



图1 大型柴油发动机生产厂家对平面密封垫的要求是：坚固耐用、无泄漏和长使用寿命。此外，还要求密封件的价格经济合理

密封

摆平质量和价格的双重压力

尽管对质量的要求不断提高，价格的压力不断增加，但是平面密封垫的创新却将二者结合到一起。玻璃纤维密封垫就是其中的典范，不仅性能强大，而且价格合理，比金属材料的平面密封垫更加实惠。

文 | Jan Kies

平面密封垫的生产不是一件简单的事情。每个厂商都希望自己的产品性能优异，且价格低廉。现在，这种剪刀差越来越大：要求越高，差值也越大。尤其是在运输蒸汽以及液体时，例如油、燃料和其他碳氢化合物，平面密封垫的 OEM 生产厂成功研发了无泄漏、坚固耐用和使用寿命长的平面密封垫（图 1）。

在很多应用中，工作在高温、高压环境下的平面密封垫都带有金属材料或者玻璃纤维的夹层，密封效果非常好。但是，产品性能或价格的上升是有极限的。因此，

密封垫生产厂特瑞堡（Trelleborg）公司研发了一种有着良好密封性能和强度的玻璃纤维密封件。该密封件把平面密封件的性能极限“向上”提高了一大截，而且价格也比较合理。

传统密封件的不足之处

玻璃纤维增强的平面密封件的承载能力非常高。但中性纤维的最大特性是：很高的热稳定性、很高的抗拉和抗压性能。这使得该玻璃纤维的平面密封垫非常坚固耐用。但传统的玻璃纤维密封垫也有不足之处，尤其当性能接近极限值时。

由于玻璃纤维的表面非常光滑，因此不能很好的与其他材料形成牢固的网状结构。这样，其沿纤维轴线方向的承载能力最小，而且很难精准检测其承载能力。

另一个不足之处是纤维横向的强度。这样在较高的单位面积压力作用下，尤其是当增强筋较薄时，螺钉或者环绕螺钉周围的单位面积压力会导致密封件材料失效。其原因是：在向玻璃纤维密封件合成材料中添加玻璃纤维时主要是沿长度方向施加玻璃纤维的。这就限制了增强筋类部位的 3D 稳定性。较大的螺钉间距和较宽的筋板则相反，

存在可以忽略螺栓周围压紧力的可能性。这就可能造成密封材料本身的强度不足以承受密封件内部的压力，出现密封件被“挤出”密封位置的问题。

为了扬长避短，特瑞堡公司对合成材料的性质进行了改进：其一是使用很短的、甚至磨碎了玻璃纤维，这样能有效避免泄漏；其二是减少玻璃纤维的用量，进而减少潜在泄漏通道的总量。采用上述措施后制成的玻璃纤维密封件并不能增强其产品性能，因为机械性能并没有全面提升。

在新的玻璃纤维密封材料研发中，排除了合成材料的弱点和不足。其最大的改进是玻璃纤维与弹性网状结构之间的结合。通过一项新工艺技术的应用，生产工艺得以改善，提升了玻璃纤维的表面质量。利用此项技术生产的玻璃纤维更加适合与网状的合成材料结合使用。纤维材料与网状合成物之间的附着性能得以改善，这几乎完全避免了微细泄漏通道的形成。这样，也就无需减少玻璃纤维的用量。相同面积中更多的玻璃纤维也提高了密封件的强度。这大大提升了密封件的硬度和蠕变性能。另一个改进是添加剂用量的优化。添加剂用量的优化还附带改善了整个合成密封材料的强度（图2）。

为了提高玻璃纤维密封材料的强度，要提高各个方向的机械稳定性。这就要在玻璃纤维密封件的生产过程中避免玻璃纤维在网状结构中只有一个“主导”方向的问题。利用合理的工艺方法可保证这一点。专门开发的工艺技术保证了玻璃纤维在密封件材料中的多向性而不只是沿长度方向杂乱分布。这大大提高了横向强度，尤其是抗拉和抗压强度。结合减少了的泄漏倾向，也可以使用一根根的长纤维，这同

