

ICS
CCS

团 体 标 准

T/CIE XXX-2024

工业机器人防静电性能要求 及测试方法

Anti-static performance requirements and test methods

for industrial robots

(征求意见稿)

2024-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国电子学会 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 一般要求	3
4.1 测试条件	3
4.2 仪器要求	3
5 防静电性能技术要求	6
6 测试方法	7
6.1 对接地点电阻	7
6.2 点对点电阻	8
6.3 静电场强	9
7 测试报告	10
附 录 A	11
(资料性)	11
附 录 B	15
(资料性)	15
附 录 C	18
(规范性)	18
参考文献	19

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电子学会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件参加起草单位：

引 言

在科技进步的浪潮中，工业机器人以其卓越的自动化性能成为现代制造业的关键支柱，其应用领域覆盖了汽车、电子、医药、物流等多个行业。然而，随着工业机器人的广泛应用，静电问题逐渐凸显，成为制约其性能与可靠性的重要因素。特别是在半导体等高精度制造领域，静电问题更是不容忽视。因此，制定一套科学、统一、规范的工业机器人防静电性能团体标准，对于提升工业机器人性能、保障产品质量、提高生产效率以及确保人员安全具有至关重要的意义。

当前，国内市场上缺乏统一、规范的防静电性能要求和测试方法，导致工业机器人防静电性能参差不齐，难以满足用户的实际需求。为解决这一问题，我们提出制定工业机器人防静电性能团体标准。该标准旨在明确工业机器人在不同环境下应达到的防静电性能指标，并提供一套科学、统一的测试方法，以确保其性能的稳定性和可靠性。同时，该标准还将为工业机器人的研发、生产和使用提供技术支撑，促进行业的健康、有序发展。

工业机器人防静电性能要求及测试方法

1 范围

本文件规定了工业机器人防静电性能要求和测试方法，包括测试环境与人员要求、仪器设备要求、测试方法与性能指标要求、测试结果的处理。

本文件适用于各类固定式工业机器人。

2 规范性引用文件

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

GB/T 12642 工业机器人 性能规范及其试验方法

GB/T 12643 机器人与机器人装备 词汇

GB/T 15463 静电安全术语

GB/T 37977.23 静电学 第2-3部分：防静电固体平面材料电阻和电阻率的测试方法

GB/T 37977.51 静电学 第5-1部分：电子器件的静电防护 通用要求

GB/T 25915.1 洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级

GB/T 25915.14 洁净室及相关受控环境 第14部分：按粒子浓度评估设备适用性

GJB 3007A 防静电工作区技术要求

SJ/T 10694 电子产品制造与应用系统防静电测试方法

IEC 61340-2-3 静电学 第2-3部分：防静电固体平面材料电阻和电阻率的测试方法
(Electrostatics – Part 2-3: Methods of test for determining the resistance and resistivity of solid materials used to avoid electrostatic charge accumulation)

IEC 61340-5-1 静电学 第5-1部分：电子器件的静电防护 通用要求 (Electrostatics – Part 5-1: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – General requirements)

SEMI E78 设备静电放电 (ESD) 和静电吸引 (ESA) 评估和控制指南 (Guide to assess and control electrostatic discharge (ESD) and electrostatic attraction (ESA) for equipment)

3 术语和定义

GB/T 12643—2013、IEC 61340-2-3和GB/T 15463—2018中界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

工业机器人 industrial robot

自动控制的、可重复编程、多用途的操作机，可对三个或三个以上轴进行编程。它可以是固定式或移动式在工业自动化中使用。

注1:工业机器人包括:

- 操作机,含致动器;
- 控制器,含示教盒和某些通讯接口(硬件和软件)。

注2:这包括某些集成的附加轴。

[来源: GB/T 12643—2013, 2.9]

3.2

对接地点电阻 resistance to groundable point

放置在试样表面的电极与试样上的接地点之间测量的电阻。

注:对接地点电阻单位是 Ω 。

[来源: IEC 61340-2-3:2016, 3.4]

3.3

点对点电阻 point-to-point resistance

在试样的同一表面上相隔一定距离的两个电极之间测量的电阻

注:点对点电阻单位是 Ω 。

[来源: IEC 61340-2-3:2016, 3.5]

3.4

静点电压 electrostatic voltage

物体受外界作用后,其上积累的相对稳定的电荷所产生的对地电压。

[来源: GB/T 15463—2018, 2.26]

3.5

静点(放电)损伤 ESD damage

由于静电放电造成的电子元器件性能退化或功能失效。

[来源: GB/T 15463—2018, 5.32]

