

大型热泵 的工业应用实践

热泵已成为新建筑供暖系统的首选，在区域供暖中也很常见——然而，在商业和工业领域，情况却有所不同。在这些领域中，热泵仍然很少被利用。热泵是一种清洁高效的热量输送装置，在商业和工业领域也存在一些令人印象深刻的最佳实践案例。

文 / Hans-Jürgen Bittermann

使用热泵的先决条件始终都是热源。这通常很容易在工业生产中以废热的形式找到。瑞士孚瑞公司（FrioTherm AG）特别指出废热可能来自以下来源：工业焚烧厂、生产过程中产生的废热、原污水和处理后的废水、海水、河水和湖水以及地下水。低于 100℃ 的低温余热通常不再可用并被消散（欧适能源公司 Ochsner 创造性地将这类余热称为“热废物”）。然而，对于热泵来说，这是一个有价值的起点。在压缩机的帮助下，废热的温度水平被升高到可用于工艺的一个更高的水平。目前，现有的热泵涵盖了从 50~160℃ 的所有温度范围，输出功率从 20 kW 到有时可能会超过 20 MW。这意味着，在相应的温度范围内的几乎所有应用都是可能的。

德国弗劳恩霍夫制造工程与自动化研究所 IPA 的 Ivan

Bogdanov 先生特别提到了以下可能的应用：

- 在化学工业中的应用温度为 100~110℃。
- 塑料生产（LDPE-HDPE 以及 PVC）的温度为 80~100℃。
- 塑料加工（LDPE），温度为 120~140℃。
- 陶瓷生产中的干燥，温度为 20~120℃。

高温热泵（HTWP）通常可以适用于任何需要 150℃ 以下的工艺热量的场合。目前，高温工业过程热是通过燃烧化石燃料或通过电阻加热使用电网电力在现场产生的。

据德国弗劳恩霍夫太阳能系统研究所 ISE 估计，在德国 150℃ 以下的工艺热量的耗电量需求超过 100 TW·h。其中，高耗电量需求主要体现在食品、造纸和化学工业等。在这些领域中，低温蒸汽被应用于许多工艺，例如干燥纸制品、对食品进行灭菌和巴氏杀菌，或用于蒸馏过程。根据 AIT（奥地利技术研究所）的一项

研究，目前市场上的热泵蒸汽发生器可提供高达 0.5 MPa（152℃）左右的饱和蒸汽。

大型热泵的实际应用

在 2021 年 11 月举行的德国能源署（Dena）化学行业数字实践研讨会上，来自 Spilling Technologies 公司的 Christof Fleischmann 先生介绍了使用活塞式压缩机进行蒸汽循环的工艺，这与高温热泵的原理类似。该工艺可用于在冷却过程或放热反应期间产生的低压过剩蒸汽，以及其他需要较高压力水平的工艺蒸汽的场合。在全世界范围内的化学工业中，有许多这样的应用实例。这里所描述的蒸汽活塞压缩机可实现高排放压力和 COP 值，因此与传统的蒸汽发生器相比，只需要大约 1/10 的能量。

据专家介绍，与传统蒸汽发生器相比，蒸汽回收可以在实践中节约高达 50% 甚至更多的成本。其中，一些条件能有助于使蒸汽循环发挥其最佳效果：

本文作者系德文版 PROCESS 自由撰稿人。



用于能源回收的热泵目前，高温热泵应用温度范围可以轻松达到 160℃ 左右

- 低压蒸汽的残余压力应该有至少 0.1 MPa。

- 出口与进口的压力比最大应为 5 倍。

- 要求的出口压力不应高于 3.5 MPa。

Spilling 公司表示，如果使用可再生电力来操作蒸汽压缩机，则高压蒸汽甚至可以作为完全不含二氧化碳的绿色工艺蒸汽被产生出来。

废气净化热泵解决方案

另一个实际案例：Rechtenbacher 公司对其自动塑料涂装线进行了现代化改造。Simaka Energie- und Umwelttechnik 公司为 Rechtenbacher 公司开发了一套基于热泵的废气净化系统。现在，Rechtenbacher 公司可以通过冷凝而不是热后燃烧，将溶剂从废气中分离出来，排出的废气则使用活性炭过滤器进行净化。

