

【水下气动式换能器供能与控制系统构建及优化服务】采购需求

一、采购标的需实现的功能或者目标，以及为落实政府采购政策需满足的要求：

（一）采购标的需实现的功能或者目标

本项目拟采购水下气动式换能器供能结构及控制系统构建服务。外协单位需协助完成水下气动式换能器供能系统的详细设计、校核、系统集成与性能测试及优化，确保系统各环节高效协同、性能达标。

（二）为落实政府采购政策需满足的要求

1.根据《政府采购促进中小企业发展管理办法》（财库【2020】46号）规定，本项目采购标的为中小型企业制造、承建或承接的，投标人应提供办法规定的《中小企业声明函》，否则不得享受相关中小企业扶持政策。投标人应对提交的中小企业声明函的真实性负责，提交的中小企业声明函不真实的，应承担相应的法律责任。

本项目采购标的对应的《中小企业划型标准规定》所属行业为：工业。

2. ☐ 本采购项目允许进口产品参加。

（说明：请项目单位根据采购实际情况在“☐”中打勾（☒）。未进行勾选的，视为只接受本国产品参加）

二、采购标的需执行的国家相关标准、行业标准、地方标准或者其他标准、规范：

采购项目中所含的投标产品及制造商应符合国家有关部门规定的相应技术、计量、节能、安全和环保法规及标准，如国家有关部门对投标产品或其制造商有强制性规定或要求的，投标产品或其制造商必须符合相应规定或要求，投标人须提供相关证明文件的复印件。

三、采购标的概况

（一）采购项目名称：水下气动式换能器供能与控制系统构建及优化服务

（二）采购数量及计量单位：1 套

（三）最高限价：人民币62 万 元。

（四）交付时间：合同签订后150 天内。

（五）交付地点：西安交通大学曲江校区西二楼。

(六) 付款进度安排： 验收通过后支付全部款项。

四、采购标的需满足的质量、安全、技术规格、物理特性等要求：

本项目服务内容涵盖水下气动式换能器供能结构及其控制系统的协同设计、构建与技术保障。外协单位需全程参与供能系统的详细设计、模型校核、及相应的硬件供给与工程实施，服务周期为 2025 年 8 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日。项目以测试各项技术指标符合采购方要求为交付标准，确保系统能够在实际应用环境中稳定可靠运行，实现高质量、全流程技术支撑和成果交付。具体包括：

①系统建模与校核计算：基于项目需求，对气流循环供能系统进行多物理场数学建模与数值仿真，系统性分析供能结构的能量输出能力，并量化其对后端含气动式振膜的发声腔的声学性能影响，确保设计参数科学合理，满足高声强、宽带低频发声的应用需求。

②结构与控制系统优化：协助完成供能腔体、气路及比例阀门等关键部件的优化设计，提升系统的气密性、压力/流量控制精度及工作稳定性。**关键压力参数要求如下：**

1) **供气源：**采用空气压缩机及配套储气罐，最大输出压力 $\leq 5\text{MPa}$ ，可满足水下换能器高压供能需求（由采购方实施采购）。

2) **正常工作压力范围：**根据声源工况可设定 $0.1\sim 5.0\text{MPa}$ ，建议常用工况压力不超过 4.0MPa ，最大压力不得超过 5.0MPa 。

3) **最大设计压力：**所有承压部件（气罐、管道、阀门等）设计压力不低于 5.5MPa （含安全裕度），推荐采用 $\geq 6\text{MPa}$ 。

6) **耐压极限：**系统所有气路及压力容器需通过 5MPa 及以上耐压测试，在测试压力下无泄漏、无结构损坏。

7) 阀门、气罐等关键部件最大允许压差： $\geq 5\text{MPa}$ ，动态响应时间 $<100\text{ms}$ 。

8) 静态/动态泄漏率： $\leq 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 。

9) 设备在水下 20 米等效 0.2MPa 静水压下，仍须确保密封及结构安全性。

执行标准与规范：

1) 气罐、管道、阀门等压力元件设计与制造须严格遵循 GB/T 150.1-2024《压力容器》、TSG 21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》等国家强制标准。

2) 若采用进口设备/部件，需参照 ASME BPVC VIII 或 EN13445 等国际标准，并提供合规性证明材料。

3) 所有压力部件须具备出厂合格证及压力测试报告。

安全附件与检测：

- 1) 必须配置安全阀，设定压力不高于 5 MPa；安全阀、泄压阀、压力表、压力传感器等须满足高压气体环境下的响应与精度要求。
- 2) 设备投入运行前，需完成 5 MPa 耐压测试与气密性测试，并提交第三方检测机构检测报告。
- 3) 储气罐等压力容器须满足《中华人民共和国特种设备安全法》及相关法规对高压气体储运的要求。

