

液相色谱系统的加热和制冷

莱尔德热系统应用指南

简介

高效液相色谱（HPLC）是一种通过分离、鉴定和量化组成成分来分析液体混合物的技术。液相色谱法通常只需对少量材料进行操作，便可以测量混合物中待分析物的相对比例。高效液相色谱仪器设备广泛用于制药、食品科学和石油等行业的研发实验室或逆向工程等。

温度控制能够影响样本组分和吸附剂之间的相互作用，在液相色谱分离过程中起着重要作用。现代 HPLC 仪器利用热电帕尔贴（Peltier）效应来制冷或加热样本托盘和分离柱。莱尔德热系统（Laird Thermal Systems）的完整热管理系统能够优化液相色谱设备的性能。根据 HPLC 系统的热负荷能力要求，这些热管理系统可以是热电制冷器或与我们 SR-54 系列温度控制器组合使用的热电组件。



高效液相色谱法利用热电技术提供温度控制。

热设计挑战

HPLC 制造商需要考虑几个热管理设计挑战，其中包括紧凑的外形尺寸与所需的容量、效率、成本和可靠性。帕尔贴制冷系统的其他设计因素还包括升温速率、温度稳定性以及针对湿气侵入的系统可靠性，侵入的湿气会损坏制冷设备。

容量

尽管在高效液相色谱设备中热电技术可用于加热和制冷，但制冷更难实现。当热电制冷器

电源的方向反转时，热量传递的方向也反向，因此热量可从周围环境中吸收，并叠加到热电制冷器产生的电阻热中。这导致加热模式的效率是制冷模式下的数倍。

为了实现热电制冷器的最大性能，必须准确计算温差，以确定需要多少热量传递。热电制冷器组件通常具有最大热泵容量额定值，它会随着温差的增大而降低。该额定值类似于风机或泵的空气或流体流量，但只能在没有系统阻抗的情况下得到。

对于空气到空气热电制冷器，热端温度通常被定义为热量被送的空气温度，这意味着对于有公开性能曲线的标准热电制冷器组件而言，其泵热能力计算起来相对简单。然而，对于单独的热电装置，真实的热端温度并不明显，这取决于需要传输的热量以及热电制冷器热端与环境空气之间的热阻。正因如此，就性能而言，热电制冷器组件的唯一最关键部件是热端散热器。由于热电装置中产生的电阻热增大了热流量，因此热电装置传递的热量比通过冷端散热器传递的热量更多。散热器性能中 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 的差异对应于热泵容量大约 5% 的变化。

实际的热电制冷器本身应该是功率预算和散热器允许的最高额定值（就制冷能力而言）。设计者将无法选择使用比系统可用电流更大的热电制冷器，但散热器往往是热电制冷器功率的真正限制因素。更强大的热电制冷器会向散热器传输更多热量，从而导致热端散热器温度更高。在较低功率下，与额定值较低的热电制冷器相比，散热器温度上升可能不足以使额定值较高的热电制冷器泵送更少热量。然而，随着功率增加，散热器温度的升高会使热电制冷器温差变大，从而降低其泵送能力。经验法则是，散热器设计越好，这种转变发生的几率越小，设计师可以从系统中实现更大的制冷能力。

气流

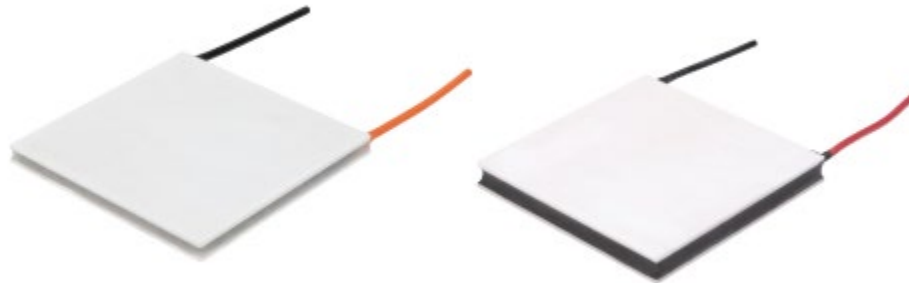
由于空间通常是一个主要限制因素，因此必须考虑进入和排出空气的路径。对于散热器制冷，通常建议使用冲击气流，用风扇将空气直接吹到垂直于散热器底板的地方。但是，这需要多个气流路径，而这些路径在具有严格几何空间限制的应用中并不现实。另一种选择是沿着与散热器底座平行的散热片方向吹动空气，但由于在低速时具有小湍流的连续层流，导致较低的性能。第三种可能性是在空气冲击时使气流垂直于基板，使鼓风机

