

SHI YING
DIAN ZI
SHOU BIAO
YUAN LI
JI
WEI XIU

石英电子手表原理及维修

江苏科学技术出版社

714.9

内 容 简 介

本书是普及石英电子表基本知识的通俗读本,着重介绍石英电子表的原理和维修方法,也讲了选购、使用及维护常识。全书共分五章,第一章扼要介绍石英电子表的原理和主要特性;第二章详细介绍主要元器件的基本工作原理和特性;第三章介绍选购、使用和保养方法;第四章重点对常见故障的检查程序、产生原因及维修方法进行详细论述;第五章对石英电子表的主要检查项目及方法、有关常用仪器仪表的使用和自制的方法等作了介绍。

本书通俗易懂,深入浅出,实用性强,可供从事维修、销售及电子业余爱好者阅读,对从事设计和生产石英电子表的人员也有一定参考价值。

石英电子手表原理及维修

刘令祥 谷宜德 编著

出版:江苏科学技术出版社

发行:江苏省新华书店

印刷:苏州印刷厂

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 6.75 字数 150,000

1982 年 11 月第 1 版 1982 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—20,500 册

书号 15196·096

定价 0.55 元

责任编辑 许顺生

前 言

石英电子手表是指针式、数字式、指针与数字混合式这三类石英电子手表的统称。

石英电子手表从问世到现在尽管只有十年左右的历史，但是，由于具有结构新颖，走时精确，功能多等独特优点，故不仅使五十年代中期诞生的游丝摆轮式电子手表和六十年代初出现的音叉式电子手表黯然失色，而且成为具有一百多年历史的机械表无法与之竞争的对手。为此，美、日、瑞士等国竞相大力发展石英电子手表。在这三个国家里，1980年石英电子手表的产量已接近和超过了机械表的产量，手表工业已进入真正的石英电子手表时代。

最近几年，我国生产和进口组装了数百万只石英电子手表投放市场，但由于石英电子手表基础知识的普及和专业维修技术力量的培训工作没有相继跟上，石英电子手表得不到正确使用和及时维修，因而其声誉受到了损害，生产和销售都受到了一定程度的影响。

为了普及石英电子手表的基础知识，提高维修技术水平，特编写《石英电子手表原理及维修》一书。愿能为稳步发展我国的石英电子手表工业，提高有关专业人员和工人的装配、维修水平，起到一定的作用。

不当之处，望读者指正。

编 著 者

1982年4月

目 录

第一章 石英电子手表的概况和工作原理	1
§ 1-1 石英电子手表的种类	1
§ 1-2 指针式石英表的构造和工作原理	3
§ 1-3 数字式石英表的构造和工作原理	4
§ 1-4 石英电子表的精度、使用寿命	5
一、石英电子表的精度	5
二、石英电子表的使用寿命	7
第二章 石英电子表的主要元器件	9
§ 2-1 石英谐振器	9
一、石英谐振器的种类和构造	9
二、石英谐振器的振动原理	10
§ 2-2 CMOS 集成电路	15
一、CMOS 集成电路的特性	16
二、CMOS 集成电路的主要功能	16
§ 2-3 步进马达	31
一、步进马达的结构	32
二、步进马达的工作原理	33
§ 2-4 液晶显示器(屏)	36
一、液晶显示器的构造	36
二、液晶显示器的工作原理	39
§ 2-5 表用电池	41
一、表用电池的种类	41

二、电池的结构·····	43
三、电池的特性·····	45
四、太阳能电池·····	46
五、锂电池·····	47
§ 2-6 导电橡胶、电容、电路基板及其他器件·····	48
一、导电橡胶·····	48
二、电容·····	49
三、电路基板·····	51
四、其他器件·····	51
第三章 石英电子手表的选购、使用和保养·····	53
§ 3-1 石英电子表的选购·····	53
一、石英电子表的“三防”性能·····	53
二、石英电子表的选购·····	57
§ 3-2 石英电子表的使用·····	60
一、指针式石英电子表的使用·····	61
二、数字式石英电子表的使用·····	63
三、几种常见的反常现象·····	75
§ 3-3 石英电子表的拆装和清洗·····	77
一、拆装、清洗时常用小工具·····	77
二、石英电子表的电池更换·····	81
三、指针式石英表的拆装和清洗·····	82
四、数字式石英表的拆装和清洗·····	83
§ 3-4 石英电子表中主要元器件的使用	
注意事项和保管方法·····	86
一、电池的使用和保管·····	86
二、马达组件的装拆和保管·····	88
三、CMOS 集成电路的装拆和保管·····	89

