

# 质量控制方法在机器人检测实验室中的运用探讨

陈仕聪<sup>1</sup>, 孙添飞<sup>2</sup>, 唐臣玉<sup>1\*</sup>, 贺吉<sup>2</sup>

(1. 重庆凯瑞机器人技术有限公司, 重庆 400714; 2. 重庆凯瑞认证服务有限公司, 重庆 400714)

**摘要:** 对于我国蓬勃发展的机器人市场, 机器人检测是确保机器人性能和质量的关键环节, 质量控制方法对于机器人检测实验室也至关重要。本文针对质量控制方法在机器人检测实验室的应用中面临的问题, 对机器人检测实验室应用质量控制方法控制检测质量的策略进行了分析和探讨, 通过科学地、有计划地实施质量控制, 有效地提高了检测数据的准确性和可靠性, 保证机器人产品质量。

**关键词:** 机器人检测; 质量控制; 能力验证; 设备比对; 统计分析方法

## Discussion on the application of quality control methods in robotic testing laboratories

CHEN Shi-Cong<sup>1</sup>, SUN Tian-Fei<sup>2</sup>, TANG Chen-Yu<sup>1\*</sup>, HE Ji<sup>2</sup>

(1. Chongqing CAERI Robot Technology Co., Ltd., Chongqing 400714, China; 2. Chongqing Carui Certification Services Co., Ltd., Chongqing 400714, China)

**ABSTRACT:** For China's booming robot market, robot testing is a key link to ensure the performance and quality of robots, and quality control methods are also crucial for robot testing laboratories. In view of the problems faced by quality control methods in the application of robot testing laboratories, this paper analyzed and discussed the strategies of robot testing laboratories in the application of quality control methods to control testing quality, and effectively improved the accuracy and reliability of testing data and ensured the quality of robot products through the scientific and planned implementation of quality control.

**KEY WORDS:** robot detection; quality control; proficiency verification; equipment comparison; statistical analysis methods

## 0 引言

国际标准化组织 (international organization for standardization, ISO) 对机器人的定义为: 具有一定程度的自主能力的可编程执行机构, 能进行运动、操纵或定位 (8373:2021 Robotics-Vocabulary)。国际机器人联合会 (international federation of robotics, IFR) 根据应用环境, 将机器人分为工业机器人和服务机器人两大类。其中, 工业机器人是指应用于生产过程和环境的机器人; 服务机器人是指除工业机器人以外, 用于非制造业并服务于人类的各种机器人, 分为个人/家用服务机器人及专业服务机器人。2022年, 全球智能机器人市场规模超过 500

亿美元, 预计在 2024 年将超过 660 亿美元。我国智能机器人市场蓬勃发展, 预计 2024 年将达到 251 亿美元, 工业机器人、服务机器人、专业服务机器人占全球比例将达到 50%、35%、24%<sup>[1]</sup>。机器人检测能够确保机器人产品的安全性、精度和稳定性, 能有效预防潜在的安全隐患, 确保机器人在执行任务时能够准确、稳定地工作, 从而提高机器人产品的整体性能和质量, 推动机器人技术的不断发展和进步。

本文针对机器人检测实验室面临的质量控制方法标准化、一致性问题, 以及数据处理和分析的复杂性等问题, 通过总结机器人检测实验室有效应用质量控制方法和策略, 科学地计划并实施质量控制, 以提高检测数据的准确性和可靠性, 保证机

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFB4702100)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2022YFB4702100)

\* 通信作者: 唐臣玉, 工程师, 主要研究方向为标准与质量。E-mail: 2376113939@qq.com

\* Corresponding author: TANG Chen-Yu, Engineer, Chongqing CAERI Robot Technology Co., Ltd., Chongqing 400714, China. E-mail: 2376113939@qq.com

机器人产品质量。

## 1 质量控制在机器人检测实验室中的重要作用

质量控制方法在机器人检测实验室中具有至关重要的作用。主要体现在：

(1) 运用质量控制方法能通过严格的流程和标准，减少因检测设备故障或操作不当导致的检测误差，从而提高检测结果的准确性和可靠性；

(2) 通过制定详细的操作指南和质量控制点，可以确保每一步操作都符合预定的质量标准，从而提高检测效率并减少不必要的重复工作；

(3) 通过对检测数据和质量指标的持续监控和分析，可以识别出潜在的改进点，对机器人检测技术进行持续的改进和优化从而推动技术的不断进步和创新；

(4) 通过实施严格的质量控制方法，机器人检测实验室可以为客户提供更加准确、可靠的检测结果。这有助于增强客户对实验室的信任，提高客户满意度，并促进实验室的长期发展。

