



# 利用增材制造技术制造微小卫星推进系统

增材制造 (Additive Manufacturing, AM) 技术是采用材料逐渐累加的方法制造实体零件, 相对于传统的材料去除——切削加工技术, 是一种“自下而上”的制造方法。由于增材制造技术不需要传统的刀具和夹具以及多道工序, 在一台设备上就可快速精密地制造出任意复杂形状的零件, 从而实现了零件“自由制造”, 解决了许多复杂结构零件的成形问题, 并大大减少了加工工序, 缩短了加工周期。而且产品结构越复杂, 其制造速度的作用就越显著。鉴于增材制造技术巨大的潜力优势, 发达国家纷纷制定了发展和推动增材制造技术的国家战略和规划, 增材制造技术已受到广泛的关注。

美国宇航局技术网站 2013 年 8 月 1 日公布了意大利 CRP 集团美国分部与美国犹他州普罗维登斯实验推进实验室 (Experimental Propulsion Lab) 联手采用增材制造技术制造出微型推进系统 (AMPS-H), 这是第一个采用增材制造技术完成的功能完备的航天发动机系统 (见图 1), 其结构和燃料混合制作为一体部件。这种专门为微小卫星设计的能多次启动的推进器, 可以为立方体小卫星飞船提供重要的  $\Delta V$ , 同时保持  $10\text{cm}^3$  的形状。



图 1 增材制造的火箭发动机系统 AMPS-H

AMPS-H 发动机的燃烧室位于氧化剂贮箱内侧 (见图 2), 这种结构只有采用增材制造才能实现。增材制造只需在计算机上设计一个三维 CAD 模型, 然后开始 3D 打印即可。在零件内部制造孔穴和通道时, 不像传统的制造工艺, 需要分成多个部件生产, 再融合在一起, 增材制造可作为一个零件完成。

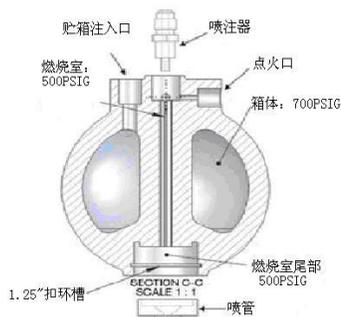


图 2 AMPS 内部视图

增材制造技术的关键就是找到一种能够满足空间应用所需的刚性机械性能的材料, 再采用添加技术生产出这种零件。为避免材料过软而导致融合结构的密度不一致, AMPS 采用了 CRP 集团知名的增材制造材料 Windform™ XT 2.0, 这种材料具有拉伸强度高、能够充分融合的特点, 可制作承受高压的坚实结构, 适合做推进系统的氧化剂贮箱和燃烧室, 同时也被用作混合式发动机的燃料芯。

由于避免了在燃料上进行铸造, 因此, 材料可达到无泄漏路径。燃烧室端口可以设计为燃料直接进入, 燃烧室前端和尾部可以同燃料颗粒集成为一个整体件。氧化剂输送线、点火口、喷注器、喷管、喷管扣环槽以及压力传感器端口都被纳为一个部件利用增材制造完成。

发动机采用水电压力测试, 以确保符合安全极限, 然后在试验台上对发动机进行冷流试验, 其中喷注器和高压氧化剂贮箱要进行热力学循环和流量校准, 同时也要采取一些安全措施以备在试验台点火试验。最后对零件进行推力级峰值为 6.2 磅状态下持续 16s 的测试。

CRP 集团开发的 Windform 材料是一种独特的复合材料, 常用于增材制造。Windform XT2.0 是最新版的 Windform 材料, 常用于制作赛车, 目前在汽车行业、航空航天和设计上也广泛使用。微小型卫星推进系统的研制, 再次彰显了 CRP 材料的可靠性和高品质, 使 CRP 占据增材制造的领先地位。

(丁新玲 供稿)