四、石英谐振器的装拆和保管	90
五、液晶显示器(屏)的装拆和保管	91
六、其他器件的使用和保管	91
第四章 石英电子表常见故障及维修	93
§ 4-1 故障检查程序	93
一、指针式石英表的故障检查程序	93
二、数字式石英表故障检查程序	97
§ 4-2 常见故障及维修方法	103
一、指针式石英表常见故障及维修方法	103
二、数字式石英表常见故障及维修方法	122
三、石英电子表常见故障一览表	153
四、石英电子表的速修法	160
第五章 石英电子表的主要检查项目及方法	164
§ 5-1 指针式石英表的主要检查项目及方法	164
一、电池电压的检查	164
二、整机消耗电流的检查	165
三、马达驱动电路输出信号的检查	166
四、马达线圈的检查	167
五、马达输出力矩的检查	169
六、马达转子的检查	170
七、停秒装置的检查	172
八、精度的检查	172
九、电路基板有关部位的电阻测量	176
十、波形的观察	177
十一、最小起振电压 V_s 的检查	178
十二、电路工作电压范围的检查	179
十三、电容质量的检查	179

十四、电池容量的判断	179
十五、石英谐振器质量的检查	180
§ 5-2 数字式石英表的主要检查项目及方法	180
一、字划电极输出信号的检查	180
二、升压电路的电压测量	181
三、石英谐振器输入端及调校、功能变换接触簧片处的电压测量	182
四、液晶显示器的检查	182
五、电路基板有关部位的电阻检查	183
六、波形的观察	184
七、导电橡胶的检查	185
八、小灯泡的检查	185
九、升压、滤波电容和振荡电容的判别	185
§ 5-3 常用仪器仪表的使用和自制	187
一、万用表的使用	187
二、电子校表仪的使用	191
三、晶体阻抗计和 ppM 计的使用	193
四、自制石英谐振器检查仪	195
五、通用示波器的使用	196
六、自制小力矩测试仪	199
七、数字式石英表功能测试台	200
八、电压性能检查仪	201
九、高斯计的使用	201
十、自制液晶显示器功能测试仪	202
十一、自制步进马达驱动信号发生器	203
附录	204

第一章 石英电子手表的概况和工作原理

石英电子手表，是一种以石英谐振器(俗称水晶振子)作为频率控制元件的电子手表。其走时精度、可靠性等性能不但比传统的机械表优越，而且比游丝摆轮式、音叉式电子手表优越，故已成为手表工业的发展方向。

