

技术白皮书

# 气动助力机械臂出厂检验、安全要求 与相关标准适用性说明

——起重、气动、机械安全与非标夹具验收的工程化解读

出品单位：安睿克（工程技术资料中心）

文件类别：标准适用性说明 / 出厂检验说明 / 客户验收资料说明

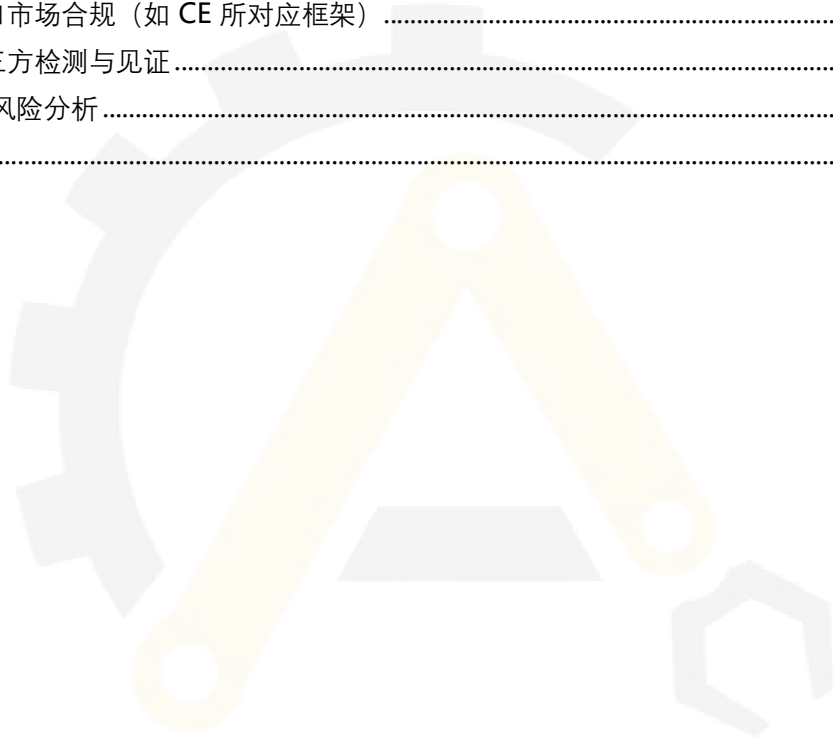
版本：A 版（工程参考用）

— 安睿克智能科技 —

## 目录

目录.....	2
摘要.....	4
关键词.....	4
一、引言.....	5
二、设备属性与标准适用边界.....	5
2.1 气动助力机械臂.....	5
2.2 气动平衡器与助力机械手.....	6
2.3 真空吸吊机.....	6
2.4 悬臂吊（臂架起重机）.....	6
2.5 非标末端夹具与吸盘系统.....	6
2.6 轨道 / 框架系统.....	6
2.7 与工业机器人的对比.....	7
2.8 起重机械与特种设备界定.....	7
2.9 CCC / CE / 第三方检测边界（概述）.....	7
2.10 标准适用性参考矩阵.....	7
三、起重相关安全要求解读.....	9
3.1 额定载荷与安全裕度.....	9
3.2 结构强度与稳定性.....	9
3.3 限位与行程保护.....	9
3.4 制动、锁止与防坠.....	9
3.5 警示标识与可视化信息.....	10
四、气动系统安全要求解读.....	10
4.1 气源质量与压力稳定.....	10
4.2 气路密封与泄漏控制.....	10
4.3 断气保护与失压行为.....	10
4.4 压力控制与超压防护.....	10
4.5 排气与残余能量.....	11
五、机械安全与控制安全要求.....	11
5.1 运动部件的机械防护.....	11
5.2 操作方式与防误操作.....	11
5.3 急停与安全功能.....	11
5.4 电气安全（如含电气元件）.....	12
5.5 人机工效与操作负荷.....	12

六、出厂检验项目设计 .....	13
七、现场安装与验收项目 .....	15
八、文件交付清单.....	17
九、安全认证与第三方检测边界说明 .....	18
9.1 特种设备 / 起重机械的判断 .....	18
9.2 强制性产品认证（如 CCC） .....	18
9.3 出口市场合规（如 CE 所对应框架） .....	18
9.4 第三方检测与见证 .....	18
十、FMEA 风险分析 .....	20
十一、结论 .....	22



AUUREK

— 安睿克智能科技 —

## 摘要

气动助力机械臂是一类以压缩空气为主要能量来源、用于辅助操作人员搬运与定位工件的非标助力设备。它往往集成了助力平衡机构、回转与摆动关节、末端非标夹具或真空吸附系统，并安装在立柱、悬臂、轨道或框架等承载结构之上。由于其功能横跨“起重提升”“气动传动”“机械与控制安全”以及“非标夹持”等多个工程领域，单一标准或单一证书往往不足以概括其全部安全要求。

