第 23 卷 第 3 期 华 南 地 震 Vol. 23, No. 3
2003 年 9 月 SOUTH CHINA JOURNAL OF SEISMOLOGY Sep., 2003

湖南矿山地震类型及特征分析

童迎世, 童 敏, 洪 迅
(湖南省地震局, 湖南 长沙 410001)

摘要: 从讨论矿产资源开发所引起的环境地质问题出发, 对湖南矿震的形成机制进行分类。总结出 3 种类型的矿山诱发地震, 即: 矿山构造型、矿山塌陷型和矿山岩 (煤) 爆型。并分析了各类矿震的特征。

关键词: 矿震; 环境地质; 湖南
中图分类号: P315.72^{+}8 **文献标识码**: A **文章编号**: 1001 - 8662 (2003) 03 - 0049 - 08

引言

人类在长期的进化过程中, 一方面通过开发、利用和改造自然地质环境, 获取人类生存所需的物质资源; 另一方面, 人类又将经过改造与使用的自然物质还给自然界, 与大自然达成某种程度的动态平衡。百余年来, 人类活动对地质环境影响的规模和范围日益扩大, 致使人类活动成为新的地质营力, 即智慧圈的地质作用。智慧圈的地质作用在某些情况下是创造性的,在某些情况下又是破坏性的,常常导致地质环境动态平衡的破坏,引起或诱发地质灾害。

1 地质灾害与矿震

地质灾害指在自然或人为因素的作用与诱发下形成并造成人类生命财产直接或间接损失的地质现象。

地震是一种典型的地质灾害, 是地壳构造运动的一种表现。在地球上每年约发生地震 500 万次, 虽然能造成严重灾害损失的地震次数不多, 但它造成的生命财产损失是十分惊人的, 其中包括相当数量的矿山地震。

湖南相对多震省来说, 属少震弱震省。虽然地震不多, 但近 500 年来发生中强以上地震达 20 次, 1631 年曾发生过华南内陆最大的 6.8 级地震。近 30 多年来, 先后发生地震近 4000 次, 其中因矿山开采引起的地震达 100 多次, 尤其是 2 级以上地震, 矿震所占比例较高。全省有仪器记录以来至 2002 年止, 共发生 2 级以上地震 330 次, 其中天然构造地震 135 次, 水库诱发地震 30 次, 而矿山地震占了 65 次 (表 1)。湖南的矿震主要分布在雪峰武夷地震带, 同时与崇阳 - 宁乡 - 新宁断裂和三都 - 郴州断裂有关, 见图 1。

收稿日期: 2003 - 04 - 10
基金项目: 湖南省地震局 2003 度合同制课题.
作者简介: 童迎世 (1950 -), 男, 高级工程师. 从事体波震级研究和监测预报、应急救援和科技管理.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2 矿震的分类

矿山采矿诱发地震活动（矿震）是矿山常见的地下型环境地质问题。矿震是指开采地下固体、液体矿产过程中出现的地震，是完全由人类采矿活动诱发的。据研究，引起矿震的因素主要有：①地下体积亏损—由于从地下采取固体矿石或流体后，造成地下体积亏空，改变了原来应力平衡状态，引起塌陷、断裂活动导致诱发地震；②掘进放炮时冲击波诱发断裂复合或岩溶塌陷诱发地震；③注水定向流动—矿山注水大大加速了地下水对白云岩、石灰岩的浸蚀（岩溶）作用，浸蚀至一定程度，便诱发塌陷地震。

