

用微地震监测结果预报水库、矿山有害地震

刘建中¹, 刘国华²

(1. 北京科若思技术开发股份有限公司, 北京 100082; 2. 华北油田公司井筒设计中心, 河北任丘 062552)

[摘要] 论述了微地震监测结果在水库、矿山有害地震预报中的应用。笔者认为,把监测域扩大至微地震范围,可以扩大数据量,增大预报可靠性。实际微地震监测结果支持预报扩大,在技术发展的基础上,用以震报震理论,可以在水库、矿山有害地震预报上取得突破。

[关键词] 水库; 矿山; 地震灾害; 震源深度

[中图分类号] P315.73 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)04-0045-04

1 前言

地震预报是一个长期困扰地球物理学专家的议题。迫切需要,又长期无法解决。究其原因,是发生地震的深度与人类可以实施监测的深度相差太远,许多预报理论是依据室内实验得出的推论,缺少来自震源区地震形成、发生过程的数据检验。以震报震是目前比较成熟的地震预报理论,用较小地震的形成、聚集、震源参数的变化预报有震害的大地震是许多地震学家常用的方法,但何种小地震形成、聚集、震源参数变化趋势可以继以大地震是一个尚待解决的问题。

水库、矿山地震震源浅,可以获得来自震源深度的监测数据。依据这些实测地震形成、发生过程的数据,可以揭示水库、矿山地震的形成机理,检验、修正地震预报的理论,提高水库、矿山地震预报的成功率,从而在地震预报领域打开一个缺口。

目前,常规地震台网监测的震级较大,通常是2级以上地震。但是,水库、矿山的2级以上地震已经有震害,且数目较少。若把监测震级向下延伸,进入微地震监测范畴,用-2级至0级地震预报0级以上地震,就会扩大资料来源,实现以较小地震预报水库、矿山有震害的地震。又因为水库、矿山地震震源浅,可以获得来自震源深度的监测数据,揭示微地震

形成、发展、聚集、参数变化趋势与后继较大地震的关系,可以实现水库、矿山地震的预报。

2 水库、矿山地震成因理论

水库、矿山地震属于诱发地震范畴,是人类施工的扰动引起地下断层(裂缝)活动形成微地震。通常有以下几种原因^[1]:

- 1) 地下孔隙压力变化,改变地下有效应力场。
- 2) 承压变化,由于水库蓄水、矿山开挖改变了水库、矿山的重力分布,继而改变应力分布。
- 3) 水库坝体、矿山巷道的特殊位置及应力作用形成地震频发区。
- 4) 远场构造应力场趋势性变化。

水库、矿山地震的特殊成因使微地震与有震害地震存在必然联系,为水库、矿山地震预报研究提供了方便。

3 用微地震预报水库、矿山有害地震的理论与方法

图1给出了不同震级地震的频度分布,可以看出震级越小,频度越大,随震级减小频度呈指数增加^[2]。如果从微地震作为以震报震的起点,数据量、普适度显著增加。随着安全意识、生命价值的提

[收稿日期] 2012-02-14

[作者简介] 刘建中(1947—),男,吉林吉林市人,高级工程师,主要从事采油工程和地应力研究工作;E-mail: jianzhong.liu@microseismic.net

高,以微地震监测预报水库、矿山有震害地震必然成为一种发展趋势。

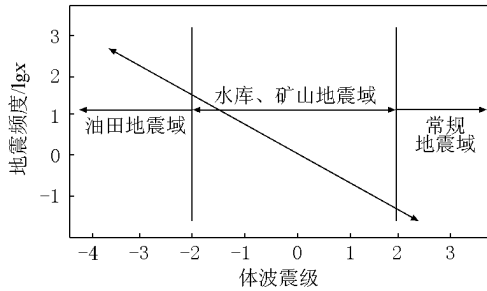


图1 震级与微地震频度

Fig.1 Magnitude and frequency

图1中,横轴是体波震级;纵轴是地震频度,单位是以10为底的指数。2级以上的地震是常规地震台网监测的范围, -2~2级地震是水库、矿山发生的微地震的震级范围, -2~-5级是油田监测的微地震的震级范围。如果把监测震级扩展至-2级,地震频度可以扩大1000倍,扩大了数据量。

把水库、矿山地震监测的范围扩至-2级,地震频度加大,增加了数据量,也带来了新问题。地震识别与定位计算的工作量加大,达到无法承受的程度。自动识别、定位计算成为水库、矿山地震监测研究的重要方法。目前,微地震自动识别、定位、分析的理论已经趋于成熟,使用微地震自动识别、定位、分析处理海量数据,是水库、矿山有震害地震预报的重要技术。

由微地震预报有震害地震有3种途径:

