



维谛技术(VERTIV)白皮书

# 水的使用对数据中心成本和可持续发展目标的影响

## 概述

### 数据中心可持续发展的挑战

当前,推动数据中心的可持续发展不仅意味着要减少碳排放,同时意味着节约水资源——地球上最重要的自然资源之一。但这些目标可能会产生冲突,比如用户倾向于使用水的冷却系统来降低电能的使用,从而减少碳排放。最明显的例子是使用蒸发冷却技术的比例在提高,与其他技术相比,它可以减少能源消耗,但代价是相对高的用水量。

提高能源利用效率和减少用水量这两个时常相互矛盾的目标往往难以平衡,这个问题会因为数据中心冷却系统的设计需要根据具体位置来进行而变得更加复杂。与数据中心的其它系统相比,冷却系统的设计受到当地气候和资源可用性的影响,以及其他更普遍的考量因素,如可扩展性、可靠性和可维护性。

如果分开来看水和电的使用情况,会更加难以评估真正的财务成本和环境成本,并以此根据地域设计出最具可持续性和成本效益的冷却解决方案。

可以认为,由于多数情况下电能在发电过程都会消耗水,所以数据中心总的用电能耗下降意味着水的消耗也在下降。根据能源部阿贡国家实验室 2017 年的一项研究,美国电力的平均耗水系数为 0.576 加仑 / 千瓦时。

因此,如果使用水的冷却方案促使了用电能耗的下降,且减少的这部分电能在发电过程需要的耗水量高于使用水的冷却方案的总耗水量,那么使用水的冷却方案的净用水量是相对较少的。

然而事实却并非如此。此外,目前出现了一些技术可以在不消耗水的情况下提供高效的冷却输出,可以同时满足高能效和节约水资源的目标。为保证数据中心运营和可持续发展而使用水时,需要考虑以下因素:

- 能效水平
- 初始成本和维护成本
- 水资源和水冷系统的可靠性
- 增加用水量对可持续发展目标的影响
- 对比无水参与时的系统效率
- 数据中心的运行温度
- 总拥有成本 (TCO)

### 数据中心行业对用水的关注不断提高

以往,数据中心的电能利用效率 (PUE) 平均在 2.0 以上。今天,这个数字低于 1.6,主机托管数据中心的 PUE 通常低至 1.2 或更低。

这些改进是因降低数据中心运营成本的压力不断增加带来的,也是因伴随着云计算时代而来的数据中心能耗增长对环境影响的认识不断提高共同推动的。

现在,随着超大规模和主机托管运营商继续扩大他们的足迹,使服务更接近用户,越来越多的数据中心出现在了水资源匮乏的地区。同时,许多运营商已经采用极致节水型冷却系统作为他们的首选冷却方法。这使数据中心的用水成为各界关注的焦点。例如,在 2020 年 4 月,《时代》杂志发表了一篇文章,标题为:谷歌数据中心的隐藏成本:用数十亿加仑的水来冷却服务器。

虽然 PUE 已经成为数据中心行业的主要效率指标,但水能利用效率 (WUE) 的重要性也在增加。企业现在面临的挑战是如何平衡 PUE 的微小改进与相对高的 WUE 带来的环境和财务成本。

### 有水参与数据中心冷却时的能效优势

在数据中心冷却系统中使用水,通过将系统运行时的室外温度降低到湿球温度来提高效率。在湿球温度下运行冷却系统,系统可以延长不在运行机械冷却时的时长,也即在经济模式、自然冷模式下运行的时间大幅增加。

通过比较风冷冷冻水和带绝热技术的风冷冷冻水系统可以看出这种策略带来的影响。绝热技术是指在冷凝盘管处采用水蒸发填料芯体或者在盘管前设置雾状喷淋系统将温度降低至湿球温度。更多有关绝热冷却机组的相关信息,可以参考维谛技术白皮书《数据中心的自然冷却、蒸发式和绝热式冷却技术》。

图 1 显示了在空调机组上增加雾状喷淋系统前后, pPUE 的减少情况,以及相应的 WUE 的情况。

可以看出,采用喷淋技术的系统可以降低冷凝器和自然冷盘管的外部温度,可将 pPUE 降低约 0.01,相当于 208000 千瓦时 / 年的电能。相应地,它将 WUE 从 0 增加到 0.165,这相当于每年 430 万加仑的水,或者相当于大约 40 个美国家庭的用水量。蒸发水对系统的总体影响是提高能源效率和增加用水量。

