

高热稳定性法布里-珀罗标准具及其 帕尔贴精密温控解决方案

Fabry-Perot Etalon with High Thermal Stability and Its Peltier Precision Temperature Control Solution

摘要：法布里-珀罗标准具作为一种具有高温敏感性精密干涉分光器件，在具体应用中对热稳定性有很高的要求，如温度波动不能超过 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ，为此本文提出了相应的高精度恒温控制解决方案。解决方案具体针对温度控制精度和温度均匀性控制两方面的技术要求，采用了TEC热电技术及其相应的高精度加热制冷恒温装置，采用了多个TEC热电片圆周分布结构以保证温度均匀性。此解决方案在实现高热稳定性的同时，还可以进行推广和拓展应用。

1. 问题的提出

法布里-珀罗标准具 (Fabry-Pérot Etalon) 是一种应用广泛的高分辨干涉分光仪器，可用于高分辨光谱学和研究波长靠近的谱线，诸如元素的同位素光谱、光谱的超精细结构、光散射时微小的频移、原子移动引起的谱线多普勒位移和谱线内部的结构形状；也可用作高分辨光学滤波器、构造精密波长计，在激光系统中它经常用于腔内压窄谱线或使激光系统单模运行；可作为宽带皮秒激光器中带宽控制以及调谐器件，分析、检测激光中的光谱（纵模、横模）成分。

F-P标准具是一种基于多光束干涉原理的光学元件，其主体由镀有对应部分反射膜或高反膜的两个平行表面构成，结构上可分为固体单腔标准具，固体多腔标准具，空气隙标准具，密封腔标准具等。

F-P标准具是一种对温度非常敏感的光学器件，温度的微小变化都会引起波长的漂移，因此在实际应用中，大多都要求标准具需有较高的热稳定性，如工作温度波动不能大于 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ，这就对标准具的温度均匀性和稳定性提出了很高要求。

为了实现F-P标准具的高热稳定性，本文提出了相应的解决方案，解决方案的重点是解决温度的均匀性和温度控制的稳定性问题。

2. 解决方案

解决方案的基本思路是将圆片形式法布里-珀罗标准具装配在一个具有前后光学窗口的恒温装置内，前后光学窗口与标准具为同轴形式构成光路，恒温装置要实现的具体指标如下：

- (1) 温度控制在比室温高 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，如 30°C 。
- (2) 标准具上的温度波动性优于 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 标准具上的温度均匀性也要优于 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 。

为了实现略高于室温且波动性小于 ± 0.01 的标准具温度控制，解决方案采用了半导体制冷片（即TEC帕尔贴片）作为加热和制冷源，利用TEC片即可加热又可制冷的帕尔贴效应，可将温度精确控制在室温附近的温度范围内。由半导体制冷片组成的加热制冷控制装置如图1所示。

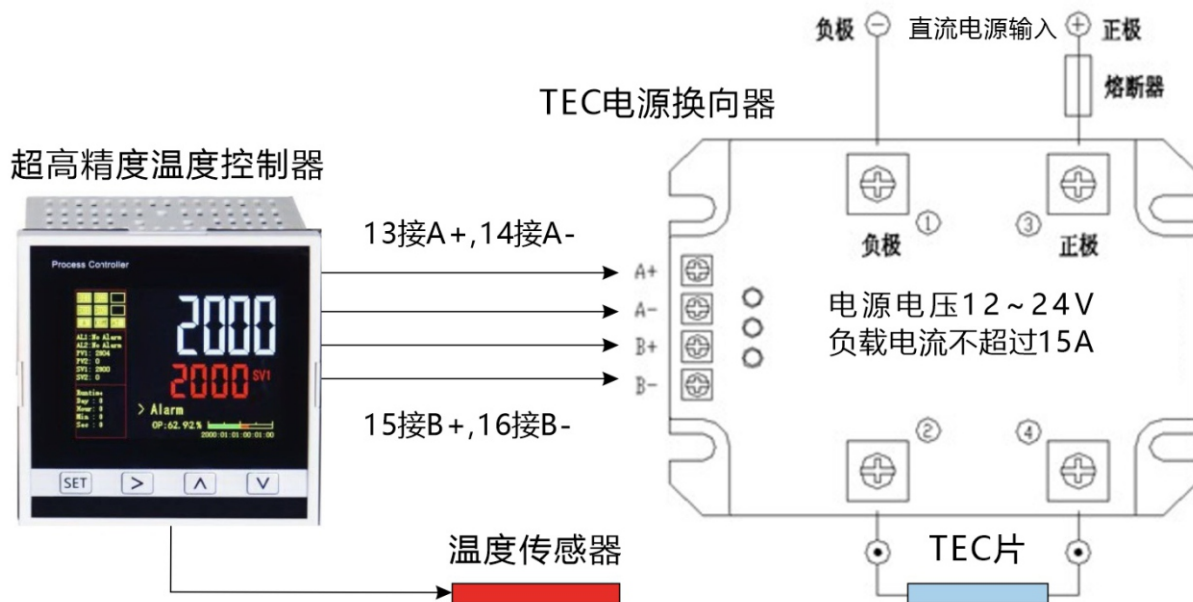


图1 TEC半导体冷热温度控制装置结构示意图

如图1所示，标准具精密温控装置主要由TEC片、温度传感器、TEC电源换向器和超高精度温度控制器组成，它们的功能和相应指标如下：

- (1) TEC片尺寸可根据标准具温控装置的结构设计进行选择。为了增大加热制冷功率以及使得标准具温度均匀，可采用多个TEC片的并联结构。
- (2) 温度传感器采用具有高精度的铂电阻和热敏电阻，温度测量精度要高于 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) TEC电源换向器是TEC温控必备部件，可接收控制信号对加热电流方向进行自动换向而分别进行加热和制冷，由此来实现温度的高精度恒定控制。

