



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: 孟志敏 责编: 孟圆 刘一帆

2023
2
总335期

世界银行《为未来储存: 储水新范式》
决策者简报

危机中的科罗拉多河——
未来何去何从?



世界银行《为未来储存：储水新范式》 决策者简报

引言

2018年的南非开普敦市，灾难近在咫尺。在连年干旱之下，这座有着400万人口的现代化大都市即将在数周内经历最严重的一次市政停水危机，引发国际关注。

开普敦市采取了非凡的紧急节水措施，最终避免了“零水日”的到来。但其实，在此次危机发生前，当地就已经建立了够用数十年之久的储水系统。只有在受到人口增长和气候变化影响的情况下，开普敦市才会遭遇如此深重的供水危机。

和世界上许多地方一样，开普敦市面临着极端气候事件日益增加的现实，包括极端干旱和严重洪水。2022年发生的极端事件已经超出了该市雨水基础设施的承受能力，直接威胁当地居民生命安全，造成了巨大的经济损失。在过去的二十年里，全球至少有16.5亿人受到了洪水的不利影响；与此前的二十年相比，受影响人数增加了24%。

开普敦市的危机是全球面临的**储水缺口危机**的真实写照，凸显了需水量和保障旱季供水、蓄滞雨季洪水的可用储水容量之间的不平衡。自然储水设施和人工储水设施持续减少，可用储水设施老化、损耗，与此同时，全球人口在过去的半个世纪里增加了一倍，令用水需求和相应的储水需求激增。

气候变化导致储水危机加剧，对气候变化的预测愈发不乐观，各国政府采取措施保护人民健康和福祉的能力面临挑战。受气候变化影响最直接的领域莫过于水资源。为管控不断加剧的水文变化（洪水和干旱等），满足因气温上升而增加的

用水需求，推动粮食和能源安全方面的进展，大幅增加储水量迫在眉睫。

储水缺口是全球共同面临的挑战。地球上大部分淡水都储存在自然界中，自然因而成为解决方案的主体。湿地、含水层、湖泊、土壤等自然储水应被视为资产加以保护和管理，以便更好地满足储水需求。此外，水坝、蓄水池和其他人工系统可以发挥重要的调配作用，调节雨季和旱季的动态可用水量，缓解洪水和干旱的影响，提供清洁能源、交通、灌溉、饮用水和工业用水供应等基本服务（图1）。

自然、人工和混合储水系统共同构成了一个密集的储水网络。然而，政策制定者甚至水利工作者很少将之视为一个系统来进行统一管理。大多数情况下，不同储水类型在特定利益相关方的推动下独立评估、设计、开发和管理，导致储水的部署不可持续、效率低下且韧性不足，难以应对21世纪面临的新挑战。

世界银行《为未来储存：储水新范式》报告号召国际社会和各国领导人重视建立满足人类、经济和环境一系列需求的智能化储水。要消除储水缺口，政策制定者和决策者需要兼顾一系列经济部门和包括公共和私营部门在内的利益相关方，制定全面、有效和高效解决储水缺口的多部门解决方案，并推动方案的实施。如果处理得当，**储水新范式**将为可持续发展以及气候行动和韧性奠定更坚实的基础，造福人、经济和地球，造福子孙后代。

储水的重要性与日俱增

生命依赖于淡水储存。储水能够提供供水、卫生、灌溉等重要服务,而这些服务又是人类健康、福祉和粮食安全的基础。水电站储存的水资源不仅直接生产清洁能源,还能储蓄能源以备不时之需,提高可变太阳能和风能的利用率。河道运输往往依赖于储水,从而保障航运能够全年畅行无阻。

储水提供支撑经济增长、人口和地球的三大服务(图 2):(a)增加可用水量;(b)减少洪水影响;和(c)调节水流,为能源、交通等各部门提供各类服务。

储水作为适应气候变化的重要工具,其重要性与日俱增。气候变化意味着水的变化,即水资源变化和与水有关的极端灾害增加,可用水资源总量改变,水资源需求增加等。气候变化让降水的可预测性降低、变化性增加,从而增加了保障城市供水安全等日常服务的难度,降低了农户生产能力,阻碍了经济投资和创造就业。可将储水看作一种

机制,通过增加可用水量和减少洪水影响来抵消气候变化引发的部分水文变化。

储水通过生产和使用可再生能源,为减缓气候变化做出了重要贡献。水电在助力减缓气候变化的努力中发挥关键作用,据国际可再生能源机构(IRENA)估计,实现能源部门的去碳化需要新增 1300GW 水电装机容量,这意味着水力发电投资需要增加一倍。水电站的储水有助于电力系统运营商平衡电网中风能、太阳能等可变可再生能源,不过,在考虑储水的运行方式时,要注意减少消落带的温室气体(GHG)排放。湿地、管理完善的流域等自然储水可兼具土壤固碳效果,这是促进减缓气候变化面临的新机遇。其他地区可能需要采用新的水资源管理技术,如改进水库管理和改进田间储水管理,例如稻田干湿交替灌溉,尽可能减少与储水有关的温室气体排放。

