

第十四章 污水热能

James McQuarrie*

Tetra Tech Engineering Services Company, Denver, CO, USA

*Correspondence: jim.mcquarrie@tetratech.com

14.1 引言

政府、电力公司、公共机构和私营公司开始制定目标并将计划付诸行动，以减少其足迹。值得庆幸的是，可再生能源发电和电网级电池储能的成本现在与基于化石燃料发电的热电成本相比具有竞争力，预计到 2030 年热电使用量将会下降（见第 2 章）。这种电网级发电的趋势，以及电池的其他创新，正在促使历史上其他能源密集型的社会需求，如私家车，通过电气化符合低碳能源发展趋势。与电力不同，用低碳能源替代天然气和其他化石燃料提供室内供暖和热水，并没有出现类似规模的趋势。然而，室内供暖和热水的能源消耗是巨大的。就规模而言，参见下图 14.1，该图显示，在美国大部分地区，住宅总能耗的一半以上用于室内供暖和热水。在美国东北部等温带气候地区，甚至超过三分之二的家庭总能耗专门用于室内供暖和热水。同样，大多数住宅消费的天然气也用于室内供暖和热水。

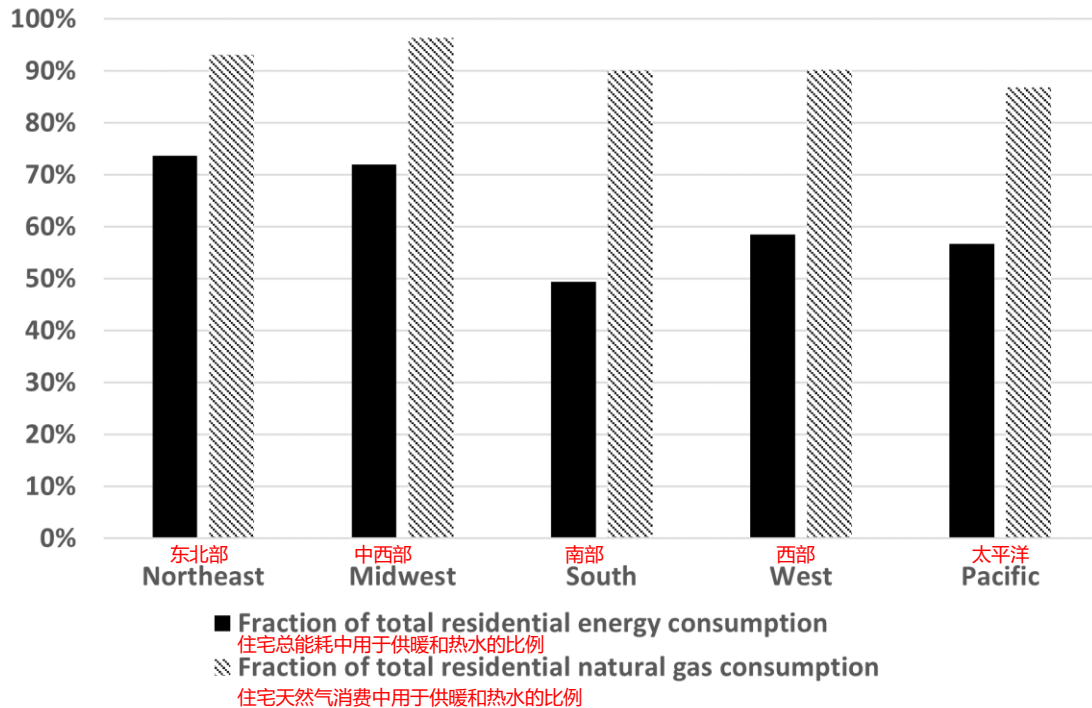


图 14.1 住宅能源消费总量和天然气消费总量中用于室内供暖和热水的比例
(源自 US Energy Information Association, 2018)

电阻加热和热泵应用是目前严重依赖上述燃烧加热系统的两种过渡替代方案。通过电阻加热,100%的电能输入转化为热输出,使本地系统的性能系数(CoP)达到1。基于热泵的系统通常可使CoP达到2-6的范围运行,这很大程度上取决于所连接热源的温度和质量流的特性。热泵之所以能达到这样高的效率水平,是因为它们被用于将热能从本地热源转移到用户(即住宅或办公空间),而不是从一次能源本身产生热量。图14.2说明了与电阻加热相比,使用热泵可以实现的减排范围,以及水源热泵如何用单位一次能源提供的单位热量(或制冷量)使系统达到最佳CoP。图14.2中总结的所有系统都是基于电的加热系统。因此,如果电力由100%可再生能源生产,那么所有类型的电加热系统都将是低碳的。图中显示与电阻加热相比,基于热泵的系统减少了电能消耗的负担。

