

# 滋养新经济



驾驭人工智能革命的影响

2026年1月

**GW*i***  
GLOBAL WATER INTELLIGENCE

**xylem**

## 前言



马修·派恩 ( Matthew Pine )

赛莱默总裁兼首席执行官

人工智能超级周期的发展速度超越了历史上任何一次工业变革。它正在重塑经济格局,重新定义竞争力。但这场人工智能革命存在一个隐藏的脆弱点:每一块芯片、每一个数据中心、每兆瓦电力,都依赖稳定的清洁水供应。

直到最近,关于人工智能的讨论仍聚焦于能源、原材料等常见制约因素。如今,行业、社区和政策制定者逐渐意识到,在这个本就面临水资源压力的世界里,人工智能带来了新的影响。然而,由于缺乏相关数据和对人工智能的深入了解,解决方案的探索进程受阻。《滋养新经济》报告提供了一个基于事实的战略框架,助力人们理解其中的挑战与机遇。

本报告梳理了人工智能对全球水资源供应造成的压力点——随着水资源日益稀缺,工业与社区可能会为争夺水资源产生竞争。更为重要的是,报告指出了能够实现双重目标的路径:既保障社区获得经济实惠、安全健康的水资源,又维护人工智能经济带来的创新红利。

选择至关重要。若管理不当,水资源需求可能会演变为人类与发展之间的零和博弈;若管理得当,它将成为更大变革的催化剂:推动全球向更高水平的水资源安全转型。

我们的目标是为所有决策者——从政策制定者到公用事业公司、科技企业和投资者——提供一个共同框架,就如何为人工智能经济解决水资源问题展开广泛对话。如今,是时候启动一场全面的水资源转型了。调动技术、资本与合作力量的时刻已来临。

4	<b>执行摘要</b> 化威胁为机遇	14	<b>数据中心的地理分布</b> 数据中心的新增建设需求, 预计将集中于当前已面临水资源承压、且未来存在水资源风险的区域
5	<b>经济转型中的水资源</b> 所有经济转型都要求调整水资源管理方式, 本次亦不例外	15	<b>水 - 数据 - 能源关联体系</b> 可再生能源的发展, 正逐步降低数据中心行业的上游水足迹
6	<b>人工智能的水资源足迹</b> 人工智能通过三种方式消耗水资源: 数据中心现场冷却、场外发电、芯片制造	16	<b>水 - 数据 - 能源关联体系</b> 能源结构转型的水资源影响
7	<b>水资源与新经济</b> 不仅数据中心需要水资源, 芯片制造和可再生能源也将影响未来需求	17	<b>弥合水供需缺口</b> 运营商亟需制定专属策略, 保障自身水资源获取能力
8	<b>半导体行业的水资源风险</b> 芯片制造厂面临水资源消耗强度上升与水资源稀缺的持续影响	18	<b>韧性案例研究</b> 合作是保障新增供水的关键
9	<b>半导体行业的水资源战略</b> 改进水资源再利用方案将是提升供应链韧性的关键	19	<b>迈向水资源净零消耗</b> 构建水资源韧性的策略已具备可行性且切实可用, 只需进一步扩大其应用规模即可
10	<b>数据中心的水资源使用</b> 数据中心的水资源利用效率因冷却技术和地理位置而异	20	<b>共享韧性的机遇</b> 新经济领域并非必须增加额外的淡水取水需求。其机遇在于水资源回用以及管网效率的提升
11	<b>数据中心水资源使用趋势</b> 冷却技术迭代推动行业用水效率提升, 但冷却用水总规模仍将增长	21	<b>结论: 一种新型合作伙伴关系</b> 水资源为新发展提供支撑, 而新经济亦能为环境转型注入动力
12	<b>人工智能与数据中心用水的行业背景分析</b> 数据中心的用水量虽占据一定规模, 但需结合整体工业用水的大背景进行考量	22-27	<b>附录</b>
13	<b>超大型数据中心的用水影响</b> 超大型数据中心的用水效率, 也会因运营商的策略不同而存在差异		

# 执行摘要

## 化威胁为机遇

人工智能革命正在重塑全球经济，同时也改变着我们管理水资源的方式。要充分拥抱人工智能带来的红利，就必须应对其价值链中水资源需求的大幅增长。然而，新经济、水务公司和社区可以通过合作，以可控成本扩展水利基础设施和水资源供应，从而实现共赢。这些以效率、循环利用和基础设施更新为核心的合作，构成了可持续发展的“水资源转型”关键。

人工智能新经济的三大核心产业为：  
数据中心、芯片制造厂和发电行业。

### 增长态势

2025年，新经济的淡水取水量达23.7立方公里，较2020年增长38%；到2050年，用水量将再增长129%。尽管如此，与其他主要经济驱动产业相比，该行业的水资源消耗强度仍低得多——2025年其工业取水量仅占总量的3.7%。人工智能的水资源足迹虽不及其他行业密集，但因其以下四个特点引发广泛关注：

### 1 增长需求

人工智能的快速落地应用，正以空前的速度和规模，给现有基础设施带来额外的需求负荷

### 2 位置因素

水资源可用性很少成为选址决策的关键因素，因此半导体制造厂和数据中心仍集中在水资源紧张地区。

### 3 时机背景

用水需求攀升的同时，气候极端事件频发，导致水循环系统的稳定性大幅下降、供水保障持续减弱。

### 4 系统短板

数十年的投资不足导致公共水务基础设施老化，难以应对新需求。

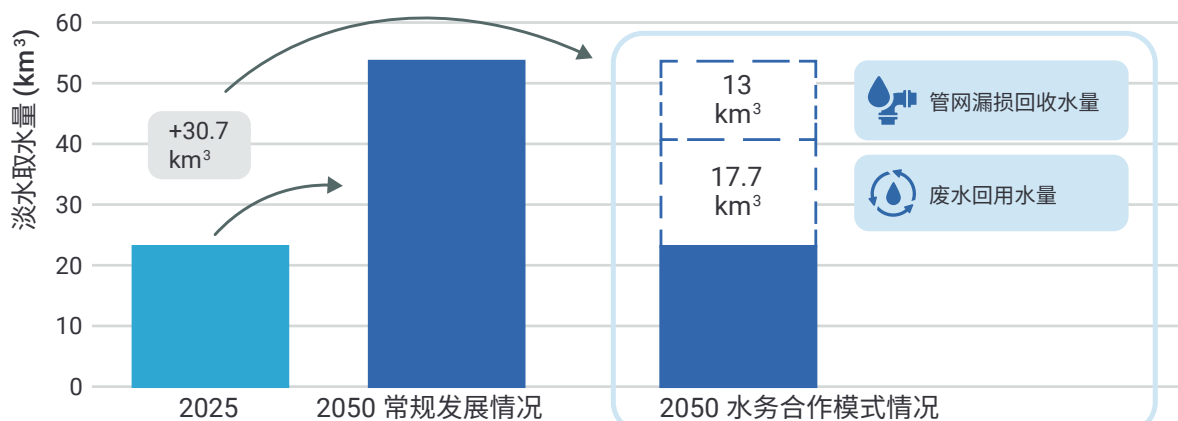
人工智能的水足迹并非如大多数人所想。虽然公众的注意力往往集中在数据中心的冷却上，但这实际上是人工智能价值链中耗水最少的环节。该价值链还包括制造半导体芯片、为数据中心和晶圆厂供电所消耗的水资源。

**网络效率与再利用：**减少泄漏和整合再利用可抵消取水量增长，将未来需求维持在当前水平。

**优化能源结构：**支持可再生能源的整合与部署，推动能源结构从煤炭向天然气转型。

**提升现场效率：**将领先芯片制造厂和数据中心的最佳实践推广至全行业。

## 如何将未来取水量控制在当前水平？



## 行动倡议

城市需要可靠、具韧性的供水系统，而新经济企业需要稳定的供应并愿意为此投资。跨行业合作可实现：

- 实施满足市政和工业需求的综合再利用与防泄漏项目。
- 启动“水资源转型”，增强气候韧性，释放人工智能驱动的经济增长潜力。

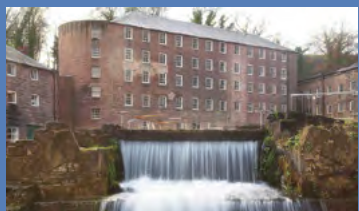
挑战显而易见：我们必须迅速行动，让水资源成为新经济的催化剂。

# 经济转型中的水资源

所有经济转型都要求调整水资源管理方式,此次亦不例外

尽管人工智能革命带来的水资源风险不像过去的污染那样具有外部性,但作为对本已紧张的共享水资源的额外消耗,它仍构成了威胁。随着经济的演变,我们管理和重视水资源的方式也必须随之改变。

资源驱动工业发展



工业改变河流面貌



过度使用引发改革



创新挑战新极限



从19世纪的纺织厂到如今的人工智能数据中心,每一次重大转型都重塑了全球的水格局。重工业最初集中在主要河流与湖泊沿岸,直到污染问题催生了相关监管法规。相比钢铁或化工等传统产业,新经济下的产业用水量更低,但它们兴起于一个水资源系统已不堪重负的世界。全球气温升高加剧了干旱与洪水的发生,与此同时,数十年的投资不足也让公共供水基础设施变得极度脆弱。

适应工业用水新模式的过程向来充满阵痛。以化石燃料为动力的传统制造业经济花了超过100年时间才正视其对水资源的影响,最终在20世纪70年代初出台了《清洁水法》。好消息是,数据中心和芯片行业现在愿意主动参与应对这一问题——因为其运营稳定性正面临威胁。本报告概述了一项战略,旨在将这种经济风险转化为全民共享的韧性未来。

## 水资源管理与工业地理分布

### 早期工业逐水而居

19世纪的纺织厂集中在水资源充沛的山谷,利用河流满足动力和生产需求。用户间的冲突推动了首批共享水资源管理系统的建立。到1900年,工业用水占全球淡水使用量的10%-15%。

### 重工业塑造现代城市

钢铁、化工和造纸制造业——“旧经济”的主要组成部分——集中在主要河流和湖泊沿岸,以确保获得大量冷却和排放用水。随着时间推移,这些水域遭到污染,催生了新的治理模式和法规。

### 人工智能打破传统格局

传统云数据中心为最大限度减少延迟而靠近人口密集区,但用于训练和运行人工智能模型的数据中心有着不同的优先级:低成本电力和房地产更为重要。水资源可用性并非选址的关键因素,这带来了运营和战略风险。

### 水资源管理者面临的新挑战

尽管与传统行业相比,人工智能的用水量相对适中,但它与水资源丰富地区的“脱钩”特性,要求我们制定积极的可持续供应、回收和区域韧性战略。

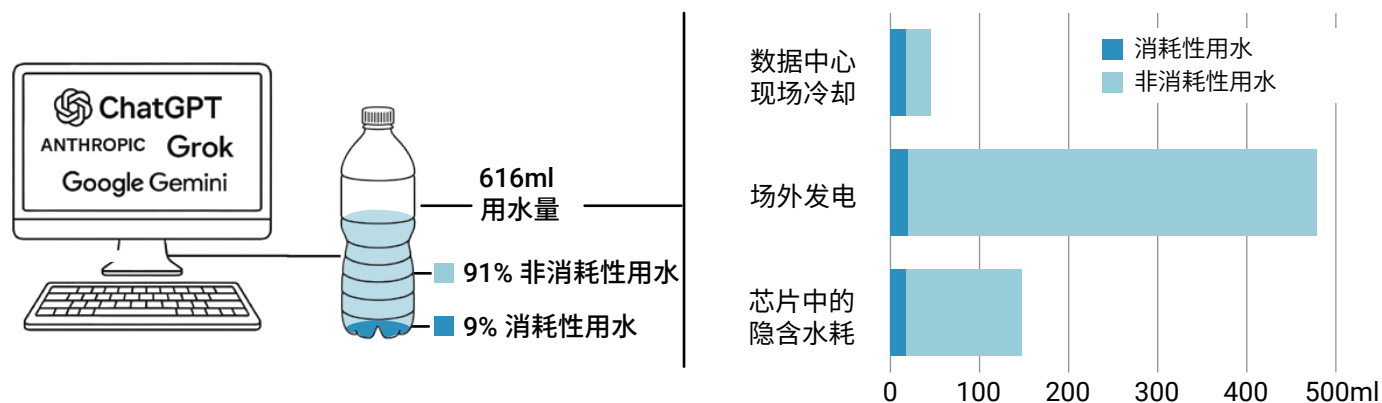
# 人工智能的水资源足迹

人工智能通过三种方式消耗资源：数据中心现场冷却、场外发电、芯片制造

新的分析表明，使用人工智能 30 分钟仅需消耗略多于 600 毫升的水，远低于此前对人工智能每次查询用水量的估计。最大的水资源消耗来自数据中心的电力供应，其次是芯片制造中嵌入的水资源消耗，最后是数据中心现场冷却需求。

