



# 培养箱的加热和制冷

Laird Thermal Systems™ 应用指南

## 简介

培养箱用于在医院和实验室环境下的细胞和组织培养，可在受控条件下培养和维持细胞或组织样本数小时、数周甚至数月。通过保持最佳的温度、湿度、二氧化碳和氧气水平，培养箱能够为细胞和组织样本的生长创造理想环境。对这些环境因素的精确控制使那些细胞培养至关重要的行业能够进行研究和实验工作，这些行业包括动物学、微生物学、药物研究、食品科学和化妆品等。

精准的温度控制对细胞生长尤其重要。如果高于和低于 37°C 的最佳哺乳动物体温，即使只有 6°C，也会对细胞健康产生负面影响。如果温度太低，生长就会减慢，有时甚至造成永久性影响；如果温度过高，敏感蛋白质就会开始变性。

使用热电技术替代基于压缩机的热管理解决方案可提供一种更高效、更具成本效益的选择。此外，世界各地政府对传统制冷剂的最新限制是基于压缩机制冷系统面临的核心问题，这使得热电技术成为一种更环保的培养箱温度控制解决方案。

## 培养箱要求

在培养箱中，必须对温度、湿度、二氧化碳和氧气水平进行严格控制，才能进行适当的细胞培养。根据培养箱腔室尺寸，热负荷要求可以在 30~400W 以上的范围内。对于 CO<sub>2</sub> 培养箱，还必须保持 95%~98% 的相对湿度水平和 0.3%~19.9% 的指定 CO<sub>2</sub> 浓度。



## 设计挑战

培养箱制造商面临许多热管理设计挑战，其中包括从空间限制、气流、湿度和灰尘，到易于清洁等问题。

根据腔体尺寸大小，培养箱需要特定的制冷能力才能在最坏情况下达到所需制冷温度。制冷能力越强，需要的制冷设备体积就越大。而且，热管理解决方案还必须包括一个高效的薄型热交换器，可以在受限的空间内运行，以最大限度地增大腔室体积。因此，空间受限培养箱中的热控制单元需要具备高性能热交换器，以达到更高制冷能力要求。

培养箱的另一个挑战是需要确保整个腔体内的气流一致。培养箱配有风扇，以便使空气在培养箱内循环。为了最大限度地减少样本之间的温度差异，通常使用空气导管护罩将空气均匀分布在腔体中。然而，在高湿度运行环境下，湿气会导致机械部件腐蚀，并迅速降低其性能，因而需要保护风扇和其他部件免受湿气影响。但真正使培养箱正常运行所需的高湿度水平与设备内形成的冷凝水达到平衡却非常困难，垫圈密封、隔离、灌封（potting）和冷凝路径保护等功能可以减少暴露于湿气造成的性能降低。

从运行的角度看，实验室的灰尘环境可能也是一个令人担忧的问题。根据培养箱所处实验室的周围活动，随着时间推移，灰尘可能会在热交换器组件中积聚，并增大热阻。这将降低性能，并使热电组件加倍运行以实现同样的设定温度。为了使设备不会随时间推移降低性能，一个理想做法是使进气口远离地板，并考虑使用空气过滤器来滤除空气中的灰尘。培养箱设计还必须考虑生物危害安全协议，包括易于清洁和消毒的内部装置及样本架等，这可能需要制冷设备在消毒过程中耐受较高温度。

## 传统解决方案

在 CO<sub>2</sub> 培养箱中，通常空气或水套保持均匀的温度。由于水的比热比空气大得多，水温变化得更慢，从而可调节实验室培养箱内的温度。水套是围绕培养箱的充水外壳，具有入口和出口，能够使水循环通过室壁，并到达外部加热和/或制冷设备。水通过自然对流与内腔进行热交换，并提供相当均匀的内部温度和对外部空气的热缓冲，其缺点是水套可能会泄漏，而且由于它们含有大量水，所以非常重，通常需要在移动之前清空。移动后，重新填充和重新启动过程需要大约 24 小时才能恢复到稳定的工作温度，从而导致较长停机时间。