此外还有如间接蒸发冷却等技术,可以更好地利用水的蒸发和室外空气,进一步提高效率。如需了解更多的

信息,请参阅维谛技术白皮书:《数据中心间接蒸发式冷却技术》。

如图 2 所示,对比了间接蒸发冷却系统、风冷冷冻水系统和带喷淋技术的风冷冷冻水,间接蒸发冷却技术可以大幅提高能效。

这个例子可以用来解释为何数据中心运营商需要投入精力来权衡是否要使用水来冷却数据中心,水的参与可以明显降低 pPUE,但也造成了更高的耗水量。在这个例子中,使用间接蒸发冷却机组的 pPUE 下降了 0.02,是带喷淋技术的风冷冷冻水空调机组所能提升的水平的一倍,相比每年节省了 572791 千瓦时的电能。这意味着比带喷淋技术的风冷冷冻水系统节约了 18% 的能源消耗,比风冷冷冻水系统高出 24% 的效率。然而,这些进步都必须有水的参与。

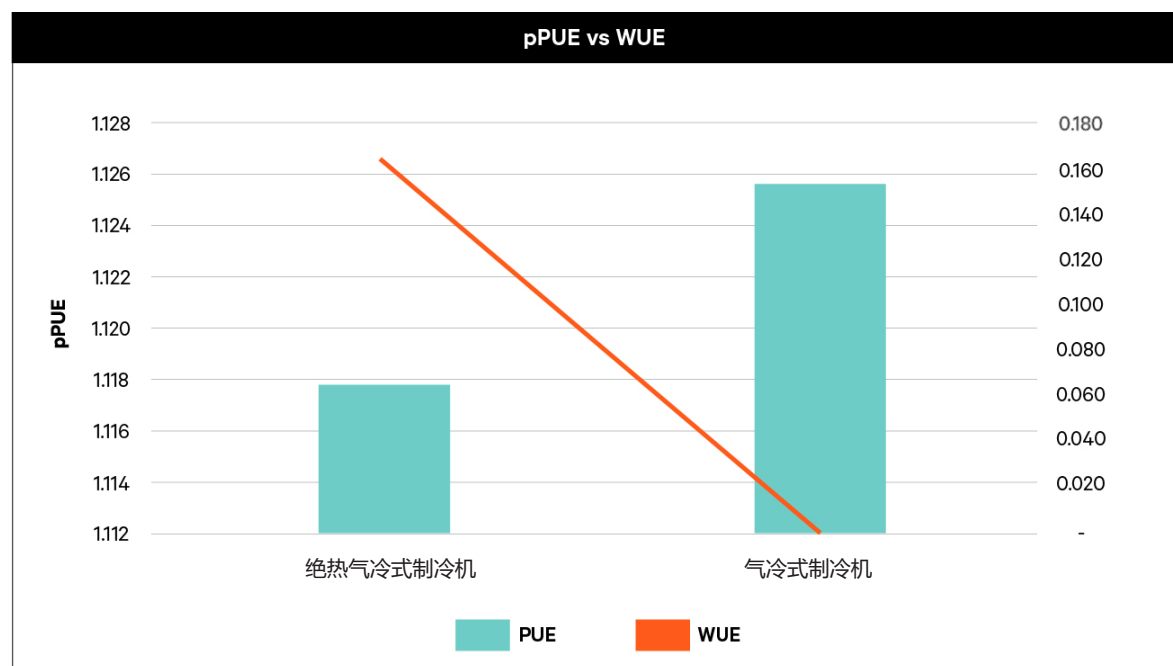


图1. 位于美国弗吉尼亚州阿什本的一个3兆瓦数据中心的风冷冷冻水机组的pPUE和WUE, 有无喷淋系统的对比

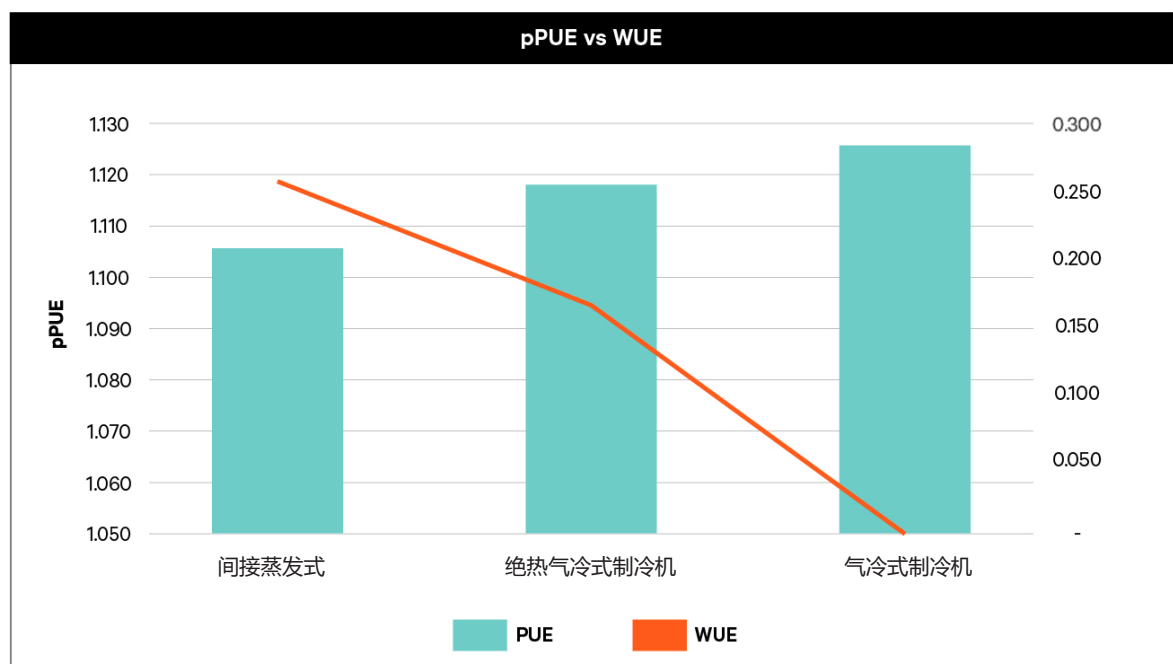


图2. 位于美国弗吉尼亚州阿什本的一个3兆瓦数据中心, 间接蒸发冷却系统的pPUE和WUE与带或不带喷淋系统的风冷冷冻水机组对比

另有许多其他例子说明用水可以提高效率, 这些例子代表了当今数据中心中比较常见的一些情况。值得注意的是, 节约的水量和耗水量会因气候而异。根据经验可知, 在较干燥的气候下, 用水在能源效率方面有更大的改善, 但结果会使净水消耗率成比例增加。这些地方也可能存在最严重的水可用性问题。

图2中所示的运行方案可以设计节水功能来减少用水量。在这些系统中可以部署一些控制功能以尽量减少用水量, 在评估用水技术时应考虑这些功能。