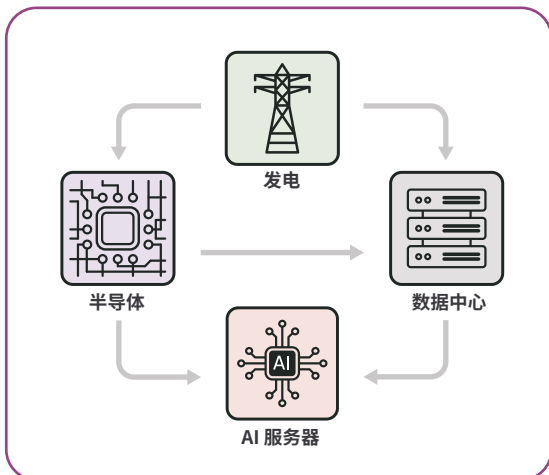
在新经济中，人工智能是最关键的增长引擎。其部署依赖高耗能的数据中心和半导体制造厂，后者为人工智能和云基础设施提供必需的芯片和服务器。

## 使用人工智能 30 分钟的水资源影响（毫升）



## 用水与耗水：两者同等重要

要厘清工业用水对资源的全面影响，需先明确消耗性用水与非消耗性用水的区别。抽取后被回排的废水——其温往往升高或质发生改变——仍会破坏生态系统，同时挤占其他用水体的资源空间。而消耗性损失会将水体永久性从流域中流失，在新经济业态下，这一损耗主要源于冷却用的蒸发。两类用水均会影响资源的可利用量、质与系统韧性，因此亟需采取一体化的管理策略，并提升用水信息的透明度。



## 研究方法

### 数据中心冷却

基于对不同冷却技术资源利用效率的分析及其在行业中的当前应用情况。

### 发电

采用主要数据中心运营商报告的供电结构，并将煤炭、天然气和核能的标准资源消耗强度应用于热电部分。基于人工智能高强度使用的估计，30 分钟的耗电量为 32.5 瓦时。

### 芯片

采纳芯片生产环节的申报耗量，计算图形处理器 (GPU) 的隐含水耗；并结合图形处理器 2.5 年的使用寿命及生产加工效率，对该隐含水耗数值进行均摊核算。

### 运营用水足迹与生产用水足迹

相较于半导体行业在新经济整体资源消耗中的占比，单枚芯片的隐含水耗规模相对较小。原因在于，上述每 30 分钟的测算数值仅反映单枚芯片的全生命周期水耗，而半导体行业的芯片产能既服务新建数据中心，也用于存量数据中心的升级改造。此外，该隐含水耗的核算范围仅包含数据中心内的处理芯片，并未涵盖终端用户自有设备所使用的芯片。

# 水资源与新经济

不仅数据中心需要水源, 芯片制造和可再生能源也将影响未来需求

向数字化和脱碳经济的转型正在重塑全球水资源使用格局, 并推动新经济产业的水资源需求大幅增长。到 2050 年, 数据中心、半导体制造厂及相关发电行业的用水量预计将增长 129%。

这三大行业构成了新经济的支柱, 但均严重依赖稳定的水资源供应来满足冷却和生产需求。受环境压力和工艺变革影响, 新经济领域的水资源使用动态正发生变化: 部分领域的水资源消耗强度(单位产出的用水量)上升, 而其他领域则有所下降。

## 新的水资源影响

**数据中心:**并非所有数据中心都使用水资源进行冷却, 且采用水资源冷却的数据中心其利用效率也在提升, 但人工智能和云服务需求的激增意味着总用水量仍将上升

**假设条件:**到 2050 年, 得益于冷却系统的改进, 数据中心的水资源利用效率将提高 46%

**半导体制造厂:**这些设施严重依赖超纯水来生产芯片。回收再利用是优先事项, 但循环使用会浓缩难以检测的低分子量有机物, 引发处理难题。若不加大投资提升再利用水平, 该行业的水资源需求将实现最快增长

**假设条件:**到 2050 年, 半导体制造的水资源消耗强度将提高 113%, 但不断增长的再利用规模将抵消 27% 的增长

**发电行业:**水资源使用主要取决于能源结构。该行业正从直流冷却系统和燃煤电厂(每千瓦时耗水量更高)向可再生能源和联合循环天然气电厂转型

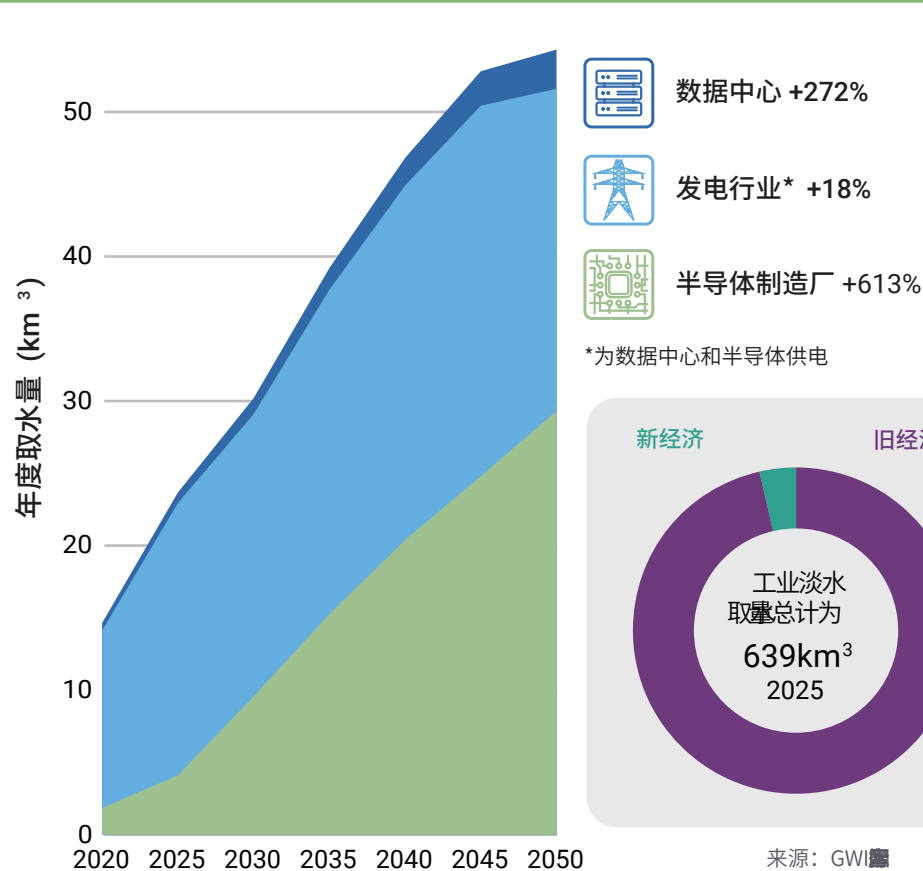
**假设条件:**得益于能源结构的调整, 到 2050 年, 发电行业的整体水资源消耗强度预计将下降 82%

## 新的水资源风险

风险不在于用水量的多少, 而在于用水的时机和地点。水资源正迅速成为新经济的重大风险因素, 影响着资源安全和运营许可。

多种因素将影响新经济的生长和水资源消耗强度, 或加剧、或降低其影响。我们的情景预测显示, 到 2050 年, 水资源需求将增加一倍以上, 年需求量超过 54 立方公里, 相当于加利福尼亚州的地表储水量, 或近 2200 万个奥林匹克标准游泳池的水量。

## 新经济行业用水量预测



# 半导体行业的水资源风险

## 芯片制造厂面临水资源消耗强度上升与水资源稀缺的持续影响

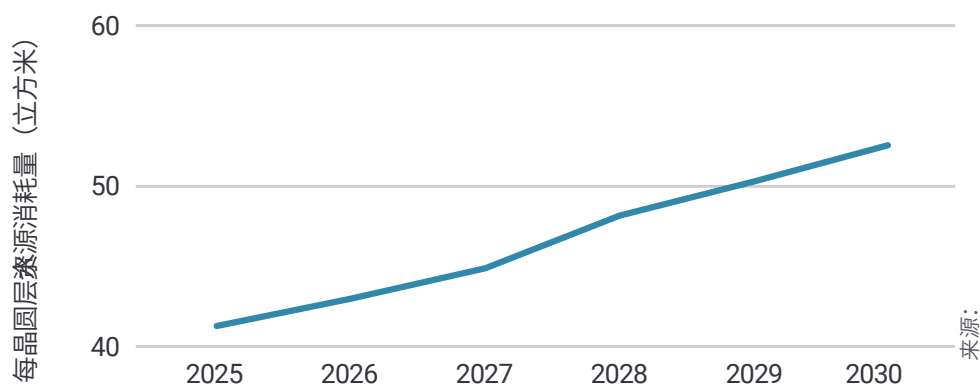
受数据中心需求激增和单芯片水资源消耗强度上升的推动，到 2050 年，半导体行业的水资源需求可能增长 600% 以上。其中大部分增长将出现在水资源稀缺地区。

芯片的生产制程处于微纳尺度，因此制造环节所需的用水必须达到超纯水标准。随着人工智能专用芯片的制造需求持续增长，这类制程用水的需求量预计将大幅攀升。此外，新建晶圆厂仍持续集聚于少数核心区域，主要集中在台湾地区和美国西南部——这些区域均属水资源紧缺地带。

### 芯片制造中的水资源使用

生产超纯水的水资源消耗强度极高。每生产 1 立方米超纯水，最多需要 4 立方米原水。随着芯片技术的不断进步，纯度标准的提高进一步增加了其生产过程中的水资源消耗强度。

#### 单芯片平均水资源消耗强度

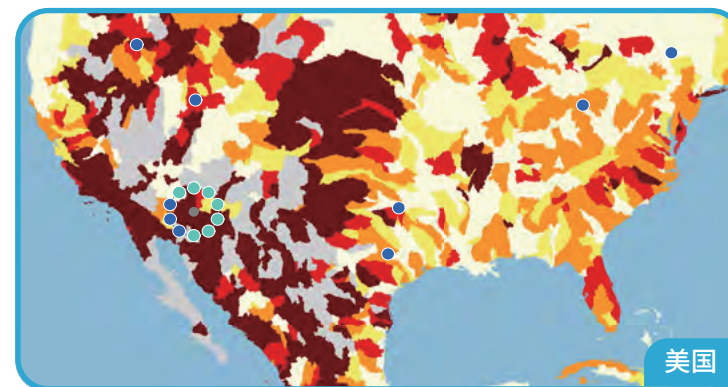
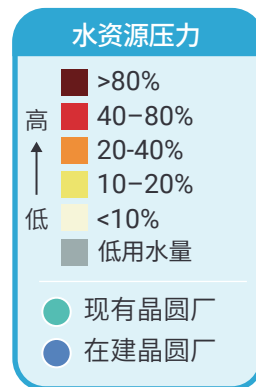
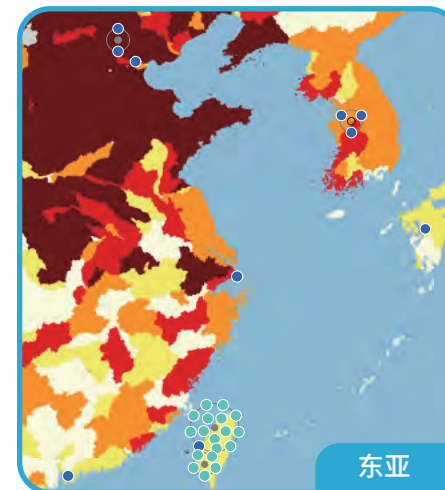


全球半导体需求的爆发式增长，伴随着芯片制造过程中水资源消耗强度的上升。每一代新的制造技术都会在每个晶圆上增加更多的蚀刻和清洗步骤，从而大幅增加对超纯水的需求。因此，到 2030 年，半导体制造的水资源消耗强度将上升 27%。然而，芯片制造厂仍集中在水资源本就有限的水资源紧张地区。由于搬迁可能性不大，大规模的水资源再利用和回收将是维持芯片生产和当地水资源安全的关键。

### 先进芯片制造厂的地理位置

制造商在选择芯片厂地址时，优先考虑基础设施接入、监管激励措施和自然灾害低风险地区。水资源可用性并非决定性因素，这意味着它们往往位于水资源压力较大的地区。

对供应链脆弱性的担忧以及该行业在东亚的集中化，引发了美国的制造业回流努力，政府为芯片厂开发商提供了大量资金，以扩大其在美国的业务。亚利桑那州、得克萨斯州和纽约州目前正在建设新的工厂。



来源: 世界资源研究所 (WRI) ; GWI

# 半导体行业的水资源战略

改进水源再利用方案将是提升供应链韧性的关键

行业的高速发展,加之产业持续集聚于水资源高风险区域,正不断加剧该领域面临的水资源短缺相关风险。这就要求行业采用全新的水资源管理策略,以缓解淡水取水量攀升带来的各类风险。

半导体晶圆厂长期选址缺水区域,资源压力日趋严峻:台湾干旱频次上升,亚利桑那州水源争夺加剧。虽厂区已广泛应用水回用循环技术,但行业淡水取水量仍大幅攀升,各类风险倒逼行业重新聚焦水资源韧性建设。

## 水资源稀缺与挑战

虽然半导体企业已意识到当前面临的水资源风险,但极端天气事件发生频率的增加,正改变着该行业韧性建设的经济效益。

- 2021年干旱期间,全球最大的芯片制造企业台积电(中国台湾积体电路制造股份有限公司)不得不通过运水车为其中国台湾地区的晶圆厂供水,此次应急供水耗资2860万美元,也使其用水成本占季度营收的比例攀升至2%——这一事实充分印证了水资源韧性不足所引发的财务与运营双重风险。
- 此类案例也反映出,现有水资源管理策略已显局限,行业亟需进一步提升供水保障能力。

