

关于地震的成因、预报及 危险性评价问题

(地震教学译文选集之一)

J. H. TATSCH 等著

李时若译

王卓凯等校

武汉地质学院地力教研室

关于地震的成因、预报
及危险性评价问题

.....(地震教学译文选集之一)

.....TATSCH等 著

.....王卓凯等 校

.....
此册地震教学译文于1984年
8月—9月辑录编印

武汉地质学院地力教研室
一九八四年

目 录

[1]	地震的成因、预报与控制要义.....	1
[2]	澳大利亚的地震危险性.....	3 9
	插图 [2] - 1 、 [2] - 2 、 [2] - 3	
[3]	加利福尼亚小狼湖地震引起的边坡崩塌 的动力学分析.....	5 0
	插图 [3] - 1 、 [3] - 2	
[4]	圆顶格构的动态稳定性.....	6 3
	插图 [4] - 1 、 [4] - 2 、 [4] - 3	
[5]	地震过程的统计模型.....	6 9
	插图 [5] - 1 、 [5] - 2 、 [5] - 3 、 [5] - 4	
[6]	波瑞果 (BORREGO) 山地震的面波分析.....	8 0
	插图 [6] - 1 、 [6] - 2	

地震的成因、预报与控制要义

J. H. TATSCH

内容提要

本文是美国地震学家塔茨奇 (J. H. TATSCH) 的近著《地震的成因、预报与控制》一书中第 18 章即“地震的成因、预报与控制要义”的全文。它提纲挈领地、简明扼要地概述和评价了地震成因、地震预报、地震控制三方面的基本问题和一些新观点、新方法新资料。毫不夸张地说, 本文是原著 (451 页) 的要点总结。特别值得提出的是, 著者在“地震预报”的论述中, 几乎用了占全章五分之一的篇幅, 以客观的态度和求实的精神, 对中国的地震预报工作和成果作了比较详细地评述。

通常认为地震的大小、时间、地点的具体预报, 采用现行的技术方法是不可能的。之所以不可能, 主要起因于对涉及地震起因的几何学和力学的不正确了解或者不完全了解。

即使我们知道什么时间和什么地点发生了地震, 但是我们不知道如何发生或者为什么发生地震。有时非常小的震群先于主震几个月之前发生在地震震中区, 有时这些同样的小震并不继任何主震之后就出现。地面倾斜与某些地震活动的盛衰有关, 而不规则的倾斜在有些地震之前是能观察到的。由磁性引起的地表波动常在震前看到。有时, 震前的一些异常表现非常奇特。

通过将这些现象与在震前测知的其它异常的相关研究, 至少预

报出一些地震是可能的。这种预报，在很大程度上将取决于测量技术的更新发展，或非如此，而取决于测定地球内部不同深度的应力（而不是应力产生的应变）。地球应力参数的直接测量是行不通的，在深发地震不同深度的应力参数的直接测量尤其如此。有些间接测量系根据应力对岩石电磁特性和对地震波速度的影响提出的。在一种地震预报实际可行的做法开展之前，这一领域中尚有大量的工作待我们完成。

至于地震控制和预防工作可以说也是这样。大家知道某些地震可能为微小的不平衡力所激发，就如同汪滴水的新水库能诱发地震那样。这便暗示，借助编绘平面应力图定位方法控制地震存在可能性，但是，在准确测定中何时或在绘出的平面应力图上何处选定位位置便成了问题。

为了预报和控制地震，首要者须了解什么原因引起地震，这是本书提出的许多先决条件之一。在这前提下，本书第17章开头的主要部份（第17章即前新生代地震构造岩浆带的痕迹及有关的地震活动性——译者）已致力于较充分地解释什么原因引起地震这一问题的尝试。该章概述了前一些章节中已经讨论过的几种诱发机制的显著特徵；由此推论出的几节总结了一些涉及地震预报和控制方面的某些问题和技术。