在数据中心的整体优化中, 用水的另一个关键优势是减少冷却系统的峰值功率要求。峰值功率是系统在一年中最热的一天所消耗的最大功率。由于水的蒸发降低了运行温度, 在最热的一天运行所需的峰值功率就会降低。峰值功率的节省因技术和地点而异。

对于间接蒸发冷却系统, 根据不同的环境条件, 降低的峰值功率可能比风冷冷冻水系统解决方案少10-30%。这种降低可以体现在数据中心配电系统的费用支出中, 包括发电机、开关设备和导体的尺寸。在设计用水的系统时, 必须考虑降低峰值功率对这些数据中心元素的影响。

数据中心用水来冷却带来的巨大节约是促使许多数据中心考虑采用这些类型的技术的原因。本文的其余部分将探讨用水的一些权衡, 以及其他可能抵消用水的显著优势的考量因素。这些权衡并不是为了引导数据中心设计者放弃用水, 而是为了突出其对可持续发展的一些潜在影响。

## 用水成本和维护方面的问题

将水加入数据中心冷却过程可以减少能源成本, 但也需要考虑其他成本因素, 包括公用供水设施、水处理和额外的维护。

## 公用供水设施问题

就像电力供应一样, 用水需要得到当地公用设施部门的许可和批准。它不仅需要公用供水设施向现场提供足够的水来支持冷却负荷, 而且现场还必须具备足够的废水排放能力来处理用水系统的排水和维护。

数据中心可以使用这些公用设施, 但在考虑使用这些公用设施以满足用水量时, 随着法规的变化以及水和废水保护政策的发展, 这些公用设施的可用性可能会在数据中心的生命周期内受到影响, 因此应将其作为整体设施计划的一部分与公用设施部门共同审查。这可能会成为一个难题, 因为在大多数情况下, 供水与废水处理由两个部门分别负责。即使能够确保有足够的水供应给现场, 但可能没有许可或能力来排放足够的水以保持适当的水质。

