



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2025

智能型气液联动执行机构通用技术要求

General technical requirements for intelligent electro-hydraulic actuator
(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 设备组成 2

5 技术要求 2

 5.1 材料与制造工艺 2

 5.2 基本性能要求 2

 5.3 智能控制特性 3

 5.4 环境适应性 3

 5.5 安全与可靠性 3

 5.6 能源管理要求 3

 5.7 液压系统 4

6 试验方法 4

 6.1 材料与制造工艺验证 4

 6.2 基本性能试验 4

 6.3 智能控制功能测试 4

 6.4 环境适应性试验 5

 6.5 安全可靠性测试 5

 6.6 能耗测试 5

 6.7 液压系统试验 5

7 检验规则 6

 7.1 检验分类 6

 7.2 检验项目 6

 7.3 型式检验条件 6

8 标志、包装、运输、贮存 6

 8.1 标志 6

 8.2 包装 6

 8.3 运输 6

 8.4 贮存 6

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

智能型气液联动执行机构通用技术要求

1 范围

本文件规定了智能型气液联动执行机构的设备组成、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存要求。

本文件适用于智能型气液联动执行机构的设计、制造和检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.10 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）

GB/T 3452.1 液压气动用O形橡胶密封圈 第1部分：尺寸系列及公差

GB/T 3452.2 液压气动用O形橡胶密封圈 第2部分：外观质量检验规范

GB/T 3452.3 液压气动用O形橡胶密封圈 沟槽尺寸

GB/T 3452.4 液压气动用O形橡胶密封圈 第4部分：抗挤压环（挡环）

GB/T 3452.5 液压气动用O形橡胶密封圈 第5部分：弹性体材料规范

GB/T 3836.1 爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求

GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 20438.1 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第1部分：一般要求

GB/T 20438.2 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第2部分：电气/电子/可编程电子安全相关系统的要求

GB/T 20438.3-2017 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第3部分：软件要求

GB/T 23156 包装 包装与环境 术语

JB/T 13598 阀门气-液联动装置 技术条件

NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测

ISO 3448 工业用润滑油之国际黏度标准 (Industrial liquid lubricants-ISO viscosity classification)

ISO 4406 液压系统固体颗粒污染物分级 (Hydraulic fluid power-Fluids-Method for coding the level of contamination by solid particles)

NAS 1638 液压系统中使用的零件的清洁度要求 (Cleanliness Requirements of Parts Used in Hydraulic Systems)

3 术语和定义

JB/T 13598界定的及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能型气液联动执行机构 intelligent pneumatic-hydraulic actuator

集成气动动力单元、液压传动系统、智能控制器、传感器及通信模块，具备自主诊断、状态监测、远程控制及数据交互功能的阀门驱动装置。

4 设备组成

智能型气液联动执行机构应由以下基本单元与可选模块构成，各组件功能及配置要求见表1。

表1 设备组成

分类	组件名称	功能描述	配置要求
动力源单元	气源处理组件	过滤、减压、润滑压缩空气	强制配置（含 0.01 μm 过滤器、稳压阀）
	储气罐	稳定气源压力，储备应急动力	容积≥5L（按阀门扭矩匹配）
转换与执行单元	气液转换器	气压-液压压力转换（增压比≥1:20）	强制配置（不锈钢缸体）
	液压执行总成	输出扭矩/推力至阀门	强制配置（含位移反馈机构）
智能控制单元	本地控制器（LCU）	信号处理、逻辑控制、故障诊断	强制配置（工业级 MCU，-40～85℃）
	人机界面（HMI）	本地参数设置、状态显示	可选（防护等级≥IP65）
感知与交互单元	传感器组	监测压力、温度、位置、油位	压力/位置传感器强制配置
	通信模块	远程数据传输与指令接收	强制配置 RS485/Modbus 可选 4G/5G/WiFi※
应急保障单元	手动液压泵	失电/断气时人工操作	强制配置（操作力≤150N）
	安全泄压阀	防止系统超压（设定值110%额定）	强制配置（机械式冗余）