世界标准地震台网

为了对地震学和全球构造地质学基础研究提供必要资料，在十年多一点时间以前建立了世界标准地震台网（WWSSN）。该网对地球的地震、构造和岩浆动态提供了更好地了解（参见，例如1976

— Peterson 和 Orsini 的文章)。

与地震成因有关的地球的地震构造岩浆动态

在开展地震诱发机制研究中主要缺点之一是对地球动态缺乏正确的理解。为什么地球有它本身的运行方式是无人知道的。然而，在与地震成因有关的范围内，总结一下关于地球动态已知的和假定的知识是有好处的：

1. 自由振荡型式与体波基线数据之间存在着严重差异，其主要表现形式为大的走时基线偏移。将这些偏移归咎于延伸至极深部的大陆——海洋地幔的不同的尝试（参见 Jordan, 1975）还不能令人完全满意（Hart 等人, 1977）。

2. 地震的数据，其本身并不能明确表示哪种节面是和断层面平行的，哪种节面是和滑动方向正交的。

3. 在某些板块构造的一些概念中，无（耐）震海脊作为薄弱界线作用着，俯冲板块沿这些界线逐渐分离开来（参见 Vogt 等人的文章, 1976）。

4. “板块运动下降”模型作为这种由于海洋岩石圈弯向岛弧系并下降到地幔过程中所产生的机制被提出的。这种机制，成为在千岛群岛、日本、南美、菲律宾、中美和阿留申群岛已经被观察到的一系列冲断层、俯冲断层、正断层产生地震的假说的一种解释（参见 Spence, 1977）。

5. 查普尔 (Chapple) 和图利斯 (Tullis) (1977) 发现“热点推动、转换断层阻力和洋底抗力不能在板块上发挥有效的扭矩”。

6. 大量的研究表明, 地球的地震、构造和岩浆活动之间存在有内在联系的直接关系(参见 Green, 1974; Crosson 和 Frank, 1975; Tatsch, 1977)。

7. 在许多形成冰川的地区, 因冰面正在上升, 从而导致了某些地震被诱发的后果(参见 Hicks 和 Shofnos, 1965)。

8. 详细检查时, 大部份深源地震看来是属于组合地震(参见 Burdick 和 Helmberger, 1974)。

9. 同重力场强度变化相比, 板块运动好像是更不折不扣地与磁场强度有关(Goodacre, 1977)。

10. 地球地震活动性的解释由于一些自相矛盾和不确切的论述仍使我们迷惑不解(参见 Lomnitz, 1974)。

11. 地球的矿物、沉积物的相分析表明, 它们的起源和演变与同样导致地球应力场变化的深成机制有关, 而地球应力场又与地震有关(参见 Kulina 1976; Tatsch 1973, 1974, 1975, 1976, 1977)。

12. 地震并非均匀分布的。据古登堡和里克特(1954)估计: 75.6% 的地震能量与环太平洋地震带有关; 22.1% 的地震能量与阿尔卑斯山脉——亚洲地震带有关。

13. 地震在许多海脊中发生。在这样一些事例中, 大多数地震能量是在相对张力最小的那些海脊, 即缓慢扩张的海脊中被释放(参见 McKenzie 和 Bowin, 1976)。

14. 地震活动和有关的海底火山活动看来是与存在显著构造特征的地区有关, 例如, 加拉帕戈斯群岛, 马克萨斯群岛, 复活节岛和费尔南迪兹等地的断裂带(参见 Talandier 和 Kuster,

1976)。这种活动虽然小，但是非常重要，因为这种活动发生地点远离预报地震地区，单凭板块构造概念是不能预测的。

15. 在许多学者之中巴拉基纳 (Balakina) 等人 (1969) 首先提出地球构造变化过程，它的应力场及其地震系单纯由一个历史久远的深成诱发机制激发的。

16. 1968年以来，简单的板块构造概念对提高地震学研究上并没有多大的帮助 (参见，例如1976年 Bolt 的文章)。

17. 根据以简单的板块构造概念直接推论来看，为数众多的大地震似乎并非“正规”的 (例如：根据简单的板块构造概念则1811~1812年发生的新马德里 (美国) 地震和许多大震级的中国地震均属于在板块内部发生的，因而也是不能被充分理解的)。

