



中华人民共和国国家标准

GB/T 39266—2020

工业机器人机械环境可靠性要求和 测试方法

Mechanical environment reliability requirements and test methods for
industrial robots

2020-11-19 发布

2021-06-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 机械环境可靠性要求 3

 4.1 机械环境要求 3

 4.2 可靠性要求 3

5 机械环境试验 3

 5.1 试验条件 3

 5.2 振动试验 3

 5.3 冲击试验 4

 5.4 倾跌试验 5

 5.5 倾斜和摇摆试验 7

 5.6 运输试验 7

6 可靠性试验 8

 6.1 总则 8

 6.2 样品 9

 6.3 试验条件 9

 6.4 可靠性试验方法 10

7 结果报告 14

 7.1 机械环境试验报告 14

 7.2 可靠性试验报告 14

附录 A（资料性附录） 综合环境应力剖面示例 15

附录 B（资料性附录） 试验记录 16

参考文献 20



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国自动系统与集成标准化技术委员会(SAC/TC 159)归口。

本标准起草单位:上海电器科学研究所、安徽宝信信息科技有限公司、广东科鉴检测工程技术有限公司、哈工大机器人集团有限公司、安徽省配天机器人技术有限公司、杭州亿恒科技有限公司、华测检测认证集团股份有限公司、上海电器科学研究所(集团)有限公司、广东天太机器人有限公司、上海电器设备检测所有限公司、上海机器人产业技术研究院有限公司、南通振康机械有限公司、上海添唯认证技术有限公司。

本标准主要起草人:郭彬乾、邢琳、李广垒、高军、于振中、庞泰、张翔、黄庆、陈灏、何志雄、郑军奇、顾京君、王爱国。

工业机器人机械环境可靠性要求和 测试方法

1 范围

本标准规定了工业机器人的机械环境可靠性要求、机械环境试验、可靠性试验和结果报告。
本标准适用于工业机器人及其零部件。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2423.5 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Ea 和导则:冲击

GB/T 2423.7 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Ec:粗率操作造成的冲击(主要用于设备型样品)

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

GB/T 2423.43 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 振动、冲击和类似动力学试验样品的安装

GB/T 4086.2 统计分布数值表 χ^2 分布

GB/T 4857.23 包装 运输包装件基本试验 第23部分:随机振动试验方法

JB/T 10825 工业机器人产品验收实施规范

ISO 13355:2016 包装 满装运输包装和单件货物 垂直随机振动试验(Packaging—Complete, filled transport packages and unit loads—Vertical random vibration)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业机器人 industrial robot

在工业自动化中使用自动控制的、可重复编程的、多用途的操作机,可对三个或三个以上轴进行编程,包括固定式(无振动环境)工业机器人和移动式(有振动环境)工业机器人。

注1:工业机器人包括:

——操作机,含致动器;

——控制器,含示教盒和某些通信接口(硬件和软件)。

注2:还包括某些集成的附加轴。

[GB/T 12643—2013,定义 2.9]

3.2

控制系统 control system

一套具有逻辑控制和动力功能的系统,能控制和监测机器人机械结构并与环境(设备和使用)进行通信。

[GB/T 12643—2013, 定义 2.7]

3.3

通电待机 standby with power on

工业机器人各关节驱动装置处于激活状态。

3.4

试验姿态 test posture

工业机器人处于零位状态。

3.5

平均故障间隔时间 mean operating time between failures; MTBF

可修复产品的一种基本可靠性参数。其度量方法为：在规定的条件下和规定的期间内，产品寿命单位总数与故障总次数之比。

3.6

MTBF 检验下限值 lower test MTBF

θ_1

可接收的最低 MTBF 值。若设备的 MTBF 的真值不大于检验下限 θ_1 ，则设备被接收的概率至多为 $100\%\beta$ 。产品的 MTBF 检验下限值取值等于产品 MTBF 的最低可接受值。

