

**KISTLER**

measure. analyze. innovate.

**助力船舶和  
海上结构物更安全、  
更高效**

## **水动力性能测试解决方案**

经过测试和试验证明可适用于各类海事和海洋作业的测量设备



## 着眼未来，全力以赴

为应对测量技术领域出现的各种挑战，奇石乐研制出涵盖传感器、电子装置、系统和服务的综合解决方案。在减排、质量控制、机动性能和车辆安全等领域，不断推动参与者向物理学的前沿领域进军：以具备一流性能且符合未来标准的产品，为工业4.0奠定坚实基础。这亦是我们取得创新和进步的成功之道：服务客户，与客户一同成长。



奇石乐：引擎监控、车辆安全和车辆动力等领域先进性的代名词。我们的产品提供的数据，能够在未来高效汽车研制方面发挥关键作用。



奇石乐测量技术先进，可广泛应用于运动诊断、交通数据采集、切削力分析，且无论工况多恶劣，均能提供绝对可靠的测量数据。



奇石乐系统可为网络化、数字化生产的各个阶段提供支持，并最大限度地提高下一代智能工厂的流程效率和成本效益。

# 编者语



Manuel Blattner  
SBF测试与测量主管

海洋运输业是全球繁荣和进步的支柱。当今全球贸易中，有大约90%的货物是通过货船、油轮和散货船完成的。人们在不断要求建造更大型的船舶来装载更多货物的同时，也需要考量因承受气候变化引起的更加恶劣天气条件的挑战。为了应对这些挑战，海洋技术正以惊人的速度发展——因此，可靠的测试和测量专业知识将在这一领域发挥绝对关键的作用。奇石乐针对这一需求，为各种应用提供了水动力性能测试解决方案。凭借在压电测量技术方面的优势和卓越的测量性能，我们的传感器和系统可在海洋船舶和海上设施动力测量方面大显身手。

请仔细阅读本手册，以了解我公司提供的解决方案的适用范围：既适用于船舶和螺旋桨，亦适用于风电机组、桥梁和各种其他结构物。奇石乐长期从事测量技术的研发，取得了丰硕的成果，可为客户提供优质产品和服务。作为水动力性能测试解决方案的领先供应商，以及海事和海事核心作业部门的可靠合作伙伴，我们将为全球客户提供综合设备组合、服务和咨询支持。

## 目录

<b>经过测试和试验的具备绝对精度的测量技术</b>	<b>4</b>	<b>海洋工程水池和波浪水池——拍击测试</b>	<b>14</b>
<b>适用于水下振动测量的防水传感器解决方案</b>	<b>5</b>	<b>拖曳水池、船模测试和水上迫降</b>	<b>16</b>
<b>适用于水下力测量的防水传感器解决方案</b>	<b>6</b>	<b>气蚀和螺旋桨引起的噪音和振动</b>	<b>18</b>
<b>适用于水下压力测量的防水传感器解决方案</b>	<b>7</b>	<b>降噪——由流动引起、结构物传递的噪音和振动</b>	<b>20</b>
<b>定制化测力仪解决方案</b>	<b>8</b>	<b>模态和结构分析</b>	<b>22</b>
<b>为透明可靠的测量设计的创新性模块化数据采集方案</b>	<b>10</b>	<b>推进性能研究和优化</b>	<b>24</b>
<b>晃动测试</b>	<b>12</b>	<b>奇石乐服务：助力客户成功</b>	<b>26</b>



## 经过测试和试验的具备绝对精度的测量技术

已在全球范围内被广泛应用的奇石乐水动力性能测试解决方案，确保了船舶更安全、更高效。我们的技术既优化了船舶整体的完整性，又改进了船舶的推进系统。奇石乐一流的技术解决方案还适用于风电机组、油气设施和桥梁等海上结构。

现代船舶是强大动力与复杂技术的综合体，不仅型式体积各异，用途也千差万别。奇石乐作为瑞士测量领域的拓荒者，多年以来一直致力于为全球客户提供各类优质测量设备、服务和咨询支持。

### 高度集成化和高效驱动力，助力提高船舶安全性

奇石乐依靠其在压电式传感器的优势，为水动力测试提供技术解决方案。开发人员和工程师可利用这些系统，完成各种水动力性能测试（例如，晃荡、拖拽、水上迫降和模态测试）。在推进方面，我们提供的有效解决方案，可以减轻气蚀以及螺旋桨引起的噪音和振动——降低船舶等引起的噪音，缓解了人们对日益增长的环境问题的担忧。

### 确保海上结构坚固安全

由于海水对海洋和海事设施和设备所施加的巨大冲击力，可导致结构物损坏。因此，测试动态水波冲击（即，“拍击”）成为确保海上结构完整性和安全性的关键环节。选择奇石乐海事技术解决方案，以策安全。

### 奇石乐解决方案的优势

- 采用压电 (PE) 技术，实现精准动态测量
- 采用由超高精度Piezostar晶体制成的压电式传感器
- 解决方案具备防水能力，可进行水下振动、压力和力测量
- 测力仪采用专业定制化设计和生产
- 采用创新性数据采集解决方案
- 服务网络遍布全球

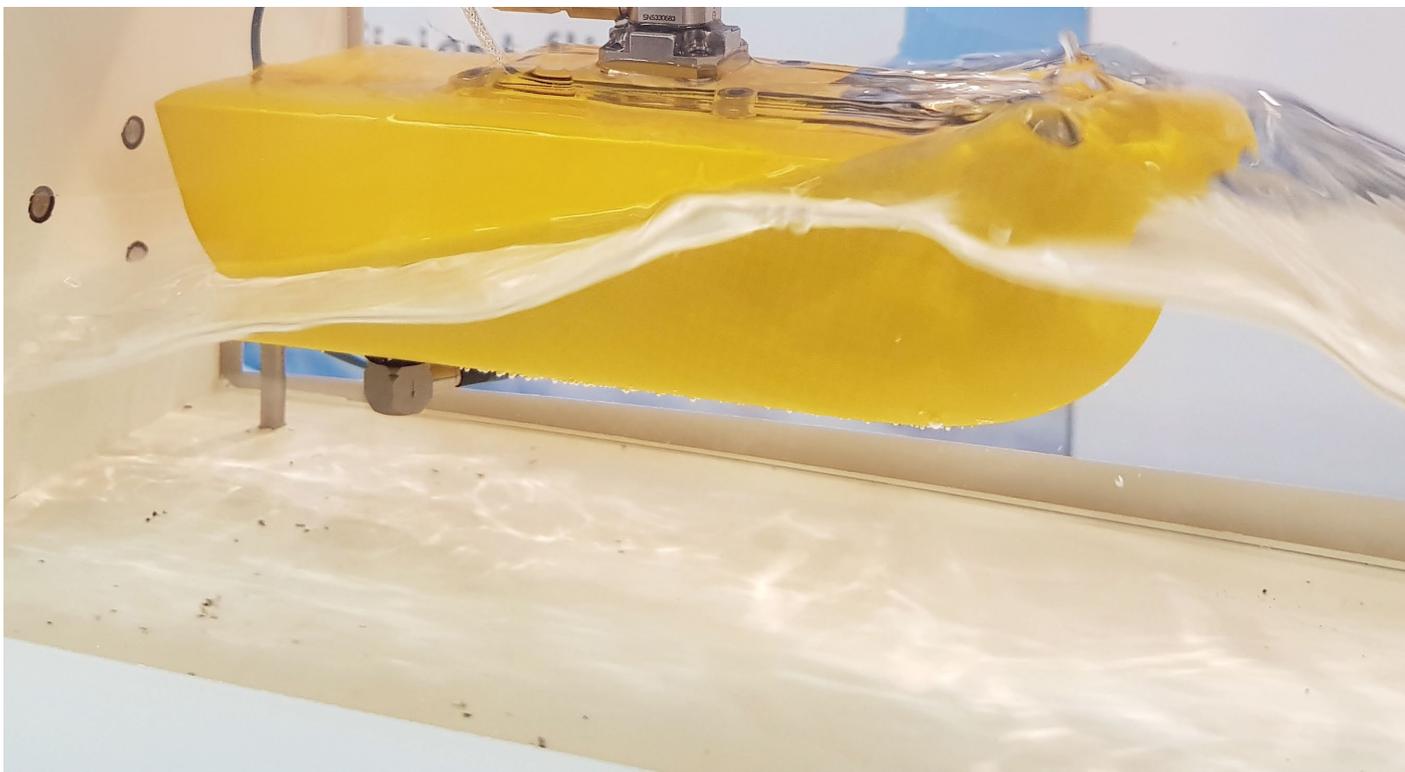
# 适用于水下振动测量的防水传感器解决方案

实施拍击、水上迫降、工作模态分析和流激振动测试等水动力测试程序时，加速度计可能需要置于水下，也可能与水花接触。此时，传感器需要能够承受高达10巴（150磅/平方英寸）的压力，且持续时间可能不少于3天。

奇石乐作为经验丰富的解决方案提供商，能够提供轻型集成式电缆振动解决方案，以满足上述要求。我们可提供IEPE单轴和三轴传感器，进行动态测量；亦可提供MEMS电容式传感器，进行低频测量。

奇石乐生产的每个传感器均通过了48小时的10-14巴（150~220磅/平方英寸）水下测试，并随机提供专属测试证书。

产品亮点	
	<b>IEPE单轴8774B/8776B...sp型号传感器</b> <ul style="list-style-type: none"><li>重量轻、模块化，测量范围在50g~500g</li></ul>
	<b>IEPE三轴8763B...CBsp型号传感器</b> <ul style="list-style-type: none"><li>重量轻、体积小、模块化，测量范围在50g~2000g</li></ul>
	<b>MEMS三轴电容式传感器</b> <ul style="list-style-type: none"><li>直流、频率不超过1000赫兹；具备特低频变量测量和位移/倾斜计算功能。</li></ul>



奇石乐生产的每个传感器均被放入增压水容器中，在10~14巴（150~220磅/平方英寸）压力下静置48小时。

# 适用于水下力测量的防水传感器解决方案

水下力传感器通常用于拖曳水池和拍击或推进研究。压电式力传感器的核心优势是具备超宽测量范围；因此，可测量具有静态预载下的微小力变化（例如，拖曳水池中重船模由于小涡流引起的拖曳力变化）。奇石乐力传感器采用焊接密封设计，且电缆装有水下专用密封件，可确保水密性能。

出厂前，奇石乐即已在压力水箱内对传感器和电缆实施了测试，以确保其可在水下环境中进行可靠测量。奇石乐还可提供经过测试的电缆引线，形成一条完整测量链，以满足客户的水下测量要求。

