

PEEK 复合材料能满足油气行业 对非常规钻井和底层评价应用的高性能要求

作者: *Brett Kimball (Automated Dynamics 公司) 和 Rich Leibfried (威格斯公司)*

由于在新的生产方法中压力和温度越来越高，这对油气行业的设备要求也日趋苛刻。在为这些新应用设计部件时，材料选择和设计流程对于工具和系统的整体性成功而言显得至关重要。满足这些要求有望使在极端环境下的预期使用寿命达到 10 至 20 年，而在这种环境下灵敏电信号和数据传输对于成功而言事关重大，尤其是在最新的智能随钻测量（MWD）、随钻测井（LWD）、和测井电缆系统中。这类性能等级通常会超过诸如热固性塑料、铝、钢、钛等材料的能力。采用 PEEK（属于 PAEK（聚芳基醚酮）类热塑性聚合物）取代上述这些材料或更低等级的塑料，使得行业中所面临的挑战可迎刃而解（例如，VICTREX® PEEK 450G 与 NORSOK M710 相比，其耐受 H₂S 浓度超过所要求的性能标准 10 倍）。PEEK 对比金属和热固性材料具有极佳的耐化学性能，可减少停机时间，并在通常由腐蚀和化学侵蚀造成故障的情况下提高设备的使用寿命。PEEK 聚合物的性能、优势、和潜力，已经在许多应用中得到验证和记载，并已有超过 35 年的历史。

该行业未来的发展趋势是，在非常规钻井和地层评价中对 PEEK 复合材料的需求会进一步扩大，在这些应用中需要使用高性能天线和测井套筒。机械和液压驱动的套筒在高温条件下运行，而其中的 PEEK 复合材料与热固性塑料相比具有优异的性能和更长的使用寿命。与金属相比，包括具有高强度和刚度以及极轻重量的金属（比铝轻 40%、比钛轻 55%、比钢轻 70%），这些复合材料具有众多突出优势，可使安装更便捷更快速，使转向更高效。此外，极低的热膨胀性能（低至钢的 1/6，具有能够调整至该膨胀率的能力）和尺寸稳定性，可以为精密制造提供更严格的公差。

各种测井工具都需要有纤维增强的塑料复合材料结构，这主要是因为其具有高电阻系数或低电磁辐射干扰。热固性和热塑性复合材料已实现商业化，并且每种材料除了有其独特的优点外，也面临着设计的挑战。一般情况下，热固性复合材料和某些商品级热塑性塑料，在非极端环境的油田应用中前期成本较低。而另一方面，在高压/高温（HP / HT）应用或其它要求材料具有优异的耐化学性的环境中，则采用的是工程级热塑性塑料，如 PEEK。在 HP/HT 应用中，这些树脂往往具有比热固性塑料更高的初始成本和更长的使用寿命。除了对树脂的选择，设计人员还必须考虑纤维结构和相应的生产条件。例如，连续纤维和短纤维复合材料之间的性能可以有很大变化，甚至注塑与模压结构相比，在使用中的性能差别也显而易见。

对复合材料的简要概述将有助于说明整个讨论实例。连续纤维复合材料的主要特点是，具有数千条被树脂包覆并且分布均匀的平行纤维，每条纤维的直径仅有几微米。这种绕在卷轴上的原材料以条带形式交付给制造商（图 1）。

AutomatedDynamics 公司的纤维铺放技术，能够使热塑性塑料复合材料结构一条一条一层一层地构建起来，直至形成最后所需的形状。这种原位自动工艺能够使树脂在条带上熔化和凝固并将其粘接到前一层上，如图 2 所示。这种一体化处理比烘箱或高压釜固化热固性树脂具有多种优势。与零件性能有关的因素包括：极度可重复处理、避免与固化周期过程中热固性塑料去屈曲有关的纤维屈曲、以及避免高热诱导残余应力（伴随长期浸渍固化周期产生）。

随着对这些井下应用要求的不断提高，往往需要使用连续纤维复合材料，这主要是因为其与短纤维复合材料相比具有较高的模量和强度。这些应用包括，与 **LWD** 工具有关的各种测量技术的天线罩、**M/LWD**（随钻测量/测井）和电缆电阻测井仪上的电气/结构隔离器（间隙子）、以及用于电缆电阻测井仪的外壳和测井套筒。在压力平衡负载情况下，**PEEK** 结构在潮湿环境下的使用温度可超过 **525°F（274°C）**。在材料必须承受较大力并且长时间拉伸的情况下，**PEEK** 复合材料通常可横跨其玻璃化转变温度，在 **275°F（135°C）至 350°F（177°C）** 条件下使用。

