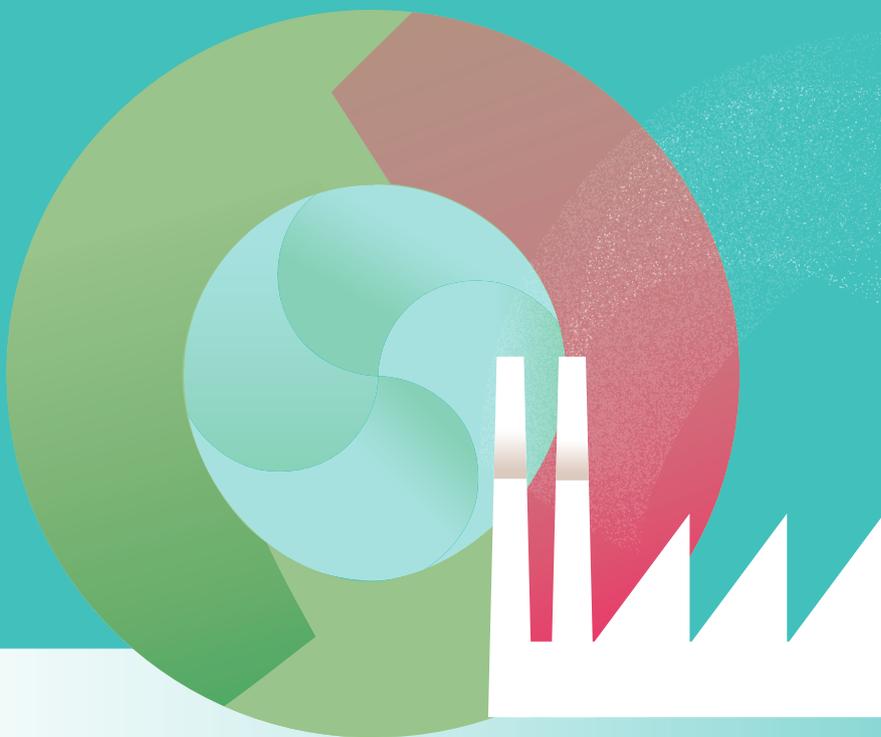


# 全球存量最大的 待开发能源： 余热



# 能源危机 有更绿色更安全的 解决之道

序言

Astrid Mozes  
丹佛斯集团战略区域市场总裁

《柯林斯词典》将“长期危机”(permacrisis)选为2022年度热词。回首过去两年的世界，各种危机接踵而至。疫情全球肆虐。由于全球变暖，干旱、洪涝和热浪不断袭来。几十年未有的战火摧残着欧洲。能源危机的威胁，可能将世界经济推向衰退。最近，土耳其和叙利亚又发生了地震惨剧。

面对停止进口俄气之后留下的供需缺口，欧洲的决策者们还在苦苦支撑。各国纷纷采取重启老旧燃煤电厂、新签核电项目和增购液化天然气等应对措施。

现实的悲剧在于，部分上述措施可能有助于缓解能源危机，但同时会对世界急需的绿色转型造成延迟和复杂化。

可惜，决策者们没有看到，存在着现实可用的更加绿色、经济和安全的替代方案。那就是更科学地用好现有能源。其中一种方式，就是充分利用各行各业目前浪费的海量能源。被浪费的能源往往作为工商业活动的副产品，以余热形式表现。在工厂、数据中心、污水厂和超市，会产生大量余热。仅是欧盟就年产余热2.86万亿千瓦时，堪比民用和服务业建筑空间供热和制备热水的总能耗<sup>1</sup>。在余热中，有很大比例能够在回收后再次利用<sup>2</sup>。

在世界其它地区，情况也是一样，还没有认识到余热的潜能。通过余热再利用，可以为工厂提供热量和热水，或者通过区域能源系统外送到周边家庭和企业。作为我们身边的能源，余热不为所见，却又无处不在。

利用余热，就是最纯粹的能效行动。在我们近期的《丹佛斯影响力系列白皮书》中谈到，由于人口增长和收入提高，能源需求将会大大增加。如果在绿色方程式的需求一侧立即采取措施，提高每一单位能源的利用效率，我们就不能走上正轨，实现全球气候目标。国际能源署(IEA)指出，通过全球推动能效提升，与现行政策相比，到2030年能够每年额外减排二氧化碳50亿吨。在2050年净零情景所需的减排量当中，占比达到三分之一<sup>3</sup>。为保障能源安全，通过节约能源，可以节约每天将近3000万桶石油(三倍于俄罗斯2021年的平均产量)，每年6500亿立方米天然气(约为欧盟2021年进口俄气的四倍)<sup>4</sup>。因此，对于世界众多紧迫危机而言，提高能效都是关键解决之道，可以同时让能源变得更经济、更安全、更可持续。

既然能效潜力如此之大，我们为什么还没有见到全球推动通过再次利用废弃能源等方式提高能效呢？全球能源危机触发了前所未有的动能，助推可再生能源落地推广。这固然是必要的且值得鼓励，但是对于提高能效的关注仍然少之又少。

之所以出现政策层面的漠视，部分原因可能在于能效的内在属性：能源浪费具有不可见性，在建筑、工业、交通领域提高能效的解决方案又具有技术性。但是，如果我们想探索更安全更绿色的危机解决之道，能效方案虽然不像风电开发那么引人注目，但却作用关键。

把原本会浪费的能源利用起来，能够提高经济的运行效率，降低消费者的能源成本。除此之外，余热能够节约大量供热所需的电力和燃气，从而提高未来电网稳定性，促进能源系统的绿色转型。不论是当前应对能源危机，还是未来推进绿色转型，余热回收都还没有引起重视。

