

**KISTLER**

measure. analyze. innovate.



安全、可靠  
和有效的  
方案

## 航天测试解决方案

久经考验的适用于地面、航空和航天等  
多种用途的测量设备



### 精益求精、创造未来

奇石乐提供包括传感器、电子器件、系统和服务在内的测量解决方案。在减少排放、质量控制、机动性和车辆安全的交叉领域，着眼未来，精益求精，为工业4.0创造有利条件，与客户一起并为客户提供创新和发展的机会。



奇石乐代表了汽车监测、车辆安全和车辆动力学方面的进步，为未来节能汽车的发展提供了宝贵的资料。



奇石乐测量技术为运动诊断、交通数据采集、切削力分析和其它需要绝对测量精度的应用提供保障。



奇石乐系统支持网络化、数字化生产的各个环节，确保新一代智能工厂的生产效率和利润率实现最大化。



曼纽尔·布拉特纳 (Manuel Blattner)  
SBF试验与测量负责人

航天工业是一个不断增长的行业，它在满足人类需求上发挥着越来越重要的作用。我们每天的生活离不开空间技术，因为我们每天都要使用移动电话、用GPS导航、看天气预报。空间技术面向的正是气候变化、稀有资源、健康与老龄化等当代社会最关心的问题。如果没有卫星，无法想象人类会变成什么样子？

航天工业是促进科技进步和创新的基本动力，因此也是促进经济增长的不可或缺的动力。开发优秀的空间技术并量化生产极其困难。

但这正是奇石乐大显身手的地方。作为业内一员，我们致力于开发满足客户灵敏度要求的传感器技术，无论测试要求有多高，我们都能满足。此外，我们还向客户提供专业建议和遍布全球的服务。

我们的解决方案将为您成功完成空间任务助一臂之力，而这取决于您的设备具有无与伦比的可靠性。

## 目录

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 采用奇石乐的航天测试方案是一个明智的选择               | 4  |
| PiezoStar和高温稳定性                    | 5  |
| 超高温传感器解决方案                         | 6  |
| 低温传感器解决方案                          | 7  |
| 用于环境振动试验的<br>轻型电缆解决方案              | 8  |
| 低释气传感器和电缆解决方案                      | 9  |
| 根据客户需求制定测力仪解决方案                    | 11 |
| 测量链透明可靠的基于云的<br>DAQ创新模块化解决方案       | 12 |
| 空间有效载荷：环境振动试验                      | 14 |
| 空间有效载荷：力限振动试验                      | 16 |
| 微振动和抖动测试                           | 18 |
| 热真空舱的机械性能表征                        | 20 |
| 高加速寿命试验 (HALT) 和<br>高加速应力筛选 (HASS) | 22 |
| 火箭发动机试验：推力特性                       | 24 |
| 火箭发动机试验：静压<br>监测及特性                | 26 |
| 火箭发动机试验：<br>动态压力和振动特性              | 28 |
| 奇石乐的服务为您带来更多可以预见的成功！               | 30 |



奇石乐的航天测试方案是安全、顺利和有效飞行的保障

## 采用奇石乐的航天测试方案是一个明智的选择

我们对传感器抱以满腔热忱，皆因我们深信小事情便能大大改变工程师、研究员、测量技师、学生和制造商的工作内容。奇石乐因其在压电测量技术方面的卓越表现，赢得了客户的尊重与信赖。这种信赖和专业成就，是我们通过60年来的不懈追求和满足客户需求建立起来的。

航天工业对新产品开发与质量控制的要求异常苛刻。如果火箭启动不控制，可能会导致发动机爆炸。所以，为了应付以温度变化大而极端、压力波动、冲击和振动为特征的恶劣环境，航天设备通常必须小而轻、坚固且经久耐用。

我们与享誉全球的航空航天中心结成伙伴关系。我们在航空航天试验方面经验丰富，可以为您提供力、扭矩、压力和加速度传感器的多种选择。这些传感器以压电（PE）、集成电路压电（IEPE）、应变计或压阻技术为基础，适用于空间有效载荷或火箭试验。本宣传册重点介绍的传感器在三轴力能力范围、微振动测量灵敏度、极高温稳定性或低温灵敏度方面都是市场上最高的传感器。

以下原因使得我们的解决方案能够提供最准确的测量结果：

- 加速度计极轻，具有低释气、温度范围宽、高温稳定性强的特点
- 低温灵敏度高
- 三轴力能力广泛，具有高固有频率和串扰极低的特点
- 基于云的DAQ创新解决方案
- 设计和制造专业的定制测力仪
- 优异的服务水平

奇石乐可以为您提供整套测链服务。您除了得到各种组合的传感器外，还能获得信号调节、数据采集和工程设计方面的专业知识。

我们期望看到您脸上满意的微笑——采用奇石乐的测量技术是一个明智的选择。

# PiezoStar和高温稳定性

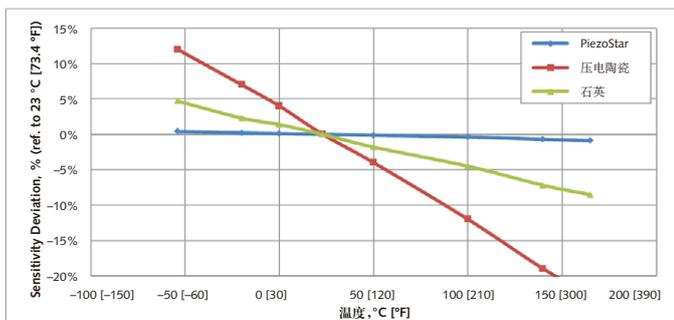
市场对小型化和即使高温及温度发生变化仍保持稳定的需求导致市场对新型晶体的需求越来越大。奇石乐研发的PiezoStar系列晶体是我们用来制造传感器的专利材料。经实践证明，使用这种材料制成的传感器具有在各种温度下灵敏度变化极低的特点，被广泛用于测量极端条件下的压力、力和加速度。

这种新型液晶化合物是我们与全球各高等院校合作研究十多年的结果，在提高数据质量以便进行物理测量上展现出独一无二的性能。PiezoStar元件质地坚硬，为传感器的高固有频率奠定了基础。它是制造压力、力和加速度传感器的关键要素，有助于提高传感器的准确性和灵敏度，使其在极高温下仍然保持稳定。



PiezoStar晶体只是奇石乐的众多创新之一

| 产品亮点   |   |
|--|---|
|   | 8715B型单轴、泪滴状PiezoStar加速度传感器系列<br>• 轻型、高温稳定性     |
|   | 8766A型三轴微型立方体PiezoStar加速度传感器系列<br>• 轻型、高温稳定性    |
|   | 601C型通用PE和IEPE PiezoStar压力传感器系列<br>• 高灵敏度和高温稳定性 |
|   | 9317型三轴分量力链<br>• 高灵敏度和高刚性，适用于高频响应               |
|  | 9119AA型测力仪<br>• 超高灵敏度和高刚性，适用于高频响应               |



与基于陶瓷或石英传感元件的传感器相比，PiezoStar电压模式加速度计的典型灵敏度温度漂移



我们的高温传感器解决方案可以在700 °C (1 300 °F)高温下持续测量压力和加速度，在更高温度下进行短期测量

## 超高温传感器解决方案

这些单晶PiezoStar传感元件是我们性能优异的超高温压力和加速度传感器的基础。它们经受700 °C (1 300 °F)以上的高温检测，并且表现良好。与基于陶瓷的传感器元件不同，它们没有热电效应或爆米花效应。

PiezoStar传感器元件的高温稳定性十分突出，可以直接放在很热的地方，从而简化了系统，提高了测量的准确性。这种测量系统采取与地绝缘差分设计，具有抗电磁干扰、寿命长和适用于危险地区操作的特点。

| 产品亮点  |   |
|---|---|
| <p>高温压力和加速度传感器、差分电荷放大器和适宜的电缆是测链配置所需的主要元器件。我们提供各种版本的元器件，确保其无缝互操作。加上防爆认证部件，形成一套完整的产品组合。</p> |   |
|       | <p>700 °C (1 300 °F) 高温压力传感器，搭配6021A、6023A和6025A型硬质电缆</p> |
|       | <p>700 °C (1 300 °F) 高温加速度计，搭配8211A型硬质电缆</p>              |
|       | <p>1652A型低噪音软线电缆</p>                                      |
|       | <p>5181A型差动电荷放大器</p>                                      |

# 低温传感器解决方案

在促进航天设备可靠运行上，为达到或超过太空温度而在地球上进行的低温试验发挥着至关重要的作用。无论是在空间有效载荷环境试验期间用来探测背景噪音的力与加速度传感器，还是在火箭试验期间用来优化低温涡轮泵以处理液体燃料的压力与加速度传感器，都必须符合低温要求。

## 加速度传感器

奇石乐生产的低温、电压模式、IEPE（集成电路压电）加速度计适用于从-54 °C (-65 °F)到-196 °C (-320 °F)的极宽温度。特制的内置低温电路与PiezoStar传感技术有助于提高液氮或氦等严苛环境下的耐受性。每个传感器严格密封，逐个检查，以确定-196 °C (-320 °F)时的热敏系数，确保可靠操作和准确测量。

提供各种加速度计，从质量载荷效应最小化的轻型装置到三轴传感解决方案不等。

## 力传感器

我们的基于石英的力传感器与应变计技术不同，它们具有极高的稳定性，灵敏度温度漂移只有1%。低温作业对作业力范围另有要求。比如，将作业力范围缩小20% - 30%。

## 压力传感器

奇石乐的60xC型电荷输出压力传感器系列也可用于低制冷温度，但在高温下也非常稳定。

| 产品亮点  |                          |
|---|--------------------------|
|    | 601C型压电压力传感器系列           |
|   | 9011A - 9071A型单轴压电力传感器系列 |
|    | 8730型单轴电压模式微型低温加速度计系列…   |
|  | 8793A250M8型三轴电压模式加速度计    |



低温是极具挑战性的环境：常常会遇到液氢或液氮温度

# 用于环境振动试验的轻型电缆解决方案

每减轻一点重量就会使起飞时的有效载荷少一点，执行任务的效率就更高。此外，为节省时间和防止污染卫星，用三轴加速度计完成微振动、声音、冲击和振动试验后，常将电缆和传感器留在卫星内。

奇石乐生产的微型加速度计和连接器具有质量轻和安装地方小的特点。正键控和盲配功能有助于灵活安装传感器并保证电连接良好。

人们试图避免轻型结构在检测时受到传感器和电缆的质量负荷效应，因为它会最终影响评估对象的共振模式。所以，奇石乐针对三轴加速度计开发了4针脚微型连接器技术，减轻了连接器侧和电缆侧的质量。譬如，如果使用20个加速度计和5米（16英尺）长的电缆，总质量为961克（34盎司），这是相当可观的。

| 产品亮点<br>微型4针脚连接器传感器和电缆  |                     |
|---|---------------------|
|    | 微型4针脚连接器传感器和电缆      |
|   | 8763B系列三轴电压模式微型加速度计 |
|  | 1784系列微型4针脚连接器电缆…   |