3.7

MTBF 检验上限值 upper test MTBF

θ_0

当产品的 MTBF 的真值不小于检验上限 θ_0 ，则产品被接收的概率至少为 $100(1-\alpha)\%$ ，试验方案以高概率接收产品。

3.8

生产方风险 producer's risk

α

MTBF 的真值不小于检验上限 θ_0 时，判定 MTBF 真值小于检验上限 θ_0 的最大概率。

3.9

使用方风险 consumer's risk

β

MTBF 的真值小于检验下限 θ_1 时，判定 MTBF 真值不小于检验上限 θ_1 的最大概率。

3.10

鉴别比 discrimination ratio

d

MTBF 的检验上限值 θ_0 与检验下限值 θ_1 的比值

$d = \theta_0 / \theta_1$

3.11

故障 fault/failure

产品不能执行规定功能的状态。通常指功能故障。因预防性维修或其他计划性活动或缺乏外部资源造成不能执行规定功能的情况除外。

注：实际应用中，特别是对硬件产品而言，故障与失效很难区分，故一般统称故障。

3.12

独立故障 independent fault

不是由产品另外一个故障引起的故障，亦称原发故障。

3.13

间歇故障 intermittent failure

产品发生故障后,不经修理而在有限时间内或适当条件下自行恢复功能的故障。

3.14

非关联故障 non-relevant failure

已经证实是未按规定的条件使用而引起的故障;或已证实仅属某项不再采用的设计所引起的故障。否则为关联故障。

3.15

相关试验时间 relevant test time

指与试验样品关联故障数有关的用来验证可靠性要求或用来计算可靠性特征值的时间。

注:改写 GB/T 5080.1—2012,定义 7.4。

4 机械环境可靠性要求

4.1 机械环境要求

工业机器人在运输、贮存和使用过程中会承受不同的机械环境应力包括振动、冲击等,在预计可能的各种环境的作用下应能实现其预定功能和性能,按照机械环境试验(见第 5 章)进行测试。

4.2 可靠性要求

工业机器人在使用阶段会经受综合环境应力的作用,应能实现预定的功能和性能,达到规定的可靠性水平,按照可靠性试验(见第 6 章)进行测试。

5 机械环境试验

5.1 试验条件

除制造商另有规定外,应在下列指定大气条件下进行测量和试验:

- a) 温度:15℃~35℃;
- b) 相对湿度:20%~80%;
- c) 大气压力:86 kPa~106 kPa。

工业机器人的安装可按 GB/T 2423.43。

工业机器人机械环境试验前和试验后被测工业机器人外观检查、功能性能检测应符合 JB/T 10825。

5.2 振动试验

5.2.1 试前准备

振动试验时应将被测工业机器人安装在振动台面上,模拟实际使用安装方式,在试验姿态下按 GB/T 2423.10 试验 Fc 进行试验,试验过程中被测工业机器人应处于通电待机空载状态。若实际条件不允许,本体和控制系统可分别按表 1 试验。

按表 1 规定值分别在三个相互垂直的轴线方向上进行试验。

5.2.2 初始振动响应检查

在三个轴向按表 1 规定参数进行试验,并记录每个轴向上的共振。当共振点较多时,每个轴向取 4 个振幅较大的共振点。

在试验规定的频率范围内,当无明显的共振点或共振点超过 4 个时,则不做定频耐久试验,仅做扫频耐久试验。

表 1 试验参数

试验项目	试验内容	数 值
初始和最后振动 响应检查	频率范围	5 Hz~55 Hz
	扫频速度	≤1 倍频程/min
	振幅	0.15 mm
定频耐久试验	振幅	0.75 mm(5 Hz~25 Hz 含 25 Hz)或 0.15 mm(25 Hz~55 Hz)
	持续时间 ^a	10 min
		30 min
		90 min
扫频耐久试验	频率范围	5 Hz~55 Hz
	振幅	0.15 mm
	扫频速度	≤1 倍频程/min
	循环次数	5 次
^a 持续时间由工业机器人客户和制造商协商,并选择其一。		

5.2.3 定频耐久试验

用初始振动响应检查中共振点上的频率和共振点所处频段的驱动振幅,进行定频耐久试验。

5.2.4 扫频耐久试验

按 5 Hz~55 Hz 的频率范围由低到高,再由高到低,作为一次循环,共进行 5 次。

已做过定频耐久试验的被测工业机器人,可不进行扫频耐久试验。

5.2.5 最后振动响应检查

经扫频耐久试验的被测工业机器人,可将最后一次扫频试验作为最后振动响应检查。

将本试验记录的共振频率与初始振动响应检查记录的共振频率进行比较,若有明显变化,应对受试被测工业机器人进行修整,重新进行试验。

5.2.6 试验后检测要求

在试验后被测工业机器人应有一段恢复时间,使被测工业机器人处于与初始检测时相同的条件,被测工业机器人应通过外观检查和功能性能检测。

5.3 冲击试验

5.3.1 试验条件和方法

按 GB/T 2423.5 试验 Ea 进行冲击试验,被测工业机器人应直接紧固到台面上或通过夹具紧固到台面上,试验过程中被测工业机器人应处于不带电状态,半正弦脉冲的加速度和持续时间从表 2 和表 3



