

地震电磁波发射的一种机制

郑 联 达

(北京工业学院)

摘 要

本文介绍用天然石英岩块等所进行的电磁波发射实验。得到了频段范围和强度。提出岩层突然破裂和断层两侧岩石剧烈摩擦是产生地震电磁波的一种重要机制,其机理是石英晶体破碎时,电偶极子群的产生和消失。

关键词 地震电磁波;机电转换;离子晶体;电偶极子

一、前 言

1976年唐山7.8级地震前,出现了大量电磁异常现象^[1]。1974年苏联曾观察到4.8级地震前10小时($\Delta = 40\text{km}$)辐射脉冲的频度显著增长的现象^[2]。如今地震前和地震时有电磁波的辐射,已得到举世公认并受到重视。

为了解决地震电磁波发射的机制,李均之和徐为民等同志分别进行了岩样压破实验,肯定了岩石破裂时辐射电磁波^[3]。但是还有许多问题没有明确,例如电磁波的频段和强度究竟如何?它们与岩石种类有何关系?机电转换率多大?以及其机理为何,等等。目前世界各国对地震电磁波的研究都还处于开始发展的阶段,这些问题都有待于探索。

在徐为民等的岩石破坏发光的实验中^[4],在岩样断裂的刹那,既观察到发光现象,还观察到强烈的电磁波辐射。我们认为,发光和发射电磁波是岩石破裂的两种效应,机制相同,但机理迥异。岩石破裂的发光现象,我们已在另文中探讨^[5],本文就岩石破裂发射电磁波这方面,介绍我们的实验,并提出一些新的观点。

二、岩石破裂的电磁波辐射实验

我们采用天然的中小块岩石和几种人工晶体作为试样,有石英岩、花岗岩、水晶、红宝石、白矾、结晶冰糖和单晶硅等。实验一般不加屏蔽。仪器有:北京无线电器件二厂的RR_{2B}、RR7干扰场强仪、英国马可尼无线电公司2370型频谱仪和陈加兴研制的高灵敏度干扰场探测器^[1]等。以下是我们的一系列实验。

1988年1月23日收到本文初稿,1988年11月10日决定采用。

本文由编委陈大元推荐。

1) 陈氏仪的增益约为七十多分贝,响应频宽约在100kHz至电视频段之间。

1. 水晶辐射的频段和强度

(1) 频段 用 RR7(10kHz—150kHz) 和 RR_{2B}(150kHz—30MHz) 场强仪粗测。二块水晶撞击或摩擦时辐射的电磁波频率大致在 10kHz—2MHz 之间。但高频端的信号衰落得很厉害, 仅有极微弱的反应。结合频谱仪的显示, 水晶辐射波的频段是几十 Hz 至 2MHz。

(2) 频谱 水晶所发生的电磁波波谱, 如图 1 所示。图中横轴表示频率, 纵轴表示脉冲输入电压。撞击一次, 出现一条谱线。一次实验包含很多次撞击, 得出一张谱图。各次实验的谱图基本相同。由于一次实验所含的碰撞次数仍属有限, 故图中一定有些未被录上而漏掉的信号。可以看出, 脉冲密集处为 200kHz 以下, 100kHz 左右的信号最密最强, 在低频段仍有可观的信号。