投标单位提供供能部分设计方案和设备选型，经采购单位确认后，由采购单位实施购买并交由投标单位整装调试。部分必要压力设备建议清单如下：

序号	设备名称	实行标准	备注
1	空气压缩机	《GB 19153-2019 容积式空气压缩机能效限定值及能效等级》 《GB/T 10892-2021 固定的空气压缩机 安全规则 and 操作规程》	最大输出压力 ≤ 5 MPa，带自动保护与压力调节功能
2	高压储气罐	《GB 150-2011 压力容器》 《TSG 21-2016 固定式压力容器安全技术监察规程》	设计压力 ≥ 6 MPa，带安全阀、压力表、第三方检测报告
3	气路管道	《GB 50646-2020 特种气体系统工程技术标准》 《GB 50235-2010 工业金属管道工程施工规范》	建议参数详见 3.1
4	增压泵	《JB/T 6538-2018 往复式增压泵》	
5	安全阀/泄压阀	《GB/T 12241-2021 安全阀 一般要求》	设定压力 ≤ 5 MPa，须通过第三方校验，易损件
6	法兰连接螺栓	《GB/T 5782-2016 六角头螺栓》	易损件

③全过程质量管控与性能测试：在系统设计、加工、集成过程中，开展全流程质量控制和性能预评估；项目完成后，配合第三方权威机构及采购方现场共同进行系统测试和验收，包括声压级、频率响应、能量转换效率等核心技术指标。

④技术文档与交付：提供完整的设计说明书、仿真与校核报告、操作与维护手册等技术资料，纸质文档三份，电子文档一份，确保项目技术成果可追溯、可应用、可维护。

⑤控制模块由投标单位设计，并由投标方采购的设备元件，部分设备建议清单如下：

注：本清单未详尽列出的必要设备/零部件由投标方按照满足采购方设计目的而自行进行购买，且本合同价已经涵盖全部为达到采购方实验目标所需采购的全部零、部件。

序号	设备名称	实行标准	备注
1	压力变送器	GB/T 28474.1-2012	输出：电流、电压、RS485；压力测量范围：-100kPa~0...10kPa~60MPa；温度漂移 1.5%FS(在温度补偿范围内)；温度条件：-20~85℃；
2	差压变送器	GB/T 28474.1-2012	压差测量范围：0~100kPa.....8Mpa；供电方式：18-36VDC、标准 24VDC；输出方式：电流、电压、RS485；重复性 0.1%FS(一次循环)；滞后性 0.1%FS(一次循环)；工作温度：-55~200℃
3	深海电缆	GB/T 51190-2016	直流电阻 $\leq 0.025\Omega/\text{m}$ ；弯曲半径 8~10D(D 为电缆半径)；工作温度：-40~75℃；耐静水压力：横向 27MPa，纵向 10MPa
4	电缆插件	GB 2099.7-2024 GB/T 19290.7-2021	工作温度 -40~95℃、耐静水压力：75MPa~127MPa 横向，75MPa~127MPa 纵向；机械寿命 ≥ 1000 次
5	伺服电机	GB/T 16439-2024	额定输出功率： $\leq 1000\text{W}$ ；最高转速 $\leq 5000\text{min}^{-1}$ ；
6	伺服放大器	GB/T 16439-2024	使用环境温度：-5℃~55℃；使用环境湿度：95%RH 以下（不得冻结、结露）；

其中传感器所需接口需配套设计。

（一）功能需求：

1. 动态压力与流量控制

所构建的比例阀门控制系统应能够在 4 Hz 至 1 kHz 的指定频段内，控制电机的输出功率不超过 500W，电源电压在 AC200V~240V，额定电流不低于 2.0Arms，额定转速不低于 2500。实现对气流压力和流量的动态精准调节，保证在不同工作模式下，系统均可稳定输出所需的气体动力参数，适应多种声学发声需求。

2. 长期稳定可靠运行

供能系统及其控制模块须具备高可靠性设计，能够在水下环境下持续稳定运行较长时间 (≥ 60 分钟)，支持长周期连续发声和多频段切换，无需频繁维护，确保任务期间系统性能不衰减。

3. 优异气密性与耐压能力

整体结构及各密封接口应具备优良的气密性，能够承受不低于 297.325 kPa 的静水压力，约 3 个标准大气压，保证腔体及气路在高压水下环境中无泄漏、无渗透，适配深水作业需求。

