

文章编号: 1009-6248 (2003) 02-0103-06

地震灾害预测基本思维模式探讨

马润勇¹, 彭建兵¹, 王家鼎², 潘爱芳^{2,3}

(1. 长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069; 3. 西安建筑科技大学理学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 地震灾害能否预测, 如何实现有效预测, 作者认为: 地震作为一种自然界的客观存在, 它的孕育、发生和发展过程必然遵循着一定规律。如果认识掌握了这一规律, 就可以实现预测。加强震源研究是实现地震灾害预测的基础。提高预测效果的良好途径是预测期尺度与预测方法相对应。

关键词: 地震预测; 震源研究; 预测期尺度; 预测方法

中图分类号: P65 **文献标识码:** A

地震会对地面及各类建筑物产生强烈的破坏作用, 并由此而引发水灾、火灾和瘟疫等灾害。因此, 地震是地球上目前所见到的各类自然地质灾害中, 对人类生命财产造成损害程度最为严重的灾害。据统计, 全球在二十世纪发生的地震灾害中, 造成了150多万人的死亡和3 000多亿美元的经济损失。其中, 仅1990~1999年这10年里, 地震就夺去了10万多人的生命, 22万多人受伤, 经济损失达2 000多亿美元^[1,2]。由于地震对人类生命财产的巨大威胁, 所以地震活动的预测评价, 在一个地区、一个城市及各类规划、设计的工程地质论证中占有极其重要的地位, 是工程地质领域进行区域稳定性分析研究中最主要的任务之一。

地震发生在地下深处, 尽管已经认识到与断层运动有密切关系, 但是, 因目前人们尚无法对其进行直接观察和研究, 而且它的发生在时空上似乎带有很大的不确定性, 因此, 从古到今, 人们虽然做了不少努力, 希望对其发生的时间、地点、强度及震害程度等要素作出预测, 但收效甚微。近一百多年来, 尽管人类科学技术取得了长足进步, 并发展和建立起了一套相对系统的地球科学理论体系, 可

是在对地震活动的研究、评价预测方面, 仍未取得有效进展, 因此有人提出地震灾害是否能够预测的疑问, 甚至有人干脆认为地震灾害无法预测。那么地震灾害究竟能否预测, 如何才能实现对它的有效预测。笔者在此谈一点个人的认识。

1 地震活动的可预测性

预测是人类的一种认识活动, 取决于人们对事物存在、运动及其发展过程的认识。唯物论者认为: “世界是物质的, 物质是运动的, 运动总是作为过程出现的, 过程总是循着规律发展的”^[3]。因此, 规律具有客观实在性, 不以人的意志为转移。只要我们以事实为依据, 勇于思考, 善于探索, 那么我们就能够“认识这个世界和这些规律, 因此预测是完全可能的”^[4]。

从表面上看, 地震活动带有很大的随机性和偶然性, 似乎无法作出预测。但作为自然界中的客观存在, 从它的孕育到发生这一运动发展过程, 必然遵循着一定的规律, 因此只要不懈努力, 最终一定能够实现对其的认知。比如, 经 Gutenberg 和 Richter

收稿日期: 2003-02-18; 修回日期: 2003-06-12

基金项目: 本论文获陕西省自然科学基金重点项目资助 (2001D05)

作者简介: 马润勇 (1961-), 男, 高级工程师, 长安大学博士生, 地质工程专业。

的多年系统研究,在 20 世纪 50 年代初,就已基本对全球地震活动的空间分布规律有了一定程度的认识,并编制了相应的地震震中分布图^[5]。

要认识事物运动发展的规律,首先是对事物本身的认识,其次是对事物运动发展过程中所反映的现象的认识及二者因果关系的认识。因此,我们要揭示地震孕育、发生的规律,首先要研究地震产生的根本原因是什么,其次是它的孕育、发生过程、方式及表现效应(特征)是什么。如果查清了这些问题,也就掌握了它的发生变化规律,从而实现对地震灾害的预测。