本文从设备属性出发，梳理气动助力机械臂在起重相关安全、气动系统安全、机械与控制安全等方向上可参考的标准框架，并据此提出系统化的出厂检验项目、现场安装与验收项目以及文件交付清单，最后给出认证与第三方检测的边界说明与典型失效模式分析（FMEA）。本文的目标是帮助工程、质量、采购与使用各方在项目早期即建立清晰的安全合规判断框架与责任边界。

需要强调的是，本文为工程化的标准适用性说明与出厂检验说明，所列标准方向、检验项目与判断原则均为参考性质；具体设备的归类、检验深度与认证需求应结合设备属性、载荷风险与项目所在地监管要求判断，并以标准正式文本与合同技术协议为准。

## 关键词

气动助力机械臂；助力平衡器；真空吸吊；悬臂吊；非标夹具；起重安全；气动系统安全；机械安全；功能安全；出厂检验；现场验收；标准适用性；FMEA 风险分析。

## 一、引言

随着制造业对人机工程、作业效率与职业健康的要求不断提高，气动助力机械臂在汽车、家电、机械加工、物流分拣、玻璃与板材搬运等场景中得到日益广泛的应用。这类设备的共同特征在于：以压缩空气提供主要助力，使操作人员能够以较小的人力完成中等重量工件的提升、回转、就位与释放，从而降低肌肉骨骼损伤风险并提高节拍稳定性。

然而，气动助力机械臂在结构形态上高度“非标”。不同项目的载荷范围、臂展、关节数量、夹具形式、控制逻辑与安装条件差异显著，这使其安全要求难以用单一标准或单一证书一概而论。设备同时涉及提升载荷、压力能量、运动机构与人机交互，任何一个环节的薄弱都可能成为风险来源。因此，围绕设备属性、载荷风险、气动系统、夹具形式、控制逻辑与现场安装条件进行分层判断，是建立合理安全合规框架的前提。

本白皮书由安睿克工程技术资料中心编写，作为出厂检验与客户验收的配套技术文件。安睿克在此仅作为出品单位与工程背景出现，本文不构成对任何具体产品资质、认证状态或合规结论的承诺。文中所述的标准方向、检验项目与风险分析方法，旨在为各方提供一致的工程语言与判断依据，便于在合同与技术协议中明确各自责任、检验深度与交付内容。

**提示：**本文定位为“标准适用性说明 + 出厂检验说明 + 客户验收资料说明”，并非认证承诺书。文中涉及标准、法规与认证之处，均采用谨慎表达，需结合具体设备属性与项目所在地监管要求判断，并以标准正式文本为准。

## 二、设备属性与标准适用边界

判断一台气动助力机械臂应参考哪些标准、应进行何种检验，首先要明确其设备属性。下面对常见的设备形态及其工程特征作简要说明，并在此基础上讨论其与“起重机械”“特种设备”等概念之间的边界关系。

### 2.1 气动助力机械臂

气动助力机械臂通常由固定底座或立柱、主臂、副臂（或多级臂）、回转关节、气缸与助力平衡机构、制动/锁止装置以及末端夹具组成。其工作原理是利用压缩空气在气缸中形成的力，抵消工件与机构自

身的重力，使操作人员能够近乎“失重”地引导工件运动。与电动驱动设备不同，这类设备一般不依赖主驱动电机产生提升动力，而以气源作为主要能量来源，但仍可能集成电磁阀、传感器、按钮等电气元件用于控制与保护。

## 2.2 气动平衡器与助力机械手

气动平衡器与助力机械手通常用于较轻载荷或手工具的辅助搬运，强调在一定行程内实现近似浮动的悬停效果。其结构相对简单，但同样涉及气源压力稳定、断气保护与防误释放等安全要点。在标准适用判断上，应区别于结构更完整的整臂式助力机械臂。

## 2.3 真空吸吊机

真空吸吊机通过真空发生器或真空泵、储气（储真空）罐与吸盘组构成吸附系统，常用于平板、板材、箱体等表面平整工件的搬运。其核心安全关注点在于真空度的建立与保持、断气或断电时的真空保压能力，以及吸盘对不同工件表面的适应性。对于真空吊具的功能与防护要求，可参考非固定式起重吊具相关技术规范（如 ISO 13155 等方向），但其具体适用性需结合吊具形式与项目要求判断。

## 2.4 悬臂吊（臂架起重机）

悬臂吊一般指固定于地面、立柱或墙体上的旋转臂式起重装置。它在功能上与气动助力机械臂存在相似之处（均为臂式、可回转、用于提升），但在驱动方式、载重量级与控制逻辑上往往不同。悬臂吊在部分情形下可能落入“臂架起重机”范畴，其设计与检验可参考起重机械相关安全规程；气动助力机械臂是否应比照悬臂吊处理，需结合其载荷、提升功能与结构属性判断。

