

循环水未来

城市水资源回用与
水系统转型白皮书

50L HOME

循环水未来：在50升水家庭节水联盟成员伊莱克斯 (Electrolux)、ENGIE集团、科勒 (Kohler)、宝洁 (Procter & Gamble) 以及苏伊士集团 (Suez) 的支持下，《循环水未来：城市水资源回用与水系统转型白皮书》得以成形。我们的合作伙伴和顾问凯谛思 (Arcadis)、荷兰水事伙伴关系 (the Netherlands Water Partnership)、水回用协会 (WateReuse Association) 以及技术顾问方奥雅纳 (Arup) 为白皮书的撰写提出了宝贵意见。

此外，我们还要感谢中国、印度、墨西哥和美国等各类组织的同事和专家在多次研讨会和磋商中给出的建议和反馈。

本文件遵循50升水家庭节水联盟及其成员组织提出的具体指示和要求。

本文件不适用于任何第三方，亦不应被任何第三方依赖，也不对任何第三方承担任何责任。

奥雅纳团队：Sachin Bhoite、Chihurumanya Felly-Njoku、Martin Findlay、Sophie Fisher、Karina Haggerty、Ayisha Paw、Anokhee Shah、Martin Shouler、Phillipa Stanley和Siraj Tahir。

50升水家庭节水联盟工作组：Frantz Beznik (宝洁)、Anne Cateaux (Engie)、Colin Clarke (宝洁)、Namrata Dentan (世界可持续发展工商理事会)、Jon Freedman (苏伊士集团)、Rochi Khemka (2030水资源组织)、Karin Maria Krchnak (2030水资源组织)、Charlotte Lampre (苏伊士集团)、Salvatore Milluzzo (伊莱克斯)、Braulio Eduardo Morera (世界可持续发展工商理事会)、Jirko Müller (伊莱克斯)、Alex Mung (世界经济论坛)、Ratish Namboothiry (科勒)、Cecilia Nord (伊莱克斯)、Anusha Shah (凯迪思) 和Tom Williams (世界可持续发展工商理事会)。

50升水家庭节水联盟由世界可持续发展工商理事会 (WBCSD)、世界经济论坛 (WEF) 和2030水资源组织 (2030 WRG) 联合发起。



目录

前言	5
执行摘要	6
引言	8
水系统的循环方法	8
1. 全球背景	12
缓解日益严重的城市水资源紧张	12
通过水回用建立弹性	14
水回用的挑战	16
2. 城市家庭用水现状	18
中国	24
印度	26
墨西哥	28
美国	30
3. 多尺度系统性方法	32
家庭	34
社区	35
城市	36
地区	37
4. 引领系统转型	38
创新文化与合作伙伴关系	40
增强意识与吸引力	42
适应性规划与政策	44



Shailesh G. Jejurikar

全球织物与家庭护理首席执行官
宝洁全球可持续发展执行发起人
50升水家庭节水联盟联合主席

前言

气候变化已经到来，其中最显著的影响之一就是全球各城市日益严重的普遍用水压力。当前，公众、政府和企业正从新冠疫情的沉痛打击中恢复过来，因此实现联合国“可持续发展目标6：为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理”的重大使命比以往任何时候都更为重要。

在应对当前水系统和能源系统的复杂挑战中，50升水家庭节水联盟（50L Home Coalition）将发挥重要作用。我们希望通过有效的创新理念和做法来改造城市水系统，实现零碳、安全和可持续。城市系统转型是我们这一代人必须面对的挑战，也是我们必须抓住的机遇。

水系统转型的主要方法是通过变革性行动来减少用水量，在日常活动中取消不必要用水，并在家庭和城市中实现这一关键资源的再利用。在过去的十多年中，人们已经探索并测试了诸多水回用解决方案，但这些解决方案仍未被广泛应用。

联盟发布的首份文件主要探讨了家庭和城市水回用的新想法和机遇，详述了全球生活用水回用解决方案的可能性，指出了实施中可能遇到的阻碍和有利因素。

在合作撰写这一白皮书的过程中，我们发现水回用技术往往被视为创新前沿技术。各类政策和标准才刚刚开始认可水回用的多种优势。在这样的不利环境下，创新者步履维艰。

我们知道，城市领导者和从业者有多种尺度和可能的切入点可供其选择，但很少能够以可操作的方式予以明确阐述。

我们也充分认识到协调合作的重要性。中国、印度、墨西哥和美国等不同国家和地区也正是基于合作和伙伴关系，在这一领域取得了初步进展。

这份关于水回用的白皮书是50升水家庭节水联盟的首个知识产品。我们的目标不仅是探索 and 了解变革性水回用方法，更是为政府、民间团体和公共部门组织提供一系列战略性切实行动。

我们希望这将为水回用创新的应用和本地化提供新的发展机遇，使其更容易获取且更具吸引力，最终实现城市水系统的零碳、安全和更可持续转型。

执行摘要

白皮书主要指出当前家庭用水行业面临的全球性挑战，对中国、印度、墨西哥和美国等案例进行分析，提供水回用措施的可选清单，供决策者、政策制定者和城市规划者参考，帮助城市加速已经开展的系统性转型。

不同城市的用水量各不相同。在乌干达，城市人均日用水量为14升，而在美国，这一数字高达538升。预计全球淡水需求将很快超过全球供给。要避免出现“零水日”（Day Zero）场景，克服供应服务中断，避免对民生造成有害影响，就必须采取创新替代解决方案。

50升水家庭节水联盟提出，解决水资源危机应从家庭做起，且不应以牺牲人们的生活质量为代价。我们追求的目标是实现“每个家庭中每人每天用水50升，却达到用水500升的效果”。

为实现这一未来愿景，我们认识到全球各城市应对各种行动举措进行测试并采用，如减少用水量、消除产品和生产用水和安全水回用等。为确保在未来人人都能可持续获得水资源，水回用应发挥重要作用。

在撰写这一白皮书的过程中，我们通过研究和交流收集证据，发现城市水回用解决方案的制定和落实通常是碎片化的。仅靠水回用无法解决城市地区水资源稀缺问题，因此专家和从业者提出了一种更具战略性和系统性的方法来整合水回用解决方案和实践，为缓解全球城市用水压力做出重大贡献。

全球背景

了解城市水回用的相关机遇，需要考虑以下三个关键动态。

首先，水资源稀缺现象广泛存在。随着水资源紧缺的城市数量迅速增加，我们必须重新思考如何使用和再利用水资源。据估计，目前有36亿人生活在每年至少有一个月处于缺水状态的地区^[2]。

第二，建立系统弹性是未来水利基础设施投资的关键要素之一。目前，我们有各种各样的水回用解决方案，这些解决方案可以在城市更新现有住宅或建造新住宅时实施。通过着眼于城市系统设计的核心来建立弹性，决策者能够确定最相关的解决方案。

第三，城市用水和系统性能是由地方因素决定的。在目前传统线性水系统中，水只被使用一次就被处理排放回自然环境中。从碳足迹和水循环整体成本角度考虑，对水务行业进行改造和创新是合乎逻辑的下一步战略。

虽然面临重大挑战，循环水回用解决方案依然前景乐观。水被反复利用，加之节水效率和水资源保护等其他需求管理技术，共同提升了城市水系统的整体弹性。

城市家庭用水现状

虽然近年来技术发展取得了长足进步，但大多仍难以在现有住宅中应用，有的是因为空间不够，有的则是无法对管道系统进行必要的翻新。

在全球范围内，节水措施得到不断改进。中国、印度、墨西哥和美国的案例表明，水资源回用已成为建立城市用水弹性策略的一部分。

中国的试点项目表明，政府支持的融资激励措施能够解决实施方案中的挑战。通过建立共同的水回用关键绩效指标，政府和各独立组织采取统一行动，携手实现中国五年规划目标。

印度的国土面积和发展路径表明，实现规模化是水回用创新的重中之重。推广成功的试点项目，并利用基于社区的推广平台（如学校、社区团体和社交媒体），将提高发展中城市对水资源回用的接受度和效益。

墨西哥成功推出雨水收集系统，为该国及地方政府提供了一种参考模式。在这一基础上，通过协同合作，扩大创新应用范围，推动制定政策和法规，以促进并补充其他水资源回用技术，缓解降雨量较少时期的水资源短缺问题。

美国多个州都成功实施了水回用项目。通过更多的同行对话、实地试点示范以及对本地化用水策略进行投资，城市能够找到最适合本地实际情况的水回用解决方案，确定正确的水回用规模并予以实施。

系统方法

到目前为止，为应对当地水资源挑战，水回用技术已经在城市范围内得到更广泛的应用，并取得了一定成效，但这种技术并没有在个体家庭中广泛应用。家庭、社区甚至地区层面的水回用为城市用水的彻底系统性转型提供了机遇。

白皮书分别从四个尺度（家庭、社区、城市和地区）概述了水回用系统实施的机遇、可行解决方案和关键考虑因素。

对于每一尺度，在部署水回用解决方案时都应考虑其对更广泛基础设施的影响。这种多尺度框架能够帮助政策制定者根据当地政策、基础设施覆盖范围和当地用水压力状况，选择最符合当地实际情况的切入点。

引领系统转型

城市、地区和国家各级政府可以通过投资创新，并调整做法来创造价值，在水系统转型方

面发挥重要作用。当前，全球面临与气候变化相关的紧迫挑战，联合国可持续发展目标中也清晰地列出各项重点议题。在这种情况下，水回用创新不应只是“水务行业”操心的问题。相反，这应是一项能同时解决用水压力、脱碳和人类成果的议题。

尽管不同城市的解决方案各不相同，但其中有三个因素在任何地方都至关重要：

创新文化与合作伙伴关系：通过研究和合作，激发创新想法，推动水回用产品或服务的应用。通过深度协作，水务行业内的创新应打破孤立状态，对用水压力、减缓气候变化和人类成果等主要推动因素进行整合。

增强意识与吸引力：通过宣传教育，建立社区信任和水回用需求，寻求不影响用户体验的解决方案。通过探索当地需求，政府和企业的各类组织、学界和民间团体应共同、全面地了解当地资源紧缺（包括用水压力）情况和气候变化的复杂影响。

适应性规划与政策：通过政府机构参与从而营造创新环境，推动对水系统的重新思考，政府部门能更好地制定最适合当地发展的相关战略，明确特定城市（或地区）与水和气候相关的重点事项和关键投资。明确的战略将帮助各行各业的决策者（包括民众）做出更好决策，从而抓住机遇、采取行动，缓解用水压力，减少碳排放。

引言

全球面临水资源危机，因此我们必须使用循环经济解决方案，大幅减少用水量，在家庭层面做出改变。

当前，一些城市人均日用水量惊人。在美国，洛杉矶人均日用水量为428升，而丹佛则高达538升^[1]。

全球南方城市的人均日用水量同样引人注目。墨西哥城人均日用水量为336升，布宜诺斯艾利斯为312升。南非开普敦的案例表明，只要政府部门清晰阐明水资源问题的紧迫性，就能大幅减少家庭人均用水量。

南非开普敦拥有400万人口，为应对连续三年冬季干旱，开普敦大幅减少用水量。2018年初，开普敦设立用水上限，要求家庭人均日用水量不得超过50升。

这一宣传活动结束后，开普敦用水量比之前减少了60%。

水资源紧张的城市地区普遍需要将用水效率提高到相似水平，但只有当新的节水解决方案对居民具有足够吸引力，居民愿意在日常生活中遵照执行这一方案，才能取得成功。

为何要进行水回用

50升水家庭节水联盟寻求开拓创新、扩大创新和实施创新，以期在系统层面改变家庭城市用水和能源使用。

我们的目标是通过在城市层面开展协调合作的行动，重新定义水资源的未来。其中包括结合企业和社区创新、公共政策和金融工具，为消费者提供既减少家庭用水又能够提高能源效率的选择。

50升水家庭节水联盟提出，解决水资源危机应从家庭做起，且不应以牺牲人们的生活质量作为代价。我们追求的目标是实现“每个家庭中每人每天用水50升，却达到用水500升的效果”。

为实现这一未来愿景，我们认识到全球各城市应对各种行动举措进行试点并采用，如减少用水量、消除产品和生产用水以及安全水回用等。为确保在未来人人都能可持续获得水资源，水回用应发挥重要作用。

