

岩石中应变波激发的电磁效应^{*}

徐小荷 邢国军 王 标

(中国沈阳 110006 东北大学采矿系)

摘要 应变波通过岩石时,由于压磁效应,会产生一个以声速传播的磁场扰动,后者在周围空间激发了电磁效应。本文用实验证明了这种现象的存在,并藉以测出了岩石的综合压磁系数。这种效应可解释地震时发生的某些电磁现象。

主题词 压磁效应 岩石 应变波 电磁效应

引言

地震前后常伴有电磁异常现象。据记载,1855年日本江户临震前,一块作为广告用的磁铁突然失磁,震后恢复正常(卢振恒,1986)。我国自1966年邢台地震发现电磁波异常以来,屡次发现地震与各种波段的电磁波异常之间有着某种相关现象(毛桐恩,1989)。1983年,前苏联利用人造卫星在孕震区上空也曾观测到电磁波异常(Гохберг и пр., 1982)。这种异常,目前较多地被解释为是岩石破裂所产生的电子辐射引发的现象。本文提出了地震波在岩石中传递,由于存在压磁效应,相当于迅速变化着的磁场从大地中掠过,从而产生一个相当可观的电磁效应,导致了电磁异常。人们虽早就注意到岩石压磁效应和地震的关系,但多关注磁场的长期变化(梅世蓉,冯德益,1993),慢变化是不能产生感应电场的。

1 原理

压磁效应作为磁致伸缩的逆效应,已为人所共知(Stewart, 1954; 宛德福, 罗世华, 1994)。当应变纵波通过岩石时,岩石中应变迅速更迭。由于存在压磁效应,或多或少会同时出现磁通量的变化。后者便在周围空间激发了电磁效应,因此,可以视为应变波携带着一个磁、电场在岩石中传播。岩石的压磁效应,视其含铁磁物质之多寡,一般虽然微弱,但其变化甚快,感应的电动势并不小,容易由线圈拾取。

设压磁产生的磁感应强度为 B , 它正比于应变 ϵ , 以 C 表其比例系数, 即压磁系数。有

$$B = C\epsilon \quad (1)$$

当介质截面积为 A , 介质中的磁感应强度为 B 时, 磁通量为

$$\Phi = AB \quad (2)$$

这时感应电动势的大小 e_1 为

$$e_1 = d\Phi/dt = AdB/dt = ACd\epsilon/dt \quad (3)$$

* 1996-11-20 收到初稿, 1997-05-21 收到修改稿并决定采用。

式(3)中, C 称为综合压磁系数, 它取决于岩石的导磁率和压磁率, 近似地可作为一个材料常量。设线圈有 n 匝, 那么线圈两端的感应电压 e 为

$$e = ne_1 = nCA \frac{d\epsilon}{dt} \quad (4)$$

C 值的意义为单位应变在单位面积(垂直于应变方向上)介质所感应的电压, 单位是 Vs/m^2 。为便于实用, 取电压为 mV 作单位, 即用 mVs/m^2 作为 C 的单位。

2 实验装置

为了验证应变波所激发电磁效应的存在, 以及式(4)关系的可靠性, 测出 C 值的大小, 设计了如图 1 的实验装置。

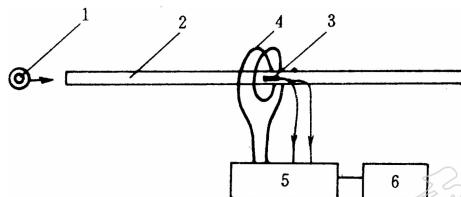


图 1 应变波激发电磁效应实验装置

1 锤; 2 杆形试件; 3 应变片; 4 线圈;
5 数据采集仪; 6 计算机

实验时用摆锤(重 0.25 kg)撞击杆形试件之一端, 产生的纵波沿杆之轴线传播, 在杆的另一端作反射, 在杆的中点贴有应变片, 以拾取应变。在中点还套了一个线圈, 以拾取感应的电压。应变 ϵ 和电压 e , 都由数据采集仪采取。所用的采集仪是由 HP3852A、插件高速电压表 44702B 和动态应变测量插件 44732A 所组成。然后将数据输入到控制计算机 HP362 整理、绘图和存贮, 采样的最短间隔时间 10 ms。感应线圈分 2 000 匝、200 匝、20 匝 3 种,