## 2.5 非标末端夹具与吸盘系统

末端夹具与吸盘系统通常为针对特定工件定制的非标部件，包括机械夹爪、夹钳、专用托架以及单组或多组真空吸盘等。其安全关注点集中在夹持力或吸附力的保持能力、防误释放逻辑、失气与失电情形下的保持行为，以及与工件几何形状的匹配性。由于其高度定制化，相关要求多以技术资料、内部规范及通用吊具/夹具原则作为参考，并应在技术协议中明确具体验收准则。

## 2.6 轨道 / 框架系统

气动助力机械臂常安装在轨道、横梁或框架（龙门）结构上，以扩大作业覆盖范围。此时除臂体本身外，还需关注轨道行走机构的防脱轨、定位制动、结构刚度与连接可靠性。框架与轨道的承载能力、

变形控制与安装精度，直接影响整机的稳定性与安全性，应纳入设计与验收考量。

## 2.7 与工业机器人的对比

工业机器人通常为电动驱动、可编程、具备自主运动能力的设备，其安全要求围绕自动运动与人机协作展开，可参考机器人专用安全标准方向。气动助力机械臂则强调“人在回路”的助力与平衡特性——运动通常由操作人员引导，设备不自主决策运动轨迹。二者在风险来源与控制思路上存在差异，因此适用的标准与检验重点也不同，不宜简单套用机器人标准来概括助力机械臂的全部要求。

## 2.8 起重机械与特种设备界定

“起重机械”与“特种设备”是法规层面的重要概念，涉及是否需要型式试验、使用登记与定期检验等监管要求。气动助力机械臂是否落入相关范畴，不能仅凭名称判断，而需结合其提升功能、额定载荷、结构形式与功能用途等设备属性，并对照项目所在地的特种设备目录与管理规定综合界定。其结论可能因载荷量级、安装方式与地区监管口径不同而存在差异。

**提示：**设备是否属于起重机械或特种设备，需结合设备属性与项目所在地监管要求判断，应以相关目录与法规正式文本为准，并在合同或技术协议中明确各方责任。

## 2.9 CCC / CE / 第三方检测边界（概述）

在认证与合规体系上，不同地区与不同产品形态对应的要求不同。强制性产品认证（如 CCC）通常针对特定目录范围内的产品或电气部件；出口相关市场时可能涉及对应的合规框架（如 CE 所对应的指令与协调标准）。纯气动本体与含电气元件的子系统在适用判断上可能不同，是否需要相关认证或第三方检测，需结合设备属性与项目所在地监管要求判断。本文第十一节将对边界作进一步说明。

## 2.10 标准适用性参考矩阵

下表汇总了与气动助力机械臂相关、可在不同维度上参考的标准方向。表中内容为适用方向的概述，不代替具体条款，也不构成对任一标准“完全满足”或“已通过”的判断。各标准的实际适用范围与要求，应以其正式文本为准，并结合设备属性确定。

标准 / 类别（参考方向）	可参考的适用范围说明
机械安全基础（ISO 12100）	提供机械安全的通用框架与风险评估方法，可作为整机本质安全设计与危险

标准 / 类别 (参考方向)	可参考的适用范围说明
等方向)	源识别的参考。适用与否及具体方法应以正式文本为准。
气动系统安全 (ISO 4414 等方向)	面向气动流体动力系统的一般安全规则, 可参考其对气路设计、压力控制、断气与排气等方面的原则性要求。
起重机械安全 (GB 6067 系列等方向)	面向各类起重机械的安全规程; 若设备依其属性被判断为臂架式或轻小型起重设备, 可参考相关部分要求。是否适用需结合设备属性判断。
起重机设计 (GB/T 3811 等方向)	面向起重机整机结构与载荷计算等, 可在结构强度、稳定性与载荷能力评估中作为参考方向。
机械电气安全 (IEC 60204-1 / GB 5226 系列等方向)	面向机械电气设备的安全要求; 若设备含电磁阀、传感器、控制器等电气部分, 可参考相关通用与专用部分。
安全控制功能 (ISO 13849-1 / IEC 62061 等方向)	面向与安全相关控制部件的性能要求; 若设置急停、安全限位、双手控制等安全功能, 可参考其确定性能等级的方法。
人体工效学 (ISO 11228 系列等方向)	面向手动搬运与操纵力评估, 可作为评估操作者使用助力臂时人机负荷与操作力的参考。
焊接与紧固件 (焊接、GB/T 3098 等方向)	面向焊接质量与紧固件性能等级, 可作为结构件焊缝检验与螺栓选型、防松设计的参考方向。
吊具 / 夹具 (ISO 13155 等方向)	面向非固定式起重附件 (含真空吊具) 的功能与防护要求, 可作为非标夹具与吸附系统验收的参考。
出口市场合规 (CE 所对应框架等方向)	出口相关市场时可能涉及对应合规框架与协调标准; 适用范围与评估方式需结合目标市场与设备属性判断。
强制性认证目录 (CCC 等方向)	适用范围以最新官方目录为准; 纯气动本体与含电气元件的子系统判断可能不同, 应结合设备属性与监管要求确定。
企业与客户验收规范	包括内部质量体系、出厂检验大纲及客户技术协议中的验收项; 在设备交付中与上述标准方向同等重要, 应在合同中明确。