## 2 机器人检测评定方法与质量控制方法现状

### 2.1 机器人检测评定方法概况

机器人检测评定方法是一个综合性的、多层次的评估体系，涵盖了多个方面的评估内容，包括但不限于机器人功能与性能、安全、电磁兼容、环境、可靠性等<sup>[2]</sup>，这些方面共同构成了机器人性能评估的全面框架，确保对机器人性能的全面和准确评价。其中：工业机器人的性能测试包括工作空间、速度、位姿精度、轨迹精度、静态柔顺性等试验<sup>[3]</sup>；服务机器人的性能测试包括移动性能、定位导航、操作能力、续航能力、能耗、语音交互、人脸识别等试验；安全评估包括机械安全、电气安全、功能安全、信息安全等<sup>[4]</sup>；电磁兼容试验包括抗扰度试验、谐波电流、电压波动与闪烁、传导骚扰、辐射骚扰等试验<sup>[5]</sup>；环境试验包括气候环境适应性试验（高温试验、低温试验、恒定湿热试验等）、机械环境适应性试验（振动冲击试验等）、噪声等试验<sup>[6]</sup>；可靠性试验包括长时间允许、重复使用等条件下测试服务机器人的可靠性和稳定性等试验。未来，机器人检测技术在传统的“机器人1.0”时代的安全、电磁兼容、环境等检测技术的基础上，还将会增加机器视觉、场景适应能力、智能化等级评估、软件评估等“2.0智能机器人”的检测评估技术<sup>[7]</sup>。在实验室认可领域，机器人检测涉及机械、电气、电磁兼容、软件检测等多个检测领域。

### 2.2 实验室质量控制方法现状

实验室质量控制是确保实验室检测结果准确、可靠的重要措施。它包括对检测设备、检测流程、检测结果等各个环节的控制和管理。常见的实验室质量控制方法包括内部质量控制和外部质量控制两种。

CNAS-CL01:2018《检测和校准实验室能力认可准则》第7.7条款规定，内部质量控制方式有：使用标准物质或质量控制物质、仪器比对、测量和检测设备的功能核查、测量设备的期间核查、制作控制图、使用相同或不同方法重复检测、留存样品的重复检测、物品不同特性结果之间的相关性、审查报告的结果、实验室内比对、盲样测试等；外部质量控制方式有：参加能力验证、参加除能力验证之外的实验室间比对等。

此外，针对特定的检测领域，CNAS还制定了特定检测领域的质量控制方法技术文件。例如：CNAS—GL027:2023《化学分析实验室内部质量控制指南——控制图的应用》、CNAS—TRL—005:2018《轻纺检测领域质量控制方法》、CNAS—TRL—008:2018《电气检测领域实验室内部质量监控方法与实例》、CNAS—TRL—020:2022《电磁兼容检测领域质量控制方法》等文件，以规范特定检测领域实验室内外质量控制活动，保证实验室检测结果的准确可靠。

## 3 质量控制方法在机器人检测实验室的应用中面临的问题

### 3.1 质量控制方法标准化和一致性问题

由于机器人技术的快速发展和多样性，制定统一且适用的质量控制方法标准变得尤为困难。目前CNAS和资质认定部门都没有专门的机器人检测领域质量控制方法，这导致不同实验室或研究机构在质量控制方法上存在差异，使得结果难以比较和验证，进而影响了质量控制的有效性<sup>[8]</sup>。

### 3.2 数据处理和分析的复杂性

在机器人检测过程中，会产生大量的数据和信息，如何对这些数据进行有效处理和分析，提取出有用的信息，对于质量控制至关重要。然而，数据处理和分析方面存在复杂性，对人员能力有更高要求，才能充分利用这些数据来提高检测结果的准确性和可靠性。