3.6

电场强度 electric field strength

描述静电场对位于场中的电荷具有作用力这一基本性质和方向的物理量。静电场中任一点电场强度的大小和方向与单位正电荷在该点所受的作用力均同。

注1：电场强度用牛顿/库伦或伏特/米表示。

注2：改写GB/T 2900.1—2008，3.1.39。

[来源：GB/T 15463—2018，2.8]

4 一般要求

4.1 测试条件

4.1.1 测试温湿度

工业机器人应在受控条件下进行测试,测试的环境温度应控制在 $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,相对湿度应控制在 $50\%\text{ RH}\pm 10\%\text{ RH}$ 范围内。

4.1.2 测试场地

测试场地的接地与防静电用品应该满足GJB 3007A中4.4和4.5的要求。

测试场地接地端的接地电阻应 $<10\ \Omega$ ，工业机器人接地端与试验场地接地端可靠连接。

工业机器人测试台架应安装绝缘支撑板，在保证试样安装牢固的同时具备良好的绝缘性，绝缘支撑板表面电阻与尺寸厚度应该满足GB/T 37977.23中8.2.4的要求。

对于洁净室及相关受控环境应用场景的工业机器人，其测试环境的空气洁净度等级至少满足GB/T 25915.1中ISO 7级，且测试场地内设置有垂直单向气流，气流速度应为 $0.3\text{ m/s}\sim 0.5\text{ m/s}$ 。

4.1.3 试样预处理

工业机器人样品在进入试验场地前应进行除尘去污处理，除另有要求外，机器人应在测试环境条件下放置24h后进行测试。

机器人在测试前不得加湿或做其它增加其导电性处理。

工业机器人样品应按厂家设计要求进行有效接地。

4.1.4 人员要求

测试时应减少人员进入测试环境，进入测试环境的人员应穿戴防静电防尘工作服，同时配戴防静电帽、穿防静电鞋和戴防静电手套或指套。

与机器人接触的人员应佩戴防静电腕带并与人手腕紧密接触，与防静电接地线可靠连接，不允许裸手接触被测样品。

4.2 仪器要求

测试仪器应满足在有效期内检定或校准，并进行核查及期间核查；测试电极宜定期选择相匹配的验证方法，以确保其满足有关性能指标的测试。

4.2.1 电阻测试仪器

4.2.1.1 仪器

仪器可由直流电源和电流表构成,或者是集成仪器(欧姆表),均应符合国家安全法规。

如果使用没有电流读取功能的电阻表测量体积电阻,还应加一个量程至少为 10 pA~10 mA、准确度为±5%的独立电流表。

对于 $1 \times 10^6 \Omega$ 或更高的电阻的测量,开路电压应为 (100 ± 5) V,对低于 $1 \times 10^6 \Omega$ 电阻的测量,开路电压为 (10 ± 0.5) V。

电阻表的量程范围应至少在 $1 \times 10^3 \Omega \sim 1 \times 10^{13} \Omega$ 之间。

4.2.1.2 测试电极类型

4.2.1.2.1 柱状电极

对可接地点电阻、点对点电阻所用电极柱状电极,电极组件配置应满足 IEC 61340-2-3 中 8.2.4 的技术要求。电极结构如图 1 所示。柱电极直径 $63.5 \text{ mm} \pm 1.0 \text{ mm}$; 电极材料为不锈钢或铜,电极接触端材料导电橡胶,邵氏 A 硬度 $60 \text{ HA} \pm 10 \text{ HA}$, 厚度 $3.0 \text{ mm} \pm 0.3 \text{ mm}$, 体积电阻小于 $1 \times 10^3 \Omega$; 电极单重 $2.5 \text{ kg} \pm 0.25 \text{ kg}$ 。

