

螺杆泵定子材料耐磨性研究及选用指南

沈 伟

浙江慧昇工业泵有限公司 浙江 湖州 313000

摘 要：螺杆泵定子材料的耐磨性是影响其使用寿命和性能的关键因素。本文详细探讨了摩擦机理、具体的耐磨性测试方法、耐磨性影响因素、常用定子材料以及选用原则，旨在为螺杆泵定子材料的选择提供全面而科学的指导。

关键词：螺杆泵；定子材料；耐磨性；摩擦机理；测试方法；选用原则

引言

螺杆泵作为一种重要的流体输送设备，在石油、化工、制药等领域发挥着重要作用。定子作为螺杆泵的核心部件，其耐磨性直接关系到泵的工作效率和寿命。因此，深入研究螺杆泵定子材料的耐磨性及其选用原则，对于提升螺杆泵的整体性能具有重要意义。

1 螺杆泵定子材料的摩擦机理分析

1.1 摩擦类型

螺杆泵定子在工作时，会面临两种主要的摩擦类型。首先是滑动摩擦，它主导着定子与转子之间的相互作用。在螺杆泵的运转过程中，定子与转子之间因相对滑动而产生摩擦力，这种力不仅促进了流体的传输，同时也带来了定子表面的磨损。滑动摩擦的强度和频率，直接影响着定子的耐用性^[1]。其次是滚动摩擦，虽然其影响相对较小，但长期作用下仍不容忽视。定子与泵壳之间的微小滚动，虽不若滑动摩擦那般显著，却也在悄然间对定子材料造成着磨损。这种磨损虽细微，但累积起来，同样会对定子的整体性能产生负面影响。

1.2 摩擦磨损过程

摩擦磨损过程是一个复杂的物理和化学过程，包括摩擦表面的接触、粘着、剪切和脱落等阶段。在定子与转子的相对运动中，由于表面微凸体的相互作用，会产生局部高温和高压，导致材料表面的微观变形和磨损。此外，磨损过程中还可能伴随有氧化、腐蚀等化学反应，进一步加速材料的磨损。

2 螺杆泵定子材料的耐磨性测试方法

2.1 滑动磨损实验

滑动磨损实验作为一种经典的耐磨性测试方法，被广泛应用于评估各种材料的耐磨性。在模拟螺杆泵定子与转子相对滑动运动的实验环境中，我们采用环块试验机、销盘试验机等专业设备，对定子材料进行耐磨性测试。实验过程中，通过精确控制载荷、速度、时间等实验条件，确保测试结果的准确性和可比性。这些条件的

设定，旨在模拟螺杆泵实际工作中的滑动摩擦情况，从而更真实地反映定子材料的耐磨性能。在实验中，我们密切关注材料在一定时间内的磨损量，这是评估耐磨性的关键指标。通过测量磨损量，我们可以直观地了解定子材料在滑动摩擦下的耐磨性能，为材料的选用和优化提供有力依据。

2.2 高速摩擦试验

考虑到螺杆泵在高速运转时可能面临的严峻摩擦环境，高速摩擦试验显得尤为重要。这一试验在更高速度下进行，以模拟螺杆泵在高速运转时的实际工况。通过测量材料在高速摩擦下的磨损量和摩擦因数等指标，我们可以更全面地评估其耐磨性。高速摩擦试验对实验设备的要求极高，必须确保设备能够在高速运转下保持稳定和精确。因此，在选择实验设备时，我们注重设备的性能稳定性和精度，以确保测试结果的可靠性。通过高速摩擦试验，我们可以更深入地了解定子材料在高速运转下的耐磨性能，为螺杆泵的设计和 optimization 提供有力支持。

2.3 磨损材料分析

除了直接的耐磨性测试外，对磨损后的材料进行深入分析也是评估耐磨性的重要环节。磨损材料分析通过扫描电子显微镜（SEM）、能谱仪（EDS）和X射线衍射（XRD）等先进的分析方法，揭示磨损机理和影响因素。这些方法能够直观地展示材料磨损后的表面形态和微观结构变化，帮助我们深入了解磨损过程中的物理和化学变化。通过对比不同磨损条件下的材料表面形貌、化学成分和微观结构，我们可以揭示出磨损的机理和主要影响因素，为材料的改进和优化提供科学依据。这种深入的分析，不仅有助于提升定子材料的耐磨性，还能作为螺杆泵的整体性能优化提供有力支持。

3 螺杆泵定子材料耐磨性影响因素

螺杆泵定子材料的耐磨性，受多种因素的综合影响：（1）硬度：硬度作为材料抵抗外界压入和摩擦的能力，对耐磨性具有至关重要的作用。高硬度的材料，能

有效抵御来自转子及流体的摩擦与冲击,显著降低磨损量。(2)晶体结构和互溶性:材料的晶体结构,如同其内部的“骨架”,对耐磨性产生深远影响。密排六方点阵的金属材料,因其独特的结构特点,往往具有较低的摩擦因数和磨损率。同时,当两种金属在冶金上互溶性较差时,它们组成的摩擦副反而能展现出更低的摩擦与磨损,这一特性在定子材料的选择中同样值得考虑。

