

第十七章 脱碳政策和水务行业的机会

Jason A. Turgeon^{1*}, Steven A. Conrad² and Peter A. Vanrolleghem³

¹United States Environmental Protection Agency, Boston, MA, USA

²Colorado State University, Fort Collins, CO, USA

³Université Laval, Quebec, QC, Canada

*Correspondence: turgeon.jason@epa.gov

17.1 引言

水务行业在大部分经济体中都占据着重要地位。该行业包括饮用水、污水处理/水资源回收和雨水管理，受到各种政策的推动，其中最重要的是保护水质和人类健康的监管任务。然而，许多其他类型的政策也会影响该行业，这些政策包括出于社会公平或经济发展的原因保持低价（通常低于真实的水成本）的指示、纳入使地方政府更可持续发展的努力，以及努力使基本服务对自然灾害、流行病和安全威胁有更强的抵御能力。

在本章中，我们将讨论影响水务行业脱碳努力的一些政策和政策响应，并研究其如何应对有时相互竞争或相互冲突的政策要求。对政策制定范围和规模的认知因读者在整个过程中的参与程度不同而存在很大差异，因此我们在编写本章时考虑了以下读者群：有些读者可能参与了政策制定，但不是来自工程背景。其他读者可能是工程师或科学家，他们试图在供水设施的设计和运营中响应政策指令。无论读者是从政策制定的角度还是从实践的角度来理解本章，我们都希望在本章中传达一些核心观点。这些观点之间的统一主线是尽可能寻求多重效益。本章讨论的其他政策中“脱碳”是共同收益。政策指令网络要求采用一种综合的资源管理方法。

17.2 核心观点

17.2.1 观点 1: 在国家或全球政策范围内, 水务行业的能源使用相对较少, 但污水处理中包含的其他资源值得考虑

几乎只要有水务行业存在, 其能源使用就一直是个问题。在水泵和电动机使输水变得容易之前的时代, 罗马、伊斯坦布尔和其他地方的早期工程师们不遗余力地创建了精心设计的水渠系统, 仅靠重力就能将淡水输送到数百英里之外, 并设计了污水收集系统, 该系统能通过重力将污水和雨水排出。即使在工业时代的早期, 蒸汽驱动的泵送系统和活性污泥处理的初级曝气系统也被认为是巨大的能源消耗。

在美国, 1972年10月通过了《清洁水法》, 紧接着1973年7月, 一份题为《城市污水处理的电力消耗》的报告表明, 城市污水处理的电力消耗约为居民消耗的1%, 随着更多处理厂的建成, 预计消耗量将翻倍, 三级处理设施的消耗量将进一步增加40-50%(Smith, 1973)。四十年后, 在建造了数千个新的公用处理设施后, 其中很大一部分能耗都用于三级处理。电力研究所(EPRI)对该行业进行了调查, 发现城市污水处理约占美国的总电力需求的0.8% (饮用水处理和分配占额外的1%) (EPRI/WRF, 2013)。2012年美国公共供水和处理以及市政污水处理的总能源消耗分别为392和302亿千瓦时(29.2和30.2 TWh), 约占美国总用电量的1.85%(EPRI/WRF, 2013)。虽然在这两份报告发布之间的几十年里, 水务行业的用电量确实在攀升, 但其他行业能源使用的增加, 再加上水务行业节能工作的开展, 使水务行业的总用电量占比保持在相对较低的水平。在全球层面, 国际能源署(IEA)预估水和污水处理服务的电力消耗占世界电力需求的4%, 部分原因是在缺乏可靠淡水供应的地区抽取地下水和进行海水淡化(IEA, 2016)。

虽然这些数字可能很大, 但在一次能源使用的总体背景下, 它们仍然是很小的。一次能源使用包括发电所需的燃料消耗, 包括化石燃料发电中损失的热量、传输损耗, 还包括工业热能、空间热能、水热能和各种交通运输燃料。根据美国ARPA-E计划的合同, Saul Griffith将EPRI的估计值转换为一次能源, 作为他详细描述美国能源流动的“超级桑基”图的一部分。在这个规模上, 能源使用以“夸特”或千万亿BTUs衡量, 美国所有经济活动大约每年使用100夸特。其

中，市政用水占0.13夸特，污水占0.1夸特(Otherlab, 2018)。虽然大数定律表明，即使四分之一夸特也是一个惊人的能量量，但考虑到美国整体能源使用的规模，可能很难说服政策制定者将注意力集中在水务行业。

如果关于脱碳的讨论仍然集中在电力设施层面上，这将使水务行业陷于困境。相对于许多消费者而言，饮用水和水资源回收设施使用大量电力，对环境产生了真实且可计量的影响。在许多城市，水和污水处理设施是最大的电力用户(USEPA, 2021b)。然而，在州、国家以及国际能源和脱碳政策决策的背景下，水务行业使用的一次能源数量太少，不足以驱动制定具体的行业政策。

政策制定者和公共事业管理者需要考虑大局。如果目标是经济范围内的脱碳和环境保护，那么最优方法可能不会促使每个水资源回收设施都成为拥有自己复杂和资本密集型分布式电力系统的净零能源生产者。我们并不是建议水务公司的管理者和政策制定者满足于只是坐等电网脱碳。至少，无论电网发生什么情况，政策和运营都应继续强调在能源效率方面的重大努力，包括突破性技术和方法，以大幅减少能源使用。已有的大型城市供水和污水处理系统可能已经实现足够的规模经济，以经济高效地继续追求现场可再生能源生产。然而，随着公用事业规模的可再生能源价格急剧下降，现在在许多地区，建设新的太阳能发电站比运营现有的燃煤电厂更具成本效益(IRENA, 2019)。在可预见的未来，许多国家的电网可能能够以足够低的价格提供足够数量的无碳电力，从而实现水务行业的电力使用脱碳。

然而，水资源回收设施提供了除电力以外的其他脱碳途径：有机碳资源可用于替代化石燃料供暖、车辆燃料或商品化学品；可回收养分可以用于替代能源密集型硝酸盐肥料或有限来源的磷肥；大量可回收热源可以用于区域供热，远远超出处理厂的范围；以及可回收水。这些资源，尤其是当与来自其他行业（如食品和饮料生产商、农业，甚至数据中心的废热）的类似“废物”流（也充满可回收资源）相辅相成时，可能确实对社会具有足够的价值，值得制定政策以鼓励其回收和再利用。

为了使污水处理行业完全脱碳，仅核算电力使用是不够的。核算必须包括 N_2O 排放和逃逸性甲烷（ CH_4 ）排放，以及范围2和3排放，例如化学品消耗和用于运输污泥进行异地处置的燃料。Water UK进行的此类核算的一个示例如下图17.1所示。为了解决这些其他的排放源，决策者需要寻求合

作，考虑超越现场发电的方式，并提供共同利益。通过扩大工作范围，水务行业可以在脱碳方面发挥重要作用，其范围远远超出仅受电力影响的领域。水务行业非电力脱碳的一个例子是利用生物固体中的生物碳资源。当前的最佳做法是利用厌氧消化来转化大约50%的碳到沼气，然后必须经过多个清洁步骤才能用作化石天然气的替代品。清洁后的气体可用于供暖燃料、热电联产燃料、压缩天然气汽车燃料，或作为“可再生天然气”注入天然气管网，最终用途决定了所要采用的清洁处理工艺。生物固体通常与其他湿原料（如动物粪便或食物垃圾）共同消化，以通过额外的能源生产和“倾倒地”来促进经济，倾倒地是消化器运营商接收外部废物的报酬。。鉴于目前天然气价格低廉、对逃逸性甲烷排放有关问题的担忧、只有一半的资源转化为能源的事实，以及与厌氧消化、气体净化和现场发电相关的高资本和运营成本，许多公用事业公司发现，即使有共同消化和倾倒地收入，这种途径也根本没有成本效益。甚至在有强大的政策支持消化和能源价格相对较高的地区，如马萨诸塞州（美国），情况也是如此。