表 2-1 标准适用性参考矩阵。表中说明仅供参考, 应以标准正式文本、设备属性、客户要求及项目所在地监管要求为准; 不等同于认证或合规声明。

## 三、起重相关安全要求解读

气动助力机械臂虽以“助力”为核心定位，但只要其承载并提升工件，就不可避免地涉及起重相关的安全风险。本节从载荷、结构、稳定性、限位与制动等角度，对可参考的起重相关安全要求作工程化解读。这些解读为方向性说明，具体要求应以相关标准正式文本为准，并结合设备属性判断。

### 3.1 额定载荷与安全裕度

额定载荷是设备安全使用的基础参数。设计时应明确额定起重量、最大臂展下的允许载荷及其组合关系，并在结构强度计算中保留合理的安全裕度。助力机构所能平衡的载荷范围应与额定载荷相匹配，避免在接近极限工况时出现助力不足或失稳。额定载荷及其限制条件应清晰标注于铭牌与说明书中，并在出厂检验与现场验收中通过相应载荷试验加以验证。

### 3.2 结构强度与稳定性

臂体、立柱、底座与连接件构成设备的主要受力路径，其强度与刚度直接决定承载安全。结构设计应考虑静载、动载、偏载以及可能的冲击工况，并关注疲劳累积对长期可靠性的影响。对固定式设备，应核算其抗倾覆稳定性与地脚锚固要求；对轨道或框架式设备，应关注移动工况下的整体稳定与防脱轨。焊缝与高强度螺栓连接是结构安全的关键节点，相关检验可参考焊接与紧固件方向的标准。

### 3.3 限位与行程保护

为防止机构超出设计运动范围而引发碰撞、失稳或结构损伤，设备应设置行程限位。限位可采用机械挡块、行程开关或两者组合的形式，并应在到达极限位置时可靠地切断驱动、发出报警或触发保护动作。限位装置的触发可靠性与复位行为应在检验中逐项验证，确保在超出设计范围时系统能够采取可靠的安全响应。

### 3.4 制动、锁止与防坠

制动与锁止是防止载荷意外下降或机构意外运动的核心安全功能。对气动助力机械臂而言，应特别关注在失气、失电或操作中断等异常情形下的保持行为：机构是否能够将载荷锁止于当前位置，或以受控的速度缓慢下降，而非突然坠落。建议在关键自由度上设置可靠的制动或机械锁止，并通过断气保护测试验证其有效性。防坠相关功能的设计与验证，应结合载荷风险等级确定其冗余程度。

### 3.5 警示标识与可视化信息

清晰的警示标识与可视化信息是降低误操作风险的重要手段。铭牌应包含设备型号、额定载荷、额定气源压力等关键参数；运动区域、夹持区域与危险点应设置必要的警示标志。相关安全色与标志的使用可参考相应标准方向，并应在出厂检验中核对其完整性与正确性。

## 四、气动系统安全要求解读

气动系统是气动助力机械臂的能量核心。压缩空气在提供助力的同时也是一种储能介质，其异常释放、泄漏或压力波动都可能直接影响载荷的保持与设备的稳定。本节对可参考的气动系统安全要求作工程化解读，相关原则可参考气动系统安全方向的标准，并以正式文本为准。

### 4.1 气源质量与压力稳定

气源的压力稳定性与洁净度直接影响助力效果与元件寿命。系统应在设计输入压力范围内稳定工作，避免因压力不足导致助力下降，或因压力波动导致动作冲击。压缩空气中的水分、油雾与颗粒物应通过过滤、油水分离与必要的干燥处理加以控制。过滤减压组件的调节功能、排水与排气行为应在检验中确认正常。

### 4.2 气路密封与泄漏控制

气路泄漏不仅造成能量损失，还可能导致助力缓慢失效、载荷意外下降或动作异常。系统的管路、接头、阀件与气缸连接处应保证密封可靠，并在通气至工作压力的状态下进行泄漏检查（如采用检漏液或电子检漏仪）。对关键接头宜采用可靠的密封与防松措施，必要时在气源接口处设置止回元件以减缓异常泄压速度。

### 4.3 断气保护与失压行为

断气保护是气动助力设备最具特征性的安全要求之一。当气源意外中断或系统失压时，设备应避免载荷突然坠落：可通过气缸内置锁止、止回阀、平衡阀或机械制动等方式，使机构保持当前位置或以受控速度缓慢下降。断气保护行为应通过模拟断气工况进行验证，确认在失压情形下负载能够被可靠地保持或受控释放。

### 4.4 压力控制与超压防护

系统应具备适当的压力控制与超压防护措施，避免因压力异常升高而损伤元件或引发危险动作。压力安全装置、溢流或限压元件的设置，应与系统设计压力相匹配，并在检验中确认其动作可靠。对于带储气罐或多级真空的系统，还应关注容器与管路的承压能力及相应的安全附件配置。

