (2) short-term anomalies often appeared before the earthquakes as follows, earthquakes of $M \geq 7$ within 3 or 4 hundred kilometers around instruments or $M \geq 6$ within 1 or 2 hundred kilometers around instruments as well as the moderate earthquakes that occurred at close range; (3) anomalies appeared in advance by about several weeks to several months before earthquakes; (4) situations of residuals anomalies without earthquake and earthquakes without residuals anomaly existed introduction of characteristics and research progress of the phenomenon. ATLR anomalies may be from the variation of the vertical, which is the datum line of such astrometric instruments, due to the anomalous motion of underground mass.

The possibility that using the observations to provide information for strong earthquakes in advance has been researched and related tests to provide forecast information have made in China in the years. Present results and tests showed that the phenomenon would possibly become a kind of significant short-term earthquake precursors. However, observations of one instrument can only reflect the vertical variations within a certain range around the instrument, so ATLR of one station cannot afford the information of position and magnitude of an earthquake. To set up an observational network using seemly astrometric telescopes in seismogenetic zone will be needful for finding significant forecasting information. The new Digital Zenith Telescope (DZT) which has characters of high precision, robotization, miniaturization and low cost was made in China recently years. DZT is propitious to set up such observational network. The scheme on setting up observational network is put forward. The notions and problems related to network are discussed.

time-latitude residuals, earthquake, observation network, Digital Zenith Telescope

doi: 10.1360/N972016-00947