1)微地震在空间上向一个面集中,在平面上向一条线集中,这个面或线应该是一个规模较大的裂缝。如果依据摩尔-库伦准则判断这个面或线的产状有利于在当地应力场作用下发生滑动,这种集中反映了地震活动性增强,可能发生较大的地震。这一特征可以用式(1)说明^[3]:

$$\begin{cases} \sin 2\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \mu^2}} \\ \cos 2\alpha = \frac{\mu}{\sqrt{1 + \mu^2}} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, α 是断层走向与最大主应力方向的夹角,通常在 $30^\circ \sim 45^\circ$ 之间,处于该方向时断层最易发生滑动。

2)依据微地震尾波 Q 值判断介质性质的变化。 Q 值是描述介质品质因数的一个参量, Q 值增加,介质的完好程度增加;反之,介质变得破碎。通常认为,在矿山或水库, Q 值降低是地震危险性增加的标志。计算尾波 Q 值有很多方法,这些方法也可以用

在微地震尾波 Q 值的获得上。如果一个矿山或水库的 Q 值连续降低,说明地震危险性增大^[4]。

3)依据地震低频幅度及波谱确定的地震矩、地震应力降的变化,预报地震,其地震矩写为^[5]

$$M_0 = 4 \pi \beta^3 \Omega_0 \Delta / 0.85 \quad (2)$$

式(2)中, β 是S波波速, Ω_0 是低频位移振幅, Δ 是震源面积。微小地震通常采用圆盘假设,半径可以由式(3)估计

$$r = 2.34 \beta / 2 \pi f. \quad (3)$$

式(3)中, f 是拐角频率,是地震频谱幅度明显变小一点的频率。地震应力降可以写为

$$\Delta \sigma = (7/16) \cdot M_0 / r^3 \quad (4)$$

由式(2)~式(4)可以看出,地震矩是一个衡量地震大小完全确定的量。地震应力降与地震矩成正比,与震源尺度成反比。相同的地震矩下,震源尺度越小,应力降越大。同一地区,应力降与地震矩的比值增高,反映应力降的绝对增大。应力降增大有两个原因,作用在裂缝面上的剪切应力增大或作用在裂缝面上的法向应力减小,二者均有利于较大地震发生,尤其后者导致的地震应力降增大是地震危险的可靠标志。

上述3个地震危险的判别依据在深源地震的预报中也被使用,效果并不好,但在矿山、水库地震预报中却可能取得突破。在深源地震的预报中,没有来自震源的观测资料的支持,无法确定临界值。矿山、水库地震预报中,可以直接获取来自震源的观测资料,经多次比较,获得危险变成地震的临界值,做出地震预报。

第2项标志与第3项标志可以对比使用, Q 值降低所反映的趋势证明了应力降增大的来源是法向应力减小,是应力松弛的结果,可以作为可靠的地震标志。

4 水库、矿山微地震监测技术

由于采用微地震自动识别、定位、分析技术,可以布置高密度地震台,如每平方公里30个台。使发生的每一个地震均有多个就近台站监测,以提高定位精度及分析的可靠性。

定位方法可以采用最新的网格搜索方法。把控制区分割成网格结构,计算出每个网格节点至各个地震台站的走时,并通过人工震源加以校正,网格节点可以多达数十万个。以走时偏移方法把各台站记录的地震信号在各节点上进行地震波叠加,相关性最好,幅度值最大的节点就是实际震源位置。以微

地震源分布、地震大小反演控制区内地震能量分布及其随时间的变化。在可能发生较大地震、或出现沿层面滑动的位置均会出现微地震能量集中的现象。

该监测系统可以采用自动运行,无人值守管理方式,自动提交下述资料及实时结果:

- 1)用震源分布及地震能量分布描述诱发能量与地层结构的相对位置。
- 2)用震源分布及地震能量分布的变化描述人类施工的影响及地震发展趋势。
- 3)用震源机制描述地下微构造的分布、差异及其随时间的变化。

4)依据预定的模式进行危险性预报。

5 实际监测到的微地震

图2是实际监测到的微地震,可以看到,初动清楚,有足够长的尾波,可以做定位、 Q 值分析、计算地震应力降,从而进行地震预报分析。

图3中,上部是地震波在时间域中表示,整个时间长度是1s。下部是频谱,每一大格是100周,拐角频率为210周,如果对地震仪进行标定,可以做出地震矩、拐角频率及应力降,做出以震报震的分析过程。

