

联合国世界水发展报告

摘要

废水 未开发的资源



联合国教育、
科学及文化组织



世界
水评估计划



除了最发达国家，其他国家大部分的废水都是未经适当处理直接排放进入自然环境中

使用水资源的大部分人类活动都会产生废水。随着对水资源的总体需求不断加大，产生的废水总量和其中的污染物质也在全球范围内不断增长。

除了最发达国家，其他国家大部分的废水都是未经适当处理直接排放进入自然环境中，对人类健康、经济生产力、淡水水质和生态系统都造成了恶性影响。

尽管废水是水资源管理中关键的环节，但是人们往往视用过的水为负担，随手弃之，或厌恶它，选择视而不见。然而这些忽视造成的后果确是显而易见的。那些最直接的影响，包括生态系统退化和被污染的淡水水源引发水生疾病等，对社区的福祉和人类的生计将造成深远的影响。人类长期忽视废水的治理导致了重要的社会和环境问题，将会使我们为实现2030年可持续发展议程所付出的努力付之东流。

随着对水的需求的不断增长，人们逐渐意识到废水可以成为稳定的水源，要将废水管理模式从“处理和丢弃”转为“再利用、循环和资源回收”。废水已不再是个亟需解决方案的问题，而成为了人类社会应对挑战的行动之一。

废水还可以经济有效、可持续地产出能源、营养物和其他有用的副产品。从废水中提取资源不仅有益于人类和环境的健康，还有利于实现粮食和能源安全，以及减缓气候变化。发展循环经济时要平衡经济发展、自然资源保护和环境可持续，而废水就是可以被广泛开发利用的珍贵资源。

如果我们现在开始采取行动，毫无疑问，它的前景是光明的。

世界上的水：水量和水质

预计未来几十年全球对水资源的需求将显著提高。农业消耗了超过70%的水资源，此外工业和能源生产对水资源的需求也将大幅攀升。快速的城镇化，以及城市供水和卫生系统的扩张也需要大量的水。

气候变化情景分析预测，水循环变化将使水资源在时间和空间上分配更加不均，水资源供给之间的矛盾将进一步加大。世界范围内，很多流域发生洪水和干旱灾害的频率和严重程度将发生变化。干旱会造成严重的社会经济和环境影响。纵观众多因素，叙利亚危机便是由历史性的干旱（2007-2010）触发的。

全球2/3的人口目前居住的地区每年都将经历至少长达1个月的干旱。约5亿人口所在地区的水资源消耗量超过了当地可再生的水资源总量。高度脆弱地区的非再生资源（如化石地下水）不断减少，这些

地区已经高度依赖从水资源富集的地区引水或积极寻找其他经济上负担得起的替代水源。

水资源的可利用量还与水质紧密相关，当水源受到污染，各种用水户的需求都无法得到满足。未经处理的城市污水、农田径流和未充分处理的工业废水的排放日益增加，导致世界各地的水质持续恶化。如果这样的趋势持续下去，未来数十年水质将继续恶化，尤其是在那些干旱的资源贫乏国家，将威胁人类和生态系统的健康，引发缺水，并阻碍经济可持续发展。



废水：全球趋势

平均看来，高收入国家70%的城市和工业废水得到了处理，而处理率在中高收入国家和中低收入国家仅为38%和28%。在低收入国家，仅8%的废水得到了处理。这些数字得到的结论如今经常被引用，那就是全球约80%的废水未经处理就直接排放了。

在高收入国家，加强废水处理的动力要么是维持环境质量，要么作为替代水源应对缺水危机。然而，排放未经处理的废水仍然是人们的习惯做法，尤其是发展中国家，因为这些国家缺乏基础设施、技术和体制能力，以及足够的投资。

废水、卫生、人类健康和可持续发展议程

获得改善的卫生设施可以显著地减少健康风险，而加强废水处理可以进一步提高健康收益。自1990年以来，21亿人获得了改善的卫生设施，还有24亿人得不到改善的卫生设施，将近10亿人仍然随地排泄。2012年，中低收入国家共有约842,000人因污染的饮用水、不充足的洗手设施，以及不合适或不充足的卫生设施等原因死亡。

然而，卫生设施获得率不等同于改善废水管理或公众安全。目前只有26%的城市和34%的农村卫生和废水处理设施得到了安全管理，有效阻止人们在整个卫生链中接触排泄物。

在千年发展目标实施的经验基础上，2030年可持续发展议程设置了更加全面的水目标，而不仅仅是供水和卫生。目标6.3指出，到2030年，通过以下方式改善水质：减少污染，消除倾倒废物现象，把危险化学品和材料的排放