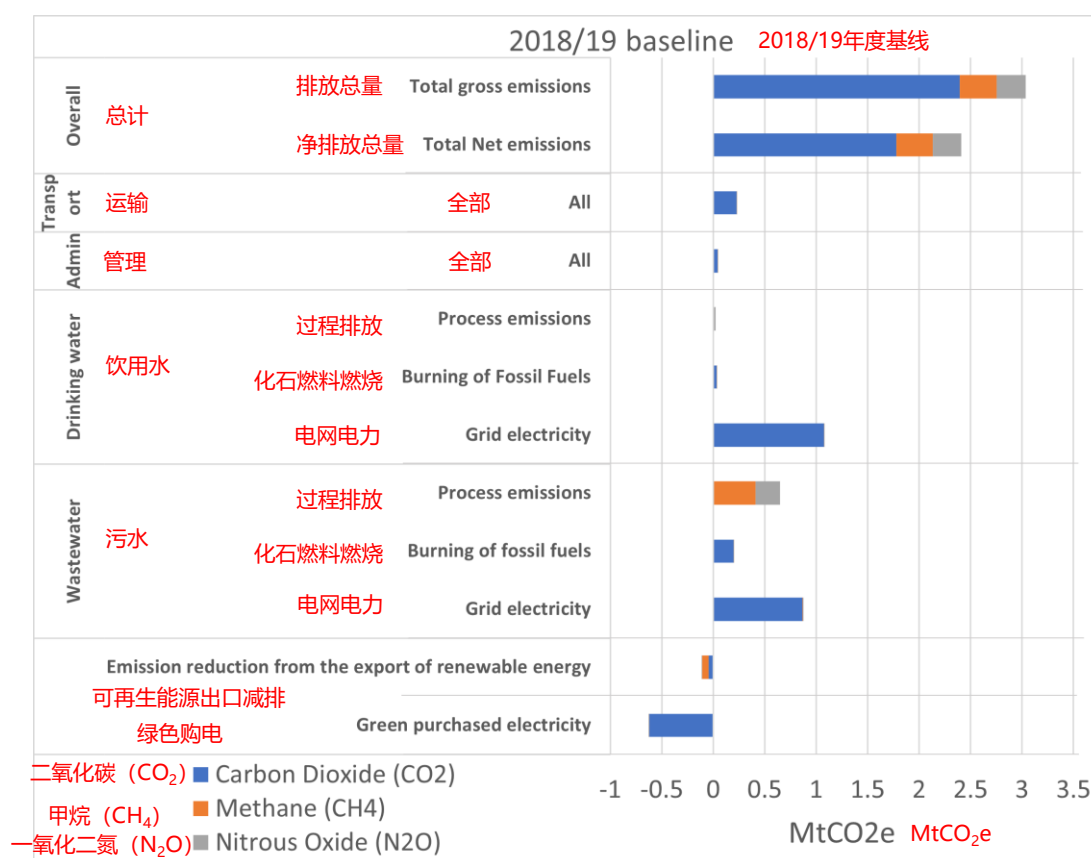


图 17.1 转载自 Water UK 2030 年净零路线图，经许可出版(Water UK, 2020)

在未来，电网上有充足的可再生电力，而人们对逃逸性排放的担忧也在增加，一些行业观察人士建议，比专门的沼气生产的政策激励更好的途径是寻找将碳转化为更有价值的最终产品的技术。目前正在开发各种各样的技术，从阻止产甲烷到生产可再生商品化学构件，围绕这些构件可以建造生物精炼厂(Bhatt et al., 2020)，再到水热液化(Chen, 2020)。本章不对这些技术进行详细讨论，但最成功的政策将是那些鼓励最大限度和最好地利用碳供应的政策，无论原料(生物固体、粪便或食物垃圾)如何，也无论用何种技术回收能源。

另一方面，许多专家认为，鉴于美国现有的数千个沼气池以及该行业积累的深厚技术专长，沼气设施(包括污水沼气池、独立的食物垃圾沼气池、粪便沼气池和共同消化这些原料的设施)应该有他们自己的政策。水研究基金会最近的研究表明，人们越来越关注沼气政策和法规，虽然对于太阳能来说有多个市场条目，但污水处理行业代表了潜在沼气能源市场的重要部分(Kenway et al., 2019)。由于人们熟悉这项技术，沼气资源回收项目更有可能取得进展。此外，行业特定资源的管理不仅有利于能源生产，而且可以减少整个系统的碳排放。这些都是合理的政策差异，正确的答案可能很简单，即对双方实施沼气和开发新技术(如阻止产甲烷或水热液化)的激励措施。从大局来看，真正重要的是这些湿碳原料被捕获并用于抵消化石燃料。

17.2.2 观点 2：没有一项强制全球水务行业脱碳的总体政策

政策制定者和水务行业专业人士经常努力制定和响应鼓励脱碳或寻找其替代品、减少化石能源使用的政策。这并不是因为缺少努力。2019年，水研究基金会调查了“供水和污水处理设施的再生和分布式能源开发的机会和障碍”。如图17.2所示，仅在美国就有数十项政策试图以某种方式影响水务行业的能源使用。然而，所产生的政策矩阵复杂得令人眼花缭乱，在正常的印刷规模下确实难以辨认，远远没有刺激行业在供水和污水处理设施中广泛采用低成本的现场可再生能源发电。

在图17.3中，政策网络的放大部分(在上面的红框中突出显示)进一步说明了复杂的政策格局。

面对如此复杂的能源政策环境，能源政策是以保护公共健康和环境的监管

任务为基础的，而地方政策的目的是出于各种原因保持低的供水/下水道排放费率，，尽管政策制定者和水务行业非政府组织几十年来一直关注能源使用，但水务行业的现场分布式可再生能源使用量仍然很低，这不足为奇。

(其中，图17.2右上的图例翻译如下：Legend: 图例；AE-奥斯汀能源；AEL-替代能源法；BRCBPP-生物炼制，可再生化学品和生物产品制造援助计划；BCC-贝灵厄姆市议会；BUB-沼气的有益利用；CAP-气候行动计划；CEP-清洁能源计划；CEPRA-清洁能源&减污行动；CoB-博尔德市；CoP-波特兰市；CoV-温哥华市；CPSE-(圣安东尼奥)城市公共服务能源；CSU-科罗拉多泉市公共事业公司；DERPA-DER计划法案；DOS-丹佛可持续发展办公室；EERS-能源效率资源标准；ENO-能源新奥尔良；ERP-电力资源计划；EIRP-电力综合资源计划；FE-法明顿电气公司；GME-绿色山地能源(TX)；GPP-绿色电力采购；IS-互连标准；ISSG-小型发电机互联标准；LADWP-洛杉矶水电部；L.L.-当地法律；MUGPO-强制性公用事业绿色电力选择；NEM-净能量计量；PEC-投资组合能源信贷；PIRP-电力综合资源计划；PNGC-太平洋西北发电合作社；PSC-科罗拉多州公共服务公司(埃克西尔能源)；PUCT-德克萨斯州公共事业委员会；PUCN-内华达州公共事业委员会；RE-可再生能源；REG-可再生能源目标；REP-可再生能源计划；RES-可再生能源标准；RPE-可再生能源投资组合标准；RRP-可再生能源计划；RRCEO-可再生、循环和节约能源目标；SBC-圣贝纳迪诺国家；SEDS-太阳能开发标准；SGIP-自我激励计划；SGP-智能电网项目；SWOB-固体有机废物细则；URL-普遍回收法；USSI-公用事业规模太阳能激励。)