我们今天已经掌握了解决方案，现在需要做的就是把它变为现实的政治意愿。最绿色、最经济、最安全的能源，正是尚待我们利用的能源。

让我们开始吧！

# 本白皮书 关键点

我们推出《丹佛斯影响力系列白皮书》，就如何提升能效、如何释放电气化在推动能源系统转型方面的潜力，分享我们的见解。在关于能源危机和绿色转型的对话中，能效提升在政策层面上往往得不到重视。一个原因是，能效提升不如可再生能源技术那么显而易见。另一个原因是，我们还没有充分解释能效提升的巨大潜力，及其在社会全面电气化中发挥的关键作用。

我们撰写一系列白皮书，揭示能效看不见摸不着的本质属性，利用来源可靠的证据，介绍能效在能源系统转型中发挥的作用。怎样才能实现全球温升1.5°C的控制目标？我们无意提供全部答案，但希望强调，在用绿色能源替代化石燃料的过程中，抑制能源需求具有重要意义。我们还想展示，我们已经掌握了所需的技术。本期重点关注的是余热，这种各行各业本来可以利用但却被浪费的资源。虽然饮料罐等材料的回收已经成为常态，但是在很多方面，还没有做到物尽其用。世界正在承受能源压力。此时，我们希望，余热回收也能成为我们的日常。



**Martin Rossen**

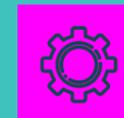
丹佛斯集团高级副总裁，传播与可持续发展事务负责人

本文由丹佛斯集团传播和可持续发展部分析主管Sara Vad Sørensen撰写。如有点评或问题，敬请致函：[sara.sorensen@danfoss.com](mailto:sara.sorensen@danfoss.com)



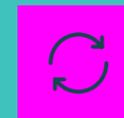
## 余热是全世界存量最大的待开发能源

仅是欧盟就年产余热2.86万亿千瓦时，堪比民用和服务业建筑空间供热和制备热水的总能耗<sup>5</sup>。在余热中，有很大比例能够回收后再次利用。



## 解决方案已经具备

我们已经掌握了热能回收技术，可以利用工厂、污水厂、数据中心、超市、地铁站和商用建筑产生的余热，为工厂供应热量和热水，或者通过区域能源系统，外送到周边家庭和企业。本文将介绍具体的行业举措，加快各行各业余热利用，通过降低能源成本、加快绿色转型，造福居民和企业。



## 余热再次利用是最纯粹的能效措施

通过全球推动能效提升，可以每天节约将近3000万桶石油（三倍于俄罗斯2021年的平均产量），每年6500亿立方米天然气（约为欧盟2021年进口俄气的四倍<sup>6</sup>）。

# 为什么关注 余热？

## 应对全球能源危机，缺乏需求侧措施

越来越多专家认同，至少在未来几年，能源价格很可能居高不下。虽然由于欧洲战祸，能源危机升级，但其后果波及全球。世界各地通胀高企，将家庭推入经济困境，迫使工厂减产，经济增长放缓，甚至有些国家面临衰退。由于依赖俄罗斯，欧洲出现天然气供应脆弱，供电短缺和电网不稳，可能导致天然气定量配给和严重的停电风险。

对于能源危机，做出了什么政策回应呢？总体而言，政治关注大多投向了供给侧措施。作为出乎意料的积极进展，全球能源危机引发了新能源建设前所未有的热潮。未来五年全球拟建新能源发电规模相当于过去二十年的总和<sup>7</sup>。这的确既振奋人心，又势在必行。

但是，既然新能源建设不能立竿见影，在对危机做出的政策回应中，一个主要方面就是各国政府增加液化天然气进口。

由于中国经济很可能回暖，加剧对液化天然气的争夺，所以增加进口并非长久之计<sup>8</sup>。此外，多数应急财政措施偏重于补贴，例如给予家庭收入支持。相比之下，在当前的危机政策中，几乎看不到减少能源需求的结构性措施，如投资激励措施或推动提高效率的法规<sup>9</sup>。

虽然能源价格飙升、能源供应空前不确定，但是我们仍然远未达到实现净零排放所需的每年能效提高4%的目标<sup>10</sup>。在危机的政治应对方案中，几乎看不到包括余热再次利用法规在内的结构性能效措施，即便能效措施是缓解能源危机最快捷最经济的方式。

尤其值得注意的是，在推动余热利用以避免大量能源浪费方面，采取的举措寥寥无几。

“用燃气或电力等高品味能源供热，就像“用电锯切黄油”，因为用余热等廉价热源就能轻易满足供热需求”

在下章中，我们会看到，每当引擎转动，都会产生热量。工厂、污水厂、数据中心、超市、地铁站和商用建筑均会大量发热，产生的热量目前都是排入大气，没有做出任何努力加以再次利用。

余热，也称废热，可以通过热泵等现有成熟技术再次利用。热泵是能够跨地域传输热量的电动设备。例如，热泵可以采集工厂废气中的热量或数据中心冷却系统中的热水，并在附近家庭的供暖系统中循环。

通过余热再次利用，可以为消费者节省成本。再次利用能源，要比购买或生产能源便宜多了。在社会层面，余热可以节约大量原本用来供热的电力或燃气，从而稳定未来的电网。就像Amory Lovins说的，用燃气或电力等高品味能源供热，就像“用电锯切黄油”，因为采用余热等廉价热源，就能轻松满足供热需求。

此外，在未来的能源系统中，Power to X (电力多元转化) 设施等新型热源将会从无到有、从少到多，产生大量可以规模化利用的余热。

与常规脱碳方案相比，如能全面实施跨行业统筹的技术、充分利用余热，就有可能在2050年每年节省674亿欧元<sup>11</sup>。实现途径是，将制热制冷行业与能源系统其它部分互联，并优化集成广域系统中的可再生能源，从而提升灵活性<sup>12</sup>。

简而言之，加大余热利用规模，将会降低能源总体需求，提高经济运行效率，促进能源系统绿色转型。

下一章将为我们揭秘隐藏在后院里的能源。

# 什么是余热？

设想一下，您正穿行于一幢大楼，地上遍布一元纸钞。您会视若无物，漠然走过吗？多数人肯定会躬身捡钱的。换成余热，却非如此：对于建筑和工厂里的余热，我们无所作为，没有努力回收再利用，而是任由财富白白流失。