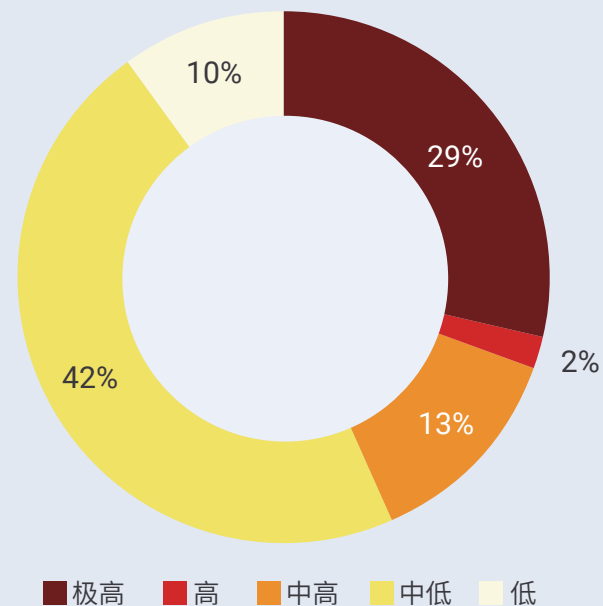
## 可行的水资源战略

半导体行业已落地先进的废水处理技术,且实现了较高的废水回用率,但行业鲜有将超纯水回收后重新用于芯片制造制程的实践。这一现状为行业提升水资源循环利用率、降低淡水取水量留下了巨大优化空间。当前,成本高企与缺乏实践先例两大因素,正制约着这类超纯水回用技术的落地。但在众多晶圆厂集聚的核心区域,工业水价持续攀升,且水资源短缺问题对行业商业决策的影响日益显著,芯片制造企业可通过推行超纯水全流程回收利用,筑牢水资源安全保障体系。

半导体晶圆厂通常将使用过的超纯水二次利用,作为冷却塔补充水。但制程废水中低分子量有机物的持续累积,不仅让晶圆厂的厂区内水回用工艺变得复杂,还大幅增加了回用成本。这一问题限制了水资源的循环利用规模,也让企业从运营角度更倾向于选择直接排放或排污的方式。半导体行业的淡水取水量本就处于高位,且仍在持续增长,晶圆厂产生的废水可通过规模化处理,转化为可供市政用水、农业灌溉复用的宝贵水资源。

## 主要半导体制造商设施的水资源压力分布

全球29%的半导体芯片厂位于水源极度紧张的地区



来源: GWI

# 数据中心的水资源使用

数据中心的水资源利用效率因冷却技术和地理位置而异

气候和冷却系统的选择密切相关，共同决定了数据中心的水资源效率。运营商采用多种冷却策略，每种策略在能源使用、水资源消耗和整体可持续性方面都有独特的权衡。

数据中心的运行依赖各类处理单元，这类设备的能耗体量庞大且持续攀升，人工智能数据中心的能耗问题尤为突出。随着计算密度不断提高，设备过热风险也随之增加，高效冷却因此成为保障数据中心运行的关键环节。水具备高热容与易蒸发的特性，是理想的冷却介质。数据中心最简便的冷却方式为自然通风冷却，即通过开放式布局实现空气流通散热。但这种方式仅适用于特定区域与特定季节。从全球范围来看，56% 的数据中心装机容量均采用了某种形式的蒸发冷却技术，而具体选择何种冷却方案，很大程度上由所在区域的环境条件决定。目前行业主流的冷却策略主要分为三类：

**冷却塔冷却：**该方式在湿润气候下的制冷效果优于其他蒸发式冷却系统，但用水效率通常偏低。持续运行状态下，其单位水耗约为 2.75 升 / 千瓦时，其中消耗性水耗达 1.85 升 / 千瓦时。这类冷却系统一旦投入使用，通常会全年不间断运行。

**绝热冷却系统：**空气先流经湿膜介质，再进入数据中心内部，这一冷却方式目前在行业中的应用占比正持续提升。该系统用水效率极高，但对水处理工艺的要求更为严苛，且无法在湿润环境中使用。持续运行时，其单位水耗约为 0.75 升 / 千瓦时，其中消耗性水耗为 0.63 升 / 千瓦时。不过绝热冷却系统的年使用时长通常仅为 5%-20%，因此其年度平均用水效率 (WUE) 往往低于 0.1 升 / 千瓦时。

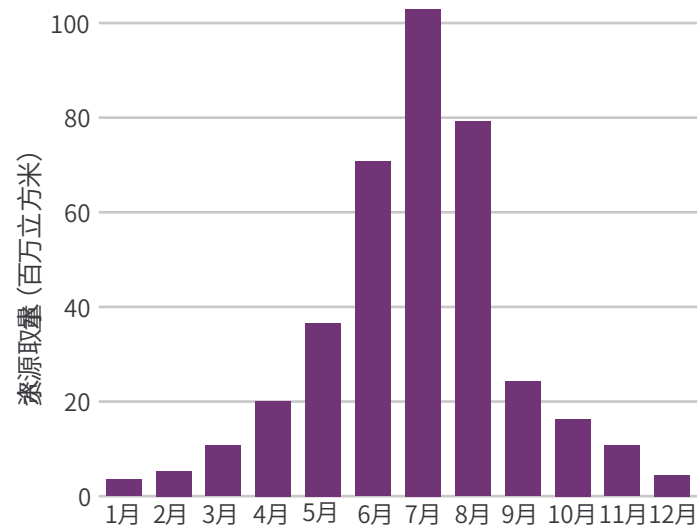
**直接液冷：**通过闭环系统将冷却介质直接输送至芯片处，产生的热量再由冷水机、冷却塔等二次冷却系统导出。搭配冷却塔的直接液冷系统在持续运行时，单位水耗约为 1.73 升 / 千瓦时，其中消耗性水耗为 1.17 升 / 千瓦时。若考虑季节使用差异，该系统的年度平均用水效率 (WUE) 通常低于 0.3 升 / 千瓦时。

人工智能算力负载的高计算密度，推动直接液冷成为当下的新兴技术。芯片的耐温阈值有所提升，即便算力密度大幅增加，数据中心层面的冷却回路也可依托空气冷却实现制冷需求。

## 为何数据中心运营商未广泛采用干冷技术？

在气候凉爽的区域，室外空气可实现“免费制冷”，该方式虽具备实用价值，但应用范围受地域条件严格限制。在其他区域，风冷式冷水机虽为可选方案，却会将资源消耗的压力从水资源侧转移至电力侧。关键在于，这类干冷系统的使用需求高峰恰好出现在高温天气，而此时电网本就面临用电峰值的巨大压力。相比之下，水基冷却系统更能适配电网与数据中心的运行约束：水资源可通过经济高效的方式储存和调配，以此满足短期的冷却需求峰值；而电力需实时发电供应，且发电装机容量需按极端高温这类低频次场景做冗余配置，二者相比，水基冷却的灵活性与经济性更具优势。

## 北美数据中心水资源使用的季节性



来源：GWI

## 季节性特征：用水需求减少，水务管理压力却不降反升？

多数数据中心的冷却用水需求具有显著的季节性，因此其年度总用水量，远低于冷却系统用水效率 (WUE) 指标的理论测算值。但从水务管理的视角来看，这一特征并未带来实质性的压力缓解。水务基础设施的建设标准，必须以用水峰值需求为依据——而这一峰值通常出现在高温少雨的月份。由此可见，数据中心冷却用水的季节性波动，非但没有减轻水务系统的承压，反而进一步加剧了其运行压力。

# 数据中心水资源使用趋势

冷却技术迭代推动行业用效率提升,但冷却用能规模仍将增长

数据中心行业正在调整其冷却策略,以可持续的方式应对不断增长的需求和计算强度。因此,尽管电力需求激增,数据中心的水资源利用效率预计将大幅提高,从而限制取水量的增长幅度。

先进芯片的高热密度特征,推动人工智能专用算力中心在芯片层级规模化落地直接液冷技术。与此同时,云计算数据中心正逐步采用季节性蒸发式绝热冷却系统,打造园区混合冷却方式,以此缓解日益加剧的用水压力。

## 冷却技术发展趋势

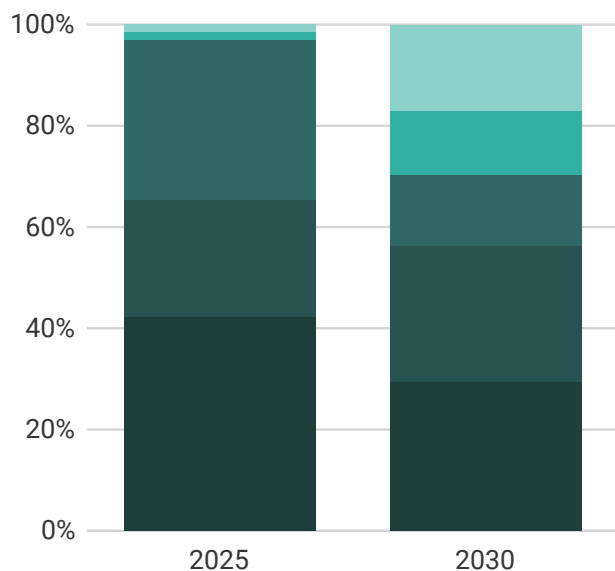
人工智能革命正推动数据中心行业高速发展,也让冷却技术的应用呈现多元化趋势。

传统风冷系统仍将服务于存量庞大的已建成数据中心,但新增装机容量的绝大部分,将采用芯片层级的直接液冷技术,以适配更高的机柜算力密度。这类新型冷却方案的落地形式各有不同:部分方案将直接液冷与绝热冷却、冷却塔/冷水机回路等二次水基冷却系统搭配使用,另一部分则完全依托空气实现热量导出。冷却塔/冷水机系统因占地面积更大、能效更低,市场份额正持续萎缩。

## 用水影响分析

数据中心的用水需求增长速度,将远低于用电需求的增长速度——仅为2050年电力需求预计近7倍增幅的一半不到。尽管如此,未来25年,冷却环节的淡水取水量总规模仍将增至当前的三倍以上,给水务系统带来持续压力。冷却技术的创新升级,推动全行业用水效率(WUE)不断提升,且预计到2050年将实现大幅下降。但全球平均数值的背后,掩盖了不同方案间的巨大差异,同时也未体现全风冷设施的零用水特征。

### 冷却系统趋势 2025-2030

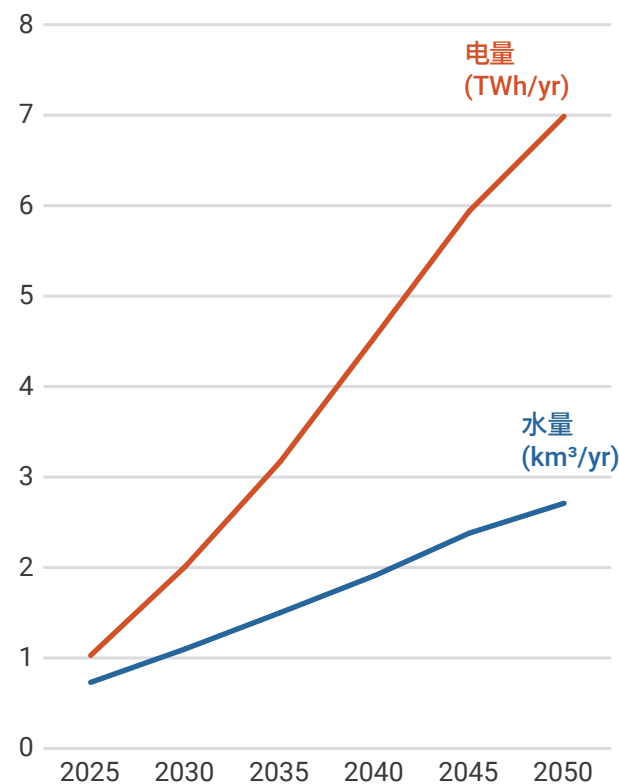


**传统冷却系统:**  
■ 风冷 ■ 绝热冷却 ■ 冷却塔/冷机

**直接液冷系统:**  
■ 风冷 ■ 间接绝热冷却/冷却塔/冷机

来源: GWI

### 数据中心电力与水资源使用预测 2025-2030



来源: GWI 标普全球 (S&P Global)

