

# 小尺度岩石爆破引起电磁辐射的 野外实验观测结果<sup>\*</sup>

金安忠<sup>1)</sup> 赵 强<sup>1)</sup> 姜 枚<sup>2)</sup> 刘煜洲<sup>3)</sup>  
王寅生<sup>2)</sup> 刘希强<sup>1)</sup> 张继红<sup>1)</sup>

1) 中国济南 250021 山东省地震局

2) 中国北京 100037 中国地质科学院矿床研究所

3) 中国合肥 230009 合肥工业大学

**摘要** 为探索地震电磁辐射(EMR)现象的机理,我们在野外进行了爆破岩石引起电磁辐射的实验。此次实验共取得26次小尺度岩石爆破的中低频( $<5000$  Hz)电磁辐射资料。本文给出了该野外实验的某些有代表性的观测结果。结果表明:26个爆破点中20个爆点附近不同程度记录到与爆破过程有关的EMR现象,其强度随与爆点距离增加而减少,随爆破能量增大而增大;EMR记录具有某种重复性(相同条件下)、复杂性(多次辐射效应)和区域性特征;并受测区岩性结构条件、爆破源能量和观测方向等多种条件的影响。

**主题词** 岩石 电磁辐射 野外实验 重复性 复杂性 区域特征

## 引言

探索地震前后电磁辐射现象是地震工作者所关注的问题之一。该问题的正演研究,在室内岩石破裂实验和少量工业爆破监测方面已取得一定进展(钱书清等,1983,1986;徐为民等,1985;郭自强等,1988;钱书清,1993),但因问题本身难度很大,故从多方面进行深入研究是十分必要的。为此,我们进行了野外实验。在已知岩石结构和电性的现场进行小尺度岩石爆破,以模拟地下微破裂事件(张性或张性成分),观测爆破及其相关过程所引起的电磁辐射,并研究某些控制和影响电磁辐射的条件。

1993年3~4月,我们在中国江苏省东海地区进行了实验。本文将给出关于中低频( $<5000$  Hz)电磁辐射的某些野外实验结果。

## 1 野外实验

### 1.1 实验条件

实验包括爆破和电磁场、弹性波接收两大部分。爆破实验采用两种爆破源:一种是使

\* 地震科学联合基金会资助项目。

1995-08-01 收到初稿, 1996-04-10 收到修改稿并决定采用。

用发射枪, 在地下 1.5 m 深处发射炸药弹丸, 其质量为 0.137 kg, 弹头初速 511 m/s, 能量 11 000J; 另一种是普通的 TNT 炸药, 放在地下 2.5 m 深沟底挖好的岩洞内, 炸药量为 2.5 kg.

接收仪器为 YYD 型, 具有模拟放大和数字化记录两种功能. 放大器通频带 30~5 000 Hz, 有 8 个记录道, 采样频率  $\geq 12.5$  kHz, 最大采样频率 100 kHz(本实验为 16.6 kHz), 输入灵敏度为  $2 \mu\text{V}$ . 分别采用电极和磁天线接收电和磁信号, 电极为长 0.3 m、直径 3 cm 的特制铜杆, 打入地内 0.25 m 深; 极距为 5 m. 磁天线为特制磁棒天线, 紧贴放于地面上. 其频响特征为:  $H_L$  天线  $0.1\sim 300$  Hz,  $1\sim 100 \mu\text{V}/\text{nT}$ ;  $H_h$  天线  $100 \text{ Hz}\sim 100 \text{ kHz}$ ,  $16.6 \sim 773 \mu\text{V}/\text{nT}$ . 采用浅层地震勘探用的检波器检测来自爆破岩石的弹性波.

## 1.2 实验方案和步骤

爆破实验前, 在已选定的 3 个场地, 首先进行低频交流电法勘探(中间梯度法和电测深等), 以给出不同场地地质及岩性条件的差异, 并鉴别出片麻岩中高阻石英脉的平面位置.