因此, 运营商需要考虑运行系统的水的成本, 加上作为正常运行和维护的一部分, 排放系统的废水的成本。图3中显示了各种冷却系统的相关成本示例。

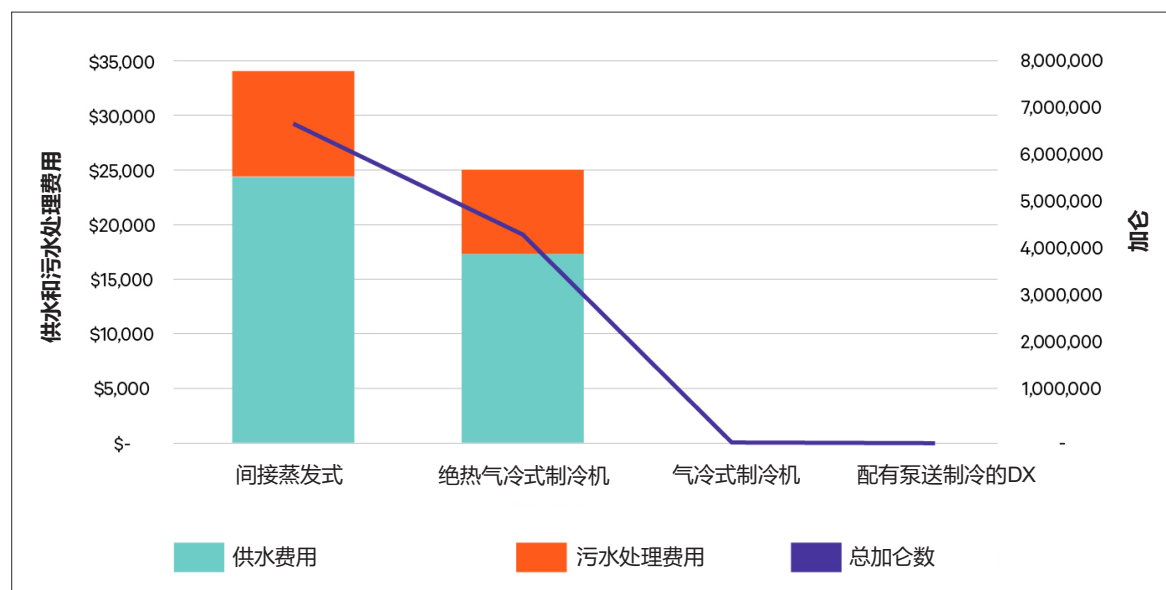


图3.美国弗吉尼亚州阿什本的一个3兆瓦数据中心按冷却系统类型进行的供水和废水成本比较

## 水处理

许多冷却系统通常使用蒸发填料芯体或水循环系统以尽量减少用水量。无论使用哪一种方案，这些水收集系统都需要对水进行处理，以防止藻类等生物生长。此外还需要采取化学处理或其他手段以保持 pH 值，并控制水的化学浓度水平，这就可能会导致正在使用的热交换器或蒸发填料芯体的积垢。

另外还有军团菌。需要对用水系统进行适当的处理和定期测试，以确保不会对数据中心或周围地区构成健康风险，比如可以通过空气中的水蒸气传播的军团菌。

常见的水处理方法包括：

- 化学制剂加注
- 反渗透过滤
- 脉冲供电处理

除了缓解生物生长和保持质量的处理外，还必须监测水是否有固体沉积物堆积。在热交换器上蒸发水的过程会留下固体的残留物。这些固体堆积在水箱和换热介质上，需要定期维护清洁或更换。在水循环系统正常运行期间，应通过检查电导率等参数来监测水中的固体含量。当电导率水平达到一个阈值时，水就会被排放到下水道。

水处理系统的确切成本因所使用的技术和冷却系统所消耗的水量而异。出于规划的目的，处理进入系统的水以确保用水质量加上冷却系统组件费用将达到 5 万至 10 万美元，按 100 加仑 / 分钟 (GPM) 的水平计算。如果需要对水进行软化和脱硅处理以尽量减少结垢和固体堆积，则耗水量 100 加仑 / 分钟的系统费用在 10 万至 25 万美元之间。