减少到最低限度，将未经处理废水比例减半，大幅增加全球废物回收及其安全再利用。低收入和中低收入国家的废水处理率极低，这表明需要通过低成本的解决方案和安全的水资源再利用方法来实施目标6.3，而这关乎2030年可持续发展议程能否成功实现。



治理挑战



对社会、公众健康和环境而言，管理人类垃圾收益巨大。在卫生服务方面每投资1美元，社会可以得到5.5美元的收益。

克服水质规定实施过程中的现实困难对公共部门而言尤其具有挑战性。为了改善水质和保护水资源，负责废水管理各个方面的个人和机构需要遵从和满足集体利益。只有当所有人都遵守规则，确保水资源不被污染，才可能获得收益。

在各个层面推动公众参与政策制定可以提升公众参与度，提高主人翁意识。这包括选取适合和实用的卫生设施，确保资金到位，并长期维护设施。加强边缘群体、少数民族、极度贫困人口、边远地区人口、居住在城市非正式定居点人口的参与特别重要。尤其要加强女性的参与，因为当人类废物管理不善时，她们的健康首当其冲受到影响。

废水管理周期的技术现状



废水大概99%为水，1%是悬浮质、胶质和溶解物质。

排放未处理或未适当处理的废水会有三种后果：1) 危害人类健康，2) 对环境造成负面影响，3) 对经济活动造成不良影响。

以循环方式控制和调节各种废水是改善废水管理的最终目标。废水管理周期主要分为以下四个阶段：

1 避免或减少源头的污染

相比传统的末端治理，水污染控制应优先考虑预防和减少废水。这包括禁止和控制特定污染物质的使用，通过管理、技术和其他手段，彻底消除或限制污染物进入废水。治理污染地区和污染水体的补救措施远比预防污染的成本要高。

监测和预报向大自然和周边水体排放污染物的行为是改善废水管理的必要措施。如果没有监测，就无法

给问题定性，政策的有效性也无法衡量。

2 废水收集和处理

集中处理涉水废物一直是改善卫生和处理生活、商业、工业废水最通行的做法。全球大概60%的人的排泄废物进入了排污系统。其他做法，如现场系统，就非常适合农村地区和人口不密集的地区，但在人口密集的城市使用就很昂贵和困难。

可能以后在很多国家，大型废水集中处理系统都不再是最佳的城市废水处理方案。适合个人或小群体的分散式废水处理系统目前在全球呈现增长趋势。这种处理方式使得营养和能量回收更便捷，节约了淡水，人们在干旱季节的用水也能得到保障。建设这些处理设施的投资大概是传统水处理厂的20%~25%，而且运行和维护成本更低（大概是传统活性污泥处理厂的5%~25%）。

低成本的排污系统已经成为各收入阶层社区修建卫生设施的选择之一。它们和传统的排污系统设计理念不同，更注重将固体污物与系统中的污水分离。这种系统非常适合社区管理，扩大现有规模非常方便，将分散的系统连接到集中处理系统中也非常便捷。这种系统在难民营曾被使用，缺点就是不适合排放雨水。

生态系统可以有效提供经济的废水处理服务。当然，这个生态系统必须是健康的，其中承载的污染物（以及污染物的特性）可以被调节，而且生态系统的纳污能力也不能超限。生态系统环境容量是有限的，如果超限，将会威胁到生态系统，使其不能再承担净化环境的作用。

3 将废水作为替代水源

几个世纪以来，人们使用未处理或稀释的废水进行灌溉。回收后的水为工业和城市提供了可持续、稳定的水资源，尤其是现在愈加多的城市都依赖远距离调水或其他水源满足用水需求。

总体来说，如果水资源再利用的目的是为了满足生产需求，水资源再利用在经济上会更合算。处理后的废水水质满足使用者的要求（如量身定制的水处理）可以提高成本回收率。当淡水价格反映了淡水的机会成本、排污费考虑了废水处理的成本时，废水利用将会更具竞争力。

利用处理或半处理的废水来提供生态服务可以增加资源有效利用率，减少淡水的利用量、循环和再利用营养物、通过减少水污染发展渔业和其他水生生态系统，以及回补含水层等对生态系统大有裨益。