§ 1-1 石英电子手表的种类

石英电子手表因指示时间的方式不同，可分为三大类：指针式；数字式；指针和数字混合式。指针式石英电子手表(以下简称指针式石英表)与传统的机械表指示时间的方式完全

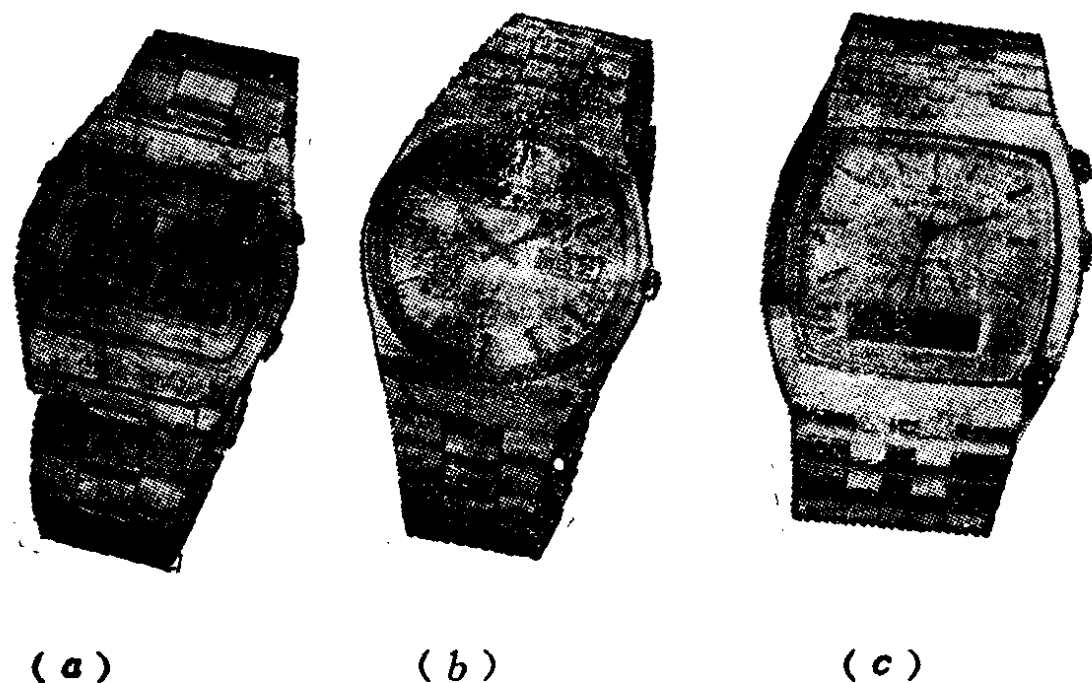


图 1-1 石英电子手表

一样。数字式石英电子手表(以下简称数字式石英表)完全改变了传统机械表用指针指示时间的方式,直接用数字表示时间,读取时间方便、直观。指针和数字混合式石英电子手表(以下简称混合式石英表)同时具备上述二种指示时间的方式,显示方式更加完善。

指针式石英表与机械表一样,按其附加机构的功能不同可分为:基础机芯、单历、双历等品种;按参与指示时间的指针的数量又分为三针表、二针表(无秒针)。

数字式石英表按其表机内集成电路所具有的不同功能又分为:五功能、六功能、七功能、甚至多达二十余种功能的数字式石英表。在数字式石英表中最常见的功能是:时、分、秒、上下午指示、月、日、周、秒表、闹、两地时间等功能。有的还带有计算器和特殊功能(如能以女性的声音报时)。真可谓功能繁多,不胜枚举。随着微电子技术的发展,国外正在研制带有收音机、电视机功能的数字式石英表,充分显示了数字式石英表的生命力。数字式石英表按其显示器件的不同又可分为液晶显示,发光二极管显示、电色显示等种类。在液晶显示的数字式石英表中,由于制造液晶显示器件的液晶种类不同,又可分为动态散射型、场效应扭曲型两种。由于场效应扭曲型液晶显示器具有驱动电压低、功耗小、寿命长等优点,已成为当今数字式石英表所采用的显示器件的主流。本书所叙述的数字式石英表就是指这一类。除此以外,国际市场上目前又出现了彩色液晶显示的数字式石英表。

