

石英电子手表



H714.9
1

黑龙江科学技术出版社

内 容 简 介

本书系统地叙述了电子手表的种类及其发展进程,介绍了石英电子手表的工作原理、结构、安装、测试和故障排除等方面的基本知识。对电子手表的主要组成部份,如:电池、谐振器、CMOS集成电路、步进电机、液晶显示屏幕等,也作了比较详细的介绍。是一本供工程技术人员、制表工人、修表工人、有关院校学生和广大电子手表爱好者阅读的很好的参考书。

石 英 电 子 手 表

王春林 沈工 黄恒林 编著

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区分部街28号)

依安印刷厂印刷 黑龙江省新华书店发行

开本787×1092毫米1/32·印张414/16·字数86,000

1981年7月第1版 1981年7月第1次印刷

印数1—20,000册

书号: 15217·017

定价: 0.50元

前 言

近年来，电子手表以它具有的走时准确、型式新颖、功能齐全、结构简单、价格低廉等优点，迅速发展并日臻完善起来，改变了机械手表独占市场的局面。石英电子手表在振动系统、转换机构、显示器件、以及能源等方面都与机械手表截然不同。目前，全面而系统地介绍电子手表的书刊资料尚不多见，为了满足读者的需要和适应电子手表的迅速发展，我们编写了这本书。

本书力求编写得较为通俗易懂，深入浅出，原理与实用兼顾，使本书的适应面更广些。但由于电子手表还比较年轻，有关资料和经验还很不完善，再加上时间仓促，书中的错误和不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 著 者

一九八一年四月

于哈尔滨工业大学

目 录

一、电子手表概况·····	(1)
1. 摆轮游丝电子手表·····	(3)
2. 音叉电子手表·····	(6)
3. 指针式和数字式石英电子手表·····	(9)
二、手表电池·····	(19)
(一)化学电源的基本概念·····	(19)
(二)手表电池的种类和特性·····	(20)
(三)手表太阳能电池·····	(24)
(四)手表电池的使用·····	(26)
三、指针式石英电子手表·····	(28)
(一)指针式石英电子手表的工作原理·····	(28)
(二)石英振荡器·····	(29)
1. 石英晶体的结构和压电特性·····	(29)
2. 石英晶体的切型及振动模式·····	(32)
3. 石英谐振器特性·····	(35)
4. 手表晶体的封装、电极分布及 手表晶体的发展现状·····	(41)
5. CMOS 晶体振荡器·····	(46)
(三)CMOS 手表集成电路·····	(51)
1. 小体积的集成电路·····	(51)

2.低功耗的CMOS电路·····	(52)
3.CMOS手表集成电路·····	(59)
4.手表电路与印刷电路板·····	(69)
(四)手表用步进电动机·····	(72)
1.电磁学基本知识·····	(72)
2.电子手表用步进电动机工作原理·····	(78)
(五)指针式石英电子手表的 整机结构分析·····	(85)
1.指针式石英电子手表的种类 及使用调整·····	(85)
2.指针式石英电子手表 工作过程分析·····	(86)
(六)指针式石英电子手表的装配·····	(89)
1.指针式石英电子手表的结构·····	(89)
2.指针式石英电子手表的装配·····	(93)
(七)指针式石英电子手表的检测与维修·····	(97)
1.日差过大的检修方法·····	(97)
2.表停的检测维修方法·····	(102)
四、数字式液晶显示石英电子手表·····	(108)
(一)工作原理·····	(108)
1.计数器·····	(110)
2.七段译码器·····	(115)
3.液晶与数字显示屏·····	(119)
4.驱动器·····	(127)
5.升压电器·····	(127)

(二)结构与装拆.....(129)

1. CITIZEN 9060 型电子表
的功能及使用.....(130)

2. 结 构(133)

3. 装 拆(135)

(三)测试检查与故障排除.....(138)

1. 走时不准确的检调方法.....(140)

2. 表停和表盘不显示时的检测
与故障排除.....(142)

3. 不全显示的检测与故障排除.....(145)

4. 附加机构功能不全时的检测
与故障排除.....(146)

5. 消耗电流的测量.....(148)