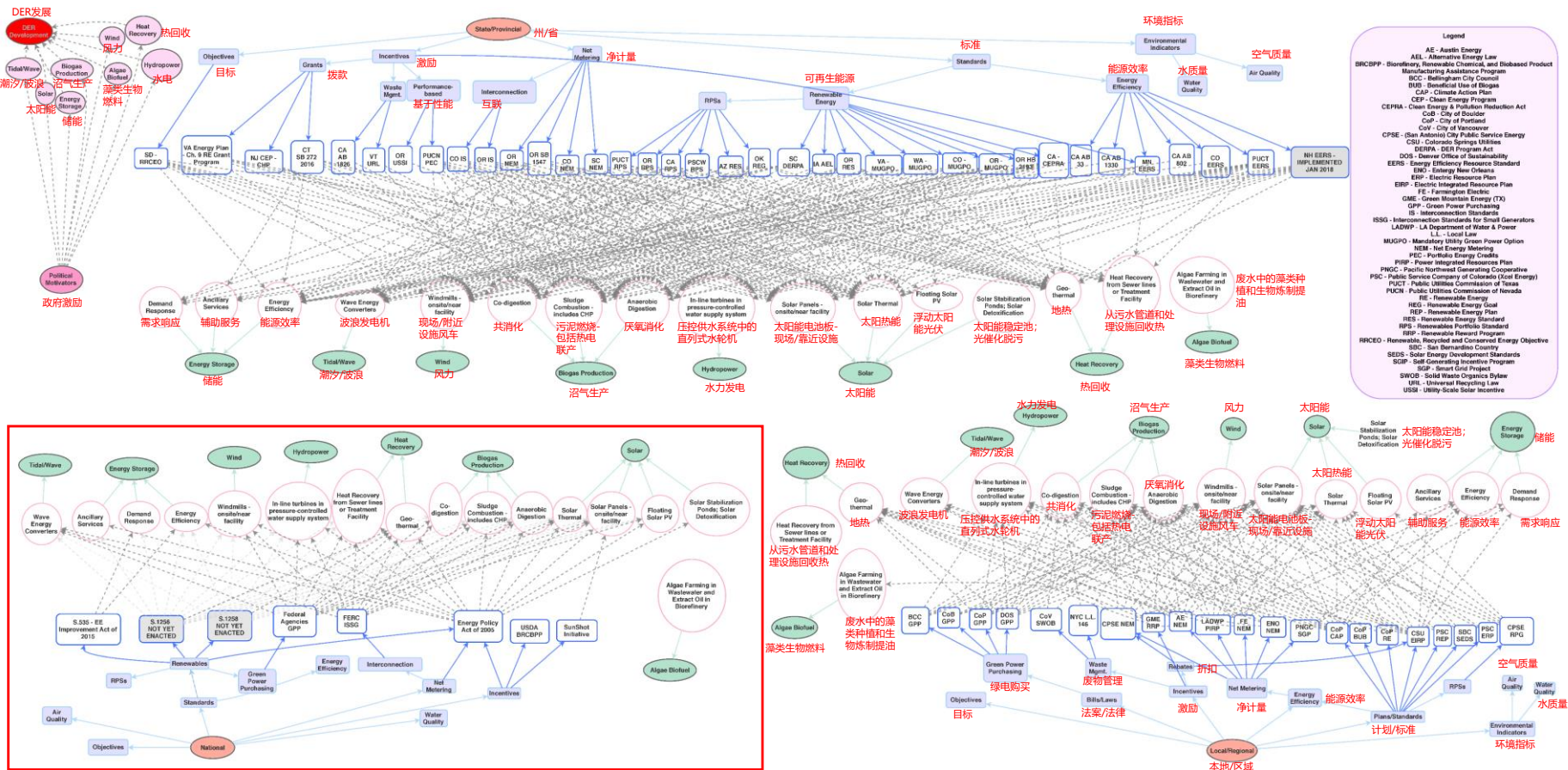


图 17.2 适用于水和污水处理设施的分布式能源资源回收和可再生能源监管驱动因素的可视化概览, <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24472.01286>。经许可转载(Kenway et al., 2019)

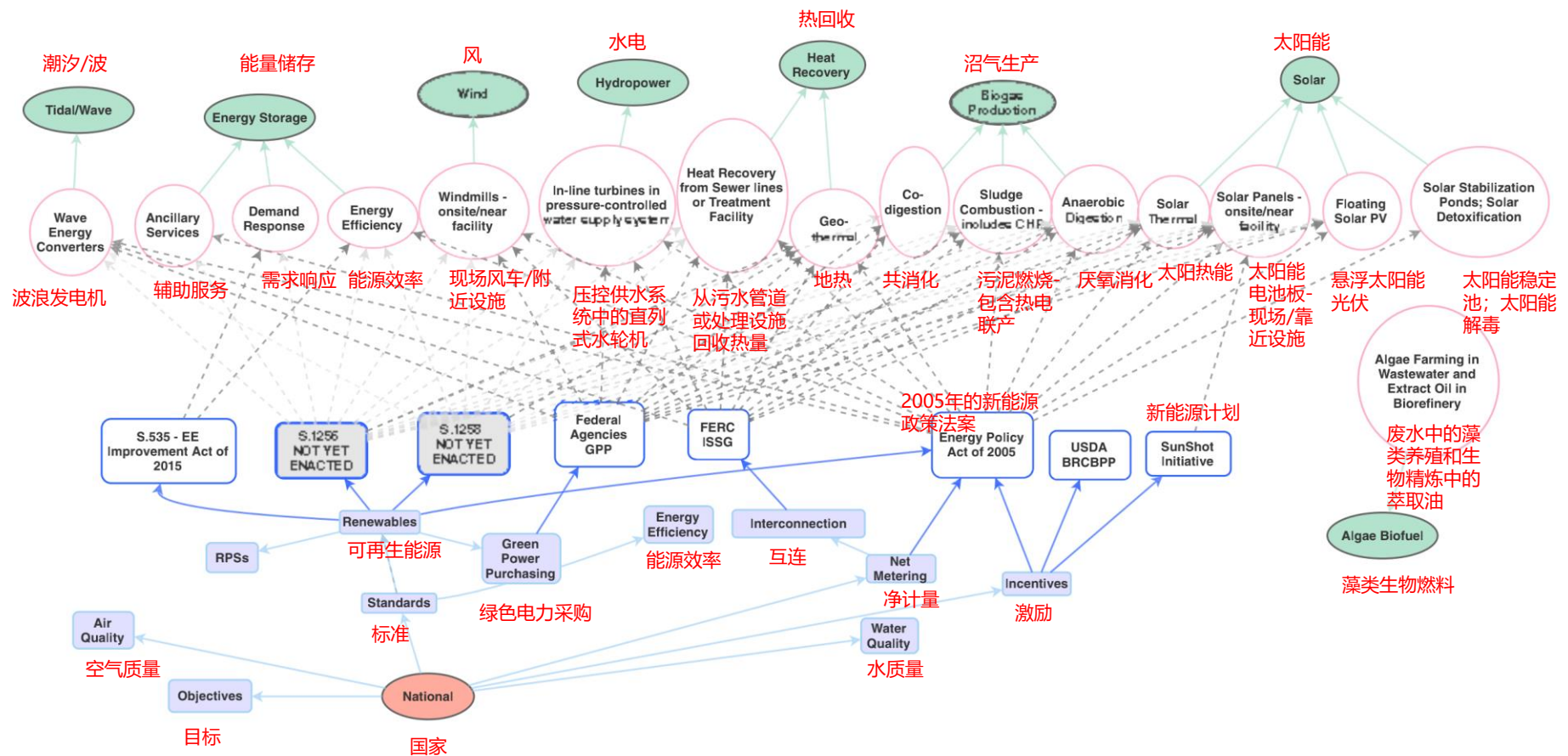


图 17.3 适用于水和污水处理设施的分布式能源资源回收和可再生能源监管驱动因素的可视化概览, <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.24472.01286>。经许可转载(Kenway et al., 2019)

