

# 液冷盲插快接头发展研究报告

Research Report on the Development of Liquid-cooling Quick Disconnect Blind-Mate



# 编制说明

本报告在撰写过程中得到了多家单位的大力支持，在此特别感谢以下参编单位（排名不分先后）：

中国信息通信研究院、中移动信息技术有限公司、中国电信股份有限公司研究院、中讯邮电咨询设计院有限公司、华为技术有限公司、中航光电科技股份有限公司、苏州华旗航天电器有限公司、史陶比尔（杭州）精密机械电子有限公司、软通计算机有限公司、中国计量科学研究院、中国质量认证中心有限公司、丹佛斯动力系统（宁波）有限公司、常州贺斯特科技股份有限公司、中兴通讯股份有限公司、深圳市英维克科技股份有限公司、上海蓝科电气有限公司、超聚变数字技术有限公司、中科可控信息产业有限公司、东莞市立敏达电子科技有限公司

# 前言

随着算力中心所需应对的业务规模和复杂度不断提升，电子装备提出小型化、集成化要求的同时，对功率的要求也越来越高。常见的风冷已满足不了设备散热要求。液冷散热的换热系数较风冷散热提高了 100 倍以上，凭借其在高热通量、低热阻等方面的优势，加之政府部门对于绿色节能的重视程度提高等原因，液冷技术逐渐成为算力中心散热更优的选择。

液冷系统快接头是连接机柜与节点之间液体流通的枢纽，负责控制 **Manifold** 与液冷节点之间的连接与关断，是液冷系统中的重要部件，因此快接头对零件配合精度要求高、可靠性要求高。当前液冷系统快接头分为手插和盲插两种形式，其中盲插快接头由于满足算力中心自动化插拔场景、可靠性高等方面的优势更契合未来产业发展需求。

考虑到快接头在液冷生态中的重要位置，结合当前各厂商产品形态各异，互联互配难的困境。本报告以更符合未来产业发展需求的盲插快接头为研究对象，通过分析当前盲插快接头的发展现状、标准化困境及典型应用案例，旨在为液冷盲插快接头的解耦难题提供参考，助力实现服务器节点多样化供应，构建更加先进和高效的液冷系统生态。

由于时间仓促，本报告仍有诸多不足之处，恳请各界批评指正。

2025 年 1 月

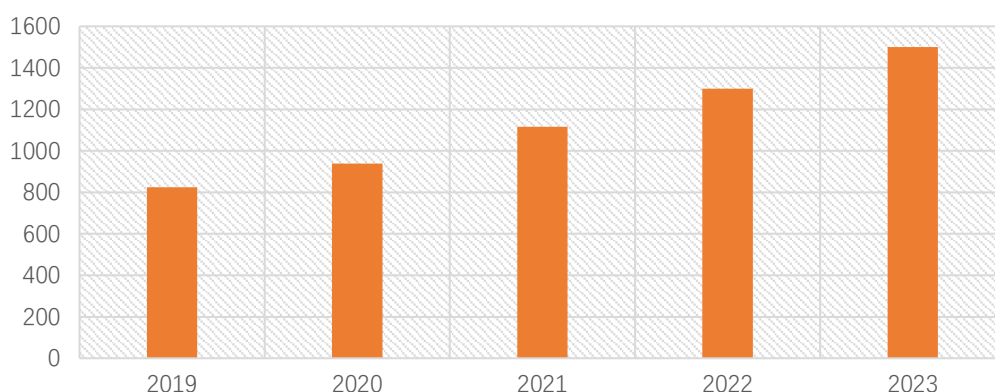
# 目 录

|    |                        |    |
|----|------------------------|----|
| 一、 | 研究背景 .....             | 1  |
|    | （一）液冷系统发展趋势 .....      | 1  |
|    | （二）液冷系统快接头概述及分类 .....  | 3  |
|    | （三）液冷盲插快接头应用的必要性 ..... | 7  |
| 二、 | 液冷盲插快接头发展现状 .....      | 7  |
|    | （一）规范标准 .....          | 7  |
|    | （二）行业应用 .....          | 9  |
|    | （三）典型代表厂商 .....        | 10 |
| 三、 | 液冷盲插快接头标准化困境 .....     | 11 |
|    | （一）产品设计 .....          | 11 |
|    | （二）互联解耦 .....          | 13 |
|    | （三）产业生态 .....          | 17 |
| 四、 | 液冷盲插快接头典型应用案例 .....    | 19 |
|    | （一）CQDB 盲插快接头 .....    | 19 |
|    | （二）CGD 盲插快接头 .....     | 23 |
|    | （三）UQDB 盲插快接头 .....    | 25 |
| 五、 | 建议与展望 .....            | 28 |

## 一、 研究背景

### （一）液冷系统发展趋势

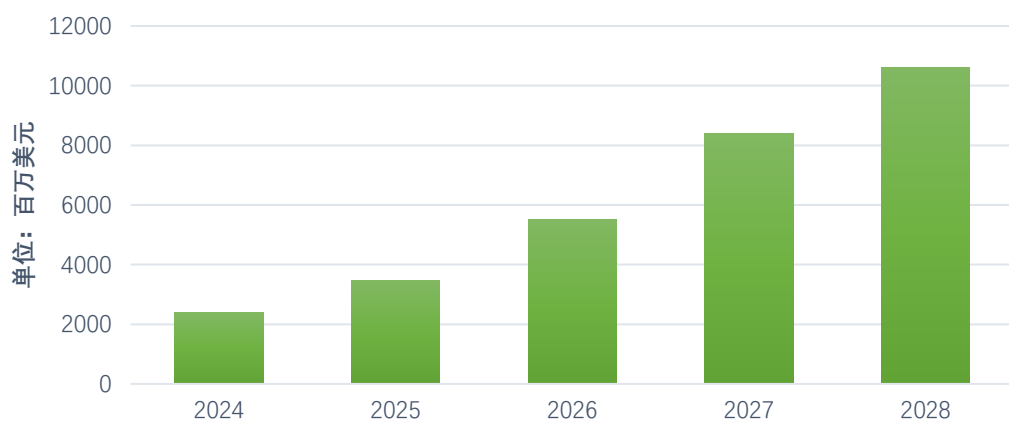
政策和行业的双重驱动推动了液冷技术的普及。信息技术的快速发展让液冷技术成为计算机领域新的焦点。从政策背景来看，政府部门对算力中心 PUE 要求提高。截至 2023 年底，我国提供算力服务的在用机架数达到 810 万标准机架，总耗电量达到 1500 亿千瓦时，算力中心在用标准机架总耗电量约占全社会用电 1.6%，碳排放总量为 0.84 亿吨。为落实“碳达峰、碳中和”和“东数西算”发展政策，国家和地方政府发布一系列节能减排政策要求，例如《数据中心绿色低碳发展专项行动计划》提出，到 2025 年底，新建及改扩建大型和超大型数据中心电能利用效率降至 1.25 以内，国家枢纽节点数据中心项目电能利用效率不得高于 1.2。《算力基础设施高质量发展行动计划》提到，支持液冷、储能等新技术应用。这些政策文件的发布为液冷技术的发展指明了方向。