使用与水冷设计类似的外壳，基于电线圈或压缩机的系统能够加热护套内的空气，从而将热量直接辐射到细胞培养物。一些型号的空气夹套可以严格依靠自然对流在腔室内均匀分配热量，而另一些则采用风扇。然而，强制对流会加大培养物的蒸发，使小样本干燥，即使在添加湿度皿的情况下也是如此。此外，基于压缩机的空气夹套会给实验室环境增加不必要的振动和噪音，而且通常会占用大量空间。

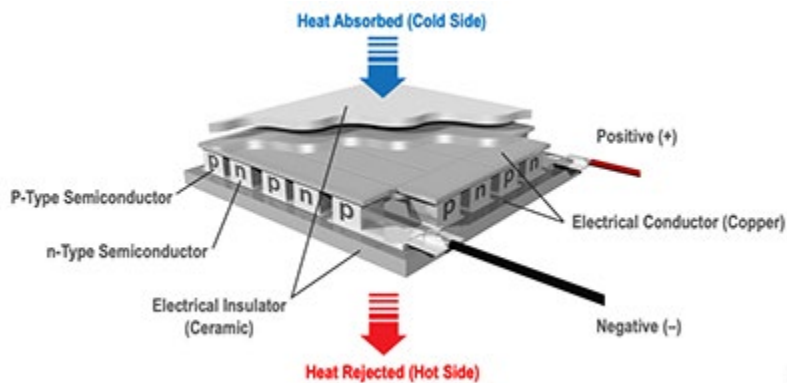
最近出台了一些限制特定制冷剂使用的政府法规，特别是在欧洲，这促使培养箱制造商用固态热电温度控制系统替代基于压缩机的系统。较旧的基于压缩机系统通常使用高全球变暖潜值（global-warming-potential）HFC 制冷剂，其中包括 R134a 和 R404A。而现代基于压缩机的系统则使用各种天然制冷剂：R744（二氧化碳）、R717（氨）、R290（丙

烷)、R600a (异丁烯) 和 R1270 (丙烯)。但每种天然制冷剂都存在多种设计挑战, 如压力增大、毒性提高、易燃、窒息和性能相对较差等。一些天然制冷剂具有高易燃性, 使运输过程具更大危险性, 并限制了使用容量。

## 珀耳帖加热/制冷

环境友好型热电温度控制系统能够以紧凑的外形在室内提供精确的加热和制冷。使用热电技术进行热管理有许多优点, 包括可提供制冷或加热模式、精确的温度控制和快速的制冷或升温率等, 这种技术还可以保护样本免受温度变化影响。而所有这些都可通过不使用任何天然或合成制冷剂来实现。

热电制冷器是固态热泵设备, 通过珀耳帖效应传递热量。在运行过程中, 直流电流经过热电制冷器, 在模块上产生温差, 热电制冷器的一侧变冷 (吸热), 另一侧变热 (散热)。热电制冷器通常将强制对流散热器连接到冷端, 以吸收腔体内部的热量, 而热端散热器则将热量排放到环境中。通过反转热电制冷器的极性, 它也可以用来加热腔体内部。通过这种加热和制冷, 能够实现培养箱的精确温度控制。