## 4 机器人检测实验室有效应用质量控制方法控制检测质量的策略

### 4.1 参考相关检测领域已成熟的质量控制方法

虽然没有划分专门的机器人检测领域，但机器人检测评定方法中的试验项目涉及电气、电磁兼容、软件检测等领域，可参考使用电气检测领域、电磁兼容检测领域、软件检测领域等实验室质量控制方法进行内部和外部质量控制。

#### 4.1.1 机器人性能试验

对于依赖设备程度较高的试验，例如位姿精度、轨迹精度等试验，可以采用设备期间核查、设备比对的方式进行质量控制<sup>[9]</sup>；对于依赖人员能力较强的试验项目，例如语音交互等试验，可以采用人员比对的方式进行质量控制；对于定位导航、操作能力、续航能力、能耗等试验，可以采用留样复测、使用相同

或不同方法重复检测、实验室内比对等方式进行质量控制。

#### 4.1.2 机器人安全试验

对于通用安全类试验中的着火危险试验、接触电流及保护导体电流、高电压试验等检测项目,宜使用日常点检的方式开展日常内部质量监控。对于通用安全类试验中的外壳防护等级(IP 代码)等人工参与程度较高的检测项目,实验室应优先选择人员操作比对进行质量监控。对于外壳防护等级(IP 代码)等重复性较差的检测项目,应重点对设备的维护保养加以控制<sup>[10]</sup>。对于通用安全类试验中的耐漏电起痕等需要特定消耗品的检测项目,应重点对消耗品的采购和使用加以控制。对于通用性能类试验中的待机功耗试验、电声试验等检测项目,宜使用合适的质控样品或核查标准,采用质控图或日常点检的方式开展日常质量监控<sup>[11]</sup>。

#### 4.1.3 机器人环境适应性试验

对于通用环境类试验中的冲击试验、自由跌落试验、密封性试验等人工参与程度较高的检测项目,实验室应优先选择人员操作比对进行质量监控<sup>[12]</sup>。对于通用环境类试验中的盐雾试验、沙尘试验等需要特定消耗品的检测项目,应重点对所用消耗品的采购和使用加以控制。对于高温试验、低温试验、恒定湿热、交变湿热、冷热冲击等温度类环境试验项目,宜采用质控图、质控样品、设备比对的方式进行质量监控。

#### 4.1.4 机器人电磁兼容试验

在电磁兼容试验中可采用以下方法进行监控:

(1) 对检测过程的关键点进行监控的方法进行质量控制。例如:对电磁兼容检测相关检测人员能力进行定期或不定期的监控;定期或不定期核查电磁兼容检测的测量场地、设施设备、标准样品情况,确保满足相关技术规范的要求;对检测样品的影响监控和评估,可采用同一样品重复安装、布置,重复测试,以评估样品与测试环境、测试设备的链接和部署对检测结果的影响;定期审查检测原始记录、证书、结果报告内容等;

(2) 设备期间核查。对测量设备示值(或其修正值、修正因子)在规定的间隔内是否保持测量设备所规定的最大允许误差或扩展不确定度或准确度等级的核查;

(3) 控制图。辐射或传导骚扰测量系统通过接收机等设备对稳定的信号发生器输出的信号场强等参数进行测量,或者通过场探头、电流探头、示波器、功率计、数字万用表等设备对辐射或传导骚扰抗扰度测量系统的骚扰信号波形峰值、脉冲时间等参数进行测量时<sup>[13]</sup>,可将上述测量值绘制在控制图中,通过控制图对上述量值进行监控,以达到对检测结果进行质量控制的目的。

(4) 使用重复性及稳定性考核数据进行质量控制。

#### 4.1.5 软件检测

软件检测内部质量控制可以采用使用样例软件或标准方法开展内部测试以标识技术偏差、组织其他测试人员对被测试软件的重大问题进行复现等方式进行质量控制。

## 4.2 提升数据处理和分析能力

机器人检测过程中会产生大量数据,实验室应具备高效的数据处理能力,能够准确、快速地提取有用信息。在完成各项质量控制试验后,实验室应对试验结果数据进行统计分析,以评价检测结果的准确性和可靠性,并发现趋势。如果质量控制数据分析结果超出了预定的判定准则,还应采取适当措施防止报告不正确的结果。数据统计常见的分析方法有  $F$  检验 +  $t$  检验法、 $E_n$  值检验法、 $Z$  比分数统计法、控制图法等<sup>[14]</sup>。