来源：中国信息通信研究院

图 1 2019-2023 年我国算力中心耗电量（亿千瓦时）

从企业发展来看，高密度芯片正在寻求新的散热方式。随着 CPU、GPU 等核心计算芯片更新换代，单位面积与体积下晶体管数量更多，芯片功耗已达到 1000W 左右，以英伟达最新 GB200 超级芯片为例，其功耗已逼近 2700W。芯片功率密度的不断提升，已经逐渐突破传统风冷散热的极限。在 2024 年 IDEA 大会上，沈向洋院士曾指出，未来十年 AI 的发展可能需要 100 万倍的算力增长，远超摩尔定律所预测的范围。在此发展背景下，液冷应用的需求必然会随之增长，市场前景可期。近年来随着液冷技术趋于成熟稳定，业界对算力中心液冷系统的认可度正不断提升。根据 IDC 数据，中国液冷服务器市场在 2024 上半年继续保持快速增长，市场规模达到 12.6 亿美元，与 2023 年同期相比增长 98.3%，其中液冷解决方案仍以冷板式为主，占到 95% 以上，预计 2028 年市场规模将达到 102 亿美元。



来源：IDC、中国信息通信研究院

图 2 中国液冷服务器市场预测（2024-2028）

从用户体验的角度来看，企业用户追求更低的运行成本和更高的可维护性。引入液冷系统可显著降低算力中心整体能耗，提高 TCO 收

益，同时增强系统运行的稳定性。这对于日常使用中需要长时间高负荷运行的 AI 算力服务器而言，意味着更低的运行成本和更高的可维护性。用户在进行大规模训练、推理、数据分析等应用时，能够享受更可靠的硬件支持，确保计算任务高效完成。

**供应链复杂度高及零部件标准化程度低限制了液冷系统的发展。**尽管我国算力中心液冷技术正迎来快速发展期，市场规模不断扩大，相关技术逐渐成熟，众多厂商推出了符合市场需求的液冷产品或解决方案。但由于液冷系统的特殊性，很多情况下都需要针对特定的应用进行高度定制化的设计和制造，加之液冷系统内涉及诸多零部件，这些零部件各厂商产品形态各异，产品规范化、标准化程度较低，导致用户可能被迫依赖单一供应商，限制了选择的灵活性和成本效益，在一定程度上制约了液冷系统的发展。

综上所述，算力中心液冷技术由于在散热效率和能耗方面展现出明显优势正迎来快速发展期。随着市场规模不断扩大和技术日益成熟，液冷技术有望推动算力中心朝着更高效、更节能和更智能的方向发展。与此同时，由于零部件标准化程度低，导致兼容性较差，如何解决液冷机柜与服务器节点之间的解耦以达到不同厂商的兼容部署已成为业界重点探讨的话题。

## （二）液冷系统快接头概述及分类

液冷系统快接头是一种不需要工具就能实现管路连通或断开的接头，主要用于 **Manifold** 与液冷节点之间的连接与关断。快接头首先广泛应用于工业领域，随着液冷技术在计算机领域的应用，快接头

开始针对计算机液冷系统进行专门的设计，如今已广泛应用于各种不同的液冷系统中，如算力中心，车载、机载、舰载和地面环境下的雷达设备、机载液冷机箱、服务器、新能源电池模组、高功率密度电机、高功率密度功率模块的液冷散热系统中。

液冷系统快接头简单来说由公头（插头）和母头（插座）组成，内置有密封件、弹簧、锁紧机构、导向槽等关键部件。在液冷系统中，它需要与冷却液接触并实现带液带压插拔的功能，确保在不使用任何工具的情况下，能够迅速完成接合与分离动作，而不造成液体滴漏。因此，快接头的设计强调密封性、兼容性以及快速连接和断开的功能。此外，用于快接头本体的材料选择需综合考虑应用场合对耐腐蚀性、机械强度、导热性、轻量化以及成本的要求，通常为不锈钢和硬质阳极氧化后的铝合金。

**液冷系统快接头根据插拔形式的不同分为手插和盲插两种形式。**手插式是指需要人为手动握住快接头，进行插拔连接操作的接头设计，可分为单手插拔和双手插拔式。插头自带锁紧结构，包括了钢珠锁紧、钢针锁紧、螺纹锁紧、卡扣锁紧等方式。由于手动锁紧是通过运维人员的手动推拉实现快接头与其他连接器件的锁紧与断开，这一过程不仅考验操作者的细心程度，也会受限于服务器内部空间布局。理想的安装环境应当为操作者的手部活动提供充足的空间，确保其能够在不受阻碍的情况下顺利完成接头地对准、插入及锁紧步骤。



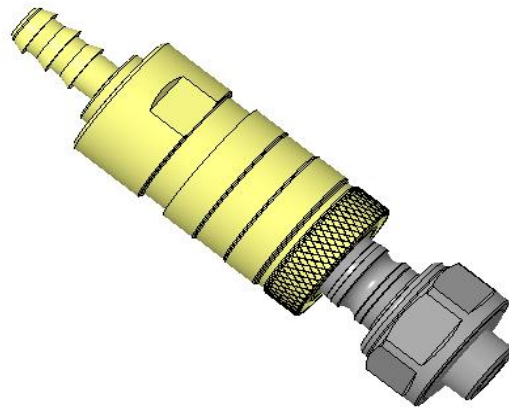


图 3 手插快接头示意图

盲插快接头则是指能够在视线或空间受限的情况下完成连接的快接头，通常用于服务器背侧、机柜内部，一侧接头安装在 **Manifold** 上，另一侧接头固定在服务器后窗与冷板连接，使液体通路形成封闭环路。盲插快接头没有锁紧机构，仅通过与外部结构的配合锁紧，这一个过程依赖于精确的机械设计和定位导向机制。因此采用盲插快接头的服务器，需在机柜上为服务器单元设置导轨，以完成接头的初步导向，另需在服务器机柜人员操作一侧设置锁紧装置，以固定整个服务器单元，防止因接头弹簧或流体压力导致服务器单元被顶出断连。为弥补机柜导轨与服务器单元的配合误差、锁紧机构的固定位置偏差，接头通常需配置补偿机构以弥补公母头的对中误差，并能在轴向一定对接范围内保持最大流量。盲插快接头操作方便且连接精度高，未来可满足自动巡检、机器人运维的需求，对一些高度集成且空间受限的服务器环境有较大的优势。