建议在所有情况下，指派有资质的技术人员保持冷却系统用水的质量。水质差会导致设备使用寿命缩短，造成意外的停工，并可能对设施和周围地区的人造成健康威胁。设施维护人员应接受适当的培训或与有资质的水质承包商合作，以确保设施和水得到妥善维护。

## 水对设施正常运行时间的影响

像电力一样，供水和废水处理系统是有水冷却系统必须具备的。当设计一个使用水冷却的设施时，这些系统需要有适当水平的冗余和备份，以提供所需的可用性水平。

为了满足 Uptime Institute 的三级或四级数据中心可用性水平，使用蒸发式冷却的数据中心需要在现场有足够的储水设施，以便在没有公用设施供水的情况下运行 12 小时。在三级设计中，该系统需要支持同步维护，这意味着需要某种程度的冗余，以便在系统运行时开展维护工作。对于四级设计，储水系统和运行需要达到完全冗余。通常，在蒸发冷却系统中，会通过整体或集中的方式储水：

- 整体式：在 AHU 或冷冻水系统中加入辅助水箱，在停机期间提供足够的水
- 集中式：中央水箱与设施的供水和处理系统相连接

部署必要数量的储水成本因总耗水量而异。举例来说，对于一个部署间接蒸发冷却的 3 兆瓦设施，水箱和相关管道的成本从 125000 美元到 200000 美元不等。这不是一笔小数目，在研究该系统的总成本与无水解决方案相比时，应该考虑到这一点。

虽然一些设施设计了多个取水源以获得适当的冗余度并满足其可用性目标，但这对大多数地方来说可能

不是一个可行的选项，因为这涉及到与供水厂和污水处理厂协调。

## 用水对环境的影响

水是一种重要的自然资源，如何保护水已成为世界上许多城市关注的问题。这种保护通常依托于特定地点的气候和水的可用性。这在一定程度上会自我调节，比如缺水地区的用水成本高，因此用水的吸引力就会相应降低。

另外，美国环境保护署 (EPA) 预计到 2024 年至少有 40 个州将出现用水短缺，一些城市已经表示他们将不保证未来冷却系统的水供应。而在全球范围内，资料显示在过去的 40 年里，人口增加了 1 倍，但用水量却增加了 4 倍。水资源相关组织预测，全球的用水需求可能最快在 2030 年超过可持续利用的 40%。

结合这种对全球水供应的持续压力，以及水是最主要的温室气体的事实，会放大温室效应的影响，权衡用水对数据中心可持续发展目标的影响变得至关重要。

美国国家海洋和大气管理局 (NOAA)、美国国家航空航天局 (NASA) 和世界各地的许多气候科学家已经研究和报告了这一事实。NASA 的报告《研究证实水蒸气是气候变化的元凶之一》引用了几项研究，证明空气中增加的水分会使二氧化碳对全球变暖的影响增加一倍。空气中增加的水分是由于地表温度升高导致蒸发量增加的结果。从自然角度来看，这种水分来自于我们的海洋和湖泊；然而，当今由于人类活动正在增加空气中的湿度，如冷却系统和发电厂蒸发的水。

虽然我们仍在开展水对全球变暖的影响的研究，但正反馈和放大效应已得到充分证明。关于水蒸气对全球变暖的正反馈影响的研究主要集中在我们大气层的低层部分，即对流层。这是作为自然天气的一部分，以云、雨和空气中的湿度都是水蒸气存在的形式。与大气层中的二氧化碳相比，水在对流层中的不同之处在于，它存在的时间更短。随着温度和天气模式的变化，空气中的水汽最终会以雨的形式回到地球。虽然短暂存在，但水蒸气在放大全球变暖的增幅方面发挥着关键作用。如果空气中的水蒸气能够减少，这种放大效应就会减弱。

最近有更多的研究结果表明，水在全球变暖中也可能发挥更持久的作用。科罗拉多大学博尔德分校合作研究所(CIRES)的一项研究表明，全球变暖的影响有5-10%来自平流层的水蒸气。平流层是地球大气层的上部，是二氧化碳的聚集地。世界气象组织最近公布了2000-2009年的研究细节，显示对流层上部和平流层下部(UTLS)的水汽增加导致这些气层的辐射制冷效应，并诱发地表变暖。

近期的分析表明，地球表面的变暖可能对平流层下部水蒸气的百万分之一(ppm)容积变化敏感。研究发现，在2000年至2009年期间，平流层水蒸气减少了10%，与仅由二氧化碳和其他温室气体造成的全球表面温度上升速度相比，在这一时期减缓了约25%。这些发现表明，平流层的水蒸气是这十年全球地表气候变化的一个重要驱动因素。