每当引擎运转，都会产生热量。只要感受一下冰箱背面的热度，就能确认这一点。超市也是一样，只是体量更大。冰箱冰柜为让食品保鲜，会产生大量余热。在全球各地纷纷建设的数据中心，冷却过程也会产生余热。余热产生后，目前是未经回收再利用，就直接排入大气。让我们再仔细研究一下这种隐藏的能源。

## 数据和方法论

总体而言，关于各地的余热潜力，缺乏整体信息。但是我们知道，无论是常规还是非常规来源产生的余热，规模化回收再利用的比例目前都很小<sup>13</sup>。奥尔堡大学(University of Aalborg)和哈尔姆斯塔德大学(Halmstad University)的专家们提供了关于余热整体情况的一些最佳数据，范围涵盖欧盟多种来源的余热。在下文中，我们将使用来自《可及的城市余热》(Accessible urban waste heat)<sup>14</sup>和《欧洲工业余热潜力》(Excess heat potentials of industrial sites in Europe)<sup>15</sup>中的数据。

文中数据应被视为估计值。如无其它描述，估计值就是所谓的“可及余热”，这意味着，这些数据考虑了可用余热的实际利用潜力<sup>16</sup>。从这个意义上说，这些数据是保守的，因为它们只考虑了位于城市区域供热区几公里范围内的热源。我们将看到，通过就地回收热能等不依赖供热管网的方式，也可以利用余热<sup>17</sup>。此外还需要指出，余热温度不尽相同。通常为80°C以上的高温余热可以直接利用，但低温余热则需热泵增益<sup>18</sup>。因此，余热的实际利用也在一定程度上依赖于热泵等技术使用的电力。

分析具体城市和地区时，数据来自《欧洲余热地图》(the European Waste Heat Map)<sup>19</sup>。这个工具显示了欧盟27国和英国来自传统工业来源和非常规来源(如地铁站、食品生产厂、食品零售店和污水处理厂)的余热。这些数据偏于保守，因为这个工具既不显示民用和服务业建筑，也不显示数据中心，而且还专注于城区几公里内的热源，舍弃了偏远地段。

## 欧洲可及余热

供热是用能大户之一，在欧洲占到年度终端能耗的50%以上。多数国家仍在使用化石燃料供热，其中天然气占比将近一半<sup>20</sup>。同时，欧洲所有城市都有大量余热资源。欧盟可及余热总量约2.86万亿千瓦时，其中很多可以再次利用<sup>21</sup>。这个数字接近欧盟27国和英国民用和服务业建筑供热总能耗(约为每年3.18万亿千瓦时)<sup>22</sup>。

在某些国家，余热潜能与热能需求相当<sup>23</sup>。例如在荷兰，余热量达到每年1560亿千瓦时<sup>24</sup>，而空间供热和制备热水的热能需求仅为每年1520亿千瓦时<sup>25</sup>。

在世界其它地区，情况也类似。例如，中国北方的工业部门仅在采暖季产生的余热量就高达8130亿千瓦时<sup>26</sup>。想象一下，全中国所有行业的余热量多么可观！

下面，再仔细看看余热潜力吧。



## 利用余热，加快工业脱碳

工业部门占到全球能源相关碳排放的39%<sup>27</sup>。目前每年能效提高1%，低于实现零碳情景所需的3%节能幅度<sup>28</sup>。全球工厂面临的结构性挑战在于，既要满足增产需求，又要降低排放。当前的能源危机让工业部门倍感压力，因为工业生产的能源成本占比大大增加。

矛盾的是，工业部门能效提升缓慢。以美元计算的单位工业产值能耗提升幅度，从2010-2015年的接近2%下降到2015-2020年的不到1%<sup>29</sup>。工业部门需要每年提高能效3%，才能实现净零情景的目标<sup>30</sup>。如果工业能耗居高不下、工业能效提升不大，那么总体能效提升就会停滞<sup>31</sup>。

好消息是，存在余热这个巨大的待开发能源，可供工业部门利用。纵观欧盟，工业是最大的余热来源。欧盟重工业企业年产余热2670亿千瓦时<sup>32</sup>，超过了2021年德国、波兰和瑞典的热能产量总和<sup>33</sup>。如果只看温度高于95°C且位于现有区域供热基础设施10公里以内的余热，潜力已达640亿千瓦时，相当于欧盟区域供热基础设施年度能源供给量的12%<sup>34</sup>。看看特定城

区，潜力同样惊人。以德国鲁尔区埃森市 (Essen) 市为例，该市遍布约50处工业设施，年产余热119.9亿千瓦时，足以为该地区近半家庭 (约120万户) 供热。

水泥、化工和钢铁这三个行业占到全球工业能耗近六成。中国等新兴市场和发展中国家占其产量70-90%<sup>35</sup>。这些重化工业产出的余热温度高，易于再次利用，所以能效潜力巨大。

工业部门目前并未走在实现2050零碳情景目标的正轨之上，但通过余热再次利用，能够扭转全球能效形势。我们将在下一章看到，工业余热利用，形式不拘一格，例如通过再次利用余热为工厂提供热量和热水，或者经由区域能源系统输往周边家庭和企业。



## 中国余热利用成绩斐然

### 中国本溪

2015年以来，本溪市逐步转化利用钢铁工业产生的余热资源。通过行业耦合，利用制铁炼钢余热为城市供暖，大大降低了城市的年度煤耗、节省了能源开支、改善了空气质量。

### 丹佛斯中国工厂

2018年以来，丹佛斯海盐和武清工厂努力回收通风冷却工艺产生的余热。在增产22%的同时，厂内供热能耗下降7%，能源生产率三年间提升24%。在这些成绩中，余热回收项目的贡献度达到了15%。仅在2021年，通过余热回收就节省了30万欧元的能源成本。

