

铷钟是如何工作的？

基本工作原理.....	1
高级专利物理结构.....	3
巧妙的电子结构.....	4

基本工作原理

铷钟本质上由锁定在 Rb87 同位素基态的高稳定原子跃迁的压控晶振 (VCXO) 构成。压控晶振的频率为传统标准频率 20MHz，而铷钟频率为微波范围 6.834...GHz。这两种频率通过频率综合和混频的稳相倍频设计达到准确匹配。铷原子被限制在一个高温气泡中，该气泡置于一个与晶振 VCXO 微波功率相耦合的微波谐振腔中。

光抽运过程

气泡中的 Rb87 原子在基态的两个超精细能级 (F = 1 和 F = 2) 具有相等的几率。为了检测这两个能级间的钟跃迁，必须采用某种方法，即通过一个更高能态 (P) 将原子光抽运于仅一个能级上。图 1 显示了原子能级和与光抽运过程有关的跃迁。

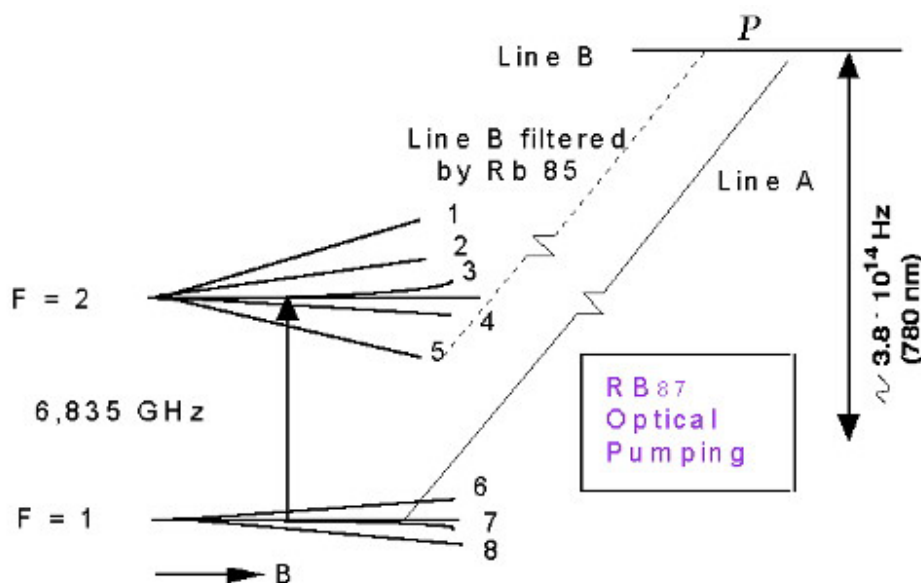


图 1 - 铷光抽运过程

Understanding How the Smart Rubidium Technology Works

抽运光来自铷谐振灯，该灯释放出与吸收泡相交的 Rb87 原子光，经过滤，只剩下与两种基态能级之一的跃迁 (线 A) 相对应的光频率，进入主要吸收区。

抽运光将在较低超精细能抽运光将在较低超精细能级($F = 1$)上的 Rb87 原子激励到暂时激发态 P 上，并以相等的几率跃迁到两个基态能级 ($F = 1, 2$)。由于 $F = 1$ 的原子连续被抽走，一段时间后，几乎所有原子被抽运到 $F = 2$ 能级上去，而不再进行吸收。

气泡后的光敏二极管检测所辐射的光强。当 $F = 2$ 到 $F = 1$ 钟跃迁的微波谐振场与作用区相耦合时，原子重新置于 $F = 1$ 上，则光吸收增强。气泡后辐射光强的吸收曲线可扫描检测谐振微波场。

信号反馈到综合检测器，其输出产生误差信号以校正晶振频率，使之倍乘的频率与最大原子谐振谱线吻合。

吸收泡中充满金属蒸汽 (包括 Rb85、Rb87 同位素) 和缓冲气。抽运光在入口，即一体化过滤泡进行过滤，被与 Rb87 谐振跃迁谱线之一 (线 B) 意外重合的 Rb85 原子所吸收。

缓冲气的基本功能是使铷原子不靠近泡壁，并限制其运动。因此实际上它们在与微波场的相互作用时间中被‘冷冻在某一位置’，从而多普勒效应显著消除，产生窄线宽。

气泡外绕有所谓的 C 场线圈，它产生一个小的轴向静磁场以分离超精细线的塞曼子跃迁，并选择具有最小磁灵敏度的钟跃迁。为了进一步减小磁灵敏度，整个物理部分置于嵌套的磁屏蔽中(如图 2 所示)。

