使用说明书

RSZ-2600 机器人焊接单元（机器组合）

用于不超过 40 kg 钢结构组件的机器人辅助 MAG 焊接单元

型式 / 型号：RSZ-2600

制造年份：2026

Muster Maschinenbau GmbH
Beispielstraße 1
12345 Musterstadt
德国

版本 10/2026 · 版本 1.2 · 项目编号 MUSTER-2026-001-ZH · 文件编号 MUSTER-2026-001-ZH-BA · 放行：草稿

目录

1 重要基本信息

1.1 供货范围与机械限制
1.2 职责（制造商/使用单位）
1.3 外部接口
1.4 法律声明与应用的标准
1.5 文档（结构、缩略语、专业术语）
1.6 应用的协调标准

2 安全

2.1 预定使用
2.2 可合理预见的误用
2.3 遵守使用说明书
2.4 安全标识
2.5 防护装置和保护装置
2.6 剩余风险和保护措施

3 技术数据

3.1 配置

4 设备描述

4.1 结构与主要组件
4.2 操作人员工位
4.3 功能描述

5 交付、运输、开箱

5.1 运输和搬运安全须知
5.2 重量、重心位置和运输工具
5.3 吊点和安全起吊
5.4 运输固定装置
5.5 开箱
5.6 安装前的储存

6 储存条件

6.1 防腐蚀保护
6.2 最长储存时间和定期检查

7 安装场地条件

7.1 空间需求与尺寸
7.2 基础/承载能力
7.3 环境条件
7.4 供应接口

8 装配与安装、首次调试

8.1 安全
8.2 装配与安装
8.3 首次调试

9 操作

9.1 安全
9.2 操纵装置和指示器
9.3 操作模式
9.4 启动和换型
9.5 停机

10 维护

10.1 维护记录
10.2 检查与维护计划
10.3 润滑计划
10.4 故障查找

11 拆卸与报废处置

11.1 拆卸安全须知
11.2 拆卸顺序
11.3 工作介质的分离与处置
11.4 材料分离与回收利用

12 图纸及其他信息

12.1 图纸与备件
12.2 电气文档
12.3 风险评估记录

13 网络安全

13.1 接入使用单位的网络
13.2 软件版本和干预记录
13.3 远程维护
13.4 更新
13.5 日志保存
13.6 网络安全信息

附录

符合性声明

表目录

表 1 应用的标准：A 类标准（基础安全标准）

表 2 应用的标准：B 类标准（通用安全标准）

表 3 应用的标准：C 类标准（产品标准）

表 4 应用的标准：其他已应用的标准和技术规范（无符合性推定）

表 5 剩余危险概览

表 6 机器的数字接口

1 重要基本信息

本使用说明书适用于 RSZ-2600 机器人焊接单元（序列号 RSZ2600-2026-0001，制造年份 2026），面向使用单位以及负责操作、设定、维护和拆卸的人员。本使用说明书是机器的组成部分，必须使人员随时可以取阅，并在机器搬迁或转售时一并移交。本章说明供货范围、机器限制、外部接口以及本文档的法律依据。

1.1 供货范围与机械限制

供货范围：RSZ-2600 作为功能完整的机器组合交付。供货范围包括：

- 6 轴关节臂工业机器人（作业半径 2600 mm，负载 12 kg），包括机器人控制器和示教器
- 双工位转台，带固定式中间隔墙、焊接防护帘和气动工件夹具
- MAG 焊接电源，负载持续率 60% 时 400 A，配送丝装置、带冷却装置的水冷焊枪以及焊枪清洗站
- 焊接烟尘抽排装置 1800 m³/h，带火花预分离器、滤芯、滤芯温度监控、电动关断阀以及烟雾和 CO 探测器
- 高 2200 mm 的周边防护装置（防护围栏），带维护门、4 型光幕、安全 PLC、操作台和控制柜
- 带防火墙和远程维护访问的网络网关
- 符合 EN 1837 的机器集成式工作场所照明以及上料工位的高度可调站台
- 使用说明书及第 12 章所列的随附文件（包括欧盟符合性声明、安装平面图、原理图、气动原理图、备件清单、安全功能测试计划和维护记录表）

不属于供货范围的有：

- 工件专用夹紧夹具（另有约定的除外）；使用单位夹紧夹具的要求见第 3.1 章
- 客户自备的保护气体供应
- 客户自备的介质接口
- 抽排装置的可选排风管道
- 上料工位用于超过 15 kg 工件的起吊辅助装置（客户自备，承载能力至少 40 kg）

使用限制：对工件重量不超过 40 kg、最大工件外形尺寸为 800 x 600 x 400 mm 的钢结构组件（非合金钢和低合金钢）进行 MAG 焊接。仅使用预先规定的、经批准的焊接程序进行批量生产。由经培训的专业人员在各自的前部工位手工装入和取出工件，循环时间约 90 秒。不预定用于铝制、镀锌或有涂层的工件，不预定用于在单元内进行手工焊接，也不预定用于带有前道工序残余应力的工件。

空间限制：占地面积约 6.5 x 4.0 m，高度 2.6 m。机器人工作范围的作业半径 2600 mm，由高 2200 mm 的防护围栏和转台的固定式中间隔墙完全封闭。转台旋转范围 180 度。上料工位位于上料口前，分辨率 30 mm 的 4 型光幕，安全距离依据 EN ISO 13855 计算并记录。后侧设一扇维护门。与上下游工序的接口完全为手动。

时间限制：2 班制下预期使用寿命 12 年，由制造商每年维护，每半年检查一次安全功能，每次维护时依据 EN ISO 14119 和 EN ISO 13855 检查防护锁定和光幕。易损件：焊枪、导电嘴、气体喷嘴、送丝轮、抽排装置的滤芯、焊接防护帘。

环境限制：生产车间的干燥室内区域，5 至 40 °C，相对湿度不超过 70%，无冷凝，电网供电 400 V AC 50 Hz TN-S，连接负载 32 kVA，压缩空气 6 bar 无油，安装在平整的工业混凝土地面上。非危险区域，不得户外使用。

机器组合的限制：本单元包括机器人（附欧盟合并声明的部分完成机械）、转台、焊接电源（带 CE 标志的设备）、抽排装置以及围栏、门和传感器部件。这些部分之间的接口已在机器组合的风险评估中进行评估，并已在机器组合的欧盟符合性声明中予以考虑。

1.2 职责（制造商/使用单位）

制造商和使用单位的职责划分如下：

制造商的职责：机器组合的设计、制造和符合性，包括风险评估、安全功能确认和技术文档；首次调试及有记录的验收；按约定进行年度维护；供应备件并提供技术支持。

使用单位的职责：仅在预定使用范围内操作机器；人员的选拔和资格认定，以及定期并有记录的指导（至少每年一次）；提供个人防护装备并监督其使用；依据德国《职业安全与健康法》（ArbSchG）和德国《工业安全与健康条例》（BetrSichV）进行与工作场所相关的风险评估，包括噪声和焊接烟尘（德国危险物质技术规则 TRGS 528）；依据 DGUV 规程 3（德国法定事故保险关于电气设施和设备的规程）定期检查电气设备；按第 10 章每半年检查安全功能并进行维护，包括填写维护记录；按所需质量提供客户自备的介质（电源、压缩空气、保护气体）；为上料工位提供用于超过 15 kg 工件的起吊辅助装置（承载能力至少 40 kg）并定期检查；在接触焊接烟尘的情况下进行职业健康监护；依据建筑物的防火方案，将抽排装置的火灾报警（烟雾和 CO 探测器）转发至有人常驻值守的地点；向制造商报告安全相关事件和故障。

对机器的修改：只有在制造商书面批准后，才允许进行改装和加装。机械法规意义上的实质性修改可能需要重新进行合格评定。

1.3 外部接口

本机器具有以下供应和介质接口：

- 电源：400 V AC，3/N/PE，50 Hz，TN-S 系统，连接负载 32 kVA，客户自备的熔断器保护 63 A gG，在控制柜主开关处接入。
- 压缩空气供应：6 bar，无油，接口为机器气源处理单元上的 G 1/2。
- 保护气体供应（客户自备）：符合 EN ISO 14175 的 M21 混合气（82% 氩气，18% CO2），在焊接电源处连接，焊枪处流量约 15 l/min。
- 焊接烟尘抽排：集成在单元中的抽排装置，1800 m³/h，配滤芯，循环风运行；可选客户自备的排风接口。
- 信号接口：无电位信号触点（运行状态和综合故障信息），用于连接上级控制系统。与相邻设备之间没有安全相关接口；与上下游工序的衔接完全为手动。
- 数据接口：与使用单位 MES 之间的 OPC UA（接收订单、回传生产数据）以及由制造商进行的 VPN 远程维护，两者均只能经由随附的网关；HMI 面板上的 USB 接口用于数据备份和更新。详情见第 13 章（网络安全）。

对客户自备接口实施的要求见第 7 章（安装场地条件）。

1.4 法律声明与应用的标准

制造商声明本机器符合以下欧盟协调立法：

- 机械法规 (EU) 2023/1230
- 电磁兼容指令 2014/30/EU

依据机械法规附录 III 第 1.5.1 条，满足低电压指令 2014/35/EU 规定的安全目标。欧盟符合性声明随附于本使用说明书；CE 标志加贴在铭牌上。
本使用说明书依据机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条至第 1.7.4.2 条编写。本中文版本为译本；如有疑义，以德文版本为准。
不允许擅自对机器进行改装和修改，特别是对防护装置和保护装置以及安全控制器。此类改装和修改可能导致机器的符合性失效并丧失质保；制造商对由此造成的损坏不承担任何责任。只能使用满足制造商规定要求的备件。
本文档受版权保护。仅在机器的运行、维护或转售所需的范围内，才允许复制本文档或将其提供给第三方。
所应用标准的完整清单列于本章末尾。

1.5 文档（结构、缩略语、专业术语）

结构：本使用说明书分为 13 章，按机器从交付到报废处置的生命周期编排。安全相关信息集中在第 2 章中说明，此外还在各作业章节的开头加以说明。

警告的表示方式：警告按危险程度分级。“危险”表示直接的危险情况，将导致死亡或重伤。“警告”表示潜在的危险情况，可能导致死亡或重伤。“注意”表示可能导致轻度至中度伤害的情况。“提示”表示有关防止财产损失的信息。

缩略语：CMR = 致癌、致突变或具有生殖毒性；EMC = 电磁兼容性；EMF = 电磁场；ESPE = 电敏保护设备；HMI = 人机界面（操作界面）；LOTO = 上锁/挂牌（隔离并防止重新通电）；MAG = 熔化极活性气体保护焊；MES = 制造执行系统；MR = 机械法规 (EU) 2023/1230；OPC UA = Open Platform Communications Unified Architecture（开放平台通信统一架构，与 MES 之间数据接口的协议）；PL = 符合 EN ISO 13849-1 的性能等级；PLC = 可编程逻辑控制器；PLr = 要求的性能等级；PPE = 个人防护装备；SLS = 安全降速（Safely-Limited Speed）；SRP/CS = 控制系统的安全相关部件；TCP = 工具中心点；VPN = 虚拟专用网络（用于远程维护的加密连接）；WLL = 起重附件的极限工作载荷。

相关文件：机器人制造商的装配说明书，焊接电源、送丝装置和焊接烟尘抽排装置的使用说明书，电气原理图和气动原理图，欧盟符合性声明以及检查和验收报告。这些文件必须与本使用说明书一起保存。

1.6 应用的协调标准

表 **1:** 应用的标准：**A** 类标准（基础安全标准）

标准	标题	列于
EN ISO 12100:2010	Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction (ISO 12100:2010)	2006/42/EC

表 **2:** 应用的标准：**B** 类标准（通用安全标准）

标准	标题	列于
EN 1005-2:2003+A1:2008	Safety of machinery - Human physical performance - Part 2: Manual handling of machinery and component parts of machinery	2006/42/EC
EN 60204-1:2018	Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements	2006/42/EC, 2014/35/EU
EN ISO 11161:2007+A1:2010	Safety of machinery. Integrated manufacturing systems. Basic requirements	2006/42/EC
EN ISO 11202:2010	Acoustics - Noise emitted by machinery and equipment - Determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions applying approximate environmental corrections (ISO 11202:2010)	2006/42/EC
EN ISO 13732-1:2008	Ergonomics of the thermal environment - Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces - Part 1: Hot surfaces (ISO 13732-1:2006)	2006/42/EC
EN ISO 13849-1:2023	Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design (ISO 13849-1:2023)	2006/42/EC
EN ISO 13849-2:2012	Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 2: Validation (ISO 13849-2:2012)	2006/42/EC
EN ISO 13850:2015	Safety of machinery - Emergency stop function - Principles for design (ISO 13850:2015)	2006/42/EC
EN ISO 13854:2019	Safety of machinery - Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body (ISO 13854:2017)	2006/42/EC

标准	标题	列于
EN ISO 13855:2024	Safety of machinery - Positioning of safeguards with respect to the approach of the human body (ISO 13855:2024)	2006/42/EC
EN ISO 13857:2019	Safety of machinery - Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs (ISO 13857:2019)	2006/42/EC
EN ISO 14118:2018	Safety of machinery - Prevention of unexpected start-up (ISO 14118:2017)	2006/42/EC
EN ISO 14119:2025	Safety of machinery - Interlocking devices associated with guards - Principles for design and selection (ISO 14119:2024)	2006/42/EC
EN ISO 14120:2015	Safety of machinery - Guards - General requirements for the design and construction of fixed and movable guards (ISO 14120:2015)	2006/42/EC
EN ISO 3746:2010	Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane (ISO 3746:2010)	2000/14/EC, 2006/42/EC
EN ISO 4414:2010	Pneumatic fluid power - General rules and safety requirements for systems and their components (ISO 4414:2010)	2006/42/EC
EN ISO 4871:2009	Acoustics - Declaration and verification of noise emission values of machinery and equipment (ISO 4871:1996)	2000/14/EC, 2006/42/EC

表 **3:** 应用的标准：**C** 类标准（产品标准）

标准	标题	列于
EN ISO 10218-1:2025	Robotics - Safety requirements - Part 1: Industrial robots (ISO 10218-1:2025)	2006/42/EC
EN ISO 10218-2:2025	Robotics - Safety requirements - Part 2: Industrial robot applications and robot cells (ISO 10218-2:2025)	2006/42/EC
EN ISO 21904-1:2020	Health and safety in welding and allied processes - Equipment for capture and separation of welding fume - Part 1: General requirements (ISO 21904-1:2020)	2006/42/EC

表 **4:** 应用的标准：其他已应用的标准和技术规范（无符合性推定）

标准	标题	列于
EN IEC 61000-6-2:2019	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 6-2: Generic standards. Immunity for industrial environments	2014/30/EU
EN IEC 61000-6-4:2019	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 6-4: Generic standards. Emission standard for industrial environments	2014/30/EU
EN ISO 7010:2020	Graphical symbols. Safety colours and safety signs. Registered safety signs	

2 安全

本章包含 RSZ-2600 机器人焊接单元所有生命周期阶段的基本安全信息。其内容包括：

- 预定使用
- 可合理预见的误用
- 已安装的防护装置和保护装置
- 机器上的安全标识

此外，第 5 章至第 11 章中与作业相关的安全须知同样适用。风险评估中全部剩余风险及其保护措施的完整概览附在本章末尾，所有在机器上或使用机器工作的人员都必须遵守。

2.1 预定使用

RSZ-2600 机器人焊接单元仅预定用于在批量生产中使用规定的、经批准的焊接程序，对由非合金钢和低合金钢制成、工件重量不超过 40 kg、最大工件外形尺寸为 800 x 600 x 400 mm 的钢结构组件进行自动 MAG 焊接。装入和取出由经培训的专业人员在双工位转台各自的前部工位手工进行，循环时间约 90 秒。自动运行期间，不预定人员进入机器人工作区域。

作为机器组合的结构：(1) 关节臂工业机器人，6 轴，作业半径 2600 mm，负载 12 kg，由机器人制造商作为部分完成机械供货，附依据附录 V B 部分的欧盟合并声明和依据附录 XI 的装配说明书。(2) 双工位转台，垂直旋转轴，旋转 180 度，带焊接防护帘的固定式中间隔墙，气动工件夹具。(3) MAG 焊接电源，400 A（负载持续率 60% 时），带 CE 标志，配送丝装置和焊枪清洗站。(4) 焊接烟尘抽排 1800 m³/h，配滤芯。所有部件共同控制，并作为一个整体投放市场。

预定使用还包括遵守本使用说明书、规定的维护间隔以及第 3 章和第 7 章所述的环境条件和连接条件。该机器预定固定安装在室内干燥的生产车间中。任何其他的或超出范围的使用均视为非预定使用；由此造成的任何损害由使用单位独自承担责任。非预定使用特别包括：焊接铝制、镀锌或有涂层的工件；在单元内进行手工焊接；加工超出批准的几何尺寸和重量限制的工件；在潜在爆炸性环境中或户外运行。

2.2 可合理预见的误用

无视光幕经由上料口进入机器人工作区域，例如翻越、从下方爬入或在光束之间伸手穿过；篡改或桥接光幕，例如用胶带粘贴遮盖光幕或在保护场内固定物体；使用替代操动件或固定门位置来绕过维护门的防护锁定；转台旋转期间停留在其旋转区域内；在自动运行期间不停止机器而调整或返工工件；生产运行期间将操作模式选择开关留在“设定”位置；持续操作或固定使能装置；在单元内作业时不穿戴个人防护装备，特别是不戴焊接护目镜或防护面罩；在焊接烟尘抽排关闭或堵塞的情况下运行；在设备接通的情况下清洁单元；在未泄压且未防止意外重新启动的情况下对气动系统进行维护作业；不使用使用单位自备的起吊辅助装置人工搬运超过 15 kg 的工件；由未经指导的人员或未经上岗指导的临时工操作；装入超出批准工件几何尺寸的工件而导致碰撞；在放电时间结束前打开焊接电源。

2.3 遵守使用说明书

熟悉本使用说明书是安全操作机器的基本前提。在机器上或使用机器进行任何作业之前，指定人员必须已阅读并理解相关章节以及第 2 章（安全）。使用说明书必须存放在机器近旁，并且人员必须能随时取阅。

人员资格：操作只能由经指导的人员进行；设定、示教和故障查找只能由接受过机器人培训的、经培训的设定人员进行；维护只能由具备资格的专业人员进行；电气设备上的作业只能由电气专业人员进行；焊接设备和抽排系统上的作业只能由具备相应资格的人员进行。正在接受培训的人员只能在有经验的专业人员持续监督下在机器上作业。

使用单位必须确保职责明确划分、定期并以书面记录的形式进行指导，并且只有获授权人员才能接近机器。除本使用说明书外，还必须遵守适用的职业健康安全和事故预防法规以及使用单位的内部规定。

2.4 安全标识

机器上持久地贴有以下安全标志和提示标志。必须使其保持清晰可读，损坏时必须更换。

警告标志（ISO 7010）：“当心触电”（W012）设在控制柜、焊接电源和焊接区域；“当心高温表面”（W017）设在转台、焊枪清洗站和上料工位的取料侧；“当心光辐射”（W027）设在上料口和维护门处；“当心自动启动”（W018）设在机器人工作区域的所有入口处和操作台；“当心挤压”（W019）设在转台的旋转区域；“当心夹手”（W024）设在转台、上料工位以及光幕的侧板和框架上；“当心吊物”（W015）设在转台、上料工位以及与运输相关组件的吊点处；“当心尖锐物”（W022）设在焊枪支架和送丝装置上；“当心磁场”（W006）设在维护门、上料工位和焊接电源处；“当心滑倒”（W011）设在上料工位和维护通道的入口处；“当心地面障碍物”（W007）设在维护通道中的绊倒点。

“一般警告标志”（W001）附补充文字：“焊接飞溅造成火灾危险”设在防护围栏上；“有害焊接烟尘”设在焊接区域；“有害粉尘”和“过滤器内火花造成火灾危险”设在抽排装置的过滤器壳体上；“夹紧夹具内有残余压力”设在夹紧夹具和压缩空气截止阀上；“锚固前有倾翻危险”设在底架的两个相对侧面上（用于装配和搬迁）。在客户自备的保护气体供应装置的安装位置，由使用单位设置附补充文字“保护气体有窒息危险”的警告标志 W001。

禁止标志：补充禁止标志“禁止未经授权人员进入”（德国 ASR A1.3，D-P006）设在维护门和控制柜上；“禁止植入心脏起搏器者进入”（ISO 7010，P007）设在所有入口处，因为 MAG 焊接时会产生电磁场；“禁止伸入”（ISO 7010，P015）设在转台和上料口处。

指令标志（ISO 7010）：“必须戴护目镜”（M004）设在上料工位和维护门处；“必须戴护耳器”（M003）设在上料工位；“必须戴防护手套”（M009）设在上料工位的取料侧和维护门处；“必须穿防护鞋”（M008）适用于整个工作区域；“必须穿防护服”（M010）设在维护门处；“必须戴呼吸防护用品”（M017）设在焊接区域和抽排装置的过滤器壳体上。

其他标识：控制柜右侧壁上带 CE 标志的铭牌；急停装置的标识；焊接电源上关于放电时间的提示；与运输相关组件上的重心和吊点标记；依据德国工作场所技术规则 ASR A1.3 为通道和维护门回转区域设置的黄黑地面标线。

文字标牌：“人工搬运最重 15 kg，超过请使用起吊辅助装置”设在上料工位；“进入前请挂上个人挂锁”和“照明失效时停止作业”设在维护门处；“焊接开始前请检查接地夹”设在夹紧夹具上；“火灾报警时不要打开”设在过滤器壳体的维护盖板上；“仅可依据电气原理图 RSZ-2600-EPL-001 更改线缆走线”和“参

数变更只能由获授权的专业人员进行，之后需进行确认测试”设在控制柜上；“介入前：排气至 0 bar 并锁定截止阀”设在压缩空气截止阀上；说明急停装置作用范围的文字标牌（急停作用于单元内所有子机械）设在操作台上。

2.5 防护装置和保护装置

下述防护装置和保护装置固定安装在 RSZ-2600 上。不得将其拆除、改动或绕过。只有在所有防护装置和保护装置完整装配且功能正常时，才允许操作机器。

固定式和活动式防护装置：周边防护装置（防护围栏），高 2200 mm，配不透焊接弧光的填充板、焊接防护观察窗和底板；安全距离按 EN ISO 13857 设计。后侧的维护门作为符合 EN ISO 14119 的带防护锁定的联锁防护装置（弹簧锁定、通电解锁；编码操动件）；只有在电弧熄灭且机器人和转台处于受监控的静止状态后，防护锁定才会解除。在内侧，可随时借助逃生解锁装置无需工具打开维护门；操作逃生解锁装置会触发停止。门把手上装有可挂个人挂锁的锁闭装置：每名进入单元的人员在门打开时挂上自己的挂锁，并随身携带钥匙。只要挂有挂锁，门就无法关闭，自动模式也无法启动。此时只能在设定模式下、操作使能装置并以安全降速进行运动。双工位转台的固定式中间隔墙位于上料工位与焊接区域之间，带焊接防护帘。

电敏保护设备：上料口处符合 EN IEC 61496-1:2020 和 EN IEC 61496-2:2020、分辨率 30 mm 的 4 型光幕；保护场完全覆盖上料口并持续有效（无屏蔽功能），其余开口由符合 EN ISO 13857:2019 表 4 的固定式防护装置封闭；安全距离依据 EN ISO 13855 计算并记录。侵入保护场会触发机器人和转台的安全停止。

安全控制器和安全功能：由一个安全 PLC 评估所有防护装置和保护装置。依据 EN ISO 13849-1 的主要安全功能：SF-01 维护门的联锁和防护锁定，门打开时焊接电源安全关断（PL d，类别 3）；SF-02 上料口处的光幕（PL e，类别 4）；SF-03 急停（PL d，类别 3）；SF-04 转台旋转运动的放行（PL e，类别 4）；SF-05 设定模式下的安全降速，TCP 处最高 250 mm/s（PL d）。工件夹具夹紧压力的监控作为放行条件集成在安全功能 SF-04 中；只有在夹紧压力得到确认后转台才会旋转（见风险评估危险编号 5）。安全功能的确认依据 EN ISO 13849-2 记录。

急停：符合 EN ISO 13850 的急停装置设在操作台、维护门和示教器上。急停作用于单元内所有子机械（机器人、转台、焊接电源、送丝装置），并触发受控停止（依据 EN 60204-1 的停止类别 1）。只有在已按下的急停装置解锁并在操作台上手动确认后，才能重新启动。

操作模式选择和设定模式：可上锁的操作模式选择开关，设有“自动”和“设定”两种操作模式；钥匙由获授权人员保管。在设定模式下，速度被安全限制在 250 mm/s，并且只有在操作示教器上符合 EN ISO 10218-1 的三位使能装置时才能运动；松开或完全按下该装置会触发受控停止（停止类别 1）。

重启联锁和启动警告：保护装置触发后、急停后以及恢复供电后，重启联锁功能防止自动重新启动。确认只能在危险区外、可看到上料口的操作台上进行。自动启动前发出启动警告声；信号灯柱显示运行状态。