航天结构的环境和地面模态测试（来源：ESA）

# 低释气传感器和电缆解决方案

对于应用于高真空空间环境的电子设备来说，传感器和电缆中的材料释气是一个十分棘手的问题，它在许多情况下影响严重，比如卫星或其它设备。

释放出的气体在摄像机镜头等表面凝结，使之无法正常使用。奇石乐提供系列低释气钛壳加速度计，以及力传感器——它们均被严格密封。此外，我们还提供低释气电缆解决方案。

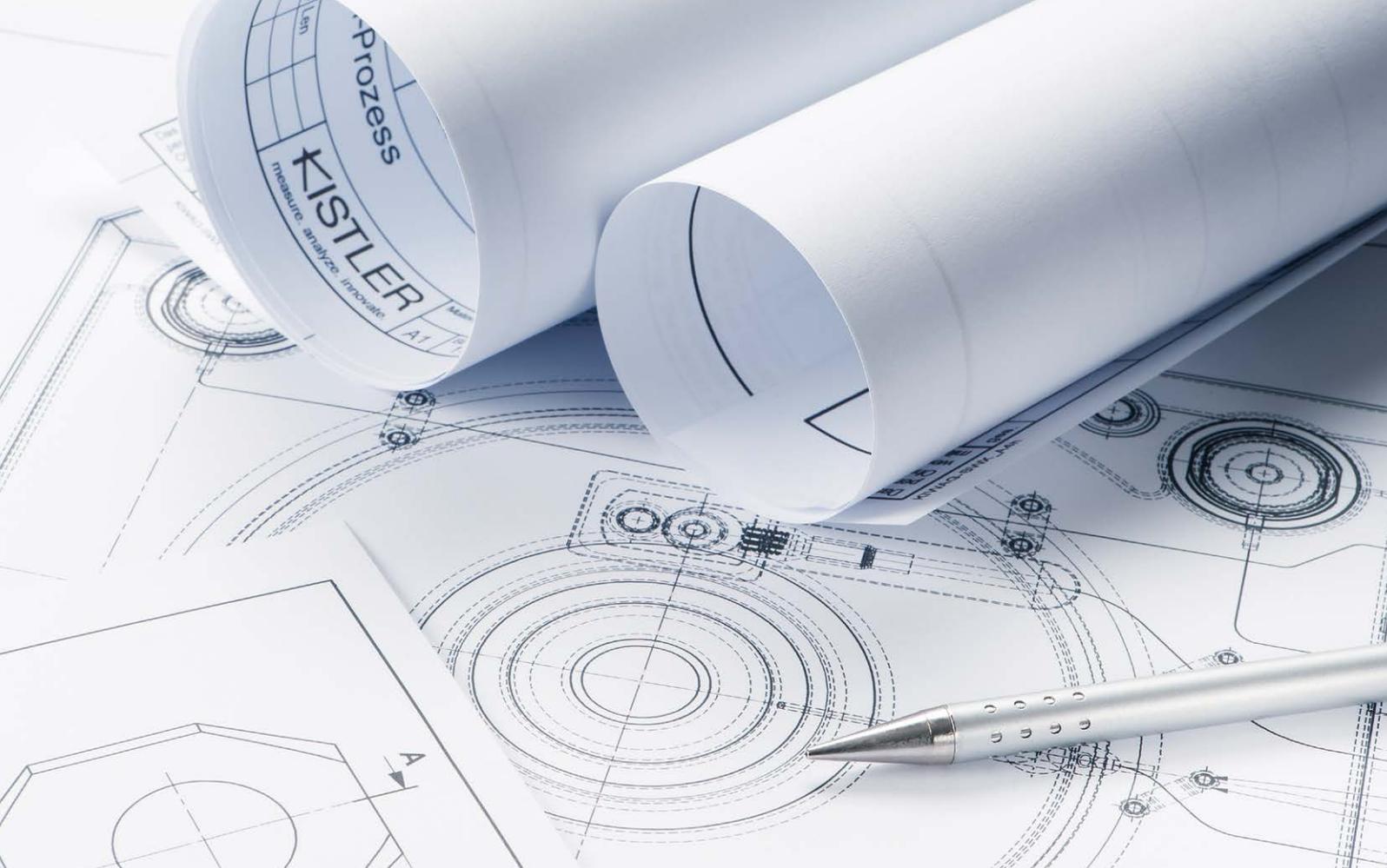
适用于真空环境的密封包装外的所有非金属材料符合NASA标准，即TML1（总质量损失）小于或等于1%，CVC1（收集易挥发性可冷凝物质）小于或等于0.1%。



8763B型低释气三轴加速度计及其1784型低释气电缆

| 产品亮点<br>低释气传感器和电缆解决方案  |  |
|--|--|
|    | 9017C-9077C型三轴压电式力传感器系列及其1698AS型兼容低释气电缆。 |
|  | 8763B型三轴电压模式微型加速度计系列及其1784B型兼容低释气电缆系列    |
|  | 601C型压电和IEPE压力传感器系列及其1631CR型兼容低释气电缆      |

<sup>1</sup> 根据NASA文件或外部实验室试验结果验证TML和CVC1。



我们的工程团队将与您密切合作，详细分析您的特殊需求，为您提供最佳的传感解决方案

## 根据客户需求制定测力仪解决方案

由于检测对象的大小和准确性要求多种多样，标准测力仪常常满足不了需要。我们致力于为您提供最符合您要求的测量工具。我们的工程团队将与您密切合作，详细分析您的特殊需求，为您提供最佳的传感解决方案。

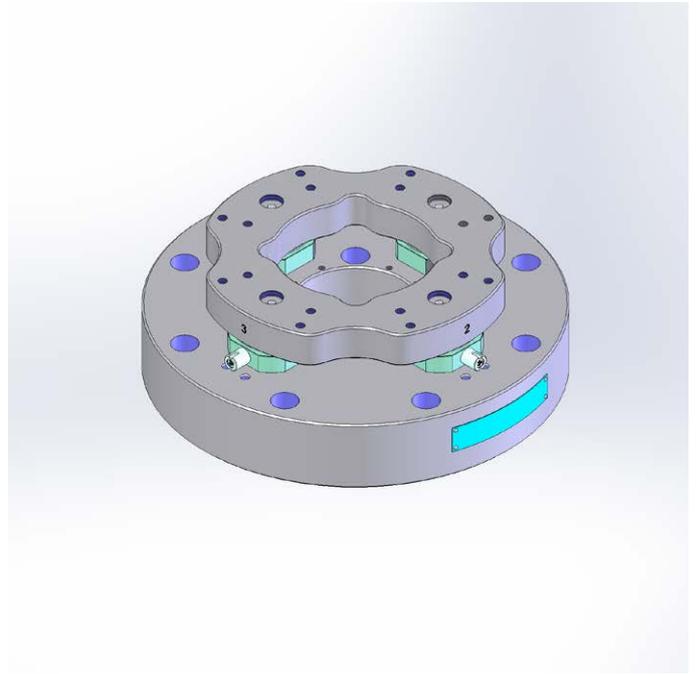
多年来，我们根据客户需求设计制造了适用于各种空间环境的测力仪，我们知道如何根据我们的专业知识提问。这也是为什么我们力求从一开始就采取正确措施的原因。

奇石乐的专业设计与制造服务将为您带来以下好处：

- 详细分析您的要求
- 控制图，包括测力仪设计和重要规格
- 客户核准
- 测力仪所有零部件及配件的详细设计与制造
- 用我们的3分量基准力压力机校准
- 交付最终测力仪，包括校准证书和固有频率波特图



在奇石乐的3分量基准力压力机上校准

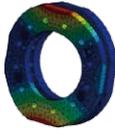
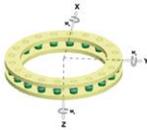


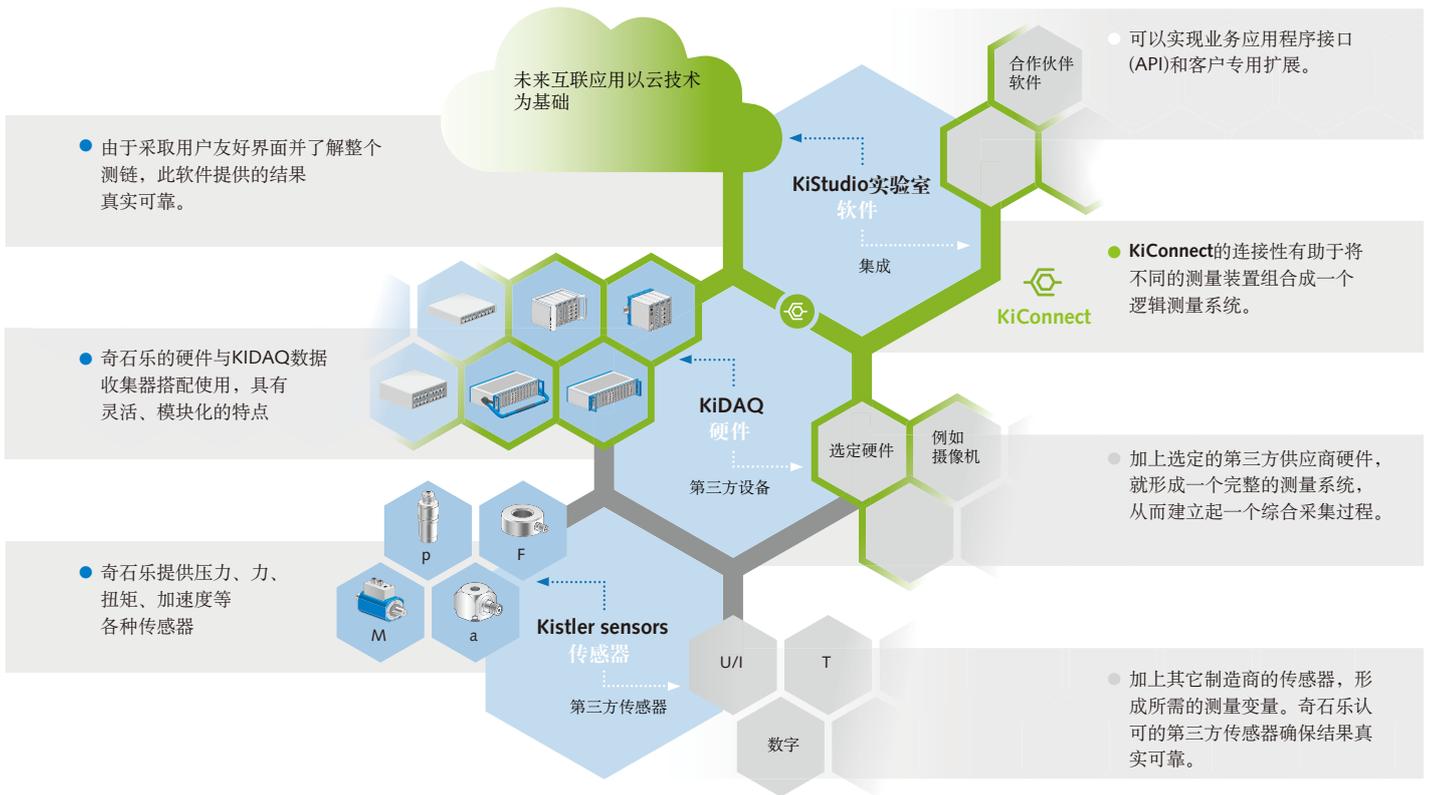
6分量测力仪（来源：Bosch Bühl）。由4个9047C型力传感器组成，顶板和底板专门按照客户的要求设计。根据实际情况，搭配特定的适配器校准。

由于我们对质量精益求精，可以预见这种测力仪将在检测期间自始至终符合您的要求，为您展现惊人的表现。

- 多分量**  
 我们的3分量力传感器是所有定制测力仪的核心。
- 单源**  
 针对极端作业环境的传感器，奇石乐研制出新型晶体。奇石乐对精密测量设备实行100%质量控制，所有生产环节均在内部完成。
- 高度专用性**  
 我们的定制专用高性能测力仪可以满足您的各种需求，这是自建测力仪无法做到的。
- 专业**  
 长期为航天工业设计和生产测力仪使我们积累了丰富的经验和知识，是您理想的合作伙伴。我们用您的话来表述问题，并且知道那是什么。

### 产品亮点

| 产品亮点   |                       |
|--|-----------------------|
|   | 适用于推力测量的专用测力仪         |
|  | 适用于制冷机专用测力仪的输出微振动测量平台 |
|  | 适用于力限振动的专用测力装置        |



