

压电法

姜 枚 刘煜洲 王寅生 著

地质出版社

压 电 法

姜 枚 刘煜洲 王寅生 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

(京) 新登字 085 号

图书在版编目 (CIP) 数据

压电法 / 姜枚等著. — 北京: 地质出版社, 1994.10

ISBN 7-116-01730-5

I. 压… II. 姜… III. 电法勘探-方法 IV. P631.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 11641 号

地质出版社出版发行

(100013 北京和平里七区十楼)

责任编辑: 陈军中

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092₁/16 印张: 4.5 字数: 115200

1994 年 10 月北京第一版·1994 年 7 月北京第一次印刷

印数: 800 册 定价: 4.0 元

ISBN 7-116-01730-5

P·1387

前 言

压电效应可理解为在机械应力作用下各向异性的电解质的带电现象。例如，石英晶体受到压力时产生电极化，其表面出现电荷，这种性质称为压电性，即压电效应。

压电性的研究最早是在物理学方面。早在 1817 年法国著名的结晶学家 P·哥尤依最先观测到某些矿物的电极化现象，1880 年法国著名的物理学家皮埃尔·居里兄弟重新发现并研究了石英、电气石及其它一些矿物的压电效应。同时实验确定了逆效应的实质。这些发现在科学界引起很大兴趣。

随后出现了压电学这个名词。B·佛哥特建立了压电性唯象学理论。俄国一些学者，如 B·科列克，乌尔夫和 H·安德列也夫在压电性研究方面也进行了一些工作。很长一段时间内，压电性的研究主要是在理论方面进行了一些工作，发展缓慢并没有引起人们的足够重视，直到第一次世界大战才促进了石英晶体压电性研究的进一步发展。大战期间，法国海军遭受到德国潜艇的攻击，法国著名物理学家 П·郎之万教授首次利用石英晶体制成超声波探测仪来探测德国的潜水艇取得较好的效果。当时郎之万教授指出，石英薄片在交变电场中能产生机械振动，所得到的超声波可用于水下信号装置和测量深度。在当时情况下压电晶体的用途还是很有限的，直到第二次世界大战之后，压电晶体及其应用的研究才更加广泛，并逐渐在电子、激光、超声、水声、导航等各技术领域得到广泛应用。在 40 年代，有关压电性方面的研究已有了许多文章，压电学成为晶体物理学的一个重要分支。目前，压电性的研究已为许多国家注意，国际上成立有压电晶体委员会。定期召开学术交流会议，这样促进了压电学的发展。

但是，当时学者们所研究的是单晶的压电性。1940 年原苏联科学院士 A·C·舒布尼科夫首先从理论上提出存在压电多晶集合体的可能性，并指出含无对称中心和 ∞ , $\infty \cdot m$, $\infty : 2$ 结构类型的压电晶体的物质可以显示出压电性，1941 年得到了第一个人工晶体压电结构（酒石酸钾钠的压电结构）。A·C·舒布尼科夫等人在压电结构方面进行了一系列的理论实验研究，他所提出的压电结构理论，对后来岩石压电性的研究具有重要意义。

所谓结构是指某些晶体颗粒在空间按一定规律，以一定形式定向排列。理论上早以确定，无对称中心的结构才具有压电性。

到了 50 年代，压电性的研究更加深入，特别是发现了某些岩石具有压电性。这一发现具有非常重要的实际意义，它使以后的研究逐步与地质、地球物理，特别是与找矿紧密联系在一起了。这里应该指出的是，1953 年前苏联学者 M·П·沃拉罗维奇和 E·П·帕尔霍缅科，A·B·舒布尼科夫对压电结构理论的发展，首先发现在含有一定形式定向排列的压电矿物的岩石中存在压电性，同时在这方面进行了一系列的理论和实验研究，并在室内记录出脉石英、花岗岩等岩石样品的压电性。以后又通过野外试验，对多种岩石也记录出压电效应。这些研究为后来的实际应用奠定了基础。

虽然压电效应的发现已有百余年的历史，但是将岩石和矿物的压电性用于找矿还是近几

十年的事。目前已成功地研制出压电勘探方法，在进行地质勘探工作的实践中证明了它的有效性，并且这种方法已成为寻找石英脉型矿床的专用方法。同时，它也为研究古应力、古电场，以及进行地震预报等工作开辟了新的途径，成为一个很有希望的新方法。

对于岩石压电性的研究并非一帆风顺，曾有一些人对岩石压电性的研究持怀疑态度。例如，60年代G·I·塔克在美国、澳大利亚采样进行的研究就得出了相反的结论，并提出了完全不同的意见。争论的问题主要集中在两个方面：(1)对某些岩石所观测到的压电性，是否象压电矿物单晶一样，是由于存在一定类型的压电结构造成的，而不是来自其它原因，诸如岩石中某几个随机定向排列的石英颗粒等等；(2)某些岩石的压电性是否具有普遍性，能否成为某种岩石的普遍性质而在地质学中得到应用。这当然是十分重要的问题。G·I·塔克等人认为，没有必要继续进行这方面的研究，不再为一种偶然现象浪费时间。但是，原苏联的许多人却继续进行这方面的研究工作，到70年代已进行了大量的室内和野外岩石压电性的研究，并在实际应用中取得了较好的地质效果和经济效益。例如，在某些金、锡、云母矿床上进行的一些工作，显示了压电勘探方法的独特作用。

