



水利水电国际资讯摘要

IWHR International Digest

中国水利水电科学研究院 主编：蒋云钟 执行主编：王玉杰 责编：何鑫 李桐

2025
6
总364期

美国基础设施
综合评估报告

水的未来白皮书：
多利益相关方共同行动以增强韧性



美国基础设施综合评估报告

关键发现

《2025 年美国基础设施报告卡》显示, 近期联邦投资对美国人日常依赖的多个基础设施部门产生了积极影响。因此, 部分长期评分偏低的类别已实现渐进式改善。在评估的 18 个类别中,

近半数评分提高, 推动整体评分从 C- 提升至 C。这一态势令人鼓舞, 但要充分发挥资源效益, 仍需持续进行基础设施投资, 为利益相关方的长期政策制定与项目执行增加确定性。

评分等级体系

A. 优秀级 (面向未来)

系统或网络中的基础设施整体状况优异, 通常为新建或近期改造项目, 能够满足未来容量需求。部分构件初现整体老化迹象, 需关注。设施符合现代功能标准, 能够抵御大多数灾害和极端天气事件。

B. 良好级 (适应当下)

系统或网络中的基础设施整体状况良好至优秀; 部分构件出现整体老化迹象, 需关注。一些构件存在显著缺陷。设施总体安全可靠, 容量问题和风险极小。

C. 中等级 (需要关注)

系统或网络中的基础设施整体状况处于合格至良好水平, 已出现整体老化迹象, 需关注。部分构件的状况和功能存在显著缺陷, 导致面对风险的脆弱性增加。

D. 较差级 (存在风险)

基础设施整体状况处于合格至较差水平, 总体未达标准, 且许多构件已临近使用年限。系统中大部分基础设施出现显著老化。基础设施状况和能力存在严重问题, 有极高的失效风险。

E. 失效级 / 临界级 (功能失效)

系统中基础设施处于不可接受的状况, 出现大范围严重老化迹象。系统大量构件出现临近失效迹象。

2025 年的评分结果从“港口”的 B 级到“雨水管理”和“公共交通”的 D 级不等。自 1998 年以来,首次没有类别被评为 D-。在评估的 18 个类别中,有 8 个类别的评分有所提高,其中许多类别多年来一直停滞在 D- 或 D。这一改善得益于政府和私营部门优先投资于长期被忽视的系统。“能源”和“铁路”两个类别因容量、未来需求和安全问题被降级。2025 年新增“宽带”这一评分类别,得分为 C+。尽管有证据表明整个基础设施系统有所改善,但仍有 9 个类别处于 D 级,这清楚表明需要采取更多措施来改善美国基础设施的健康状况。

这 18 类基础设施功能各异、协同运作,共同为民众和社区提供必要服务。本次评估揭示出几个关键趋势,表明尽管基础设施近期进行了升级,但差距仍然存在。以下趋势值得关注:

1. 老化的基础设施系统越来越容易受到自然灾害和极端天气事件影响,给公共安全和经济运行带来本可规避的意外风险。气候变化的挑战普遍存在,对既往具有抵抗能力的地区也造成了影响:洪水频次与强度上升,飓风的风强持续增加,野火蔓延趋势更加不可预测。事实证明,可通过减少灾后重建需求等方式持续降低成本,是对有限公共资金的有效利用。例如,通过采用最新的规范和标准,社区将更好地应对灾害,并更负责任地部署公共资源。

2. 近期的联邦和州投资影响已初见成效,但增资举措的全部效果需要数年才能显现。持续投资是确保规划落地实施的关键,让实现更大型基础设施项目成为可能。在《2021 年基础设施投资和就业法案》(IIJA)等联邦立法出台之前,美国许多基础设施网络已持续被联邦层面忽视数十年。随着时间的推移,投资增速未能匹配实际需求,

维护工程持续积压。与此同时,基础设施系统的需求压力已远超维护范畴。社区扩张与使用趋势变化、经济增长、突发事件和新技术等都要求制定新计划和项目设计。这一严峻形势要求联邦政府必须持续将基础设施投资列为优先事项。因此,联邦决策者需要延续与州和地方政府的合作,以匹配投资并促进规划。鉴于基础设施项目从研究、设计到竣工耗时漫长,维持甚至提升当前投资强度对于基础设施持续改善很有必要。

3. 关键绩效指标数据不可靠或不可用,持续影响某些基础设施领域。教育设施、宽带、能源、堤坝、雨水管理和公园等领域仍普遍存在公共数据缺失的问题。关于资产状况、容量、运营、安全性或韧性的可靠信息能够促进公众对基础设施问题的主动讨论。许多基础设施类别缺乏基本的资产清单,因此无法实施资产管理。所有基础设施领域都应建立公开、定期且可靠的数据标准,以便精准引导投资方向,并帮助决策者将有限资金合理分配给最需要的项目。通过强化数据,可以更好地实现资产效率和效益。

美国土木工程师协会(ASCE)对国会、州及地方政策制定者以及私营部门在过去几年展现的领导力以及将美国基础设施列为优先事项的做法表示赞赏。这些投资已开始显现成效,但尚有工作未完成。决策者谋划美国基础设施的未来时,应权衡对关键网络体系支持不足的后果。几十年来,各级政府和私营部门的投资始终未能满足日益增长的需求,也未能充分支持实现基础设施良好维护状态所需的项目。通过激励创新并保持甚至加大投资力度,美国将延续当前基础设施体系的良好发展态势,确保其满足 21 世纪的发展需求。

关于《美国基础设施报告卡》

ASCE 每四年发布一次《美国基础设施报告卡》(下称“《报告卡》”),对美国 18 个主要基础设施类别进行全面评估。《报告卡》采用 A 到 F 的简易评分模式,评估当前基础设施状态和需求,赋予相应评分,并提出改进建议。

ASCE 下设的“美国基础设施委员会”由来自

美国各地的 52 名资深土木工程师和基础设施专业人士组成。他们具备所有评估类别相关的数十年专业经验,以志愿者身份与“ASCE 基础设施倡议”的工作人员合作编写《报告卡》。委员会评估所有相关数据和报告,征询技术及行业专家意见,并依据下列标准评分:

评分方法

容量

基础设施容量是否满足当前及未来需求?

状况

基础设施当前及近未来物理状况如何?

资金

当前各级政府对该基础设施类别的资金投入水平与预估资金需求相比如何?

未来需求

改善该基础设施所需的成本是多少?未来投资前景是否能满足需求?

运营与维护

基础设施所有者是否有能力妥善运营和维护基础设施?基础设施是否符合政府法规?

公共安全

当前基础设施状况在多大程度上危及公众安全?若发生故障可能产生什么后果?

韧性

基础设施系统防范重大多灾种威胁和事件的能力如何?在尽量减少对公共安全和健康、经济及国家安全的影响下,其快速恢复和重建关键服务的能力如何?