矿震按其成因不同，可分为诱发构造型矿震、诱发塌陷型矿震和岩(煤)爆诱发型矿震等3类。

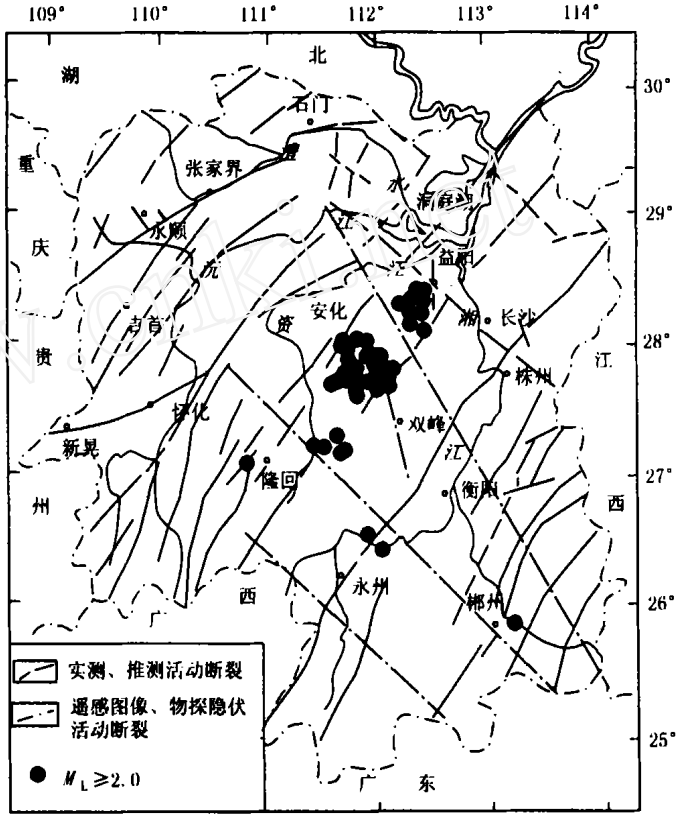


图 1 湖南省 $M_L \geq 2.0$ 级矿震分布图

Fig. 1 Distribution map of mine earthquakes with $M_L \geq 2.0$ in Hunan

表 1 湖南省 $M_L \geq 2.0$ 级矿震目录

序号	年 月 日	发震时刻	震中位置		震级 (M_L)	参考地点
		时分	经度(°)	纬度(°)		
1	1972 - 12 - 04	17 40	111.61	27.30	2.7	新邵大花塘
2	1973 - 05 - 24	17 44	111.70	28.01	2.5	涟源七星街
3	1973 - 05 - 29	17 44	111.70	27.93	2.3	涟源七星街
4	1974 - 05 - 30	21 10	112.11	27.81	2.9	娄底
5	1974 - 05 - 31	19 58	112.12	27.80	2.2	娄底
6	1975 - 03 - 27	19 56	112.40	28.40	2.3	益阳仓水铺
7	1975 - 11 - 15	11 58	112.01	27.71	2.0	娄底
8	1976 - 01 - 08	21 37	111.90	27.70	2.9	娄底
9	1976 - 01 - 09	10 07	111.81	27.72	2.8	娄底
10	1976 - 01 - 14	13 07	112.00	27.70	2.0	娄底
11	1976 - 03 - 11	09 17	112.10	27.71	2.8	娄底
12	1976 - 04 - 08	18 49	112.02	27.80	2.0	娄底
13	1977 - 03 - 20	07 02	111.90	27.81	2.0	涟源湘波
14	1977 - 06 - 16	12 55	111.91	27.92	2.3	涟源湘波
15	1985 - 02 - 07	20 28	111.51	27.21	2.8	邵阳市郊
16	1985 - 02 - 07	21 52	111.52	27.23	2.5	邵阳市郊
17	1985 - 03 - 04	13 06	111.83	27.70	2.5	涟源东
18	1985 - 03 - 19	20 10	111.81	27.71	2.4	涟源东