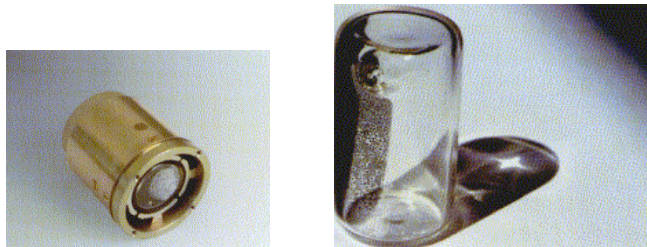


图 2 – 铷气泡和微波腔

原理框图: 3 个模块

图 3 示出铷原子钟不同功能块的典型概括。铷钟由三个基本单元组成，两个光单元 (包括铷吸收泡和微波腔) 构成原子谐振器，而电子部分由信号发生器和检测线路组成。

Understanding How the Smart Rubidium Technology Works

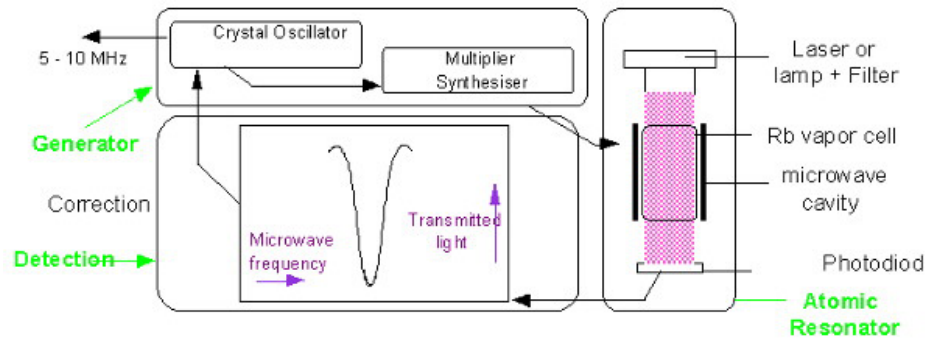


图 3 – 铷钟框图

高级专利物理结构

Temex Time 采用高级专利化的铷钟物理结构，将过滤技术集成于磁控管微波腔中(如图 4 所示)。这种独特的结构在不牺牲短期和长期稳定度性能的情况下，大大减小了物理部分的体积，使 Temex Time 以最高的性价比提供高性能瑞士品质的铷钟。

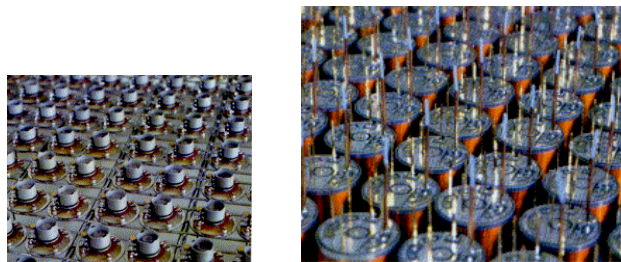


图 4 – 高级物理结构

物理部分的关键设计特性是低功耗、尺寸小、重量轻，同时环境灵敏性低，机械结构稳定。

整个物理部分合成于一个围绕有磁屏蔽的铝管内。管内灯和气泡构成两个独立的区分别工作于所规定的不同温度下，并由玻璃窗相隔以大大降低它们与管壳间的热流，从而得到功耗低、预热时间短、环境灵敏性最小的小型化设计。

其它有利于小型化的设计特点在于使用了：

- 集成化过滤技术 (IFT)
- 磁控管型微波谐振腔

Understanding How the Smart Rubidium Technology Works

集成化过滤技术是将光学过滤和抽运合在同一泡中进行。由于结构简单，元件数目减少，故有利于提高可靠性。泡的热电容相对低，预热所需功率也大大降低。

磁控管谐振器是同轴电容 - 电感结构的圆柱型负载腔（环形金属电极），因此腔尺寸减小，微波场集中于气泡的合适区域内。

铷灯为无极射频放电灯 - 一个充满铷和起辉气的绕有射频线圈的加热的玻璃泡。

虽然原子钟跃迁频率本质上非常稳定，但受到一些 2 阶因素的影响，如温度（缓冲气），光强（光偏移 = 光斯达克效应）及磁场（2 阶塞曼效应），因此灯和气泡的温度，灯振荡器功率和 C 场线圈电流都必须严格稳定。