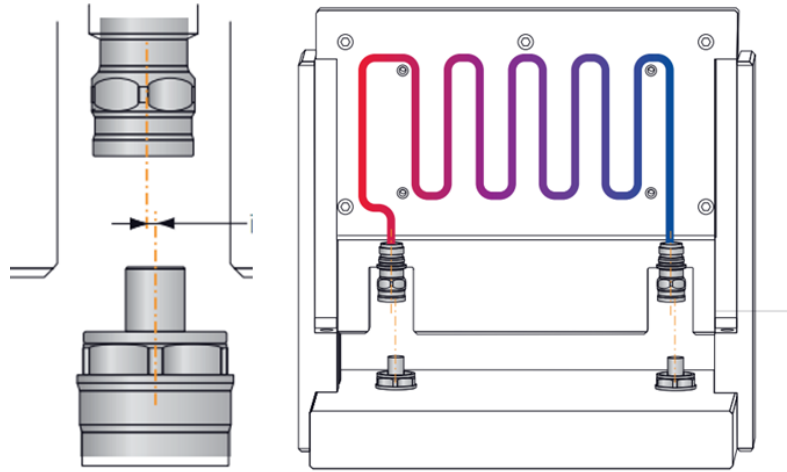


图 4 盲插快接头对齐偏差示意图

具体而言，手插快接头和盲插快接头的详细优劣势分析如表 1 所示。

表 1 手插快接头与盲插快接头对比

| 类型    | 手插快接头   | 盲插快接头   |
|-------|---|---|
| 可靠性   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、软管外露，搬运磕碰，过度折弯导致内损伤&amp;漏液风险</li> <li>2、快接头人工操作，进回水接反等误操作带来流量不足</li> <li>3、对服务器和机柜的相关止位结构的加工精度无要求</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、软管内置，采用机构弯曲半径管理，保证了软管长期可靠性</li> <li>2、快接头自动化对准，规避误操作，保证液冷通流的可靠性</li> <li>3、对服务器和机柜的相关止位结构的加工精度有要求</li> </ol> |
| 可安装性  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、水电不同步，必须先上水再上电，接反就会导致服务器干烧</li> <li>2、水管和接头全部在后方，插拔难操作，须考虑安装空间大小</li> </ol>                                  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、水电同时接通，保证可靠性</li> <li>2、单面操作，免插拔线缆，极简维护，安装空间要求低</li> </ol>   |
| 可维护性  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、插拔快接头必须 2 人维护或绕到前方，维护便利性差</li> <li>2、更换服务器，需要严格先断电，后断水，操作要求高</li> </ol>                                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、快接头一次性连接，单人单面即可维护，操作简单</li> <li>2、自动化插拔，天然防呆，操作要求低</li> </ol>  |
| 架构演进性 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、快接头人工维护，无法支持机器人运维</li> <li>2、架构无法演进，无法支持精准流量调节、紧急关断控制等特性</li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1、单面维护，支持机器人自动运维</li> <li>2、箱体架构演进，支持精准流量调节、紧急关断特性</li> </ol>  |

可以看出，从可靠性、可维护性、可安装性及架构演进性等多个维度分析，盲插快接头更能适应未来产业发展的需求。

### （三）液冷盲插快接头应用的必要性

盲插快接头满足了高密机柜的操作需求。AI人工智能、大模型、多模态、云计算、大数据以及区块链等新兴技术要取得更新的成果，对算力提出了极高的要求，而算力密度的提升则意味着算力中心规模、功率密度的提高。为了在有限的空间内实现更高的计算密度，算力中心倾向于采用更紧凑的高密度机柜解决方案。高密度部署的机柜内部空间有限，对快接头的可靠性要求也更高，盲插快接头无需手动操作即可精准对接的特点能适应空间有限的操作环境，提高安装和维护的效率。

盲插快接头降低了液冷系统的运维难度。盲插快接头的盲插功能一般是通过浮动结构实现的，同时采用定位销结构来控制浮动量，保证互配的可靠性。这种结构保证了盲插快接头无需直接视觉辅助的情况下能够快速、准确地连接，满足液冷系统节点间自动化插拔应用场景。随着数字化转型的加速，算力中心正逐步向自动化、智能化方向转型，未来算力中心运维模式很可能转向人机协作，由机器人承担日常维护和基础任务。在此背景下，液冷盲插快接头更契合算力中心未来自动化的发展方向。

## 二、液冷盲插快接头发展现状

### （一）规范标准

国外起步相对较早，在液冷盲插快接头标准化取得一定进展。国际上对于快接头的标准多在机械行业，如 ISO（国际标准化组织）和

SAE（美国汽车工程师学会）都发布了液压管接头的相关标准，涵盖了液压和气动接头的尺寸，快接头测试验证及端口连接等方面的内容，直接针对计算机领域的还较少。随着液冷系统在计算机领域的快速发展，2020年OCP出台了针对计算机液冷系统的 Universal Quick Disconnect Blind-Mate (UQDB) Specification 快速盲插快接头全球标准，规定了UQDB快接头的接口标准和相关要求。作为Facebook等公司于2011年发起成立的非营利组织，OCP的标准得到了众多科技巨头的支持包括谷歌、微软、IBM等，这些企业的加入为其标准带来了广泛的行业影响力和市场接受度。我国不同协会、团体已在积极牵头液冷系统快接头的立项编制工作。随着液冷技术在算力中心的持续应用，国内在液冷盲插快接头的标准制定方面正积极推进，已陆续出台了液冷技术相关的标准与白皮书等。但以往文件中与快接头相关的内容往往在整机柜或算力中心尺度进行的撰写，如《冷板液冷服务器设计白皮书》中就将快接头作为冷板式液冷服务器中的某一部件进行规定，单独针对快接头尤其是盲插快接头的标准还较少。

表2 国内液冷盲插快接头相关标准

| 标准编号               | 标准名称                        | 主要内容  |
|--------------------|-----------------------------|---|
| T/CESA 1249.2—2023 | 《服务器及存储设备用液冷装置技术规范》第2部分连接系统 | 介绍了连接系统材质、外观和结构、流动性能、压力、密封性、环境适应性等技术要求和试验方法 |
| T/CIE 231-2024     | 数据中心用冷板式液冷信息设备流体连接器通用规范     | 介绍了流体连接器（快接头）的材料要求、技术要求和实验方法                |
| TD/T 6049-2024     | 冷板式液冷整机柜服务器技术要求 and 测试方法    | 介绍了盲插总线技术要求                                 |

当前我国针对液冷盲插快接头的标准较少，标准化程度有待加深。

整体来看，液冷盲插快接头的标准化工作仍处于初期阶段，标准数量相对有限，目前主要以 UQDB 标准为主导。但在实际应用中，每家的详细设计如密封圈位置、形状、材质等会存在差异，同时由于国内暂未出台统一的盲插快接头标准，给设备的互联解耦及维护升级带来了挑战。液冷盲插快接头作为连接液冷管路与服务器及其他组件的关键部件，其性能直接关系到整个系统的稳定运行。连接力、cv 值、液体损耗、最大工作压力等指标成为国内外液冷盲插快接头标准化共同的关注点。在整个液冷系统中，漏液、腐蚀、兼容性差、堵塞等问题成为当前业界的普遍痛点。为应对这些难题，国内外针对液冷系统快接头的标准均要求了液体损耗、连接力等关键性能提出了明确要求，以提升系统的可靠性和效率。

