



SEALS

Critical parts
making THE difference



PRECISE FIT ● LIFETIME CONFIDENCE



圣戈班密封件白皮书 2019年2月

航空临界低温应用中的密封解决方案：
克服泄漏问题

www.seals.saint-gobain.com

www.plastics.saint-gobain.com.cn

航空临界低温应用中的密封解决方案： 降低泄漏率

阿尔弗雷德·莱斯布里奇博士
琪亚拉·雷佩托
弗雷德里克·拉尼尔

摘要

众所周知，太空设备制造商和设计工程师常常要花无数个小时测试火箭运载系统中的关键部件，比如在临界低温应用中，密封件的泄漏率仍是最容易引发危险的因素之一，所以控制泄漏率是最具挑战性的工作，如果泄漏率过高，可能会导致灾难性的故障。这就是为什么火箭上的密封的解决方案特别是那些用于储罐和进料管线的密封方案，必须符合非常严格的规范。除了泄漏率之外，为了追求解决方案的全面性，也必须考虑在临界低温环境下对于其他性能压力因素的影响。硬件的重量和密封件安装难易度是这两个需要额外考虑的因素都取决于安装过程中密封件所需的压缩力。变形后的弹簧的回弹性和在动态下的运行情况等其他因素，也是提高密封件密封寿命的关键标准。

如果密封件需要的压缩力较高，则需要更大、更高强度的螺栓将密封件固定到位。这些螺栓的变化看起来不明显，但是当你考虑航空中低温密封件应用的场合，比如火箭上，你会发现这会使螺栓的数量会变得相当多。你不但需要考虑密封件需要的螺栓数量、还有每个储罐的所需的密封件数量、每级火箭的储罐数量，甚至火箭的级数，因此额外增加的螺栓重量会变得非常明显。

如果你把需要高压缩力的金属密封件切换为圣戈班的 OmniSeal® RACO® 弹簧蓄能密封圈后，你会发现，仅螺栓一个零件就能为每枚火箭省去 88 公斤的重量。考虑到火箭发射或着陆时每公斤的额外成本，这可能会在降低硬件重量和最终成本节约方面“与众不同”。

OmniSeal® RACO® 解决方案在承受由火箭系统承受的典型力导致的变形量增大后，还能提供更高的回弹率。这使得密封件更加可靠，特别是在重复使用之后，这种可靠性正是未来空间探索的方向。

2019 年 2 月

圣戈班密封件 | www.seals.saint-gobain.com | www.plastics.saint-gobain.com.cn

© 2019 圣戈班高性能塑料（上海）有限公司，保留所有权利

关键因素 1：泄漏率

对于火箭进入太空来说，最常见的是需要各种低温储罐来存放火箭的燃料，包括液态的氧、氢、氮、甲烷以及气态的氦和其他物质。由于储罐的尺寸很大，它们需要密封圈的尺寸同样也很大，直径通常在一到两米之间，甚至更大。尤其是涉及液氧或氢时，密封性能极其重要，因为它们是易燃气体。这些密封圈不但需要承受起飞时留下的力，而且必须承受着陆过程中的力。储罐的密封圈对运行至关重要，它们可以阻止燃油的泄漏，这些泄漏可能造成致命的故障，甚至使人失去性命。这就是为什么太空设备制造商必须对密封圈制定严格规范的原因。