附录：石英电子手表常用的英文字.....(151)

一、电子手表概况

所谓电子手表，是指利用微型电池和电子线路走时的手表。而“石英电子手表”，是指表中有石英晶体的手表。石英晶体的作用，是与电子线路一起组成精度很高的石英振荡器，产生作为时间基准的标准振荡波形。

电子手表共有四代：

第一代：摆轮游丝电子手表，简称摆轮式电子手表；

第二代：音叉电子手表；

第三代：指针式石英电子手表，又称模拟式石英电子手表；

第四代：数字式石英电子手表，包括发光二极管显示型（简称LED）和液晶显示型（简称LCD）。

第三代电子手表和第四代电子手表亦统称“石英电子手表”。

这几代电子手表是怎样发展起来的呢？

我们现在使用的机械手表，已经有几百年的历史了。经过人们长期的努力，机械手表无论从走时精度上，使用功能上，外观造型上，以及理论研究上，可以说都达到了相当完美的程度。例如，现在使用的种类繁多的男表、女表、潜水表、航空表、闹表、盲人表、怀表、秒表等，可以实现自动、防水、防磁、防震、闹时、测时等各项功能，还有二针、短三针、长三针，全钢、半钢，超小型、超薄型等各种

类型。由于高频手表的发展，零件加工精度的提高和走时精度的改进，使机械手表更加完善了。但是，要使机械手表在走时精度方面再进一步提高是相当困难的。现在它的精度一般在 1.7×10^{-4} 左右（即，日误差 ± 15 秒左右），最高不会超过 5.8×10^{-5} （即，日误差 ± 5 秒左右）。

随着电子技术的发展，人们开始寻找制造高精度电子手表的方法。晶体管的超小型化和集成电路的出现，特别是 CMOS 集成电路的研制成功，使这种想法变成了现实。1955 年，瑞士埃勃什公司首先制成第一代电子手表，即摆轮游丝电子手表。1955 年初，美国布洛瓦公司第一次研制成功音叉电子手表，这是电子手表的第二代。接着，1967 年，瑞士电子计时中心（CEH）和日本精工舍公司分别发表了指针式石英电子手表样机，因为它的指示机构模拟了机械手表的指针，所以又常称为模拟式石英电子表。1969 年日本精工舍公司首先在市场上出售这种手表，从而开辟了石英电子手表的新时代。随后，打破必须用指针显示时间的概念，出现了用数字显示时间的全电子手表，即数字式石英电子手表。这种表是由美国哈密尔顿公司于 1972 年首先研制成功的，它的显示器件是发光二极管（LED）。同年，美国和日本又同时制成了液晶显示（LCD）的数字石英手表。近些年来，石英电子手表得到了极为迅速的发展。而摆轮游丝电子手表和音叉电子手表，由于存在着走时精度不高等本身所固有的缺点，只在短期内进行了生产和销售，很快便被石英电子手表取代了。

1、摆轮游丝电子手表

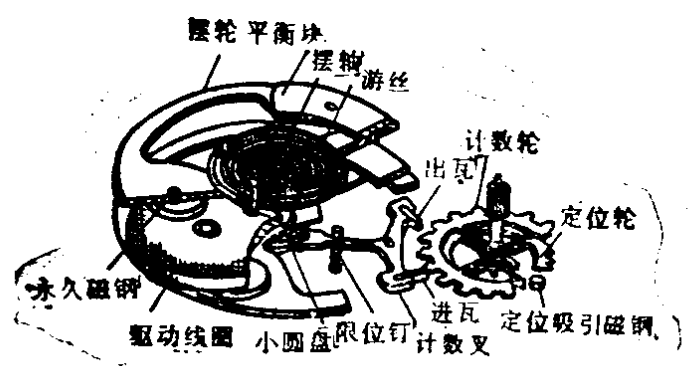


图 1 摆轮及计数机构

这种手表,作为时间基准的仍然是摆轮游丝振动系统,但它不象机械手表那样,将发条作为能源,而用电池代替发条,并且将能量直接传递给摆轮游丝振动系统。这样,即维持了摆轮的不衰减振动,同时摆轮又通过计数叉和计数轮将能量传给齿轮系统和指针系统,使指针指示时间。由于摆轮游丝振动系统的周期是一定的,再按一定传动比通过齿轮传给指针,就使指针按时、分、秒分别指示时间。这种手表能量传递的方向和机械手表是相反的。