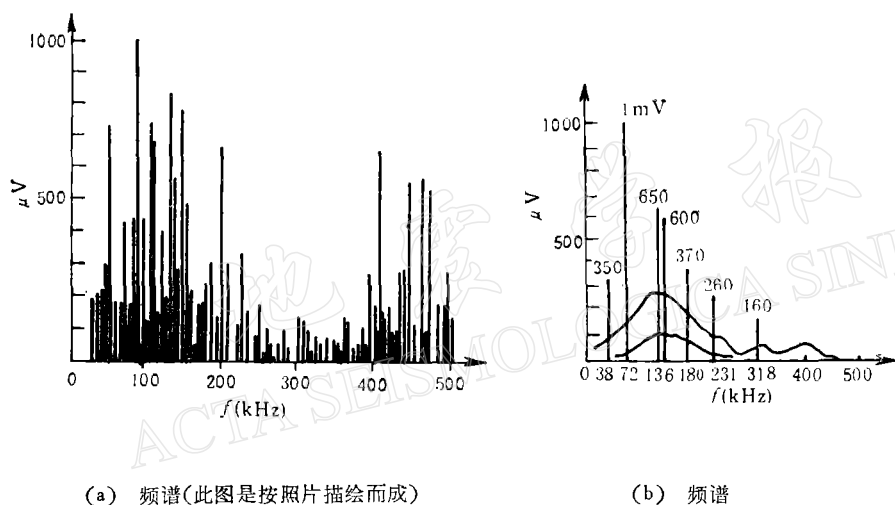


图 1 水晶碰撞时的电磁波的频谱
(背景辐射强度约一百多微伏)

接收采用自绕环状天线, 直径十几厘米, 约 30 匝。波源紧挨着环心。实验无屏蔽, 但几乎无何干扰。

(3) 几个频率的抽样研究 实验在北京无线电器件二厂的屏蔽室进行。仪器是该厂的 RR_{2B} 场强仪和 JD4 自动平衡记录仪。图 2 为二大水晶摩擦或撞击实验的记录曲线。波源距天线 10cm。摩擦的最大面积约为 12cm², 撞击的最大面积约为 2cm²。为了便于比较, 各频率的场强列表如下。

表 1 大水晶所发射的电磁波的场强

频率(kHz)		150	250	288	300	350	500
电场强度 (mV/m)	最大值	45	60.4	69.8	64.9	16	13.8
	背景值	12.9	12.9	14.5	13	10	10

实验表明, 288kHz 的辐射最强; 频率愈高, 衰减愈快。其次, 在任一特定的频率上, 辐射强度的分布是无规的, 即所辐射的强度具有偶然性。最后, 摩擦辐射的场强较撞击的大。