图 1: OmniSeal@RACO@
采用改性四氟材料作为夹套的
弹簧蓄能密封圈



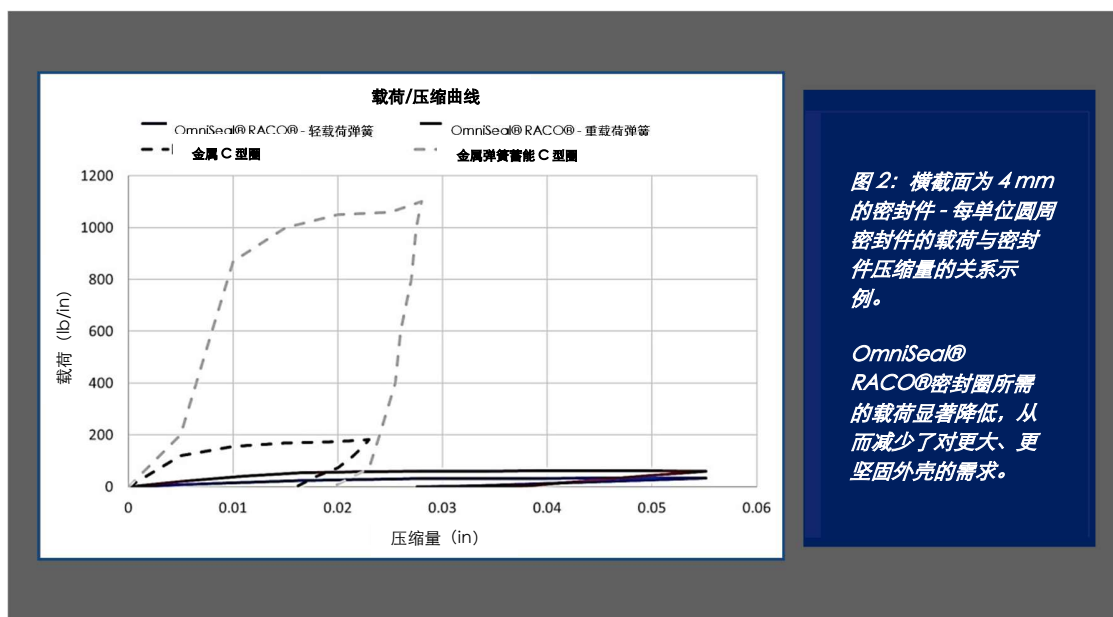
火箭深冷燃料储罐
(照片由美国国家航空航天局/马歇尔太空飞行中心/弗雷德·迪顿友情提供)

泄漏率通常是选择低温储罐密封件的首要因素，密封件的主要功能就是控制泄露率。然而，如果有一款与众不同的密封件可以完全满足这一要求，您将如何选择最适合您低温应用的密封件呢？同时您必须在不影响泄漏率的前提下，考虑影响密封性能的其他关键因素。

在过去的 60 年里，OmniSeal@RACO@弹簧蓄能密封圈（见图 1）获得了为美国国家航空航天局众多太空计划供货的资格。它是一个经过验证的解决方案，在这一具有挑战性的应用中提供了附加值。该密封件不仅满足 0.001 sccs（标准大气压*立方厘米/秒）范围内低温储罐应用的精确泄漏要求，而且还在其他方面带来了帮助。

关键因素 2：减轻硬件重量

金属密封件被认为是航空应用中的一种选择。金属密封件的一个缺点在于压缩密封件所需的力。图 2 展示了 OmniSeal® RACO® 弹簧蓄能密封圈和两种同类金属密封件的载荷/压缩曲线示例。



OmniSeal® RACO® 解决方案的所需要的压缩力明显低于金属 C 型圈和金属弹簧蓄能 C 型圈等备选解决方案。虽然压缩力越高，泄漏率越低，但成本也会越高。当密封件需要的压缩力较高时，其两项主要成本因素在于：所需的安装力较高和总重量增加。总重量主要来自密封件的装置以及安装力较大时需要较重的硬件和螺栓。