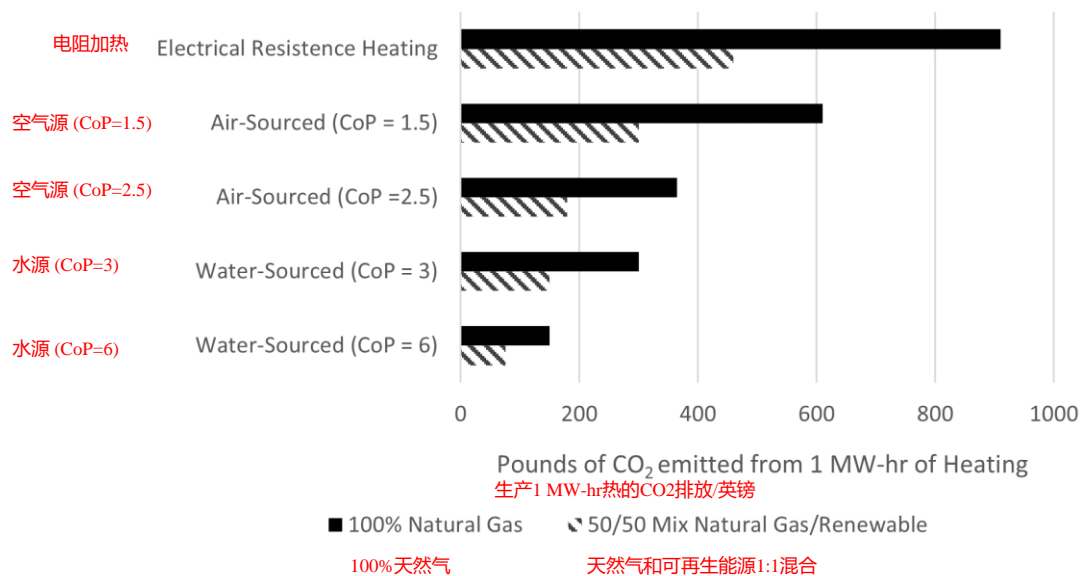


图 14.2 根据向电网供电的发电厂的类型构成，计算得到使用热泵系统实现的 CO₂ 减排范围

为了实现深度脱碳，基于化石燃料燃烧的室内供暖和热水系统的转变是必要的。此外，在建筑群环境中需要比单个建筑系统更高的系统级效率。因此，在接下来的几十年中，全球主要城市需要新一代现代区域供暖（DH）和区域能源系统（DES），将建筑物（即需求或负荷）与非一次热能（即热源）进行连接和耦合。联合国环境规划署（UNEP）气候、能源和无害环境技术政策部门的官员 Lily Riahi（2015 年）认为，现代区域能源是许多城市向可持续供暖和制冷过渡的最有效方法，可以提高能源效率，并提高可再生热能的共享。丹麦等国家已将现代区域能源作为其能源政策的基石，以实现使用 100% 可再生能源的目标。同样，中国等其他国家也在探索高水平风力发电与区域供暖之间的协同作用。就像由更多（但更小）分布式发电厂组成的现代电网汇集可再生电力输入一样，现代 DH 和 DES 将热源连接到一个环路，该环路分配热能以满足所接用户的能量负荷需求。城市的能源需求占全球总量的 70%。同时，城市提供了支持和维持现代 DH 和 DES 所必需的人口密度和经济增长潜力。显然，人口密度高的地方也会产生大量污水。图 14.3 显示，除其他来源外，污水基础设施的公共投资，可为校园或区域规模的 DH 或 DES 提供本地热源，为社会提供增值服务。

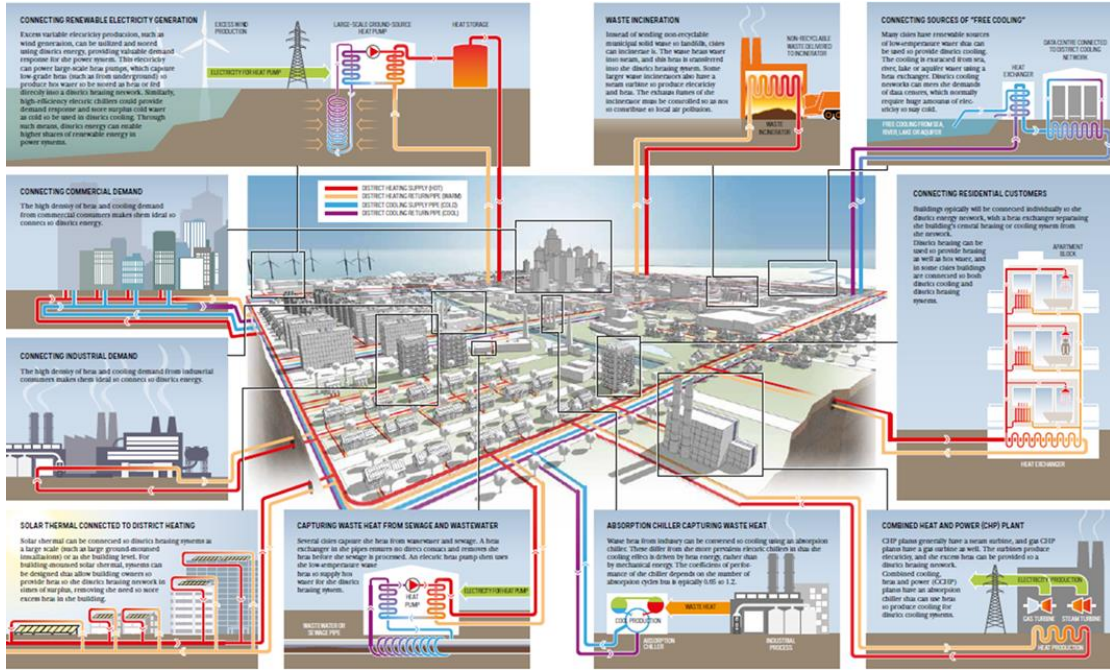


图 14.3 现代区域能源系统示意图，其中各种非一次热能与一个公共系统结合使用，为终端用户提供低碳供热（和冷却）

14.2 污水作为热能来源

污水可能温度较高。商业和工业排放、住宅热水淋浴、洗碗、洗衣机和其他器具将很多热量排入污水中。沿着建筑环境内的行进方向，随着到拦截器的横向距离增加，产生的污水质量体积也在增加。在高密度的城市地区，最有可能建立起校园和区域规模的能源系统，向下水道排放热能的速度可能超过散热速度，从而为热能回收提供了一个非常有利的初始温度（ T_i ）。在更远的距离上，下水道中的污水温度接近周围土壤的温度（地质交换），这仍然比周围冬季的空气温度要高。图 14.4 显示，冬季与环境空气温度相比，污水温度相当高，从热能传递的角度来看，它具有回收潜力。图 14.4 显示在这种气候地区（宾夕法尼亚州费城），冬季气温的移动平均值在 -7.4°C ($20\text{--}40\text{ F}$)。在同一时期，拦截器中污水的移动平均温度为 $16\text{--}21^{\circ}\text{C}$ ($61\text{--}70\text{ F}$)。相反，夏季在某些 DES 中，环境空气温度高于污水温度，使得下水道成为吸收热能（即制冷）的场所。