5 技术要求

5.1 材料与制造工艺

5.1.1 承压部件

5.1.1.1 气缸、液压缸应采用高强度铝合金或不锈钢，抗拉强度≥480 MPa。

5.1.1.2 液压系统密封材料须符合 GB/T 3452系列标准的氢化丁腈橡胶（HNBR）或氟橡胶（FKM），其耐温范围应为-40℃～150℃。

5.1.1.3 外壳防护层应通过 1000h 中性盐雾试验，表面无红锈、涂层剥落 ≤5%。

5.1.2 工艺控制

5.1.2.1 焊接部位应进行100% X 射线探伤，合格级别不低于JB/T 4730.2 II 级。

5.1.2.2 液压管路内壁粗糙度 Ra ≤0.8 μm。

5.2 基本性能要求

智能型气液联动执行机构的基本性能应满足表2 的要求。

表2 基本性能要求

项目	要求
扭矩/推力精度	额定值 ±5%（全行程范围内）
重复定位误差	≤ 0.5°（角度型）或 ≤0.1 mm（直线型）
满负载动作时间	90° 回转：≤30 s（可调范围 5～60 s）

最低启动力	$\leq 0.15 \text{ MPa}$ （气源压力）
静态保持力	在 0 MPa 气源下，24h 内位移漂移量 $\leq 1\%$ 全行程

5.3 智能控制特性

5.3.1 核心功能要求

5.3.1.1 自适应控制

自适应控制功能应满足下列要求：

- a) 设备应具备自适应控制能力，通过实时反馈的传感器数据动态调节液压系统压力；
- b) 控制系统可采用PID闭环算法并根据负载变化自动调整输出参数；
- c) 当执行机构输出扭矩超过额定扭矩的110%时，系统必须立即触发过载保护机制并停机。

5.3.1.3 故障诊断

故障诊断功能应满足下列要求：

- a) 油位异常监测：在液压油容积偏差超过 $\pm 15\%$ 时触发二级报警，响应时间不超过2s；
- b) 位置超差监测：实际位置与指令偏差持续大于全行程的5%时判定为一级报警，并在0.5s内执行安全停机；
- c) 电池状态监测：备用电池电压低于临界值（DC 20V）时，提前48h预警并持续记录状态数据。

5.3.2 数据管理要求

5.3.2.1 存储能力

存储能力应满足下列要求：

- a) 事件记录应 $\geq 20,000$ 条，内容至少应包含时间戳、故障代码、操作者ID等；
 - b) 关键参数（压力、温度、位置）应每秒采样，历史数据连续存储 ≥ 30 天。
- 通信协议接口应支持Modbus RTU/TCP、MQTT，此外宜支持OPC UA、IEC 61850-7-420。

5.4 环境适应性

5.4.1 温度适应性

设备的工作温度范围应在 -40°C 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 之间，存储温度范围应在 -50°C 至 $+90^{\circ}\text{C}$ 之间。

5.4.2 湿度耐受性

设备在 40°C 及95%相对湿度无冷凝环境中持续运行96h，电气绝缘电阻应 $\geq 20\text{M}\Omega$ 。

5.4.3 外壳防护等级

设备主体防护等级应为IP67，控制面板防护等级应为IP54，测试方法应符合GB/T 4208的相关规定。

5.4.4 防爆性能

设备应用于防爆场所应取得防爆等级认证，并应符合GB/T 3836.1的相关规定。

5.4.5 抗震能力

设备应能耐受5~150 Hz正弦扫频振动（加速度峰值2g），测试方法应符合GB/T 2423.10的相关规定。

5.5 安全与可靠性

5.5.1 功能安全设计

控制单元应通过SIL 2安全完整性等级认证，符合GB/T 20438.1/2/3的相关规定。安全架构应包含双路压力传感器冗余设计，当主传感器故障时自动切换备用传感器，切换延迟时间应 $\leq 1\text{s}$ 。