创新

当前有哪些创新技术、材料、工艺和交付方法正被应用于改善基础设施?

除国家层面的《报告卡》外,ASCE 各分会及分支机构还会定期滚动发布各州报告。

投资缺口

2024 年, ASCE 对各基础设施类别达到并维持良好维护状态(对应《报告卡》中的 B 级)所需的投资提供了最新的经济评估。相关数据展示了基础设施建设取得的进展, 同时也凸显了未来日益增长的需求。

ASCE 2024 年《缩小差距》研究报告涵盖了《报告卡》18 个类别中的 11 个。报告显示, 如果国会延续最近几个财年的投资水平, 美国家庭每年将节省 700 美元开支。这包括《2021 年基础设施投资和就业法案》(IIJA)、《2022 年通胀削减

法案》(IRA)及其他立法所确定的拨款额度。例如, 对于两大水运类别(内陆水道和港口), 达到全面良好维护状态需投入 450 亿美元, 未来十年预期投资为 320 亿美元, 因此有 130 亿美元的资金缺口。

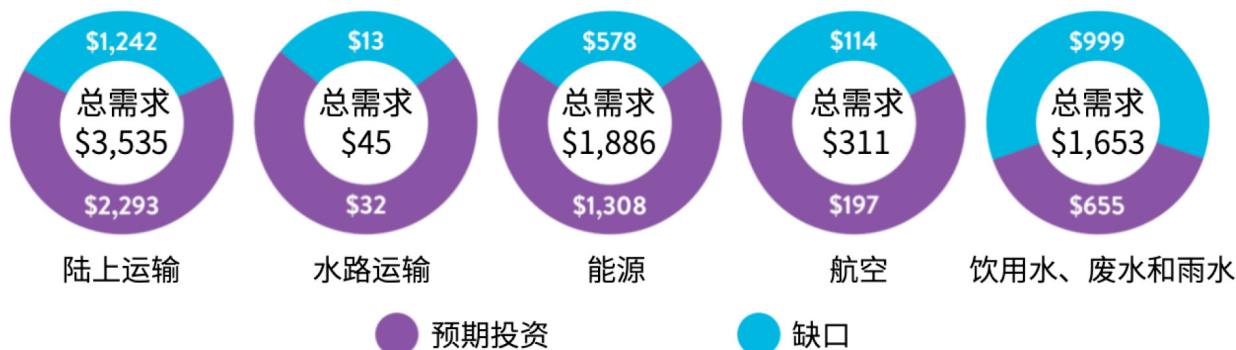
对于《缩小差距》研究报告中的 11 个基础设施类别, ASCE 估算需要 2.9 万亿美元的额外投资才能实现良好维护状态。计划投资与必要投资之间的缺口小于 ASCE 2020 年经济研究估算值, 这表明近期联邦投资已促成进展。

2024-2033 年基于“持续行动”情境的十年资金缺口

总需求 - 预期投资 = 缺口

单位: 十亿美元

各列数据之和可能存在误差。



根据《2025 年美国基础设施报告卡》, ASCE 估计,《报告卡》中所有 18 个类别总共需要 9.1 万亿美元投资才能达到良好维护状态。根据公开数据和 ASCE 2024 年《缩小差距》研究报告预测, 如果国会维持近年投资水平, 则 2024 年至 2033 年十年间公私部门投资将达到 5.4 万亿美元, 美国基础设施投资缺口将达到 3.7 万亿美元。如果国会回调投资至联邦支出增长前的水平, 这一缺口将显著扩大。事实上, ASCE《缩小差距》研究报告(仅评估 2025 年《报告卡》中 18 个类别中的 11 个)显示, 回调投资产生的资金缺口将等同于 2025 年《报告卡》预估的 3.7 万亿美元总缺口。

该数据尚未包含宽带、水坝、堤防、危险废物和固体废物、公园及学校等基础设施领域。这些领域至少还会增加 7460 亿美元的额外资金缺口, 总计 4.4 万亿美元。

此外, ASCE 测算, 在此回调情景下将造成重大经济损失: 2024-2043 二十年间经济总产出损失 5 万亿美元, 出口额将减少 2440 亿美元。若回调至 2021 年前的联邦投资水平, 仅 2033 年就将导致 34.4 万个就业岗位流失。投资缩减还可能导致美国家庭在未来 20 年损失 1.9 万亿美元可支配收入。

提高评分的措施



持续投资



韧性建设优先



推进政策与创新

摘要

为在未来四年提升美国基础设施评分, ASCE 呼吁实施一项综合议程, 内容涉及持续投资、韧性建设优先, 以及推进前瞻性政策和创新。

尽管近期通过投入已减缓美国基建投资缺口的扩大速度, 但持续增加投资甚至在部分情况下加大投资仍然很有必要。如果削减或推迟联邦与州的投资, 将加剧基础设施系统老化的成本和风险, 后果将是美国家庭和企业无法承担的。基础设施投资必须考虑项目的全生命周期, 包括极端天气频发等因素的影响。

通过建设能够抵御严重天气事件及自然和人为灾害的基建项目, 可以提高公共安全、实现公共资金的有效利用。因此, 在项目全生命周期规划中贯彻韧性建设的最佳实践至关重要。

为实现近期基础设施投资效益, 必须推进具有前瞻性的政策和技术创新, 以构建百年长效的基础设施系统, 提供清洁饮用水、安全运输系统、稳定的电力以及宽带设施。

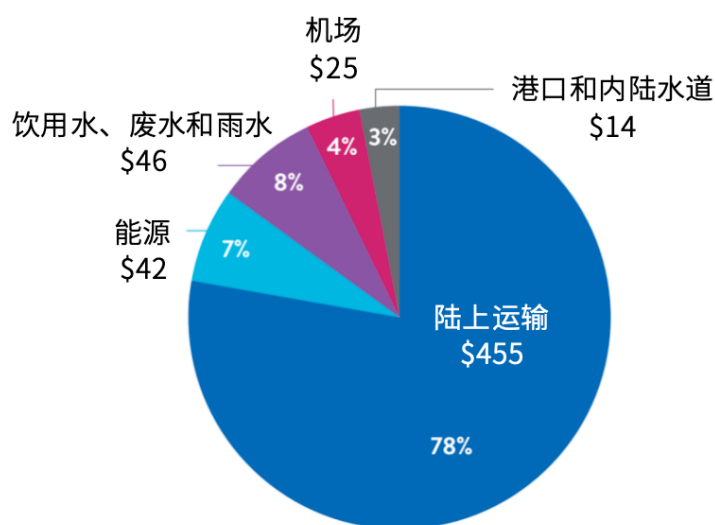
持续投资

自 ASCE 上次评估美国国家基础设施系统状况以来, 国会已通过两项综合性方案, 旨在改善全美人员物资运输网络, 为数百万民众提供清洁饮用水, 并确保家庭和企业获得可靠电力。其中, 《2021 年基础设施投资和就业法案》(IIJA) 为联邦基础设施支出确立了新标准。

