

3M 技术文献

3M™ 两相浸没式液冷—系统制造的理想实践*

第 1 部分 – 浸没机柜

材料

除了用于技术验证之外，浸没机柜不能采用塑料材料制造，因为塑料含有水分，而且能够允许潮气通过，这对浸没机柜的干燥系统来说是一种负担。浸没机柜可以采用玻璃材质，但是玻璃面板的边缘密封可能不可靠。可焊接的金属材料是制造浸没机柜的理想材质。不锈钢和普通碳钢是优选材料（较小的浸没机柜使用 14 号厚度规格，较大浸没机柜使用 11 号规格），原则上来说，也可以使用铝制容器。必要时，金属应设计局部加强结构，以便承受液体的静压力。铝材和碳钢的内部和密封表面，必须进行喷漆或喷粉处理，以防止意外水汽冷凝可能造成的材料氧化。

结构

冷凝器管路的穿孔可设置在浸没机柜的平面顶板上，以便确保所有穿孔位置处于一个较高的位置。如果将穿孔位置置于侧面，需要保证孔位高于浸没液体液面，从而更大限度的减少因管路穿孔造成的浸没液体泄漏的风险。接口部分可通过压合接头进行密封，或少量使用兼容性较好的弹性体，如丁基橡胶或无污染管道螺纹密封剂，例如工业级 PTFE 胶带或 Leak Lock®蓝色接头封口胶¹。浸没机柜应保持绝热，以避免热量不必要的散失至室内环境（特指沸点高于室温的液体），同时更大限度的降低过热燃烧的隐患。浸没机柜外壳的外侧挡板，可提高设计美观度，并防止接触高压继电器（如有）的风险。

盖子和密封

盖子可采用玻璃或金属材质。对较小的浸没机柜开口，可简单地通过 O 形圈和夹具密封。

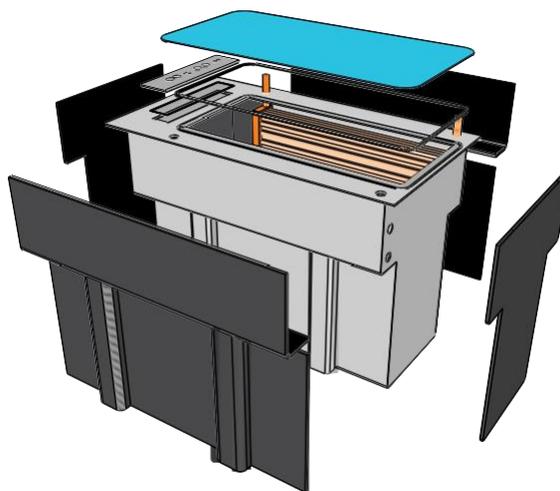


图 1. 200 千瓦双相浸没冷却浸没容器分解图，外壳已去除。

对于较大的开口，为确保良好密封效果，应考虑在每一固定长度施加相应紧合力，可能需要多个夹固点²。

对于氢氟醚类液体（3M™ Novec™ 7000、7100 或 7200 电子氟化液），应使用硬度值 80 的 EPDM 或丁基橡胶，对于全氟类氟化液（3M™ Fluorinert™ FC-72 或 FC-3284 电子氟化液），可以使用有机硅类密封材料。这些弹性材料一般含有碳氢类添加剂，在正常使用过程中难免被浸没液体萃取析出，成为液体中的污染物来源³。因此应尽量选择可萃取物质含量较低的弹性材料。或通过溶剂清洗机，对弹性材料进行“预清洗”，减少可萃取有机物的含量。在本指南的后续内容将进行有关讨论。

布局

水冷冷凝器通常位于浸没机柜壁的内凸空间上。这样可不受限制的对机柜内硬件进行操作和更换，而且更大限度的降低液体需求。小型系统的冷凝器（功率几千瓦左右）可使用一般散热器和适当的鳍片堆叠制作。对于较大型的系统，可使用工业冷水机组常用的强化管组制造⁴。对于这两种方案，设计优化后能够在 15°C 的温差（液体与水）和 10°C 的水进出口温升下，实现单位液体体积中 4+ 千瓦/升的散热能力。

