

液体冷却与化学相容性至关重要

了解冷却剂和组件的结构材料——及其相互作用

作者:
Elizabeth Langer,
CPC 热管理工程经理
Koray Sekeroglu,
博士, CPC 热管理高级研究工程师

电子子系统的功率密度不断增加,这就要求更高的冷却能力极限,比如通过液体冷却实现的冷却能力。为了优化热管理的效率、可持续性和可靠性,使用液冷系统的设计师们现在比以往任何时候都更积极地探索组件材料的创新组合,包括先进的热塑性塑料、特殊弹性体、金属合金和工程流体。

无论是设计闭环、单相浸入式、双相浸入式,还是直接集成到芯片的冷却系统,组件材料的相容性对性能而言都至关重要。本技术指南就如何为您的液体冷却解决方案选择合适的材料成分提供了一般性指导。

选择组件时要全面地考虑

各种子系统和组件构成了架构,系统架构对任何冷却系统的成功和可靠运行来说甚为关键。

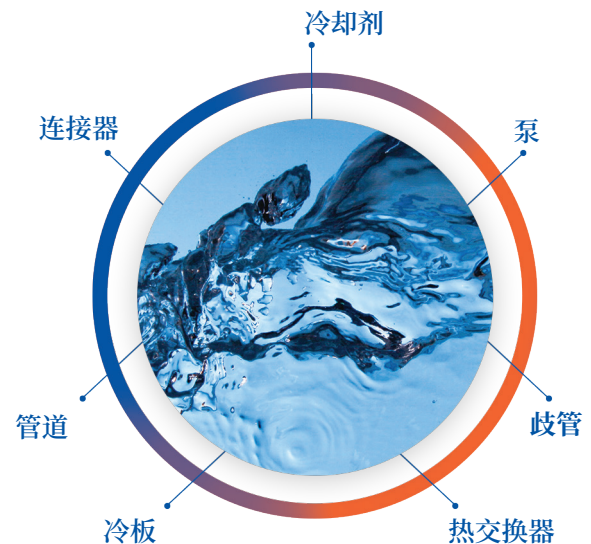
每个系统组件都有可能与其他组件材料相互作用。因此,有必要在设计和制定规格期间对材料的相互作用和依赖关系进行一番详细的分析。

其中冷却剂特别值得关注,因为它们不仅是热传递的主要渠道,而且在特定冷却系统内还与所有接液材料相接触,基本上“连接”了所有组件。在存在某些材料的情况下,一些流体可能会促进腐蚀或产生生物污染,从而有可能导致冷却系统内发生阻抗或引起系统故障。因此,了解所有材料的组成以及它们之间可能存在的相互作用尤为重要。具体来说,在评估化学相容性、潜在渗透或扩散损失时,要确定连接的关键点,如管路

连接点、歧管接口和快速接头,并评估每个连接点的可靠性和性能风险。

总而言之,在涉及材料选择时,需要进行全盘考虑。考虑所有的系统组件,并且还要考虑环境、工作流体、温度、压力和机械载荷的潜在影响,因为所有这些都可能会对性能产生不利影响。

在本技术指南中,我们将对液体冷却应用中常用的冷却剂进行介绍,并对结构材料加以概述。最后,我们将就这些流体和材料在一起使用时的潜在相容性进行指导。



液体冷却系统中的每个组件都有可能通过接液回路与其他组件材料相互作用。

深剖冷却剂替代品

很显然,设计液体冷却系统时的一个重点是冷却剂的选择。从相容性角度来看,重要的是认识到,流体在液体冷却系统中进行循环时几乎连接着每一个组件。右表对一些常用于冷却电子产品的流体进行了简要的概述。

首先我们来看一看工作温度和储存温度。确定具有能够适合应用环境的特性的流体,比如能够满足所需热负荷和热效率但不超过临界热通量的沸点。检查储存和运输期间的低温特性、环境暴露情况,特别是与含氟化合物等工程电介质以及制冷剂接触情况。通常,还有必要了解流体在整个生命周期(如何制造、在使用过程中渗入设施或浸出到大气中的潜在影响以及寿命终止流体的回收要求)中的环境影响。

