

CIRCULAR THERMALSM

(循环热)

如何将余热重新投入工业过程及其他领域

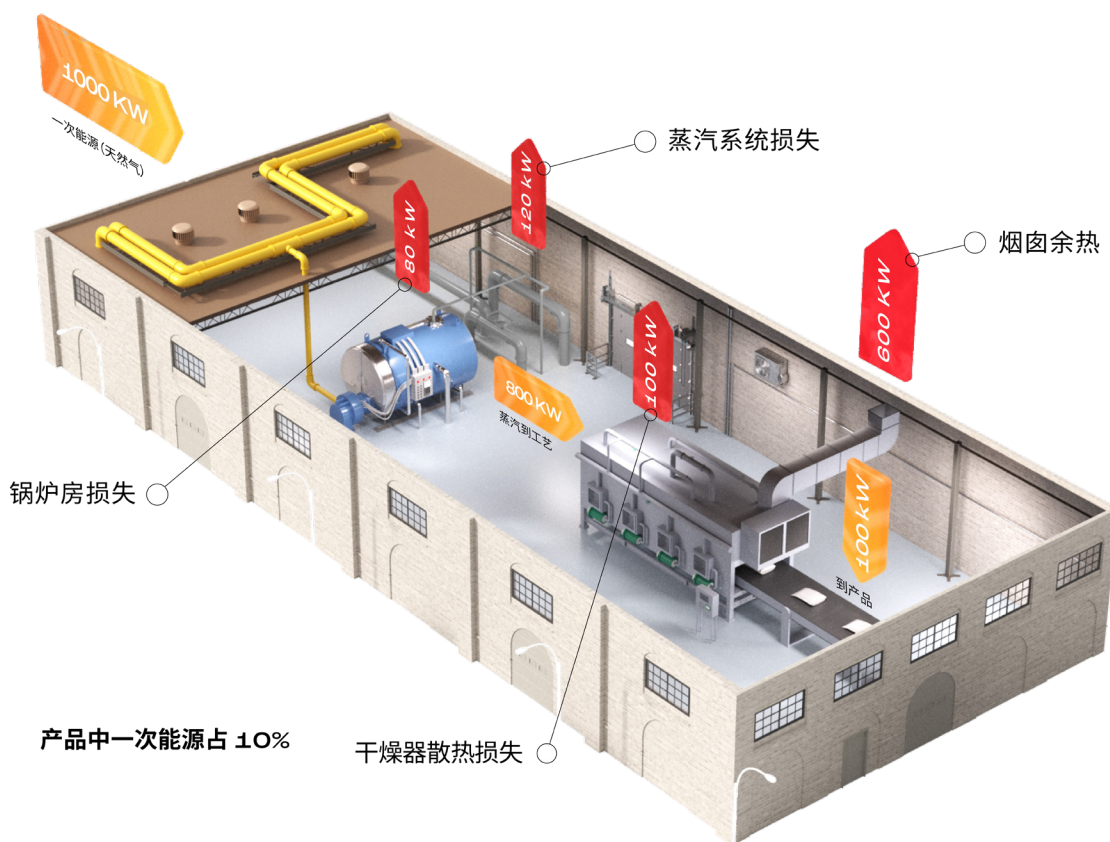


能量去了哪里？

简而言之，热力学第一定律告诉我们，能量不会被消灭或创造，它在系统中的数量保持稳定。当使用能量做功时（有时通过从一种形式转换成另一种形式），能量会降级为较低质量的能量。那么，如果工厂中的能量被降级但没有被破坏，它是如何离开工厂的呢？

目前，一次能源以电力和化石燃料的形式进入工厂，这些能源正越来越多地被可再生能源所取代。这些来源是可测量的，所以我们知道输入的一次能源的数量。在一个典型的工厂中，只有不到 20% 的输入能量用于移动物体（电动机将电能转化为机械能）或照明设施。由于能源利用效率，部分能源最终会成为余热，增加了建筑物内部的空气温度。这是不是意味着余下的 80% 用于热能的一次能源将进入正在生产的产品？在大多数工业中，只有一小部分一次能源会转化为最终产品中所含的化学能。此外，制造中使用的输入材料通常与输出产品在离开工厂时处于相同的温度（通常为环境温度）。事实上，大部分的一次能源最终会成为余热，而这些余热仍然经常通过烟囱、冷却塔和污水流失。