# 人工智能与数据中心用水的行业背景分析

数据中心的用水量虽占据一定规模，但需结合整体工业用水的大背景进行考量

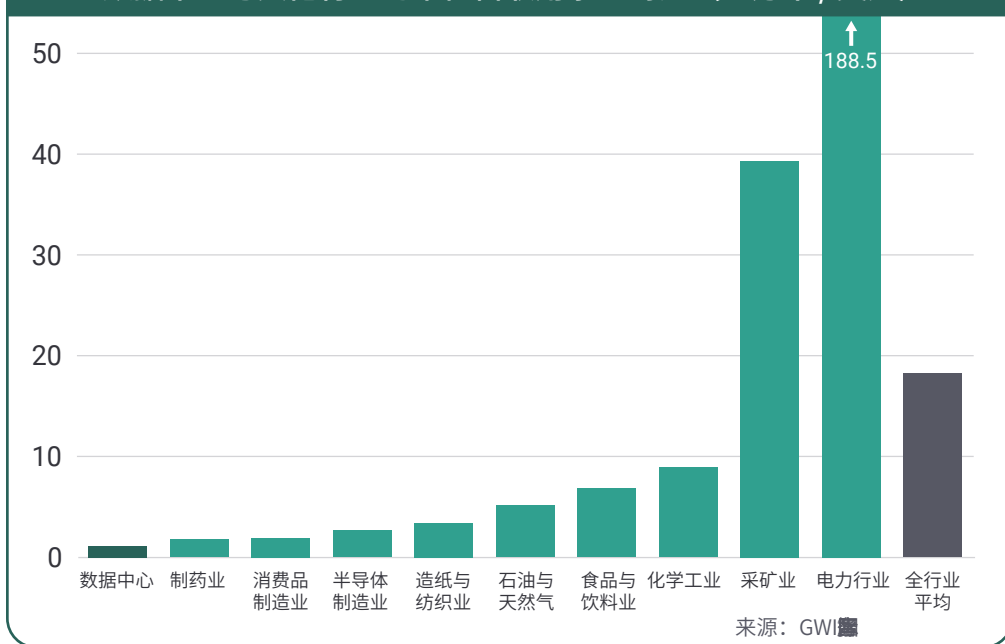
人工智能产业的用水量，远低于日常生活中其他领域的用水量；而这一新兴经济业态的取水量，仅占工业淡水取水总量的 3.7%。尽管如此，其对局部区域的水资源影响却十分显著。

人类所有活动的开展，均会直接或间接消耗水资源。其中农产品的水足迹最为可观：制作一杯加奶咖啡，需消耗 190 升水。一部智能手机的全生命周期水足迹达 12000 升，若平摊至其平均使用时长与生命周期，相当于这部手机每分钟“消耗”约 73 毫升水。台式电脑的制造零部件体量更大，因此其水足迹也相应更高。

## 行业背景下的数据中心用水

一座采用季节性蒸发式绝热冷却系统的超大型数据中心(装机功率 130 兆瓦)，年用水量约为 17.1 万立方米。这一水量足以满足约 900 户美国家庭的用水需求，但相较于发电厂或炼油厂，该用水量则显得微乎其微。不过，数据中心的实际用水量会因冷却技术的选择不同而存在较大差异：若某座数据中心的电力全部由燃煤电厂供应，那么该燃煤电厂为满足其用电需求，年取水量将高达 7900 万立方米，这一水量足以支撑一座 60 万人口城市的用水需求。

数据中心与其他行业的单位营收用水量对比 (立方米 / 美元)



## 日常生活中的水资源消耗

### ① 一杯咖啡: 总耗水190 升

直接使用: 0.25 升  
电力相关耗水 0.065 升  
冷却环节耗水 0 升  
全生命周期隐含耗水 190 升  
跨流域取水比: 85%

### ② 手机浏览 30分钟: 2.28 升

直接使用: 0 升  
电力相关耗水 0.062 升  
冷却环节耗水 0.02 升  
全生命周期隐含耗水 ~2.2 升  
跨流域取水比: 9%

### ③ 一般活动 30 分钟: 63 升

直接使用: 0.052 升  
电力相关耗水 3.13 升  
冷却环节耗水 0 升  
全生命周期隐含耗水 ~59 升  
跨流域取水比: 63%



### ④ 使用人工智能 30 分钟: 7.30 升

直接使用: 0 升  
电力相关耗水 0.458 升  
冷却环节耗水 0.028 升  
全生命周期隐含耗水 ~7 升  
跨流域取水比: 10%

来源: GWI

## 为什么我们要关注它们的水资源使用?

- 数据中心的选址正愈发偏向资源相对匮乏的干旱或乡村区域。
- 其需求峰值恰好出现在夏季——而这一时段正是资源最为紧缺的时期。
- 此外，数据中心的用水为消耗性用水即便是能效最优的冷却系统，其回排量也仅占淡取量的 15%。

正是基于上述多重考量，全球头部科技企业(亚马逊、Alphabet、Meta、微软)均承诺，将于 2030 年前实现“水正效益”目标。

# 超大型数据中心的用水影响

超大型数据中心的用效率,也会因运营商的策略不同而存在差异

超大型数据中心运营商之间的用水效率 (WUE) 差异显著,这一差异源于企业在平衡用水与能耗时所采取的差异化策略。同理,各运营商的用水数据披露方式也存在较大不同。

头部超大型数据中心运营商均会公布自身的用水效率指标,但该指标的核算口径并不统一:部分企业以消耗性用水量为核算基准,部分则以淡水取水总量为基准。此外,并非所有运营商都会披露实际的用水体积数据。

## 水资源战略

在头部云服务商中,亚马逊、微软与元宇宙凭借宏大的水资源管理目标脱颖而出;除阿里云外,本文所列的所有头部企业均承诺,将于 2030 年前实现水资源补给量超取水量的水正效益目标。同时,运营商也正将非常规水源与非饮用水源的开发利用,作为提升水资源韧性、实现可持续发展的核心策略。

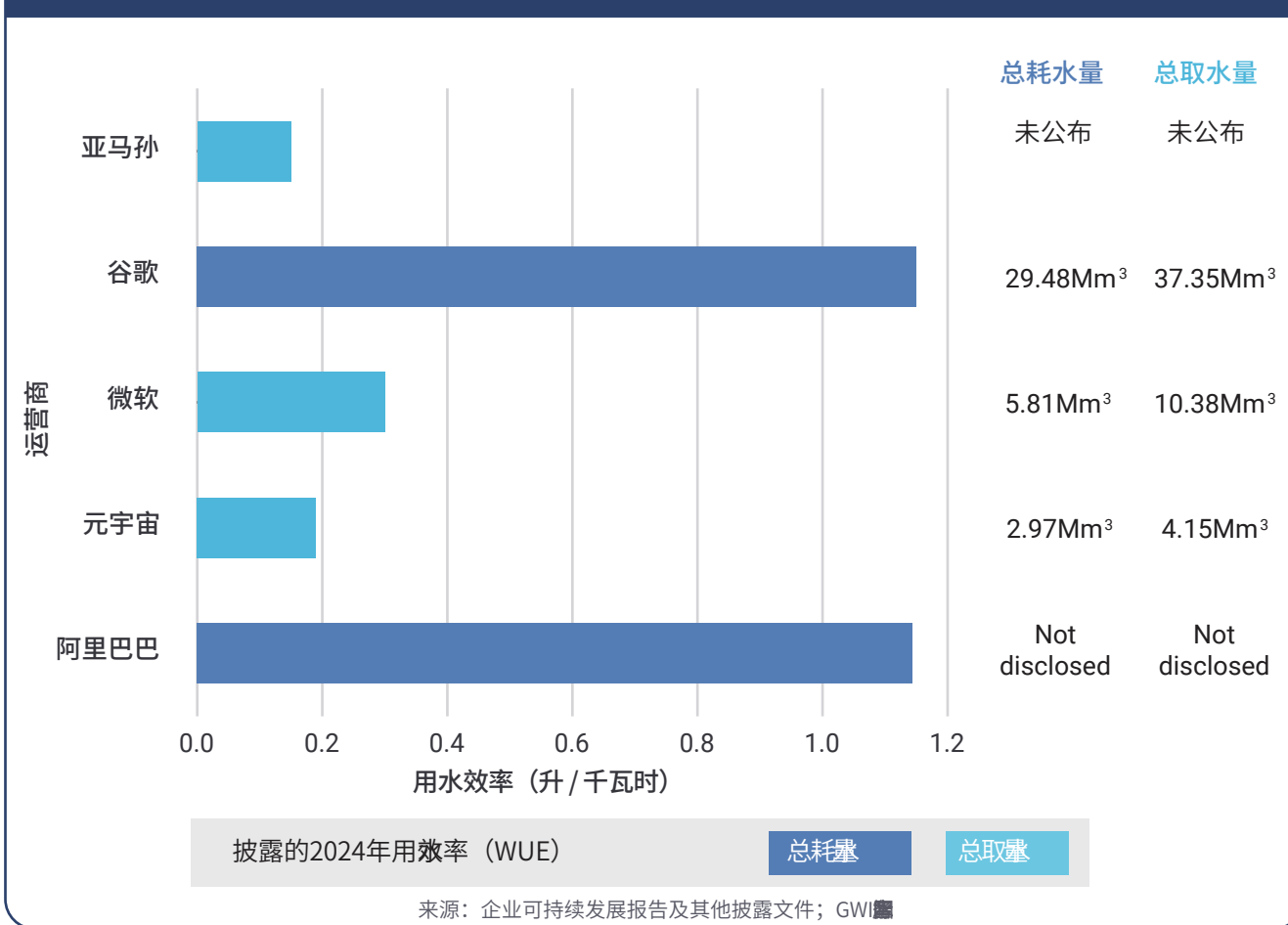
亚马逊的数据中心除酷暑月份外,其余时段均采用风冷技术,且该企业率先将再生水应用于直接蒸发冷却系统。微软推出了新一代数据中心设计方案,部分园区的冷却环节可实现零用水;在华盛顿州,微软还与昆西市合作打造了专属的“水资源回用公用设施”,对冷却排污水进行处理后实现循环利用。除转向再生水利用外,各运营商也在园区内配套建设雨水收集的现场处理与储水设施。

## 用水与用能的权衡关系

在部分场景下,数据中心的用能与用水之间存在直接的此消彼长关系:增加用能可减少用水,反之亦然。

例如,机械风冷式冷水机的能耗量巨大,但全程无需用水。由于公共部门供水机构对水价的定价普遍偏低,而私营部门供电企业对电价实行全成本定价,对部分运营商而言,最具经济效益的策略是优先节约能源而非水资源。这一市场定价机制的差异,或许正是造成各运营商用水效率 (WUE) 表现悬殊的核心原因。

### 五大超大规模运营商的水资源利用效率



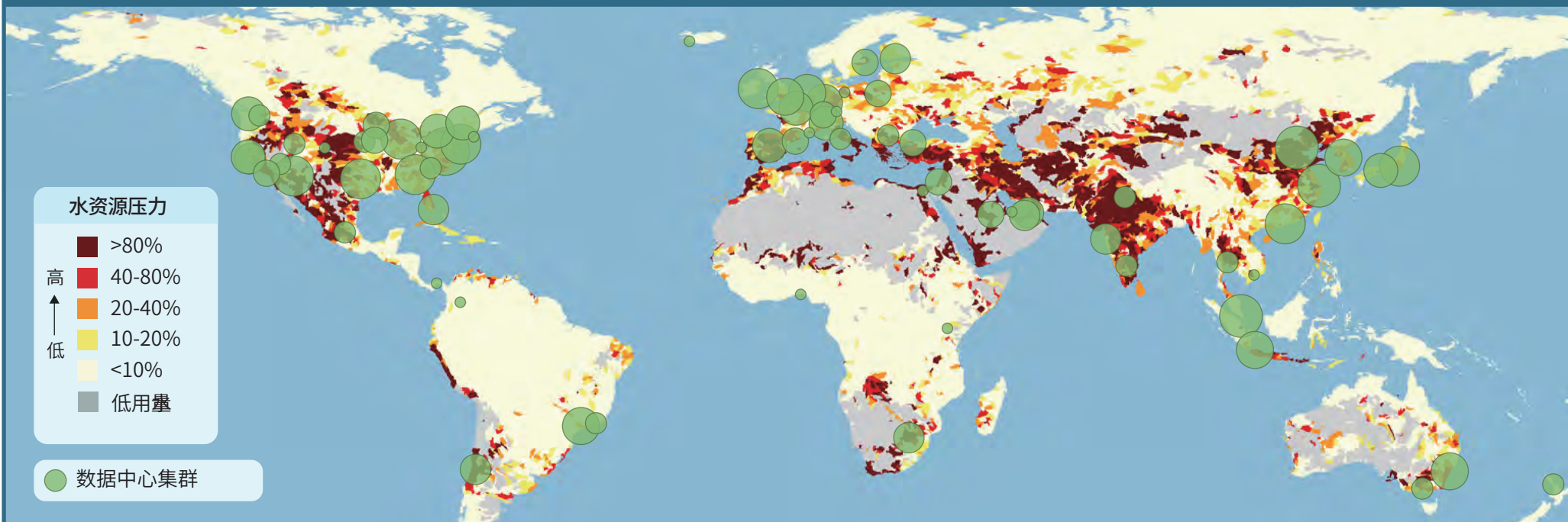
# 数据中心的地理分布

数据中心的新增建设需求,预计将集中于当前已面临水资源承压、且未来存在水资源风险的区域

目前全球 40% 的数据中心,均布局于水资源高压或极高压力区域。新一代人工智能数据中心的海量能源需求,将重塑整个行业的产业区位格局。

当前数据中心的选址,在很大程度上以实现与高收入、中高收入国家人口密集区的高效网络连接为核心考量。而持续攀升的能源需求,正迫使新建数据中心在选址环节将能源可获得性列为首要考量因素。

## 全球最大的数据中心集群在哪里?



## 数据中心产业地理分布的演变

从历史来看,数据中心的选址曾紧邻大型人口密集区,核心目的是最大限度降低网络延迟——即用户操作与服务器响应之间的时间差。对于搜索、流媒体、电商这类实时性服务而言,靠近用户群体与互联网骨干网是必备条件。