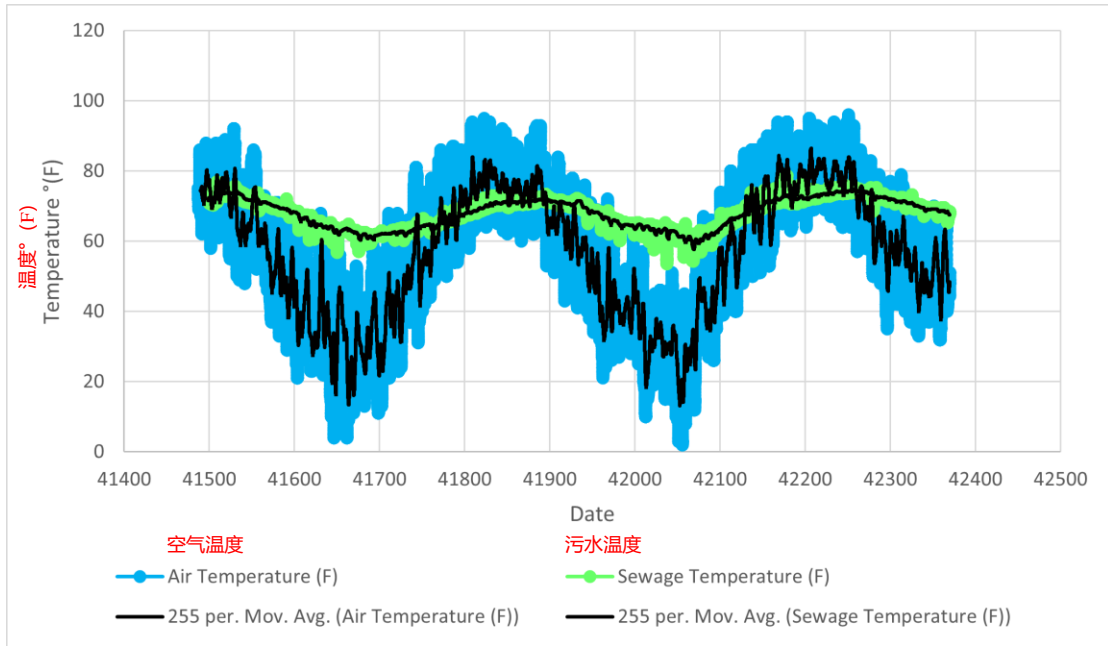


图 14.4 下水道水温和环境空气温度，下水道连接于上斯古基尔河东部拦截器，费城水务局(Kohl, 2019)

通过某些热能交换方式（即换热器或直接热泵），可使用以下等式估算从污水或处理过的污水中传递的可用热量：

$$Q = \dot{m} \times c \times \Delta T$$

其中，Q 是热传的递量 (W)；m 是水流速度 (g/sec)；c 是水的比热容 (4.186 J/(g·°C))； ΔT 是在传热过程中的温度降，等于 $T_f - T_i$ (C)。

例如，假设热交换器的温度降为 4°C，从 378.5 万升/天 (mld) 的污水流量中传递的热量为：

$$Q = \frac{43.8L}{\text{sec}} \times \frac{1000g}{L} \times \frac{4.186J}{g-C} \times (17C - 13C) = 733kW$$

在本例中，系统会产生 733 千瓦 (kW) 热量。图 14.5 显示可以从拦截器、提升站或处理厂污水中回收的热量范围。由于水较高的比热容和污水相对有利的初始温度，因而可以传递相当数量的热来满足室内供暖和热水需求。

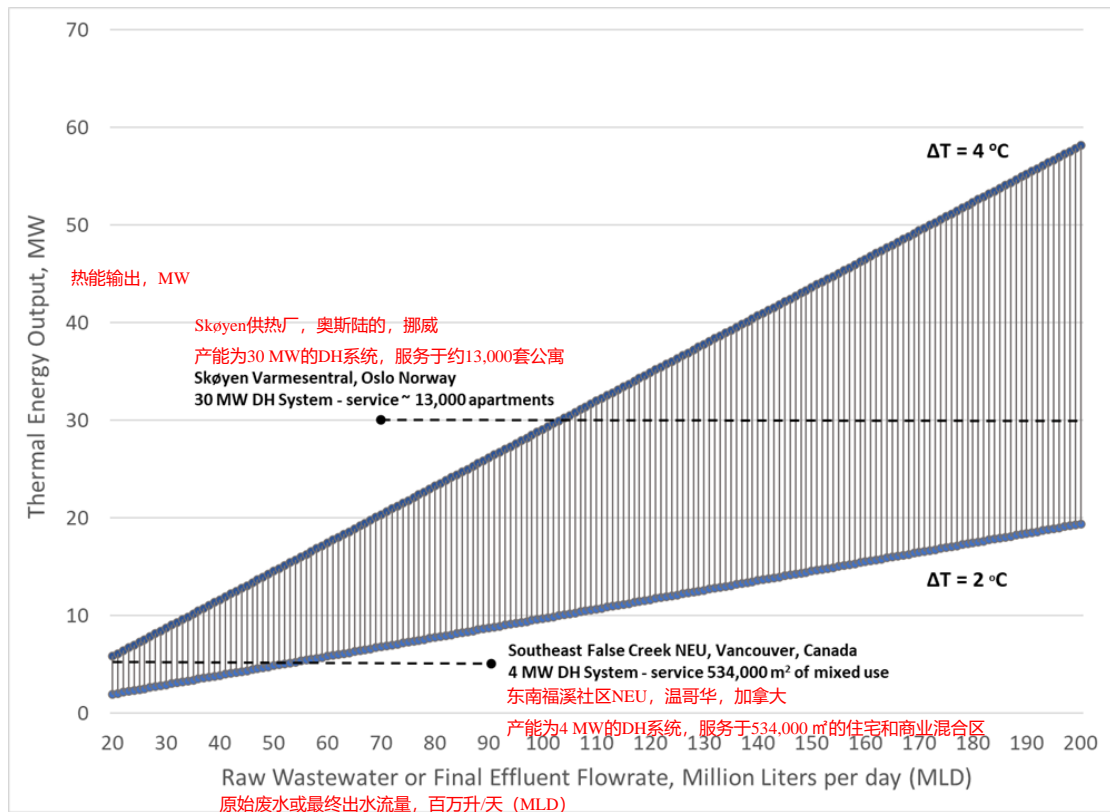


图 14.5 可回收热量的范围(MW)是 DH/DES 接入点处的流速及与热交换器或热泵接触时的温度降 ΔT 的函数。对于环境回路 DES, 2°C 的 ΔT 是合理的, 对于使用直接热泵的 DH 系统, 4°C 的 ΔT 是合理的上限。本文列出两个现有的 DH 系统, 以供参考。

