增材制造

重新设计柴油发动机支架

增材制造零件经过重新设计制造后在减量、性能和成本降低方面能够对连接动力传动系统和底盘的部件进行优化。

更多精彩请扫描二维码

文 | Stéphanie Giet 博士

来自巴西康明斯公司、巴西圣保罗大学理工学院和加拿大奥沙瓦的安大略理工大学的工程师，最近使用增材制造的设计自由度来提高柴油机支撑部件的结构能力，该支撑部件同样可用于风扇驱动滑轮的锚定点。在这一概念验证中，涉及为该零件多个特定功能定制的新设计，团队获得的结果是最小化重量、提高性能和降低制造成本。

该团队在技术文件《利用增材制造加工的拓扑优化柴油发动机支架》中介绍了其工作。这里介绍的是该项目的总结，以及它在重新设计增材制造工程部件的实践和可能性方面所显示的内容。

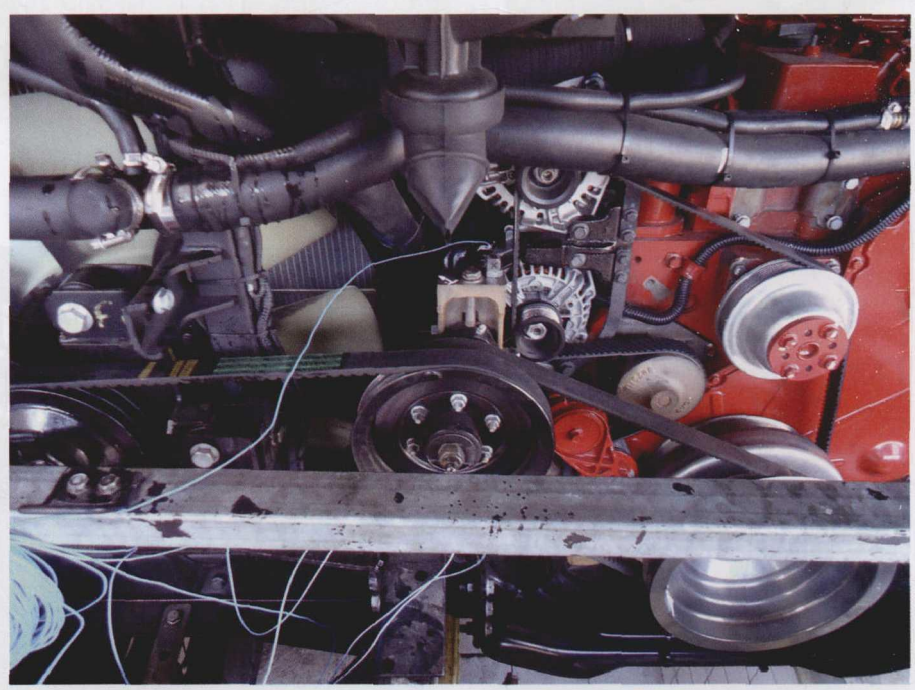

图 1 冷却系统包括三个滑轮，目前的柴油发动机支架是该图片中心附近中可看到的黄色部件

增材制造和拓扑优化

增材制造几乎可用于加工任何形状，通过增材制造对零件的设计过程不仅可以集中于部件内的功能，还可以优化重量与性能的比例。增材制造可能是最容易与拓扑优化配对的制造过程，其目的是将材料选择性地放置在零件功能所需的位置。拓扑优化趋向于增加部件的几何复杂性，这在常规制造中会出现问题，其中增加的复杂性可产生更高的成本。但在增材制造中，对太多复杂性关注较少，优化可用于减少材料和重量，并降低成本。

然而，并非机械系统的所有部件都可应用增材制造，需要进行设计分析以识别那些增材制造可以提供最大效益的部件。

增材制造特定设计的成功要求

为了取得成功，增材制造的部件设计或重新设计需要通过以下方式带来技术和经济效益：降低制造成本，可能通

过简化组装或限制对特定工具的昂贵零件的投资，或者通过降低运营成本、提高性能或提供独特能力，在产品运营过程中增加效益。

汽车行业对低成本、可靠、耐用及轻质部件的需求正在推动工程师和研究人员重新评估组件设计，以寻求这些效益，通常由金属块加工而成的柴油发动机支架是重新设计这些效益的最佳选择。

增材制造技术的设计分析和选择

增材制造技术的选择必须在零件重新设计的早期确定，因为它将决定正确的设计规则。“增材制造”实际上是一个涵盖一系列技术的总结，共同点是拥有通过连续和选择性地累积材料来生产部件的能力。每种技术具有可用于不同方式实现挑战性部件的有效制造的特定优点。