传感器和电缆浸入水中最大深度可达10米（32英尺）时，可确保电荷放大器位于水面之上。因此，通常适用于拖曳水池和拍击测试。



## 产品亮点



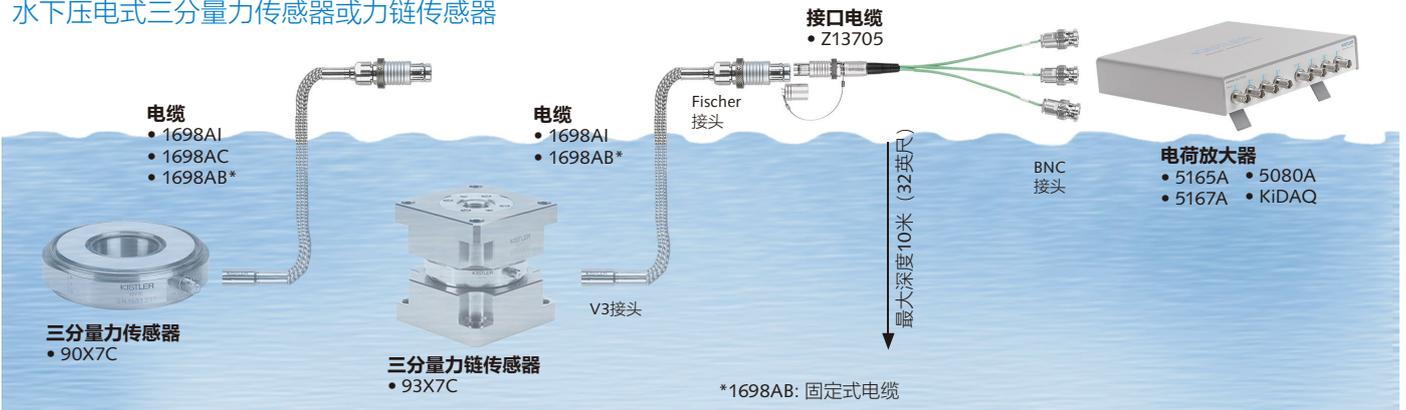
90x7C型三分量力传感器——配有1698AI、1698AC或1698AB型密封电缆



90x1A型单分量力传感器——配有1983AC型硫化电缆

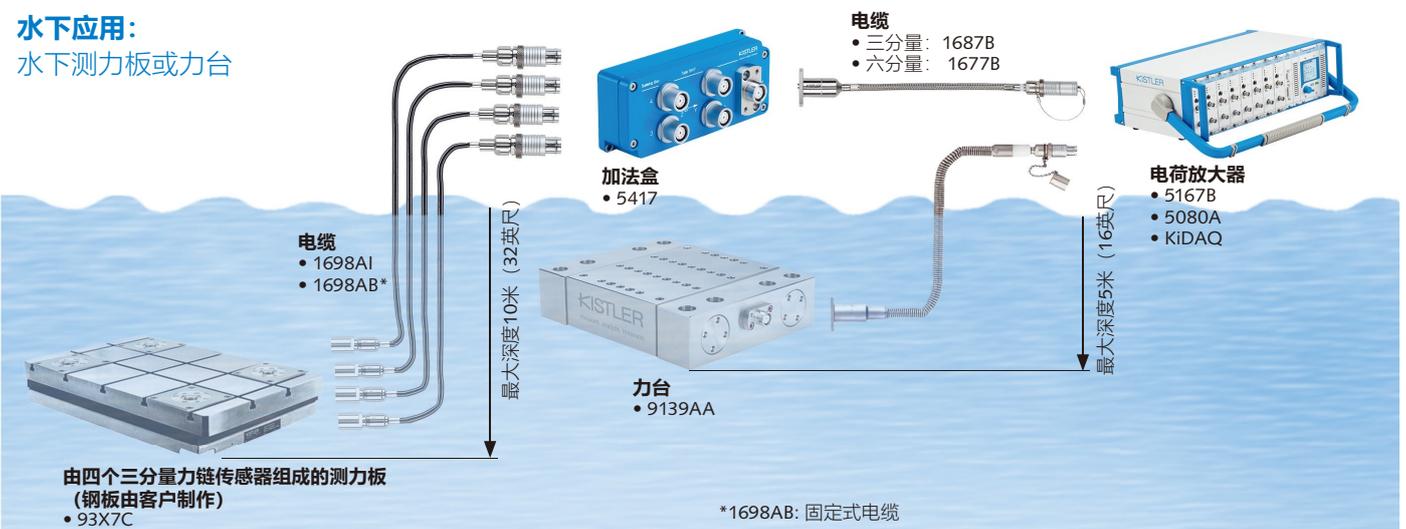
### 水下应用：

水下压电式三分量力传感器或力链传感器



### 水下应用：

水下测力板或力台



水下压力测量



水动力测试中使用的压力传感器既适用于水面，亦适用于水下。

## 适用于水下压力测量的防水传感器解决方案

水动力测试中使用的压力传感器既适用于水面，亦适用于水下。奇石乐凭借拥有的丰富经验，可提供传感器和电缆解决方案，以应对诸如此类的恶劣环境。

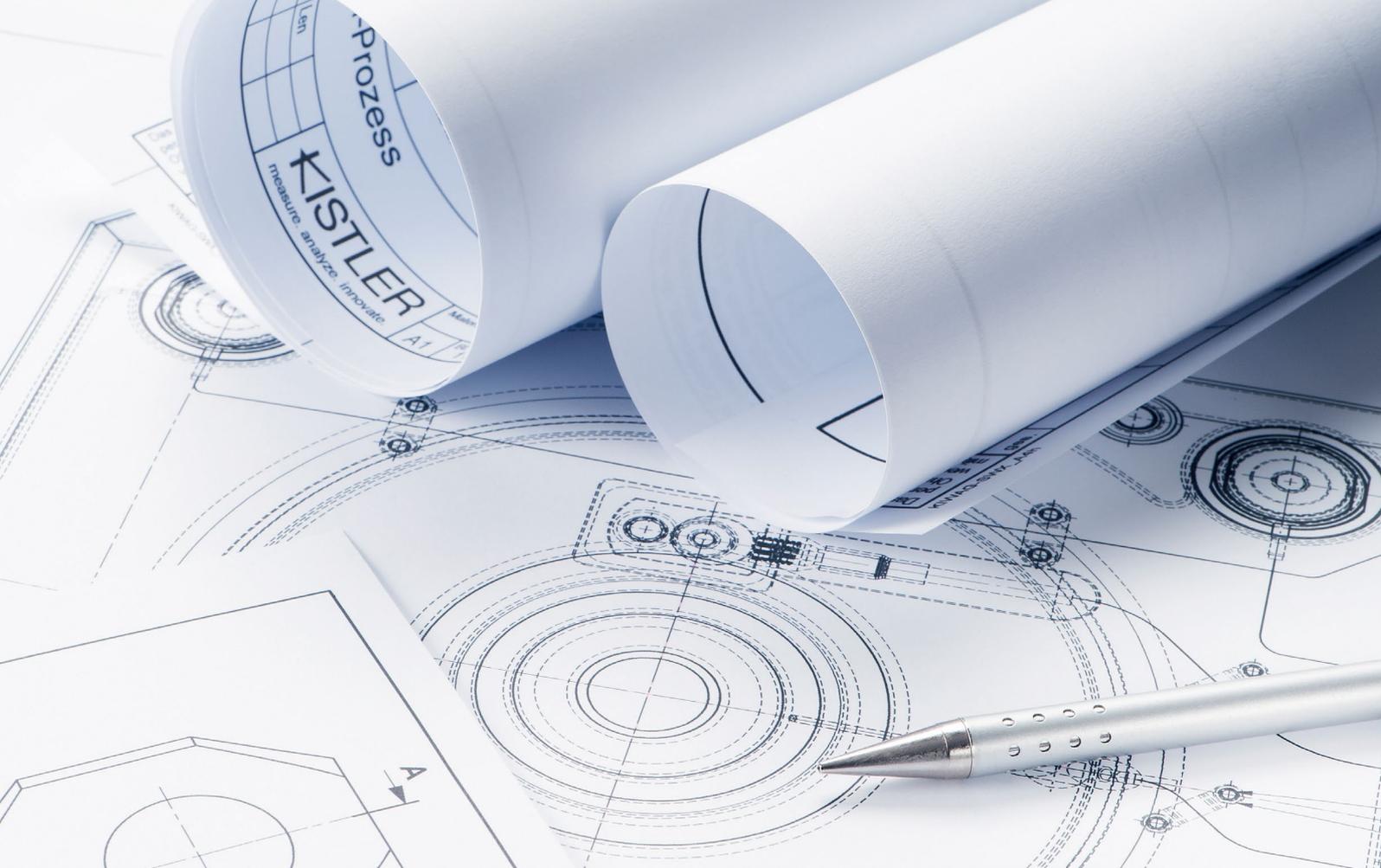
奇石乐提供了采用硫化接头的螺接和焊接防水或防潮FKM电缆。在水面及无增压水下环境中，应优先选用螺接接头。而在增压水环境，以及需要防止因剧烈振动而造成接头松动的工况下，应首选焊接传感器电缆。

上述各方案均通过了16巴（230磅/平方英寸）增压水测试。

### 产品亮点



601C和603C型传感器——配有螺接或焊接电缆



我们的工程团队将与客户密切合作，深入分析客户的具体需求，并可开发出适用的传感解决方案。

## 定制化测力仪解决方案

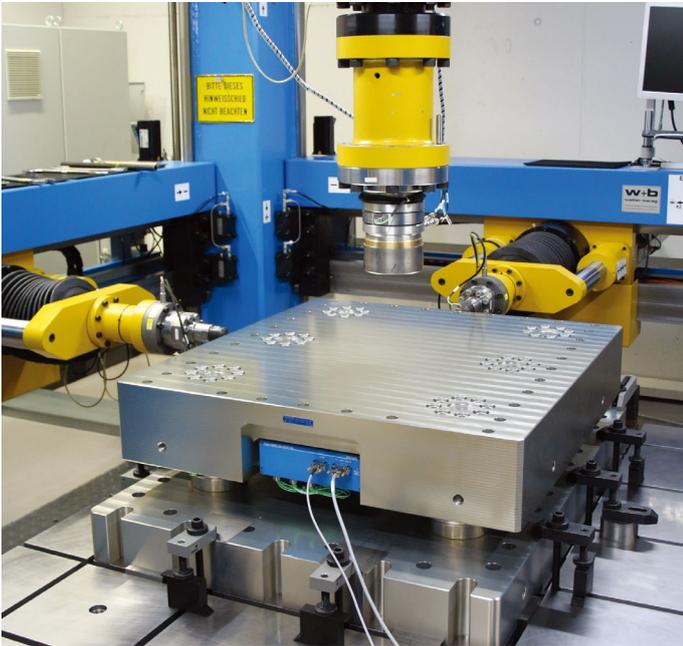
奇石乐提供了多种标准型单分量和多分量力传感器技术方案；即可单独使用，亦可组合使用，还可以用在现有标准型测力仪中，以满足测试对象的不同尺寸和精度要求，从而解决标准型传感器或测力仪并不适用于所有工况的难题。奇石乐热衷于向客户提供最符合需求的测量工具。因此，我们的工程团队将与客户密切合作，深入分析客户的具体需求，并开发出适用的传感解决方案。