#### 4.5 排气与残余能量

在维护、检修或紧急情形下，系统中残余的压缩空气是一种潜在能量来源。设计应提供安全的排气与泄压方式，使维护人员能够在可控条件下释放残余压力。相关操作要求应在说明书中明确，并配合点检与维护程序加以落实。

## 五、机械安全与控制安全要求

除起重与气动维度外，气动助力机械臂还涉及机械运动部件带来的挤压、剪切、碰撞等机械危险，以及由控制逻辑承担的安全功能。本节从机械防护与控制安全两个方面作工程化解读，相关方法可参考机械安全与功能安全方向的标准，并以正式文本为准。

### 5.1 运动部件的机械防护

回转关节、铰接处、气缸活动部位与夹具开合区域等，都可能在运动中对操作人员造成挤压或剪切伤害。设计应尽量通过本质安全手段减小危险间隙，或在不可避免的危险区域设置防护罩、挡板等物理防护。对于人机协作密切的区域，应结合作业方式评估是否需要附加感应保护或安全距离要求。

### 5.2 操作方式与防误操作

操作方式的设计应兼顾效率与安全。对涉及载荷释放的关键操作，宜采用需要明确意图的操作逻辑（如双手控制、脚踏配合或确认动作），以降低误触发释放的风险。设备应避免在单一误操作下即发生危险动作，并通过防误释放测试验证相关逻辑的有效性。

### 5.3 急停与安全功能

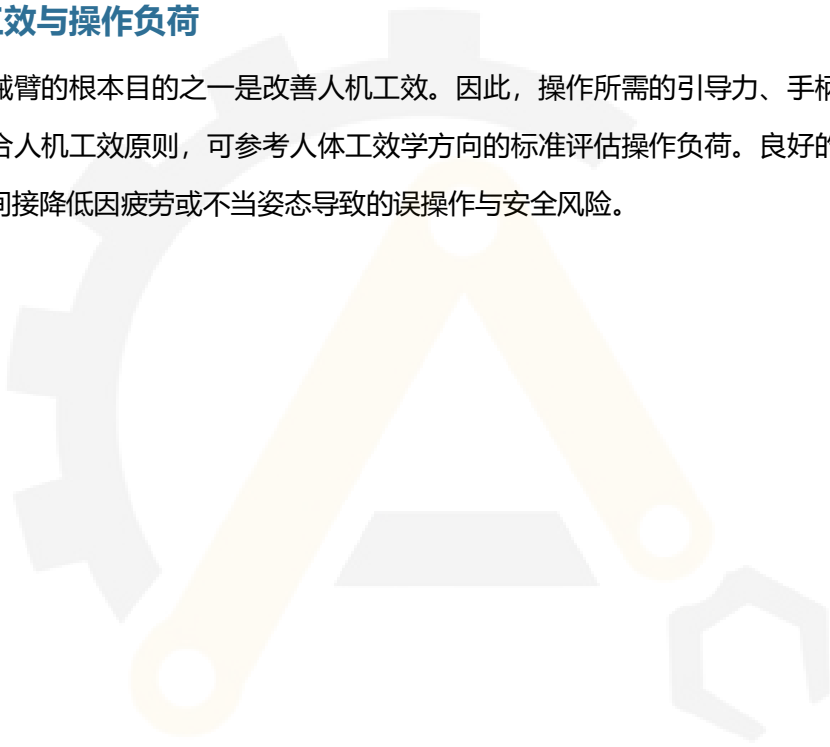
若设备配置了电气控制，则急停、安全限位、互锁等安全功能的设计应与风险等级相匹配。安全相关控制部件的性能要求可参考功能安全方向的标准，据此确定所需的可靠性与结构。急停应能够在可达位置便捷触发，并使设备进入安全状态；相关功能应在检验中验证其响应的及时性与可靠性。

## 5.4 电气安全（如含电气元件）

对于集成了电磁阀、传感器、控制器或显示装置的设备，电气部分的安全应参考机械电气安全方向的标准。关注点包括电气元件选型、接线可靠性、接地与绝缘、过载与短路保护，以及电缆的固定与防护。电气与气动子系统之间的接口（如电磁阀控制气路）应保证在异常情形下不产生危险的耦合动作。

## 5.5 人机工效与操作负荷

气动助力机械臂的根本目的之一是改善人机工效。因此，操作所需的引导力、手柄布置、视野与作业姿态等应符合人机工效原则，可参考人体工效学方向的标准评估操作负荷。良好的人机工效不仅提升舒适度，也间接降低因疲劳或不当姿态导致的误操作与安全风险。



## 六、出厂检验项目设计

出厂检验不应仅停留在“外观是否完好、能否动作”的层面。对气动助力机械臂而言，更应关注与安全密切相关的项目，包括结构与焊缝、紧固与防松、气路泄漏与压力、负载与限位、制动与断气保护、夹具保持与防误释放，以及资料的完整交付。下表给出系统化的出厂检验项目设计，供制定具体检验大纲时参考。检验深度与判定准则应结合设备属性确定，并在合同或技术协议中明确。