### 4.2.1 $F$ 检验 + $t$ 检验法

$F$  检验 +  $t$  检验法适用于在有限次测量中,方法比对、人员比对、设备比对、留样复测等两组数据的测量值精密度和正确度是否存在显著性差异。 $F$  检验又叫方差齐性检验,主要通过比较两组数据的方差  $S^2$  (标准差平方),与相应  $F$  临界值相比较,以确定两组数据的精密度是否有显著性差异<sup>[15]</sup>。至于两组数据之间是否存在系统误差,则在进行  $F$  检验并确定它们的精密度没有显著性差异后,再进行  $t$  检验。 $t$  检验是两组数据两个平均值的检验,通过计算统计量  $t$  值与相应  $t_{\alpha}$ ,  $f$  临界值比较,即可判断两组数据准确度是否存在显著性差异。

### 4.2.2 $E_n$ 值检验法

$E_n$  值检验法可用于判断两个测量值之间的一致性,如标准物质比对、方法比对、人员比对、设备比对、留样复测等两组数据比对等。 $E_n$  值由公式(1)进行计算:

$$E_n = \frac{|y_1 - y_2|}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}} \quad (1)$$

式中:  $y_1$ ——第 1 组测量结果;  $y_2$ ——第 2 组测量结果;  $U_1$ ——第 1 组测量结果  $y_1$  的扩展不确定度,包含概率 95%;  $U_2$ ——第 2 组测量结果  $y_2$  的扩展不确定度,包含概率 95%。

当  $E_n \leq 1$  时,表明“满意”,无需采取进一步措施;当  $E_n > 1$  时,表明“不满意”,产生措施信号<sup>[16]</sup>。

利用  $E_n$  值评定参加者结果,其前提是参加者必须能正确评定测量不确定度。如果参加者不能正确评定不确定度,则无法使用该方法。

### 4.2.3 $Z$ 比分数统计法

$Z$  统计法适用于多组比对检测数据,适用于权威机构组织的能力验证活动,较少用于实验室内部进行的比对分析试验。 $Z$  统计法是稳健统计法,稳健统计法是用中位值作为公认值  $X$ ,标准化四分位距作为允许离散度  $s$ ,计算  $Z$  值。 $Z \leq 2$ ,为满意结果;  $2 < Z \leq 3$ ,为有问题结果,警告信号;  $Z > 3$ ,为不满意结果(离群值)<sup>[17]</sup>。

### 4.2.4 控制图法

控制图又称休哈特控制图,是对测量过程是否处于统计控制状态的一种图形记录。它能判断并提供测量过程中是否存在异常因素,以便于查明产生异常的原因,并采取措施使测量过程重新处于统计控制状态。控制图有三条平行于横轴的直线:中心线(central line, CL)、上控制线(upper control line, UCL)

和下控制线 (lower control line, LCL), 并有按时间顺序抽取的样本统计量数值的描点序列。UCL、CL、LCL 统称为控制线 (control line), 通常控制界限设定在  $\pm 3$  标准差的位置<sup>[18]</sup>。典型控制图见图 1。

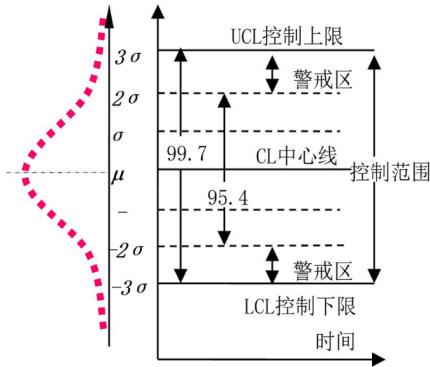


图 1 典型控制图

Fig.1 Typical control chart

### 4.3 加强人员培训与监督 / 监控工作

实验室应定期对人员进行培训, 提高实验室人员的技术水平和质量意识, 并对实验室人员进行有效的监督 / 监控, 确保他们能够严格按照质量控制标准进行操作<sup>[19]</sup>。为了确保人员监督 / 监控工作的充分性与有效性, 实验室需做到实施监督 / 监控人员的技术能力应覆盖其所从事的检测活动的全部技术领域, 监督 / 监控过程程序化, 监督 / 监控人员应独立于被监督 / 监控的活动, 监督 / 监控记录完整、及时且有效发现问题<sup>[20]</sup>。