选取。

对于非重复性冲击,除有关规定外,应对被测工业机器人的 3 个相互垂直方向的每一方向连续施加 3 次冲击,即共 18 次。当采用其他的量值或冲击方向时,应在报告中注明并说明采用的原因。

表 2 非重复性冲击试验脉冲加速度和持续时间

峰值加速度/(m/s ²)	脉冲持续时间/ms
50	30
150	11
300	18

对于重复性冲击,除有关规定外,应在被测工业机器人的 3 个互相垂直的轴线的每一方向上施加规定的冲击次数。每个方向的冲击次数为(100±5)次或(500±10)次。当采用其他的量值或冲击方向时,应在报告中注明并说明采用的原因。

注:标称质量低于 100 kg 的被测工业机器人,建议脉冲加速度采用 150 m/s²或 250 m/s²,对 100 kg 以上的被测工业机器人,通常采用脉冲加速度为 100 m/s²更为合适。

表 3 重复性冲击试验脉冲加速度和持续时间

峰值加速度/(m/s ²)	脉冲持续时间/ms
100	16
150	6
250	6

5.3.2 试验后检测要求

在试验后被测工业机器人应有一段恢复时间,使被测工业机器人处于与初始检测时相同的条件,被测工业机器人应通过外观检查和功能性能检测。

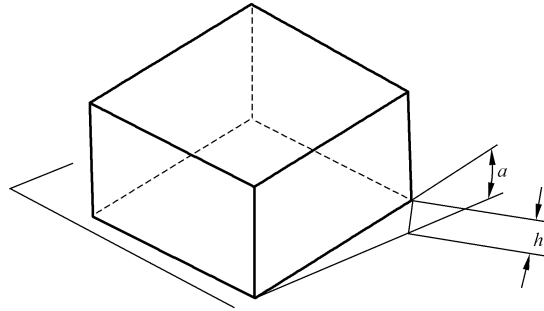
5.4 倾跌试验

5.4.1 面跌落

按 GB/T 2423.7 进行试验,试验过程中被测工业机器人应处于不带电状态。

被测工业机器人应按照正常使用位置放置在一平滑、坚硬的刚性的混凝土或钢质台面上,且围绕一条底边倾斜直至使相对边与试验台面的距离为 100 mm 或使被测工业机器人底面与试验台面成 30°夹角,两者取最小者。然后使被测工业机器人自由倾跌在试验台面上(如图 1)。当采用其他的量值时,应在报告中注明采用的原因。

若被测工业机器人的底边数多于 4 条,则倾跌次数应以 4 次为限。



说明：

h —— 被测工业机器人的底边与试验台面间的距离；

a —— 被测工业机器人的底面与试验台面间的夹角。

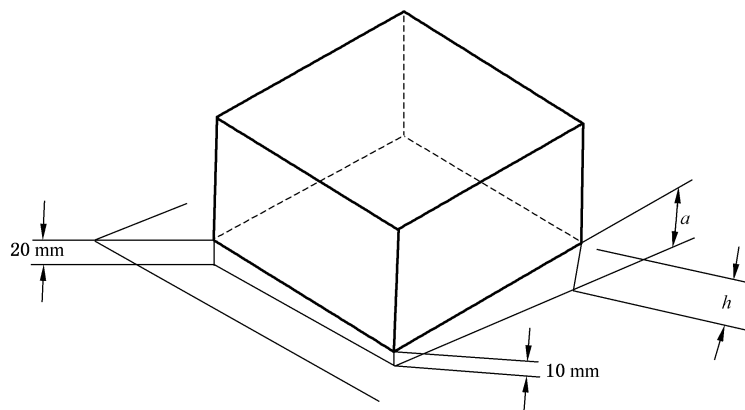
图 1 面跌落试验示意图

5.4.2 角跌落

按 GB/T 2423.7 进行试验,试验过程中被测工业机器人应处于不带电状态。

被测工业机器人应按正常使用位置放在一平滑、坚硬的刚性(混凝土或钢质)台面上,在被测工业机器人一个角放置一根 10 mm 高的木柱,在与其邻边的另一个角放置一根 20 mm 高的木柱,使被测工业机器人升高。然后,使被测工业机器人绕着上述二根木柱所架起的边缘转动,直到被测工业机器人另一边与 10 mm 木柱相邻的角抬起 100 mm 或使被测机器人与试验台面成 30° 夹角,两者取较小者。然后被测工业机器人自由跌落在试验台面上(如图 2)。当采用其他的量值时,应在报告中注明并说明采用的原因。