序号	检验项目	内容与方法说明（参考）
1	外观检查	检查涂装、标识与焊缝外观，确认无明显变形、裂纹、锈蚀与毛刺；核对铭牌信息与安全警示标识是否齐全清晰。
2	尺寸与装配检查	核对关键结构尺寸与安装位置是否符合图纸；检查关节间隙、轴承装配与配合是否正常；确认活动部件运动灵活、无异常卡滞。
3	焊缝与结构件检查	对焊缝进行外观检查，确认无明显缺陷；对重要焊缝与结构件可结合无损检测方法核查；确认连接部位符合设计要求。
4	螺栓紧固检查	按设计要求对紧固件进行验紧，重点检查主结构与关节处连接螺栓；确认防松措施（自锁螺母、弹簧垫圈等）安装到位。
5	气路泄漏检查	通气至工作压力，使用检漏液或电子检漏仪检查管路、接头、阀件与气缸连接处有无泄漏；确认密封与必要的止回措施可靠。
6	气源压力检查	验证额定供气压力是否稳定达到设计值并校准压力指示；检查空气质量（水、油、颗粒）及过滤减压组件的调节与排水功能。
7	过滤减压与安全元件	确认过滤、减压与油雾处理元件安装正确、动作灵敏；对压力安全、限压及相关保护元件进行功能性确认。
8	空载运行测试	在无负载下使各自由度全行程运动，检查动作平稳性与制动器动作；确认无异常振动、抖动或异响。
9	额定负载测试	在额定载荷下进行提升、回转等动作，验证助力机构对负载的平衡能力与操作顺畅性；确认升降无冲击且不超出安全限位。
10	静载 / 动载验证思路	静载：在额定载荷下保持静止，观察结构与制动的承载稳定性；动载：在负载下连续多次动作，检查有无位移或松动（具体载荷与时长以协议为准）。
11	回转关节与刹车测试	检查回转关节运动平滑度与自由范围；验证回转锁止或制动在失气状态下的可靠性，确认关节不会意外自由转动。

序号	检验项目	内容与方法说明 (参考)
12	限位与防撞测试	验证机械臂到达极限位置时限位触发是否及时、动作是否可靠；确认超出设计范围时系统能采取可靠安全响应。
13	断气保护测试	模拟气源中断工况，验证机构是否锁止或受控缓降，将负载保持于当前位置；确认具备防止重力突然下降的保护行为。
14	夹具夹持 / 吸附测试	对夹具或吸盘进行功能检验，验证对典型工件的夹持稳定性或在额定载荷下的吸附保持能力；检查换向与控制元件动作正确。
15	防误释放测试	验证误操作保护逻辑，确认仅在安全条件下方可释放负载；测试失气、失电情形下的释放锁止行为是否有效。
16	真空保压测试	对含真空系统的设备进行断气/断电后保压测试，确认规定时间内真空度保持在允许范围；检查真空发生与控制元件的泄漏情况。
17	噪声、顺畅性与操纵力	检查工作噪声是否处于可接受范围；确认动作平稳无卡滞；对手持操纵设备评估操纵力是否处于人机工效合理范围。
18	铭牌、标识与说明书核对	核对铭牌信息完整正确、警示标志齐全；确认说明书包含安全警示、操作规程与维护要求，并附气路图、电气图及检验记录。

表 6-1 出厂检验项目设计 (参考)。每项检验应记录结果并由负责人员签字确认；具体项目、方法与判定准则应结合设备属性并以合同或技术协议为准。

## 七、现场安装与验收项目

出厂检验合格并不等同于现场即可安全使用。设备的安全性能在很大程度上还取决于现场基础、安装精度、气源条件与作业环境。因此，现场安装后应按系统化的验收项目逐项核验，并形成书面验收记录。下表给出现场安装与验收项目设计，供制定现场验收单时参考。

序号	验收项目	内容与方法说明（参考）
1	基础与锚固	核对基础图纸与实物，确认地基条件与设计要求相符；检查锚栓规格、预埋位置、紧固与防松；校验地脚连接的可靠性。
2	安装垂直度与水平度	使用水准仪或铅垂参照测量立柱、臂架等部件的垂直度与水平度，确认无明显倾斜；必要时通过垫片等方式校正。
3	作业半径核校	确认安装后的作业半径满足设计与使用要求，运动区域内无障碍；在最大臂展位置确认各关节无干涉并留有安全距离。
4	提升行程核校	在无负载与额定负载下运行至行程极限，验证行程开关或机械限位的准确性与停止可靠性；超程时重新校定限位。
5	现场气源压力	测量现场气源压力是否处于设计输入范围，检查供气管径与过滤装置；确认气源稳定、脉动可控。
6	现场气源质量	检验空气含水、含油与颗粒情况，确认过滤、油水分离与干燥装置正常工作；必要时核对压力指示与传感读数。
7	操作空间与干涉	由操作者模拟日常操作，检查运动范围内是否与天花板、相邻设备、工件或人员通道发生干涉；确认操作空间符合人机工效要求。
8	额定负载试搬	在安全监护下挂载额定负载（或等效模拟载荷）进行升降、横移等动作，验证实际工况下的平衡与灵敏度；重点观察制动在负载下的响应。
9	工件夹持验证	使用实际工件进行试搬，检查夹具或吸盘对工件的适应性与可靠性；对真空吊具检查密封与真空度；确认释放与复位动作正常。
10	操作人员培训	对操作人员进行功能、安全操作与应急处置培训，确认其熟悉制动、限位、急停等安全装置的使用；培训后进行确认并记录。
11	点检表交付与签收	向使用方提交日常点检与维护清单（频次、项目、标准），并确认其已签收并知晓执行责任。