巧妙的电子结构

铷钟巧妙的数控电路基于微计算机技术，它集成了所需传感器，EEPROM 存储器和模拟通讯接口(见图 5)。这种结构可提供有效的全自动调节，极大缩短了测试时间，为简单化，自动化和全面可追踪生产提供了有效、经济的解决方法。

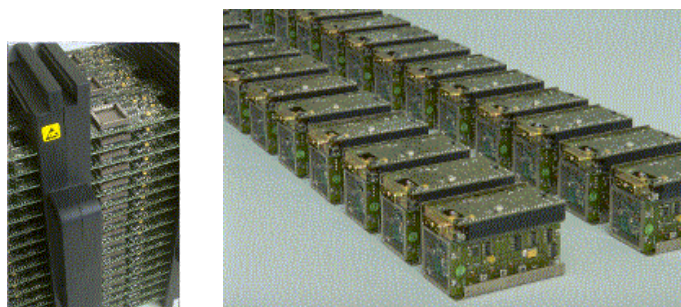


图 5 – 巧妙的电子结构

铷谐振器的钟跃迁是在 6.834GHz 上的微波跃迁。微波谐振的发生反映在光信号中的吸收曲线上，即被光敏二极管检测的通过气室的铷灯光。

电子部分的基本目的是使来自石英晶振的微波频率与吸收曲线同步，它可以通过调谐微波频率使光吸收最大。

Understanding How the Smart Rubidium Technology Works

物理部分内的 C 场线圈产生分离铷谱线所需的磁场，因而通过偏移 2 阶塞曼效应引起的铷超精细跃迁频率精细调节 10MHz 的输出频率。

用户接口由 RS-232 接口组成，以监控内部参数，调节中心频率。改变环路综合器参数可粗略调节频率，而精调可通过数模转换器改变 C 场来实现。

用户可以通过外部电位计或外部数模转换器进行中心频率调节，得到模拟频率控制输入。其正确操作可由单开收集型输出信号即所谓的‘锁监控器’ (OOL)检查。

图 6 示出该数控电子线路的模块框图。

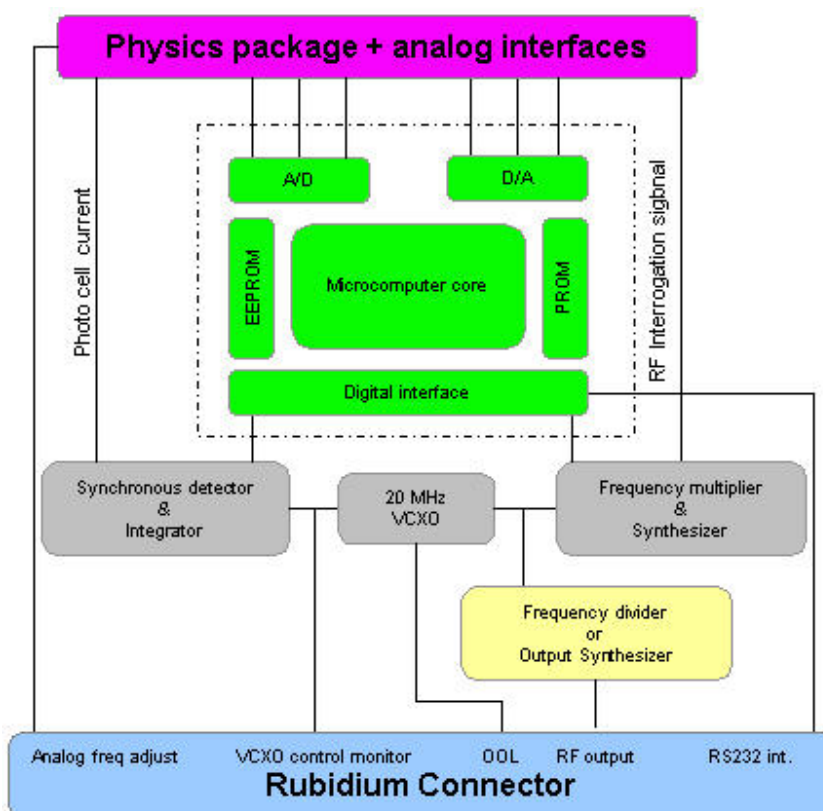


图 6 – 数字电路框图

Temex Time 的技术领先地位使公司能率先在同行业中引入巧妙，经济的铷物理结构，其中的复杂参数，如灯和气泡温度、光强、C 场和综合器等均可编程，在最终的自动化生产调试工业存储在 EEPROM 存储器中。