然而, 该法案将于 2026 年到期, 美国国会需就 IIJA 框架下各项计划的后续资金安排作出决策。《基础设施投资和就业法案》与《通胀削减法案》(IRA) 共同带来的 5800 亿美元新增投资为填补美国基建需求与既有资金支持之间的缺口迈出了关键一步。利用免税市政债券等融资工具调动公共资金的做法正在日益普及, 同时私募股权在基建融资中扮演着日益重要的角色。

政府的决策将决定美国在基础设施方面的发展势头。如果基础设施投资规模低于 IIJA 和 IRA 的标准, 最终将由纳税人和企业承担代价。如果联邦基础设施投资回调至这两项法案出台前的水平, 那么每个美国家庭未来 20 年可能将

2022-2026 年新增基础设施投资 5820 亿美元



单位:十亿美元

承担每年 700 美元的额外支出。此外,如果国会调整市政债券的免税地位,也会令其失去投资吸引力。

美国若想真正构建面向未来的基础设施系统,首要之举便是持续性的长期投资。基础设施的改善是长期工程,从可行性研究、方案设计到破土动工,直至最终落成运营,往往需要数年时间来完成资源调配与项目开发。为填补 3.7 万亿美元的投资缺口、满足未来需求并重获全球竞争优势,必须维持甚至增加各级政府与私营部门的基础设施资金投入和融资渠道。

基础设施投资资金需要具有持续性、且分配合理,主要举措包括:

- 国会应维持《基础设施投资和就业法案》2026 年到期时规定的投资水平,并在年度拨款程序中足额保障已授权项目的资金供给。
- 基础设施所有者和运营商必须收取能够反映使用、维护和改善基础设施真实成本的费用。需要让公众了解提供这些服务的实际成本,以便让公众理解设定这些收费标准的原因。

- 联邦、州和地方政府应扩大公私合作模式在适宜项目中的应用,并寻求机会利用更多融资工具。
- 国会必须解决公路信托基金的长期可行性问题,并确保国家清洁流域和饮用水循环基金不会因国会指定项目而遭受收入损失,从而重振对关键基础设施计划的信心。
- 项目业主应考虑与规划、融资、设计、施工、运营、维护及退役项目相关的全生命周期成本,以正确评估并统筹规划项目生命周期总成本,从而实现投资效益最大化。

韧性建设优先

在美国各地,强度更大、持续时间更长、频率更高的自然灾害已对各地不同规模的社区造成严重破坏。2024 年,美国共发生 27 起极端天气事件,导致 568 人死亡并造成超过 1820 亿美元的经济损失;自 1980 年以来,美国已遭遇 403 起单次损失至少 10 亿美元的灾害事件,累计损失金额超过 2.9 万亿美元。除人员伤亡与财产损失外,灾害还对建筑、公路、桥梁、电力线路、水利

和铁路等基础设施网络造成全面冲击。严重的洪水、狂风、火灾、冰雪和地震灾害持续破坏并摧毁这些维系居民生活、商业运营和社区运转的关键生命线。

为减轻自然灾害影响而采取的措施已促使各方更加重视韧性建设。建设更坚固的基础设施和结构所需的高成本意味着这是一种审慎的投资。根据 2024 年一项研究,在抗灾韧性和防灾准备上每投入 1 美元,就能为社区节省 13 美元的灾后重建成本。

我们需要进一步加强韧性建设,以抵御极端天气事件的影响。在灾后恢复和应急响应中,通过将韧性建设纳入项目规划与开发优先事项,可实现更好的成效。这种做法有助于政策制定者确保公共资金在项目全生命周期内高效利用。

各基础设施领域的韧性提升可通过以下途径实现:

- 建立不同规模社区制定并实施覆盖全基础设施领域的韧性建设方案。优化资产管理、将全生命周期成本分析纳入常规规划流程,并将气候变化影响等未来状况纳入长期目标设定与资本改善计划,从而实现这一目标。
- 鼓励和强制推行最新规范和标准,以降低洪水、飓风、火灾、海平面上升等重大灾害风险。
- 鼓励资产管理实践,确保合理使用投资资金。
- 充分认识基础设施的“系统之系统”特性,倡导动态全局观,协调各基础设施领域利益权衡,并将韧性安全确立为最高优先事项。
- 优先推进能够提升系统和社区可持续性、安全性和保障性的项目,以确保项目具有持续的可靠性,并增强韧性。
- 在各级决策中完善土地利用规划,以实现建筑环境与自然环境之间的平衡。
- 通过采用基于自然或“绿色的”基础设施解决方案,提升各基础设施领域的韧性。

推进政策与技术创新

基础设施的改善需要公共和私营部门共同应对需求,推进解决方案。政策支持为项目在社区、州和地区的整合提供了基础,能够响应公众需求,同时鼓励安全与创新。为实现这一目标,各级政府与私营部门之间的协作对于成功整合基础设施网络至关重要。在工程师们努力打造未来基础设施的同时,新政策必须顺应新兴社会趋势和环境变化,同时吸纳前瞻性创新技术,以加速项目落地并提升安全性。此外,政策必须着力解决项目审批流程中的延误问题,同时确保美国拥有建设 21 世纪及未来所需基础设施的专业人才队伍。

政策制定者和基础设施管理者必须共同致力于:

- 推动各级政府创新政策与实践,以解决跨基础设施领域、跨地域及不同环境条件下项目开发和交付中的共性问题。
- 评估现行政府审批流程,确定“痛点”,并制定跨基础设施领域的现代化合规战略——推行并联式而非串联式工作模式——同时确保采取完善的保障措施。
- 实施兼顾长、短期人才招聘及留任的战略及政策,解决工程建设领域人力短缺问题,并在 K-12 教育中优先考虑 STEM(STEM 即 Science 科学、Technology 技术、Engineering 工程、Mathematics 数学 四门学科英文首字母的缩写)。
- 确保定期收集并向公众发布有关所有基础设施系统状况、容量、运营、维护、安全性和韧性的可靠数据。
- 运用成熟和新兴技术,以最大限度地利用有限的财力和人力资源。
- 支持创新材料、技术与工艺的研发,以推动基础设施现代化,延长其使用寿命,加快维修或更换速度,并降低未来维护成本。



航空

过去十年间,美国国内航空客运量稳步增长,从2010年的6.295亿人次增加至2019年的8.114亿人次。在新冠疫情后,航空客运量已全面复苏,2023年达到8.195亿人次,并呈现持续增长态势。预计到2040年,航空客运量将增长58%,达到每年12.8亿人次。疫情未对航空货运造成影响,2021年货运量达到1.253亿公吨的历史最高水平。