建议在顶板上增加一个包括可拆除挡板的穿孔，以便导入 IO、供电、导管等管线。将挡板置于顶部，能够更大限度的减少因穿孔密封不完善导致的液体损失。

从冷凝器上方到浸没机柜顶板下方的空间，称为缓冲区。这个空间有助于减少在机柜打开时因空气运动对液体蒸汽产生的扩散和携带作用，从而更大幅度地减少液体损失。建议缓冲区的高度至少保持 10 厘米。虽然这个高度越大越好，但必须同时考虑对功率密度、系统高度、可操作性等的影响。

| 考虑因素 | 推荐 |
|---------------|---|
| 材料 | <ul style="list-style-type: none"> 可焊接金属（碳钢、铝材、不锈钢） 玻璃（有边缘密封的问题） |
| 材料表面 | <ul style="list-style-type: none"> 对于金属，应进行喷粉处理 |
| 穿孔 | <ul style="list-style-type: none"> 用于冷凝器管路和 IO、电源、导管等的过壁 应布置在液面上方 |
| 盖子 | <ul style="list-style-type: none"> 玻璃或金属材料 对于较小的浸没机柜，通过 O 形环和夹具密封 对于较大的浸没机柜，通过中空 O 形环或气胀密封垫密封 对于 HFE 液体，推荐使用硬度值 80 的 EPDM 或丁基橡胶 O 形环；对于 FK 或 PFC 液体，推荐使用硅胶密封圈 |
| 关于浸没容器的其它考虑因素 | <ul style="list-style-type: none"> 绝热外壳防止热量损失 外侧挡板可提升安全性同时美化外观 水冷冷凝器置于侧壁内凸位置 优化设计可达到 4+ 千瓦/升液体的散热性能 |

第 2 部分 - 计算机硬件改造/准备

对通用计算机硬件需要改造固件或 BIOS，以确保设备可在缺乏风机转速计信号，及环境温度超过常见空气冷却温度设定中正常运转，从而实现浸没式液冷。有时需要 OEM 协助实现本功能。

通常，空冷中没有散热器的设备在浸没式液冷也不需要进行改造。这类设备包括内存 DIMM、电容器等。现有其它元件的散热器都应去除。对设备所需的其它改造取决于其功率密度。实践中，通常在风冷中配有铜制散热器的设备，都需要使用某种沸腾强化涂层处理，以便促进沸腾产生和提升效率。有机或金属沸腾强化涂层都可以使用。对于大多数有金属屏蔽罩的元件，例如 50-120 瓦范围的 CPU，建议通过焊接或胶粘剂方法涂布一层超薄多孔的金属沸腾强化涂层（BEC）。不应使用导热脂和包含导热脂的封装。因为经过几个月的使用之后，有机硅类基材有可能会被萃取转移，从而导致导热脂性能恶化。原有散热器且功率超过 50-120 瓦范围的裸芯片元件或有屏蔽罩的元件，需要配备带有 BEC 并经过优化的散热器⁵。

计算机硬件通常包含大量制造工艺的残留物。对电源模块、服务器节点和交换机都要使用温和的极性溶剂（例如 3M™ Novec™ 71IPA 电子氟化液）进行蒸汽去脂清洗⁶，以便清除可溶解的助焊剂残留、脱模剂、指印等。大部分电缆都使用聚氯乙烯(PVC)作为绝缘外皮，这类材料中含有重量占比为 3-30%的碳氢类塑化剂。在浸没冷却应用过程中，这些碳氢类物质不可避免的将从 PVC 中被液体萃取出来，成为液体中污染物的来源。而且 PVC 外皮可能会变硬，但这并不一定会导致其变脆或失效。电缆可进行较长时间（24 小时）的蒸汽去脂清洗，以便清除大部分的碳氢类物质，但是仍会有些碳氢类残留，需要后续通过液体过滤系统将其去除，从而确保浸没液体处于清洁状态。带有聚烯烃或 PTFE 绝缘层的电缆通常含碳氢类物质都很少，但通常较难获得，而且获取的成本也会更高。