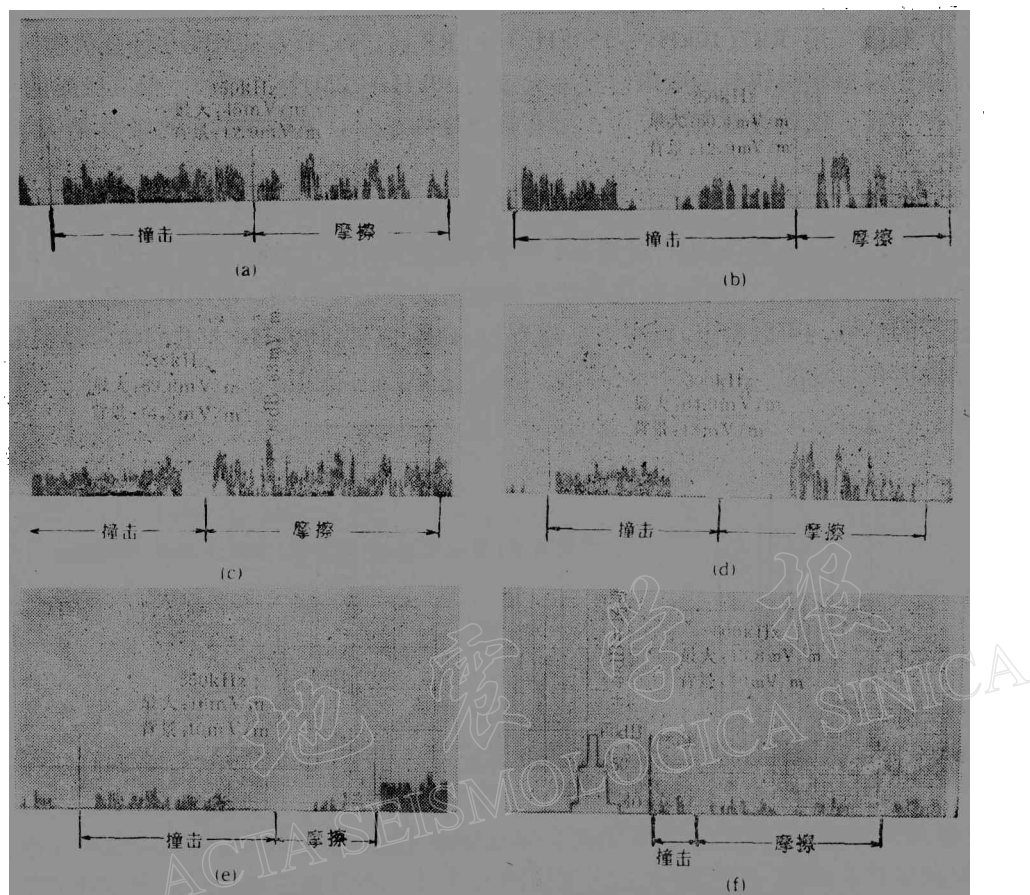


图 2 二块大水晶摩擦或撞击时其电磁波的强度

但后来频谱仪的显示则反过来. 这一矛盾现象, 可能是摩擦辐射依赖于摩擦面情况的缘故. 本实验是初次摩擦, 突出点多, 故效果较撞击为优. 随着突出点数的大量减少, 效果就反过来了.

2. 辐射场强和岩石种类的关系

图 3 是石英岩撞击时电磁波的频谱和场强, 以及花岗岩和冰糖被击碎时电磁波的场强.

表 2 各类岩石所发射的电磁波的场强

频 率 (kHz)		250	288	300
$E_{max}(\text{mV/m})$	冰糖	14.7	19	11.8
	石英岩	16.3	12.1	
	花岗岩		0.05	0.08

结合表 1 可知, 水晶的辐射最强, 冰糖次之, 花岗岩的最小. 以水晶的最强辐射而言 [图 1(a)], 可大于石英岩的 2 个数量级 [图 3(a)], 而石英岩的又可大于花岗岩的 2 个数