## （二）行业应用

国内外厂商竞相角逐，创新不断，市场呈现百花齐放的格局。液冷技术首次在计算机中使用是 1951 年 UNIVAC I 中的水冷装置。2008 年，IBM 对外发布的液冷超级计算机节点在微处理器模块上使用了冷板液冷。早年由于技术成熟度和成本效益等方面原因，手插快接头在市场上居于主导地位。随着技术进步和市场需求的变化，盲插快接头逐渐进入了发展轨道，获得了更多的关注和应用。液冷盲插快接头主要应用于液冷整机柜服务器产品中，液冷盲插式整机柜服务器广泛应用于高密算力需求的 HPC、AI 等场景。2019 年华为率先推出使用液冷盲插的整机柜服务器产品，其后，行业各服务器厂商均陆续使用液冷盲插快接头并推出整机柜服务器产品，如超聚变 FusionPoD、浪潮

信息的 ORS6000G7、NVIDIA 的 NVL72、宁畅 B8000 等，市场整体呈现百花齐放的状态。

市场对液冷盲插快接头标准化需求日益凸显。对于液冷算力中心而言，很多产品是初次设计应用，或者从其他行业引入。由于算力中心与其他行业存在一定差异，液冷系统更是复杂系统，设计过程很难将所有的可靠性问题考虑周全，液冷盲插快接头不同可靠性指标间甚至存在矛盾或冲突。此外，液冷盲插快接头产业生态还未统一，产品数量种类多，指标缺乏统一标准导致难以解耦的情况仍然存在。随着液冷技术在算力中心领域的广泛应用，缺乏标准化的局面给产品互联带来了诸多不便，市场对液冷盲插快接头的标准化需求日益凸显。

### （三）典型代表厂商

液冷盲插快接头多家厂商齐头并进。史陶比尔 1980 年开启液冷业务，并于 2000 年开发了 CGD 盲插快接头，至今已发展出从 1/8 寸到超过 1 寸全口径盲插接头方案，根据不同系列接头设计可补偿 0.5mm 到 2.5mm 不对中误差；2011 年中航光电推出了 TSF 系列盲插式快接头，2014 年和 2016 年相继推出了 TSD 系列大浮动盲插快接头和 TSFP 系列盲插快接头，支持 1MPa 以上压力的带压插拔和更高的流量冲击；华为在 2019 年研发了浮动容差能力和耐杂质能力更强的 CQDB 的盲插快接头；2020 年，OCP 出台了 UQDB 行业盲插快接头通用标准，诸多厂商如史陶比尔、中航光电、CPC、正北、英维克、蓝科电气等均可依照此标准提供符合要求的产品；2021 年，英维克推出了专为液冷服务器设计的 CGB 盲插系列快接头，实现了快速插拔且

不漏液，具备安全可靠、耐腐蚀的特点，并能承受超过 5000 次的循环插拔；2024 年，Meta 主导推出了 BMQC 快接头。在行业应用上，当前市场上应用较多的盲插快接头为 OCP 标准下的 UQDB，应用中的头部客户为英伟达等；华为推出自研的 CQDB 盲插快接头，累计应用超过 100 万套；中航光电 TSF 系列累计应用超过 10 万套，TSFP 累计应用超 50 万套；Meta 主导的 BMQC 盲插快接头，目前还未批量；快接厂商也有其他不同类型的盲插产品，小批量使用中。



图 5 液冷盲插快接头典型代表厂商

液冷盲插快接头的研发生产，包含了多家具有影响力的企业，从全球领军企业到新兴创新者，企业通过技术创新为算力中心提供了高效、可靠的连接解决方案。

### 三、液冷盲插快接头标准化困境

#### （一）产品设计

##### 1. 快接头浮动形式及浮动量差异

盲插快接头通常公头安装在 Manifold 上，母头安装于服务器节点侧，服务器由于装配、加工等累积产生一定的误差，盲插快接头公

头与母头在对插时就需要自身或依靠外部装置提供一定的径向和轴向浮动量，来兼容服务器自身产生的误差。

目前液冷服务器关于兼容服务器自身产生的误差的解决方案各个厂商并不统一。在快接头径向浮动方面有依赖快接头自身径向浮动能力兼容，如 UQDB，BMQC 快接头，还有通过外部浮动模组来实现浮动功能的，如华为 CQDB、UQDB 母头与 UQD 公头适配等案例；也有将具有浮动功能的盲插快接头同时搭配浮动模组来使用的，如中航光电的 TSF 搭配浮动模块、UQDB 搭配浮动模块等案例。

另外由于服务器机柜与服务器节点之间插入深度也存在误差，因此兼容插入深度的误差解决方案也不尽相同。例如有依赖快接头自身轴向浮动能力兼容的，如 BMQC、中航光电的 UQDB/A 等快接头，还有通过外部浮动模组来实现浮动功能的。兼容服务器自身产生的误差不同解决方案，对应了不同的插合行程、不同的浮动量、不同的外形尺寸，以及不同的服务器内部结构设计和布局。

## 2. 快接头结构差异

盲插快接头自身结构差异也是导致未能标准化的原因之一，结构差异方面包括等效通流直径、互换尺寸、插合行程、外形尺寸、安装接口形式及尺寸等方面。等效通流直径是指快接头公母头插合后阀芯等效通过流体的直径，目前主流接头的等效通流直径既有按照英制尺寸设计的，如 UQDB02、UQDB04、UQDB06、UQDB08 分别对应 1/8、1/4、3/8、1/2 英寸等效通流直径；也有按照公制尺寸设计的，如中航光电、史陶比尔等 03、04、05、06、08、12 则分别对应 3mm、4mm、



5mm、6mm、8mm、12mm 等效通流直径。同时，即便相同的规格，不同快接头厂商自行研制的产品互换尺寸也存在差异。

插合行程是指公母头插入至规定位置，阀芯打开的程度满足等效通流直径要求，插合行程通常由快接头厂商自行设计，也有可能根据服务器厂商的需求，进行插合行程的匹配性设计。

外形尺寸、安装接口形式及尺寸也会导致快接头无法原位替换，但通常情况下并不是最主要原因，因为外形尺寸和安装接口形式及尺寸是可以快速被匹配设计的。

### **3. 快接头制造工艺差异**

液冷盲插快接头在不同生产厂商之间，同一生产厂商不同批次之间，产品的加工公差会存在差异。快接头作为液冷系统中的关键部件，其质量与安全性能直接关系到整个系统的稳定运行，特别是对于盲插形式的快接头，通常安装在液冷机柜背部，且不易观察和维护，一旦发生漏液将产生十分严重的后果。因此，用户对快接头的选型极为谨慎，通常快接头厂商需要具备数十年的技术积累、装机十年以上，以及上百万套快接头的装机应用案例，才能获得用户的信赖和口碑。但随着近几年全球液冷“热”的席卷，出现了一批新的快接头厂商。行业内主流快接头厂商与一些新的快接头厂商本身在研发能力、设计经验、应用案例、质量一致性以及产品可靠性方面存在一定差距，尤其是产品生产细节的把控，如加工公差部分厂商的制作水平难以达到液冷系统要求的精密性，会直接影响到产品可靠性。