5.5.2 失效防护机制

主电源断开后执行机构应自动切换至备用电池，驱动阀门自动切换至预设安全位。网络故障时应执行本地缓存指令，通信恢复后自动同步数据记录。针对液压系统泄漏工况，油压降至设定阈值的80%时，应立即启动紧急关阀程序，并锁定阀门位置。

5.6 能源管理要求

5.6.1 供电系统

供电系统应兼容AC 220V $\pm 15\%$ 或DC 24V（18~36V）的输入电压范围。配置的锂电池组在 25°C 环境满载待机状态下续航时间应 $\geq 72\text{h}$ 。

5.6.2 功耗限制

设备处于待机状态时，功率消耗应≤5W。动作过程峰值功率应≤300W。且高功率状态持续不超过3min。

5.7 液压系统

液压系统应满足表3的要求。

表3 液压系统要求

参数	指标要求
油品粘度	ISO VG 32/46 (ISO 3448:1992)
清洁度	NAS 1638 Class 8 (在线过滤精度 10 μm)
泄漏量	静态密封：0 泄漏
	动态密封：≤1 滴/min (全行程 10 万次后)

6 试验方法

6.1 材料与制造工艺验证

6.1.1 材料测试

6.1.1.1 气缸/液压缸抗拉强度

按GB/T 228.1的相关规定进行试验。

6.1.2 盐雾试验

按GB/T 10125的相关规定，对设备外壳进行 1000h 中性盐雾试验。

6.1.2 工艺检测

6.1.2.1 焊缝探伤

对所有承压焊缝进行 100% X 射线检测 (设备精度≥2%)。

6.1.3 粗糙度测量

用表面粗糙度仪 (精度 Ra ±0.05 μm) 在液压管路内壁随机取3点检测，取平均值。

6.2 基本性能试验

基本性能试验方法见表4。

表4 基本性能试验方法

测试项目	试验条件	测试方法
额定扭矩	气源压力 0.7 MPa 全行程连续动作	1. 气源稳压后接入执行机构； 2. 输出轴安装扭矩传感器 (±1% FS 精度)； 3. 记录 10 次峰值力矩/推力
重复定位误差	空载 目标点 50% 行程	1. 激光位移传感器 (±0.01 mm) 或旋转编码器 (±0.1°) 定位； 2. 20 次重复动作记录终点位置
动作时间	额定负载 90° 全行程	1. 高速摄像机 (≥200 fps) 或旋转编码器 (精度 ±0.1°) 记录； 2. 从控制信号触发到阀门到达目标位的全程时间
最低启动力	气源压力 0.15~0.5 MPa 阶梯调压	1. 逐步降低气源压力至执行机构启动； 2. 压力表 (精度 0.5 级) 记录初始动作值
静态保持力	气源压力归零	1. 千分表 (精度 ±0.01 mm) 监测位移； 2. 24 h 持续记录漂移量

6.3 智能控制功能测试

6.3.1 诊断功能验证

6.3.1.1 油位异常

抽出 15% 液压油，观察LCU是否在2s内发出二级报警代码。

6.3.1.2 传感器断线

断开位置传感器接线，观察是否一级报警，并在0.5s内执行安全停机。

6.3.1.2 电池欠压

将DC 电源调至 20V，观察HMI是否显示“电池备用模式”并记录事件。

6.3.2 通信与数据管理

6.3.2.1 协议兼容性

采用Modbus Poll/MQTT.fx 测试软件，发送标准功能码，验证数据包解析正确率是否为100%。

6.3.2.2 存储可靠性

连续写入 25,000 条事件，断电 72h 后恢复供电，数据丢失率应 $\leq 0.1\%$ 。

6.4 环境适应性试验

6.4.1 高低温循环

按照 $[-40^{\circ}\text{C}、4\text{h}] \rightarrow [25^{\circ}\text{C}、0.5\text{h}] \rightarrow [85^{\circ}\text{C}、4\text{h}] \rightarrow [25^{\circ}\text{C}、0.5\text{h}]$ 的步骤进行高低温循环试验，过程应符合GB/T 2423.1/2的相关规定，循环 10 次，测试后动作时间偏差应 $\leq 10\%$ 。