若被测工业机器人的底角数多于 4 个,则倾跌次数应以 4 次为限。



说明：

h —— 被测工业机器人的底边与试验台面间的距离；

a —— 被测工业机器人的底面与试验台面间的夹角。

图 2 角跌落

5.4.3 试验后检测要求

在试验后被测工业机器人应有一段恢复时间,使被测工业机器人处于与初始检测时相同的条件,被测工业机器人应通过外观检查和功能性能检测。

5.5 倾斜和摇摆试验

5.5.1 试验条件和方法

对于在船舶上使用的工业机器人,模拟实际使用时安装的方位和方式,直接或通过安装架安装在试验台台面上,试验过程中被测工业机器人应处于通电待机空载状态。

对于通过船舶运输的工业机器人,模拟实际运输时固定的方位和方式,直接或通过安装架安装在试验台台面上,试验过程中被测工业机器人应处于不带电状态。

当有数种安装方式时,应选取可能承受受到最严酷条件作用的那种方式或对数种安装方式都进行试验。

除另有规定外,一般仅进行纵/横倾斜试验和纵/横摇摆试验试验参数可参照表 4 确定,试验顺序为先倾斜后摇摆,先纵向后横向。

表 4 倾斜与摇摆试验

试验项目	角度/(°)	周期/s	试验持续时间
纵倾	5 或 10	—	前后各不小于 15 min
横倾	15 或 22.5	—	左右各不小于 15 min
纵摇	10	10	≥30 min
横摇	22.5	10	≥30 min

5.5.2 试验后检测要求

在试验后被测工业机器人应有一段恢复时间,使被测工业机器人处于与初始检测时相同的条件,被测工业机器人应通过外观检查和功能性能检测。

5.6 运输试验

5.6.1 试验条件和方法

随机振动试验按照 GB/T 4857.23 执行。试验条件应来自从运输环境中实际采集的数据。若无实际采集数据可用,优先使用 ISO 13355:2016 规定的频谱,如表 5 和图 3 所示。

安装被测工业机器人时,当包装件能够以多种方式固定在运输车辆上时,应选择使包装件破损最易发生的方式。如果不确定,则应从各种可能方式中选择最严酷的方式。

如果包装件不固定在运输车辆上,或者有一定的活动空间,则在试验时通常使用不固定方式放置,被测工业机器人用围栏围住,以免振动过程中从台上坠落。

根据包装件运输环境条件,试验强度分为以下 3 个等级:

等级 1:非常长距离运输(大于 2 500 km),或预期运输路况较差,试验时间 180 min;

等级 2:长距离运输(大于或等于 200 km,小于或等于 2 500 km),公路、铁路设施较为完备,气候温和,试验时间 90 min;

等级 3:短距离国内运输(小于 200 km),预期没有特殊的危害,试验时间 15 min。



表 5 功率谱密度(PSD)

频率 Hz	功率谱密度 g^2/Hz
2	0.000 5
4	0.012
18	0.012
40	0.001
200	0.000 5
加速度均方根值(g_{rms}):0.604	