(3)温度:随着温度的升高,材料的硬度往往呈现下降趋势,导致磨损率增加^[2]。因此,对于在高温环境下工作的螺杆泵定子,必须选用具有高热硬性的材料,以确保其在高温下仍能保持良好的耐磨性。此外,温度还会影响材料的润滑性能和化学稳定性,进而对耐磨性产生间接影响。(4)塑性和韧性:塑性和韧性,是材料在受力时能够吸收能量、抵抗裂纹和疲劳剥落的能力。对于定子材料而言,较高的塑性和韧性意味着更好的耐磨性。因为这样的材料在受到摩擦和冲击时,能够更有效地分散和吸收能量,从而减缓磨损过程。(5)表面粗糙度:表面粗糙度,作为材料表面微观形貌的反映,对耐磨性也有一定影响。较小的表面粗糙度意味着更光滑的表面,这有助于减少摩擦过程中的能量损失和磨损量。

4 螺杆泵定子材料选用指南

4.1 常用螺杆泵定子材料

4.1.1 橡胶材料

橡胶材料,因其卓越的弹性和耐磨性,在螺杆泵定子领域占据着举足轻重的地位。其中,丁腈橡胶(NBR)以其出色的耐磨性和耐高温性(最高可达+100℃),成为输送水(包括污水)、泥浆、汽油等介质的首选材料。其分子结构中的腈基赋予了它良好的耐油性和耐化学性,使得丁腈橡胶定子在各种复杂工况下都能保持稳定的性能。氯丁橡胶(CR)则以其较高的刚度和优异的抗水性著称,适用于输送一般介质。它的分子链中含有氯原子,这使得氯丁橡胶具有更好的耐候性和耐臭氧性,能够在较为恶劣的环境下保持定子的稳定性和耐用性。氟橡胶(PPM)以其卓越的耐磨性和耐高温性(最高可达+150℃),在输送胶液、沼液、沼渣、浓硫酸等强腐蚀性介质时展现出独特的优势。氟橡胶的分子结构中含有氟原子,这使得它具有极高的化学稳定性和耐腐蚀性,能够确保定子极端工况下的长期稳定运行。此外,针对食品行业的特殊需求,食品橡胶以其无毒无味、符合食品卫生标准的特点,被广泛应用于输送无腐蚀性的食品用油及卫生性要求较高的物料。

4.1.2 金属材料

在某些特殊工况下,如输送高粘度、含固体颗粒的

介质时,金属定子因其高强度、高刚度和良好的密封性能而备受青睐。不锈钢和合金钢等金属材料,能够承受较大的工作压力和冲击载荷,确保泵在恶劣工况下的稳定运行。然而,与橡胶材料相比,金属材料的耐磨性相对较差,且加工成本较高。因此,在选择金属定子时,需要综合考虑其性能、成本和加工难度等因素,以确保泵的整体性能和使用寿命。

4.2 选用原则

4.2.1 根据输送介质选择

螺杆泵定子材料的选用,首先需考虑的是输送介质的性质。不同的输送介质对定子材料的性能要求各不相同,因此,在选择材料时,必须充分了解介质的特性,以确保定子材料能够满足输送需求。例如,当输送油类介质时,由于油类介质具有较强的渗透性和润滑性,因此应选用耐油性好的材料。丁腈橡胶因其分子结构中含有腈基,对油类介质具有良好的抵抗性,成为输送油类介质的理想选择。此外,丁腈橡胶还具有良好的耐磨性和耐高温性,能够在较为恶劣的工况下保持稳定的性能。而当输送腐蚀性介质时,如酸、碱、盐等,应选用耐腐蚀性强的材料。氟橡胶因其分子结构中含有氟原子,具有极高的化学稳定性和耐腐蚀性,能够抵抗多种强腐蚀性介质的侵蚀^[3]。因此,在输送腐蚀性介质时,氟橡胶定子成为首选。除了油类和腐蚀性介质外,还有许多其他类型的介质,如泥浆、水(包括污水)、沼液、沼渣等。对于这些介质,应根据其具体的性质和要求,选择相应的定子材料。如氯丁橡胶因其较高的刚度和抗水性,适用于输送一般介质;食品橡胶则因其无毒无味、符合食品卫生标准,被广泛应用于输送无腐蚀性的食品用油及卫生性要求较高的物料。总之,在选择螺杆泵定子材料时,必须充分考虑输送介质的性质,选择与之相适应的材料,以确保泵在输送过程中能够保持稳定、高效的性能。

