



VERTIV™
维谛技术

维谛技术白皮书

数据中心液冷解决方案

概述

随着支持人工智能和其他处理器密集型应用的服务器运算能力提升, 越来越多场景下的机架功率密度超过了20千瓦 (kW), 并且许多组织现在正在寻求部署具备50kW或满足更高要求功率密度的机架。

风冷系统不断演变, 以应对更高的密度和实现更佳效率, 但在某个节点上, 空气不具备以高效方式高热密度机架提供足够冷却所需的热传导特性。这会降低专用服务器的性能和可靠性, 并随着机架功率的增加而降低效率。随着更多高功率密度机架的部署, 从经济和可持续性角度来看, 风冷就变得难以立足。

因此, 越来越多的组织正在探索将液体带入机架以提高数据中心冷却能力和效率的可行性。液冷利用水或其他流体较高的热传导特性, 来支持高效经济的高热密度机架冷却。

这种方法已在大型计算机和游戏计算机等多个应用中得到验证, 但在机架安装式服务器领域并不常用。这种情况正快速发生变化。随着高密度机架的激增, 液冷正在走出高性能计算(HPC)的小圈子, 进入到主流领域。维谛技术(Vertiv) 预测, 未来几年内该技术将继续迅猛发展。

数据中心设备和基础设施供应商已经开展了广泛的开发工作, 以支持液冷, 目前有多种解决方案可用于通过热管背板热交换器、冷板液冷和浸没式液冷方法来冷却服务器。最适合特定设施的方案将取决于多种因素。然而, 考虑采用液冷的数据中心操作人员面临一个共同的挑战: 如何将液冷方案与数据中心和建筑基础设施集成, 以支持液体进出机架。

本文概述了液冷技术, 重点介绍了数据中心基础设施如何发展以支持液冷方案。

液冷是必然趋势

长期以来,一直有预测认为机架功率密度将达到风冷无法支持的水平。直到现在这些预测一直过于乐观,因为密度提升没有预期的那么快速。尽管如此,这些预测还是激发了对解决方案的广泛研发(R&D),这些解决方案可支持极高的机架密度,最值得注意的是冷板液冷方案和浸没式液冷方案。

现在,各种趋势的融合正在将机架功耗提高到数据中心行业以前预测的水平。

机架密度提升的核心是更新一代的中央处理单元(CPU)和图形处理单元(GPU),其热功率密度远高于上一代架构。例如,在多年保持相对稳定的功率密度之后,英特尔Cannon Lake CPU的热功率密度达到了两年前推出的前一代CPU的一倍。

同时,服务器制造商正在将更多的CPU和GPU装入每个机架单元(U)。由于机架内有多个高性能服务器,即使有密封装置,向机架输送冷风的空调系统也无法提供足够的冷却能力。此外,在处理密集型应用中,分散计算的策略并不可行,因为即使是在单个服务器中,也存在物理距离带来的延迟挑战。因此,组件被压缩到单个设备内,从而形成高热密集的1U服务器,将机架热密度提高到前所未有的水平。

推动这些技术进步的潜在动力,是人工智能的广泛应用和HPC在科学计算中的大量应用。这些技术正在被部署到数据中心,支持基于云的HPC、金融活动、在线游戏、医疗保健、电影编辑、动画和媒体流。因此,高密度设备机架正在走出小众应用,变得更加主流,这迫使热管理系统要随之演变,以满足新的要求。

这些新技术带来的变化正从多个方面影响着数据中心设计。第一是设计专门依靠液冷的新数据中心,创建具有巨大计算能力的更小、更高效的数据中心。第二是设计采用风冷,但也包含液冷方案,以简化未来过渡过程的数据中心。第三,也是到目前为止最常见的是,数

据中心操作人员将液冷集成到现有的风冷设施中,通常是将部分风冷方案转变为液冷方案。最后,液冷正在成为处理密集型边缘计算站点的可行替代方案。

虽然这些情景都会使用类似的解决方案,但它们也会带来独特的挑战,通过与在数据中心热管理方面拥有深厚专业知识,且具备广泛风冷和液冷解决方案组合的基础设施合作伙伴密切合作,可以很好解决这些挑战。