在撰写这一白皮书的过程中，我们通过研究和交流收集证据，发现城市水回用解决方案的制定和

落实通常是碎片化的。城市和地区政府很少制定用水策略，通常也缺乏多利益相关方平台来确定应对水资源短缺的解决方案。仅靠水回用无法解决城市地区水资源稀缺问题，因此专家和从业者提出了一种更具战略性和系统性的方法来整合水回用解决方案和实践，为缓解全球城市用水压力做出重大贡献。

本白皮书阐述了住宅水回用的可行解决方案，主要包含四个关键方面：

1. 目前城市面临的与水相关的挑战
2. 城市家庭用水现状
3. 实现水回用的多维度系统性方法
4. 城市应如何阐述并引领全系统转型议程

研究方法

作为我们的顾问，奥雅纳使用多种方法开展研究和证据收集，并将研究成果综合呈现于此。

证据收集

证据主要来自一系列研讨会和一份详尽的文献综述。来自19个不同组织的顾问参与其中，包括技术组织、民间组织、政府组织、监管机构、政策制定者及国际组织。

他们带来了世界各地的经验，尤其是中国、印度、墨西哥和美国，而且能以全球视角看待水回用。这些研讨会帮助我们了解顾问的经验，特别是他们面临的挑战、阻碍和推动因素。研讨会上还开展了相关案例研究。

研讨会上的见解由拥有69个二次文献的文献综述所支持，包括国家标准和法规、学术论文、期刊文章以及其他同行评议的文件。文献综述包含定性和定量数据。



综合

我们使用STEEP（社会、技术、环境、经济和政治）分析法，研究全球家庭水回用现状和四个重点国家数据，对收集到的证据进行综合。

我们明确了关键推动因素、优势、挑战和拟议的促成因素，从而更好地了解不同地区在广泛落实水回用措施时需要关注的重点问题。

需要强调的是，世界各地的水回用公开数据有很大差异，因此我们通过利益相关方访谈填补文献和数据中的空白。

关于50升水家庭节水联盟

50升水家庭节水联盟是一项全球倡议，旨在解决当前最紧迫的两大全球挑战：水资源安全与气候变化。

在由全球私营部门合作伙伴组成的新兴团体的支持下，50升水家庭节水联盟于2020年10月成立。其中包括伊莱克斯、ENGIE集团、科勒、宝洁、苏伊士集团和凯迪思，发起方包括世界经济论坛、世界银行2030水资源组织和世界可持续发展工商理事会。

联盟召集企业、政策制定者、城市和公民，通过系统转型方法，解决城市中水资源和能源综合消耗挑战。除用水安全以外，50升水家庭节水联盟还支持实现气候变化目标，因为供水对能源和碳均有影响，且家庭中水加热会消耗大量能源。

基于与私营部门专业知识的独特联系，并与公共部门和民间团体合作伙伴携手共同创新，我们的愿景是通过引领让人无法抗拒的创新，帮助全球城市进行水系统转型，使其更加零碳、安全和可持续。一起加入我们吧！

水系统循环的方法

当前，随着气候不断变化，由于人口不断增长，对淡水需求不断增加，我们用水和回用的方式比以往任何时候都更重要。

未来，农业、工业和商业对淡水的竞争性需求将激增，向循环经济转型将减少人类对环境的影响。大规模实施水资源回用将减少家庭对淡水的依赖，并提供低成本本地化解决方案，特别是在水利基础设施落后或不足的地区。水回用作为一项重要解决方案，将在从家庭到城市的各个层面实现水循环。

在传统线性水系统中，水只能被使用一次，而有了循环水回用解决方案，整体水资源弹性将得到提升。这一转型也为产品和服务创新提供了机遇，因为要满足不同国家的特殊需求。

为实现长期可持续发展，废水处理对于水系统管理来说始终是十分必要的，而循环方法也为商业企业提供了机遇。随着新产品和水需求管理不断改进和使用，水回用可以大大减少用水总量，同时保持较高性能，确保终端用户的满意度。



图1: 水循环尺度

1. 全球背景

缓解日益严重的全球城市水资源紧张问题

城市和人口持续增长,但资源有限^[2]。自20世纪60年代以来,全球家庭水需求量增加了600%^[3],但全球淡水供应却由于缺水和污染而不断减少。

可用水资源逐渐减少,很大程度上是由于地下水枯竭。目前地球上超过30%的大型地下水系统都处于“枯竭”状态^[4]。

据联合国教科文组织 (UNESCO) 估计,目前有36亿人生活在每年至少有一个月处于缺水状态的地区,而由于气候变化的复合影响,预计到2050年,这一令人担忧的数字将进一步增至60亿^[2]。

全球淡水抽取量在不断上升,但全球10%的人口仍然无法得到基本用水保障^[5]。国家与国家、城市与城市之间在与财富相关的水资源可及性方面存在极大不平等。

预计全球淡水需求将很快超过供给。为解决供应服务中断问题,避免对人类生活造成有害影响,我们必须积极创新,提出替代解决方案。

如今,越来越多的城市有可能遭遇南非开普敦曾经历过的水资源“零水日”场景。严重干旱不仅威胁水资源供应,还会产生严重的连锁影响^[7]。

印度的金奈虽然常常发生洪水,但在2019年这座城市的四个水库都枯竭了。拥有2170万居民的巴西圣保罗,2015年时严重缺水,在只剩下不足20天的淡水供应时才恢复供应。这些案例清晰地提醒我们,水资源短缺正在加剧,气候变化已经对全球水资源供应产生了影响。

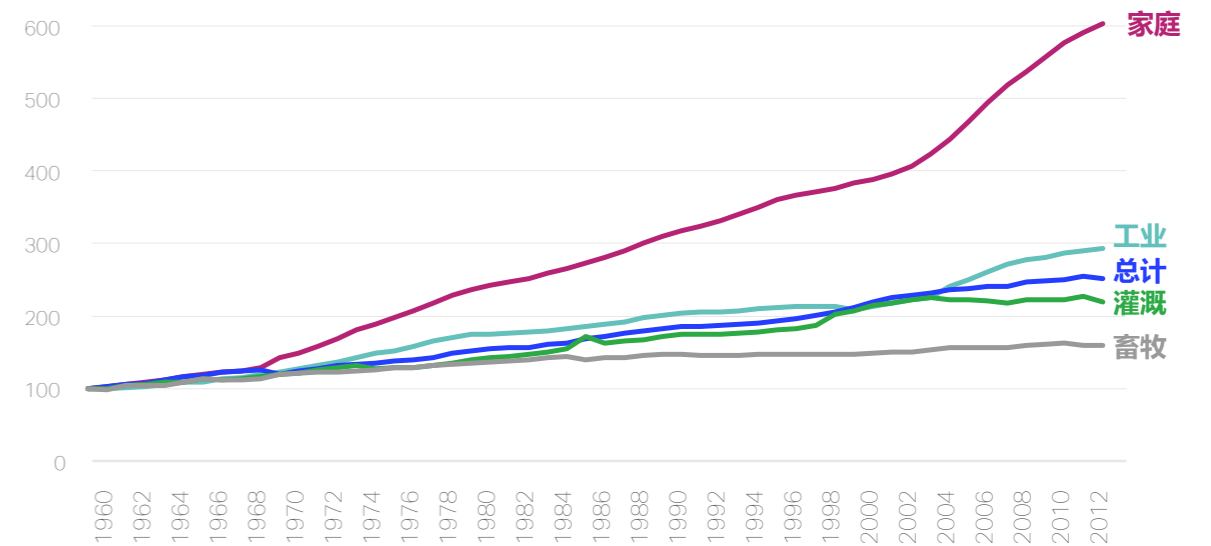


图2: 1960年以来各类别全球取水量增长百分比 (%)

据估计,供水设施和污水处理设施总运行成本的5%至30%来自能源消耗^[6]。

为实现净零目标,必须采取措施提高水回收和水回用能源效率,实现能源中和^[7]。

面对气候变化、日益严重的不平等和供给短缺的显著综合影响,我们必须快速适应。为了应对这一生存威胁,全球城市必须制定新方法,确保水资源得到有效使用,让居民能够用更少的水做更多的事。为此,需要采取全面方法进行转型,在各尺度内建立水资源弹性。

通过水回用建立弹性

为提高水资源弹性，需要提升城市系统中的一系列“特质”^[8]。这些重要特质能够防止供应中断或失败。

具有弹性的城市系统能够更好地应对危机，并从危机中恢复，也不易发生供应中断或失败。

将水回用纳入家庭供水服务系统中，是应对水资源短缺的“智慧” (resourcefulness) 策略。水回用是一项有针对性、可推广的解决方案，缺水时能提供备用容量，即“冗余” (redundancy)，同时也是克服基础设施限制的本地化低成本解决方案。

目前，我们有各种各样的水回用解决方案，这些解决方案可以在翻新现有住宅或建造新住宅时实施。

缺乏水利基础设施的城市应该反思，并可以直接“跨越”到使用水回用技术。传统集中式供水系统需要长期规划和投资，而分散式解决方案提供了另一种可能。

传感器和人工智能等数字创新技术有助于加强水回用供需管理，使系统更能适应变化。水回用为跨行业、跨系统和跨尺度之间的一体化行动提供了机遇，并在可持续能源和水回用之间建立积极关系。

弹性的协同效益

水处理、输水和后续废水排放会产生与能源使用相关的碳足迹，因各地能源结构不同而异。这种碳足迹水平可能会很高。据估计，美国与水相关的碳足迹占总排放量的5%^[64]。此外，家庭水加热也会消耗大量能源。许多国家正在制定脱碳战略，以实现其气候承诺，其中包括水系统脱碳。

根据哥斯达黎加的脱碳规划，到2050年，50%的商用、住宅和政府机构大楼都将以低于排放标准的方式运行，这意味着高度电气化或可再生能源将被应用于烹饪和生活用水加热^[71]。英国为水务行业设定五大严苛目标，其中包括到2030年实现净零运营排放。根据英国政府承诺的具有法律约束力的净零排放目标，英国到2050年预计将减少多达1000万吨温室气体的排放^[72]。

水系统解决方案包括低能耗水回用解决方案与中水和废水热回收，从而减少家庭热水能耗。将热回收系统与水回用系统相结合的创新解决方案还能额外减少水和碳足迹。

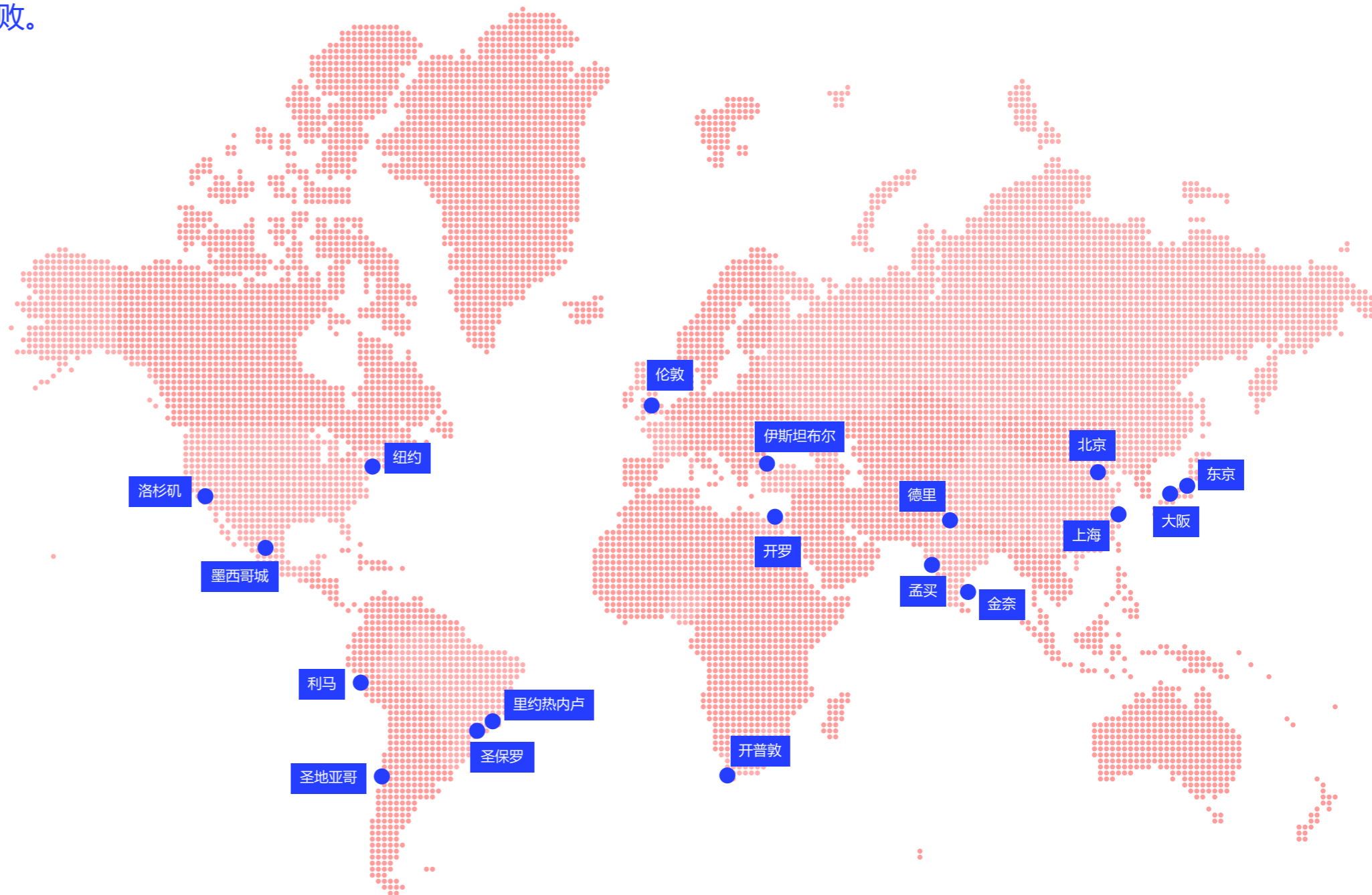


图3：全球水资源短缺城市地图^[9]