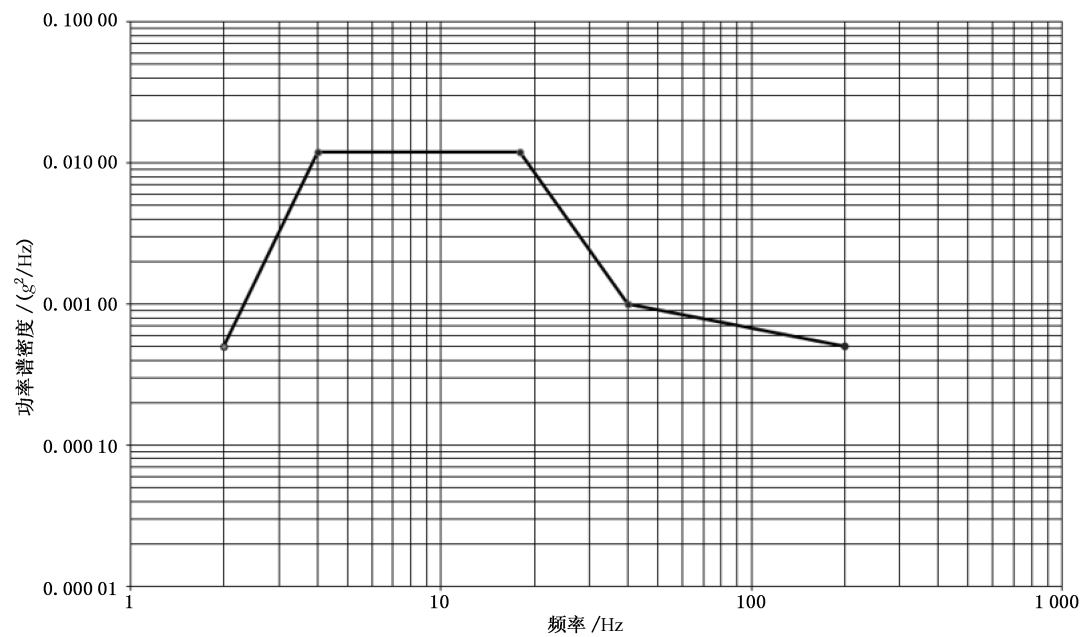


图 3 一般以公路为主的运输随机振动 PSD 曲线

5.6.2 试验后检测要求

在试验后被测工业机器人应有一段恢复时间,使被测工业机器人处于与初始检测时相同的条件,被测工业机器人应通过外观检查和功能性能检测。

6 可靠性试验

6.1 总则

工业机器人及其部件的可靠性试验方法分为可靠性摸底试验和可靠性验证试验。

试验场所分为实验室和现场两种。原则上要求在实验室进行可靠性试验,不具备实验室试验条件时,在现场进行可靠性试验。

6.2 样品

被测工业机器人应从能代表技术状态的同一批次产品中随机抽取,若无具体规定时,可靠性摸底试验应随机抽取 1 台产品进行试验,可靠性验证试验应随机抽取至少 2 台产品进行试验。

功能性能测试、安规测试与电磁兼容测试、环境试验应安排在可靠性摸底试验和可靠性验证试验前进行,被测工业机器人技术状态已基本固化。

在试验前和试验后,被测工业机器人应进行外观检查、功能性能检测等,测试项目参照产品技术规格书或研制任务书等规定。

在试验中,按照规定的时间点进行检测,检测项目为主要功能性能项目,对于试验中无法进行的检测项目应进行原因说明。

6.3 试验条件

6.3.1 实验室试验条件

6.3.1.1 概述

应根据工业机器人实际使用和任务环境特征确定供可靠性试验用的环境参数与时间的关系图。无其他特殊要求时,可靠性试验应在振动、温度、湿度、电压和其他相关试验条件的综合作用下进行。

产品规范中无特殊规定时,振动、温度和相对湿度应力容差应分别符合以下要求:

- a) 振动:对于正弦振动,保持在规定振幅的 $\pm 10\%$ 之内。对于随机振动,试验控制信号功率谱密度偏离规定要求最大不应超出 3 dB,最小不应超出 -1.5 dB;
- b) 温度: ± 2 °C;
- c) 相对湿度: $\pm 5\%$ 。

6.3.1.2 振动应力

振动应力量值和剖面应按产品的实际使用类别、产品的安装位置和预期使用情况确定。在确定实际振动应力时,至少应考虑振动类型、振动频率、振动量值以及振动施加的方向和方式。

6.3.1.3 温度应力

应根据机器人的工作环境条件来确定温度应力。确定温度应力时,应至少考虑起始温度、开始工作时间、工作温度(范围、变化率和变化频率)以及每一任务的实验剖面的温度循环次数。

6.3.1.4 湿度应力

试验循环期间对湿度一般不加控制,需要时包括实际使用时有冷凝、结霜或结冰等情况在试验循环的适当阶段喷入水蒸气,以模拟使用中经历的环境条件。

6.3.1.5 电应力

应根据机器人的工作环境条件来确定电应力。确定电应力时,应至少考虑产品的通断电循环、规定的工作模式及工作周期、规定的输入标称电压及其最大允许偏差。

6.3.1.6 样品试验工况

被测工业机器人试验工况应模拟实际运行工况。

6.3.1.7 综合环境应力试验剖面

工业机器人可靠性试验采用综合环境应力进行,试验剖面参考示意图参见附录 A。为了尽量逼真地模拟产品在使用中遇到的实际环境,应优先使用实测应力,也可使用估计应力。

6.3.2 现场运行试验条件

在现场运行可靠性试验过程中,被测工业机器人工况尽可能模拟产品实际运行工况,按照 6.3.1.5 施加电应力。

如制造商未提供特殊温湿度环境要求,在试验时机和试验场所选取时应尽可能覆盖工业机器人及其设备预期销售使用的地域及其季节性气候差异,以保证现场运行可靠性试验的代表性。