能量隔离：符合 EN 60204-1、带可上锁 OFF 位置的主开关，用于安全隔离（LOTO）；维护入口处带排气功能和残压指示器的可上锁压缩空气截止阀；焊接电源上关于打开前须等待放电时间的警示说明。

气动安全：夹紧回路上的压力开关，只有在夹紧压力得到确认后才放行转台的旋转运动；每个工位上的工件到位传感器，用于报告工件位置；夹紧管路中的先导式止回阀（保压阀），在压力下降时使工件保持夹紧，并带手动辅助操作，用于在发生故障时受控释放压力。

补充保护措施：焊枪上的防碰撞离合器，发生碰撞时立即安全停止；转台区域的防撞保护以及转台下方作为接料装置的挡板；每个焊接程序设冷却闭锁时间，取料工位设红色信号灯；焊枪颈部的温度监控，并在 HMI 面板上显示放行；焊接烟尘抽排 1800 m³/h，带抽排能力监控、火花预分离器、滤芯温度监控、电动关断阀以及烟雾和 CO 探测器（无 PL 要求的运行联锁）；机器集成式工作场所照明，失效时在 HMI 面板上发出提示；单元附近的通道地面标线和带防碾压保护的线缆桥。

必须按第 9 章（每日检查）和第 10 章（定期检查）的要求检查防护装置和保护装置的有效性。发现的任何缺陷必须立即报告；在完成修理之前，机器必须停止运行。

2.6 剩余风险和保护措施

尽管采取了上述防护装置和保护装置，机器上仍存在无法通过设计完全消除的剩余风险。按生命周期阶段编排的全部 42 项剩余风险及相应保护措施的完整概览取自风险评估，附在本章末尾。其中每项危险的保护措施均按 EN ISO 12100 的顺序列出：本质安全设计（第 1 步）、安全防护和补充保护措施（第 2 步）、使用信息（第 3 步）。

主要剩余风险概览：在防护装置和保护装置打开的情况下作业时（设定、故障查找），机器人和转台造成的挤压和撞击危险；电弧的光辐射以及工位附近的高温表面和焊接飞溅；抽排不足时焊接烟尘造成的危险；控制柜和焊接电源处的电气危险；夹紧回路中储存的气动能量；上料工位的噪声暴露（84 dB(A)）；焊接过程附近的电磁场。

个人防护装备：操作机器时，至少必须穿戴：符合 EN ISO 20345 的 S3 级安全鞋、贴身的阻燃工作服、带侧面防护的护目镜和听力防护用品。搬运工件时还必须戴防护手套，取出焊好的工件时必须戴隔热手套。防护手套不能防止挤压。仅在转台停止时才可伸入旋转区域。在单元内进行设定、维护和清洁作业时，另需：与电弧有视线接触时戴焊接护目镜或防护面罩，在仍有余温的部件上作业时戴焊工手套。个人防护装备由使用单位提供，使用单位还必须监督其使用。

危险情况下的处置：发现危险时，立即按下急停，在主开关处隔离机器并通知主管。被关在单元内的人员借助维护门的逃生解锁装置离开单元。有人员被机器人或转台夹住时：按下急停并启动企业内部应急响应链。在无驱动动力的情况下，可按照机器人制造商的说明借助制动器释放装置移动机器人轴；释放前应先支撑相关轴，因为制动器释放后该轴可能下坠。在机器已隔离的状态下，松开电机制动器后可用手转动转台。解救只能由经指导的设定人员和维护人员进行。电气设备着火时只能使用 CO2 或干粉灭火器扑救，严禁用水。抽排装置发生火灾时的处置见第 9.5 章。发生事故时，应实施急救并遵循企业内部应急响应链。

表 **5:** 剩余危险概览

编号	危险	生命周期阶段
28	**机械** 单元运输和安装时部件坠落造成的危险: 用起重机或叉车运输单元部件（防护围栏分段、控制柜、机器人底架）时，部件可能因挂装错误或载荷摆动而坠落并击中人员。	运输, 装配
29	**机械** 单元安装时稳定性不足造成的危险: 若单元安装在不平整或承载力不足的地面上，或重载锚栓未按规定设置并拧紧，设备可能倾倒或移位；附近人员会被撞击。	装配, 试运转
39	**篡改/信息安全** 连接外部设备产生危险状态: 已连接的外部设备（使用单位的上级产线控制系统或 MES、远程维护网关、使用单位侧抽排系统或供气装置的信号）发送意外信号、写入控制变量或占用资源。由于风险评估中未考虑外部设备的功能，机器启动、改变操作模式或忽略停止条件。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 1 款、第 1.2.1 条第 4 款 (h) 项、第 1.2.4.4 条]	装配, 试运转, 运行
12	**电气** 直接或间接接触焊接电源、机器人控制柜和单元控制系统（400 V AC，32 kVA）带电部件造成的危险: 控制柜打开且未断电时接触接线端子、电缆或柜内侧，可能导致触电并引起心室颤动或烧伤。	维护, 试运转, 故障查找
30	**组合** 机器人控制系统或安全控制器参数设置错误造成的危险（例如安全距离错误、设定模式下速度限值错误、区域使能错误）: 错误的参数可能导致安全功能未按预期起作用，使人员因机器人运动或转台运动而面临危险。	试运转, 设定, 维护
31	**组合** 来自不同制造商的子机械（机器人、焊接电源、转台、抽排系统）的安全水平不一致造成的危险: 子机械之间缺少或不完整的接口联锁，可能导致某一子机械在另一子机械处于不安全状态时仍然启动（EN ISO 11161）。	试运转, 运行, 故障查找
37	**篡改/信息安全** 因配置错误或操作错误导致的无意篡改: 加载了错误的配方或参数文件，未设置角色和密码（默认密码仍处于激活状态），或故障后配置恢复不完整。安全相关设置在未被察觉的情况下偏离已放行的配置。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 3 款、第 1.2.1 条第 2 款 (b) 项、第 1.2.1 条第 2 款 (d) 项、第 1.2.1 条第 2 款 (e) 项]	设定, 运行, 试运转
38	**篡改/信息安全** 通信网络连接的故障或干扰: 网络故障、过载（广播风暴、拒绝服务）、电缆断裂或网段更换会中断控制组件之间的通信，或中断面向安全的通信（PROFIsafe）。恢复时发生意外启动，或不受控制地接收过时的设定值。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.2.6 条、第 1.2.1 条第 2 款 (a) 项、第 1.2.3 条]	运行, 试运转
40	**篡改/信息安全** 安全相关软件无法识别或未标识: 安全软件的版本和校验和无法在机械上调取，安全相关软件和数据未被指定为安全相关。在干预、更新或设备更换后，无法确定机械是否仍处于经测试的状态；使用未放行软件运行的情况不会被发现。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 3 款、第 1.1.9 条第 4 款、第 1.7.4.2 条]	试运转, 维护, 运行

编号	危险	生命周期阶段
43	**篡改/信息安全** 安全控制器的工程访问未受保护: 安全控制器或安全 PLC 的编程访问无需密码或使用制造商默认密码即可进入，安全程序可在运行中被覆盖或置于停止状态，输入和输出可被强制。保护功能失效或执行器被直接驱动。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 2 款、第 1.1.9 条第 3 款、第 1.2.1 条第 2 款 (a) 项]	试运转, 维护, 故障查找
1	**机械** 转台在自动旋转过程中造成的挤压与剪切危险: 操作人员的身体部位（手、手臂）可能被卷入并挤压在转台与固定式中间隔墙或防护围栏之间，特别是在旋转过程中伸手进入转台以调整移位的工件时（可合理预见的误用）。	运行, 设定, 故障查找
2	**机械** 设定模式下焊接机器人（工业机器人）造成的挤压和卷入危险: 在降速运行（点动控制）时，机器人的意外运动可能使操作人员或设定人员被挤压或卷入机器人手臂与外围设备（防护围栏、转台、焊接夹具）之间。	设定
4	**机械** 转台与焊接机器人接口处（交接区域）的挤压危险: 旋转过程中，装载好的夹具进入机器人的工作区域；机器人不协调地进入旋转区域，或转台运动与机器人使能之间缺少联锁，可能导致碰撞和挤压伤害。	运行, 设定, 故障查找
5	**机械** 气动夹紧装置失效造成工件或夹具部件坠落: 压缩空气中断或泄漏时，夹紧元件不受控制地松开；重达 40 kg 的工件可能从转台上掉落，击中上料工位的人员。	运行, 设定, 故障查找
6	**机械** 急停后或故障排除后，转台或机器人意外重启造成的挤压和撞击危险: 如果缺少协调的重启联锁（EN ISO 11161），各子机械可能在人员仍处于危险区时自行启动。	故障查找, 维护, 设定
7	**机械** 子机械（机器人、转台、焊接电源、抽排系统）之间缺少或未协调的急停功能: 某一子机械上的急停不一定会停止所有其他子机械；人员可能因继续运行的部件而面临危险。	运行, 设定, 故障查找
8	**机械** 焊枪处焊丝（实心焊丝 1.0 至 1.2 mm）造成的割伤和刺伤危险: 从焊枪伸出的焊丝像针一样；在设定、穿丝或焊枪清洗时，手和手指可能被刺伤或割伤。	设定, 维护, 清洁
9	**机械** 手工装卸最重 40 kg 的工件时的人类工效学危险和挤压危险: 15 kg 以内的工件由人工装入，超过 15 kg 的工件借助使用单位自备的起吊辅助装置装入；若发生可合理预见的误用（不使用起吊辅助装置搬运），会产生肌肉骨骼负荷，并有脱手的风险，进而导致工件掉落在脚或手上。	运行, 设定
10	**机械** 上料工位和维护通道区域内，因地面焊接飞溅物、线缆、软管（压缩空气、保护气体）以及清洁作业时的潮湿区域造成的绊倒、滑倒和跌倒危险。	运行, 设定, 维护, 清洁, 故障查找

编号	危险	生命周期阶段
11	**机械** 多人同时进入单元不同区域造成的危险（EN ISO 11161）：第二个人位于单元内部，而设定人员并未察觉；机器人或转台启动时，第二个人被撞击。	设定, 维护, 故障查找
13	**电气** 工件和夹具处焊接电流造成的危险: 焊接回路中流过大电流（通常为 100 至 350 A）；接地连接有故障或绝缘损坏时，接触工件或夹具的人员可能触电。	设定, 运行, 故障查找
14	**电气** 焊接电源与安全控制器（机器人控制器、光幕评估单元、防护锁定控制器）之间的电磁干扰: MAG 电弧产生的高频干扰脉冲可能影响安全功能，导致误触发，或更严重的情况是安全功能未被察觉的失效（EN ISO 11161）。	运行, 设定
15	**热** 高温工件和焊缝造成的烫伤危险: 刚焊接完的组件在焊缝区域温度可达数百摄氏度；未戴合适的防护手套取出，或接触焊缝，可能造成严重烫伤。	运行, 设定
16	**热** 焊接飞溅物（火花飞溅）造成的烫伤和火灾危险: MAG 焊接时产生温度超过 1500 °C 的飞溅物；它们可能落到周围的可燃材料（包装、油品、衣物）上，引起火灾或烫伤。	运行, 设定
17	**热** 高温焊枪和焊枪颈部造成的烫伤危险: 焊接过程结束后，焊枪颈部和导电嘴温度很高；更换焊枪、清洁或在未经冷却时进行设定时，手和手指可能被烫伤。	维护, 设定, 清洁
18	**辐射** MAG 电弧的光辐射（紫外、可见光、红外）造成的危险: 电弧发出强烈的紫外线、可见光和红外辐射；无防护地直视电弧（包括设定模式下透过打开的维护门）可能造成眼损伤（角膜结膜炎、视网膜损伤）和皮肤灼伤。	设定, 运行
19	**辐射** 焊接电源和焊接电缆产生的电磁场（EMF）造成的危险: 大焊接电流会产生强磁场；带有源植入物（心脏起搏器、胰岛素泵）的人员可能因电磁场而面临危险。	运行, 设定, 维护
20	**材料/物质** 吸入焊接烟尘和蒸气（金属氧化物、锰、氧化铁）造成的危险: 对结构钢进行 MAG 焊接会产生有害颗粒和气体；抽排不足（滤芯饱和、设备关闭）时，操作人员呼吸带处的浓度超过职业接触限值。	运行, 设定, 维护, 清洁
24	**噪声** MAG 焊接过程和转台驱动产生的噪声危险: 焊接过程（电弧噪声、飞溅）和机械驱动在上料工位产生相当大的声压级；连续运行（两班制，16 h）时，日噪声暴露级 LEX,8h 可能达到或超过德国《噪声与振动职业安全条例》（LärmVibrationsArbSchV）的行动值。	运行, 设定
27	**人类工效学** 上料工位和维护通道照明不足: 照度过低使工件的安全装入和取出以及维护作业变得困难，并增加操作失误和事故的风险。	运行, 设定, 维护, 清洁

编号	危险	生命周期阶段
32	**机械** 伸手越过或从下方穿过上料工位光幕造成的危险（可合理预见的误用）：人员从光幕侧面绕过，或从光幕下方伸手进入旋转区域，而不触发保护功能；转台或机器人可能启动并夹住手或手臂。	运行, 设定
36	**篡改/信息安全** 通过网络篡改安全相关参数: 通过现场总线、OPC UA 或 MES 接口的未经授权的写访问改变了与安全相关的参数（例如维护门的监测、光幕的参数、设定模式下的速度限值）。保护功能失效，或机器在风险评估规定的限值之外运行。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 1 款、第 1.1.9 条第 3 款、第 1.2.1 条第 2 款 (a) 项、第 1.2.1 条第 2 款 (d) 项]	运行, 设定
3	**机械** 未经授权进入时，焊接机器人在自动运行中造成的撞击和挤压危险: 翻越防护围栏或篡改维护门的人员，被以全速和全力运动的机器人轴撞击，或被挤压在固定部件上。	运行
21	**材料/物质** 泄漏时保护气体（氩气-CO2 混合气 M21）造成的危险: 氩气和 CO2 比空气重，保护气体可能在近地面处积聚；在通风不良区域发生较大泄漏时，存在因氧气被置换而窒息的危险。	运行, 维护, 故障查找
34	**热** 焊接烟尘抽排装置内的火灾危险（滤芯火灾）：工艺过程中吸入的火花和炽热颗粒可能积存在滤芯中，引发阴燃或滤芯火灾，甚至在下班后延时发生。火灾烟气可经管路系统和空气回流扩散到车间中。	运行, 维护
35	**人类工效学** 装入和取出工件时强迫体位和重复动作造成的危险: 操作人员以约 90 秒的节拍反复进行抓取、提升和夹紧动作；面对不同的工件几何形状，不利的身体姿势（弯腰、伸展）会加重脊柱、肩部和手腕的负荷。	运行
41	**篡改/信息安全** 缺少或不完整的干预证明（日志记录）：对安全相关硬件、软件或配置的干预未被记录，或记录时没有时间戳和操作者；日志在短时间后被覆盖或可被篡改。非法干预未被发现，在主管机关要求时无法提供追溯日志。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 2 款、第 1.1.9 条第 5 款、第 1.2.1 条第 2 款 (f) 项]	运行, 维护, 故障查找
42	**篡改/信息安全** 来自 MES 或云端的被篡改的生产或配方数据: 从 MES、ERP 或云平台获取的订单和配方数据（例如焊接参数、程序编号或工件分配）被篡改、已过时或用于错误的机器。机器按超出安全限值的规定或错误的工件和程序关联运行。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 3 款、第 1.2.1 条第 2 款 (b) 项、第 1.2.1 条第 2 款 (d) 项]	运行
44	**篡改/信息安全** 通过远程维护网关的未授权或错误的远程访问: 通过远程维护网关的 IPsec VPN 连接，持有被窃取访问凭据的未经授权人员，或在错误时机介入的获授权技术人员，干预单元控制系统：更改程序或参数、确认故障或启动运动，而此时有人员位于上料工	运行, 维护, 故障查找

编号	危险	生命周期阶段
	位或维护通道。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 1 款、第 1.1.9 条第 3 款、第 1.2.1 条第 2 款 (a) 项、第 1.2.1 条第 2 款 (d) 项]	
22	**材料/物质** 更换焊接烟尘抽排装置滤芯时滤尘造成的危险: 滤芯中含有分离出的、带金属氧化物和超细颗粒的焊接烟尘；更换时若无合适的呼吸防护措施，粉尘会释放并被吸入。	维护, 清洁
23	**机械** 维护和故障排除作业时压缩空气残余能量造成的危险: 切断压缩空气供应后，夹紧装置的管路和气缸中仍有残余压力；不受控制地泄压会使夹紧元件突然动作，伤及人员或甩出工件。	维护, 故障查找
33	**机械** 单元在使用寿命终止时拆除期间的危险: 拆除防护围栏分段、机器人底架和控制柜时，存在重型部件（挤压、坠落）、管路中的残余能量（压缩空气、电气）以及钣金件锋利边缘造成的危险。	停用

生命周期阶段：运输

机械

单元运输和安装时部件坠落造成的危险: 用起重机或叉车运输单元部件（防护围栏分段、控制柜、机器人底架）时，部件可能因挂装错误或载荷摆动而坠落并击中人员。

生命周期阶段: 运输, 装配

机械上现有的保护措施

- 所有单元部件（防护围栏分段、控制柜、机器人底架）均设有固定集成的、按规范设计的吊点（例如依据 DIN 580 的吊环螺钉或依据 DIN 582 的吊环螺母），每个吊点明确标注允许载荷（WLL）。每个部件的重心位置通过设计确定，或在部件上用标记记录，使挂装能够稳定、无摆动，起重附件与垂线的夹角不超过 60 度（β ≤ 60°）（设计以德国 DGUV Regel 109-017 作为规划依据）。这样，设计本身就降低了挂装错误的概率。
- 载荷摆动和人员停留在危险区造成的剩余风险：
- 技术运输文件：应为每个部件提供挂装方案（含吊点、重心位置、起重附件选择和 WLL 的图纸），作为装配文件的一部分（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4.2 条，关于运输和搬运的信息）。
- 危险区隔离：所有起重机吊装期间，载荷下方和侧面区域应以实体屏障（警戒带、隔离栅栏）封锁，使人员无法无意进入。
- 起重附件：选用经检验的起重附件（链条、吊带、卸扣），WLL 足够，并具备符合德国《工作设备安全条例》（BetrSichV）的有效检验证明。EN ISO 13849-1 意义上的安全功能不适用于该运输阶段；不应分配 PLr。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4.2 条）：
- 在第 5.2 章和第 5.3 章中列入含吊点、重心位置和各部件 WLL 的挂装方案。
- 资格要求：起重作业和载荷挂装只能由经培训并获授权的挂装工进行（资格依据德国 DGUV Information 209-013）。
- 每个部件上的警示标识：警告标志“当心吊物”（W015，依据 EN ISO 7010:2020），并在部件上直接标明质量和各吊点的 WLL。
- 个人防护装备规定：所有运输作业期间必须佩戴安全帽、穿 S3 级安全鞋和高可视性背心。
- 提示：禁止停留在悬吊载荷下方。

生命周期阶段：装配

机械

单元安装时稳定性不足造成的危险: 若单元安装在不平整或承载力不足的地面上，或重载锚栓未按规定设置并拧紧，设备可能倾倒或移位；附近人员会被撞击。

生命周期阶段: 装配, 试运转

机械上现有的保护措施

- 通过设计保证稳定性：采用尺寸足够、抗扭刚度高的底架（焊接框架结构或型钢框架），底面宽、重心低，依据 EN ISO 12100:2010 第 6.2.6 条（稳定性）。在底架上设置用于地面锚固的固定孔，配 2 × 4 个 M16 重载锚栓，使无需返工即可锚固；锚固设计成不会自行松脱，只能借助工具松开。重心位置和抗倾翻能力应在设计阶段通过计算验证（依据 EN ISO 12100:2010 第 6.2.6 条的稳定性验证）。
- 提供机器专用的安装平面图（尺寸图，含最小地面承载能力 10 kN/m²、基础平整度公差和锚固点位置），作为交付文件的一部分，装配开始前须经使用单位批准。
- 通过持久标记（箭头或文字）标示底架上的锚固点，使装配人员能够明确识别其位置。
- 对于设置锚栓之前的装配状态：验证无锚固时的稳定性（抗倾翻验证，稳定力矩与倾翻力矩之比至少为 1.5，由制造商规定）。这些措施不是 EN ISO 13849-1 意义上的安全功能，不需要 PLr。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：第 7 章（安装条件）和第 8 章（装配与安装），对以下内容作出有约束力的规定：最小地面承载能力（至少 10 kN/m²）、基础要求的平整度、必须用 2 × 4 个 M16 重载锚栓（拧紧力矩 110 Nm）锚固于地面，并规定锚栓类型和埋入深度，以及对安装平面图的引用。
- 底架上的警示标识：依据 EN ISO 7010:2020 的一般警告标志 W001，附补充文字“锚固前有倾倒危险”，至少设在底架两个相对的侧面，装配期间可见。
- 资格要求：安装和锚固只能由合格的专业人员（具有机器安装经验的工业机械师或装配工）进行；该要求应写入使用说明书。
- 个人防护装备提示：装配期间穿 S3 级安全鞋（EN ISO 20345）并戴防护手套；规定写入使用说明书。

篡改/信息安全

连接外部设备产生危险状态: 已连接的外部设备（使用单位的上级产线控制系统或 MES、远程维护网关、使用单位侧抽排系统或供气装置的信号）发送意外信号、写入控制变量或占用资源。由于风险评估中未考虑外部设备的功能，机器启动、改变操作模式或忽略停止条件。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 1 款、第 1.2.1 条第 4 款 (h) 项、第 1.2.4.4 条]

生命周期阶段: 装配, 试运转, 运行

机械上现有的保护措施

- 与外部设备的接口应设计为具有确定语义的定义信号接口（不得仅凭外部信号放行运动），安全相关信号仅通过安全输入/输出传输，外部设备的停止和急停链路须明确分配。
- 允许的节点和变量白名单，对传入指令进行合理性检查，对通过外部接口的操作模式切换加以联锁，对缺失或未知节点进行诊断。路径 B 的证明参考：IEC 62443-3-3 SR 1.2, SR 2.1, SR 3.5, SR 5.2, SR 7.7。

使用者须知

- 面向集成商的使用说明书和接口说明（信号、状态、按附录 III 第 1.2.4.4 条对机器组合的要求），并注明连接未放行的设备需要重新进行风险评估。

生命周期阶段：试运转

电气

直接或间接接触焊接电源、机器人控制柜和单元控制系统（400 V AC，32 kVA）带电部件造成的危险：控制柜打开且未断电时接触接线端子、电缆或柜内侧，可能导致触电并引起心室颤动或烧伤。

生命周期阶段: 维护, 试运转, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 控制柜内所有带电部件（接线端子、汇流排、焊接电源的功率接线端子）均设计有防触摸盖板（防护等级至少 IP 2X 或 IPXXB，依据 EN 60204-1:2018 第 6.2.2 条），使得通过防护外壳形式本身即可防止触及带电部件，而无需防护装置。此外，带电部件与可触及部件之间的最小间距的设计应保证即使在柜门打开时仍保持 IP 2X 防护等级（保护帽、端子排上的绝缘盖板）。这类推满足机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.5.1 条（电能供应）以及 EN 60204-1:2018 第 6.2 条。
- 隔离和断电（LOTO）：带可上锁的 OFF 位置的主开关，依据 EN 60204-1:2018 第 5.3 条和 EN ISO 14118:2018（避免意外启动 / 能量隔离）。主开关作为隔离装置必须将整个设备各极与电网断开；焊接电源电容器上的残余电压应通过放电时间或有源放电电路在 5 s 内限制到 60 V DC 以下；做不到时，应在外壳上设置标明放电时间的警示说明（EN 60204-1:2018 第 6.2.4 条）。柜门联锁：主控制柜的柜门配有只能用钥匙打开的锁，防止擅自打开（EN 60204-1:2018 第 6.2.2 条）。2. 保护等电位联结和保护导体：所有控制柜外壳、焊接电源和机器人控制柜通过截面足够的连续保护导体（PE）相连（EN 60204-1:2018 第 8.2 条），使绝缘故障时故障电流可靠导出，保护装置（断路器 / 剩余电流保护器）动作。3. 剩余电流保护装置（RCD）：对有人员作业的电路使用额定剩余动作电流 30 mA 的 RCD（B 型，因为变频器和焊接电源可能产生直流故障电流）；在 RCD 与焊接过程不相容的电路中，改用绝缘监测（EN 60204-1:2018 第 6.3.3 条和第 7.7 条）。这不是有 PLr 要求的安全功能；这些措施以被动的、设计性的方式起作用（警示标识见第 3 步）。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：以分步说明的形式记录隔离程序（LOTO），包括焊接电源电容器的放电时间以及用合适的测量仪表（CAT III 600 V 类电压测试器）验证无电压。资格要求：电气设备上的作业只能由符合德国事故预防规定 DGUV Vorschrift 3 的电气专业人员（ESP）进行，或在 ESP 监督下由受过电气培训的人员进行。个人防护装备规定：在打开的柜内作业时，须佩戴绝缘手套（依据 EN 60903，00 级，适用于不超过 500 V AC 的电压）、护目镜（电弧防护）并穿电气绝缘鞋。警示标识：依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W012“当心触电”应持久、清晰可见地贴在所有柜门和焊接电源上。使用说明书中的剩余风险提示：操作主开关后，焊接电源和机器人变频器中的电容器仍可能带有危险电压（焊接电源至少等待 1 分钟，机器人驱动按机器人制造商的规定）；必须始终通过测量验证无电压。