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续上表

序号	年　月　日	发震时刻	震中位置		震级	参考地点
		时分	经度(°)	纬度(°)	(M_L)	
19	1986 - 02 - 06	21 49	111.82	27.60	2.3	涟源杨家滩
20	1988 - 06 - 15	07 40	111.74	27.81	2.3	涟源湘波
21	1988 - 06 - 16	11 38	111.71	27.73	2.0	涟源渡头塘
22	1988 - 06 - 22	03 14	112.20	28.30	2.6	宁乡煤炭坝
23	1989 - 04 - 29	16 32	112.40	28.22	2.7	桃江灰山港
24	1990 - 01 - 01	02 39	111.61	27.71	2.5	涟源
25	1990 - 03 - 28	07 39	112.21	28.30	2.6	桃江灰山港
26	1990 - 05 - 03	22 18	111.81	27.72	2.3	涟源
27	1990 - 07 - 19	18 07	112.41	28.22	2.7	宁乡
28	1990 - 12 - 04	06 51	111.51	27.21	2.2	邵阳九公桥
29	1991 - 01 - 12	02 22	112.40	28.20	2.0	宁乡南
30	1991 - 02 - 07	17 09	111.81	27.73	2.3	涟源
31	1991 - 04 - 23	02 51	112.30	28.31	2.8	宁乡
32	1991 - 08 - 23	02 40	112.41	28.21	2.7	宁乡
33	1991 - 09 - 21	09 59	111.83	27.75	2.1	涟源
34	1991 - 11 - 11	21 14	112.33	28.21	2.5	宁乡
35	1992 - 01 - 17	15 21	112.32	28.31	2.2	宁乡
36	1992 - 01 - 21	00 50	112.35	28.22	2.4	宁乡
37	1992 - 05 - 14	14 41	112.36	28.33	2.0	宁乡
38	1992 - 05 - 14	15 13	112.34	28.34	2.1	宁乡
39	1993 - 07 - 23	16 34	111.90	28.01	2.0	宁乡南
40	1993 - 08 - 01	00 53	112.40	28.23	2.3	宁乡
41	1993 - 08 - 29	16 53	112.31	28.21	2.8	宁乡
42	1993 - 12 - 28	05 54	112.43	28.10	2.5	宁乡西南
43	1994 - 11 - 20	09 19	111.41	27.23	3.0	邵阳市郊
44	1995 - 01 - 29	15 03	111.72	27.91	2.0	涟源
45	1995 - 11 - 16	09 13	111.83	28.00	2.3	涟源七星街
46	1995 - 11 - 27	12 45	112.05	27.81	2.1	涟源杉山
47	1995 - 11 - 28	11 35	112.01	27.83	2.0	涟源杉山
48	1996 - 01 - 18	22 44	112.30	28.13	2.6	宁乡
49	1996 - 03 - 28	15 18	111.81	28.02	3.1	涟源七星街
50	1997 - 04 - 28	11 21	112.00	26.41	2.0	祁阳
51	1997 - 06 - 13	05 09	111.90	26.53	2.3	祁阳
52	1996 - 07 - 01	22 57	111.81	28.01	2.6	安化
53	1997 - 07 - 16	10 33	112.01	27.91	3.0	湘乡壶天
54	1997 - 09 - 04	03 54	111.62	27.30	3.2	祁阳
55	1997 - 09 - 15	16 30	111.64	27.31	2.4	祁阳
56	1998 - 03 - 06	25 56	113.11	25.90	2.5	郴州许家洞
57	1998 - 03 - 12	25 56	113.12	25.90	3.4	郴州许家洞
58	2000 - 05 - 26	23 26	111.07	27.02	3.0	祁阳
59	2000 - 09 - 27	12 44	111.92	26.50	2.1	祁阳
60	2000 - 09 - 28	04 24	111.91	26.51	2.5	祁阳
61	2000 - 10 - 28	01 57	111.70	27.82	2.1	涟源
62	2000 - 12 - 14	06 17	111.71	27.21	3.0	邵东
63	2001 - 01 - 26	18 32	112.42	28.33	2.6	宁乡煤炭坝
64	2001 - 05 - 19	20 35	111.61	27.32	3.0	邵东
65	2001 - 06 - 08	02 11	110.08	27.01	2.0	洞回

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.1 诱发构造型矿震

指因采矿导致断层的复活和弹性能量的提前释放造成的地震。该类矿震又可分为采矿直接引发矿震和采矿抽水诱发矿震两类。采矿使地下应力失去平衡直接引发矿震；采矿抽水的水压作用，使断裂面受水浸润，而一旦失去水压，沿断裂面就会发生卸荷作用，形成偏差应力，当偏差应力大于断面的抗剪强度时，即出现粘滑效应，从而诱发地震。这两类矿震在湖南的地震活动中相对较多。如 1998 年 3 月 12 日发生在郴州 771 矿的 M_L3.4 级地震和 1995 年 11 月 16 日发生在涟源七星的 M_L2.8 级。

郴州 771 矿是大型铀矿开采区，已有几十年的历史，矿区附近还有多处煤矿，1992 年也发生过 3.1 级地震。地震发生在茶永盆地的西南端，从 1∶20 万的地质图上看，震中区附近有条北西向断裂，震中区溶洞发育，形成喀斯特地形，局部有暗河，还有温泉出露，说明震中区的地质条件比较复杂。M_L3.4 级地震的形成除与铀矿的长期开采有关外，与矿区的地质构造有关，为典型的诱发构造型地震。