《储水新范式》报告呼吁制定针对储水缺口的多部门解决方案并推动方案的实施,采取系统方法,统筹包括人工和自然储水在内的需求和机会。

自然储水设施和人工储水设施减少,可用储水设施不断老化、损耗。

即刻行动:全球储水缺口不断扩大

自然界储存着超过 99% 的淡水。我们赖以生存的河流和湖泊由流域中的降雨组成。农业、森林和环境所需的水以土壤水分的形式储存在土壤中,而土壤水分有助于形成和促进地下水和地表水在溪流和河流中的流动。全球一半以上的人

口依赖地下水生存。地下水是自然界储存在地下的水,其产生和流失有着复杂的水文过程。借助自然之力还能缓冲洪水,减缓径流并吸收土壤、植被、湿地河湖含水层中多余的水。自然在防洪方面的作用愈发凸显。然而目前全球 34 个地区中有 23

个地区的淡水储量正在减少。

人工储水设施有助于更好地调控水资源。水库、砂坝、蓄水池等人工系统可在有需要的地方提供储水和其他所需的服务,如在旱季提高当地的水资源供应,或在用电高峰期进行水力发电。人工系统的可控程度往往要比自然系统高得多,可实现“按需”服务,为用水者带来更多的确定性,同时由于成本回收率的提高,也更能吸引投资者。通过改变设计或系统选择,可根据特定气候或地点需求来确定人工储水的类型和规模,尽可能减少损失,与经济发展和当地社区需求相适应。然而,人工储水项目也可能产生重大不利影响,甚至会对贫困人口和生物多样性等环境因素造成更大的冲击。为了避免影响,储水方案的选择需要慎之又慎,考虑项目地乃至全流域、甚至跨境流域等不同尺度下的影响,尽量减轻和控制负面影响。

又慎,考虑项目地乃至全流域、甚至跨境流域等不同尺度下的影响,尽量减轻和控制负面影响。

人工和自然形式等多种储水形式组成储水系统,在这些系统中,各元素共同作用,提供人们所依赖的服务(图3)。例如,冲积平原和湿地将河道和土壤储水结合起来,既可储存洪水,又能在干旱时期供水;天然流域有助于水坝的可持续运行;受管理的含水层补给点利用自然和人工基础设施来减缓流域部分地区的水流,从而大幅增加雨水下渗。若干小型系统可以合并成较大的系统;城市的洪水韧性也将受到周围的土地利用、地下水补给、冲积平原等系统以及当地防洪减灾措施的影响。

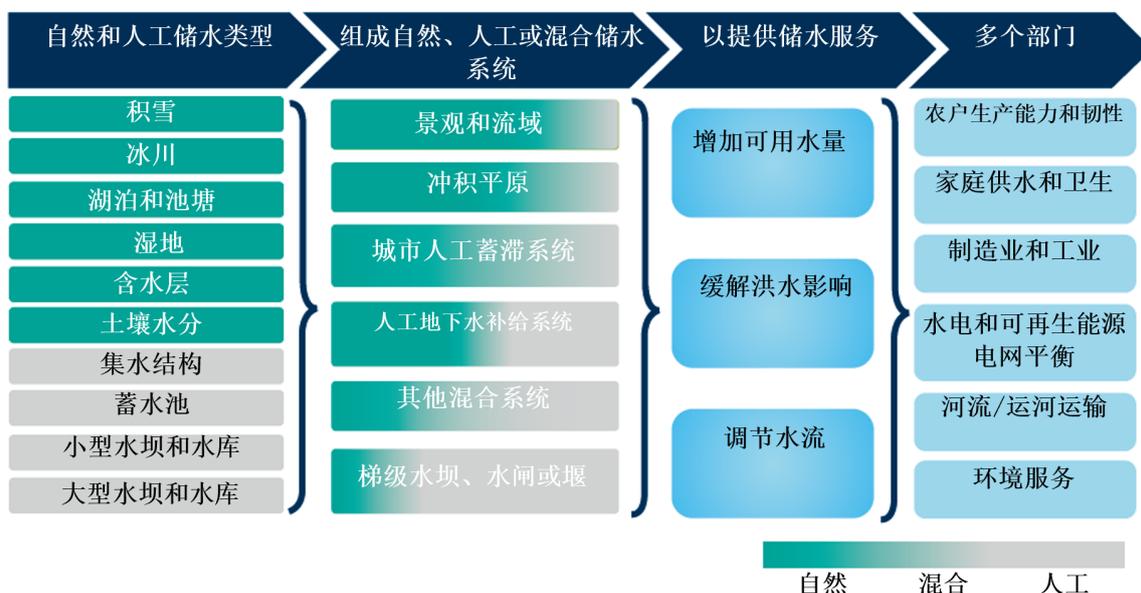


图1 储水的类型

图 2 储水提供的核心服务



图 3 不同储水类型组成系统以提供重要服务



世界上已经出现了储水缺口。全球范围内，储水缺口，即所需的储水量与可用自然和人工储水量之间的差异(图 4)正在不断扩大。在过去的 50 年里，由于冰川和积雪融化以及对湿地和冲积平原的破坏，淡水储量减少了约 27 万亿平方米，储水供应量随之减少(图 5)。