国家、州和地方政策相互重叠，每一项政策都是出于美好的愿景而制定的，然而这使得任何单一的技术或工艺都难以得到广泛应用。该系统要求每个公用事业公司都经历费力且昂贵的定制研究和技术分析过程，并努力创建适合其独特政策组合和其他驱动因素的定制系统。因此，只有最积极的公用事业公司能够实现净零能耗，而且几乎没有一家公司被工程师和科学家认为可以成为净能源生产者。即使是那些已经实现净零排放的设施，例如美国俄勒冈州格雷沙姆的设施，仍然依赖于额外的能源投入，例如太阳能和进口有机废物(Modern Power Systems, 2019)。

政策可以是技术强制的，如规定污染物数量限制的法规。例如，在英国，《2008年气候变化法案》对国家在给定五年期间可以排放的温室气体总量设定了具有法律约束力的限制(UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2021)。他们可以创造推动效率的市场力量，如加拿大总理贾斯汀·特鲁多在格拉斯哥举行的COP26上提出的全球碳税(Tasker, 2021)。它们可以是资金驱动的，例如美国能源部的水安全大挑战(US DOE, 2021)，也可以是自愿的和基本上不需要资金投入的，例如美国环境保护署的水再利用行动计划(US EPA, 2021a)。或者他们可以将监管和资金结合起来，例如马萨诸塞州的食物浪费禁令和配套的厌氧消化器开发资金(Massachusetts DEP, 2021)。

这个复杂的政策矩阵有几个重要的信息。一是，无论是国家的、区域的、州/省的还是地方的政策，都不是统一的，有时可能是矛盾的。另一个是政策可以采取多种形式。其中包括通过创造机会激发具有创造力的政策，例如总量管制与交易方法（即使在总量管制与交易内部，也有不同类型的政策），以及可能通过不同机制实现类似目标的碳税等政策。每种方法都显示出推动该行业可再生能源投资的不同但重叠的原因(Strazzabosco et al., 2020)。

17.2.3 观点 3：寻求与其他政策领域的共同利益

在我们写这篇文章时，世界正面临着美国总统乔·拜登(Biden, 2021)所描述的一系列“连环危机”。这些包括但不限于当前的COVID-19全球大流行、气候危机、日益严重的不平等和系统性的种族主义，不仅是美国，世界各地都面临着这些危机。无论读者对政治的立场如何，我们有理由认为，在可预见的未来里，

解决这些连环危机将是全球政策制定者的首要任务。因此，任何制定有助于水务行业脱碳的政策努力都会更加成功，不仅因为这些努力阐明了它们如何适应解决这些多重危机，而且因为这些努力本身可以解决多个宏观政策目标。尽管脱碳本身确实解决了气候危机，但任何以牺牲其他顶层政策关切为代价来推动脱碳的政策建议或项目都不太可能获得关注。

出于这个原因，“共同利益”的观点对于制定新政策和应对现有政策都至关重要。简而言之，可以实现多个目标的项目比不能实现目标的项目更有可能向前推进。例如，2015年，加州政府为应对持续干旱，要求立即消减25%的城市用水量。作为一个意想不到但受欢迎的共同利益，研究人员发现，与降低用水量相关的用电量惊人地减少了1830GWh，比同期该州所有其他投资者拥有的公用事业节能项目的总减少量还多(Spang et al., 2017)。掌握了这些信息，政策制定者可能会考虑推进水资源保护，即使在没有干旱问题的年份也能减少能源消耗，因为水资源保护有很多好处。

第二个例子是，在美国和世界各地最近发生的事件之后，国际社会对解决系统性种族主义问题给予了关注。虽然这似乎与水务行业的脱碳相去甚远，但它可能对水项目产生非常实际的影响。传统上，尽管我们行业的设施对公共卫生做出了贡献，但由于气味和局部空气排放、卡车交通以及用高大的混凝土墙和链环围栏阻挡公众的难看设施，它们一直被认为是其所在社区的负担。选址在少数民族和/或经济困难人口中心或附近的项目，因其对这些人群的影响而受到越来越多的审查。减轻这些负面影响的一种方法是重新设计水资源回收设施以提供公共设施。位于中国上海的吴淞污水处理厂升级改造(图17.4)在2019年荣获《工程新闻记录》颁发的“优秀奖”，因为它纳入了一个室内植物园，既是公共可以进入的室内公园，又是车间处理系统的一部分，可提高能源效率、控制气味并减少设施的整体物理空间需求(Engineering News Record, 2019)。不难想象，未来的污水处理厂将需要为其所在国人口提供类似的共同利益，特别是当这些人口在历史上受到压迫时。

也许在脱碳过程中，潜在共同利益的最大领域之一来自捕获污水中所含的低品位热量。鉴于大多数城市中心的街道下流淌着大量污水，使用热交换器回收污水中所含的一小部分热能提供了高效区域供热的潜力，可以抵消其他碳密集度更高的供热来源。英国的研究人员对四个处理设施进行了建模，发现回收

热能用于供暖有可能减少30-110千克CO₂当量/年(Hawley & Fenner, 2012)。

这项技术的一个实施案例是加拿大温哥华的False Creek社区能源公用事业公司，该自筹资金项目“消除了60%以上与建筑供暖相关的温室气体污染”(City of Vancouver, n.d.)。然而，当开发商试图在几英里外的美国华盛顿西雅图重新创建这种方法时，他们遇到了监管障碍，无法利用这一资源。作为回应，当地政府制定了允许污水热回收项目的标准化方法，其目标是提供多种好处，包括降低单个建筑物的碳排放，为开发商提供另一种满足严格能源法规的工具，并吸引更广泛的租户、买家和投资者(Landers, 2021)。



图 17.4 吴淞 WWTF，图片由 Organica Water 提供

另一个污水热回收项目的例子来自美国科罗拉多州的埃文镇 (Avon, Colorado, USA)，该项目除了脱碳之外还具有共同收益。在这里，当地监管机构担心当地污水处理设施的出水温度会使接收水的温度升高并对冷水鱼类造成损害。为了响应这一政策驱动，该镇建立了一个小型区域供热系统(图 17.5)。该镇最大的市政能源用户是镇娱乐中心，其中包括多个温水游泳池和约3700平方米的加热空间。通过利用污水中的废热来加热水池、提供建筑热量并在城镇人行道上提供无盐融雪，该城镇降低了污水温度，同时提供了一种低成本的热源来抵消城镇设施中使用的化石燃料 (Strehler et al., 2010)。该镇购买风力发电来抵消热泵的电力需求，确保系统零碳排放(Avon, Colorado, 2021)。

作为创建可同时实现多个政策目标和共同利益的项目的实用方法，一些地方政府已经采用了综合资源管理 (IRM) 的方法，有时也称为综合资源回收

(IRR)。这是一种跨学科、合作性的项目管理方法，很大程度上依赖于早期利益相关者的参与和不断完善项目的迭代过程，确保在投票或类似的公共批准过程之前获得广泛的支持(Thurm, 2016)。新加坡政府采用这种方法的一种变体来整合多个目标，建成了滨海拦河坝等展示设施，它同时满足了该国10%的用水需求，缓解了洪水，并为公众提供了每年超过1500万人次的旅游和娱乐机会(Chye, 2018)。

结合其中几个主题，我们要求读者将水资源回收设施想象为一个更大的综合整体中的有凝聚力的部分。尽管我们的设施有巨大的公共卫生效益，但却被认为是当地社区的负担，而且实际上正在被当作是制度压迫的工具。在美国新泽西州，于2020年通过的立法要求国家评估设施对环境 and 公共健康的影响，包括污水处理厂、污泥焚烧设施、资源回收设施和热电联产设施——所有这些都是我们当前水资源回收设施理念的一部分——在负担过重的社区(State of New Jersey, 2020)。