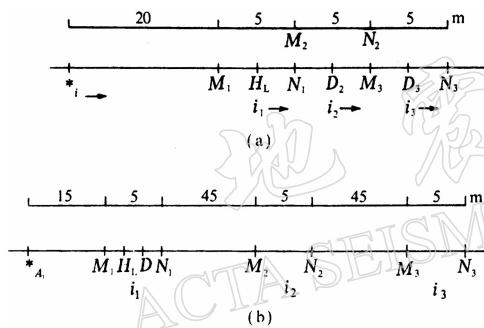


图 1 野外观测系统及移动方式示意图

(a) 十三连测区; (b) 黑石岭测区.

\*  $A_1$ , \*  $i$  为爆破点;  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$

为接收点;  $MN$  为电探头;  $H_L$  为磁探头;

$D$  为检波器; “ $\rightarrow$ ”为观测系统移动方向

一步爆破记录. 由于仪器输入端的短路线是直接与炸药包或发射枪口串接的, 起爆时刻线断, 则仪器同时开始记录来自电磁探头和检波器的外界信号. 起爆后的记录均要求记至爆破引起地面振动停止后一段时间的正常背景场.

## 2 实验结果

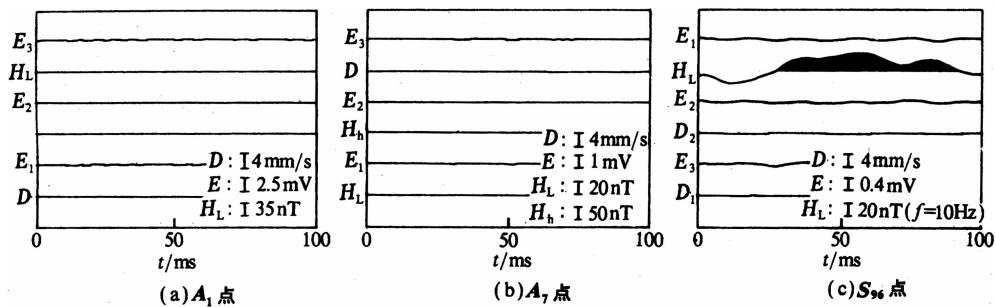
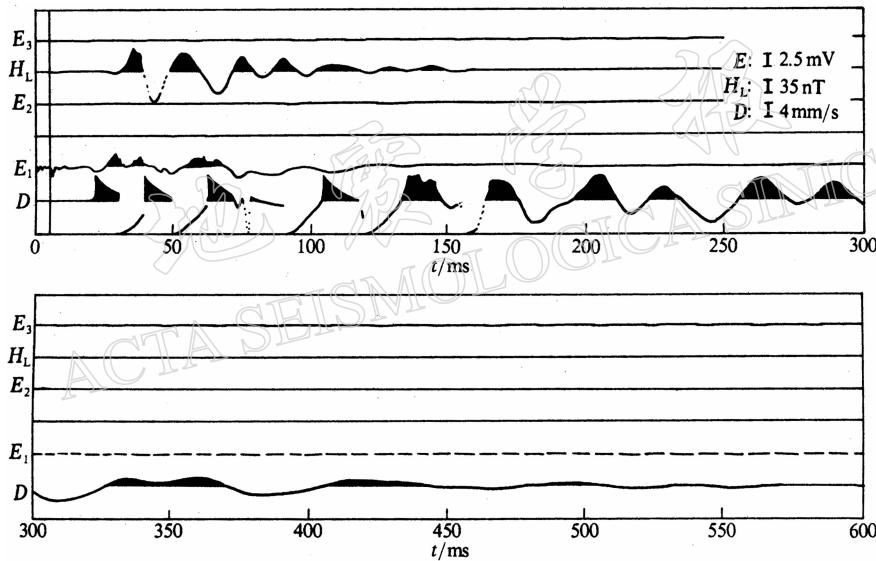
有效实验工作(包括物探工作)在黑石岭(记录代号 A)和十三连(代号 S)两测区进行, 共完成爆破 26 次. 其中记录到爆破及其相关过程产生不同程度电磁辐射的共 20 次, 没记录到的有 6 次. 现给出有代表意义的观测记录和实验结果.