6.4.2 湿热试验

按照GB/T 2423.3的相关规定，在 $40^{\circ}\text{C}/95\% \text{ RH}$ 持续 96h，电气绝缘电阻 $\geq 20\text{M}\Omega$ 。

6.4.3 振动试验

按 GB/T 2423.10的相关规定，5~150 Hz正弦扫频振动，加速度 2g，XYZ三轴向各30min，结构无松动，控制线缆无脱落。

6.4.4 防护等级

水深 1m 浸泡 30min，开盖检查无水渗入。

6.5 安全可靠测试

6.5.1 功能安全验证

6.5.1.1 硬件故障注入

硬件故障注入测试方法及合格标准见表5。

故障类型	注入方式	合格要求
CPU 死机	强电磁干扰	看门狗重启 $\leq 3\text{s}$
传感器短路	模拟信号线接地	切换冗余传感器 $\leq 1\text{s}$

6.5.1.2 安全扭矩测试

液压系统调至 1.2 倍额定压力，执行机构应在 $\geq 110\%$ 额定扭矩时机械滑脱

6.5.2 失效模式防护

6.5.2.1 失电响应

切断主电源，备用电池应驱动阀门至预设安全位（开/关/保持），全程动作时间 $\leq 120\text{s}$ 。

6.5.2.2 应急手动操作

拆除所有电源，验证手动泵操作力 $\leq 150\text{N}$ （测力计监测）。

6.6 能耗测试

6.6.1 待机功耗

采用功率计（精度 $\pm 0.5\text{W}$ ）测量待机24h功耗均值 $\leq 5\text{W}$ 。

6.6.2 电池续航

充满电后， 25°C 满负载工况下，72h 内至少完成 3 次全行程动作。

6.7 液压系统试验

6.7.1 油路清洁度

在线取样按 ISO 4406 检测，颗粒数 $\leq 2,000/\text{mL}$ ($\geq 4\mu\text{m}$)。

6.7.2 低温启动

-40°C 环境放置 24h，气源压力 0.3 MPa 时成功动作。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分类分为出厂检验和型式检验。

7.2 检验项目

7.2.1 出厂检验项目应为本文件第5章中的技术要求。检验中有一项不符合规定，应双倍取样，对不合格项目复检，仍不符合规定，应判为不合格品。

7.2.2 型式检验项目应为本文件第5章规定的全部项目。

7.3 型式检验条件

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品或老产品转生产的试制定型鉴定时；
- b) 正常生产时，定期或累积一定产量后，每年检验一次；
- c) 正式生产后，结构、材料、工艺改变，可能影响产品性能时；
- d) 停产2年后，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时。

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

设备标签上应按GB/T 23156的有关规定标注。

8.2 包装

本条目应符合GB/T 23156的有关规定，宜包括下列要求：

- a) 包装贮运图示标志标准；
- b) 危险货物包装标志标准；
- c) 运输包装收发货标志标准；
- d) 其他有关标志标准。

8.3 运输

8.3.1 储运图示的标志应符合GB/T 191的有关规定。

8.3.2 运输工具应清洁、卫生，设备不得与有毒、有害、有腐蚀性、易挥发或有异味的物品混装运输。

8.3.2 搬运时应轻拿轻放，严禁扔摔撞击、挤压。

8.3.3 运输过程中不得暴晒、雨淋、受潮。

8.4 贮存

8.4.1 设备不得与有毒、有害、有腐蚀性、易挥发或有异味的物品同库贮存。

8.4.2 设备应贮存在阴凉、干燥、通风的库房中；严禁露天堆放、日晒、雨淋或靠近热源；包装箱底部应有100 mm以上的垫板。

8.4.3 在摄氏零度以下运输与贮存时，应有防冻措施。