

公里尺度地球物理实验和震源体上 记录的一些特性

郑 治 真

(国家地震局地球物理研究所)

摘 要

文中首先简述了岩石力学实验、震源物理研究、地震预报中的一些结果，这些研究提出的共同问题是需要进行中等尺度(公里量级)的地球物理实验。其次介绍了北京门头沟的公里尺度地球物理实验场的概况。最后给出了目前已取得的一些进展，如地表记录与地下记录的差异、微破裂的应力降与介质应力状态的关系、介质背景噪声的主频率与介质应力状态关系、震源体上记录的特征等。

关键词 岩爆；矿震；地声；等效卸载范围；极微震

一、公里尺度地球物理实验

1. 岩石力学实验提出的问题

实验室的岩石力学实验取得了大量的有益结果。然而，由于样品太小，所得到的结果有很大的局限性。实验室里得到的岩石破裂强度的数值与野外观测的结果差异很大，所获得的岩石性质是样品总体的平均值。而岩石破坏和地震的前兆在空间和时间上是不均匀的，是一个从无序向有序变化的过程(即熵减小过程)。因而，必须开展全场性的前兆观测，这就需要大尺度的实验，其尺度应从几米到公里量级^[1-3]。

2. 缩短地震预报实践的周期

地震预报是世界的科学难题之一。已总结出多种地震前兆，如地形变、地电阻率、地下水位、地热、地磁、电磁波、地声、水化学等。但是，最基本和最可靠的前兆还是以地震活动性为基础的地震预报方法。该方法提出了多种参量，如波速、 b 值、地震迁移、震源机制变化、频度、波谱等^[4]。预报实践中一般情况是用 2—4 级地震的上述参数去预报 6 级以上的大地震。因而，预报的实践机会很少。所以人们希望采用 0—1 级极微震，甚至负级极微震，预报 3—4 级地震，以加速对地震活动性地震预报方法的检验，缩短预报实践的周期。这就需要建立中等尺度地震预报实验场^[5]。

3. 震源物理研究

震源物理的研究结果对实现地震预报和减轻地震灾害具有重要意义。近年来，采用

1988 年 9 月 17 日收到本文初稿，1988 年 12 月 20 日决定采用。

P 波初动资料广泛研究了地震震源机制和构造应力场。结果认为控制地震活动差异的主要因素是，构造差异而不是应力差异；采用地震波谱方法研究了大地震的破裂过程，确定其震源参数；采用地震孕育模式探讨了孕震过程中的蠕变、重力、压磁效应及地温的作用等^[6]。然而，对于震源物理研究的理论结果，仅仅对极少数的地面有破坏的大地震，才有野外现场的检验机会。现有的震源模型远远解释不了丰富的实际震例。很多地球物理学家和地震学家都在寻找能推进震源物理研究的新途径。

4. 岩爆、矿震的预测预防研究

近十年来，岩爆和矿震的预测预防研究取得迅速发展。矿区的尺度一般为几公里，记录到的破裂事件的强度从 $M_L = -6$ — 4 。事件的频率从几十 Hz 到数百 Hz。已研究的岩爆机制多种多样（构造型、塌陷型、横向喷发型等）。能在地下直接观测较大事件的孕育过程，为研究破裂过程和捕捉前兆信息提供了极好的条件。目前监测岩爆的最好方法是地声观测、微震观测和煤粉法（coal dust），控制岩爆的有效方法是放炮、注水和断顶。矿山岩爆的预测防治研究结果对地震预报具有重要借鉴价值^[7]。

5. 公里尺度地球物理实验场概况

把岩石力学的实验室研究、地震预报、震源物理研究、地声观测研究与矿山地球物理问题相结合，进行公里尺度的立体（三维）地球物理实验，必定能在实验室研究和野外现场观测之间，架起一个中等尺度实验的桥梁、推动地震预报和震源物理研究的发展。

为此，国家地震局地球物理研究所与北京矿务局，在门头沟煤矿建立了公里尺度的地球物理实验场，开展了一些实验观测研究。目前实验场有两套由波兰引进的观测系统：微震系统（sylok）和地声系统（sak）。