尽管目前在岩石压电性的研究工作中，还存在许多有待于今后更加深入研究的问题；但是，广泛的实际工作，已经有效地证明这项研究对地质学、找矿勘探和地震预报的实际意义。最近几十年国外关于石英脉和某些含石英岩石压电性的研究进展迅速，特别是由于压电法在寻找金、锡、钨等矿床方面的独特作用和研究岩石压电性对研究构造与古应力作用，以及地震预报和工程地质等方面所显示的新的可能性，使这一工作引起更加广泛的重视。

1965年地质部物探研究所曾进行过压电法的试验工作，使用浅层地震仪作野外测试。与此同时，地震电磁辐射现象作为重要的临震前的征兆成为国内外的研究热点，从60年代以来在我国的许多地震台站开展了这方面的研究工作。

为了加强贵金属矿及非金属矿产的普查与勘探工作，特别是利用物探方法直接寻找伟晶岩和石英脉型矿床，以及为了适应我国固体矿产电法找矿技术的发展，急需探索新的物性参数及新的技术方法，中国地质科学院矿床地质研究所重新开始了岩石压电性的研究工作。1982年研制出专门用于室内测定岩石样品的YD-2型岩石压电仪，1987年研制出了适于野外应用的YDD-1型压电仪。经过几年的试验，改进了仪器，完善了方法，在石英脉型金矿上取得了肯定的结果，为生产上的广泛应用奠定了基础。

实际上，岩石的压电效应仅仅是岩石受外力作用时产生的各种电现象中的一种，它主要是由含石英晶体岩石产生的较低频的电磁辐射。国内外在研究和应用石英的压电特性的同时，在更广泛的范围里研究了岩石的震源电磁辐射现象。震源电磁辐射是广谱辐射，从理论上说，一次脉冲放电就具有很宽的频谱，而地下岩石结构成分十分复杂的情况下，必然有很宽的频谱。岩层受震动后产生的多种电现象与多方面的因素有关，从60年代开始国内外在地震预报中已重视并研究了震前的电磁辐射现象，经过野外观测和室内试验，已肯定岩石在受力直至破裂的过程中能产生电磁辐射现象，而在破裂时产生的电磁辐射最强，地震前的电磁扰动现象与机电现象有关，可能是压电效应、热电效应、震电E效应、岩石摩擦和岩石破裂产生的电磁辐射的综合反映。在各种频段的电磁辐射中干扰较少、传播较远的当属最低频率的信号，它们与含石英岩石的压电效应有密切关系。

目前，对岩石的震源电磁辐射性能的研究还只能限于某些频段内进行。以压电效应为

主的低频段不仅是地震预报最佳的频段，而且已作为一种寻找与石英脉有关的金属矿床的方法得到应用，这是前面已经提到的。从 60 年代开始，前苏联首先进行了金属硫化物震源电磁辐射性的研究，并随后在加拿大 Giant Yellowknife 硫化矿床上进行了试验研究，肯定了该方法对探测贱金属硫化物和石英脉的实际效果。当然，这项工作开始时间不长，对各种干扰的分辨和有用异常的特征及形成的机制尚存在许多需研究的问题。

本书内容是依据国家自然科学基金和中国地质科学院的科研项目成果编写的，科研项目名称为“压电法原理与方法技术的研究”，本书由姜枚、刘煜洲、王寅生执笔完成。参加该项工作的还有马开义、陈福集、徐万斌、傅健民、董宝和、郭维明、张振浩、杨爱萍、贾秀敏、赵红、段兆金、王秀琨。该项目的完成曾得到孙文珂、赵文津、艾惠珍、陆春榕、陈晦鸣等同志的支持与帮助，地矿部矿床地质研究所、勘探地球物理研究所，合肥工业大学、中国地质大学、安徽地矿局 322 队、地矿部航空物探遥感中心、江苏第六地质队、内蒙物探队、新疆物探队、湖南东坡钨锡矿、山东玲珑金矿、吉林夹皮沟金矿、广西珊瑚钨矿等单位的领导和同行们给予了大力支持与多方面帮助，在此一并表示感谢。

作者 1994.2

目 录

第一章 压电性与压电法原理	(1)
一. 压电效应的基本概念	(1)
二. 矿物的压电性	(4)
三. 岩石的压电性	(6)
四. 岩石的压电结构	(11)
五. 压电场理论计算及其分布特性	(20)
第二章 压电法仪器及设备	(28)
一. 室内岩石压电仪 (YD-2 型)	(28)
二. 野外压电仪 (YYD-1 型)	(32)
三. YD-3 型室内岩石标本测试仪	(50)
第三章 压电法的野外工作、资料整理及解释	(51)
一. 震源	(51)
二. 观测系统	(52)
三. 震源布置与电极距的选择	(53)
四. 观测结果的资料整理	(53)
五. 资料的解释	(54)
六. 实例	(57)
参考文献	(67)