## 城区余热，多源挖潜

电厂、钢厂等工业余热温度很高，所以已经得到了再次利用。但如下一章所示，随着技术进步，很多低温余热亦可利用。虽然工厂是余热的最大来源，但在没有工业的大型城市，余热来源也很丰富，能源总量非常可观。

以数据中心为例。数据已经成为当今全球数字经济的命脉，构成了城市信息流动的骨干，支撑着从基础设施到交通、从零售到制造的各种活动。数据中心也是用电大户。2020年，欧盟27国加英国的数据中心用电量高达1000亿千瓦时，约占地区电力总需求3.5%<sup>36</sup>。

据国际能源署统计，数据中心和数据传输网络的排放占到全球能源相关温室气体排放总量近1%<sup>37</sup>。据2020年保守估计，欧盟27国加英国共有1269个数据中心，年产可及余热总计950亿千瓦时<sup>38</sup>。

超市也是如此。超市是世界各地社区的有机组成部分，同时也是用能大户。在工业化国家，超市能耗平均约占年发电量的3-4%<sup>39</sup>。

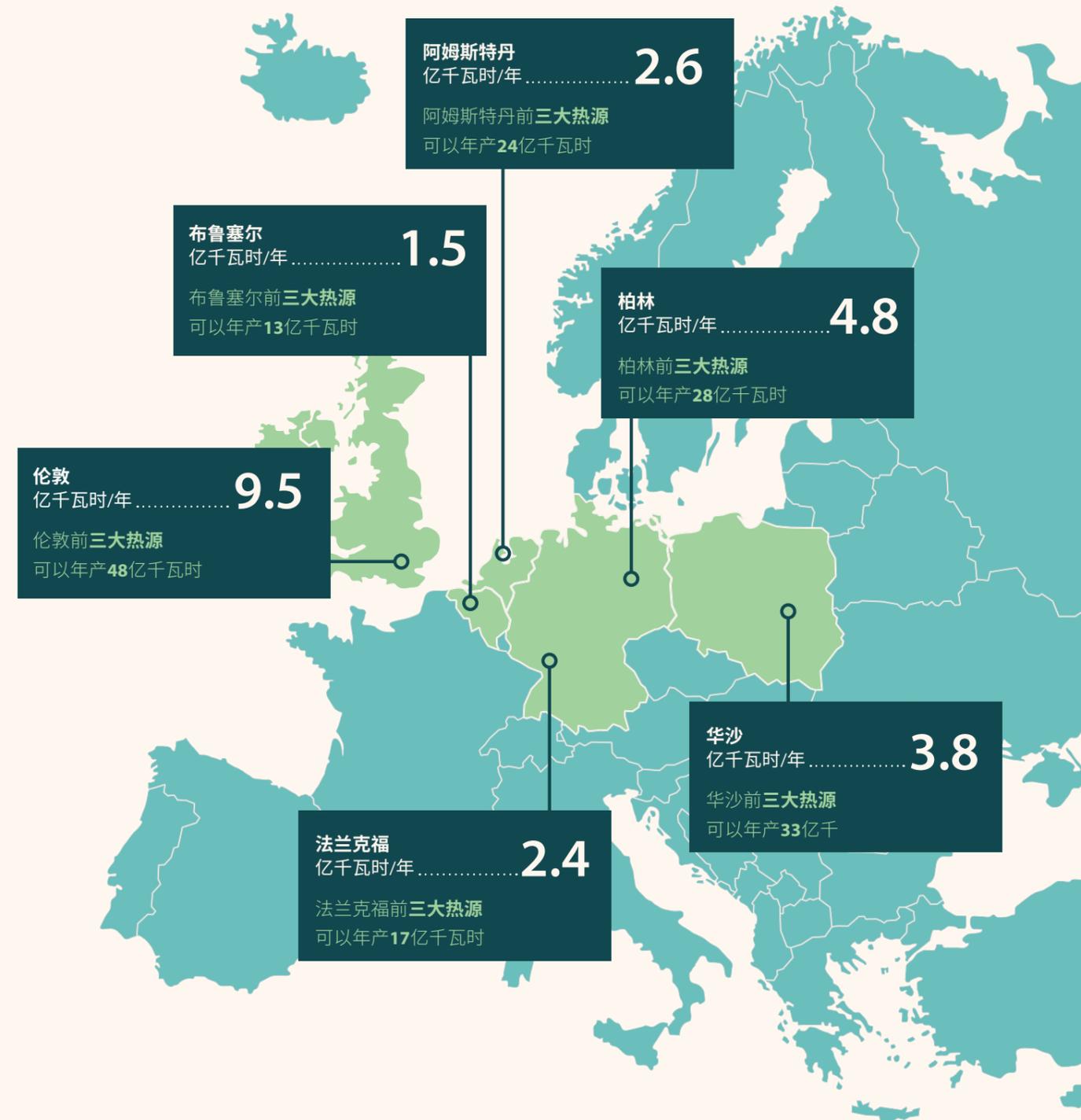
在欧盟，食品零售业每年有440亿千瓦时的余热利用潜力<sup>40</sup>。这虽然远少于工业余热，但相当于2021年捷克和比利时的产热总量<sup>41</sup>。除此之外，超市余热易于获取，可在店内再次用于空间供热、制备热水。超市业主只需采用现有成熟技术就都能实现。超市行业应用实例显示，通过余热利用，还能大幅节省能源开支。如今在能源危机之下，其重要性更为凸显。

污水处理厂是另一个重要的余热来源，在欧盟范围内，其年度可及余热潜力达到3180亿千瓦时，这虽不及工业部门，但是结合起来可以满足城区相当比例的能源需求。

以大伦敦地区为例<sup>42</sup>。共有648个合格余热来源，包括数据中心、地铁站、超市、污水厂和食品厂，余热资源总量可达每年95亿千瓦时，约等于79万户家庭的供热需求。其中，仅前三大余热来源就可以每年产热48亿千瓦时。