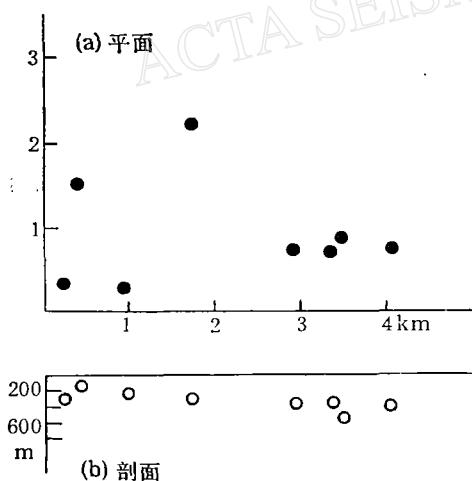


图 1 微震系统检波器分布

微震系统 有 8 个检波器，其频响为 2—200 Hz，布置在长 5km、宽 3km、深 800m 空间范围里。图 1 是微震系统检波器分布的平面图和剖面图。采用有线传输地表集中记录，配有专用微机进行资料的实时处理。该系统能进行定位的事件的最低能量为 1×10^4 J。自 1984 年 10 月开始记录以来，平均每年记录的 $M_L \geq 1.0$ 的微震事件 2000 次以上， $M_L \geq 2.0$ 的微震事件 500 次以上。到目前为止，最大事件为 $M_L = 3.9$ ，绝大多数事件发生在开采区的三公里范围内。

地声系统 共有 16 个压电晶体探头，频响为 200—2500Hz，目前只用 8 个探头，装置

在所开采的煤体的不同部位。连续观测，实时处理，为评定冲击地压发生的危险性提供参数。自 1984 年 10 月份开始观测以来，记录的地声事件的强度，多数相当于 $M_L = -6$ — -4 ^[1]。

1) Lu Zhenhua, Zhang Lingchen, 1988. Observation in source field and dynamic analysis, The report for the conference on rock dynamics, Manuscript, Beijing.

除了地声和极微震观测系统外,还进行应力测量,今后还准备观测电磁波、电阻率、形变等其它前兆项目。

二、一些初步观测研究结果

把地震学和地震预报中的一些结果和方法,用于上述公里尺度的地球物理实验场研究中,得到了成功的应用。这不仅有益于岩爆的预测和防治,而且对地震预报的方法和地震学的一些理论结果予以验证,提出新的思路和途径。

1. 微破裂事件的应力降和介质的应力状态

在采煤过程中,当根据煤粉方法确定某一煤体处于高应力状态时,常常采用爆破进行卸载。爆破后记录到大量的地声事件(强度相当于 $M_L = -7 \cdots -4$ 的微破裂)。采用地震学的方法可以计算出这些事件的应力降。由应力降的时间变化,可看出煤体的应力卸载情况。图 2 是二个例子。采用布龙模式计算应力降^[8]。

$$\Delta\sigma = \frac{7}{16} \cdot \frac{M_0}{r^3}$$

式中 M_0 为地震矩, r 为等效圆位错半径。由图可以看出,图 2(a) 在爆破 10 分钟后,已没有高应力降的地声事件,图 2(b) 在爆破 15 分钟后也没有高应力降地声事件了。30 分钟后两个煤体都处于稳定状态了。这个结果与煤矿开采中根据其它方法获得的卸载时间非常吻合。这说明微破裂的应力降尽管不是介质应力状态的直接测量,但的确可以间接地做为应力状态高低的一种衡量。

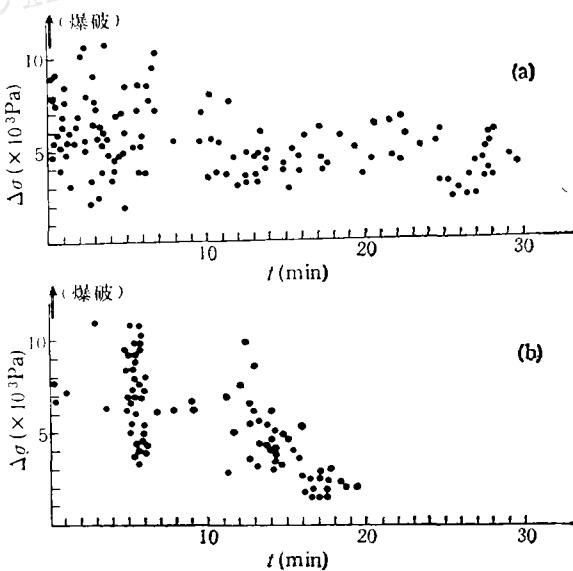


图 2 爆破后地声事件的应力降

图 3 给出了海城大地震前后小地震 ($M_L = 2.5 \cdots 3.9$) 的应力降变化情况^[9]。如果把地震后与爆破后应力降变化相比较,可以看出,除了时间尺度外,其变化非常相似。这