组合

机器人控制系统或安全控制器参数设置错误造成的危险（例如安全距离错误、设定模式下速度限值错误、区域使能错误）：错误的参数可能导致安全功能未按预期起作用，使人员因机器人运动或转台运动而面临危险。

生命周期阶段: 试运转, 设定, 维护

机械上现有的保护措施

- 与安全相关的参数（速度限值、保护区、区域使能）仅存储在安全控制器（安全 PLC）中，并通过受密码保护的、基于角色的访问方案防止未经授权或无意的修改。安全功能 SF-01 至 SF-05 的参数集作为不可更改的、带校验和保护的数据记录（例如 CRC-32 或同等方式）存储在安全控制器中，使任何无意的修改在系统启动时被自动识别，并强制进入安全状态。这一原则符合 EN ISO 12100 第 6.2.11 条规定的本质安全控制原则（限制危险发生的控制原则），并降低了错误参数完全生效的可能性。
- 放行前的确认义务：对与安全相关的参数的每次修改，在重新投入运行前，都需要由两名授权人员（双人复核原则）进行有记录的验收测试（对所有受影响的安全功能 SF-01 至 SF-05 进行功能测试）。只有在得到肯定确认之后，安全控制器才可释放自动模式。依据：EN ISO 13849-2:2012（安全功能的确认）以及 EN ISO 11161:2007+A1:2010（集成制造系统的验证与确认）。
- 安全控制器的参数验证：安全控制器（SF-02 和 SF-04 为 PLr e，SF-01、SF-03 和 SF-05 为 PLr d，依据 EN ISO 13849-1:2023）在启动时和周期性地对照存储的基准值（校验和比较）检查与安全相关参数的一致性。出现偏差时，触发依据 EN 60204-1:2018 的停止类别 1，并封锁重启（依据 EN ISO 14118:2018 不自动重启）。
- 设定模式 SF-05：250 mm/s 的安全降速（SF-05，PLr d）在安全控制器中由硬件限制，不能被机器人控制系统的参数覆盖。监测由符合 EN ISO 13849-1:2023 的 SRP/CS 完成，类别和 PL 依据 SF-05（PLr d）。
- 转台区域使能 SF-04：180 度旋转运动的使能（SF-04，PLr e）完全通过安全控制器基于经验证的传感器信号执行；仅由机器人控制系统中错误的区域参数引起的使能在设计上被排除。
- 变更管理：所有参数变更都连同时间戳、用户标识以及前后值，存储在安全控制器的防篡改变更日志（审计追踪）中。依据：EN ISO 11161:2007+A1:2010。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：说明参数变更程序（含分步指导）、每个安全功能（SF-01 至 SF-05）所有与安全相关参数的清单、每次变更后必须进行确认测试的义务，以及在变更日志中记录的义务。
- 资格要求：安全控制器的参数变更只能由具有功能安全资格证明（例如 TÜV 认证的功能安全工程师或同等资格）并了解该设备的专业人员进行。此项应写入使用说明书和操作规程。
- 警示标识：安全控制器和控制柜上应设置警告标志“当心触电”（W012，依据 EN ISO 7010:2020）以及禁止标志“禁止未经授权人员进入”（德国 ASR A1.3，D-P006）。另设提示标牌：“参数变更只能由获授权的专业人员进行，之后需进行确认测试”。
- 调试检查清单：每次首次调试之前和每次参数变更之后，都要完成并签署针对该设备的调试检查清单（依据：EN ISO 11161:2007+A1:2010）。

组合

来自不同制造商的子机械（机器人、焊接电源、转台、抽排系统）的安全水平不一致造成的危险: 子机械之间缺少或不完整的接口联锁，可能导致某一子机械在另一子机械处于不安全状态时仍然启动（EN ISO 11161）。

生命周期阶段: 试运转, 运行, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 系统架构采用唯一的上级安全控制器（Safety Master），作为 EN ISO 12100 第 6.2.11 条规定的本质安全控制原则：子机械的所有与安全相关的状态信号（机器人操作模式、转台终端位置、抽排系统运行、焊接电源就绪）都只经由安全控制器传递。除非安全控制器已将整体状态评估为安全，否则任何子机械驱动装置都得不到使能信号。通过这种集中化，接口联锁不完整的可能性在设计上被降到最低：子机械之间不存在并行的、相互独立的使能路径。接口定义依据 EN ISO 11161:2007+A1:2010（系统集成、责任、接口描述）进行，并记录在整个设备的安全方案中。
- 依据 EN ISO 11161:2007+A1:2010 的联锁矩阵：针对每种子机械组合，创建完整的状态矩阵（操作模式 × 其他子机械的状态）并在安全控制器中实现。每个使能都作为所有相关安全状态的“与”逻辑组合来实现。2. 安全功能 SF-04（仅在旋转区域内无人时才允许转台做 180 度旋转运动，PLr e）确保只有在光幕的保护场畅通、夹具已夹紧且机器人经证实位于旋转区域之外时，转台才旋转。该安全功能依据 EN ISO 13849-1:2023 按 PLr e 设计，并依据 EN ISO 13849-2:2012 确认。3. 安全功能 SF-01（打开维护门时安全停止，停止类别 1，PLr d）和 SF-02（光幕被遮断时安全停止，PLr e）在整个设备范围内协调：某一子机械的停止信号通过安全控制器触发所有子机械的协调停止。机器人和转台适用依据 EN 60204-1:2018 第 9.2.2 条的停止类别 1。4. 依据 EN ISO 13850:2015 的整个设备急停（SF-03，停止类别 1，PLr d）通过安全控制器同时作用于所有子机械。急停装置设在操作台、维护门和示教器上。5. 依据 EN ISO 14118:2018 防止意外启动：每次停止（急停、安全防护装置动作、能量供应中断）之后，都需要有意的重启指令；排除自动重启。6. 设定模式，带安全降速（SF-05，250 mm/s，PLr d）和依据 EN ISO 10218-2:2025 第 5.7.7 条的使能装置；该模式下，机器人和转台只有在使能装置被按下且安全降速时才运动，维护门打开时焊接电源通过 SF-01 安全关断。

使用者须知

- 整个设备的使用说明书（依据机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：接口联锁逻辑（状态矩阵、各子机械的使能条件）必须完整记录。对于每个子机械，安全责任的交接点（子机械制造商负责至接口，集成商从接口起负责）依据 EN ISO 11161:2007+A1:2010 在整个设备的安全方案中以书面形式确定，并在使用说明书中说明。资格要求：安全控制器的调试、参数设置和修改只能由了解 EN ISO 13849-1:2023 和 EN ISO 11161 的合格专业人员进行。操作台上的警示标识：警告标志“当心自动启动”（W018，依据 EN ISO 7010:2020）。使用说明书必须说明故障查找和调试的程序，包括子机械可投入运行的先后顺序，以及首次自动运行前核查接口联锁的验证步骤。

篡改/信息安全

因配置错误或操作错误导致的无意篡改: 加载了错误的配方或参数文件，未设置角色和密码（默认密码仍处于激活状态），或故障后配置恢复不完整。安全相关设置在未被察觉的情况下偏离已放行的配置。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 3 款、第 1.2.1 条第 2 款 (b) 项、第 1.2.1 条第 2 款 (d) 项、第 1.2.1 条第 2 款 (e) 项]

生命周期阶段: 设定, 运行, 试运转

机械上现有的保护措施

- 将安全相关设置与工艺配方分开，使配方切换无法更改这些设置；在安全控制器中硬性限制取值范围（限值来自风险评估，附录 III 第 1.2.1 条第 2 款 (d) 项）。
- 投入使用时强制更改密码，角色模型中安全相关更改须经双人放行，启动时将当前配置与已放行参考配置（校验和）进行比较并显示偏差，更改日志。路径 B 的证明参考：IEC 62443-3-3 SR 1.5, SR 2.1, SR 3.4, SR 7.6。

使用者须知

- 使用说明书：投入使用检查清单（密码、角色、备份参考配置），被指定为安全相关的数据的说明，配置更改后进行功能测试的指示。

篡改/信息安全

通信网络连接的故障或干扰: 网络故障、过载（广播风暴、拒绝服务）、电缆断裂或网段更换会中断控制组件之间的通信，或中断面向安全的通信（PROFIsafe）。恢复时发生意外启动，或不受控制地接收过时的设定值。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.2.6 条、第 1.2.1 条第 2 款 (a) 项、第 1.2.3 条]

生命周期阶段: 运行, 试运转

机械上现有的保护措施

- 安全功能的设计应使通信丢失导致进入安全状态（看门狗、安全报文的时间监控），且仅在有意确认后才能重新启动（附录 III 第 1.2.3 条）。将安全相关通信与标准通信解耦。
- 网络分段和负载限制（速率限制、交换机上的风暴防护），监控网络质量并给出诊断信息，在所有操作模式下定义、测试并记录连接丢失时的行为。路径 B 的证明参考：IEC 62443-3-3 SR 7.1, SR 7.2, SR 5.1, SR 5.2。

使用者须知

- 使用说明书：对使用单位网络的要求（分段、允许的节点、安全网段内不得有外部设备），通信故障时的行为及重新启动程序的说明。

篡改/信息安全

安全相关软件无法识别或未标识: 安全软件的版本和校验和无法在机械上调取，安全相关软件和数据未被指定为安全相关。在干预、更新或设备更换后，无法确定机械是否仍处于经测试的状态；使用未放行软件运行的情况不会被发现。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 3 款、第 1.1.9 条第 4 款、第 1.7.4.2 条]

生命周期阶段: 试运转, 维护, 运行

机械上现有的保护措施

- 将安全相关软件设计为具有独立版本号和校验和的界定明确的单元（与标准软件和可视化软件分开），从而在技术上实现唯一识别。
- HMI 上的信息页面显示所有安全相关软件组件的版本和校验和（随时可轻松访问且无需登录，附录 III 第 1.1.9 条第 4 款），在文件名、菜单和导出内容中标识安全相关数据，启动时与验收报告核对。路径 B 的证明参考：IEC 62443-3-3 SR 3.4。

使用者须知

- 使用说明书：安全相关软件和数据及其版本的清单（附录 III 第 1.7.4.2 条），调取版本信息的说明，关于其对符合性的意义以及发现偏差时报告义务的提示。

篡改/信息安全

安全控制器的工程访问未受保护: 安全控制器或安全 PLC 的编程访问无需密码或使用制造商默认密码即可进入，安全程序可在运行中被覆盖或置于停止状态，输入和输出可被强制。保护功能失效或执行器被直接驱动。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 2 款、第 1.1.9 条第 3 款、第 1.2.1 条第 2 款 (a) 项]

生命周期阶段: 试运转, 维护, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 安全控制器的编程访问与过程网络物理隔离（独立端口，位于上锁的控制柜内），量产版本中不得强制安全相关信号，程序更改仅在机械处于受保护的停止状态时进行。
- 安全程序访问使用个人专用密码并在投入使用时强制设置密码，激活控制器的写保护和访问保护等级，记录所有访问和程序更改并附版本和校验和，在 HMI 上显示程序状态。路径 B 的证明参考：IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 1.5, SR 2.1, SR 2.8, SR 3.4, SR 7.7。

使用者须知

- 使用说明书：访问保护和密码管理作为使用单位的义务，禁止在未重新测试和记录的情况下更改程序，提及实质性修改时的要求。

生命周期阶段：设定

机械

转台在自动旋转过程中造成的挤压与剪切危险: 操作人员的身体部位（手、手臂）可能被卷入并挤压在转台与固定式中间隔墙或防护围栏之间，特别是在旋转过程中伸手进入转台以调整移位的工件时（可合理预见的误用）。

生命周期阶段: 运行, 设定, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 转台边缘与固定式中间隔墙及防护围栏之间的间隙尺寸应设计成不产生挤压点：间隙不得小于 EN ISO 13854:2019 表 1 规定的最小间隙（手指 25 mm、手 100 mm、手臂 120 mm、身体 500 mm）。或者将间隙保持得足够小，使人体任何部位都无法进入（开口尺寸依据 EN ISO 13857:2019 表 4）。两种间隙尺寸均无法实现时，工作台框架的几何形状应设计成不形成收缩的楔形（采用平行或扩张的侧面，而不是收缩的间隙）。此外：将转台的质量和旋转速度降到功能所需的最低值（驱动设计），以限制作用于挤压间隙的动能。
- 第 1 步之后的剩余风险：旋转区域仍是危险区，驱动运行时不得进入。安全防护措施：
- 仅在旋转区域内无人时才释放旋转运动（SF-04，PLr e，EN ISO 13849-1:2023）：电敏保护设备（ESPE，4 型光幕，符合 EN IEC 61496-1:2020）完整监控旋转区域；布置和安全距离依据 EN ISO 13855:2024。
- 维护门的防护锁定符合 EN ISO 14119:2025，并带逃生解锁装置（SF-01，PLr d；停止类别 1，符合 EN 60204-1:2018）。
- 设定模式：仅在 250 mm/s 的安全降速且使能装置被按下时才允许旋转运动（SF-05，PLr d，停止类别 1，符合 EN 60204-1:2018）。
- 操作区域内的急停符合 EN ISO 13850:2015，并集成到 SF-03 中（PLr d，停止类别 1，符合 EN 60204-1:2018）。
- 介入前的能量隔离：带机械锁定的截止阀（上锁），符合 EN ISO 4414:2010；转台在终端位置以形锁合方式锁定（EN ISO 14118:2018）。

使用者须知

- 使用说明书：转台运行或未固定时，禁止进入旋转区域。任何介入（例如调整工件位置）之前，必须将设备完全关断并加以固定（上锁挂牌）。设定模式适用单独的、带使能装置的程序，已在使用说明书中说明。
- 机器上的警示标志：转台上贴有警告标志 W019“当心挤压”和 W024“当心夹手”，以及禁止标志 P015“禁止伸入”（依据 EN ISO 7010:2020）。
- 谁可以介入：设定和故障排除只能由经培训的人员进行。培训必须至少每年重复一次，并以书面形式记录。
- 个人防护装备：防护手套不能防止挤压。仅在转台停止时才可伸入旋转区域。整个设备区域内必须穿 S3 级安全鞋（EN ISO 20345）。

机械

设定模式下焊接机器人（工业机器人）造成的挤压和卷入危险: 在降速运行（点动控制）时，机器人的意外运动可能使操作人员或设定人员被挤压或卷入机器人手臂与外围设备（防护围栏、转台、焊接夹具）之间。

机械上现有的保护措施

- 设定模式下由机器人控制器将速度限制在最高 250 mm/s（TCP 速度），作为对机器人的本质安全设计要求（EN ISO 10218-1:2025 第 5.2.7 条和第 5.5.3 条）。此外：在单元布局允许的范围内，通过设计使设定模式下机器人最外侧位置与固定外围设备（防护围栏、转台、焊接夹具）之间的最小距离尽可能大，以从几何上消除挤压点和卷入点。仍小于 EN ISO 13854:2019 表 1 规定的最小距离 500 mm（身体）或 300 mm（头部）且无法通过设计消除的挤压点，作为剩余风险移交第 2 步。
- SF-05“设定模式下带使能装置的 250 mm/s 安全降速”，PLr d，依据 EN ISO 13849-1:2023：安全功能 SLS（安全限速，本文称安全降速）通过 PLr d 的控制系统安全相关部件（SRP/CS）实现。依据 EN ISO 10218-2:2025 第 5.7.7 条的使能装置（三位，带恐慌功能）必须持续按下；松开或完全按下时，触发符合 EN 60204-1:2018 的停止类别 1。设定人员随身携带示教器；只要人员位于防护空间内，示教器必须单独拥有运动使能权（EN ISO 10218-2:2025 第 5.7.5 条）。设定模式下只能通过带防护锁定的维护门进入防护空间，防护锁定符合 EN ISO 14119:2025。只有在可上锁的操作模式选择开关上选定“设定”操作模式后，防护锁定才会为设定模式释放该门。不携带示教器进入防护空间之前的能量隔离：依据 EN ISO 14118:2018 的安全隔离（上锁挂牌准备）。工厂验收测试时，已对照 EN ISO 13854:2019 表 1 的最小间隙检查了其余挤压点。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：设定模式只能由经培训并获授权、具备机器人操作资格证明的设定人员进行。说明设定模式下允许的身体姿势和活动区域。维护门上的警示标识：依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W018“当心自动启动”，以及提示“始终携带使能装置”。个人防护装备规定：S3 级安全鞋（EN ISO 20345），贴身防护服（避免宽松衣物造成卷入风险）。使用说明书中注明：没有激活的示教器和使能装置时，禁止进入防护空间。

机械

转台与焊接机器人接口处（交接区域）的挤压危险: 旋转过程中，装载好的夹具进入机器人的工作区域；机器人不协调地进入旋转区域，或转台运动与机器人使能之间缺少联锁，可能导致碰撞和挤压伤害。

生命周期阶段: 运行, 设定, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 转台的旋转半径与机器人的工作空间边界（TCP 包络曲线）在设计阶段相互协调，使两个运动同时有效时，夹具的最大旋转范围与机器人的最小工作空间之间保持不小于 500 mm 的几何最小距离（EN ISO 13854:2019 表 1 规定的防止身体被挤压的最小间隙）。这样从设计上最小化了重叠区；由于功能限制，该系统布局无法完全消除重叠，因此剩余重叠部分由第 2 步加以保护。
- SF-04“仅在旋转区域内无人时才允许转台做 180 度旋转运动”，PLr e，依据 EN ISO 13849-1:2023（风险图：S2/F2/P2）。在安全 PLC 中作为联锁安全功能实现：(a) 机器人静止监控：机器人必须位于旋转区之外的规定静止位置，并通过安全反馈信号（机器人控制器的安全输出，依据 EN ISO 10218-2:2025 第 5.4.7 条和第 5.5.8 条）确认这一点，之后才发出转台使能。(b) 向机器人发出转台使能：只要转台未处于终端位置并锁定，机器人控制器就收不到进入区域的使能信号；转台在终端位置以形锁合方式锁定。(c) 通往旋转区域的维护门的防护锁定符合 EN ISO 14119:2025，带逃生解锁装置，集成到 SF-01（PLr d）中。(d) 整个设备的急停符合 EN ISO 13850:2015，集成到 SF-03（PLr d）中，停止类别 1，符合 EN 60204-1:2018。(e) 设定模式下适用 SF-05：带使能装置的安全降速 ≤ 250 mm/s（PLr d）；设定人员只有在使能装置被按下且速度降低时才可进入旋转区域。防护围栏与旋转区域的距离符合 EN ISO 13857:2019 表 2；防护围栏按 EN ISO 14120:2015 设计。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：说明联锁逻辑 SF-04 以及自动和设定两种操作模式；明确提示设备运行时禁止进入旋转区域。设定模式：应记录资格要求（仅限经培训、了解使能装置的专业人员）。旋转区域的警示标识：依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W019“当心挤压”和 W024“当心夹手”；维护门上另设补充禁止标志“禁止未经授权人员进入”（德国 ASR A1.3，D-P006）。使用说明书中的个人防护装备规定：S3 级安全鞋（EN ISO 20345）；设定模式下另需贴身防护服（避免宽松衣物造成缠绕风险）。设定模式和故障查找时的剩余风险提示：使能装置须始终保持激活，没有使能装置时绝不进入旋转区域。

机械

气动夹紧装置失效造成工件或夹具部件坠落: 压缩空气中断或泄漏时，夹紧元件不受控制地松开；重达 40 kg 的工件可能从转台上掉落，击中上料工位的人员。

生命周期阶段: 运行, 设定, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 采用气动闭合夹具，在夹紧管路上、直接靠近夹紧气缸处设置先导式可解锁止回阀（保压阀）：压缩空气中断或供气管路泄漏时，夹紧压力保持在气缸内，工件保持夹紧；只有主动先导开启该阀时才会松开。夹紧力按最大工件重量 40 kg 加安全系数设计，依据 EN ISO 4414:2010。此外：将工作压力限制在夹紧功能所需的水平，以尽量减少所存储的气动能量（EN ISO 4414:2010）。
- 带安全功能的夹紧压力监控：夹紧管路中的压力开关监控夹紧压力；夹紧压力低于最低夹紧压力时，转台旋转运动的使能被封锁（与 SF-04 关联，PLr e，依据 EN ISO 13849-1:2023）。只要夹紧压力未得到确认，转台就不旋转。
- 旋转运动的机械联锁：转台在上料位置以形锁合方式锁定，防止带着已夹紧或松动的工件意外旋转；只有夹紧压力得到确认后才解除锁定（与 SF-04 联锁，PLr e）。
- 围挡/接料装置：在转台下方设置机械接料装置（挡板），按最大工件重量 40 kg 和最大坠落高度设计，使坠落部件远离上料工位；设计依据 EN ISO 14120:2015。
- 上料工位的安全距离：上料工位的布置应使转台下方的危险区位于正常停留区域之外。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：说明夹紧原理（带保压阀的气动闭合夹具）和夹紧压力监控；禁止在运行期间以及在未确保静止的情况下进行故障查找时停留在转台下方；压缩空气中断时的处理方法（停机，恢复压缩空气供应，经压力检查后才可取出工件）。
- 介入前的能量隔离：依据 EN ISO 4414:2010 和 EN ISO 14118:2018（避免意外重启和意外能量释放），说明在维护和检修作业前须使气动系统完全泄压；由于设有保压阀，夹紧压力保持在夹紧气缸内，因此在对夹紧装置作业前必须先松开夹具并泄压；设置带上锁装置的截止和排气阀。
- 警示标识：在转台和上料工位上设置依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W015“当心吊物”和 W024“当心夹手”。
- 资格要求：故障查找和设定作业只能由经培训的专业人员进行；要求应在使用说明书中说明。
- 个人防护装备：规定在上料工位穿 S3 级安全鞋（EN ISO 20345），作为剩余风险防护。

机械

急停后或故障排除后，转台或机器人意外重启造成的挤压和撞击危险: 如果缺少协调的重启联锁（EN ISO 11161），各子机械可能在人员仍处于危险区时自行启动。

生命周期阶段: 故障查找, 维护, 设定

机械上现有的保护措施

- 本质安全设计措施已用尽：急停后或故障排除后的重启属于控制系统事件，鉴于整个设备的功能原理（机器人和转台的协调自动运行），无法在不取消机器功能的情况下通过设计予以消除。不存在既能阻止重启本身、又不取消机器功能的几何或能量措施。因此防护必须完全通过第 2 步措施（控制系统与联锁）实现。
- 依据 EN ISO 11161:2007+A1:2010 的协调重启联锁：只有在从所有危险区之外的安全位置发出有意的手动重启指令之后，整个设备的控制系统才可释放某一子机械（转台、机器人）的重启。重启指令不得在急停复位确认后或故障排除后自动发出。
- 安全功能 SF-01（打开维护门时安全停止，停止类别 1，PLr d，依据 EN ISO 13849-1:2023）和 SF-03（整个设备的急停，停止类别 1，PLr d，依据 EN ISO 13849-1:2023）确保所有驱动装置安全停止。重启联锁作为安全功能 SF-01、SF-03 和 SF-04 的组成部分实现，并按其各自的 PLr 执行（SF-04：PLr e；SF-01 和 SF-03：PLr d，依据 EN ISO 13849-1:2023）。
- 安全功能 SF-04（仅在旋转区域内无人时才允许转台做 180 度旋转运动，PLr e，依据 EN ISO 13849-1:2023）：只有当 4 型光幕（符合 EN IEC 61496-1:2020，按 EN ISO 13855:2024 布置）检测到旋转区域内无人时，转台才可执行旋转运动。该功能在重启后继续有效，并防止有人在场时启动。
- 安全功能 SF-05（设定模式下带使能装置的 250 mm/s 安全降速，PLr d，依据 EN ISO 13849-1:2023）：设定模式下，重启只能通过使能装置（依据 EN ISO 10218-2:2025 第 5.7.7 条的三位使能装置）释放，从而排除以全速意外重启。
- 依据 EN ISO 14118:2018 的断电和能量隔离：为进行故障查找或维护而进入危险区之前，应通过可上锁的隔离装置切断所有相关驱动装置（电气、气动，依据 EN ISO 4414:2010）的能量供应，并防止被意外接通（上锁挂牌）。介入前应释放剩余能量（存储的气动能量）；转台在终端位置以形锁合方式锁定。
- 维护门的防护锁定符合 EN ISO 14119:2025，并带逃生解锁装置：只要危险运动尚未安全停止（停止类别 1 已完成），防护锁定就使维护门保持关闭。集成在 SF-01（PLr d）范围内完成。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：说明急停后和故障排除后的重启顺序；明确提示：只有在所有危险区完全清空并从外部发出手动确认指令之后，才允许重启。说明所有维护和故障查找活动依据 EN ISO 14118:2018 的上锁挂牌程序。
- 维护门和确认单元上的警示标识：提示意外重启的警告（依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W018“当心自动启动”），以及须从外部确认的义务提示。
- 资格要求：设定和维护活动只能由经培训的专业人员进行，这些人员须接受过重启程序和上锁挂牌方法的培训（EN ISO 10218-2:2025 第 7.5.12 条）。
- 个人防护装备规定：为故障查找或维护进入危险区时，须穿 S3 级安全鞋（EN ISO 20345）；其他个人防护装备按使用单位的工作场所风险评估确定。