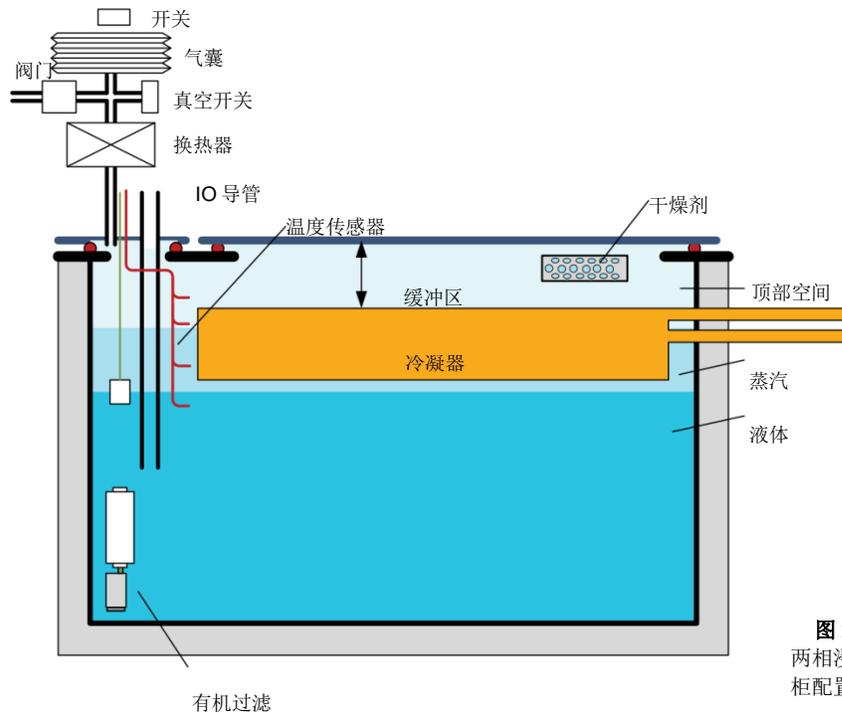


图2
两相浸没式液冷浸没机
柜配置

第3部分 - 有机污染物去除/液体过滤

如果没有预清洗，在弹性材料、PVC 绝缘材料、泡沫、胶粘剂中含有的碳氢油类物质，会少量溶解到浸没液体中，并在蒸发沸腾过程中与液体分离，从而沉积沸腾表面，影响其传热性能。这些碳氢类物质还可能扩散至其它系统材料中，有可能引起这些材料的失效。类似于在饮用水滤芯中使用的经过酸洗的活性炭，对于这些碳氢类物质有很好的吸附性。较小的系统，通常可在浸没液体中添加活性炭过滤器（袋），作为被动过滤的方法。对于较大的系统，污染物被动扩散至活性炭过滤器件的时间太长，可采用任何汽车燃料泵将液体主动循环至碳滤芯进行清理。因为碳材料具有导电性能，因此清理过的液体必须进行二次过滤去除碳残留。所用的活性炭量至少应达到预期污染量的 5 倍，预期污染量的计算方法为，汇总弹性材料的总质量，然后假设 0.1%（经过预清洁）至 3%（典型情况），甚至是 25%（极端情况）的质量为预期污染量。设备首周运行之后，应更换用于过滤的活性炭，之后就不需要更换这么频繁。设备运行几个月之后，可停止主动过滤。

第4部分 - 水分管理

两相浸没式液冷使用的工作液体溶水性很低，但是按重量比例水依然可达到 5-20ppm（在 PFC 中）至 100 ppm（在氢氟醚中）。在浸没设备启动之后，这些水将迁移至系统顶部，进入蒸汽区域之上的顶部空间。

当顶部空间中的水蒸汽的浓度超出饱和浓度时，会发生液化。液态水有可能会造成短路和腐蚀问题。

这些水可以通过排气阀排出浸没机柜，或在顶部空间内用多孔容器放置可更换干燥剂，如硅胶，进行吸收。如果将干燥剂放置液体或蒸汽区中，不但不能清除水，实际上还会增加顶部空间中的水分。干燥剂的质量应至少达到预期水质量的 5 倍。系统第一天运行之后，内部液体就应变得非常干燥。之后的水可能来自浸没机柜内部硬件内逐渐释放的水分。应始终监控相对湿度，确保温度传感器的读数不超过顶部空间表面的温度最低值，防止引起凝露产生。

第5部分 - 排气和压力控制

能够在正常大气压环境中运行，是两相浸没式液冷设计的特点，因为这能够更大限度减少液体损失，便于硬件操作，而且无需使用昂贵的密封电气接头。通过简单地由浸没机柜向大气环境中排气，虽然可以保持正常的大气压，但是会随之带来不能接受的液体损失量。使用气囊⁷搭配由机械和压力开关控制的电磁阀，是一种经过实践检验的控制压力的方法。

在启动阶段的液体升温排出溶解的空气中的过程中，或后续功率提升造成蒸汽区域上移的过程中，会产生额外的气体压力升高，这时气囊将会开始膨胀。当达到膨胀极限，气囊会联动真空开关关闭，从而打开排气阀门。可以通过二级换热器或者可再生活性碳层，部分或全部吸收排气气流中的液体蒸汽。当功率降低或恢复平衡状态时气囊收缩，真空开关将关闭，排风阀门会打开，以便允许空气进入。