此外，由于泥沙淤积侵占了水库的有效库容，并且结构的老化速度超过了修复或新建速度，因此大型水坝等人工储水设施的储水量也受到了威胁(图 6)。与此同时，世界经历了巨大变化，包括全球人口从 1800 年的 10 亿增加到 2020 年的 78 亿，20 世纪和 21 世纪的经济增长刺激了快速增长的用水需求，以及日益加剧的气候变化增加了洪水和干旱，因此对增加储水量的需求有所增长。

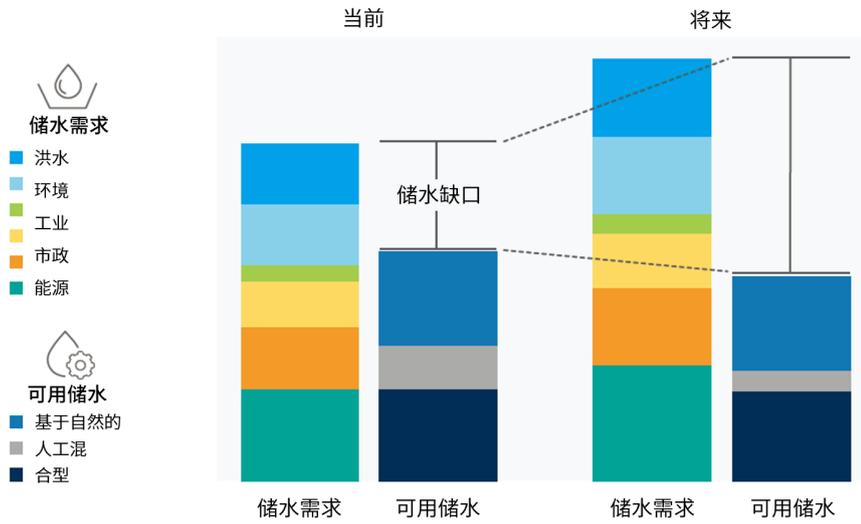
归根结底，储水缺口都具有地方性，最简单的

衡量方式就是供求关系。在任何系统中，储水需求的规模、时间和数量各不相同，这些需求与可靠性、易损性、韧性和控制有关。在供应方面，可靠性取决于自然、人工和混合储水类型，而组合储水类型在规模、时间、数量和服务方面各有优势。

对于任何特定地点，解决储水缺口的实用对策还应考虑其他非储水方案，如用水需求管理，并将其纳入更广泛的水资源保障方法如图 7 所示，可通过减少需求措施(如减少渗漏或需求控制型定价)和其他供水方案(如海水淡化或中水回用)等储水替代方案来减少感知到的储水需求。因此，即使储水量保持不变，储水缺口的规模也可能随着时间的推移而大不相同。尽管储水缺口具有地方性，但考虑到河流流域和地下水流域跨境存在，对许多地区而言，解决储水缺口将需要跨境合作。