以备相应地用于岩石、钢和磁棒 3 种材料。

3 实验结果

由于细长的岩石杆容易折断, 调试时采用截面积为 4 cm^2 、长 3.5 m 的六方钢杆。应力波在钢杆中的行为我们已经有十分详尽的研究(徐小荷, 1986)。钢的综合压磁系数比岩石大一个数量级, 容易检验实验方案的正确性, 同时也可以取得作对比的数据。

图 2 是钢杆中点应变和线圈中感应电压 e 的实测历程曲线, 图 3 是 e 和 $d\epsilon/dt$ 的历程曲线。从测定结果可以明显看到, 感应电压是和应变的微分成正比的。如果把 $d\epsilon/dt$ 作自变量, 它和 e 的关系如图 4, 呈“8”字形。它相当于磁滞曲线。由于应变波形不是正弦形, 它和 t 轴的相交处斜率为零(正弦曲线和 t 轴相交处斜率最大), 故磁滞曲线是“8”字形不是椭圆。

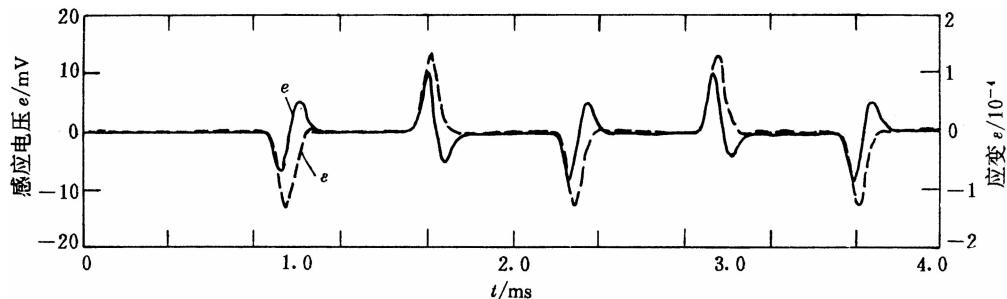


图 2 钢杆中点的应变和感应电压波形

形。利用图 4 之斜率,便可以由式(4)求出综合压磁系数 C 的大小。

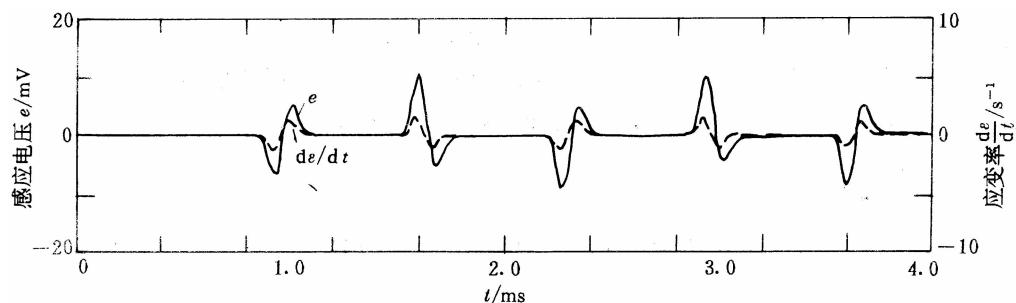


图 3 钢杆应变微分和感应电压波形

表 1 综合压磁系数 C 测定结果 mVs/m² 匝

材料	撞击速度/m·s ⁻¹			
	2	3	4	5.5
钢	32.7	34.2	37.5	41.7
辉长岩	3.83	3.88	3.92	

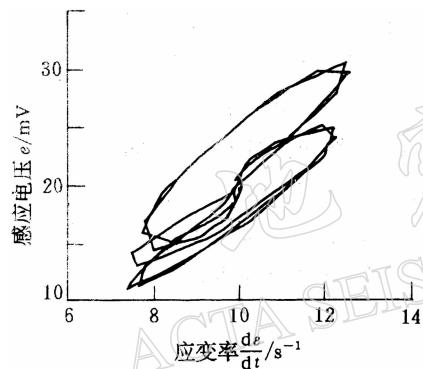


图 4 钢杆应变微分-感应电压关系

为了得到岩石中的相应关系,将辉长岩做成

2 cm × 3 cm × 150 cm 的长杆,用和钢杆相类似的方法,也能测出上列关系,见图 5, 6 和 7, 这时用 2 000 匝的线圈。由辉长岩杆测得的结果,和钢杆上出现的效应基本相同,只不过在线圈中出现一个频率较高,振幅不大的电压,它的原因有待于进一步查明。表 1 中列出了钢和辉长岩在不同撞击速度下测得的综合压磁系数。