IIJA在五年内带来250亿美元的资金,叠加地方投资,正显著提升旅客出行体验,这一改善在较大的机场尤为突出。然而,由于持续存在的劳动力短缺和现代化挑战,航班延误仍然是一个主要问题。美国联邦航空管理局(FAA)最近重新授权资金拨款的适度增加是一个积极举措,但未能提高客运设施使用费上限也意味着失去了一个增加收入的机会。未来十年预计将有1140亿美元的资金缺口,需要更多资源来填补这一赤字。



桥梁

美国有超过62.3万座桥梁,其中49.1%处于“一般”状态,44.1%处于“良好”状态,6.8%处于“较差”状态。遗憾的是,处于“一般”状态的桥梁数量仍持续超过“良好”状态的桥梁。状况“一般”的桥梁持续老化,存在评级进一步降级的风险,但这也蕴藏着机遇——相较于状态较差的桥梁,这些桥梁的维护成本更低。

IIJA为桥梁建设注入了强劲动力,其中“桥梁设计公式计划”获资275亿美元,“桥梁投资计划”获资125亿美元。尽管获得联邦资金注入,桥梁系统修复需求仍高达1910亿美元。因此,战略性资产管理规划和日常维护对于防止桥梁状况进一步恶化、避免代价高昂的修复工程至关重要。尽管极端天气事件对桥梁构成威胁,但创新技术的应用正不断提升其安全性与抗灾韧性。



宽带

随着工作、社交和商业活动转向数字领域,高速稳定的互联网连接变得至关重要。2000年,美国仅有1%的成年人家庭接入宽带网络,如今这一比例已跃升至80%。美国经济发展需要可靠的宽带接入。研究表明,如果宽带速度和普及率保持在2010年的水平,美国在2010年至2020年间将遭受1.3万亿美元的经济损失。

虽然宽带公共支出总额难以估计,但自1996年以来私营部门已在宽带基础设施领域投入约2.2万亿美元,且IIJA近期追加了650亿美元联邦资金。然而,宽带的接入与普及仍面临多重挑战。据估计,美国约10%的家庭(1270万户)未订阅任何宽带服务,包括家庭固网和移动设备网络。随着新一轮针对尚未接入宽带地区的投资启动,极端天气对网络可靠性构成挑战,新技术正催生新的发展环境。



水坝

美国现有超过9.2万座水坝,承担着发电、供应饮用水、保护社区和关键基础设施等职能。其中近1.7万座水坝被认为具有高风险性,这意味着一旦溃坝,极可能对居民生命财产安全造成毁灭性打击。自21世纪初以来,由于极端气候事件频发、下游人口增长、坝体结构老化设计标准过时等因素,这些水坝的维护、升级和修复成本已大幅增加。美国水坝投入运行的平均时间超过60年,且预计到2025年全国70%的水坝将达到50年使用寿命。

IIJA已划拨约30亿美元用于提升水坝安全,但国会从中调拨3.64亿美元用于其他用途。此外,联邦水坝安全计划的年度拨款持续低于其授权资金水平。尽管存在这些挑战,IIJA拨款配合国会其他举措,仍为水坝安全整体提升和修复工程注入了所需动力。然而,如果不加大年度资金投入来强化水坝安全检查、监测、规划和必要维修等方面的安全保障,全国水坝恢复良好维护状态所需的整体成本将持续攀升,下游社区也将面临更大的溃坝风险。



饮用水

美国水利基础设施正面临老化与资金不足的问题。超过 900 万条含铅供水管道已构成健康隐患。美国环保署(EPA)2023 年评估显示,未来 20 年全国水利基础设施资金需求高达 6250 亿美元,这一数字较美国环保署 2018 年评估结果超出 1500 亿美元。

2021 年,IIJA 投入逾 300 亿美元资金,用于饮用水设施升级改造、含铅管道更换,及全氟和多氟烷基物质(PFAS)等新兴污染物的治理。然而,支持饮用水项目的州仍持续面临资金拨款短缺。面临的挑战包括基础设施老化、新兴污染物威胁以及极端天气日益加剧的影响。许多饮用水公用事业公司正积极推行基础设施升级,通过设备故障预测技术等创新手段,显著提升在小问题演变为故障前的预判能力。遗憾的是,仅约 30% 的公用事业公司已经全面实施了资产管理计划,不到一半的公司正处于计划进行阶段。联邦机构及专项计划能为公用事业公司满足新规要求、更换高危管道提供资金和技术扶持,从而缓解小型社区公共供水系统的费率上调压力。



能源

随着美国人在日常生活中日益依赖电气化,全国能源需求正迎来二十年来的最大增幅。到 2030 年,仅电动汽车(EV)数量的增加和数据中心的兴起就将使电力需求从 2022 年的 1700 万千瓦增长至 3500 万千瓦。在联邦和各州“温室气体净零排放”目标的双重驱动下,这一需求激增意味着公用事业公司需要将现有输电容量提升一倍,以接入更多可再生能源。2017 至 2022 年间,输电基础设施投资额已增加 50 亿美元。

IIJA 和 IRA 正在为可再生能源技术及电网加固措施提供资金支持。新一轮投资十分必要:自 2000 年以来,天气因素已导致 80% 的电力中断事故,其中大部分发生在过去十年间,且集中于配电系统(即电力从输电系统传输至家庭和企业的“最后一公里”)。为确保未来电力系统的可靠性,需要精简监管审批流程、严格执行设计标准、应用韧性技术,以加快跨区域互联。



危险废物

美国的危险废物基础设施每年须处理约 3600 万吨危险废物。尽管对长期处理能力和抗灾韧性的担忧仍然存在,但得益于 IIJA 的大规模资金投入,近年来美国危险废物处理基础设施已显著改善。这些投入包括向“超级基金”项目注资 35 亿美元、向“棕地”项目拨款 15 亿美元,从而加快了污染场地清理,加强了对公众健康和环境的保护,并带来了经济效益。然而,随着 PFAS 近期被《综合环境反应、赔偿与责任法案》(CERCLA,即《超级基金法》)列为危险物质,处理 PFAS 污染将对危险废物基础设施构成巨大压力,未来将对现场调查和修复、处理能力以及新处理技术的开发等工作提出更高要求。



内陆水道

美国内陆水道横跨密西西比河及其支流,延伸至五大湖区、太平洋西北部的哥伦比亚 - 斯内克河水系、西海岸的萨克拉门托河和圣华金河,以及墨西哥湾和大西洋沿岸水道。内陆水道系统是美国货运网络的支柱之一,同时服务于工业和农业两大部门。内陆水道还通过水坝为 136 座多功能水库提供市政和工业用水,减轻了洪水和干旱的影响。内陆水道系统由美国陆军工程师兵团 (USACE) 与海事管理局 (MARAD) 协同运营管理,涵盖 1.2 万英里的内河航道和 1.1 万英里的沿海岸水道。