平流层中的水对我们的大气层来说是一个更持久的变化，这可以使我们更加重视研究其影响，就像对待甲烷等气体那样。一个间接蒸发冷却系统每年每冷却1兆瓦就会在空气中蒸发多达一百万加仑(3785吨)

的水。同时，假设该系统的电力来自燃煤电厂，则该系统将排放1784吨的二氧化碳。因此，每年产生的水量是其向大气层排放的二氧化碳的两倍以上。这就提出了一个问题，即未来是否会对水蒸气排放进行监管或管理。无论如何，为了实现一个更可持续发展的未来，这肯定是需要考虑的问题。

用水的另一个考虑是它对周围环境的影响，对依赖水的系统来说，资源可用性的不确定性在增加。

## 无水冷却技术

在考虑用水的财务和环境成本时，数据中心运营商还应该评估不用水或仅用极少量水的自然冷却系统的效率。这些技术包括配有节能装置的风冷冷冻水系统，带有氟泵的风冷直膨系统(DX)，以及带风冷直膨系统(DX)的空空换热器。

## 带自然冷节能装置的风冷冷冻水机组

与水冷冷冻水系统相比，风冷冷冻水系统消除了水处理供应所需的维护费用，并且由于其作为一个成套的系统，更容易设计和安装。作为一个基于制冷剂的系统，风冷冷冻水系统的WUE为零，pPUE为1.13。设备和安装费用低，加上零水费，使其成为所有系统中10年总成本最低的系统之一。

与带喷淋的风冷冷冻水系统一样，可以安装冗余的设备，并随着需求的增长而扩大规模。然而，这些设备增加了电力安装成本，因为它们的峰值负载比带喷淋的风冷冷冻水系统更高，甚至高于后者预期的水供应成本。



Vertiv™ Liebert® AFC



Vertiv™ Liebert® DSE 400

## 带氟泵的风冷直膨(DX)系统

带氟泵的DX系统具备风冷冷冻水系统的无水优势，并具有更高的效率。该系统的pPUE为1.12。

相比冷冻水系统，DX系统的组件更少，因此使其更可靠，更容易控制。系统可以按小型模块的方式扩大规模，以满足需求的增长或支持冗余，且没有前期一次性建筑建设的费用。DX系统支持一体式或分体式，使得安装更加灵活，从而节省数据中心的楼层空间以容纳更多IT设备。

DX系统的安装成本与其他系统相比非常有竞争力，低能源成本和无水设计使其能够支持积极的可持续发展目标，同时实现所有系统中最低的10年总成本。

## 数据中心运行状况的影响

本文介绍的数据中心成本和效率分析是基于冷却系统的运行条件进行的，其中送风温度被设定为24°C，回风温度为36°C。对于使用冷冻水的系统，进水温度被设定为18°C，出水温度被设定为24°C。

所讨论的冷却系统在进水或空气温度较高的情况下可能会达到更高的效率。这增加了经济运行时间，因为在一年中，环境温度比回风温度低的时间更长。例如，通过将供水温度从24°C提高到27°C，并保持相同的22°C温差，带氟泵的DX系统可以节省5%的年化能源成本，并多出了800多小时的经济运行时间。

送回风温度的较大差异(温差大)减少了空气和水的流动，为DX系统中的风扇和泵电机提供了可观的能源节约。通过将温差从22°C增加到25°C，系统可以节约近11%的年化能源(大部分由风扇功率驱动)。另有许多例子说明提高温度和运行温度点对效率的

影响。

最极端的例子是使用直接蒸发冷却，这是许多超大规模数据中心的热门选择，因为该系统能够让室内温度随着室外空气的变化而更加灵活地调节。如此一来，这些数据中心就可以消除为了应对一年中最热的日子需要付出的压缩冷却的成本。通过允许更高的温度和极端条件，没有 DX 系统的直接蒸发式方案现在也变得可行。与间接蒸发式相比，该系统可以节省高达 15% 的能源，而只使用少量的水，同时通过允许外部空气直接进入数据中心。然而这种方案可行性不高，因为它可能需要 IT 设备在高于预期的温度下运行，这将使得主机托管供应商在现有的运营服务水平下难以达到这种运行条件。