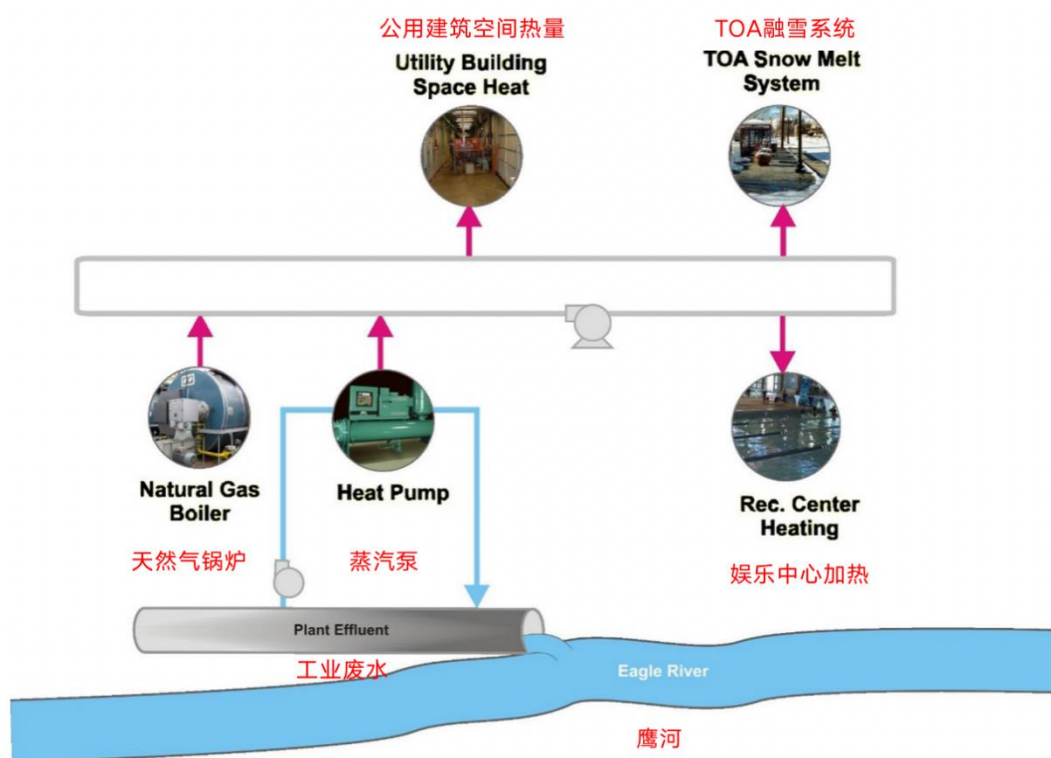


图 17.5 Avon, CO, 污水热回收示意图。图片由 Jennifer Strehler/CDM Smith 提供

想象一下，在这个世界上，我们行业的设施不再被认为是置于弱势社区的系统性负担的一部分，而是将水资源回收设施视为社区资产，这些地方吸引着

人们居住，通过提供美丽、干净、充满花园的公共空间，提升而不是降低其他社区的地位，就像在吴淞¹一样。

今天，我们的设施，尽管在进水中接收到的化学能和热能是清洁进水所需的5-10倍(Water Research Foundation, n.d.)，但仍是巨大的能源消耗者。相反，想象一下，这些设施通过效率和能源回收的结合，为其所在社区提供低成本的无碳电力和区域供热，例如加拿大温哥华。今天，绝大多数设施只是将清洁到最低限度的监管标准的水传递给接收水体，而没有尝试回收这些水来抵消处理厂上游对新饮用水的需求。相反，想象一下在这样一个世界里，水资源回收设施将这些水视为一种资源，就像在新加坡一样。

17.2.4 观点 4：在分布式环境中，水和能源在发电站处/附近回收，水的再利用和能源回收可能更有效益

水务系统日益增长的能源需求、不断上涨的能源价格、绿色能源和温室气体减排目标的推进，以及气候变化的影响，都在推动供水和污水处理公司寻求对自产能源的投资。自产能源可以降低成本，提高系统适应性和可靠性，并减少温室气体排放。公用事业可利用的可再生分布式能源形式包括污水中的有机物、水力发电、污水中的热能、将天然气转化为电能的废热、太阳能和风能。利用所有这些形式的能源，污水处理厂可能产生的能源将远远超过其场地所需的能源(Kenway et al, 2019)。总体而言，污水中包含的热能和有机能源潜力估计约为2012年污水行业处理所需能源量的8倍，而且其中很大一部分潜力仍未开发(Kenway et al., 2019)。此外，由于公用事业公司可以储存能量（例如在海拔较高处储存天然气或水），并且通常可以随着时间改变自己的能源需求，因此它们是一个更加基于可再生能源的未来电网的重要潜在元素。

在过去的十年中，分布式资源和可再生能源技术有了很大的发展，由于创新降低了成本，加上联邦和州政府补贴，预计整个分布式能源 (DER) 的容量将继续增长。这种趋势在太阳能和风能可再生技术中尤为明显，它们与传统技术相比变得更具竞争力。对于市政和私人供水和污水处理公司来说，这是一个投

¹ 原文为 Wusan，应为 Wusong 之误。——译者注

资本本地资源回收的独特机会。

在过去十年中，DER技术的容量和发电量一直在稳步增长。例如，美国的可再生能源总发电量已从2000年的360 TWh增长到2020年的844 TWh(USEIA, 2021)。从2000年到2020年，可再生能源的装机容量增加了300%以上，达到265GW。关于这些总数的分布和计量部分的详细统计数据通常不容易获得。然而，分布式和小规模系统对发电量或容量的贡献通常不到1%。在高峰期，分布式系统贡献更大。例如，2017年，五类“表后市场”DER贡献了44GW，约占美国夏季峰值总需求769GW的6%(St. John, 2018)。分布式太阳能和小规模热电联产（50兆瓦以下）贡献了近80%的影响。智能恒温器、电动汽车和分布式储能有助于平衡DER的影响。

在全球范围内，水务行业的能源生产主要是基于沼气技术。在英国，水务行业提供了8.5%的可再生资源，其中80%来自厌氧沼气消化(Howe, 2009)。在美国，有超过14,500家公营污水处理厂（WWTP），平均每天处理约323.45亿加仑(MGD)的流量(Shen et al., 2015)，其中1027家的处理能力超过5MGD，并且处理80%的污水。根据Tarallo等人(2015)的说法，每年约有851万亿英热单位(BTU)的能量包含在这1027个污水处理厂的污水中。

尽管污水中携带了大量热能（每人每年释放到下水道的废热为2800兆焦耳(Larsen et al., 2016)），但目前利用的很少。昆士兰大学的州级分析(Hivert, 2019)证实总潜力约为200,000GWh/年，与Tarallo（2014）估计的相似。沼气形式的化学能已成功回收了很多年。即使有直接从污水流中回收沼气的例子(Degarie et al., 2000)，沼气仍主要从污水污泥的厌氧消化过程中回收。通过将污泥与外部有机原料相结合，可以增强污水污泥的沼气生成，这称为共同消化。

现在有一系列国际实例，供水和污水处理公司使用**现场沼气**（沼气）、太阳能光伏、水力、风力涡轮机和其他可再生能源成功实施DER项目。水和污水处理公司通常是DER的理想选择，因为它们可以拥有大量的成片土地，具有高（和可移动的）能源需求，并且可以提供其他类型的辅助电网服务。公用事业公司还通过使用应急发电机和其他能源来抵消峰值电网电力需求，从而参与需求响应计划。然而，确定关键选项，了解监管要求、关税结构、动态政策立场和劳动力能力，一直是确定性投资的巨大挑战。

水务行业缺乏统一的脱碳和可再生能源利用的政策，从财政机会到广泛的

气候减缓目标等多种因素推动了采用。Strazzabosco等人(2020)调查了澳大利亚水务行业采用可再生能源的驱动因素,发现降低能源成本是影响可再生能源项目的最重要因素。然而,该研究指出,强制性温室气体减排要求是支持可再生能源项目的最有影响力的政策。与美国的研究结果相似(Kenway et al., 2019),澳大利亚的研究质疑政府财政政策或可再生能源市场对水务行业的影响,这表明水务行业在地区脱碳方面的机会更广泛。