机械

子机械（机器人、转台、焊接电源、抽排系统）之间缺少或未协调的急停功能: 某一子机械上的急停不一定会停止所有其他子机械；人员可能因继续运行的部件而面临危险。

生命周期阶段: 运行, 设定, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 本质安全设计措施已用尽：协调多个独立的控制器必然需要上级控制逻辑。纯粹的设计措施（几何形状、能量限制、替代）无法取代急停回路缺失的互联。联动设备的功能原理决定了必须进行主动的控制协调。
- 依据 EN ISO 13850:2015 和 EN ISO 11161:2007+A1:2010 的上级急停回路（SF-03）：整个设备的所有急停装置集成到一个共同的上级安全回路中，在任意位置触发时，使所有会造成危险的子机械（机器人、转台、焊接电源、气动系统）协调停止；抽排系统出于运行原因继续运转一段时间。停止类别 1，依据 EN 60204-1:2018（受控停止，随后切断能量）：机器人沿其轨迹执行受控停止，转台主动制动，焊接电源断电，夹具通过保压阀保持夹紧。抽排系统的延时运转不属于安全功能，但运行上需要。安全功能 SF-03 依据 EN ISO 13849-1:2023 规定为 PLr d，并以类别 3、PL d 实现。机器人的集成通过机器人控制器完成，依据 EN ISO 10218-2:2025 第 5.3.3 条（急停的作用范围，与上级控制器的安全接口）。急停装置应依据 EN ISO 13850:2015 设计（蘑菇头按钮，黄色背景，自锁，只有通过有意的操作才能复位）。急停装置的布置应使得从每个操作位置都至少能够在不遇到危险的情况下触及一个急停装置（EN ISO 13850:2015）。重启联锁：急停后需要手动复位，设备才能重新启动（EN ISO 13850:2015 第 4.1.4 条），以防止依据 EN ISO 14118:2018 所述的意外重启。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：说明整个设备的急停拓扑，附所有急停装置的布置图以及各装置的作用范围。明确指示：急停后，在复位之前必须检查所有子机械的危险区。设定模式和故障查找：指示只有在所有子机械完全停止，且维护门已固定在打开状态以防关闭（个人挂锁挂在锁闭装置上）之后，才允许介入危险区。资格要求：设定和故障查找只能由熟悉急停拓扑的、经培训的专业人员进行。操作台上的标识：说明急停装置作用范围的文字标牌（急停作用于单元内所有子机械），并补充依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W018“当心自动启动”。

机械

焊枪处焊丝（实心焊丝 1.0 至 1.2 mm）造成的割伤和刺伤危险: 从焊枪伸出的焊丝像针一样；在设定、穿丝或焊枪清洗时，手和手指可能被刺伤或割伤。

生命周期阶段: 设定, 维护, 清洁

机械上现有的保护措施

- 焊接结束后自动回抽焊丝：送丝控制在每个焊接循环结束后自动将焊丝向焊枪内回抽规定量（5 至 10 mm），使尖锐的丝端缩入导电嘴内，不再自由伸出。这样从设计上将设定和清洁这两个生命周期阶段的危险点（裸露的丝端）降到最低。此外：选用在点动模式（设定）下仅在持续按住按钮时才送丝的送丝系统（保持运行原理），使焊丝不会不受控制地被推出。
- 机械限制焊丝伸出长度：在焊枪颈部设置可调的焊丝长度挡块（带规定开口的焊枪保护帽），将焊丝的最大伸出长度限制在工艺所需的最小值。2. 禁止自动送丝：维护门一打开，自动送丝即被封锁；门打开时，只能以降低的穿丝速度在点动模式下送丝。3. 送丝点动模式：以降低的穿丝速度运行的点动模式是焊接电源的功能，不是安全功能；其设计目的是防止焊丝意外快速推出。4. 在焊枪和送丝机构的危险点上设置依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W022“当心尖锐物”。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：明确提示焊丝即使静止也有能刺穿皮肤的尖锐丝端。说明安全穿丝的方法（仅在点动模式下以降低的穿丝速度送丝，用斜口钳将丝端剪平整，绝不徒手触摸探查）。2. 焊枪支架和送丝装置上的警示标识：依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W022“当心尖锐物”。3. 资格要求：焊枪和送丝机构上的作业（穿丝、清洁）只能由经培训的专业人员进行；要求应记录在使用说明书中。4. 个人防护装备规定：穿丝和清洁焊枪时必须佩戴防割防护手套（依据 EN 388，抗刺穿性能至少 2 级）；规定写入使用说明书，并张贴在工作场所的告示上。5. 安全剪断丝端的提示：在对焊枪进行任何手工作业之前，必须用合适的斜口钳将丝端干净无毛刺地剪断；工具应在工作场所备妥。

机械

手工装卸最重 40 kg 的工件时的人类工效学危险和挤压危险: 15 kg 以内的工件由人工装入，超过 15 kg 的工件借助使用单位自备的起吊辅助装置装入；若发生可合理预见的误用（不使用起吊辅助装置搬运），会产生肌肉骨骼负荷，并有脱手的风险，进而导致工件掉落在脚或手上。

生命周期阶段: 运行, 设定

机械上现有的保护措施

- 将人工搬运的工件质量限制在最大 15 kg。该阈值是制造商针对每小时约 40 次搬运作出的规定，依据 EN 1005-2:2003+A1:2008 的参考质量推导得出。对于超过 15 kg 且不超过 40 kg 的工件，上料工位的工件夹具设计成可借助使用单位自备的起吊辅助装置从上方装入而无需重新抓握（通道畅通、装入深度、定位挡块的几何形状）。
- 上料工位已为使用单位自备的起吊辅助装置做好准备（起吊辅助装置不在供货范围内，承载能力至少 40 kg，作用半径覆盖整个装入区）。从上方进入无障碍，使操作人员无需重新抓握或松开工件即可到达装入位置。2. 在上料工位对起吊辅助装置的放下和回转区域设置地面标线（依据德国 ASR A1.3，黄/黑），使操作人员装入时不站在悬吊载荷下方。3. 上料工位的光幕（SF-02，PLr e）保护机器开口处的危险区；它不能防止工件本身掉落，但能限制装入时手可以停留的区域。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：明确规定搬运规则（15 kg 以内人工搬运，超过 15 kg 借助使用单位自备的起吊辅助装置，承载能力至少 40 kg）以及工件上正确的挂接点。规定依据 EN 1005-4 的装入时的身体姿势。2. 上料工位的警示标识：依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W015“当心吊物”和 W024“当心夹手”，以及指令标志 M008“必须穿防护鞋”。在装入位置旁直接设置文字标牌“人工搬运最重 15 kg，超过请使用起吊辅助装置”。3. 资格要求：操作人员在开始作业前必须接受起吊辅助装置使用和符合人类工效学的正确搬运方法培训（有记录的培训）。4. 个人防护装备规定：S3 级安全鞋（EN ISO 20345）和防护手套（防割、抓握可靠）应规定为所有装入和取出作业的最低个人防护装备。

机械

上料工位和维护通道区域内，因地面焊接飞溅物、线缆、软管（压缩空气、保护气体）以及清洁作业时的潮湿区域造成的绊倒、滑倒和跌倒危险。

生命周期阶段: 运行, 设定, 维护, 清洁, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 通过设计布线，将线缆和软管（压缩空气、保护气体）敷设在线槽、拖链或吊挂于顶部的线缆管理系统中，使其不出现在上料工位和维护通道的地面区域，从而不产生绊倒点。上料工位的接口采用顶部吊挂式或墙面插座板。通过焊接工位上设计集成的挡板（防飞溅挡板）减少地面的焊接飞溅物暴露，使其向操作区域的溅出降到最低。车间地面不在供货范围内；对安装场所的要求（防滑地面覆层）在第 3 步中转告使用单位。
- 通过以下安全防护措施限制由其余绊倒和滑倒点引起的剩余风险：
- 地面标线（依据德国 ASR A1.3，黄/黑），用于标明通道和危险区，依据机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.5.15 条。
- 依据机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.4 条，为上料工位和维护通道设置足够的固定照明，使障碍物和湿滑区域能被及早发现；依据 EN 1837 的机器集成照明在上料工位提供 500 lx，在维护通道提供 200 lx。
- 在紧邻焊接区域铺设防飞溅垫，便于取下和清洁。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：
- 提示焊接飞溅物、软管和潮湿造成的绊倒和滑倒危险；规定地面区域的清洁间隔和清洗程序。
- 资格要求：所有进入上料工位和维护通道的人员必须接受有关危险和通道布置的培训。
- 个人防护装备规定：进入上料工位和维护通道时须穿防滑鞋底的安全鞋（S3 级，EN ISO 20345）。
- 上料工位和维护通道入口处的警示标识：设置依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W011“当心滑倒”和指令标志 M008“必须穿防护鞋”。
- 对安装场所的要求：上料工位和维护通道设置防滑地面覆层，防滑等级至少为 R 11，依据德国 DGUV Regel 108-003。

机械

多人同时进入单元不同区域造成的危险（EN ISO 11161）：第二个人位于单元内部，而设定人员并未察觉；机器人或转台启动时，第二个人被撞击。

生命周期阶段: 设定, 维护, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 本质安全设计措施已用尽：整个设备的功能原理要求设定、维护和故障查找作业时有可进入的区域。危险来自多人同时位于不同区域，仅靠几何形状、距离或能量限制无法通过设计加以消除，除非放弃运行目的。对于这种类型的设备，把机器人或转台的能量降低到可靠排除伤害的程度在技术上无法实现。
- 依据 EN ISO 11161:2007+A1:2010 的多人进入时的人员保护：维护门设有可挂个人挂锁的锁闭装置。每位进入单元的人员把自己的个人挂锁挂到已打开的门的锁闭装置上。只要有挂锁挂着，门就无法关闭，自动模式也无法启动。此时只能在设定模式下，在按下使能装置且安全降速的条件下运动。确认只能在外部的操作台上进行。
- 维护门的防护锁定符合 EN ISO 14119:2025，并带符合 EN ISO 14119:2025 第 6.9.1 条的内侧逃生解锁装置，使被困在里面的人员可随时离开单元。
- 自动启动（机器人和转台）的使能以安全功能的形式实现：只有当维护门关闭并被防护锁定锁住、且已从外部确认后，才能自动启动。进入功能为 SF-01（打开维护门时停止），PLr d，依据 EN ISO 13849-1:2023。与此无关，转台旋转的使能仍由 SF-04（PLr e）保护。
- 设定模式下适用 SF-05（带使能装置的 250 mm/s 安全降速，PLr d，依据 EN ISO 13849-1:2023）。使能装置是与个人绑定的。单元恰好有一个使能装置，位于示教器上；因此，设定模式下的运动只有在除持有使能装置的人员之外单元内无其他人时才被允许（程序文件见第 3 步）。
- 机器人工作空间与人员停留区域之间的安全距离符合 EN ISO 13857:2019 表 2 以及 EN ISO 10218-2:2025 第 5.4.6 条和第 5.8.9 条。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：说明维护门处的人员保护（每人一把个人挂锁挂在锁闭装置上，内侧逃生解锁装置），以及进入前须挂上挂锁、离开单元后才可取下的义务。多人作业（设定、维护、故障查找）的程序文件，明确分工（责任人、协调）。
- 维护门上的警示标识：依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W018“当心自动启动”，文字标牌“进入前请挂上个人挂锁”。
- 资格要求：设定和维护人员必须接受多人进入方案、个人挂锁锁闭装置和逃生解锁装置使用方法的培训。培训应有记录。
- 使用说明书中的个人防护装备规定：在单元内部停留时，须穿 S3 级安全鞋（EN ISO 20345）和贴身防护服（避免宽松衣物造成缠绕风险）。

电气

工件和夹具处焊接电流造成的危险: 焊接回路中流过大电流（通常为 100 至 350 A）；接地连接有故障或绝缘损坏时，接触工件或夹具的人员可能触电。

生命周期阶段: 设定, 运行, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 夹具框架和工件夹持件应设计成：处于焊接电流回路中且可触及的导电表面，通过设计上的绝缘（夹具底板与机床工作台之间的玻璃纤维环氧绝缘板，以及绝缘的夹爪嵌件）与机器机架实现电气隔离。这样，经由机架和可触及外表面的意外电流路径从设计上就被切断。此外：将接地线连接点直接设在工件上，或设在夹具上一个明确规定的、操作人员无法触及的位置，并通过造型（凹槽、线缆走线槽）加以集成，使接地夹的错误定位在设计上受到阻碍。
- 焊接电源：焊接电源为 I 类设备，外壳防护等级 IP23S，依据 EN IEC 60974-1；并入整个设备保护导体链应依据 EN 60204-1:2018 第 8 条（保护导体截面、连接点）。2. 接地连接监测：焊接电源的接地电流监测已启用；中断或接触电阻高到不允许时，焊接过程被封锁。该功能是不带 PL 要求的运行联锁（不是 EN ISO 13849-1:2023 意义上的安全功能）；不为其计入风险减小。3. 等电位联结：夹具上所有未特意绝缘的导电部件都纳入设备的保护等电位联结（EN 60204-1:2018 第 8.2 条）。4. 焊接过程中的进入限制：上料工位由光幕（SF-02，PLr e，依据 EN ISO 13849-1:2023）保护；焊接进行期间，通过联锁的维护门（SF-01，PLr d）和转台的使能逻辑（SF-04，PLr e）阻止进入焊接区域，从而在设计上和控制技术上防止自动模式下接触带电部件。5. 线缆管理：焊接电缆和接地电缆敷设在封闭线槽或保护软管中（防机械损伤）；应遵守制造商规定的最小弯曲半径；线缆应带拉力消除装置固定。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：说明接地夹的正确连接（位置、接触面清洁、允许夹持范围）；提示焊接过程中禁止触摸工件和夹具；绝缘和线缆状态的检查间隔（每个工作日目视检查，每半年由电气专业人员进行绝缘测量，见第 10.2 章）。2. 资格要求：焊接电源及其连接上的设定、故障查找和维护，只能由电气专业人员，或在电气专业人员监督下由受过电气培训的人员进行（术语依据 EN 60204-1:2018 第 3.1 条）。3. 夹具和焊接区域的警示标识：在清晰可见处设置依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W012“当心触电”；设置文字标牌“焊接开始前请检查接地夹”。4. 使用说明书中的个人防护装备规定：在焊接区域内设定和故障查找时，须佩戴绝缘手套（防护等级适用于低压）并穿焊工防护服。

电气

焊接电源与安全控制器（机器人控制器、光幕评估单元、防护锁定控制器）之间的电磁干扰: MAG 电弧产生的高频干扰脉冲可能影响安全功能，导致误触发，或更严重的情况是安全功能未被察觉的失效（EN ISO 11161）。

生命周期阶段: 运行, 设定

机械上现有的保护措施

- 通过设计规定将焊接回路与安全回路在空间上和电气上隔离：
- 将焊接电流回流导线作为专用回流导线、靠近工件，直接从焊接夹具返回，避免产生起天线作用的大面积电流环路。
- 焊接电流电缆与安全信号 / 控制电缆敷设在分开的线槽中，最小间距 200 mm（间隔距离依据 EN 50174-2 和 EN 60204-1:2018 附录 H）；仅允许垂直交叉。
- 焊接电源和安全控制器分别接地到各自的等电位联结母排上，母排以低阻抗与设备保护导体相连，以避免公共阻抗路径。这些措施从源头降低耦合，无需防护装置。
- 针对其余的传导和辐射干扰剩余风险：
- 所有安全信号和控制电缆（光幕 SF-02、防护锁定 SF-01、旋转使能 SF-04、急停 SF-03）均采用屏蔽电缆；屏蔽层两端以低阻抗连接到等电位联结母排。
- 在安全控制器和光幕评估单元的供电入口处使用电源滤波器（抗干扰滤波器），按 EN IEC 61000-6-2:2019 设计（工业环境抗扰度要求）。
- 机器人控制器、光幕评估单元和防护锁定控制器仅安装在具有连续屏蔽的控制柜中（金属外壳、符合电磁兼容要求的电缆引入件）。
- 安全控制器及安全功能 SF-01 至 SF-05 的所有部件必须有据可查地满足 EN IEC 61000-6-2:2019 的抗扰度要求（部件制造商的证明材料已具备）。
- 安全功能 SF-01（PLr d）、SF-02（PLr e）、SF-03（PLr d）、SF-04（PLr e）和 SF-05（PLr d）须依据 EN ISO 13849-1:2023 和 EN ISO 13849-2:2012 进行确认；确认必须证明控制系统安全相关部件（SRP/CS）依据 EN ISO 13849-1:2023 附录 L 的抗扰度以及共因失效（CCF）措施（附录 F）。
- 焊接电源：带 CE 标志的设备，其欧盟符合性声明同时涵盖电磁兼容指令 2014/30/EU；电源的发射依据 EN IEC 60974-10（弧焊设备的电磁兼容），整个设备的发射依据 EN IEC 61000-6-4:2019（报告 RSZ-2600-EMV-001）。
- 整个设备：在焊接过程处于激活的运行状态下，依据 EN IEC 61000-6-2:2019 进行电磁兼容验收测试，以在真实运行条件下验证安全功能的抗扰度。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：
- 提示：对线缆走线（焊接电流电缆、控制电缆）的任何修改，只能由具备电磁兼容知识的合格专业人员进行。
- 维护说明：目视检查屏蔽层端接、等电位联结连接和线槽分隔；检查间隔为六个月（见第 10.2 章）。
- 提示：每次更换焊接电源、机器人控制器或安全部件后，都需要对安全功能重新进行电磁兼容功能检查。
- 资格要求：设定人员（设定模式，SF-05 激活）应接受有关安全控制器电磁干扰故障现象的培训。

- 安全控制器控制柜上的标识：文字标牌“仅可依据电气原理图 RSZ-2600-EPL-001 更改线缆走线”。

热

高温工件和焊缝造成的烫伤危险: 刚焊接完的组件在焊缝区域温度可达数百摄氏度；未戴合适的防护手套取出，或接触焊缝，可能造成严重烫伤。

生命周期阶段: 运行, 设定

机械上现有的保护措施

- 本质安全设计措施已用尽：电弧 / 气体保护焊的工作原理必然要求向工件输入热量；除非抑制焊接过程本身，否则焊缝温度在物理上无法降低到无危险的水平。不考虑替换连接工艺（例如粘接、螺栓连接），这也无法满足产品要求。取料抓取点处无法通过设计实现几何措施（通过造型与焊缝保持距离），因为操作人员必须抓取该组件。
- 强制冷却时间：焊接结束后控制侧的闭锁时间（设备控制系统中的定时器），在此期间上料工位（取料侧）的取料使能保持封锁。闭锁时间按焊接程序存储；取决于工件几何形状和热输入。该功能不是 EN ISO 13849-1 意义上的安全功能（未分配 PLr），而是工艺性联锁；它降低发生概率，但不能取代使用个人防护装备的义务。2. 警示灯 / 信号装置：光学指示（取料工位的红色信号灯），在冷却闭锁时间内亮起，使能放行时熄灭。3. 热屏蔽：焊接区与取料工位之间带焊接防护帘的固定式中间隔墙，为操作人员屏蔽辐射热（关于接触温度限值，参照 EN ISO 13732-1:2008 设计，作为可能被无意触及表面的设计依据）。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：提示高温工件和焊缝的烫伤风险；规定取料前所需的冷却时间；要求佩戴隔热手套（II 类个人防护装备，适用于接触热，依据 EN 407，接触热性能等级至少为 3 级），必要时佩戴前臂护具。2. 取料工位的警示标识：在上料工位（取料侧）持久、清晰可见地设置依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W017“当心高温表面”和指令标志 M009“必须戴防护手套”（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.1 条）。3. 资格和培训：操作人员和设定人员在开始作业前，必须接受有关烫伤风险、冷却时间和使用个人防护装备义务的培训；培训应有记录。4. 个人防护装备的提供：使用说明书必须指示使用单位提供合适的隔热手套（EN 407）并监督其使用。

热

焊接飞溅物（火花飞溅）造成的烫伤和火灾危险: MAG 焊接时产生温度超过 1500 °C 的飞溅物；它们可能落到周围的可燃材料（包装、油品、衣物）上，引起火灾或烫伤。

生命周期阶段: 运行, 设定

机械上现有的保护措施

- 优化焊接参数以减少飞溅：在焊接任务允许的范围内，采用低飞溅电弧工艺（例如脉冲电弧或 CMT 类短弧）取代常规短弧。通过有针对性地减少传递的飞溅能量和数量，从设计上降低有引燃能力的飞溅物落到可燃材料上的概率。此外：焊接区域的布置应使焊接区域周围 1 m 的飞溅防护半径内不存放或敷设可燃的运行介质（油、润滑剂、包装）。输送可燃介质的管路应敷设到飞溅区域之外，或加装不可燃的屏蔽。
- 防护装置：焊接区域由带不透焊接弧光填充板和焊接防护观察窗的防护围栏（EN ISO 14120:2015）以及转台的中间隔墙围起；填充板和中间隔墙不可燃且耐焊接飞溅。该围挡防止飞溅物逸入一般作业区域。朝向上料工位一侧，转台的中间隔墙及其符合 EN ISO 25980 的焊接防护帘遮蔽焊接区域。2. 焊接区域的抽排系统：依据 EN ISO 21904-1:2020 在产生点直接捕集焊接烟尘和颗粒，以抽走炽热颗粒并降低对周围环境的热负荷。3. 确保防护围栏周围 1 m 的净空区：依据德国工作场所规则 ASR A1.3 设置持久的黄黑地面标线，并尽可能设置实体屏障；该区域内不设存放或堆放区。4. 消防：在单元处设置灭火器支架（CO2 或干粉，因有电气设备不用水）；灭火剂的配备和检查由使用单位负责（使用说明书中的提示，第 3 步）。5. 安全功能：维护门通过 SF-01（PLr d）、上料口通过 SF-02（PLr e）接入安全控制器；只有在维护门关闭并锁定时才进行焊接。

使用者须知

- 使用说明书（依据机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：提示飞溅防护半径，禁止在焊接区域存放可燃材料。给出允许的焊接参数范围（电流、电压、送丝速度），以尽量减少飞溅。规定定期清除机器表面和焊接区域飞溅物的要求（降低火灾载荷）。发生火灾时的程序文件（报警、初期灭火、疏散）。2. 防护围栏上依据 EN ISO 7010:2020 的警示标识：一般警告标志 W001，附补充文字“焊接飞溅造成火灾危险”。焊接区域设“当心高温表面”（W017）。维护门上设指令标志 M010“必须穿防护服”。3. 资格要求：设定人员和操作人员必须接受焊接设备操作和消防设施使用方面的培训。设定人员须具备焊接专业人员资格，或同等的有记录的培训。4. 个人防护装备规定：在焊接区域进行设定作业时，必须穿戴以下个人防护装备：阻燃焊接防护服（依据 EN ISO 11611）、焊工手套（依据 EN 12477）、带符合 EN ISO 16321-2（原 EN 169）的焊接滤光片的焊接面罩或焊接头盔。在维护门关闭的自动模式下，不需要焊工个人防护装备；但运行期间禁止进入焊接区域（使用说明书）。

热

高温焊枪和焊枪颈部造成的烫伤危险: 焊接过程结束后，焊枪颈部和导电嘴温度很高；更换焊枪、清洁或在未经冷却时进行设定时，手和手指可能被烫伤。

生命周期阶段: 维护, 设定, 清洁

机械上现有的保护措施

- 采用主动焊枪冷却（水冷焊枪取代风冷焊枪）：持续的水冷从设计上将焊枪颈部和导电嘴的热能限制在明显较低的温度水平。此外：焊枪支架和更换系统的设计应使操作人员更换焊枪时只接触热隔离的握持区域（塑料或陶瓷手柄，不与焊枪颈部直接金属接触）。设计依据 EN ISO 13732-1:2008（裸露金属的烫伤阈值：接触 1 min 时约 51 °C，接触 10 min 时约 48 °C）。
- 冷却时间监测：焊枪颈部的温度传感器向设备控制系统报告；只有温度降至限值以下，HMI 才显示可以更换焊枪和清洁的放行信号。该功能是不带 EN ISO 13849-1 PL 要求的运行联锁；不为其计入风险减小。2. 防护装置：焊接区域由带不透焊接弧光填充板和焊接防护观察窗的防护围栏（EN ISO 14120:2015）围起；维护和清洁时只能通过受保护的维护门（SF-01，PLr d）接近焊枪。这样，自动模式下无意触及高温焊枪在设计上被排除。3. 在焊接工位旁紧邻设置带隔热托座（陶瓷或硅胶垫）的焊枪搁架，使焊枪在工艺结束后被有规定地放置，而不是放在导电金属表面上。