无论考虑哪种类型的冷却系统，如果数据中心的设计者和经营者希望达到他们的可持续发展目标，运行条件应成为一个关键的考虑因素。将送风温度和温差等因素作为提高效率的杠杆，不仅可以节省资金，而且可以将 pPUE 降低到很低甚至消除为实现这些目标而消耗水的需求。

### 平衡能效水平、耗水量和总成本

将无水系统的效率与之前讨论的风冷冷冻水、带喷淋的风冷冷冻水和间接蒸发系统进行比较时(图 4)，会发现带氟泵的风冷系统和带喷淋的风冷冷冻水系统具有相当的能效水平。

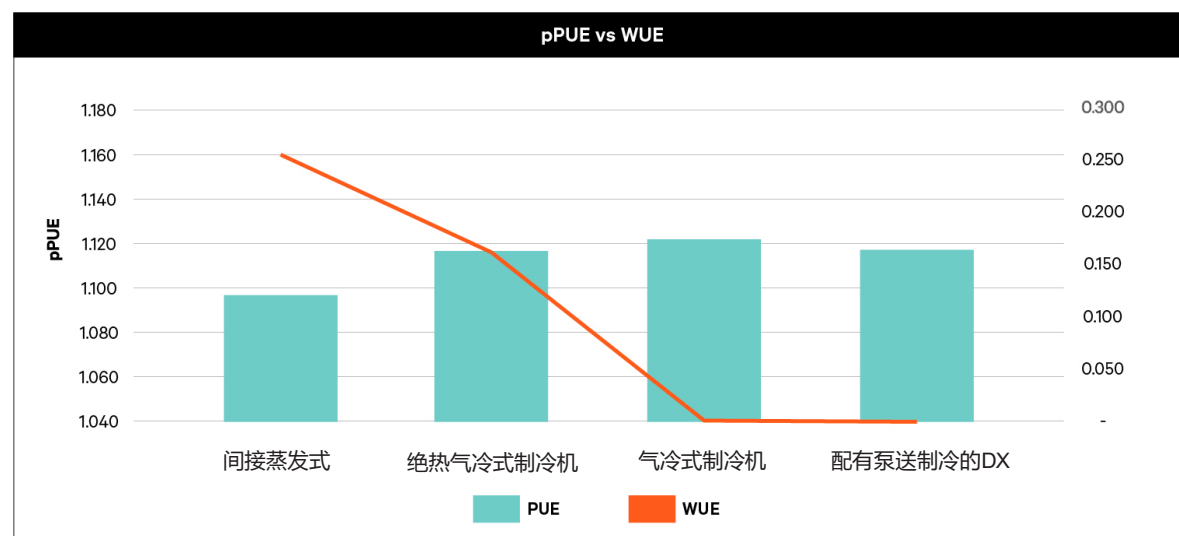


图 4. 美国弗吉尼亚州阿什本的一个 3 兆瓦数据中心的冷却效率和用水量的比较

间接蒸发冷却系统在当地提供了最高的能效水平。然而，正如上文所述，除了能效之外还有其他因素需要考虑。比如对水质的处理、系统维护和蓄水等都需要考虑到间接蒸发冷却系统的建造和运行成本当中。图 5 展示了不同冷却方案的十年总成本的相对比较。