KiDAQ测量体系结构一瞥

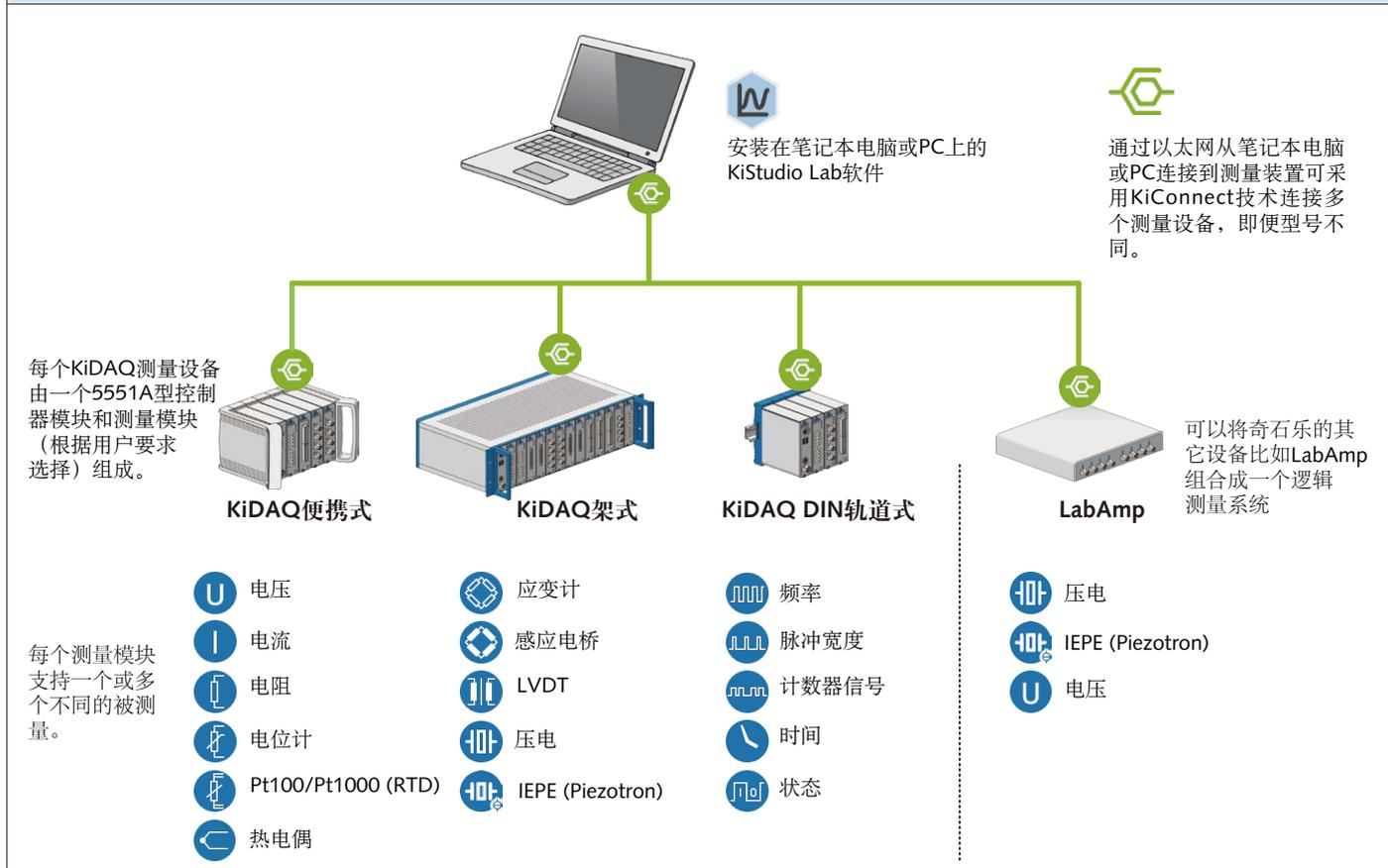
## 测链透明可靠的基于云的DAQ创新模块化解决方案

在航天研究与开发中，由于测量技师或工程师必须在组装前将不同来源的测量元件连接在一起，因此每项测量任务通常都是从复杂而漫长的测试设置开始的。有了KiDAQ之后，奇石乐的测量技术专家可以搭建一个创新的综合数据采集系统，根据您的测量需求提供单一来源的元器件。

KiConnect智能技术是置于KiDAQ数据采集系统内部的连接元件，便于用户轻松地将奇石乐产品和其他供应商提供的选定设备连接在一起，形成一个逻辑测量系统，并通过精确时间协议（PTP）进行时间同步测量。

奇石乐从事压电测量技术已有数十年的时间，是该领域首屈一指的制造商，可以提供广泛的测量技术和应用技术。我们的测量技术专家经验丰富、技术精湛，可为整个测链的测量不确定性提供可靠的信息。用户一旦了解了各个元器件的测量不确定性比例及程度，便可通过改造作业条件或优化设备选择减少不确定性比例，从最大限度地提高透明度和专门知识中获益。奇石乐已为确定测量系统的测量不确定过程申请了专利。

## 产品亮点



在KiConnect技术的支持下形成的高模块化硬件组合互联



卫星振动合格性试验是世界上最慎重的试验之一

## 空间有效载荷：环境振动试验

卫星振动合格性试验费用昂贵，因此成为世界上最慎重的试验之一。从产品开发到生产环境都需要对空间有效载荷进行广泛的测试，以便优化结构和确保发射、部署和长期运行时的稳定性。

若要模拟在火箭发射过程中，空间有效载荷不受影响的环境条件，需要在真实的动态载荷测试中使用电动振动台。

通过随机正弦振动，施加从微振动到冲击的一系列振动，以激励空间载荷。工程师仔细分析通过加速度传感器输出测量的动态过程，并与计算模型进行比较。



卫星环境振动试验 - 随机正弦振动 - (来源: 美国国家航空航天局)

## 适用于这种应用的重要技术

- **轻型三轴加速度计**

航天器结构通常是用轻而薄的材料制成的, 需要质量轻的加速度计。某些情况下, 传感器和电缆需要留在卫星内发射, 这就使质量载荷显得更加重要了。

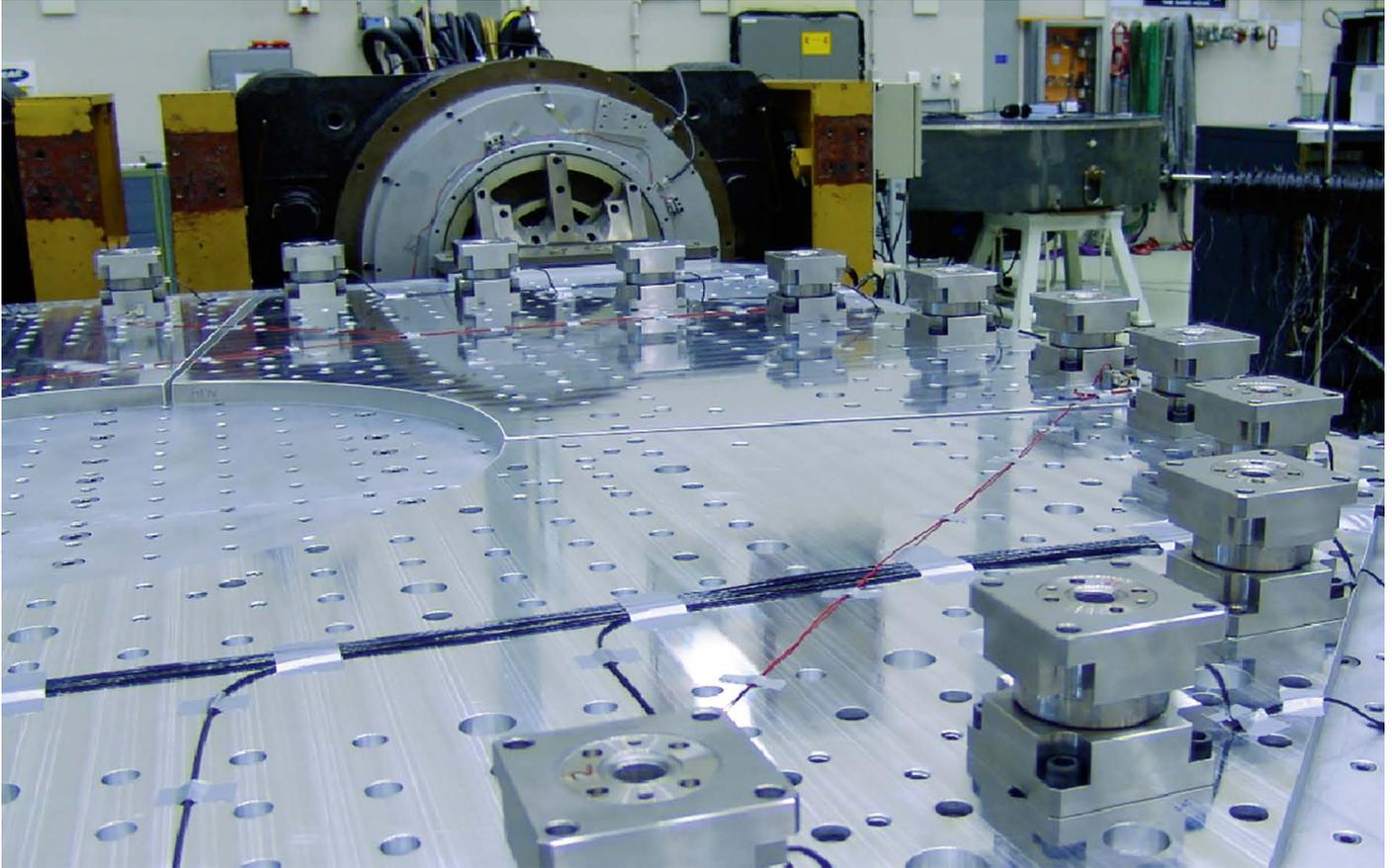
- **低释气**

太空的高真空环境会诱使材料释放出滞留的气体, 并在摄像机镜头等表面凝结, 使之无法正常使用。但是, 奇石乐的密封传感器和低释气电缆解决方案有时候可用于热真空容器, 甚至可以为了发射留在卫星内。

- **低噪音**

空间载荷必须能耐受广泛的环境测试, 从需要传感器阈值极低的微振动, 到随机振动试验时的强振动不等。奇石乐的低噪音解决方案可以让同一个传感器应用于整套试验。

| 产品亮点   |                                  |
|--|----------------------------------|
|  | 8763B050AB型50g三轴微型电压模式加速度计       |
|  | 从低释气微型4针脚到标准1/4-28的1784M016SP型电缆 |
|  | 从低释气微型4针脚到尾缆的1784M015SP型电缆       |
|  | 从低释气微型4针脚到3xBNC的1784BLK04SP型电缆   |



在底板上安装3分量力链，并连接到振动台上。然后，将力环连接到力传感器上，夹在顶环和底环中间。在顶环上安装空间有效载荷，以进行FLV试验。（来源：欧洲航天局）

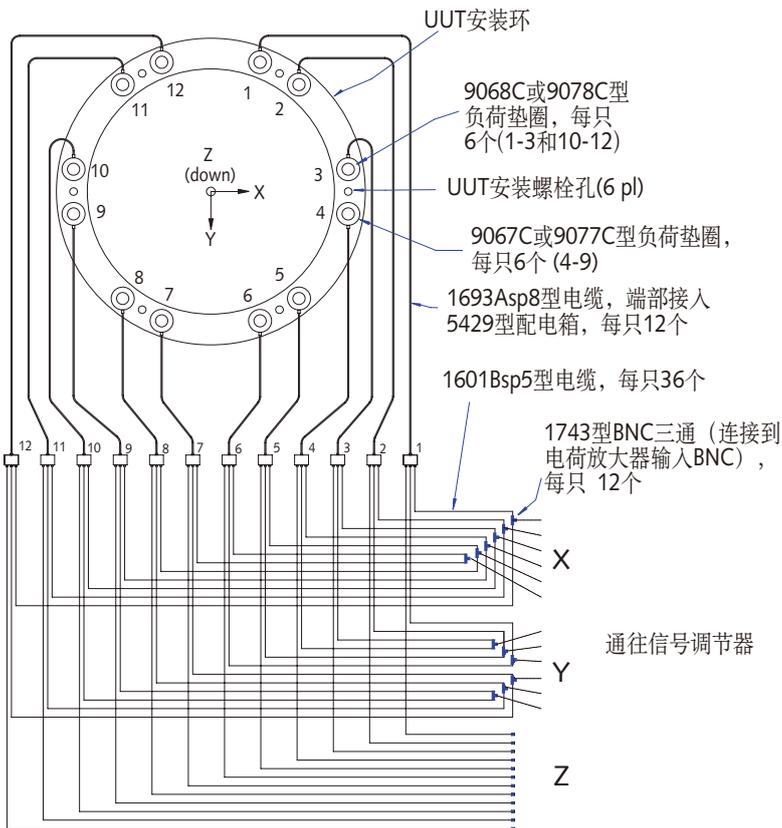
## 空间有效载荷：力限振动试验

空间有效载荷试验振动规范体现了包络实际飞行环境的特征。通过测量和限制有效载荷和水平滑床之间的反作用力，获得有效载荷共振时的加速度。防止过度测试，否则会对昂贵的空间有效载荷造成损害。