消除储水缺口是一项全球挑战。必须转变思维观念，采用综合、系统的方法。

图 4 不断扩大的储水缺口



资料来源：改编自 GWP 和 IWMI，2021。

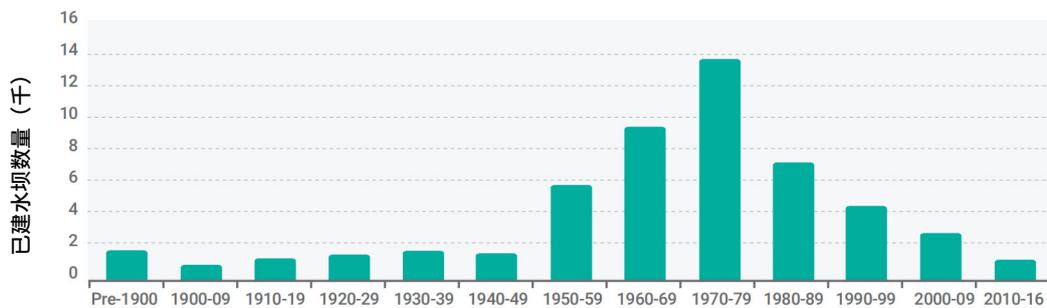
注：所需的储水量和可用储水量均为程式化估计值。

图 5 1971-2020 年按类型划分的储水量变化



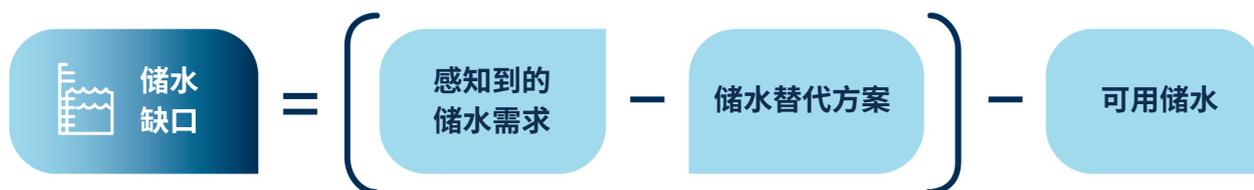
资料来源：改编自 McCartney 等，2022。

图 6 水坝的发展



资料来源：Wishart 等，2020，基于 ICOLD《世界水坝登记簿》。

图 7 储水缺口



现行储水方法面临的挑战

储水规划、建设和管理本身就具有挑战性,使得储水缺口长期存在。虽然其中一些属于技术性挑战,但或多或少都与水系统治理或保护不力、财政和行政激励措施的短期刺激、储水的重视程度不够、服务需求与储水机会失调以及利益相关方没有达成一致的立场和行动有关。

对跨部门的自然和人工储水网络认识不足,且未能将其作为一个系统进行管理往往会导致过于依赖人工储水,从而忽视自然储水的价值。人工储水类型往往是在某种需求或压力之下得到开发,通常被视作可产生立竿见影的效益;而自然储水往往被忽视或被视为理所当然,逐渐出现退化。

此外,增加储水设施的方法可能会面临以下主要挑战:

» 对新增储水设施的追求往往会掩盖通过修复、调整运行模式和改造而更好地利用现行系统的机会。短期的财政和政治激励措施往往会刺激新储水设施的开发,忽视了如何提高现有的自然和人工储水设施所能提供的服务。

» 多个储水系统之间相互竞争,为不同的利

益相关方提供不同的服务,导致水资源开发或人工储水设施放水缺乏协调性,总体效益降低。在许多情况下,储水设施的开发和运营受单一类型利益相关方的利益驱动,而同样的储水设施其实可以为更多社区提供更广泛的利益。

» 在做出投资决策前,对成本和效益、风险和不确定性的了解可能并不充分。对水循环的大规模干预会产生严重的社会、环境和经济后果,并受到巨大的财政和技术不确定性的影响。必须尽可能减少和减轻储水对人类和环境的负面影响,并兼顾分配的公平性。而投资之前的成本和效益评估可能费时、费钱、费力。

» 现有储水设施维护不足是由多个因素造成的,包括对保护自然储水设施的重视程度不足、人工储水设施泥沙淤积以及操作和维护不当。

» 现有储水设施无法满足日益增加的气候变化风险,也无法保持投资的价值。气候变化可能意味着储水系统需要满足新的性能要求,同时出于安全考虑,比如抵御更加频繁的洪水,需要进行调整。

» 政策和制度措施往往缺位。如果没有这些

如果不能把储水作为一个系统进行管理,往往会导致对人工储水的过度依赖,从而忽视自然储水的价值。

措施, 储水就会有可持续性有限的风险, 在某些情况下, 甚至可能适得其反; 比如, 随着新建供水设施投入使用, 新建大型水坝的耗水量可能超过预期。

» **过度依赖储水解决方案, 即便可能存在其他更有效的解决方案**, 如需求管理或水资源估值或定价; 供应侧替代方案, 如海水淡化或废水处理; 或能源和运输的非水替代方案。

转变思路: 储水新范式

更有效、高效和可持续的储水方法要求以不同的方式定义目标以及储水设施的开发、投资和管理方法。为此, 需要采用水资源综合管理原则来强化水安全, 同时转变观念(表 1)。

综合方法(图 8)可从系统定义问题入手。储水问题和解决方案有特定的范围和背景: 可以是全国性的, 也可以针对特定流域或特定的利益相关方, 如大都市区域、工业或社区。无论出发点是什么, 重要的是能够确定所需服务和时间范围方面的问题, 并确定具有相关需求的利益相关方的范围。《为未来储存: 储水新范式》主报告提供了

这些复杂的挑战并没有简单的解决方案, 但关注这些挑战的根本原因就有可能找到更好的方法。解决这些挑战需要避免使用碎片化的方法, 但要考虑同一片水域的不同储水类型, 同一系统内需要的多种服务, 以及共享同一片水域的多个用水者的储水和用水需求。简而言之, 需要采用更综合的方法。