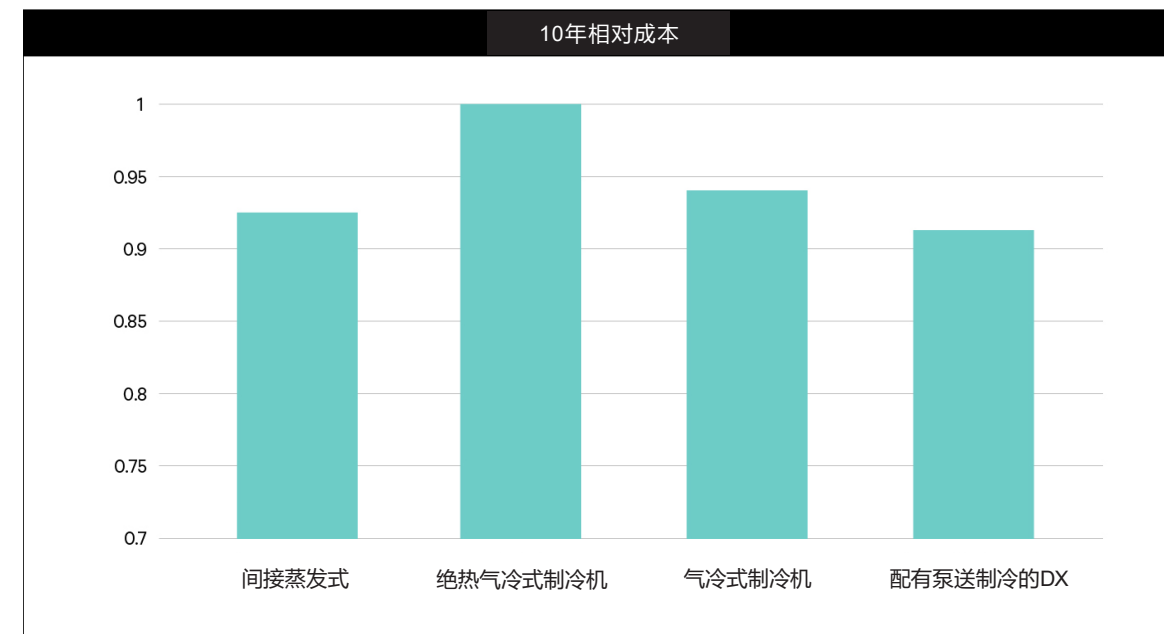


图 5. 美国弗吉尼亚州阿什本的 3 兆瓦设施的冷却技术的十年相对成本比较

虽然使用水的系统的能源成本降低了，但供应水和保持水质的系统的成本却增加了使用水的系统的总体成本。在 10 年的使用寿命中，不使用水的系统具有较低的总成本。

当然，有一些变量可以改变这些系统的性能和成本。例如，如果该地点气候较冷，DX 系统的运行效率将更高，但在较低的环境温度下需要加入高浓度的乙二醇溶液才能使风冷冷冻水系统正常运作。在干燥的气候下，如果水资源充足的话，蒸发冷系统更加高效。如前所述，运行条件也会影响运行能效。

最后，一些系统，如冷冻水系统具有规模经济性，应用在较大系统相比可减少每吨的成本，但对于较小的数据中心来说，其成本竞争力较低。建筑物的结构和空间的可用性也决定了最终的设备选择。预制式的室外系统，如间接蒸发式、直接蒸发式和带有氟泵的预制式 DX，对于要求冷却系统位于设施周边的数据中心是首选。冷冻水和分体式系统是多层建筑的首选。

## 结语

### 选择合适的冷却系统

将数据中心冷却系统的设计是数据中心运营商必须做出的最重要决定之一。正确的选择必然与组织对可用性和可扩展性要求息息相关。它将最大限度地减少成本并支持可持续发展目标。

虽然水一直被认为是提高效率和降低运营成本的助推器，但很多人往往没有充分考虑将水用于数据中心冷却的全部影响。

正如我们在本文中提出的观点，水的使用对环境有直接的影响，特别是在资源稀缺的地区。水的使用对二氧化碳排放也有间接的影响，这一点已得到越来越多人的认同。此外，由于存在大量的水处理和用水系统的维护费用，因此用水增加了年度运营成本。

本文并不是说数据中心的冷却不应该使用水，而是鼓励数据中心运营商充分探索替代方案，并确保他们在冷却系统设计过程的早期就了解使用水的利与弊。

在许多地方，无水冷却系统提供的能效水平与有水系统的极限能效水平相当。无水冷却系统在减少用电需求的同时也不需要水的介入，而且只要花费同等的，或在某些情况下，更低的总成本。

维谛为数据中心提供蒸发冷却和无水冷却热管理解决方案，并与设计师合作，根据地点、环境、当地法规和可持续发展目标确定最佳解决方案。

为了更好地了解技术的整体差异，建议对这些解决方案进行现场具体分析比较。这种分析也有助于定制热管理系统以满足业务目标。

凭借 70 多年的数据中心冷却经验，维谛拥有充足的专业技术和产品来帮助您做出正确的选择。

Architects of continuity™

恒久在线·共筑未来 ▶▶

免责声明  
尽管本公司已采取一切预防措施以确保信息的准确性和完整性，但本文件信息可能包含财务、运营、产品系列、新技术等关于未来的预测信息，该预测具有不确定性，可能与实际结果有差别，本公司不对信息的任何错误或遗漏负责。  
本文件信息仅供参考，不构成任何要约或承诺。本文件信息如有变更，恕不另行通知。



**维谛技术有限公司**

**Vertiv.com**

售前电话：400-887-6526

售后电话：400-887-6510



关注官微  
了解更多资讯