4 重获有用的副产品

废水作为能源、营养物等资源来源的巨大潜力远远未得到开发。

通过沼气、加热/制冷和发电等方式可以获得能源。废水处理厂的污泥和生物固体处理技术可以现场回收能量，使得废水处理厂从主要的能源消耗者实现能源平衡，甚至成为能源生产者。能源回收还可以减少运行成本和碳足迹，通过碳信用额和碳交易增加收益。能源和营养物的联合回收也是可以办到的。非现场能量回收方式包括在集中处理厂通过热处理焚烧污泥。

从废水或污水污泥中回收氮和磷的技术也在不断发展。无论从技术还是投资上看，从化粪池和公厕等现场回收磷都是可行的，可以直接将化粪池污泥转变为有机或有机矿物肥料。此外，粪便污泥与污水生物固体相比，风险性或化学污染率都更低。

尿液收集和利用很可能将很快成为生态废水管理的重要组成部分，因为尿液中的氮和磷分别占人类排泄物中的氮和磷的88%和66%，而氮和磷对作物生长至关重要。未来数十年可开采的矿物磷资源将日渐稀缺，甚至枯竭，从废水中回收氮和磷具有现实性和可操作性。



城市废水

发展循环经济
时要平衡经济发
展、自然资源
保护和环境可持
续，而废水就是
可以被广泛开发
利用的珍贵资源

城市废水的组成差异很大，因为其中的物质是由各种生活、工业、商务和机构排放的。生活废水通常不含有毒物质，但是目前人们越来越关注生活废水中残留的药物，即便含量很低，也可能造成长期的影响。

工业化进程的加快带来了很多挑战，包括城市废水的激增。然而，这种增长也蕴涵着机遇，我们可以抛弃过去的（不合适）水管理方式，采用创新手段，包括利用处理过的废水和副产品。

在发展中国家，非正式聚居点（贫民窟）不断扩大带来最重要的挑战之一便是废水。与2000年相比，2012年贫民窟人口更多，而且预计未来还将增加。贫民窟的居民总是使用无污水设施的公共厕所，在露天排泄或抛扔装在塑料袋子中的粪便（即飞行厕所）。由于缺水、维护困难、收费等原因，公共厕所还未广泛使用。对女性而言，寻找到合适的地方如厕尤其困难，她们的个人安全难以保障，如厕时非常尴尬，也难以保证卫生。



“ 废水再利用可以为废水处理增加收入来源，尤其是对于经常性或长期被缺水困扰的地区（……）营养物质（主要是磷和氮）和能源的回收可以带来显著的收益，增加成本回收

工业

与废水量造成的危害相比，工业污染物因为毒性、流动性和含量等因素，可能对水资源、人类健康和环境的危害更大。从理念到设计，从运行到维护，第一步就是要在源头将污染物的排放量和毒性降到最低。这包括选用对环境更加友好的原材料，还有可生物降解的化学品，以及加强员工教育和培训，以更好地应对污染事件。第二步就是要尽可能在工厂内循环再利用水，最大化的减少排放。

中小企业和非正式的行业往往将废水排放到城市管道或直接排污入大自然。将废物排入城市管道或地表水的企业都必须遵守排放规定，否则须缴纳罚款。现在很多排污口都会安装污染物处理装置。然而，有时企业会发现交罚款比安装处理装置更便宜。

有一个值得注意的机遇是，企业互助合作可以实现工业废水利用和循环。在毗邻的生态工业园区，这种合作能够很好的利用各种废水、水资源和副产品。对中小企业而言，这无疑能有效地减少废水处理成本。



除了加强粮食安全，农业用途的水资源再利用对改善营养状况等也大有裨益

农业

过去50年，灌溉面积已经翻倍，畜牧业增长了两倍多，内陆水产业有超过二十倍的增长。

作物种植中大量使用化肥（营养物）和其他农业化学品，当所施肥料远远超过作物的吸收能力时，或当肥料被水冲刷时，会造成水污染。高效的灌溉可以显著减少水和化肥的流失。畜牧业和水产业还会排放营养物。

农业会排放许多其他形式的污染物，包括有机物、病原体、金属和其他新出现的污染物。过去20年间，新的农业污染物不断出现，畜牧业和水产业可能排放抗生素、疫苗、生长促进剂和荷尔蒙。

生活废水经有效处理和安全使用，可以提供宝贵的水资源和营养物。除了加强粮食安全，农业用途的水资源再利用对改善营养状况等也大有裨益。在中东、北非、澳大利亚、地中海地区、中国、墨西哥和美国，城市废水再利用非常普遍。在城市和城市边缘地区，废水再利用非常成功，因为废水免费，很容易收集，而且城市附近往往有农产品市场。