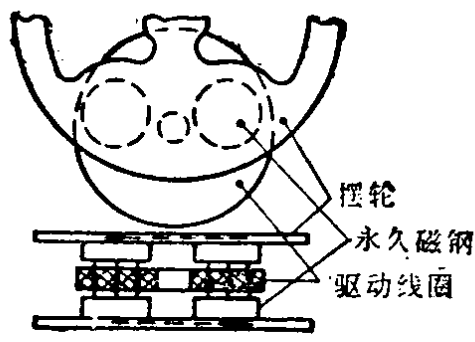


图 2 摆轮磁路及驱动线圈

由图可见,摆轮由两个轮片组成,每片上有两块相对配置的小型钐钴合金磁钢,这四块磁钢与轮片组成紧密的磁路(见图2),在两轮片中间放置了感应线圈和驱动线圈,这两个线圈绕在一起并固定在夹板上,线圈和磁钢之间有一定的间隙,从而保证摆轮可以不受阻碍地自由运动。

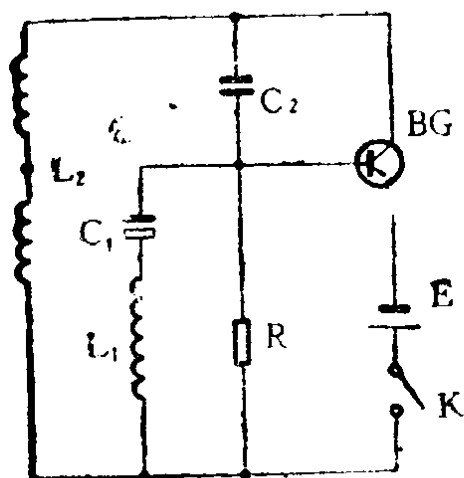


图 3 摆轮式电子手表的电子回路

从图 3 的电子回路可以看出，感应线圈 L_1 连接在晶体管的基极回路中，驱动线圈 L_2 连接在集电极回路中，晶体管平时偏置于截止状态。当摆轮和永久磁铁通过平衡位置时，感应线圈由于切割了磁力线，从而产生了感应电动势。此电动势作用在基极上并使晶体管导通，于是在集电极回路中产

生了脉冲电流，使驱动线圈瞬间建立了磁场，此磁场的方向设计得与永久磁铁的相互作用力沿着摆轮运动的方向，给摆轮游丝振动系统补充能量，这样每个周期可以补充一次能量，维持摆轮继续振动。

摆轮在接上电源后，不经外力作用可以自动起振。当电流接通瞬间，电源通过基极回路向电容 C_1 充电。由电容充电特性可知，刚开始充电时电流最大，即基极回路瞬时流过较大电流，使三极管导通，在集电极回路中放大了的电流使线圈 L_2 产生磁场，使摆轮转过一定的角度，摆轮上的磁钢使感应线圈产生一定的感应电势，此电势被晶体管放大。由于游丝弹力的作用，摆轮往回转，并重复上述过程，使摆幅不断增加，直到工作振幅。

电容 C_2 的作用是消除电路中的高频寄生振荡。因为 L_1 、 L_2 两个线圈是同轴并绕，耦合很紧，容易形成正反馈，产生寄生振荡，造成电路消耗电流增加和走时精度下降。电容

C₁ 跨接在集电极和基极之间，形成负反馈，能起到消除这种寄生振荡的作用。

摆轮的振动是通过计数叉和计数轮齿的相互作用传给齿轮系统的。它们的作用过程是：首先轮齿前棱 1 在叉瓦出瓦面上滑动（图 4（a）），当这个滑动过程结束时，计数叉瓦面后棱又沿计数轮齿面滑动（图 4（b）），当叉瓦面和计数轮齿面脱离接触时，叉瓦被轮齿牵引住，这样计数轮就旋转半个齿距。进瓦和出瓦工作相似，一个周期计数轮旋转一个齿距。