14.3 污水热能回收与现代区域能源系统的集成

区域供暖系统早在 19 世纪就已经出现了, 一些早期的城市系统至今仍在运行。例如曼哈顿蒸汽运营系统为大约 3,000,000 纽约市民提供服务, 法国巴黎城市供暖公司系统为大约 500,000 户家庭供暖。早期的 DH 系统(第一代和第二代)产生蒸汽或高温(接近 100°C), 并通过管道网络将热量分配给相连的建筑物。这些系统的高温需求意味着它们依赖于化石能源的燃烧, 例如过去的煤炭或今天的天然气。在 20 世纪 70 年代和 80 年代, 热电联产(CHP)和垃圾发电项目开始集成到这些地区和校园规模的能源系统中。与原始蒸汽系统相比, 这些系统的效率更高, 且温室气体排放量更低。第四代区域和校园规模供暖系统的运行温度比上一代系统低得多, 它允许将低品位热源作为能源进行利用, 为 DH 回路做出贡献。安装这一代 DH 系统的主要目的是抑制 CO_2 排放。热泵传输和热能放大使城市污水(原始污水或处理过的污水)能够用于热能回收。图 14.6 为使用污水拦

截器的 DH 系统的图示。在该图中，一个校园公用设施与拦截器相连。位于校园公用事业工厂的热泵从通过的污水中提取热量，并将热量转移到二次热水循环中，通过泵循环热水，将热量传输给终端用户。

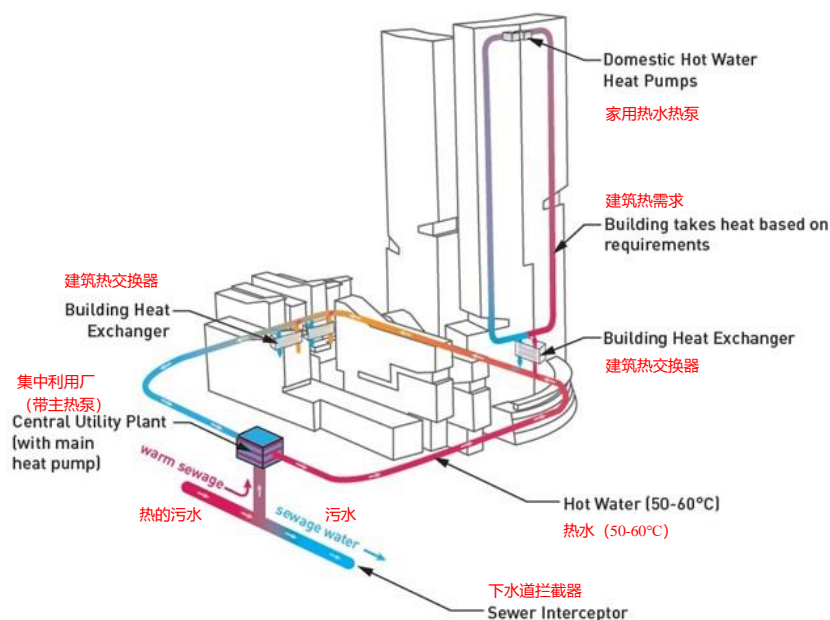
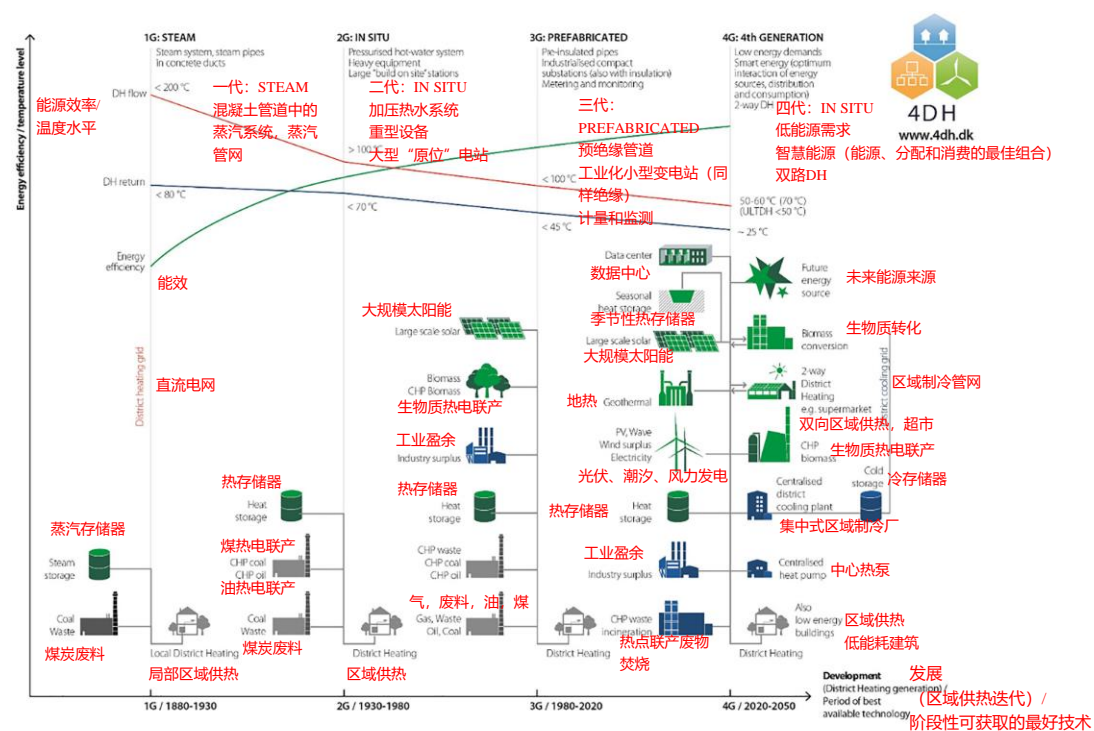