水回用的挑战

要制定一个适应当地情况的水循环议程，了解当地城市水系统的主要特点至关重要。了解并解决与水回用相关的关键问题将有助于释放循环系统的潜能。

当前的线性系统

通常来说，城市水系统是线性的。水从源头提取出来，处理后以供使用，分给消费者使用后排放，在某些情况下是先处理后排放。未处理的废水排放会导致环境恶化。这种“抽取—使用—排放”的方法支持按每升水向用户收费的现有商业模式。用户支付运营费用，也为基本建设费用提供资金来源。

这种模式背后的假设是水资源丰富且廉价，但全球日益严重的淡水短缺表明，这种看法是完全错误的。

实现循环水系统⁶⁴将减少对淡水的依赖，也有助于加强环境管理。

不平等的基础设施水平

城市在确保安全供水方面高度依赖基础设施，因其不为个人所有或控制。水利基础设施能实现水的收集、处理、分配和排放。通常认为，投资水资源供给和储存基础设施或大规模转移设施，是解决供给不足的唯一方法。

不同地方水利基础设施的水平不同。一些地方拥有能够提供充足、安全和可靠供水服务的基础设施。而在有些地方，落后或性能低下的基础设施则无法满足水量或水质需求。

水回用将为家庭供水不足的社区提供有针对性、低成本的解决方案。

地下水抽取

同一座城市有可能同时面临水太多和水太少的矛盾局面。比如，为了弥补供水不足，有些地区会使用地下水。一旦地下水过度开采，不仅水质和水量下降，土地也将下陷，从而更易引发洪水，墨西哥的墨西哥城和印度尼西亚的三宝壟都是如此。在纳米比亚的温特和克，当地的水务公司自20世纪60年代起就开始将废水回收利用变为饮用水，从2000年代中期开始用多余的再生水对含水层进行补充⁷³。

减少对水的需求可以减少水抽取压力，缓解需求竞争，并降低对大规模水处理和分配基础设施的投资需求。

水资源价值被严重低估

水可能是最容易被忽视的资源，直到变得短缺，水真正的价值才显现出来。实际成本包含取水费用、基建成本和运营成本等直接成本。

间接成本包括过度开采对环境的影响和缺水对经济社会的影响。2018年，每1000升水和废水的总成本在南亚是0.4美元，在北美是4.2美元⁷⁹。

水回用为补充淡水资源提供了一种替代水源。它不仅能降低对淡水抽取的依赖，还让系统更加多样化，从而提升社区或城市的整体水资源弹性。

家庭水回用将改变我们的观念，让人们更加重视淡水资源的价值，同时降低淡水资源的高财务和环境成本压力。

水安全问题经常被忽视

和所有水资源一样，水回用系统也需精细设计、安装和管理，才能满足卫生和健康标准。“量身定做”的水回用系统有其适用的技术标准。设立已久的水安全计划（WSP）提供了水系统的设计和运营指南。目前，大规模的供水系统已对一些质量标准进行较为成熟的监测和管理。

水回用系统的应用将减少淡水系统需求，反过来也将为洗手、个人卫生等基础用水提供更多资源，维护公共卫生，最大程度减少新型冠状病毒的传播。在净化能力有限、无法满足需求的地区，水回用也将产生一定影响。

新冠肺炎疫情表明，水对于个人清洗和卫生至关重要。水回用将使社区更有能力满足这些基本需求，维护公共卫生。



变革的时机和尺度

水回用为提高城市水资源弹性提供重要机遇，尤其是帮助应对供水问题。世界上很多城市都面临供需缺口。与此同时，在城市中，人口不断增长，基础设施逐渐老化，还存在包括气候变化在内的复杂不确定性。

意识到这些问题的复杂性后，伦敦等城市正与自来水公司、监管部门、非政府组织、专业机构等各方开展合作，鼓励在城市中普及水回用。具体计划包括更新指南、共享信息、探索激励措施、审查国家法律法规、开展试点项目和对实施规划政策的影响进行评估。

水回用解决方案能在家庭、社区和城市尺度内产生影响。根据当地实际情况和不同的转型速度，可提供一系列解决方案。

改变消费者行为是实现可持续发展的必要条件

开普敦（2017年至2018年）和澳大利亚（“百年大旱”）等地遭遇的干旱事件表明，社区已经开始接受水回用。在干旱时期，政府和媒体对水回用益处的正面宣传报道，使人们更好了解水回用系统，也击溃了所有负面看法。

开普敦对水回用及其益处的正面宣传报道和积极公众对话是值得其他地方借鉴的宝贵案例。

对使用水回用技术产生的积极成果进行宣传，有助于扭转公众对这类水资源的认知看法。

需要在能源和碳之间权衡

水回用系统运作中产生的运营能源和碳影响也应被纳入考量。决定是否采用循环水满足需求或用再生水取代自来水供应时，必须考虑水回用系统的碳足迹。在决定使用水回用新技术的时候，应权衡能源、水和材料之间的关系。

英国一项研究表明，多数雨水收集和回水回收系统（个别除外）产生的运行能耗，比自来水供应产生的碳排放更高⁶⁵。

比起水回用，水务管理部门更倾向于采用能提高家庭用水效率和有利于节水的措施。这将降低二氧化碳实际排放量，因为水回用系统通常需要使用额外的技术和管道。使用太阳能等分散式可再生能源的趋势，可能会促使家庭采用当地水回用系统。

水处理系统的创新以及与可再生能源的共同发展，将促使水回用系统向净零碳排放的方向发展。

2. 城市家庭用水现状

全球不同城市用水量差异巨大，乌干达的姆巴拉拉人均日用水量 (lppd) 为14升，美国丹佛则高达538升^[1]。

世界卫生组织 (WHO) 认为，人均日用水量 (lppd) 需要在50升至100升之间即可满足最基本的服务需求^[10]。

经历前所未有的百年大旱 (1997年至2010年) 后，澳大利亚成为首个实施国家饮用水回用指南的国家，即《澳大利亚水循环使用指南》(AGWR)。在国家、地方和州政府的支持下，水回用和水循环在该国得到大范围应用。比如，昆士兰州政府规定，昆士兰东南部 mu 的家庭必须拥有一套就地水回用设备，每年可节省多达70,000升的可饮用水^[11]。

纳米比亚的水资源危机以及其较少的年平均降雨量 (370毫米)，推动温特和克将水回用最大化作为其水需求管理规划的一项主要政策，体现在投其资修建的Gorenangad水回收厂^[12]。

公众对水回收厂的普遍接受要归功于联邦和地方政府的积极参与和宣传教育策略。

新加坡将对技术和用水管理的投资作为“国家四大水龙头” (Four National Taps) 战略的一部分。该国已最大可能地利用了其四大水源，分别为本地管理集水区域、进口、再生水和海水淡化。

家庭用水需求管理方法主要包括定价、强制和节水措施。需求管理的一大关键举措就是对给排水管配件和家用设备实行强制水效标识计划，从而帮助消费者做出更明智的决定^{[16][17]}。

2018年，当开普敦面临“零水日”时，该市政府依法规定每人每天用水 (lppd) 50升。

该政府发布一份指南，指导开普敦居民应如何对家庭用水进行分

类和节约，以满足要求。图4中显示开普敦在实行每人每天用水 (lppd) 50升的规定期间家庭各类别用水量，并与旧金山和北京的平均用水量进行对比。图4阐明了大量节约饮用水的主要途径。



图4: 家庭每人每天 (lppd) 各类别用水量 (单位: 升) ^{[13][11][14]}

现有技术是否足够？

大多数城市都有水回用，但应用范围不大。这些系统通常由公共或私人水务公司负责运营和资助。

各国家庭已经开始实施水回用，从最基本的“自制”解决方案，到复杂的实地处理技术。

现有循环用水技术可用于淋浴水回收装置等其他设备，实现水的再循环，并节省高达90%的水和80%的能源消耗^[15]。但是，由于缺乏家庭层面的综合水回用方法，如优化洗发水和浴皂等洗浴产品，创新受到阻碍。

用于海水淡化和工业用水处理的膜过滤技术的发展正在推动城市水回用创新。水回用主要部署在城市中。水回用系统的市场化路线很复杂，也没有明确标准可循，难以塑造公众对于相关产品的信心。

与节水产品不同的是，许多水回用系统并不能“即插即用”地替代现有家用设备，因此对现有住宅进行水回用系统翻新非常复杂。

目前市场上的水回用产品大多适用于新建住宅，因为在新建住宅时可以改变传统设计和布局。

但是，由于潜在业主缺乏相关意识，房地产开发商通常不会选择水回用技术。这一切都使得消费品创新者开发家庭水回用系统的积极性不高。

所有人均可从水回用中受益。理想情况下，对开拓市场和创新解决方案的投资需要公共和私人资金。许多国家都为水务行业提供了创新资金。

英国投入3.8亿美元创新资金，用于提升水务行业创新能力，从而更好满足消费者、社会和环境不断变化的需求^[16]。这些资金有助于鼓励水回用解决方案创新。

虽然近年来技术突飞猛进，但很多技术难以用于改造现有住宅，有些是因为空间不够，翻新不便，有的是由于管道系统的改造规模和成本问题^[74]。

技术创新往往会忽视穷人的需求，因为早期应用大多是由富人的购买力推动的^[75]。然而，正如智利住房部在经济适用房（智利圣地亚哥埃尔博斯克公寓）中使用水回用技术和墨西哥城“Isla Urbana”雨水收集方案所示，通过合作举措，水回用创新同样也能满足弱势群体的需求^[70]。

水回用的主要推动因素

为应对全球水资源挑战，水回用及其他需求管理技术将推动建立循环水经济。

一些推动因素会影响水回用实践。

在水资源紧张或间歇性供水的地区，以消费者为主导的方法成功降低了对市政供水系统的依赖。在全球南方，这些系统常常被用于优化水资源和经济资源，比如墨西哥城广泛采用的雨水收集系统，不过这一系统的应用得到大量补贴。