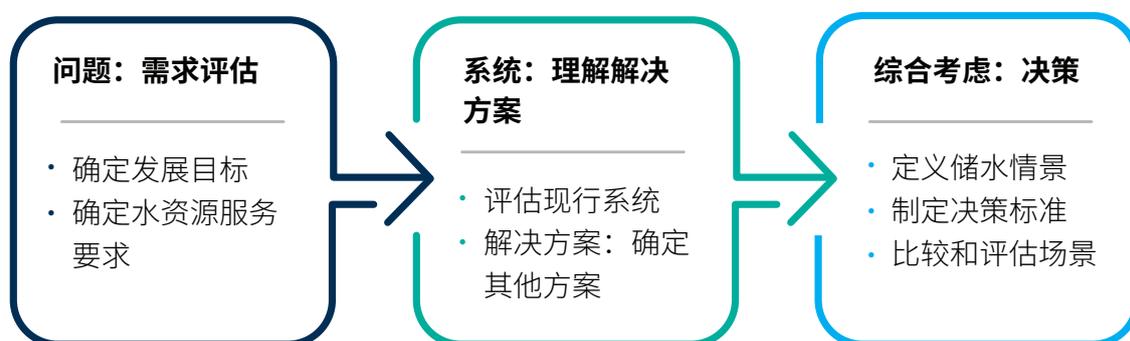
新综合储水规划框架的详细内容以及全球案例研究)。

明确核心目标并确定未来投资的水资源服务要求可为后续工作奠定基础。政策制定者可通过明确衡量成功标准来帮助这一进程。这应该包括服务可靠性水平等技术标准; 服务的可能受益人或对某些人群的潜在负面影响等社会标准; 潜在的生态系统保护或影响等环境标准; 成本和成本回收潜力等财务标准; 以及对经济和社会的整体回报等经济标准。

表 1 观念转变: 综合看待储水问题

| 主题 | 转变前 | 转变后 |
|------|--------|---|
| 目标 | 储水量 | 储水成果——储水设施提供的服务 |
| 方法 | 人工储水 | 自然和人工储水及其相互作用 |
| 管理 | 设施层面 | 系统层面, 跨机构、跨境运行 |
| 开发 | 新建 | 通过改造、调整运行模式和修复现有设施, 使之发挥最大效益, 辅以开发新设施 |
| 风险管理 | 建设基础设施 | 不同储水系统中储水类型的多样化; 考虑到未来水资源供需的不确定性, 选择稳健的储水方案 |

图 8 综合储水规划框架各阶段



综合方法需要采用系统视角。水资源由多个利益相关方共享，一方的行动很可能会影响其它各方。水文系统是综合储水规划和管理的基礎，但在系统储水方法中，还需要理解和应对环境、社会和经济系统。这可能包括农业、能源、交通、工业、公用事业等部门系统，以及从地方、城市和流域到国家和国际系统的各级管辖区。

难点不在于“找下一个投资项目在哪里？”，而是“哪种投资和政策的组合能够为长期储水构建最稳健、最具韧性的体系？”首先要了解现行的储水系统，并进行大量的案例调研。对现行储水系统的相互作用和性能进行建模可以帮助确定能否从中获得更多储水服务，并发现额外的储水潜力。重要的是，建模还有助于摸清目前依赖于系统内自然和人工储水的利益相关方的范围，从而确定谁需要参与这一过程。表 2 概述了增加储水服务的潜在方式。

由于一些国家的储水压力可能较小，而另一些国家已经出现了巨大的储水缺口且出现拉大的趋势，因此填补储水缺口的措施必须与当地情况相适应。一些地方可能通过改变现有储水基础设施的运行模式或进行制度建设来提高现有储

水设施的效率，就能满足储水需求。例如，在加利福尼亚州的门多西诺湖，美国陆军工程兵团和其他利益相关方正在试行新的水库调度规则，以改善洪水管理。其他系统可能需要更加全面的干预来扩大可用储水量。例如，墨西哥蒙特雷市除了建造新的人工基础设施外，还努力通过参与式积水管理计划来恢复和扩建城市上游的自然储水设施，以便为该市及其资产提供防洪服务。

最后，在思考综合储水规划时，大环境和态度上的转变可以带来诸多好处，包括管理极端事件、降低风险和提高了可持续性。多目标的综合方法意味着将洪水视为“富余”的水：可以收集和储存起来以备干旱之需（水文目标），可以节省建设多用途基础设施的开销（财政和经济目标），可以满足多个利益相关方群体的需求，或者至少以综合方式考虑他们的需求（社会目标）。此外，通过供水类型和地点的多样化发展，还有助于减少相关的风险。最后，综合方法可以增强可持续性。例如，流域精准管理不仅对减少水库的泥沙淤积很重要，而且有助于提升系统的储水总量。如果自然储水设施在旱季之后继续放水，随着时间的推移，就会扩大人工储水设施的储水容量。