第一章 压电性与压电法原理

当岩石受外力作用，例如当弹性波通过岩石时，将会产生许多电效应。这些电效应与岩石的组分和结构、岩石的电化学和极化作用、岩石的电导率变化、流动电位以及岩石的透水性等多方面的因素有关系，由此产生的电效应具有非常广泛的频率范围，特征很不相同。目前，可以划分为以下几类：

1. 压电矿物的电极化引起的压电效应；
 2. 岩石中固相部分和液相部分的相对位移而产生的电位差，称之为震电 E 效应；
 3. 某些矿物或岩石在外力作用下产生的电磁辐射；
 4. 岩石的非线性变形及气体的离子化作用引起的弹性震荡带中的近爆炸效应；
 5. 岩石导电率变化引起的 I 效应，它反映岩石电流强度的变化；
 6. 在强自然电场条件下（如，基性岩硫化矿脉上），两相介质中 I 和 E 的综合效应。
- 各种电效应总称之为震源电磁辐射效应（或地震电磁辐射效应，脉冲电磁辐射效应）。

一. 压电效应的基本概念

压电效应是一定结晶物质（主要是电介质，很少是半导体）所固有的性质，当物质受到机械应力作用时，它以电极化形式表现出来。压电效应是一复杂的物理现象，它是介于电学和力学（弹性理论）之间的一种现象。在单晶或在含有定向压电晶体的多晶集合体中都能观测到压电效应。

压电效应的产生可解释为，不具有中心对称的晶体在受到应力作用时，晶格变形，从而引起带电离子发生相互位移，使晶体的总电偶极矩发生改变，结果造成晶体内部产生电极化作用，激励晶体表面产生电荷。

电偶极矩的大小与极化电荷的总量及正、负极化电荷中心之间的距离有关。以 M 表示电偶极矩，可写成：

$$\vec{M} = \vec{Q}L \quad (1.1)$$

式中， Q 为极化电荷的总量， L 为正、负极化电荷之间的距离。

为了评价极化作用的大小，一般采用单位体积（ $\Delta V = 1$ ）内的电偶极矩，并称之为极化强度矢量，即：

$$\vec{D} = \vec{M} / \Delta V \quad (1.2)$$

极化强度矢量的方向规定为电介质内部从负电荷指向正电荷。

现以石英晶体中产生的电极化为例，来说明压电晶体的电极化作用。石英的化学成分是 SiO_2 ，其原子排列的等效电性示意图如图 1.1(a)。在一般情况下，各原子的电荷相互平衡，整个晶胞（乃至整个晶体）呈中性。当沿 X_1 方向施加压力时，则压成的形状如图 1.1(b)所示，这时原子位置变动，电平衡被破坏，于是在极板 A 和 B 上出现有电荷堆积；

当沿 X_1 方向施加张力或在垂直于 X_1 方向施加压力时，在极板 A、B 上则出现电性相反的电荷，如图 1.1(e) 所示。

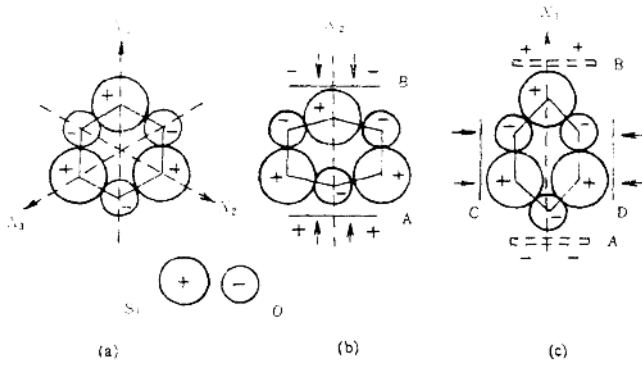


图 1.1 石英晶体电极化作用示意图

就单晶矿物而言，其压电效应的基本特征为：

1. 在一定方向的机械应力作用下，压电体表面出现电荷，且作用力与面电荷密度之间呈线性关系，压电效应的这一特性称为居里第一定律，可写成：

$$Q = d \cdot F \quad d = \frac{Q}{F} \quad (1.3)$$

式中， Q 为电荷， F 为机械应力， d 为压电模数。如图 1.2 所示，当外力沿 X 轴作用时，产生的电荷量只决定于作用力的大小，而与石英薄片的面积无关。

如果外力沿 Y 轴作用，电荷仍产生于垂直 X 轴的面上，只是电荷的符号相反。这时产生的电荷量不仅决定于 F_y 值，而且决定于薄片的几何形状和大小。

这样对拉力 F_y ，居里第二定律表示的关系式为：

$$Q = -dF_y \frac{S_x}{S_y} \quad (1.4)$$

式中， S_x 、 S_y 分别为垂直于 X 轴、 Y 轴的截面积。当 $S_x = S_y$ 时，即为 (1.3) 式。

2. 压电晶体受某种形式和沿某方向的机械应力作用时，在其一定面上所产生的电荷的符号随应力的形式和方向而改变。如图 1.2 所示，当晶体沿 X 轴方向有一正法向应力（拉伸）作用时，在垂直 X 轴的晶面上将产生正电荷（图 1.2(a)），称为纵向压电效应。而沿 Y 轴方向有一正法向应力（或沿 X 轴挤压）时，在此面上产生负电荷（图 1.2(b)），称为