在缺水程度较低的地区，通过自上而下的政府主导方法和政策来实施水回用。面对达到基础设施限制的挑战，为实现净零碳排放的目标，采用更可持续的水系统至关重要。

目前，消费者用水成本相对较低，而水回用技术成本较高，导致家庭水回用尚未得到广泛应用。但是，水费在上涨，而创新正在不断降低水回用系统的成本。

开普敦面临“零水日”，导致用水下降，同时水和废水总费用增长了390%^[17]。

水回用使供水和卫生设施之间实现了闭环，提供了一种替代水源，减少了对淡水供应的依赖，体现了循环经济的原则。水回用技术的应用范围应符合城市需求和当地实际情况。

在具体选择水回用技术时，应权衡其与用水安全和碳影响之间的关系。

新加坡超过一半的用水来自替代水源：雨水收集（20%）、水回用（30%）和海水淡化（10%）。消费者用水成本包括生产成本、供应成本和节水税^[67]。

以色列为保持较高水质，对再生水基础设施进行投资，实现90%的废水回用，主要用于非饮用用途。再生水的供应成本低于饮用水^{[68] [69]}。

将可再生能源与水回用相结合，有助于缓解任何负面碳影响。

非饮用水回用在家庭中可用于厕所冲洗、室外灌溉和洗衣。

主要地区

下面将主要围绕四个国家，即中国、印度、墨西哥和美国，来讨论水回用的可能性。选择这几个国家主要是基于其水回用推动因素和应用潜能。

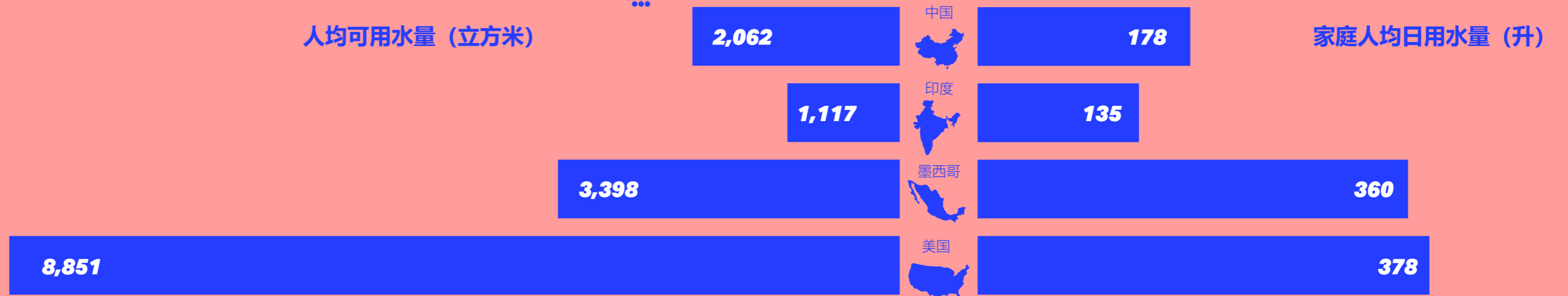
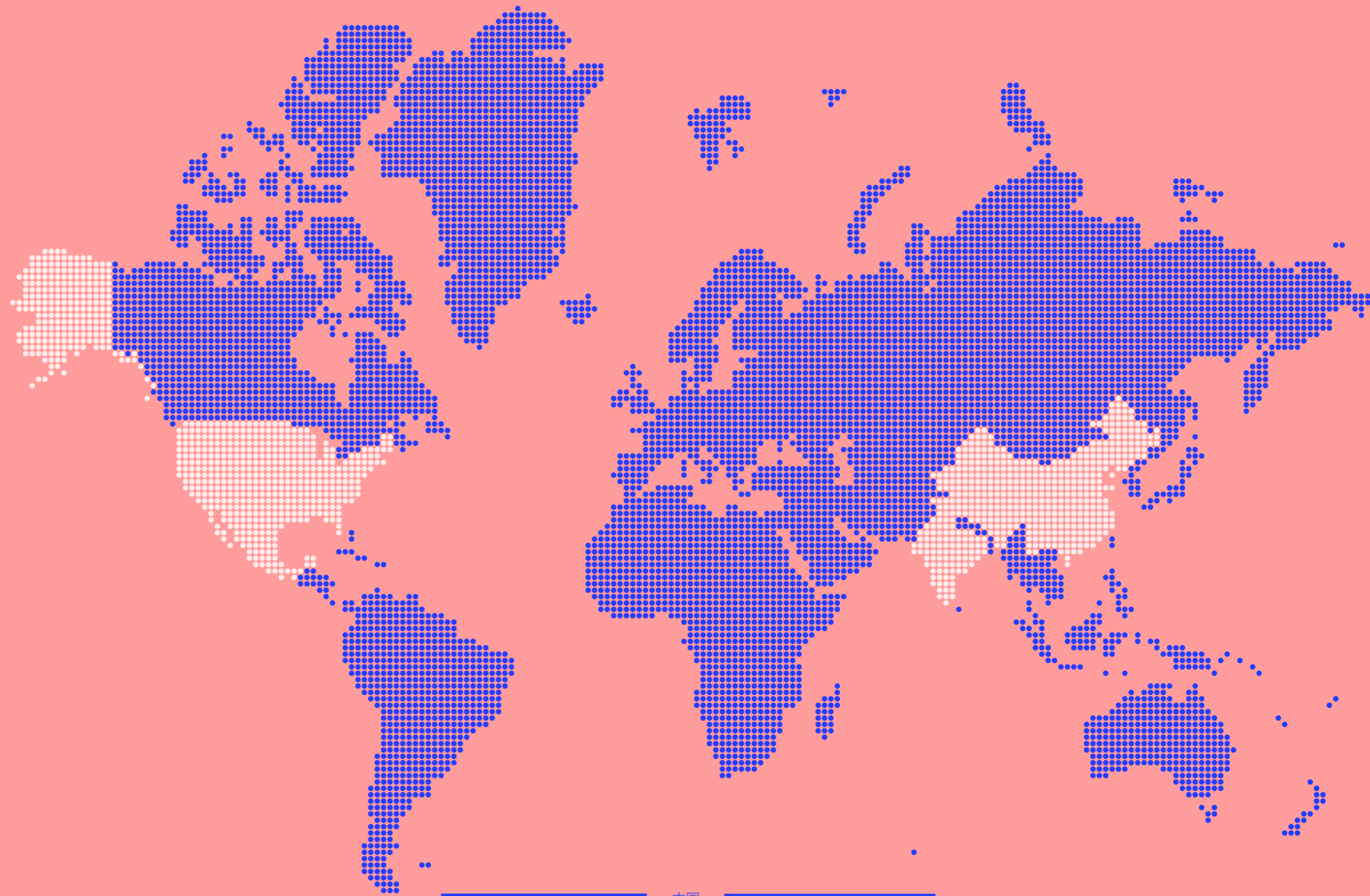


图5：用水与供水基础设施现状

中国

中国经历了快速的人口增长与城市化，目前世界上33个特大城市中有8个在中国。城市化带来的压力使淡水供应和质量有所下降。

在中国，降雨时空变化性较强，导致区域缺水^[18]。过度开采使得地下水资源枯竭。未经处理或处理不当的城市污水、工业废水和农田径流对淡水造成严重污染。

中国政府认为水回用是应对这些挑战和维持供水的潜在解决方案。在全球范围内，中国目前回收再利用的废水总量最大，尤其是未经处理的废水。这些水主要用于非饮用用途，如农业灌溉、观赏/娱乐设施和城市地区的其他用途^[19]。

在城市地区，集中式水回用系统一直是首选。这是由于现有基础设施的存在，系统操作熟练，以及根据不同用途调整水质的能力较强。一些分散式中水回用项目也被应用于大学校园和住宅楼，例如北京师范大学，但由于初始成本高昂、操作知识与经验匮乏，采用率较低。

2014年，在多部委支持下，全国30个城市启动海绵城市计划试点，目标是吸收和再利用60%的雨水。

该项目提倡区域灵活性和协调性，以建设可持续、气候适应型城市和城市水资源管理系统^[20]。中国在2021-2025年五年规划中提出了要实现全国水回用率15%的目标，并加大了对再生水项目的投资。

2003年，北京所有20000平方米以上的新建酒店和建筑面积超过30000平方米的体育中心、政府大楼、大学和研究都必须使用中水回用系统。目前，北京50%的分散式水循环系统正在使用中^[21]。

中国正在开发以海水淡化膜技术为基础的中水回用技术，并取得了良好进展。

目前的技术大多是为市政建筑和社区尺度开发的，缺乏家庭层面的水回用技术。

与其他国家相比，中国的水回用技术相对成本较低。然而，改造现有房屋以适应水回用技术所需成本较高，这仍是一个主要障碍。对公用事业和居民缺乏经济激励，在实施后缺少训练有素的操作人员来维护系统，这些都对该系统的广泛推广构成阻碍。



三重供水系统

海水和中水供应。

香港750万居民中，有80%已使用海水冲洗马桶。香港国际机场将淡水、海水供应系统（20%-30%由海水构成）和中水回用结合在一起，形成了一个低能耗、低成本的三重供水系统。

该系统的应用使机场淡水需求下降了52%^[22]。

1-2-1项目

收集雨水，满足更多需求。

中国甘肃的试点项目“1-2-1”获得了成功，其中省政府的支持、财政补助和雨水收集方法是实施雨水收集计划的关键。

“1-2-1”是指每个家庭应获得：

- 1 块雨水收集区、
- 2 个地下水箱（30-50平方米）和
- 1 块土地（670平方米）。

在10年的时间里，这使位于甘肃干旱地区的超过200万人受益^[23]。

海绵城市计划

为城市定制解决方案。

这是于2014年提出的城市水管理方案，旨在缓解城市内涝和缺水情况。目标是吸收和再利用城市地区60%的雨水。该项目选择在30个城市推行。

政府为系统设计提供资金并投资教育宣传活动，在家庭层面推广雨水收集计划。由于30个城市的地理、水文、经济特征迥异，该计划在各城市的规划和实施也各不相同^[24]。

通过建立共同的水回用关键绩效指标，政府和各独立组织采取统一行动，携手实现中国五年规划目标。明确的关键绩效指标将在地方政府和开发商之间构筑桥梁，为多个利益相关方提供工具，以确定在多大程度上部署符合当地特定条件的水回用创新举措。

试点项目表明，政府支持的融资激励措施推动中国解决水回用实施中的挑战。集中再生水方法在全国范围内得到使用。此举也应与地方层面的行动者相协调，使更多的家庭能够享受水回用带来的好处。

印度

印度目前有13.6亿人口，三分之一以上居住在城市地区。城市化速度超过了基础设施的发展速度，导致城郊地区缺乏基本的便利设施，水资源和固体废物管理不足^[25]。

目前，只有7000万印度家庭拥有自来水供应，约占全国总目标的36%。一项耗资490亿美元的全国性项目将为印度1.92亿农村家庭提供自来水，到2024年，这一数字将超过美国所有家庭的总数^[26]。

印度年降水量的一半都集中在短短15天内^[27]，需要大型水坝和水库来确保全年供水。此外，2007至2017年间，地下水抽取监管的缺失导致水位下降了61%^[26]。国际水资源管理研究所 (IWMI) 预测，到2025年，印度将严重缺水^[28]。

只有6%的取水用于市政用途，89%用于农业，5%用于工业。尽管其在提高农业用水效率存在很大潜力，但这可能需要时间，且需要水回用来满足城市的服务需求。

印度的政策和指导框架体现了对废水回收必要性的认识，该国法律要求工业、大学、住宅区和五星级酒店等大型用水机构进行水回收。然而，在制定和实施家庭用水的法规、政策或指导框架方面，政府行为却十分匮乏。

印度的一些城市（浦那市和德里）采取了家庭水回用冲厕的举措，并进一步探索将处理过的城市和工业废水用于园艺、灌溉甚至饮用水的可行性。

然而，印度也发生了几起反映了社区对政府缺乏信任的事件，特别是在与水质和健康相关的问题上。对回用水的心理抗拒依旧存在，而且印度社会在文化上不愿意回用废水，这限制了废水回用在该国的发展潜力^[29]。

印度的水法主要基于各邦政府^[30]。水务行业的碎片化导致获取数据受限，从而影响整体规划。负责供水和废水管理的各部门间缺乏协调。这个问题是由不同行政部门之间职责划分不明确所导致的。

印度在广泛采用水回用方面面临许多挑战，包括在地区尺度内：

- » 缺乏现有的网络和处理基础设施
- » 市政再生水回用初期投入成本高
- » 地方缺乏水回收和水回用操作方面的专业知识
- » 认为重复使用处理过的废水会减少收入

在家庭尺度内：

- » 家庭水回用系统初始成本高昂
- » 城市中家庭水回用技术的空间有限

私人资助的广泛试点项目已经完成，社区层面水回用收获了成功商业案例，例如萨拉斯瓦蒂倡议。



萨拉斯瓦蒂

试用成功的分散式系统。

该项目由欧盟资助，旨在评估印度现有的分散式污水处理厂，并试用经过验证的欧洲技术。

评估框架以技术环境评价和社会经济评价为基础。结果表明，大多数分散式污水处理厂都位于土地成本较低的农村地区。

同时，水务行业的传统治理存在机构分散、过度集中和不同行政部门间职责分工不明确的问题^[31]。

雨水收集意识

水回用接受度不断提高。

在家庭层面，Dhani Mohabbatpur村洗衣用水量最高，约占总用水量的19.0%。其次是沐浴（16%）、家畜驯养（15.3%）、房屋清洁（14%）和餐具清洗（11%）。平均而言，家庭用水总量中只有不到10%用于饮用和烹饪。