使用者须知

- 使用说明书：在更换焊枪、清洁或对焊枪进行设定作业之前，明确给出焊接结束后的冷却时间（参考值按焊枪制造商的规定）；在焊枪更换程序文件中加入“等待冷却时间或检查温度”这一步骤。2. 警示标识：在焊枪区域和维护门上持久、清晰可见地设置警告标志“当心高温表面”（W017，依据 EN ISO 7010:2020）。3. 资格：只有经培训的人员才可以更换和清洁焊枪；培训涵盖烫伤风险、冷却时间和个人防护装备的正确使用。4. 个人防护装备规定：更换焊枪、清洁以及对焊枪进行设定作业时，必须佩戴隔热手套（适用于接触热，防护等级依据 EN 407）；该要求应写入使用说明书，并通过维护门上的指令标志“必须戴防护手套”（M009，依据 EN ISO 7010:2020）加以提示。

辐射

MAG 电弧的光辐射（紫外、可见光、红外）造成的危险: 电弧发出强烈的紫外线、可见光和红外辐射；无防护地直视电弧（包括设定模式下透过打开的维护门）可能造成眼损伤（角膜结膜炎、视网膜损伤）和皮肤灼伤。

生命周期阶段: 设定, 运行

机械上现有的保护措施

- 本质安全设计措施已用尽：MAG 焊接的功能原理必然要求有辐射强度很高的明弧；除非中断焊接过程，否则电流、电压和电弧能量无法降低到消除辐射危险的程度。对于焊接位置不断变化的机器人焊接系统，无法在几何上转移危险点。
- 焊接区域的围挡：带不透焊接弧光填充板和焊接防护观察窗的防护围栏，作为符合 EN ISO 14120:2015 的固定式防护装置；填充板和涂层（哑光黑色、吸光表面）的设计应使相关的紫外 / 红外反射不外泄。观察窗和焊接防护帘按 EN ISO 25980 设计。
- 维护门：维护门应配备符合 EN ISO 14119:2025 的防护锁定（带防护锁定的联锁，逃生解锁装置依据 EN ISO 14119:2025 第 6.9.1 条）。安全功能“SF-01 打开维护门时安全停止（停止类别 1）”应按 PLr d 实现，依据 EN ISO 13849-1:2023：只有电弧熄灭且机器人静止后，防护锁定才释放该门；因此无需依据 EN ISO 13855:2024 计算安全距离。
- 维护门打开的设定模式：维护门打开时，焊接电源通过 SF-01 安全关断（安全 PLC 的关断路径与 SF-03 相同，PLr d，依据 EN ISO 13849-1:2023），因此门打开时无法引燃电弧。标准控制系统中对焊接使能的额外封锁（只有维护门关闭并锁定时才允许焊接使能）是不带 PL 要求的运行联锁。功能“SF-05 设定模式下带使能装置的 250 mm/s 安全降速”（PLr d）适用于机器人和转台的运动。维护门关闭时，防护锁定（SF-01）防止电弧辐射。
- 上料口处的辐射防护：转台的中间隔墙及其符合 EN ISO 25980 的焊接防护帘遮蔽上料工位，使操作人员不会受到直接辐射。

使用者须知

- 使用说明书：依据机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4.1 条和第 1.7.4.2 条，提示 MAG 电弧的辐射危险（紫外、可见光、红外）；说明维护门打开时焊接电源通过 SF-01 安全关断；说明焊接区域附近设定和维护活动的个人防护装备要求。
- 资格要求：设定和维护人员必须了解电弧焊接的辐射危险；依据德国《人工光辐射职业安全条例》（OStrV）的培训，应在使用说明书中列为使用单位的义务。
- 个人防护装备规定：对于无法完全排除杂散辐射剩余风险的活动（例如在紧邻处设定时的反射）：带符合 EN ISO 16321-2（原 EN 169）的焊接滤光片的焊接护目镜或焊接面罩、耐紫外线防护服和防护手套。
- 警示标识：维护门和上料口处设置警告标志“当心光辐射”（W027，依据 EN ISO 7010:2020）；维护门处设置依据 EN ISO 7010:2020 的指令标志“必须戴护目镜”（M004）和“必须穿防护服”（M010）。
- 发射数据：依据机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.5.10 条和第 1.7.4.2 条，在使用说明书中给出电弧光辐射的信息；依据是焊接电源制造商的数据以及依据 EN 12198（机械辐射）对辐射发射的评估。

辐射

焊接电源和焊接电缆产生的电磁场（EMF）造成的危险: 大焊接电流会产生强磁场；带有源植入物（心脏起搏器、胰岛素泵）的人员可能因电磁场而面临危险。

生命周期阶段: 运行, 设定, 维护

机械上现有的保护措施

- 敷设并捆扎焊接电缆（电流导线和回流导线），使去线和回线在空间上紧密靠近（绞合或平行敷设、间距最小的电缆对）：两根导线的磁场部分相互抵消，从而明显降低周围环境中的合成场强。电缆长度应尽可能短，不要不必要地盘绕或敷设成环路，因为环路会增大场强。焊接电源应与上料工位和操作台保持距离安装。
- 通过现有的防护装置（符合 EN ISO 14120:2015 的防护围栏）保护运行期间对焊接区域（焊接单元）的进入，使人员在自动模式下无法进入通电焊接电缆的近处。维护门采用符合 EN ISO 14119:2025 的防护锁定（SF-01，PLr d），只有在焊接电流切断后才允许进入。设定模式下以及在电缆附近进行维护作业时：进入危险区之前切断焊接电流，并防止其被重新接通（依据 EN ISO 14118:2018 进行能量隔离和停机）。焊接电缆全部在防护围栏内敷设，使单元外的人员与通电电缆保持距离。

使用者须知

- 使用说明书：明确提示焊接设备运行时会产生强电磁场。带有源或无源金属植入物（心脏起搏器、胰岛素泵、人工耳蜗、金属植入物）的人员不得进入焊接电缆和焊接电源的近处。在电缆附近开始设定或维护活动之前，必须切断焊接电流。资格要求：设定和维护人员应接受有关 EMF 危险的培训；已知带有植入物的人员应被排除在通电焊接电缆近处的作业之外。警示标识：在维护门、上料工位和焊接电源上设置警告标志“当心磁场”（W006，依据 EN ISO 7010:2020）。并在相同位置另设禁止标志“禁止植入心脏起搏器者进入”（P007，依据 EN ISO 7010:2020）。EMF 发射应在使用说明书中定性描述；评估依据是焊接电源制造商依据 EN IEC 62822-2（评估弧焊设备对人员的 EMF 暴露）提供的数据。

材料/物质

吸入焊接烟尘和蒸气（金属氧化物、锰、氧化铁）造成的危险: 对结构钢进行 MAG 焊接会产生有害颗粒和气体；抽排不足（滤芯饱和、设备关闭）时，操作人员呼吸带处的浓度超过职业接触限值。

生命周期阶段: 运行, 设定, 维护, 清洁

机械上现有的保护措施

- 替换焊接填充材料：在焊接任务（结构钢、焊缝质量）允许的范围内，使用锰含量经证明较低的实心焊丝（低锰合金，例如依据安全数据表 Mn 含量 < 1.0%），取代药芯焊丝或高锰焊丝。此外：按焊接电源制造商的建议，把焊接参数（电弧电压、送丝速度、保护气体成分）优化到低烟尘设置，从源头把烟尘的产生降到最低。这两项措施都减少排放的污染物质量，从而降低发生有害暴露的概率；可能造成的伤害的严重程度不变。
- 依据 EN ISO 21904-1:2020 的技术通风和抽排（焊接烟尘抽排）：通过焊接区域上方的捕集罩捕集焊接烟尘，风量 1800 m³/h，以确保产生点处的捕集速度。抽排系统必须配备过滤器监测（压差开关），在滤芯饱和或抽排出现故障时触发报警；单元受控停止，只有故障排除后才能重新启动（不带 EN ISO 13849-1 PL 要求的运行联锁，不为其计入风险减小）。通过带不透焊接弧光填充板的防护围栏（EN ISO 14120:2015）和转台的中间隔墙屏蔽焊接区域，使烟尘逸入操作区域的情况降到最低。建议使用单位另外采取措施，对上料工位的焊接烟尘浓度进行室内空气监测。

使用者须知

- 使用说明书（依据机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：说明所排放的焊接烟尘种类，并提示须遵守 TRGS 900 和 TRGS 528 规定的职业接触限值；规定定期检查和更换滤芯的要求（维护间隔依据制造商规定 EN ISO 21904-1:2020）；禁止在抽排系统失效或关闭时进行焊接。焊接区域的警示标识：依据 EN ISO 7010:2020 的一般警告标志 W001，附补充文字“有害焊接烟尘”，并设置指令标志“必须戴呼吸防护用品”（M017）作为剩余风险标识。个人防护装备要求：抽排关闭时，在焊接区域进行设定、维护和清洁作业应佩戴符合 EN 149 的 FFP3 颗粒物过滤半面罩或送风式呼吸防护装置。资格要求：操作人员和设定人员必须接受焊接烟尘危害和抽排系统正确操作方面的培训（TRGS 528 第 5 条）。

噪声

MAG 焊接过程和转台驱动产生的噪声危险: 焊接过程（电弧噪声、飞溅）和机械驱动在上料工位产生相当大的声压级；连续运行（两班制，16 h）时，日噪声暴露级 LEX,8h 可能达到或超过德国《噪声与振动职业安全条例》（LärmVibrationsArbSchV）的行动值。

生命周期阶段: 运行, 设定

机械上现有的保护措施

- 依据 EN ISO 11688-1，通过设计措施从源头降低噪声：
- 优化焊接过程：选择低发射的焊接参数（工艺上可行时采用脉冲电弧而不是短弧），因为短弧产生的飞溅和噪声发射更高。
- 转台驱动的驱动封装和固体声隔离：驱动电机和减速器在机架上弹性支承，以减少固体声向辐射表面的传递。
- 机架采用吸声或阻尼型材（例如衬有沥青阻尼垫的钣金护板）取代无阻尼的钢板表面，以减少声辐射。噪声排放值的测量和声明在第 2 步和第 3 步中进行。
- 通过转台的中间隔墙，以及焊接区域与上料工位之间防护围栏的封闭填充板，对焊接区域进行声屏蔽。
- 用吸声材料对转台驱动进行封装或包覆，前提是仍保证可维护接近（包覆件按符合 EN ISO 14120:2015 的防护装置设计）。
- 在代表性运行状态（自动模式、MAG 焊接激活、转台运转）下，依据 EN ISO 11202:2010 在上料工位进行噪声测量，以确定发射声压级 LpA（测得：84 dB(A)，K = 2.5 dB）。日噪声暴露级 LEX,8h 由使用单位依据德国《噪声与振动职业安全条例》（LärmVibrationsArbSchV）确定。说明：不涉及依据 EN ISO 13849-1 的安全功能；该危险无需确定 PLr。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4.2 条 (u) 项）：依据 EN ISO 11202:2010 和 EN ISO 4871:2009 给出在上料工位测得的发射声压级 LpA（含测量不确定度 K）；LpA 超过 80 dB(A) 时，另依据 EN ISO 3746:2010 给出声功率级 LWA。提示使用单位依据德国《噪声与振动职业安全条例》（LärmVibrationsArbSchV）承担的义务：风险评估、从上限行动值 LEX,8h 85 dB(A) 起制定降噪方案、从 80 dB(A) 起提供听力防护用品的义务、从 85 dB(A) 起佩戴的义务。
- 上料工位的警示标识：在清晰可见处设置指令标志“必须戴护耳器”（M003，依据 EN ISO 7010:2020）。
- 资格和培训：使用单位应就噪声危险、行动值和听力防护用品的正确使用对操作人员进行培训。
- 个人防护装备规定：由使用单位提供合适的听力防护用品（耳罩或耳塞），其衰减值（SNR）应足以与使用单位确定的 LEX,8h 相匹配；选择依据 EN 458。

人类工效学

上料工位和维护通道照明不足: 照度过低使工件的安全装入和取出以及维护作业变得困难，并增加操作失误和事故的风险。

生命周期阶段: 运行, 设定, 维护, 清洁

机械上现有的保护措施

- 应在设计中为上料工位和维护通道设置机器集成式工作场所照明：灯具固定集成在机器结构中（安装在防护围栏的框架内），使上料工位和维护通道的照度不依赖车间照明而持续得到保证。设计依据 EN ISO 12100:2010 第 6.2.8 条（人类工效学），并结合 EN 1837（机器集成照明）；实际实现的照度为上料工位 500 lx，维护通道 200 lx。通过设计集成，不再依赖外部的、可能不足的照明光源。
- 集成灯具失效或被遮挡造成的剩余风险：由机器控制系统监测工作场所照明的运行就绪状态（灯具失效时发出提示）。此外，维护通道区域按德国工作场所规则 ASR A1.3 用逆反射的黄黑地面标线标示（绊倒点、通道边界），并在绊倒点处设置依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W007“当心地面障碍物”。照明监测不需要 EN ISO 13849-1 意义上的安全功能；照明失效时应停止作业（第 3 步）。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：给出工作场所照明的照度（上料工位 500 lx，维护通道 200 lx）；提示集成照明失效时应停止作业，直至照明恢复。维护门上的文字标牌：“照明失效时停止作业”。资格要求：维护人员必须接受开始作业前检查照明功能的培训。照明失效时，短时检查应使用合适的移动灯具；照明恢复后才可继续正常作业。

机械

伸手越过或从下方穿过上料工位光幕造成的危险（可合理预见的误用）：人员从光幕侧面绕过，或从光幕下方伸手进入旋转区域，而不触发保护功能；转台或机器人可能启动并夹住手或手臂。

生命周期阶段: 运行, 设定

机械上现有的保护措施

- 本质安全设计措施已用尽：上料工位需要一个常开的进入开口，用于手工送入工件。通过设计将此开口完全封闭会使机器丧失功能。只要该开口必须保留给操作人员进入，依据 EN ISO 13854:2019 的最小距离就无法从设计上防止从侧面绕过光幕。在不影响功能的前提下，对于相关的质量和扭矩，在技术上无法把转台或机器人的力或能量限制到无危险的水平（第 1 步）。
- 保护场和防下方伸入保护：布置光幕（4 型，符合 EN IEC 61496-1:2020，SF-02，PLr e），使保护场完全覆盖上料口。保护场下方和旁边的其余开口用固定式防护装置（EN ISO 14120:2015）依据 EN ISO 13857:2019 表 4 封闭，使得无法从下方或侧面绕过伸入保护场。
- 侧面翼板防护：光幕两侧应安装符合 EN ISO 14120:2015 的固定式防护装置（侧板或导槽），从设计上防止从侧面绕过伸手。这些翼板的深度应依据 EN ISO 13857:2019 表 4（安全距离随开口尺寸而变）确定，使得无法从侧向到达危险点。
- 光幕规格：光幕应选用符合 EN IEC 61496-1:2020 的 4 型，并集成到安全功能 SF-02（PLr e）中。光幕与最近危险点之间的安全距离应依据 EN ISO 13855:2024 计算并保持（伸手穿过，手部检测分辨率 30 mm）。接入控制系统依据 EN ISO 13849-1:2023，PLr e（SF-02）。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：明确说明，从侧面绕过光幕或从光幕下方伸手是被禁止的，且会绕过安全功能 SF-02。说明正确的上料动作（从前方穿过光幕插入工件）。提示保护功能未触发时转台和机器人带来的危险。
- 警示标识（EN ISO 7010:2020）：在翼板两侧和光幕框架上设置“当心夹手”（W024）。在进入开口处设置禁止标志“禁止伸入”（P015）。
- 资格要求：设定模式（SF-05，PLr d，带使能装置的 250 mm/s 安全降速）下，只有了解光幕功能和局限性的、经培训的专业人员才可作业。该要求应记录在使用说明书和培训文件中。
- 个人防护装备：防护手套不能防止转台或机器人造成的挤压和卷入危险，不适合作为针对该危险的保护措施。该提示应写入使用说明书，以避免错误的认识。

篡改/信息安全

通过网络篡改安全相关参数: 通过现场总线、OPC UA 或 MES 接口的未经授权的写访问改变了与安全相关的参数（例如维护门的监测、光幕的参数、设定模式下的速度限值）。保护功能失效，或机器在风险评估规定的限值之外运行。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 1 款、第 1.1.9 条第 3 款、第 1.2.1 条第 2 款 (a) 项、第 1.2.1 条第 2 款 (d) 项]

生命周期阶段: 运行, 设定

机械上现有的保护措施

- 安全相关参数仅保存在安全控制器中，并原则上不可通过过程网络写入（写访问在物理上或架构上隔离，安全网络与标准通信分段）。来自风险评估的限值作为常量存放在安全程序中，而非作为配方数据。
- 对每次写访问进行身份验证和授权（角色、无默认密码），对安全相关配置进行完整性检查（校验和/CRC 及放行程序），对传入值对照允许限值进行合理性检查，记录每次参数更改并附时间戳和用户。路径 B 的证明参考：IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 2.1, SR 3.4, SR 3.5, SR 5.1, SR 2.8。

使用者须知

- 使用说明书：对使用单位的网络要求（分段、防火墙、控制系统不直接连接互联网），安全相关参数清单，并注明仅允许经授权人员更改且更改后须对安全功能进行功能测试。

生命周期阶段：运行

机械

未经授权进入时，焊接机器人在自动运行中造成的撞击和挤压危险: 翻越防护围栏或篡改维护门的人员，被以全速和全力运动的机器人轴撞击，或被挤压在固定部件上。

机械上现有的保护措施

- 本质安全设计措施已用尽：焊接机器人的功能原理要求机器人手臂在工作空间内带满负载自由、快速地运动。在自动模式下，把力或速度限制到对人无害的水平（冲击力低于疼痛阈值）与所要求的工艺参数在技术上无法兼容，并会使焊接过程无法进行。对于 6 轴工业机器人，仅靠造型从几何上消除危险区是不可能的。
- 固定式防护装置：围绕整个机器人工作空间设置符合 EN ISO 14120:2015 的固定式防护围栏，配不透焊接弧光的填充板和带焊接滤光片的观察窗，高度 2200 mm。高度和与危险区的距离应依据 EN ISO 13857:2019 表 2 设计，使得既无法越过，也无法不借助辅助工具翻越。其余开口应依据 EN ISO 13857:2019 表 4 设计，使得无法从下方或穿过开口伸入危险区。
- 带防护锁定的联锁维护门（SF-01）：维护门是符合 EN ISO 14119:2025 的带防护锁定的联锁防护装置。打开门将触发 SF-01“安全停止，停止类别 1”。防护锁定使门保持关闭，直至机器人安全静止。应依据 EN ISO 14119:2025 第 6.9.1 条设置逃生解锁装置。SF-01 规定为 PLr d；依据 EN ISO 13849-1:2023 集成到安全控制器中。
- 安全防护装置的防篡改保护：维护门的联锁装置依据 EN ISO 14119:2025 第 8 条受到保护，防止被规避：采用符合 EN ISO 14119:2025 的高编码级别执行器，开关和执行器用不可拆卸的紧固件安装。此外：防护围栏面板应只能借助工具才能松开（不使用快速锁扣），从而无法在不使用工具的情况下擅自打开。
- 急停装置（SF-03）：操作台、维护门和示教器上设置符合 EN ISO 13850:2015 的急停装置，集成到 SF-03“整个设备的急停，停止类别 1”中，PLr d。
- 防止意外重启：应确保依据 EN ISO 14118:2018 的能量隔离和重启联锁；开门后只能通过设在危险区外的操作台上的有意确认才能重启。
- 设定模式（SF-05）：设定模式下，机器人只能以 250 mm/s 的安全降速并配合使能装置运动，依据 SF-05，PLr d；集成依据 EN ISO 10218-2:2025 第 5.5.6 条和第 5.7.7 条以及 EN ISO 13849-1:2023。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：机器人工作空间的进入规定说明、禁止翻越防护围栏、进入前的能量隔离程序（依据 EN ISO 14118:2018 的上锁挂牌）、操作人员和设定人员的资格要求（依据 EN ISO 10218-2:2025 的机器人安全培训）。
- 防护围栏和维护门上的警示标识：依据 EN ISO 7010:2020 的警告标志 W018“当心自动启动”，以及补充禁止标志“禁止未经授权人员进入”（德国 ASR A1.3，D-P006）。标识应清晰可见、持久牢固。
- 培训：操作人员和设定人员须在首次调试前接受培训，此后定期培训。应通过组织措施（门禁管理、依据 EN ISO 10218-2:2025 第 5.7.2 条的操作模式选择钥匙开关）防止未经授权进入。
- 使用说明书中的剩余风险提示：尽管采取了所有保护措施，篡改安全防护装置时仍存在剩余风险；并提示篡改所引起的刑事责任和赔偿责任后果。

材料/物质

泄漏时保护气体（氩气-CO2 混合气 M21）造成的危险: 氩气和 CO2 比空气重，保护气体可能在近地面处积聚；在通风不良区域发生较大泄漏时，存在因氧气被置换而窒息的危险。

生命周期阶段: 运行, 维护, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 管路系统压力限制：将保护气体供气的工作压力限制在焊接过程所需的最低水平（单元供气接口处设减压器）。较低的系统压力会减少故障时逸出的气体量，从而降低积聚的可能性。此外：管路布置和连接点的设计应从设计上使泄漏降到最低：固定管段使用卡套接头或压接管件，取代软管卡箍；将软管长度缩短到运行所需的最小值；不将管路敷设在地坑或封闭腔室的近地面处（尽可能沿顶部敷设）。这些措施直接针对能量源（存储的压缩气体）和危险点（积聚区）。
- 自动切断供气：保护气体供气管路上设电磁阀（失电关闭），在设备停止、急停（SF-03）和运行间歇时自动切断供气；另在单元外设手动截止阀。
- 泄漏监测：通过设备控制系统对气体消耗量进行合理性检查（无焊接过程却有气体流动时发出提示，作为泄漏指示）；作为维护规定，每个工作日目视检查软管连接。
- 现场提供的保护气体供气装置（气瓶组或取气站）安装在车间通风良好的区域，不得安装在地坑、地下室或狭窄的凹处。安装在通风不良的区域时，使用单位须配备氧气报警装置（使用说明书中的提示）。
- 针对该危险，不需要带 PLr 要求的安全功能；风险通过切断、安装位置和通风加以控制。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：提示在通风不良区域发生较大泄漏时，因氧气被置换而有窒息危险；要求安装地点具备足够的车间通风；仅在管路已切断并泄压的情况下才可对供气装置作业（EN ISO 14118:2018）。
- 资格：压缩气体管路和阀门上的作业只能由经培训的专业人员进行；培训依据 DGUV Regel 100-500 第 2.26 章和 TRGS 528（使用单位的义务）。
- 警示标识：在供气装置的安装位置设置依据 EN ISO 7010:2020 的一般警告标志 W001，附补充文字“保护气体有窒息危险”；在上锁的供气区域设置补充禁止标志“禁止未经授权人员进入”（德国 ASR A1.3，D-P006）。
- 在狭窄或通风不良区域作业时（例如在凹处更换气瓶）：使用便携式氧气报警装置；禁止单人作业。

热

焊接烟尘抽排装置内的火灾危险（滤芯火灾）：工艺过程中吸入的火花和炽热颗粒可能积存在滤芯中，引发阴燃或滤芯火灾，甚至在下班后延时发生。火灾烟气可经管路系统和空气回流扩散到车间中。

生命周期阶段: 运行, 维护

机械上现有的保护措施

- 通过焊接参数和抽排几何形状的设计，在产生源头减少火花：抽排罩和管路布置的设计应使吸入的火花在到达滤芯之前已经冷却。此外，在滤芯正前方设置预火花分离器（挡板 / 旋风分离器）作为集成部件，利用惯性在粗颗粒和火花接触过滤介质之前将其分离。该部件是抽排系统设计中不可分割的组成部分，不是后置的保护装置。设计依据 EN ISO 21904-1:2020（焊接烟尘抽排系统的要求）。
- 滤芯火灾的剩余风险通过以下安全防护措施加以限制：
- 滤芯的热监测：过滤器壳体内设带触发阈值的温度传感器（恒温器或热电偶）；超过阈值时，自动关闭抽排风机，并关闭管路系统中的电动关断阀，以阻断供氧。作为不带 EN ISO 13849-1 PL 要求的运行联锁接入机器控制系统，不为其计入风险减小；单元受控停止，只有故障排除后才能重新启动。
- 过滤器壳体上的灭火装置：壳体上至少设一个可封闭的灭火剂注入口（灭火喷枪）；自动灭火装置不在供货范围内，如有需要，由使用单位依据其消防方案补充。
- 通往车间的空气回流风道中的电动关断阀：火灾报警时自动关闭，以防止烟气扩散到车间。作为不带 PL 要求的运行联锁接入机器控制系统。
- 在过滤器壳体和排风风道中设置烟雾和 CO 探测器，作为冗余探测级，报警转发到长期有人值守的位置或火灾报警控制器（使用单位的责任，需与建筑物消防方案协调）。
- 焊接结束后抽排风机的延时运转时间：在控制系统层面编程设置至少 10 分钟的延时运转，使仍在管路中的炽热颗粒被完全输送到分离器并冷却，然后系统才停止。延时运转时间根据管路长度和风量设计。

