

氢气压缩机助力能源转型

氢气压缩机为能源转型的增压——氢能时代即将来临，但是氢气如何从电解槽到达消费者手中？氢能储运成为氢能实现大规模发展的重要影响因素之一，无论是氢能生产商还是储运商，都需要使用氢气压缩机。然而，波动的气体温度和工艺参数成为那些制造氢气压缩机企业的挑战。无论是无油空压机还是油浸式压缩机，这些装置都能够压缩气体。

文 / Jan Gehrmann

氢气作为 21 世纪能源和原材料经济的核心组成部分，氢气领域的技术突破正在全面展开：越来越多的国家正在致力于设计一个新的气候友好型氢价值链，并通过制定国家脱碳战略和相应的部门耦合。

专家们确信通过化工、石化、水泥和钢铁等工业部门的供应链耦合，以及控制燃料生产碳排放，将在未来大规模地推动氢能生产和运输能力的发展。气态氢、液态氢或化学结合氢的储存能力和进口结构正处于具体规划阶段或已在实施中。现有的分销网络和管道即将被扩建，并涉及到跨国家和跨行业的合作项目。

目前，用于制氢的电解槽规模已从 1 MW 扩大到 2 MW 和 3 MW 范围。在德国，电力转天然气项目的数量继续稳步增长。其中，所有物质中约有 3/4 是由氢原子组成的。然而，作为最小且因此也是最轻的分子，气态氢所占的体积也特别大，而且极易挥发。然而，这种可燃和略带爆炸性的气体可以释放大量的能量，而其

本文作者供职于 Aerzener 公司。

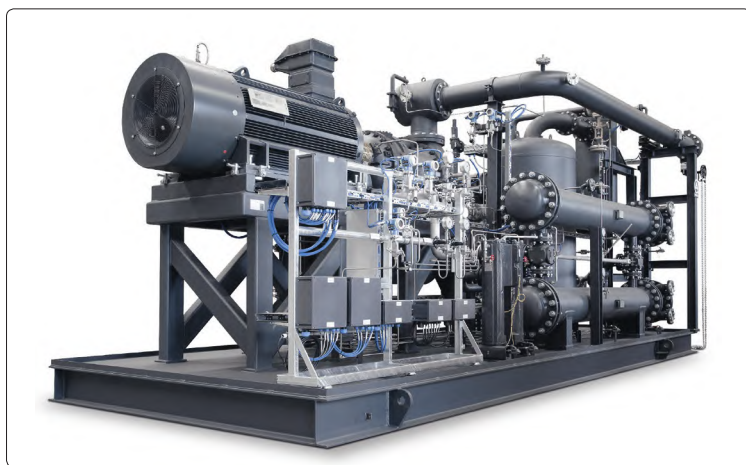


图 1 工厂的核心：螺杆压缩机可以很好地应对波动的运行条件——这是在“可再生能源”应用方面的典型问题

本身在燃烧过程中不会产生温室气体。这就是氢比其他化石燃料更有价值的原因，1 kg 气态氢所含的能量约为 1 kg 汽油的 2.8 倍。

通过技术创新改进氢气压缩机

只有使用不同类型的压缩机进行高效、安全的压缩，才有可能以经济的方式为氢的工业应用提供所需的数量和压力。除了用于几百巴的压力范围内的传统活塞式和隔膜式压缩机，尤其螺杆式压缩机在低压范围内具有其存在的理由和经济优势，特别是在体积流量的增加和运行条件波动

的情况下，如图 1 所示。

Aerzen 等制造商为各种工艺气体提供了“油浸式”和“无油”两个系列的压缩机。此外，压缩机专家还为工厂运营商和用户提供设计和选择方面的支持，并提供这两种技术的现场支持和服务经验。虽然 Aerzen 公司几乎已成为螺杆式压缩机的代名词，但该公司还为氧气、合成物或碳氢化合物等工艺气体提供罗茨风机。

即使元素氢在地球上很稀缺，但我们有不同的自然资源可供在工业规模上生产这种轻质气体。到目前为止，天然气蒸汽重整制

氢在市场上占主导地位，但在未来水电解制氢的份额预计将大幅增加。电解槽利用将水分子分解成氢和氧，每兆瓦的输入功率可提供约 200 Nm³/h 的氢气（相当于约 18 kg/h）和 100 Nm³/h 的氧气。