## **（二）互联解耦**

## 1. 产品性能差异

业界盲插快接头厂商众多，产品规格和性能上存在明显差异。国内外主流厂商包括丹佛斯、史陶比尔、中航光电、CEJN AB、CPC、苏州华旂、英维克、蓝科电气等，正如表 3 中所清晰展示的那般，这些厂商所生产的盲插快接头产品，在尺寸规格上可谓千差万别，流量参数方面同样参差不齐，这种产品参数的多样性和离散性，直接导致了在互联解耦场景需求面前，现行的产品设计暴露出明显的局限性。例如，在构建大型算力中心时，需要实现不同来源、不同厂商生产的设备之间快速、稳定且精准的连接与解耦操作。但由于各厂商产品尺寸与流量参数难以协调统一，使得设备间的互联互通困难重重，这无疑是在摆在盲插快接头行业面前，亟待攻克的一道关键难题。

表 3 不同厂商盲插快接头性能差异

| 厂商   | 型号         | 插合长度 (mm)     | 公头长*外径 (mm*mm)         | 母头长*外径 (mm*mm)         | 流量 (LPM) | Cv   | 轴向容差       | 径向导向     |
|------|------------|---------------|------------------------|------------------------|----------|------|------------|----------|
| 丹佛斯  | UQDB0<br>4 | 44.0-<br>45.4 | 35.3*25                | 28.5*23.6              | 6.4      | 1.22 | 1.4        | ±<br>1mm |
| 史陶比尔 | UQDB0<br>4 | 44.6          | 45.4*25.4              | 39.7*22.3              | 8.48     | 1.25 | 2mm        | ±<br>1mm |
| 中航光电 | UQDB0<br>4 | 44.6          | 45.5*25.4<br>42.5*25.4 | 39.7*22.6              | 7.3      | 1.34 | 0,<br>+1mm | ±<br>1mm |
| 苏州华旂 | UQDB0<br>4 | 44.6<br>57.4  | 45.3*21.5<br>45.5*25.4 | 53.7*21.5<br>39.7*22.6 | 7.3      | 1.48 | 0          | ±<br>1mm |
| 英维克  | UQDB0<br>4 | 44.6          | 45.4*25.4              | 40.1*24                | 7.3      | 1.42 | 1mm        | 1.3mm    |

| 厂商   | 型号     | 插合长度<br>(mm) | 公头长*外径<br>(mm*mm) | 母头长*外径<br>(mm*mm) | 流量<br>(LPM) | Cv   | 轴向容差 | 径向导向 |
|------|--------|--------------|-------------------|-------------------|-------------|------|------|------|
| 蓝科电气 | UQDB04 | 44.4         | 35.2*25           | 28.5*25           | 7.3         | 1.46 | ±1mm | ±1mm |

## 2. 专利保护的技术壁垒

液冷盲插快接头众多核心技术和创新点被专利覆盖,形成了较高的技术壁垒。不同厂商的液冷盲插快接头是否能够互联取决于多个因素,包括但不限于设计标准、物理接口规格、密封性能、流体兼容性以及压力和温度范围等。理想情况下,如果所有厂商都遵循相同的行业标准或开放规范,它们的产品则可以实现混插互配。然而,在实际应用中,厂商会根据实际需求对盲插快接头进行独特的设计开发并申请专利保护,例如:有针对盲插快接头浮动模块的专利,为解决插合过程中的倾斜问题、位置和深度问题、浮动量问题等而进行的设计;有针对盲插快接头自身容差设计的专利,是否可以实现较大的容差空间进行接头的对插安装;有针对盲插快接头快速连接和断开能力的专利;还有针对盲插快接头插合问题的专利,实现公母同体的快接头等。这些专利保护的技术特点使得不同厂商的产品在设计 and 功能上存在差异,且专利保护的问题也限制了不同快接头之间的互操作性。以UQDB为例,虽然OCP旨在推动机柜互联解耦问题设计了通用型的盲插快接头,但也只定义了开放接口尺寸,各厂商仍会有各自的专利技术,导致存在互配难题。

## 3. 责任划分难统一

不同厂商的快接头产品在用户实际机房环境的混插互配使用涉及流程较多，责任界面的划分和认定问题难以统一。当前液冷盲插快接头在互联匹配的责任问题主要分为以下三方面：

**第一，设计与制造标准模糊不清。**当前液冷盲插快接头市场中，厂商林立，各个企业在研发设计以及生产制造环节所遵循的标准千差万别。由于缺乏一套普适性的统一标准规范，在对产品是否契合设计与制造要求予以评判时，难以寻觅到清晰、确凿的依据，这无疑为责任争议的滋生埋下了隐患。当产品出现问题时，各方往往各执一词，难以确定究竟是设计缺陷还是制造瑕疵所致，使得责任归属如同陷入迷雾之中，难以厘清。

**第二，测试认证规范及机构匮乏。**现阶段，液冷盲插快接头领域面临着测试认证规范缺失的困境，市场上并未存在被广泛认可且统一遵循的测试认证标准细则。与此同时，权威的第三方测试认证机构亦付诸阙如。一个健全的行业生态应当有专业的认证机构，依据统一的标准和规范，运用严谨科学的检测手段与评估流程，对产品进行全面且深入的审查。唯有如此，方能为产品质量提供一份具有公信力的客观证明，在责任划分的复杂局面中成为关键的参考依据。然而，当前的这种缺失状态，使得产品质量参差不齐，一旦出现故障或兼容性问题，难以准确判断是产品自身质量未达标准，还是由于使用环境等其他因素诱发，极大地加剧了责任界定的难度与复杂性。

**第三，信息不准确和责任推诿。**在液冷盲插快接头从设计制造到使用维护的整个生命周期中，涉及多个参与方，各参与方之间的信息传递可能存在不及时、不准确的情况。例如，厂商对产品的设计变更或使

用注意事项未能及时告知用户和安装方，用户在使用过程中发现的问题未能准确反馈给厂商等，这都可能导致问题的延误处理和责任的混淆不清。由于液冷盲插快接头问题的责任划分直接关系到各参与方的经济利益和声誉，当出现问题时，各参与方可能会出于自身利益考虑，互相推诿责任，不愿意主动承担或积极配合解决问题，从而使责任界面划分陷入僵局，问题得不到及时有效的解决。