一般而言，构造诱发矿震的震中位于深采区，而且震源很浅，震级与矿区外围的天然地震相比震级较低，其成因与采矿活动密切相关。矿产资源开采形成的自由空面致使采空区周围的岩体受压由原来的三向变成了两向或单向，引起应力、重力的重新分配，在采空区范围内沿断裂形成众多的应力集中地段和高地压带，最后促使应变能提前分散释放，从而诱发地震[2]。

2.2 诱发塌陷型矿震

诱发塌陷型矿震其起因为采空或顶板陷落。这类矿震的特点是分布范围较小，震中没有明显迁移现象，地震呈孤立型和群震型。这类地震与构造地震震型不完全相同，它们与区域构造应力场的关系不象构造地震那么密切。矿区的诱发地震大多属于这一类型，据统计，塌陷型矿震多出现于岩溶充水矿床。如 1997 年 9 月 4 日发生在邵东牛马司的 M_L3.2 级和 2001 年 5 月 19 日发生在邵东与新邵县交界处的 M_L3.0 级地震均属塌陷型矿震，两次地震都发生在牛马司矿区。

牛马司矿区处在崇阳 - 宁乡 - 新宁活动断裂带的东南侧，祁阳弧形构造北翼部位，该部为下三迭系地层的牛马司向斜北部。早在光绪初年已有当地农民土法开采煤矿（采深 200～338m），解放后，成立了设计能力为 61 万吨/年的中型省牛马司煤矿，但最高生产量为 1973 年的 46 万吨，几十年来的年平均产量为 24～30 万吨。该矿的排水量为 200m^3/小时，采深已达 500m 左右。继后在 20 世纪 70～80 年代又建起了年产 2～3 万吨的新邵铁炉冲和邵东保钢煤矿。据统计，从上世纪 80 年代中至 90 年代初，共有乡镇和个体煤矿 41 座之多，使牛马司向斜构造上的采空区大幅度递增，大规模的采掘造成地面不均匀沉降，导致矿区诱发塌陷地震的发生，图 2 为 2001 年 5 月 19 日牛马司 M_L3.0 级矿震地震烈度及地质构造简图。

据震区多数群众反映，地震时听到沉闷的地声，矿井巷道的电灯熄灭，井巷内的装绞车停止，矿井顶部岩块掉落并伴有响声。

2.3 岩（煤）爆诱发型矿震

岩（煤）爆诱发型矿震是随着矿井向下延伸，坑道在基岩中的开挖深度越来越大而发生的。岩（煤）爆是地应力以小规模方式急剧释放的一种表现，往往出现在新的掌子面上，如巷道侧壁位移、井壁变形等。岩（煤）爆一般出现于硬岩层等易于积能的地区，其释放机制

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

与钻孔内出现岩崩现象类似。

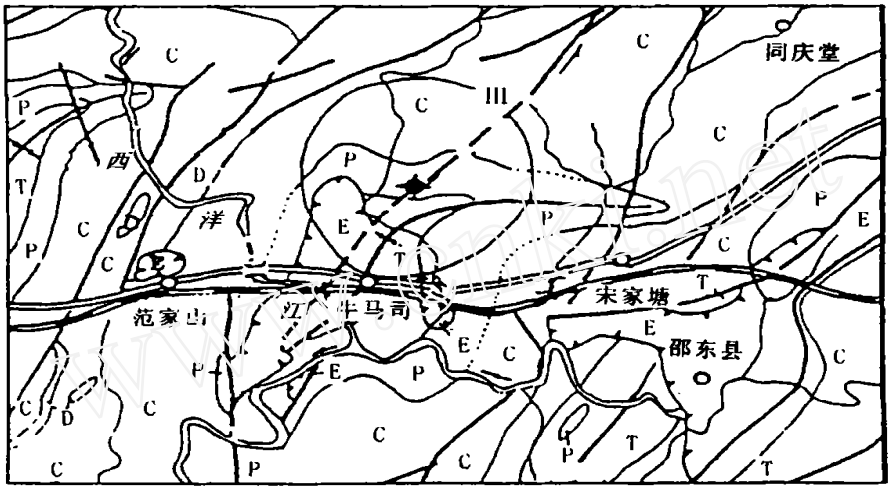


图 2　邵东牛马司 M_L3.0 级地震烈度分布及地质构造简图

Fig. 2　Map of earthquake intensity with M_L3.0 and geological structure of Shaodong - Niumasi