如制造商有提出特殊温湿度环境要求,应对温湿度环境条件采取必要控制措施。

注:在制造商可接受的情况下,可对温湿度环境条件不采取控制措施,以将受试样机暴露在更为严酷的现场环境条件下进行现场运行可靠性试验。

6.4 可靠性试验方法

6.4.1 可靠性摸底试验

6.4.1.1 总则

可靠性摸底试验以暴露故障和指导实施改进为目的。

6.4.1.2 试验时间

单台被测工业机器人可靠性摸底试验应累积不小于 240 h。

6.4.1.3 故障处理

在可靠性摸底试验过程中出现故障时,应中止试验,进行故障分析,采取纠正措施改进后,可继续试验,应过一定的试验时间来验证纠正措施的有效性,一般选 30 h~50 h。

6.4.1.4 试验终止

当被测工业机器人运行累积到约定时间后,即可中止试验,整个试验结束。

6.4.2 可靠性验证试验

6.4.2.1 可靠性指标

MTBF 检验下限值(θ_1)作为可靠性验证指标,采用的单位为小时(h)。当制造商没有规定可靠性验证指标时,推荐从 10 000 h 开始,间隔为 5 000 h 的序列中进行选取,制造商可自行选取可靠性指标进行验证。

示例:间隔为 5 000 h 的序列如 10 000 h、15 000 h、20 000 h、……。

6.4.2.2 试验统计方案



假定工业机器人的故障时间分布符合指数分布规律,即故障率为常数。

试验统计方案推荐采用定时截尾试验方案。

在试验期间,对工业机器人进行连续地或短间隔监测,直至累计相关试验时间超过预定的相关试验时间(接收)或发生了预定的关联失效数(拒收)。

推荐使用表 6 中规定的定时截尾试验方案。制造商可综合产品质量状况、风险承受能力、试验成本

代价等因素,选取试验统计方案。

表 6 定时截尾试验方案

试验方案序号	方案的特征			截尾时间 $T(\theta_1$ 倍数 m)	判决故障数 r	
	风险标称值/%		鉴别比 $D=\theta_0/\theta_1$		拒收(\geq)	接收(\leq)
	α	β				
1	30	30	3.37	1.20	1	0
2	30	30	2.22	2.44	2	1
3	30	30	2.00	3.70	3	2
4	30	30	1.89	3.62	3	2
5	30	30	1.72	4.76	4	3
6	30	30	1.62	5.89	5	4
7	30	30	1.50	8.10	7	6
8	20	20	7.22	1.61	1	0
9	20	20	3.63	2.99	2	1
10	20	20	3.00	4.30	3	2
11	20	20	2.79	4.28	3	2
12	20	20	2.40	5.51	4	3
13	20	20	2.17	6.72	5	4
14	10	10	21.85	2.30	1	0
15	10	10	7.32	3.89	2	1
16	10	10	4.83	5.32	3	2
17	10	10	3.83	6.68	4	3
18	10	10	3.29	7.99	5	4
19	10	10	3.00	9.30	6	5

6.4.3 试验时间

6.4.3.1 相关试验时间 T

由规定的 d 、 α 、 β 数值,根据表 6 查出 θ_1 的倍数 m ,由公式(1)求得相关试验时间(总试验台时数):

$$T = \theta_1 \times m \dots\dots\dots (1)$$

式中:
 T ——相关试验时间;
 θ_1 ——MTBF 检验下限值;
 m —— θ_1 的倍数 m 。

6.4.3.2 单台试验时间 t

由确定受试产品数量(n)后,单台试验时间 t 可从公式(2)求得:

$$t = T/n \dots\dots\dots (2)$$

式中：

t ——单台试验时间；

T ——相关试验时间；

n ——受试产品数量。

在保证达到试验总时间的前提下，实际单台试验持续时间可以做一定的调整，但应保证单台最短累计相关试验时间不少于 $t/2$ ，否则不能做出接收判定。

6.4.4 故障判据及统计原则

6.4.4.1 故障判据

可靠性试验中出现下列任一情况判为故障：

- a) 被测工业机器人不能工作或部分功能丧失；
- b) 被测工业机器人参数检测结果超出规范(规定)允许范围；
- c) 被测工业机器人的机械、结构部件或元器件发生的松动、破裂、断裂或损坏。

6.4.4.2 故障统计原则

故障可参照以下原则进行统计：

- a) 经证实为同一原因引起的间歇故障，计为一次故障。
- b) 经证实多个故障现象由同一原因引起时，计为一次故障。
- c) 有多个元器件在试验过程中同时失效时，当不能证明是一个元器件失效引起另一些元器件失效时，每个元器件的失效计为一次独立的故障。当可证明是一个元器件失效引起另一些元器件失效时，则所有元器件失效合计为一次故障。
- d) 已经报告过的由同一原因引起的同一部位发生的独立故障，由于未能真正排除而再次出现时，应和原来报告过的故障合计为一次故障，其间试验时间无效。
- e) 若不能确定故障发生的准确时刻，则相关试验时间的统计追溯到上一检测点时间，即上一检测点至发现故障检测点之间的试验时间无效。
- f) 在试验后的常温功能检查和性能测试中若出现故障，则对故障的判定、统计等与试验中出现故障作相同处理。
- g) 在故障检测和修理期间，若发现受试产品还存在其他故障而不能确定为由原有故障引起的，则应将其视为单独故障进行统计。
- h) 在现场运行可靠性试验中，对于零部件的轻微缺陷，不丧失规定功能，并且能够按照维修规程通过日常检查予以原位修复(不引起拆卸)的事件，包括松动、漂移、噪声、渗漏等，经确认后，不计入故障。