18. 爆发型地震用简单的板块构造概念是不能预报的，即使根据由其结果追溯其发生原因也是不能够的。

19. 有些浅源地震似乎由于采矿挖掘作业形成了地下空穴，使地壳负荷不正常而被激发的 (参见，例如1976年 Pomeroy 等人的文章)。

20. 从远古时期起，地震的成因就认为同破坏了地球能量平衡发生联系。即使像亚里士多德学派的人和研究莎士比亚的学者，在他们的玄想中都涉及到产生地震的成因 (参见，例如1974年 Lomnitz 的文章)。

21. 在全球范围内，大的浅源地震都是紧密相连的 (参见，例如1974年 Mogi 的文章)。

22. 短周期 S_n 的横向分量已有人根据勒夫波的垂直模式予以解释 (参见，例如1977年 Stephens 和 Isacks 的文章)。

关于具体表现于地震诱发机制中的一些概念和约束条件，上述的某些观测已经作为使用的依据。

扩容模型

某些地震的前兆现象可以用扩容模型加以解释。这类模型体现了各种物质当其接近临界断裂状态时的各种异常行为。在这类模型里，因为当地震前应力积聚时裂缝扩大，和与此有关的震源区附近岩块体积增大，波速比 V_p/V_s 开始减小。随着这一阶段的是断裂前波速比的恢复正常。

现提出两种扩容现象以阐明波速的恢复原状：

a. 在扩容—扩散假说中，水在地震前便立即流入裂缝区域，因而引起波速比恢复正常。水压增加也起减弱岩石作用。

b. 在扩容—不稳定性假说（也叫扩容—裂缝闭合假说）中，由于“某些自然选择的裂缝产生”，大多数裂缝在断层破裂发生前多在扩容区密闭起来（参见 NRC, 1976）。这些裂缝的闭合状态增加了波速，同时也增加了岩石孔隙处的水压。

被观测的迹象表明，就在地震前属于地球特性的几何、力学、地热和化学方面所起的作用，要比上述的简单扩容模型所提示的复杂得多（参见 NRC, 1976；USGS, 1976；Garg 等, 1977）。

根据简单板块构造概念解释的地震成因

依据简单板块构造概念对地震成因的解释已在前几章内报道（例如可参见第4章到第17章），由这几章可得出下面的重要结论：

1. 许多地震似乎可以根据简单板块构造概念解释（参见。例如1973年 Molner 等人的文章）。

2. 然而, 其它许多地震用那一概念似乎不能解释(参见 Arroyo 和 Udias, 1972; Ichikawa 等人, 1972; Rastogi, 1974; Chandra, 1975; Tandon 和 Srivastava, 1975; Udias, 1977)。

与地震诱发机制有关的应力状态

地球构造圈和地震诱发机制应力状态之间的确切联系是无从知晓的。但是, 总结一下已知的是什么和在这一方面已经假定的是什么是有好处的:

