

电化学热电池性能测试中的TEC半导体 制冷片温度控制解决方案

Temperature Control Solution of TEC Semiconductor Cooler In Electrochemical Thermocells Performance Test

摘要：电化学热电池 (electrochemical thermocells) 作为用于低品质热源的热电转换技术，是目前可穿戴电子产品的研究热点之一，使用中要求具有一定的温差环境。电化学热电池相应的性能测试就对温度和温差形成提出很高要求，特别是要求温度控制仪器具有高控制精度、可编程控制、周期交变控制、通讯和随机软件功能。本文介绍了新型超高精度具有多功能的PID控制仪，并详细描述了电化学热电池特性测试中的温度控制系统结构。

1. 问题的提出

温差发电在固体材料与半导体材料的发展上均比较成熟，而近年出现了一种新型的电化学热电池 (electrochemical thermocells) 拥有更高的塞贝克系数，同时成本较低、能够适应复杂热源表面，因而具有一定的应用前景，成为当前研究的热点方向之一。如图1所示，这种电化学热电池的基本原理是利用电化学体系中的赛贝克效应，将冷热电极之间的温差直接转化为电势差而产生发电效果，因此温差环境是使用和测试评价电化学电池的必要条件。

电化学热电池中的电解质、材料和电极受温度的影响，以及整个热电池的相关性能测试评价，对测试过程中的温差形成有十分复杂的要求，具体内容如下：

(1) 热电池的两个冷热端电极要处于不同温度以形成温差，两个电极温度要具有一定的变化范围以便在不同电极温度和不同温差条件下测试评价热电池的各种性能。

(2) 对于冷端温度，可采用TEC半导体制冷片进行调节和控制，但热端温度普遍较高，采用制冷片无法实现高温加热，需采用电阻等加热。

(3) 在热电池性能测试过程中，需要在冷热电极处实现台阶式或周期交变式可编程温度变化。这样一方面是能够测试不同电极温度和不同温差下的热电池性能，得到热电池最佳工作状态时的温度和温差条件，另一方面是测试考核热电池的疲劳衰减特性。

(4) 新型的电化学热电池往往很薄，如各种可穿戴电子产品用热电池。在实际应用中，这类薄片或薄膜状热电池上形成的温差很小，这就要求热电池性能测量装置需要具备在冷热电极之间提供小温差的能力。

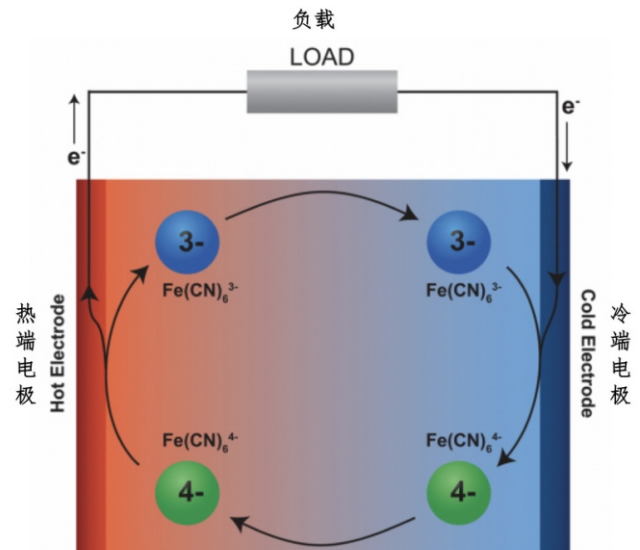


图3 电化学热电池基本原理图

根据上述要求可以看出，一旦电化学热电池形状确定，热电池性能测试装置的结构也基本确定，而测试装置中温度控制的关键是确定合理的加热方式和温控仪表。

对于加热形式，采用电阻加热和TEC半导体制冷片两种形式，可满足绝大多数电化学热电池在任意温度和温差范围内的测试需要，对于温度不高的测试，可仅使用TEC半导体制冷片进行温度控制。电阻加热用于热电极处的高温加热，温度范围为50~150℃以上。TEC半导体制冷片加热用于冷电极处的低温加热和冷却，温度范围为-10~60℃。