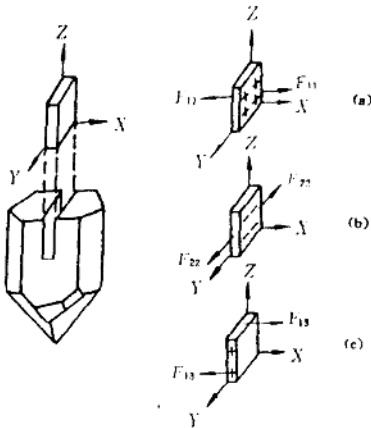


图 1.2 石英晶体在应力作用下的极化示意图

横向效应。

3. 压电效应具有可逆性，即存在正压电效应和逆压电效应。所谓正压电效应是压电体受机械应力作用时，在其一定表面产生电荷，而当外部负载取消时，电荷消失。逆压电效应是将压电体置于电场中，其形状及大小发生变化，即产生应力和应变。

压电模数是压电效应的主要定量特征。为了描述压电效应的定量特征，需要了解与电解质的力学状态和电学状态有关的两个量。公式 (1.2) 已给出了极化强度矢量，现在讨论物体受外力作用时的状况。

众所周知，某一物体受外力 ($F_1 \cdots F_n$) 作用时，该物体各部分之间产生应力，其分布状态如图 1.3(a) 所示。

这样，弹性体内某一点的应力，在某一直角坐标系中要用 9 个应力分量组成的应力张量来描述，表示为 (图 1.3(b)):

$$\begin{matrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{matrix}$$

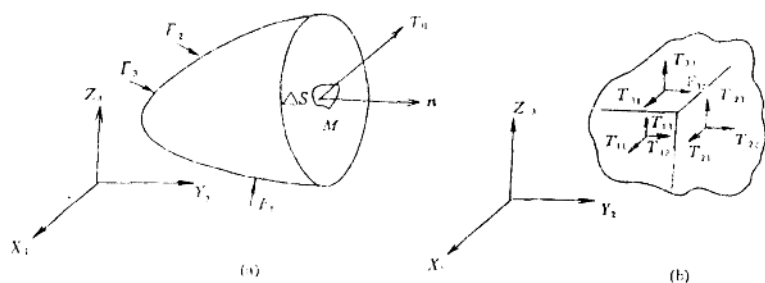


图 1.3 应力简图

其中， T_{11} 、 T_{22} 、 T_{33} 为法向力分量，其余的为切向应力分量。根据各项异性物体的弹性理论可知，法向应力只引起拉伸或压缩形变，而切向应力只能引起剪切应变。

类似应力张量的情况，应变张量也有 9 个分量。

$$\begin{matrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{matrix}$$

实际上，压电效应只存在于各向异性介质中，并且由压电张量得出，压电极化强度与机械应力和应变呈线性关系。

一般情况下，各向异性介质的压电效应方程矩阵形式为:

$$\begin{array}{ccccccc}
 & T_{11} & T_{22} & T_{33} & T_{23} & T_{31} & T_{12} \\
 P_1 & d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} \\
 P_2 & d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} & d_{25} & d_{26} \\
 P_3 & d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} & d_{35} & d_{36}
 \end{array} \quad (1.5)$$

式中 P_i 为极化强度矢量, T_{ij} 为相应的法向 (T_{11}, T_{22}, T_{33}) 和切向 (T_{23}, T_{31}, T_{12}) 应力分量, d_{ij} 为压电模数 (应变常数), 其中第一个下标表示行的编号, 第二个为列号。

压电极化强度与应变的关系可以写成:

$$\begin{array}{ccccccc}
 & S_{11} & S_{22} & S_{33} & 2S_{23} & 2S_{13} & 2S_{12} \\
 P_1 & l_{11} & l_{12} & l_{13} & l_{14} & l_{15} & l_{16} \\
 P_2 & l_{21} & l_{22} & l_{23} & l_{24} & l_{25} & l_{26} \\
 P_3 & l_{31} & l_{32} & l_{33} & l_{34} & l_{35} & l_{36}
 \end{array} \quad (1.6)$$

式中, S_{ij} 为相应为法向 (S_{11}, S_{22}, S_{33}) 应变分量和切向 (S_{23}, S_{13}, S_{12}) 应变分量; l_{ij} 为压电应力常数。