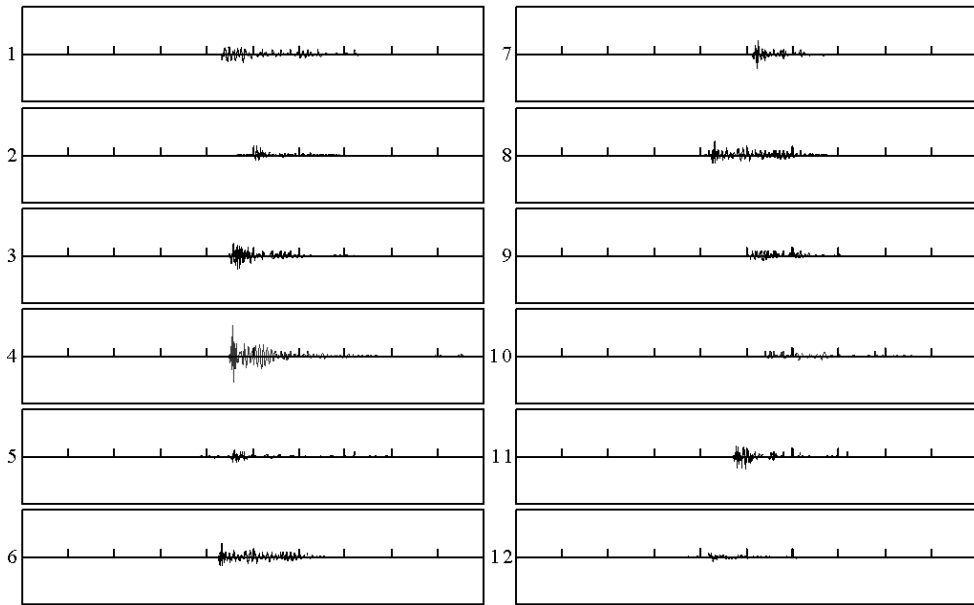


图2 实际监测到的微地震
Fig. 2 Monitoring waveforms

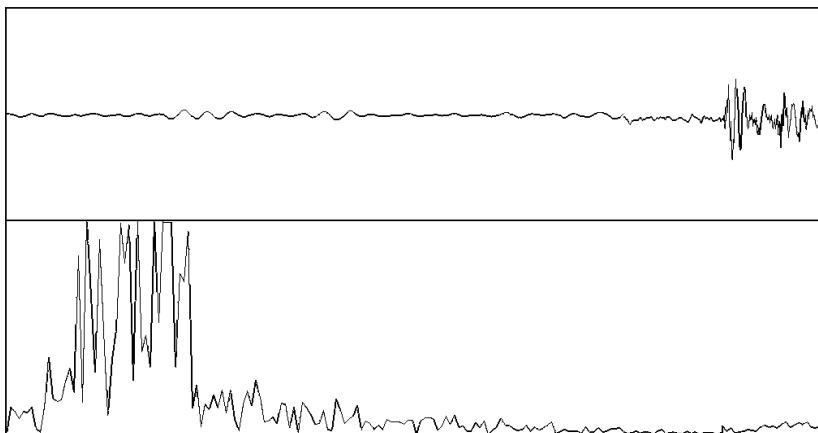


图3 地震的位移波谱
Fig. 3 Spectrum distribution

6 结语

以微地震预报水库、矿山有害地震是一个比较可行的途径,可以大幅度提高数据量,提高以震报震的可信度。国外一些公司的预报水平已经达到50%的可靠性。

这需要使用二套台网,一套常规台网,一套高频台网。同时监测较大地震及微地震;需要一个微地震自动识别系统,自动、实时识别,定位,分析微地震;需要在震源深度放置应力、位移的监测仪器,确定微地震给出的趋势变化与地下应力、位移变化的定量关系,经多次比较确定其临界值,实现以震报震。

参考文献

- [1] 胡毓良,陈献程.浙江湖南镇水库区地震成因的初步探讨[J].地震地质,1983,4(3):46-49.
- [2] Reginald Hardy H. Jr Acoustic Emission/Microseismic Activity: Principles, techniques and geotechnical applications[M]. 1st ed. A. A Balkema, 2003.
- [3] 刘建中,张金珠,张雪.油田应力测量[M].北京:地震出版社,1993.
- [4] 秦嘉政,阚荣举.用近震尾波估算昆明及其周围地区的 Q 值和地震矩[J].地球物理学报,1986(29):145-155.
- [5] 郭履灿,赵凤竹.震级及震源参数确定[M].北京:中国科学出版社,1986.

Use microseismic monitoring to forecast hazardous earthquake of water reservoirs and mines

Liu Jianzhong¹, Liu Guohua²

(1. Beijing Traverse Technology and Development Ltd., Beijing 100082, China;

2. Center of shaft design, Huabei Oilfield Company, Renqiu, Hebei 062552, China)

[Abstract] This paper discusses the use of microseismic monitoring for water reservoir and mines in hazardous earthquake forecasting. Author deems that monitoring expanded to microseismic level can enlarge database and improve credibility of prediction. Actual results of microseismic monitoring underlies such expansion. With advancement of technology and earthquake forecasting principles, microseismic monitoring can achieve breakthrough in hazardous quake forecasting of water reservoirs and mines.

[Key words] reservoir; mine; earthquake disaster; hypocenter