区域层面的考虑

非洲最主要的废水挑战之一就是缺乏收集和处理废水的基础设施，这使得废水污染了有限的地表水和地下水。非洲城市发展很快，现有的水管理系统已经无法满足日益增长的需求。然而，现状也意味着城市废水管理有很大机遇，可以应用多用途技术再利用水资源，并回收有用的副产品。通过大力开展宣传活动，才能使政策制定者理解在社会经济发展、环境质量和人类健康管理方面存在“不作为的成本”。

利用安全处理后的废水已经成为许多阿拉伯国家增加水资源的手段之一，并成为水资源管理规划中的重要组成部分。2013年，阿拉伯国家收集的73%的废水得到了安全处理，其中21%的处理水主要用于灌溉和地下水回补。水资源综合管理和水—能源—粮食—气候变化纽带管理方式提供了一个框架，使我们思考如何通过改善废水收集、运输、处理和利用，实现阿拉伯地区的水安全。

生活废水的副产品，如盐、氮和磷都蕴含着经济价值，可以改善亚太地区人们的生活。东南亚地区的案例研究表明，处理废水的副产品（如化肥）的经济效益远远大于生产成本，这证明从废水回收资源是可行并能产生效益的商业模式。我们需要进一步支持城市和地方政府更好地管理城市废水，并利用好这个资源。

欧洲和北美改善的卫生设施覆盖率非常高（95%），废水处理程度在过去15-20年也有提高。尽管三级处理已逐渐增多，但仍有大量被收集的废水未经处理就排放了，尤其是在东欧。人口和经济变化使得部分较大的集中处理系统运行不尽如人意，比如前苏联境内就有部分超大、未根据现

实变化调整的处理系统。这块地区的很多城市都面临维修和更换老化基础设施带来的投资压力。

拉丁美洲和加勒比地区的城市废水处理覆盖率自1990年以来几乎增长了一倍，目前预计城市污水系统收集了大概20%~30%的废水。这个成绩的主要原因得益于水和卫生普及率不断增长、许多服务提供商的财务状况改善（近几年成本回收情况取得进展），以及过去10年该地区经济社会快速发展。另外一个重要因素就是该地区经济融入了国际市场。处理后的废水可以为许多城市提供水资源，尤其是位于干旱地区的城市（如利马）或需要通过修建长距离调水工程满足用水需求，特别是满足干旱季节用水需求的城市（如圣保罗）。



创造有利环境，促成变革

废水处理的改进、水资源再利用程度的提高和有用副产品的使用，可以减少生产和经济活动中水资源的开采量和资源的流失，支持循环经济转型。

适当的法律和规章架构

有效的管理框架要求执行机构拥有必要的技术和管理能力，能独立开展工作，拥有权力强制执行相关规定和指导方针。信息如果公开，而且获取信息便利，可以提高公众对规定实施和强制执行的信任度，提高达标率。政府应采取灵活和渐进的方式才能取得进展。

政策和管理工具若要在地方实施，就需要因地制宜。因此，“自下而上”的模式和小型的地方（分散式）废水管理服务需要获得政策、机制和资金支持。

水资源再利用和废水副产品利用等也需要新规定来规范。现在关于相关产品质量的法规很有限或缺失，市场的不确定性会抑制投资。投资和法律激励措施可以鼓励和培育相关产品市场（如强制要求在人工化肥中添加回收的磷）。

成本回收和适当的融资机制

废水管理和卫生经常被视为昂贵和投资密集的产业。大型的集中处理系统确实如此，它们往往需要大量的前期投资，中长期也需要相对高昂的运行和维护费用，以避免系统快速退化。如果机制建设和人力资源发展长期缺乏投资，这个问题还会更严重。然而，废水管理如果缺乏投资，造成的损失会更大，尤其对健康、社会经济发展和环境将会造成直接和间接的巨大损害。

分散式废水处理系统可以消减投资集中处理系统的资金压力。如果设计和建设合理，这种低成本的技术可以提供令人满意的出水水质，当然运行和维护水准不能过低，以免系统故障或失灵。

废水再利用可以为废水处理增加收入来源，尤其是经常性或长期被缺水困扰的地区。很多不同的商业模式都在实施，并证实成本和效益可以回收。然而，售卖处理后的废水的收益无法维持水处理厂的运行和维护。营养物质（主要是磷和氮）和能源的回收可以带来显著收益，增加成本回收。

