



红外热像仪帮助开发新的低温燃料箱设计

燃料是航空工程技术的关键部分，是推动航天器的必需品，但增加燃料会增大航天器的重量，航天器的推动力会变得不够经济。这个难题一直困扰着航天器设计师。低温技术凭借其出色的能量质量比，成为当前技术能够实现的最佳解决方案之一。但低温燃料的易挥发性和外太空失重使低温液态燃料的在轨推进用途颇具挑战性。但德国研究机构ZARM的研究人员使用FLIR红外热像仪也许能够找到该问题的解决方案。

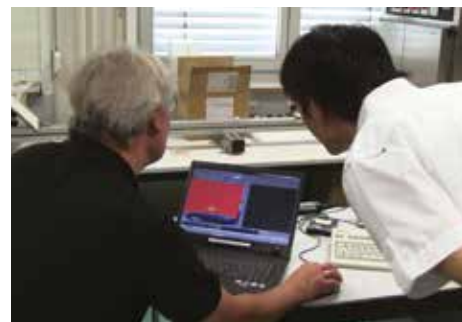
低温燃料是必须保持在极端低温下，以维持液态的燃料。这样就可以在较小的燃料箱大量储存低温燃料。液氧和液态氢相结合是最常用的方式，因为它与许多非低温燃料不同，具有出色的能量质量比，并且非常清洁。但低温燃料的使用也对航天器设计师提出了挑战。不莱梅大学生产工程学院分部应用太空技术与微重力研究中心（ZARM）电子工作室负责人Ronald Mairose解释道：“其中的一个挑战是气态低温燃料进入发动机的燃料出口。如果发生这种情况，可能会发生穴蚀现象，造成航天桥元件严重受损，或者甚至造成发动机完全停止运转。”

在地球上可以用重力阻止气体进入燃料出口。由于密度的差异，液态低温推进燃料会下沉至燃料箱的底部，而气态燃料会以相反方向上升。航天器脱离地球引力场但仍在加速时，加速力也会产生同样的效果，但是当发动机在太空中关闭后，由于失重和停止加速，航天器的位置和低温燃料的液-气分离就变得很难控制。推进燃料以液体和气态的形式漂浮在燃料箱内，使安全重启发动机变得困难。

这个问题有两个解决方法。一种是过去一直用的方法，最著名的应用案例也许是1969年的阿波罗登月，即用辅助推进系统来制造加速度。加速力使



热成像技术帮助确定低温液体的毛细反应进程。



研究人员使用FLIR的辅助软件ALTAIR对热录像进行微调。



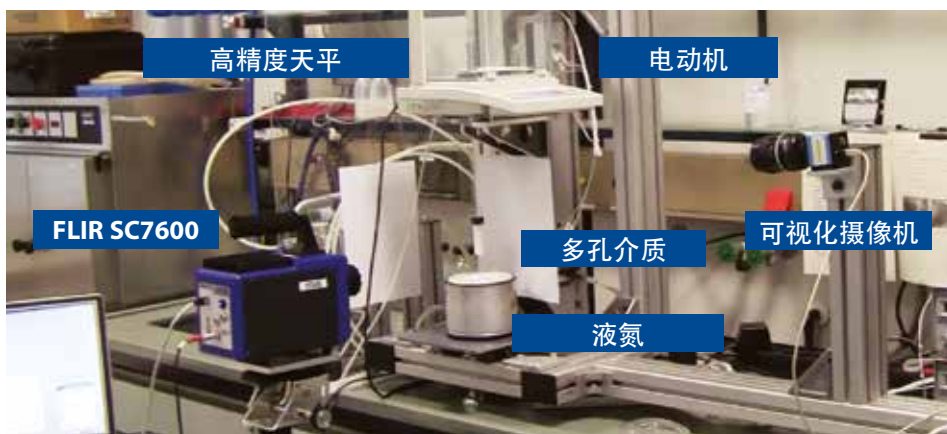
低温推进燃料向燃料箱出口聚集，从而实现无气重启。这种方法有两大缺点：它增大了航天器的总质量，而这是航天器设计师希望避免的，并且它的作用受到辅助推进系统所含燃料数量的限制。