单位为毫米

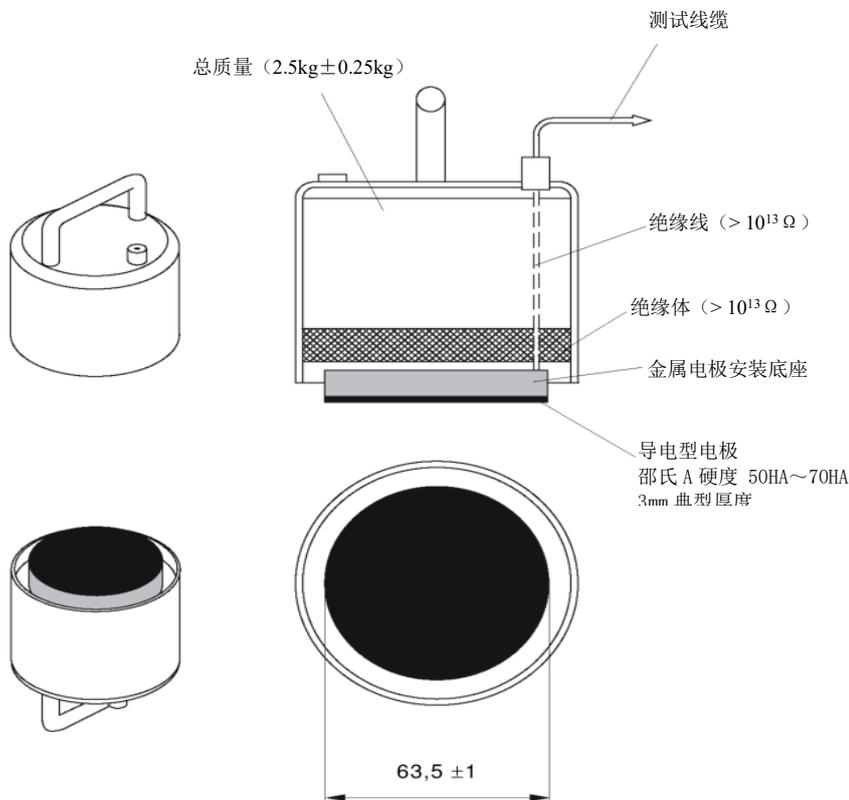


图 1 柱状电极示意图

4.2.1.2.2 两点式探针电极

两点式探针电极组件配置应满足 IEC 61340-2-3 中 10.2 的技术要求，该电极零件布置及制造构造见图 2~图 3。

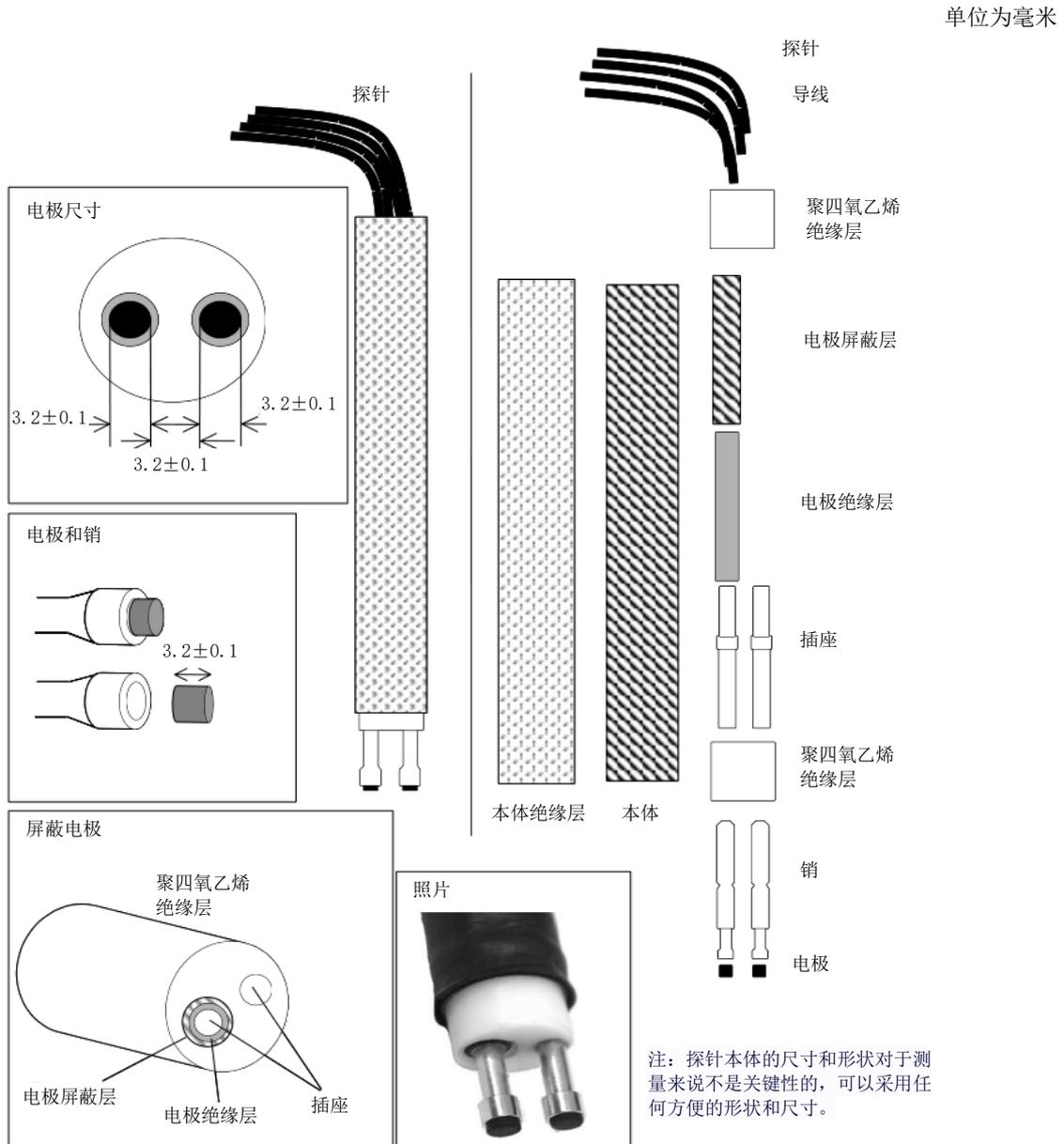


图 2 两点式探针电极构造示意图

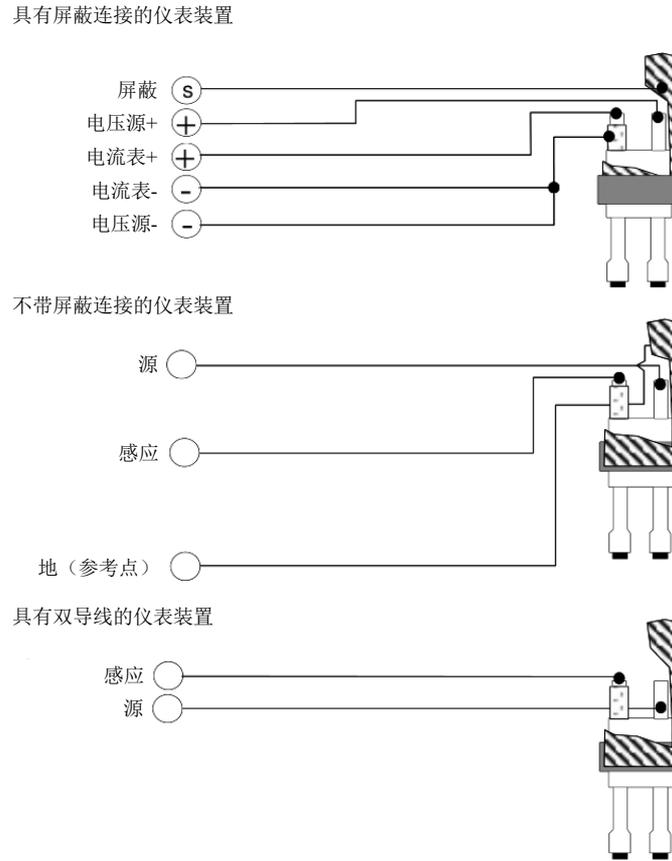


图 3 两点式探针电极构造细节示意图

4.2.2 静电场强测试仪器

对大型机器人或者大表面进行静电场强测量应使用静电场强测试仪，对于小型工业机器人或表面静电场强参照 SEMI E78 中 7.2.1 应使用静电电压表进行测试，静电电压表量程范围应至少在(0~±1999) V，测量准确度为±5%。

5 防静电性能技术要求

工业机器人防静电技术指标应满足表 1 中的要求。

表 1 防静电技术指标

测试项目	指标要求
对接地点电阻	$R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$
点对点电阻	$R_{p-p} < 1 \times 10^9 \Omega$
静电场强 ^a	$\leq 30 \text{ V/cm}$