使用者须知

- 使用说明书（依据机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：
- 提示过滤系统中火花和炽热颗粒造成的火灾危险；说明损害机理，包括延时起火。
- 焊接结束后抽排风机的规定延时运转时间（设计得出的最小值），作为有约束力的操作指令。
- 滤芯、预火花分离器和温度传感器的维护间隔；规定负载达到何种程度时必须更换滤芯（制造商规定 EN ISO 21904-1:2020）。
- 禁止在温度传感器有缺陷或关断阀失效时运行抽排系统。
- 火灾报警时的程序：立即撤离设备，通知消防队，不要自行处理过滤器容器（打开可能使阴燃复燃）。
- 提示：下班后，在离开建筑物之前，应目视检查过滤器壳体（温度、气味）。
- 抽排系统上的警示标识：
- 过滤器壳体和维护口上设置依据 EN ISO 7010:2020 的一般警告标志 W001，附补充文字“过滤器内火花造成火灾危险”。
- 过滤器壳体的维护盖板上设置文字标牌“火灾报警时不要打开”。
- 资格和培训：

- 使用单位应在操作人员和维护人员开始作业前、此后至少每年对其进行有关火灾危险、安全防护装置的功能和火灾时正确行为的培训（使用单位的义务）。
- 过滤系统上的维护作业只能由经培训的人员穿戴合适的个人防护装备进行（防护手套，更换滤芯时因焊接烟尘暴露视情况佩戴呼吸防护用品）。

人类工效学

装入和取出工件时强迫体位和重复动作造成的危险: 操作人员以约 90 秒的节拍反复进行抓取、提升和夹紧动作；面对不同的工件几何形状，不利的身体姿势（弯腰、伸展）会加重脊柱、肩部和手腕的负荷。

机械上现有的保护措施

- 高度可调的上料工位（供操作人员使用的高度可调站台），按操作人群身高范围 P5 至 P95 设计，依据 EN ISO 14738:2008 和 EN 1005-4（装配 / 搬运的工作高度：距站立面约 900 至 1100 mm，可个人调节）。工件载体或夹紧夹具的设计应使所有抓取点都位于推荐抓取区内（肘部高度 ±150 mm，身体前方水平伸展最大 400 mm），无需弯腰或伸展。工件重量和搬运频率已依据 EN 1005-2:2003+A1:2008 的参考质量进行评估：对于每小时约 40 次搬运，制造商规定人工搬运的阈值为 15 kg；重达 40 kg 的较重工件借助起吊辅助装置装入。夹紧夹具的把手几何形状应设计成使手腕处于中立位（无尺偏 / 桡偏，无强制旋前），依据 EN ISO 12100:2010 第 6.2.8 条。
- 对于超过 15 kg 的工件，上料工位必须使用承载能力至少 40 kg 的起吊辅助装置（平衡吊、真空吊具或旋臂起重机）。起吊辅助装置由使用单位自备，不在供货范围内；上料工位已为其使用留出所需的空间。机器控制系统不规定强制节拍：只有操作人员按下循环启动按钮，下一个循环才启动，因此可以有短暂的微休息。保证上料工位的照度至少为 500 lx（视觉任务：工件定位），以避免因视线不良造成的不良姿势。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：给出工件质量、依据 EN 1005-2:2003+A1:2008 对载荷搬运的评估以及依据 EN 1005-4 对身体姿势的评估；提示如何正确调整工作高度，并附调整说明。对操作人员的人类工效学培训：正确的提升技术、起吊辅助装置的使用、识别过载信号。在使用说明书中指明使用单位依据德国《职业健康预防条例》（ArbMedVV）承担的职业健康预防义务，即对从事重体力劳动的活动提供健康检查。上料工位的警示标识：文字标牌“人工搬运最重 15 kg，超过请使用起吊辅助装置”。资格要求：操作人员必须接受人类工效学正确操作和站台调整方面的培训。

篡改/信息安全

缺少或不完整的干预证明（日志记录）：对安全相关硬件、软件或配置的干预未被记录，或记录时没有时间戳和操作者；日志在短时间后被覆盖或可被篡改。非法干预未被发现，在主管机关要求时无法提供追溯日志。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 2 款、第 1.1.9 条第 5 款、第 1.2.1 条第 2 款 (f) 项]

生命周期阶段: 运行, 维护, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 将事件日志记录设置为控制系统的固定功能（操作人员无法关闭），并配备容量足够的非易失性存储器。
- 记录安全相关事件并附时间戳、用户和更改内容（登录、参数和配置更改、含版本和校验和的软件上传、打开安全相关模块、远程访问会话），防止删除和更改，以可读形式导出，上传内容及相关数据在上传后保存最多五年（附录 III 第 1.2.1 条第 2 款 (f) 项）。路径 B 的证明参考：IEC 62443-3-3 SR 2.8, SR 2.9, SR 2.11, SR 3.9, SR 6.1。

使用者须知

- 使用说明书：日志的访问和导出，转让机械时使用单位的保存义务，主管机关提出要求时的处理程序，关于存储容量和时间同步的说明。

篡改/信息安全

来自 MES 或云端的被篡改的生产或配方数据: 从 MES、ERP 或云平台获取的订单和配方数据（例如焊接参数、程序编号或工件分配）被篡改、已过时或用于错误的机器。机器按超出安全限值的规定或错误的工件和程序关联运行。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 3 款、第 1.2.1 条第 2 款 (b) 项、第 1.2.1 条第 2 款 (d) 项]

机械上现有的保护措施

- 在安全控制器中独立于所获取的配方数据限制安全限值；配方数据仅控制这些限值范围内的工艺参数（附录 III 第 1.2.1 条第 2 款 (d) 项）。
- 对所获取的数据集进行完整性和来源检查（签名或校验和、机械和工具分配），对照允许范围进行合理性检查并拒绝和报告越界数据，新配方须由经授权人员放行，记录所获取的数据集。路径 B 的证明参考：IEC 62443-3-3 SR 3.1, SR 3.4, SR 3.5, SR 1.2。

使用者须知

- 使用说明书：使用单位对数据质量的责任，检查和报告信息的说明，数据集被拒绝时的处理指示。

篡改/信息安全

通过远程维护网关的未授权或错误的远程访问: 通过远程维护网关的 IPsec VPN 连接，持有被窃取访问凭据的未经授权人员，或在错误时机介入的获授权技术人员，干预单元控制系统：更改程序或参数、确认故障或启动运动，而此时有人员位于上料工位或维护通道。[机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.1.9 条第 1 款、第 1.1.9 条第 3 款、第 1.2.1 条第 2 款 (a) 项、第 1.2.1 条第 2 款 (d) 项]

生命周期阶段: 运行, 维护, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 远程访问在设计上无法触发危险运动或桥接安全功能：远程维护网关只能到达标准控制器和 HMI 面板，安全 PLC 没有远程访问路径。运动指令和故障确认只能在能看到危险区的操作位置上进行（附录 III 第 1.2.2 条）。
- 出厂状态下远程维护被封锁；只能在现场用操作台上的钥匙开关启用，四小时后会话自动结束，HMI 面板上显示“远程维护已激活”；采用多因素认证的 IPsec VPN，远程维护人员使用个人账户；记录每个会话的用户、时间和所执行的操作，按附录 III 第 1.2.1 条第 2 款 (f) 项保存。路径 B 的证明参考：IEC 62443-3-3 SR 1.1, SR 1.13, SR 2.1, SR 2.8, SR 3.8。

使用者须知

- 使用说明书（第 13.3 章）：启用和结束远程维护会话的程序，现场必须有责任人在场的义务，怀疑有未经授权访问时的处理（用钥匙开关结束会话，通知制造商），制造商安全通告的联系方式。

生命周期阶段：维护

材料/物质

更换焊接烟尘抽排装置滤芯时滤尘造成的危险: 滤芯中含有分离出的、带金属氧化物和超细颗粒的焊接烟尘；更换时若无合适的呼吸防护措施，粉尘会释放并被吸入。

生命周期阶段: 维护, 清洁

机械上现有的保护措施

- 更换滤芯时通过设计阻止粉尘扩散：过滤单元采用集成的袋进袋出（Bag-in/Bag-out）换装系统，使受污染的滤芯可以在不直接接触粉尘的情况下取出并密封在封闭的塑料袋中。这样从设计上将粉尘释放降到源头最低（以封闭式更换程序取代开放式取出，依据 EN ISO 12100 第 6.2.4 条）。此外：更换前的清灰脉冲（压力冲击）仅允许在壳体关闭且抽排停用时进行，使滤芯中的积尘压实，减少打开时的释放。
- 针对其余剩余风险（打开壳体和处理滤芯时的残留粉尘）的安全防护措施：1. 带负压联锁的抽排壳体：过滤器壳体在设计上只有在风机关闭且无压力的状态下才能打开（机械联锁，因不涉及运动驱动，故不属于有 PLr 要求的安全功能）。2. 更换位置的局部抽排：过滤器壳体上应设置连接移动式抽排装置的接管（H 类粉尘等级工业吸尘器，依据 EN 60335-2-69，适用于焊接烟尘粉尘），更换时启用，捕集释放出的残留颗粒。3. 过滤单元标识：过滤器壳体上持久地设置依据 EN ISO 7010:2020 的一般警告标志 W001，附补充文字“有害粉尘”。

使用者须知

- 使用说明书（第 10.2 章）：滤芯更换的详细分步说明，包括袋进袋出程序的描述；提示所分离粉尘的成分（金属氧化物、超细颗粒，视焊接材料可能含 CMR 物质）；处置提示（受污染的滤芯应依据现行废弃物法规作为危险废物处置）。2. 资格要求：滤芯更换只能由了解焊接烟尘粉尘危害、经培训的专业人员进行。3. 个人防护装备规定：更换滤芯时至少应佩戴：针对超细颗粒和金属氧化物的符合 EN 149 的 FFP3 颗粒物过滤半面罩；防护手套（耐化学品）；护目镜（颗粒防护）。个人防护装备要求应持久地写入使用说明书，并通过过滤器壳体上的指令标志“必须戴呼吸防护用品”（M017，依据 EN ISO 7010:2020）标明。4. 劳动保护法规提示：应提示使用单位其依据 TRGS 528（焊接作业）和德国《危险物质条例》（GefStoffV）承担的义务，特别是针对 CMR 粉尘的风险评估和提供合适的个人防护装备。

机械

维护和故障排除作业时压缩空气残余能量造成的危险: 切断压缩空气供应后，夹紧装置的管路和气缸中仍有残余压力；不受控制地泄压会使夹紧元件突然动作，伤及人员或甩出工件。

生命周期阶段: 维护, 故障查找

机械上现有的保护措施

- 通过设计限制压缩空气残余能量：压力下降时，气动闭合夹具通过夹紧管路中的先导式可解锁止回阀（保压阀）保持工件；压力开关监测夹紧压力（SF-04）。保压阀与气缸之间被封闭的容积从设计上做到最小（管路短，保压阀直接安装在气缸上），因此只留存少量能量。被封闭的夹紧压力在介入前通过打开夹具释放，发生故障时通过保压阀的手动辅助操作受控释放。设计依据 EN ISO 4414:2010。说明：该措施减轻了残余能量事件的严重程度，因为在残余容积小且排气被节流的情况下，夹紧元件的动能明显较低。
- 依据 EN ISO 4414:2010 和 EN ISO 14118:2018 的带排气功能的维护截止阀（可上锁挂牌）：在气动夹紧装置入口处安装带集成受控排气（缓排功能）的截止阀；在切断位置，阀门必须在可以介入之前对下游管段进行受控、节流的排气。阀门应用锁固定（上锁装置）。2. 在截止阀与气缸之间的管段上设置压力表或压力指示器，使操作人员能够目视确认压力已降至 0 bar（EN ISO 4414:2010）。3. 维护入口处的残压指示器：介入前，在残压指示器上检查无压力；该指示器属于运行装置，不带 EN ISO 13849-1:2023 的 PL 要求。4. 防护装置：夹紧夹具位于防护围栏内（EN ISO 14120:2015）；维护和故障排除的进入通过带防护锁定的维护门完成，防护锁定符合 EN ISO 14119:2025（SF-01，PLr d）。

使用者须知

- 使用说明书（机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：气动夹紧装置维护和故障排除的作业指导，含明确的分步流程：(a) 取出工件并打开夹具，(b) 在维护截止阀处切断压缩空气供应并等待排气，(c) 发生故障时，通过保压阀的手动辅助操作释放被封闭的残余压力，然后检查残压指示器显示 0 bar，(d) 挂上上锁挂锁，(e) 之后才可介入系统。写入对残余压力和甩出工件危险的提示。2. 夹紧装置和截止阀上的警示标识：依据 EN ISO 7010:2020 的一般警告标志 W001，附补充文字“夹紧夹具内有残余压力”；提示标志“介入前：排气至 0 bar 并锁定截止阀”。3. 资格要求：气动系统的维护和故障排除作业只能由了解气动安全规则（EN ISO 4414:2010）、经培训的专业人员进行。4. 个人防护装备规定：规定打开气动连接时佩戴护目镜（防飞出部件的眼睛防护）和防护手套。

生命周期阶段：停用

机械

单元在使用寿命终止时拆除期间的危险: 拆除防护围栏分段、机器人底架和控制柜时，存在重型部件（挤压、坠落）、管路中的残余能量（压缩空气、电气）以及钣金件锋利边缘造成的危险。

机械上现有的保护措施

- 防护围栏分段、机器人底架和控制柜在设计上配备标准化吊点（例如依据 DIN 580 的吊环螺钉螺纹孔或集成的起重吊耳），使每个部件都能单独挂装且位置固定，无需人员停留在悬吊载荷下方。外壳部件和防护围栏型材的钣金边缘在设计阶段就去毛刺并倒圆（半径 ≥ 0.5 mm，见制造图纸），以本质上降低割伤危险。气动管路在能量隔离时应设计为无压的默认状态：阀门的选择应使压缩空气供应切断时管路自动排气（依据 EN ISO 4414:2010，弹簧复位至排气位置）；保压阀封闭在夹紧气缸内的压力，在拆除前通过打开夹具释放。
- 开始拆除前的能量隔离和断电：标明电能隔离装置（带锁定装置的主开关，依据 EN 60204-1:2018 第 5.3 条）和压缩空气的带排气功能的截止阀（EN ISO 4414:2010），并在开始拆除前将其锁定在受保护的无能量状态（依据 EN ISO 14118:2018 的上锁挂牌程序）。打开控制柜和线路连接前，通过测量证明无电压。2. 载荷搬运：对于单件重量大于 25 kg 的部件（依据 EN 1005-2:2003+A1:2008 的参考质量），必须使用承载能力足够且带 CE 标志的合适起重设备（起重机、托盘搬运车、真空吊具）（吊点和重量：见使用说明书第 5.2 章和第 5.3 章）。3. 起吊时的安全距离：依据操作规程，禁止停留在悬吊载荷下方；封锁拆除区域。

使用者须知

- 使用说明书（第 11 章，机械法规 (EU) 2023/1230 附录 III 第 1.7.4 条）：分步拆除说明，规定先后顺序（先进行能量隔离和排气，然后机械拆除）；每个部件的重量数据和重心位置；带示意图的吊点说明；提示依据 EN ISO 14118:2018 的上锁挂牌程序。控制柜和气动分配器上的警示标识：警告标志“当心触电”（W012，依据 EN ISO 7010:2020），以及提示气动管路中可能存在残余压力的提示标牌。资格要求：拆除只能由具备电气工程培训（用于电气设备上的作业）并接受过起重设备使用培训的专业人员进行。个人防护装备规定：防机械危险的防护手套（EN 388）、S3 级安全鞋（EN ISO 20345），使用起重设备时佩戴安全帽。

3 技术数据

- 机械/设备：RSZ-2600 机器人焊接单元（机器组合）
- 型号/机型：RSZ-2600
- 序列号：RSZ2600-2026-0001
- 制造年份：2026
- 机器类型：机械法规第 3 条第 1 项 (d) 点意义上的机器组合
- 操作模式：自动、设定
- 铭牌：位于控制柜右侧壁上；标示内容：制造商、型号、序列号、制造年份、电气连接参数、重量、CE 标志

3.1 配置

尺寸和重量：单元占地面积约 6.5 x 4.0 m；高度 2.6 m；总重量约 4600 kg。最重的单个组件：双工位转台约 1900 kg，机器人连底座约 850 kg，控制柜约 350 kg，焊接电源连送丝装置约 120 kg，焊接烟尘抽排装置约 250 kg，防护围栏各段合计约 400 kg；操作台、布线、介质管路安装和小零件约 730 kg。

工件数据：最大工件重量 40 kg；最大工件外形尺寸 800 x 600 x 400 mm；材料：非合金钢和低合金钢；循环时间约 90 秒。

电气设备：额定电压 400 V AC，3/N/PE，50 Hz；TN-S 系统；连接负载 32 kVA；电源侧熔断器保护 63 A gG；控制电压 24 V DC；B 型剩余电流保护装置；电气设备按 EN 60204-1 设计。

焊接技术：MAG 焊接电源，负载持续率 60% 时 400 A；最大空载电压 80 V；防触电保护类别 I 类，防护等级 IP23S；送丝装置适用于直径 1.0 至 1.2 mm 的焊丝；水冷焊枪，带冷却装置和焊枪颈部温度监控；焊枪清洗站，带喷雾装置和剪丝装置；保护气体为符合 EN ISO 14175 的 M21 混合气（由客户提供），流量约 15 l/min。

机器人：6 轴关节臂工业机器人；作业半径 2600 mm；负载 12 kg；重复定位精度 +/- 0.05 mm；设定模式下的安全降速：TCP 处最高 250 mm/s。

转台：双工位转台，垂直旋转轴，旋转 180 度；承载能力 2 x 40 kg 加夹紧夹具；旋转时间约 3 秒；每个工位设气动闭合的工件夹具，带压力开关、先导式止回阀（保压阀）和工件到位传感器。

使用单位的工件专用夹紧夹具：每个工位最大 60 kg；干涉轮廓按安装平面图 RSZ-2600-LAY-001；与台架电气绝缘；夹具为气动闭合，带保压阀，并接入夹紧压力监控（SF-04）；新夹具首次使用前须经制造商放行。

气动：工作压力 6 bar；压缩空气质量：符合 ISO 8573-1 的无油压缩空气；接口 G 1/2；平均耗气量约 90 Nl/min。

工作场所照明：符合 EN 1837 的机器集成式照明；上料工位 500 lx，维护通道 200 lx；失效时在 HMI 面板上发出提示。

焊接烟尘抽排：抽排能力 1800 m³/h；滤芯焊接烟尘等级 W3（分离效率至少 99%，依据 EN ISO 21904-2 测试；依据德国危险物质技术规则 TRGS 528 进行的风险评估所提出的要求）；循环风运行，可选排风接口；抽排能力监控，带故障信息；滤芯上游设火花预分离器；滤芯温度监控、电动关断阀，以及过滤器壳体内和排风管道内的烟雾和 CO 探测器；过滤器壳体带用于更换滤芯的袋进袋出更换系统；焊接结束后抽排风机至少延时运转 10 分钟。

噪声排放（依据 EN ISO 4871 声明）：上料工位处的 A 计权发射声压级 LpA = 84 dB(A)，测量不确定度 K = 2.5 dB，依据 EN ISO 11202 测定；A 计权声功率级 LWA = 96 dB(A)，不确定度 KWA = 3 dB，依据 EN ISO 3746 测定（精度等级 3）。测量时的运行条件：自动模式，使用经批准的焊接程序，循环时间约 90 秒，焊接烟尘抽排运行，维护门关闭；测量位置为上料口前方的上料工位（站立人员）。上料工位处的 C 计权峰值声压级不超过 130 dB(C)。所列数值为排放值，并不一定是安全的工作值。日噪声暴露级达到 80 dB(A) 起，使用单位必须提供听力防护用品；达到 85 dB(A) 起，必须佩戴听力防护用品，并设置相应标识。

运行环境条件：环境温度 +5 至 +40 °C；相对湿度不超过 70%，无冷凝；安装高度不超过海拔 1000 m；仅限室内干燥场所；无潜在爆炸性环境；上料口区域的风速低于 0.5 m/s，以免干扰保护气体的保护作用。

4 设备描述

RSZ-2600 是一种机器人辅助 MAG 焊接单元，用于在批量生产中对工件重量不超过 40 kg 的钢结构组件进行电弧焊接。它是一台单件定制的专用机械，作为采用共同控制系统的机器组合以一个整体投放市场。基本原理：操作人员在双工位转台的前部工位装入和取出工件的同时，机器人在固定式中间隔墙后方的第二个工位进行焊接。转台旋转 180 度使两个工位交替，循环时间约 90 秒。本章说明设备的结构及其主要组件、操作人员工位和功能流程。

4.1 结构与主要组件

设备由以下主要组件组成：

(1) 关节臂工业机器人：6 轴，作业半径 2600 mm，负载 12 kg，安装在钢制底座上；由机器人制造商作为部分完成机械供货，附依据附录 V B 部分的欧盟合并声明；配机器人控制器和示教器。

(2) 双工位转台：垂直旋转轴，旋转 180 度，带焊接防护帘的固定式中间隔墙，每个工位设气动闭合的工件夹具，带压力开关、带手动辅助操作的先导式止回阀（保压阀）和工件到位传感器；转台下方设挡板作为接料装置；承载能力 2 x 40 kg 加夹紧夹具（每个工位最大 60 kg，要求见第 3.1 章）。

(3) 焊接设备：MAG 焊接电源，负载持续率 60% 时 400 A（带 CE 标志的设备），安装在机器人手臂上的送丝装置，管线包，水冷焊枪，带冷却装置、焊枪颈部温度监控和防碰撞离合器，焊枪清洗站，带喷嘴清洁、喷雾装置和剪丝装置。

(4) 焊接烟尘抽排：抽排装置 1800 m³/h，带火花预分离器、滤芯和焊接区域上方的捕集罩；抽排能力监控；滤芯温度监控、电动关断阀，以及过滤器壳体内和排风管道内的烟雾和 CO 探测器；过滤器壳体带用于低粉尘更换滤芯的袋进袋出更换系统，并设有可封闭的灭火剂注入口。

(5) 防护装置和保护装置：周边防护装置（防护围栏），高 2200 mm，配不透焊接弧光的填充板、焊接防护观察窗和底板；后侧的维护门，带联锁、防护锁定、内侧逃生解锁装置和可挂个人挂锁的锁闭装置；上料口处的 4 型光幕。

(6) 控制系统：控制柜，内含主开关、安全 PLC、设备控制器以及用于数据连接和远程维护的带防火墙网络网关（见第 13 章）；所有子机械之间通过共同控制系统交换信号。

(7) 操作台：带程序显示的 HMI 面板，循环启动和确认按钮，操作模式选择开关，远程维护钥匙开关，急停装置；单元顶部的信号灯柱（绿/黄/红）；取料工位用于指示冷却闭锁时间的红色信号灯。

(8) 介质供应：压缩空气气源处理单元，带具有排气功能的可上锁维护截止阀和残压指示器；客户自备保护气体供应的接口，带电磁阀（常闭），在机器停止、急停以及运行中断期间切断气体供应。

(9) 工作场所照明：符合 EN 1837 的机器集成式照明，上料工位 500 lx，维护通道 200 lx；失效时在 HMI 面板上发出提示。

4.2 操作人员工位

上料工位（前侧）：操作人员在转台各自的前部工位装入和取出工件的工位。经由受光幕监控的上料口进入。操作人员站在机器人工作区域之外；固定式中间隔墙可屏蔽电弧和焊接飞溅。高度可调的站台使工作高度与操作人员的身高相适应（工作高度距站立面约 900 至 1100 mm）；开始作业前，调整站台，使抓取点大致位于肘部高度。

操作台（上料口旁）：用于程序选择和状态显示的 HMI 面板，循环启动和确认按钮，可上锁的操作模式选择开关，远程维护钥匙开关，急停装置。从操作台可以看到上料口。

示教器（设定人员）：机器人控制器的手持单元，带急停和三位使能装置，用于在设定模式下进行示教和移动。仅限经培训的设定人员使用。

维护入口（后侧）：带联锁和防护锁定的维护门；只有在设备已停机或处于设定模式时，才可进入进行维护和设定作业。自动运行期间，单元内部不设工位。

4.3 功能描述

自动循环的流程：

1. 操作人员将工件装入前部工位的夹紧夹具。气动夹具闭合；压力开关确认夹紧压力，到位传感器确认工件位置。

2. 操作人员离开光幕的保护场，按下操作台上的循环启动按钮。控制系统检查保护场是否无遮挡以及所有安全功能是否均已确认。

3. 发出声响启动警告后，转台旋转 180 度：刚装好工件的工位转入焊接区域，载有已焊好工件的工位转向操作人员。

4. 机器人在后部工位执行已放行的焊接程序。焊接烟尘抽排由过程控制运行；焊枪清洗按规定的间隔由程序控制进行。

5. 与此同时，操作人员在前部工位取出加工完成的工件，并装入下一个毛坯。只有在为焊接程序存储的冷却闭锁时间结束、取料工位的红色信号灯熄灭后，才放行取料。循环时间约 90 秒。