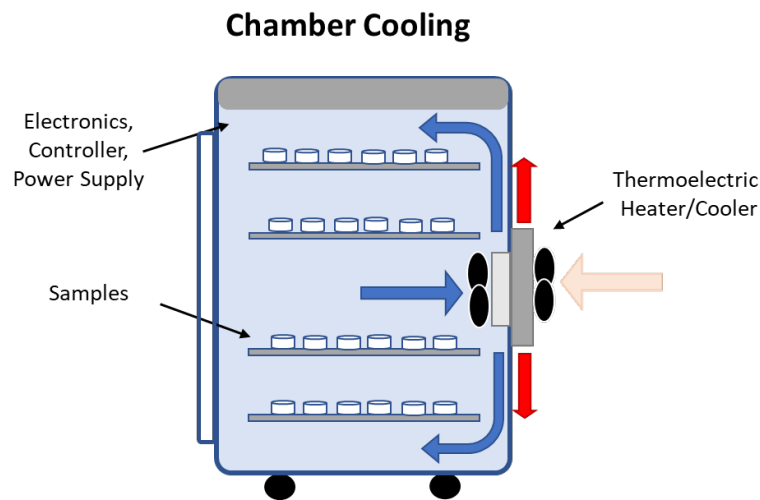
热电制冷器利用珀耳帖效应去除热量。

热电制冷器制造商定义了热电制冷器的两个参数:  $\Delta T_{Max}$  和  $Q_{cMax}$ , 其中  $\Delta T_{Max}$  是无热流时 ( $Q_c=0$ ) 的最大温差,  $Q_{cMax}$  是不存在温差 ( $\Delta T=0$ ) 时的最大热流。对于大多数单级热电制冷器,  $\Delta T_{Max}$  一般在  $70^\circ C$  左右。然而, 由于散热器的热阻, 该温差的很大部分可能会无法实现。如果需要更大制冷能力, 那么则需要更多热电制冷器, 这可以按照

12 或 24VDC 要求，通过串联或并联热电制冷器来实现。热电制冷器和热电制冷器组件的真实世界运行需要综合考虑  $\Delta T$  和  $Q_c$ ，以更好地满足培养箱加热和制冷的温度稳定要求。

热电制冷器组件是一种体积紧凑的装置，允许设计工程师从一组基本的构建模块开始，将风扇和热电制冷器与热交换器相匹配。它们的制冷能力范围从 10~400W，可适用于对流、传导或液体传热机制。

以下为典型的热电加热器/制冷器组件如何用于制冷或加热培养箱室的示意图。其中的热电装置安装在两个空气热交换器之间，在制冷模式下，腔秒内的空气循环通过冷端空气散热器并变冷，热电制冷器吸收热量并将其泵送到热端散热器，热端空气热交换器使空气循环到周围环境。在加热模式下，情况正好相反。为了限制热量传递到周围环境，加热模式下的热侧风扇通常关断。

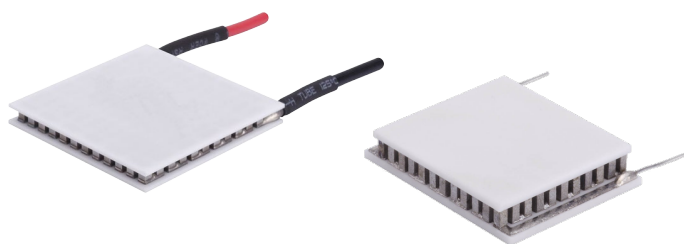


通过组合使用闭环温度控制器与热电制冷器组件，可以构建一个快速响应且精准的热管理系统。专门针对控制热电制冷器组件而设计的温度控制器从温度传感器获得反馈，用以改变电源输出，从而控制外壳温度。温度控制器能够提供各种控制选项，可以实现节能并提供安全警报。其 I/O 触点可用于风扇、热电制冷器、报警/状态 LED、热敏电阻、风扇转速表传感器和过热恒温器（thermostat）。

## 莱尔德热系统用于培养箱的热管理解决方案

莱尔德热系统能够针对培养箱应用，生产专门优化的一系列热电制冷器、组件和温度控制器组合。

与标准热电制冷器相比，新型 HiTemp ETX 系列热电制冷器采用先进的热电材料组装，制冷能力提高了 10%。它还具有更高的隔热能力，可产生 83° C 的最大温差（ $\Delta T$ ）。HiTemp ETX 热电制冷器专为高温环境和需要加热及制冷的培养箱等应用而设计。可以由此了解有关 [HiTemp ETX 系列](#) 的更多信息。



*莱尔德热系统的 HiTemp ETX 系列*

另一种选择方案是配备 SR-54 或 PR-59 温度控制器的 SuperCool 热电制冷器组件系列。SuperCool 系列所有产品均采用高性能散热器设计，并具有风扇护罩组件和热管以改善散热。通过降低热交换器的热阻增加了热泵能力，因此这些热电制冷器组件能够以更高的性能系数（COP）运行，与竞争技术相比降低了功耗。所有这些功能都通过一个设计紧凑的外形来实现。