混合式石英表博采了指针式、数字式石英表的长处,性能更为优异。

石英表按其石英谐振器的不同频率又分为32,768Hz、4,194,304Hz两大类,采用最多的是32,768Hz。4,194,304Hz

的石英表常称为高频石英表。初期的石英表也有采用比 32,768Hz 更低频的石英谐振器,目前已不采用。

§ 1-2 指针式石英表的构造和工作原理

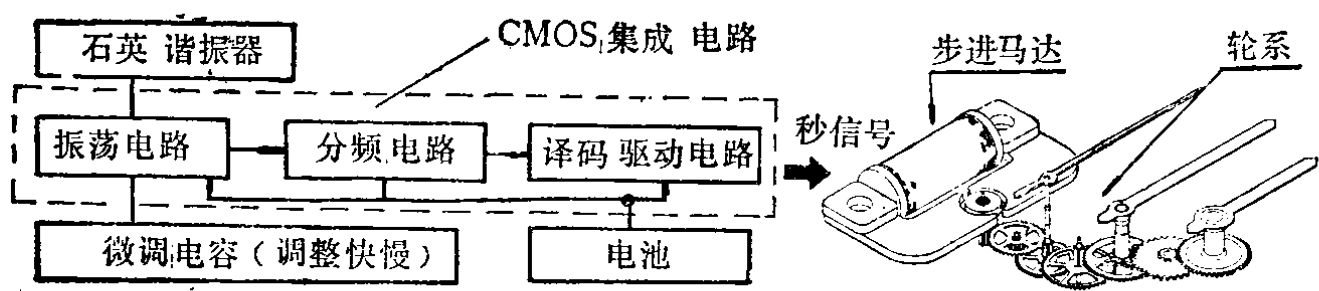


图 1-2 指针式石英表结构原理

指针式石英表的结构原理如图 1-2 所示。它主要由石英谐振器、集成电路、电池、微调电容、步进马达、轮系等组成。与机械表相比，指针式石英表和其他电子表一样以电池取代发条作为表机的能源；机械表中的“擒纵调速机构”被石英谐振器、微调电容、集成电路和步进马达所代替。指针式石英表与机械表的外观结构基本相同。

指针式石英表首先由石英谐振器、振荡电容（包括微调电容和一般制做在集成电路中的固定电容）和集成电路中的参与振荡的部分电路组成了稳定的 CMOS 石英振荡器,产生了 32,768Hz 的振荡电信号作为基准频率。然后把这一基准频率信号输入到分频电路。分频电路由 16 级相互连接的二分频电路组成。输入分频电路的 32,768Hz 的基准信号，每经过一级二分频电路就把其频率减半(即除以二)；连续经过 16 级二分频，其频率就变为 $\frac{1}{2}$ Hz 的方波。但是这样的方波

信号不能直接驱动步进马达，而且也不省电。因为表用步进马达一般需正负交替的窄脉冲来驱动。把 $\frac{1}{2}$ Hz 的方波信号变换成正负交替窄脉冲这一工作由译码电路和驱动电路来完成。从驱动电路出来的正负交替窄脉冲输入到马达的线圈，使定子交替磁化，并通过定子与转子之间磁力的相互作用使步进马达的转子转过一定的角度(二极马达为 180°)。不断转动的步进马达再通过齿轮的啮合带动轮系转动，最后象机械表一样靠时、分、秒三针以及日历(周历)等附加机构，指示出正确的时间和日期来。

§ 1-3 数字式石英表的构造和工作原理

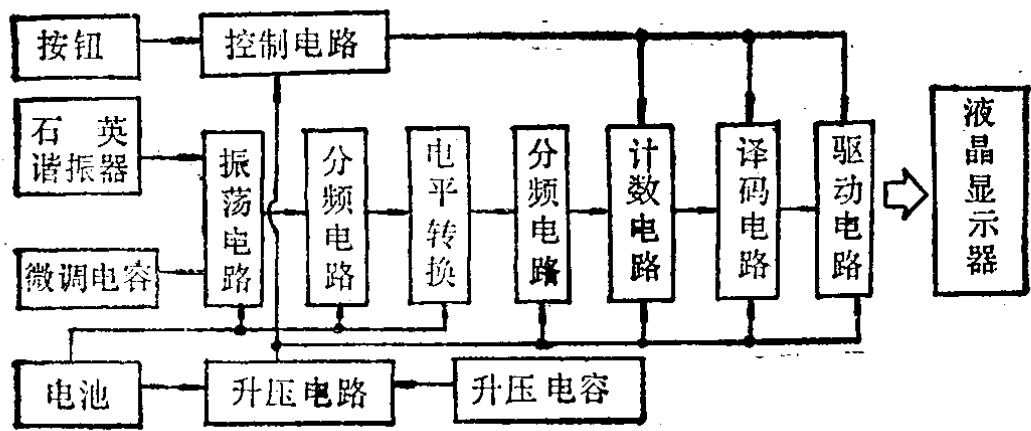


图 1-3 数字式石英表结构原理

数字式石英表的结构原理如图 1-3 所示。它主要由石英谐振器、集成电路、微调电容、升压电容、电池、液晶显示器、导电橡胶等组成。其结构比机械表和指针式石英表都简单。