6. 程序结束并再次按下循环启动后，流程重复进行。发生故障时（例如电弧中断、焊丝用完、抽排故障），设备受控停止；故障显示在 HMI 上，信号灯柱切换为红色。

在设定模式下（钥匙开关），转台和机器人只能借助使能装置并以安全降速移动；自动循环被封锁。维护门打开时，焊接电源被安全关断（SF-01）；此时只能以降低的穿丝速度在点动模式下送丝。

5 交付、运输、开箱

本章说明 RSZ-2600 机器人焊接单元的安全交付、厂内运输和开箱。设备以下列预装配运输单元交付：(1) 处于锁定运输位置的机器人连钢制底座，放置在带叉车槽的运输架上；(2) 旋转轴已固定的双工位转台，放置在运输架上；(3) 控制柜连操作台；(4) MAG 焊接电源连送丝装置和焊枪清洗站，放置在托盘上；(5) 焊接烟尘抽排装置，放置在托盘上；(6) 防护围栏段、维护门和光幕，装在网格箱中。所有单元均用薄膜包裹并已防止移位；小零件和文件放在控制柜运输架中一个有标记的附件箱内。

5.1 运输和搬运安全须知

机器及其组件的运输和搬运只能由熟悉相关载荷的经培训专业人员进行。进行所有运输和开箱作业时，须穿戴相应的个人防护装备，特别是符合 EN ISO 20345 的 S3 级安全鞋和合适的防护手套。

> **警告**
> 起吊和移动重型组件时，载荷可能坠落、倾翻或摆动。可能导致死亡或重伤。切勿站在悬吊载荷下方，并防止未经授权人员进入运输区域。

交付后立即检查机器有无外部可见的运输损坏以及是否完整。记录发现的任何损坏，并在安装前报告。确切的供货范围见发货单据。

5.2 重量、重心位置和运输工具

各组件的质量和重心位置是选择运输工具、起重设备和起重附件的决定性依据：

- 设备总质量：约 4600 kg（分布在多个运输单元中）
- 双工位转台：约 1900 kg，重心位于旋转轴正上方中央，重心位置标记在框架上
- 机器人连钢制底座：约 850 kg，头重脚轻；注意运输架上的重心标记
- 控制柜：约 350 kg
- 焊接烟尘抽排装置：约 250 kg
- MAG 焊接电源连送丝装置：约 120 kg
- 防护围栏段，合计：约 400 kg
- 操作台、布线、介质管路安装和小零件：约 730 kg（分布在多个包装件中）

允许的运输工具：用于转台和机器人的叉车，须具有足够的剩余承载能力（至少 2.5 t）和足够的货叉长度；用于在狭窄空间内定位的桥式起重机，配经检验的起重附件（承载能力至少 2 t）；托盘搬运车仅用于 300 kg 以内的托盘单元。起重设备、工业车辆和起重附件必须按实际待搬运的载荷确定额定值并经过检验。只能使用状态完好且经认可的起重附件，并注意其承载能力。

5.3 吊点和安全起吊

起吊时只能使用指定的起吊点和系挂点：

- 机器人连底座：钢制底座上的四个已标记吊环；切勿将起重附件系挂在机器人手臂、布线或管线包上。也可使用叉车经运输架的叉车槽进行运输。
- 转台：底架上的叉车槽或框架四角的四个吊环；中间隔墙不承重，不得用作吊点。
- 控制柜：柜顶的吊环（调试前拆下并用堵头替换）。

- 托盘单元（焊接电源、抽排装置）：连同托盘用叉车或托盘搬运车运输。

> **提示**
> 起重附件系挂在机器人手臂、布线、管线包或转台的中间隔墙上。会损坏减速器、电缆和中间隔墙。只能使用已标记的吊环和叉车槽。

系挂载荷时必须确保排除倾翻、移位或摆动（起重附件与垂直方向的夹角不超过 60 度，使用护角）。缓慢、平稳地起吊，受控地引导载荷，并无冲击地放下。厂内运输期间须防止载荷滑动和倾翻。在道路车辆上运输时，适用依据 EN 12195-1 的载荷固定要求。

5.4 运输固定装置

所有运输固定装置均以红色标记。调试前必须拆除以下各项：(1) 底架上转台旋转轴的锁定螺栓；(2) 机器人轴上的运输锁定装置（机器人处于已标记的运输位置；只有在底座锚固后才按制造商的说明松开）；(3) 运输架上的张紧带和护角；(4) 维护门和围栏元件上的锁定夹。顺序：只有在相应组件已在其最终安装位置对准并锚固后，才可拆除运输固定装置（见第 8 章）。保留所有运输固定装置，以备日后运输或停用时使用；指定的存放位置为控制柜的底座隔舱。

5.5 开箱

在合适、具有承载能力且平整的场地上对机器及其组件开箱。打开包装时，操作方式须确保既不危及机器也不危及人员，并避免损坏附装件、管线以及防护装置和保护装置。按当地规定规范处置包装材料。开箱后，再次对照发货单据检查是否完整。

5.6 安装前的储存

如果机器在安装前需要临时储存，必须遵守第 6 章规定的允许储存条件：干燥、封闭的室内，-10 至 +50 °C，相对湿度最高 60%，无冷凝。包装和防护罩必须保留在机器上，直至安装。储存时间超过 12 个月时，适用第 6.2 章规定的附加检查。

6 储存条件

本章说明 RSZ-2600 机器人焊接单元及其部件和组件在交付、安装以及之后可能的中间储存期间的储存条件。目的是防止因不允许的环境条件、腐蚀和停放时间过长而造成损坏。

允许的储存条件：储存温度 -10 至 +50 °C；相对湿度最高 60%，无冷凝。机器必须存放在封闭的室内，保持干燥、清洁并防止风雨侵袭。必须避免冷凝水、直接受潮、较大的温度波动和腐蚀性气氛（例如含盐或含氯的空气）。

机器包含电气设备、气动部件以及带送丝装置的 MAG 焊接电源和带滤芯的焊接烟尘抽排系统。这些组件对潮湿和污染特别敏感。机器人控制器和控制柜必须加盖防尘；柜门必须保持关闭。中间储存期间，必须保留或恢复制造商提供的防护罩和包装。焊丝必须干燥存放并保留在原包装中。

6.1 防腐蚀保护

储存前，必须用无酸防锈油或防腐蜡处理裸露和无涂层的金属表面，特别是转台、导轨和夹紧夹具的夹紧面。储存时间超过 6 个月时，必须更新防腐蚀保护。交付时已有的防腐蚀保护不得无故去除；调试前，必须将其从功能表面上无残留地去除。长期储存期间，必须每季度检查一次防腐蚀保护的状态，并根据需要更新。

6.2 最长储存时间和定期检查

不采取特殊措施时，允许的最长储存时间为 12 个月。储存期间必须每季度检查一次：防腐蚀保护的状态、储存地点的干燥和清洁程度、包装和防护罩的完好性。

如果储存时间超过 12 个月，调试前必须进行以下工作：目视检查所有组件有无腐蚀和损坏；检查或更换机器人控制器的缓冲电池（可能丢失轴参考点）；对电气设备进行绝缘测量；检查气动部件的密封件是否硬化；按第 8 章（首次调试）对所有安全装置进行功能检查。如有疑问，必须咨询制造商。

7 安装场地条件

安装地点：依据安装平面图 RSZ-2600-LAY-001 安装在使用单位的工厂内。本机器预定固定安装在干燥的生产车间内。本章说明使用单位在交付前必须在现场确保满足的空间需求、基础、环境条件和供应接口方面的要求。

7.1 空间需求与尺寸

单元占地面积：约 6.5 x 4.0 m；高度 2.6 m。单元四周必须留出至少 1.0 m 的空地，用于操作、维护和逃生通道；后侧维护门前至少留出 1.2 m（门回转半径加作业空间）。上料口前必须保持至少 2.0 m 深的操作和备料区畅通，用于工件备料和物料流转。使用单位在该区域为超过 15 kg 的工件提供承载能力至少 40 kg 的起吊辅助装置（例如平衡吊或立柱式悬臂起重机）；该装置不属于供货范围。所需车间净高：至少 3.2 m（用于在单元顶部进行安装和维护作业）。交付前必须检查进场通道：最大运输单元（转台）约 2.4 x 1.8 x 2.0 m，1900 kg。必须依据德国工作场所技术规则 ASR A1.8 标记交通通道和危险区。

7.2 基础/承载能力

本机器安装在平整的工业混凝土地面上；无需单独的基础。要求：混凝土强度等级至少 C25/30，地面板厚度至少 200 mm，相对于安装区域的平整度 +/- 5 mm，面荷载至少 10 kN/m²。机器人底座和转台底架用重载锚栓锚固在地面上（M16，锚固深度依据锚栓制造商的认证）；机器人的动态力（底座处的倾翻力矩最高约 8 kNm）必须由锚固承受。锚固区域内的地面不得有裂缝；锚栓的最小边距必须符合锚栓认证的规定。地面覆盖层或涂层不得影响力的传递。地面条件与此不符时，必须由客户委托的有资质人员在现场评估承载能力。

7.3 环境条件

安装地点必须保持以下环境条件：环境温度 +5 至 +40 °C；相对湿度不超过 70%，无冷凝；安装高度不超过海拔 1000 m；干燥的室内环境，无潜在爆炸性区域，无腐蚀性或粉尘严重的气氛。必须避免上料口区域出现穿堂风（风速低于 0.5 m/s），因为穿堂风会干扰焊接过程中保护气体的保护作用，并降低烟尘抽排的有效性；车间门和通风口必须相应布置。安装区域必须振动小（不得紧邻会产生强烈地面振动的压力机或冲床），以免影响机器人的重复定位精度和安全传感器的功能。

电磁环境：本单元预定用于工业环境（抗扰度符合 EN IEC 61000-6-2，发射符合 EN IEC 61000-6-4，证明见测试报告 RSZ-2600-EMV-001）。本单元不预定用于居住环境，也不预定连接到同时为住宅建筑供电的公共低压电网。依据电气原理图 RSZ-2600-EPL-001 实施的线缆敷设、电缆屏蔽连接和等电位联结只能由具备电磁兼容知识的合格人员更改；焊接电流电缆和控制电缆始终分设在不同的线槽中。更换焊接电源、机器人控制器或安全部件后，须重新对安全功能 SF-01 至 SF-05 进行功能测试。

7.4 供应接口

为运行本机器，客户必须在现场提供以下供应接口：

- 电气：400 V AC，3/N/PE，50 Hz，TN-S 系统；连接负载 32 kVA；由客户在现场提供 63 A gG 熔断器保护；电源电缆 5 x 16 mm² Cu（参考值，注意敷设方式）接至控制柜主开关；要求顺时针相序；依据 VDE 规定设置基础接地极或等电位联结。

- 压缩空气：6 bar（+/- 0.5 bar），符合 ISO 8573-1 的无油压缩空气；接口为气源处理单元上的 G 1/2；最小流量 200 Nl/min；建议由客户在机器附近现场设置截止阀。
- 保护气体：符合 EN ISO 14175 的 M21 混合气（82% 氩气，18% CO2），来自中央环形管网或气瓶组；流动压力 2 至 4 bar，流量约 15 l/min；气瓶须加以固定，防止倾倒。
- 抽排：焊接烟尘抽排以循环风方式运行；可选由客户在现场设置排风管道（接口 DN 250）。使用单位负责依据德国危险物质技术规则 TRGS 528 确保车间通风充足。
- 照明：车间照明由使用单位在现场提供。单元的工作场所照明属于供货范围（符合 EN 1837 的机器集成式照明，上料工位 500 lx，维护通道 200 lx，失效时在 HMI 面板上发出提示）。

8 装配与安装、首次调试

装配、安装和首次调试由制造商或制造商委托的专业人员进行。本章说明相关要求和操作步骤；它还可供使用单位在日后于厂内搬迁时参考，厂内搬迁只能在与制造商协商后进行。

8.1 安全

RSZ-2600 机器人焊接单元的装配、安装和首次调试只能由具备机械工程、电气工程、气动技术和焊接技术资格的经培训专业人员进行。机器人由机器人制造商作为部分完成机械供货，附依据附录 V B 部分的欧盟合并声明和依据附录 XI 的装配说明书；在该部件上进行任何作业时，还必须遵守机器人制造商的相应装配说明书。

开始任何机械和电气作业之前，必须将机器与能源供应安全隔离：关断主开关并用挂锁将其锁定在 OFF 位置（LOTO），在气源处理单元的隔离阀处关闭压缩空气并排气，在残压指示器上检查是否已无压力，并由电气专业人员确认无电压。必须执行使用单位的钥匙和锁具管理程序。

> **危险**
> 电源电缆、控制柜和焊接电源处存在 400 V 电压。接触带电部件会导致死亡或重伤。电气设备上的作业只能由电气专业人员进行，并且只能在隔离、防止重新通电并确认无电压之后进行；隔离后，至少等待 1 分钟，直至焊接电源放电完毕；对于机器人驱动装置，适用机器人制造商规定的等待时间。

> **警告**
> 首次接通能源供应时以及装配期间，机器人轴和转台可能意外运动。可能导致死亡或重伤。接通之前，确保机器人工作区域内和转台旋转区域内无人员停留。

除电气危险外，还必须考虑作为承压系统的气动系统、MAG 焊接过程产生的有害物质以及噪声暴露。对夹紧回路和气动工件夹具进行作业之前，必须先打开夹具，因为保压阀会将夹紧压力封闭在气缸内；然后必须使气动回路泄压，并检查残压指示器是否显示 0 bar。作业期间，至少必须穿戴：符合 EN ISO 20345 的 S3 级安全鞋、防护手套，进行头顶上方作业时戴安全帽；进行焊接试验时，另需穿戴第 2.6 章规定的焊接防护装备。

作业开始前，必须备妥装配所需的技术文件，特别是总装图和概览图、电气原理图和气动原理图以及安全电路图。

8.2 装配与安装

RSZ-2600 机器人焊接单元作为机器组合搭建。安装须提供约 6.5 x 4.0 m 的占地面积和 2.6 m 的高度；必须满足第 7 章中关于基础、承载能力和环境的要求。

装配顺序：

1. 在安装平面图标明的位置对准转台（用精密水平仪检查水平度），并用四个 M16 重载锚栓锚固；拧紧力矩依据锚栓认证（参考值 110 Nm）。
2. 放置机器人底座，依据安装平面图相对于转台进行测量定位，并用四个 M16 重载锚栓锚固；然后才可松开机器人轴上的运输锁定装置。

3. 安装控制柜连操作台以及焊接电源和抽排装置；将焊枪清洗站安装在底座上。
4. 依据安装平面图装配防护围栏段、底板、带联锁/防护锁定的维护门和光幕；按图纸保持符合 EN ISO 13857 和 EN ISO 13855 的安全距离。
5. 由电气专业人员依据原理图进行电气安装：电源电缆接至主开关，所有组件的等电位联结，子机械和安全回路的接线；检查相序（顺时针旋转磁场）。
6. 依据气动原理图连接气动系统（6 bar，接口 G 1/2）；进行泄漏测试。
7. 连接保护气体供应并吹扫管路；连接抽排系统并对准捕集罩。

完成所有连接后，必须检查以下各项：所有紧固件和锚固是否牢固就位、封闭是否完整、带防护锁定的联锁维护门的功能、光幕是否正确对准，以及是否已完全拆除所有运输固定装置（第 5.4 章）。

降低噪声和振动：完整安装围栏填充板、底板和转台驱动的护罩；它们是降噪措施的组成部分。不得用刚性连接桥接转台驱动的弹性支承元件。安装时无需采取其他降噪或减振措施。

8.3 首次调试

只有在装配和安装全部完成、所有防护装置和保护装置均已正确安装并连接后，才可进行首次调试。首次接通能源供应之前，必须确保机器人工作区域内、转台旋转区域内或防护围栏内无人员停留。

首次调试时，必须按制造商的测试计划进行安全相关测试，并记录在验收报告中：

- 依据 EN 60204-1 的保护导体测试和绝缘测量（电气测试报告）
- 所有急停装置（操作台、维护门、示教器）处急停回路的有效性
- 光幕的功能，包括越程测量以及依据 EN ISO 13855 验证安全距离
- 带防护锁定的联锁维护门、逃生解锁装置、可挂个人挂锁的锁闭装置以及重启联锁功能的功能
- 夹紧回路上的压力监控、夹紧管路中的保压阀及其手动辅助操作以及工件到位传感器的功能
- 使能装置、操作模式选择开关和安全降速的功能（在 TCP 处测量，最高 250 mm/s）
- 焊接烟尘抽排系统的有效性（体积流量测量）以及滤芯温度监控、关断阀、烟雾和 CO 探测器和延时运转的功能
- 冷却闭锁时间及取料工位信号灯、焊枪颈部温度监控以及工作场所照明（上料工位 500 lx，维护通道 200 lx，失效提示）的功能
- 依据 EN ISO 13849-2 对所有安全功能进行确认（记录在安全验证记录中）

随后进行试运行：首先在设定模式下进行无工件的空循环，然后进行带工件的自动循环并评估焊接结果。所使用的焊接程序必须已获批准；必须遵守第 2.1 章规定的预定使用。

首次调试的结果必须记录在测试报告和验收报告中。只有在所有安全功能测试均成功完成、验收已记录且操作人员已接受指导之后，才可将机器移交给使用单位并开始生产运行。

9 操作

本章面向 RSZ-2600 机器人焊接单元的操作人员和设定人员。所有作业的前提是接受过有记录的上岗指导并熟悉第 2 章（安全）。操作人员只在上料工位和操作台处作业；单元内部的作业仅限设定人员和维护人员进行。所有作业期间必须穿戴第 2.6 章规定的个人防护装备。

9.1 安全

操作时适用以下安全规则：

- 只有在所有安全防护装置完整安装且功能正常时，才允许操作机器。每班开始前必须按第 9.4 章进行每日检查。
- 严禁伸手进入机器人工作区域、绕过安全防护装置或篡改光幕。转台旋转期间，任何人不得停留在其旋转区域内。防护手套不能防止挤压；仅在转台停止时才可伸入旋转区域。
- 只有在前部工位静止时才可装入和取出工件。只有在冷却闭锁时间结束后（取料工位的红色信号灯已熄灭）才可取出焊好的工件，并且只能戴隔热手套搬运；焊接后焊缝区域的温度可达数百 °C。
- 15 kg 以内的工件可人工搬运，超过 15 kg 的工件只能借助使用单位在上料工位自备的起吊辅助装置搬运（例如平衡吊或起重系统，承载能力至少 40 kg）；每个工件的最大质量为 40 kg。
- 不得直视电弧，也不得通过反射观看电弧；焊接防护帘、防护围栏的填充板和观察窗必须完好无损。
- 只有在焊接烟尘抽排系统有效运行时才允许操作。抽排系统发生故障时，单元受控停止；故障排除之前无法重新启动。
- 故障、损坏和异常噪声必须立即报告；存在安全相关缺陷时，必须停止机器并防止其重新启动。
- 上料口区域内只允许操作人员停留；其他人员必须远离已标记的操作区域。

> **警告**
> 焊接后工件和夹紧夹具温度很高（焊缝区域可达数百 °C）。可能导致手部和前臂严重烫伤。只有在冷却闭锁时间结束后并戴隔热手套时才可取出工件，不得用裸露的皮肤接触工件。

冷却闭锁时间按焊接程序分别存储。在此时间内，取料保持封锁，取料工位的红色信号灯亮起。

9.2 操纵装置和指示器

主开关（位于控制柜上）：全极断开整个设备；维护和维修时可锁定在 OFF 位置。

上料口旁的操作台：

- HMI 面板：程序选择，件数计数器，以明文显示运行状态和故障信息，显示维护间隔。
- 循环启动按钮（绿色）：在保护场无遮挡且无待处理故障时启动自动循环。
- 确认/复位按钮（蓝色，带照明）：用于安全防护装置触发后、急停装置解锁后以及故障排除后的确认；需要确认时闪烁。
- 急停装置（黄底红色）：在危险状态下停止整个设备。
- 操作模式选择开关（钥匙开关）：设有“自动”和“设定”位置；钥匙由获授权人员保管。

- 远程维护钥匙开关（“关”和“启用”位置）：启用由制造商进行的远程维护会话（见第 13.3 章）；钥匙由使用单位的负责人保管。

单元顶部的信号灯柱：绿色 = 自动运行中；黄色 = 设备等待（循环结束、缺料、需要确认）；红色 = 故障或急停；此外，每次自动启动前发出声响启动警告。

示教器（仅限设定人员）：机器人控制器的手持单元，带显示屏、点动键、三位使能装置和独立的急停。

其他指示器：气源处理单元的压力表（压缩空气），维护入口处的残压指示器，焊接电源处的保护气体流量指示器，抽排装置处的滤芯压差指示器；取料工位的红色信号灯（冷却闭锁时间内亮起）；HMI 面板上更换焊枪和焊枪清洗的放行显示（焊枪颈部温度监控），以及工作场所照明失效和抽排装置超温或火灾报警的提示信息。

9.3 操作模式

机器设有“自动”和“设定”两种操作模式。通过操作模式选择开关进行选择：

自动模式（选择开关处于“自动”位置）：用于批量生产的正常运行。所有安全防护装置均处于有效状态；维护门已锁定；只能经由受光幕监控的上料口进入。通过循环启动按钮放行后，循环自动运行。

设定模式（选择开关处于“设定”位置，钥匙开关）：供经培训的设定人员进行示教、程序测试和故障查找的操作模式。只有在操作示教器上的三位使能装置时，机器人和转台才能以安全降速（TCP 处最高 250 mm/s）运动。维护门打开时，焊接电源被安全关断（SF-01）；此时只能以降低的穿丝速度在点动模式下送丝。钥匙由获授权人员保管；作业完成后，必须切换回“自动”位置。

> **警告**
> 设定模式下有人员位于单元内时，机器人和转台会运动。可能导致挤压和撞击，造成严重伤害。只能手持示教器进入单元，将个人挂锁挂在锁闭装置上以防维护门被关闭，并且只有在运动范围内没有其他人员时才可操作使能装置。

维护（不是操作模式）：机械、电气和气动维护作业在机器已隔离并防止重新启动的状态下进行（主开关已上锁，压缩空气已泄压）；见第 10 章。

其他生命周期阶段，即运输和安装（第 5 章和第 8 章）、清洁（第 10.2 章）和故障查找（第 10.4 章）以及停用和拆卸（第 11 章），在所注明的相应章节中说明。清洁作业必须始终在机器停止并隔离的状态下进行。

9.4 启动和换型

每日启动（注意顺序）：

1. 目视检查：防护围栏及其填充板和观察窗、焊接防护帘、光幕和维护门完好无损；单元内无人员或异物；操作区域畅通；工作场所照明正常（HMI 面板上无失效提示）；站台已按自身身高调整。
2. 打开介质供应：打开压缩空气隔离阀（气源处理单元处 6 bar），打开保护气体供应（流量约 15 l/min），检查焊丝储量。
3. 接通主开关；等待控制系统完成启动过程。
4. 用测试棒对光幕进行功能检查（遮断每个光束区域都必须触发提示信息）；每周另外对一个急停装

置进行一次功能检查（每次检查不同的装置，见第 10.2 章）。
5. 检查抽排系统是否准备就绪（HMI 上无故障信息，压差指示器处于绿色区域）；抽排系统由过程控制启动。
6. 在 HMI 上选择焊接程序，确认故障信息，通过循环启动放行设备。

换型和产品更换（仅限设定人员）：在 HMI 上更换程序；只有在设备停止且夹紧回路已泄压的状态下才可更换工件专用夹紧夹具（先打开夹具，然后关闭压缩空气并排气，见第 10.4 章）；只能使用制造商按第 3.1 章放行的夹紧夹具；每次换型后进行首件检验并记录放行。按规定的使用寿命更换焊枪上的易损件（导电嘴、气体喷嘴）。

示教新程序（仅限设定人员）：只能在设定模式下借助使能装置并以降低的速度进行；新程序必须先在设定模式下以降低的速度验证，然后在无工件的自动循环中验证；放行必须记录。

9.5 停机

正常运行中的停机（班次结束）：
1. 让当前循环运行完毕；不得在焊接过程中途中断。
2. 取出加工完成的工件；通过 HMI 使设备驶入原位。
3. 让抽排系统延时运转（自动延时运转至少 10 分钟，风险评估中的防火要求）；随后目视检查过滤器壳体有无异常发热或焦糊味。
4. 关闭保护气体供应；较长时间停机时关闭压缩空气隔离阀。
5. 关断主开关。周末停机或企业停产期间，还须将主开关上锁。

紧急停机：按下急停装置。所有子机械均受控停止（停止类别 1）；信号灯柱变为红色。

急停后重新启动：
1. 查明并消除危险状态的原因；确保单元内无人员。
2. 解锁已按下的急停装置（旋转或拔出）。
3. 在操作台上确认；然后启动循环。焊接过程被中断的工件必须标记为返修件并进行检验。

断电后的处置：恢复供电后，设备因重启联锁功能而保持停止状态。确认之前必须检查设备状态（工件位置、焊枪位置、夹紧压力）；然后按急停后的方式确认并重新启动。焊枪被卡住或发生碰撞时，请通知设定人员。被困人员的解救见第 2.6 章。

压缩空气中断时的处置：保压阀使工件保持夹紧；压力开关封锁转台的旋转运动，机器受控停止。停止机器，恢复压缩空气供应（气源处理单元处 6 bar），只有在夹紧压力重新得到确认后才可取出工件。然后按急停后的方式确认并重新启动。