然而，Dhani Mohabbatpur村对雨水收集的认识不足，只有12%的家庭对雨水收集技术有所了解。

雨水收集技术适应性调查表明，如果获得政府补贴，大约92%的家庭可以即刻使用该技术。

与村民的讨论显示，如果需要他们个人出钱使用雨水收集技术，则只有约17%的家庭愿意安装集水设施^[32]。

鉴于印度的国土面积和发展路径，实现规模化是水回用创新的重中之重。需要在家庭层面对水回用进行创新以降低成本。水回用的实施应在地区范围内进行协调。推广成功的试点项目和利用基于社区的平台（如学校、社区团体和社交媒体），将提高发展中城市对水回用的接受度和效益。

大规模采用水回用创新要求创新技术“在现实世界中”发挥作用。它们必须易于操作，并允许进行一定程度的个性化调整以满足地方需求。同时，除产品创新外，还应关注水回用的服务创新，以满足消费者的需求^[75]。

墨西哥



墨西哥的水资源压力分布不均，北部的水资源压力大于南部。墨西哥使用的大部分水用于灌溉和养牛，该国总用水量的14%用于市政供水。

一半以上的公共供水源自含水层。该国653个地下水含水层中，16%正经历过度开采，3%已被咸水入侵^[33]。

气候变化将使该国大部分地区的降水量减少10%^[34]，而这种影响将因高度贫困和不平等现象而加剧，贫困人口将不成比例地承受其影响。因此，雨水收集被视为解决缺水问题的可行选择，尤其是在经常发生洪水的首都。Isla Urbana项目展示了这种雨水收集系统^[35]。

墨西哥各地家庭用水的方式存在巨大差异。该国是世界上最大的瓶装水消费国^[36]。在包括首都墨西哥城在内的一些地区，瓶装水被用于烹饪甚至洗澡^[37]。一些居民称他们家中的自来水变色或有异味，而当局则表示水是干净的^[38]。在该国一些地区，人们对自来水进入家庭存在明显的不信任情绪。

许多缺乏自来水供应的墨西哥居民从定期送水的卡车（称为“pipa”）上取水。这种现象在未规划或未经许可建造的社区中很常见。

Pipa通常导致社区之间不得不抢夺水资源，从而加剧社会紧张局势，并可能产生连锁社会影响，例如由于卡车送水时间不规律，妇女无法离家寻找工作^[39]。

由于城市人口不断增长，城市流域从农村流域取水十分常见。这在城市、农村甚至原住民之间造成了很严重的紧张关系，并使许多农村人口无法获得水资源^[40]。因此，家庭中的水回用是一种常见做法，主要包括用灌溉水冲厕所或洗衣服。

2020年，墨西哥城环境局局长启动“雨水收集（Cosechar la Lluvia）”项目，在家庭中安装小型雨水收集系统。

这一项目旨在解决整个城市的供水不平衡问题。在该局长的六年任期内，墨西哥城与Isla Urbana合作安装了十万套系统，2019年耗资约1100万美元^[41]。

2020-2024年国家水计划（Programa Nacional Hídrico 2020-2024）提出了五个重点目标，其中之一是“保持水循环的完整性，以保证流域和地下水含水层提供的水文服务”。为实现这一目标，政府的战略旨在维护雨水收集系统，避免第三方参与^[42]。

但这一国家计划中并没有提及家庭中水回用。因此，尽管墨西哥有国家水计划，但在水回用方面仍缺乏协调。

雨水收集 (COSECHAR LA LLUVIA)

政府为雨水收集项目提供补贴，鼓励进行雨水收集。

2020年，墨西哥城环境局局长启动了“雨水收集（Cosechar la Lluvia）”项目，在家庭中安装小型雨水收集系统。

这一项目旨在解决整个城市的供水不平衡问题。在该局长的六年任期内，墨西哥城与Isla Urbana合作安装了十万套系统，2019年耗资约1100万美元^[41]。

ISLA URBANA 雨水收集

收集雨水以减少碳排放。

Isla Urbana等制造商已被墨西哥城环境局局长（SEDEMA）选为合作伙伴，以大规模推广此类系统^[41]。

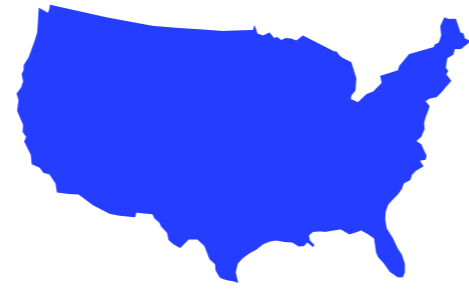
这也是减少城市温室气体排放的机会。为了克服城市地形影响以及系统中的高漏水百分比，大部分水通过泵输送。Lerma-Cutzmala系统从其他流域引进该市18%的水，却消耗了供水所需电力的65.5%^[43]。



雨水收集系统的成功推出为地方和国家政府提供了范例。在此基础上，应通过合作扩大创新范围，制定政策法规，推进和共同实施其他水回用技术，以缓解少雨期导致的水资源紧张。

将雨水收集解决方案与其他水回用技术相结合，从而进一步加强地方和区域层面的供水安全。这些技术也应覆盖雨水以外的水源，以在干旱时期建立弹性。

美国



美国国家航空航天局报告称，美国大陆三分之一的地区至少处于中度干旱^[63]。水利基础设施极易受到极端天气和气候变化的影响。

用于冲厕的家庭用水比例一般在29%到47%之间。使用再生水冲厕可以显著减少饮用水需求。家中浴缸、淋浴间和洗脸盆产生的中水量通常能够满足冲厕的需要^{[45][46][47]}。

佛罗里达州和加利福尼亚州日益枯竭的水资源和环境问题使其不得不采取同时供应饮用水和再生水的双网供水方案^[48]。在美国东海岸，下水道区域之外的开发能够带动当地社区实施规模水回收系统。环境问题和长期可持续性也是一个因素^[49]。东海岸实施水回用并非出于水资源短缺，而是由于下水道管网容量过剩、雨水管理和气候变化因素（如海平面上升和盐水入侵）^{[50][51]}。

截至2017年，据估计，对17个州水回用和海水淡化项目^[52]的投资已达180亿美元。在美国，仅四个州便占据了水回用的90%：亚利桑那州、加利福尼亚州、佛罗里达州和德克萨斯州。加利福尼亚州和佛罗里达州仍是再生水用户最多的两个州。

加利福尼亚州再生水的最主要用途是用于农业和自然系统，佛罗里达州却将其所有再生水的50%以上用于城市水回用（如景观灌溉和高尔夫球场）。这两个州也将再生水用于工业再利用和地下水补给^[53]。在旧金山，当地公用事业供应商目前正在多个尺度上试行解决方案，涵盖建筑和啤酒厂等工业用水者。

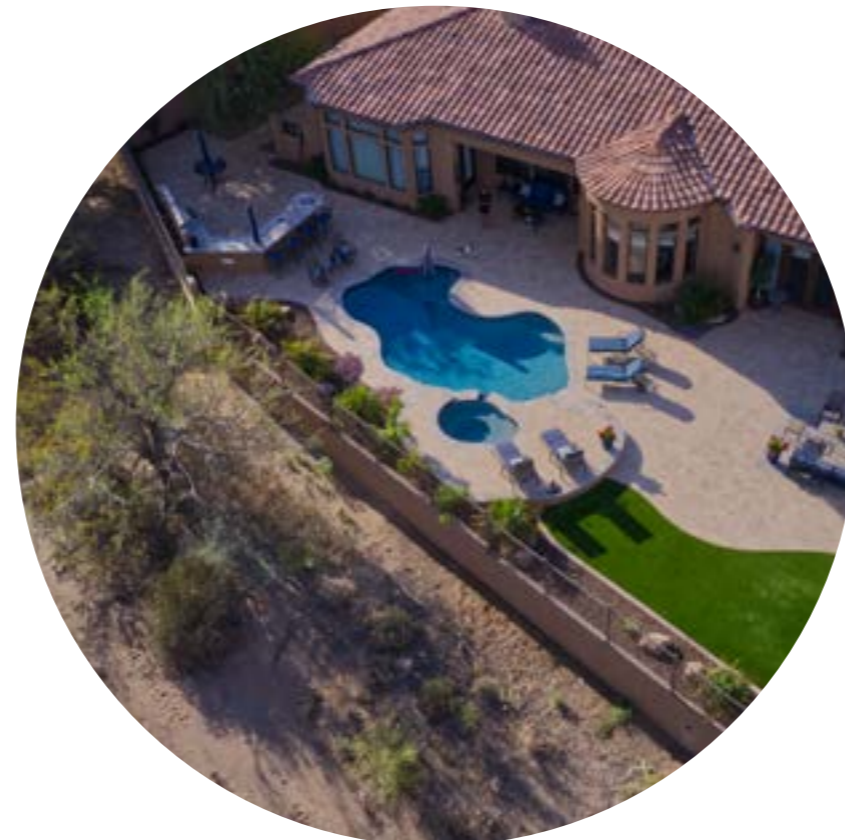
各州通常在分配和开发水资源方面拥有主要的监管权力。一些州制定了专门解决水回用问题的计划，一些州已将水回用纳入其现有计划中^[54]。

根据2020年10月签署的行政命令，“水内阁”将通过促进饮用水、废水、水回用、储水和供水以及水资源管理的综合规划和协调来改善水基础设施规划。他们还将支持和加强人力发展，招聘、培训和留住水务行业的专业人员^[55]。

在美国，水技术创新集群正研发新的具有成本效益的技术，创造就业机会，并提高其水基础设施的质量。

这些“集群”由来自私营、公共和学术部门的人组成，他们共享信息和资源，促进本地区水务行业的经济发展。

水务集群通常能够履行其使命，并由美国国家环境保护局在全国范围内推行。他们支持新业务的发展，扩展现有业务的产品和服务，举办会议和大会，进行推广宣传活动，提供融资机会，并为会员提供培训，取得了一定成功^[56]。



有效的政策实施
激发创新。

美国成功实施政策和加速创新路径的一个例子是加利福尼亚州优先负载资源顺序政策的推行，即在考虑应用新一代能源之前，首先通过提高效率和需求响应来满足能源需求。

这些强有力的政策和目标不仅减少了能源需求，提高了企业竞争力，节省了消费者开支，同时还改善了健康，提高了舒适度。此外，这还加速了实现温室气体减排的技术进步^[57]。