另一种方法是在推进燃料管理设备（PMD）中使用多孔介质，比如不锈钢制成的编织网。这些PMD用于控制燃料箱出口的某些液态推进燃料。这可以使得液体燃料穿过多孔介质，同时阻止气体的通过，确保发动机无气重启。多孔介质中的液体燃料被“毛细作用”保存在那里。Mairose解释道：“毛细作用适合很多液体。如果把一块方糖蘸进一杯咖啡中，你就能看到这个原理在起作用。咖啡会被吸到方糖里，因为咖啡和方糖之间的毛细作用力大于重力。”

Mairose解释说：“为了让这种方法起作用。多孔介质必须包含足够的液体，因为如果多孔介质的某些部位是干燥的，气体就会通过并进入发动机。换句话说，多孔介质必须保持足够的‘湿度’。蒸发可能会造成多孔介质局部干燥，因此这种方法目前只结合蒸发缓慢或不蒸发的液体燃料一起使用。低温液体容易蒸发，我们也不了解它们的毛细反应，因此由局部气温变化或热转移引起的蒸发可能比毛细效应还要强烈。”

实验室测试

ZARM用FLIR红外热像仪实施的实验最近有了新发现。研究人员使用液氮作为低温燃料，因为在实验室里，如果操作得当，液氮相对比较安全，而且它的物理性质也类似于其他低温燃



在这批测试装置中，电动机用于将多孔介质蘸入液氮。高精度天平测量重量变化，FLIR红外热像仪提供了液氮爬上多孔介质的速度信息。

料，尤其是液氧。目前负责进行这些测试的研究人员是ZARM的研究助理张明（音译），他表示：“将一块多孔玻璃熔块或不锈钢网浸在一个充满液氮的杜瓦瓶内，如果液氮像咖啡冲入一块方糖一样渗入多孔介质，那么这将证实低温液体的毛细反应。”

ZARM研究机构拥有一台FLIR SC7600红外热像仪，它在这项研究中发挥了关键作用：“我们尽力精确地确定液氮究竟能在多孔介质上流淌多长的距离。一开始我们使用可见光摄像机，但结果不够精确。其不但难以看清液氮在多孔介质上的流淌距离，而且可见光摄像机还只能显示液氮的表面过程，多孔介质内部的流入进程无法显示。”

使用FLIR SC7600将毛细作用进程可视化

FLIR SC7600红外热像仪提供了解决方案。张明解释说：“由于液氮和室温之间的温差很大，流入多孔介质的液氮在热图像上清晰显示出来。流入多孔介质内部的液氮影响了多孔介

质的表面温度，使红外热像仪能够精确显现液氮在多孔介质内部的流淌距离。”FLIR SC7600红外热像仪记录的热学数据显示，液氮确实流入了多孔介质。张明补充道：“此前并不了解低温液体有没有毛细反应，以及蒸发会对此产生什么样的影响，直到我们实施了这些测试。”

通过毛细作用实现发动机无气重启

使用高精度天平测量了液氮流入多孔介质时，多孔介质样本增加的重量，并将读数与来自热像仪的信息相结合。“将流入多孔介质的液氮的距离和重量相结合，就可以了解低温液体的确切性质。”使用这一知识，航天器设计师可以为低温燃料打造新的PMD。张明总结说：“现在我们已经知道毛细作用力会导致低温液体流入多孔介质，这可以防止局部干燥，确保无气重启。这可以让发动机安全重启无数次，无需辅助推进系统的帮助。”



这组连续拍摄的热图像显示了多孔玻璃粉的毛细效应测试结果。



这组连续拍摄的热图像显示了不锈钢编织网的毛细效应测试结果。

For more information about thermal imaging cameras or about this application, please contact:

FLIR ATS
19 Boulevard Bidault
Croissy Beaubourg, F77183
FRANCE

Phone : +33 (0)1 60 37 01 00
Fax : +33 (0)1 64 11 37 55
e-mail : research@flir.com
www.flir.com