凭借多年来我们在航空航天领域定制测力仪设计和制造方面获得的专业知识，我们知道问题关键所在。

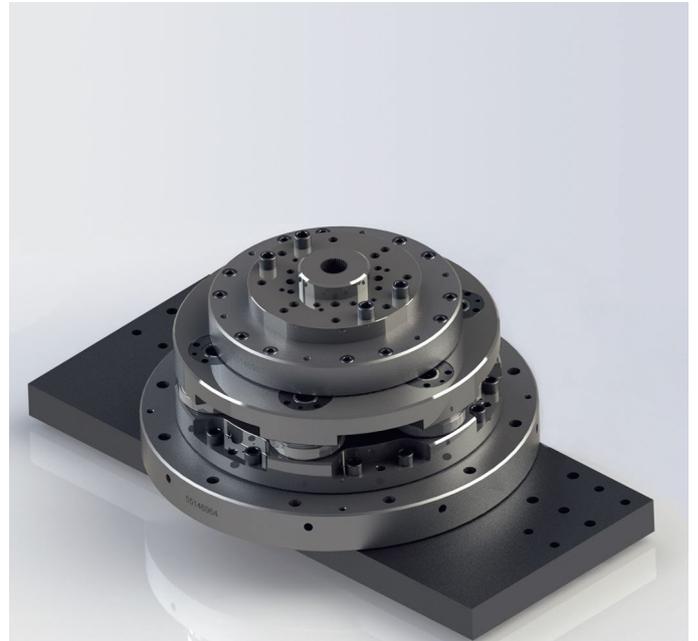
我们的目标：从开始后的每个阶段，均采取正确行动。

**奇石乐将提供专业的设计和制造服务，以确保：**

- 深入分析客户需求
- 实施图纸控制，包括测力仪设计和主要规范
- 获得客户认可
- 完成所有零部件的详细设计、制造以及测力仪的装配
- 利用专属三分量基准力压机完成出厂校准
- 交付成品测力仪（包括校准证书和Bode固有频率图）



利用奇石乐专属三分量基准力压机完成出厂校准



由四台9047C型力传感器组成的六分量测力仪。其顶板和底板可根据客户需求，进行专门设计。利用专用适配器实施特别校准，以模拟实际应用工况。

奇石乐承诺将以优异的质量确保测力仪满足客户的技术要求，以确保在使用寿命内可始终正常运行。

- 多分量**  
 所有定制测力仪的核心部件均是我们的三分量力传感器。
- 单一供应商**  
 奇石乐开发了能够在极端工况下正常运行的传感器专用晶体。奇石乐对高精测量设备实施100%质量控制，并自行完成所有制造环节。
- 高度定制化**  
 高性能测力仪通过定制化，满足客户的技术要求——仅有少数测力仪制造商才能达到。
- 专业**  
 奇石乐凭借多年在设计、制造方面的经验和专业技术，具备为诸如航空航天等高要求行业设计和制造测力仪的能力，是客户理想的合作伙伴。

## 产品亮点

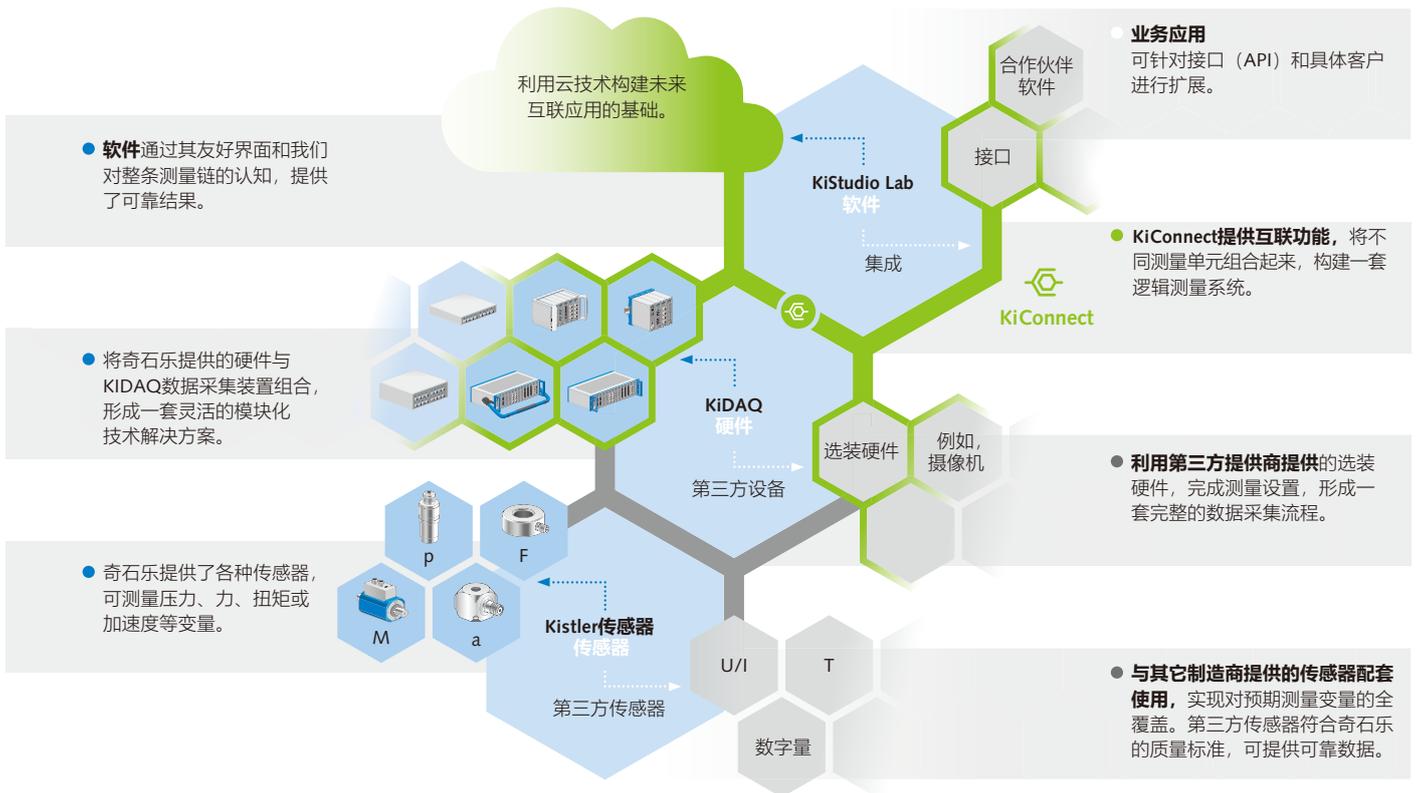


### 定制化测力传感器

配有集成式电荷放大器，浸没深度超过10米（32英尺）



### 推力测量用 定制化六分量测力仪



KiDAQ测量体系结构一瞥

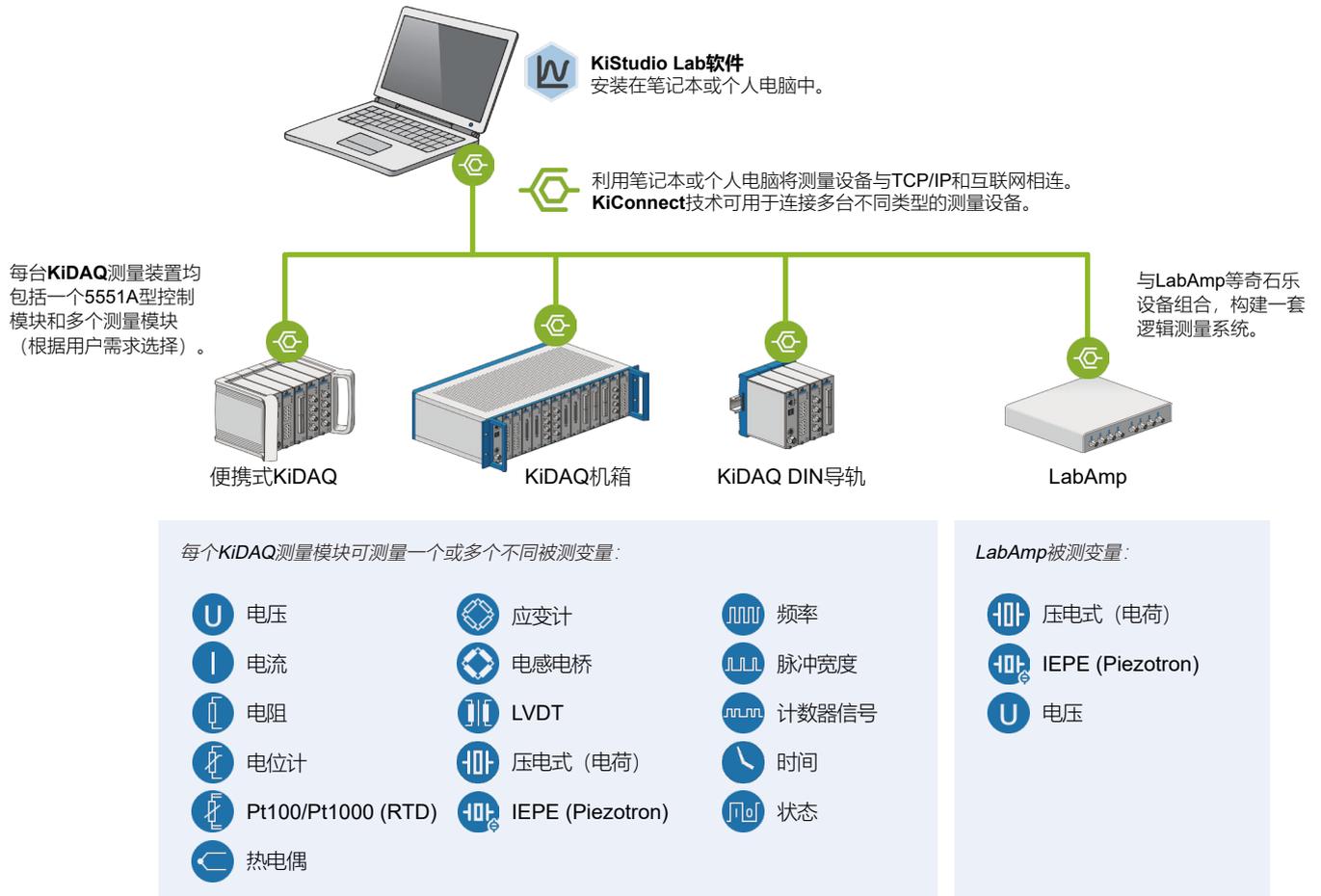
## 为透明可靠的测量设计的创新性模块化数据采集方案

测量技术人员或工程师需要在组装系统前，连接不同供应商提供的测量元件；因此在海事研究和开发中大多数测量任务均始于复杂而耗时的测试设置。为此，奇石乐的测量技术专家创新性地开发出一套集成式数据采集系统-即KiDAQ，提供测量任务所需所有零部件——所有部件均来自单一供应商。

KiDAQ数据采集系统内连接元件采用智能KiConnect技术。用户可利用KiConnect技术，将奇石乐产品与其他供应商的选装设备轻松互联，形成一套逻辑测量系统；按照精确时间协议（PTP），实现同步测量。

作为压电式测量设备的领先制造商，奇石乐凭借数十年的经验，提供了各种测量技术和应用知识。我们的测量专家可以利用这些专业知识，获取有关整条测量链测量不确定度的可靠信息。为了与用户分享这一技术，奇石乐提供了基于KiXact技术的测量不确定度自动计算功能。一旦用户了解了每个组件的测量不确定度百分比和量级，他们就可以通过改变操作条件或优化设备选择降低不确定度——即可从最大透明度和专有技术中获益。奇石乐已为KiXact技术申请了专利。