标准单向热系统 — 单工艺用户



工业中的加热和冷却盘管

加热和冷却过程是工业过程的基础。工厂存在的目的就是促进产品的流动，从能源的角度来看，在这一流动过程中，不同阶段的加热和冷却通常只是相互补偿。

冷却

冷却是通过去除流体中的热量来实现的。一经提取，这些能量通常会通过冷却塔浪费掉，向大气中释放热量和水蒸气。作为冷却过程的一部分，提取的能量可能占到工厂供暖需求的三分之一，甚至更多。

空压机就是一个很好的例子：在压缩机冷却过程中，高达 90% 的空压机电力输入会变成余热。根据空气湿度的不同，冷凝会增加相当于压缩机电力输入 5% 至 20% 的余热。这两者的总和有时会占压缩机所用电量的 100% 以上。

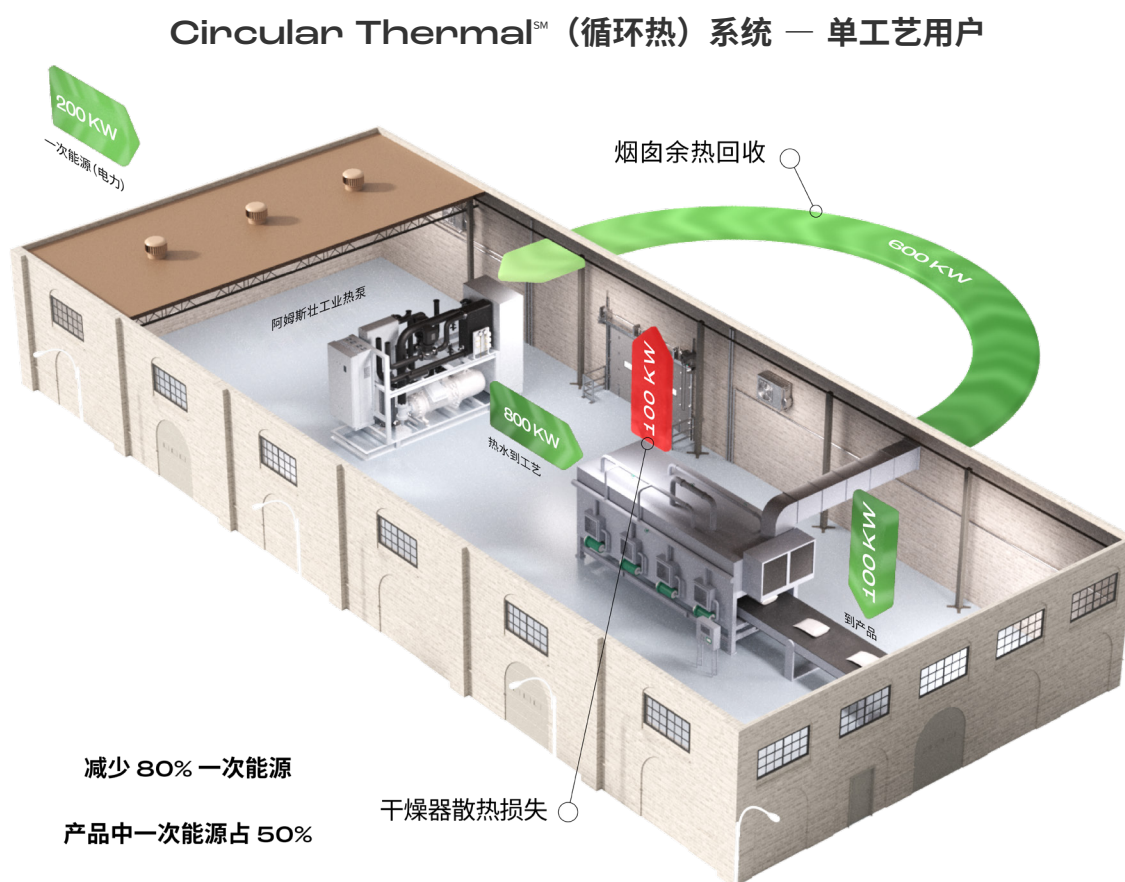
在使用深度冷冻工艺来储存冰淇淋、冷冻食品和其他产品的工厂中，冷却产生余热的可能性最大。这些产品离开工厂时比原材料进入工厂时温度更低情况。通过带走产品中的热量，产生了大量多余的冷却余热。这种能量不仅可以满足这些工厂自己的供暖需求，也可以满足相邻工厂的一些热需求。