作为逆效应, 在外电场作用下, 压电介质产生弹性形变, 这时电场强度与应变的关系为:

$$\begin{array}{cccc}
 & E_1 & E_2 & E_3 \\
 S_{11} & d_{11} & d_{21} & d_{31} \\
 S_{22} & d_{12} & d_{22} & d_{32} \\
 S_{33} & d_{13} & d_{23} & d_{33} \\
 2S_{23} & d_{14} & d_{24} & d_{34} \\
 2S_{31} & d_{15} & d_{25} & d_{35} \\
 2S_{12} & d_{16} & d_{26} & d_{36}
 \end{array} \quad (1.7)$$

式中, F_j 为电场强度分量。

一般正效应和逆效应往往同时产生, 同时, 次生效应总比原生效应小得多。

综上所述, 压电效应的定量特征主要是以压电模数来描述。这里用于描述压电效应的参数主要是压电模数 d 和压电应力常数 l , 通常在研究岩石压电性时主要使用的是压电模数 d 。也就是说, 压电模数是用于研究矿物、岩石压电性的主要参数。压电模数在 CGS 单位制中为静电制电荷单位/达因。在 SI 单位制中, 为 C/N, 一般采用后者。由 CGS 单位制换算成 SI 单位制时, 需要乘系数 3.33×10^{-5} 。

二. 矿物的压电性

目前已经知道, 按矿物的对称类型已知约有 300 多种矿物具有压电性, 但其中有 50% 极不常见。只有 23 种 (α 石英、 β 石英、电气石、闪锌矿、霞石等) 已测定出压电模数, 有 70 种矿物仅能定性地确定其压电效应。

压电效应只能存在于无对称中心的晶体中, 其晶体属于下列对称组: 1, 2, 3, 4, 6, $2 \cdot m$, $3 \cdot m$, $4 \cdot m$, $6 \cdot m$, $2:2$, $3:2$, $4:2$, $6:2$, $2, 3: m$, $4: m$, $m \cdot 3: m$, $3/2$, $3/4$ 。字母 m 表示存在的对称面, 一个点表示平行性, 两个点表示对称要素彼此

之间的正交性。

在自然界中，最常见的压电矿物是石英、电气石、霞石和闪锌矿。石英居重要位置，它是许多岩石的成岩矿物，约占地壳矿物组分的 12%。同时，有许多矿产，例如，金、锡、钨、钼和稀有元素矿床，以及水晶、云母、萤石等矿产与石英的关系尤为密切。因此，有必要详细研究石英的压电性。

石英晶体又称水晶，是重要的压电材料。它的化学成分为二氧化硅 (SiO_2)，属于介电质矿物，并且具有很高的电阻率 ($> 10^6 \Omega \cdot \text{m}$)。早期使用的是天然石英晶体，现在人造石英晶体的质量已完全可以与天然石英晶体媲美，并广泛用于通讯、导航、彩电、电子表等电子设备中。

通常遇到的是 α 石英。 α 石英晶体的理想外形，如图 1.4 所示。它是由五个简单形状组成：六方柱 m ，主菱面体 R ，次菱面体 γ ，三方偏方面体 X 和三方双锥 S 。石英呈左右对称形。

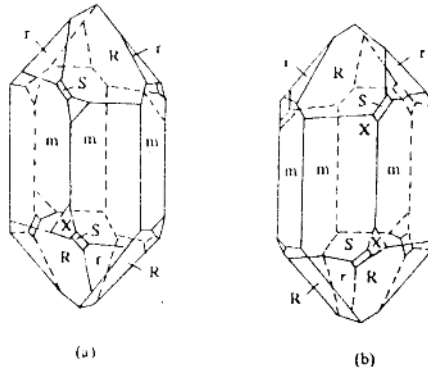


图 1.4 石英晶体理想外形
(a) 左旋石英晶体；(b) 右旋石英晶体

上面叙述的是石英晶体的理想外形，而石英晶体的实际外形则不是如此完整。无论是天然的还是人造的石英晶体，由于生长条件不同，它的实际外形也不相同，有的晶面变大，有的则变小，或完全不出现。

在进行压电效应的数学研究时，采用所谓主坐标系，如图 1.5 所示。其中 X 轴为电轴，它是与两个 m 面之间的夹角平分线相重合。沿 X 轴施加压力（或拉力）时，在垂直 X 轴的面上产生压电效应。 Y 轴为机械轴，在垂直 Y 轴方向不产生压电效应。 Z 轴为光轴，它与石英晶体的二个顶点连线重合。力沿光轴作用时，不会产生压电效应。

α 石英晶体的压电模数根据(1.5)式在主坐标系中写成张量形式为：

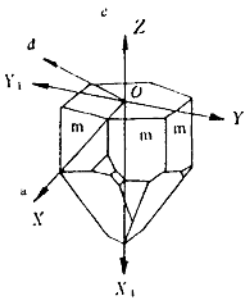


图 1.5 石英晶体的直角坐标

	T_{11}	T_{22}	T_{33}	T_{23}	T_{31}	T_{12}
P_1	d_{11}	$-d_{11}$	0	d_{14}	0	0
P_2	0	0	0	0	$-d_{14}$	$2d_{11}$
P_3	0	0	0	0	0	0