但人工智能数据中心的需求截然不同:其核心业务为大规模模型的训练与推理,因此网络延迟的重要性大幅降低。如今,选址的核心驱动因素已转变为**低成本的能源供应**。

廉价的土地资源与低成本的冷却方案虽也在考量范围内,但后者并非选址的主要驱动因素。这意味着,未来超大型数据中心的投资热点,将更多出现在乡村区域与水资源承压区域。当前的投资热点包括美国得克萨斯州、印度以及马来西亚柔佛州;在这些地区,持续增长的数据中心用水需求,已推动当地出台专门针对数据中心的水价政策,并落地了多个水资源回用项目。

# 水 - 数据 - 能源关联体系

可再生能源的发展,正逐步降低数据中心行业的水足迹

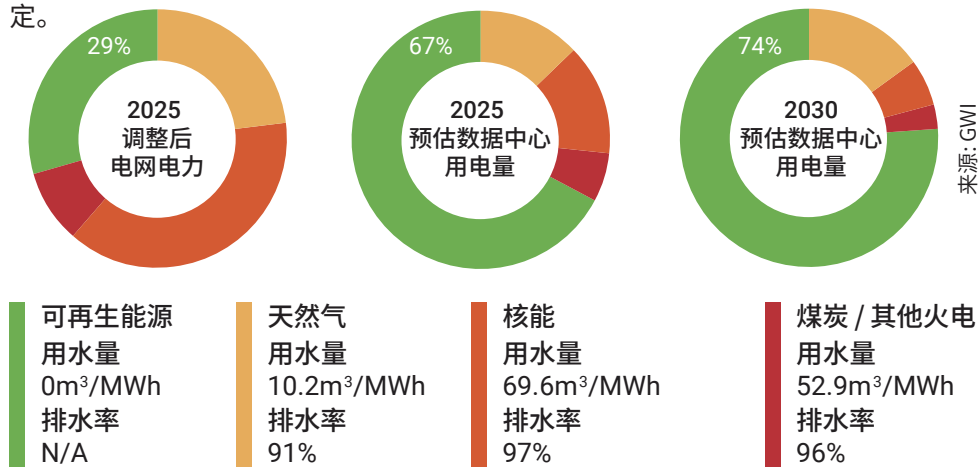
热电发电虽会产生大量的间接用水,但即便数据中心行业的能源需求持续增长,其向低耗水甚至零耗水的可再生能源转型的趋势,仍有望大幅降低这一上游水足迹。

数据中心的间接用水,主要产生于为全球多数数据中心供电的热电设施。如今,数据中心行业不仅愈发坚定地布局可再生能源,还在以天然气替代高水耗的煤炭能源。上述转型举措,有望整体降低数据中心供电环节的单位水耗。

## 供电能源类型与间接用水

发电站的用水主要用于冷却环节,同时也用于蒸汽生产。为数据中心供电所产生的发电用水,在数据中心总用水需求中被归为**间接用水**核算。

在热电发电体系中,煤炭仍是耗水量最大的能源类型,其次为核电,天然气则位列第三——其中联合循环天然气电站的能源利用效率实现了大幅提升。目前已有部分煤电装机容量得到扩容,以满足持续增长的用电需求,但服役年限最久、采用直流冷却的煤电机组大概率会逐步淘汰,到**2030年,数据中心供电的煤炭净使用量预计将下降**。与此同时,天然气在公用电网及数据中心直供电中的占比均有望提升,**2030年数据中心供电的天然气净使用量预计将增长127%**。在21世纪30年代小型模块化反应堆开始落地投运前,为数据中心供电的核电出力规模大概率将保持基本稳定。



## 数据中心供电能源结构: 纳入可再生能源考量

目前,亚马逊、字母表、微软等多数头部数据中心运营商均已做出明确、设有时限的承诺,将采用可再生能源为旗下所有数据中心供电。但尚未达成该目标的运营商,仍高度依赖非绿电配比的公用电网电力——这类电网的供电仍以热电为主,且热电发电的水耗量居高不下。由于电网中可利用的可再生能源装机容量,多数已通过长期购电协议被数据中心锁定,而非由其直接持有,因此我们对电网能源结构的测算数据进行了调整:剔除数据中心的用电需求后,剩余电网供电的水耗强度更高,本报告测算已体现这一特征。

为核算数据中心行业的间接水耗强度,我们结合数据中心专属供电能源结构预估数据,纳入了行业当前及未来规划的可再生能源装机投资行为。若仅以各区域的电网基础能源结构为测算依据,将无法体现数据中心行业对可再生能源发展格局的推动作用。如今,数据中心企业正自主建设园区分布式可再生能源装机,同时通过购电协议撬动外部可再生能源投资,这类合作中,企业往往会为电网绿电消纳指标支付溢价。尽管互联电网的特性决定了无法精准界定输送至单个用户的电力来源,但本报告所预估的供电能源结构,已充分体现数据中心行业对可再生能源供应的正向推动作用。

若数据中心配套的可再生能源装机扩容速度低于本报告预测水平,那么到2030年,为数据中心供电的发电环节总耗水量,其增长幅度将超出当前预期。

此外,半导体晶圆厂的供电对热电的依赖度更高:尽管半导体行业的用电需求仅占新经济领域新增用电总量的15%,但其用电需求所带来的发电环节间接水耗,却占该领域间接水耗总量的22%。

# 水 - 数据 - 能源关联体系

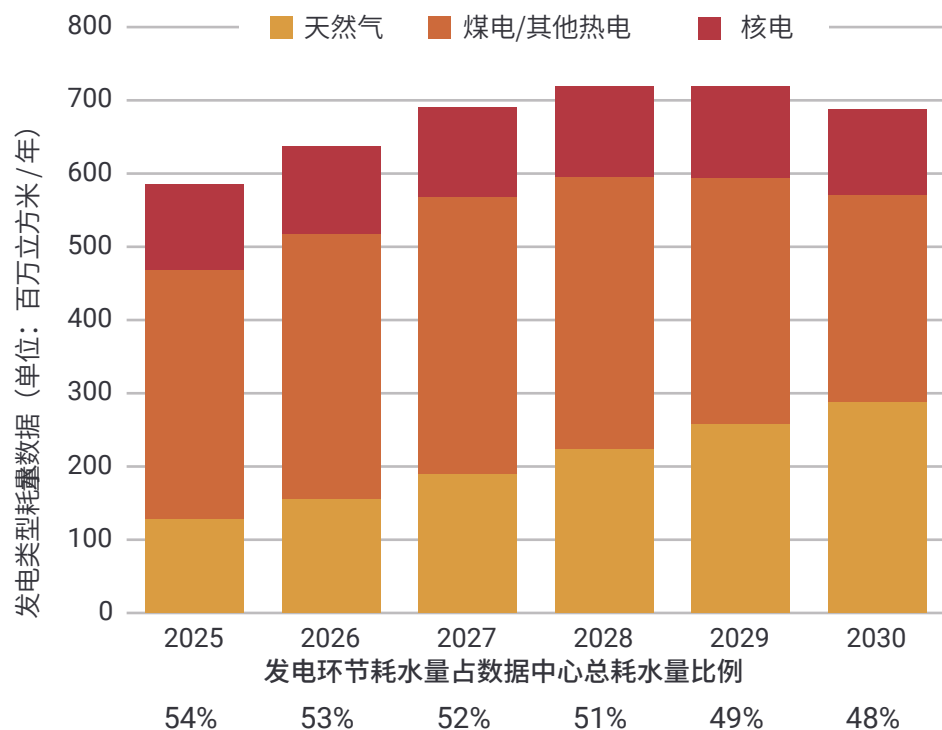
## 能源结构转型的溯源影响

到 2030 年, 数据中心能源结构向可再生能源与天然气的转型优化效应, 将抵消其能源需求近乎翻倍的影响, 发电环节带来的间接水消耗仅会增长 18%。但水资源风险仍未消除, 原因在于发电厂对淡水冷却的依赖程度正持续提升。

数据中心的总用水量, 由园区现场冷却用水与场外发电用水两部分构成。随着行业逐步转向低水耗电类型, 二者的用水占比平衡将发生转变。同时, 能源结构的调整还伴随着直流冷却技术的逐步淘汰, 这一变化会导致相对水消耗上升, 且淡水的使用规模进一步扩大。

### 数据中心供电中的水资源消耗

2025 年, 数据中心的供电环节耗水量仍高于园区现场冷却环节; 但随着行业逐步降低对热电站的依赖, 这一格局将发生改变。到 2030 年, 供电环节耗水量占数据中心总耗水量的比例将降至 48%。



### 数据中心供电能源结构：纳入可再生能源考量

热电站的两类典型冷却方式

- **直流冷却**：抽取源水通常为海或河水流经热交换器为电站降温，升温后的水直接排回原处。该方式会产生大量的淡水取用，但资源的实际耗水量相对极低。
- **循环冷却**：通过冷却塔利用蒸发作用散发热量，取规模大幅降低，但单位相对耗水量显著升高。这类系统可通过特殊的设计与处理改造适配海冷却，不过实际应用中仍以淡水为主要冷却源。

### 发电环节的水资源风险与应对策略

近几十年来, 受直流冷却对海洋生物的影响, 全球范围内的电站正逐步转向循环冷却系统。尽管取规模因此下降, 但发电环节的总耗量仍保持稳定。这一转变也意味着, 发电行业对淡水的依赖程度持续提升, 进而面临更高的资源承压风险。

在印度、中国依赖煤炭这类高耗能源的地区, 上述风险尤为突出。例如 2016 年, 印度因冷却用淡水短缺, 导致电力行业的潜在增长规模缩减了 20%。

部分新建电站已配备干式冷却系统以降低用需求, 但对于存量老旧电站而言, 高昂的改造成本往往使其难以开展冷却系统翻新。由于电站的取源通常为地表水, 其难以通过公用供网络的效率优化来抵消取需求。不过, 电站在冷却环节利用处理后再生的潜力巨大: 该方式虽需对系统进行调整并开展长期的基础设施规划, 但能有效抵消未来的淡需求。例如, 美国大的核电站——亚利桑那州的帕洛弗迪核电站, 自 1985 年起便将再生用于冷却环节。

# 弥合水供需缺口

运营商亟需制定专属策略，保障自身资源获取能力

半导体晶圆厂和数据中心面临严峻的水资源风险，需要制定专属策略以保障可持续的水资源供应，并降低运营风险。

## 新经济领域的水资源风险

数据中心和半导体晶圆厂是数字经济的核心。但如果无法稳定获取水资源，芯片就无法生产或冷却，系统会出现故障，停机成本也会急剧攀升。然而，在选址时，水资源可获得性很少被列为首要考量。相反，数据中心和半导体晶圆厂会制定策略，确保在需要时能够获得水资源。它们面临的风险主要分为三类：物理风险（长期干旱可能导致供水减少）、系统风险（公用供水系统可能因投资不足而瘫痪）以及政治风险（社区可能拒绝运营商的取水权）。

目前，除减少用水需求外，这两个行业降低水资源风险的首选方式是与当地公用事业机构合作，提升供水能力和供水韧性。出现这一趋势的背景是，公众对这两个行业水资源影响的关注度日益提高，这种关注度正威胁着它们的运营许可，并对项目可行性构成挑战。

### 半导体风险缓解策略



#### 物理风险

1. 优化生产流程，最大限度减少每片晶圆的超纯水用量，缓解单位水耗攀升问题
2. 与污水处理机构合作，搭建能够为晶圆厂运营提供稳定供水的供应系统
3. 建设园区水资源回用设施，降低对淡水的需求

#### 系统风险

1. 通过与科学园区及产业集群签订区域水资源共享协议，提升供水韧性
2. 在晶圆厂选址阶段，将水资源可获得性与其他关键因素一并纳入考量

#### 政治风险

1. 利用半导体设施相关的政府资金（如美国和欧盟的芯片法案），投资建设可持续水资源基础设施
2. 探索工业废水向市政用水或农业用水回用的模式，提升新建晶圆厂的运营许可获取能力

### 数据中心风险缓解策略



#### 物理风险

1. 依靠环境气流或干式冷却系统，减少用水需求
2. 通过持有优先取水权（适用于美国西部地区），保障水资源供应
3. 与当地污水处理机构联合开发水资源回用项目，确保获得不受争议的供水，摆脱对天然淡水可获得性的依赖

#### 系统风险

1. 寻找拥有多元化水资源组合的公用事业合作伙伴。
2. 与公用事业机构合作，解决漏水、关键基础设施老化等运营短板问题。

#### 政治风险

承诺践行水资源管理目标（如“水资源正效益”），此类目标承诺在流域内补充的水资源量，至少不低于所取用水量。这可能包括为流域治理项目提供资金支持，例如植树造林或水、环境卫生与个人卫生（WASH）项目——这些项目虽不会直接增加水资源供给，但能确保获得与水资源相关的非政府组织（NGO）的支持。

# 韧性案例研究

合作是保障新增供给的关键

新经济领域的水资源风险正不断上升。另有两项合作策略有助于弥合水供需缺口：水资源回用与基础设施更新。以下是这两项策略实际应用的两个案例。

## 水资源回用



案例分析

合作可加速水资源回用进程，助力保障水资源安全。

### 英特尔（亚利桑那州）案例

#### 背景

英特尔致力于降低其不断扩大的水足迹所带来的影响，尤其是在水资源匮乏的亚利桑那州。该公司目标是到2030年实现水资源净正效益。

#### 英特尔的具体举措：

- 在其亚利桑那州主园区，英特尔与钱德勒市建立公私合作伙伴关系，共建奥科蒂略浓盐水处理厂 (Ocotillo Brine Reduction Facility)，通过先进处理技术和浓盐水浓缩工艺，实现约96%的水资源回收率。
- 该处理厂由公用事业机构拥有并运营，英特尔承担资本支出和运营成本，此举在不提高市政水价的前提下，提升了水资源回用能力。