加热

由于设施生产和分配的效率低下，供暖的能量会流失到大气中。典型蒸汽系统的效率一般范围是 60% 以下至 80%。剩余的能量用于重要任务，如通过水蒸发干燥产品、加热产品以引发化学反应、加热 / 增湿 / 除湿空气、加热用于清洁的水，等等。但在那之后，能量会怎么样呢？干燥器是工业中最大的加热应用之一，在干燥器中，多达 80% 的能量以非常潮湿的低温空气 (< 175° F / < 80° C) 的形式通过烟囱释放到大气中。其他大多数工业应用也是如此，在某些情况下，如蒸馏塔和蒸发器，工艺产出通常需要进行冷却。

采取循环方法

尽管余热中所含能量的质量已经下降，但余热中所含能量的数量仍然非常可观。根据我们的研究，轻工业中使用的 50% 至 80% 的一次能源会在中温 (< 400° F / 200° C) 甚至低温 (< 200° F / < 90° C) 下作为余热离开工厂。这意味着 50% 至 80% 的能源可以重复使用，因此可以避免相关的“范围 1” (Scope 1) 排放。通过将循环方法应用于工业热能，我们可以回收这些能量，并将其重新投入到生产过程中。



40 多年来，重工业一直使用过程集成 (PI) 或夹点分析来使工厂热效率最大化 — 主要是通过直接热回收。该方法包括测绘和重叠工厂内的冷热流，以计算工厂的最大理论余热回收和最小能量需求。结果是一个理想的设计，可以基于有根据的权衡来适应工厂的实际现实情况。在轻工业中，需要额外的“换热器网络”来回收来源中的低品位热能，然后进行储存和升级（如有必要），最后将它转移到散热器。通过这种方法，工厂可以回收余热，大大减少一次能源的使用和二氧化碳排放。我们称这个过程为 Circular ThermalSM（循环热）。

CIRCULAR THERMALSM（循环热）是阿姆斯壮脱碳方案的核心所在

阿姆斯壮热脱碳方法包括三个步骤：优化热力系统效率，最大限度地减少过程中的能源需求，并对设施的一次能源脱碳。作为系统优化的一部分，Circular ThermalSM（循环热）往往会带来最大的影响和积极的投资回报。

第一步：通过余热回收优化热力系统效率

虽然 Circular ThermalSM（循环热）的理论早已得到认可，但由于经济原因，新工业厂房建设常常会忽视这一点。过去，人们认为化石燃料廉价且丰富，很少有人关心二氧化碳排放，因此设计和操作单向热力系统容易且方便。然而，事实已并非如此了。在当今世界，能源是一种地缘政治和商业风险，化石燃料越来越昂贵，有时甚至无法获得，而可再生能源变得越来越便宜，加之二氧化碳排放要付出代价 — Circular ThermalSM（循环热）的回报正在显著提升。一旦不再使用化石燃料，回收余热将是使热力系统脱碳的最经济的方法。

去蒸汽

蒸汽系统通常在 365° F/185° C（即 150 psig/10 barg 饱和蒸汽）下产生和分配热量，即使该过程需要的加热温度要低得多。回收余热以产生低压蒸汽，然后再压缩到更高的压力，这在技术上是可行的。然而，如果最终目标是在更低的温度下加热产品，这将导致能源的过度消耗，部分原因是蒸汽系统固有的最低 20% 的损失。

这就是为什么我们认为热水是最好的加热液体，其温度可达 250° F/120° C。去蒸汽就是用热水或乙二醇系统代替蒸汽系统，以优化余热回收。去蒸汽让过程中产生的热量和热量使用之间实现了更紧密的匹配，从而优化系统效率。阿姆斯壮国际在长达一个多世纪的服务实践中，积累了深厚的蒸汽系统专业知识，我们建议对低品位热能进行去蒸汽处理。

理论上，使用热水需要更大的换热表面，因为显热的能量比潜热少 4 到 5 倍。然而，在实践中，现有的蒸汽换热器往往尺寸过大，因此将换热表面加倍通常就足够了。去蒸汽还消除了使用蒸汽加热 < 212° F/100° C 的应用所固有的凝结水排放问题，这一问题可能会在换热器中制造真空。

最后，为了避免使用过长的大型水管，热源应连接到附近的散热器。这种分散式系统设计是 Circular ThermalSM（循环热）系统固有的特点，与传统的“中央蒸汽锅炉房和配电网络”方法相反。

热泵

高品位余热往往只能用换热器回收，尽管这在技术上有时可能具有挑战性，因为通过烟囱排放的流程空气会受到污染。然而，我们通常会在低于工艺要求的温度下获得余热，因此低品位热能必须升级为中品位热能。这需要额外的高品位能源（电力）来运行热泵压缩机，将余热温度提高到所需的水平。