> **警告**
> 火花和炽热颗粒可能引发抽排装置过滤器壳体内的火灾，也可能在班次结束后延时发生。可能导致严重烧伤和烟气中毒。火灾报警时不得打开过滤器壳体，应离开该区域并通知消防队。

抽排装置火灾：滤芯温度监控或烟雾或 CO 探测器响应时，控制系统关闭抽排风机，关闭电动关断阀，并使单元受控停止。立即离开该区域，通知消防队并告知主管。不得打开过滤器壳体，因为进入的空气可能使阴燃物燃起明火；灭火剂只能由消防队通过过滤器壳体上可封闭的灭火剂注入口注入。只有在故障排除且维护部门放行后才允许重新启动。温度传感器有缺陷或关断阀失效时，不得运行抽排装置。

10 维护

本章面向负责 RSZ-2600 机器人焊接单元维护的专业维护人员。维护作业必须在机器静止状态下进行。进行机械、电气和气动作业之前，必须通过可锁定在 OFF 位置的主开关隔离机器，并防止其重新启动；气动供应必须泄压。对夹具进行作业之前，必须先打开夹具，因为保压阀会将夹紧压力封闭在气缸内；然后关闭压缩空气并排气，检查残压指示器是否显示 0 bar。如果某个夹具无法打开，必须借助保压阀的手动辅助操作受控释放压力（操作步骤见第 10.4 章）。按第 10.2 章对保护装置进行的功能检查在机器接通状态下从单元外部进行。此外，还须遵守外购部件制造商的文件，特别是机器人制造商的装配说明书以及 MAG 焊接电源、送丝装置、焊枪清洗站和焊接烟尘抽排系统的文件。

> 危险
> 控制柜和焊接电源中存在 400 V 电压。接触带电部件会导致死亡或重伤。电气设备上的作业只能由电气专业人员进行；作业前须关断主开关并上锁，等待至少 1 分钟，直至焊接电源放电完毕（机器人驱动装置：按机器人制造商规定的等待时间），并确认无电压。

10.1 维护记录

所有已进行的检查、维护和维修作业都必须以可追溯的方式记录。维护记录用于证明 RSZ-2600 机器人焊接单元得到了规范的维护，必须在机器的整个使用寿命内保存。每次作业至少须在维护记录中填写以下信息：日期、所进行的作业、所用备件和耗材、执行作业的专业人员姓名以及发现的任何异常情况。对防护装置和保护装置进行的安全相关检查，例如光幕、带防护锁定的维护门和急停回路，必须单独记录。机器随附维护记录表（RSZ-2600-WNW-001）（见第 12 章）；也可使用等效的企业内部系统（例如维护软件）。维护记录至少须保存至机器停用为止；使用单位对此负责。

10.2 检查与维护计划

检查与维护计划规定了须在机器上进行哪些作业以及作业的周期。对于外购部件，还须遵守相应制造商文件中的维护要求。

每日（操作人员）：目视检查防护装置和保护装置；用测试棒对光幕进行功能检查；检查抽排能力（压差指示器）、保护气体流量和压缩空气压力；检查焊枪喷嘴有无飞溅物附着；检查保护气体软管、焊接电缆、接地电缆和接地夹有无损坏、是否牢固就位；检查工作场所照明是否正常；清洁工作区域并清除上料工位地面上的飞溅物。

每周（操作人员/设定人员）：急停功能检查（各急停装置轮流检查）；检查焊枪的导电嘴和气体喷嘴，磨损时更换；清洁送丝轮和导丝装置；排放气源处理单元中的冷凝水；检查焊接防护帘、防护围栏的填充板和观察窗有无损坏。

每月（设定人员/维护人员）：清洁焊枪清洗站并补充喷雾剂；检查气动接头和软管有无泄漏；检查抽排滤芯，压差处于红色区域时更换；对维护门的防护锁定、逃生解锁装置和锁闭装置进行功能检查；检查机器人电缆和管线包有无磨损点；清空抽排装置的火花预分离器（粉尘的处理方式与更换滤芯时相同）；检查冷却装置的冷却液液位，必要时按焊枪制造商的规定补充冷却液。

每半年（维护人员）：按随附的安全功能测试计划（RSZ-2600-PPS-001，见第 12 章）对所有安全功能（SF-01 至 SF-05）进行有记录的功能检查；检查机器人底座和转台的锚固（拧紧力矩）；目视检查电气设备；目视检查屏蔽连接和等电位联结；由电气专业人员对焊接回路进行绝缘测量；对抽排装置的

温度传感器、关断阀以及烟雾和 CO 探测器进行功能检查。

每年（制造商）：按维护合同进行大保养，包括按制造商规定进行机器人维护（减速器润滑、机器人控制器电池）、机器人校准检查、依据 EN ISO 14119 检查联锁和防护锁定、依据 EN ISO 13855 重新计算或检查光幕的安全距离、依据 EN 60974-4 检查焊接电源。

> 警告
> 更换滤芯时会产生焊接烟尘粉尘。吸入可能对呼吸道造成永久性损害。佩戴符合 EN 149 的 FFP3 颗粒物过滤半面罩、护目镜和一次性手套；不得扬起粉尘。

更换滤芯（维护人员）：等待抽排延时运转结束，然后隔离机器；借助过滤器壳体的袋进袋出更换系统，将已饱和的滤芯取出到更换袋中，并立即将袋子严密封口；使用符合 EN 60335-2-69 的 H 级粉尘工业吸尘器清洁过滤器壳体，不得吹扫，也不得用扫帚清扫；装入焊接烟尘等级 W3 的新滤芯，并检查密封件是否正确就位；重新接通后检查压差指示器；按第 11.3 章进行处置。

清洁单元（设定人员/维护人员）：只能在机器已隔离并防止重新启动的状态下进行；以机械方式清除飞溅物；使用 H 级粉尘工业吸尘器吸除粉尘，不得用压缩空气吹除，也不得用扫帚清扫；不得使用易燃清洁剂；用软布清洁观察窗和光幕的前窗；清洁后对光幕进行功能检查。

此外，使用单位还须履行德国《工业安全与健康条例》（BetrSichV）和 DGUV 规程 3（德国法定事故保险关于电气设施和设备的规程）规定的法定检查义务（定期检查电气设备）。防护装置和保护装置中损坏或磨损的部件必须在机器重新投入运行之前修理或更换。

10.3 润滑计划

润滑计划规定了机器上的哪些润滑点须以何种周期加注何种润滑剂：

- 机器人减速器（轴 1 至轴 6）：只能在每年由制造商进行的保养范围内，按机器人制造商的规定润滑（减速器润滑脂按机器人文件的规定）。
- 转台的回转支承和轴承：每半年使用符合 DIN 51502 的多用途润滑脂 KP2K-30 润滑一次（底架上 2 个注油嘴，每个约 10 g）。
- 气动工件夹具的导轨和铰接点：每月薄涂一层无酸机油；用量不得过多（会附着飞溅物）。
- 维护门的铰链和联锁装置：每半年用多用途润滑脂润滑一次。
- 焊枪清洗站：每月补充喷雾剂罐（无硅防飞溅剂）。

气动部件按无油压缩空气设计，不得加油润滑。只能使用规定的润滑剂或经制造商认可的等效润滑剂。用过的耗材和润滑剂必须按第 11.3 章以规范且环保的方式处置。进行所有润滑作业时都必须隔离机器；须戴合适的防护手套。

10.4 故障查找

诊断：在机器接通状态下，从单元外部在 HMI 面板、信号灯柱和指示器上读取故障信息。在机器接通状态下进入单元内部进行干预（例如将机器人移开或检查程序路径），只允许设定人员在设定模式下借助使能装置并以安全降速进行。只能经由维护门进入；每名进入人员都须将个人挂锁挂在锁闭装置上，对门实施上锁保护。机械、电气和气动作业只能在隔离后开始：对夹具进行作业时，先取出工件并打开

夹具；关断主开关并上锁（LOTO）；在维护截止阀处关闭压缩空气，等待排气结束，检查残压指示器是否显示 0 bar，并用挂锁锁定该阀；等待至少 1 分钟，直至焊接电源放电完毕；对于机器人驱动装置，适用机器人制造商规定的等待时间。

> **警告**
> 故障查找期间，机器人和转台可能意外启动，夹紧回路中储存有压缩空气。可能导致挤压，造成严重伤害。进入单元之前，停止机器并用个人挂锁对维护门实施上锁保护。对夹具进行作业之前，先打开夹具，因为保压阀会将夹紧压力封闭在气缸内。然后关闭压缩空气并排气，检查残压指示器是否显示 0 bar。如果某个夹具无法打开，借助保压阀的手动辅助操作受控释放压力。

故障	可能原因	排除方法
设备在自动模式下无法启动	安全回路断开（维护门、光幕），急停已按下	关闭维护门，清除光幕保护场内的遮挡，解锁急停装置，在操作台上确认
光幕无明显原因触发	光学元件脏污或未对准	清洁发射器和接收器的前窗，检查对准情况（对准指示器），然后进行功能检查
转台不旋转	夹紧压力低于设定值，工件到位传感器无响应，保护场被占用	检查压缩空气供应（6.0 bar），检查工件夹紧情况，清空旋转区域
压缩空气中断（夹紧压力下降，HMI 面板上显示故障信息）	现场压缩空气供应中断，截止阀已关闭，夹紧回路中有泄漏	停止机器；保压阀使工件保持夹紧。恢复压缩空气供应（6.0 bar），检查有无泄漏，只有在夹紧压力得到确认后才可取出工件，然后在操作台上确认
维护门的防护锁定不解除	机器人或转台尚未达到安全静止状态，电弧尚未熄灭	等待完全静止（操作台上有显示），然后再次请求
焊缝有缺陷（飞溅、气孔）	送丝受干扰，保护气体不足，焊枪喷嘴磨损	检查送丝和气体流量，更换喷嘴/导电嘴，检查焊接参数
抽排不足/故障信息	滤芯已饱和，捕集罩移位	更换滤芯（焊接烟尘等级 W3，操作步骤按第 10.2 章，按第 11.3 章作为危险废物处置），校正捕集罩位置
机器人停止并显示碰撞信息	焊枪上的防碰撞离合器或机器人的碰撞检测（扭矩/电流监控）已触发	消除工作区域内的原因，检查焊枪和防碰撞离合器有无损坏，检查程序路径，在示教器上确认信息
取料保持封锁，取料工位的红色信号灯亮起	焊接程序的冷却闭锁时间正在计时	等待冷却闭锁时间结束；不得绕过闭锁时间
焊枪冷却故障信息，或未放行更换焊枪	冷却液液位过低，冷却装置故障，焊枪颈部仍过热	检查冷却液液位并补充，检查冷却装置和管线包；只有在 HMI 面板上显示放行后才可更换焊枪
抽排装置超温或火灾报警	过滤器内有炽热颗粒；温度传感器、烟雾探测器或 CO 探测器已响应	按第 9.5 章（抽排装置火灾）处置；不得打开过滤器壳体
提示信息：工作场所照明失效	灯具损坏	停止受影响区域内的作业，由电气专业人员修理灯具

如果采取上述措施仍无法排除故障，必须联系制造商（联系方式见第 12.1 章）。不允许擅自干预安全功能。

11 拆卸与报废处置

本章说明 RSZ-2600 机器人焊接单元最终停用、拆卸和环保处置的原则。拆卸是机器的一个独立生命周期阶段，只能由经培训的合格人员进行。此外还须遵守相关技术文件中的信息，特别是总装图和概览图以及电气原理图和气动原理图。

11.1 拆卸安全须知

> **警告**
> 储存的能量（电能、压缩空气、运动质量）以及焊接过程产生的有害物质和残留物。可能导致死亡或重伤。拆卸前，隔离机器，等待放电时间结束，对气动系统排气，并将可动组件锁定在固定位置。

开始拆卸作业之前，必须使机器安全停止，并全极断开能源供应：关断主开关并用锁将其锁定在 OFF 位置；由电气专业人员断开电源电缆、防止其重新通电、确认无电压、接地并短路，并遮盖相邻的带电部件（EN 50110-1 的五项安全规则）。打开焊接电源和控制柜之前，至少等待 1 分钟（焊接电源实测放电时间：1.9 s 降至 ≤ 60 V；等待时间包含安全余量）；对于机器人驱动装置，适用机器人制造商规定的等待时间。

气动系统必须泄压：在隔离机器之前打开工件夹具，因为保压阀会将夹紧压力封闭在气缸内；然后关闭维护截止阀，通过其排气位置对系统排气，并在残压指示器上检查压力是否已释放。如果某个夹具无法打开，借助保压阀的手动辅助操作受控释放被封闭的压力。

在松开紧固件之前，必须防止可能储存有势能的可动组件意外运动：将机器人移至运输位置，并用存放的运输锁定装置将其锁定；用旋转轴的锁定销锁定转台。

搬运和拆除重型组件时，须使用合适的起重和运输设备以及个人防护装备。各组件的质量和吊点：见第 5.2 章和第 5.3 章。

11.2 拆卸顺序

拆卸按装配的相反顺序进行（第 8.2 章）：

1. 断开供应介质：保护气体、压缩空气和抽排接口；排空管路并加以标记。
2. 由电气专业人员断开电气连接并加以标记；断开电源电缆。
3. 拆除光幕、维护门和防护围栏段。
4. 拆除带冷却装置的焊接电源、送丝装置、焊枪清洗站和抽排装置。
5. 将机器人锁定在运输位置，松开锚固，将机器人连同底座吊起。
6. 锁定转台，松开锚固，吊起转台；最后拆除控制柜和操作台。

各连接的拧紧和松开力矩见总装图和装配文件。中间储存或转运适用第 5 章和第 6 章。

11.3 工作介质的分离与处置

在进行材料分离之前，必须以规范的方式排出、收集并分离所有工作介质和辅助材料。特别须注意以下各项：转台回转支承和机器人减速器中的润滑脂；焊枪清洗站中的防飞溅剂；冷却装置以及水冷焊枪管线包中的冷却液（收集后按安全技术说明书处置，不得排入下水道系统）；焊丝残余；焊接烟尘抽排装置的滤芯以及沉积在壳体、火花预分离器和管道中的焊接烟尘粉尘。

> **警告**
> 滤芯中以及抽排装置粉尘沉积物中的焊接烟尘粉尘。吸入可能对呼吸道造成永久性损害。搬运滤芯时，佩戴符合 EN 149 的 FFP3 颗粒物过滤半面罩和一次性手套，不得扬起粉尘。将滤芯和粉尘沉积物装入防尘密封包装中，作为危险废物处置（欧洲废物目录代码 15 02 02*，在德国为 AVV 15 02 02*：被危险物质污染的过滤材料，或按处置承包商的分类）。

工作介质、过滤残留物以及被有害物质污染的部件不得进入生活垃圾或环境中。须分开收集这些物质，并通过经授权的处置机构进行处置。适用所用物质的安全技术说明书以及当地主管的持证废物处置企业的要求。

11.4 材料分离与回收利用

排出工作介质后，必须拆解各组件并按类型分离材料：

- 钢和铸铁（带填充板的防护围栏、框架、转台、底座）：废金属回收
- 有色金属（铜电缆、焊接电缆、导电嘴）：单独收集
- 电气和电子设备（控制装置、驱动装置、HMI、传感器、焊接电源）：单独收集，并作为废弃电气电子设备通过经授权的收集和回收机构处置
- 电池和蓄电池（机器人控制器的缓冲电池）：电池回收系统
- 塑料（盖板、软管、防护帘）：材料回收或能量回收
- 包装和隔热材料：当地回收渠道

拆卸和处置时，须遵守安装地点适用的法律和法规要求。如有疑问，必须通过持证废物处置企业处置材料和工作介质；处置过程必须记录。

12 图纸及其他信息

机器随附以下文件：

- 安装平面图（RSZ-2600-LAY-001）
- 电气设备原理图（RSZ-2600-EPL-001）
- 气动原理图（RSZ-2600-PPL-001）
- 备件清单（RSZ-2600-ET-001）
- 安全功能 SF-01 至 SF-05 测试计划（RSZ-2600-PPS-001）
- 维护记录表（RSZ-2600-WNW-001）
- 欧盟符合性声明

移交时，使用单位将收到首次调试的验收报告，其中包含安全相关软件（安全 PLC 的程序、机器人控制器的安全配置、光幕的参数设置；见第 13.2 章）的参考版本和校验和。

12.1 图纸与备件

机器随附安装平面图（RSZ-2600-LAY-001）。制造商可应要求提供总装图和部件装配图（图纸集 RSZ-2600-ZG-001 及后续编号），用于维护和订购备件。

备件和易损件：只能使用原厂备件或经制造商认可的等效部件。主要易损件：焊枪的导电嘴和气体喷嘴、送丝轮、导丝软管、焊接防护帘、抽排滤芯、底板毛刷以及气动夹具的密封件套件。订购信息：见随附的备件清单 RSZ-2600-ET-001；订购时务必注明机器的型号和序列号。

备件和技术咨询联系方式：Muster Maschinenbau GmbH, Beispielstraße 1, 12345 Musterstadt, 德国，电子邮件 service@muster-maschinenbau.example。

12.2 电气文档

机器随附符合 EN 60204-1 的电气文档：原理图（电气原理图 RSZ-2600-EPL-001）、端子表和电缆表、控制柜布置图、电气设备物料清单、带信号表的 PLC 和安全 PLC 程序文档，以及保护导体测试和绝缘测量的测试报告。控制柜内存放一份原理图。对电气安装的更改只能由电气专业人员进行，并且只能在制造商批准后进行；进行更改时，必须相应地更新图纸。

12.3 风险评估记录

依据 EN ISO 12100 的风险评估涵盖全部 42 项危险、其评价以及所采取的保护措施，是制造商技术文件的组成部分。应市场监督机关的合理要求予以提交。与运行相关的剩余危险及由此得出的须知载于“安全”章节。

13 网络安全

本章面向使用单位以及负责网络和维护的专业人员。本章说明如何将 RSZ-2600 机器人焊接单元接入使用单位的网络、如何检查软件版本，以及远程维护和更新如何进行。如果对控制系统的干预涉及安全功能，还须遵守第 2 章（安全）中的说明。

13.1 接入使用单位的网络

只能通过随附的网关将单元连接到使用单位的网络。不得将任何其他设备或网络连接到控制柜内的单元网络。

- 将网关置于生产设备专用的网段中，而不是办公网络中。
- 只允许单元所需的连接：从 MES 到单元的 OPC UA 连接，以及到制造商远程维护服务器的 VPN 连接。
- 不得为控制系统建立直接的互联网连接。
- 只能在与制造商协商后更改防火墙规则。

13.2 软件版本和干预记录

安全相关软件的版本和校验和显示在 HMI 面板的“信息”下，无需登录即可查看。安全相关软件包括安全 PLC 的程序、机器人控制器的安全配置和光幕的参数设置；参考版本和校验和记录在验收报告中。每次干预、更新和更换设备后，都须将其与验收报告进行核对。事件日志列出登录、参数更改、软件上传和远程维护会话，并附时间戳和用户。如果数值不一致，不得放行自动模式，并通知制造商。

13.3 远程维护

交付时远程维护处于禁用状态。会话只能通过操作台上的远程维护钥匙开关启用，并在四小时后自动结束；会话激活期间，HMI 面板显示“远程维护已激活”。现场必须有一名负责人员在场。如果怀疑存在未经授权的访问，立即用远程维护钥匙开关结束会话，并通过安全报告联系地址通知制造商。

13.4 更新

在至 2039 年 3 月的支持期内，制造商在客户门户中提供控制系统、HMI 和网关软件的安全更新，并附发布说明和校验和。制造商通过电子邮件将新更新通知已登记的联系人；安全公告还发布在 https://www.muster-maschinenbau.example/security/advisories 上。安装更新的步骤如下：

- 从客户门户下载更新，并将校验和与发布说明进行核对。
- 停止单元，选择设定模式，保持维护门关闭，然后通过 USB 在 HMI 面板上安装更新，或在现场启用的远程维护会话中安装更新。
- 随后将“信息”下的版本和校验和与发布说明进行核对，并将其作为新的参考值记录在验收报告中。
- 放行自动模式之前，按随附的测试计划 RSZ-2600-PPS-001（见第 10.2 章和第 12 章）对所有安全功能 SF-01 至 SF-05 进行功能测试并记录。

13.5 日志保存

控制系统可防止事件日志被删除和修改，并将软件上传记录连同相关数据在上传后保存最长五年。日志可在 HMI 面板上以可读形式导出。确保控制系统的日期和时间正确，否则时间戳将无法使用。单元转让时，将日志移交给新的使用单位，并在主管机关提出有理由的请求时向其提供日志。

13.6 网络安全信息

本节包含制造商关于机器网络安全的信息。

本机器具有下列数字接口：

表 6: 机器的数字接口

接口	协议	连接方式	更新
连接机器人、转台和焊接电源的单元网络 (网络 / 现场总线 / 生产线集成)	带 PROFIsafe 的 PROFINET IO	仅在机器现场	由服务人员在现场
与使用单位 MES 的连接 (网络 / 现场总线 / 生产线集成)	基于以太网的 OPC UA（Sign & Encrypt，签名并加密）	工厂网络	由服务人员在现场
经由 VPN 网关的远程维护 (远程访问 / 远程维护)	经由使用单位互联网连接的 IPsec VPN	通过互联网连接	远程
操作台上的 HMI 面板 (带用户和参数管理的操作面板（HMI）)	带角色和用户账户的触摸操作	仅在机器现场	由服务人员在现场
HMI 面板上的 USB 接口 (USB / 可移动存储介质)	用于备份和程序导入的 USB 2.0	仅在机器现场	通过可移动存储介质
对安全 PLC 和机器人控制器的编程访问 (工程 / 编程访问)	控制柜内的工程接口（以太网）	仅在机器现场	由服务人员在现场

制造商的名称和联系方式

Muster Maschinenbau GmbH

Beispielstraße 1, 12345 Musterstadt, 德国

service@muster-maschinenbau.example

https://www.muster-maschinenbau.example

漏洞单一联络点和披露政策

漏洞报告: security@muster-maschinenbau.example

协调漏洞披露政策: https://www.muster-maschinenbau.example/security/disclosure

产品的唯一识别

产品名称: RSZ-2600 机器人焊接单元

类型: RSZ-2600

其他标识信息: 序列号见控制柜右侧壁上的铭牌；软件版本可在 HMI 面板的“Info”项下查看

预定用途、安全环境和安全特性

预定用途: 机器人辅助 MAG 焊接，用于批量生产中重量不超过 40 kg 的钢结构组件，固定安装在生产车间内。

制造商预定的安全环境: 在与办公网络和互联网隔离的生产网络中运行；仅通过随附的网关与 MES 连接；远程维护仅在操作台上启用后经由 VPN 网关进行；控制柜和编程接口须上锁。

基本功能: 控制机器人、转台、焊接过程和焊接烟尘抽排；通过 OPC UA 接收订单并回传生产数据；通过 USB 进行备份；由制造商进行远程维护。

安全属性: 带角色的个人用户账户；加密并签名的 OPC UA 连接；采用多因素登录的 VPN；记录登录、参数更改和远程维护会话的事件日志；在 HMI 面板上显示安全相关软件的版本和校验和；无法远程访问安全控制器。

可能导致重大网络安全风险的情形

将单元网络直接连接到办公网络或互联网；远程维护长期处于启用状态；共用密码；通过 USB 导入来源不明的文件；未安装安全更新；支持期结束后继续运行。

技术安全支持和支持期限截止日期

技术安全支持的类型: 通过客户门户提供控制系统、HMI 和网关软件的安全更新；通过电子邮件发送安全公告；将单元集成到使用单位网络时由制造商的服务部门提供支持。

支持期限截止日期: 03/2039

详细说明

(a) 安全的投入使用和使用: 首次登录时更改初始密码（控制系统强制要求），并为所有操作人员创建个人账户；按照制造商的网络平面图集成网关，仅允许通往 MES 的 OPC UA 连接和通往制造商的 VPN 连接；备份已验收的配置，并将其校验和记录在验收报告中。

(b) 更改对数据安全的影响: 增设网络连接、更改防火墙规则、修改安全程序或连接其他机器，均可能损害网络安全和安全功能。此类更改只能在与制造商协商后进行，更改后须对安全功能进行测试。

(c) 安全相关更新的安装: 从客户门户下载安全更新，核对校验和，然后在单元停机、已选择设定模式且维护门关闭的状态下通过 USB 安装到 HMI 面板上，或在已启用的远程维护会话期间安装；随后在 HMI 面板上检查版本和校验和。

(d) 安全停用和用户数据的清除: 停用前，备份焊接程序和日志，通过“出厂设置”复位单元（此操作将删除用户账户、证书、程序和日志），并要求制造商封锁远程维护访问。

附录目录

本机械还包括以下其他文件（本使用说明书的附录）：

- 符合性声明

本文档在 AI 辅助下编制。内容的审核和责任由制造商承担。
#ce-copilot:ki-unterstuetzt; ai-disclosure=ai-assisted; generator=CE-Copilot; digitalsourcetype=compositeWithTrainedAlgorithmicMedia