#### 4. 兼容性问题

液冷盲插快接头直接与冷却液接触，冷却液类型、浓度比例的差异增大了其标准化难度。液冷盲插快接头作为与冷却液直接接触的部件，在材质选择上首先就要考虑与冷却液的兼容性。当前液冷服务器的冷却液实际在制作的过程中，会有各种浓度的比例配置，浓度比例的不同影响细菌滋生，缓蚀剂的不同影响腐蚀，从而使盲插快接头与冷却液接触部分发生腐蚀导致断裂。与此同时，即使是同类型的冷却液，不同厂商在制作过程中也会存在纯净度的差异，流动过程中这些颗粒可能会沉积在快接头内部或周围，造成堵塞或者增加摩擦阻力，影响整个液冷系统的循环，时间一长也会对与冷却液直接接触的盲插快接头的耐腐蚀性、密封性等造成破坏。除此之外，为更好的增加冷却液的散热性能，厂商之间还在研发具有更高散热效率的冷却液，这些类型多样的冷却液加剧了盲插快接头标准化的难度。

### （三）产业生态

#### 1. 用户被迫绑定

用户方被迫绑定导致成本增加降低了投资意愿，影响产业发展。

由于不同厂商生产的盲插快接头在设计和规格上存在差异，导致当用户方选择了某一型号的产品时，在后期很难与其他家产品进行互换，即使有更优或更具性价比的选择也可能会因不兼容问题而无法采用。在用户被迫绑定的情况下，厂商可能会提高产品价格，但若想解除绑定，往往需要将液冷服务器与基础设施需要同时更换，而服务器寿命一般在 3-5 年，基础设施寿命一般在 10 年，无疑增加了用户的成本。可以说由于被迫绑定导致的用户方信任危机的问题不仅影响了现有的合作关系，还可能促使用户方调整未来的投资方向，寻求更灵活和经济的选择，不仅不利于液冷行业的长远健康发展，也对液冷相关技术的持续创新与应用推广构成了潜在阻碍。

## 2. 测试流程难以优化

**重复和冗杂的测试导致了资源和成本的浪费。**可靠性试验是检验盲插快接头性能的关键步骤，也是推动产品质量、性能持续提升的唯一有效路径。现阶段由于盲插快接头尚未形成关键设计的统一，在测试验证过程中需要针对不同厂商的同类产品设计多个版本的试验方案。如考虑到不同材质、不同螺纹形式、不同内部结构尺寸差异，便需要在测试前期重新考虑待测试产品的适用介质、插拔力、循环次数、最大流速等关键参数设置，大大增加了测试规划的工作量。在进行测试时，处于不同设计标准下的产品有极大概率会呈现出多样的测试结果，而产品自身设计差异势必导致无法用统一且可量化的质量基准对产品进行评定，严重阻碍了产品的筛选与改良，也会引起对产品可靠性实验公正性的质疑。

#### 四、液冷盲插快接头典型应用案例

##### （一）CQDB 盲插快接头

###### 1. 产品特点

开放设计图纸和质量工艺要求，支持互联解耦。由华为公司精心开发设计的 CQDB（Common Quick Disconnect Blind-Mate）盲插快接头，现全面免费向业界厂商开放，涵盖三维设计图纸、功能要求、性能要求、测试检验方法以及密封圈质量工艺要求等诸多方面，从设计源头为各产品间的互插互配提供有力支持。同时，CQDB 盲插快接头积极部署测试认证规范，并引入第三方测试认证机构，明确划分问题责任界面，有效解决客户解耦需求，推动快接头产品标准化，降低盲插快接头成本，进一步繁荣快接头市场。

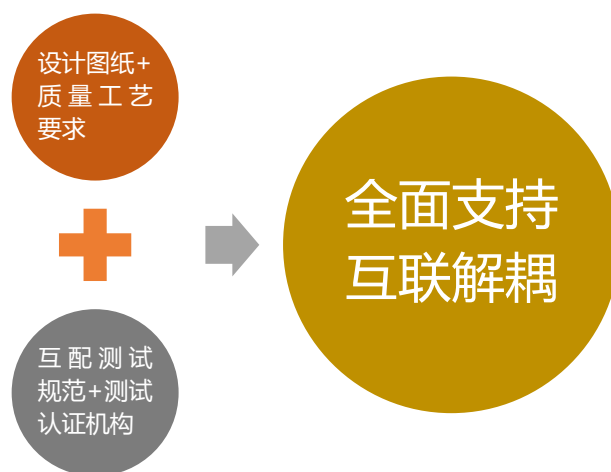


图 6 华为 CQDB 盲插快接头产品特点示意图

大行程设计，浮动容差能力强，设计和部署更简单。CQDB 快接头采用独特的大行程设计理念，并赋予了其卓越的浮动容差能力，使得设计和部署过程变得更加简便易行。其公母头插合行程显著增长，径向导向能力可达  $\pm 2.5\text{mm}$ ，同时，配套的浮动装置进一步将浮动容

差能力 XY 轴提升到 2.5mm，Z 轴提升到 1.5mm。这一特性极大地降低了机柜和服务器加工过程中的公差要求，有效减少了加工难度，也在实际工程中大幅降低了机柜和服务器安装插入深度的误差要求，从而使整体部署更为简单快捷，更好地满足了客户对于安装精度和便捷性的需求，为工程的顺利实施提供了有力保障。

**耐杂质能力强，降低部署运维要求。**算力中心液冷系统中，冷却液的纯净度对系统的稳定运行至关重要。即使是微小的杂质，也可能在循环过程中对冷却管道、泵、散热器等部件产生磨损、腐蚀或堵塞，进而影响散热效果和系统的可靠性。CQDB 快接头的密封结构支持耐杂质能力能承受 0.1mm 及以下颗粒直径杂质（浊度 50NTU）不泄露，降低了算力中心过滤系统和冷却液的要求，从而降低了算力中心部署运维要求。

**支持多级防护，液冷系统更安全可靠。**液冷系统作为算力中心的关键组成部分，其安全和可靠性的重要性不言而喻，它对业务运行的连续性以及服务器的安全保障有着深远的影响。CQDB 快接头的系统化设计在这方面表现卓越，通过支持多级防护机制，为液冷系统的安全运行筑起了一道坚固的防线。其中，漏液收集装置的应用能够精准地捕捉和容纳可能出现的滴漏冷却液，防止其在系统内或周围环境中扩散，避免引发短路、腐蚀等一系列安全问题；防喷射保护装置则如同一个可靠的安全阀，在遇到系统压力异常等情况导致冷却液可能喷射时，迅速启动并发挥作用，阻止喷射扩散，保障人员和设备的安全。这一系列的防护措施共同作用，有力地保护了液冷系统的安全，使得