第 6 部分 – IO 过壁管理

密封问题，曾经是计算机系统使用两相浸没式液冷面临的一个挑战。交流电源的气密式接头通常是可以满足要求的。但是在通常应用环境中，还有大量的连接器和光学元件，如果全部使用气密接头的成本很高。因为两相浸没式液冷系统运行在常压环境中，导线和电缆只需穿过一个简单开口在液面以下的导管。液体就会产生“水封”密封的效果，防止蒸汽和液体的流失，从而将扩散性的液体损失控制在大约 1 g-m/cm² 水平。必要时，还可通过低粘度树脂⁸灌封的方式进一步降低这种损失。对于一些需要密集通讯的应用场合，可以使用印制电路板转接器，作为 IO 的通路。

第 7 部分 - 其它控制设备

如果液体的液位过低，可利用浮动开关切断硬件的电源。蒸汽区温度传感器可用于确定蒸汽高度，从而调整冷却水的流量，更大限度的减少蒸汽区的向上移动。在冷凝器上方温度传感器一旦被加热至液体沸腾温度，就意味着负载超过冷凝器制冷能力，引起蒸汽区上升过高。这些和其它控制信号可汇总至相应可编程逻辑控制器，来辅助对系统的监控和调整。



电子材料解决方案事业部

3M 中心，美国明尼苏达州圣保罗市 224-3N-11 大楼

邮编：55144

电话 1-800-810-8513

网址 3M.com/immersioncooling

更多信息

如需了解更多产品信息或需要获取销售人员帮助，请通过下列号码之一联系 3M 客户服务人员，或访问 3M.com/ImmersionCooling。

关于其它 3M 全球办事处及其它 3M 电子产品信息，请访问本公司网站 3M.com/electronics。

参考文献

1. http://www.highsidechem.com/pdfs/sheets/leaklock_product_sheet.pdf
2. <https://www.parker.com/Literature/O-Ring%20Division%20Literature/ORD%205700.pdf>
3. Tuma, P. E., “关于被动式两相浸没式液冷的非热学设计考虑因素”IEEE 半导体热工测量及管理研讨会 27 号会刊，美国加利福尼亚州圣何塞，2011 年 3 月 20 至 24 日
4. 联系 Wieland Copper Products 公司，伊利诺伊州惠灵市，(847) 465-6789
5. Tuma, P. 等，“两相浸没式液冷计算机沸腾强化的正确用途”SEMI-THERM® 热学技术研讨会发布会，2019 年 11 月 4 至 6 日，微软公司会议中心，美国华盛顿州雷蒙德市
6. 许多公司都可提供短期（清洁）和长期（萃取）蒸汽去脂服务。
7. https://www.youtube.com/watch?v=oi_iFRAtfus
8. http://www.polytek.com/index.php?dispatch=categories.view&category_id=243

*本文档的作用是为用户提供关于特定 3M 产品评估、处理和故障排除方面的基本信息。这些信息通常以总体描述或概要的方式提供，以便协助用户使用 3M 公司产品。这些信息不能够代替用户对于具体产品使用环境和条件的分析，以及用户对于 3M 产品处理方式的分析。用户应确定此信息是否适用于具体预期用途及预期应用场合。用户全权负责评估第三方知识产权，确保用户的使用以及 3M 产品的预期用途不侵犯第三方的知识产权。

监管：与您的 3M 代表取得联系以获取本产品的监管信息。

技术信息：本文包含的技术信息、建议和其他声明均基于 3M 认为具有可靠性的测试或体验，但 3M 不确保这些信息的准确性和完整性。

产品用途：在特定应用下，3M 产品的使用和性能受到多种因素影响，这些因素不受 3M 控制，仅取决于用户知识，受用户控制。鉴于 3M 产品的使用与性能受到多种因素影响，因此由用户自行评估 3M 产品，并确定其是否适用于特定的目的、适用于用户应用的方法。

质保、有限补救措施及免责声明：除非在相关 3M 产品包装或产品资料上注明有额外的保证，否则 3M 保证在产品发运时每个 3M 产品均达到相关 3M 产品技术规范。3M 对此将不做其他担保或提出条件，包括但不限于某一产品特定用途的适销性或适用性的暗示保证或因处理惯例或商业惯例而做的暗示保证。如果 3M 产品无法满足该保修条款，则唯一的补偿是由 3M 决定，更换该 3M 产品或返还该 3M 产品的花费。

责任限制：除法律禁止的情况外，对于因产品使用而引起的任何直接、间接、特殊、附带性或因果性损失或损坏，不论主张何种法理，包括保证、契约、疏忽或严格赔偿责任，3M 公司概不承担责任。

Leak Lock 是 Highside Chemicals, Inc. 所有的注册商标。3M、Fluorinert 和 Novec 是 3M 公司所有的商标。

©3M 2020。保留所有权利。60-5002-0788-5