创造水回用市场
降低最终用户的成本。

实现系统变革，水务公司不仅可以节省资金，还可以通过出售再生水获取收益。

美国加利福尼亚州和佛罗里达州等地区以明显低于饮用水的价格出售再生水，取得了巨大成效。

这主要用于农业领域和城市灌溉，占总量的69%，16%用于工业生产，15%用于饮用水^[54]。

让家庭更加面向未来
新建筑物水回用政策。

在建筑物内，通常需要“双管道”来输送非饮用水。在施工期间增加这条额外的管道用于水回用十分简单，但后期改造管道以实现水回用则比较困难。

旧金山是美国第一个要求新建建筑（超过250000平方英尺）安装就地水回收系统的城市^[58]。

美国多个州都成功实施了水回用项目。这些措施可以激发邻国采取类似政策的灵感，从而产生对此类解决方案的需求。

通过更多的同行对话、实地试点示范和对本地化用水策略进行投资，城市能够找到最适合本地实际情况的水回用解决方案，确定正确的计划规模并予以实施。

3. 多尺度系统性方法

城市水系统具有复杂性，需要在多个尺度上得以理解和利用。可以通过系统方法最大程度释放水回用的潜力。

这种复杂性使我们必须考虑到环境对家庭水系统的约束和影响，并体现在城市不同尺度的水利基础设施中。

根据可用的基础设施和技术，水循环可以在家庭和社区尺度内运行，也可以应用于城市和地区系统。

通过扩大规模，提升不同尺度系统之间的协调性，可以进一步提高效率。例如，中水收集系统对

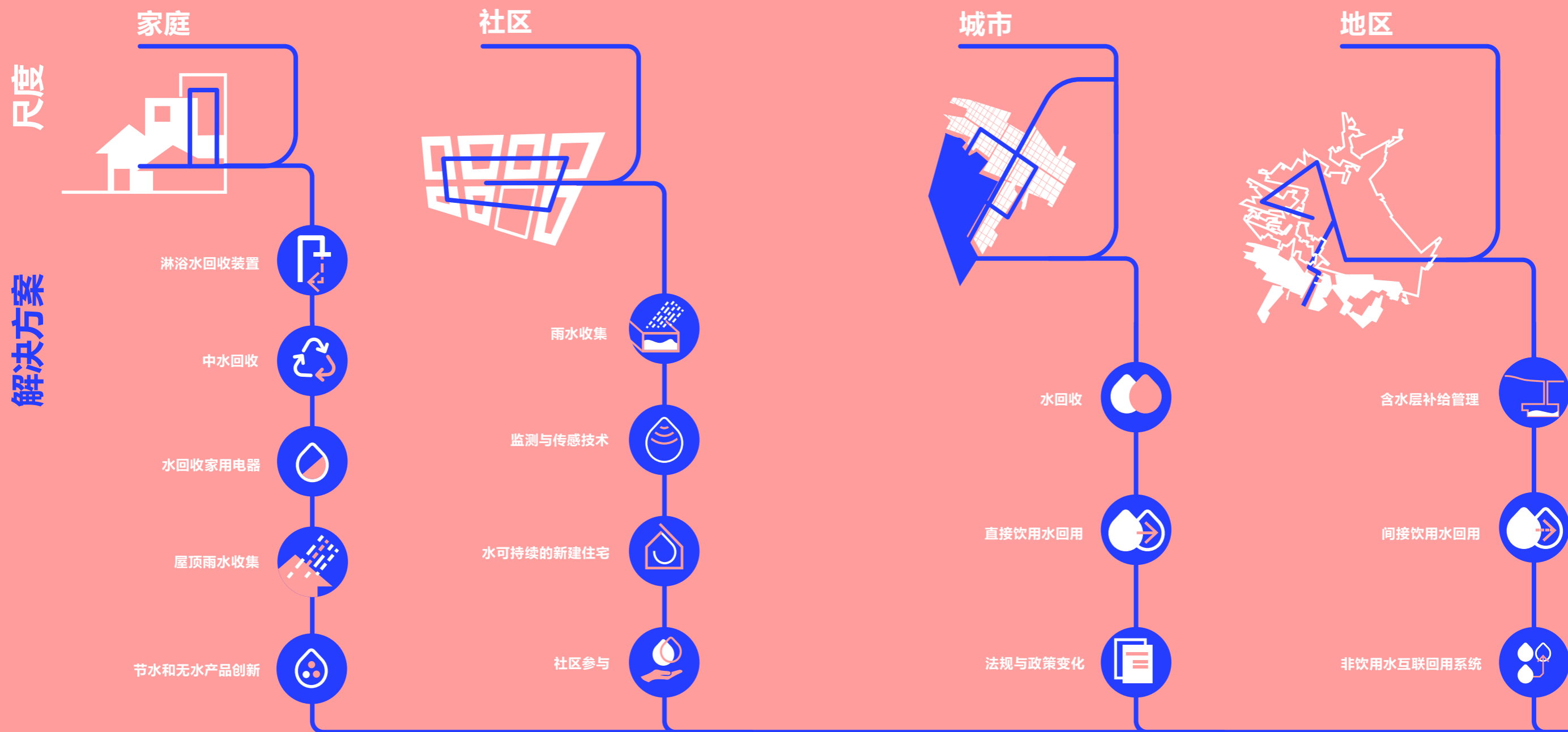
于单个公寓用户来说通常太大且昂贵，但同样的技术对于整个公寓楼来说却是理想选择。一般来说，规模越大，适合自然水循环的解决方案就越多，也可以采用更多的混合解决方案。

在部署水回用解决方案时应考虑对更广泛基础设施的影响。例如，减少社区产生的废水量会影

响污水运输和处理（因为有机和化学负荷将更加集中）。使用收集系统截留雨水可以减少回流到河道的水量，因为这些水将被水回用系统转移到污水系统。

这种多尺度框架能够帮助政策制定者根据当地政策、基础设施覆盖范围和当地用水压力状况，选择最符合当地实际情况的切入点。

图6：不同尺度的水回用解决方案



家庭

家庭水回用系统完全在家庭内或从雨水收集系统中回收水。这通常由居民实施，并可以受到当地政府或公用事业公司的激励，从而降低家庭运营成本。家庭具有广泛应用水回用系统的潜力。

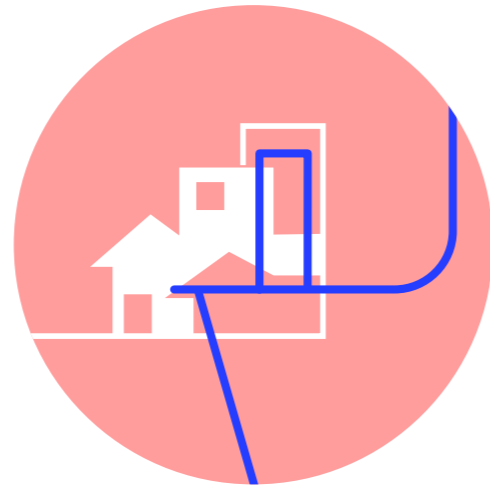
例如，比利时的一个家庭通过中水回收和雨水收集实现了饮用水足迹的显著减少（人均日用水量为13升）^[79]。

这并不奇怪，家庭的终端设备和产品没有改变，消费者行为也是如此。而进一步的系统性变化，尤其是在设备层面、产品层面提高效率，在行为数据和回用方面推动变革，可能会产生更显著的影响。

家庭范围内广泛实施水回用将减少当地污水管网内的水流量，这可以通过更好的网络监控和按需冲洗下水道以确保持续服务来改善。现在已有下水道自动冲洗系统等解决方案可用，能够减轻家庭广泛水回用造成的水流量减少的影响^[76]。

变革者

- » 技术和产品开发者
- » 零售商
- » 水务公司
- » 城市政府



淋浴水回收装置



10分钟的淋浴最多能用到100升水。

淋浴水回收装置使用盆和泵在淋浴时重复用水。该技术减少了饮用水的使用，并降低了水加热的能源消耗。市面上有一项技术可以每天节省约90%的水和80%的能源。

水回收家用设备



有一种洗碗机可以收集上一个循环最后的冲洗液，将其过滤干净，然后存放在机器侧面的小型储水箱中，用于在下一个循环中进行预冲洗并完成洗涤^[59]。

无水 and 节水产品创新



在研发新系列产品和耗材领域存在广泛的创新机遇，这些产品和耗材与新兴的水循环设备和淋浴器相结合，有助于提高水的净化效果。

这些可以最大程度地降低污水处理总需求，减少水回用的能源使用。

中水回收



水槽、淋浴和洗衣机中的水回用最常用于冲洗厕所等不需要优质饮用水的用途。

当地系统（建筑物或校园）中通常包含一种处理方式，可以重新利用中水，而不会危及卫生设施或损坏设备。有了新技术的帮助，中水回收也能够家庭层面进行应用。

直接饮用水回用



市政污水可以使用三级处理方式，包括对微量元素进行消毒和过滤，以重新供应饮用水。该解决方案已在一些缺水地区使用，例如纳米比亚首都温得和克。随着监测和处理技术的改进，该解决方案将具有更大的潜力。

社区

社区包括住宅楼、校园以及介于两者之间的公共领域，可能有各种大小和类型，涉及不同的单位和不同类型的居民。在这里，水回用系统应实现整个社区范围内的水资源再利用。

在这一尺度下，居民的配合至关重要，同时也需要有一个或多个拥有或管理社区的机构参与。这种规模的水回用解决方案对个人行动需求较少，但十分需要各方对流程的整体支持。

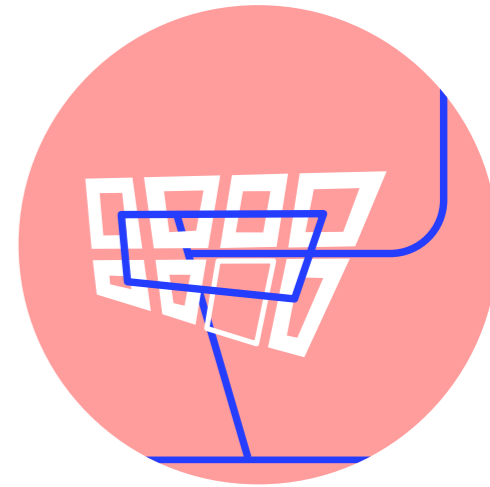
社区缺乏兴趣或配合度较低会阻碍水回用在社区范围内的实施。

为吸引居民和房地产开发商的兴趣，市政府和市政供水供应商可以通过奖励和补助在促进水回用方面发挥积极作用，包括培训服务提供商如何维护和操作此类系统。

该系统在智利乌丘拉巴的埃尔博斯克经济适用房项目中进行试点并获得成功，在13套公寓中应用了中水系统，每天节水4500升^[70]。

变革者

- » 技术和产品开发者
- » 房地产开发商
- » 水务公司
- » 城市规划者



雨水收集



收集和再利用雨水不仅可以满足家庭的一些非饮用水需求，还有助于减少城市肌理中径流的增加。收集的雨水在供应之前需要进行处理，以去除有机和无机污染物。另外，还需要在社区内安装非饮用水供应管网。

社区参与



宣传推广活动有助于增强公众对于水回用的接受程度。这可以通过多种方式开展，如传统和社交媒体、播客和演示等。宣传推广活动应该关注这一问题，敦促潜在的水回用支持者积极开展行动，并通过关键指标跟踪这种社会规范是否取得成功。

该解决方案可用于社区或城市尺度。

监测与传感技术



监测与传感技术可用于管理需求，促进水资源的有效利用。智能水表为消费者提供其用水量的实时数据，也可帮助客户有效地管理水费账单，减少用水并选择高效的电器设备。

该解决方案可用于家庭、社区或城市尺度。

水可持续的新建住宅



在新建住宅中应用水回用系统，实现可持续用水，甚至达到可持续性最高评级。此类住宅将是推动水回用常态化的关键举措。

城市规划者和房地产开发商将在实现住宅水回用方面发挥关键作用。

在这种规模下，几套住宅可以共享技术，因为如果单独使用，技术成本将过于高昂。

城市

城市具有更大的空间，包含许多社区以及非住宅建筑。

在城市尺度内，水有多种来源，包括污水处理厂的处理过的废水或海水。这种规模的供水通常由自来水公司、当地政府或供水服务提供商管理。这一尺度内的水回用能够减少居民和非居民用户的淡水需求。

多个用户（农业或工业）存在相互竞争的需求，有时周边城市会从此种规模的水回用中受益。

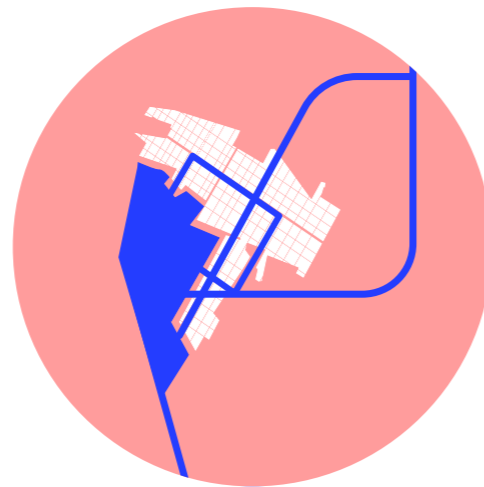
许多城市缺乏实施中水回用的基础设施。新的水回用网络的发展有助于推动经济发展，创造就业机会。这些网络可以与其他碳积极系统（如热网）一起使用，帮助降低成本和基础设施影响。

在饮用水和卫生设施有限的城市，转型应侧重于使社区实现“跨越”，建立适合且负担得起的基础设施系统，从一开始就实现高用水效率。

新加坡的水回收占其日常需求和饮用水的40%，超过了世界卫生组织的标准^[81]。

变革者

- » 水务公司
- » 城市政府
- » 公私合作伙伴关系
- » 四种尺度的水回用潜能
- » 提升人类适应能力，并利用自然水循环



水回收



在一些重点地区，黑水（或污水处理厂处理过的污水）和海水已被用作非饮用水供应的替代水源，这就需要水处理和水消毒技术来进行公共卫生风险管理。这些技术大多数已经十分成熟。