表 7-1 现场安装与验收项目设计（参考）。现场验收应形成书面报告，明确结论与整改建议；发现的问题应整改复验

合格后方可交付使用。

现场安装环境对安全性能影响显著。例如地基刚度不足可能导致整机晃动与定位偏差；气源压力或质量不达标可能造成助力不稳或元件加速磨损；作业空间不足则可能在日常使用中引发碰撞。这些因素均应在验收阶段予以确认，并在合同或技术协议中明确现场条件的责任边界。



AUUREK

— 安睿克智能科技 —

## 八、文件交付清单

对客户而言，设备本体的合格只是验收的一部分；完整、清晰的随机文件同样重要，它们既是设备技术状态的记录，也是后续使用、维护与责任界定的依据。合格证、说明书、气路图、电气图、检验记录、点检表与现场验收单等文件，与设备本身具有同等重要的地位。下表给出建议的文件交付清单。

文件名称	主要作用与内容（参考）
产品合格证	注明产品名称、型号、出厂编号、制造单位与出厂日期等，作为出厂检验合格的证明性文件。
使用说明书	说明设备结构与原理、操作步骤、安全注意事项、维护保养与常见故障处理，宜随附气路图、电气图与部件清单。
装箱清单	列明随设备发运的部件、备件与工具，便于交付与接收核对。
出厂检验记录 / 报告	汇总各出厂检验项目的结果与判定，包括压力、负载、限位、断气保护、夹具等关键项目的检验记录。
气路图与电气图	提供气动管路与电气控制的原理图，用于现场连接、维护与故障排查。
风险评估记录	记录对设备潜在危险源的识别与相应防护措施的分析，作为安全设计与验收的支撑文件。
易损件清单	列明密封件、滤芯、制动元件等易损易耗件及建议更换周期，便于后续保养与备件准备。
点检与维护计划	提供日常点检表与维护手册，明确检查内容、频次与标准，支撑设备长期安全运行。
夹具 / 吸附测试记录	对非标夹具或吸盘系统，提供夹持力或吸附保持、真空保压等性能测试记录。
现场验收单	由使用方或第三方在现场检验合格后签署，确认设备安装与功能符合约定要求。
培训记录	操作人员安全与操作培训的签到或确认记录，证明已接受必要培训。

表 8-1 文件交付清单（参考）。具体交付文件的范围与格式应在合同或技术协议中明确，并以约定为准。

## 九、安全认证与第三方检测边界说明

认证与第三方检测的需求往往是客户最关心、也最容易产生误解的部分。需要明确的是：标准适用性说明并不等同于合规承诺，“可参考某标准”不代表“已通过该标准的认证”，“某类设备通常如何处理”也不代表“本设备一定属于或不属于某一范畴”。认证与检测的具体需求，应结合设备属性、载荷风险与项目所在地监管要求判断，并在合同或技术协议中明确各方责任。

### 9.1 特种设备 / 起重机械的判断

设备是否被纳入起重机械或特种设备监管，进而可能涉及型式试验、使用登记或定期检验等要求，需结合其提升功能、额定载荷、结构形式与安装方式判断，并对照项目所在地的相关目录与管理规定确定。该结论可能因载荷量级、地区监管口径与具体工况不同而存在差异，应以相关法规与目录正式文本为准。

### 9.2 强制性产品认证（如 CCC）

强制性产品认证通常针对特定目录范围内的产品或电气部件。纯气动本体与含电气元件的子系统在适用判断上可能不同：若设备集成了电机、控制器等电气部件，相关部件是否需要对应认证，应结合最新官方目录与设备属性判断。是否申报及由何方负责，宜在合同中明确约定。

### 9.3 出口市场合规（如 CE 所对应框架）

向相关出口市场供货时，设备可能涉及对应的合规框架与协调标准。其适用范围、评估方式与技术文件要求，应结合目标市场的具体规定与设备属性确定。相关合规通常涉及风险评估与技术文档的建立，其性质与第三方认证存在区别，需在项目层面由具备相应资质的专业方确认。