表 2 5R 措施：增加储水服务的潜在方式

| | |
|----------------------------|---|
| 调整运行模式 | 对储水作业进行调整，以改善管理并提高效率，这可能包括改变可控基础设施的放水时间以增加效益，增加防洪等其他效益或尽量减少蒸发造成的储水损失等。也可能包括通过管理来实现不同储水类型之间的协同效应，或连接现有的储水设施，以便形成一个大系统。 |
| 修复 | 修复包括自然和人工设施在内的储水设施，以提高储水容量或性能。修复往往意味着使生态系统和自然景观恢复到更自然的状态，包括恢复自然储水设施的原始容量。通过直接的基础设施工程或通过恢复自然景观来减少人工储水设施的退化，还可延长现有人工储水容量的寿命，进而减少对新建储水设施的投资需求。可通过解决结构缺陷、清除泥沙淤积、提高受管控含水层补给点的流速以及恢复自然储水地点的环境等措施来恢复原始容量、甚至略微提高容量。 |
| 改造 | 升级或增加现有储水设施的容量，以及为现有设施开发新的用途。可通过大坝加高或增加新的水力、电力机械设备，实现更多的功能和用途，使储水服务的价值得到全面提升。在现有水电项目中增加浮动太阳能电池板以及在灌溉项目中增加水力发电就是很好的例子。 |
| 改革：制度方面的投资，以更好地管理储水 | <p>除了储水方面的实物投资外，政策制定者需要对相关制度进行投资，以便更好地规划和管理储水。这包括以下方面的制度能力：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 管理发展智能化储水所需的数据、建模和规划系统。 • 促使并激励多个利益相关方在多个尺度上进行综合规划、开发和管理。 • 调动财政和金融激励措施，促使储水得到优先考虑、规划和管理，以维护更广泛的公众利益。 <p>管理水资源分配、提高服务效率、合理确定水资源服务价格并解决社会和环境问题的政策和制度方法都是对适当、持续储水管理的必要补充。土地管理、保育和保护措施是维持或恢复自然基础设施的关键要求。</p> |
| 建设新的设施：寻找或开发额外储水设施 | 这包括探索所有可用的储水类型：自然和人工；地表和地下；大型和小型；集中式和分布式。新的储水设施可能各具规模，也可能通过多样的景观管理实践（如加快含水层补给）取自大自然之中。新的储水设施还可对已存在的储水系统起到“增益”作用，产生“1+1>2”的效果。 |

呼吁采取储水行动

考虑到世界各地的水安全风险与日俱增，特别是在面临气候危机的情况下，我们必须改变储水的规划和管理方法。

消除全球储水缺口是一项共同的挑战。全球、各国和各地区的利益相关方不能再只孤立地着

眼于自身需求。在更广泛的水资源综合管理背景下，如果要实现可持续的、适应气候变化、造福子孙后代的储水解决方案，就必须转变思维观念，采用综合、系统的储水规划和管理方法。

政策制定者和决策者应大力发挥领导作用，

包括制定合适的标准, 倡导从厘清问题入手的综合战略方法, 优先考虑使最大范围的利益相关方受益的高效解决方案。

财政和规划部门可以激励各部门、各行业和各管辖区开展联合规划进程, 确保自然和人工储水有效且高效地服务于最大数量的利益相关方的需求。

投资方面, 财政和规划部门要确保维持储水(包括人工和自然储水)的预算资金到位, 以便储水缺口不会继续扩大。要支持对自然生态系统功能的保护, 支持通过水文气象网络和其他研究收集额外的数据, 以便更好地利用自然储水设施。既可以为增加现有储水设施效益的活动——包括考虑重新运行、修复和改造储水设施的进程——提供资金, 也可以在保证各利益相关方都参与了规范进程的前提下, 投资建设新的储水设施。可强制设定为终身运维提供资金保障的资金要求, 以长期维持储水能力。

下属部门、地方政府、储水设施运营商和用水者可以通过参与当前和未来储水服务需求的综合规划进程, 以及评估现行储水系统的性能及其改进方案, 来支持储水新范式。这不是件容易的事。这些行为起着基础性作用: 帮助明确所需的服务水平并确定最能满足自然和人工储水以及非储水替代方案需求和需求管理的投资组合。可以利用这个机会与对储水服务感兴趣的多个利益相关方接触, 共同参与由开展联合规划的职能机构(如流域组织或水资源管理局)或相关运营商、用水者牵头的计划。

在人工和混合储水方面, 下属部门、地方政府、储水设施运营商和用水者可以评估重新运行、改造和修复现有设施以及建设新设施所带来的效益。在自然储水方面, 措施包括认识自然储水的价值, 通过开展战略性修复自然系统的计划来实现

保护和恢复储水, 以及通过监测更好地了解自然储水动态。可以提倡采用生命周期方法来实现储水规划和管理, 丰富储水类型, 将储水作为一个系统进行管理, 从而降低风险。(关于国际上采用的储水策略示例, 请参阅主报告的案例研究部分。)

如果流域管理机构或其他联合规划机构尚未建立联合规划机制, 那么立法者可以授权或鼓励对储水和更广泛的用水进行联合规划; 可以将预算向一系列采用 5R 措施的储水方案倾斜, 遏制新建人工储水设施的投资冲动, 鼓励改进现有的绿色储水方案; 可以制定安全、维护和运营方面的适当法律措施, 帮助确保储水的长期效益。