根据电解的类型或类型。在饱和的氢气或氧气质量流量。对于压缩机制造商来说，这意味着该部分水要么必须一起压缩，要么必须通过预干燥（例如冷干燥）在很大程度上分离。然而，根据（最终）消费者的应用情况，也需要非常不同的氢气纯度。

根据固体或液体电解质等不同电解的类型，在饱和的氢气或氧气质量流中仍保留了 0.01%~0.5%（按体积计算）其他分子以及根据温度变化最高可达 60% 的水蒸气。对于压缩机制造商来说，这意味着这部分水要么被压缩，要么在很大程度上必须通过预干燥（如冷干燥）进行分离。然而，根据（最终）消费者的应用，对氢气的纯度要求也各不相同。

这取决于具体情况

应用于燃料电池或食品工业时，氢气气体纯度要求最为严格，其中脱氧干燥器尤为重要可以实现数据表中定义的质量 5.0，其功能在于最大限度地减少氧气和水分。在预压缩之后，这些脱氧系统可以被设计成相应的小尺寸，从而优化成本。

而对于其他用户，如直接还原铁矿石、提取氢气作为某些基本化学品的原料或将其送入天然气网络供气，氢气气体中外来成分的公差和限值要求有时明显更高，这简化了整个过程的工艺技术，从而降低了成本。因此，从经济和操作的角度来看，建议采

用技术开放和以应用为导向的工艺概念，其中可以最佳地补充各个流程参与者的要求和供应范围。

自 20 世纪下半叶以来，螺杆式等旋转容积式压缩机已在要求严格的气体应用中证明了其价值。其中值得一提的是，它们对波动的运行条件不敏感，并且在没有往复惯性力的情况下，内部结构使螺钉成为柔性的耐久性构件，在全负荷和部分负荷运行中具有最低的维护强度和相对较低的运行成本。

水电解过程中产生的湿氧也将被重复使用——增压鼓风机是实现这一目的的理想选择，如图 2 所示。

多功能和可靠性

螺杆压缩机工作原理是基于主转子和副转子，它们通过旋转从吸气侧捕获部分气体，并将气体从排气侧的一个较小的几何形状出口中排出。主转子通常负责驱动，副转子负责腔室的形成和密封。

基本上，螺杆压缩机可分为

无油和油浸式类型。两者在氢气应用中都采用单级或多级概念，但由于其结构设计不同，所以应用的工作领域也不同，例如由于油和转子的相互滚动，油浸式压缩机的转子比无油压缩机的转子