岩（煤）爆的渐进破坏可划分为 3 个阶段：劈裂成板→剪断成块→块片弹射。岩（煤）爆产生于具有大量弹射应变能储备的硬质脆性岩体。由于开挖洞室和坑道，使地应力分异，围岩应力跃迁及能量进一步集中，在围岩应力作用下产生张—剪脆性破坏，并伴随声响和震动。在消耗部分弹性应变能的同时，剩余能量转化为动能，使围岩由静态平衡向动态失稳发展，造成岩片隔离母体，获得有效的弹射能量，猛烈向临空方向抛射。

经研究发现，岩（煤）爆发生必须具备一定的条件：①岩体经受过较强的地应力作用；②围岩内储存有较大的弹性应变能；③埋藏位置有较紧密的围限条件；④机械开挖造成应力的突然释放。1996 年 7 月 1 日发生在安化县高明乡青山硫铁矿的 M_L2.6 级地震就是典型的岩（煤）爆诱发矿震，这次矿震对矿井采矿巷道、采场矿柱、矿壁破坏严重，崩落、塌落的岩石堆积在采场及矿柱周围，埋没了部分采矿设备，5 天以后还听到采矿巷道里发出的岩爆声，致使矿井无法开采。矿区少数房屋开裂，采空区 23 户民宅需搬迁，损失严重。此次地震震区有感范围及地震地质构造如图 3 所示。震区内主要地层有上古生界泥盆系跳马涧组（D_2t）石英砂岩、泥质页岩，棋梓桥组（D_2q）泥质灰岩、白云岩、白云质灰岩，佘田桥组（D_2s）和锡矿山组（D_2x），后两组为主要含铁地层。区内有燕山期晚期第四次侵入岩体，以煌煌斑岩群较为发育，走向为北北西，侵入泥盆系跳马涧组、棋梓桥组和佘田桥组地层中。呈岩墙产出，产状近直立，有分支复合现象，岩体侵入与矿产关系密切。

3　湖南矿震的特征分析

湖南矿震主要有 3 种类型，即构造型、塌陷型和岩（煤）爆破型。由于成因不同，因此在震时释放能量时，仪器记录的地震波也不一样。下面是三种类型 3 次矿震台站记录的地震波，如图 4 所示。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

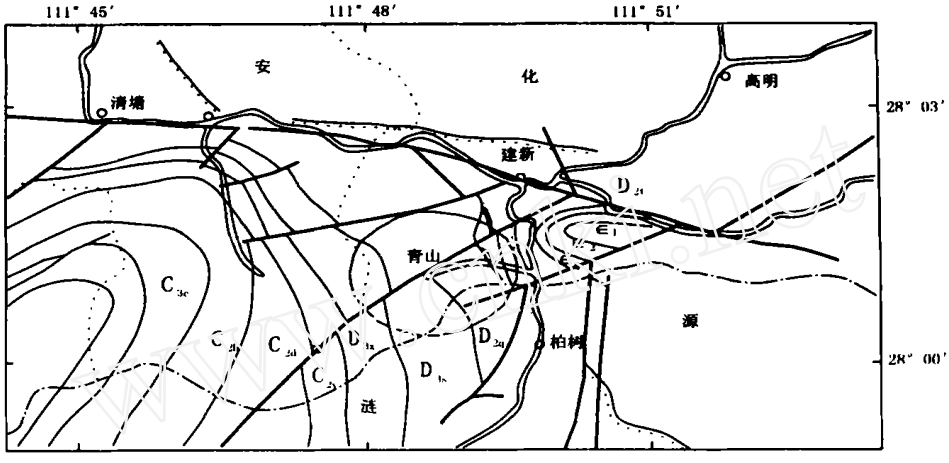


图 3 青山硫铁矿区 2.6 级地震有感范围及地质构造图

Fig. 3 Map of the sensible area of the earthquake with M_L2.6 and geological structure in the area of Qingshan Iron Sulphide Ore