## 产品亮点



利用KiConnect技术，可实现硬件的高度模块化互联。



利用安装在hexapod台架顶部的液化天然气罐体模型构建的晃动模拟系统（来源：Symétrie）

## 晃动测试

**天然气在能源领域的重要性日益显著。与原油（尤其是煤炭）相比，其碳排放更小，对全球变暖的影响也更少。当需要跨越数千公里运输天然气时，大型运输船即成为唯一经济有效的运输方式。**

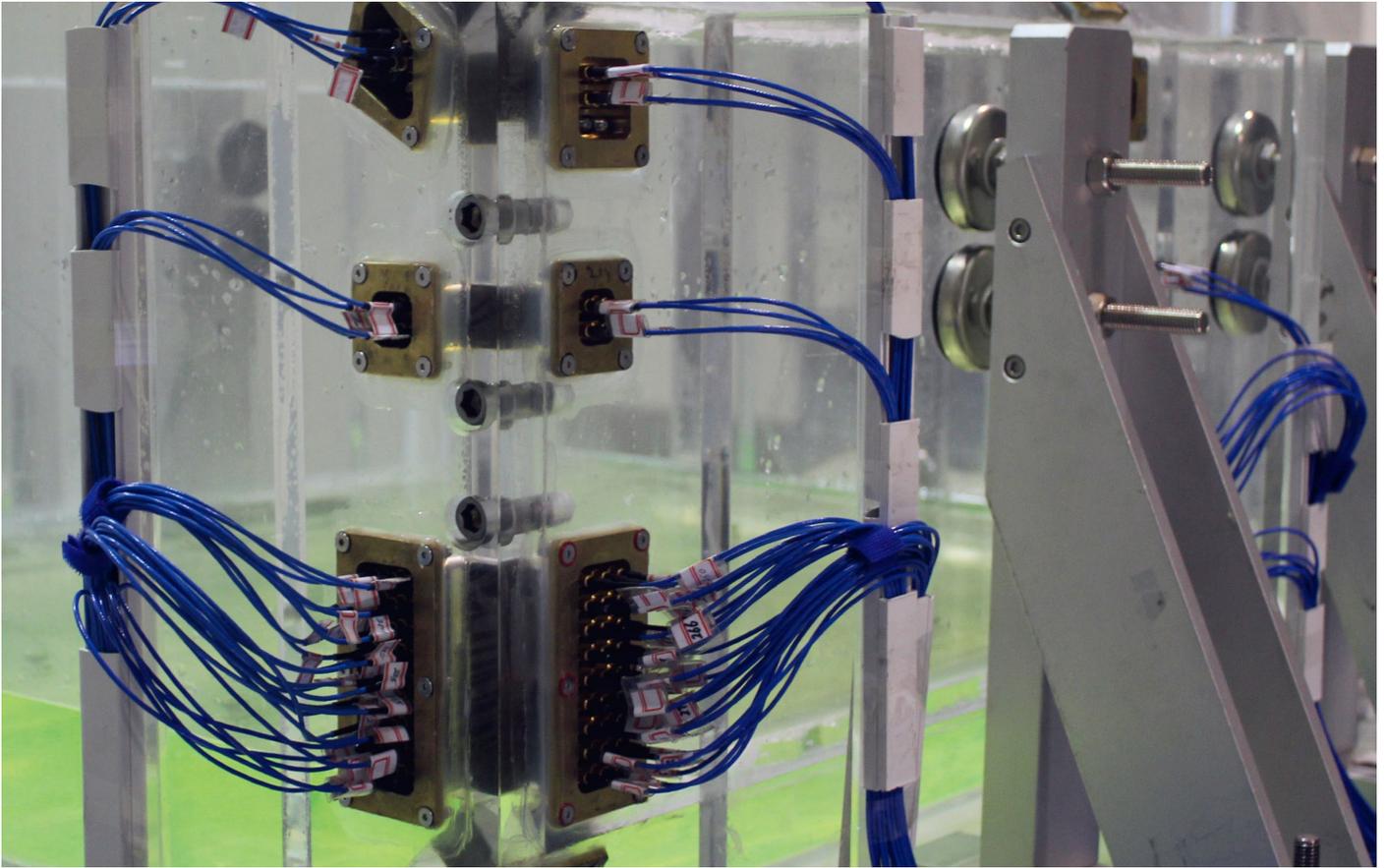
天然气只有在液化状态下方可实现有效运输。采用专用液化天然气（LNG）运输船运输时，需要将天然气冷却至零下162°C（零下260°F），以将其体积缩小600倍。船内罐体未满载时，海风和海浪能够引起液化天然气移动（即，晃动），从而影响船舶稳定性，并可能使罐体内膜承受沉重载荷；这将可能导致储罐内膜和隔热层结构损坏、泄露，甚至出现罐体破裂。因此，天然气船体的罐体结构必须能够承受液化天然气的晃动，甚至是在剧烈膨胀的情况下也需要保持结构稳定。

全世界范围内，诸多科研实验室都在研究由晃动导致的对液化天然气罐体结构的动态载荷。利用水或其他流体，在小型罐体内开展测试，并按比例放大数据，以预测不同假定波浪条件和填充液位下的罐体载荷。

然后，将测试结果与计算模型进行对比验证。可利用计算模型，在较短周期内完成对不同罐体几何结构、波浪条件和充填物液位的调查。因此，测试和计算模型在开发更大和更安全罐体结构时，起着关键作用。

晃动测试装置通常采用安装在六支撑台架上的液化天然气罐体矩形二维模型；也可以使用小型的三维模型。小型液化天然气罐体模型的比例通常在1:20~1:70之间。采用集群配置时，往往将压力传感器安装在罐体模型壁上最易出现严重碰撞的位置。一个集群由一个嵌装在金属块上的传感器阵列组成（直接安装，无需适配器）。采用此配置时，可最大程度缩短传感器之间的安装距离，优化空间分辨率。

压力测量还可以与反作用力测量建立关联；此时，可将专用三轴压电式测力板安装在液化天然气罐体模型与六支撑之间的界面上。



晃荡测试期间，奇石乐采用IEPE系列601C型压力传感器矩阵进行水压分布情况的测量

## 核心技术

### • 小尺寸压力传感器

此款传感器的一个显著特点是头部直径小，因此采用此配置时，可最大程度缩短传感器之间的安装距离，优化空间分辨率。

### • 具备快速上升时间和高固有频率的压力传感器

冲击压力很大程度上取决于诱导运动；其范围在50毫巴~7巴（0.7~100磅/平方英寸）之间，快速上升时间为1~10毫秒。因此，要求压力传感器具备快速的上升时间和/或较高的固有频率。

### • 经济型IEPE（电压）压力传感器

鉴于此应用需要诸多传感器，因此，应建立一套经济型测量链。采用IEPE技术的压力传感器，可与数据采集系统直接连接，且无需价格昂贵的电荷放大器。

### • 具备低热冲击灵敏度的压力传感器

冲击压力测量值可能受到压力传感器的热冲击特性的影响。奇石乐601C系列传感器具备极低的热冲击灵敏度，因此，特别适合测量荡引起的冲击压力。

### 产品亮点



PiezoStar IEPE压力传感器系列  
601C型



三分量力环传感器系列  
9017C 至 9077C型.



四信道动态电荷放大器和数据  
采集装置  
5165A型



正在油气平台模型上实施的拍击测试（来源：德国汉堡船模实验室（HSVA））

## 海洋工程水池和波浪水池——拍击测试

**海洋工程水池（亦被称为波浪水池）通常配备铰接式翻板组成的分段造波器，可产生定向波（规则波或不规则波）。海洋工程水池还可用作耐波性和操纵性测试水池；在相关波浪条件下，验证船舶及其驾驶控制装置的性能和安全性。**

### 测试示例：

- 在不定向波浪和风况下进行的耐波性测试
- 在静水中进行的阻力和自推进测试
- 利用约束模型在静水和波浪中进行振荡（PMM）和旋臂测试，用以确定水动力系数
- 在静水及波浪中进行的受控或自航操纵测试

### 海上结构物的安装和海上运输测试

选择最经济且移动幅度最少的平台，是人们面临的一大技术难题。因此，需要在开发油气平台或浮动式风电机组时，进行全面测试，以成功应对未来的挑战。

本节所述波浪水池应用还包括对系泊物体或固定物体（例如，油气平台或海上风电机组）的测试，以测定波浪和风引起的运动和载荷。

在海上风电机组测试过程中，可将一套三分量测力仪安装在锚地与被测装置之间的桅杆底座上，测量同时作用在风电机组上的风和波浪。通过测试获取高质量的基准数据，验证模拟空气动力与水动力性能之间耦合工况的方法。

对油气平台（或船舶）进行测试测量时，通常需要将压力传感器齐平安装在结构物或船体墙壁上。

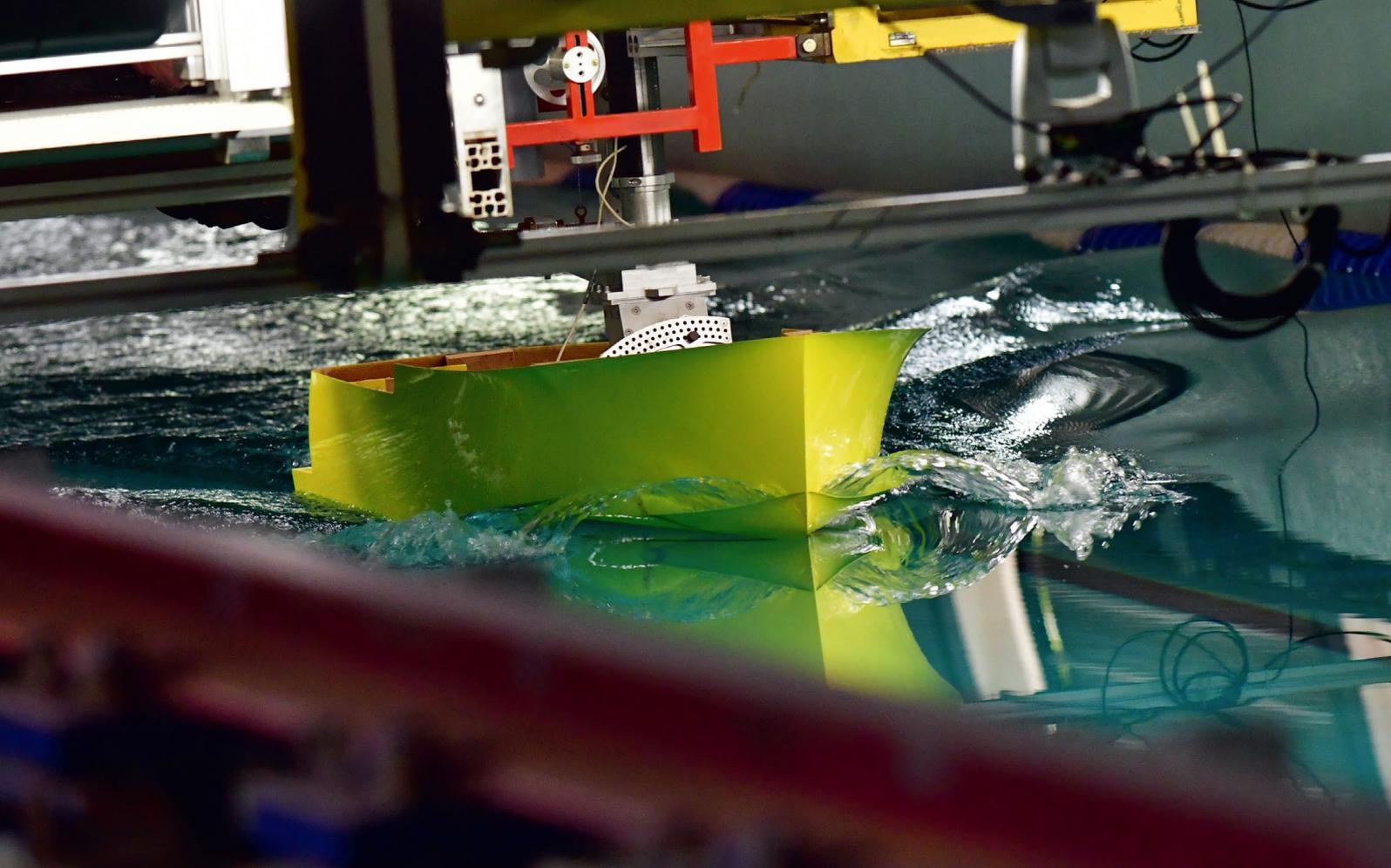


英国小镇沃灵福德拥有一处欧洲最大、流速最快的波浪水槽；在此处，可以1:50的比例模拟海啸。  
(来源：英国水力研究院 (HR Wallingford) )