创新传承

作为全球热管理领域的佼佼者,基于创新传承和广泛积累的综合能力,维谛技术(Vertiv)为液冷带来了整体方法,可简化和加速向液冷方案的过渡。我们的产品是多年研发工作的成果,并通过与领先大学合作、参与行业协会以及与新兴技术提供合作共同完成,其中包括:

- 与大学的能源-智能电子系统中心(ES2)合作,通过液冷方案和其他方法提高数据中心效率。这种类型的合作关系有助于开发具备兼容性的材料;让我们进一步了解液冷方案部署、冷却液过滤和密封方法;优化液冷系统控制。
- 积极参与绿色网格(Green Grid)和开放式计算(Open Compute Project)项目,帮助制定系统设计和部署的最佳实践,并确保液冷系统组件的兼容性。
- 与Green Revolution Cooling(GRC)合作,引入新的浸没式液冷产品生产线。

维谛技术(Vertiv)通过这些工作以及我们的液冷方案研发计划,紧跟不断变化的客户需求,提供支持风冷和液冷混合冷却以及全液冷数据中心的产品组合,包括:

- 冷却液分配装置(CDU)和室内制冷机,专为提供完整的数据中心液冷解决方案而设计
- 主动式和被动式热管背板热交换器
- 创新高效的浸没式液冷系统
- 专为液冷CDU和冷水机组设计的可共用的室外散热单元
- 助力改造风冷设备以支持液冷方案的应用
- 提供适用于液冷方案的调试、开机、运行的实践和服务

随着液冷市场需求的增长,维谛技术(Vertiv)正在继续扩展我们的能力,利用我们的规模和热管理专业知识开发新的解决方案和服务。

热管理系统的发展现状

数据中心冷却技术必须不断发展, 才能满足其所支持的IT系统不断变化的需求。前几年, 风冷系统通过让冷源更靠近热源, 或者密封冷通道/热通道的方案, 来适应更高的热密度散热需求。但是, 随着机架密度升至20kW以上 (图1), 这些方法的收益逐渐减少。多种液冷技术应运而生, 从而满足高热密度机柜的散热需求。