美国的内陆水道在全球供应链中发挥着至关重要的作用——每年运输价值 1580 亿美元货物,促进了美国三分之一国内生产总值(GDP)的流通。内陆水道以更低成本实现大宗商品运输,有效缓解公路与铁路系统的拥堵压力,同时降低温室气体排放。近年来联邦投资有所增加,但积压问题仍未解决,涉及 75 亿美元的建设项目和正在进行的船闸项目。



堤防

全美有 2300 万人的生活和工作依赖于堤防保护。这些堤防保护着关键基础设施系统免受洪水威胁,并保障着价值 2 万亿美元的财产、700 万栋建筑和 500 万英亩农田。美国国家堤防数据库收录全美有总长超过 2.4 万英里的堤防,但其中近三分之二尚未评估其对周边社区构成的安全风险。全国超过一半的堤防由州和地方政府负责运营和维护。美国正持续开展加强堤防安全的国家行动,包括制定《国家堤防安全指南》草案、完善国家堤防数据库、制定堤防管理最佳实践,但仍需采取更多措施支持各州规范堤防建设。当前堤防建设及安全维护资金渠道有限,诸如“国家堤防安全计划”和“堤防修复拨款计划”等项目近年来获得的联邦资金很少。各州还负责推广灵活的堤防运营管理最佳实践,以及改善和扩大堤防维修养护的资金来源。



港口

港口是美国经济的重要组成部分,支撑着 2.89 万亿美元的 GDP。港口行业正在持续适应新冠疫情带来的冲击。这场疫情初期导致集装箱进口量骤降,随后由于消费驱动型经济的复苏引发货运量激增。港口促进货物运输,并将美国制造商和家庭与国际贸易联系起来。美国港口业创造了超过 2180 万个就业岗位,涵盖海运从业人员和供应商。近期联邦政府投资使港口基础设施发展计划等项目的年度资金规模近乎翻倍,达到每财年 4.5 亿美元,使美国港口能够更稳健地评估、协调并应对其水域和陆域需求。与此同时,港口也日益面临极端天气事件带来的冲击,这些事件对受海平面上升影响的沿海设施构成了独特挑战。



公园

美国的公园、森林和其他公共空间改善了游客的身心健康,创造了就业机会,并促进社区整体福祉。公园提升了房产价值,甚至能使附近住宅的房价上涨 8% 到 10%,同时有助于改善饮用水源,缓解热岛效应,并在雨水管理方面发挥重要作用。尽管联邦政府近期大幅增加了对公园系统的资金投入,但维护需求仍在持续积压。与此同时,公园在接待游客量方面创下历史新高的同时,却面临着劳动力短缺带来的挑战。

近期,联邦政府通过《美国救援计划法案》《基础设施投资和就业法案》以及《美国户外法案》,优先对公共土地进行投资。这些投资正在扩大基础设施的可及性,更新老化系统、增加公园存量。技术进步改善了资产管理,使公园管理部门能够更好地开展公园资产的生命周期成本估算。



铁路

美国铁路网由约长 14 万英里的轨道组成,提供货运和客运服务。货运铁路每年支持 15 亿吨货物的运输。美铁报告称,2023 年客运量为 2860 万人次,高于 2022 年的 2200 万人次。东北走廊的客流量快速增长,全国铁路网的客运服务频率、速度和范围都在不断扩大。《基础设施投资和就业法案》(IIJA)授权在 2022 至 2026 财年间为铁路项目拨款 660 亿美元,这些资金将用于城际客运铁路服务扩展、美铁走廊开发、公路 - 铁路平交道口立体化改造等重要改进项目。铁路安全数据显示出积极的长期趋势,2000 至 2023 年间事故总量下降 23%,但近期事故(如 2023 年俄亥俄州东巴勒斯坦镇脱轨事件)引发公众担忧。2023 年全美共发生 10577 起铁路安全事故。

美国交通部近期实施的各项计划和措施有望改善铁路网络,这要求在行业现代化水平提升(如精准调度铁路系统)与保障公共安全所需的充足人员配置之间取得平衡。



公路

公路连接着社区,在国家经济中发挥着至关重要的作用。尽管新冠疫情后美国民众的出行模式已发生变化,但车辆行驶里程有所反弹。美国约 39% 的主要公路状况较差或中等,较 2020 年记录的 43% 有所改善。在路况恶化且拥堵的公路上行驶,导致每位驾驶员年均损失超过 1400 美元(包括车辆运营成本和时间损耗)。尽管美国公路死亡人数再次下降,但 2023 年仍高达 40990 人。此外,极端天气事件的影响给现有公路养护和未来项目规划带来了双重挑战。近期投资(包括自 2021 年底以来 IIJA 带来的超过 5910 亿美元资金)显示出积极进展。未来十年内,美国公路系统仍面临 6840 亿美元的资金缺口。需要可持续且强有力的基础设施投资来维护和改善未来公路网络。



学校

美国逾 98000 所公立 PK-12 学校为 4940 万名学生提供教育服务。然而,这些承载着美国儿童教育的建筑物正日趋老化。全美范围内,学校平均使用年限已达 49 年,且关于其具体状况的详细数据仍十分匮乏。2021-2022 学年,学校总支出中只有 10% 用于基础设施支出,这一比例数十年来持续低迷,且其中大部分资金用于新建项目,而非维护现有建筑。全国公立学校达到良好维护状态的年度资金缺口已从 2016 年的 600 亿美元扩大到 2021 年的 850 亿美元。学校建筑的关键需求包括升级供水系统以去除铅污染,以及安装制冷系统应对持续升高的气温。2021 年的一项研究估计,另有 13700 所学校必须安装空调,这意味着超过 400 亿美元的投资需求。未来,我们不仅需要更好地管理现有资产,还需采用最新的建筑规范与标准。这些改进可通过专用于基础设施、更具可预测性的投资来实现。



固体废物

美国的固体废物管理系统(包括垃圾处理与回收)由公共和私营部门共同管理,资金来源于用户缴纳的费用及部分政府拨款或专项计划资金。关于固体废物的数据很少,部分原因是私营企业数据未公开且联邦和州政府提供的信息很少更新。根据 2018 年的统计,城市固体废物总量持续增长,从 2010 年的 2.51 亿吨增至 2018 年的 2.92 亿吨,现有资金和处理能力尚可满足当前需求。与此同时,可回收材料的需求有所减弱,替代资金来源或市场激励措施尚未形成规模。在经历前几十年的增长后,固体废物回收率现已趋于平稳,从 1980 年的 1450 万吨增长到 2010 年的 6500 万吨,2018 年达到 6900 万吨。

公共卫生领域正面临新兴污染物的潜在风险,如垃圾填埋场中检出全氟和多氟烷基物质(PFAS)。这类化学物质需要加强监测与治理。为完善美国固体废物系统,决策者应更新政策与实践,将城市固体废物作为资源加以利用,并建立更高效的住宅与商业废物分流激励机制。