数字式石英表中 CMOS 石英振荡器的组成和作用与指针式石英表相同。集成电路中的分频电路，把 32,768Hz 的

基准频率信号经过 15 级二分频产生 1Hz 的方波信号(即秒信号)送到秒、分、时、周、日、月等时间计数电路进行时间累计,然后把累计结果输入到译码电路进行翻译。被翻译成的阿拉伯数字又去控制液晶驱动电路,最后在液晶显示器用数字正确显示时间。

为了保证集成电路的可靠工作和人工调校,在集成电路中还设计了电平转换、升压、逻辑控制等电路,而且秒表、闹、计算器等功能的相应逻辑电路也制作在同一块 CMOS 集成电路中。因此,整个集成电路的逻辑较复杂,元件数随着功能的增多而增多,一只普通的六功能数字式石英表的集成电路其元件数在二千只以上。

§ 1-4 石英电子表的精度、使用寿命

一、石英电子表的精度

石英表与机械表、游丝摆轮式电子表、音叉式电子表相

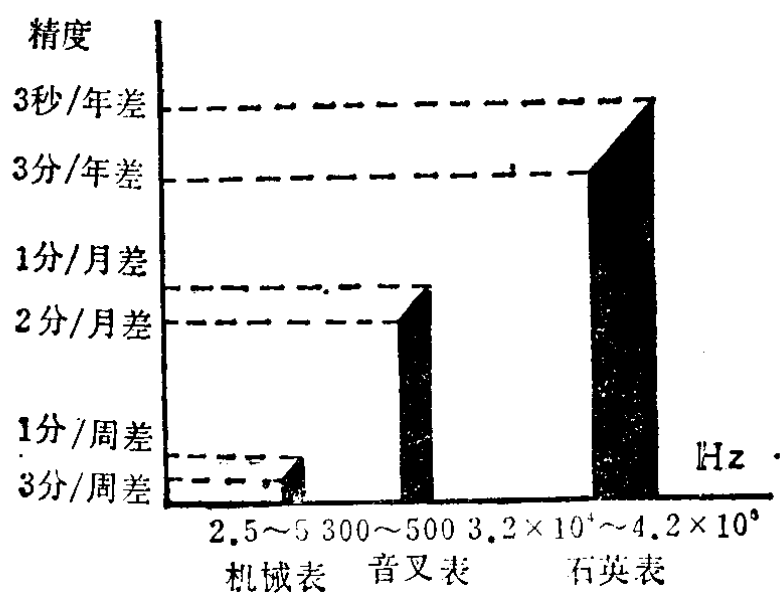


图 1-4 走时精度对照表

比，最突出的优点是走时高度精确，高频石英表已实现了年误差小于 3 秒的奇迹。那么，这样高的走时精度是怎样实现的呢？

长期的实践告诉我们，表的走时精度主要取决于振荡器的稳定度。所谓稳定度就是指某一规定的时间间隔内该振荡器所发生的最大频率变化，即在一段时间间隔内振荡器所产生的最高频率与最低频率之差，与该振荡器的固有频率的比值。显然，比值越小，稳定度就越高。如果稳定度用 S 表示，频率变化用 Δf 表示，固有频率用 f_0 表示，则其关系式为

$$S = \Delta f / f_0 \quad 1-1$$

基于这一道理，人们为了提高机械表的精度，就在提高“游丝摆轮系统”的振荡频率上着手。把原每小时摆动 18000 次(节拍)(即 2.5Hz)提高到国际上最高的每小时摆动 36000 次(即 5Hz)。现在国内机械统机表频率为 3Hz(即快摆表)。随着振荡器的振荡频率提高，表的精度也有了一定的提高。但是，游丝摆轮系统振荡频率的进一步提高，不但受到游丝材料的刚度和机械加工精度的限制，而且受到这类振荡器极限稳定度的限制。因此，进一步提高不但工艺上不允许，而且精度的提高也并不会明显。