3.1 气路管道需满足的参数

参数类别	参数值/要求
设计压力范围	0.1~5.0MPa（与空压机及储气罐一致）
最大工作压力	≤5.0MPa（建议常用压力≤4.0MPa）
最大设计压力/耐压测试压力	≥5.0MPa（≥1.2 倍最大工作压力）
管道材质	主推：316L 不锈钢无缝管； 高耐蚀选项：超级奥氏体不锈钢（254SMO 等）、双相钢（2205 等）、钛合金等； 密封件：耐海水腐蚀材料（氟橡胶、TPU 等）
公称直径范围	主气路：20~50 mm（内径）（或按实际需求确定）； 支路：按实际流量需求确定
接口标准	GB/T 9119-2010、GB/T 14383-2021 等标准法兰或快插接头；需标注压力等级与方向标识
耐压测试要求	≥6.25MPa（1.25 倍最大工作压力）静压测试，≥40 分钟，无泄漏
耐腐蚀性能	3.5%氯化钠海水环境下： • 24 个月点蚀速率≤0.02mm/a • 无穿孔/严重点蚀坑
气密性参数	静止/运行状态下泄漏率满足： • 高压管道常规要求（如压降≤0.05 MPa/h） • 或按项目需求设定
气密性测试标准	依据 GB 50235-2010 或 GB/T 20801.5-2020： • ≥6.25 MPa 压力保持不低于 60 分钟 • 无可见泄漏/气泡/渗漏 • 压力表无显著回落

关键说明：

- 1) 压力安全裕度：测试压力（6.25 MPa）严格高于最大工作压力（5.0 MPa），符合 1.25 倍安全系数要求；
- 2) 腐蚀防护：明确海水环境腐蚀标准，材料选择覆盖主材与密封件；
- 3) 合规性：接口与测试标准引用现行国标（GB/T 系列），确保工程合规性；
- 4) 可操作性：气密性参数给出具体量化指标（如 0.05 MPa/h）与项目定制灵活性。

3.2 安装、接口与维护规范

- 1) 所有气路管道与阀件应便于现场装配、拆卸、维护，接口部位有规格与方向标识，优先采用法兰或快插等标准连接。
- 2) 关键部件需预留检修空间，安装/拆卸无需特殊工具，便于现场快速维护与更换。
- 3) 系统集成后，需配合采购方及第三方完成耐压、气密性、流量、压力响应等多项测试及必要的优化升级，并提交权威检测报告。

4. 远程智能控制

系统须集成完整的远程控制与监测功能，支持通过上位机或其他智能终端，对比例阀门及供能系统的各项参数（如压力、流量、频率等）进行实时监控及远程调节，满足复杂水下应用场景下的灵活控制要求，传输距离 ≥ 200 m。其他建议参数：控制指令更新率 ≥ 2 kHz，指令延迟 ≤ 1 ms，带宽 ≥ 5 Mbps，抗工业级 EMI，建议采用光纤 EtherCAT 和防水接插件。

5. 紧凑轻量化结构设计

主体结构设计应充分优化部件布局与选材，在保证功能和性能的前提下，最大限度减小设备体积和重量（不含附属设备），便于水下布放、回收与运输，提高系统的集成度和工程适应性。

（二）交付内容：

1. 完整气动供能结构系统

提供包含比例控制阀门、高低压气流循环腔室、气路管道等核心部件在内的成套结构系统，其中比例控制阀门控制精度保持在 $\pm 0.1\% \sim \pm 0.2\%$ FS，采购方提供阀门控制单元所需定制材料，包括但不限于 316L 不锈钢、7075-T6 铝合金材料、阀门控制电机，外协单位提供阀门整套设计图纸以及整套阀门控制系统实物。该系统集成度高，所有接口齐全，便于直接联调与集成至水下换能器总成。

2. 远程控制设备及解决方案

配备（供给）完善的硬件控制设备和软件控制平台，用于驱动和监测换能器的运行，对比例控制阀门运动，以及气流循环过程中涉及的关键参数实现精确调节与实时远程监测。控制系统主要包括传感器（含压力、温度等传感器）、控制器（含主控制器、阀门控制器、电机控制器、数据采集卡）、执行器（伺服电机）、通信链路、用户界面、电源。其中所有硬件设备和软件版权由采购方提供，投标方需要在设备制造过程中根据控制要求和传感器功能对传感器、控制器、电源等部件及各自走线进行合理布局，建立高效且高可靠性的通信链路。要求最终控制系统：1）具有在水下相对恶劣环境下工作的高可靠性；2）比例阀控制气流的高精确性；3）传感器数据采集和系统快速响应的实时性。

3. 设计说明书（含理论与仿真）

提供详细的设计说明书，内容涵盖系统理论设计依据、关键参数计算过程、多物理场仿真分析说明、结构设计图纸等（含电子版），为后续系统维护、升级与技术追溯提供完备技术文档。

4. 使用说明书（含电子版）

编制系统操作与维护手册，明确各模块的操作流程、参数设置、日常维护、常见故障及排查方法，保障用户能够安全、规范、便捷地使用和管理设备。

5. 声学性能校核与论证报告

提供针对各功能模块的声学性能校核与论证过程，包括仿真计算、理论分析、实验测试等环节，系统性说明设备在目标工况下的声压级、频率响应、输出效率等关键声学指标的达成情况。