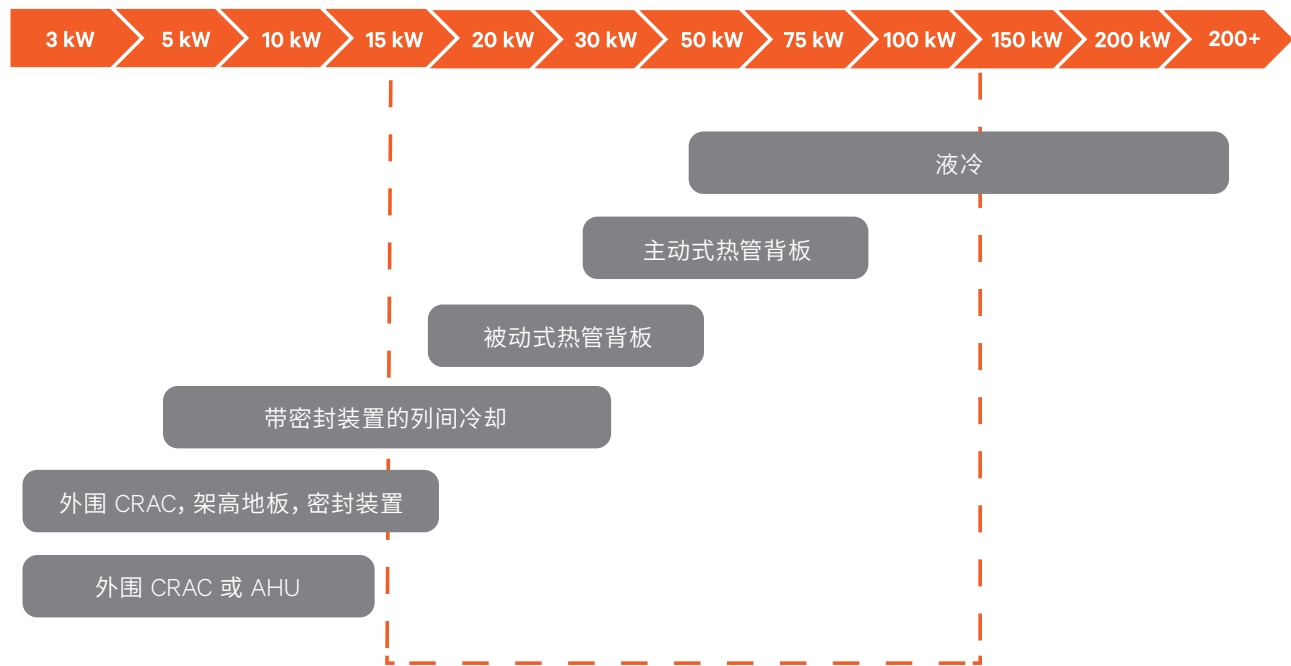


图1. 当机架密度超过20kW时, 风冷系统会失去有效性, 此时可采用液冷方法

热管背板热交换器

热管背板热交换器是一项成熟的技术, 可为20kW以上热密度的机柜提供可行的冷却解决方案。虽然这些技术不会将液体直接带入服务器, 但它们确实利用了液体的高热传导特性, 并采用与直接液冷所需数据中心基础设施类似的设备。

主动式或被动式热管背板热交换器 (图2) 采用换热器替代IT设备机架的后门。采用被动式设计, 服务器风扇通过安装在机架后门上的热管背板盘管排出热空气。盘管会在空气散入数据中心之前吸收热量。主动式热管背板换热器包含风扇, 用于将空气吸入盘管, 从高热密度的机架中带走热量。

这些系统可以构成数据中心混合冷却方案的基础, 其中液冷和风冷系统协同工作, 冷却不同机架密度混合的应用场景。此发展过程的下一阶段是直接式液冷方案。直接液冷方案的两种最常见的方法是芯片冷板液冷和浸泡式液冷。



图2. 主动式和被动式热管背板热交换器

芯片冷板液冷

芯片的冷板位于发热组件 (CPU、GPU、内存模块) 之上, 通过单相冷板或两相冷板来吸收并带走芯片的热量。

单相冷板液冷使用通过CDU循环进入冷板的冷却液来吸收服务器的热量。加热后的冷却液被转移到机架外散热, 这通常由CDU来完成。

流体的选择通过平衡流体的导热性能和粘度来确定。水可换热能力最好, 但其通常与乙二醇混合使用, 这样会降低导热能力, 同时又提高了换热介质粘性, 提高了循环泵的功率。冷板液冷系统还可以使用绝缘冷却液来减轻泄漏造成的损坏; 然而, 一般情况下绝缘冷却液的热传导能力要低于水/乙二醇混合物。表3比较了各种介质的热传导能力。

介质类型	比热 (J/kgK)	体积/kg	焦耳/升
水 (仅供参考)	4182	1L	4182
碳氢化合物	2300	1.24L	1854.8
碳氟化合物	1300	0.71L	1831.0
气体	1000	773.46L	1.3

表3. 按介质显示的相对换热能力
来源: [OCP浸泡式冷却IT设备设计指南](#)

两相冷板液冷的工作过程是, 低压冷却液流入冷板换热器, 服务器产生的热量会使冷却液相变。热量以冷却液汽化形式从服务器中被带走, 然后交换至机架外以便散热。

与热管背板热交换器相比, 冷板液冷通常具有更高的换热能力, 且许多公司均提供可与现有和新服务器集成的冷板技术。但是, 这种方法无法带走机架内设备的全部热量。通常, 冷板液冷可带走机架中设备产生的70-75%的热量, 因此需要采用混合冷却方法。这是因为冷板覆盖在平坦表面时换热效果最佳, 例如CPU、GPU和存储器模块等, 但不适用于电源和IC电容器等其它组件。部署冷板液冷的组织应与数据中心基础设施合作伙伴合作, 确定是否可以改造部分风冷系统以支持冷板液冷。

浸没式液冷

在浸没式液冷方案中, 服务器和机架中的其他组件被浸泡在导热绝缘液体或流体中。这种方法无需风冷冷却, 服务器散热无需通过风扇带来的空气流动来进行。此方法可最大化冷却液的热传导特性, 也是最高效节能的液冷方式。