在金属增材制造过程中，选择性激光熔化技术属于粉末床熔合类别，也称为直接金属激光熔化，该技术以其基本的机制命名。该方法依赖于扫描精细激光束穿过粉末床的连续层，以选择性地熔化复杂踪迹，最终部件通过熔融粉末的凝固产生。生产高分辨率特征的能力是选择性激光熔化技术经常被选为生产具有精细特征的复杂部件的工艺的原因之一，它被选为制造新的柴油发动机支架。与常规减法或形成方法相比，选择性激光熔化技术的优点表现在 4 个关键方面：形状复杂性，实际上可以利用选择性激光熔化技术构造制造任何形状，制造小批量在经济上是可行的，而且也可以定制和优化的几何形状；高分辨力，材料被精细的激光束逐点加工，一次一层；分层复杂性，在具有足够分辨率的机器上，精细特征的制造意味着可以在一个步骤中设计和制造复杂的分层多尺度结构，具备特征尺寸跨越宏观和中尺度（0.1 ～ 10 mm）；功能复杂性，几何灵活性使得可以将多个功能集成到单个部件中，否则该部件将由多个零件制成。

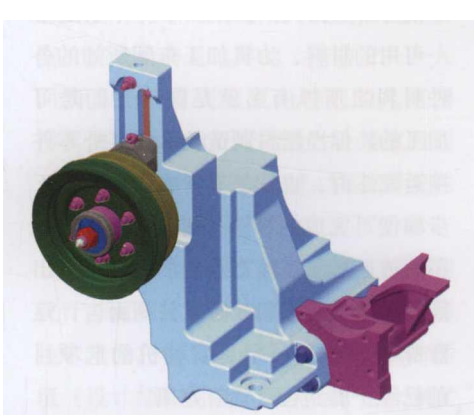

图 2 以下是柴油机支架优化版本的模型。这种形状支持在分析部件要求时识别的所有负载，但是以适合于减少质量和材料的这些负载的形式。该型号显示了柴油机支架以及冷却系统张紧轮的当前设计

柴油发动机支架及其环境

在内燃机中，发动机支架是负责保持动力系统的部件，不仅包括发动机，而且包括变速器和附件，同时将动力系统连接到车辆底盘。相关系统，即冷却驱动系统包括 3 个滑轮：驱动轮附接到曲轴鼻部，中间滑轮对系统的皮带施加张力，从动轮驱动风扇。柴油发动机支架还锚定中间滑轮。该零件围绕部件两个独立功能进行拓扑优化，既连接动力传动系统和底盘，又支撑张紧轮。

尽管已经成功地重新设计选择性激光熔化技术的案例，但仍在制定如何做到这一点的专用形式规则。多数这类规则由用户内部制定，并被视为重要的商业优势。同样关键的是增材制造设计的工作流程，其可促进高效的重新设计，以及协调拓扑优化与设计制造。该工作流程必须包括并考虑以下内容：捕获部件的需求；了解和考虑选择性激光熔化技术的好处和制约因素；在设计期间，提前使用后加工技术；允许制造时间和成本。

获取部件要求

对发动机支撑件的要求主要涉及承重，为了正确地确定优化问题中涉及的负载，在特殊轨道中测试整个车辆的样品，使用分布在整个动力系统中的加速度计监测系统经历的加速度。

也以其他方式获得相关负载值，与冷却系统相关的轮毂负载的大小和方向是通过商业软件获得，以数字表示，该商业软件考虑了带材料、功率消耗相对于发动机转速和车辆占空比的曲线等其它因素，使用超声波装置测量夹紧载荷。

图 3 有限元网格被用来精确地执行发动机支架形式的拓扑优化，基于该支架承载的各种负载

通过设计自由度实现优化

将数据输入气缸体、螺栓和张紧轮的有限元模型，开始形状数学优化的迭代计算过程。在这种分析的过程中，认识到增材制造在设计领域放宽约束的程度很重要。放松可让设计者采用直接集中于功能的拓扑优化技术。给定所施加的载荷、边界条件和可设计体积，求解器可以找到结构上最有效的量和材料分布。对比原始零件的形式，将难以通过除了增材制造外的任何制造方法来实现这种新形式。

通常，设计者在探求中过度约束拓扑优化问题，以确保该解决方案是可制造的。在增材制造中，这种做法容易造成浪费，并且可能无法充分利用过程的设计自由度。为了竞争力起见，并为了实现增材制造的潜力，对于使用增材制造的设计者来言，了解增材制造过程中的全部能力，并相应地更新其设计约束因素至关重要。MM