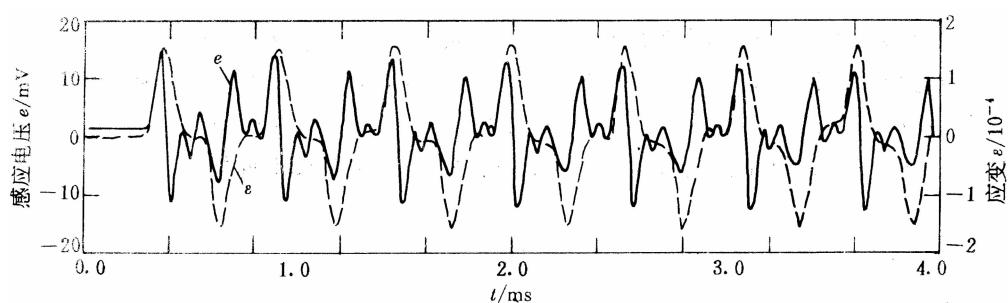


图 5 辉长岩杆中点之应变和感应电压波形

在上述实验中,杆的一端受撞击,另一端是自由的。如果在另一端加以垫锤,测定结果只改变其反射波的形状,对 e 和 de/dt 之间的关系没有实质的改变。

将长杆的轴线按不同方位安放,测定结果没有变化,表明此项实验与地磁无关。

如果不是把感应线圈套在杆的轴线上,只把线圈平放在杆的表面,也能接收到同步的电磁感应信息,但强度较弱。用长杆作试样的优点是入射波和反射波不叠合,图形十分清

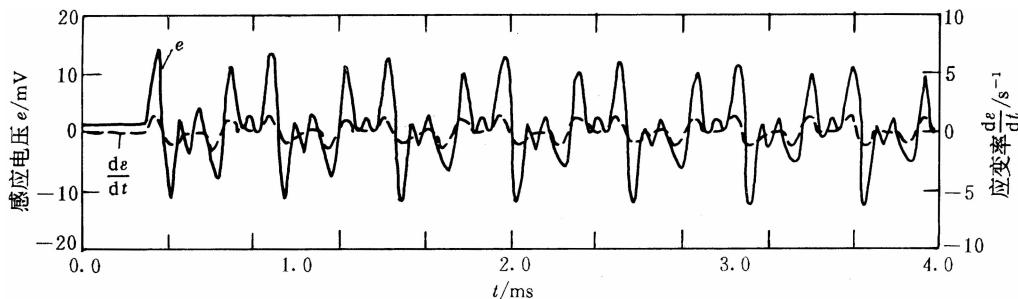


图 6 辉长岩杆应变微分和感应电压波形

楚, 便于对比分析; 但是细长的岩石杆制作困难, 为此又作了短杆的撞击激发电磁效应实验。用长度只有 10~25 cm 的岩石杆, 在其一端施加冲击, 另一端顶在砧子上, 也在杆的中点拾取应变和感应电压信号。这时应变波叠加后在杆的中点形成近于正弦的振动。图 8 是闪长岩短杆的应变和感应电压波形。

由于短杆的应变波形呈近似正弦形, 故它的 $e-d\epsilon/dt$ 系近于一个斜轴的椭圆。图 9 是长 25 cm 短钢杆的 $e-d\epsilon/dt$ 关系, 十分典型。由椭圆轴的斜率, 也容易求得 C 值。应当指出, 由于杆长缩短, 振动频率增高, 采样的速率也要增大。但由于采样仪器的限制, 得到的曲线不光滑, 有待改进。但也不难看出, 感应电压和应变微分仍有正比关系。

锰锌铁氧体磁棒(磁性天线), 有极大的综合压磁系数。它是一种十分敏感的压磁材料, 也曾作为一种材料加以测定, 以便和岩石对比。用短杆测定的压磁系数初步结果列于表 2。

