**

**各就其位，各得其所**

拓扑 (Topology) 一词源于希腊语，其中“topo”和“ology”的含义分别是“位置”和“研究”，因此，顾名思义，拓扑优化指的是研究材料布局的数学优化。利用这种方法加工工件的最终目的是：移除低承载力区域的多余材料，同时保持整体结构的完整性；得到的工件结构越轻、越坚固，拓扑优化的效果越好。

**作者：雷尼绍集团快速成型产品部技术营销工程师David Ewing**

您可以把它想象成一种搭积木游戏，其目的是在保持塔身核心造型的同时，移除不影响结构整体强度的低承载力区域中的积木。

采用削减式和铸型式这类传统制造方法时，拓扑优化的效果难免要打上折扣。例如，利用机器加工零件时，材料布局必须要考虑工具的加工路径。如果通过铸造或模具来制造零件，必须考虑打开模具和取件时须注意的事项。这些制造过程中的约束条件限制了设计上的自由。

但是，快速成型制造 (AM) 不会受到这些条件的影响。由于零件成型采用逐层叠加方式，因此无需模具或机加工就能够制造出更加复杂的结构，而最终完成的结构更接近于最优设计。

当Empire Cycles公司的总经理Chris Williams先生首次接触雷尼绍时，就已经为他的自行车制作了全尺寸3D打印的塑料模型。不过，Chris Williams迫切希望用一种更坚固但不失轻便的材料来制造自行车零件。雷尼绍经过研究，最初只同意优化和制造自行车的座管支架。

雷尼绍首先利用计算机辅助设计 (CAD) 软件完成了座管支架设计。然后以此设计为蓝本，将固定点和负载输入拓扑优化软件。如同搭积木一样，软件先将问题分解为很多区块或有限元，从而简化内部应力和张力的计算。接下来执行一系列迭代步骤，每一步都将移除负载最小的材料。运用这种方法，该软件可逐渐获得最高效的负载承重设计。

最后，雷尼绍在CAD中对设计重新建模，并利用自身的专业技术知识进行成型优化。通过消除大量朝下面的结构特征，许多原本需要多余支撑结构的区域得以移除，从而节省了用料。

雷尼绍在AM250激光熔融金属快速成型系统上利用钛合金材料制造最终零件。最终零件既轻盈又坚固：相比拓扑优化之前的结构更加坚固，而重量则比铝合金支架轻44%。这种减重设计不仅能够缩短成型时间，还能降低制造成本。

雷尼绍按照山地自行车标准EN 14766对座管支架进行了测试，结果证明其可承受50,000次1,200 N（相当于一个266磅骑手的体重）的应力循环。随后遵照该标准测试了六次，没有出现任何问题。毋庸赘言，雷尼绍对此结果非常满意。

有了座管支架如此成功的设计、制造和测试结果，雷尼绍决定利用3D打印工艺制造完整车架便成了顺理成章的事情。在2013年的欧洲模具展上，雷尼绍和Empire Cycles联袂展示了共同打造的世界首款3D打印金属自行车架，其重量比最初的铝合金模型车架轻33%。

如果没有拓扑优化技术，就无法诞生如此轻便的座管支架。钛合金的密度比铝合金大，它们的相对密度分别约为4 g/cm3和3 g/cm3。但是钛合金 (Ti6Al4V) 的极限抗拉强度 (UTS) 是铝合金的三倍以上，因此允许使用更薄的壁截面。

在保持强度不变的情况下，唯一方法就是大幅改变Chris的原始设计，尽可能减少不会影响部件整体稳定性的区域用料，从而减轻支架重量。

如果没有快速成型制造技术，就无法按照此类设计生产出实际零件。传统加工方法无法处理薄壁和空心构造这类复杂的拓扑优化特性，因此也就无法获得更轻、更坚固也更经济的成型结构。

那么，在制造出这款独一无二的自行车后，现在剩下的唯一问题就是，我们的下一个优化对象是什么呢？

如需了解雷尼绍快速成型系统的详细信息，请访问www.renishaw.com.cn/additive

**-完-**