当只考虑螺栓时，根据方程式：

$$\text{螺栓载荷} = \text{压缩力} + \text{静压总力} + \text{安全余量}$$

如果压缩力较高，则每个储罐门螺栓上的螺栓载荷较高，因而需要更大、强度等级更高的螺栓和更可靠的密封。图 3 展示了螺栓重量和密封件压缩力之间关系的示例。

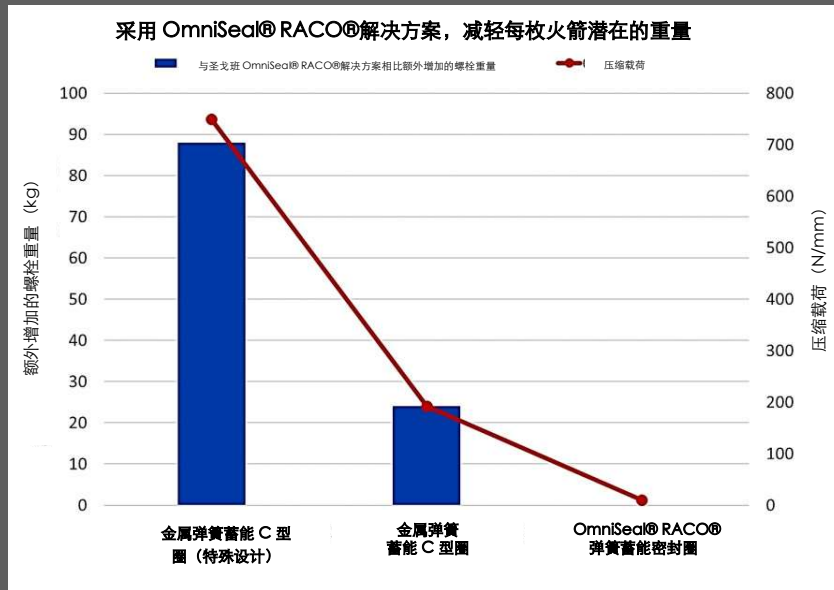


图 3: 采用 OmniSeal® RACO® 弹簧蓄能密封圈可减轻螺栓重量, 其原因是对压缩力的要求降低 (不包括缩小可以在较低压缩力下使用的外壳而潜在地减轻的重量)。螺栓总重量基于直径为 500 mm 的储罐密封件、每个密封件采用 16 个螺栓、每个储罐采用 10 个密封件、每级火箭采用 2 个储罐以及每个火箭的级数为 2 级。

螺栓重量的差异来自除静压总力和安全余量之外螺栓载荷对压缩力的要求。

这两个因素之间的关系是显而易见的。使用金属密封件时，重量明显增加。如果火箭上有任何额外的重量，这将需要更多的燃料，同时也增加了起飞和着陆的重量和费用。

关键因素 3：灵活的密封件设计

过度振动引起的挠度可使金属密封件产生塑性变形（也称为弹簧回弹力）。金属密封件依赖于回弹力来发挥作用。当回弹力降低，将增加泄漏的风险。OmniSeal® RACO®采用了金属蓄能弹簧和一致性较好的聚合物护套，这种设计在发生挠曲变形后能够带来更好的回弹。这中设计提高了密封的可靠性，并且对未来可重复使用的火箭发射技术进行空间探索来说至关重要。

低温储罐的门其直径可达到 1.9 米，其他尺寸也在不断增加。此外，并不是所有的储罐门都是圆形或椭圆形的。它们可能是其他不规则的形状。OmniSeal®密封圈的优点是直径可达 3 米，并可加工成型为定制形状，这并不会给制造带来复杂的问题。考虑到固定金属密封件的螺母和螺栓所需的扭矩，与金属密封件相比，该弹簧蓄能密封圈也更易于安装。

结论

在火箭低温应用中，相比成功发射和着陆，设备制造商和设计工程师更需要考虑的问题是密封件的泄漏率，这是关键因素之一。当然，其他因素也应予以考虑，尤其是密封件所需的压力。

与金属密封件相比，OmniSeal® RACO®密封件所需的压缩力低得多，同时仍能满足精确的密封泄漏规范要求。除了更容易组装之外，压缩力更低的好处还在于：储罐密封件上的安装载荷更低。这就意味着可以使用更小的螺栓，从而减轻重量。当我们考查火箭储罐上密封件的数量时，每个螺栓重量累加起来会使火箭总重量和最终成本产生明显的差异。

如需了解更多信息，敬请联系



Chiara Repetto

全球营销负责人——太空领域

Chiara.Repetto@saint-gobain.com

领英联系方式: [LinkedIn](#)

其他联系方式



咨询邮箱: sales.pplcn@saint-gobain.com



扫一扫关注“圣戈班说材料”微信公众号