2 加强震源研究是实现地震灾害预测的基础

尽管目前人类尚无法实现对地震活动过程的直接观察和研究,但在它的孕育—发生过程中,地表必然会相应出现各种效应,及由此进一步引发的一些结果。因此,可以通过对这些现象及产生的结果反过来推理认识其形成的原因及发震机制(即成因假说),然后再结合一定的模拟实验及理论研究,反复考察检验其与实际事件的符合情况。显然,如果与实际情况符合程度越高,则表明假说或推测结果的真实程度越大、越接近客观,也就越有利于对震源发震机制及物理过程的研究。由此对地震孕育—发生的机制、物理过程、表现方式和外部效应的认识就更加清楚。如此反复不断修正完善,直到形成理性认识,也就达到或实现了对客观规律的认识。

2.1 地震灾害成因模式

目前,多数学者认为在天然地震中,构造地震(或断裂地震)占绝大多数。而地震主要在于复杂的地球动力作用下的地壳长期运动中,由于地壳内不同区段间物质成分、结构构造、物理力学性状(如强度、弹塑性、介质各向异性)的不均匀性,从而导致在某些地段深部岩层发生地应力积累现象。当应力累积到超过岩层强度极限(破坏抵抗力)时,岩层在瞬间发生强烈的变位错断,同时将瞬间释放的应变能以波的形式迅速传播引起周围介质的震动。当震动幅度足够大时,尤其是向地表传播过程中,当动力变形能密度超过相应点处的介质层极限强度变形能时,会导致该介质层发生破裂效应(有时,甚

至由于地表对地震波的放大效应而直接导致地表破裂带的产生)以及地表建筑物的破坏,从而造成各种损害。此成因模式之所以为绝大多数学者接受,主要基于以下几点事实依据。

(1) 人类有史以来所记载到的绝大多数地震活动事件,集中分布在一些特定的地区,并总体上构成一系列地震活动带。这些地震活动带又都是断裂构造集中分布、发育的大构造带。

(2) 许多大地震都伴随有地表断裂现象,其中有的是新产生的断层,有些则是老断层的复活^[6]。

(3) 绝大多数地震发生在地表以下 100 km 深度范围之内的固体弹性介质层中,尤其集中在 30 km 之上的上部地壳层中。显然,在该深度内,以弹性波释放能量的最可能方式是岩层的错断。

(4) 尤其是 Reid 于 1910, 1911 年对美国 1906 年发生的旧金山大地震的孕育、发震过程进行研究之后,提出的弹性回跳理论可以对地震断层成因说作出圆满的解釋^[7,8]。根据对地震 P 波的初动方向实际观测结果以及实验结果,均证实“地震发生的根源是由于断裂的错动,与弹性反跳理论结果完全符合”^[9]。

(5) 全球各地震活动带集中分布在板块分界边缘^[10]。而板块分界边缘由于板块相互间的碰撞、挤压,因此成为断裂发育最为集中的地带。

2.2 震源发生机制研究

震源发生机制是指地震时震源内部介质发生的物理变化过程,涉及到断层的错动形式、弹性应变能的储集条件与释放方式等。其中,最主要的是对在平面上断层错动形式的研究,实际上也是建立震源模式的基本构制方式。目前将发震断层的错动形式总体上归纳为:走滑断层、俯冲断层、正滑断层、逆掩断层。而依据岩石破坏方式难易程度则可将其归纳为:张裂型、正滑型、走滑型和逆掩型 4 种(从断层的相对运动形式来讲,俯冲与逆掩是同一种形式)。而在具体确定断层走向、倾向和倾角等参数时,则可借助于地震参数求得。显然,断层错动方式不同,则会在以下几个方面表现出不同程度的差异。