## 下图可见欧洲重点城市余热潜力

在下列城市中，仅从前三大热源，就可以回收平均78.8%的余热。



# 如何利用余热？

## 解决方案已经具备

余热利用，益处很多。扩大余热利用规模，可以降低总体能源需求，继而节省消费者和企业的成本。由于再次利用能源的成本低于购买或生产能源的成本，再次利用余热也能提高经济运行效率。余热利用还比多数其它能源更加绿色，所以本质上是最纯粹的能效措施。除此之外，余热利用亦可替代电力等高品味能源，所以有助于稳定电网。

余热利用存在多种路径，从场内就地消纳这样的简便方案，到区域供热这样的最先进形式不一而足。下面来具体看看。

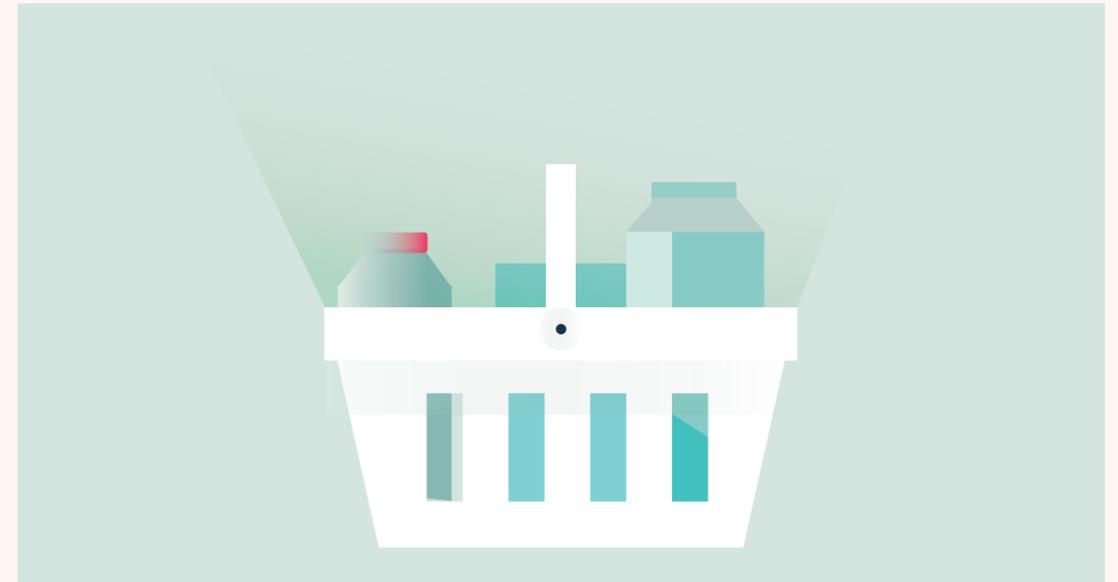
### 1. 场内就地消纳

余热可在多地产生。只要使用能源，就会产生余热利用潜力。具体而言，不论是在生产制造过程中，还是在供热供冷、冷冻冷藏、燃烧等过程中，余热都很常见。

最简便的余热利用方式，就是将热量重新导入相同过程 (请见超市案例)。根据来源不同，余热温度各异。例如，化工、水泥等重工业产生的余热温度会远高于建筑供冷所产生的余热。余热根据温度不同，可满足多种用途。一般来讲，高温余热既可以用于工业，也可以供给民用，但低温余热多适于民用 (例如空间供热、制备热水)。

场内消纳余热的一种方式是在安装热回收装置。遇到为了提高工厂总体效率而将余热视为“无用副产品”的情况，通常就值得考虑安装热回收装置，将余热以相似或较低温度用于生产流程。如超市案例所示，可以利用余热，为空间供热或制备民用热水。

## 案例：超市里的余热再利用



冷柜冰柜中的食物保鲜是超市最大的用能需求。听上去可能有违直觉的是，冰柜冷柜和冷藏货架会大量发热。只要摸摸冰箱背面的热度，就可以确认这一点。这些制冷系统会产生大量余热，并直接排入空气、造成浪费。

在丹麦南部一个小镇，当地有家超市名叫 SuperBrugsen，通过再次利用并出售制冷系统产生的余热，大幅度节能增收。

2019年以来，凭借再次利用制冷系统产生的余热，SuperBrugsen超市满足了自己78%的供热用能需求，并通过区域供热网络向附近建筑出售了13.37万千瓦时热量。

这个成绩的取得，受益于三个相互关联的举措：

**第一**、超市将化学制冷剂更换为自然制冷剂 (即二氧化碳)，后者具有优异的热量回收特性。

**第二**、在店内安装了热回收装置，用于从二氧化碳制冷系统回收余热。余热回收后得到再次利用，为超市供热，并制备民用热水。

**第三**、超市开展节能项目，确保长期能效。检测制冷系统，调节技术参数，定期进行维护，从而进一步提升能效、降低能耗。

## 2. 行业耦合、城市规划

行业耦合指的是，两个以上产能和用能部门（即电力、供热、供冷、交通、工业）组合的优化过程。行业耦合旨在充分发挥部门间的协同效益，实现能源的转化和储存。这既可以通过城市规划小规模开展，也可以通过区域能源网络大规模推行（请见下文）。借助智能网络，对接能源供需，通过城市规划，释放部门耦合和余热利用的潜能。如果在数据中心等余热生产者附近，存在花卉园艺等购买消纳余热的主体，巨大的协同效益就可显现。探索能源供需主体之间可能存在的协同效益，被称为产业集群规划，能够助力能源系统脱碳。此外，实践表明，相邻企业之间开展合作，对于买卖双方都能产生经济效益。