实际飞行中，由于安装架和有效载荷的机械阻抗相似，按有效载荷共振频率获得输入加速度。

振动台试验期间，由于振动台的机械阻抗很高，并且受包络界面加速度控制，因此有效载荷共振时的空间有效载荷界面力很高。

测力仪测量界面力，以分解力（和力矩）。奇石乐3分量力传感器夹在两个金属环中间。环配件连接到水平滑床和有效载荷上，以测量反作用力。



力限振动试验的力环图

## 适用于这种应用的重要技术

### • 低释气

太空的高真空环境会诱使材料释放出滞留的气体, 并在摄像机镜头等表面凝结, 使之无法正常使用。力传感器也可以在真空容器内使用。奇石乐提供适用于这些情况的密封传感器和低放气电缆。

### • 最佳安装

如果不受空间和频率响应要求的限制, 建议使用预装力链系列的传感器。这些传感器经过校准, 可直接连接力环。如果空间有限, 系统刚硬不易弯曲, 需要为拓宽频率响应而予以优化, 则力传感器是一个理想的选择。在客户力环内预装, 并现场校准。

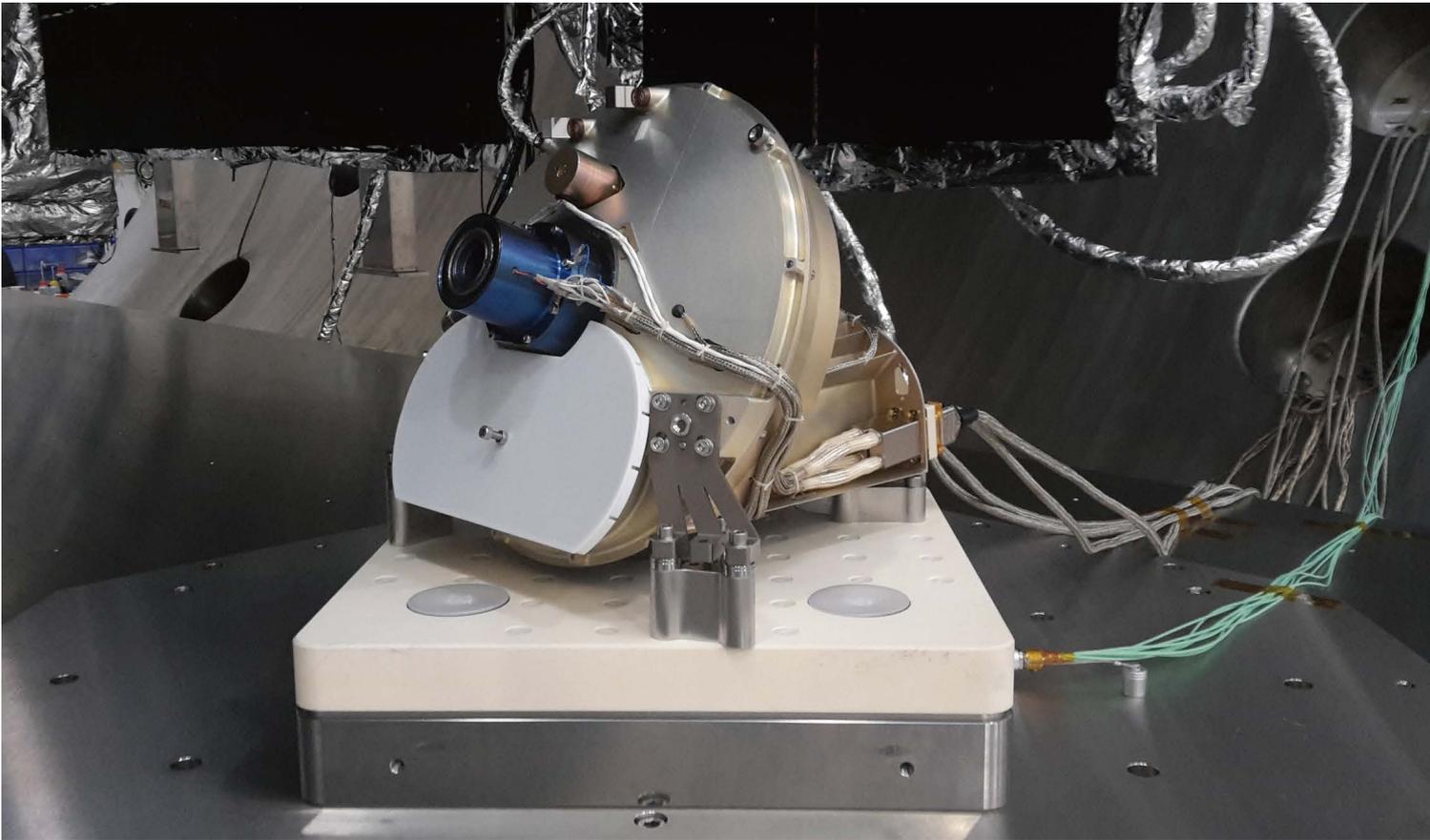
### • 低串扰

通过力环周围的每个传感器提供的3个信号计算力和力矩。串扰越低, 力测量和力矩计算准确度越高。

### • 易于求和

电荷输出传感器不仅方便预装, 还可以在调节前通过连接各自电缆预和信号包。现代电荷放大器也能灵活、方便地求和。这使得用户可以在不必使用繁琐的电压求和方法的情况下优化所需的DAQ通道的数量。

| 产品亮点   |                        |
|--|------------------------|
|  | 9017C-9077C型3分量力传感器系列  |
|  | 9317C-9377C型3分量力链系列    |
|  | 5165A型动态4通道电荷放大器和数据采集  |
|  | 5167A型准静态8通道电荷放大器和数据采集 |



安装到Z21492型微振动加速度计的UVN CAA (来源: CSL)

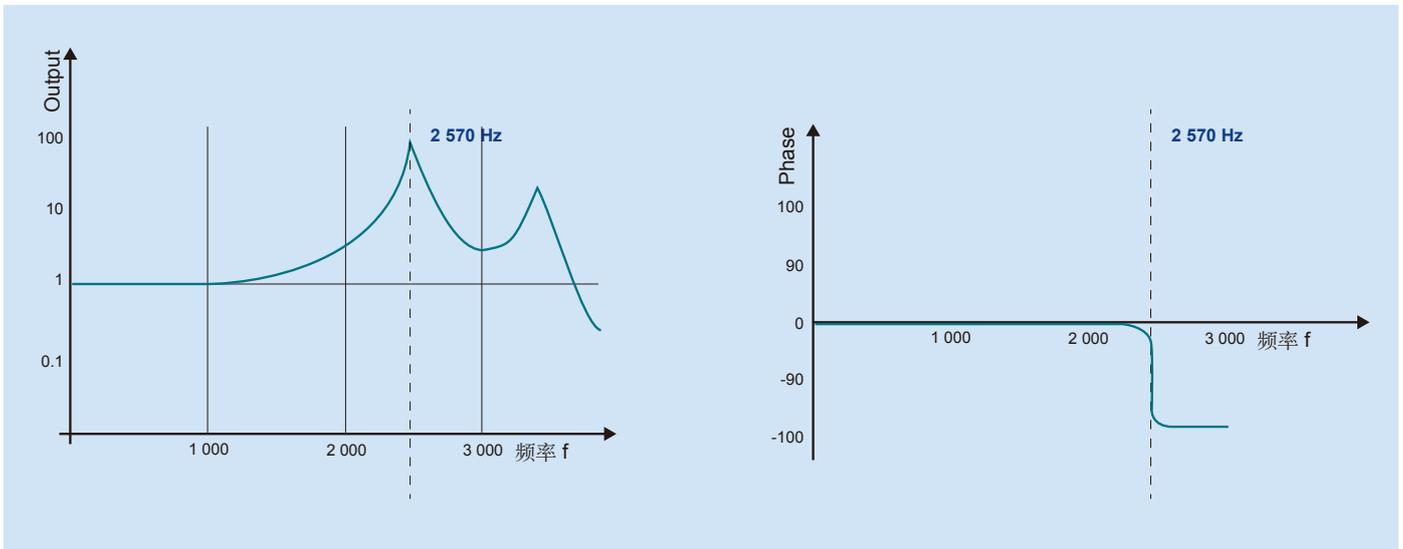
## 微振动和抖动测试

卫星抖动或微振动导致图像模糊是严重影响高分辨率图像几何精确度的偏差来源。近年来，人们在地面观测上取得了重大进展，这与人们提高地表与大气测量精确度的需求大大增加是分不开的。

几年前，要获得这种质量的图像几乎是不可想象的。人们在取得成功的道路上迈出了关键性的步伐，其中包括减少板式卫星的微振动。每个卫星都需要无数驱动、位置控制、反作用轮、

致动器和制冷机等等。这些设备由机械元件组成，它们在运转时会引起振动。微振动由极低强度的极小加速度组成。测量它们是一项十分艰巨的任务。但使用压电力传感器、电荷放大器和低噪音加速度计和测力仪可以解决测量高频抖动的问题。