与冷板液冷方案一样, 浸泡式液冷方案也有单相和两相可选。在单相浸没式液冷系统中 (图4), 服务器竖直地安装在导热的绝缘冷却液中。冷却液直接接触服务器的组件并从中吸收热量, 再通过CDU中的热交换器去降低冷却液温度。在数据中心应用时, CDU通常会安装在液冷Tank附近或机房外部安装。不过也提供将CDU集成到液冷Tank的“微型”Tank可供选择, 可为高热密度边缘计算应用场景提供完整的独立冷却解决方案。

在两相浸没式液冷中, 服务器浸没在绝缘介质中, 该冷却液沸点足够低, 可以带走所有IT的散热, 同时其沸点也要足够高, 可以降低在冷凝盘中排出热量时的能耗。服务器的热量使冷却液沸腾, 发生相变。上升的蒸汽通过位于Tank顶部的盘管冷凝回液体, 然后借助重力下落回到Tank中。

由于两相液冷系统中使用的冷却液非常昂贵, 并且存在环境、健康和安全问题, 因此通过设计来最大限度地减少两相浸没式液冷系统的蒸汽流失非常重要。一种方法是密封Tank, 以防止蒸汽逸出。

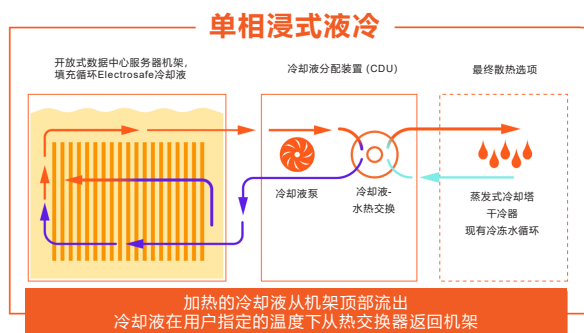


图4. 单相浸没式液冷系统中的冷却液循环和换热

这种方法可有效减少蒸汽流失；然而，维护封闭设备需要采用《联邦清洁空气法案》第608节中所述的液体处理方法，导致服务器维护工作复杂化。

另一种方法是利用吸排气控制气压，随着IT负载的增大或减小改变冷却液的蒸汽量。此方法结合使用波纹管与低温冷凝器冷凝蒸汽，并采用活性炭在换热过程中吸附/脱附蒸汽。这种方法可以更容易地接触沸腾的冷却液中的服务器，但增加了系统复杂性，并且只能在最小程度上减少蒸汽流失。

液冷设备

无论是采用热管背板热交换器来间接冷却高热密度机柜，还是采用冷板液冷或浸没式液冷技术来直接冷却服务器，都需要专门的设备来形成冷却液流动环路，以便在冷却设备与二次冷却环路之间实现热传导。

正确配置冷却系统是成功过渡到液冷方案的关键。在配置专用环路以满足液冷时，应考虑冷却系统的能力，以确保冷却液的温度的控制精度，以及应对HPC中常见的负载突然增加情况的能力。

还应设计专门的液冷Tank，以尽可能减少冷却液流量，从而减少泄漏的影响，并减轻设备重量带来的建筑承重风险。以下是专用液冷解决方案的组件。

冷却液分配装置 (CDU)

CDU为冷板液冷和浸没式液冷的冷却液提供热交换器，调节冷却液温度和流量。CDU包含将冷却液与冷冻水循环管路隔离的辅助环路，实现严格的密封和对液冷系统的精确控制。通常，它可以将液冷温度保持在数据中心露点温度以上，以防止冷凝，并最大限度地提高制冷量。然后通过CDU内的液-气或液-液热交换器移除来自机架的热量。CDU可安装在数据中心的列间或机房外部。CDU具有一系列可用容量，部分型号提供超过1MW的换热量，可以用最少数量的CDU支持规模更大的部署。

在复杂环境中部署间接或直接液冷设备时，CDU可为局部冷却液输送和排热提供完整的解决方案。在全液冷环境中支持直接液冷方案时，CDU需搭配散热系统使用。CDU与热管背板一起使用时，通常会采用冷水机组提供的低温冷水来对热管背板进行冷却。