## 3. 区域能源

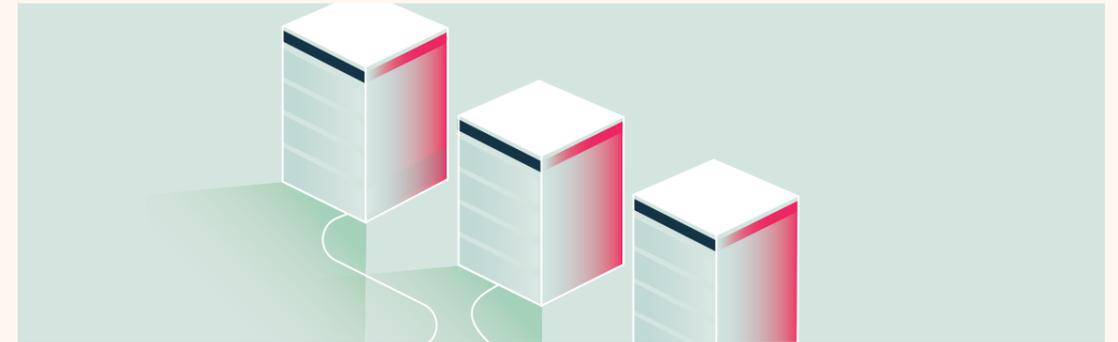
在世界很多地方，采用区域能源网络，为家庭和企业供热供冷。区域能源网络是为整个地区统一供热供冷的系统，接入多种热源，既有太阳能、地热能、生物质能等可再生热源，又有电厂等化石热源，再通过管网以热水的形式向终端用户供热。今天，全球区域供热主要依靠化石燃料制热。国际能源署指出，为达到净零目标，绿色热源在全球区域供热中的占比需要扩大一倍<sup>48</sup>。如能成功，将有助于将供热产生的碳排放减少三分之一以上。

今天，区域能源系统能够支撑绿色供热。其优势之一在于，可以集成多种热源，从而将化石燃料挤出供热供冷的能源组合。随着区域能源技术演进，越来越多的绿色热源可以接入系统。现在，“第四代区域能源系统”可以接入温度很低的热源，为能够低温运行的新建筑供热。伴随越来越多的绿色能源用于区域供热供冷，区域能源系统已经成为绿色转型的中心。

区域能源系统的另一大优势在于，能够支撑网络平衡。确保供需平衡是实现电网脱碳、提高电气化水平的一大挑战。通过整体统筹能源系统、接入多种能源，区域能源系统可以实现灵活用能，弥合供需缺口，充分利用网络容量。随着我们扩大使用可再生能源、加快实现电气化，削峰填谷将尤其重要。

在中国和欧洲，都有庞大的区域能源系统，未来还会增加。丹麦之所以成为世界上能效最高的国家之一，主要就是因为广泛使用区域供热。在丹麦，65%的建筑采用区域供热满足其热力需求；一半以上热量产自废弃物、生物质、工商业多种余热等绿色热源<sup>49</sup>。

# 案例：数据中心的余热潜力



以数据中心为例。数据已经成为当代全球数字经济的命脉，构成了城市信息流动的骨干，支撑着从基础设施到交通、从零售到制造的各种活动。据国际能源署统计，数据中心在2021年共计用电2200-3200亿千瓦时，约占全球终端电力需求0.9-1.3%<sup>43</sup>，超过了某些国家的用电总量<sup>44</sup>。

数据中心还产生大量余热。其内服务器的发热量相当于其用电量，设备制冷也会产生大量余热。与其它余热来源相比，数据中心的余热产出连续不断，由此形成了非常可靠的清洁能源。在多个实例中，数据中心产生的余热得到再次利用，通过微网为周边建筑供热，或者输送到区域能源网络，满足多种用途。

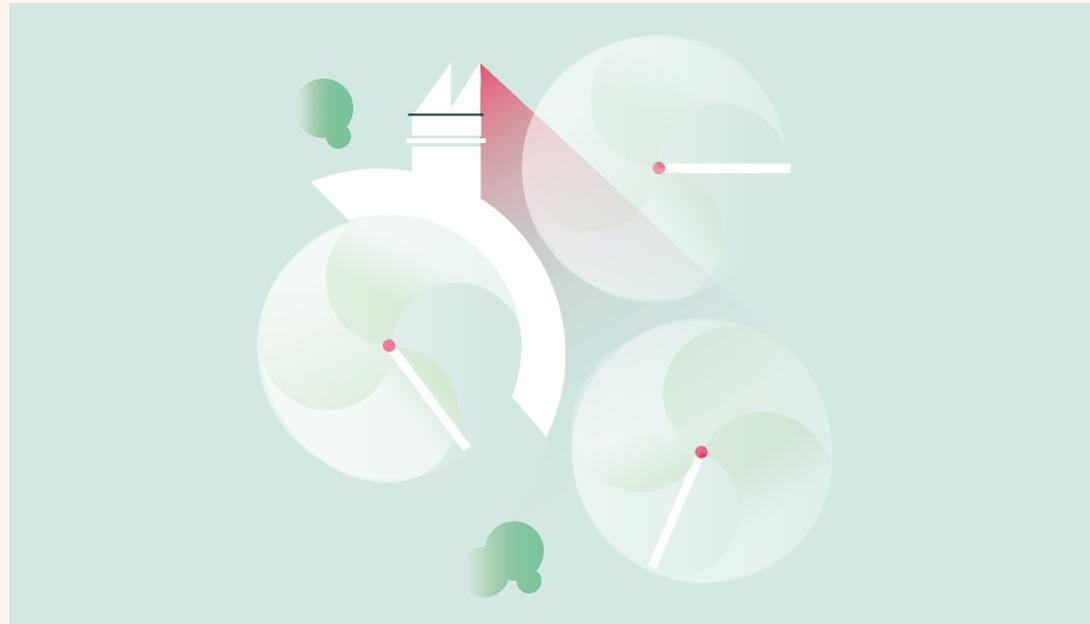
美因河畔法兰克福市正在筹备多个项目，旨在帮助该市从数据中心获取余热，用于满足家庭和写字楼的供热需求。