对于温控仪表，满足上述温度控制要求的控温仪表需具备以下功能：

- (1) 可对电阻加热和TEC半导体制冷片分别进行控制。
- (2) 可编程控制功能，可控制温度按照编程设定的温度折线进行变化。
- (3) 交变温度控制功能，可控制温度按照设定周期和幅度进行交替变化。
- (4) 带PID自整定功能，避免繁琐的人工调整PID参数，并可存储和调用多组PID参数。
- (5) 测量和控温精度高，特别是要满足薄膜热电池的温差控制，控温精度要达到0.01℃。
- (6) 带通讯功能可与上位机连接，由上位机进行设置、编程、控制运行、显示和存储。
- (7) 带计算机软件，无需编程，可通过计算机进行设置、编程、控制运行、显示和存储。

从上述功能要求中可以看出，电化学热电池性能测试中对温度和温差形成的要求很高，特别是要求温控仪表具有高控制精度、可编程控制、周期交变控制、通讯和随机软件功能，而这些很多都是目前电化学热电池性能测试用控温仪无法具备的功能。为此，本文介绍了新型超高精度具有多功能的PID控制仪，并详细描述了电化学热电池特性测试中的温度控制系统结构。

2. 解决方案

解决方案设计的温控系统典型结构如图2所示。

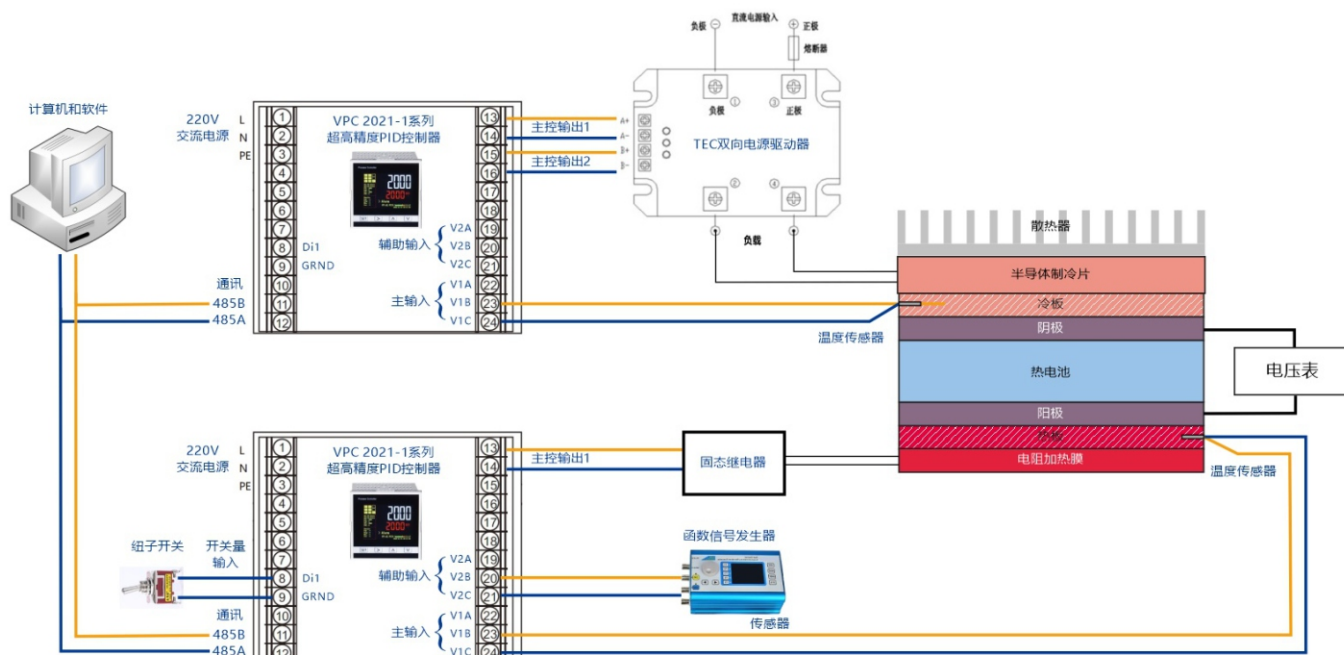


图2 电化学热电池性能测试温控系统结构示意图

图2所示的解决方案示意图包含了电化学热电池性能测量装置和温度控制系统两部分。其中的电化学热电池测量装置示出的是对块状、板状或薄膜状热电池的测试结构，电极分别贴服在热电池的顶部和底部，顶部的阴极电极处通过TEC半导体制冷片进行低温控制形成冷电极，底部的阳极电极处通过电阻加热方式（电热膜和电热块）进行高温控制形成热电极，由此在热电池上下两端形成所需温差。需要说明的是，解决方案在冷电极处选择TEC半导体制冷片的主要目的是为了实现在高精度温度控制，这在测试评价薄膜式可穿戴用热电池中实现高精度小温差时非常重要。在热电极处选择电阻加热方式主要是为了满足更高温度的大温差测试需要。

由于半导体制冷片和电阻加热是两种完全不同的发热制冷原理，它们的温度控制方式也完全不同，因此图2所示解决方案设计了两个独立的温控回路，两个温控回路采用的是相同的超高精度PID控制器VPC2021-1。选择使用VPC2021-1这种PID控制器，是出于多功能和超高精度的考虑，此控制器可以满足前面所述的对温度控制器的所有要求。