这些应用往往要求材料具有高损伤容限、耐化学腐蚀性、抗疲劳性和抗蠕变性。虽然 **PEEK** 复合材料在这些领域中展现出优异的性能，但与金属结构对比了解其失效模式同样至关重要。例如，复合材料具有很少或几乎没有塑性屈服所导致的失效，不会产生象韧性金属那样的缓慢应变。因此，复合材料设计中的安全系数往往比金属要低得多。由于其优异的性能组合（包括水解稳定性），**PEEK** 复合材料比热固性复合材料具有显著的性能优势。同时，**PEEK** 复合材料的吸湿性为 **0.2%** 左右，而热固性塑料的吸湿性通常为这个数值的 **10** 倍，从而导致尺寸不稳定，并加速裂纹的扩展。

设计人员通常需要让这些带有金属部件的复合材料结构相互连接，并明了其固有且不同的材料性能。金属和连续增强塑料之间最大的区别是，连续增强塑料含有高度各向异性的天然碳纤维。含有 **60%** 纤维体积的 **PEEK**，沿纤维方向具有 **300ksi（2068MPa）** 的拉伸强度，而横向的拉伸强度只有 **12ksi（83MPa）**。此外，设计人员不仅要知道条带或材料的整体性能，还必须明了特定复合材料层结构的性能。对于这些细节的掌握，就要求设计人员需要熟知材料的切削性、吸湿性、机械、电气和热性能、以及失效模式。

一项复杂的设计通常需要工具设计人员和制造商之间的合作，并且大多数复合材料制造商会动用复合材料工程师来促进这一合作。除了材料性能，还应考虑生产过程可引发的因素，并且某些因素可以得到利用。例如，当外包覆金属圆柱体时，通过铺放高张力纤维，或者在生产过程中对基底进行彻底冷却，可形成一个紧密压缩。通过改变个别层的层叠角

度，铺放纤维还可就特定方向对结构的热膨胀系数进行调整（通常是为了与相邻的金属结构相适应）。

除了组装不同材料，设计人员往往还要将其进行连接。PEEK 结构可适用于很多要求有金属 - 复合材料连接设计的油田应用。此类热塑性塑料可用于复合材料条带，并且还可以与金属端接头结合，将复合材料和金属管件进行整体连接，如图 3 所示。用 VICOTE[®]（威格斯生产的 PEEK 涂料）进行涂覆，可有助于材料的结合，以便于在其间传递力，并提供一层可流动的致密阻隔物。Automated Dynamics 公司已经为多个采用此项技术的应用提供了零部件，并且在连接设计中采用的是自动纤维铺放生产技术。

利用这些材料的优势和制造能力，可以使其能够用于更多井下和海底应用，包括用于密封的复合材料部件、完井工具、压力容器、结构框架、电机外壳、生产管道等等。Automated Dynamics 公司已开发出一种激光加工方法，可显著提高生产能力。这种高产能对于需要使用成百上千磅重零件的大型项目而言至关重要。威格斯 PEEK 聚合物的进展也有望跟上不断增长的对使用温度的要求。随着针对这些材料的认知度和需求的增加，其生产效率正在逐年提高，而原材料成本则逐年降低。由于在恶劣环境中的测试继续表现出优异的性能，有理由相信 PEEK 复合材料仍将是金属和热固性塑料的理想替代品，用于油气行业中的关键部件。

#

关于威格斯

威格斯公司总部位于英国，旗下的威格斯聚合物解决方案事业部，在生产高性能聚合物如 VICTREX[®] PEEK 聚合物方面，为世界领先的高性能材料制造商。此材料可广泛应用于各类市场，由于其具有卓越的综合性能，可为 OEM 厂商、设计商和加工商大幅节省成本、提高质量和性能。公司生产的所有材料均符合威格斯注册的 ISO9001:2008 的质量标准。VICTREX[®] 是威格斯制造有限公司在美国、欧共体以及其它地点的注册商标。了解更多信息请访问 www.victrex.com。

关于 Automated Dynamics 公司

Automated Dynamics 为全球各种极端环境应用，生产高级纤维复合材料结构和高性能复合材料加工设备，并已有超过 30 年的历史。通过我们的工程服务及自动纤维铺放和条带铺叠工艺，我们提供可解决各种复杂难题的高强度轻量化结构。作为一家公认的创新先导公司，Automated Dynamics 已生产出数以万计的结构，同时我们的自动化设备遍布 17 个国家。了解更多信息请访问 www.automateddynamics.com。

图 1: 单一方向热塑条

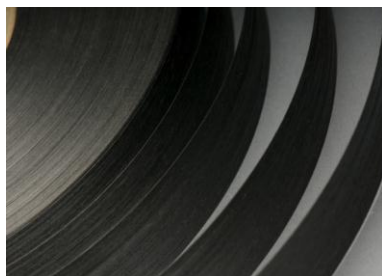


图 2: 自动纤维铺放工艺

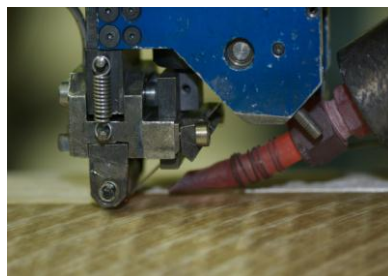


图 1: 无磁绝缘井下工具