据测算，法兰克福市数据中心产生的余热预计到2030年可以满足本市家庭和写字楼的全部供热需求<sup>45</sup>。

在都柏林，亚马逊云科技（AWS）打造了爱尔兰首个定制的可持续解决方案，为不断发展的都柏林郊区低碳供热。新近完工的数据中心首先将为4.7万平米的公共建筑供热，并将为3000平米商用空间和135户廉租房供热<sup>46</sup>。

在挪威，数据中心与世界首个陆上龙虾养殖场比邻而居，利用峡湾海水冷却解决方案为数据中心降温，海水以8°C的温度进入数据中心，以正好适合龙虾生长的20°C的温度排回峡湾。未来，会在数据中心附近建设新场，利用加温海水养殖龙虾<sup>47</sup>。

## 案例：污水处理厂也是能源生产厂



据国际能源署统计，全球水务行业每年能耗约1.2亿吨标准油，接近澳大利亚的用能总和<sup>50</sup>。如不采取措施，全球水务相关能耗到2030年将增加50%<sup>51</sup>。

如果具有经济可行性的能效潜力全部发挥，至少是能充分利用余热，那么水务行业将产生巨大的节能潜力。

污水中蕴含着大量能源。可以从污水中提取污泥，之后泵入消化池，生产以甲烷为主的生物燃气，经过燃烧可以制热和发电。由此，污水处理厂可能从能源使用者变为能源生产者。

在丹麦的奥胡斯市，玛尔丽斯堡污水处理厂服务着20万人口。其能源产量远超其污水处理能耗。

其能源产量之大，还能满足供应饮用水的能源需求。该厂的发展道路让我们看到，水务行业如何走向能源中和，能源与水务如何解耦。

玛尔丽斯堡污水处理厂的能源产量能够满足20万城市人口整个水循环的能源需求，整体投资预计4.8年就可回收。

此外，借助区域能源系统，污水处理厂产生的余热还可以为建筑和工业供热。

# 热量回收不仅是当前能源危机中被忽视的措施，也是绿色转型的下一个前沿

# 政策 建议

在很多国家和地区，至少在能源需求强度高、拥有区域能源系统、余热来源丰富的地方，要把浪费在自家后院的能源利用起来，条件已经成熟。面对能源价格飙升、天然气短缺、气候危机，如果各国决策者未能利用余热，将是巨大的政策失误。此外，在未来的能源系统中，余热的作用只会越来越大。第四代区域能源系统等低温余热利用技术已经成熟。在未来的能源系统中，Power to X设施等余热来源也会越来越丰富。决策者在开展城市规划、设计未来能源市场的财务和监管框架时，一定要意识到余热的潜力。



**改善监管。**总体而言，要把余热看作可以利用的能源，而不是需要处理的废物。当前，存在着一些市场壁垒，妨碍着市场主体释放余热潜能。通过监管，可以消除这些壁垒，例如支持在供热网络中对余热利用和可再生能源平等相待。通过监管，还可以强制要求数据中心、工业企业等主体制定余热利用计划，推动扩大余热利用规模。强制制定供热计划，将会全面支持广大欧洲城市调动自身潜能，充分利用当地热源。例如，丹麦要求各个城市调研现有热力需求、现有供热方式和用能规模，并估算未来能源需求和供给可能。据此，制定总体能源规划，提出每个地区的优先供热方案，确定未来供热单位和网络选址。根据现有能源系统的情况，能源规划既可以突显小规模潜力（例如，为热量回收和热电联产，设定合理的激励机制），又可以突显较大规模的潜力（例如，推广区域供热）。重要的是，供热规划不但要广泛细致，还要纳入Power to X设施等未来余热来源。



**优化激励机制。**为了推进余热利用、进一步提升能效，要消除财务和立法壁垒。在很多地方，现行的能源市场设计对行业耦合技术构成了壁垒，要么妨碍行业耦合技术参与特定市场，要么不能内化高碳和低碳技术各自的正负外部性。税制设计应当有利于余热利用。网络费率应当理顺结构。此外，还要消除行政壁垒，激励用户接入区域供热网络，从而鼓励区域供热单位提高效率。