（airmover）将空气从底座中抽出。这种情况不像空气直接流入底座那样可取，因为风扇正下方可能有一个稳定的低空气流动“死区”。然而，从某些系统因素方面考虑，例如需要将受热的散热器废气排出，使其离开托盘或电子设备，就可能需要这样的设计。

为了获得更快的响应时间，即使在热电制冷器未通电的关断间隔，风扇也可以在额定电压下连续运转。如果热电装置具有明显的超大容量，并且将在大部分工作周期中处于非运转状态，那么在有些间隔时间可以关断风扇，以延长系统使用寿命，这样也是有益的。在热电制冷器组件中，鼓风机通常是整体寿命最短的部件。

密封

在现代 HPLC 仪器中，热管理系统用于提供温度稳定性和冷凝保护。湿气侵入热电制冷器腔内会导致设备过早失效，并发生系统故障。这些应用中选择的热电制冷器通常以环氧树脂或硅树脂周边密封件进行防潮密封，一个好的设计规范是采用隔离衬垫材料设置额外屏障，以保护包含热电材料的热电腔。闭孔泡沫垫圈通常用于这种保护，并且还可以通过使用液体膨胀泡沫来达到另一个屏障水平。这些措施可使湿气极难穿过几个屏障并冷凝到热电制冷器中，避免出现可靠性问题。



HPLC 设备中使用的热电制冷器通常由环氧树脂（左图）或 RTV（右图）密封，以防湿气侵入。

密封电源和传感器接线的馈电通道也至关重要，这些可以是衬垫或泡沫中的孔，也可以是穿过固态基座散热器或冷块的孔。在这两种情况下，通常都使用硅树脂型密封剂，但当穿过金属时，最好使用合适的电线密封垫圈。

温度控制

根据不同的温度控制要求，可能需要不同的设计特征。通常需要 4~40°C 范围的精确温

度控制，热负荷要求范围从 25W 到约 100W，一些较新仪器需要高达 200W 的功率，以满足大样本测试吞吐量要求。此外，许多新型 HPLC 仪器具有多个样本存储室，每个具有不同的制冷或加热要求，这增大了整个系统的热负荷。

温度感测装置可以安装在热电制冷器组件的冷板中或其附近。如果可能，最好使感测位置靠近样本。如果具体应用要求温度稳定性优于 1°C，此时温度控制器会非常有用。如果只需要制冷，并且系统温度允许几度滞后，则恒温控制就足够。如果同时需要加热和制冷，则需要更好的温度传感器和一些基本的 PID 控制逻辑。

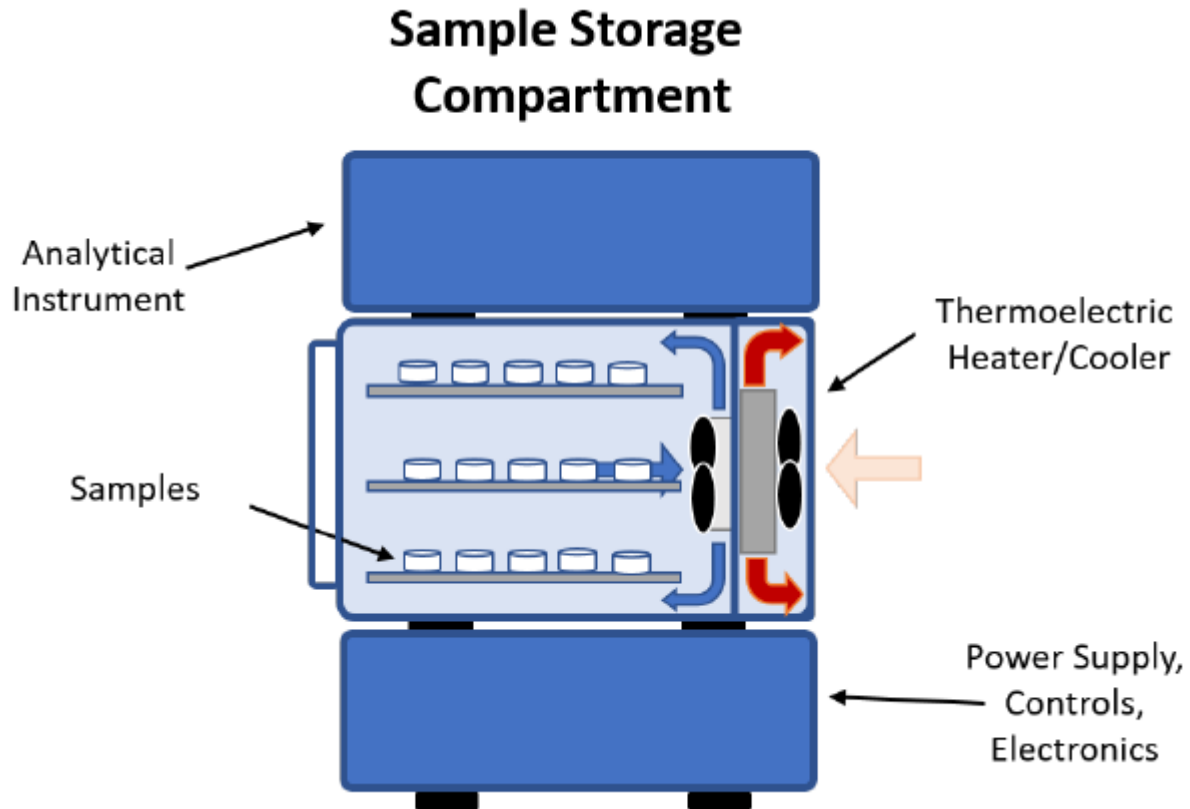
如果用户需要触发警报，以避免出现热电制冷器组件导致温度失控事件，则可以在冷块和散热器底座处设置恒温器，用以关断热电制冷器电源。失控事件的原因很可能是用于冷却热电制冷器散热器的风扇故障所致。