图 14.6 第四代 DH 系统的示意图，该系统由污水拦截器提供热源，并为地区建筑物供暖和提供热水

第四代区域和校园规模供暖系统的出现，比上一代系统要求的热水温度低得

多，允许使用低品位的热能来源，如污水热能，供应 DH 和 DES 循环(Lund et al., 2018)。

鉴于第四代系统在低碳运行方面性能不足，第五代区域能源系统（DES）可以在更低的温度下运行，并寻求为校园提供全年低碳供暖和制冷（也称为生态循环）。这些系统基于环境温度循环运行，通过建筑物网络全年循环温水。例如，在冬季，该回路可能会将主回路中的 17°C 水循环到每个建筑物，热泵从回路中提取和放大热量。在混合建筑建成环境中，一些建筑可能会做相反的事情，即热泵将热量回送（例如，数据中心）到回路中以供其他建筑提取和利用。在夏季，循环可能在 22°C 条件下进行，并且在每个建筑物内，热泵都将热量回送至循环网络。在整个过程中，拦截器中的污水根据需要成为系统级热量的汇或源，以平衡系统的整体需求。图 14.7 显示了一个使用污水拦截器作为热源的 DES 示例。在校园公用设施内，污水通过热交换器，与环境循环回路进行热交换。每个建筑物中的二级循环根据建筑物的需要利用本地热泵输送或吸收热量。在建筑环境中，诸如此类的 DES 可以对建筑群进行极其高效和低碳的供暖和制冷。如果需要在极冷或极暖时期提供峰值容量，可以在校园公用设施中安装空气源或地源热泵（参见图 14.2）。

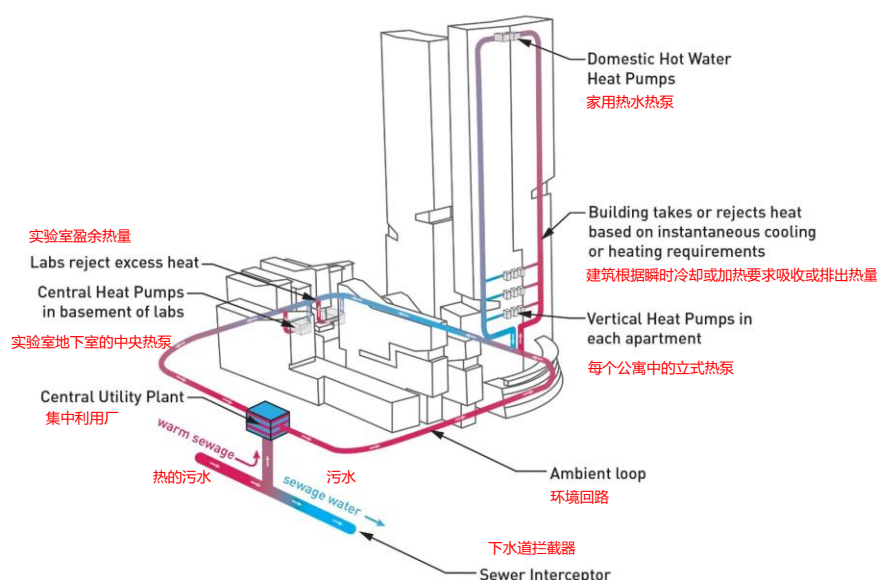


图 14.7 第五代 DES 示意图，该系统热源来自污水拦截器，并对地区建筑物进行供暖和制冷。热量交换经由污水到中央公用事业厂的独立环境回路实现。

重要的是，如果需要冷却，则不需要额外的中央设备或管道，因为公寓热泵以反向循环进行工作；它是将能量排放到回路中，而不是从回路中吸收能量。与并行安装中央加热系统和中央冷却系统相比，这可以节省成本。

14.4 污水热能回收技术的可行性评估

城市已建成的环境包括数十年来在污水输送和处理基础设施方面的公共投资。当然，这项基础设施投资的主要目的是管理和处理污水，以保护公众健康和环境。然而，从高水平的技术角度来看，这些对输送大量低品位热能的地下城市网络的公共投资有可能为纳税人带来更多的环境效益，这些网络可以为当地提供热源，并为更广泛的城市或区域脱碳目标做出贡献。在规模上，当与第四代或第五代地区或校园规模系统相结合时，原始污水和最终流出物可以满足大量的城市室内供暖需求。一项全国性的综合调查估计，从英国污水和处理过的污水中每年可回收大约 183 亿 kWh 的热量，这可满足该国 3.6% 的供暖需求(Wilson & Worall, 2021)。

对于给定的应用或场地，有必要评估来自污水的热能对于满足或匹配建筑需求的潜力。评估必须考虑建筑能源需求概况，并将其与污水（或流出物）热能的昼夜和季节性概况进行比较。建筑能源需求与污水流中可回收热能的叠加有助于确定供需匹配度。图 14.8(a)提供了建筑能源需求模型（eQuest 软件，能源部）的全年逐小时输出示例。该模型结合了当地气象数据、建筑细节信息和节能处理情况。图 14.8(b)根据初始污水温度（ T_i ）和拦截器中估计的干燥天气流型，提供了附近拦截器传热能力的叠加图。在此示例中，与附近拦截器耦合的校园 DES 可以满足几乎所有的供暖需求和大约三分之二的夏季制冷需求。泵的用电需求可以通过电网或原位光伏来满足。水源热泵的 CoP 有助于降低系统的整体电力需求。冬季取暖的天然气需求已降至最低。