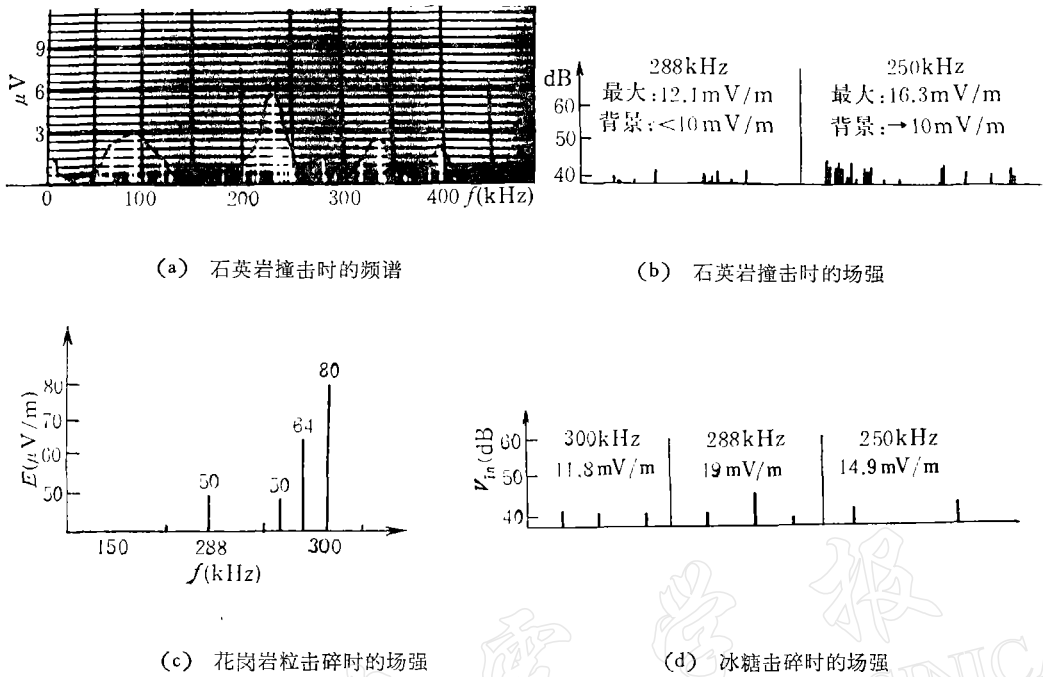


图 3 各类岩石撞击或破碎时所发电磁波的场强

量级。冰糖能发射电磁波，且强度竟能和石英岩的相比，这是出人意料的。

3. 辐射强度和机械功率、岩样大小及破坏过程的关系

我们用铁锤落下或敲击样品破碎及轻敲冰糖等力学方法进行这三项研究。接收器为陈氏仪，天线距波源 10cm，无屏蔽，设碰撞时间为 1/100 秒，结果见表 3。

表 3 试样被落锤击碎情况及结果

试样	试样大小	实验次数	落物的最低高度	仪器反应	参考场强	机械功率	备 注
无规水晶	大 块	2	12(cm)	有	12(mV/m)	19.47(W)	落物为无规水晶，重165.6g，碰撞
石英岩	~0.7cm ³	多次	30	有	10	147	锤重 500g
花岗岩	16×19×30mm	36	80	一次有	0.06	1568	锤重 2 kg
冰 糖	7×9×5mm	5	35	有	15	171.5	锤重 500g
白 矾	30×30×20mm	1	50	有		245	锤重 500g

本表说明，花岗岩辐射电磁波的本领是最差的。

对同类岩样，体积愈小，辐射愈弱。能发出可觉察的电磁波的水晶碎碴约为 0.1mm³。

冰糖在轻敲下出现裂隙或分裂都无辐射；在极缓加压下整体粉碎也无辐射；在稍重敲击下迅速出现微裂隙时可有辐射，但甚为微弱。

花岗岩和白大理石的辐射强度和其石英成分的含量多寡有关。

石英脉、灰岩、黑大理石和单晶硅等破裂时都无辐射。

水晶和冰糖都易于发射电磁波,且强度大,这是发人深思的。

三、地震电磁波发生的一种机制

地震的发生是由于岩层的突然破裂和断层两侧岩石的剧烈错动。根据上面的实验和大试件岩样的破裂实验,我们提出临震和震时电磁波发射的一种机制如下:

“地震电磁波是岩层(主要是石英岩和花岗岩)突然破裂和断层两侧岩石剧烈摩擦时所辐射出来的”。

多次化爆和核地下爆破所引起地壳的破裂,都在现场接收到所辐射的电磁波,可为这种机制提供佐证。

我们可据此来估计算机电转换率的数量级。

1978.9.16 伊朗发生 7.4 级地震。距震中 1200km 的苏联达吉斯坦观测站,三套调在不同波段上(频带是 10^4 — 10^6 Hz)的接收机,在震前 55 分钟分别接收到 27,385, 1600kHz 的电磁波,其中 385kHz 的信号最强,背景辐射强度估计为 $315\mu\text{V/m}$, 最大值超过 $600\mu\text{V/m}$ ^[7]。设这些信号就是伊朗的地震所辐射的。因距离远,设只有天波被接收到,其强度为 $315\mu\text{V/m}$ 左右。把震源体看作点源,辐射能以球对称方式向外传播。通过一个半径为 r 的球面的功率 P_0 是^[8]

$$P_0 = \left(\frac{1}{\mu_0 c} \overline{E^2} \right) \times 4\pi r^2 \quad (1)$$

式中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{Wb}/(\text{A} \cdot \text{m})$, $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 。今 $r = 1200 \times 10^3 \text{m}$, $E = 315 \times 10^{-6} \text{V/m}$, 代入得 $P_0 = 4762.8 \text{W}$ 。这只是一种频率信号的背景强度的相应功率,若对所有频率的信号,连同衰减量等都计算在一起,则震源的辐射总功率可达 10^4W 数量级。另一方面,一个 7.4 级地震的能量 $= 7.9 \times 10^{15} \text{J}$ 。设岩层的破裂时间持续一二十秒甚至更长一点,则平均功率为 10^{11}W 数量级。这样,在伊朗的 7.4 级地震中,

$$\text{机电转换率} = \frac{10^4 \text{W}}{10^{11} \text{W}} = 10^{-10} \text{(数量级)} \quad (2)$$