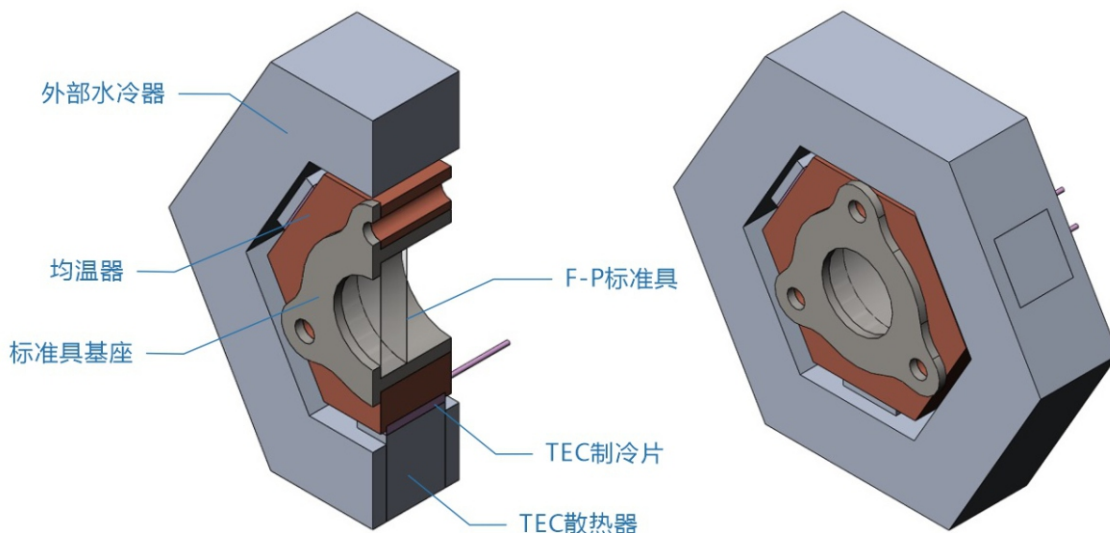


图2 高热稳定性F-P标准具TEC热电半导体恒温装置结构示意图

(4) 超高精度温度控制器是一种具有目前最高测量和控制精度的工业用PID调节器，具有24位AD、16位DA和0.01%的最小输出百分比。调节器接收温度传感器信号，将此信号与设定温度值比较后按照PID算法计算，然后输出控制信号来驱动TEC电源换向器进行加热和冷却操作。此超高精度温度控制器自带功能强大的计算机软件，无需再编写任何程序即可与计算机构成完整的温控系统，实现温度的程序控制设定、远超操作、过程曲线显示和存储。

为了使标准具具有高热稳定性，除了需要精确恒定的对温度进行控制之外，还需解决的另外一个问题就是如何使标准具温度均匀。为此，本解决方案所设计的标准具加热装置如图2所示。

图2所示意的F-P标准具TEC热电半导体恒温装置，主要由F-P标准具、标准具基座、均热器、TEC制冷片、TEC散热器和外部水冷器组成。此恒温装置设计为圆形结构以形成均匀的温度分布，其中标准具安装固定在圆筒型标准具基座内，高导热纯铜材质的均热器为标准具基座提供均匀温度，而三个圆周三角形分布且并联连接的TEC制冷片为均热器提供加热和制冷，使均热器温度按照设定温度进行精密控制。TEC热电片的散热则通过高导热铝块散热器与外部水冷器形成热连接，为TEC热电片提供稳定的冷却功率，这也是实现TEC热电片高精度温度控制的关键。

另外需要说明的是，在均热器上同样均匀布置了三个温度传感器（图2中并未示出），其中一个作为控制传感器，另外两个作为测温传感器以监视温度均匀性。

这里还需补充的是，图2所示结构仅是为了方便说明标准具恒温装置的基本原理和功能，相关的热膨胀匹配和隔热装置等内容并未示出。

3. 总结

综上所述，本文所示的解决方案从温度控制精度和均匀性两个方面很好的解决了F-P标准具的热稳定性问题，采用TEC热电技术所设计的标准具恒温装置可将温度精确控制在 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 的波动范围内，对称结构设计使得标准具同时还具有很好的温度均匀性以及长期稳定性。

此解决方案可以推广应用到其它与F-P标准具相关的仪器设备中，而且还具有一定的拓展功能，解决方案的结构设计在实现高热稳定性的同时，也为精密气压控制奠定了技术基础，为了标准具的应用可提供更稳定的使用环境。