6.4.5 故障处理

在可靠性试验中出现故障时，故障处理应按下述试验程序的规定进行：

- a) 在实验室试验或现场试验时，参见附录 B 中表 B.2 及时填写故障报告，试验各方应签字确认；
- b) 在故障处理过程中，更换所有有故障的零部件，其中包括由其他零部件故障引起应力超出允许额定值的零部件，但不能更换性能虽已恶化但未超出允许额定值的零部件；
- c) 经修理恢复到可工作状态的被测工业机器人，在证实其修理有效后，并经试验组确认后可重新投入试验；
- d) 当被测工业机器人的故障为元器件故障时，试验后应对故障元器件进行失效分析，找出元器件失效机理，并落实纠正措施，为故障归零提供支持。

6.4.6 相关试验时间统计原则

工业机器人的相关试验时间指被测工业机器人正常运行的时间之和。

当试验中测试发现某个被测工业机器人故障时,该被测工业机器人的相关试验时间应为截至上次对应检测时间为止的试验时间,该故障被测工业机器人上次对应检测时机至本次检测发现故障期间的试验时间为无效时间。

各被测工业机器人的相关试验时间应为其相关试验时间减去无效试验时间,各个被测工业机器人的相关试验时间之和为总累积相关试验时间。

6.4.7 试验终止

试验进行到超过可接受的故障数时结束试验,或在可接受的故障数内到达规定的相关试验时间时,试验终止。

6.4.8 MTBF 计算

6.4.8.1 MTBF 点估计

MTBF 的点估计按照公式(3)计算:

$$\hat{\theta} = \frac{T}{r} \dots\dots\dots (3)$$

式中:


- $\hat{\theta}$ ——MTBF 的点估计值;
- T ——累积相关时间;
- r ——试验后关联故障数($r > 0$)。

6.4.8.2 MTBF 单侧置信下限

接收判决下的 MTBF 单侧置信下限估计按公式(4)计算:

$$\theta_L = \frac{2T}{\chi^2_{1-C}(2r+2)} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- θ_L  MTBF 的单侧置信下限;
- C ——置信区间置信度;
- $\chi^2_{1-C}(2r+2)$ ——自由度为 $2r+2$ 的 χ^2 分布的 $(1-C)$ 上侧分位数;
- χ^2 的分布数值表见 GB/T 4086.2。

拒收判决下的 MTBF 单侧置信下限估计按公式(5)计算:

$$\theta_L = \frac{2T}{\chi^2_{1-C}(2r)} \dots\dots\dots (5)$$

6.4.9 试验实施

6.4.9.1 试验实施条件

在进行试验前,确认投入试验的被测工业机器人能够正常工作。
工业机器人应尽量模拟实际使用进行安装,试验条件按 6.3 的规定进行。

6.4.9.2 试验过程中的监测和记录

试验过程中,应对试验条件、试验时间、故障情况、被测工业机器人连续的监测/间断的性能检测结

果进行记录,相关记录格式参照附录 B。

间断的性能检测发现故障而无法判断故障发生的具体时间,则认为故障发生的时间为上一次的检测时间。

6.4.9.3 试验过程中的维护

试验过程中,按照产品使用规定维护周期进行维护,试验过程期间或修理过程中不应采取任何其他维护。

6.4.9.4 试验后的检测

试验终止,被测工业机器人应进行功能性能检测。

7 结果报告

7.1 机械环境试验报告

试验结果的报告包括但不限于以下内容:

- a) 试验试样的完整性描述;
- b) 试验项目的完整性描述;
- c) 每个试验项目具体试验参数的详细描述;
- d) 试验结果的详细描述。

7.2 可靠性试验报告

试验结果的报告包括但不限于以下内容:

- a) 试验目的、内容和结论;
- b) 试验依据;
- c) 试验时间、地点;
- d) 被测工业机器人说明;
- e) 试验统计方案;
- f) 综合环境条件及应力施加方法说明;
- g) 试验设施和仪器情况;
- h) 试验过程描述;
- i) 试验中发生的故障次数、故障分类及故障处理情况;
- j) 其他需要说明的有关事项。