图 2a 为  $A_1$  点观测排列爆破前的正常记录, 可见弹性波  $D$  和电场  $E$ 、磁场  $H$  曲线平静.

图 3 为  $A_1$  点爆破记录,  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  分别为接收点 1, 2, 3 的电记录道. 1, 2, 3 点(电极

在电探工作基础上, 我们布置了爆破源和接收点的位置. 一个爆破点和 3 个接收点构成一个排列, 该排列在每完成一次爆破和接收后整体沿电法的测线移动. 在相同和不同排列中接收点和爆破点之间的距离是不一样的, 从数米至百余米(详见图 1 及观测实验结果部分). 根据实际条件, 将电、磁接收元件和检波器安置在相同接收点上, 或不同点上. 电极和磁元件排放方向一般如图 1 所示. 为对比观测方向影响, 在 A 区还进行了不同方向的观测实验.

单次观测程序: 首先, 在起爆前, 开机记录未爆破前测点处的正常电磁背景及地面波动情况; 然后将仪器输入端短路, 停止正常背景记录. 仪器仍处于工作状态, 等待下

图 2  $A_1$ 、 $A_7$ 、 $S_{96}$  点爆破前正常电磁场背景记录.  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  为 1、2、3观测点电记录道  $H_h$ 、 $H_L$  为高、低频磁记录道;  $D$  为检波器道图 3  $A_1$  点岩石爆破电磁辐射及弹性波记录.  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  为 1、2、3 观测点电记录道; $H_L$  为低频磁记录道;  $D$  为检波器道; 0 ms 为起爆时刻

平行排列于一条测线上, 接收点位置为 MN 电极的中点)距爆点  $A_1$  的距离如图 1 所示, 分别为 17.5, 67.5 和 117.5 m. 由图 3 可见,  $A_1$  起爆(起爆时刻为零时线)后 7.6 ms 内记录上出现第一次明显的电脉冲丛辐射, 主频为 2 000~4 000 Hz, 最大一个脉冲幅度  $E_1=1.6$  mV,  $E_2=0$ ,  $E_3=0$ , 起爆后 19 至 160 ms 左右, 在平静记录上出现第二次电磁辐射, 类似正弦波形, 最大幅度  $E_1=3.2$  mV,  $E_2=E_3=0$ , 主频 35~73 Hz, 起爆约 160 ms 之后, 曲线平静, 恢复正常.

图 3 中  $H_L$  为第 1 接收点的磁记录道,  $H_L$  曲线第一次变化幅度 5 nT, 与前述  $E_1$  最大脉冲时间相当, 之后在平静背景上出现与  $E_1$  第二次辐射时间相当, 图象对应, 但相位大体差 90°的似正弦变化, 最大幅度 140 nT, 起爆约 160 ms 之后记录平静, 恢复正常.

图 3 中  $D$  为第一点上弹性波记录道, 由图可见, 该点弹性波到时略晚于  $H_L$  和  $E_1$  的第二次辐射开始时刻约 2.4 ms, 弹性波前部的强振动过程与电磁二次辐射过程在时间和空间