在选择流体时,应考虑臭氧损耗和全球变暖的可能性,特别是与制冷剂和电介质有关的臭氧损耗和全球变暖的影响估计。在过去十年左右的时间里,世界卫生组织发布的指引越来越强调这些参数,从而促进了更绿色环保替代品的开发,如 3M Novec™、HFE 冷却剂,以及更环保的第四代氢氟烯烃制冷剂,如 R-1234 或 R-1336。

除了考虑热稳定性和化学相容性外,还要考虑冷却剂的毒性、可燃性、清洁度要求、环境影响和成本。当然,在比较冷却剂类型和选项时,一定要考虑到流体在整个系统中可能接触到的所有材料。

评估结构材料

电子冷却系统组件通常由三种聚合物(日用塑料、工程热塑性塑料和弹性体)以及四种金属合金(铝、黄铜、铜和不锈钢)组成。下页右表对液体冷却系统组件的结构材料进行了深入比较。

聚合物的优点

从日用塑料到超高性能热塑性塑料和弹性体,聚合物的性能因工艺、添加剂、填料以及它们在频谱上的位置而有很大不同。

在许多领域中,聚合物都可以取代金属,而且通常还能提供额外的优势。例如,与金属相比,聚苯砜 (PPSU) 和聚醚醚酮 (PEEK) 等工程热塑性塑料能够满足更高的热、化学和机械

冷却剂 常用于电子冷却应用的流体。	
水	热传递性能好,粘度低,不易燃,成本低。操作范围相对较窄,易冻结或沸腾。易受会抑制热传递的生物积垢的影响。可能含具有潜在腐蚀作用的杂质;最初去离子作用可能会降低,但随着时间的推移,杂质可能会从润湿的表面抽脱出来。
乙二醇 (EG)	与水混合使用时(混合成 10% 至 90% 纯度的乙二醇 (EG)),可抑制生物生长、降低凝固点和提高沸点。比制冷剂或电介质的成本低。溶液中的水仍然可能会促进腐蚀,随着时间的推移导致冷却剂性能下降。剧毒,需要小心处理。
丙二醇 (PG)	与水混合使用时(混合成 10% 至 90% 纯度的丙二醇 (PG)),可抑制生物生长。比制冷剂或电介质的成本低。热导率比乙二醇 (EG) 低,粘度比乙二醇 (EG) 高。溶液中的水仍然可能会促进腐蚀,随着时间的推移导致冷却剂性能下降。毒性低,便于处理和处置。
矿物油	无臭、无毒、具有化学惰性。不会蒸发或挥发。能够用于浸没式应用。与铜或某些弹性体可能不相容。
制冷剂	轻质,传热性能优异。与某些塑料和弹性体不相容。成本高于水、乙二醇 (EG)、丙二醇 (PG) 或矿物油。比如 R-1234yf 和 R-1336。
电介质	非导电性工程流体,能够应用在单相、两相的全浸没液冷和直接针对芯片的液冷。沸点低。化学稳定性高。成本较高。与热塑性塑料或高度增塑的弹性体可能不相容。

要求, 同时还能以潜在更低的成本提供更轻的重量和更佳耐腐蚀性能。

特别是在考虑相较于金属对等物的重量、化学相容性和价格的影响时, 工程热塑性塑料是个很不错的选择。当确定热塑性材料时, 要考虑机械强度、化学相容性和热稳定性特性。



聚合物的局限性

聚合物, 特别是日用塑料和一些热塑性塑料, 在某些应用中可能会带来问题。

由于温水冷却系统的流行, 聚合物的耐水解性已经成为一个重要的因素。具有水解链的聚合物在热水环境中可能存在严重的性能下降风险。同样的风险也存在于与含氟聚合物接触的含氟化学品。众所周知, 相似相溶, 某些增塑剂或添加剂可能存在溶解到冷却剂中的风险。

对一些聚合物而言, 易燃性可能也是个问题。应寻求固有非易燃材料, 特别是无卤热塑性塑料。在为冷却系统选择材料时, 长期暴露于各种温度下无疑是一个关键的考虑因素。

与热塑性塑料相关的其他风险包括: 化学侵蚀、龟裂、开裂、变色, 以及前面提到的溶出物或析出物污染冷却剂。随着时间的推移, 流体吸收、膨胀以及肯定会发生的热老化和降解效应, 还有机械载荷和内部压应力都会对完整性构成潜在威胁。