这时，极化强度矢量的分量关系式为：

$$P_1 = d_{11} (T_{11} - T_{22}) + d_{14} T_{23}$$

$$P_2 = -d_{14} T_{31} - 2d_{11} T_{12}$$

$$P_3 = 0$$

根据前苏联学者在实验室内测定的结果， α 石英压电模数值为：

$$d_{11} = 2.2 \times 10^{-12} \text{ C/N}$$

$$d_{14} = 0.66 \times 10^{-12} \text{ C/N}$$

β 石英的压电模数为：

$$d_{14} = 1.9 \times 10^{-13} \text{ C/N}$$

此外，一些常见矿物的压电模数为：

闪锌矿 $d_{14} = 3.1 \times 10^{-12} \text{ C/N}$

电气石 $d_{15} = -3.6 \times 10^{-13} \text{ C/N}$

$$d_{22} = 0.3 \times 10^{-12} \text{ C/N}$$

$$d_{33} = -1.8 \times 10^{-12} \text{ C/N}$$

霞石 $d_{33} = 4.9 \times 10^{-13} \sim 1.3 \times 10^{-12} \text{ C/N}$

三. 岩石的压电性

在前言中已经提到，由矿物组成的岩石具有压电性是经过较长时间的研究才被承认的。岩石压电性的发现是压电效应认识的一个新阶段的起点，它不仅发展了压电理论，而且扩大了应用范围，在地质勘探中有着重要意义。

使用 YD-2 型岩石压电仪测定了各类含石英岩石的压电性和不含石英岩石的压电性，其结果与前苏联测定结果列于图 1.6。

对岩石压电性的研究可以在野外条件下测定和室内标本测定来实现。对比测定结果可以得出以下几点结论：

1. 在天然产状条件下的含石英岩体上能记录出压电信号；
2. 不含压电矿物的岩石在野外条件下没有发现压电信号；
3. 岩石中石英颗粒光轴定向与其压电性有一定的关系；
4. 在同一点上，在电道上记录的压电信号比地震道记录的弹性波振动信号时间稍前；
5. 压电信号有一定相位。

根据室内进行的岩石样品和模型的测定结果，一般地可以认为岩石的压电性主要决定于岩石的压电结构的对称类型，而岩石压电结构对称类型又取决于组成岩石的压电矿物的

性质，即压电矿物晶体的对称类型、压电模数的大小、极化轴和其它轴的空间定向特征、压电矿物的百分含量，以及岩石中压电中性成分的空间位置关系等。

研究表明，脉石英的压电效应决定于脉石中石英晶体的光轴和电轴有规律的定向排列。不同的构造岩有它们各自选定的电轴方向，从而得名压电构造（类似于人工压电结构）。具有压电结构的含石英岩石是一个非均质的集合体，当岩石形成时和随后的一系列过程中，石英晶体可能整体地相对于其固有的对称要素定向。石英光轴的有规律定向与地壳内构造应力有关。由于石英结晶格架中光轴和电轴的位置相互关联，并且是固定不变的，因此光轴的有规律定向也能导致电轴有一定的定向。

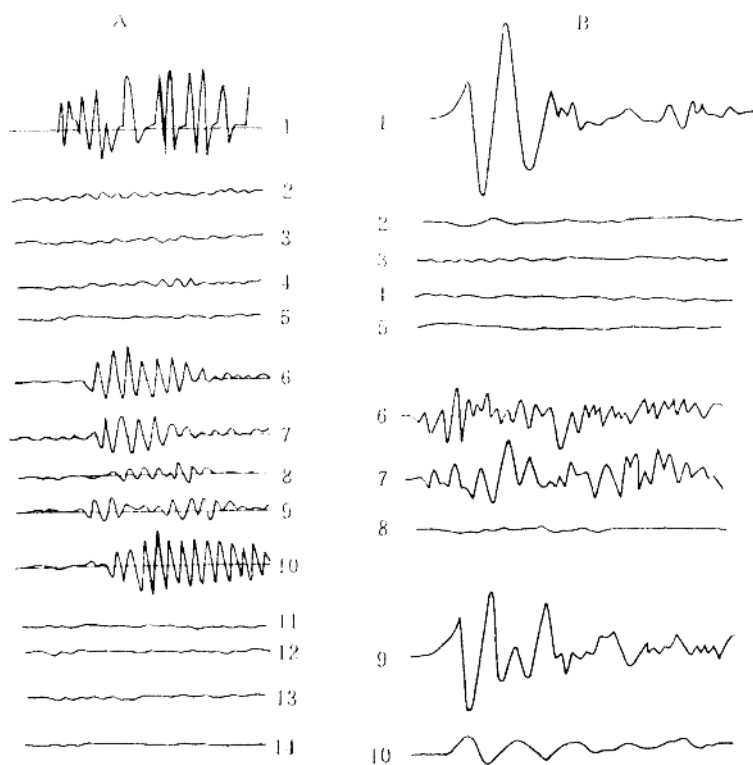


图 1.6 某些岩石的压电波形图

(A—根据国外资料；B—根据矿床所测定)