在TEC半导体制冷片温控回路中，使用了VPC2021双向控制功能，通过采集温度传感器信号与设定温度进行比较后，驱动双向电源对TEC制冷片进行加热或制冷控制，由此实现高精度的温度控制。

在电阻加热温控回路中，使用了VPC2021基本的温度控制功能，通过采集温度传感器信号与设定温度进行比较后，驱动固态继电器进行加热，由此实现高精度的温度控制。这里需要注意的是，如果要在电阻加热中实现较高精度的温度控制，除了采用高精度的温度传感器（如铂电阻或热敏电阻）之外，还需要与相应的冷源配合以减小热惯性，如在电阻发热体下面配备冷却装置以便能够形成快速散热。如果是测量薄膜热电池，则无需这些考虑，只需在电阻发热体下面增加绝热层即可，因为热电池和电阻加热膜厚度很小，热惯性自然也小，冷电极的低温可以对热电极进行快速散热，有利于热电极处的温度高精度控制。

为了实现热电池的温度交变试验，解决方案采用了VPC2021控制器的高级功能：远程设定点功能，即在辅助输入通道上接入外部信号发生器以生成各种周期性波形信号作为交变设定值，由此可控制热电极温度按照此设定波形进行周期性变化，从而形成交变温差。如图2所示，此远程设定点功能的选择可以通过一个外置开关进行选择，实现正常控温和交变控温之间的切换。

3. 总结

本文提出的解决方案，可以满足绝大多数电化学热电池性能测试中的温差环境控制需要，为测试评价热电池性能和优化使用条件提供了便利的试验和考核手段。

更重要的是高精度PID控制器配备了相应的计算机软件，采用了具有标准MODBUS通讯协议的RS485接口，与计算机一起可以组成独立的测控系统，通过计算机可方便的对PID控制器进行远程操控，设置控制器的各种参数，采集、存储和曲线形式显示PID控制器的过程参数，无需再进行任何编程即可进行测试试验，非常适应于实验室研究试验。

此解决方案的另外一个特点是具有很强的灵活性和拓展性，可通过外置不同传感器和信号发生器实现多种物理量和波形的准确控制，更可连接上位机直接与中央控制器进行集成，与整个设备形成很好的配套。