## 核心技术

- IEPE (电压) 高灵敏度压力传感器**  
 预期压力低于1巴 (15磅/平方英寸) 时，应以恰当的精度实施测量；压力传感器利用IEPE技术，可与数据采集系统直接连接，无需价格昂贵的电荷放大器。
- 具备快速上升时间和高固有频率的压力传感器**  
 冲击压力通常低于1巴 (15磅/平方英寸)，快速上升时间大约为1毫秒；因此，要求压力传感器具备快速的上升时间和/或较高的固有频率。
- 具备低热冲击灵敏度的压力传感器**  
 冲击压力测量值可能受到压力传感器的热冲击特性的影响。奇石乐601C系列传感器具备极低的热冲击灵敏度，因此，特别适合测量拍击引起的冲击压力。
- 宽量程防水多分量力传感器**  
 得益于选择了正确的电荷放大器设置，压电技术既适用于大型结构物，亦可用于测量最小的动态变化。

产品亮点	
	<b>压力传感器系列</b> 601C型
	<b>三分量测力传感器系列</b> 9017C至9077C型——具备防水能力
	<b>四信道动态电荷放大器和数据采集装置</b> 5165A型
	<b>八信道准静态电荷放大器和数据采集装置</b> 5167A型



拖曳水池拖拽设备设置 (来源: école Centrale de Nantes)

## 拖曳水池、船模测试和水上迫降

**拖曳水池是一个配有拖拽装置的巨大水池，其中拖拽装置在水池两侧安装到两条导轨运行。拖曳水池的宽度可达数米，长度可达数百米。拖拽装置有两种用途：其一——作为拖动模型；其二——当模型为自驱动时，拖车跟随模型运行。拖拽装置上的计算机和仪器记录并控制着速度、方向舵偏角或螺旋桨推力和扭矩等各种变量。**

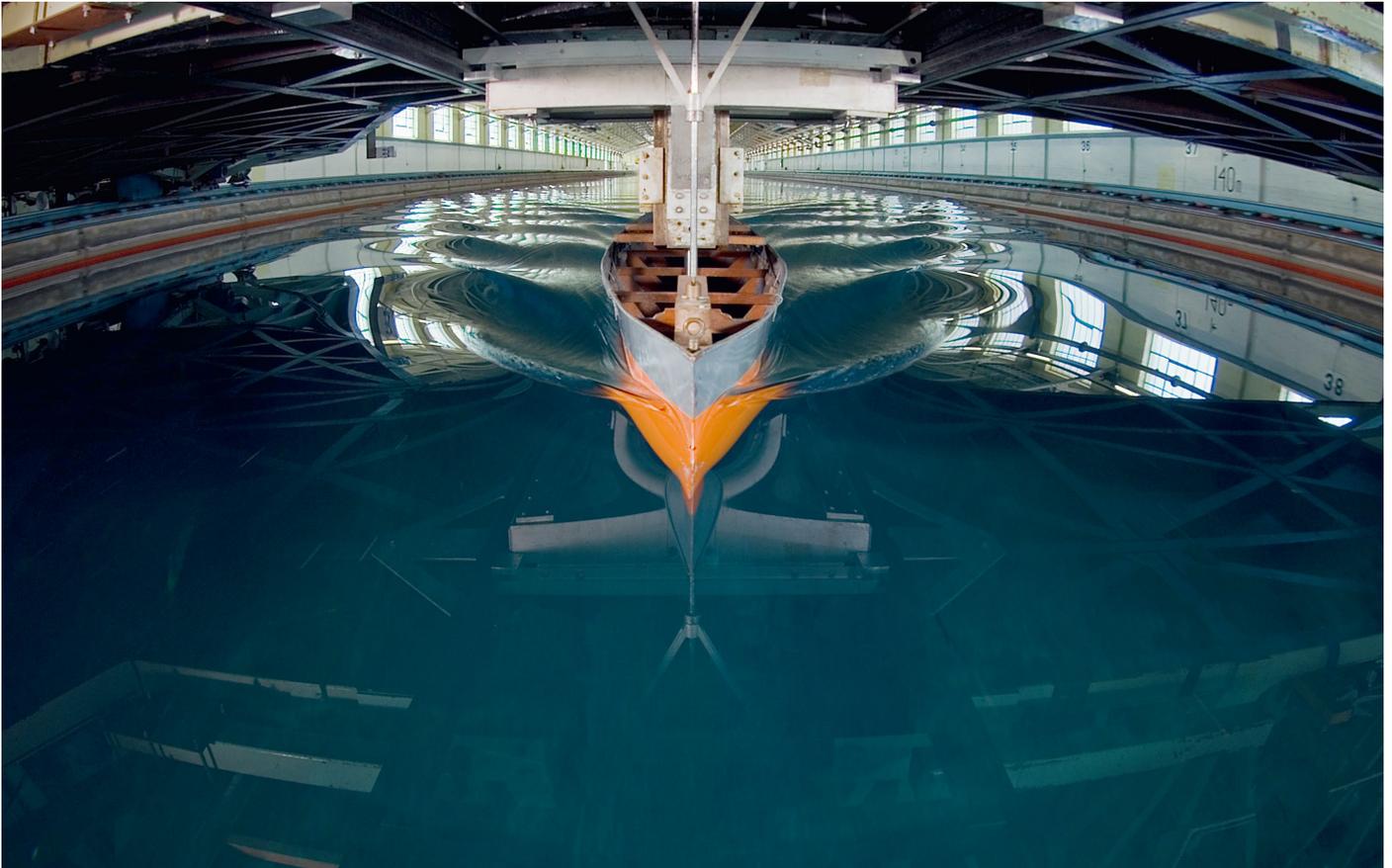
拖曳水池在许多不同的船模测试中起着关键作用。例如，利用拖曳和自航模型进行阻力和推进测试，以确定达到船厂与船东之间合同上规定的船速所需的引擎功率。拖曳水池还可用在缩小测试中，用以确定船舶的操纵性能。在此情形下，自航模型以不同方向舵偏角，进行一系列之字形操纵。

为扩大其应用范围，拖曳水池可加装平面运动机构 (PMM) 或电脑控制平面运动拖拽设备 (CPMC)。利用上述装置，测量斜向进流和强迫运动在船舶或水下物体上引起的水动力和力矩。

还可在拖拽水池上安装造波器，进行耐波性测试。造波器可模拟自然 (不规则波) 波，或者在模型上作用波包：根据利用此方法获得的统计数据，预测遇到不同峰值和频率的实际波浪时，船舶可能出现的航行性能。

然而，这些应用并不仅限于船舶。一些专门的测试中心还利用拖曳水池，研究直升机或飞机在水面紧急迫降时的表现。利用模型飞机进行水上迫降模拟时，需将机身固定在高架轨道下方。当模型向前移动时，两个垂直执行机构以可调的入水角将其放入水中。此方法用于测试不同入水剖面下的多种配置。

压电式六分量力传感器或含有三轴压电式传感器的测力仪在所有这些应用中起着关键作用，包括：测量引导力和引导力矩。这些测试中，通常要求传感器具备防水能力。有些时候，同时测量了加速度、力和力矩，因此，可根据 MEMS 系列电容式加速度计的信号计算出倾斜度。



拖曳水池拖拽设备设置 (来源: 奎奈蒂克 (QinetiQ) )