^a 应根据制造商规定的工业机器人应用场景可接受的设备感应静电水平选择适当的限值,具体要求可参考 SEMI E78-0222 中的 12.6(见附录 C)。

6 测试方法

6.1 对接地点电阻

将机器人各运动轴回零，关闭控制器电源，断开与机器人本体与控制器、示教器连接的所有线缆，保证机器人本体对地绝缘。

6.1.1 测试位置

测试时柱状电极须放置在待测平面上，并使电极的中心离待测平面的边缘或者接地点至少 50 mm。

6.1.2 测试程序

- 按图 4 所示，将电极连接到测试仪表上；
- 将机器人安装在绝缘支撑板上，绝缘支撑板表面电阻应大于 $1 \times 10^{13} \Omega$ 。调整机器人位姿，尽量使待测平面朝上；
- 将柱状电极按要求放置到待测平面上；
- 设置检测电压为 $(10 \pm 0.5) \text{ V}$ 并启动仪器输出，保持 $(15 \pm 1) \text{ s}$ 后，观测电阻示值 R_x 。如果 $R_x < 10^6 \Omega$ ，则记录电阻值；如果 $R_x \geq 10^6 \Omega$ ，则关闭测试仪器输出，转到步骤 e)；
- 如果步骤 d) 中观测得电阻示值 $R_x \geq 10^6 \Omega$ ，则将电压改为 $(100 \pm 5) \text{ V}$ 并启动输出，记录电阻值。
- 每个待测平面测量 3 个位置，取平均值作为待测平面对接地点电阻的测试结果。

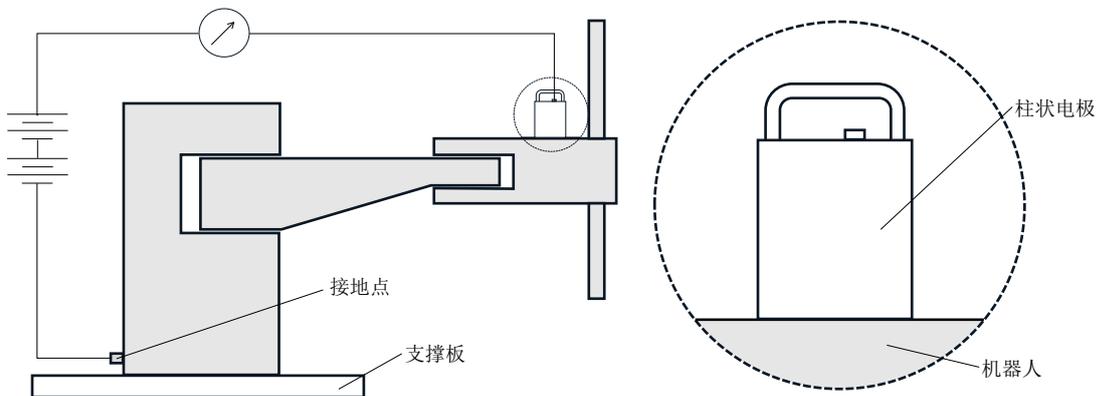


图 4 对接地点电阻测量示意图

注：使用外接电源的仪器可单独接地，设备的接地导体宜与信号接地分开。另外，测量仪器的高压输出线可连接到测量组件上，另一导线接地。

6.2 点对点电阻

将机器人各运动轴回零，关闭控制器电源，断开与机器人本体与控制器、示教器连接的所有线缆，保证机器人本体对地绝缘。

6.2.1 测量位置

测试时两个柱状电极须放置在待测平面上，使两个电极的中心相距至少 250 mm，且同时离待测平面的边缘至少 50 mm。

6.2.2 测试程序

- 按图 5 所示，将两个柱状电极连接到测试仪表上；
- 将机器人可靠安装在洁净室内绝缘支撑板上。调整机器人位姿，尽量使待测平面朝上；
- 将柱状电极按要求放置到待测平面上；
- 设置检测电压为 (10 ± 0.5) V 并启动仪器输出，保持 (15 ± 1) s 后，观测电阻示值 R_x 。如果 $R_x < 10^6 \Omega$ ，则记录电阻值；如果 $R_x \geq 10^6 \Omega$ ，则关闭测试仪器输出，转到步骤 e)；
- 如果步骤 d) 中观测得电阻示值 $R_x \geq 10^6 \Omega$ ，则将电压改为 (100 ± 5) V 并启动输出，记录电阻值。
- 每个待测平面测量 3 个位置，取平均值作为待测平面点对点电阻的测试结果。