(1) 从孕震到破裂所需能量积累量不同,故震源规模不同。

(2) 发震断层破裂生成过程的时空特征(包括生成方式过程等)不同。

(3) 传播于地表的地震动参数平面分布特征不

同。

(4) 孕震—发震阶段各种物理场的表现方式及程度不同, 包括地形变、地应力、地震波速度参数、区域地震活动频度以及地电、地磁场等。

(5) 对周围介质震动的效应影响程度、方式不同。

当然, 以上这些特征仅仅凭对震源发生机制的研究是难以查清楚的, 故尚需进行地震活动的力学过程机制的研究和掌握。

2.3 地震活动的力学过程机制研究

地震活动的力学过程机制研究主要是研究地震破裂的孕育和发生的物理机制、行为过程、动力来源以及伴随的各种物理现象, 以寻找地震发生的各种可能前兆。目前在无法对震源进行直接研究的现实条件下, 较好的办法是加强对震源的物理模拟。随着对这些基本资料的逐步积累, 寻找、总结出与实际相符的震源物理模型及动力学方程。实施完成这一过程也许较为漫长, 但震源物理研究一旦取得突破, 地震预测也必将会取得实质性进展。为了合理理解和模拟岩石层中的地震活动在时间、空间和强度方面强烈的不均匀性而进行的力学机制研究, 必须反映出岩层结构的复杂性和地震时空活动性的一些基本特征^[11]: 岩石块体尺度层次或可能的分形结构; 不同时空尺度和物理因素影响下的相互作用; 不同时间、空间、强度方面的自相似性。

目前, 有两种基本的地震活动性力学研究方法^[11]:

(1) 传统的连续介质力学方法。通常是假设在区域应力作用下, 通过物理或数值模拟区域内每一条不均匀摩擦强度断层的应力→应变→破裂过程, 重现区域或一条断层上地震活动的时间、空间、强度方面的演变图像^[12~15]。

(2) 近代的非线性科学方法。由于地震现象是发生在岩石层复杂层次结构和开放系统中的岩体破裂、位错过程。因此, 传统的连续介质力学方法难以实现对其复杂性的描述, 尤其是破裂过程中出现的一些分形特征、混沌现象和自组织现象引起有关专家学者的关注。因此, 自20世纪80年代以来, 开始用非线性科学研究地震活动这种复杂系统, 并取得很大进展^[16~18]。地震和岩石破裂现象的非线性科学研究内容, 目前主要包括3个方面^[18]: ①地震和岩石破裂现象的分形几何学特征研究; ②地震孕育、

发生和岩石破裂过程的自组织特征研究; ③地震断裂过程的混沌力学特征研究。

目前, 地震复杂现象的非线性科学方法的研究进展, 正在改变着人们的地震观。地震活动、地震孕育和断裂过程的复杂性、不均匀性, 不能完全像传统连续介质力学方法那样研究, 主要归因于震源介质、力学性质和地质结构等的复杂性和不均匀性, 可能完全是由于非线性动力学行为的结果。

当然, 任何事物的性态, 表现方式都是具有多样性的, 而且常常与研究中所选的尺度、参数、所考虑的初始条件、边界条件等因素密切相关。因此有时候简单, 有时候却复杂。复杂中往往具有简单的一面, 亦即会展现出事物的主要矛盾; 而简单的背后, 却又常常隐藏着复杂的行为特征。因此, 目前不应简单地判定传统的连续介质力学方法和近代非线性科学方法在研究、评价和预测地震活动中谁优谁劣。笔者认为: 线性和非线性既是对立的, 又是统一的, 两者之间密切相关, 不应采用简单的扬弃, 尽善尽美的方法是不存在的。事物的性状是客观的, 但是对事物的认识并不都是客观的, 客观中难免存在主观的一面, 正是由此, 才促使我们对自然界不断深入的探索。

3 预测期尺度与预测方法相照应是提高预测效果的良好途径

从社会需要来看, 地震活动性评价和预测, 主要可分为两个基本时间尺度: 长期预测和短期预测。其中, 长期预测的时间尺度一般为20~200年, 主要是对某个地区在一定期间的断裂活动性、地震危险性的分析预测评价^[19,20], 并进行地震小区划。为城市或各类工程目的规划、设计提供依据; 短期预测的主要目的是为了对可能发震区(包括震灾影响区)作出防灾、救灾的社会决策及各种准备措施, 以减轻灾害损失。