通过这种方式，可以节

省 95% 的气体消耗，并大大减少二氧化碳的排放。活性炭在周末使用热泵进行再生，溶剂也会在这个过程中被回收。在 Rechtenbacher 公司，热泵技术的应用特别有效，因为过程中同时需要加热和冷却。

当使用热能时，COP（性能系数，可用热能与所耗电能之比）为 4 在技术上被认为是可实现的。如果同时使用冷却，热转化效率就会提高 7~10 倍。例如，来自热泵的余热可用于加热清洗待涂装部件的净化水，用于工艺空调和建筑物取暖。此外，通过在喷房和各种干燥机中安装节能热泵进行空气循环或供气操作，可以进一步节约能源。

热泵支持干燥

第 3 个实际例子：作为欧盟资助的 Dryficiency 项目的一部分，AIT（奥地利技术研究所）开发了第一台用于高温范围的工业压缩

热泵。

自 2019 年以来，此工业压缩热泵一直在位于奥地利 Uttendorf 的 Wienerberger AG 公司进行试运行。这款热泵的特别之处在于它能提供高达 160℃ 的加热水（它可为砖块烘干机提供相应的热空气）。在制造过程中，砖块首先被成型、干燥，然后烧制。这个过程是在一个连续的隧道式干燥机中进行的，现在高温热泵已经被整合到其中。它使用来自干燥机电废热回收的热水作为热源，为隧道式干燥机提供热量。

在许多工业过程中，会出现废热流。由于温度低，这些废热流不能再合理地用于生产过程或供暖，通常需要通过额外的冷却措施才能释放到环境中。而在热泵的帮助下，这些废热流可以提高到一个可用的温度水平，并重新整合到生产过程中。迄今为止，热泵在工业领域的应用潜力一直被严重低估。



专访 Karl Ochsner 先生，欧洲热泵协会荣誉主席，Ochsner 热泵公司前总经理，多本技术书籍的作者

“从长远来看，热泵胜过蒸汽锅炉！”

PROCESS: Ochsner 先生，虽然热泵在今天的建筑中应用非常广泛，但工业领域的应用却相当罕见。是什么阻碍了热泵在工业领域的发展？

Ochsner: 大型热泵已经存在了相当长的一段时间——在工业应用、工艺热和支持区域供热方面，我看到了巨大的潜力，其潜力至少和建筑供暖领域一样大。你问什么阻碍了热泵在工业领域的发展？在许多情况下，这是由于人们对当今热泵所能达到的高温以及生产蒸汽方面了解不足。此外，特别是流程工业，在某种程度上害怕使用新技术。同时，工业和能源规划者往往缺乏关于如何实施这些概念的可靠专业知识。例如，当在一个系统中同时需要工艺加热和工艺冷却时，使用热泵就特别有效。如果可以省去制冷系统或冷却塔，这对运营商来说是

非常有意义的。

PROCESS: 流程工业经常需要蒸汽。您能估计一个化石燃料蒸汽锅炉和一个大型热泵的生命周期成本吗？

Ochsner: 这总是取决于温度和应用领域。

假设废热源的温度在 50~80°C，我估计投资回报率不超过 5 年，但这只是纯粹的摊销。如果我们看一下生命周期的成本，热泵通常都能给用户带来回报。从长远来看，在低压蒸汽方面，热泵优于蒸汽锅炉！

PROCESS: 在您的公司主页上，提到您们能提供最高温度为 130°C 的工艺热。Ochsner 的大型

热泵有哪些工业用途？

Ochsner: 在产生蒸汽时，我们已经实现了一些项目，例如造纸业，或皮革业的处理工艺。此外，在区域供热方面也有应用。