- A: 1—脉石英；2、3—石英岩；4、5—砂岩；6、7、8—花岗岩；9—片麻岩；10—莹石；11—辉长岩；12—石灰岩；13—正长岩；14—大理岩
- B: 1—脉石英；2—蚀变脉石英；3—云英岩化砂岩；4—灰岩；5—斑岩；6、7、8—花岗岩；9、10—含矿脉石英（9 正面，10 反面）

通过实验得出三种类型的石英光轴定向：S 构造岩（光轴平行）、B 构造岩（光轴在

两个互相垂直的方向定向)和R构造岩(光轴在一个平面定向)。

对人工石英晶体标准样的三个相互垂直的平面分别进行了压电效应的实验观测,并得到相应的压电信号波形图(见图1.7a、b、c)。由于人工石英样品基本上是沿着垂直于晶体三个轴方向切割,所以在垂直于X轴的面上观测到最强的压电信号波形图(图1.7a),其压电数值为0.42mV,在Y面上观测到的压电信号比X面上要弱,电压为0.07mV,比X面约小6倍(图1.7b、图1.7a);在Z面上几乎没有压电信号显示(图1.7c)。对珊瑚矿区脉石英(S-16)也进行了类似观测,并得到相同结果(见图1.7d、e、f)。可见,脉石英样品的压电信号与石英晶体的压电信号基本相同,只是信号强度较小。

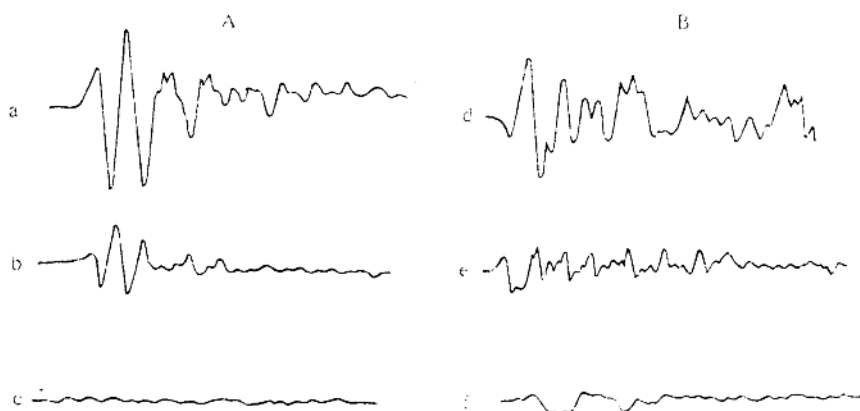


图1.7 在样品不同面上观测的压电图

A: 图a、b、c, 在人工石英晶体样品的三个相互垂直的面上观测;
B: 图d、e、f, 在珊瑚矿区脉石英样品(S-16)的三个面上观测

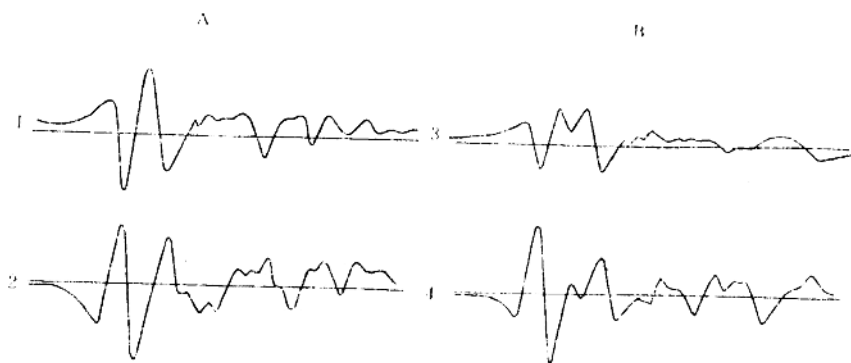


图1.8 压电效应极性曲线图

A: 人工石英晶体, 1—样品第一次观测; 2—同一块样品翻转180°观测;
B: 珊瑚矿区脉石英样品(S-17), 3—样品第一次观测; 4—同一块样品转180°观测