由于地震活动相当复杂, 在不同的时空区间段所表现出的规律及各种物理场特征有很大差异, 所以要采用不同的预测方法方能提高预测效果。

3.1 根据地震宏观时空分布规律进行地震灾害长期预测

借助地震历史资料, 用地质学方法、地球化学、地球物理方法及非确定性数学方法(如数理统计法、

模糊数学法) 等开展对目标区的地震灾害宏观预测, 就目前来讲不失为一种行之有效的办法。比如通过构造地质、地球化学等方法调查, 可以圈出已存在的构造活动带; 对隐伏的断裂活动带则可以利用地球物理勘探 (如重力、磁法、电法、工程地震等) 来确定和查明; 再通过地形变观测、古地震研究, 并结合历史地震资料用数理统计等方法进行地震活动时、空、强分布规律的分析与评价预测。显然这种预测实际上是利用对“结果”的研究而进行的预测。目前对地震活动性的宏观时空分布规律, 主要总结有以下几条。

3.1.1 空间分布规律

(1) 从纵向上看, 地震主要发生在 $0 \sim 100 \text{ km}$ 的固体弹性岩层之内, 尤其在大陆地区, 95% 以上的地震发生在该深度段之内, 且主要集中在 30 km 深度范围之内。绝大多数破坏性地震均属该类浅源地震。

(2) 从横向上看, 地震又多集中发生在一些特定地区内, 总体上呈带状分布, 主要是与大的褶皱山系带、大地构造单元交接带、大洋洋脊带和板块边界带等吻合。例如, 我国青藏高原的周缘地带以及高原内的各大山系——喜马拉雅山脉、冈底斯山脉、唐古拉山脉、昆仑山脉和祁连山脉等, 是全球地震活动最为频繁和强烈的区带。仅沿祁连山褶皱山系, 新近就发生过古浪、昌马、山丹、海原和中卫等大地震。

(3) 在具体部位上, 同一地震带内, 发震中心主要位于一些断裂的特定部位或地段上。通常处在断层的端点部位、拐弯地段、分叉点、断裂交汇地带及构造运动速率变化最大地带等一些易于产生应力积累的部位^[19]。例如发生在青藏高原东北隅弧形逆冲走滑构造带上的海原、中卫等大地震。

3.1.2 时间分布特征

地震的孕育、发生到结束这一过程, 实际上是相应地区地应力场积累、活动加速到能量释放和应力重新调整、分配的过程。因此, 在时间分布上形成一种波浪运动规律。横向上此起彼伏, 纵向上一涨一落。

(1) 横向上的此起彼伏 主要表现为在某个带上, 地震活动强度、频度具有分段性。地震活动区段在位置上按一定的时间次序段、地域段依次沿某一方向迁移, 犹如波浪。因为这种迁移“波长”并

非单一或固定, 所以迁移的距离会有所差异。由于波的非单一性及非同步性, 因此还会出现一“波”未平, 一“波”又起之势, 间或往返跳动, 构成不同的旋回 (或地震活动幕)。

(2) 活动周期旋回 (或地震活动幕) 表现在某一构造活动带上或断层上有一个相对平静期和活跃期, 犹如波浪, 一涨一落交替出现。这种周期旋回有长有短, 长者几十年到几百年, 甚至几千年, 短者几年到十几年。比如, 全球整体及各大地震活动有 $10.5 \sim 22.2$ 年的优势周期^[21]。目前地震活动周期旋回, 绝大多数是根据对古地震资料的研究得出的, 从严格的统计意义上讲, 参与统计的样本事件数远不能满足要求, 尚须不断努力。

3.2 利用前兆物理场实现地震灾害的短期评价预测及临震预测

从物理学角度分析, 有源则必有场存在; 有场反映也必然有场源与之对应; 场源的变化必然要从场的变化反映出来。这说明了自然界“实物和场的统一性”^[4]。笔者以为: 孕震阶段有无对应的前兆场 (孕震场) 存在, 是显而易见的, 无需再加争论。关键是我们如何发现和认识这些场与震源物理变化过程及机制的关系, 从中找出规律, 进行不同时间尺度的评价预测。这种预测实际上是通过“过程”的研究而进行的预测。