雨水管理

美国各地的雨水管理公共服务公司正着力完善基础设施体系,将社区内的雨水或融雪输送至邻近水体。过去十年间,受影响的河流及溪流的长度已从 2010 年的约 42.4 万英里增至 2019 年的 58.8 万英里,到 2022 年更突破 70.3 万英里。尽管这可能部分归因于监测力度加强及各州评估标准趋严,但全国逾 60% 的雨水管理公共服务公司表示,基础设施老化对其长期运行构成了重大隐患。为满足日益增长的基建维护资金,各地雨水管理公共服务公司正在普遍上调服务费。尽管全国平均收费水平持续上升,但仍未能匹配实际管理需求。美国环保署 2022 年《清洁流域需求调查》(CWNS)估计,全国大型雨水管理系统(主要为市政独立雨水管道系统)的 20 年投资需求已从 2012 年的 238 亿美元增至 2022 年的 1153 亿美元。

为满足这一需求,国会先后通过 2021 年的《基础设施投资和就业法案》及 2022 年的《通胀削减法案》,计划在 2022 年至 2026 年间为雨水、废水和饮用水领域新增 460 亿美元专项资金。尽管这笔资金发挥了积极作用,但巨大的资金缺口仍然存在。



公共交通

公共交通是美国交通网络的关键组成部分,2023 年工作日的日均客运量已达 3400 万人次。然而,持续不断的突发状况使公共交通的未来难以预测。新冠疫情导致公共交通客流量急剧下滑,2020 年 4 月降幅高达 80%。截至 2023 年,公共交通客流量仅恢复到疫情前的 73%。

联邦疫情援助和基础设施投资对维持公共交通服务起到了关键作用。IIJA 为公共交通领域划拨 1080 亿美元专项资金,用于解决长期积压的维护需求、启动策划已久的基建项目。然而,由于维护工作积压时间长,未来十年美国公共交通系统仍面临 1520 亿美元的资金缺口。此外,尽管各州和地方政府正着力扩大公共交通覆盖范围,但成本上升、运营支持不足,以及远程办公模式的冲击仍构成多重挑战。扩大公共交通覆盖范围、保障服务的可靠性、增加客流量,关键在于确保可持续的资金支持,以及推动各社区将公共交通系统纳入多模式联运计划。



废水处理

美国废水处理系统总价值据估计超过 1 万亿美元,涵盖近 1.75 万座污水处理厂,这些设施旨在保障公众健康并促进社区福祉。随着新兴污染物检测和处理能力的提升、环境法规的日趋严格、公众对污染认知转变等因素的出现,在污水处理系统老化的背景下,污水处理行业面临着日益提高的深度处理要求。然而过去十年间,该行业大型基建项目的更新替换率从 3% 降至 2%,综合水务公司的收集系统故障率从每 100 英里 2 次升至 3.3 次,进一步凸显了基础设施老化的影响。合流式排水系统数量从 2004 年的 746 座小幅减少至 2023 年的 738 座,生活污水管溢流发生率从 2015 年每 100 英里管线 0.7 次降至 2021 年的 0.16 次。

为满足资金需求,居民污水处理费已从 2010 年的月均 35 美元上涨到 2020 年的近 65 美元,但地方自筹资金仍存在缺口。2024 年,废水和雨水处理行业的年度资本需求达 990 亿美元,而资金缺口高达 690 亿美元,这意味着该领域仅有约 30% 的基础设施资金需求得到满足。若废水和雨水处理行业继续当前发展路径,到 2044 年资金缺口将增至 6900 亿美元。

水的未来白皮书： 多利益相关方共同行动以增强韧性



本文摘译自:世界经济论坛官网

执行摘要

五大途径：以系统方法应对水挑战，重建水循环稳定。

水是生命之源。水维持着生态系统，驱动经济繁荣，维系社区发展，然而全球水资源危机却日益加剧。气候变化、人口增长和工业需求增加正将全球水资源体系推向崩溃边缘。从毁灭性干旱到灾难性洪水，水相关风险影响着数十亿人，威胁子孙后代的生存福祉。

在这场危机中，我们希望犹存——这是一个重塑水融资模式、促进创新解决方案、推进协同行动、确保所有人都有获得优质水资源的机会。水不仅是一种普通资源，更是可持续发展和全球稳定的基石，对维系生命与民生至关重要。如果想要在全球经济、社会和环境体系中保障水的未来，我们现在就必须采取果断行动。

本白皮书呼吁对提高水韧性采取一种变革性方法。此处“韧性”指“水资源体系能及时、高效且合理地预测、减少、适应破坏并从破坏中恢复的能力”。本白皮书强调了公私协作和跨部门合作对应新兴水挑战的关键作用，并致力于动员世界经济论坛召集的淡水多利益相关方。

在征询近 60 家合作机构意见的基础上，本白皮书提出了由私营部门和多利益相关方平台

主导的五大共同行动途径。借鉴系统性方法，激励并引导企业及公私合作，共同构建更具韧性的水资源体系关键工具和实例。该系统性方法适用于从地方到生态系统层面的多尺度应用。

在地方层面，水解决方案的创新至关重要，但需要加大投资、采用数据驱动方法、建立支持性的治理与政策体系，目的是应用安全可持续的能源中性解决方案，开发和扩展循环型净零水系统。

在生态系统层面，需要采用一种新的水资源利用和生态保护方法，帮助认识并重视整个水循环。需要采用创新驱动的全面战略与合作模式，构建具有韧性、高效且可持续的水资源体系。

我们的行动至关重要：全球经济韧性、社会公平与环境完整性，均取决于当下采取的行动。通过将水生态系统（包括绿水和蓝水）视为企业、政府与社会的共同责任，携手利益相关方共同行动，化挑战为机遇，创造一个水资源韧性、公平和充裕的未来，让每一滴水都发挥重要作用。

构建水资源韧性为何是当务之急？

用水量激增——如果无法保障供水，到2050年，高收入国家GDP或下降8%，低收入国家GDP降幅将达10%-15%。

新兴趋势

水的可量化经济价值估计为每年 58 万亿美元——相当于全球 GDP 的 60% 左右。

用水需求持续增加

用水需求变化正导致供水失衡，因此当下亟需构建水韧性，确保全民都能安全、公平地获取水资源。未来十年，水安全面临的主要环境风险包括极端天气事件、生物多样性丧失、气候变化、