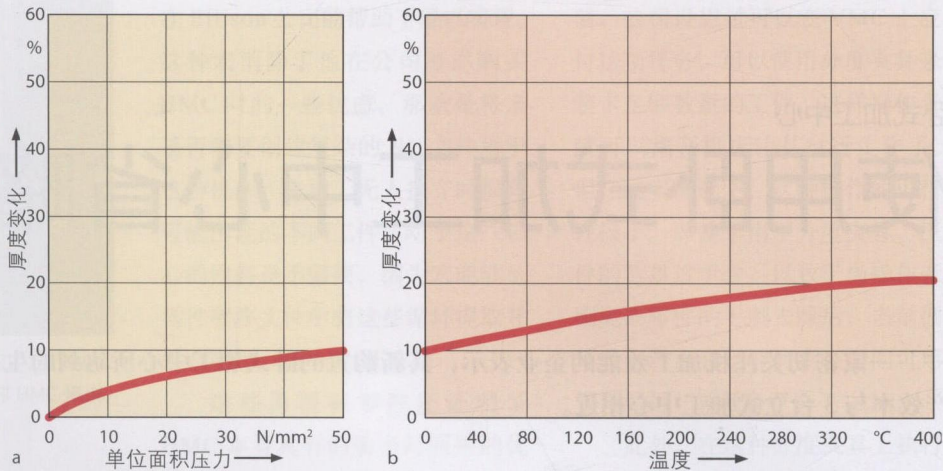


图2 在相同面积上使用更多的玻璃纤维会使密封垫更硬，蠕变性能下降，正如 2mm 厚玻璃纤维密封（HMF 15）收缩性能测试所表明的那样（A 室温情况下；B 单位面积应力 50 N/mm² 时）

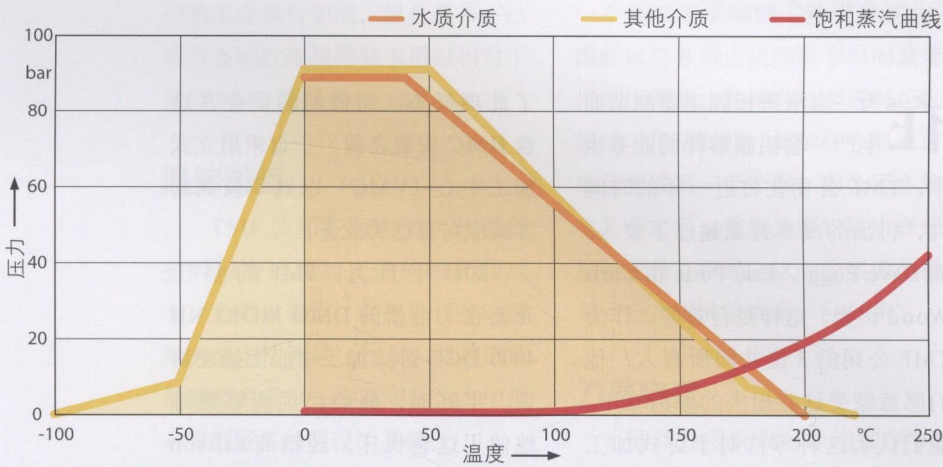


图3 基于玻璃纤维网状结构附着性能和纤维走向的改进对水和蒸汽（橘黄和红色曲线）以及碳氢化合物（黄色曲线）输送时的承载能力有积极影响

样有利于提高材料的强度（图3）。

提高耐化学腐蚀性能

改进后的材料生产的密封件具有很高的机械承载能力，适于在高压和高温环境中使用。例如，这种玻璃纤维材料的平面密封垫能够承受最高 9 MPa 的压力负载。由于玻璃纤维与合成材料之间微小的泄漏通道被降至最少，因此其密封效果更好，能有效防止润滑油、燃料油和碳氢化合物等介质的泄漏。

采用新材料制作的平面密封件满足了多项技术标准和技术规范的要求。一块 2 mm 厚的材料

试样检测后的试验数据为：按照 DIN 52910 标准规定检测方法在温度 300 °C 时检测到的抗压强度为 28 N/mm²；纤维长度方向的抗拉强度为 21 N/mm²；横向抗拉强度为 9 N/mm²；按 ASTM F 标准在功为 36 J 时，压缩率为 7%；按照 DIN 28090-2 标准检测到的热收缩率为 12%，回弹率为 62%。

目前，此产品主要用于技术要求极高的行业，如飞机发动机、泵和液压驱动系统。基于广泛的应用领域，用户可从减少库存、降低订货费用和减少维护保养费用等方面获得好处。[MM]