### 9.4 第三方检测与见证

在部分行业或特定客户要求下，可能需要由具备资质的检测机构进行型式试验、出厂检验见证或现场验收见证。若合同约定需第三方参与，应提前规划检验内容、判定准则与所需文件，并明确各方在检验组织、费用与责任方面的分工。

**提示：**以上认证与检测边界说明仅供工程参考。具体适用应结合设备属性与项目所在地监管要求判断，应以标准与法规正式文本为准，并在合同或技术协议中由具备相应资质的专业方审核确认。标准适用性说明

不等同于合规承诺。



AUUREK

— 安睿克智能科技 —

## 十、FMEA 风险分析

失效模式与影响分析（FMEA）是识别设备潜在风险、评估其后果并制定控制措施的有效工程方法。下表围绕气动助力机械臂的典型风险场景，列出常见失效模式、可能原因、后果与缓解措施方向，供设计、检验与验收时参考。表中内容为通用性示例，实际项目应由设计与安全工程师结合具体设备补充完整的分析与评级。

风险 / 危险	可能原因	后果描述	缓解措施方向（参考）
载荷意外脱落	气路失压、助力平衡失效、超载使用	工件坠落，造成人员伤害或设备损坏	设置可靠制动/锁止与止回元件；限制下降速度；严格标定额定载荷并禁止超载使用。
挤压 / 剪切伤害	人员置身于运动路径、关节间隙偏小	身体被运动部件或夹具夹伤	减小危险间隙或设置物理防护；制定安全作业规范；对关键释放操作采用双手或确认式控制。
结构失效 / 断裂	疲劳累积、焊缝缺陷、选材或裕度不足	臂体或连接件失效，可能引发严重事故	按载荷与安全裕度核算结构；焊缝按规范检验；安排周期性结构与疲劳检查；选用合格材料。
气源泄漏 / 失压	管路老化、接头松动、阀件故障	助力缓慢失效或动作异常，工件下滑	定期检查更换密封件并紧固接头；设置压力监控与报警；具备断气保护使其保持或缓降。
真空丢失	吸盘密封不良、真空元件故障	吸附负载脱落	选用合适吸盘与密封；设置保压与真空指示；定期清洁与更换老化部件；设定低真空报警与保持逻辑。
电气控制故障 (如有)	电磁阀失效、接线松脱、保护缺失	功能失灵或安全功能失效	电气设计参考相关标准；设置必要保护与急停；可靠固定接线；安排周期性电气检查。
超载 / 误操作	未按额定载荷使用、操作失误	结构受损或发生意外动作	明确标注载荷限制并培训操作人员；设置防误与确认逻辑；必要时增设载荷感知或限制措施。
噪声危害	高速气流、机械摩擦	长时间作业影响听力健康	优化气路减少湍流噪声；对关键部位采取降噪措施；作业区提供必要

风险 / 危险	可能原因	后果描述	缓解措施方向 (参考)
			的听力防护。

表 10-1 典型失效模式与影响分析 (示例)。本表用于识别主要风险及控制方向, 实际项目应由设计与安全工程师结合设备细节补充完整 FMEA 及风险评级。



AUUREK

— 安睿克智能科技 —

## 十一、结论

气动助力机械臂是一类高度非标、功能跨域的助力设备。其安全要求横跨起重提升、气动传动、机械与控制安全以及非标夹持等多个领域，因此不能简单地用一个标准或一个证书来概括全部安全要求。合理的做法是围绕设备属性、载荷风险、气动系统、夹具形式、控制逻辑与现场安装条件进行分层判断，在每一层面识别关键风险并采取相应的设计、检验与防护措施。

在出厂检验环节，检验范围应超越“外观与能否动作”，重点关注额定负载、限位、制动、气路泄漏、断气保护、防误释放、夹具保持能力以及资料交付等与安全直接相关的项目。在现场安装与验收环节，应进一步核验基础锚固、安装精度、气源条件、作业空间与负载试搬等受现场条件影响的因素，并形成书面验收记录。

在文件交付方面，合格证、说明书、气路图、电气图、检验记录、点检表与现场验收单等文件，与设备本体同等重要，是设备技术状态与责任边界的重要载体。在认证与合规方面，应始终保持谨慎：标准适用性说明是设计与检验的目标性参考，而非自动的合规保证；是否涉及特种设备监管、强制性认证或第三方检测，需结合设备属性与项目所在地监管要求判断，并在合同或技术协议中明确责任。

建议各方在项目早期即就设备属性界定、检验深度、认证需求与文件交付范围达成一致，并将相关约定写入合同与技术协议。通过这种分层、可追溯的工程化方法，可以在保障安全的同时，使设计、制造、验收与使用各环节的责任更加清晰，从而支撑设备的长期安全运行与持续改进。

### 免责声明

本文为工程化标准适用性与出厂检验说明，不构成法律意见或第三方认证结论。具体项目应以合同技术协议、标准正式文本、客户要求及监管部门要求为准。