

轴承

客观评估 陶瓷轴承的风险

由于陶瓷轴承有着很好的耐磨性能、耐腐蚀性能和热稳定性，因此可以在许多技术要求很高的应用中使用，包括某些标准应用场合，尽管其价格不菲。未来随着陶瓷轴承无润滑摩擦接触技术的优化将进一步减少普通轴承的订单。

文 | Andreas Kailer

一般来讲，陶瓷材料的耐磨性、耐腐蚀性、热稳定性、高刚性和高绝缘性能都非常好，而这些也恰恰是滑动轴承和滚动轴承应该具备的优点。与金属材料轴承相比，虽然陶瓷轴承价格

较高，但是如氮化硅、碳化硅和氧化铝这样的工程陶瓷在很久以前就已经开始用于轴承生产了。在许多应用场合，出于成本费用的考虑，工程陶瓷材料制作的轴承仅仅在必须发挥陶瓷材料优点

的场合得以使用，而没有受到高价格的影响。

陶瓷材料的滚动轴承有全陶瓷材料滚动轴承和混合材料滚动轴承之分（图 1）。混合材料滚动轴承的内外圈滚道是钢材，滚动体是陶瓷材料。最初，人们很难相信如此脆弱的陶瓷材料能够在很高的机械载荷部件中正常工作。究其原因：工作中，虽然滚动轴承需承受很高的接触负载，但作用到陶瓷中的拉应力却很小，而陶瓷材料的抗压能力是非常强悍的。

另外，经过改进的现代化陶瓷材料的机械强度更高，即便工作温度高达 800 ℃ 时也不会下降。而恰恰在高温度的工作环境中，当有耐腐蚀性要求，或者润滑性能消失接近失油干运行时，全陶瓷材料的滚动轴承就成为几乎不可替代的产品，因为其他材料在这样的环境中都不能满足需求。

随着技术的不断进步，混合材料滚动轴承的应用也越来越多，尤其是生产高刚性和长使用寿命的设备时，如生产特殊需求的丝杠时。混合材料滚动轴承的使用寿命是传统钢材滚动轴承的几倍，即使陶瓷轴承的价格与其使用寿命成正比，也是非常值得的，因为延长了的维护保养周期，为企业赢得了更多宝贵的生产时间。

陶瓷材料的滑动轴承和滑动密封件主要应用于液体介质润滑系统，即只能用特定流量的润滑介质进行润滑的场合（图 2）。在化工行业中常常用到的泵就是一个典型实例。今天，化工行业用泵的轴承材料已经标准化，为氧化铝、氧化锆或者碳化硅。对于这些材料来讲水基润滑剂就可以很好的起到润滑作用。若结构设



图 1 陶瓷轴承主要分为全陶瓷轴承和混合材料轴承，混合材料的陶瓷轴承中只有滚动体是用陶瓷制造的

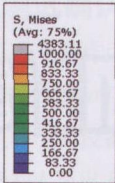


图 2 陶瓷材料的滑动轴承和滑动密封件主要应用于液体介质润滑系统；即只能用特定流量的润滑介质进行润滑的场合

计合理，摩擦系数可以再降低 0.1，甚至更低；所受到的腐蚀和磨损也很小。因此通常情况下陶瓷轴承的使用寿命更长。

由于陶瓷本身具有多方面应用的特殊优点，所以其成为众多应用领域的标准材料。对于陶瓷材料的进一步研究和开发也变得极为重要。

从摩擦学角度出发，一些技术上的疑题必须解开。例如，陶瓷轴承具有一个非常突出的特点：在一般的无润滑情况下陶瓷材料与其他金属材料或者非金属材料的摩擦接触虽然不会产生较强的磨损但摩擦系数却相当高。造成这一现象的原因是什么呢？这就要依靠技术研究给出答案了。

结晶金刚石镀膜降低摩擦

进一步减少摩擦的一种可行方法是在陶瓷表面或者在接触副的表面镀覆一层降低摩擦的镀膜。为此，专门开发了一种镀覆技术：能够将类似金刚石的碳涂层或者结晶金刚石涂层镀覆到陶瓷表面，从而使陶瓷轴承能够在失油干运行状况下正常工作。

在混合材料轴承中，利用镀

覆技术改善轴承的摩擦性能是非常有益的。它能进一步改进并提高混合材料轴承的摩擦性能、运行稳定性和使用寿命。但使用这种镀覆技术后混合材料轴承的生产过程将更加复杂：因为要求轴承材料、涂层、润滑材料和结构设计都要相互匹配。而这一切目前还只能通过不断的试验来寻求解决方案。这里，除了要对一个个独立架构进行优化，还要对它们共同作用的综合系统进行优化，这样才能获得最理想的轴承系统。

目前，原材料供应商和轴承生产厂面临的一大挑战就是：新一代风力发电设备使用的大陶瓷滚动体的混合材料轴承。目前的技术已经能够可靠生产出直径达 2 in (1 in=25.4 mm) 的高强度陶瓷滚动体了。

另外，市场上对高温环境中使用的轴承需求量也很大。例如，在钢铁冶炼、航空航天、汽车制造以及能源工业等行业中都有着很大的市场潜力。在这些行业中，陶瓷材料的轴承已经得到了广泛应用，其抗氧化性能和耐磨性能表现亮眼，但摩擦较大这一问题始终未能完全解决。而陶瓷复合

材料和纳米复合材料的研发正是为了彻底解决上述问题而进行的。

陶瓷轴承在承载状态下的工作情况，既可以通过试验确定，也可以通过新的数字化模拟技术来确定（图 3）。为此，人们开发了模拟仿真工具，利用这一工具不仅能够对陶瓷轴承的热负荷和机械负荷进行摩擦学、机械学和热学的建模，同时也可以完成相关计算。而这一模拟工具的用途并不局限于应用状况的评估分析，也可以对不同应用领域中陶瓷材料和陶瓷材料的零部件进行优化。

陶瓷轴承的应用

陶瓷轴承的推广应用还存在很多障碍，最大的障碍就是其高于传统轴承几倍的价格，这直接导致优点尚无法预估的陶瓷轴承解决方案的高昂价格。阻碍陶瓷轴承推广的另一大障碍就是人们特殊而无理由的保守态度，过高估计了陶瓷轴承的投资风险。如果能够公平而客观的估计这一技术的应用潜力，不难发现：陶瓷轴承除了在技术上具有优势外，在全生命周期内的综合评估中也是非常优势的。MM