早期的游丝摆轮式电子表，尽管具有不用上发条和因发条释放力矩不平稳因素对振荡器稳定性的影响得到了一些补救，但精度的提高同样受到上述条件的限制。

音叉式电子表用音叉振荡器取代了游丝摆轮振荡器，使振荡器的频率稳定度提高了一个数量级，振荡频率提高到 500 Hz，使表的走时精度提高到日差小于 2 秒的水平。进一步提高频率也受到棘轮、棘爪的机械加工及材料性能和该类振荡器的极限稳定度的限制。

石英表用石英振荡器代替了音叉振荡器，使振荡器的稳定度又提高了一个数量级，振荡器频率提高到 32,768Hz，走时精度达到了日差小于 0.5 秒的水平。目前又制成了振荡频率高达 4.2MHz 的石英表，年误差小于 3 秒。石英表振荡频率的进一步提高要受到手表整机功耗和制造集成电路的成本限制。

从图 1-4 可以清楚说明，表的精度主要取决于振荡器的稳定度。石英表的高度精确是靠石英晶体的稳定的物理性能和化学性能，以及通过合理选取不同切角取得良好的温度特性来保证的。同一类型振荡器的表，其精度主要取决于振荡器的频率的高低。因此，石英振荡器不但其频率的稳定度，而且固有频率都比机械表、游丝摆轮式、音叉式电子表高，所以获得走时精确这一特性。大家也许会想到在“原子钟”尚未问世之前，世界各地的天文钟、电台的标准钟都是石英谐振器控制的电子钟。因此，石英钟的“高精度”在手表上的实现是手表工业史上的创举！

二、石英电子表的使用寿命

指针式石英表外观件、轮系等机械零件与机械表相类似。在指针式石英表中最易磨损的是马达转子的轴尖，机械表中是摆轮的摆轴尖，由它们的磨损快慢，决定着其使用寿命。它们有如下几点差异：其一，马达转子的直径为 1.5mm，摆轮的直径为 10mm 左右，而且厚度、材料密度均比转子大，因此，转子转动惯量充其量不过是摆轮的几十分之一；其二，国产统机快摆表的摆轮摆动频率为 3Hz，而转子为 $\frac{1}{2}$ Hz；其三，摆轮因自身重量，表机处于不同方位，就易对处于某一方位的轴尖

部分造成磨损,而马达转子是永磁材料,定子是导磁效率极高的软磁材料,磁力的作用使转子始终处于某一平衡位置,因而轴尖的端部不受磨损、而轴颈的磨损也是均匀的。鉴于上述三个原因,马达轴的磨损肯定比摆轴的磨损小,故而使用寿命长。因为 CMOS 电路是电压控制器件的 MOS 晶体管组成(详细下章叙述),功耗极微,因此,CMOS 集成电路在表机内可以长期可靠工作。目前国内组装和生产的指针式石英表投放市场,其返修率只是机械表的十分之一。更换电池很方便,男表的电池使用寿命已达五年以上。

数字式石英表的机芯几乎都是电子元器件。一般的数字式石英表属于经济表,最适用于青年学生,表壳均为半钢和没有严格的防水措施。因此,使用者若不懂得 CMOS 电路怕受潮、怕汗水浸入的道理(具体理由在下章详述),就不注意防水,结果导致潮气、汗水浸入,轻则电流增大,重则 CMOS 石英振荡器停振,使表不工作。因此,不懂得使用和保养常识是造成数字式石英表故障的重要原因。

数字式石英表中的元件,以液晶显示器的寿命为最短,一般为 5 年。但是,损坏后使用者自己可进行单独调换液晶显示器。目前,国际上已研制了寿命长达 15 年的液晶显示器。只要自己使用、保养得当,其寿命肯定比经济机械表长,是一种经济实惠的计时工具。