当然机电转换率是要随岩层的成分而变的,因此它具有地区性,可能和 10^{-10} 相差很大。

1981 年湖北随县进行 500 吨 TNT 花岗岩洞人工爆破。一千克 TNT 的爆炸能 $= 3 \times 10^6 \text{J}$ 。设岩层的爆破时间为 0.5s。则 500 吨 TNT 爆破的平均功率为 $3 \times 10^{12} \text{W}$ 。用以上的转换率,则辐射平均总功率为 $(3 \times 10^{12} \text{W}) \times 10^{-10} = 300 \text{W}$ 。对 385kHz 的电磁波,波长为 779m。在离爆破点为 3km 处,这里已属波场区,从(1)式得

$$\bar{E} = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{P_0 \mu_0 c}{\pi}} \quad (3)$$

以 $P_0 = 300 \text{W}$, $r = 3000 \text{m}$ 代入,得 $\bar{E} = 31.62 \text{mV/m}$ 。这是电场强度的平均值,最大的瞬时值当然要大于此数。这和现场观测者所作的估计值——每米几十毫伏^[9]是基本一致的。

四、岩石破裂辐射电磁波的机理

为什么岩石破裂会发射电磁波呢?当前有两种观点,一是交变的压电场所辐射,一是裂隙表面上的高电压引起放电,电火花辐射电磁波。这里所谓压电场如果是指水晶单晶的压电现象,那么水晶单晶所辐射的电磁波应该随方向而异,因为从光轴方向加压于水晶,它是不会出现压电场的。但是,无论我们从电轴方向、力轴方向抑是光轴方向撞击水晶,都能辐射电磁波,而且毫无差异。我们曾将一块面积为 65.28cm^2 、厚为 2cm 的花岗岩板放在油压机下加压,然后松开,让花岗岩板发生机械振动,同时用陈氏仪的天线挨近到一二厘米处。加压从半吨开始,每次递增半吨,至 2.5 吨,最后两次分别为 4.7 吨和 9.8 吨。即压强分别为每平方厘米 $7.7, 15.3, 23, 31, 38, 72$ 和 150 kg 。但都没有接收到电磁波。将水晶单晶和力轴垂直的面垫上一层布,用锤猛敲,使水晶发生振动,但也接收不到电磁波。是不是岩石在摩擦或破裂时,由于新表面上积聚电荷并放电而辐射电磁波呢?水晶和水晶的摩擦,因系相同物质,是不会出现浮动电荷的。二石英脉摩擦发光时,接收不到电磁波,此光并非电火花。将水晶和石英岩浸湿然后摩擦,这是不会发生电火花的。但我们照样接收到了电磁波。所以放电说的机理也是不成立的。

莫斯科大学泥石流及雪崩实验室在斜面上研究雪的流动时发现,雪的相撞和分离会发出电磁波。

水晶、冰糖、红宝石、白矾和雪等都是离子晶体,它们破碎时之所以能辐射电磁波,可能是离子晶体破裂时的一种效应,是跟离子晶体结构的性质有关的。

图 4(a) 示出最简单的 NaCl 离子晶体点阵, (b) 为各种晶面, (c) 为离子的紧密堆积示意图^[10]。离子晶体的一般表面,都同时含有正负两种离子,如图 (b) 的 (100) 面。但是 (111) 平面却只含一种离子。 (h_1, h_2, h_3) 是一个晶面系的标记,它包含一系列的平行平面。 (111) 平面系是正离子平面