上相吻合, 这说明本实验也观测到了测点附近弹性波激发岩石产生的电磁效应。起爆后约 0.41 s, 弹性波衰减至零, 随后整个爆破及其相关过程结束。

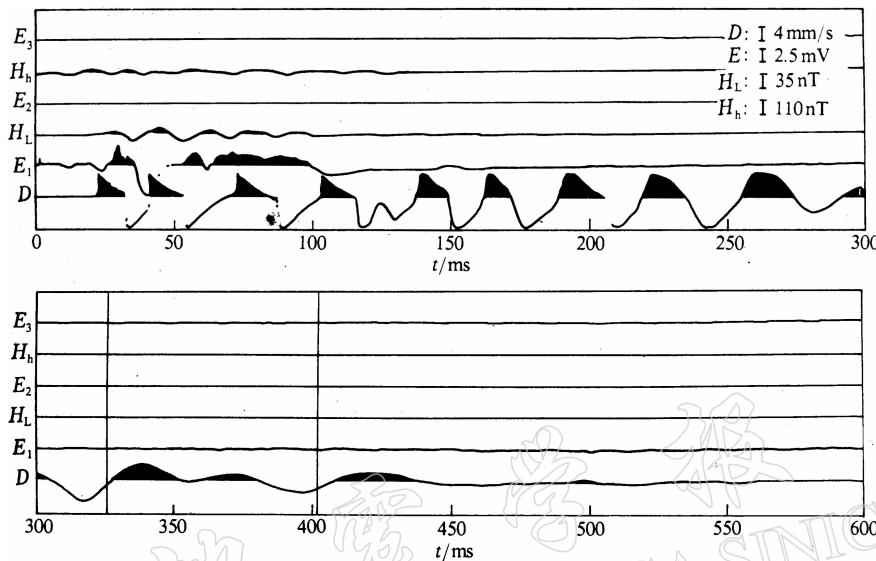


图 4  $A_2$  点岩石爆破电磁辐射及弹性波记录(消除 50 Hz 干扰)

$E_1, E_2, E_3$  为 1, 2, 3 观测点电记录道;  $H_h, H_L$  为高、低频磁记录道;  $D$  为检波器道; 0 ms 为起爆时刻

图 4 为  $A_2$  点爆破记录。为验证  $A_1$  爆破记录到的电磁辐射是爆破产生还是偶然干扰事件, 在与  $A_1$  爆点大体相同位置(仅相差 0.5 m)上, 采用相同爆药量, 布设了  $A_2$  爆点, 接收点仍是原  $A_1$  的接收点, 仅磁探头  $H_h$  和  $H_L$  分别沿排列向前和向后移动 10 m。 $A_2$  起爆时间晚于  $A_1$  3 小时。对比图 3、图 4 中  $A_1$  与  $A_2$  爆破记录可见, 各道记录大体一致, 两次记录具有重复性。

图 5 是在  $A_7$  爆点采用发射枪发射弹丸进行的爆破记录。3 个接收点距  $A_7$  爆点分别为 7.5, 12.5 和 17.5 m。由图 5 可知,  $A_7$  点爆破记录各道的基本特征与  $A_1$  和  $A_2$  的记录是一致的。可见, 尽管采用爆破能量、爆破源类型和观测尺度不同, 但在同一黑石岭测区所记录到的电磁辐射事件却有共同的特征。

在  $A_7$  旁 5 m 左右还布置了与  $A_7$  装置尺度和爆破源相同, 仅接受方向与之相差 90°的  $A_5$  和  $A_6$  爆破, 其电磁辐射均不明显, 说明观测方向对记录有影响。

前述图 2c 为十三连测区  $S_{96}$  点未爆破的正常记录。由图可见, 弹性波道平静, 电道平静, 只有磁记录道出现主频为 10 Hz 左右的变化, 说明磁场存在这种干扰。

图 6 为  $S_{96}$  爆破记录。由前述图 2c 可知, 图 6 的磁场记录有干扰, 不好利用, 其它各电道记录到明显的电场变化。与黑石岭测区的记录相比, 观测曲线具有显著不同的特征, 在这里不作详述。

本实验的物探工作结果给出, 黑石岭测区视电阻率一般为 1 500~3 000  $\Omega \cdot m$ , 而十三连测区一般为 400~600  $\Omega \cdot m$ , 分别反映出两种不同的地下条件。前者为浮土较薄(一般 0.5~1 m 左右), 均质、坚硬、含石英脉的片麻岩基础; 而后者反映了浮土相对较厚(3~5