这种作用的一个例子是,加拿大温哥华的大温哥华地区如何直接将来自污水处理厂的清洁、过量的生物甲烷注入现有的天然气分配系统,以响应不列颠哥伦比亚省的气候行动。关于沼气升级项目的讨论围绕着利用液体废物的所有元素作为资源来减少大温哥华地区的企业温室气体(GHG)排放和该地区的温室气体排放的机会展开的(Kenway et al., 2019)。2007年,大温哥华地区与不列颠哥伦比亚省几乎所有其他地方政府一起签署了省政府的《气候行动宪章》,承诺在2012报告年度之前实现碳中和。位于不列颠哥伦比亚省温哥华的露露岛污水处理厂(LIWWTP)的绿色生物甲烷项目是大温哥华地区与天然气供应商FortisBC之间的合作项目。此次合作的目的是将未使用的沼气净化至达到管道质量标准,使其能够作为可再生生物甲烷出售给FortisBC。可再生天然气(或生物甲烷)是由LIWWTP厌氧消化的副产品沼气生产的。通常,生物甲烷气体用于为工厂的建筑物和沼气池提供热量,多余的气体通过安全燃烧释放到大气中。从2014年到2016年,三年中LIWWTP使用的总能源需求和生物甲烷分别约为216,220和84,640GJ,生物甲烷满足的热量需求百分比在三年中约为40%。FortisBC和大温哥华地区之间建立了一个互连协议,以出售来自LIWWTP的多余生物甲烷。

另一个例子是有机物的管理。通过将城市有机废物输送到区域污水处理厂,水务行业可以减少固体废物处理设施的甲烷排放并改善共同消化和发电。例如,纽约市环境保护部(NYCDEP)和纽约废物管理公司合作,从源头上分离有机废物和预处理的食物残渣,以改善布鲁克林的Newtown Creek污水处理厂的共同消化过程。该计划是布隆伯格市长的纽约计划的产物,旨在使纽约市成为世界上最可持续的城市。PlaNYC设定的目标是到2050年,将温室气体排放量减少80%,实现能源中和的城市污水处理运营,最大限度地利用沼气的同时最大限度地减少无组织排放,到2030年实现零废物填埋(City of New York, 2021)。在合

作中，NYCDEP在其14个处理厂的13个重复使用厌氧消化产生的沼气。这种气体最常用于现场锅炉中，用于加热或为设备供电。在Newtown Creek工厂，250吨源头分离的食物垃圾（由废物管理部门收集和处理）被注入污水处理厂的沼气池，以增加沼气产量。

虽然DER开发存在许多挑战，但其中有三点非常突出：（i）集成到电网；（ii）需要特定地点的知识；（iii）综合规划。计量和电网互连程序正在塑造电网的未来(IREC/VSI, 2014)。DER的规划和部署缺乏协调，并且缺乏足够的管理系统，这将增加基础设施升级的成本并降低DER的全部价值，正如德国所经历的那样(EPRI, 2014)。综合电网并注重协同效益，可以提高DER的渗透，减少电压损失和环境影响，推迟容量升级，参与需求管理计划，并提高电力系统的弹性(EPRI, 2014)。然而，供水和污水处理公司发现，DER成为一种商业模式的新选择，传统能源事业受到挑战 (IREC/VSI, 2014; Willis et al., 2012, 2015)。

支持DER的主要政策和法规变化包括尽量减少中小型污水处理厂必须满足的法规，或寻找促进污水处理区之间合作的方法。例如，如果处理厂周围有更多的相互作用，那么并非所有处理厂都需要消化器。较大的处理设施可以更积极地从小型的处理厂或其他来源获取有机物以进行共同消化。污水处理设施还可以与市政当局和其他食品生产商建立更密切和互惠互利的关系，或者考虑开发校园环境。

校园环境将使管理资源回收变得更加容易。例如，污水处理厂、市政厅、垃圾填埋场和议会的财产都可以被视为同一校园的所有部分。这将允许在“校园电网或微电网”上共享产生的剩余能源。越来越多的供水和污水处理公司被认为是至关重要的，因此作为弹性政策的一部分，他们获得了运营微电网的许可。这种方法可以通过采取“整体社区规划”的观点，并与联邦、地区和地方规划机构合作来进一步加强，这些机构通常更依赖于当地的公用事业服务。

总体而言，在能源和成本危机推动DER发展之前，应该为“测试”DER选项提供更大的组织支持。试点项目可以将能源消耗和DER机会纳入工厂设计规划，帮助与规划部门建立联系，探索能源减少的机会，作为基础设施和资产管理规划的一部分（即泵站升级和修复、系统配置、分布式能源，例如微型涡轮装置或节能技术等）。需要对人员进行投资，使其能够在供水或污水处理系统中使用可再生能源。

展望未来,进入DER市场的水务公司需要考虑市场力量、不断变化的技术、不断变化的补贴和不断变化的监管,但也必须考虑他人的利益来指导和修改市场变化。今天安装DER项目的财务回报可能会在其运营寿命期间发生变化。一些司法管辖区将继续支持DER的补贴和监管政策,另一些则会限制DER的经济优势。

17.2.5 观点 5: 变化是永恒的。我们需要能更好适应变化的水资源政策和平台

本书的许多其他章节都讨论了创新和效率。他们着眼于各种各样的技术,这些技术可以帮助我们从现在的行业发展到未来可以实现水务行业脱碳的理想世界。这本书的作者在学术界、政府、工程和设施管理方面积累了数百年的经验,他们齐心协力,试图设想我们该如何改变行业的整个经营方式。我们这样做是因为,尽管污水处理行业提供了人类历史上最伟大的公共卫生服务,但却没有考虑到我们在日益严重的环境灾难中所扮演的角色,这种灾难有可能推翻我们在过去两个世纪所做的工作。现在,我们正在转变方向,努力成为解决这一新公共卫生威胁的一部分。

然而,我们受制于一个从未设想过这种变化的系统。我们的规则和条例、工程方法和技术、融资机制、我们与我们所服务的公众沟通的方法,实际上我们系统的每一个方面,都是在一系列基于工业思维的假设下设计的。干净的水会变脏。脏水会被收集起来。然后,我们的行业将再次使水变得干净,却使用尽可能多的能源、尽可能多的化学品和尽可能多的人力,而不考虑成本。

为了减少浪费和低效,我们追求规模经济,投资大量的工业化水处理设施,这些设施的寿命长达几十年,我们假设使水变脏的方式不会有太大变化,人口将保持稳定或增长,我们只需要让水变得足够干净到可以在其中游泳或钓鱼,而且我们基本上知道那是什么样的清洁水平。这些工业设施的位置对设计师来说很方便,人们会默认它们会像所有工业设施一样,让邻居的生活变得有点不愉快。

这组假设大部分来自20世纪60年代末和70年代初的环境运动,这导致世界各国成立了负责环境保护的公共机构。这些机构随后为处理厂制定了水质标准

和指南。在世界范围内，这些假设——我们的设施应该是大型的、昂贵的、经久耐用的；他们将获得无限的能源和化学资源；他们应该排放处理过的水而不进一步再利用；他们不一定是好邻居——事实证明，他们非常耐用。

事实上，这些假设几乎在实施后就已经过时了。在工业化世界完成第一批污水处理厂的设计和建造之前，我们已经面临挑战。我们最初的政策假设污染来自管道，忽略了雨水的贡献。我们的政策假设我们只需要处理少量污染物，首先忽略了营养物质氮和磷，然后没有预见到个人护理产品和药品的危害，最近还因微塑料的存在而措手不及。即使是最微量的多氟烷基物质（PFAS）也有问题。我们的创始政策做出了灾难性的假设，即我们可以永远利用无限量的化石燃料供应能源和化学品，而不会产生不利影响。

因此，正如世界面临一系列连锁危机——对科学和民主的攻击、气候变化的生存威胁、系统性压迫、日益扩大的不平等以及导致数百万人死亡并扰乱全球经济的全球流行病等等，污水处理行业也面临着一系列连锁危机。同时我们被要求：维护老化的基础设施；