法规与政策变化



需要双管道系统来为家庭提供饮用水和再利用水。使用单独的系统可防止两种水源混合在一起。新建住宅的双管道政策可以加速水回用的实施。

通过绿色金融举措激励投资者将促进发展新的水回用融资方式。自来水公司和政府可以针对节水设备的使用推出税收优惠和退税激励，从而促进水回用的实施。

直接饮用水回用



市政污水可以使用三级处理方式，包括对微量元素进行消毒和过滤，以重新供应饮用水。该解决方案已在一些缺水地区使用，例如纳米比亚首都温得和克。随着监测和处理技术的改进，该解决方案将具有更大的潜力。

地区

地区尺度包括更广泛的人造和自然景观，如城市地区、湿地、运河、水道、淡水源和排水。

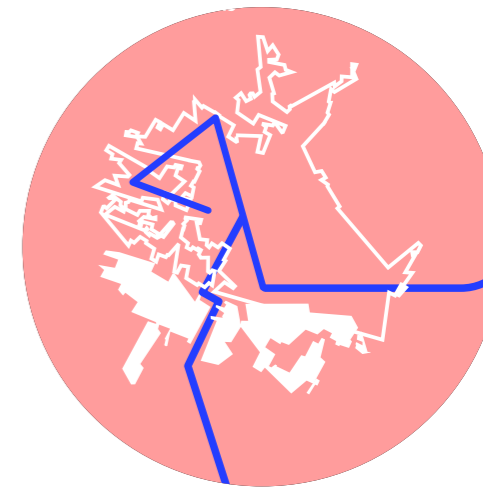
在这一尺度内，人造水系统与水文地质系统密切相关，需要大规模的混合解决方案，并与国家级水资源管理基础设施和政策密切相关。

水生态系统对外部影响很敏感。雨水收集系统的广泛使用可以将必要的水从当地的溪流或含水层中转移出来，并将其排放到水系统的下游。城市和国家政府机构可以提供地图，标记能够使用雨水收集系统而不会对当地溪流和河流产生负面影响区域。

虽然以色列的水回用系统主要用于灌溉，但也有大约10%用于更广泛的环境目的，如增加河流流量和消防用水^[77]。

变革者

- » 国家和地区政府
- » 水务公司
- » 水资源管理部门
- » 公司和慈善机构



非饮用水互联回用系统



增加非饮用水的来源，包括但不限于工业、食品和饮料行业等产生的城市废水。来自城市废水的非饮用水供应也可用于工业或农业，以减少对淡水的抽取。

含水层补给管理



地下水管理的解决方案包括含水层补给管理，这一过程越来越多地通过注入经过市政三级处理的废水来完成。对含水层进行补充能够缓解其缺水压力，并用于未来取水供应。

间接饮用水回用



废水经过三级处理后，处理后的水可以储存在水库中，并重新用于饮用水供应。这使循环变得完整，因为城市的大部分水可以重新供应，从而减少对淡水的抽取。

4. 引领系统转型

水回用为家庭用水的系统性转型提供了机遇。通过将水循环方法与水系统的规划和交付相结合，决策者和变革性机构的人员能够找到最适合的水回用解决方案。

政府可以通过投资创新，并调整做法来创造价值，在建立高效且更具弹性的水系统方面发挥重要作用。当前，全球面临与气候变化相关的紧迫挑战，联合国可持续发展目标中也清晰地列出各项重点议题。在这种情况下，水回用创新不应只是“水务行业”操心的问题。相反，这应是一项能同时解决用水压力、脱碳和人类成果的议题。

通过文献研究和利益相关方贡献，我们发现其中存在三个“系统转型因素”。每个因素都有助于探索广泛实施水回用的机遇，并解决相关挑战。

它们分别为：

创新文化与合作伙伴关系

增强意识与吸引力

适应性规划与政策

上述三大因素通过具体行动为各利益相关方创造机遇。

这一方法挑战了政策作为系统性变革先决条件且唯一必要条件的普遍假设。

三大“系统转型因素”中列出的以行动为导向的方法更侧重于城市和地区政府在协调利益相

关方及创造探索、学习和收集科学知识和数据机遇方面的独特能力。因此，新政策的推出将基于当地实际情况和最先进的知识，并结合经过验证的理念，以加速大规模实施。

“最好的成果兼具吸引力、可行性和生命力”。

50升水家庭节水联盟

通过水回用实现转型



创新文化和合作伙伴关系

促进创新文化和合作伙伴关系。通过研究与合作，启发以气候为核心的创新理念，并在市场中推广使用支持水回用的产品或服务。

增强意识与吸引力

建立对这些解决方案的意识和吸引力：通过宣传教育，建立社区对水回用的信任和需求，并提供不影响用户体验的解决方案。

适应性规划与政策

通过适应性规划与政策促进变革：促进政策法规，并将其纳入总体规划中，要求和激励相关机构使用水回用系统。

图 7：通过水回用实现系统转型的关键因素

当利用这些推动因素时，需要考虑当地文化规范和社区与水的关系。在不同地区，这些因素可能适用于不同尺度（如家庭等）。为水回用设计的解决方案必须考虑到现有基础设施的状况和适用性以及经历的各种用水压力。

创新文化和合作 伙伴关系

未来城市创新的核心在于气候变化和系统弹性。循环性转型需要创造一个充满活力和合作的有利环境，并以气候议程和人类成果为核心。实现这些积极行动需要各利益相关方共同努力，也需要社会和去中心化的领导。

这可以激发跨越社会各领域的创新文化，包括社区、技术创新者、供水服务提供者和公共政策制定者。在公共部门，创新文化可以推动促成政策和法规，以促进私营部门创新，适应当地需求，并一起帮助改善向公众提供的服务。

在家庭和城市中实施水回用的创新途径依赖于对当地水资源压力状况、技术投资、技术获取及其对目标受众的负担能力的广泛了解。创新的政策和融资可以推动这一进程。创新中心可以将社会企业与技术创新者聚集在一起，促进开发和推广产品与解决方案。实现思想的多样性和共享理念有助于克服各行业自身的局限性。

使用基于社会参与的创新方法可以提高公众意识，推动公众认知和信任的转型，并提高水回用系统对人们的吸引力。这些方法可以使用低技术手段，例如口耳相传和讲故事，或使用智能仪表和水质监测系统高科技方法。

如何采取行动

公共部门

对水回用技术改进和整合的研究和开发进行投资，对水资源压力的本地化知识和当地气候议程进行投资。

设立创新中心，协调所需的技术研发。

建立税收激励、绿色关税、混合融资计划、补贴和/或低息贷款。

私营部门

家用供水设备和产品制造商的相关行业协会逐步淘汰效率较低的产品。

多利益相关方共同行动

协调和促进合作，让不同利益相关方了解水回用的好处。

提高相关利益相关方参与度，以形成预期规模的水回用共同愿景。

可以实现什么目标？

水务行业的创新是“去孤岛化”的，旨在缓解水资源压力、减缓气候变化和促进人类成果。

由公共部门、学界、民间团体和私营部门组成的多元化生态系统共同支持具有前瞻性的水资源创新议程。

(所有尺度内的)水回用技术创新在降低成本的同时提升了性能。

合作伙伴关系已经形成，并已大规模实施水回用系统。

富有想象力的解决方案可提升用户体验、可负担性和产品吸引力。

这将使人们更易接受水回用，并有助于提供有才能的劳动力和可持续融资。

变革者

50升水家庭节水联盟

国家/地区政府

污水处理技术制造商

投资者

公私合作伙伴关系

公私民间社会组织伙伴关系

增强意识与吸引力

只有重塑人与水的关系，才能在解决水资源压力方面采取变革性行动。改善公众与水与环境的关系有助于公众更能够使用水回用，并感受水回用带来的好处。考虑到更广泛的社会、文化、经济和制度因素，基于当前和未来需求的个性化信息将提高人们对水回用的认识。此举更有可能持续改变公众行为，这是系统转型的关键。此类信息可能重塑人和决策者与水的关系，并促进行为和政策的变化。

例如：

- » 对于业主而言，强调水回用如何能够满足他们未得到满足的需求。这对于面临水资源压力或间歇性缺水的地区尤为重要。
- » 对于市政当局和供水商而言，强调水回用如何帮助他们为更多居民提供服务。
- » 对于企业和新服务提供商而言，强调市场缺口。

这一信息还应旨在解决许多文化中针对水回用的“令人讨厌的因素”。如果希望成功传递个性化信息，则需要研究家庭用水模式，以及了解公众对水、当地环境问题和水回用的看法。

制定干预措施时，必须找到影响改变的阻碍。这些阻碍很复杂，可能因不同环境而异，例如提供者和消费者之间的阻碍。建立良好的政府—企业—学术合作伙伴关系是成功的关键。仅让业主意识到水回用的好处本身很难促成其广泛应用，正如尽管水回用技术已经存在了几十年，但在重点地区的使用水平仍然较低。

这表明仅提高意识是不够的。提高吸引力是影响家庭、社区或城市更广泛实施水回用的关键因素。

影响吸引力的因素包括公众认知、文化中的抵触情绪、系统成本和财务收益。

在健身房、公共浴室/游泳池或办公楼等日常设施中建立使用创新水回用解决方案的示范点，并将这些技术推广为生活方式产品。此举不仅可以对人们和政策制定者进行宣传教育，还可以提高技术对公众的吸引力。将此类技术应用于高端“理想型”住宅和旅游项目中，也可以切实推动水回用的应用。

提供财务激励措施、降低前期成本的合理融资或从购买转向服务的创新服务模式也可以增加这些产品的吸引力。

如何采取行动

公共部门

确定当地需求、项目或开发区，从而测试创新。

为示范项目制定激励措施并评估其影响，建立扩大规模的途径。

私营部门

实施可公开访问的示范项目，进一步促进水回用应用。

多利益相关方共同行动

通过学界整理的相关人类行为研究，制定水回用的社会规范规划。

使用传统和社交媒体开展宣传活动，让公众了解解决水资源压力和服务缺口的重要性与好处，重点在于围绕环境保护、水资源短缺和弹性等方面宣传水回用。

可以实现什么目标？

公共和私营部门的组织、学术界和民间团体对与资源紧张（包括水资源压力）和气候变化影响相关的当地需求有着共同且全面的认识。

通过协作方法，应对气候和弹性挑战的新一代相关观点越来越被公众所接受。

通过公私部门和非政府组织合作，协调信息传递，让人们对水回用的好处和吸引力产生积极看法。

水回用的广泛应用表明，水回用是安全的，可以节省资金，并提高可持续性和用水安全。

变革者

50升水家庭节水联盟
产品开发者
城市政府
供水商

适应性规划与政策

从长期来看，推进政策、监管和行业框架对于家庭用水转型至关重要。然而，政策框架必须与时俱进，以应对不断变化的环境。培养创新文化并鼓励对当地需求和可用解决方案的广泛认识，将有助于逐步推广创新理念，为所有人创造高质量生活。一般来说，当水资源短缺时，政府会把水和水回用视为重中之重。然而，对重点地区的研究表明，情况并非总是如此。

为制定适当的水回用政策和标准创造有利环境，对于其广泛实施而言至关重要。这需要制定者全面了解所有尺度的用水效率和水回用机遇，并能够以战略视角审视何种解决方案能够创造更好的气候和人类成果。这包括与国家或州政府协调建立当地弹性和水资源战略，以及制定政策和法规来促进和支持水回用。这些政策工具应充分考虑当地情况，如是否需要更灵活的标准^[60]，并为所有供水服务提供商提供明确的指导和公平的竞争环境。

制定规划和政策时，需要对当地气候预测进行深入了解，并采取积极措施为新兴未来做好准备。适应性规划需要包括水资源的弹性，应考虑如何将冲击的影响降至最低，并提高在面临系统性中断或压力时继续提供服务的能力。

在新开发项目中强制采用双管道政策和/或法规，可以在家庭、社区和城市加速实施水回用，这能够有针对性地逐步实施水回用。

可以通过支持性政策利用市场力量，鼓励水回用系统的使用^[61]，这与鼓励使用可再生能源或电动汽车的做法类似。通过监管和创新的财政激励措施，使私营部门能够应对挑战，有助于为水回用创造良好实施环境。