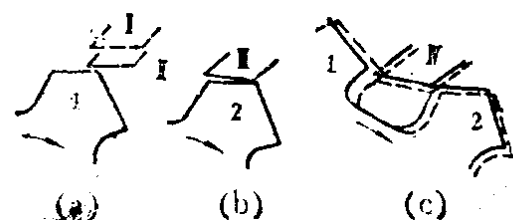


图 4 计数机构动作原理

为了防止摆轮在转过自由转角时，计数轮可能发生的轻微转动（从而会使指针抖动），在计数轮下面安装有定位轮（见图 1），定位轮下面有两块定位磁钢，这

两块磁钢可以使定位轮及计数轮在传递冲量结束时保持在一定位置。

计数轮轴齿带动减速传动轮系和指针等指示时间，这种手表的机械传动部分和机械手表相似，这里从略。

和机械手表相比，摆轮游丝电子手表的能源采用电池代替发条，电池电压平稳，只有在较长时间后电压才会下降，不象发条那样，每天都由紧到松，形成落差。手表发条力矩变化，是造成手表走时误差的主要原因之一，也就是所谓“等时差”。而电子手表却克服了机械手表的这种弊病，因此，这种电子手表走时精度比机械手表有所提高，可达到 1 分/周。

另外,这种手表一般节拍都选择“快摆”即 21600 次/小时以上,如 28800 或 36000 次/小时,更有助于提高它的走时精度。

虽然摆轮游丝电子手表比普通机械手表在走时精度上有所提高,但它毕竟没有摆脱振动频率较低,易受外界干扰的摆轮游丝振动系统弊病,加上结构没有简化,所以它没有得到很大发展。

2. 音叉电子手表

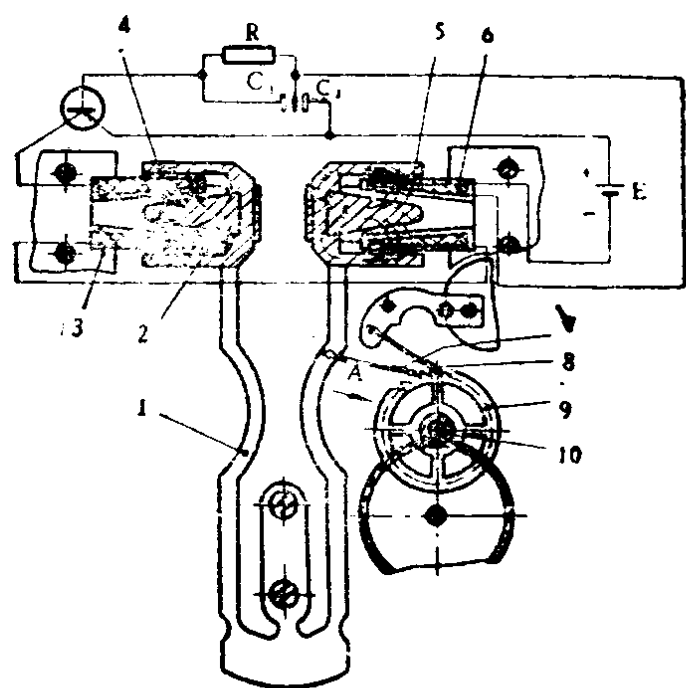


图 5 音叉电子手表原理图

以布洛瓦音叉电子手表为例,介绍一下音叉电子手表的工作原理。

音叉电子手表的核心是一个稳定度比较高,由金属音叉和电子线路组成的音叉振荡器。音叉 1 (图 5) 是由温度系数很小的材料(类似手表游丝的材料——镍铬钛合金)制成的,它的“品质因数”较高,一般可达 3000 以上。音叉振荡