3.1 诱发构造型矿震

图 4a 是相距 230km 的邵阳地震台记录的 1998 年 3 月 12 日郴州 M_L3.4 诱发构造型矿震，主震发生前有少量小震活动，震后有几次余震。从波形来看，震中区如果不是位于 711 铀矿深开采区，可能认为是天然构造地震。振动持续时间长，与天然地震波形相似，震相较清晰，面波也不发育。从现场调查所了解的情况，矿区人员的震感是先颠后摇，有站立不稳的感觉。地震的形成除与铀矿的长期开采有关外，与矿区的地质构造和附近的地质构造有关。地震发生在茶永盆地的西南端，震中附近的地层从泥盆系到第三系的地层都有出露，主要为白垩系红层。茶永盆地呈北北东向展布，震中附近有条北西向小断裂，并受茶陵 - 永兴断裂和宁冈 - 三都断裂所挟持。此类矿震在孕育过程中，应力通过积累—调整—释放，一般属于前震—主震—余震的发震模式。

3.2 诱发塌陷型矿震

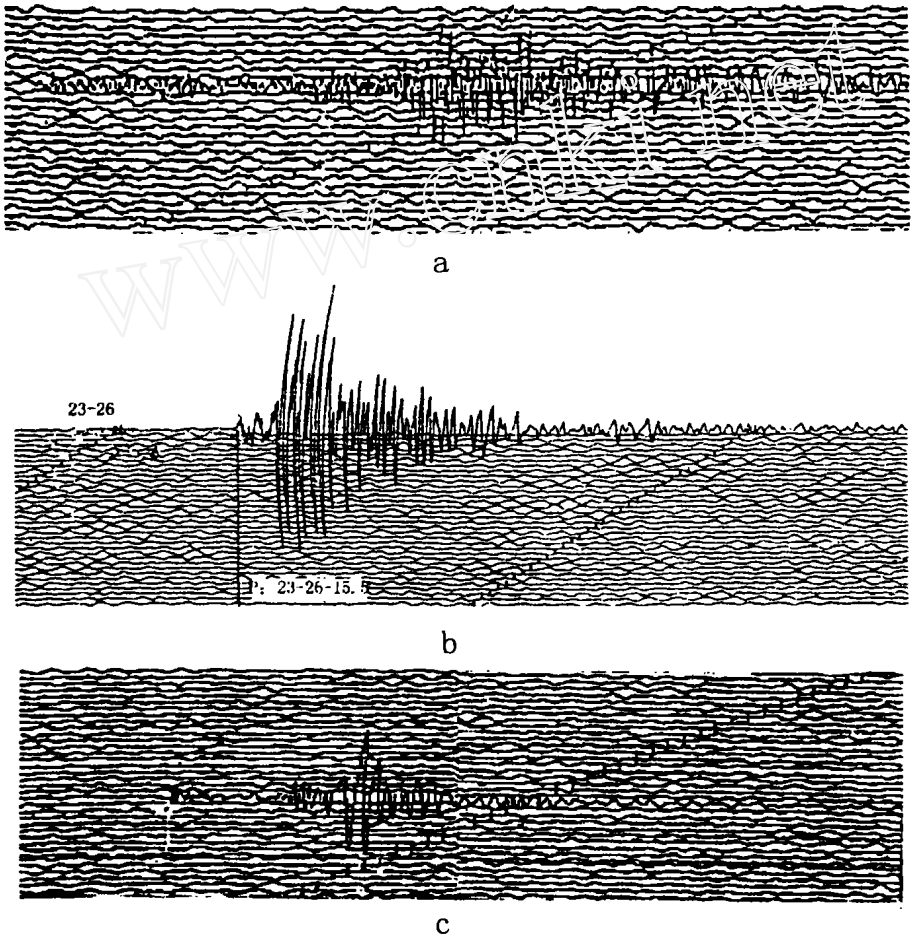
图 4b 是邵阳台记录的 2001 年 5 月 19 日邵东牛马司 M_L3.0 级地震。从波形来看，比较光滑，P 波初动向上，S 波较明显，S 波周期大，且同面波周期一样，两者没有明显区别。S 波振幅远大于 P 波振幅，衰减快，持续时间短，与人工爆破有相似的特征，但波形中的高频成份稍低，经调查分析，S—P 计算的震中距与实际距离有一定的差别。从震时震中区群众的感觉来看，普遍听到轰隆声，并有下沉的感觉。震中位于成片的采煤区，大规模的采掘造成地面不均匀沉降。塌陷地震在外力和人为作用下，矿井或矿体失去支撑能力而发震。从总结中发现此类矿震以主震—余震型为主。