#### 成效

这一合作伙伴关系，加之降低再生水中溶解固体含量的相关举措，使得钱德勒市能够将处理后的废水输送至邻近的吉拉河印第安社区。2023年，园区现场水资源回用实现节水1280万立方米，生态修复项目为当地社区额外增加了420万立方米的水资源供给，既降低了该园区对市政供水的影响，也抵消了水资源短缺导致的生产损失。

## 基础设施更新



案例分析

合作可通过提升管网效率，挖掘新增水资源供给潜力。

### 亚马逊（墨西哥）案例

#### 背景

墨西哥城和蒙特雷面临长期水资源承压问题，老旧基础设施导致水资源泄漏严重、供水损耗居高不下。为支撑其在该地区的运营，亚马逊与当地公用事业机构合作，加速智慧水务升级进程。

#### 亚马逊的具体举措：

- 亚马逊为赛莱默 (Xylem) 数字水务管理技术的部署提供资金支持，包括压力监测工具、实时泄漏检测软件以及云端分析系统。
- 该项目与当地公用事业机构合作，推动供水管网现代化改造、加快维修进度，并减少非营收水量。

#### 成效

该举措预计每年将为两座城市节约超过130万立方米水资源。公用事业机构生产的水资源将有更多输送至居民手中，减轻市政供水系统的压力并提升供水服务的可靠性。通过数字化改造和针对性基础设施升级，亚马逊正助力该地区改善长期水资源安全，在水资源压力不断上升的背景下，既增强了社区韧性，也为自身运营提供了保障。此外，由于该地区水资源压力较大，亚马逊还决定在其墨西哥数据中心的冷却运营中不使用任何水资源。

# 迈向水资源净零消耗

构建水源韧性的策略已具备可行性且切实可用，只需进一步扩大其应用规模即可

## 行动倡议

实现“水资源转型”，需要同时改变水资源的供给与需求模式，从而使未来的行业增长与水资源可获得性脱钩。

气候不确定性加剧与用水需求攀升，意味着提升水资源韧性将成为新经济发展的关键。尽管我们的用水测算已纳入园区用水效率提升的相关假设，但在采用低影响水源满足新增取水需求、最大限度降低单位水耗方面，仍存在巨大的优化空间。

### 新经济领域水资源韧性的三大杠杆

- 1 扩大回用合作与智慧基础设施规模：投资市政与工业双向水资源回用项目，减少非营收水量与水资源泄漏。
- 2 提升园区用水效率：借鉴领先数据中心和芯片晶圆厂的最佳实践。
- 3 优化能源结构：支持可再生能源整合，降低发电环节的整体单位水耗。

### 各行业在水资源转型中的作用

**电力行业：**可再生能源转型预计将带来显著的节水成效。然而，通过加快可再生能源的应用速度，尤其是在煤炭依赖度较高的地区，可进一步推动水资源净零消耗目标的实现进程。

**数据中心行业：**随着新型冷却系统的应用，该行业预计将实现显著的效率提升。通过加快非饮用水源的应用，数据中心可进一步降低自身对水资源的影响。

**半导体行业：**到2050年，半导体行业的取水需求预计将大幅增加。尽管行业正转向先进制程节点生产，导致单位水耗攀升，这将抵消回收率提升所带来的节水效果。

在水资源转型场景中，大部分节水成效将来自半导体晶圆厂。预计到2050年，该行业的用水量增幅最大，这也为通过再生水抵消新增取水需求创造了更大潜力。

### 园区用水效率

芯片晶圆厂的水资源回用，到2050年将节约12.5立方千米水资源。

我们对2050年新经济领域取水需求的测算，已纳入各行业预期的效率提升空间：

- 数据中心冷却系统的优化升级，到2050年每年将节约2.4立方千米水资源。
- 数据中心和芯片晶圆厂供电所需可再生能源的预期增长，到2050年将节约103.5立方千米水资源。

因此，对公用事业机构水资源韧性的投资，是抵消未来取水需求增长最具成本效益的方式。但持续维持园区用水效率的提升趋势，仍是确保“水资源转型”成功的关键——此举可避免出现难以管控的用水需求增长。

### 核心变量与注意事项

新经济领域的长期发展存在诸多不确定性，这些因素可能影响其水资源影响的发展轨迹与规模，具体包括：

- 人工智能在日常生活中的应用速度与普及程度。  
芯片效率的突破性进展，如量子计算及新型人工智能专用芯片的研发。  
人工智能模型的计算效率提升，这意味着能源强度将大幅降低。  
可再生能源应用的区域与时间差异性。

尽管如此，为应对新经济领域带来的水资源风险，水资源转型仍不可或缺：主动采取行动，才能确保在多种场景下实现水资源韧性。

# 共享韧性的机遇

新经济领域并非必须增加额外的淡水需求。其机遇在于资源回用以及管网效率的提升

数据中心运营商和半导体制造商，若愿意与公用事业机构合作，未来有望满足自身所有的用水需求，而无需增加任何额外的淡水取水。有两个具体机遇尤为突出：一是家庭产生的大量废水，经处理后可用于回用；二是公用事业机构取用并处理的淡水，因泄漏而造成的损耗水量。这些水资源加在一起，完全有能力满足人工智能革命带来的新增用水需求。

## 水资源回用

在不增加淡水取水需求的前提下，扩大水资源供给的最大机遇在于水资源回用。全球每年产生的废水量约为320立方千米。再生这些废水的成本，取决于所需的额外处理和输配基础设施。全球水务研究所 (GWI) 的分析表明，每年最多可提供160立方千米的再生水，其平准化成本低于每立方米1美元。

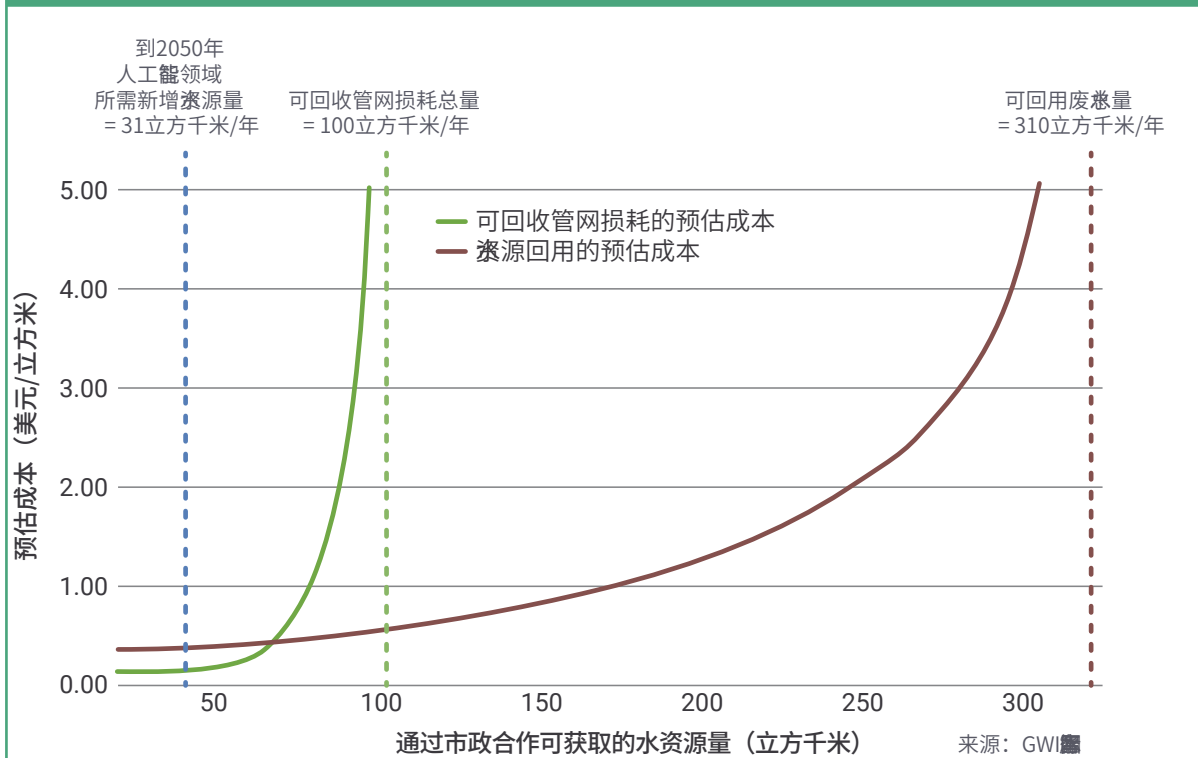
正如我们的案例研究所示，头部数据中心运营商和半导体制造商愿意与市政公用事业机构合作，投资水资源回用项目以保障供水。这些项目还能通过多元化水源，提升公用事业机构的整体供水韧性。当数据中心或半导体工厂的用水需求所处位置不便直接获取再生水时，行业对“抵消性”回用项目的关注度正日益提升——这类项目既能惠及其他用水户，又能增强供水系统的韧性。

## 可回收的管网损耗

数据中心运营商和半导体制造商可利用的第二大水资源，是提升管网效率。全球范围内，约21%的市政取水因泄漏及其他低效问题而损耗，这形成了一项潜在水资源，总量可达100立方千米。公用事业机构可通过优化压力管理、修复泄漏点和完善管网规划，获取这部分水资源。已有部分数据中心运营商（如微软）开始投资提升公用事业机构的管网效率，以保障自身供水。这一合作策略，既能让数据中心受益，也能惠及周边社区。

目前，用于识别和解决管网损耗问题的技术正日益以人工智能为基础。从这个角度来说，这是一种双重合作模式。

## 通过公用事业机构合作获取额外水资源的成本



随着低成本机遇被逐步耗尽，从废水和管网损耗中回收水资源的边际成本会不断上升，最终要充分这部分水资源，成本将高到难以承受。尽管到2050年新经济领域的新增用水需求相对温和，仅为31立方千米，但从其地理分布来看，部分区域的供水成本可能会超过每立方米1美元。

# 结论：一种新型合作关系

资源为新经济发展提供支撑，而新经济亦能为环境转型注入动力

新经济为行业与当地社区在水资源管理方面的合作提供了强有力的切入点。该领域因其用水情况面临着公众的密切监督，而数据中心和半导体行业已在减少取水与用水方面做出了部分最坚定的承诺。这些压力正推动着创新与合作的开展。假以时日，目前围绕数据中心和晶圆厂形成的合作模式，有望成为城市与行业之间更广泛合作的蓝图，助力应对水循环变化带来的新现实。

## 新经济的需求

**增长需求：**新经济不能让水资源成为增长的阻碍。我们未来的经济福祉，取决于新经济带来的生产力提升。

**可靠性需求：**新经济是一种高度可控、全天候（24小时不间断）运行的业态。它不能允许水循环的新极端情况（极端洪涝、干旱等）干扰其运营。

**运营许可需求：**归根结底，社区有权关闭那些不尊重其核心价值的企业。

## 新经济可提供的资源

**投资支持：**对新经济领域的企业而言，水资源安全具有明确的经济价值。这意味着它们通常愿意投资于公共基础设施，以保障供水的可靠性。

**智能技术：**人工智能有望彻底改变我们的水资源管理方式。它将为我们的水循环变化带来灵活性，优化应对策略。

**责任承诺：**企业社会责任（CSR）中关于水资源净零消耗的承诺，为市政部门与企业合作开发共享水资源资产提供了切入点。

## 双方如何开展合作

新经济与城市既共享风险，也共有机遇。通过整合智能基础设施投资与非常规水资源开发，双方可以构建一体化供水系统，既保护社区安全，又保障经济增长。在水资源回用、数据共享和韧性建设方面的合作，能够将水资源从发展的制约因素，转变为可持续创新的推动力量，让地方水资源管理成为全球进步的共享基础。

## 城市的需求

**可靠性需求：**经过多年投资不足，许多城市供水系统已变得不可靠，难以满足新增供水需求。

**韧性需求：**气候变化导致极端天气事件日益频繁，全球各地城市面临的洪涝、干旱风险不断加剧。

**协调性需求：**一座成功的城市需要平衡其居民需求，以及提供就业和繁荣的企业需求。

## 城市可提供的资源

**基础设施：**城市负责提供共享的供水和污水处理基础设施。它们能为辖区内的企业提供最全面的水资源解决方案。

**合作机遇：**那些希望减少淡水取水、同时增加生产用水的企业，应当看到市政水资源回用、泄漏减少以及效率和可靠性提升中蕴含的机遇。

**社区认可：**从长远来看，让新经济企业的水资源利益与所在社区的利益保持一致，是实现经济、社会和环境可持续发展的最佳保障。

以下附录提供了支撑数据、详细方法以及补充背景信息，以完善本白皮书所呈现的分析内容。

## 整体行业范围及数据方法

**数据中心:**涵盖全球所有数据中心(超大规模、托管型、企业级),不含比特币挖矿设施。用水量数据基于净使用兆瓦容量的估算与预测,并结合全球水务研究所(GWI)对区域冷却系统分类的预测结果。电力容量及使用数据来源于451研究公司(标普全球旗下)的《数据中心服务与基础设施市场监测及预测》。通过对气候和季节因素进行建模,并与上述数据相结合,得出区域及次区域层面的用水效率(WUE)估算值;随后,将该估算值与区域及次区域的数据中心净使用容量数据结合,最终生成用水量估算结果。