算力中心能够以更可靠的状态运行，为企业的业务发展提供稳定的支持和保障。

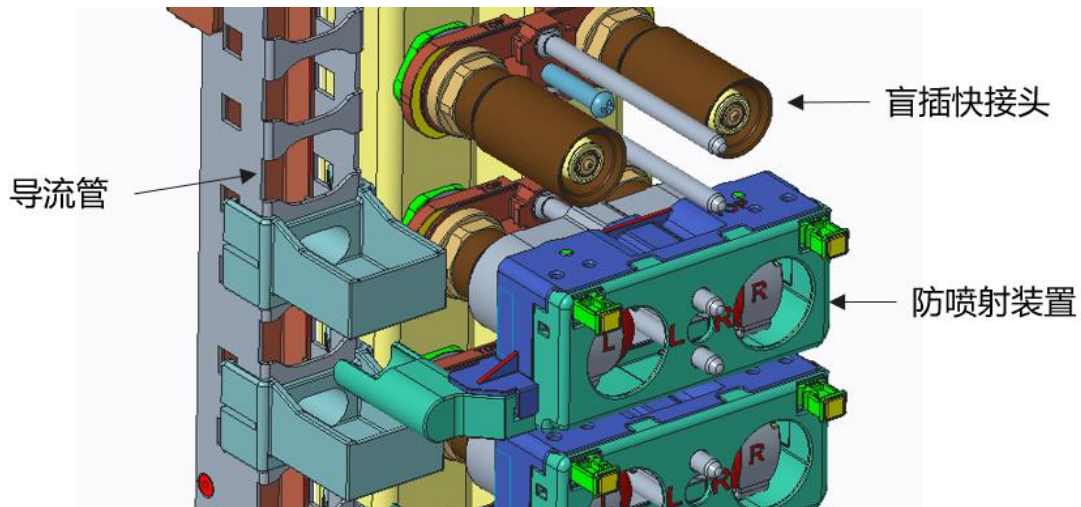


图 7 CQDB 快接头示意图

## 2. 在算力中心的应用

自 2020 年起，CQDB 快接头在算力中心液冷机柜和服务器产品领域的应用呈现出逐渐广泛的态势。这些搭载了 CQDB 快接头的产品，广泛应用于华为公有云、位于苏州和内蒙古呼和浩特等地的运营商算力中心、各类互联网企业的算力中心以及武超、深超等超算中心，为这些算力中心的高效运行和稳定散热提供了有力保障。众多使用 CQDB 快接头的产品里，华为天成液冷整机柜以及超聚变 Fusion Pod 整机柜尤为突出。华为天成液冷整机柜采用 36 对 CQDB 快接头，实现 2+x 总线盲插架构，实现极简安装、极简运维和高可靠性。机柜内支持 1U2P 计算节点高密部署，实现超强算力和单柜功率 72kW。单柜兼容通算节点、超算节点、智算节点，实现一柜多用。主要特点：

强算力：单计算节点 1U2P/2U/4U/8U，整柜 36 个 1U 计算节点高密部署，辅以 PowerTurbo 技术，实现超强算力；

高密度：高密部署，单柜功率最高 72kW；

全液冷：使用液冷门+冷板组合，实现 100%全液冷；

高效能：L1/L2/L3 联动，PUE 低至 1.15 以下；

高可靠：液冷漏液检测、漏液隔离，供电防短路，液冷快接头盲插无滴漏；

交付快：水、电、网三总线盲插实现极简安装，工厂预装、整机柜运输+交付，交付部署速度提升 4 倍，降低 TCO 20%；

运维易：水、电、网三总线盲插，设备自动发现，运维效率提升 3 倍；全场景资产/资源可视，提升利用率 20%。



图 8 华为天成液冷整机柜

以武汉超算中心为例：

武汉超算中心是全国首个集人工智能和超算的多样化云服务化算力集群，也是全国首个统筹科研创新与产业发展的超算高质量发展示范高地，主要为政府、企业、高校和科研机构提供高性能计算算力，

支撑新一代信息技术、汽车设计及智能建造等重点产业领域核心技术和关键工艺升级。建设国家超算武汉中心作为重大项目已列入武汉市科技创新发展“十四五”规划。武汉超算中心一期建成 50P 高性能计算（HPC）算力系统，总体规划建设算力 200P，液冷为主，少量风冷机柜为辅，采用华为天成液冷整机柜，PUE < 1.25。

## （二）CGD 盲插快接头

### 1. 产品特点

史陶比尔快接头发展起步较早，在算力中心液冷行业发展之前，已在其他各类电子设备液冷上有超过半个世纪的应用，其中 CGD 系列快接头覆盖了 1/8、1/4、3/8、1/2 英寸等效通流直径，至今在液冷行业应用已有 30 多年。其产品具有以下特点：

**实现大流量的同时结构紧凑。**其主体结构紧凑，并可选用内嵌冷板式设计，相比普通盲插接头占用更小的对接后长度和空间，有效减小冷板背侧空间占用，同时特殊的流道结构和内部设计实现了相同通径下行业优异的流通性能。

**平头无滴漏设计。**应用平头无滴漏的密封技术，回路断开后接头端面迅速密封，同时阀芯特殊设计，插拔过程中泄漏液体量不足以形成液滴影响电子设备，泄漏量远低于行业其他竞品，确保液冷系统最佳冷却效率和设备的长期可靠性。

**误差补偿设计。**CGD 快接头另有补偿连接对中误差的设计，可以补偿最大为 1mm 的不对中误差。特别适用于狭小空间内的盲插，其位移容差系列产品。

## 2. 在算力中心的应用

富岳 (Fugaku) 是由日本理化学研究所和厂商富士通共同推进开发的超级计算机，主要用于执行科学或工程计算，预测天气和气候变化、模拟病毒和流行病的传播等复杂任务。富岳由 432 台机架、近 160,000 个 CPU 组成。2021 年 11 月的全球超级计算机 TOP 500 排名显示，富岳以每秒 44.2 京 (1 京为 1 万亿的 1 万倍) 次的运算速度蝉联榜单冠军，实现四连冠。

富岳沿用了日本上一代超算“京”的冷却系统，但其搭载的 CPU 数量是“京”的 4 倍，发热密度达到 80kW/m<sup>2</sup>，约是“京”的 5.33 倍，为保证 CPU 在最佳工作温度——30° C 以下，富岳将空气和液冷比例从 1: 2 大幅提升至 1: 9，液冷成为压倒性主角。

理论上，增加液冷回路流量会提高散热效率，但较粗的管道会影响高密度安装的实施，因此，富士通开发了新的高效液冷单元，以小流量实现高 CPU 冷却性能。如下图所示，冷却液从入口进入 CPU 单元中央，再折回至两侧对外围进行冷却，然后排出。这种结构下，冷却水的流速增加，冷却效果提高。

另一方面，为了方便 CMU 单元在系统保持运行时主动维护，同时实现高密度安装，CMU 单元进水口与出水口各采用 1 对史陶比尔 CGD 盲插接头，并决定将电接头和液冷接头组合在一起，做同步对接。为了保证每一次对接的精准，液冷接头需要具备对齐功能，因为机架内部的狭小空间不允许再使用手动调整角度的接头，富士通对液冷接头提出了导向和浮动要求。在插入 CMU 单元时，电接头和液冷接头