的频率一般在 300~720 赫芝,比摆轮游丝振动系数的频率高得多,所以它不易受外界干扰和位置变动所造成的影响。

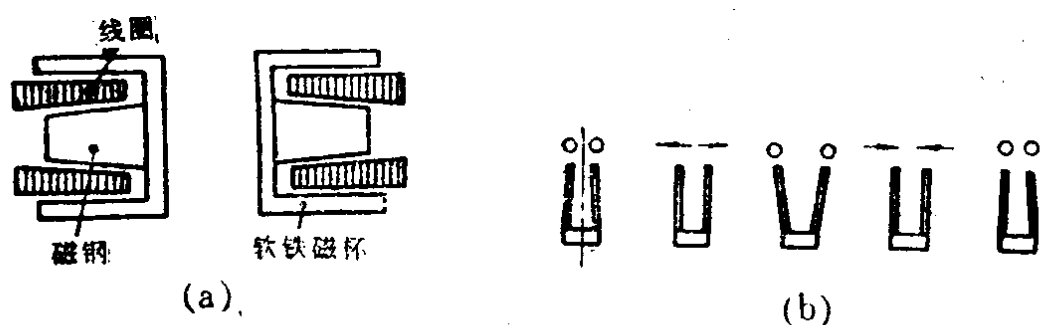


图 6 音叉及振动形式

图 6 表示了音叉的振动方式。音叉的根部是固定的,它的两臂是相对相向运动的,只要一个臂受到外力作用,它的两个臂就会同时产生运动。音叉的任意一个臂从平衡位置向外或向内运动的极限位置的距离叫做它的振幅。

音叉振动频率的大小与音叉材料的弹性模数 (E)、音叉臂长度和截面积有关。音叉材料的弹性模数大,厚度大,长度短时,音叉振动频率高;反之,音叉振动频率低。音叉振幅的大小对振动频率的稳定性有一定影响,所以要求振幅能保持恒定。

在音叉的两臂上分别固定着永久磁钢 2 和软磁材料做的磁杯 4 (见图 5), 4 和 2 组成封闭的磁路防止漏磁,在磁钢和磁杯的间隙中放置着线圈,这线圈包括感应线圈 5 (6000 圈),驱动线圈 3 和 6 (共 10000 圈),这两个线圈和它们的支架固定在夹板上,并且不妨碍磁钢磁杯随音叉臂振动 (见图 6a)。

从图 7 音叉振荡电路工作原理可以看出,感应线圈连接在晶体管的基极回路,驱动线圈连接在集电极回路中。当音叉振动时,由磁钢和磁杯组成的磁场也随之运动,于是使

感应线圈和驱动线圈都产生了感应电势，感应线圈中所产生的电势加在晶体管基极上，这是一个交变电压，但只有负向电压使晶体管导通。晶体管导通后在集电极回路中，产生经过放大的电流通过驱动线圈，使驱动线圈产生一定的磁场，可以设计使此磁场与磁钢相互作用力顺着音叉运动的方向，从而使音叉的振动得到能量，维持它的振动不衰减。

在感应线圈中产生感应电动势的同时，驱动线圈中也产生了感应电动势，这个电势恰好和在驱动线圈中

产生的驱动电压的方向相反，它起到了稳定音叉振幅的作用。道理是这样：假如由于某种外界冲击使音叉振幅增大，那么感应线圈将产生较大的感应电势并产生较大的驱动电压，但此时在驱动线圈中产生的感应电势也较大，它所抵消的驱动电压也大，从而使驱动电压减小并使之保持较恒定的数值，结果使音叉振幅保持稳定。相反，由于某种原因使音叉振幅下降时，其自动调整过程与上述正好相反。

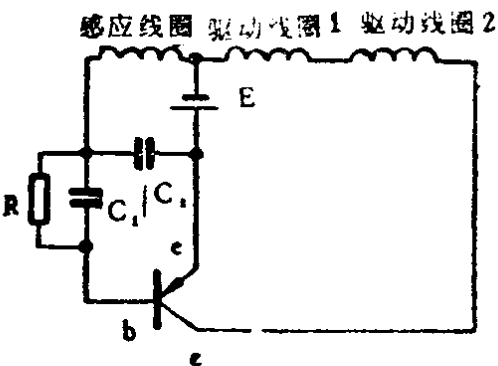


图 7 音叉振荡器电路原理

势并产生较大的驱动电压，但此时在驱动线圈中产生的感应电势也较大，它所抵消的驱动电压也大，从而使驱动电压减小并使之保持较恒定的数值，结果使音叉振幅保持稳定。相反，由于某种原因使音叉振幅下降时，其自动调整过程与上述正好相反。