近期采用陶瓷顶板测力仪的创新设计提高了灵敏度，拓宽了频率范围，优化了适用于反作用轮抖动与制冷机微振动的水冷却功能。

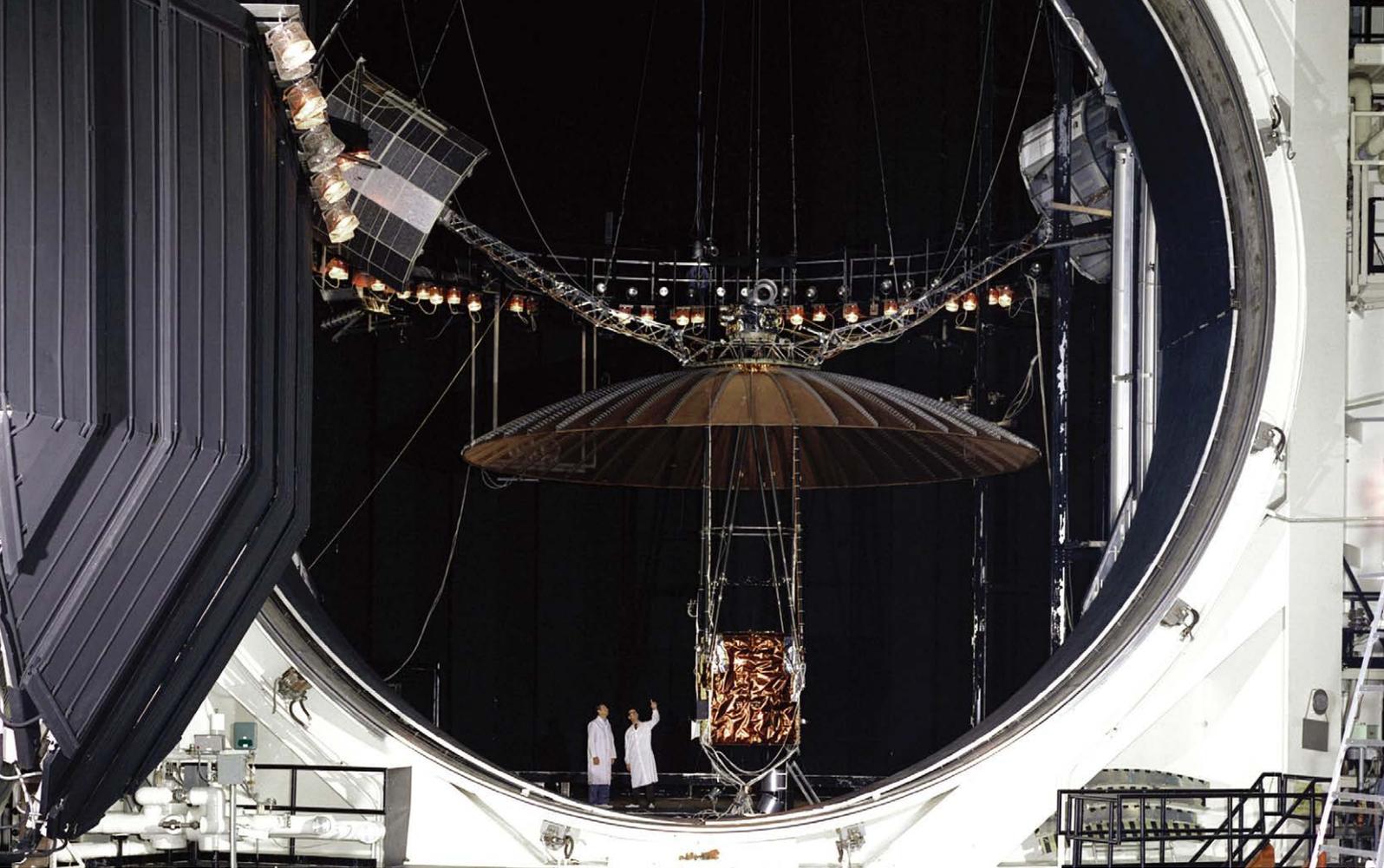


Z21492型陶瓷顶板测力仪的Fz方向的振幅、相位响应和固有频率

## 适用于这种应用的重要技术

- 高分辨率测力仪**  
 压电力传感器与测力仪和高灵敏度的电荷放大器是完美的搭档，因为它们能提供高达100 000的分辨率，从而力的动态变化下降到0.01 N (0.002 lbf)，使力矩的动态变化下降到0.08 10<sup>-3</sup> Nm (0.7 mlbf-in)，即便被测物体重达10 kg (22 lb)以上。
- 高频响应测力仪**  
 刚性高的优化微振动测力仪可以容纳1 500Hz以上的固有频率，从而可以测量高达500 Hz的频率。
- 低串扰测力仪**  
 测力仪有4个三轴力传感器，通过每个传感器提供的3个信号计算力与力矩的实测值。串扰越低，力测量与力矩计算的精确度越高。
- 轻型、低噪音加速度计解决方案**  
 轻型加速度传感器产生的噪音极小，对于即使微振动也显得很高的应用来说是十分理想的选择。这种特性还能在不影响探测微振动水平的同时防止质量载荷效应。

| 产品亮点   |                          |
|--|--------------------------|
|   | Z21492型陶瓷微振动测力板（力/力矩）    |
|   | 9306A型6分量力链（力/力矩）        |
|  | 5080A型超高灵敏度8通道电荷放大器      |
|  | 8688A5型超低噪音及轻型电压模式三轴加速度计 |

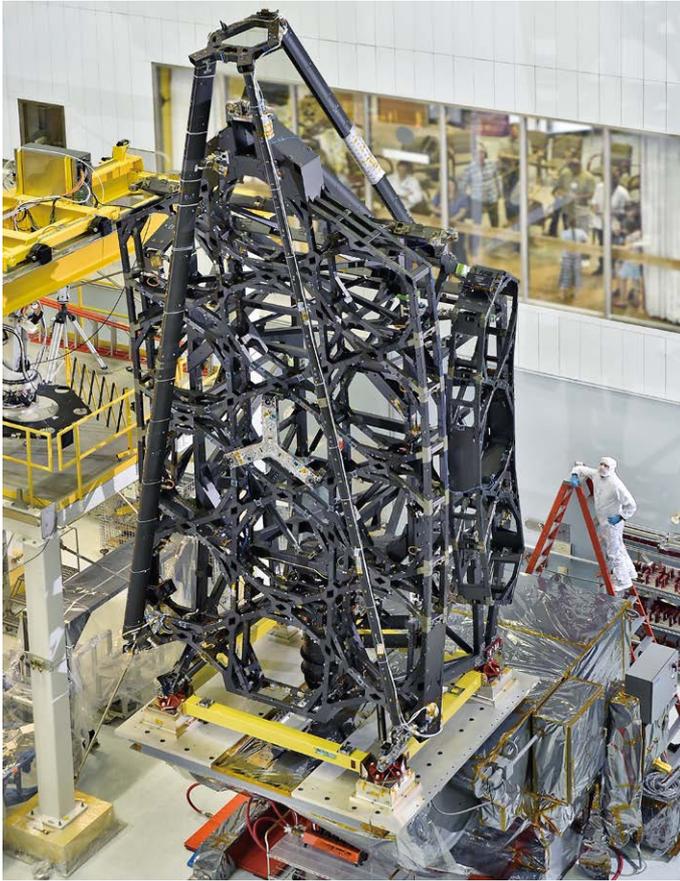


热真空舱内的卫星环境试验

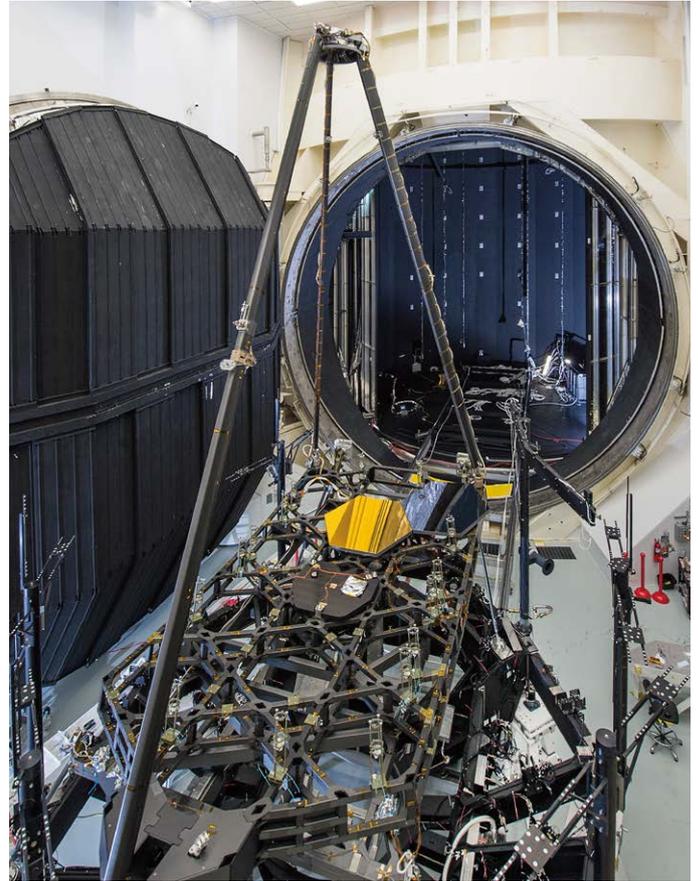
## 热真空舱的机械性能表征

若要望远镜表现良好必须维持纳米级的稳定性。所以，要让全仪表化的背板保持稳定十分重要。必须在适合低温检测的热真空舱内进行检测。这些热真空舱可以稳定在 $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-420\text{ }^{\circ}\text{F}$ )。在真空舱内检测需要使用具有超低温能力的加速度计和力传感器。

除了其它望远镜光学设计和整个科学仪表模块之外，还可以在背板上安装主镜。试验期间可以修改系统，从而隔开舱内的背板以及最后的望远镜。有些试验环境有一个新型的多层氦氮冷却系统，可使背板达到模拟空间工作温度的低温。还可以在被称为“定相”的过程中进行低温光学对准和检测多主镜段。这些试验都需要用到加速度计和力传感器的超低温能力。



美国国家航空航天局的詹姆斯·韦伯太空望远镜结构正准备接受热真空试验  
(来源: 美国国家航空航天局/Chris Gunn)



原尺寸詹姆斯·韦伯太空望远镜探测器(背板的测试版)显示正进入美国国家航空航天局Johnson的巨型舱A, 以进行低温试验(来源: 美国国家航空航天局/Chris Gunn)

## 适用于这种情况的重要技术

- 高分辨率**  
 奇石乐的加速度计探测类似于微振动的背景振动。
- 高温稳定性**  
 我们的基于PiezoStar的IEPE(电压模式)加速度计对温度变化的敏感度极低, 因此是精确振动试验的理想选择。
- 低温能力**  
 奇石乐的电荷输出传感器或低温、电压模式、IEPE加速度计提供从-54 °C (-65 °F)到-196 °C (-320 °F)的广泛温度范围, 可以安然度过热真空舱的液氮温度。
- 低释气**  
 太空的高真空环境会诱使材料释放出滞留的气体, 并在摄像机镜头等表面凝结, 使之无法正常使用。奇石乐的密封传感器和低放气电缆可以完全满足这些需求。

| 产品亮点   |                                  |
|--|----------------------------------|
|   | 8712B5D0CB型超高灵敏度 PiezoStar低温加速度计 |
|  | 1761B型低释气电缆                      |
|  | 5148M09型+36V合规电压 IEPE耦合器, 低温优化   |



试验装置一般都要用于极限热试验与振动应力试验

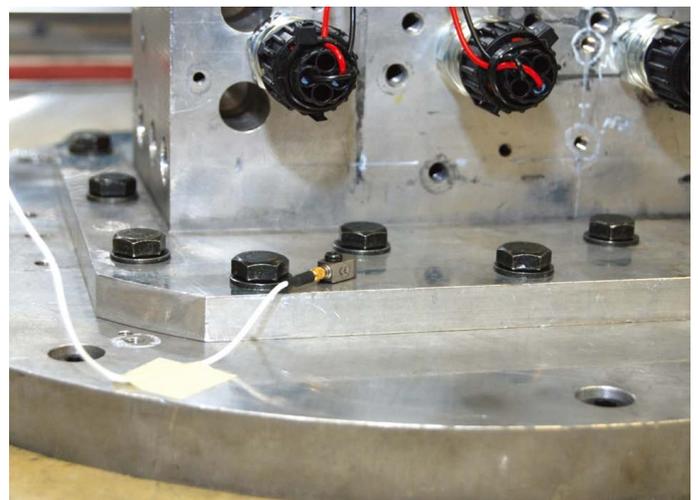
## 高加速寿命试验 (HALT) 和高加速应力筛选 (HASS)

环境试验适用于验证航天产品及其它行业产品开发阶段的设计标准，以确保达到可靠性目标。环境应力筛选是一种环境试验方式，旨在确保产品寿命并符合质量、安全及其它标准。这种试验主要用于电子器件，通过筛选发现故障，从而暴露出潜在的弱点和缺陷。

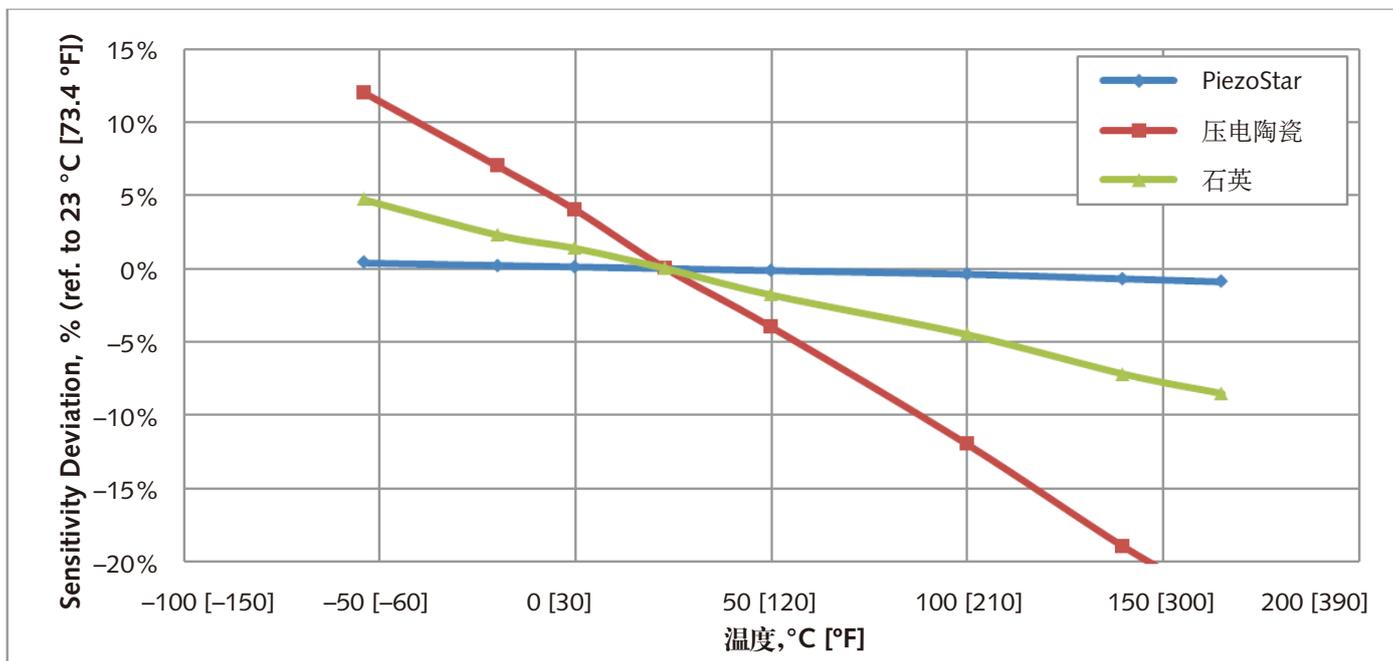
试验装置通常将极限热试验与振动应力试验结合在一起，再被分成高加速寿命试验 (HALT) 和高加速应力筛选 (HASS)。