热泵技术已有 170 年的历史。我们家里的冰箱和办公室的空调都是用同样的技术运行的。效率是热泵提供的最显著的优势。运行热泵所需的电力通常只占总热量输出的 1/4 到 1/3，几乎所有的电力最终都会转化为有用的热量。然而，大部分输出能量来自已回收的低品位余热。热泵通常被认为是热电技术，但在工业应用中，它们主要是一种余热升级技术。

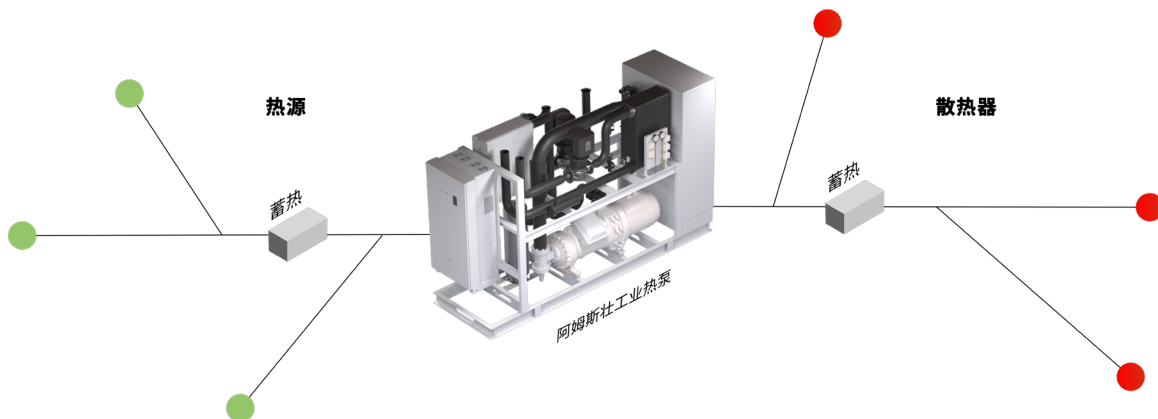
闭路热泵现在可用于中等容量（每台机组每小时 170 万至 700 万 BTU/0.5 MW 至 2 MW）。这些热泵使用新一代工作流体，对用户来说更加安全可靠（由于回路中的压力相对较低），并且对环境的影响有限（GWP < 10 且 TFA 降解 < 2%）。它们可以提供中等范围的温度 — 回收 < 176° F/80° C 的低品位余热（副作用是有时会产生有用的冷却）；并将热量提升到 250° F/120° C，以便在必要时产生低压蒸汽。

这种蒸汽可以用于直接注入，或者可以使用蒸汽压缩机作为机械式蒸汽再压缩 (MVR) 系统的一部分来增加其压力和温度。这些压缩机需要大约 10% 的注水量。额外的蒸汽补偿了下游蒸汽系统的散热损失和泄漏。通过回收换热器以外的蒸汽凝结水和闪蒸汽，并将其送回高温热泵作为输入，可以实现回路的关闭和平衡。

储存

在需要余热的时间和地点，并非总会有余热可用。余热在回收后必须重新安置和储存 — 通常以热水的形式或使用固体物质 — 一直到可以在工艺中使用。虽然在某些工厂配置中，空间可能是个问题，但确实有克服这个问题的可靠技术。

Circular ThermalSM（循环热）系统 — 多工艺用户



通过 Circular ThermalSM（循环热），当热量在工厂中多个方向流动时，会创建一个更动态的热力系统。回收的热量被储存起来，然后在最方便或电网电力最便宜的时候从较低的温度升级到较高的温度，从而为需求管理提供帮助。这些系统更加自动化，并且使用实时数据来决定何时应该移动或储存热量。它们可以作为一种服务提供，减少了对资本的需求，让风险得以外包，并提供了资产灵活性以适应不断变化的世界。

第二步：最小化过程中的能源需求

热泵的电力和有用热量输出之间的比率称为性能系数 (COP)，它取决于温度的升高。优化 COP 是使热源和散热器温度尽可能匹配的主要原因。每当热泵通过冷却源和加热散热器（例如，在蒸馏过程中）执行有用工作，而不是使用更多电力，则具有更高的综合 COP (CCOP)。

许多工艺的设计是基于较高的设施温度，这是相对容易用蒸汽获得的。然而，分析换热器中的实际蒸汽温度（在控制阀产生的减压之后）或确定工艺的确切温度要求时，我们通常会发现，所需的散热器温度远低于预期。因此，COP 在不影响工厂工艺条件或产品质量的情况下得到改善。