**合作推进。**系统化地利用余热，需要多个行业、多方主体协调配合。地方政府、能源供应者以及超市、数据中心、污水处理厂、工业企业等能源来源之间开展合作，有利于最大化地释放余热的潜能。

# 注释索引

1. Connolly, D等 (2013) :《欧洲热路线图 2: 欧盟 27 国的第二次预研》。奥尔堡大学发展与规划系 (Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University), 第54页。
2. Terrapin (2022):《什么产生余热, 如何为我们的星球提供动力?》(What Produces Waste Heat & How Can It Power Our Planet?)
3. 国际能源署 (2022):《能源效率紧急行动的价值》(The value of urgent action on energy efficiency), 第7页
4. 国际能源署 (2022):《能源效率紧急行动的价值》(The value of urgent action on energy efficiency), 第9页
5. Connolly, D等 (2013) :欧洲热路线图 2: 欧盟 27 国的第二次预研。奥尔堡大学发展与规划系 (Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University), 第54页
6. 国际能源署 (2022):《能源效率紧急行动的价值》(The value of urgent action on energy efficiency), 第9页
7. 国际能源署 (2022) :《随着各国寻求加强能源安全, 可再生能源的增长正在加速》(Renewable power's growth is being turbocharged as countries seek to strengthen energy security)
8. 国际能源署 (2022) :《为下一个冬天做准备永远不会太早: 2023-2024 年欧洲的天然平衡》(Never Too Early to Prepare for Next Winter: Europe's Gas Balance for 2023-2024), 第3页
9. Sgaravatti, G., Tagliapietra, S和Zachmann, G. (2021) :《保护消费者免受能源价格上涨影响的国家政策》(National policies to shield consumers from rising energy prices), Bruegel 数据集
10. 国际能源署 (2022):《能源效率》(Energy Efficiency), 第22页
11. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5be2fd8fb&appId=PPGMS>, 第88页
12. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5be2fd8fb&appId=PPGMS>, 第34页
13. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S., & Moreno, D. (2020). ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version), 第19页
14. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S和Moreno, D. (2020) :《热量再次利用项目——可及的城市余热 (修订版)》(ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version))
15. Fleiter, T等 (2020) :《工业余热潜力文档—包括特定潜力的公开数据文档 (第二版)》(Documentation on excess heat potentials of industrial sites including open data file with selected potentials (Version 2)). Zenodo
16. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S和Moreno, D. (2020) :《热量再次利用项目——可及的城市余热 (修订版)》(ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version)), 第13页
17. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S和Moreno, D. (2020) :《热量再次利用项目——可及的城市余热 (修订版)》(ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version)), 第20页
18. Nielsen S., Hansen K., Lund R和Moreno D. (2020) :《国家能源系统背景下用于区域供热的非常规余热来源》(Unconventional Excess Heat Sources for District Heating in a National Energy System Context), 第2页
19. Moreno D., Nielsen S和Persson U. (2022) :《欧洲余热地图: 热量再次利用项目—城市余热的回收》(The European Waste Heat Map. ReUseHeat project – Recovery of Urban Excess Heat)
20. Euroheat & Power (2023) :《DHC市场展望》(DHC Market Outlook), 第3页
21. Connolly, D等 (2013) :欧洲热路线图 2: 欧盟 27 国的第二次预研。奥尔堡大学发展与规划系 (Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University), 第54页
22. Connolly, D等 (2013) :欧洲热路线图 2: 欧盟 27 国的第二次预研。奥尔堡大学发展与规划系 (Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University)
23. 来自《欧洲热能路线图》第四版 (Heat Roadmap Europe) 2015年数据的民用和服务业建筑的热量需求, 也称为“低温热量需求”。这种需求不包括工业热量需求, 因为对于余热回收技术而言, 其所需的输入温度过高。
24. <https://heatroadmap.eu/peta4/>
25. 热能路线图—《欧洲热能路线图》(Heat Roadmaps – Heat Roadmap Europe)
26. Luo A., Fang H., Xia, J和Lin, B. (2017) :《中国北方低品位工业余热潜力图: 资源、保护和回收》(Mapping potentials of low-grade industrial waste heat in Northern China. Resources, Conservation and Recycling), 第125、335-348页
27. 国际能源署 (2022):《能源效率紧急行动的价值》(The value of urgent action on energy efficiency), 第8页
28. 国际能源署 (2022):《能源效率》(Energy Efficiency), 第60页
29. 国际能源署 (2022):《能源效率》(Energy Efficiency), 第26页
30. 国际能源署 (2022):《能源效率》(Energy Efficiency), 第60页
31. 国际能源署 (2022):《能源效率》(Energy Efficiency), 第21页
32. Fleiter, T等 (2020) :《工业余热潜力文档—包括特定潜力的公开数据文档 (第二版)》(Documentation on excess heat potentials of industrial sites including open data file with selected potentials (Version 2)). Zenodo, 第59页
33. <https://www.iea.org/countries/germany>, <https://www.iea.org/countries/poland>, <https://www.iea.org/countries/sweden>
34. Fleiter, T等 (2020) :《工业余热潜力文档—包括特定潜力的公开数据文档 (第二版)》(Documentation on excess heat potentials of industrial sites including open data file with selected potentials (Version 2)). Zenodo, 第71页
35. 国际能源署 (2022):《能源效率》(Energy Efficiency), 第60页
36. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S和Moreno, D. (2020) :《热量再次利用项目—可及的城市余热 (修订版)》(ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version)), 第35页
37. 国际能源署 (2022) :《数据中心和数据传输网络》(Data Centres and Data Transmission Networks)
38. Persson, U., Averfalk, H., Nielsen, S和Moreno, D. (2020) :《热量再次利用项目—可及的城市余热 (修订版)》(ReUseHeat project - Accessible urban waste heat (Revised version)), 第36页
39. 欧盟委员会 (2016) :《SuperSmart – 通过提高认识、知识转移和欧盟生态标签的前期准备, 为节能超市的市场推广提供专业知识中心》(SuperSmart – Expertise hub for a market uptake of energy-efficient supermarkets by awareness raising, knowledge transfer and pre-pre-paration of an EU Ecolabel), 第11页
40. Moreno D., Nielsen S和Persson U. (2022) :《欧洲余热地图: 热量再次利用项目—城市余热的回收》(The European Waste Heat Map. ReUseHeat project – Recovery of Urban Excess Heat)
41. <https://www.iea.org/countries/czech-republic> & <https://www.iea.org/countries/belgium>
42. 本文定义为M25内的区域。
43. 国际能源署 (2022) :《数据中心和数据传输网络》(Data Centres and Data Transmission Networks)
44. 国际能源署 (2022) :《能源统计数据浏览器》(Energy Statistics Data Browser)
45. eco (2021) :《数据中心成为城市能源供应的游戏规则改变者: 到2030年, 美因河畔法兰克福市可用余热满足其大部分供暖需求》(Data centres as Gamechangers for Urban Energy Supply: City of Frankfurt am Main Could Cover Most of its Heating Needs by 2030 with Waste Heat)
46. DCD (2021) :《Heatworks 在爱尔兰都柏林的 AWS 区域供热项目破土动工》(Heatworks breaks ground on AWS district heating scheme in Dublin, Ireland)
47. Hatchery Feed Management (2021) :《利用数据中心余热、陆上养殖龙虾》(Land-based lobster farming to use waste heat from data center)
48. 国际能源署 (2022) :《区域供热》(District Heating)
49. 国际能源署 (2022) :《区域供热》(District Heating)
50. 国际能源署 (2018) :《世界能源展望2018》, 第122页
51. 国际能源署 (2018) :《世界能源展望2018》, 第123页

# whyee.com

访问以上网址，更多了解能效方案如何加快绿色转型。