3.3 诱发岩（煤）爆型矿震

图 4c 是宁乡台记录的 1996 年 7 月 1 日安化青山硫铁矿 M_L2.6 级地震。从台站仪器记录的整个波形可看出，初动明显，S 波波形同 P 波相同，周期基本一致。面波发育，且周期大，衰减快，持续时间短，与人工爆破不同之处是 S 波与 P 波的振幅比相对小。硫铁矿有近

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

100 年的开采历史，原以开采标高 360m 以上褐铁矿为主，后又陆续开挖 345m、315m、285m、260m 和 220m，层距为 25～40m 五个层位的硫铁矿，矿区面积约 3.6km^2。地震发生时，岩体爆炸，岩块向四周散射，震中区的群众普遍听到炸雷一样炮声。



a. 构造型矿震图（1998 - 03 - 12 郴州 M_L3.4）；b. 塌陷型矿震图（2001 - 05 - 19 邵东 M_L3.0）；
c. 岩、(煤）爆破型矿震图（1996 - 07 - 01 安化 M_L2.6）

图 4　三种类型矿震震例对比图

Fig. 4　Contrast map of three kinds of mine earthquake examples

在矿震区大量采掘形成采空区，相当于一个自由或软弱面，成为区域应力场变化的调整单元。同时采掘卸载改变了地壳内部承受的竖直应力，从而使采空区周边块体发生位错和应力集中。最终，这种应力的变化归宿到断裂上的闭锁段和断裂端部、拐点、复合交汇等部位，使局部应力和应变能进入积累、释放过程。岩（煤）爆矿震一般都是一次性释放能量，没有前震和余震发生，属于孤立型矿震。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4 结论与讨论

(1) 我国矿藏丰富，分布广泛，但发生矿震的仅有几十座，这说明地下型矿震的生成不仅与开采形成的重力场有关，还与原岩构造应力和现今应力场有关。

(2) 构造型矿震与天然地震成因机理具有内在的一致性，同为区域应力场作用产物，也就是说，两者成因相似；矿山的特殊地层结构、地质构造和采空区、断裂等环境为区域应力场变化提供了场所，成为区域应力增强过程中构造响应--介质变形、蠕变传播、应力传递让位等沿断裂或地质块体中的应力敏感区。地下型矿震活动中的构造矿震不但可以指示区域应力的变化，而且在一定程度上反映区域强震征兆。

(3) 湖南近 30 年来记录的矿山地震大致分为矿山构造型、矿山塌陷型和矿山岩（煤）爆型 3 大类，3 种类型的矿山地震从成因、记录波形和地面反应各有不同的特征。

湖南矿山地震多，对各种类型的矿山地震记录波形特征有待进一步分析探讨，为湖南的防震减灾、震后的趋势判断和矿山的安全生产提供可靠的依据。

参考文献:

[1] 戴塔根，刘悟辉，马国秋. 环境地质学 [M]. 长沙：中南大学出版社，1999. 10 - 101.

[2] 车用太，王 琦，黄积刚，等. 矿震及其前兆初探 [J]. 中国地震，1993，9 (4)：334 - 340.

The mine earthquake types in Hunan and the characteristic analysis

TONG Ying - shi，TONG min，HONG Xun

(Seismological Bureau of Hunan Province，Changsha 410001，*China)*

Abstract: Setting out from discussing the geological environment questions caused by development of resources of mineral products，this paper classified the forming mechanism of the mine earthquakes of Hunan. We summarized three kinds of induced mine earthquake，namely: the type of mine construct，the type of mine collapse and the type of mine rock (coal) exploding，and studied the characteristics of each kind of the mine earthquakes.

Keywords: **Mine earthquake**; Environment geology; Hunan

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net