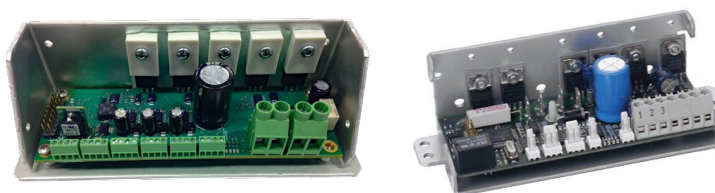
SuperCool 系列具有三种标准热电制冷器组件，为设计工程师提供了三种不同的传热机制：液体到空气、直接到空气或空气到空气。在  $\Delta T=0^{\circ}\text{C}$  和 24 VDC 标称工作电压下，这些组件可提供 110~407W 的制冷能力。它们可以通过紧固机器螺丝硬件，很容易地安装在垂直墙壁上。在此可了解有关 [SuperCool 系列](#) 热电制冷器组件的更多信息。



*SuperCool 系列: SAA-170-24-22, SDA-195-24-02, SLA-205-24-02*

与传统技术相比，将 SuperCool 系列热电制冷器组件与温度控制器结合使用能够提供显著设计优势。SR-54 可编程微控制器在加热和制冷模式下都能在温度设定点提供  $\pm 0.13^{\circ}\text{C}$  的热稳定性。该控制器可使培养箱快速达到设定点温度，而不会出现超出设定值，其监测功能可追踪可能的潜在问题，包括有问题的风扇、热电制冷器和恒温器，以便快速排除故障，最大限度地延长培养箱的正常运行时间。可变速风扇能够降低运行噪音，因为风扇仅在初始温升期间高速运行，然后在培养箱温度达到稳态时降低速度。

另一种选择是 PR-59 温度控制器，该控制器具有可选功率调节功能，用户配置 PID（比例积分微分）、恒温器 ON/OFF（开/关）或 POWER（电源），能够保护设备并优化性能。PR-59 可编程微控制器在加热和制冷模式下的温度稳定性控制在设定值的  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$  以内。通过相关软件可以连接到 PC，可以选择温度设定值和其他参数。点击[此处](#)可以了解有关温度控制器选项的更多信息。



*SR-54 和 PR-59 温度控制器*

莱尔德热系统能够根据具体的应用需求提供定制化的热电解决方案。客户通常从标准的热电制冷器组件开始，通过修改散热器、安装位置和气流通道来调整外形尺寸，以规避一些障碍和限制。热电制冷器腔周围的屏障保护可防止冷凝问题影响热电制冷器组件的运行。莱尔德热系统精通如何修改设计，以提高性能或效率，从而优化所需的热管理效果。我们多年的产业经验已经为类似的应用积累了大量参考设计，能够快速响应客户对于定制设计的需求。

## 结论

通过使用热电制冷器替代传统技术进行培养箱温度控制，能够提供 CO2 培养箱热管理的高效、热稳定、紧凑、可靠、低维护和低总体成本的解决方案。

莱尔德热系统可以在整个产品开发生命周期中与客户密切合作，降低风险并缩短上市时间。根据客户的需求，可以提供不同级别的整体解决方案。一些客户购买了莱尔德热系统的热电制冷器组件，并构建其定制解决方案，而另一些客户则设计自己的解决方案，并把莱尔德热系统作为合同制造商来构建这些解决方案。也有其他客户更喜欢莱尔德热系统从设计到制造的完整解决方案。



## 关于 Laird Thermal Systems

莱尔德热系统为全球医疗、工业、运输和电信市场的苛刻应用设计、开发和制造热管理解决方案。我们能够提供最多样化的产品组合，包括从主动热电冷却器和组件到温度控制器和液体冷却系统等。凭借无与伦比的热管理专业知识，我们的工程师能够使用先进的热建模和热管理技术来解决复杂的热管理和温度控制问题。

## 联系 Laird Thermal Systems

请通过网站联系我们 <https://lairdthermal.com/cn/contact-us>

**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.