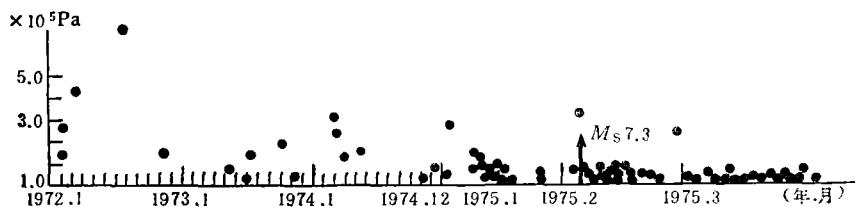


图 3 海城地震的前震和余震的应力降变化

对地震预报的结果是一个很好的验证。

2. 等效卸载范围

采用布龙模式计算了六块煤体开采过程中地声事件的等效破裂长度

$$L = \frac{2.34 v_p}{\pi f_0}$$

式中 f_0 为拐角频率, v_p 是 P 波速度, 取为 4000 m/s . 表 1 给出各个煤体地声事件(微破裂)的平均等效破裂长度(卸载长度)为 $8-9 \text{ m}$.

表 1 等效卸载范围

煤 体	1	3	4	5	6	7
平均等效卸载 长 度(m)	8.7	8.3	9.2	9.4	9.0	7.7

在煤矿开采中, 根据煤粉法已知, 自开采面向煤体里面 4 m 范围为塑性区, 由塑性区再向深处, 到大约 12 m 范围为应力峰值区(见图 4). 开采过程中, 绝大多数地声事件发生在开采面附近. 比较按地震学方法计算得到的地声事件有效卸载长度($8-9 \text{ m}$)与开采面前应力集中区大小(12 m), 可以认为其结果是相当符合的. 这说明了地震波谱方法得到的震源破裂长度具有实际物理意义, 震源物理参数可用于煤矿开采中.

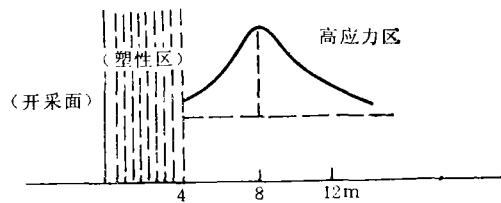


图 4 开采面处应力分布示意图

3. 煤体背景噪声的主频率变化

由于构造差异、开采情况和开采历史不同, 每块煤体的背景噪声的强度和主频率不同. 噪声的主频率在一定程度上反映了介质的应力状态.

图 5(a), (b), (c) 是 No.1, 4, 5 煤体在掘进过程中背景噪声主频率随时间的变化. 主频率有较大的变化, 这是掘进过程中煤体应力状态变化的反映. 图 5(d) 是 No.3 煤体回采过程的主频率, 其变化不大. 因为回采过程中煤体的应力状态较稳定. 这个结果说