3.2.1 短期评价预测

一次地震事件的发生, 是地应力长期缓慢积累的结果所致, 非一朝一夕能为之。由于在应力积累初期, 这种微弱的线性变化一般不易察觉, 但到发震前某一阶段, 应力积累即将达到岩石的极限强度。此时的地形变、地应力、地震活动性、地电、地磁等物理场以及由此而引起的地下水位、水化学等场都会加速强化显现, 出现明显的异常反映。此时, 如果震源物理力学机制研究取得突破, 就可以对这些场的时空、强弱等特征进行及时分析研究, 结合长期评价预测资料, 从而预测出可能的发震机制、可能的发震期、可能的发震地点及可能的震害程度等。

3.2.2 临震预测

在临震阶段, 岩石强度已基本处于极限平衡点, 震源犹如箭在弦上, 呈一触即发之势态。此时, 如遇任何一种外动力因素的影响, 就会迅速促使岩层应力集中区某地段产生失稳破裂而诱发地震。这些外动力因素包括日、月引力、潮汐波、气象因素所

致的气压变化、地球自转的变化及地球自震荡等。此时的临震预报, 主要是对具体发震时间、具体发震地点的确定, 这就要对外动力因素影响特征、规律进行研究。

从以上可以看出, 要求的预测时间尺度越小, 应考虑的各种影响因素就越多; 各因素间的关系越复杂, 则预测难度也越大, 此时就要用非线性科学方法来解决。

4 结束语

地震作为一种客观存在, 不管它的活动规律如何复杂, 只要我们进行不懈努力, 最终一定能够对它的活动特征、活动规律作出有效评价和科学预测。尽管地震发生于地下, 目前无法对它进行直接研究, 只能根据地表观察结果建立假说和模型来开展对震源的研究并逐步完善, 从而为最终实现对地震灾害的定量预测建立理论根据。地震预测期尺度与预测方法相对应是提高预测效果的良好途径。现阶段, 进行对地震灾害的长期预测评价的有效方法应是对地震宏观时间、空间、强度规律的研究; 对地震短期评价预测的最好途径应是以震源的力学过程机制研究为基础, 加强对孕震物理场的定量研究; 而对临震预测, 则应以短期预测为基础, 加强对各种外动力场因素在临震阶段诱发影响规律的研究。

参考文献:

- [1] 赵荣国, 李卫平, 陈锦标. 世界地震灾害损失的统计 [J]. 国际地震动态, 1996, (12): 10-18.
- [2] 赵荣国, 李卫平. 1999 年全世界地震灾害综述 [J]. 国际地震动态, 2000, (3): 7-13.
- [3] 杨超著. 毛泽东哲学思想研究 [M]. 成都: 四川人民出版社, 1982.
- [4] 国家教委社会科学研究与艺术教育司. 自然辩证法概论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1991, 5.
- [5] Gutenberg, B G and Richter C F. Seismicity of the earth and associated Phenomena [M]. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1954.
- [6] 傅承义, 等. 地球物理基础 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1985.
- [7] Reid H F. The California earthquake of April 18, 1906 [A]. vol. 2: The mechanics of the earthquake [C]. The Carnegie Inst. Washington, 1910.
- [8] Reid H F. The elastic-rebound theory of earthquakes [A]. University of California Publ. Geol. Sci. [C]. 1911, vol. 6: 413-444.
- [9] 李差邦, 著. 中国地震 [M]. 北京: 地震出版社, 1981.
- [10] Mogi K. Earthquake Prediction [M]. Academic Press. Japan, 1985.
- [11] Gabrielov A and Newman W I. Seismicity modeling and earthquake prediction, a review, Nonlinear Dynamics and Predictability of geophysical Phenomena [A]. (Edited by Newman, W. I. *et al.*) Geophysical Monograph 83, IU GG [C]. 1994, vol. 18, 7-13.
- [12] Aki K. Characterization of barriers on earthquake fault [J]. J. Geophys. Res., 1979, vol. 84, 6140.
- [13] Carlson and Langer, Mechanical model of an earthquake fault [J]. Phys. Rev. A., 1989, vol. 4: 6470-6484.
- [14] Rice J R. The mechanics of earthquake rupture [A]. in A. M. Dziewonski and E. Boschi (eds). Physics of Earth's Interior [C]. Amsterdam, North-Holland, 1980: 555-649.
- [15] 郭增建, 秦保燕. 震源物理 [M]. 北京: 地震出版社, 1979.
- [16] 陈, 傅征样, 牛志仁, 等编. 非线性科学在地震预报中的应用 [C]. 北京: 地震出版社, 1992, 3-10.
- [17] Turcotte D L. Fractals and chaos in Geology and Geophysics [M]. Cambridge university Press, 1992.
- [18] 郑捷. 研究地震和岩石破裂现象的非线性科学方法 [A]. 陈, 傅征样, 牛志仁, 等编. 非线性科学在地震预报中的应用 [C]. 北京: 地震出版社, 1992: 45-53.
- [19] 彭建兵, 毛彦龙, 范文, 等. 区域稳定性动力学研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [20] 马润勇, 彭建兵, 周立新, 等. 黑山峡大柳树坝址区断裂构造格局与 F₂₀₁ 断层活动性研究 [J]. 工程地质学报, 2002, 10 (增刊): 97-102.
- [21] 梅世蓉, 冯德益, 等. 中国地震预报概论 [M]. 北京: 地震出版社, 1993.

Discussion on the model of basic thinking in the earthquake prediction

MA Run-yong¹, PENG Jian-bing¹, WANG Jia-ding², PAN Ai-fang^{2,3}

(1. College of Geological Engineering and Geometry, Chang'an University, Xi'an

710054, China; 2. Geology Department of Northwest University, Xi'an 710069, China;

3. Institute of Sciences, Xi'an University of Architecture and Technology Xi'an
710055, China)

Abstract: Whether the earthquake hazard can be predicted or not, and how are we to achieve efficacious prediction. In this paper, The author thinks that earthquake is a objective reality of nature world and the developing process of seismology, occurrence has inevitably a regularity. If its regularity is recognized and mastered, the prediction would be achieved. Strengthening research on seismic source is the basis to achieve earthquake hazard prediction. Correspondence between yardstick of prediction term and prediction method is good way to improve prediction effect.

Key words: earthquake prediction; seismic focus research; yardstick of prediction term; prediction method.

《西北地质》征订启事

《西北地质》是由国土资源部主管, 西安地质矿产研究所主办的国内外公开发行的地学类学术性期刊(季刊)。《西北地质》坚持党的基本路线, 提倡“双百”方针。《西北地质》主要报道地质科学及其相关领域的基础性、前瞻性和创新性研究成果, 关注地学领域中的热点问题、前沿性研究及边缘学科, 介绍地质大调查过程中重大课题的阶段性成果。

《西北地质》主要刊登有创新思路及首发性成果的科技论文, 优先发表由国家、省部委重大科技项目及基金资助的重大科研成果。主要刊登的内容包括: 基础地质、资源地质、水文地质与环境地质、数字地质、研究快报、技术与应用、科技综述、科技消息、学术与争鸣等。

《中国地质》为季刊, 大 16 开本, 逢季末出版。国内统一刊号: CN 61-1149; 国际标准连续出版号: ISSN 1009-6248。国内外公开发行, 邮发代号: 52-285。从 2004 年起每册定价: 15 元, 全年 60 元。原天津非邮发联合征订渠道依然有效。欢迎广大读者到全国各地邮局或天津非邮发联合征订部订阅 2004 年的《西北地质》。

欢迎地学界人士踊跃投稿!

地 址: 西安市友谊东路 166 号

西安地质矿产研究所 《西北地质》编辑部

邮 编: 710054

电 话: 029-7821951

E-mail: xbdz@cgs.gov.cn