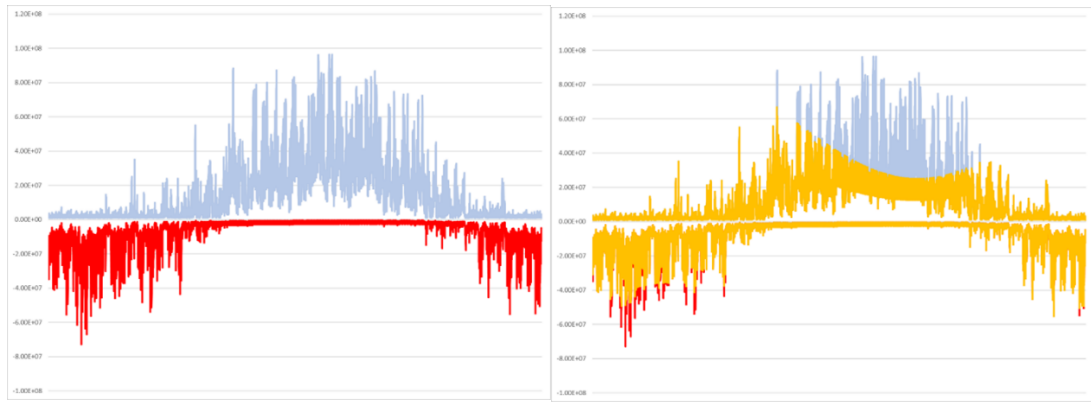


图 14.8 校园建筑能源需求的模型输出(a)和附近污水拦截器回收的热能叠加(b)。红色为季节性供暖需求，蓝色为季节性制冷需求。黄色显示了通过拦截器可满足的供暖和制冷需求覆盖范围

14.5 污水热能回收的应用

据估计，全球有超过 500 个从污水中回收热能的应用案例(Schmid, 2008)。这些装置的规模因建筑规模而异（例如，~500KW），而其他的如挪威奥斯陆的 Skøyen 供热厂，热回收能力为 30 MW，有助于当地污水处理行业实现脱碳。Skøyen 供热厂为更大的城市区域能源做出贡献，估计每年可提供 1.3 亿 kWh 的热量，相当于满足 13,000 套公寓的供暖和热水需求。

不列颠哥伦比亚省温哥华的东南福溪社区能源公用事业公司提供了第四代 DH 系统的另一个应用案例，该系统为住宅和商业建筑空间提供室内供暖和热水。供热厂位于城市污水泵站附近的立交桥下。一个大型热泵（参见图 14.9）直接从过滤后的污水中提取热量，并将热量传输到第二个回路中，该回路通过低碳化室内供暖和热水将热量输送到东南福溪社区。自 2010 年该系统已开始运营，到 2019 年系统供热规模达 4MW，可为大约 5,750,000 平方英尺的住宅和商业空间供暖和提供热水。



图 14.9 一个大型热泵（约 4 兆瓦）直接从过滤后的原始污水中提取热量，为东南福溪社区（位于坎库维尔市）服务

图 14.10 显示了该热泵如何来提取热量并提高供应回路中的温度。在图示左侧的源回路中，温暖的污水从热泵的低压蒸发器一侧流过。在热泵循环的这一侧，泵中的制冷剂从通过的流体中吸收热量。冷却的污水离开热泵蒸发器并返回到下水道。然后，加热的制冷剂气体被压缩并转移到高压环境的供应回路，冷凝器中的热制冷剂气体将热量交换到热水供应管道，附近的回流气流从热制冷剂中获得热量，变成热水在供应管道中流出。膨胀阀将制冷剂释放回低压蒸发器一侧，开始下一次循环并吸收热量。

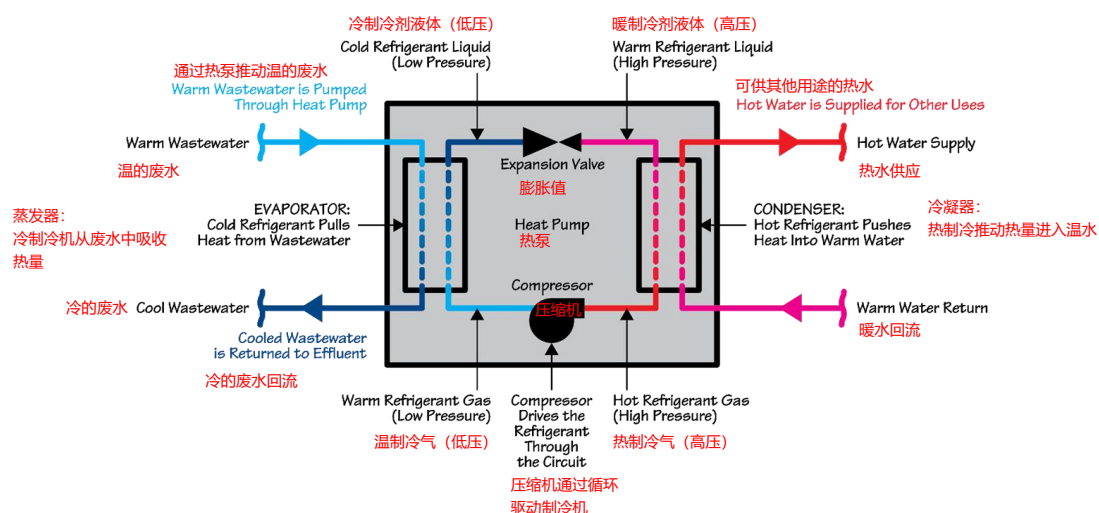


图 14.10 第四代 DH 系统中用于污水的热泵示意图

位于科罗拉多州丹佛市的国家西部中心（NWC）是一个混合用途的再开发项目，包括活动空间、圆形运动场、研究和教育空间。NWC 污水热能回收系统为第五代环境循环 DES 提供了一个应用案例，该系统在冬季进行室内供暖，在夏季提供部分制冷。该基地的校园公用设施额定容量为 4 兆瓦，并从基地下方的拦截器吸收热量（或排出热量）。两根管道循环贯穿整个场地，为 11.9 万 m² 的活动空间和研究空间提供室内供暖和制冷。