第二章 石英电子表的主要元器件

§ 2-1 石英谐振器

石英谐振器,由人造或天然的石英材料制成,是石英电子表的“心脏”。

一、石英谐振器的种类和构造

石英谐振器按构成它的石英晶体片的形状大致可分为三大类:棒状、音叉型,圆薄片型。

棒状石英谐振器使用于早期的石英电子表上,随着石英电子表向小型化、薄型化方向发展而逐渐被体积更小、品质因素更高、性能更可靠的音叉型石英谐振器所取代。目前国际上石英谐振器的主流是音叉型。

圆薄片型用于近期出现的 4.2MHz 石英谐振器上。由于频率高,而且采用的是 AT 切割,因此其谐振频率的精度很高。但随着频率的提高 CMOS 集成电路的功耗和制造成本都要提高,因此目前使用还不普遍。

石英谐振器按其工作频率分又可分为: 16,384Hz, 32,768Hz, 4,194,304Hz 三大类。

16,384Hz 为早期棒状石英谐振器,目前在石英电子表上已不采用; 32,768Hz 为当今石英电子表的主流。

石英谐振器一般都由壳体、石英晶体片、带有电极引出脚的底座三大部分组成。图 2-1 为一音叉型石英谐振器的构造图。

石英音叉形同常见的金属音叉。金属音叉欲使其振动，只要用一物体对其叉臂进行冲击，但要维持其振动就必须不断地对其进行冲击以补充振动过程中损失的能量。而石英谐振器中的石英音叉在石英电子表中能不停地振动的原理是什么呢？这不但是人们所关心的问题，也是石英电子表在使用和维修中必须掌握的。

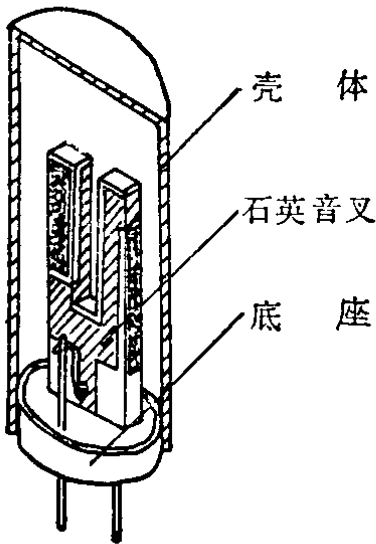


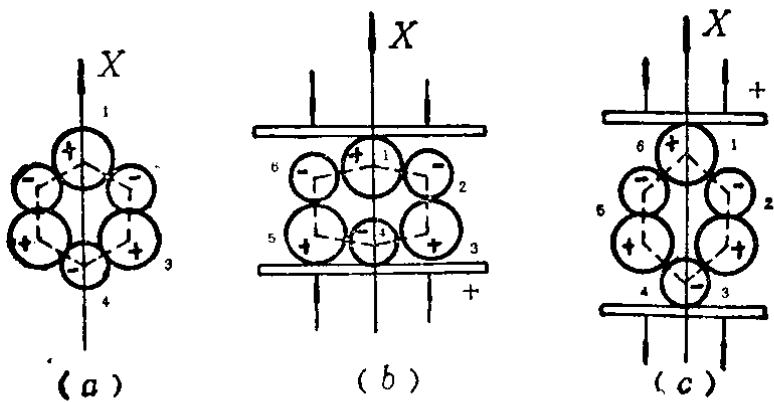
图 2-1 音叉型石英谐振器的构造

二、石英谐振器的振动原理

1. 石英晶体的正、逆压电效应

石英是一种二氧化硅的单晶体。石英晶体的分子结构如图2-2(a)所示，在没有受到外界机械力或电场的作用时，电性能是中性的，是一种良好的绝缘体。

如图2-2(b)所示，若沿X方向施以机械力压缩石英晶体片，由于分子结构的变化(原子相对位置的变化)，就会在晶体



⊕ 硅(Si)原子 ⊖ 氧(O)原子

图 2-2 石英晶体的分子结构及受力变化图