五大途径

2. 按需定制融资

必须通过贯穿项目多阶段的多元资金渠道建立按需定制的融资机制,调动资本,为重点领域的治理措施提供支撑。

1. 水资源综合价值评估

更全面地了解并体现水的价值、价格与成本,是推动循环利用倡议与激励措施、促进淡水生态系统优化利用与治理的关键。

3. 持续性的流域级伙伴关系

流域级伙伴关系与协作机制,为重构所有尺度的水系统提供了整体性、系统化的方法。

4. 适应性水治理

适应性水治理方法可在充满不确定的情况下确保系统韧性,并同步构建跨尺度水资源综合系统治理激励机制。

5. 政策 - 创新协同纽带

与创新需求及产业进步相同步的政策体系是重点领域水解决方案规模化部署与部署的催化剂。

自然资源短缺和污染等问题。

用水量随着时间的推移显著增加。过去三十年间,全球人均取水量增加了 650% 以上。多数国家人均水资源量持续递减。以中国为例,1964 至 2020 年间人均水资源量减少了约 50%。

全球消费模式转型、技术创新和减少碳排放的用水需求增加将加剧水资源竞争。预计各行业用水需求均会增加,且不同地区的增长差异受不同驱动因素的影响。全球数字化转型持续推进及由此催生的数据处理、存储与连接需求,将推动更多、规模更大的数据中心建设,该类设施通常需要水来冷却服务器。因此,用水需求攀升、取水量持续增加与可用水量递减三重因素叠加,凸显水资源供给面临的风险。

水对经济发展至关重要

水是世界上最珍贵却最被低估的资源之一。它对于维系生命本身、支撑可持续发展、促进经济增长、维持健康环境及生物赖以生存的生态系统至关重要。

水的可量化经济价值由直接消耗和环境调节功能产生,约为每年 58 万亿美元,相当于全球 GDP 的 60% 左右。目前,每年淡水取用量为 4.3 万亿立方米,其中农业占 70%,工业占 20%,市政占 10%。全球取水量因地区经济驱动因素而异:非洲和亚洲农业用水占比为 80%,而欧洲工业用水占比高达 60%。在工业领域,水资源对包括原材料供应、直接运营到产品使用在内的整个价值链的各个环节都至关重要,在采矿、油气上游等高耗水行业更是如此。

无论各行业用水量如何分配,水资源竞争都日趋激烈。例如,数据中心等工业设施需要消耗水资源进行冷却,采矿活动会影响流域水质,这些都与农业及生活用水形成竞争。一座1兆瓦(MW)规模的数据中心,仅冷却水的年耗水量就高达2550万升,相当于约30万人一天的用水量。

面对日益激烈的用水竞争及气候变化和过度用水带来的多重挑战,全球供水面临的风险日益增加。如果这一宝贵资源得不到保护,到2050年,高收入国家GDP或将平均下降8%,低收入国家GDP降幅将达10%-15%。更为严峻的是,气象气候及水文灾害会造成重大经济损失,1970年至2021年间的相关经济损失高达4.3万亿美元。在近半个世纪里,相关经济损失增加近700%,其中约有30%(约1.5万亿美元)产生于2010年至2019年。

因此,时尚、制药等传统上未将水资源视为其生产和运营过程中关键要素的行业正在调整战略,将水资源纳入业务运营核心,并最终认识到所有行业本质上都是水行业。

水提供多重协同效益

水质与水量的影响远不止经济层面,更深刻影响着公众健康、文化和价值观。2023年,全球有25个国家(占世界人口四分之一)面临极度缺水压力,其年度取水量已超过可再生水资源供给量80%。印度是其中之一,其14亿人口正推动用水需求不断增加。作为全球前两大经济体,中国和美国同样面临中高度水资源短缺压力。

水在社会文化层面具有重要意义:既具有文化与审美价值,又能促进心理健康,同时在不同信仰体系中具有精神意义。但不同的水观点与用水方式可能导致争议与混乱,因此需要对水资源评估和管理采取更全面、更系统的视角。

在此背景下,水资源已日益演变为政治问题和引发水资源获取权、控制权和使用权冲突的诱

因。自21世纪初以来,全球水相关冲突增加超过250%,其中大部分集中在撒哈拉以南非洲、南亚和西亚地区。

水资源治理面临系统性资金不足和治理不力问题

全球供水和卫生设施主要依靠公共部门投资支持,长期面临资金不足问题。考虑到社会经济发展需求和气候变化带来的防洪等挑战,水资源治理资金缺口或将急剧扩大。然而,迄今为止的资金投入具有短期性,难以系统地支撑水资源体系,导致投资缺口因执行力不足和资金吸纳能力不足而进一步扩大。世界银行估计,相关年度预算执行率约为72%。

此外,水资源治理需要跨部门的多方机构和利益相关方共同参与,因此非常复杂且分散。水资源治理通常面临执行力不足的限制,不同管理层级(如社区、城市、联邦、国家及国际层面)各自为政,缺乏协调。这导致相关政策缺乏连贯性、管辖权重叠、资源配置效率低下等问题。

将水循环视为全球共同利益

全球水资源经济委员会(GCEW)的研究强调了水在河流、湖泊和地下含水层中的复杂运动形态(蓝水),在土壤与植物中的存在状态(绿水),以及通过蒸发形成的水汽流动。这一完整而复杂的水文循环本质上是跨界的,蕴含着巨大的经济和社会价值。它代表着全球共同利益。

将水文循环作为重构水资源行动的重点,有助于认识水资源与气候、生物多样性及人类发展的相互关联性。这一认知同时强调了推行系统性治理与经济政策的必要性,经济政策需要体现水的真实价值,确保公平、可持续的管理。

基于对水文循环更全面的认识,包括私营部门和多利益相关方伙伴关系在内的各类主体,如今都肩负着即刻采取行动的责任。

在日益严峻的挑战与变革性解决方案之间寻求平衡

“一切照旧”的模式表明当前的发展轨迹已不可持续

当前的发展轨迹预计将导致干旱和水资源压力加剧。到 2050 年, 全球预计约有 50 亿至 60 亿人(占全球总人口一半以上)生活在缺水地区。根据世界银行数据, 按当前发展趋势, 到 2030 年全球 40% 的用水需求将无法得到满足。

水循环变得不可预测且失衡, 可能对商业和经济造成负面影响。除前文提及的 GDP 影响外, 到 2034 年, 全球因水相关事件导致的保险损失预计将达到年均 2000 亿美元, 潜在损失高达 3500 亿美元。