弹性体

弹性体可被设计用来满足各种性能要求。

弹性体是具有粘弹性特性的聚合物, 它们似橡胶且柔韧, 主要用于管道和软管等流体输送组件, 以及 O 形圈和垫圈等密封组件。为了了解弹性体的作用方式, 我们可以先了解一下它们是如何制成的。

结构材料 常用于电子冷却应用。	
聚合物	
日用塑料	包括高密度聚乙烯 (HDPE)、聚甲醛 (POM)、聚丙烯 (PP)、聚苯乙烯 (PS)、聚氯乙烯 (PVC)。成本相对较低, 容易买到。在高温环境下可能易燃。在某些环境下可能会发生热降解和热收缩。
工程热塑性塑料	包括聚醚醚酮 (PEEK)、聚醚酰亚胺 (PEI)、聚醚砜 (PESU)、聚苯砜 (PPSU)、聚砜 (PSU)。机械性能和热性能更高。比日用塑料的成本高。
弹性体	包括氯丁橡胶 (CR)、三元乙丙橡胶 (EPDM)/二元乙丙橡胶 (EPM)、氟橡胶 (FKM)、氢化丁腈橡胶 (HNBR)、硅酮。可进行改性, 以提高阻燃性、耐用性或耐化学性。某些类型的弹性体可能会在热循环或接触某些溶剂时渗透到流体中, 从而对冷却剂的性能产生负面影响。
金属合金	
铝	耐用、轻质的金属。热性能强大。可能会引起电偶腐蚀, 特别是使用水基型冷却剂和存在铜时。阳极氧化可提高耐腐蚀性。
黄铜	耐用。热性能强大。成本相对较低。通常镀镍和/或铬, 耐蚀性更高。
铜	耐用。热性能强大。可能会引起电偶腐蚀, 特别是在存在铝的情况下与水基型冷却剂共用。
不锈钢	耐用性和稳定性最高。导热性较低。成本较高。钝化处理可提高耐腐蚀性。

硫化(也就是固化的过程)在弹性体的长链聚合物中产生永久性交联。这些链确保了在加载和卸载应力时,弹性体组件会返回到原初状态。例如,就 O 形圈和快速接头而言,弹性体将会保持其密封。

概括地讲,确定用于液体冷却应用的弹性体时,需要进行详细的分析和评估,并选用独特的冷却剂,这样才能确保相容性和长期可靠性。

为了便于讨论,我们将可能在这些应用中看到的一些常见材料化合物类别确定为氢化丁腈橡胶、乙烯-丙烯或三元乙丙橡胶 (EPDM) 和氯丁二烯橡胶。氢化丁腈橡胶 (HNBR) 在较宽温度范围下具有出色的耐化学性、卓越的机械性能(包括抗拉强度、撕裂模量),并且可加以复合,以为高压应用提供优异的抵抗能力。三元乙丙橡胶 (EPDM) 具有优异的耐热水和耐蒸汽特性。然而,它对碳氢化合物的抵抗能力较低,所以并不非常适合可使用任何制冷剂类型的应用。

氯丁二烯橡胶(俗称氯丁橡胶)对许多用作制冷剂的氯氟烃 (CFC) 具有很强的抗腐蚀性。它的成本低,但耐化学性中等,耐温性有限。

确定弹性体时,还需要考虑在连续性和间歇性暴露下的硬度(硬度计)、热阻或坚固性,当然还有与化学相容性直接相关的复合性。



金属合金

与日用塑料聚合物相比,液体冷却系统中的金属组件通常更稳定、更耐用,并且被认为可靠性更长久。金属组件也往往

更重,而且可能更贵。在许多应用中,还需要对金属的增强性能特性进行额外投资。在其他应用中,合适的聚合物实际上可能就是最佳解决方案。

考虑在系统中使用金属合金时,需要考虑机械强度、表面处理和清洁度。虽然许多制冷剂和工程流体对金属的腐蚀性很低,甚至没有腐蚀性,但设计人员仍必须考虑与腐蚀有关的工作环境。