- 将越来越多的污染物削减到越来越低的水平；
- 设计收集和清理雨水的方法；
- 适应不断变化的气候，气候变化可能引发洪水、干旱和海平面上升，从而扰乱我们的行业；
- 为水再利用的可能性做好准备；
- 在人口增长的地区迅速建造新设施，并在人口减少的地区维持旧的、现有的超大设施；
- 我们的行业是所有公共服务中能源密集度最高的行业之一，要实现脱碳；
- 以公平的方式完成上述所有工作，而不增加世界各国有色人种社区、土著居民和穷人的历史负担。

与20世纪60年代最初的设想相比，这不是一个小的变化，但它远不是一个完整的清单。它没有考虑到即使中期气候预测成为现实，我们也可以预期地大规模移民(Lustgarden, 2020)。它没有考虑到我们的行业迫切需要最终开发出某种版本的水和卫生系统，这些系统能基于发展中国家可获取的资源为其提供服务。它没有考虑到未来流行病（可能是水传播的）可能对我们的系统产生的影响，也没有考虑到我们还没有考虑过的未知情况。

这里的意图不是用一份不可逾越的错误清单来压抑读者。人类有无止境的发明和创新。在不到十年的时间里，我们已经从市场上基本上没有电动汽车发展到现在挪威超过50%的新车销量是电动汽车(The Guardian, 2021)。在同一时期，太阳能光伏已经从富人的昂贵放纵变成了“历史上最便宜的电力”(Evans & Gabbatiss, 2020)。如果汽车和电气行业（这两个行业都使污水处理行业相形见绌）能够快速调整和适应，我们没有理由认为我们不能。

然而，要做到这一点，我们就需要采取预期不断变化的政策。在一个以不愿创新著称的行业中，我们要允许灵活性和创新的政策。2013年，一组研究人员宣称“城市水管理存在创新性缺陷”。在研究了这种缺陷的原因后，他们得出了一个结论：“要解决当前的城市水基础设施挑战，以技术为重的研究人员需要认识到技术和制度以及控制变化的社会制度之间相互交织的本质”(Kiparsky et al., 2013)。

换句话说，仅靠技术无法让我们摆脱困境。我们需要在创新和迭代技术时有愿意支持我们的政策和机构，这意味着挑战我们目前的一系列假设。我们的政策需要支持广泛的技术，而不是挑选赢家和输家。设施可能不需要持续40年或更长时间，它们可能不需要大规模扩展以提高效率。他们一定不是坏邻居。当我们发现用过的水对环境和公共健康构成新威胁时，它们必须能够轻松且经济高效地升级或更换。

17.3 结论和政策建议

在本章中，我们强调了政策制定者和水资源回收专业人士在努力实现水资源回收行业脱碳时可以考虑五个核心观点。在这里，我们总结了这些观点，并尽可能提供政策建议。

这些观点中的第一个是水务行业可能不会使用足够多的能源，从而无法实施特定的能源政策。尽管我们的饮用水和水资源回收设施的用电量高达数兆瓦，但它们仍然只占社会总一次能源中的一小部分。政策和运营应继续强调在能源效率方面的重大努力，包括大幅减少能源使用的突破性技术和方法。然而，通过现场能源生产使全球数十万设施中的每一个都实现零净能源，可能会分散对更大的电网脱碳的更有成效的努力的注意力。此外，要使污水处理行业

完全脱碳，仅考虑电力使用是不够的。核算必须包括N₂O排放和逃逸性甲烷排放，以及范围2和3的排放，例如化学品消耗和用于运输污泥和进行异地处置的燃料。为了解决这些其他排放源，决策者需要寻求合作伙伴关系并创造共同利益。其中包括利用污水中的碳和热能资源来抵消其他部门对化石能源的使用。我们鼓励政策制定者寻求碳中和技术和促进突破性创新的政策。

第二个观点讨论了缺乏一项要求水务行业脱碳的总体政策。。水务行业有广泛的政策任务，通过提供安全的饮用水和污水处理来保护人类健康和环境。然而，这些政策并没有预料到用于提供这些关键服务的能源之间的相互作用的影响。在实践中，通过增加能源和化学品使用或增加N₂O等排放，许多改善水务行业公共和环境健康的努力都以牺牲气候为代价。以目前的形式，围绕水务行业能源使用和脱碳的政策是一个令人困惑和复杂的网络，有时地方、州/地区、国家甚至国际政策之间是相互矛盾的。这是对第一个观点的自然延伸，因为其中许多政策在设计时并未考虑到水务行业。尽管我们在本节中没有提供任何具体的政策建议，但我们乐观地认为，其他部分讨论的努力最终将为该行业的脱碳开辟一条清晰的道路。

第三个观点涉及与其他政策领域的共同利益。简而言之，可以实现多个目标的项目比不能实现目标的项目更有可能向前推进。在这里，我们要求读者想象水资源回收设施是一个更大的综合整体的一个有凝聚力的部分。我们提供了一些共同效益的例子，包括节约大量能源的节水项目、旨在用作公共处理厂和真正社区资产的娱乐设施的水资源回收设施，以及为邻居提供区域供热的设施。这个观点领域更适合于对现有政策作出反应，而不是制定新政策。

第四个观点研究了利用水资源回收设施的独特属性部署分布式能源的潜力。其中包括接收流入污水中的碳和热能资源，可以从现场发电的“表后”接收可再生能源的能源密集型工艺，以及在类似校园的环境中与其他公共服务整合以共享这些资源的可能性。政策建议包括消除实施这些现有技术的障碍。

最后一个观点涉及对水资源回收部门不断变化的需求，以及需要有足够灵活的政策以适应这些变化。在这里，我们指出，研究表明水务行业存在创新不足的问题。我们呼吁重新考虑将行业锁定在长达数十年的大型、复杂的工业设施投资的政策，转而允许采用更快速、迭代的方法来解决水资源的挑战，即使这些挑战在我们实现脱碳后仍将继续发展。

17.4 其他资源

下面我们列出了一些在线资源，这些资源很有价值，能够使读者更好地了解相关政策和途径的前景。

Resource recovery from Water: from concept to standard practice. Editors: Ilje Pikaar, Xia Huang, Francesco Fatone, Jeremy S. Guest. <https://www.sciencedirect.com/journal/water-research/special-issue/104CRLSTGFT>

Mobilizing for a zero carbon America: Jobs, jobs, jobs, and more jobs, A Jobs and Employment Study Report. Saul Griffith, Sam Calisch, Alex Laskey. Rewiring America. July 29, 2020. <https://www.ourenergypolicy.org/resources/mobilizing-for-a-zero-carbon-america-jobs-jobs-jobs-and-more-jobs/>

Heat Pumps Using Waste Water in Gothenburg, Sweden. Case study on www.celsiuscity.eu, Jan 16, 2020. <https://celsiuscity.eu/heat-pumps-using-waste-water-in-gothenburg-sweden/>

Water UK Net Zero 2030 Routemap: Unlocking a net zero carbon future (online resource provided by Water UK): <https://www.water.org.uk/routemap2030/>

Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. Tove A. Larsen, Sabine Hoffmann, Christoph Lüthi, Bernhard Truffer, Max Maurer. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aad8641>

Municipal wastewater sludge as a renewable, cost-effective feedstock for transportation biofuels using hydrothermal liquefaction. Timothy E. Seiple, Richard L. Skaggs, Lauren Fillmore, André M. Coleman. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110852>

参考文献

Avon, Colorado (2021). Avon's Heat Recovery System. Retrieved from Avon, Colorado town website: <https://www.avon.org/926/Avons-Heat-Recovery-System#:~:text=The%20first%2Dof%2Dits%2D,buildings%20in%20the%20town%20core>

Bhatt A. H., Ren Z. and Tao L. (2020). Value proposition of untapped wet wastes: carboxylic acid production through anaerobic digestion. *iScience*, 23(6), 101221, <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101221>