图 2 电解水过程中产生的氧气也将被重复利用，增压鼓风机能够解决这些问题

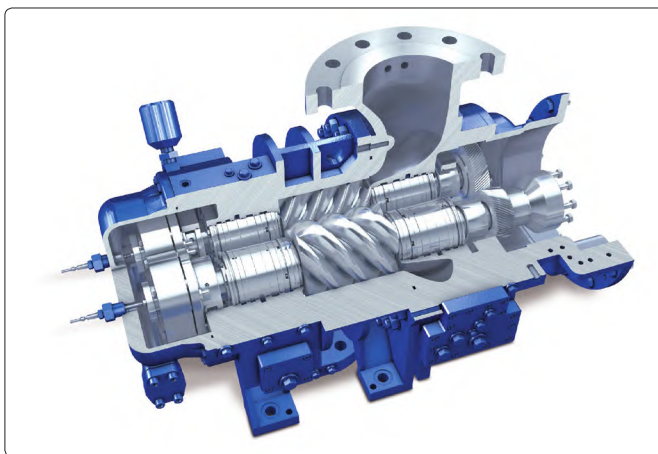


图 3 使用无油螺杆压缩机，无需压缩或预干燥露点以上的潮湿气体

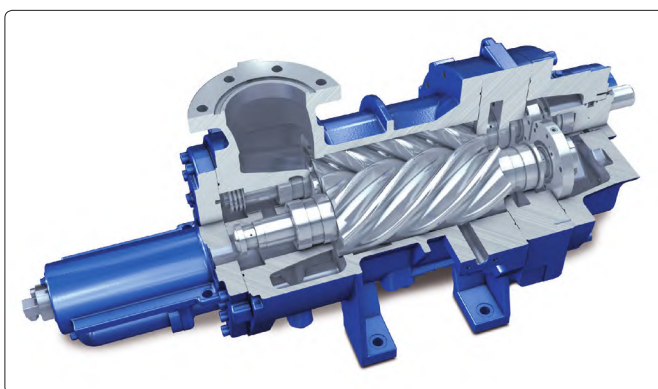


图 4 油浸式螺杆压缩机可实现最高的压差，但对潮湿气体很敏感

旋转得更慢，而后者不互相接触。因此，无油机组可实现更高的容积吞吐量，而在油浸式压缩机中，较小的轴承距离和油冷却（或注水）则可实现高压差，如图 3、4 所示。

油浸式螺杆压缩机

1. 整个内部空间浸在油中，因此设计紧凑，轴承间距较小。
2. 较低的圆周速度和较小的体积。
3. 被驱动的主转子直接滚动到旋转的副转子上（油膜不能撕裂）。
4. 最大压差和轴承负荷。
5. 潮湿的气体必须被压缩到露点以上（以避免水凝结）。
6. 预干燥对于油的运行成本和使用寿命来说是有意义的。
7. 可采用油润滑控制缸（在恒定速度和恒定极限压力下调节体积流量；其作用类似于内部旁路，也可用作启动泄压）。

无油螺杆压缩机（注水）

1. 输送室 100% 无油；采用注水冷却和间隙密封，可以提高效率。
2. 被驱动的主转子不与副转子接触；通过齿轮对实现同步。
3. 更高的圆周速度和更大的体积。
4. 油室由分离式密封件和所谓的中性油室隔开，因此轴承间距较大。
5. 较低的压差和轴承负荷。
6. 潮湿的气体无须被压缩到露点以上。
7. 预干燥，露点不相关。

无油螺杆压缩机（干燥）

1. 输送室 100% 无油，但阻隔介质进入了泵室。

2. 被驱动的主转子与副转子没有接触；通过齿轮对实现同步。

3. 差压受最大温度发展或最终温度限制（无内部冷却介质）。特别是氢气在压缩过程中会极大地提高温度。

4. 泵腔上的气密封或液密封（自身介质也可作为密封气体）。

5. 最大圆周速度和体积。

6. 潮湿的气体无须被压缩到露点以上。

对于所有的类型，都可以借助变频器通过转速来控制体积流量。轴承的选择起着核心作用，首先它限制了最低转速（滑动轴承）或可补偿力（滚动轴承）。在恒定扭矩的情况下，整个控制范围内约 1 Hz 的负载变化是标准的。原则上，输送量和效率会随着转子、外壳和轴承之间（以及带控制滑块的油浸式压缩机的转子和控制滑阀之间）的密封性增加或最小化而提高。

压差越大，气体密度越低，间隙损失就越大——这种效应在氢气等轻质气体中尤为明显。因此，注入流体（如油或水）并不完全用于冷却，还用于间隙密封。

由于注入介质导致的温差较

低，等熵线倾向于在斜图中向等温压缩或状态变化的方向移动。由此节省的劳动力有利于特定的能源需求，从而提高整体效率。

选择困难？

根据应用的不同，工艺和产品要求在所需的纯度、可靠性、操作模式和成本敏感性方面上存在很大差异。水、氧和油气溶胶残留量的个别临界极限值有时会对购置和运营成本产生重大影响，可能需要使用无油压缩机或为油浸式压缩机进行额外的精细分离。

根据最终的压力水平以及需要保证的可靠性，螺杆式、活塞式和隔膜式压缩机的总和所需的压缩机级数可以达到两位数的范围。

由于最大体积的流量，需要考虑到在低压压缩中避免多级概念对总成本巨大的影响。与其他压缩机相比，螺杆输送的体积相对较大，而占地面积明显小得多，从而能够降低成本。如果还考虑到相关的建筑服务和基础成本，这种优势会进一步增加，特别是对于所谓的“封装单元”设计的紧凑型螺杆技术，或者作为滑橇时（底座支撑的单元）。

压缩机选型小贴士

在选择压缩机之前，您应该问自己这些问题：

- 您的氢气购买者 / 用户是否需要 100% 的无油氢气？
- 您有没有比较过不同压缩机技术的氢气相关参考资料？
- 您的工艺 / 终端客户需要压缩机具体哪些可用性？
- 计划外停机的成本是多少？
- 从长远来看，您的系统 / 工艺能长期容忍哪些振荡和振动？
- 您是否将您的压缩机系统的生命周期成本与实际的运营和维护成本（OPEX）结合起来考虑？
- 到目前为止，您对哪些类型的压缩机有好 / 坏体验？