4.2.2 考虑工作压力和温度

工作压力和温度是影响螺杆泵定子材料选择的另一个重要因素。不同的工作压力和温度对定子材料的性能要求各不相同,因此,在选择材料时,必须充分考虑泵的工作条件和运行环境。在高温、高压工况下,定子材料需要承受较大的热应力和机械应力,因此应选用耐高温、高压性能良好的材料。氟橡胶因其卓越的耐高温性和耐化学性,成为高温、高压工况下的首选材料。此外,金属定子如不锈钢和合金钢等,也因其高强度、高刚度和良好的密封性能,在高温、高压工况下得到广泛应用。然而,在高温、高压工况下使用金属定子时,需

要注意其耐磨性相对较差的问题。因此,在选择金属定子时,应充分考虑其耐磨性能,并采取必要的措施如表面强化处理等,以提高其耐磨性。而在常温、常压工况下,由于工作压力和温度相对较低,对定子材料的性能要求也相对较低。因此,在选择材料时,可以选用成本较低、性能适中的材料,如丁腈橡胶等。这些材料在常温、常压工况下能够保持稳定的性能,且成本相对较低,有利于提高螺杆泵的市场竞争力。需要注意的是,即使在同一工况下,由于泵的运行时间和间歇时间的不同,以及介质温度的变化等因素,也会对定子材料的性能产生影响。因此,在选择材料时,还应充分考虑这些因素,以确保泵在长期运行过程中能够保持稳定、高效的性能。

4.2.3 综合考虑成本和性价比

成本是螺杆泵定子材料选择时不可忽视的一个重要因素。不同的材料具有不同的成本,而成本的高低直接影响到螺杆泵的整体成本和经济效益。因此,在选择定子材料时,必须综合考虑材料的性能、成本以及性价比。在保证性能的前提下,尽可能选择成本较低的材料是降低螺杆泵成本的有效途径之一。例如,在常温、常压工况下,可以选用成本较低的丁腈橡胶作为定子材料;而在高温、高压工况下,虽然金属定子的成本较高,但其卓越的性能和稳定性也能够为泵的长期运行带来更大的经济效益。然而,仅仅考虑成本是不够的。在选择定子材料时,还必须充分考虑其性价比。性价比是指材料的性能与其成本之间的比值,它反映了材料的经济性和实用性^[4]。在选择材料时,应优先选择性价比高、性能稳定且成本适中的材料,以确保螺杆泵在长期使用过程中能够保持高效、稳定的性能,并降低维修和更换成本。此外,还需要考虑材料的可获得性和供应稳定性等因素。有些材料虽然性能优异、成本适中,但由于供应不稳定或难以获得,也会给泵的生产与维修带来不便。因此,在选择定子材料时,还应充分考虑这些因素,以确保泵的生产与维修能够顺利进行。

4.2.4 注意材料的加工性和可维护性

材料的加工性和可维护性也是选择螺杆泵定子材料时需要考虑的重要因素。易加工、易维护的材料能够降低生产成本和维修成本,提高螺杆泵的使用效率。首先,材料的加工性对于泵的生产和制造至关重要。易加工的材料能够简化生产工艺、缩短生产周期,并降低生产成本。例如,橡胶材料因其良好的柔韧性和可塑性,易于加工成各种形状和尺寸的定子,且加工过程中产生的废料较少,有利于降低生产成本。其次,材料的可维护性对于泵的长期运行和维护也至关重要。易维护的材料能够简化维修过程、缩短维修时间,并降低维修成本。例如,当定子出现磨损或损坏时,如果材料易于更换和修复,就能够迅速恢复泵的性能,减少停机时间和维修成本。此外,还需要考虑材料的可回收性和环保性等因素。随着环保意识的日益增强,选择可回收、环保的材料对于降低环境污染、实现可持续发展具有重要意义。因此,在选择螺杆泵定子材料时,也应充分考虑这些因素,以确保泵的生产和使用过程中能够符合环保要求。

结语

螺杆泵定子材料的耐磨性是影响其使用寿命和性能的关键因素。通过深入分析摩擦机理、具体的耐磨性测试方法、耐磨性影响因素以及常用定子材料,并结合选用原则,可以为螺杆泵定子材料的选择提供全面而科学的指导。未来,随着新材料和新技术的发展,螺杆泵定子材料的耐磨性研究将不断深入,为工业应用提供更加可靠的支持。

参考文献

- [1]刘增辉,谈金祝,刘欣,等.接触力和转速对螺杆泵定子材料摩擦磨损性能影响研究[J].流体机械,2019,47(09):1-6.
- [2]张洪浩.多元因素耦合态下螺杆泵橡胶定子疲劳寿命预测方法研究[D].沈阳工业大学,2024.
- [3]张子成,王超,梁刚,等.在原油中老化的螺杆泵定子氢化丁腈橡胶胶料的性能变化研究[J].橡胶工业,2024,71(02):95-100.
- [4]黄勇淇,王世杰.两种采油螺杆泵定子摩擦特性对比分析[J].机电工程,2022,39(06):826-832.