为了使音叉的振动转变为指针的转动，必须通过一套转换机构和齿轮系统来实现。图 5 中，7 是驱动棘爪，8 是止动棘爪，9 是棘轮，7 是固定在音叉臂上的一个金属杆，头部固定一块宝石，它随着音叉作同频率的振动，每振动一次就推动棘轮转过一个齿。带有宝石的止动杆 8 是固定的，它

施一定的压力在棘轮上，防止棘轮随意转动及反转。棘轮是一个带有300个齿、直径为2.4mm的小轮片。

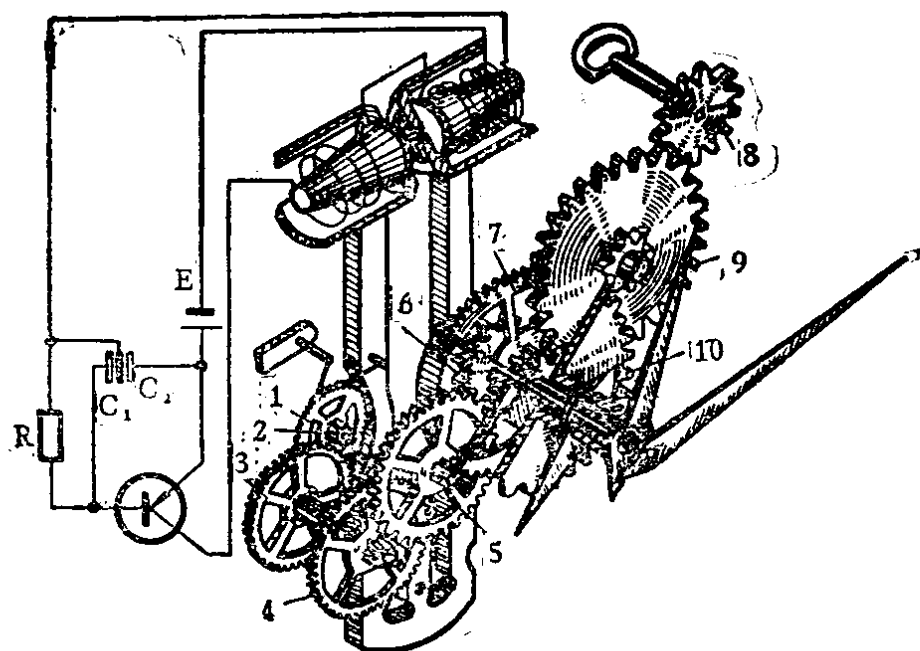


图 8 音叉电子手表的传动系统

图 8 着重划出了音叉电子手表的齿轮传动机构。它的作用是将音叉的振动按一定的传动比传给指针机构以指示时、分、秒，图中还示出了拨针机构。

音叉电子手表的走时精度，比机械手表和摆轮游丝电子手表高一些，一般可保持日差在 ± 5 秒以内，最高可达 ± 2 秒左右。但是，由于音叉的振动频率受到本身和棘轮齿数的限制，不能做得太高，因而它的走时精度也不会太高，并且音叉表结构复杂，防震性能不够理想，有一定的位置误差和嗡嗡声，所以目前这种表已被石英电子表所取代。