## 核心技术

- **高测力范围和高力矩处理能力**

得益于选择了正确的电荷放大器设置, 压电技术可用在超高载荷下测量非常小的力变化。优点: 用途广泛、体积较小且安装方便。

- **高低频响应能力**

压电技术具有较高的刚度, 能够承受机械装配产生的高共振频率, 因此可实施高频测量。电荷输出与高绝缘特性相结合, 实现准静态测量。

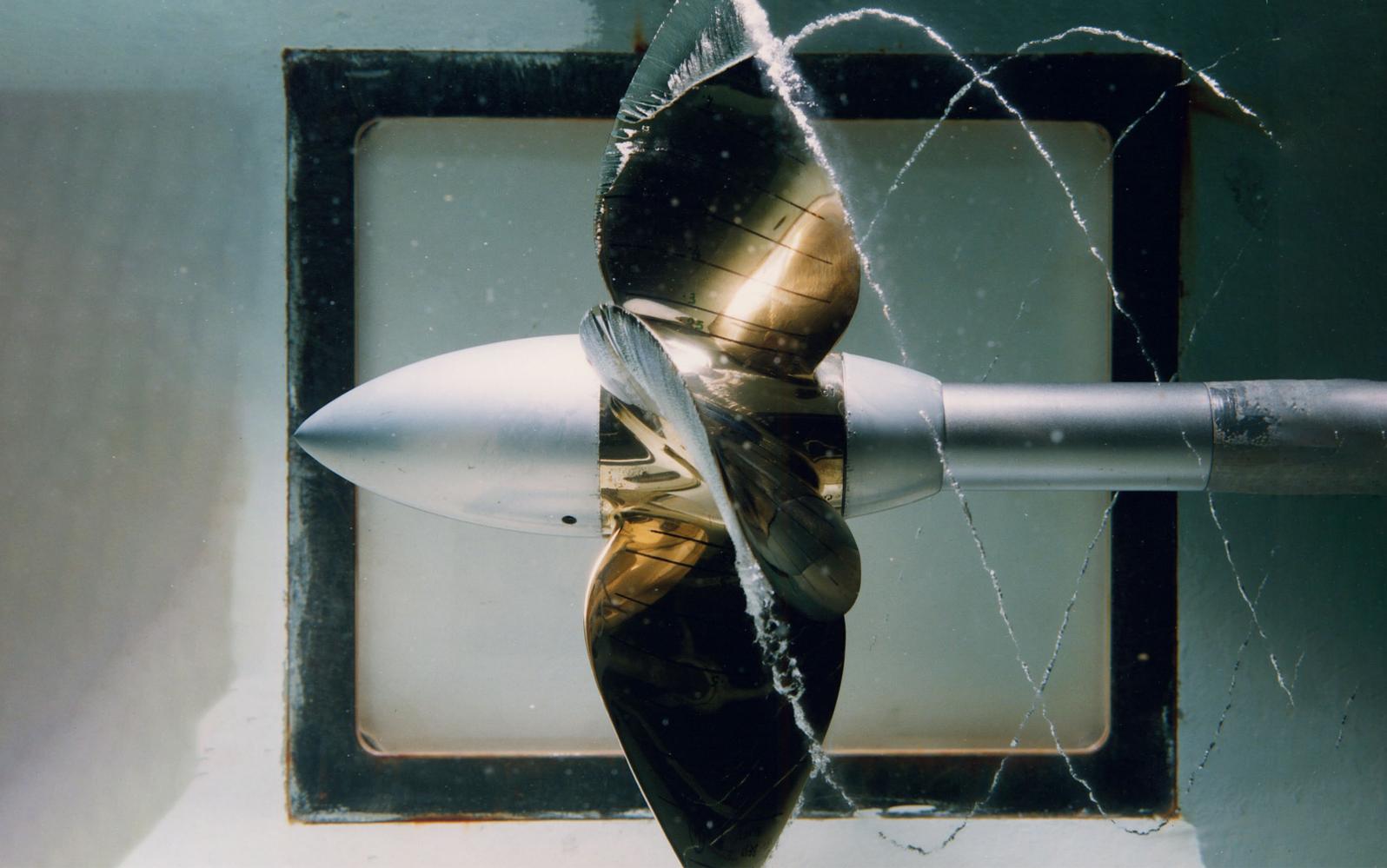
- **高测量精度**

高线性度、低串扰, 确保高测量精度。

- **防水能力**

采用可焊接在传感器上的1698A型电缆。

产品亮点	
	<b>三分量测力传感器系列</b> 9017C至077C型
	<b>六分量力链传感器</b> 9306A型
	<b>高绝缘、防水电缆, 配有焊接接头</b> 1698ACsp型
	<b>八信道准静态电荷放大器和数据采集装置</b> 5167A型



螺旋桨或船体附属体的气蚀现象主要会导致振动幅度显著增大。（来源：Qinetiq）

## 气蚀和螺旋桨引起的噪音和振动

**船上噪音和振动可能引起船上乘客和船员不适；还可能造成船员可能无法有效地履行职责，并可能对敏感设备和船舶及货物结构构件造成损害，甚至可能影响船舶的安全性。现在乘客和船员不太愿意接受噪音和振动引起的不适；因此，船舶设计人员现在把这两种现象视为必须满足日益严格的要求的关键因素。**

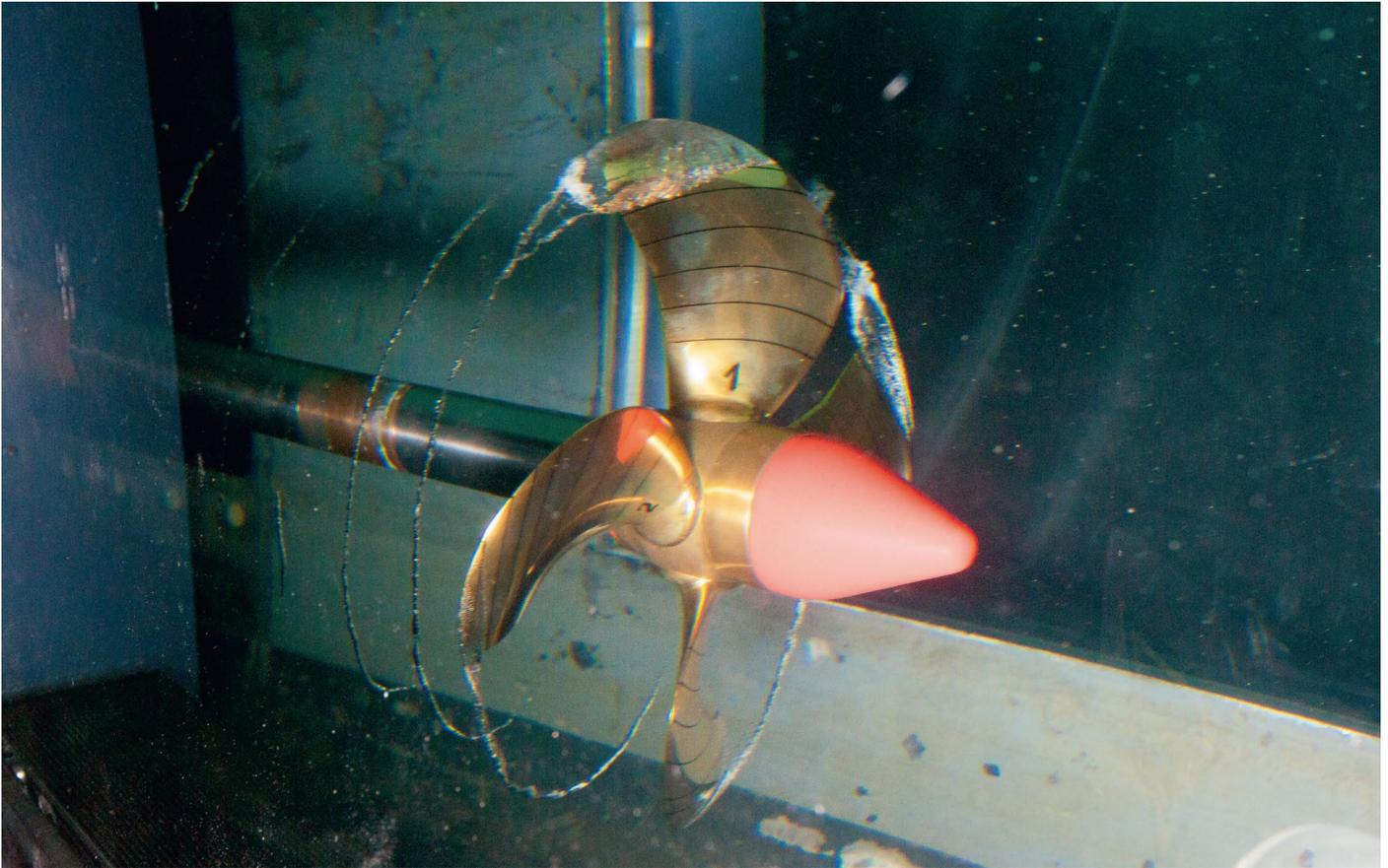
除了主引擎外，螺旋桨是引起船舶振动的主要部位。因此，设计规范中通常包含对螺旋桨引起的压力波动的限制。为减少噪音排放，某些特种用途船舶，例如军舰或科研船及游艇，亦订有噪音限制。

螺旋桨在船体上产生周期性的脉动压力；螺旋桨叶片上偶尔出现的气蚀现象可能显著增强上述脉动力。

考虑到这些问题，螺旋桨测试一般包括压力波动、振动和噪音的测量。这些测试大部分是在气蚀测试水槽内的船舶模型上进行的，但在某些情况下也在真实的船舶上进行测试。

压力脉动极小时（低至几微巴/1E-5磅/平方英寸），测量可选择压电式压力传感器；静态压力等级高时，也可采用此款传感器。可利用此类传感器，对很小的压力脉动进行长期测量，具有很高的分辨率，且在100千赫兹以上的频率范围内具有良好的信噪比。

在螺旋桨上直接测量振动，以便对经过降噪处理的螺旋桨进行分析和对比。高频声发射传感器可在专用轮毂盖中与前置放大器和发射机组合，测量以五万赫兹以上频率在结构物表面传播的声波。



在气蚀测试水槽中，压力传感器放置在螺旋桨上方的船尾区域或者船体上的相关位置。（来源：SVA Vienna）

## 核心技术

### • 齐平安装脉动压力传感器

测量低至几微巴/1E-5磅/平方英寸的压力脉动时，需选用具备高灵敏度的齐平安装压电式压力传感器（例如，601C系列）。必要时，可选用IP68级电缆，以满足应用要求。

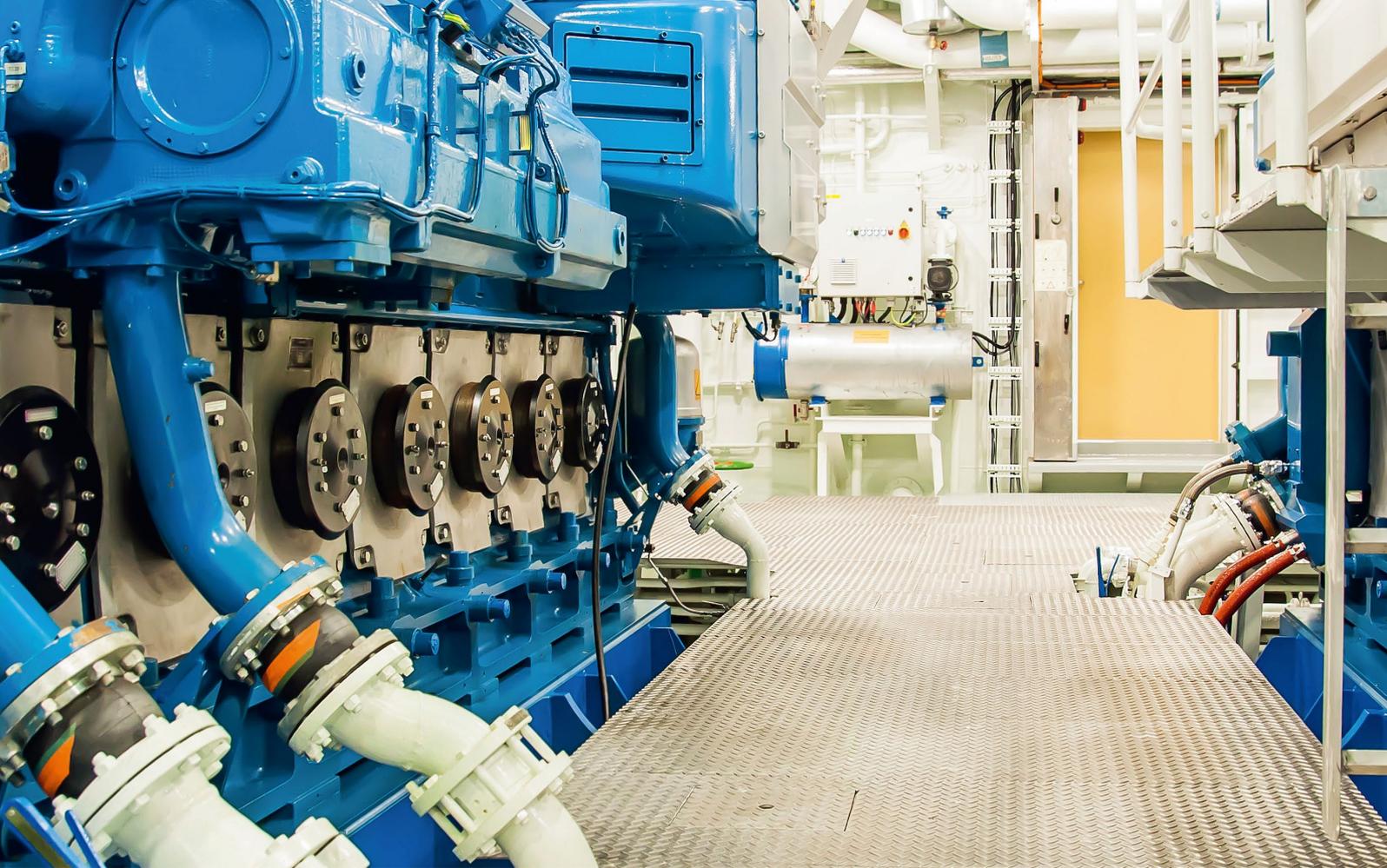
### • 防水加速度计

有时候需要将加速度计安装在测试筒内，与水直接接触。此时，需要防水能力达到IP68级（压力等级为10巴/150磅/平方英寸）的微型传感器。出厂前，奇石乐所有防水加速度计都经过了压力水测试。