尽管废水利用和资源回收的收益可能不够支付额外的成本，但水资源再利用的效益可能比通过修建大坝、海水淡化、跨流域调水和通过其他方式增加水资源可利用量的效益要高。

即便方便到打开水龙头即可出水，自来水的价值总体来说是低估了，与成本相比，价格也偏低了。只有当经处理的废水价格比自来水还低，公众才会接受废水再利用。只有将各种渠道的水资源按照成本进行准确地定价，才能鼓励投资，并使社会上每个人，包括穷人，都可以获得负担得起的服务。

最大限度的减少对人类和环境的危害

未经处理的废水直接排放会严重影响人类和环境健康，包括食品、水等媒介所致疾病的爆发、水污染、生态多样性的损失和生态系统服务的弱化。当弱势群体，尤其是妇女和儿童接触到部分处理或未处理的废水时，需要特别的关注。尤其是在发展中国家，因为贫困和教育程度低的原因，弱势群体对废水利用对健康造成的危害知之甚少，这将进一步加剧风险。



无论何时，如果人类可能受到废水的危害（比如通过食品或直接接触的方式），就需要采取更严苛的风险管理手段。

知识和能力建设

废水产生、处理和利用的相关数据和信息对政策制定者、研究人员、从业机构和公共机构非常重要，有了数据和信息才可以制定国家和地方行动方案，保护环境，安全地实现废水的生产性利用。废水量以及废水成分的相关知识是保护人类和环境的健康和安全的必要信息。然而，国际社会，尤其是发展中国家普遍缺乏水质和废水管理方面的数据。

无论是新旧技术，只要是合适的、负担得起的都应该转让给发展中国家。需要开展研究增进国际社会对新兴污染物的认识，完善消除废水污染物的方法。此外，有必要进一步理解诸如气候变化等外部因素是如何影响废水管理的。

为了加强废水管理，有必要确保相应的能力建设到位。废水管理行业的组织和机构能力有时候很不足，会使得大型集中污水管理系统或是小型、现场处理系统的投资面临困境。

提高公众意识和 社会认可

即便污水利用工程在技术上设计合理，投资可以到位，适当的安全措施已经被考虑，如果没有充分考虑社会的认可和接受程度，水资源再利用项目也可能流产。由于对健康危险的认知不够，相关信任不足，废水利用总是面临强大的公众阻力。提高公众认识，加强公众教育是克服社会、文化和用户障碍的主要手段。这种提高公众认识的活动需因地制宜，根据用户的文化和宗教背景调整。

我们需要对水资源再利用对健康的影响进行评估、管理、监控，并定期报告，以获得公众的认可，将废水再利用的效益最大化，将负面影响最小化。在饮用水（自来水再利用）方面，我们需要深入开展信息传播活动，使公众对系统建立信任，不再对此产生厌恶的情绪。

结语

未来世界对淡水的需求不断增加。然而，水资源是有限的，过度开采、污染、气候变化还会带来巨大挑战。当社会大力提倡循环经济时，不可以忽视改善废水管理带来的巨大机遇。

世界水评估计划 | 理查德·康纳、斯蒂芬·乌伦贝克、恩金·科恩卡古尔、
安吉拉·勒娜特·科代罗·奥蒂加拉

本报告由世界水评估计划代表联合国水计划编写

此次翻译得到了中国水利水电出版社和联合国教科文组织驻华代表处的宝贵支持

图片版权

封面图片：清理沉淀物—利用生物净化水体 ©Kekyalaynen/Shutterstock.com
第3页：初级沉淀池，污水流经大型储水池 ©Kekyalaynen/Shutterstock.com
第4页：（上一张照片）：在乌干达举行可持续发展区域会议
©FAO/Matthias Mugisha flickr.com CC BY-NC 2.0
第4页：（下一张照片）：在工厂中处理废水 ©FotoBug11/Shutterstock.com
第6页：泰国Klong Ong Ang运河中的废水 © John Kasawa/Shutterstock.com
第7页：优化水资源再利用，提高用水效率© Nestlé flickr.com CC BY-NC-ND 2.0
第8页：泰国灌溉系统 © Kosin Sukhum/Shutterstock.com
第10页：德国汉堡艾伦特斯桥 © Boris Stroujko/Shutterstock.com

联合国世界水评估计划
全球水评估计划项目办公室
联合国教科文组织水科学分部
意大利佩鲁贾克伦贝拉06134
邮件：wwap@unesco.org

网站：<http://www.unesco.org/water/wwap>
我们感谢意大利政府和翁布里亚省政府
提供的资金支持



Regione Umbria