1. 对震源区绝对应力状态和伴随地震产生应力状态变化缺乏更好的知识是不能充分理解地震物理学的(参见 Rieker, 1977)。

2. 应力大小和方向是了解地震诱发机制的重要因素。

3. 水平应力强度经常超过那些垂直应力。

4. 更深的岩石圈内部的最大平均应力不会超出几百个巴。

5. 变化剧烈的应力降多伴随破裂带上的地震发生。

6. 高应力降在震源处产生。

7. 地球构造圈内部的非均质物质意指可变的初始应力和(或者与)破裂作用有关的可变的破坏模型。

8. 低的平均应力降看来与大的、空间外延的地震有联系。

9. 低的平均应力降看来系由于各处变化很小的应力降与震源处局部高应力降产生的, 而大的破坏扩展则系由于动力驱动产生的破坏所致。

10. 应力降可能与固定不变的应力强度(能级)有关, 而那种强度可能为零。

1.1 · 大的空间外延的地震，看来牵涉到相对薄弱带的大蠕变位移。

1.2 · 高应力带显然与地震空区有联系。

1.3 · 短暂的应力变化（根据对地震 $m_B - m_S$ 分析研究所示）暗示大地震在被辨明为高应力地带内发生。

1.4 · 根据大地震后的一些活动所推断的应力强度（能级）在破坏带中心区要低得多，但它在地震活动末比大地震前的应力强度要高一些。

1.5 · 在实验室中测试的岩石是相当“坚固”的，可是，由许多地震解测定的平均应力降则表明脆弱，并且它在应力强度差方面通常几乎等于几个数量级。这一观测表明：我们对现实世界上与地震有关的地球几何学、力学、地热学以及化学等特性方面知道的并不多。

1.6 · 上述一些论点表明：一个较好的断层模型可能体现为一个具有高应力降（千巴）、十分均匀强度的断层表面，并具有为一些宽阔、脆弱的低应力降（十巴）地带围绕着的许多高强度地段。

地震与岩浆产生之间的联系

我们无人采用何种方法确知何地或何时岩浆产生，也不确知控制岩浆化学成分的参数是怎样与某些地震有关的（参见 Capaldi 等人，1976）。然而，总结一下对地震岩浆间相互关系已知和已被假设的论述是有好处的：

1 · 大部份玄武岩和安山岩岩浆成因模式必须包括在适用于上地幔的一些物理条件下部分在熔化的镁铁质和超基性镁铁质岩石。

2 · 某些地震似乎是火山爆发的前兆，但是，那些已判断与火
~ 8 ~

山活动有明显联系的地震，尚为人们争论的问题。

3. 唯有浅于10公里的一些地震已被鉴定为伴有火山活动的地震（参见Minakami, 1974）。

4. 不管上述论点如何，深达几百公里的地震均在火山岛山脉下面发生，表明在那些震例中岩浆与地震活动之间的某些联系。

现提出几点意见以说明上述观察的原因：

1. 深震可能为交变岩浆产生的论点的一种能量释放形式（参见Eaton和Marata, 1960）。

2. 有些深震可能为部份岩石熔化后的体积变化，或为上升岩浆产生的应力激发所致。

3. 按照地球构造圈模型，地震和岩浆产生系伴随楔形带活动的地震构造岩浆带活动的两种表现形式（Tatsch, 1977）。

4. 据布洛特（Blot）（1972）报道，在赫布里底群岛观测了在中等深源地震与火山爆发之间的一种统计上的确切关系。

地震诱发机制与极移变化

看来在(1)大震中能量释放与(2)张德勒摆动幅度之间有直接相关，并带有(2)先于(1)的一点迹象。在此点上还应指明的是，不管何时发生大地震，在由中震到大震这个过程总是减少的。

对于地球动力和地震活动之间的相互关系，各种解释已被提出。这里重复所有这些问题没有必要，但是，扼要论述其中两点是有好处的：

1. 张德勒摆动幅度的增加能够“触发全球性的地震活动，并加速板块运动，最终引起大的脱（解）耦地震”。这种说法可以说明大地震发生时由中震到大震过程的衰减原因，而不能说明触发地

震活动变化的张德勒摆动幅度的变化原因。

2. 远自太古以来, 张德勒摆动变化和全球地震活动变化两者均为一直在激发着地球上所有构造圈活动的。时间同样长远的深成机制所触发(参见 Tatsch, 1977)。

水库蓄水诱发的地震活动

关于什么范围的局部地震活动是受水库蓄水的影响, 观察证据是难以想像的。有关这方面的情况(参见 Bolt 和 Cloud, 1974; Gupta 和 Rastogi, 1975; Langston 和 Butler, 1976; Clark 等人, 1976), 扼要概述什么是已经载述过的仍有益处:

1. 象某些区域蓄水后地震活动明显增加的, 包括印度柯伊纳(参见 Gupta 等人, 1972); 美国米德湖(参见 Carder, 1945; Rogers 和 Lee, 1976); 非洲卡里巴; 希腊克雷马斯塔; 中国新丰江(参见 Judd, 1974); 以及苏联努累克(Nurek)(参见 Anon, 1976C; Hann, 1977)。

2. 在其他大坝地震活动没有显著增加的, 包括埃及阿斯旺和印度拉姆加纳(Ramgana)(参见 Singh 等人, 1976a), 以及苏联布拉茨克(参见 Lahr 等人, 1976)。

地震预报

不了解什么是导致地震发生的原因就着手预报地震, 会引起严重偏向。中国地质学家在地震预报方面被认为有很大能力。他们的体系虽然不能预报所有的地震, 但是它已经“预报了某些从未出现过的地震”。

为了强调地震预报涉及的事物复杂, 简单地看看某些由中国和其他国家的科学家们在尝试预报地震方面已经采用的技能是有帮助

的。这些技能很大部份都是以前兆分析或前兆现象为基础的，而有些现象已被注意到与地震有关。这些前兆现象的部份现象概述如下：

1. 旋回(周期) 某些旋回(周期)的重复说明某一地震立即发生(参见 Anderson, 1974; Fedotov 等人, 1977; Rikitake, 1974; Savarensky, 1974)。

2. V_s/V_p 比 剪力(切变)波速—纵波速比在某些地震前发生变化(参见 Aggarwal 等人, 1977; Fedotov 等人, 1977; Garg 等人, 1977; Gupta, 1973; Kanamori 和 Fuis, 1976; Kisslinger 和 Engdahl, 1974; Rikitake, 1974, 1976; Sadoysky 和 Nersesov, 1974; Savarensky, 1974; Whitcomb 等人, 1973)。在其它一些地震中, 这样的波速变化并不发生(参见 Bolt, 1977; Cramer, 1976; McGarr, 1974)。

3. 节面定向 在某些震例中, 其前震发生节面定向变化(参见 Rikitake, 1976; Sadoysky 和 Nersesov, 1974; Savarensky, 1974)。

4. 导电性 某些地震之前, 地球的导电性发生变化(参见 Coe, 1971; Fedotov 等人, 1977; Fitterman, 1976; Hankura 等人, 1976; Mazella 和 Morrison, 1974; Rikitake, 1976; Sadoysky 和 Nersesov, 1974; Savarensky, 1974; Scholz 等人, 1973)。

5. 磁性 某些地震之前, 地球的磁场发生变化(参见 Bulashevitch 等人, 1976; Hankura 等人, 1976; Johnston, 1974; Rikitake, 1974, 1976; Savarensky

1974 ; Smith和Johnston, 1976)。

6 · 地形变 某些地震之前, 出现地壳垂直运动 (参见 Blagovolin等人, 1975 ; Castle等人, 1977 ; Hagiwara 1974 ; Reillinger和Oliver, 1976 ; Rikitaki, 1974, 1976 ; Sadovsky和Nersesov, 1974 ; Savage等人, 1977 ; Wyss, 1976) ; 某些地震之前, 出现地壳水平运动 (参见 Biscnke, 1976)。

7 · 氦 某些地震之前, 钻孔水的氦含量发生变化 (参见 King, 1977 ; Noguchi和Wakati, 1977 ; Rikitake 1976 ; Sadovsky等人, 1972 ; Savarensky, 1974 ; Scholz等人, 1973)。

8 · 微震活动 在许多事例中, 在主震之前, 微震数目随着高频度地震百分数增加而减少 (参见 Rikitake, 1976 ; Sadovsky和Nersesov, 1974)。

9 · 水位 地震前有些水井水位发生变化 (参见 Johnston 1974 ; Kovach等人, 1975 ; Rikitake, 1976 ; Sundaram等人, 1976)。然而, 一些实例中, 水位变化系因降雨型式变化产生 (参见 Gregson等人, 1976)。