高加速寿命试验 (HALT) 是一项在产品生产之前进行的设计验证，主要用于检测设计和装配缺陷。随后设计上的改进和装配技术可确保产品质量得到进一步的改善。

高加速应力筛选 (HASS) 是从生产装配到所有最终产品的评估，有助于发现很可能导致早期故障的弱分量和生产缺陷。HASS需要包括振动、温度、湿度和压力在内的环境暴露。



准备进行高加速寿命试验 (HALT) 的8715B250型泪状PiezoStar加速度计，安装在热真空腔内的电动振动台上。



与基于陶瓷或石英传感元件的传感器相比，PiezoStar电压模式加速度计的典型灵敏度温度漂移

## 适用于这种情况的重要技术

### • 高温稳定性

由于奇石乐的基于PiezoStar的IEPE（电压模式）加速度计的灵敏度温度漂移极低，因此是精确振动试验的理想传感器，试验后无需数字补偿畸变的温度输入与输出信号，而这对常用材料尤其是PZT（锆钛酸铅）等压电陶瓷来说却是个问题。

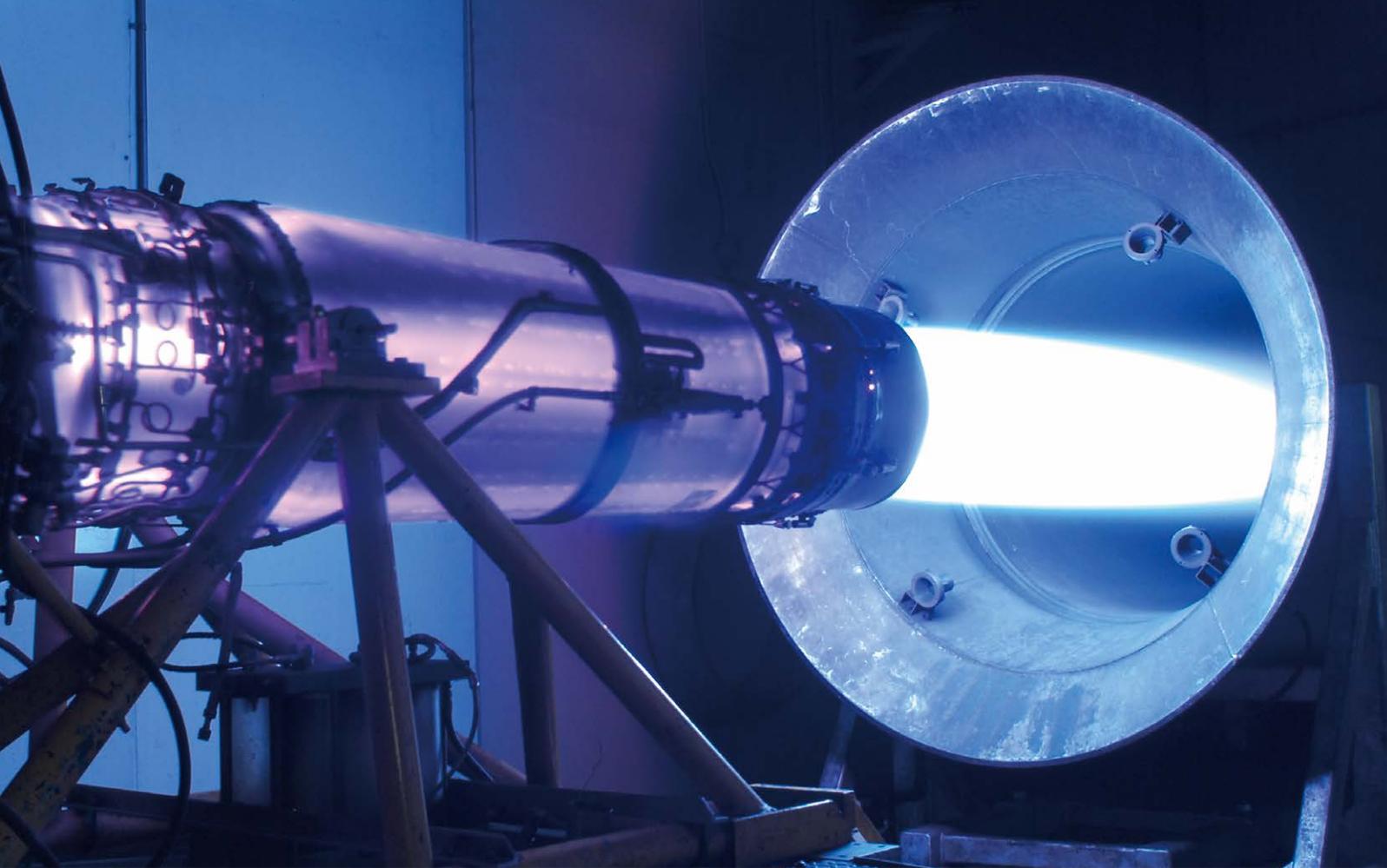
### • 轻质

我们的基于PiezoStar的传感器小而轻，可避免产生任何可能改变被测器件特性的质量载荷效应。它比通常在温度变化条件下使用的其它晶体基传感器小2-4倍。

### • 易于安装

奇石乐的传感器解决方案采用中心孔设计，可以在不能用标准可拆卸胶粘剂的情况下进行螺钉安装。除此之外，还便于定位电缆和测量轴。通常对它们进行接地隔离以免出现接地回路的问题。

| 产品亮点   |                              |
|--|------------------------------|
|  | 8715B型单轴泪状中心孔PiezoStar加速度计系列 |
|  | 8765A型三轴中心孔PiezoStar加速度计系列   |
|  | 8766A500型三轴微型立方体加速度计系列       |



发动机推力特征化有助于了解已知喷嘴设计可以产生多大的推力

## 火箭发动机试验：推力特性

固体火箭发动机固体推进剂或液体火箭发动机燃料混合物的燃料效率是火箭发动机工程师十分关心的问题。发动机推力特性有助于了解已知喷嘴设计可以产生多大的推力，工程师还可以据此计算易燃物品的比冲，并研究火箭发动机运转的不同阶段。

启动时必须尽快点火，以便“烧除”或避免启动消耗太多燃料。

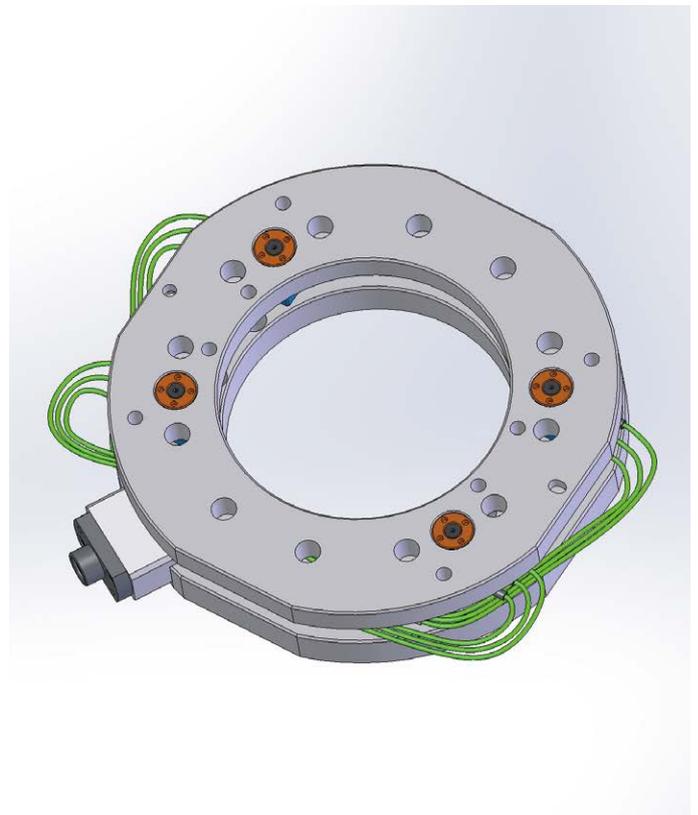
燃烧时不能看到推力标志或动压标志有振动或脉动，这一点将在下文详细介绍。脉动可能加剧传热，导致喷嘴烧化。在这个阶段，研究发动机的稳定性十分重要，尤其是因此产生的剪切力及其消除方法。