跨境流域组织及其利益相关方可以参与甚至领导联合规划进程, 确定跨境综合储水管理与开发协作的共享利益, 寻求共同参与降低风险的方式, 并制定沿岸国家之间的利益和风险分担框架。

最后, 发展机构和金融部门可以召集和支持多部门储水规划进程; 投资于围绕 5R 措施开展的活动并进行适当的尽职调查; 支持各国参与储水的跨境规划进程。

实施储水新范式所需的行动必然是多方面的, 并以全面了解哪种投资、活动和政策组合能提供最稳健、最具韧性的长期储水系统解决方案为基础。这很有挑战性; 但对储水系统投资就是对经济韧性、社会福利和环境的投资。《为未来储存: 储水新范式》报告为加快全球经济部门以及公共和私人利益相关方之间的合作提供了一个框架, 从而为解决和克服储水缺口以及满足全球社区的供水和水安全需求制定了战略。

有关政策制定者和决策者如何帮助解决日益扩大的储水缺口并为社区构建更坚实的供水基础, 请参见《为未来储存: 储水新范式》报告(世界银行 2023 年)。

本文摘译自:

<https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/what-the-future-has-in-store-a-new-paradigm-for-water-storage>

危机中的科罗拉多河—— 未来何去何从？



图中是科罗拉多州克雷姆灵郊外的一位农场主，他家世代都劳作在这片 6000 英亩的牧场上。但对于过往他并无太多留恋，倒是愿意尝试新的生活。

历史性大旱

好光景已不复从前。过去不是没有旱过或淹过，但总有瑞雪兆丰年的好时候。一到春天，融化的积雪让河水满溢，浇灌了洪泛区、补足了地下水。

美国西部的特大干旱已经持续了 22 年，成为该地区历史上持续时间最长的干旱。科罗拉多河的水位过低，以致于下游亚利桑那州等多个州无法获得预期分配的水量。这是整个流域面临的一项前所未有的挑战。干旱和气候变化造成的气温升高加快了水库水面蒸发速度以及积雪融化

速度，河流丰水期也因此提前结束。而土壤湿度随之降低，导致在降水时，土壤吸收了绝大部分雨水，汇入河流的地表径流减少。这意味着可供农业、野生动物和人类使用的水资源量减少。长此以往，科罗拉多河流域水资源严重缩减，即便此后有多年的充沛降水也难以有效恢复。

科罗拉多河流域面临的是有史以来水资源短缺最严重的时期。有些地方人民的生计直接依赖于其小支流，而这些河流早已断流。如今，每个人都已经意识到了气候变化正在发生。



气候变化导致水库水面蒸发速率加快。水位一旦过低，即使此后多年的充沛降水也难再恢复。

“灼热”的河流

科罗拉多河遭遇了气候变化的多面夹击，远不止“干旱”这一现象所能涵盖。事实上，这一流域气温上升、气候干燥正在成为永久性趋势，使多个大型城市、其中不乏美国的重要粮食生产地遭遇挑战。也给面积广阔、相互连通的河流生态系统造成威胁。

纵观美国本土 48 个州，科罗拉多州流域的气温上升速度最快。科罗拉多州流域部分地区的气温升幅超过全球平均水平的两倍。2000 年以来，科罗拉多河的平均流量已减少近 20%，而其中一



气候变化导致科罗拉多河流域气温不断上升，与此同时，该流域的人口也持续增长，进一步加剧水资源短缺。图中为鲍威尔湖。

半可归因于气温上升。预计到 2050 年，科罗拉多河流域的气温将较当前水平上升约 1.1-3 摄氏度，可能导致河流流量进一步减少 10%-40%。

除了导致气温蹿升和水资源短缺之外，气候变化还招致更加猛烈的野火，加剧土壤侵蚀，直接威胁河流和供水。2021 年，克雷姆灵郊外附近发生了两起大规模野火，烧毁了近 20 万英亩土地。当降雨来临，野火烧毁的土地上形成的径流裹挟大量泥沙进入河中，导致当地渔业一度中断。

随着科罗拉多河流域的人口持续增长，用水需求也将进一步增加。科罗拉多河不仅为市政、农业、原住民部落和休闲娱乐提供水源，还需要有足够的环境流量来支持包括 150 多种濒危物种在内的鱼类和野生动物。

联邦协调行动管理水危机

美国联邦政府采取了一系列行动帮助科罗拉多河流域度过这场空前危机。2021 年 8 月，政府首次宣布科罗拉多河进入一级缺水状态。这意味着，科罗拉多河下游内华达州和亚利桑那州以及墨西哥在 2022 年无法足额获得分配用水量。

美国垦务局还实施了怀俄明州和科罗拉多州上游水库的紧急放水，以提高鲍威尔湖的水位。鲍威尔湖和米德湖水位过低，可能导致水电设施无法正常运转、亚利桑那州佩奇镇和纳瓦霍部落部分地区的饮用水供应中断。