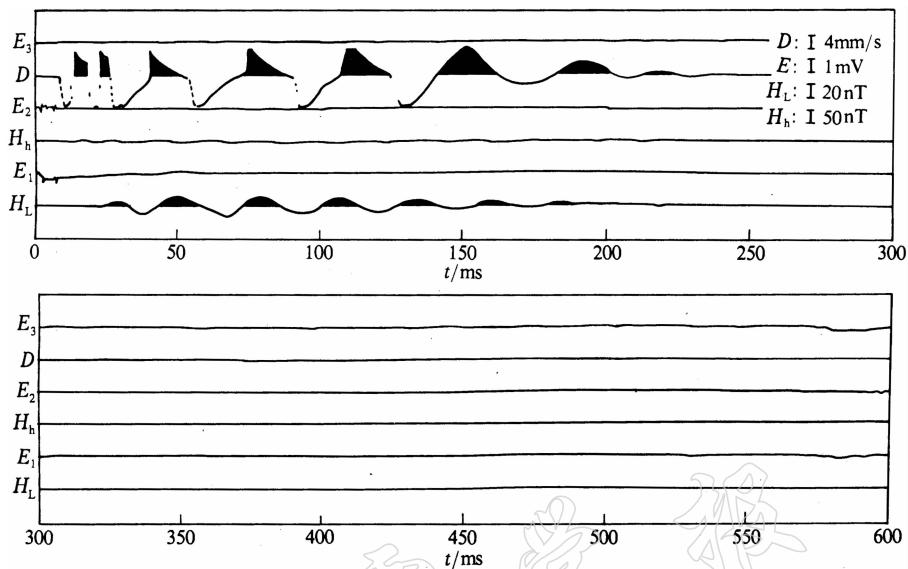


图 5 A<sub>7</sub> 点岩石爆破电磁辐射及弹性波记录  
 $E_1, E_2, E_3$  为 1, 2, 3 观测点电记录道;  $H_h, H_L$  为高、低频磁记录道;  $D$  为检波器道; 0 ms 为起爆时刻

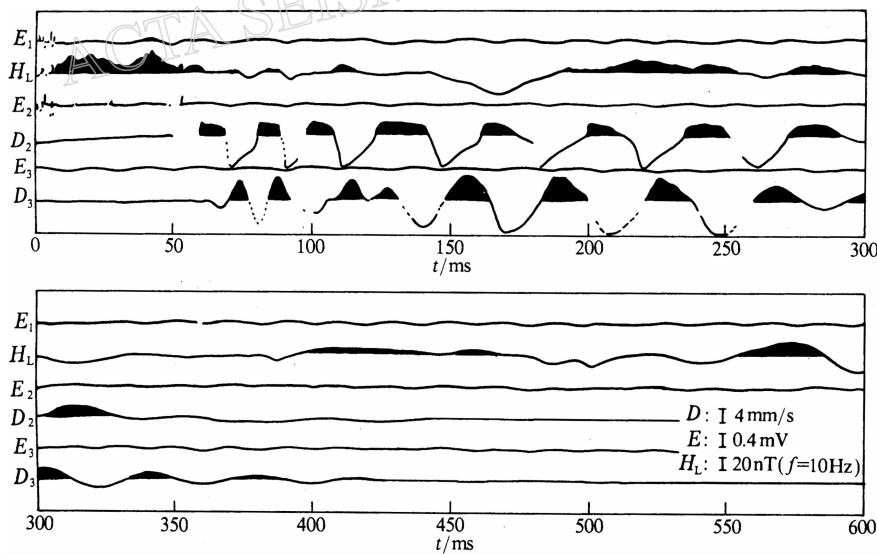


图 6 S<sub>96</sub> 点岩石爆破电磁辐射及弹性波记录  
 $E_1, E_2, E_3$  为 1, 2, 3 观测点电记录道;  $H_L$  为低频磁记录道;  $D_2, D_3$  为 2, 3 观测点检波器道; 0 ms 为起爆时刻

m), 风化片麻岩, 含破碎石英脉基础。由统计爆破与观测点在电阻率剖面上的位置还发现, 爆破点在高阻异常上的共 16 个, 出现不同程度与爆破有关电磁辐射的 15 个; 而爆破点不在异常上的 7 个, 其中无电磁辐射的 3 个。可见, 上述电磁辐射的区域特征和是否产