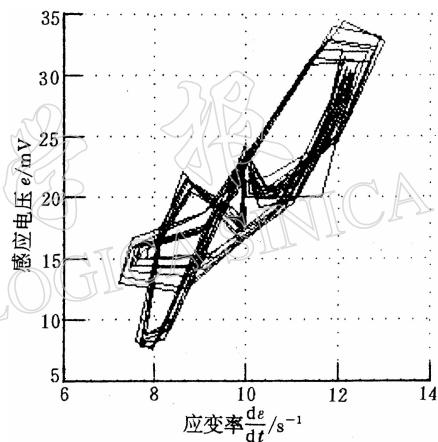


图 7 辉长岩杆应变微分-感应电压关系

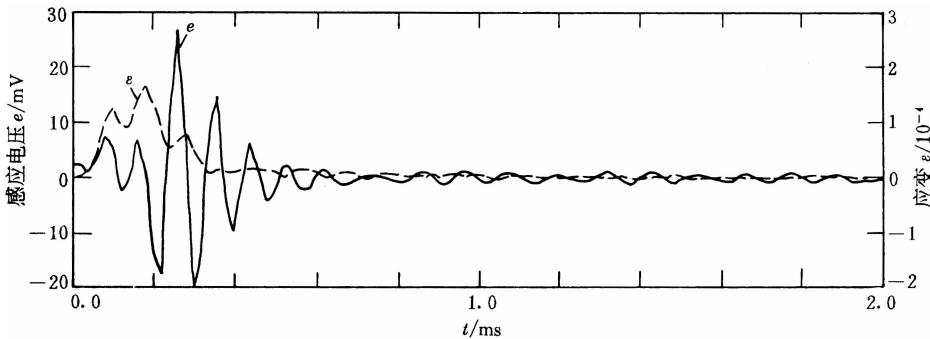


图 8 闪长岩短杆的应变和感应电压波形

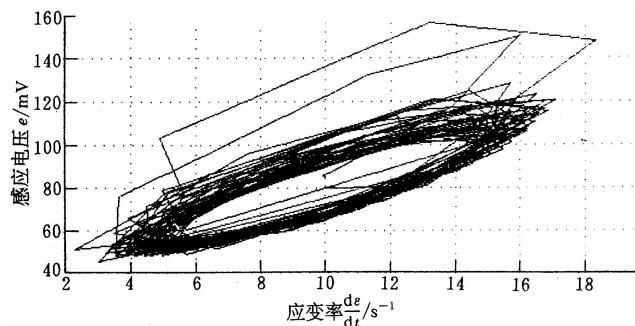


图 9 长 25 cm 钢杆的应变微分和感应电压的关系

表 2 短杆综合压磁系数 C 测定结果

材料	截面积/cm ²	杆长/cm	线圈匝数	综合压磁系数/mVs·m ⁻² ·匝
钢	4	25	200	64~67
石榴石片麻岩	12	14.4	2 000	1.2~2.2
长石斑岩	12	13.8	2 000	1.0~1.4
闪长岩	12	14.4	2 000	1.1~1.7
磁棒	0.8	10	20	1 500~1 750

4 讨论与结论

(1) 应力波通过介质时, 由于存在压磁效应, 在介质内产生一个以声速移动的磁场, 变化着的磁场在介质附近会产生电磁效应。

(2) 应力波通过岩石时, 所产生的电磁效应是容易测定的。本文提出的方法可以测定岩石的综合压磁系数, 它的范围在 $1\sim 2.5 \text{ mVs/m}^2 \cdot \text{匝}$ 。

(3) 由此可以推论: ①当地震波以平方公里计, 大面积地掠过地层时, 在有些地层里, 将激发起相当可观的电磁效应。这种机制可能解释地震时产生的短时电磁异常现象; ② 岩石因破碎而导致应力骤然下降, 因此, 在孕震中岩石断裂、应力迅速重新分布以及压磁场剧烈变化等, 也将会激发出电磁效应; ③ 利用应变波来测定岩石的动态压磁系数, 是一种比较方便易行的方法。

参 考 文 献

- 卢振恒, 1986. 日本地磁与地震关系研究的进展. 《国际地震动态》文集之三, 37~42
 毛桐恩, 1989. 中国震前电磁波观测与试验研究进展. 地球物理学报, 32(专辑 I): 500~505
 梅世蓉, 冯德益, 1993. 中国地震预报概论. 北京: 地震出版社. 135~143
 宛德福, 罗世华, 1994. 磁性物理学. 成都: 电子科技大学出版社. 179~221
 徐小荷, 1986. 冲击造岩的理论基础与电算方法. 沈阳: 东北工学院出版社. 75~133
 Stewart K H, 1954. *Ferromagnetic Domains*. Cambridge Press. 37~60
 Гохберг М Б, Пилипенко В А, Похотовов О А, 1983. Наблюдение со спутника электромагнитного излучения над эпицентральной областью готовящегося землетрясения. *ДАН СССР*, 268: 56~58