10 · 局部b值 有时局部b值超过最大值, 只是在地震前开始减小 (参见 Fielder, 1974 ; Rikitake, 1976)。

11 · 潮应变 断层带附近地面的潮应变幅度能够随着构造应力变化而发生变化, 例如在某些地震前的潮应变幅度 (参见 Latynina和Rizaeva, 1976 ; Rikitake, 1976)。

12 · 太阳潮 某些地震根据它们与一周期为18.6年的太阳

潮的相关似乎是可以预测的(参见Fedotov等人, 1977, Rikitake, 1976)。

13·前震 有些大的远震可以诱发外处大震逼近地带中的小的前震(参见Fedotov等人, 1977; Rikitake, 1976)。

14·心灵效应 一些有天才的灵媒人所具有的预报地震能力大大优于偶然巧合的预报(参见Stewart, 1977)。

15·重力 地球重力场的改变是某些地震的前兆(参见Kisslinger, 1975; Lambert和Beaumont, 1977; Mjachkin等人, 1975; Rikitake, 1976; Scholz等人, 1973)。

16·动物动态 有些动物看来具有可感临震的能力。这些动物包括: 鸟、猫、禽、牦牛、乌鸦、鹿、狗、鸭、猪、鱼、狐、蛙、鹅、马、昆虫、水蛭、牛、熊猫、鸽子、猪、兔、鼠、羊、蛇、麻雀、天鹅、虎和犛牛等(参见Aki, 1976; Allen, 1976; Barfield, 1976; Bufe和Nanevich, 1976; Evernden, 1976; Gans, 1976; Gawthrop, 1976; Hart, 1976; Hill, 1976; Johnston, 1976; Kautz, 1976; Keeton, 1976; Kraemer, 1976; Kraemer等人, 1976; Lee等人, 1976; Logan, 1976; Lott, 1976; Mead, 1976; Morris和Shaw, 1976; Morrison, 1976; Talwani, 1977)。据此表明动物有对各种不同的几何学、力学、地热和化学在地球原始平衡和不平衡状态中的作用的感应(Tatsch, 1977)。这些作用包括不同的声、嗅和电场等的组合。

17·异常气候 异常气候先于某些地震出现。大量实例包括“来自地面”、空中的大雾和浓雾，呈现“黑、黄、靛”色彩的短时间的虹（参见 Rikitake, 1976）。

18·不可思议的光 某些地震之前出现异常光亮，其中有的光亮在夜间人静地震发生时几乎如同白昼一样（参见 Hollis, 1971；Richter, 1958；Stukeley, 1956；Taiwani 1977）。根据这些情况可以看到“大片光辉，伴随着响声飞往天空”。在另外实例中，地震期间的闪光，类似于闪电，从海洋和大陆区域的上空放射出来。1930年北伊豆半岛（Izu）地震前出现闪光，并伴有四次或五次“象火花似的闪光”。1925年云南地震伴有硫黄气味以及“炽热的从南至北游动的光亮”。另外有的光亮显示有电的放电。有趣的是，当无震岩浆活动时，类似的放电显示已经在火山爆发，甚至火山口破裂岩浆滑流到与构造活动相联系的联结点上观察到。按照地球构造圈模型，这些显示或与地球电场平衡力有关（参见 Tatsch, 1977）。

19·地下水 先于某些地震的变化是地下水。这些也包括水位以及泥浆粉砂造成水的混浊变化（参见 Rikitake, 1976；Kuo 等人, 1974）。

20·磁吸引 在1855年日本江户（Edo）发生地震两小时前，被吸引到一块大马蹄形磁铁上的所有铁钉和铸铁件突然均降落到地面上。在世界其他部分也有类似现象的报道（参见 Rikitake 1976）。

21·天体 据报道较多的地震出现在满月和月球新位相期间。它们之中的某些地震与磁暴也有过相互联系。某些观察者报道，地