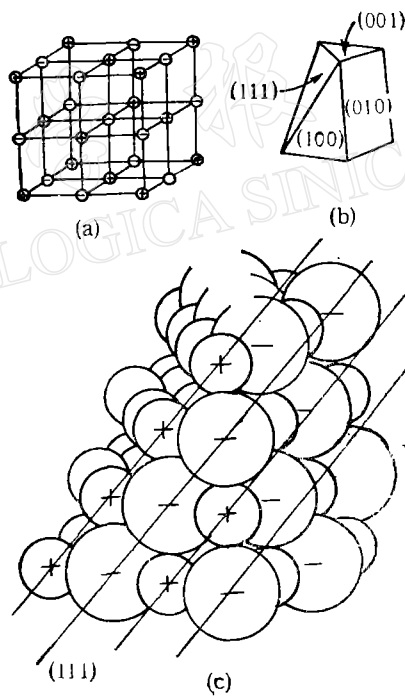


图 4 NaCl 离子晶体

(a) 点阵 (b) 各种晶面
(c) 正负离子紧密堆积示意图

面和负离子平面相间而成的,如图 (c) 所示。如果 NaCl 晶体按 (111) 面裂开,则二新表面上将分别带有正电荷和负电荷,而分开的碎块是荷有相反电荷的块块了,也可以说,它们形成了一个电偶极子。如果裂开面只有一部分是 (111) 面,情况仍然相同,只是面电荷 q 较小而已。当然,破裂面也有很多是属于面电荷 q 近于或等于零的。

石英晶体是 SiO_2 的结晶,透明的叫水晶。矽原子和氧原子的点阵排列,如图 5(a) 所示。沿光轴 z 方向看,矽原子和氧原子的纵列呈螺旋状,如图 (b) 所示, (c) 为它在垂直于

Z 轴的平面上的投影^[11]。对着光线射来的方向看,若像图(c)的各原子层之间有绕光轴顺时针向的微小扭转,是为右旋水晶,反之则为左旋水晶。因此水晶点阵的对称性差,无解理面,破裂面完全是任意的偶然的。破裂碎片所形成的电偶极子,从效果上看,电荷 q 将是比较大的。冰糖晶体是由葡萄糖分子和果糖分子结合构成的。葡萄糖是右旋糖,其分子中离子的排列有如图 5。果糖是左旋糖,其分子中离子的排列则相反。这两种分子由氧原子联合起来成一个大的复杂分子。可见冰糖晶体点阵的对称性也是差的,破裂面也是任意的偶然的。水晶和冰糖之易于辐射电磁波,且强,可从上面的结构分析得到理解。

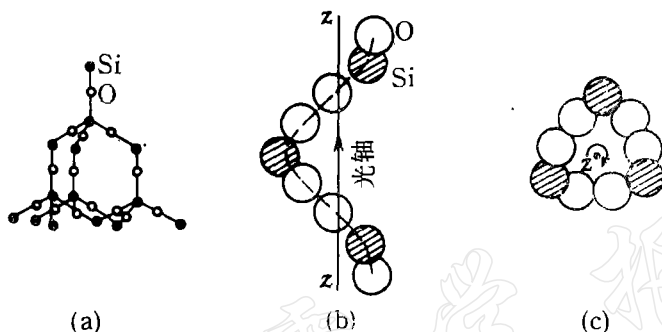


图 5 水晶晶体中硅原子和氧原子的排列

(a) 点阵 (b) 螺旋结构 (c) 在平面上的投影

当猛然击碎离子晶体时,将产生很多带不同电量的碎片,用很大的初速度飞开,但因遇到障碍物而骤然停止。根据电学原理,一个运动电荷受到急剧地制止时,将发射单个的电磁脉冲波^[12]。辐射的瞬时功率既正比于电荷 q 的平方,又正比于加速度 a 的平方^[13]。所以碎片的电量愈大,飞得愈快,停得愈骤,则愈能辐射出很强的脉冲波。也可以这样解释:离子晶体被击碎时,产生大量的有着不同偶极矩的电偶极子,偶极矩在不断变化着(因为正负电荷的碎片向相反方向飞开),并迅即消失。众所周知,电偶矩变化时是要辐射电磁波的。

我们认为,地震时石英岩、花岗岩因破裂或剧烈摩擦而辐射电磁波,波源就是它们所含的石英晶体因破碎形成的高速荷电粒子或电偶极子群。石英岩的石英含量很高,而且较为密集,但所含石英颗粒较小,且非很纯的结晶,故和水晶相比,辐射电磁波的效果自然要差许多。花岗岩的石英含量只有百分之六七十,且和其他物质掺杂固结在一起,彼此之间分得较开。因此形成荷电碎片的几率很小,辐射强度比起石英岩来又要差得很多了。黑大理石和灰岩因没有含石英或含得极少,故不能辐射电磁波。离子晶体结晶点阵对称性强,有解理面的,也难于发射电磁波。

五、结 语

能发射电磁波的原因很多,因此我们并不排除辐射的其他机制。至于震前较早时间内的辐射,是由于岩石的微破裂抑其他机制,有待于进一步的探索。

结合地光的研究,我们提出,离子晶体破裂有两种效应,一是新生表面上价电子能态

的瞬变过程,表现为发光;一是电偶极子群的产生和消失,表现为电磁波的辐射.当然,这两方面都还包含着许多实验问题和理论问题,有待于继续探索.