生电磁辐射的情况是受地下岩性及结构条件制约的。

### 3 结论

通过野外小尺度岩石爆破引起电磁辐射实验观测和结果分析可以得到如下几点认识：

(1) 在 26 个爆破点中有 20 个爆破点的附近，在与爆破事件有关的过程中出现了电磁辐射现象。该电磁辐射的强度随与爆破点的距离增加而减弱。出现电磁辐射的区域范围随爆破能量的增加而增大。电磁辐射记录具有某种重复性，如  $A_1$  和  $A_2$ 。它们是在几乎相同条件下取得的，这表明所记录的信息是真实的。

(2) 电磁辐射现象是复杂的，我们观测到一次爆破形成的多次电磁辐射效应，不仅在爆破破裂区中存在电磁辐射  $EMR_1$ ，而且在爆破所产生的弹性波传播空间还存在被弹性波所激发的二次电磁辐射  $EMR_2$ 。本实验条件下所记录到的一次和二次电磁辐射电分量的幅度范围，分别为  $0.1\sim1.6$  mV 和  $0.1\sim4.0$  mV；一次和二次电磁辐射磁分量的幅度范围分别为  $1\sim5$  nT 和  $3\sim140$  nT。上述强度是在距爆破点一定距离上观测的，若在爆破源附近观测，其强度可能更大。谱分析结果表明，一次和二次电磁辐射的主频段分别为  $0\sim4\,000$  Hz 和  $0\sim180$  Hz。

(3) 电磁辐射图象(包括形状及幅度等)具有区域特征。在不同测区，电磁辐射图象的总体特征不同，如黑石岭测区和十三连测区的记录分别具有 A 类和 S 类两种不同的特征。

(4) 岩性结构条件对爆破电磁辐射有重要影响。本实验的物探结果表明，黑石岭和十三连测区视电阻率观测资料存在差异，具有明显的分区特点，恰与上述爆破产生的电磁辐射图象的分区特征一致。这一结果绝非偶然，在本质上它们反映同一地下岩石结构的分区特点，都受到岩性结构的影响和控制。统计结果还表明，爆破点在电阻率剖面高阻异常上的有 16 个，其中 15 个在爆破事件中出现不同程度的电磁辐射现象；而爆破点不在异常上的 7 个中有 3 个无反映，这同样说明地下岩性结构条件对破裂时产生电磁辐射的影响和控制作用。

(5) 所记录到的电磁辐射信息的情况是由多种因素决定的，本实验不仅选取不同地质岩性条件的现场研究对爆破记录的影响，还采用了不同能量的爆破源和改变观测方向等实验，证实了这些条件对记录电磁辐射的影响。

综上所述，观测岩石破裂相关过程产生的电磁辐射场，用以研究地震短临预报或火山喷发预报以及进行地球物理勘探等是有物理基础的。然而，该电磁辐射场的产生以及能否为人们观测到，是有条件的，是受多种因素的影响和制约的。因此，应当进行深入研究以确立新的有效的观测和分析方法，方能满足地震及其它领域应用的需要。

### 参 考 文 献

- 郭自强, 周大庆, 施行觉, 等, 1988. 岩石破裂中的电子发射. 地球物理学报, 31(5): 566~571  
 钱书清, 张以勤, 曹惠馨, 1983. 花岗岩洞爆破时件随岩石破裂的电磁辐射. 地球物理学报, 26(增刊): 1~6  
 钱书清, 张以勤, 曹惠馨, 等, 1986. 岩石破裂时产生电磁脉冲的观测与研究. 地震学报, 8(3): 301~307  
 钱书清, 1993. 日本地震电磁辐射研究的进展与动向. 国际地震动态, (6): 6~9  
 徐为民, 童莞生, 吴培稚, 1985. 岩石破裂过程中电磁辐射的实验研究. 地球物理学报, 28(2): 181~189