### • 具备声发射测量能力

在气蚀过程中进行表面声波测量时，可以遇到两万赫兹以上的频率。在这些情况下，要求声发射传感器具备高达1兆赫兹的频率范围能力。

产品亮点	
	<b>PiezoStar IEPE压力传感器系列</b> 601C型
	<b>IEPE微型单轴防水加速度计系列</b> 8774B...sp和8776B...sp型
	<b>IEPE微型三轴防水加速度计系列</b> 8763B至CBsp型
	<b>声发射传感器</b> 8152C型



机械噪音和振动的主要来源是动力系统和推进系统。但是管道、空调、压缩机、动力传动系统、电动机、系泊机械以及货物装卸和控制设备也会产生噪音和振动。

## 降噪——由流动引起且结构物传递的噪音和振动

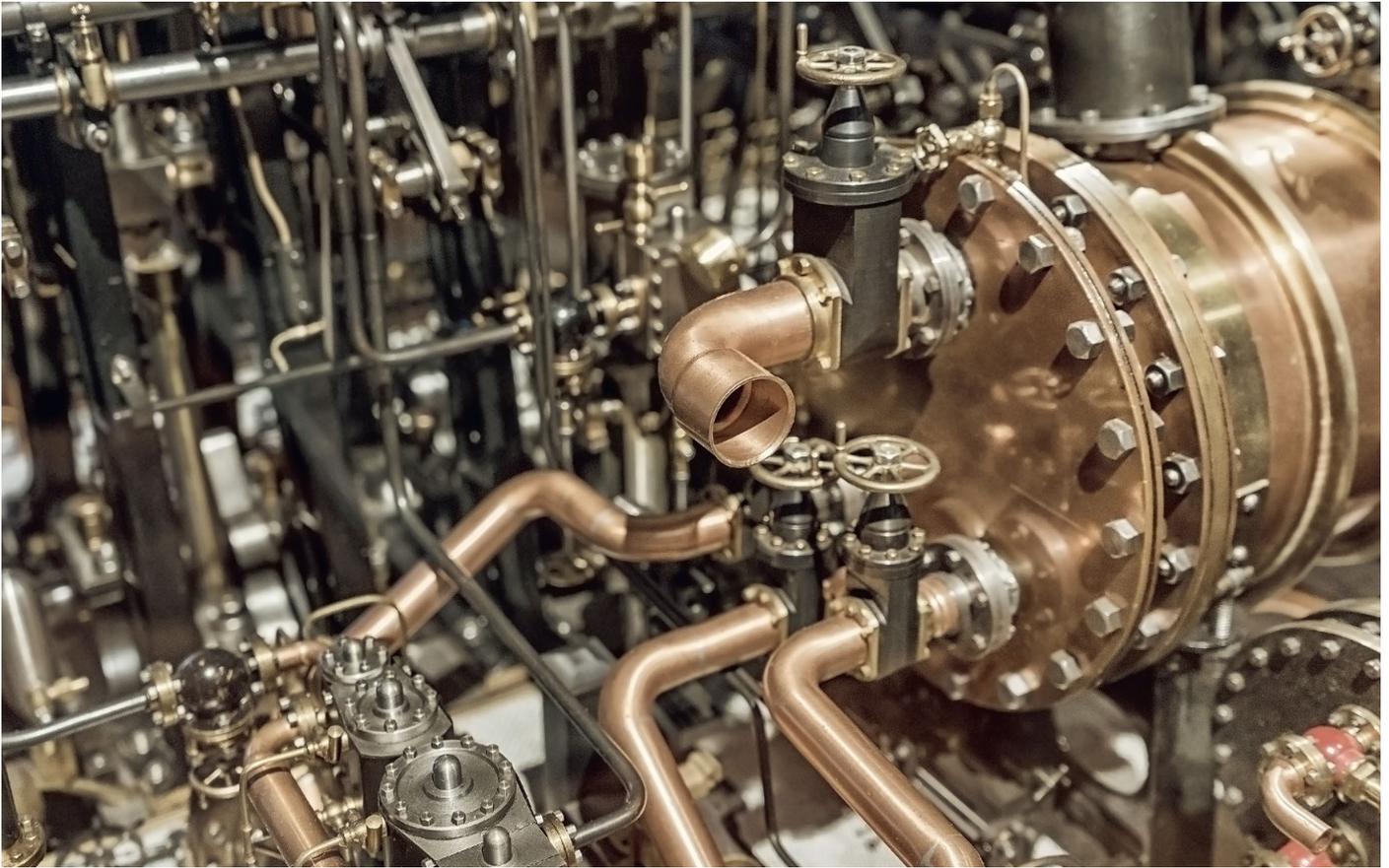
**机械噪音和振动研究，旨在提高乘坐舒适性、可靠性、耐久性和静音效果。为方便理解和优化性能，本节内容对结构物性能以及诸多噪声源和振动源特征进行了阐述。**

在以柴油机为动力和推进装置的船舶中，运行振动能够从引擎底座传播至整条船舶。此类振动通常表现为可以听到的噪音，亦可通过船只结构物传递的振动而被感知；声波信号也能激发机械振动。

船舶还可依靠电动机实现电力推进：在此情况下，电力由柴油引擎或发电机提供。电动机产生的噪音和振动可能来自机械和气动源；也可能具备电磁特性，表现为电动机的“呜呜声”。

使用蒸汽和燃气轮机驱动的船舶也会受到噪音和振动的影响。即使以适当的时间间隔或根据使用情况进行了预防性维护，但是，轴承和轮机叶片的磨损也可能造成振动加剧（例如，轮机叶片通常在平稳的气流中旋转）；但是，随着使用的增加以及老化的加剧，会逐渐产生缺陷，导致进气口和叶片表面出现麻点；这转而产生了气流涡旋，引起性能损失和振动。影响振动的因素包括需求或载荷增加等操作因素、天气或海洋条件以及操纵。

进行上述现象研究时，使用低噪单轴和三轴加速度计。进行水下测量时，还需要具备防水能力。



轴承和叶片失衡会导致蒸汽和燃气轮机产生振动；随着轮机部件的老化，这种失衡现象会逐渐加剧，最终导致振动水平增加。

## 核心技术

- **宽带宽/高分辨率**

加速度计具备多种重量范围、频率范围和分辨率，可根据振动源选择。单轴和三轴陶瓷加速度计适用于振动范围为50g~2000g，宽带噪声低至0.0004g且频率高达两万赫兹的工况。

- **安装灵活/方便**

当无法利用测试件上的螺纹孔安装加速度计时，可利用粘合剂或磁力进行直接安装，或者利用安装附件安装。

- **与地绝缘**

最佳做法是在测量链内设置一个接地点，避免产生可能降低信噪比的接地回路。加速度计既可采用整体对地隔离方式，进行直接安装；亦可利用对地隔离的底座附件进行安装。

- **防水加速度计**

有时候，加速度计需要浸没在水中。此时，往往需要防水能力达到IP68级（压力等级为10巴/145磅/平方英寸）的微型单轴和三轴加速度计。出厂前，奇石乐所有防水加速度计都经过了压力水测试。

产品亮点	
	<b>IEPE微型单轴低噪加速度计</b> 8774B050A和8776B050A型
	<b>IEPE微型三轴低噪加速度计</b> 8763B050BB型
	<b>IEPE微型单轴防水加速度计</b> 8774B050sp和8776B050sp型
	<b>IEPE微型三轴防水加速度计</b> 8763B050CBsp型



船舶的结构物振动和相关损伤既影响结构物的安全性，亦影响船员的舒适度和设备的正常使用寿命。因此，在工程实践中需要特别关注振动水平。

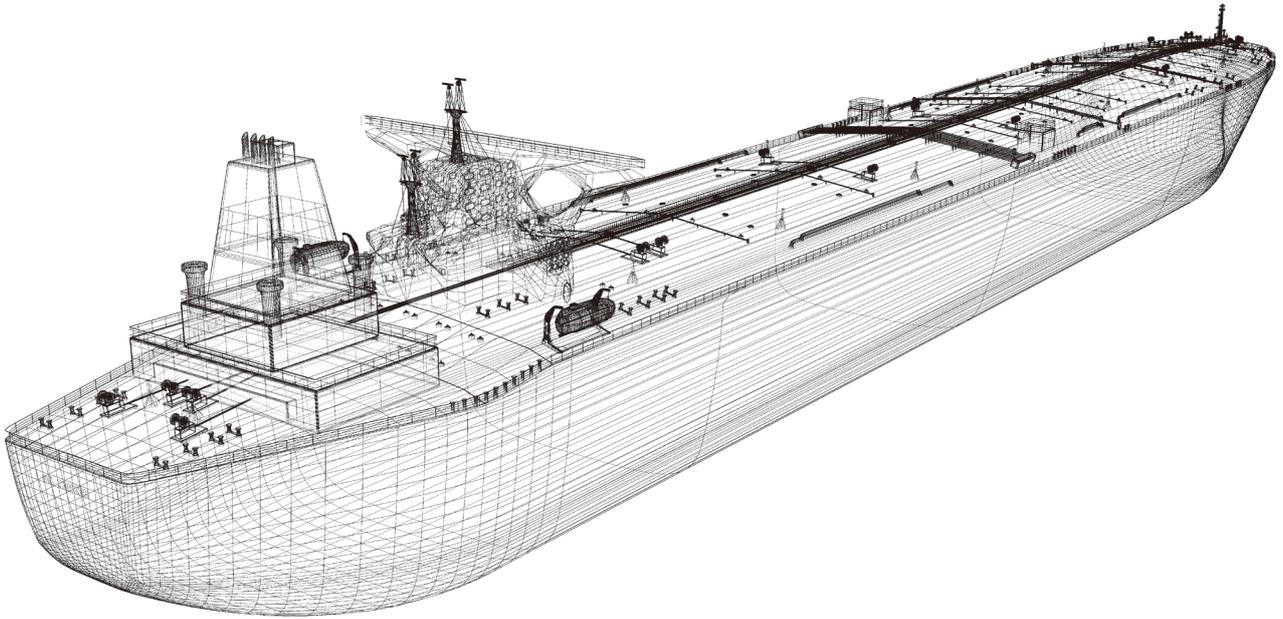
## 模态和结构分析

**船舶的结构振动和相关损伤既影响船舶结构的安全性，亦影响船员的舒适度和船舶设备的正常使用寿命。因此，在工程实践中需要特别关注振动水平。可根据结构测试中得到的数据进行模态分析，对结构响应进行定性描述；然后，根据设计规范对其进行评估。**

当船舶在海上航行时，它们不断地暴露在不同的波浪载荷下，进而发生刚体运动和变形。其中船舶变形主要有两种形式：准静态响应和动态响应。前者仅依赖于结构的刚度分布，而后者还取决于质量分布。可利用其模态参数对船舶的动态响应特征进行描述。