关闭时，推力必须立即停止。火箭发动机内没有残留燃料至关重要，否则它会产生毒素。

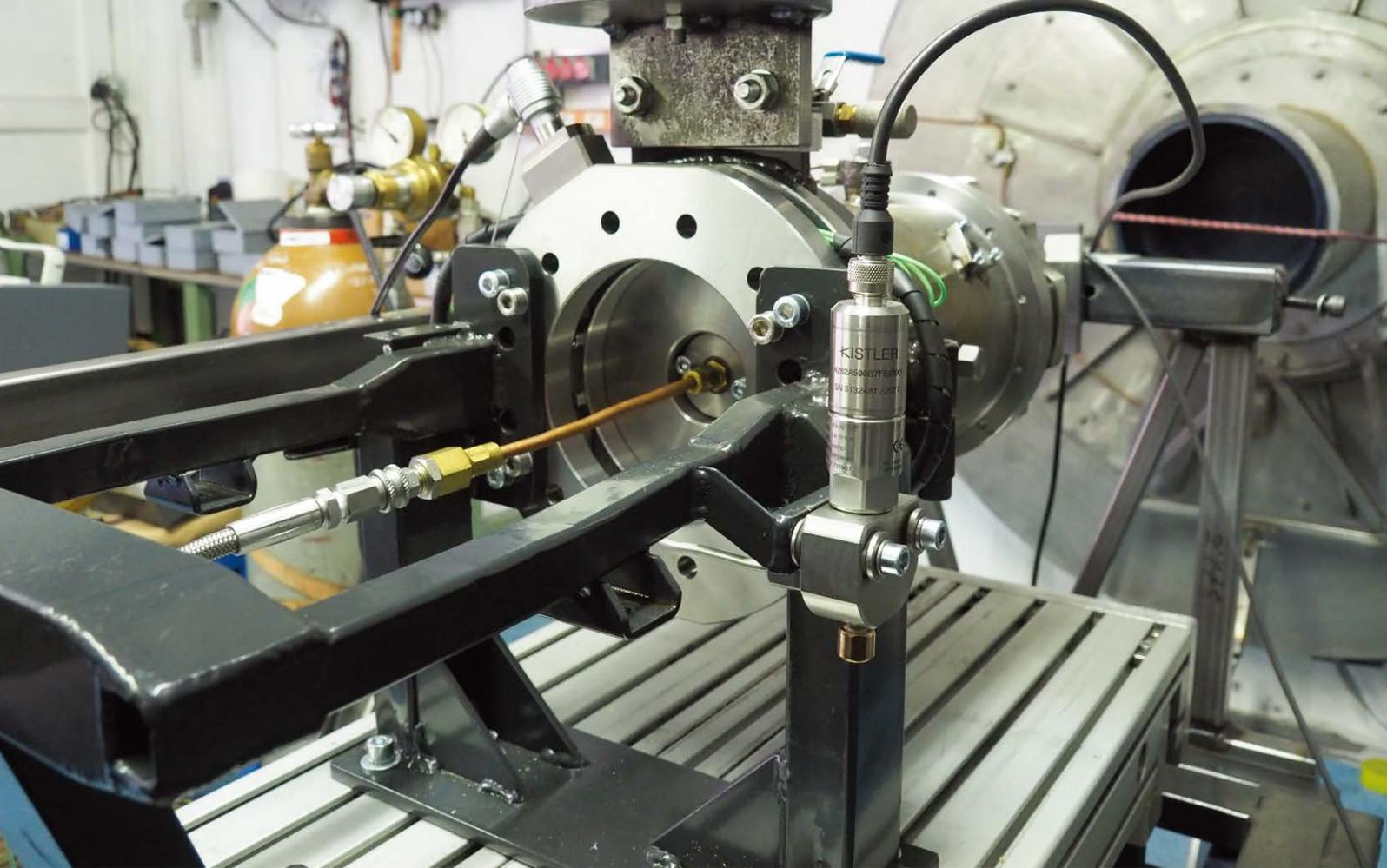
## 适用于这种情况的重要技术

- 高固有频率**  
 不同类型的火箭发动机，高频动态测量值也不同，这对推力表征十分有用。力解决方案必须能显示至少 1 500 – 3 000 Hz 的固有频率。
- 变化幅度**  
 压电力测量技术可以提高准静态和动态测量的分辨率。压电测链有助于聚焦动态的微小信号。通过这种特性可以非常精确地测量推力失稳的微弱信号。
- 适应性**  
 为满足特殊情况，可以将奇石乐的单分量和多分量力传感器配置成测力仪。它们在设计时考虑了可以根据要求适应其它测力仪设计。

| 产品亮点   |                             |
|--|-----------------------------|
|  | 定制6分量压电测力仪（力/力矩）            |
|  | 5167A型准静态8通道电荷放大器和数据采集      |
|  | 5080A型高分辨率实验室电荷放大器，适用于低电平推力 |
|  | 5500型通用和模块化调节与DAQ系统KiDAQ系列  |



专为瑞士推进实验室试验台火箭推力测量设计的测力仪



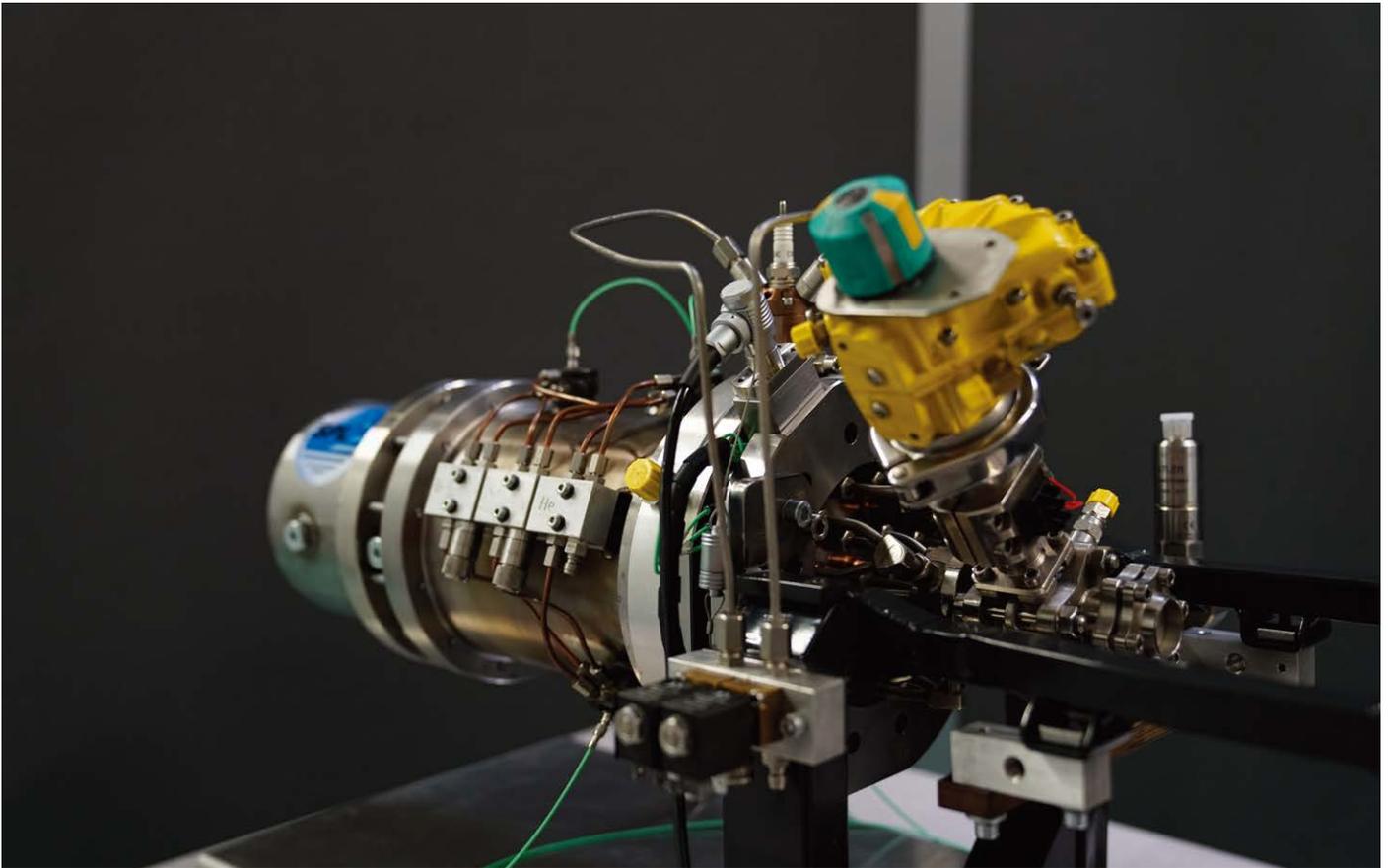
适用于推进剂压力监控的406xA型PRT压力传感器系列

## 火箭发动机试验：静压监测及特性

静压监测是在火箭发动机试验台上实施的最重要的测量之一。它包括监测和控制燃烧消耗量，以及测量燃烧室内的静压。

若要监控液体推进剂火箭发动机的燃烧消耗量，需要使用静压传感器。压阻式压力传感器既能静态测量，也能有限动态测量。这些传感器采用腔蚀、微机电、硅传感元件，适用于与扩散硅传感器相容的介质。

测量燃烧室的静压时，可以选用既能静态测量也能有限动态测量的常温压阻式压力传感器。使用时远离燃烧室，以降低传感器的温度。一般来说，每米管道计的温度下降125°C (260 °F)。

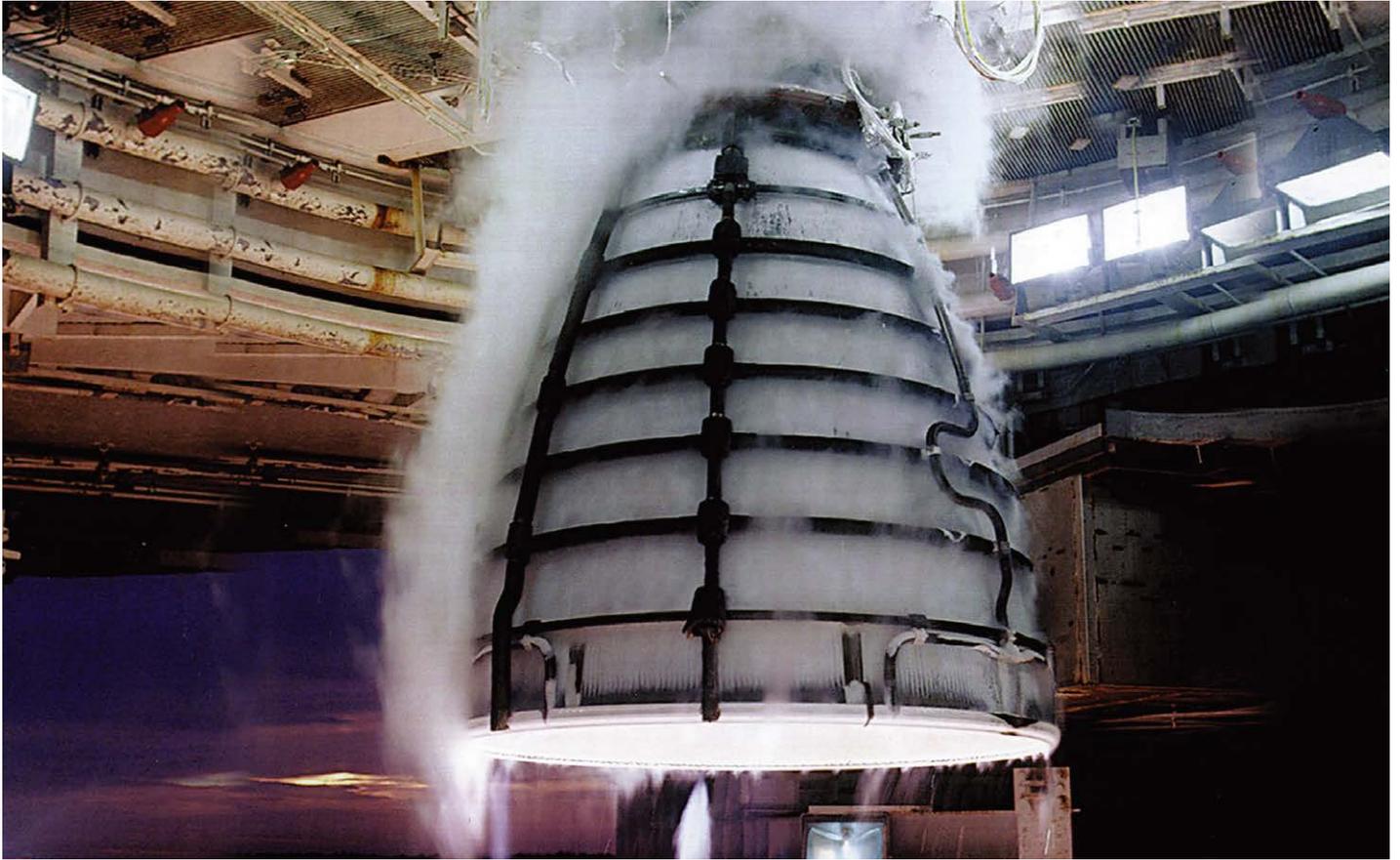


全仪表火箭发动机试验台，配有测力计，用于推力测量、高温压力和燃烧失稳加速以及推进剂静态控制

## 适用于这种情况的重要技术

- 频率响应**  
 长期测量静压需要用到频响范围从0 Hz到2 kHz的压阻技术。它与压电传感器不同，后者只能准静态测量。
- 本质安全**  
 可适用于易燃易爆环境，具体配置视压力传感器的用途和安装而定。
- 长期稳定性**  
 压阻式压力传感器采用充油、刻蚀、微机电、硅敏感元件，具有0.1%/年的长期稳定性。

| 产品亮点   |                            |
|--|----------------------------|
|   | 4260A型绝对压阻式压力变送器           |
|   | 4264A型差动压阻式压力变送器           |
|   | 4262A型相对压阻式压力变送器           |
|  | 5500型通用和模块化调节与DAQ系统KiDAQ系列 |



火箭发动机点火

## 火箭发动机试验：动压和振动特性

若要证明火箭发动机的性能是否可靠和促进推进技术发展，必须深入了解燃料组成部分及其混合物的喷射、点火时间和燃烧。奇石乐的压电压力和加速度传感器突破了超高温稳定性及动力学的极端范围，解决了极端推力室环境遇到的难题。