室内制冷机

对于数据中心没有冷冻水，或者不想接入现有冷冻水系统的应用，模块化室内制冷机可为液冷提供高效可靠的支持。变频泵调节制冷剂的流速以适应热负荷的变化，同时通过调节泵的转速来维持出水温度。设计用于支持液冷系统的室内制冷机装置的占地面积与外围冷却装置相同，可以简化改造工作和超前新数据中心设计。

Tank

Tank可容纳绝缘冷却液中垂直安装的服务器，其与CDU一起工作，使冷却液循环，从而去除热量。

散热

具有液-液热交换器的CDU可连接到建筑物的冷冻水系统以便散热。在没有可用建筑冷却水系统的情况下，可以采用上文所述的室内制冷机。现有的干冷器或冷却塔可用于室外侧散热，但这些系统通常需要经过改造以支持液冷系统。例如，根据设施的位置，干冷器可能需要绝热辅助装置，以全年维持液冷所需的较低供液温度。基础设施合作伙伴可以帮助您确定现有散热系统所需的变更。

液冷的优点

想要部署密度极高机架 (30kW以上) 的设施在是否使用液冷方面几乎没有选择余地。无论如何配置或优化系统, 风冷都无法提供维持IT系统可靠性所需的散热能力。在边缘计算和核心数据中心都是如此。

在机架热密度逐渐提升, 达到必须采用液冷的阈值的情况下, 设施管理人员将需要权衡通过转向液冷而实现的益处与成本, 以及将风冷系统推向其能够有效管理热量的范围之外的相关风险。

部分机房管理人员可能还对将液体引入IT机架抱有疑虑。当今的液冷方案设计旨在将流体泄漏的可能性及泄漏对数据中心运行的影响降至最低。可以与您的基础设施提供商讨论您的疑虑, 以便更好地了解特定系统使用的泄漏缓解功能。

液冷方案可能不适用于所有设施, 但在适当情况下, 它可以提供以下优点。

最佳的IT可靠性和性能

液冷系统不仅可以实现所需的可靠性, 还可以提高IT性能优势。随着CPU外壳温度接近最高安全工作温度 (采用风冷时可能会发生此情况), CPU性能会遭到抑制, 采用液冷可避免发生热失控。液冷方案允许密集排列的系统在其最大电压和频率下连续运行, 同时可避免过热。

提高能量效率

与空气相比, 液体具备更高的热传导特性, 且可免除在数据中心和服务器间实现空气流通所需的风扇, 可以给采用液冷方案的数据中心中带来显著的节能。液冷所需的循环泵功耗低于采用风扇实现相同冷却效果所需的功率。

可持续性

液冷不仅创造了降低数据中心能耗的机会, 还可将电力使用效率(PUE)降至接近1.0, 它为数据中心热回收提供了更有效的方法, 从而减少了对建筑物供暖系统的需求。来自系统的回水温度可达到140°F (60°C) 或更高, 且液体到液体的传热效率要高于空气系统可能达到的效率。

最大化空间利用率

通过液冷实现的部署高密度机柜能够更好地利用现有的数据中心空间, 无需扩展或新建, 也可以建造占地面积更小的设施。它还可以在物理空间有限的情况下支持处理密集型边缘计算应用。

降低拥有成本

美国采暖、制冷与空调工程师学会(ASHRAE)对风冷数据中心与混合模型风冷和液冷数据中心进行了详细的拥有成本对比分析, 发现虽然许多变量会影响总体拥有成本(TCO), 但“液冷通过更高的密度、更多的自由冷却使用、更优的性能和更佳的每瓦特性能, 创造了改善TCO的机会。”

结论

要支持越来越多企业用于创造竞争优势的应用场景, 就需要高热密度的处理能力, 而这超过了风冷的物理限制。

液冷可提供比风冷高几个数量级的传热能力, 核心和边缘计算领域的处理高热密度的应用将越来越需要液冷技术的支持。完整的基础设施解决方案现已推出, 可安全有效地提供液冷技术支持, 既可助力全液冷设施设计, 也可助力将液冷方案成功引入现有的风冷数据中心。

要了解数据中心液冷解决方案的更多信息, [请联系您当地的维谛技术 \(Vertiv\) 代表。](#)