弹振和颤振是船舶的两种相关动态响应形式。前者是双节点弯曲模态在连续波荷载作用下的稳态共振；而后者是由碰撞等现象在船体上引起的瞬态弹性振动。颤振通常会产生较高的加速度，从而导致货物损失；它们还可能产生较高的应力，导致疲劳累积增加，甚至超过极限强度。设计过程中需要充分考虑这些动态影响。

传统的模态参数识别方法依赖于对荷载以及结构对荷载响应的准确掌握。船舶的激励信号很难测量，这就给传统的模态参数（即模态频率、模态阻尼和模态振型）识别方法带来了难题。此外，考虑到船舶是一个如此巨大的结构物，在不引起局部塑性变形的情况下，难以人工产生足够的能量来激发其整体振动。为了克服这些挑战，当唯一需求是测量船舶航行时的动态响应信号时，通常会选择运行模态分析法：即，使用加速度计。通常选用标准型和IP68级防水性能加速度计。为了成功完成测量，必须满足多项关键技术要求，包括：水密性（有时压力高达10巴/150磅/平方英寸）、小体积和轻量化设计（以避免产生质量载荷效应）、宽频率范围和极低噪音水平（以测量振幅很小的信号）。



传统的模态参数识别需要精确的载荷及结构载荷响应的知识 – 这是稳定运行的关键因素

## 核心技术

- 低噪音**  
 陶瓷加速度传感器系列具有低噪音性能，因此可测量在模态分析研究中经常遇到的非常小的信号。
- 平滑的频率响应**  
 奇石乐IEPE模态传感器具有平滑且可重复的频率响应，尤其适合低频工况。我们还可根据需要向客户提供低频校准证书和相位响应特性。奇石乐提供MEMS电容式加速度计，用于研究模态参数中的最低频率。
- 便于携带，安装快捷简单**  
 配有专用夹具或外壳，方便传感轴灵活定位。
- 防水加速度计**  
 进行运行模态分析时，必须将加速度计安装在船体上。因此，需要防水能力达到IP68级（压力等级为10巴/150磅/平方英寸）的微型传感器。出厂前，奇石乐所有防水加速度计都经过了压力水测试。

产品亮点	
	具备TEDS能力的可转向单轴模态传感器 8775A型
	IEPE微型单轴防水加速度计 8774B050sp和8776B050sp型
	IEPE微型三轴防水加速度计 8763B050CBsp型
	MEMS直流三轴电容式传感器系列 8396M0x型



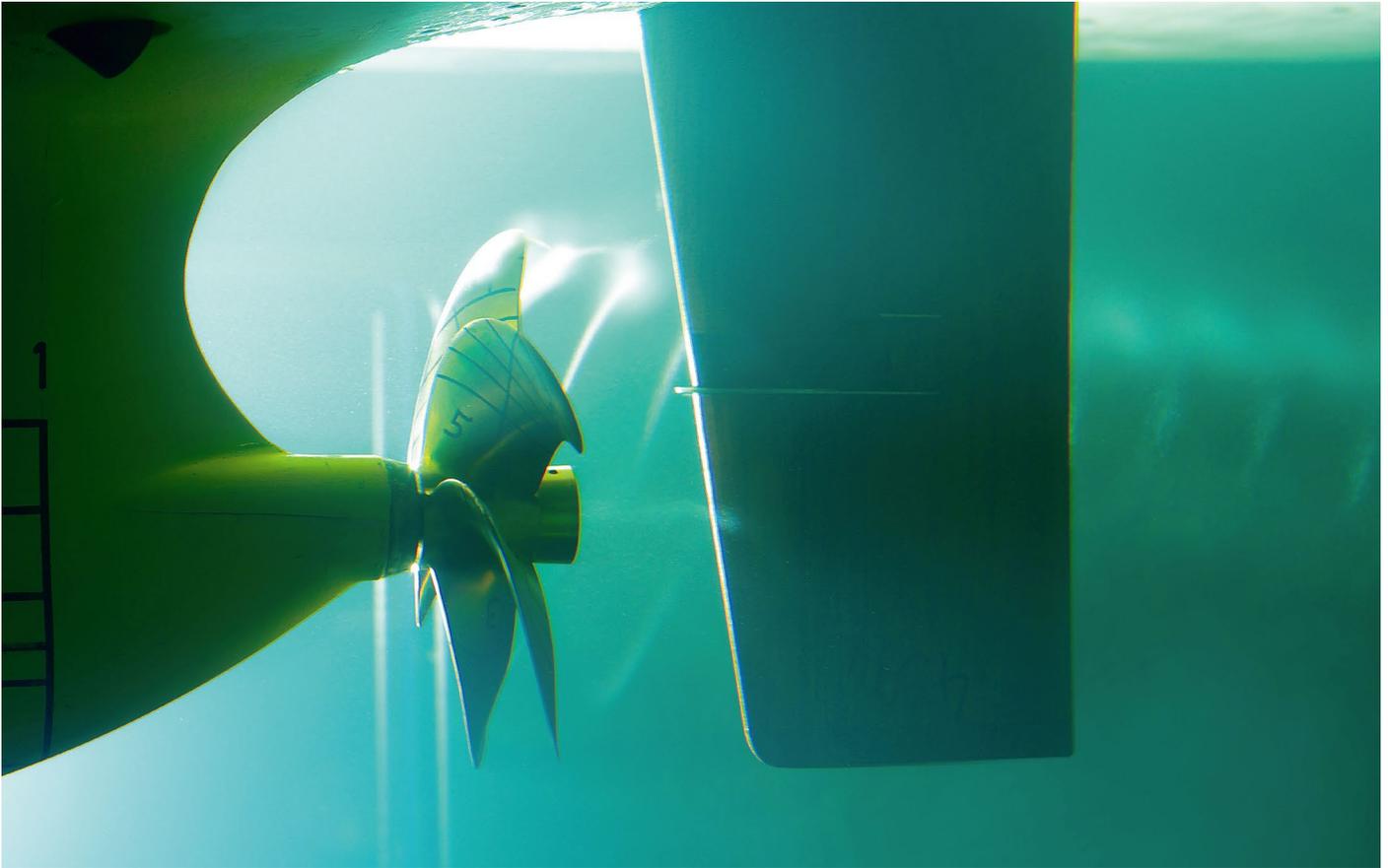
近年来，为了提高螺旋桨的使用效率，降低螺旋桨的噪声，人们越来越重视对螺旋桨的研究。

## 推进性能研究和优化

船舶螺旋桨的研究主要聚焦在以下几个方面：**工作效率（将旋转轴传递的动力转化为推力）、螺旋桨设计（包括桨叶设计、桨叶数量和桨距）、静噪等。**采用螺旋桨的推进系统可能产生多种振动（**扭转、轴向/纵向和/横向振动**）和辐射水声。

螺旋桨在空间非均匀尾流中工作，因此水下船体的螺旋桨推力和边界压力等参数会出现波动，从而产生显著的声学特征。

除了本手册中已经描述的气蚀分析外，用于研究作用在螺旋桨轴上的力和扭矩的方法还包括静态测试台、气蚀测试水槽和拖曳水池或波浪水池中进行的自航模型测试。



用于研究作用在螺旋桨轴上的力和扭矩的方法还包括静态测试台、气蚀测试水槽和自航模型测试。（来源：德国汉堡船模实验室（HSVA））

## 核心技术

### • 高固有频率

旋转设备通常需要通过测量高频率的力和力矩，以谐波函数（例如，转速的倍数）描述测试件和工况特征。例如，3赫兹的固有频率会导致10%的频率为1000赫兹。压电式（PE）压力测量提供了一个更宽的频率范围（>300千赫兹），来描述气蚀效应的特征。

### • 量程

利用PE测量技术，可实现高分辨率的准静态和动态测量，并可通过外部电荷放大器调整量程。例如，力和力矩的不稳定性可以表现为在高静态力下的微小动态力事件，采用PE传感器可以很容易地进行高精度测量。PE压力测量具备与PE力测量相同的优点；但利用IEPE技术测量压力时，量程则是固定的。

### • 应用灵活性

可通过配置，将奇石乐单分量和多分量力传感器配置为符合特定应用要求的测力计；它们足够灵活，可以根据需求的变化适应不同的测力计设计。PE压力传感器的膜片直径小，既可以单独安装，亦可以安装在几个传感器组成的紧密阵列中。

### 产品亮点

	<p><b>PE和IEPE防水压力传感器系列</b> 601C型——IP68级防水能力</p>
	<p><b>三分量力传感器和测力链，配有焊接电缆</b> IP68级防水能力</p>
	<p><b>用于准静态和动态测量的实验室电荷放大器</b> 5080A型——高分辨率 5167A型——内置数据采集装置</p>
	<p><b>定制化六分量推力测量测力仪</b> IP68级防水能力</p>



## 奇石乐服务：助力客户成功

**优质服务是与客户日常互动的基础。但在奇石乐，我们不会止步于“优质”，我们还将根据客户的具体需求，专门定制各种服务方案。**

客户购买奇石乐的传感器或电子测量设备，决不会成为我们服务的终点。当您遇到测量问题时，我们很乐意为您提供建议，并帮助您选择合适部件。我们拥有经验丰富的服务技术人员，可为您提供现场支持，以确保新购奇石乐系统与现有系统以最佳状态完成集成，连接和配置。优点：只需简单介绍，即可展开测量作业。

### 校准和持续记录

我们通过提供校准服务，确保奇石乐传感器在其整个使用寿命期间保持功能完备-这也是准确可靠测量的基础。每次校准均有据可查，无一例外。必要时，我们的测量技术专家也可以直接在客户所在位置进行校准。我们在中国、美国、日本和德国均设有校准实验室，可提供快速有效的现场校准服务。

### 定制化方案

作为一家系统提供商，奇石乐将竭诚为您提供最适合测量需求的完整解决方案。我们的专家很乐意与您一同为您量身打造一套全新的解决方案——以便您在应用时能够获得更好的性能。

### 奇石乐服务

- 指导客户如何定义测量任务并选择合适的部件
- 起运
- 设备校准
- 维修
- 培训
- 定制方案



## 奇石乐 – 为客户提供全球服务

奇石乐拥有全球化的销售和服务网络，使我们能和客户紧密合作，分布于61个地区的2000多名员工致力于发展最新的测量解决方案，并根据客户需求提供各个应用领域的现场支持。

**Biomechanics**  
Force measurement solutions for motion analysis, sports performance diagnostics, rehabilitation and ergonomics.

**Brake force measurement in the rail transport sector**  
Simple and economical for precise brake force testing.

**Weigh In Motion**  
Weighing equipment for a wide variety of traffic data collection, environmental and toll-collector applications.

**Test & Measurement**  
Sensors and signal conditioning systems.

**Gas turbine monitoring**  
Measuring combustion dynamics improves turbo-machinery performance.

**Cutting force measurement**  
Force measuring systems for machining.

Now OML certified as well

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

奇石乐集团产品受不同知识产权保护。如需了解相关信息，则请访问网站：[www.kistler.com](http://www.kistler.com)。

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。

### 中国总部

地址: 上海市闵行区申长路1588弄15号楼, 201107  
电话: 021-2351 6000  
邮箱: [marketing.cn@kistler.com](mailto:marketing.cn@kistler.com)  
[www.kistler.com](http://www.kistler.com)

**KISTLER**  
measure. analyze. innovate.