产生较低输出温度的热泵需要较少的电力，因此 COP 较高。这会永久降低运营成本，因此即使需要额外资本支出（主要是为了去蒸汽），付出的努力也是值得的。从长远来看，通过使用具有更高能效或更低加热温度的现代化设备来替换老化或报废的工艺设备，可以进一步降低运营成本。

在某些情况下，我们可以完全不使用热能来完成同样有用的工作。例如，蒸汽已被用于医疗保健或制药等行业的空气加湿，而同样的空气湿度增加可以使用绝热或电加湿器来实现。虽然这些加湿器在大气压力下蒸发水不会消耗更少的能量，但它们确实可以使空气调节装置 (AHU) 去蒸汽。这样就不再需要使用热泵产生中温蒸汽，从而降低了 COP，也不再需要事后分配蒸汽，避免了蒸汽系统固有的损失。

第三步：让设施的一次能源脱碳

运行 Circular ThermalSM（循环热）系统所需的主要能源是电力，可以通过使用可再生能源来实现脱碳。剩余的热脱碳可以通过转向可再生能源来实现，如沼气、生物量、太阳能、氢或直接电气化。这是阿姆斯壮三步热脱碳方法的最后一个阶段。

然而，至关重要的一点是，只有在优化和最小化的潜力耗尽之后，才能实施脱碳。将单向热力系统 — 导致 50% 到 80% 的一次能源作为余热释放大气中 — 转换为使用可再生能源是一个错误。它导致稀缺的可再生能源的大量浪费，而这些能源对于重工业、交通运输或建筑行业难减排应用场合的脱碳至关重要。

CIRCULAR THERMALSM（循环热）有巨大优势

目前工业中使用的热能有很大一部分可以通过使用 Circular ThermalSM（循环热）来回收。而且，这种方法不应局限于单个工厂的范围。虽然越来越多的工业区正在采用循环方法来生产材料和能源，但是在临近的工厂、氢电解槽、数据中心、办公区和城市之间共享和升级余热的情况仍然很少。可运输固体物质蓄热容器的发展正在扩大余热在中程距离范围内物理转移的机会（理想情况下，使用脱碳运输）。产生过多的高品位余热的重工业工厂可以与数十英里 / 公里以外的轻工业工厂或区域共享余热。

建筑物在供暖和制冷方面的潜力

余热回收和再利用也可用于建筑供暖和制冷。然而，由于在时间方面的显著区别，在建筑中应用 Circular ThermalSM（循环热）比在工业中应用更具挑战性。工业应用需要定期加热和冷却，至少每周一次，这限制了热力存储的尺寸要求。用于建筑物供暖和制冷的 Circular ThermalSM（循环热）需要能够将热量保持在大约相同的温度长达六个月之久的季节性蓄热。如果有一天，经济实惠、小容量的季节性蓄热能够投入商业应用，将显著提高建筑供暖和制冷所用热泵的年均 COP，从而大大减少其年度一次用电量。

建筑物冷却已经可以用作附近工业的热源，这些工业全年都需要热量。这种“区域冷却”系统可能主要适用于气候较暖的地区，在那里一年中大部分时间都需要冷却。在寒冷的气候条件下，来自建筑物的一个更有价值的热源可能是污水系统，从淋浴和水龙头收集“直通式”加热的干净水。

楼宇供热泵的另一个来源是地热，要么是浅层，要么来自湖泊和河流。与环境空气相比，地热提供了更高的温度，并且全年保持相对稳定。在夏季，这种来源通常冷到足以绕过热泵的压缩机，使其有可能在“自然冷却”模式下运行。

CIRCULAR THERMALSM（循环热）能够降低热脱碳的门槛

工业和建筑中的加热和冷却大约占当前全球最终能源消耗的 70%。通过回收、升级和再利用工业工厂中浪费的热量，我们可以大大降低热脱碳的门槛，并减少未来运行这些工厂所需的可再生能源的数量。在全球范围内，现有设施的改造已经在进行中，越来越多的新系统正在使用 Circular ThermalSM（循环热）管理方法进行设计。

将这一概念应用到单个工厂之外的建筑物中，将减少对一次能源的需求，并进一步帮助全球能源系统脱碳。



蒸汽、空气和热水系统智能解决方案 — 来自带给您愉悦体验的全球领先能源管理企业

阿姆斯壮国际

美洲 | 亚洲 | 欧洲、中东和非洲

armstronginternational.com armstrong.com.cn