应该指出,在估计算机电转换率时,没有考虑到中长波被电离层的吸收及大地介质对中短波的严重衰减,因此把震源的辐射总功率估计为 10^4 W 数量级显然是偏小了.如果把这些因素都考虑进去,那么震源的辐射总功率可能增大两个数量级,(2)式的机电转换率也应相应地增大同样的数量级.但是,对正常深度的地震,辐射能衰减的情况约略相同, 10^{-10} 数量级的机电转换率对地震工作来说仍然是有一定参考价值的.

本文中的实验,蒙北京工业学院苏舫、任福梅同志,北京无线电器件二厂白文松、刘光培同志热情协助,章平同志拍摄照片,特此表示衷心的感谢.

参 考 文 献

- [1] 《一九七六年唐山地震》编辑组,1982. 一九七六年唐山地震,339—352. 地震出版社.
- [2] E. Ф. 萨瓦连斯基主编,1980. 地震前兆探索,20—21. 地震出版社.
- [3] 李均之、曹 明、夏雅琴、毛浦森,1982. 岩石压缩试验与震前电磁波辐射的研究. 北京工业大学学报,4,47—53.
- [4] 徐为民、童莞生,1983. 安徽省地震局进行电磁波辐射实验取得一些结果(简讯). 国际地震动态,2: 32.
- [5] 徐为民、童莞生、王自成,1984. 单轴压缩下岩样破坏过程中的发光现象. 地震,1: 8—10.
- [6] 郑联达,1986. 地震发光成因的一种新假设. 光学学报,8,763—769.
- [7] 戈赫贝尔格 (М. Б. Гохберг), 1981. 地震活动的高频电磁辐射. 国外地震,4: 64.
- [8] D. 哈里德、R. 瑞斯尼克,1979. 物理学,二卷一册,396—397. 科学出版社.
- [9] 徐为民、吴培稚,1983. 人工地震的电磁效应. 地震,1: 29—31.
- [10] Mykura, H., 黄宗洋译,1973. 固体表面和界面. 台湾中华书局.
- [11] Jenkins, F. A., White, H. E., 清华大学物理系译,1953. 物理光学基础,399,414,商务印书局.
- [12] Jenkins, F. A., White, H. E., 清华大学物理系译,1953. 物理光学基础,253—256. 商务印书馆.
- [13] F. S. 克劳福德,1981. 伯克利物理教程波动学,三卷下册,431—442,科学出版社.

THE MECHANISM OF ELECTROMAGNETIC WAVE RADIATION DURING AN EARTHQUAKE

ZHENG LIANDA

(*Beijing Institute of Technology*)

Abstract

By using small natural rocks and some artificial crystals as samples we observed the electromagnetic waves which radiated during collision, friction or breaking. The experiments were well repeatable anywhere at any time without any screen. The radiation-spectrum of tens of kHz—500 kHz was obtained by using a frequency analyzer in the course of collision of two pieces of quartz. Experimental results showed that the impulses clustered within 200 kHz and the signals of about 100 kHz were densest and strongest. The electric field strength at a point about 10 cm from the quartz could be as large as 69.8 mv/m, and the background strength about 14.5 mv/m. The field strength for quartzite was larger than that of granite by two orders of magnitude, and the field strength of quartz was larger than that of quartzite by the same orders of magnitude. The radiation strength of rock depended evidently on the contents of quartzite. We found that crystal sugar, alum and ruby may radiate electromagnetic waves when they were breaking. The field intensity of waves radiated by a small sugar crystal at a distance 10 cm was 19 mv/m which could compare with that of quartzite. Even white quartzite sand may emit observable radiation. The smallest volume of fragment quartz which can radiate measurable electromagnetic waves is about 0.1 mm^3 .