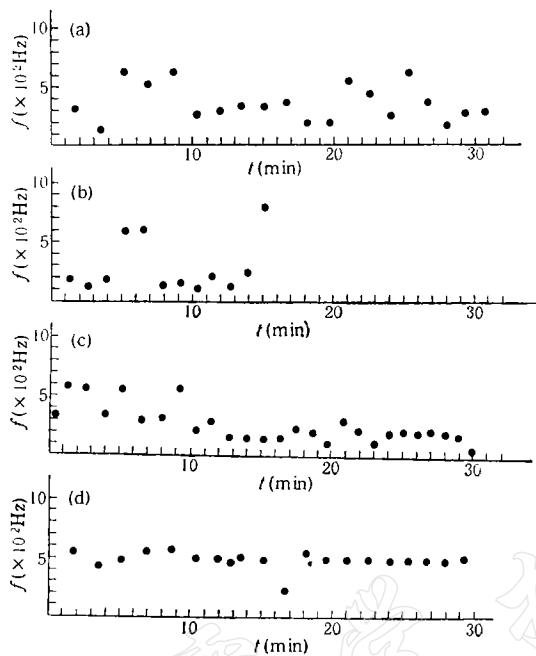


图 5 背景噪声的主频率变化
(a),(b),(c)——掘进 (d)——回采

明,背景噪声(或地脉动)的研究,对地声频度很低的煤体的岩爆监测,以及对微震很少的地震危险区的地震预报,都有一定意义。

4. 震源体上的波形

1987年5月11日18^h33'43"门头沟发生了 $M_L = 2.0$ 的矿震,震源深度340m。据地震学方法估计的断层长度为1000m。微震系统的一个检波器位于地下300m深,距震源900m,其记录波形由图6(a)给出。图6(b)是距震源1200m的检波器记录的波形。两个记录波形有明显的差异。在震源破裂体范围的检波器记录的波形,在事件前有一缓慢蠕动。这个特点对大多数位于震源破裂体上检波器是共有的,并非仪器的某种因素所致。研究震源破裂过程应予以注意。

另外,震源体上检波器的记录,一般不能用于参加较远处检波器的记录共同定位。

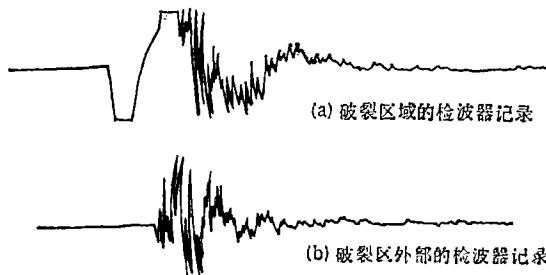


图 6 微破裂记录

5. 地表记录和地下记录的差异

以 1987 年 5 月 11 日 $18^{\text{h}}33'43''$, $M_L = 2.0$, $h = 340\text{m}$ 的矿震为例。图 7 是微震仪系统的记录, 各个检波器都在基岩上, 其中, 图 7(a) 的震源距 $d = 1204\text{m}$, 深度 $z = 0$; (b) $= 1203\text{m}$, $z = 300\text{m}$; (c) $d = 1355\text{m}$, $z = 300\text{m}$; (d) $d = 1761\text{m}$, $z = 300\text{m}$ 。比较 4 个记录的波形, 地表记录具有较大的周期, 且波形光滑, 而地下记录具有较高频率。