表 1.1 不同岩石的压电模数

产地	岩性	压电模数 (C/N)			备注
		d_{max}	d_{min}	d_p	
广西珊瑚矿区	脉石英 (S-2-1)	1.76×10^{-13}	0.015×10^{-13}	0.89×10^{-13}	
广西珊瑚矿区	脉石英 (S-1)	6.1×10^{-15}	1.54×10^{-15}	2.98×10^{-15}	
广西珊瑚矿区	脉石英 (S-19)	0.68×10^{-13}	0.07×10^{-13}	0.29×10^{-13}	
广西珊瑚矿区	脉石英 (Sh-8)	1.9×10^{-13}	0.26×10^{-13}	0.94×10^{-13}	
广西珊瑚矿区	脉石英 (S-2-2)	0.13×10^{-13}	0.04×10^{-13}	0.47×10^{-13}	
广西珊瑚矿区	脉石英 (S-25)	0.66×10^{-13}	0.18×10^{-13}	0.41×10^{-13}	
山东招远西豆腐脑	脉石英 A-11	1.69×10^{-13}	0.14×10^{-13}	0.94×10^{-13}	
山东招远西豆腐脑	脉石英 A-21	8.24×10^{-13}	0.73×10^{-13}	3.33×10^{-13}	
山东招远西豆腐脑	脉石英 A-7	1.48×10^{-13}	0.46×10^{-13}	0.92×10^{-13}	
山东招远西豆腐脑	脉石英 A-13	3.68×10^{-13}	0.64×10^{-13}	1.78×10^{-13}	
山东招远西豆腐脑	脉石英 A-3	1.63×10^{-13}	0.71×10^{-13}	1.10×10^{-13}	
山东招远西豆腐脑	脉石英 A-8	1.15×10^{-13}	0.33×10^{-13}	0.66×10^{-13}	
山东招远西豆腐脑	脉石英 A-22	4.24×10^{-13}	0.71×10^{-13}	2.57×10^{-13}	
山东淮西	脉石英 T-2	2.66×10^{-13}	0.35×10^{-13}	1.02×10^{-13}	
山东玲珑矿区	蚀变花岗岩 L-25	5.30×10^{-15}	1.89×10^{-15}	3.57×10^{-15}	
山东玲珑矿区	蚀变花岗岩 L-3	4.54×10^{-15}	1.59×10^{-15}	2.31×10^{-15}	
山东玲珑矿区	蚀变花岗岩 L-11	13.66×10^{-15}	3.05×10^{-15}	6.17×10^{-15}	
山东玲珑矿区	蚀变花岗岩 L-19	3.00×10^{-15}	1.73×10^{-15}	1.99×10^{-15}	
山东玲珑矿区	蚀变花岗岩 L-32	6.78×10^{-15}	1.71×10^{-15}	3.77×10^{-15}	
山东玲珑矿区	蚀变花岗岩 L-29	6.25×10^{-15}	3.12×10^{-15}	4.78×10^{-15}	

续表

山东玲珑矿区	蚀变花岗岩 L-34	2.99×10^{-15}	2.16×10^{-15}	2.18×10^{-15}
山东玲珑矿区	郭家岭花岗岩 L-38	1.79×10^{-15}	1.61×10^{-15}	1.13×10^{-15}
山东玲珑矿区	郭家岭花岗岩 L-52	6.83×10^{-15}	2.30×10^{-15}	4.89×10^{-15}
山东玲珑矿区	郭家岭花岗岩 L-38-1	2.03×10^{-15}	1.87×10^{-15}	0.97×10^{-15}
山东玲珑矿区	钾化花岗岩 Lnx-9	6.27×10^{-15}	1.54×10^{-15}	2.7×10^{-15}
山东玲珑矿区	玲珑花岗岩 L-47 (红)	4.38×10^{-15}	1.93×10^{-15}	1.78×10^{-15}
山东玲珑矿区	玲珑花岗岩 L-39	7.17×10^{-15}	1.91×10^{-15}	5.29×10^{-15}
山东玲珑矿区	玲珑花岗岩 L-47 (白)	2.55×10^{-15}	1.74×10^{-15}	1.96×10^{-15}
山东玲珑矿区	硅化花岗岩 L-62	1.74×10^{-15}	1.74×10^{-15}	1.74×10^{-15}
山东玲珑矿区	钾长石化花岗岩 L-55	8.03×10^{-15}	2.73×10^{-15}	4.98×10^{-15}
山东玲珑矿区	混合花岗岩 L-59	4.03×10^{-15}	2.43×10^{-15}	2.94×10^{-15}
山东玲珑矿区	混合花岗岩 L-46	4.03×10^{-15}	2.43×10^{-15}	2.94×10^{-15}
湖南柿竹园	蚀变花岗岩 (Z-1)	3.2×10^{-15}	1.36×10^{-15}	1.96×10^{-15}
湖南柿竹园矿 490m 中段	花岗闪长岩 (Z-3)	3.53×10^{-15}	1.72×10^{-15}	2.19×10^{-15}
湖南柿竹园矿 490m 中段	黄铁矿化砂卡岩 (Z-4)	2.10×10^{-15}	1.56×10^{-15}	1.79×10^{-15}
山东蓬莱巨山沟	莹石 (Ch-8)	1.36×10^{-15}	1.28×10^{-15}	1.33×10^{-15}
山东蓬莱巨山沟	莹石 (Ch-9)	1.52×10^{-15}	1.36×10^{-15}	1.48×10^{-15}
山东玲珑矿区	片岩 L-53	2.51×10^{-15}	2.24×10^{-15}	2.41×10^{-15}
山东玲珑矿区	片麻岩 L-42	3.03×10^{-15}	2.03×10^{-15}	2.71×10^{-15}
山东玲珑矿区	伟晶岩脉 L-50	7.64×10^{-15}	3.17×10^{-15}	5.30×10^{-15}
山东玲珑矿区	煌斑岩 L-56			无
山东玲珑矿区	煌斑岩 L-41			无
山东玲珑矿区	煌斑岩 L-27			无
山东玲珑矿区	卵石 L-13			无