将所有要素汇集在一起:化学相容性

对给定液体冷却应用中可能使用的流体、塑料和金属有了基本的了解后,我们可以根据系统组件的组成,来评估其潜在化学相容性,以确保可靠、长期运行。

当聚合物和金属在适当的条件下可以有有效的组合,区分组件材料是否接液至关重要。接液材料包括所有直接暴露于冷却剂下的组件,因此,组件彼此间也可能会发生间接接触。结构性材料在正常运行时不会暴露于冷却剂中。在设计周期中尽早创建一份接液材料和结构性材料清单,有助于避免日后情况变得复杂化。

给定组件可能由聚合物和金属组合构建,因此,区分给定组件中的接液材料和结构性材料至关重要。例如,像左图这样的快速接头可能采用镀镍黄铜制成,其包含一个弹性 O 形密封圈、一个聚砜拇指锁扣和不锈钢弹簧。然而,只有接头的内表面和弹性体密封件会在一个闭环冷却系统中接液,所以选择冷却剂时,只有这些材料的兼容性需要考虑。

从更高层次上来说,流体可以通过物理或化学这两种不同的方式影响聚合物。物理上的影响通常是可逆的,但化学上的影响不可逆。例如,快速接头的 O 形圈化合物可能对某种冷却剂具有亲和力,从而引起 O 形圈膨胀,产生连接和断开问题,最终可能导致泄漏发生。用一种替代性塑料来替换 O 形圈或确定一种不同的流体可以解决这个问题。

然而,在从管道等组件中抽脱增塑剂的化学相互作用中,溶解的增塑剂对流体性能的影响可能是显著的,而且是不可逆的,这在较为敏感的高价值应用中可能是一个关键问题。

一般性指导可以提供很好的起点。下表对不同材料和冷却剂选项之间的相对相容性进行了概述。请谨记:对应用的全部

细节进行全盘考虑是确保确定正确材料的最佳方法。在其应用的预期工作极限下测试组件, 评估流体和材料在应用特定温度、压力和其他环境条件下的相互作用, 是系统设计人员义不容辞的责任。

尽早与组件供应商接洽。确定任何可能暴露于冷却剂下的材料, 以及任何可能存在的其他变量。供应商很可能会提供有用的信息, 甚至会针对您的需求设计出一个经优化的解决方案。

材料和冷却剂的相容性

当考虑液体冷却系统中的接液组件时, 有以下几种组合:

- **A = 推荐。**发生化学反应或腐蚀的可能性很小或不会发生。
- **B = 不错的选项。**发生化学反应或腐蚀的可能性较小, 对系统性能的影响有限。
- **F = 不推荐。**可能会发生轻微到严重的化学或腐蚀反应。可能会妨碍系统性能。

		水	乙二醇	丙二醇	矿物油	制冷剂	电介质
聚合物	日用塑料	A	A	B	A	F	B
	工程热塑性塑料	A	A	B	A	A 至 F ¹	B
	弹性体	A	A	A	A ²	A 至 F ³	A 至 F ³
金属	铝	B	A	B	A	A	A
	黄铜(经电镀)	A	A	B	A	A	A
	铜	B	B	A	B	A	A
	不锈钢	A	B	B	A	A	A

¹热塑性塑料可被设计用来增强与特定制冷剂的相容性。

²大多数弹性体是相容的, 但是不推荐将三元乙丙橡胶 (EPDM) 与矿物油一起使用。

³弹性体可被设计用来增强与特定制冷剂和介电流体的相容性。

参考文献

- 《弹性体的耐化学性指南四》, 指南针出版物, 2014 年。
- 《塑料的耐化学性指南》, 指南针出版物, 2000 年。
- 《金属和合金的耐化学性指南》, 指南针出版物, 1995 年。

警告: 由于各种可能的流体介质和操作条件的不同, 使用 CPC 产品可能会导致意外的后果, 这些均不在 CPC 的控制范围之内。用户有责任仔细确定和测试产品对于其应用的兼容性。所有这些风险应由买方承担。

让每一次连接都值得信赖。