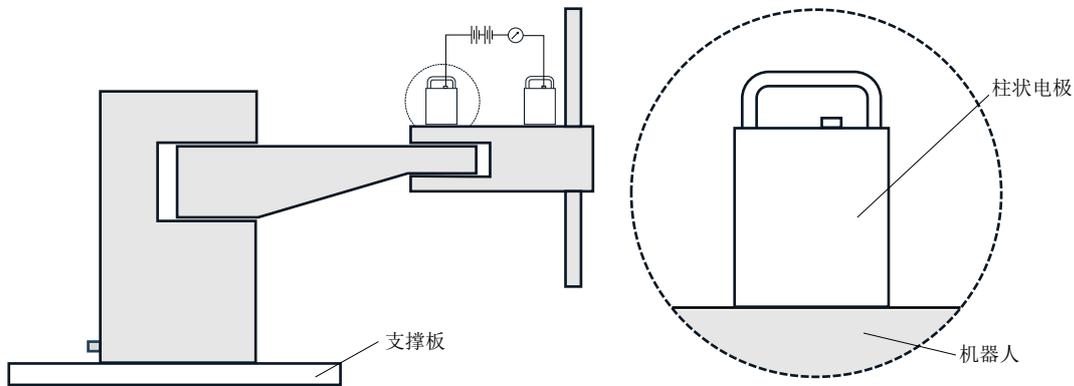


图 5 点对点电阻测量示意图

6.2.3 非平面材料和小结构部件的点对点电阻测量

对于非平面材料和小结构部件的点对点电阻测量，需选用两点式探针电极进行检测。测试方法同 5.2.2。检测时需将两点式探头的弹簧式引脚压至行程的一半，见图 6。

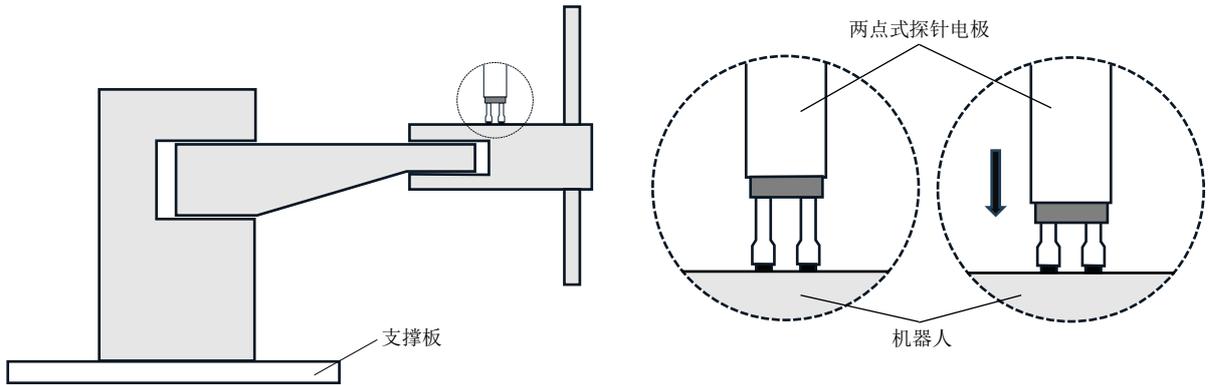


图 6 使用两点式探头进行检测时弹簧压缩示意图

6.3 静电场强

6.3.1 测量位置选择

- 在机器人本体距离静电敏感物体至少 30.5 cm 内的所有表面都应进行静电场强测量；
- 测试区域内的表面应在五个不同的位置进行测量。测量位置之间的距离应大约为测试仪器与测量位置之间距离的 3 倍。对于大多数在 25.4 mm 处测量的静电场强仪，测量位置应相隔大约 76.2 mm；
- 测量应在距离机器人表面 25.4 mm 处进行，或按照仪器制造商的规定进行；

6.3.2 运行工况模式选择

模拟工业机器人在真实应用场景并采取模式 1、模式 2 两种实际工况下的评价方式，真实反映工业机器人在应用场景实际运行中的静电场强性能，具体要求见表 2。

对于洁净室及相关受控环境应用场景的工业机器人应在空气洁净等级为 ISO 7 及以上等级的洁净室内进行，且洁净室内设置有垂直单向气流，气流速度应为 (0.4 ± 1) m/s。

表 2 工况模式与试验要求

工况模式	试验要求			
	状态说明	负载	额定速度	测试时间
模式 1	待机状态：有部件处于通电状态，工业机器人处于待执行任务状态	空载	0	24h
模式 2	工作状态：工业机器人按厂家设计的典型工作模式运行，运行轨迹应符合设计最大行程。	空载	100%	24h