6. 主要性能指标

编制涵盖系统核心技术参数、测试结果及验收标准的主要性能指标表，作为项目交付和验收的重要参考依据。

（三）主要性能指标

1. 宽频动态控制与气密性保障

通过控制系统操控的比例阀门须支持 4 Hz 至 1 kHz 的全频段开关与比例调控，具备响应速度快、调节精度高的特点。同时，阀体及系统整体在频繁切换工况下须保证良好的气密性，无明显泄漏或渗透现象。

2. 阀门结构尺寸与机械性能

单个比例阀门的最大直径不得超过 0.25 米。阀体及其运动部件采用高强度、耐磨损材料设计，材料不限于 316L 不锈钢、铝合金，建议选择 7075-T6 铝合金，法兰平面度控制在 0.2 mm 以内，要求有至少 8 个开闭合孔位，阀门组成零件需为可替换件，且各组成零件之间的距离保持不超过 1mm，以确保键槽宽度的适配性和密封功能的可靠性。同时需确保在长期运行及高频启闭过程中具有优良的抗摩擦性和抗压能力，延长使用寿命并降低维护频率。

3. 储气腔室结构规范

储气腔室采用圆柱形设计，最大直径不超过 1 米。腔体材料和制造工艺需满足水下高压、高气密性等应用要求，并便于系统集成和后续扩展。

4. 阀门耐压能力

比例阀门两侧须能承受定压工作状态下（空压机输出上限为 5 MPa）实际阀门两侧的交变压力，保证在高压差工况下依然能够稳定、可靠地运行，无卡滞、变形或泄漏。

5. 远程控制与通讯能力

控制系统须支持不小于 200 米的远程稳定工作距离，具备抗强电磁干扰能力和实时数据

传输功能，确保在复杂水下环境中的远程操作和状态监测的可靠性。

供货方需对设计选型费、实验装置安装调试费和硬件供货部分进行分项报价。

五、采购标的需满足的服务标准、期限、效率等要求

1. 质保期： ≥ 2 年，质保期内免费维保≥2次/年，免人工服务费。质保期满后，仍需提供专业维修服务，投标人在投标文件中需注明维修服务单项报价。
2. 服务响应时间：接到维修电话后 4 小时内给予明确答复，8 小时内到达现场维修。维修人员到现场后若问题特殊无法现场修复的，供货方需在 24 小时内给出合理解决方案。
3. 培训要求：提供培训电子资料及视频；供方免费为用户培训至少 1 名操作人员进行为期至少 2 天的现场操作培训以及应用培训，保证用户掌握有关设备的使用、维护、管理和应用等工作要求。不定期的免费提供相关设备应用方面的技术咨询等。

六、采购标的的履约验收标准

现场的检验指标及方法		
序号	功能或指标	验收或测试方法
项目建设单位验收要求：		
1	货物外包装与外观无损伤	现场核查
2	货物配置、包括备品备件、耗品耗材等提供齐全，货物实物品牌、规格、型号、配置数量与采购结果、合同约定相符。	依据《合同》及其附件（包括但不限于《采购需求》《供应商投标（响应）文件》《投标澄清函》《技术协议》等）约定，现场核查。
3	所有功能和指标参数（包括边界极限值）达到采购结果合同约定要求。	依据《合同》及其附件（包括但不限于《采购需求》《供应商投标（响应）文件》《投标澄清函》《技术协议》等）约定，现场测试，供应商应提供《产品出厂检测报告》《产品合格证书》和根据合同约定提供《第三方检测报告》。
4	提供《培训视频》影像资料	现场核查
5	验证测试设备的运行稳定性	试运行验证测试设备运行稳定达标
6	《供应商货物类项目完工报告》《项目建设单位货物类项目完工自验收报告》《项目建设单位货物类项目完工自验收报告》《第三方检测报告》等与验收相关的材料由项目建设单位妥善保管存档。	
学校验收复核要求：		
1	项目建设单位填写《学校采购货物类项目验收复核申请表》	
2	提供《供应商货物类项目完工报告》	
3	提供《项目建设单位货物类项目完工自验收报告》	

4	学校组织验收专家组现场复核供应商与项目建设单位货物到货完工验收完成情况	
验收时是否需要供应商提供样品	是 ☒	否 ☐
验收时是否需供应商提供必要的其他设备	是 ☒	否 ☐
除现场验收外，需提供的其他验收要求		
除现场验收外，是 ☒ 否 ☐ 需提供第三方检测报告	对于检测机构的要求：国家正规检测机构，出具的检测报告由验收复核专家认可之后作为验收复核通过的主要依据。 对于检测执行标准的要求：各项检测项目标准以检测机构按照行业相关要求最新适用并执行的标准为准。	