### 4.4 建立统一且严格的质量控制体系

这些质量控制体系文件应涵盖检测设备的操作与维护、检测流程的规范、数据处理和分析的方法等方面。通过制定详细的操作规范和质量控制点, 优化检测流程并标准化操作, 确保每一步操作都符合预定的质量标准<sup>[21]</sup>。同时, 通过引入自动化和智能化技术, 减少人为因素的干扰, 提高检测过程的稳定性和可靠性。

## 5 结束语

实验室质量控制方法在机器人检测领域中的应用是非常重要的, 确保了机器人检测结果的准确性和可靠性。随着机器人检测技术的不断发展, 实验室质量控制方法也将不断优化和创新, 为机器人检测提供更加完善的保障。

### 参考文献

[1] 中国信息通信研究院. 智能机器人技术产业发展白皮书(2023版) [M]. 北京: 工业互联网产业联盟, 2023.  
 [2] 林承志, 李勇. 机器人检测行业现状及发展 [J]. 质量技术监督研究, 2019, (02): 36-39.

[3] 王永志. 基于加速退化试验的工业机器人可靠性评估 [D]. 吉林: 吉林大学, 2023.  
 [4] 杨建军, 郭楠, 韦莎, 等. 物联网与智能制造 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2021.  
 [5] 董立成, 安海龙, 刘宝殿, 等. 无线通信设备电磁兼容试验场地及设备校准参数探究 [J]. 长江信息通信, 2023, 36(01): 201-205.  
 [6] 徐静, 赵毅, 潘勇, 等. 基于GB/T 38924-2020 民用轻小型无人机系统环境试验方法浅析 [J]. 装备环境工程, 2022, 19(02): 78-84.  
 [7] 邢琳. 标准检测认证助力中国机器人产业发展 [J]. 质量与标准化, 2020, (z1): 1-4.  
 [8] 周斌斌, 周苏, 王赞等. 智能机器人技术与应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2022.  
 [9] 张可可. 基于图优化SLAM的室内移动机器人自主定位的研究 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2024.  
 [10] 工业和信息化部电子第五研究所, 王晓晗, 罗宏伟. 电子元器件检验技术试验部分 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2019.  
 [11] 李莉, 陈占开, 王珊. 电气检测实验室的质量控制方法研究 [J]. 标准·检测认证, 2020, (09): 29-31.  
 [12] 王宏. 电子系统可靠性工程技术 [M]. 南京: 南京大学出版社, 2021.  
 [13] 郑军奇. EMC电磁兼容设计与测试案例分析 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2018.  
 [14] 姚东, 朱秋曙, 刘华兴. X控制图在电气检测实验室质量控制中的应用分析 [J]. 标准·检测认证, 2018, (11): 29-31.  
 [15] 张真真, 高扬, 张宝娟, 等. F检验法与t检验法在煤工业值分析中的运用 [J]. 纯碱工业, 2022, (06): 10-12.  
 [16] 雷雯雯.  $E_n$ 值在实验室中的重要性 [J]. 科技创新与应用, 2016, (12): 296.  
 [17] 王思明, 宋利军, 詹月辰. Z比分数不同统计方法在实验室间比对试验结果评价中的比较 [J]. 石油库与加油站, 2024, (02): 23-27.  
 [18] 吴旭, 李秀忠. 检测实验室质量控制的探究 [J]. 管理及其他, 2021, (08): 239-240.  
 [19] 周思靓. A检测机构合格评定检测活动风险的评估和管理研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2021.  
 [20] 苏志明, 孙晓辰, 侯君钊等. 检测实验室质量控制方法的探讨 [J]. 理化检验-化学分册, 2022, (12): 1466-1469.  
 [21] 陈小菊. T公司食品检测实验室质量控制的改进研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2024.

### 作者简介

陈仕聪, 工程师, 主要研究方向为质量管理。  
 唐臣玉, 工程师, 主要研究方向为标准与质量。