**半导体:**涵盖全球前端(晶圆及半导体)制造,包括为数据中心、消费电子、汽车及其他工业应用生产的半导体。不含非集成电路应用(如太阳能光伏制造)以及上游硅材和其他原材料生产。用水量数据基于企业报告及内部估算。市场增长估算基于数据中心扩建假设,以及数据中心在半导体产量和市场收入中占比不断提升的假设。

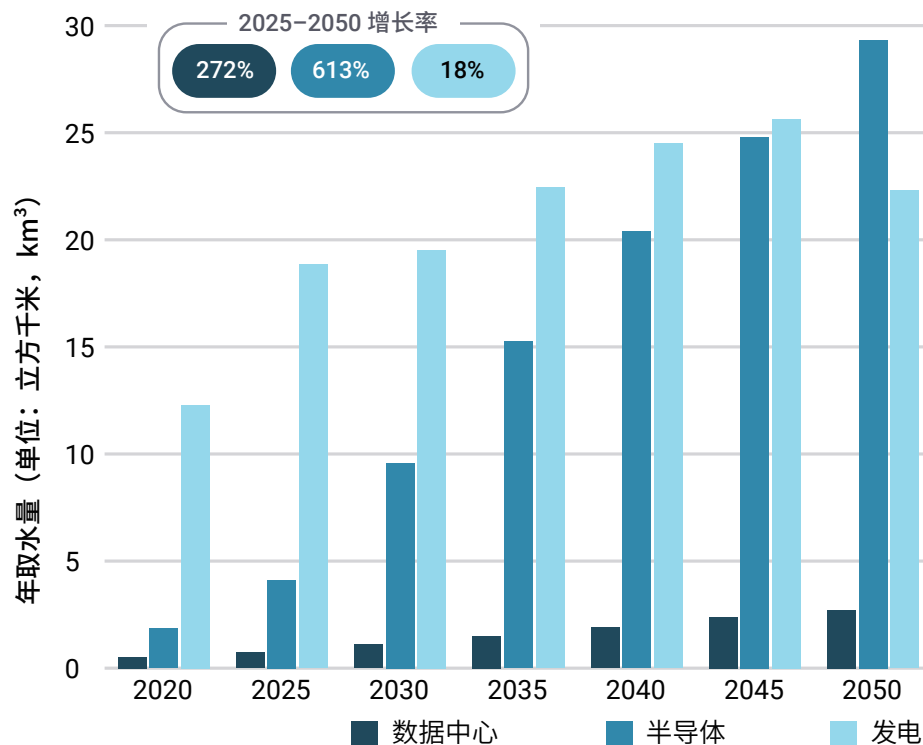
**发电:**涵盖为数据中心和半导体晶圆厂供电的全球发电领域。数据中心的电力结构基于企业报告得出的估算结果(详见第15页方法部分以获取更多信息)。半导体行业的电力结构基于企业报告得出的估算结果,并按各企业的市场份额进行加权计算。随着半导体制造向更先进制程节点转型,能源强度不断提升。具体分类详见半导体每层级平均强度(第8页方法部分)。不同制程节点尺寸的制造能源强度数据来源于国际能源署(IEA, 2025年)《能源与人工智能》报告。

这三个行业构成了新经济。其中,人工智能(AI)是关注重点,因为它是这三个行业增长最显著的驱动力。新经济可被视为人工智能价值链。向可再生能源转型以及更广泛的数字化趋势,也被视为新经济的驱动力。所有水资源压力指标和地图均采用世界资源研究所(WRI)“渡槽”水资源风险地图集(Aqueduct Water Risk Atlas)的基准(当前)水资源压力数据,时间分辨率为年度。

## 第4页:如何将未来取水量限制在当前水平

该图表展示了可回收的管网损耗和市政废水回用如何抵消新经济增长带来的新增取水量。可回收损耗和管网效率提升所带来的节水量,是根据每个行业对市政供水与自有供水的依赖程度,以及这些行业最集中区域的平均管网损耗率估算得出的。可回用废水量的潜在规模,是根据内部可回用程度以及场外回用和非常规水源的替代机会计算得出的。

图1: 新经济各行业取量(单位:立方千米)



## 第6页：30分钟人工智能（AI）使用产生的水资源影响

什么算作人工智能使用？我们提出的每30分钟32.5瓦时（Wh）的数据，基于高强度人工智能使用场景（如生成代码或深度研究），而非日常闲聊对话。该数据按每小时15次“时间缩放”查询（每30分钟7.5次查询）计算得出，采用了微软（2025年）《人工智能推理的能源消耗》报告中关于人工智能推理的耗电量假设，即每次查询消耗4.3瓦时电力。“时间缩放”查询会根据计算资源的使用时长（而非仅查询数量）对人工智能推理请求进行加权，同时考虑推理复杂度等因素。根据OpenAI的估算，一次ChatGPT查询消耗0.34瓦时电力，因此我们假设的每30分钟32.5瓦时，相当于30分钟内进行96次“常规”查询，对应高强度使用场景。

为估算缩减至30分钟人工智能使用时长下，芯片制造所隐含的用水量，我们基于处理这些查询所需的芯片利用率假设，以及先进半导体生产的单位水耗内部估算数据进行计算。芯片使用寿命假设为2.5年，据此可将芯片制造的水资源消耗分摊至30分钟的使用时长中。这些数据不包括连接人工智能服务所需个人设备（如笔记本电脑或手机）所隐含的用水量。

场外发电和数据中心冷却的相关数据，基于上述能耗数据计算得出，同时结合了为数据中心供电的发电环节平均用水效率（详见第15页方法部分），以及数据中心园区冷却的平均用水效率（详见第11页方法部分）。

## 第8页：半导体每层级平均单位水耗

该图表表明，随着市场向更先进的制程节点转型，以满足人工智能的计算需求，半导体行业的总单位水耗将会上升。不同制程节点尺寸的单位水耗，基于M.加西亚·巴登等人（2020年）的《CMOS逻辑技术的从摇篮到出厂生命周期评估》报告。全球水务研究所（GWI）关于不同制程节点尺寸市场占比变化的估算，详见图2。我们将单位水耗系数与制程节点尺寸占比相结合，计算得出半导体制造随时间变化的总相对单位水耗，以每300毫米晶圆层级的水资源消耗量（立方米）为单位表示。由于更密集、更先进的芯片需要更多的晶圆层级，因此制程节点尺寸越小，总单位水耗越高。10纳米制程节点被用作先进芯片与非先进芯片的分界线。图形处理器（GPU）及其他人工智能专用芯片，通常采用5纳米及以下的制程节点。7纳米和10纳米芯片仍将为云计算领域的人工智能增长及相对低端的人工智能应用提供支持。

半导体每层级平均单位水耗不包括发电环节的间接用水量。半导体用水量系数已考虑半导体良率因素，且计算基于以下假设：大部分废弃超纯水会回用于冷却塔。

## 第8页：半导体晶圆厂位置

- 本数据聚焦于生产先进芯片的晶圆厂（对于已公布制程节点尺寸的晶圆厂，主要为10纳米及以下制程），以及生产先进（300毫米）晶圆的代工厂。
- 对于北美地区，现有晶圆厂位置数据来源于半导体行业协会（Semiconductor Industry Association）；规划中的晶圆厂数据来源于已追踪的项目公告。
- 对于东亚地区，现有及规划中的晶圆厂位置数据均来源于已追踪的项目公告。

图2：全球半导体市场制程节点尺寸占比

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
>10nm (所有非先进制程)	91.0%	87.5%	76.5%	67.0%	58.0%	48.5%	39.0%
10nm	3.0%	2.0%	3.5%	5.5%	7.0%	8.5%	10.0%
7nm	2.5%	4.0%	7.0%	10.0%	12.5%	16.3%	20.0%
5nm	2.5%	4.0%	7.0%	10.0%	13.5%	16.3%	19.0%
≤3nm	1.0%	2.5%	6.0%	7.5%	9.0%	10.5%	12.0%

## 第10页：冷却技术的用水效率

冷却塔和绝热系统的平均用水效率（WUE），基于劳伦斯伯克利国家实验室（2024年）《美国数据中心能源使用报告》。芯片直冷系统的用水效率（WUE），基于我们对当前与芯片直冷系统配套部署的设施级冷却系统分类的估算结果。排放量与消耗量的占比划分，基于不同冷却技术在不同气候条件下的蒸发率。平均用水效率（WUE）与实际应用中的用水效率存在差异，因为不同冷却系统受到气候和季节因素的影响方式各不相同。例如，冷却塔的运行频率通常远高于绝热系统——绝热系统每年最多仅运行2个月。湿度和温度也是影响冷却系统效率的重要因素。湿度会缩小环境干球温度与湿球温度之间的差值，这意味着周围空气能够吸收的热量减少，从而降低冷却效率，并导致用水量增加。

因此,在炎热潮湿地区,冷却塔系统的用水效率(WUE)更高。与此同时,绝热系统在潮湿地区效果较差,通常会被避免使用。这些动态变化已纳入我们对冷却系统的分类分析以及该行业用水量的预测中。

图3: 北美数据中心取水量季节性变化及冷却系统分类

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Tower	3.56	5.33	10.67	20.14	36.58	70.71	102.96	79.13	24.25	16.29	10.67	4.44
Adiabatic	-	-	-	0.58	1.02	6.7	9.62	8.01	2.91	0.29	-	-

## 第10页: 北美数据中心用量的季节性

该图表估算了北美数据中心(不含墨西哥)的月度用水量,其依据是冷却塔和绝热系统在不同气候条件下的运行表现。月度用水量通过主要气候区的平均气温建模得出,同时考虑了每种技术对干球温度和湿球温度(环境空气温度与空气通过蒸发冷却可达到的最低温度之间的差值)的响应。将这些因素与区域冷却系统组合相结合,得出了图3所示的月度用水量估算值。绝热系统仅在4月至9月运行,其总取水量的三分之一发生在7月。

如图4所示,冷却系统变化最剧烈(且用水效率下降)的时期将在2025年至2030年之间。

## 第11页: 2025-2030 年冷却系统趋势

全球数据中心市场的冷却系统分类,来自全球水务研究所(GWI)对该行业用水量的预测。设施级和芯片级冷却系统的区别由绿色和粉色区域表示。芯片级系统(传统空气处理器或直接液冷)从服务器本身吸收热量,而设施级系统(绝热系统、冷却塔、空气冷却器)则将这些热量排出数据中心到环境中。

2025年和2030年区域、次区域(如美国不同地区)和国家层面的冷却系统分类,是基于现有市场数据、行业专家访谈以及不同气候和地区使用不同冷却系统的假设估算得出的。全球分类基于不同区域、次区域和国家的市场份额(按已安装兆瓦容量计算)及其各自的冷却系统分类。

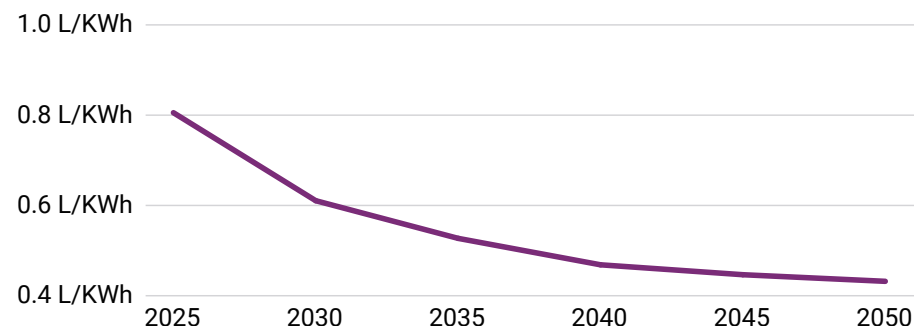
## 第11页: 2025-2050 年数据中心电力和用量预测

电力使用预测基于对2050年之前电力使用的估算,假设人工智能得到广泛应用,且数据中心持续扩建。

用水量数据基于全球水务研究所(GWI)对2030年之前数据中心用水量的预测,此后基于数据中心市场的用水效率(WUE)估算得出。全球用水效率(WUE)预计将在2040-2050年左右趋于平稳(图4)。这背后有多种原因:

- 从长远来看,芯片直冷技术将减少用水需求(原因是芯片允许的温度更高,且在设施层面更容易通过空气进行冷却),但并非所有数据中心工作负载都需要芯片级的直接液冷,出于成本原因,部分数据中心将继续使用传统系统。
- 由于能源效率更高,冷却塔和其他蒸发冷却系统仍将在高湿度和水资源充足的地区使用,尤其是随着该行业对能源使用效率(PUE)的监管日益严格。

图4: 全球数据中心用效率(WUE),以数据中心每千瓦时计算量的取量为衡量标准



## 第12页：日常生活中的用量

### 一杯咖啡：

- 直接用水量：最终饮品中的水分。
- 电力相关用水量：为加工咖啡豆和生产热水所需能源进行发电时的取水量。
- 隐含用水量：农业用水量（主要为绿水），计算依据为：一杯普通咖啡需7克烘焙豆（由11克生豆制成），而生产1千克生豆约需17000升水。