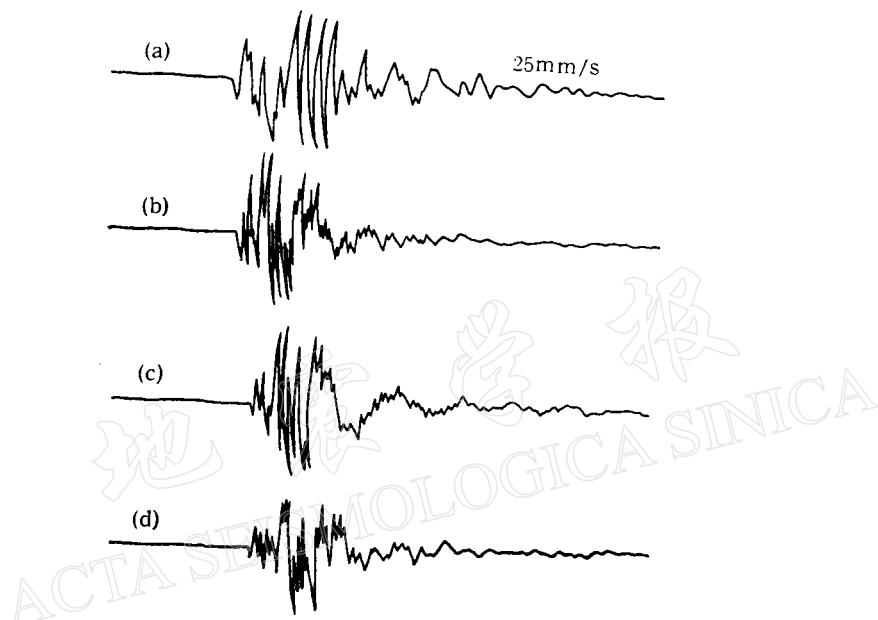


图 7 地表记录与地下记录的差异

6. 地声事件的 b 值

很多人研究大地震前后 b 值的变化, 而且对获得 $M_L < 1.0$ 和 $M_s > 6$ 两个区域里

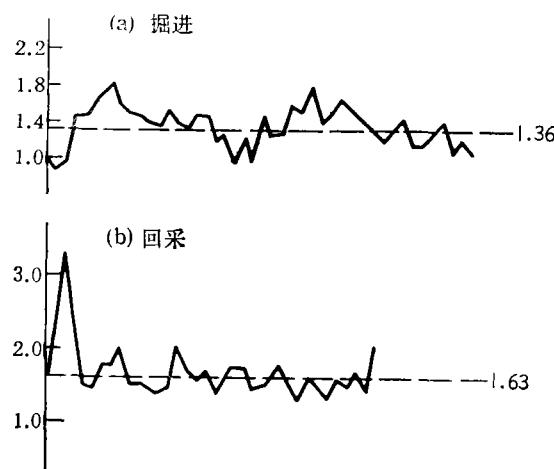


图 8 地声事件的 b 值

的 b 值有很大兴趣。利用门头沟煤矿记录的大量地声事件可以求出 $M_L = -6 \cdots -4$ 区间的 b 值。

图 8(a) 是 No.5 煤体, 挖进过程中放炮后地声事件的 b 值变化。放炮时的 b 值较低, 说明有较大的应力降, 放炮 7 分钟左右, 又出现低 b 值, 这说明又有较大应力降, 之后 b 值趋于稳定, 整个过程的 b 值为 1.36。

图 8(b) 是 No.6 煤体, 回采过程中地声事件的 b 值变化, 整个过程 b 值变化稳定, $b = 1.63$ 。

由于记录仪的动态范围较小, 还没有得到更宽震级范围里的 b 值。

三、结语

公里尺度的地球物理实验, 还仅仅是刚开始。只是提出一些初步观测研究结果。但可以看出, 这项研究不论对地震预报、震源物理研究, 还是对岩爆的预测和防治都有重要意义。

参加该项工作的有张兆平、关杰、鲁振华、张连诚、张少泉、陆其鹤、周晓惕等。

本文系地震科学联合基金会资助课题。

参考文献

- [1] Chen Yong, 1988. Discussion of some scientific issues in earthquake prediction. *Earthquake Research in China*, 4, 2, 1—8.
- [2] An Zhenwen, Wang Linying, Zhu Chuanzhen, 1989. The Characteristics of Fractal Dimension in the Temporal-Spatial Distribution of Earthquakes Before and After the Occurrence of a Large Earthquake. *Acta Seismologica Sinica*, 11, 251—258.
- [3] Hao Bailin, 1983. Bifurcation, chaos, strange attractor, turbulence and all that on intrinsic stochasticity in *Deterministic Systems*, 3, 3, 329—416.
- [4] Lu Yuanzon (chief editor), 1985. *Seismological Methods in Earthquake Prediction*, Seismological Press.
- [5] Zheng Zhizhen, 1986. Development of geosound observation and research in 1985. *Journal of Seismological Research*, 9, Sup., 13—26.
- [6] Liu Wangqin, Zheng Zhizhen, 1989. The Development in source research, *Journal of Seismological Research*. 12, 1, 63—67.
- [7] Zhang Zhaoping, Guan Jie, Zhang Shaoquan, Zheng Zhizhen, 1988. The advance study of microearthquake and rock burst in coal mine. *Earthquake Research in China*, 4, 2, 124—125.
- [8] Brune, J. N., 1970. Tectonic stress and spectra of seismic shear waves from earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 75, 26, 4997—5009.
- [9] Zheng Zhizhen, Hu Zuochun, Guo Yaping, Wang Rongjun, 1977. Spectral changes of fore- and after shocks of the Haicheng earthquake. *Acta Geophysica Sinica*, 20, 2, 125—130.

GEOPHYSICAL EXPERIMENTS OF KM SIZE AND CHARACTERISTICS RECORDED IN THE SOURCE REGION

ZHENG ZHIZHEN

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau, Beijing, China)

Abstract

This paper first shows some results obtained by rock mechanics experiments, source physics research, and earthquake prediction. The common problems involved in those researches need to be solved by geophysical experiments of medium size (of km size). It also gives a summary about the geophysical experiment field of km size in Mentougou, Beijing. Finally, Some results obtained up to the present are given, such as the differences between records on the surface and underground; the relation between stress drop of microfractures and stress state; the relation between the predominant frequency of background noise and stress state of the media; as well as characteristics of records recorded in the source region.