14.6 污水热能回收的机遇与挑战

2021 年政府间气候变化专门委员会（IPCC）报告强调世界气候正在发生变化。要大幅减少全球 CO₂ 排放，就需要重新审视传统的基础设施服务，这将挑战现状。将低品位热能纳入联网系统是减少室内供暖相关排放的一种可行手段，但这需要开放的领导、新的政策、独特的伙伴关系和协作的商业模式。21 世纪剩余时间内，人口的持续增长将导致许多新城市与旧城市进行填充开发、再开发和进一步的高密度化。这些高密度的生活环境为第四代和第五代 DH 和 DES 的开发创造了机会，这些能源系统利用了污水等低品位资源，从而实现了低碳供暖。20 世纪在下水道和处理基础设施方面的公共投资主要用于河流沿岸以及当时的工业化地区。如今，为了适应人口和经济增长，这些以前的工业用地往往成为城市内重新开发和高密度化的地区。这些棕地重建项目与当地气候行动和能源计划相结合，为污水系统的潜在热能回收创造了条件。图 14.11 展示了一个总体框架，用于开展伙伴关系、政策和技术经济评估，以确定潜在的污水热能系统是否可行。



图 14.11 将低温源集成到 DES 的框架示意图(Bertelsen et al., 2021)

14.6.1 制定战略规划

鉴于它们的性质，低温或低品位热能的回收和再利用需要独特的合作伙伴关系和各种利益相关者的支持。已实施气候行动以减少碳足迹的城市和地方政府有助于为这些初步讨论和最终的伙伴关系“奠定基础”。例如，2014 年纽约市承诺到 2050 年温室气体排放量比 2005 年减少 80% (New York City Mayor’s Office of Sustainability, 2016)。随后，该市出台了《建筑排放法》，要求该市的大型建筑监测排放，并投资于减少建筑排放的系统，特别是室内供暖和制冷系统(Local Law 97, 2019)。这是一个示范指令，根据该指令，可以开发创新方法和伙伴关系，利用当地的低温热源，创建低碳供暖系统。另一个例子是荷兰对化石天然气转型做出的努力。根据其 2019 年气候法案，该国的供暖政策旨在大幅减少能源消耗，包括解决荷兰超过三分之一的能耗用于建筑和家庭供暖的问题。到 2050 年，新住宅不再允许接入燃气管网，现有住宅和建筑必须找到化石燃料的低碳替代品。政府在制定脱碳政策时，认识到需要解决室内供暖的问题，如这两个例子所述，这些脱碳政策有助于使最终用户的需求（例如，建筑物所有者）与当地潜在的低品位热源所有者（例如，数据中心或污水卫生区）的资源供给联系起来。为了支持这些更广泛的目标，污水公用事业公司可以制定下水道热回收政策，确立他们从基础设施中回收热能的立场，以及其他技术、管理和财务要求。

14.6.2 需求和资源测绘

匹配和整合低品位热能资源与室内供暖需求的一个挑战是潜在终端用户对热能资源的认识和接受不足。地方政府可以通过其规划部门开发空间信息来帮助缩小这一差距，这些信息可以显示热源的地点和规模，如果适用的话，还可以显示正在开发或规划中的指定供暖区边界。这些地图可以展示通常在城市景观中发现的潜在低品位热源布局情况。污水处理设施和收集系统拦截器可以绘制在这些地图上，以显示下水道网络中估算的可用热量。对于潜在的开发商或开发场地，资源图允许开发商在早期总体规划设计阶段就考虑校园规模能源系统选项；对于制定了明确的战略计划的城市，污水公用事业公司可以提供拦截系统和污水流的分布制图，以提供对可用热能的深入了解。根据对化石天然气进行替代的要求，资源分布、与可用热源的接近程度可能成为开发商对建筑场地整体效益、吸引力和价值进行评估时的考虑因素。

14.6.3 技术可行性

从污水中利用潜在热能的下一步工作是对特定场地条件和基础设施进行技术评估。在城市中的指定企业区，包括 DH 或 DES 的总体规划，可以帮助解决许多原本可能难以解决的技术问题。TEW 的技术评估需要考虑拦截器、泵站或其他污水资源的接入，以及污水公用事业公司的要求，即潜在系统如何以不干扰正常运行的方式与污水基础设施连接。选址方面要考虑的其他因素是安装、操作和维护该系统所需的通行权和地役权的相对复杂性。与当地污水公用事业公司就潜在的污水热能利用进行协议合作，还可以创造成本分担机会，以改善污水处理系统本身。随着场地的重新开发和污水热能回收设备的安装，合作伙伴可以抓住机会对污水基础设施进行必要的改进，如重新调整拦截器，更换老化的基础设施，或安装气味控制装置。技术可行性评估的过程允许所有利益相关者为整体概念做出贡献，满足他们的需求，并在他们各自的组织内为项目提供支持。

14.6.4 监管和融资框架

能源系统和能源销售，即使是对于低品味的能源，也可能属于能源委员会或

公用事业监督委员会管辖和支配。如果是这样，可能需要豁免或修改法规，以允许这种类型的现代供暖系统，而不是围绕化石能源公司和服务建立的治理结构和政策。鉴于其潜在的重要性，了解并在必要时解决任何可能阻止 DES 和 DH 系统的监管障碍（无论是从技术角度还是从治理角度来看）都非常重要。

一般来说，污水系统的热能利用有三种不同的商业模式。这些商业模式需要解决系统的整体融资、污水处理公司的合作要求，以及实体拥有、运营和向客户收取服务费用等问题。以下是三种不同商业模式的简要示例，这些商业模式已用于从污水加热系统中获取热能。

14.6.4.1 特殊用途公共事业

位于不列颠哥伦比亚省温哥华的东南福溪社区能源公用事业（NEU）的模型是基于一个小型的特殊用途能源区，在一个已经建立的公共设施内部构建的。NEU 是一个特殊用途的小型公用事业公司，由温哥华市拥有和运营。温哥华市还拥有并运营下水道和附近的泵站。NEU 负责为特别指定的东南福溪社区提供室内供暖和热水。该地区的发展需要通过契约参与 NEU。温哥华市议会每年都会审查 NEU 向客户提供的服务的计费费率，以及其他城市服务（例如供水和下水道）的费率。