6.3.3 测试程序

- a) 将机器人可靠安装在绝缘支撑板上，并按制造商要求进行有效接地；
- b) 使用离子风机对机器人进行去离子处理；
- c) 测量机器人的静电场强；
 - 按 5.3.1 a)确定测试区域；
 - 按 5.3.1 b)选取测量位置；
 - 按 5.3.1 c)对每个位置测量 5 次，取其平均值作为当前位置测量结果。
- d) 模式 1 工况下将机器人静置于测试场地 24h，对于洁净室及相关受控环境应用场景的工业机器人应在满足 4.1.2 中要求的洁净室内持续静置 24h；
- e) 测量运行模式 1 后的静电场强，测试位置应与 5.3.3 c)位置一致；
- f) 模式 2 工况下将机器人按 5.3.2 中程序运行，模拟实际工作状态运行 24h，对于洁净室及相关受控环境应用场景的工业机器人应在满足 4.1.2 中要求的洁净室内持续运行 24h；
- g) 测量运行模式 2 后的静电场强，测试位置应与 5.3.3 c)位置一致。

7 测试报告

实验报告应包含能重现测试的全部信息。包括(但不限于)下列内容：

- 测试计划中规定的内容；
- 机器人本体和辅助设备的标识，如名称、产品型号和序列号。
- 测试用仪器仪表标识，如仪器名称、仪器型号和序列号以及检定/校准有效期。
- 进行测试时的环境温度、相对湿度、实验室洁净度。
- 采用的任何特殊条件，如实验室洁净度、接地情况、机器人运行条件等。

附录 A
(资料性)

检测报告实例

1 基本信息						
委托单位:			记录编号:			
委托单位地址:			检测地点:			
检测人员:			核验人员:			
机器人 基本信息	名称:					
	型号:					
	制造厂商:					
	序列号:					
	类型:					
标准器信息	名称	型号	证书编号	有效期	测量范围	不确定度
技术依据						
2 对接地点电阻						
检测日期:		环境温度:	℃	环境湿度:	%RH	检测人员:
结构件	检测表面	对接地点电阻检测 ($\times 10^6 \Omega$)				
		位置 1	位置 2	位置 3		
结构件 A	表面 1					
	表面 2					
	表面 3					
	表面 4					
	表面 5					
结构件 B	表面 1					
	表面 2					
	表面 3					
	表面 4					
	表面 5					

3 点对点电阻

检测日期:		环境温度:	℃	环境湿度:	%RH	检测人员:	
结构件	检测表面	点对点电阻检测 ($\times 10^6 \Omega$)					
		位置 1		位置 2		位置 3	
结构件 A	表面 1						
	表面 2						
	表面 3						
	表面 4						
	表面 5						
结构件 B	表面 1						
	表面 2						
	表面 3						
	表面 4						
	表面 5						

4 静电场强

4.1 机器人状态: 去静电后

检测日期:		环境温度:	环境湿度:		检测人员:		
结构件	检测表面	检测位置	静电场强检测 (V/cm)				
			第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
结构件 A	表面 1	P1					
		P2					
		P3					
	表面 2	P1					
		P2					
	表面 3	P1					
P2							
结构件 B	表面 1	P1					
		P2					
		P3					
	表面 2	P1					
		P2					
		P3					
	表面 3	P1					
		P2					

4.2 机器人状态：模式 1 24h 后

检测日期：		环境温度：		环境湿度：		检测人员：		
结构件	检测表面	检测位置	静电场强检测 (V/cm)					
			第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	
结构件 A	表面 1	P1						
		P2						
		P3						
	表面 2	P1						
		P2						
	表面 3	P1						
P2								
结构件 B	表面 1	P1						
		P2						
		P3						
	表面 2	P1						
		P2						
		P3						
	表面 3	P1						
		P2						

4.3 机器人状态：模式 2 24h 后

检测日期：		环境温度：		环境湿度：		检测人员：		
结构件	检测表面	检测位置	静电场强检测 (V/cm)					
			第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	
结构件 A	表面 1	P1						
		P2						
		P3						
	表面 2	P1						
		P2						
	表面 3	P1						
P2								
结构件 B	表面 1	P1						
		P2						
		P3						
	表面 2	P1						
		P2						

结构件	检测表面	检测位置	静电场强检测 (V/cm)				
			第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
结构件 B	表面 2	P3					
	表面 3	P1					
		P2					

附录 A 检测位置示意图

A.1 XXXX

A.2 XXXX

附录 B 运行程序

XXXX

XXXX

XXXX

XXXX

附录 B
(资料性)

报告内页格式

报告编号 XXXX-XXXX

1 对接地点电阻

结构件	检测表面	对接地点电阻检测 ($\times 10^6 \Omega$)
结构件 A	表面 1	
	表面 2	
	表面 3	
	表面 4	
	表面 5	
结构件 B	表面 1	
	表面 2	
	表面 3	
	表面 4	
	表面 5	