由可编程控制器驱动的热电制冷器组件能够为液相色谱系统提供完整的热管理解决方案。温度控制器可提供监测和报警功能，包括识别有问题的风扇、热电制冷器、过温恒温器和温度传感器故障等，所有这些都对最大限度地延长仪器设备的正常运行时间至关重要。即用型控制器只需要最少量编程，并且可以很容易地粘附到热电制冷器组件或系统外壳上。控制器还能够降低运行噪音，因为一旦在各个 HPLC 样本托盘和分离柱内达到指定温度，风扇就会关断。

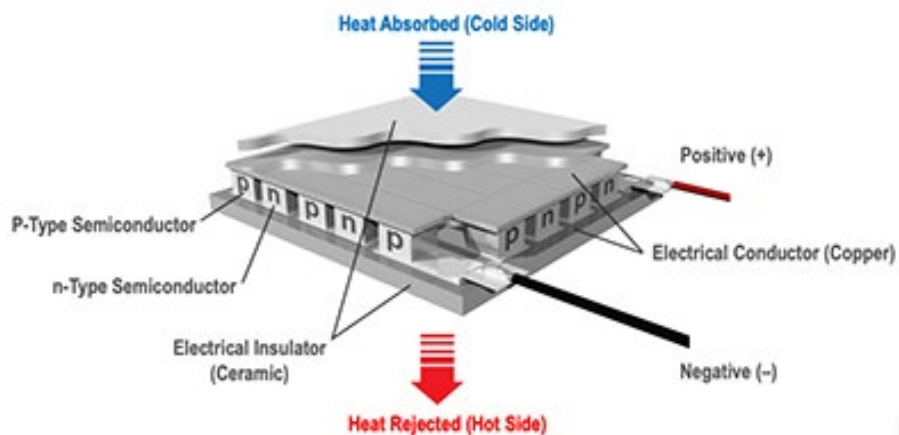
热电制冷

在 HPLC 系统中使用热电制冷器有许多优势，例如既能够快速加热，也能够快速制冷，还可以提供精确的温度控制，并且对环境友好，它们不使用任何有害的制冷剂。

下图为如何使用一个典型热电加热器/制冷器组件来制冷或加热液相色谱仪的示意图。热电装置安装在两个空气热交换器之间，在制冷模式下，腔室内的空气流经冷侧空气散热器并变冷，热量被热电制冷器吸收并传递到热侧散热器，然后将这些热量消散到周围环境空气。在加热模式下，情况正好相反。热侧风扇通常在加热模式下关闭，以限制来自周围环境的热量传输。



热电制冷器是通过帕尔贴效应运行的有源固态热泵。在运行过程中，直流电流流过热电制冷器，在模块上产生温差。热电制冷器的一端变冷（吸热），另一端变热（散热）。热电制冷器通常连接到冷端的强制对流散热器，以吸收腔室内部的热量，而热端散热器将热量排出到环境中。通过反转设备的极性，热电制冷器可以在腔室内部加热，热电制冷器的加热和制冷能力允许在 HPLC 仪器中进行精确温度控制。热电制冷器的设计考虑到了尺寸、效率、成本以及持续可靠的运行，使原始设备制造商能够应对热设计挑战。