14.6.4.2 公私能源服务协议

国家西部中心（NWC）的模式基于公私合作伙伴关系，其中校园向社会资本承诺并支付服务费用，包括收回私人合作伙伴用于建设系统的初始资本支出。NWC 管理局负责向拥有和运营该系统的区域能源合作伙伴支付能源费用。反过来，校园内主要建筑业主与 NWC 签署运营协议，NWC 管理局会定期给这些业主开具发票。NWC 管理局与拥有拦截器的区域污水公用事业公司签订了另一项运营协议，该公司允许通过拦截器进行热能回收，为校园公用事业提供服务。校园能源协议的期限为 40 年。

图 14.12 展示了在污水热能回收方面的合作关系。在 NWC 热能回收系统的案例中，三个协议组成了业务结构：

（1）校园能源协议——NWC 管理局和 DES 合作伙伴之间的 40 年固定价格

合同，为环境回路系统提供 DBFOM 服务。DES 合作伙伴是一个由工程、建筑、金融和 O&M 服务公司组成的财团。NWC 管理局负责每月全额支付能源费用，包括资本偿还、O&M 和更新。

(2) 运营协议——NWC 管理局和污水公用事业公司之间的运营协议，允许使用拦截器进行加热和冷却。该协议涵盖了组织之间的运营计划，以畅通沟通渠道、实现预期绩效。

(3) 终端用户运营协议——NWC 管理局与校园内最终用户之间的协议。NWC 管理局每月向用户开具其部分能源付款的发票。支付额基于终端用户在总连接容量中所占的份额加上管理费用。

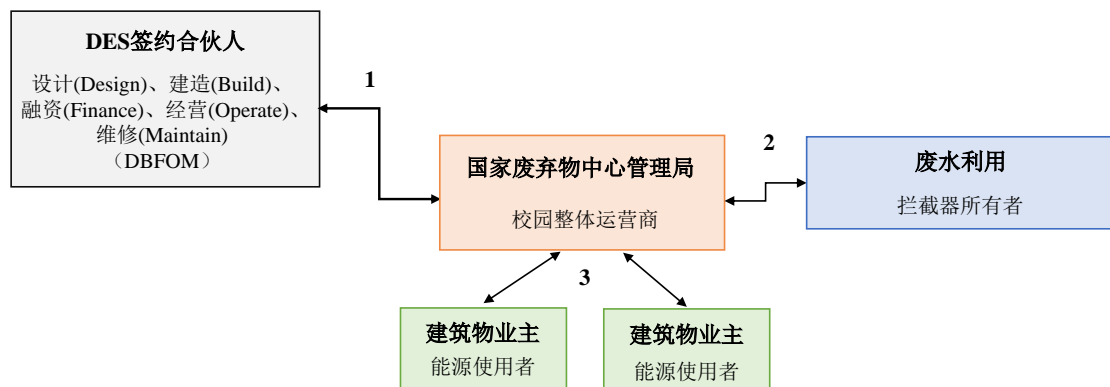


图 14.12 NWC 热能回收系统基础关系的一般结构

14.6.4.3 联合运营商/业主伙伴关系

Skøyen 供热厂是一个大型 TEW 设施，与奥斯陆市供水和污水管理局所拥有和运营的污水排放管道相连。两台总功率为 30 兆瓦的热泵从管道内的污水中收集热量。此外，该工厂还有一个容量为 12 兆瓦的电锅炉。该工厂从污水中提取低碳可再生能源，转化为 1.3 亿 kWh 的热量，可满足 13,000 套公寓的供暖和热水需求。供暖厂由 Fortum Oslo Farne 和市政府共同拥有、经营。在共同所有制中，商业模式在经济、绩效和系统可持续性效益方面利用了共同分担责任的优势。Skøyen 供热厂是一个更大区域能源系统的一部分。

参考文献

Bertelsen N., Mathiesen B. V., Djørup S. R., Schneider N. C. A., Paardekooper S., Sánchez García

- L., Thellufsen J. Z., Kapetanakis J., Angelino L. and Kiruja J. (2021). Integrating Low-Temperature Renewables in District Energy Systems: Guidelines for Policy Makers. International Renewable Energy Agency, Masdar City P.O. Box 236, Abu Dhabi, United Arab Emirates, Available at <https://vbn.aau.dk/en/publications/d68fe575-1109-40a3-b758-b48af9939f80> (Accessed September, 2021).
- Kohl P. (2019). State of the Science and Issues Related to Heat Recovery from Wastewater, Project Number ENER10C13/4788, Water Research Foundation, Denver, CO, USA.
- Lily Riahi, Policy Unit, Climate, Energy and Environmentally Sound Technologies UNEP (2015). District Energy in Cities: Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy, UNEP, Copenhagen Centre for Energy Efficiency (C2E2), ICLEI – Local Governments for Sustainability and UN-Habitat, United Nations Environment Programme, Gigiri Nairobi, Kenya.
- Local Law 97 (2019). Local Laws for the City of New York. Available at https://www1.nyc.gov/assets/buildings/local_laws/l197of2019.pdf
- Lund H., Ostergaard P. A., Chang M., Werner S., Svendsen S., Sorknaes P., Thorsen J. E., Hvelplund F., Ole Gram Mortensen B., Vad Mathiesen B., Bojesen C., Duic N., Zhang X. and Moller B. (2018). The status of 4th generation district heating: research and results. *Energy*, 164, 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.206> (Accessed September 2021).
- New York City Mayor’s Office of Sustainability (2016). New York City’s Roadmap to 80×50. Available at https://www1.nyc.gov/assets/sustainability/downloads/pdf/publications/New%20York%20City%20Roadmap%20to%2080%20x%2050_Final.pdf (Accessed October 2021).
- Schmid F. (2008). Sewage Water: Interesting Heat Source for Heat Pumps and Chillers. Proceedings of the 9th International IEA Heat Pump Conference, Zürich, Switzerland, 20–22 May 2008, pp. 1–12.
- US Energy Information Association (2018). Annual household site end-use consumption by fuel in the U.S. – totals, 2015. Available at <https://www.eia.gov/consumption/residential/data/2015/index.php?view=consumption> (accessed 29 December 2020)
- Wilson M. P. and Worall F. (2021). The heat recovery potential of ‘wastewater’: a national analysis of sewage effluent discharge temperatures. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 7, 1760–1777. <https://doi.org/10.1039/D1EW00411E>, <https://doi.org/10.1039/D1EW00411E>