此外，2022 年 5 月，联邦政府首次减少了鲍威尔湖下半年的泄水量。紧接着在 6 月，联邦政府呼吁各州在 2023 年再压减 25-49 亿方的用水量。如此一来，整个亚利桑那州全年能得到的用水量仅为约 35 亿方，科罗拉多州的分配用水量也不过略高于 37 亿方。

州和地方的节水行动

联邦行动一出台，各州和地方纷纷采取行动。2021 年 12 月，加利福尼亚州、亚利桑那州和内华

达州签署了临时减少米德湖取水量的协议, 希望借此稳定米德湖的水位。2022年4月, 科罗拉多河上游流域各州同意从州内水库向鲍威尔湖调水。

这些历史性行动在短期内缓解了科罗拉多河的严峻形势, 但也只能短暂解决眼前的危机。专业人士认为“科罗拉多河流域需要的是长期解决方案, 而不是仅能为我们争取几个月时间的权宜之计。要让所有利益相关者参与讨论, 包括一直以来被排除在水决策过程之外的原住民部落。”

汇集合作伙伴, 共同寻找长期解决方案

在过去20多年里, 大自然保护协会(TNC)一直活跃在科罗拉多河流域, 与农民、牧场主、市政府、州政府、原住民部落和许多其他合作伙伴建立合作关系, 共同制定战略, 减轻现有供水压力, 增强



鲍威尔湖和米德湖是科罗拉多河两个最大的水库, 其库水位已降至最高蓄水位的34%且还在持续下降, 很可能导致水力涡轮机停止运转。

流域韧性。协会项目范围广泛, 从与合作伙伴携手开发和测试应对水短缺问题的工具, 到确定这些工具的经济效益, 以及帮助形成规模化实施这些工具的政治意愿。

下面是大自然保护协会应对水紧缺问题的措施:



大自然保护协会与亚利桑那州佛得谷的农民、环保主义者、当地企业家和居民合作, 寻找更具可持续性的用水方案。

· 建立水银行。在犹他州,水银行是用水者之间就共享水资源签订的一种自愿协议。用水者用他们使用不完的水资源份额作为交换,可获得补偿,且其用水权也将得到保护。与西方传统的“非用即失”用水权规则相比,水银行提供了更大的灵活性。在强大合作伙伴联盟的支持下,大自然保护协会正在建立犹他州的首个水银行,这个项目以普赖斯河为对象,将助力满足当地用水者的需求的同时改善普赖斯河的环境流量,保护濒危鱼类。

· 实施基于自然的解决方案。科罗拉多河流域大约 90% 的水来自森林积雪或降水,因此这些自然要素也是当地最大的天然水库。目前当地正在加强整个科罗拉多河流域的森林管理,以降低关键流域的野火风险。大自然协会与怀俄明州绿河上游流域的土地所有者合作来恢复湿地草甸,所采用的措施技术含量并不高,却能有效提高湿地草甸的蓄水能力。

· 重新规划农业发展。亚利桑那州佛得谷通过作物轮种、水资源再利用和提高灌溉效率来节水,保障河流环境流量。大自然协会还与当地农场主一道探索科学灌溉方法。用红豆草(干草的替代作物)等更耐旱作物取代需水量较多的作物可以实现显著节水成效。

· 升级改造老旧基础设施。过时的灌溉系统可能浪费大量水资源。因此,正在对科罗拉多州扬帕河下游的灌溉系统进行升级改造,以保护被美国联邦政府列入濒危物种名单的鱼类。

· 建立新合作伙伴关系。大自然保护协会促成了一项史无前例的协议。根据该协议,吉卡里拉阿帕切部落将把多达 2400 万方的水资源租给新墨西哥州州际河流委员会。这些水将用于改善圣胡安河的环境流量,保护河中的敏感鱼类,而租金则将用于支持吉卡里拉阿帕切部落的经济发展。



梅贝尔引水工程——大自然保护协会与梅贝尔灌区合作,努力修复梅贝尔引水工程并对闸门进行现代化改造,保障用水者的需求。

地方伙伴关系:合作行稳致远的关键

大自然保护协会多年来深耕同当地牧场主的合作关系。多年来,当地牧场主一直在与大学研究者、政府专家和非营利组织合作,携手修复河流,在河中安装浅滩结构,为鱼类和昆虫搭建栖息地,降低水温,提升水位,确保灌溉水泵能够正常运转。目前正在合作推行一个多年期研究项目,以了解不同灌溉制度对科罗拉多州西部主要灌溉作物草原和干草草甸的影响。

适应减少的水资源并不容易。气候变化造成的生态影响非常复杂,而且从政治角度来看,在不同国家、行业和群体之间公平分配水资源复杂而艰巨。保障环境流量也不容忽视。



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一号
本刊联系方式:中国水科院国际合作处
联系邮箱:dic@iwahr.com
2023年2月18日

本文摘译自:
<https://www.nature.org/>