可以通过各自的导向功能,对接到正常位置。在富岳的 432 个机架中,平均每个机架有 368 套 CGD 接头,总出货量约 16 万套。

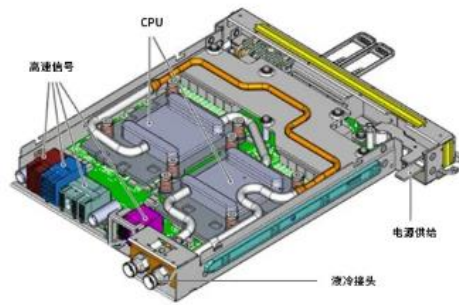
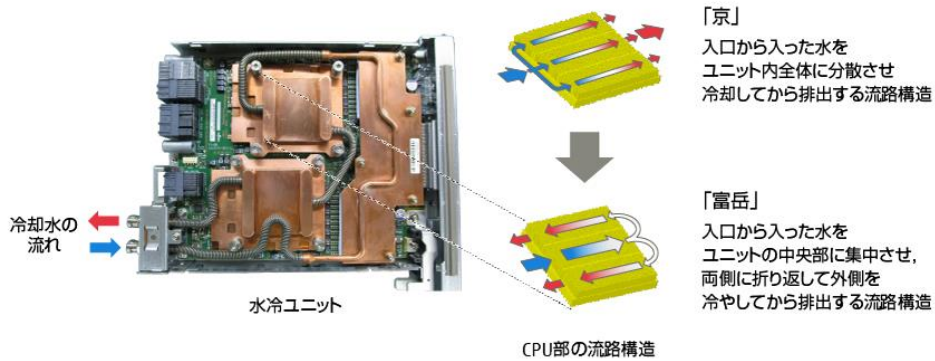


图 9 液冷单元

### (三) UQDB 盲插快接头

#### 1. 产品特点

标准化通用,规格谱系较全。UQDB 是一种标准化的通用快接头,符合开放计算项目 (OCP) 全球通用快接头规范,并通过 Intel 认证测试,主要用于液冷系统中,特别是特别适用于高密度要求的刀片式机架,它能够在狭小的空间内实现盲插精准对接,具有浮动和自动校正不对中误差的功能。全球被写入英特尔《Liquid Cooling Design Guide》的 UQDB 快接头厂商包括英维克、中航光电、Beehe、CEJN、Parker 等

厂商。UQDB 快接头规格谱系较全，覆盖了 1/8、1/4、3/8、1/2 英寸等效通流直径，能够满足不同功耗、不同芯片的散热流量需求。UQDB 系列盲插快接头的公头具有径向浮动功能，母头具有不对中矫正功能，公母互配可以实现径向偏差  $\pm 1\text{mm}$  的容差补偿。

**浮动容差较低，难以满足使用需求。**在国内客户实际工程应用中，反馈的信息包括：1、UQDB 快接头轴向浮动容差功能较低，当由于服务器机柜与服务器节点之间插入深度存在较大误差时，可能存在 UQDB 流道无法完全打开或过插入的问题；2、径向容差补偿  $\pm 1\text{mm}$  对于大多数用户的装配与加工误差累积而言要求较高，通常客户反馈需要  $\pm 2\text{mm}$  左右的径向浮动量。因此对于一些客户，会选择在 UQDB 快接头之外额外增加浮动模组，以弥补轴向与径向浮动量。也有一些客户会选择完全舍弃 UQDB 本身具备的  $\pm 1\text{mm}$  径向浮动，转而采用 UQD 公头与 UQDB 母头对插并配合外加浮动模组的组合方式使用。这些不同的组合使用，都需要根据用户的实际工况来匹配最有解决方案，对于轴向和径向公差控制较好的用户而言，UQDB 本身具备的  $\pm 1\text{mm}$  已经可以满足其使用需求。

## 2. 在算力中心的应用

UQDB 的应用场景主要是在液冷整机柜（如下图 3 所示）的盲插架构液冷服务器中，盲插架构的液冷服务器是冷板式液冷服务器的一种，可采用 UQD 公头与 UQDB 母头对插并配合外加浮动模组的组合方式，使用其无需手动在服务器上接入各种管线，直接通过背板将液、电、网的三路进行盲插直连。盲插架构的液冷服务器的优点包含：1、

更节省空间：盲插快接头自动连接整个流体回路，减少布管空间。2、快速部署：盲插设计简化了部署和维护过程，部署周期对比传统方式大幅；3、智能运维：盲插架构有利于未来采用机器人自动运维、自动巡检等功能。因此盲插架构的液冷服务器未来具有较高的市场应用前景。

UQDB 快接头主要应用在算力中心的液冷系统系统中，用于液冷机柜和液冷服务器的水路盲插，其中 NVdia 的 NVL72 液冷整机柜服务器率先规模化使用 UQDB 快接头，并逐渐被更多的算力中心用户所使用。VL72 整机柜服务器采用 27 对 UQDB 快接头，实现 18 个计算液冷节点和 9 个交换节点的液冷散热，机柜内包括 326 个 Grace CPU 和 72 个 Blackwell GPU，使用 NVLink 网络互联，为 AI 和 HPC 工作负载提供 130TB/s 的低延迟 GPU 通讯。



图 10 液冷整机柜

## 五、 建议与展望

**加强液冷盲插快接头标准化研究，推进产品互联解耦。**液冷盲插快接头的标准化是实现机柜解耦，促进液冷规模化发展的重要路径。当前业界针对液冷盲插快接头，已确立了一些关键性能指标及结构指标，如液体泄漏量、密封性、外观尺寸等，但这些性能指标的范围存在较大的差异性，如插拔次数、泄漏量的一致性等。接口规格和性能指标缺乏统一标准，导致不同厂商的产品难以互联互通。未来，建议加强液冷盲插快接头的标准化研究，持续推进解耦交付的模式，推动接口和标准的统一化，促进有序竞争和多厂商适配，为液冷技术的规模化应用奠定基础。

**强化技术验证和测试规范，确保产品性能安全可靠。**液冷盲插快接头相较于其他零部件具有精度要求高、容错率低的特点，这要求快接头具有非常高的可靠性。因此需要通过建立详细的测试规范，并构建液冷算力中心认证体系，为产品性能提供客观、科学的评估标准。通过实施针对液冷盲插快接头的严格测试认证，实现不同厂商间快接头的质保互认，推动测试设备及工装的标准化管理，从而降低测试难度并确保快接头在能满足相应的质量标准和性能要求。

**促进液冷盲插快接头的产品创新，推动产业链协同发展。**现有的液冷系统是服务器与特定的机柜、冷却液、管路等部件的高度耦合，这意味着更换或升级盲插快接头不仅要考虑接头本身，还需考虑整个液冷系统的匹配性。面对液冷技术的快速发展和市场需求的变化，持续更新和优化现有的产品和技术规范至关重要，以适应新的技术挑战



和市场需求。未来，随着高密度计算对液冷规模化需求的不断增加，液冷盲插快接头在防泄漏和降低流阻方面的创新显得尤为关键。