重新设计水系统, 提升其效率、韧性和应对未来冲击与压力的能力, 是当前改变用水模式的

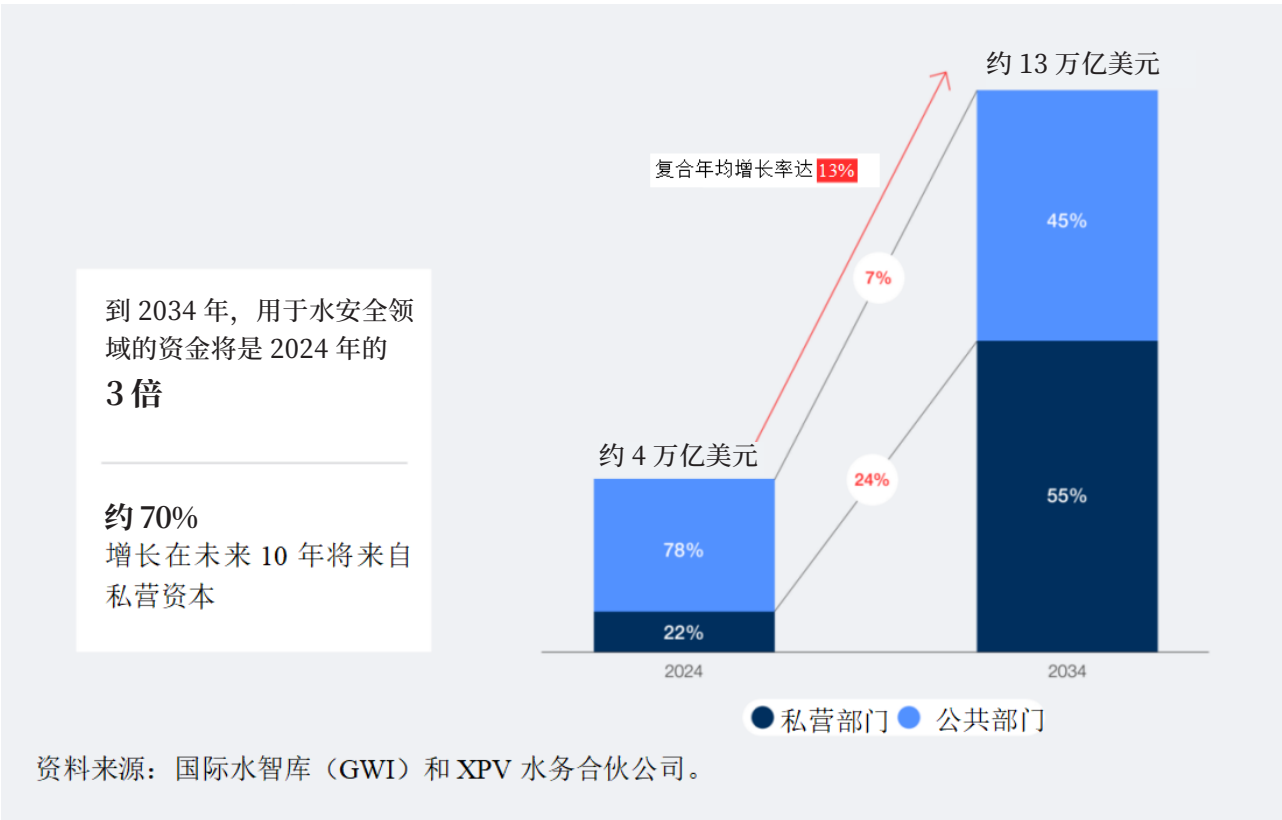
关键机遇。转变当前对水的认知与管理模式, 将为构建更具可持续性、更充裕水资源的未来铺平道路。

未来能源转型的基石

水资源对能源转型具有关键作用, 它对一些关键驱动因素至关重要。据初步估算, 到 2030 年, 除常规用水量外, 仅清洁能源每年就可能消耗约 900km³ 的水。以生物燃料生产技术为例, 生产 1 升液态生物燃料需消耗 2500 升水(其中 820 升为灌溉用水)。这类燃料很可能在交通领域电气化进程中发挥关键作用。此外, 根据生产工艺不同, 生产 1 千克氢气需消耗 33 升水。

建筑环境等其他高排放行业的转型同样需要实行节水措施。建筑领域的能源足迹十分显著, 目前约占全球碳排放量的 40%。降低建筑领域碳排放需着眼于建筑全生命周期碳足迹, 包括“隐

2024-2034 年水安全资金预估



含碳”和“运营碳”，后者主要来自供暖制冷过程中能源与水消耗产生的直接和间接碳排放。

水对能源生产和能源转型的关键作用意味着水不仅对私营部门十分关键，更关乎国家安全——这要求国家与非国家主体建立协作伙伴关系。

水系统转型蕴藏投资机遇

业界普遍认为，水系统转型需要大量资金投入和私营部门的积极参与。

尽管各机构对水行业未来投资需求的估计存在显著差异，但世界资源研究所(WRI)测算显示，到2030年，全球水资源管理每年可能耗资1.04万亿美元，其中东亚与太平洋地区(EAP)最高将达到2500亿-2600亿美元，北美约1800亿-2000亿美元。这些经费主要是为了解决缺水问题。在撒哈拉以南非洲地区，改善卫生设施仍是首要任务。这一估算可能偏低，因为在考虑整个水循环的情况下，实际成本将远超该估算值。

对私营部门而言，水相关技术领域蕴藏着巨大投资机遇。据国际水务智库(GWI)和XPV水务合伙公司测算，基于当前需求，未来十年全球水安全领域资本部署规模预计将增长两倍，突破13万亿美元。到2034年，水相关资产的投资规模将达到全球GDP的17%。尽管公共部门目前提供了78%的水安全资金，但未来约55%的资金将来自私营部门，这将为水韧性的多维建设创造机遇。

未来十年全球水安全领域资本部署规模预计将增长两倍，突破13万亿美元。

私营部门的投资机遇包括：资产所有权(如受监管的私营水相关资产)；农业用水(如灌溉系

统)；解决方案与技术(如水相关企业)；企业用水(如股权投资)；影响力融资(如挖掘水资源社会价值的机构或基金)。

数字技术在水领域蕴藏巨大市场潜力

构建具有水韧性的未来，不仅需要变革现有水系统，还需充分发挥数字技术在水资源管理中的作用。

数字化解决方案市场规模预计将增长35%，从2023年的370亿美元增长到2028年的500亿美元。数字技术将在改善水处理工艺方面发挥关键作用，优化水网效率有望贡献超半数市场增量。

这些解决方案对于满足可持续发展需求至关重要，因为它们有助于解决三大问题：增加水资源可用性(如节水、海水淡化及水回用技术)；提高过程效率(如提高生产效率，降低能源和化学品需求)；改善水质(如水质监测与维护、污染源头防控)。

典型示例包括：使用光纤渗漏检测技术提高输水效率；使用人工神经网络等人工智能预测水质、优化工艺和强化污染物去除等污水处理流程；基于物联网的灌溉系统，实时监测土壤湿度、水盐度与浊度，在资源受限地区用水户(如农户)实现节水增效与作物增产。

数字解决方案市场的持续扩大预计还将带动以下领域增长：污泥处理(复合年均增长率8%)、水资源管理(6%)和客户服务(5%)。

想要扩大这些技术的应用并把握市场机遇，需要配套的融资支持以及鼓励创新的正向政策环境。



欢迎关注中国水科院微信公众号
地址：北京市海淀区复兴路甲1号
本刊联系方式：中国水科院国际合作处
联系邮箱：dic@iwhr.com
2025年6月15日