3. 指针式和数字式石英电子手表

下面两个图表示指针式（模拟式）和数字式石英表的基

本构成。

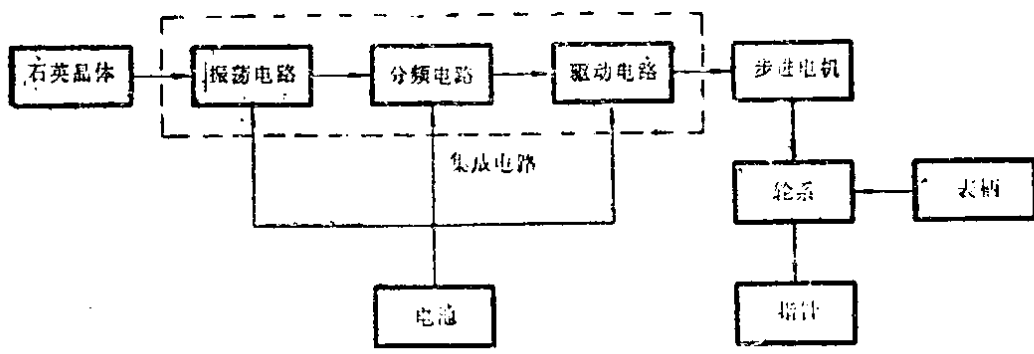


图9 指针式石英电子手表的基本构成

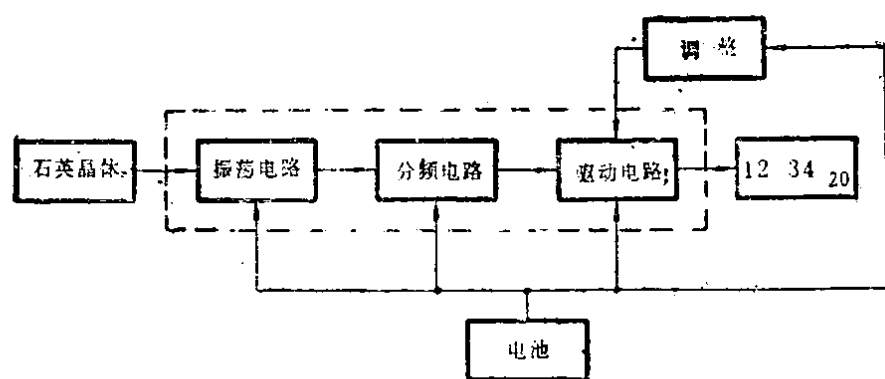


图10 数字式石英电子手表的基本构成

从图9和图10可以看出,指针式石英手表和数字式石英手表的基本构成有许多共同点,它们的能源都是电池,手表中常用的有氧化汞电池和氧化银电池,电池一般为1.55伏,容量100毫安小时,可以使表走1~2年。它们的时间基准都是石英振荡器,这种振荡器具有较高的频率稳定度,频率一般用32768赫芝(即 2^{15}),高精度手表有采用4.194304兆赫(2^{22})。为了从这个频率获得时间的基本单位——秒、分和小时,并加以显示,表内采用了中大规模互补型金

属氧化物半导体集成电路，即 CMOS 集成电路。在这一小块电路内，对第三代电子表要完成振荡、分频、驱动等功能，对第四代电子表除完成上述功能外，还要完成显示器件所需要的译码、调整等功能。

这两种手表最大差异，在于时间显示的方式不同。指针式石英表是用指针指示时间，为了把电的信号转变为指针的转动，表中采用了作为换能器的微型步进马达和齿轮系统。而第四代表则采用数字显示，显示器件有两种，一种是发光二极管，另一种是液晶。为了控制时间的显示，在电路中设计有相应的控制电路。

比较这两种石英表，可以看出，它们各有不同的特点。

第三代电子表采用了传统的指针，手表的形体感强，符合多数人长期的使用习惯，所以至今仍然是人们很喜欢的产品。这种表中所用的集成电路是属于中规模的，相当于 300 多只普通晶体管的作用。手表中所用微型步进马达是一种单相步进电动机，它是一种小体积、高效率、结构简单、工作可靠的电动机，它的作用是把电能转换为机械能。这种石英表和机械表一样，可以加上日历和周历，形成自动双历表。它除了定期更换电池外，其余部分不需要特殊维修。

现在指针式石英表向名贵、薄型发展。最近瑞士做出了厚度只有 0.98 毫米的超薄型指针石英表，其中石英振子的尺寸只有 $0.62 \times 1.85 \times 5.30$ 毫米。

第四代电子表打破了用指针表示时间的传统形式，在结构中取消了机电换能器和齿轮系统，实现了全电子化。它的时间显示方式，已由发光二极管显示为主转变为以液晶显示。