2 点对点电阻

结构件	检测表面	点对点电阻检测 ($\times 10^6 \Omega$)
结构件 A	表面 1	
	表面 2	
	表面 3	
	表面 4	
	表面 5	
结构件 B	表面 1	
	表面 2	
	表面 3	
	表面 4	
	表面 5	

3 静电场强

3.1 机器人状态：去静电后

结构件	检测表面	检测位置	静电场强检测 (V/cm)
结构件 A	表面 1	P1	
		P2	

结构件	检测表面	检测位置	静电场强检测 (V/cm)
结构件 A	表面 2	P1	
		P2	
	表面 3	P1	
		P2	
结构件 B	表面 1	P1	
		P2	
		P3	
	表面 2	P1	
		P2	
		P3	
	表面 3	P1	
		P2	

3.2 机器人状态：静置 24h 后

结构件	检测表面	检测位置	静电场强检测 (V/cm)
结构件 A	表面 1	P1	
		P2	
		P3	
	表面 2	P1	
		P2	
	表面 3	P1	
P2			
结构件 B	表面 1	P1	
		P2	
		P3	
	表面 2	P1	
		P2	
		P3	
	表面 3	P1	
		P2	

3.3 机器人状态：运动 24h 后

结构件	检测表面	检测位置	静电场强检测 (V/cm)
结构件 A	表面 1	P1	
		P2	

		P3	
结构件	检测表面	检测位置	静电场强检测 (V/cm)
结构件 A	表面 2	P1	
		P2	
	表面 3	P1	
		P2	
结构件 B	表面 1	P1	
		P2	
		P3	
	表面 2	P1	
		P2	
		P3	
	表面 3	P1	
		P2	

附录 A 检测位置示意图

A.1 XXXX

A.2 XXXX

附录 B 运行程序

XXXX

XXXX

XXXX

XXXX

以下空白

附录 C
(规范性)

防静电性能要求的技术指标

表格中的技术指标参数作为防静电测试方法测试判定的依据，当进行产品测试和符合性验证测试时可参照执行。

表 B.1 机器人防静电性能电阻特性技术指标

测试项目	测试指标	符合性验证
对接地点电阻	$R_{gd} < 1 \times 10^9 \Omega$	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$
点对点电阻	$R_{p-p} < 1 \times 10^9 \Omega$	$R_g < 1 \times 10^9 \Omega$

表 B.2 由机器人产生的可接受的静电水平推荐表

年份 节点	静电场强		
	V/cm	V/m	V/inch
2000 180nm	$E \leq 200$	$E \leq 20000$	$E \leq 500$
2004 90nm	$E \leq 100$	$E \leq 10000$	$E \leq 250$
2010 45nm	$E \leq 50$	$E \leq 5000$	$E \leq 125$
2017 18nm	$E \leq 20$	$E \leq 2000$	$E \leq 50$
2019 17.5nm	$E \leq 19$	$E \leq 1900$	$E \leq 48$
2021 17nm	$E \leq 18.5$	$E \leq 1850$	$E \leq 46$
2024 14nm	$E \leq 15.5$	$E \leq 1550$	$E \leq 39$
2027 11nm	$E \leq 12$	$E \leq 1200$	$E \leq 30$
2030 8.4nm	$E \leq 9$	$E \leq 900$	$E \leq 23$
2033 7.7nm	$E \leq 8.5$	$E \leq 850$	$E \leq 21$

由机器人产生的静电场强的限值要求与机器人的实际应用场景密切相关。应根据机器人当前年份节点或者实际应用场景要求来确定相应静电场强限值，并且应该考虑机器人预期寿命以满足应用场景的更新迭代。

注：表 A.1、表 A.2 中使用的符号： R_{p-p} 对可接地点电阻； R_{p-p} 点对点电阻； R_g 对地电阻； E 静电场强。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.1—2008 电工术语 基本术语
 - [2] GB/T 33555 洁净室及相关受控环境静电控制技术指南
 - [3] ANSI/ESD S20.20:2021 ESD Association Standard for the Development of an Electrostatic Discharge Control Program for Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies, and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices)
 - [4] IEC 61340-2-1 Measurement methods – Ability of materials and products to dissipate static electric charge
 - [5] IEC TR 61340-5-2 Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – User guide
 - [6] IEC 61340-5-3 Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – Properties and requirements classification for packaging intended for electrostatic discharge sensitive devices
 - [7] IEC TR 61340-5-4 Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – Compliance verification
-