Biden J. (2021). President Biden's Full Inauguration Speech. Retrieved from NY Times: <https://www.nytimes.com/2021/01/20/us/politics/biden-inauguration-speech-transcript.html>

Chen W. T. (2020). A perspective on hydrothermal processing of sewage sludge. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 14, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.02.008>

Chye K. T. (2018). From Resource to Asset: Building a Water-resilient Singapore. Retrieved from Global Infrastructure Initiative: <https://www.globalinfrastructureinitiative.com/article/resource-asset-building-waterresilient-singapore>

City of New York (2021). OneNYC. Retrieved from City of New York: OneNYC: <http://onenyc.cityofnewyork.us/>

City of Vancouver (n.d.). False Creek Neighbourhood Energy Utility. Retrieved from

<https://vancouver.ca/homeproperty-development/southeast-false-creek-neighbourhood-energy-utility.aspx>

- Degarie C., Crapper T., Howe B., Burke B. and McCarthy P. (2000). Floating geomembrane covers for odour control and biogas collection and utilization in municipal lagoons. *Water Science and Technology*, 42, 291–298, <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0664>
- Engineering News Record (2019). Award of Merit, Water/Wastewater: Wusong Wastewater Plant Upgrade – Botanical Garden. Retrieved from Engineering News-Record: https://www.enr.com/articles/47613-award-ofmerit-waterwastewater-wusong-wastewater-plant-upgrade_botanical-garden
- EPRI (2014). *The Integrated Grid: Realizing the Full Value of Central and Distributed Energy Resources*. Electric Power Research Institute, Palo Alto.
- EPRI/WRF (2013). *Electricity Use and Management in the Municipal Water Supply and Wastewater Industries*. Electric Power Research Institute, Palo Alto.
- Evans S. and Gabbatiss J. (2020). Solar is now ‘cheapest electricity in history’, confirms IEA. Retrieved from Carbon Brief: <https://www.carbonbrief.org/solar-is-now-cheapest-electricity-in-history-confirms-iaa#:~:text=Multiple%20Authors,-Simon%20EvansJosh&text=The%20world’s%20best%20solar%20power,Agency’s%20World%20Energy%20Outlook%202020>
- Hawley C. and Fenner R. (2012). The potential for thermal energy recovery from wastewater treatment works in southern England. *Journal of Water and Climate Change*, 3(4), 287–299, <https://doi.org/10.2166/wcc.2012.013>
- Hivert G. (2019). *State Analysis of Biogas Opportunities in WWTP*. Internal Project Report, University of Queensland, Brisbane.
- Howe A. (2009). *Evidence: Renewable Energy Potential for the Water Industry*. UK Environment Agency, Bristol.
- IEA (2016). *Water Energy Nexus, Excerpt From the World Energy Outlook*. International Energy Agency, Paris.
- IREC/YSI (2014). *Freeing the Grid 2006–2014*. Interstate Renewable Energy Council and Vote Solar Initiative, Oakland.
- IRENA (2019). *Renewable Power Generation Costs in 2019*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf
- Kenway S., Conrad S., Jawad M., Gledhill J., Bravo R., McCalley J. and Howe C. (2019). *Opportunities and Barriers for Renewable and Distributed Energy Resource Development at Drinking Water and Wastewater Utilities (No. 4625)*. Water Research Foundation, Denver.
- Kiparsky M., Sedlak D., Thompson J. B. and Truffer B. (2013). The innovation deficit in urban water: The need for an integrated perspective on institutions, organizations, and technology. *Environmental Engineering Science*, 30(8), 395–408, <https://doi.org/10.1089/ees.2012.0427>
- Landers J. (2021). King County, Washington, promotes sewer heat recovery as renewable energy source. Retrieved from ASCE Source: <https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/article/2021/01/king-county-washington-promotes-sewer-heat-recovery-asrenewable-energy-source> (Accessed 15 February 2022).
- Larsen T. A., Hoffmann S., Luthi C., Truffer B. and Maurer M. (2016). Emerging solutions to the water challenges of an urbanizing world. *Science (New York, N.Y.)*, 352(6288), 928–933, <https://doi.org/10.1126/science.aad8641>
- Lustgarten A. (2020). *The Great Climate Migration*. Retrieved from The New York Times: <https://www.nytimes.com/interactive/2020/07/23/magazine/climate-migration.html> (Accessed 15 February 2022).

- Massachusetts DEP (2021). Anaerobic Digestion & Organics Diversion. Retrieved from Massachusetts DEP: <https://www.mass.gov/lists/anaerobic-digestion-organics-diversion> (Accessed 15 February 2022).
- Modern Power Systems (2019). Achieving Energy Net Zero at the Gresham Wastewater Treatment Plant. Retrieved from Modern Power Systems: <https://www.modernpowersystems.com/features/featureachieving-energynet-zero-at-the-gresham-wastewater-treatment-plant-7254009/> (Accessed 15 February 2022).
- Otherlab (2018). US Energy Flow Super Sankey. Retrieved from Otherlab: <https://www.otherlab.com/blog-posts/us-energy-flow-super-sankey> with additional data specific to the water and wastewater sectors retrieved from Otherlab's interactive tool at <http://www.departmentof.energy/> (Accessed 15 February 2022).
- Shen Y., Linville J. L., Urgun-Demirtas M., Mintz M. M. and Snyder S. W. (2015). An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 346–362. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.129>
- Smith R. (1973). Electrical Power Consumption for the Wastewater Treatment Industry. Office of Research and Monitoring, National Environmental Research Center. US Environmental Protection Agency, Cincinnati.
- Spang E., Holguin A. and Loge F. (2017). The estimated impact of california's urban water conservation mandate on electricity consumption and greenhouse gas emissions. *Environmental Research Letters*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9b89>
- State of New Jersey (2020). Governor Murphy Signs Historic Environmental Justice Legislation. Retrieved from Official Site of the State of New Jersey: <https://www.nj.gov/governor/news/news/562020/20200918a.shtml> (Accessed 15 February 2022).
- St. John J. (2018). Distributed Energy Poised for Explosive Growth on the U.S. Grid. Retrieved from Greentech Media: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/distributed-energy-poised-for-explosive-growth-on-the-us-grid> (Accessed 15 February 2022).
- Strazzabosco A., Conrad S., Lant P. and Kenway S. (2020). Expert opinion on influential factors driving renewable energy adoption in the water industry. *Renewable Energy*, 162, 754–765, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.054>
- Strehler J., Vanderburgh S., Parry D. and Rynders T. (2010). Colorado community benefits from installing waste heat recovery system; ASME Paper 90479. Proceedings of ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability, ASME, Phoenix, AZ.
- Tarallo S. (2014). Utilities of the Future: Energy Findings. Water Environment Research Foundation, Alexandria.
- Tarallo S., Shaw A., Kohl P. and Eschborn R. (2015). A Guide to Net-Zero Energy Solutions for Water Resource Recovery Facilities. Water Environment Research Foundation, Alexandria.
- Tasker J. P. (2021). Trudeau calls for global carbon tax at COP26 summit. Retrieved from CBC News: <https://www.cbc.ca/news/politics/trudeau-carbon-tax-global-1.6233936> (Accessed 15 February 2022).
- The Guardian (2021). Electric cars rise to record 54% market share in Norway. The Guardian, p. n.a. Retrieved from [https://www.theguardian.com/environment/2021/jan/05/electric-cars-record-market-share-norway#:~:text=Battery%20electric%20vehicles%20\(BEVs\)%20made,Road%20Federation%20\(OFV\)%20said](https://www.theguardian.com/environment/2021/jan/05/electric-cars-record-market-share-norway#:~:text=Battery%20electric%20vehicles%20(BEVs)%20made,Road%20Federation%20(OFV)%20said)(Accessed 15 February 2022).
- Thurm B. (2016). Toward an Integrated Resource Management strategy? Retrieved from Innovative Governance of Large Urban Systems: <https://iglus.org/toward-an-integrated-resource-management-strategy/> (Accessed 15 February 2022).