根据其他领域的案例，此类政策和有针对性的财政激励措施，如新的税费，可以加速企业研发创新产品和解决方案，从而满足不同地区的不同需求。

有效执行法律法规，例如有关水质的法规。从美国和中国的案例研究中可以看出，此举有助于在包含水回用的更广泛系统中建立信任。

如何采取行动

公共部门

更新建筑规范和标准，在新建住宅和开发项目中纳入水回用系统以及安装双管道、雨水收集和水回用设施的要求。

提议强制对用水产品添加标签，注明水回用的好处。

进行经济评估并制定“市场转型计划”，支持从市场上逐步淘汰效率较低的产品，帮助创造有利的水回用市场。

在淡水使用量没有净增加的情况下采用水中性政策，从而满足城市内不断增长的人口需求。

私营部门

房地产开发商在他们选择的可持续性建筑评价体系（如 BREEAM 和 LEED）中努力获得同类最佳评级，并将水回用系统纳入新建住宅中。

可以实现什么目标？

制定最适合当地发展的相关战略，明确特定城市（或地区）与水相关的关键事项和关键投资。明确战略将有助于各行各业的决策者和民众做出更好决策，从而抓住机遇、采取行动。

协调一致的政策能够为水回用部署提供清晰连贯的框架，并为创新新解决方案建立信心。通过政策支持消费者层面的适当创新，扩大水回用市场。

双管道等其他措施可提升弹性，使水回用技术更契合房屋改造，并面向未来的建筑和住宅。现有建筑规范可通过要求安装双管道，并在新建筑和住宅中使用雨水收集和中水回收系统，来指导水回用绩效标准。

尽管建立地方规划政策可以提高开发商的效率，但在建筑法规中提高对效率的要求，并将雨水收集和水回用系统纳入其中，这种做法会更有效、更快捷。

变革者

各国政府
自来水公司
开发商
制造商

参考文献

- ^[1] IWA, "[International Statistics for Water Services 2018 - Statistics and Economics.](#)" 2018. [Online].
- ^[2] UNESCO, "The United Nations world water development report 2018: nature-based solutions for water," UNESCO, Paris, 2018.
- ^[3] WRI, "[Domestic Water Use Grew 600% Over the Past 50 Years.](#)" 10 February 2020. [Online].
- ^[4] A. Boretti and L. Rosa, "Reassessing the projections of the World Water Development Report," npj Clean Water, p. 15, 2019.
- ^[5] JMP, "Progress on household drinking water, sanitation and hygiene I 2000-2017," United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization (WHO), New York, 2019.
- ^[6] Arup; Antea Group; Ellen MacArthur Foundation, "Water and Circular Economy - A White Paper," 2018.
- ^[7] Suez, "Addressing India's Water Crisis - Policy option to promote water recycling and reuse," 2020.
- ^[8] Arup, "[City Resilience Index.](#)" 2017. [Online].
- ^[9] National Geographic, "Global Water Scarcity," 2016. [Online].
- ^[10] United Nations, "The Human Right to Water and Sanitation," UN, 2015.
- ^[11] A. Mankad, "Decentralised water systems: Emotional influences on resource decision making," Environment International, pp. 128 - 140, 2012.
- ^[12] City of Windhoek, "[Water Demand Management in Windhoek Namibia.](#)" [Online].
- ^[13] Statistica Research Department, "[Daily water consumption per capita in China from 2003 to 2013 \(in litres\).](#)" 2014. [Online].
- ^[14] City of Cape Town, "[Residential Water and Sanitation Services.](#)" 2019. [Online].
- ^[15] Orbital systems, "[Save water and energy on a larger scale.](#)" 2021. [Online].
- ^[16] Ofwat, "[About the innovation competitions.](#)" 2020. [Online].
- ^[17] Global Water Security, "[What does the world pay for water?.](#)" 2019. [Online].
- ^[18] World Resources Institute, "[Aqueduct Water Risk Atlas.](#)" [Online].
- ^[19] Q. Gu, Y. Chen, R. Pody, R. Cheng, X. Zheng and Z. Zhang, "Public perception and acceptability toward reclaimed water in Tianjin," Resources, Conservation and Recycling - Volume 104, Part A, pp. 291-299, 2015.
- ^[20] L. D. M. R. C. L. H. W. H. Li, "Sponge City Construction in China: A survey of the Challenges and Opportunities," Research Gate, 2017.
- ^[21] Wilson Centre, "[Environmental Change and Security Programme - CHINA ENVIRONMENT FORUM.](#)" 2018. [Online].
- ^[22] R. Leung, D. Li, W. C. H. Yu, T. Lee, M. van Loosdrecht and G. Chen, "Integration of seawater and grey water reuse to maximize alternative water resource for coastal areas: the case of the Hong Kong International Airport," pp. 410 -417, 2012.
- ^[23] Z. Q. a. L. Y. J. Gould, "Using every last drop: rainwater harvesting and utilization in Gansu Province, China," Waterlines, 2014.
- ^[24] J. L. X. F. Y. G. a. W. W. Xiaoning Li, "Case Studies of Sponge City Program in China," 2016.
- ^[25] 2030 Water Resources Group, "[A 3-part Webinar Series on Reimagining Reuse of Treated Wastewater in Agriculture in India: Technology, Finance, and Governance Perspectives.](#)" 2020. [Online].
- ^[26] A. Chaudhary, "Clean water in all homes is Modi's next big India election play," Bloomberg - Politics, 2021.
- ^[27] World Bank, "[Helping India Manage its Complex Water Resources.](#)" 2019. [Online].
- ^[28] M. Shah, "Reforming India's Water Governance to meet 21st Century Challenges," IWMI, 2018.
- ^[29] S. N. a. M. S. C Ravishankar, "Social Acceptance for Reclaimed Water Use: A case study in Bengaluru," MDPI, 2018.
- ^[30] M. Singhvi, "Water Management - Law and Policy in India," 2009.
- ^[31] European Commission, "Supporting consolidation, replication and up-scaling of sustainable wastewater treatment and reuse technologies for India," 2017.
- ^[32] O. Singh and S. Turkiya, "A survey of household domestic water consumption patterns in rural semi-arid village, India," GeoJournal, pp. 777 - 790, 2013.
- ^[33] Forbes, "Experto de la UNAM destaca sobreexplotación de acuíferos subterráneos," Forbes, 2 March 2020.
- ^[34] National Institute of Ecology and Climate Change, "Mexico' Climate Change Mid-Century Strategy," Ministry of Environment and Natural Resources, Mexico City, 2016.
- ^[35] Isla Urbana, "[Why Rainwater?.](#)" 2021. [Online].
- ^[36] J. Webber, "Mexico's bottled water addiction," Financial Times, 4 September 2013.
- ^[37] L. Yaniz, "[Water in Mexico: a human right, bottled.](#)" 22 March 2016. [Online].
- ^[38] A. Esposito, "Water shortage leaves poorer Mexicans high and dry in coronavirus fight," Reuters, 24 April 2020.
- ^[39] M. Kimmelman, "Mexico City, Parched and Sinking, Faces a Water Crisis," The New York Times, 17 February 2017.
- ^[40] J. Watts, "Mexico City's water crisis - from source to sewer," The Guardian, 12 November 2015.
- ^[41] Gobierno de la CDMX, "[Presenta Sedema manual 'Cosechar la lluvia'.](#)" 12 June 2020. [Online].
- ^[42] DOF, "[PROGRAMA ESPECIAL DERIVADO DEL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2019-2024.](#)" 30 December 2020. [Online].
- ^[43] I. A. M. B. R. O. & A. P. M. Carmen Vakdez, "The Water-Energy-Carbon Nexus: Optimising Rainwater Harvesting in Mexico City," SpringerLink, 2016.
- ^[44] K. Edwards and L. Martin, "A Methodology for Surveying Domestic Water Consumption," Water and Environment Journal, pp. 477 - 488, 1995.
- ^[45] S. Surendran and A. D. Wheatley, "Grey-Water Reclamation for Non-Potable Re-Use," Water and Environment Journal, pp. 406 - 413, 1998.

参考文献

^[47] V. L. B. Lazarova, J. Sack, G. Cirelli, P. Jeffrey, H. Muntau, M. Salgot and F. Brissaud, "Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries," *Water Science & Technology*, pp. 25 - 33, 2001.

^[48] T. Asano, "[The role of advanced treatment in wastewater reclamation and reuse.](#)" Lancaster: Technomic PublishiWng Co., 1998.

^[49] V. Lazarova, S. Hills and R. Birks, "Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing," *Water Science and Technology*, pp. 69 - 77, 2003.

^[50] Arup, SIWI, The Resilience Shift, The Rockefeller Foundation, "The City Water Reliance Approach - City Characterisation Report Miami," 2019.

^[51] EPA, "National Water reuse Action Plan (DRAFT)," 2019.

^[52] Bluefield Research, "Looking Beyond Drought, 17 States Invest in Water reuse as a Long-Term Supply Strategy," Boston, 2017.

^[53] Water reuse Association, "U.S. Municipal Wastewater and Reuse; Market Trends, Opportunities & Forecasts 2015-2025," 2015.

^[54] EPA, "[Basic Information about Water reuse.](#)" 2020. [Online].

^[55] EPA, "[Environmental Protection Agency](#)" 2020. [Online].

^[56] EPA, "[Economic Impact of water technology innovation clusters.](#)" 2019. [Online].

^[57] Energy Innovation, "Insights from the California Energy Policy Simulator," California, 2020.

^[58] Water reuse Association, "[State Policy and Regulations.](#)" 2021. [Online].

^[59] Plessers, "[AquaSense Recycling System - Kitchenaid KDTE554CSS.](#)" 2021. [Online]

^[60] World Bank, "Wastewater? From Waste to Resource," 2020.

^[61] T. V. A. V. d. W. D. L. S. K Rabaey, "The third route: Using extreme decentralization to create resilient urban water systems," 2020.

^[62] UN, "The world's cities in 2018," 2018.

^[63] NASA, "[A Third of the U.S. Faces Drought.](#)" 2020. [Online]

^[64] Bevan Griffiths-Sattenspiel and Wendy Wilson, River Network. "The Carbon footprint of Water", 2009.

^[65] Environment Agency, Energy Saving Trust, NHBC Foundation. "Evidence: Energy and carbon implications of rainwater harvesting and greywater recycling", 2015.

^[66] WWF, "[Singapore Water Management](#)", 2012 [Online]

^[67] Public Utilities Board Singapore, "Our Water, Our Future", 2018

^[68] P. Marin, S.Tal, J. Yeres and K. Ringskog, "Water management in Israel", World Bank, 2017.

^[69] EPA. "Appendix G: Selected International Profiles (National water reuse action plan)", 2019.

^[70] Sanchez, Macarena., Latercera (Spanish), "[Architecture and Technology for Social Housing](#)", 2020 [Online].

^[71] Government of Costa Rica, 'National Decarbonization Plan: 2018-2050', 2020.

^[72] Water UK, 'Net Zero 2030 Routemap: Summary for Policymakers', 2020.

^[73] World Resources Institute, Rogier van den Berg, Betsy Otto and Akililu Fikresilassie. '[As Cities Grow Across Africa, they must plan for water security](#)', 2021 [Online].

^[74] Focus group discussion with INFONAVIT Mexico. 27 May 202.

^[75] Kavita Wankhade's presentation at the 50L Home session in the WBCSD LD Meeting Conference (24 May 2021).

^[76] Eliquo Hydrok, '[Syphon flush automatic sewer flushing system](#)', Envriopro, 2021. [Online].

^[77] Fluence, '[Israel leads world in water recycling](#)', 2020 [Online].

^[78] Arup, '[The City Water Resilience Approach](#)', 2019 [Online].

^[79] Global Water Intelligence, '[The Global Water Tariff Survey](#)', 2018 [Online].

^[80] Hydraloop, '[Use Cases](#)', 2019 [Online].

^[81] Global Water Forum, '[NEWater in Singapore](#)', 2018 [Online].

图片来源

封面：50升水家庭

第4页：50升水家庭

第6页：Linus Nylund在Unsplash上的摄影作品

第9页：Emmanuel Nalli / Shutterstock.com

第12页：Greg Brave / Shutterstock.com

第17页：纳米比亚温特和克。Alexanderstock23 / Shutterstock.com

第20页：南非开普敦。Chadoflask / Shutterstock.com

第24页：Jerry Wang在Unsplash上的摄影作品

第26页：印度新德里。Abhisheklegit / Shutterstock.com

第28页：Isla Urbana

第30页：美国亚利桑那州。CactusPilot / Shutterstock.com

第41页：Andrew M Oura, Unsplash

第43页：Steve Johnson, Unsplash

第45页：Misae L Garcia, Unsplash

50升水家庭节水联盟
循环水未来

2021年6月