热电制冷器利用帕尔贴效应为高效液相色谱仪提供精确的温度控制

莱尔德热系统热电解决方案

莱尔德热系统的 HiTemp ETX 系列是一种高性能热电制冷器，无论在需要加热和制冷时都能提供卓越性能。该产品线采用先进的热电材料和增强型热电模块构建，可防止性能退化，并使制冷能力提高 10%。与标准热电制冷器相比，通过利用改进的隔热屏障，HiTemp ETX 系列的最大温差 (ΔT) 可达 83°C。

HiTemp ETX 系列可提供多种多样的热泵容量和外形尺寸，包含 50 多种型号，可支持广泛的应用。莱尔德热系统牢固的热电制冷器架构能够在高温下提供卓越的保护，而标准级热电制冷器则在这种高温下容易出现故障。



莱尔德热系统的 HiTemp ETX 系列

热电制冷器组件是通过利用热电制冷器，以便根据腔室样本要求进行制冷或加热。当直流电流经过热电制冷器时，一侧变热，而另一侧变冷。如果改变电流方向，那么两边的加热和制冷功能也随之颠倒。

莱尔德热系统的 Tunnel 和 PowerCool 系列空气到空气和直接到空气热电制冷器在设计时全面考虑到了效率、成本和持续可靠运行等因素，此外，还针对其他设计因素进行了优化，这些因素包括制冷响应速度、温度稳定性、温度循环的弹性以及避免湿气入侵造成的损坏等。

在现代 HPLC 仪器设备中，莱尔德热系统的热管理技术用于提供温度稳定性和冷凝保护。根据混合物的不同，需要精确控制的温度范围是 4~40°C，热负荷要求通常在 25~100W 之间，一些新型设备需要高达 200W 功率以增大样本测试吞吐量。此外，许多新型

HPLC 仪器具有多个样本室，而且它们具有不同的制冷/加热要求，这会增大整个系统的热负荷。

与传统冲击气流热电制冷器组件相比，Tunnel 系列热电制冷器组件可提供最紧凑的外形，有效运行所需的气流路径数量最少。



Tunnel 系列热电冷却器组件可提供 10~100W 的制冷能力。

PowerCool 系列热电制冷器组件专为高热负荷要求的 HPLC 设备而设计，最大制冷能力为 280W。Tunnel 和 PowerCool 系列都通过对流或传导进行制冷，并采用定制设计的热电制冷器进行热泵，从而可实现高性能系数（COP），最大限度地降低功耗。此外，它们的固态架构可提供低噪音运行、40000 小时平均无故障工作时间（MTBF）长运行寿命和低维护。



PowerCool 系列热电制冷器组件的制冷能力为 20~280W。

莱尔德热系统的热电制冷器组件由 **SR-54** 可编程控制器驱动，能够提供完整的热管理解决方案。**SR-54** 温度控制器具有监测和报警功能，可识别有问题的风扇、热电制冷器、过温恒温器和温度传感器故障等，所有这些都对最大限度地延长仪器设备正常运行时间至关重要。即用型控制器只需最少量的客户编程，并且能够很容易地粘附到热电制冷器组件或系统外壳。一旦在各个 **HPLC** 样本托盘和分离柱内达到指定温度，**SR-54** 温度控制器就会关断风扇，因而能够降低运行噪音。

与其他类型的热循环设备相比，热电制冷器组件的优势在于精准温度控制、设计紧凑、更快速的温度调节和高效率。凭借丰富的分析仪器温度控制经验、多样化的产品组合和遍布全球的支持网络，莱尔德热系统的紧凑型热电制冷器组件能够满足液相色谱仪等分析仪器应用的严格温度控制和长平均故障间隔时间等要求。



SR-54 可编程温度控制器与热电制冷器组件相结合，可提供完整的热管理解决方案。

结论

温度控制能够影响样本组分和吸附剂之间的相互作用，因而在液相色谱分离过程中起着重要作用。液相色谱仪热管理解决方案需要能够提供精准温度控制，以优化系统性能。与其他传统技术相比，热电制冷器的优势在于精准温度控制、设计紧凑性、更快的温度调节速率以及高效率。凭借在分析仪器行业丰富的经验积累，莱尔德热系统可提供更先进的热电制冷设备，以满足液相色谱仪的严格温度控制和长平均故障间隔时间要求。

如果您对莱尔德热系统有任何疑问或需要更多信息，请通过：www.lairdthermal.com 联系我们。

Trademarks

© Copyright 2024 Laird Thermal Systems, Inc. All rights reserved. Laird™, the Laird Ring Logo, and Laird Thermal Systems™ are trademarks or registered trademarks of Laird Limited or its subsidiaries.