### 手机浏览：

- 电力相关用水量：该数据代表为手机充电、以及运行支持互联网浏览和移动应用的云数据中心所需电力进行发电时的取水量。
- 冷却相关用水量：为支持互联网浏览和移动应用的云数据中心进行现场冷却时的取水量。该数据源于估算的数据中心电力结构。
- 设备隐含用水量：该数值（2.2升）源于一部普通手机约12000升的隐含水足迹估算值。该数值按假设的3年使用寿命和每日3小时使用时长进行分摊，得出每小时的制造用水分摊量，折算后30分钟使用时长分摊量约为2.2升。

### 日常活动：

- 直接用水量：饮用水及其他直接用水。
- 电力相关用水量：基于调整后的电网结构，为照明、家电等日常活动所需电力进行发电时的间接用水量。
- 隐含用水量：涵盖商品和服务（包括食品、服装、消费品）的间接和隐含用水量，按其各自生命周期折算至30分钟时长。

### 人工智能使用：

- 电力相关用水量：该数值代表为人工智能使用30分钟所需能源进行发电时的取水量。冷却相关用水量代表为处理人工智能请求、运行模型推理的数据中心进行现场冷却时的取水量。电力和冷却相关用水量均来源于第5页的30分钟人工智能使用用水量数据。
- 台式电脑：该数值（每30分钟使用时长7升）基于调整后的约7500升隐含水足迹。

此次调整考虑了现代台式电脑相对于旧参考机型的公认重量差异。随后，该水足迹按假设的5年使用寿命和每日4小时使用时长进行分摊，并加入小幅上调以反映额外组件的影响。此处30分钟人工智能使用的总水足迹高于第6页的数据，原因是本页包含了台式电脑的水足迹，而第6页的数据仅从数据中心的孤立视角计算，未包含个人设备。

- 设备隐含用水量：代表按典型使用模式分摊的制造隐含用水量，旨在作为指示性比较值，而非精确的工程测量值。
- 流域外用水：指在最终产品使用或制造所在流域之外发生的用水量占比。

## 第12页：数据中心与其他行业的用量对比

每美元收入用水量数据通过全球水务研究所(GWI)对各行业用水量的估算得出。该数据与各行业全球收入估算值相结合，计算出每产生一美元收入的单位用水量。此处的电力数据涵盖全球发电行业，基于未调整的电网结构，而非第15页所示的调整后结构。

## 第13页：五大巨头的用效率

用水量数据来源于企业可持续发展报告。我们重点关注“五大”超大规模数据中心运营商（而非包含托管服务商——托管服务商也占据总容量的很大一部分），原因如下：

- 它们处于数据中心用水量争议的核心，受到最多公众监督。
- 它们更有可能披露用水量指标。
- 与托管服务商相比，它们更密切、更直接地参与用水策略制定——托管服务商的冷却和用水策略差异更大。

尽管谷歌未在其年度可持续发展报告中披露用水效率(WUE)，但在谷歌(2025年)《谷歌规模人工智能交付的环境影响评估》报告中，其披露了人工智能相关设施的用水效率数值为1.15升/千瓦时。该数值与基于其所有数据中心披露的用水和能源使用数据计算得出的用水效率(WUE)一致。

## 第14页：全球最大的数据中心集群位于何处？

这些数据中心集群的位置和规模基于对知名数据中心市场相对规模的估算。气泡大小仅用于示意估算的数据中心容量，而非具体的兆瓦数值。

## 第15页：水-数据-能源关联：调整后的电网统计方法

调整后的电网结构将数据中心电力需求与常规电网分离，以计入数据中心运营商的大规模可再生能源采购量。数据中心按燃料类型划分的能源使用量，基于主要数据中心运营商（包括超大规模和托管型运营商）报告的电源得出。这包括现场可再生能源发电（如邻近的太阳能电站或现场风力涡轮机）、可再生能源购电协议（有助于为可再生能源容量投资提供资金），以及可再生能源证书（证明单位能源来自可再生能源的凭证）。我们对一组有代表性的主要数据中心运营商（公开披露这些数值的运营商）的相关数据进行汇总，以估算全球数据中心行业的电力结构。

随后，我们将数据中心总电力需求及其相关可再生能源供应量从国际能源署（IEA）2024年全球电网结构（IEA（2024年）《世界能源展望》）中剔除，并对剩余发电量进行重新标准化，以反映为其他电网用户供电的更高热机组占比。这避免了可再生能源的重复计算，并能更好地体现电网电力的间接单位水耗。

2030年数据中心电力结构基于当前可再生能源容量的建设速度，以及数据中心运营商扩大可再生能源使用的未来承诺得出。

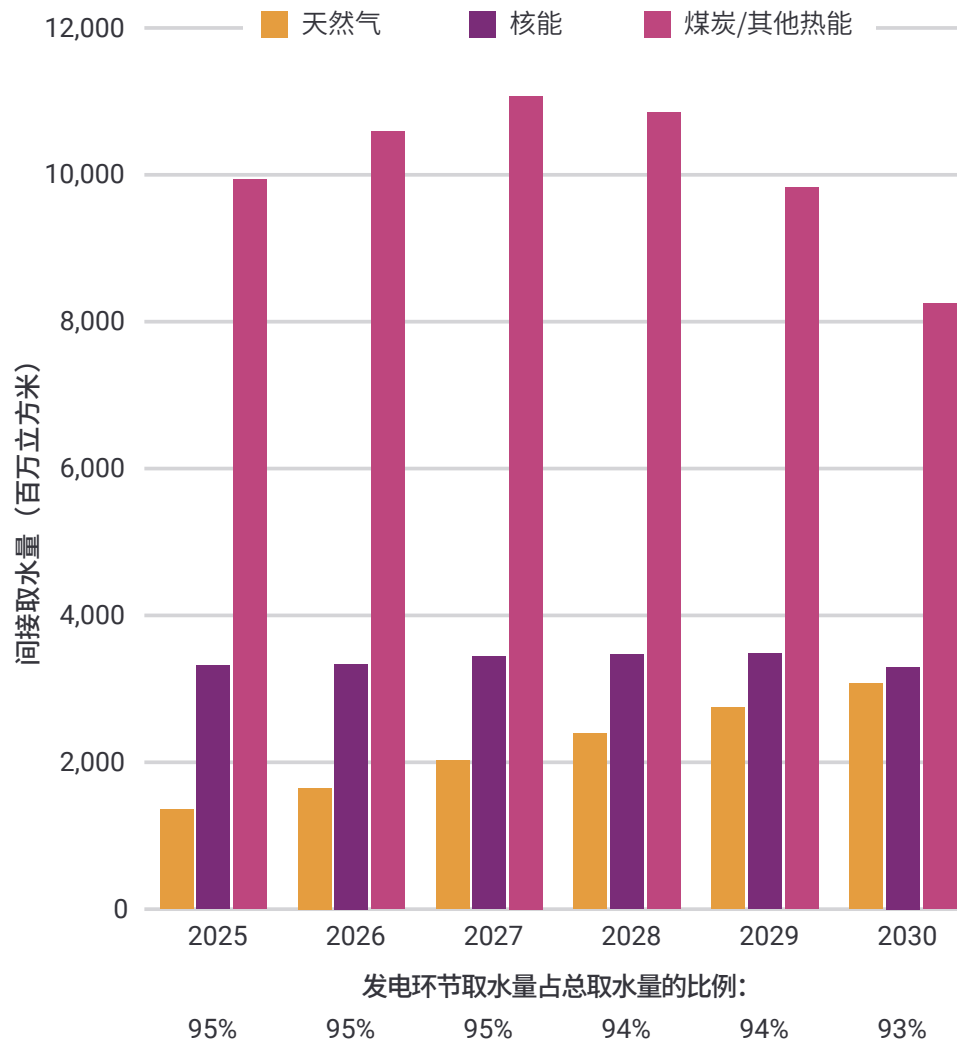
## 第16页：数据中心供电所用水量

第16页的图表展示了为数据中心供电的发电环节的间接用水量。如果将其扩展至总取水量，那么发电环节占数据中心总用水量的比例将大得多，如图5所示。这是因为与数据中心相比，发电环节由于采用直流冷却技术，其取水量强度要高得多。因此，发电环节在数据中心总水足迹中所占的比例，会因所使用的计量指标不同而存在显著差异。

半导体在总发电量和间接用水量中的占比

我们在新经济总发电用水量估算中已纳入半导体电力使用量。图6展示了数据中心和晶圆厂的能源需求，以及通过发电产生的间接取水量的分类情况。数据中心电力使用量受人工智能和云基础设施扩建的推动。同样，半导体电力使用量因行业扩张以及该行业向先进制程节点转型导致能源强度提升而增加。预计到2050年，半导体行业整体能源强度将提升90%，从而推动总能源需求和间接用水量增加。

图5：按燃料类型划分的发电环节中数据中心间接取水量



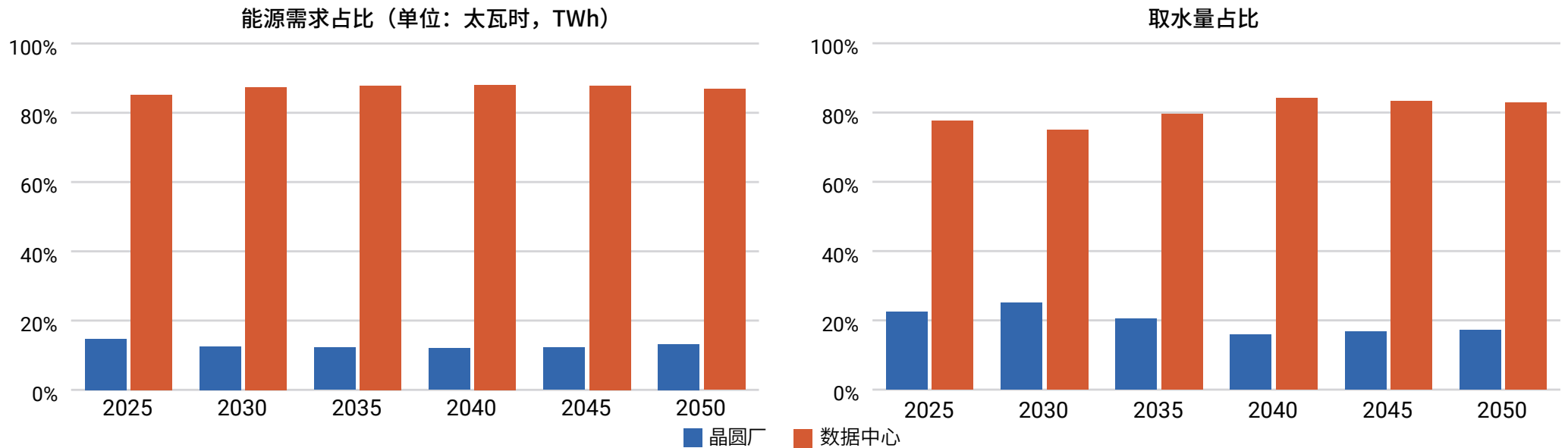
## 第19页：通过公用事业合作伙伴关系获取额外水资源的成本

总可用水量基于全球市政淡水取水量预测（每年470立方千米，依据Aquastat趋势数据）估算得出。其中约21%（约100立方千米）因管网泄漏损失。在输送至家庭的剩余约370立方千米水资源中，约86%以废水形式回流（消耗性用水量约占14%），因此约有320立方千米水资源具备回用潜力。

废水回收的边际成本曲线源于全球水务研究所（GWI）对DesalData水资源回用项目清单中各项目资本成本和运营成本的分析。该曲线假设废水处理达到三级标准，并增加一道精处理工序，而非饮用水回用通常所需的完整三重屏障处理工艺。这使得成本下限约为0.40美元/立方米，成本上升的主要原因是需要建设将再生水输送至需求地点的收集和配送基础设施。此类由基础设施驱动的成本因地区而异，差异显著。

回收管网损失水资源的成本曲线参考了全球泄漏减少项目的成本数据。成本下限方面，采用智能压力管理可能足以减少泄漏；成本上限方面，其成本接近全面更换管道的成本。当实际泄漏率降至约4%以下时，由于定位和消除剩余泄漏点的成本过高，进一步减少泄漏将变得不具经济性。

图6：数据中心和晶圆厂的总能源需求（太瓦时）与发电环节总间接取量分类对比



## 滋养新经济

驾驭人工智能革命的影响

作者：Christopher Gasson & Victor Smith

序言：Matthew Pine

编辑：Charlotte Oakes

校对：Alexander Truuvert, Ashi Banerjee, Daniil Antonov,  
Mariana Quaresma, Oluwadara Adebobola, Sam Dennis &  
Sebastian Hancox

设计：Amélie Robert, Christopher Gasson & Victor Smith

封面设计：Beckstar Design

出版方：

Media Analytics Ltd.,  
Suite C, Kingsmead House,  
Oxpens Road,  
Oxford OX1 1XX,  
United Kingdom

邮编：OX1 1XX  
电话：+44 1865 204 208

尽管已尽最大努力确保本报告信息的准确性，但国际水务智库（GWI）、Media Analytics Ltd.、赛莱默公司（Xylem）及任何撰稿人均不对任何错误或疏漏承担责任。未经许可，严禁擅自分发或复制本出版物内容。

如需获得许可，请联系：[copyright@globalwaterintel.com](mailto:copyright@globalwaterintel.com)

**GWi**  
GLOBAL WATER INTELLIGENCE

**xylem**