### 燃烧失稳

对于新型或改良火箭发动机需要进行检测，以证明不会出现燃烧失稳的现象。燃烧失稳是燃烧室内压力脉动和声学共振引起的。它会损害发动机性能、引起结构振动、导致喷嘴或其它发动机元器件绝热边界层破损引起的灾难性故障。使用最广泛的燃烧失稳的检测方法是将压电压力传感器放在尽可能靠近推力室的地方，以防管道振荡。

### 液体推进剂燃料供应特性

使用液体推进剂时，需要表征和优化分布机制。例如，开启和关闭阀门可能产生锤击效应，可以借助压力传感器测量该效应。此外还需要检测低温泵。这里将用到专用低温加速度计和压力传感器。

### 点火

点火系统的设计方式有很多种，包括烟火、电气（火花或电线）和化学点火等各种方法。火箭发动机点火对精确度要求极高。哪怕延迟十分之几毫秒点火都会导致燃烧室因推进剂过量而过压。若启动不协调，发动机甚至可能爆炸。所以，要确保火箭安全发射，必须测量动态点火压力。

## 适用于这种应用的重要技术

- **超高温能力**

奇石乐的超高温加速度传感器可以安装在靠近燃烧室的地方，是优化燃烧失稳测量的理想选择。使用时，温度可能达到550 °C (930 °F)。此外，还可以使用类似于水冷或氦排放解决方案的标准压电传感器，但水流会产生噪音。

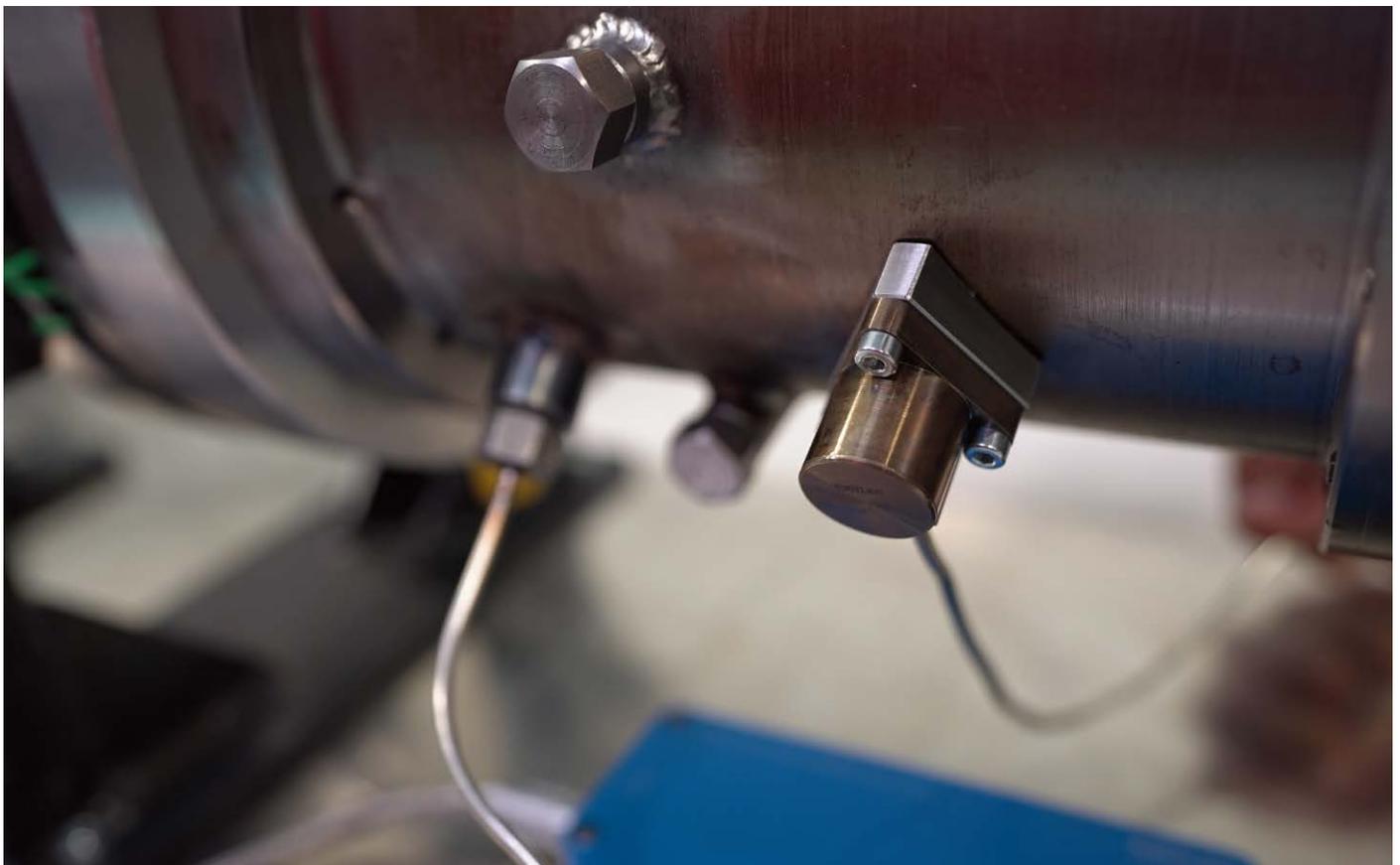
- **低温能力**

奇石乐的低温压电加速度计和压力传感器的最低温度范围可以达到-196°C (-320°F)。液体推进剂燃料供应表征期间，液体甲烷温度可以达到-173°C (-280°F)，液氧可达到-183°C (-300°F)。

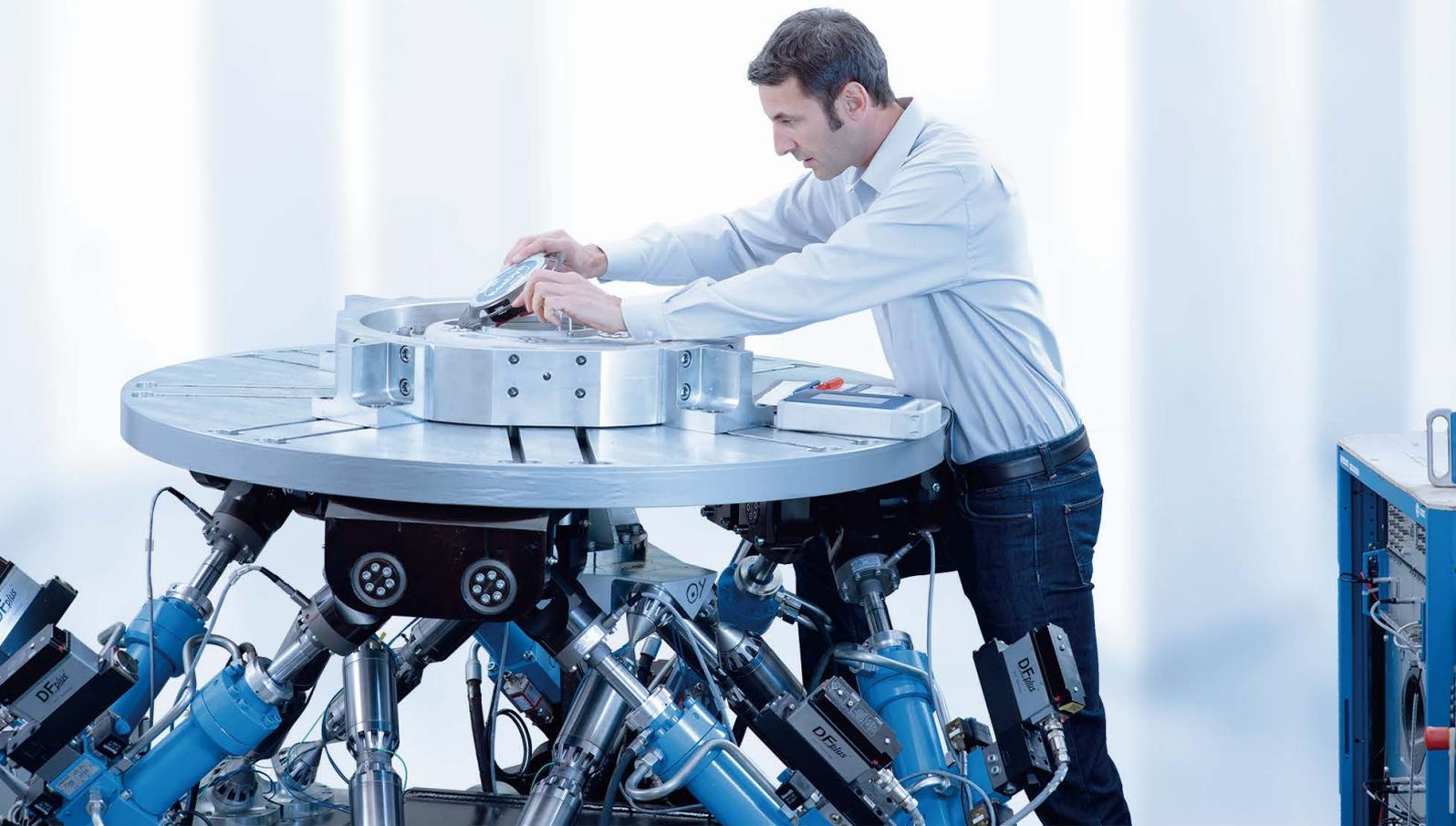
- **适用于点火的高压能力**

点火测量时，高动态高压传感器将在非常恶劣的条件下通过传感器薄膜探测高压峰值、极高的和快速上升的热冲击事件。

| 产品亮点  |   |
|---|---|
|   | 6021A、6023A和6025A型700°C (1 300 °F)高温压力传感器，配硬线电缆 |
|   | 8211A型700°C (1 300 °F)高温加速度计，配硬线电缆              |
|    | 60xC型压电压力传感器系列，有低温能力                            |
|    | 8730型单轴电压模式微型低温加速度计系列                           |
|  | 8793A250M8型三轴电压模式低温加速度计系列                       |



燃烧失稳研究采用6021A型高温压力传感器和8209A型高温加速度传感器



## 奇石乐的服务为您带来更多可以预见的成功!

优良服务是维护日常客户关系的基础。但是，对奇石乐来说，“好”不仅是足够好就够了。我们将根据您的需求，为您提供广泛的服务项目。

您购买了我们的传感器和电子测量设备，并不意味着奇石乐的服务就此终止。我们很高兴在您遇到测量问题时提供意见和建议，帮助您选择合适的元器件。我们的维修技师将到现场帮助您将奇石乐系统集成、连接和配置到您的系统当中。简短说明之后，您就可以开始测量了!

### 配有持续文件编制的校准

我们的校准服务将让你放心地看到奇石乐传感器及系统在整个寿命期内正常运转，保证提供精确、可靠的测量结果。此外，每次校准都有文件记录。如有需要，我们的测量技术专家将到现场为您的设备校准。我们在中国、美国、日本和德国设有校准实验室，可以快速提供现场校准服务。

### 定制解决方案

作为系统供应商，奇石乐为您提供全套测量解决方案，完美地满足您的测量需求。我们的专家将很高兴与您一起制定解决方案，让您在现场获得更满意的结果。

### 奇石乐的服务

- 指导如何界定测量任务和选择元器件
- 启动
- 设备校准
- 维修
- 培训
- 定制解决方案



- 销售中心
- ▲ 技术中心
- 生产中心

## 我们的全球客户服务

奇石乐的销售与服务网络遍及世界各地，我们始终伴随客户左右。我们在世界各地设有61个销售与服务网点，有近2000名员工，专门制定新型测量解决方案，并为方案提供量身定制的现场支持。



请扫描关注奇石乐中国官方微信公众号，  
获取更多新闻推送及资料下载



**瑞士奇石乐集团**  
 Eulachstrasse 22  
 8408 Winterthur Switzerland  
 电话: +41 52 224 11 11

奇石乐集团的产品受多项专利技术的保护。  
 奇石乐集团包括Kistler Holding AG及其所有  
 在欧洲、亚洲、美洲及大洋洲的分部。

**上海**  
 地址: 上海市闵行区申长路1588弄15号楼  
 邮编: 201107  
 电话: 021-2351 6000  
 邮箱: marketing.cn@kistler.com  
 www.kistler.com