附录 A
(资料性附录)
综合环境应力剖面示例

图 A.1 给出工业机器人综合环境应力可靠性试验剖面参考示例，制造商在试验前根据工业机器人实际使用条件制定试验剖面。

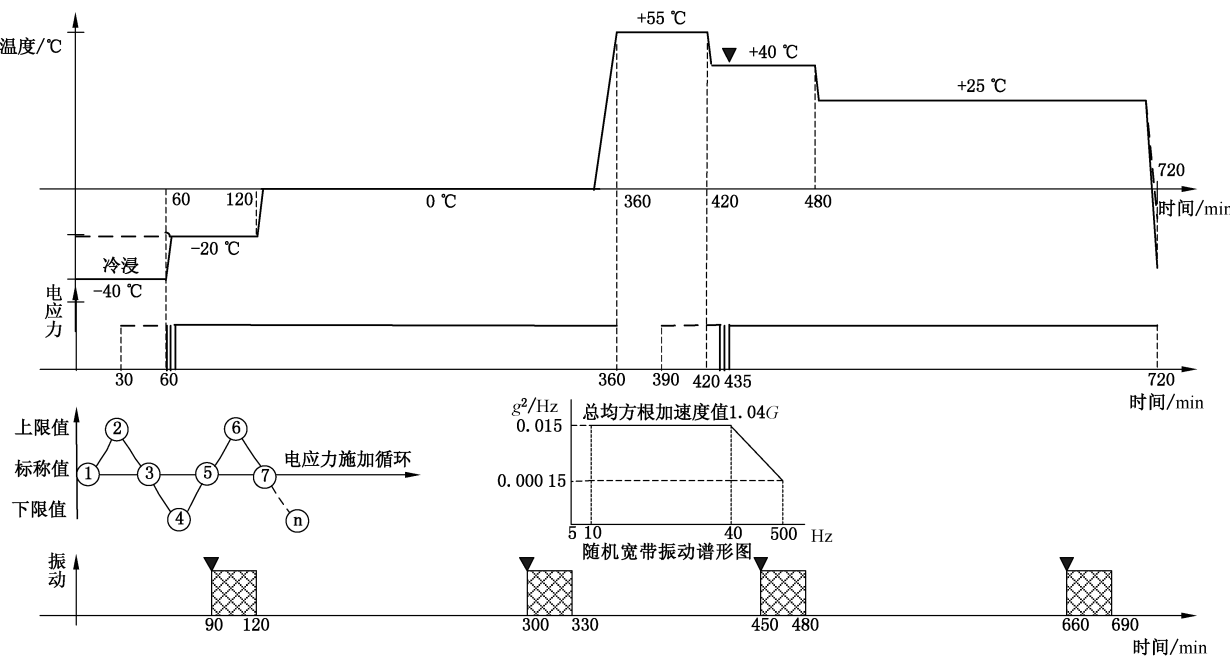


图 A.1 综合环境应力剖面示例

附 录 B
(资料性附录)
试 验 记 录

B.1 试验时间及记录

在可靠性试验过程中应准确记录被测工业机器人试验时间,及时进行汇总计算,确保相关试验时间达到规定要求,可靠性试验时间记录表见表 B.1。

在可靠性试验中,试验分成多个周期进行,在长期正常运行过程中,应每隔 1 个周期记录 1 次试验时间,当试验过程中发生停机事件被测工业机器人故障导致或其他因素导致时,应及时记录在表 B.1 中。

B.2 故障记录

B.2.1 故障情况记录

故障情况记录由试验人员填写,可参考表 B.2 格式,包括以下 4 点:

- a) 故障记录包括:故障发生日期和时间,工业机器人的顺序号,故障时的工作条件 and 环境条件,单项试验时间和/或累积试验时间,故障发生情况和故障现象说明,试验人员姓名;
- b) 故障的性质;
- c) 产品性能的故障特征;

示例:故障参数的实测值和该项参数的最低要求值等。

- d) 故障判定依据。

B.2.2 故障维修记录



故障维修记录由维修人员填写,包括以下 3 点:

- a) 故障核实,包括:使用的仪器仪表和方案,观察结果及说明;
- b) 维修说明,包括:采取的措施,维修过程中被测工业机器人的工作时间,维修日期、时间及维修持续时间,维修人员姓名;
- c) 被更换的零部件说明,包括:名称、型号,所在位置,供货单位,故障的主要特征和确定故障时所采用的试验,故障原因和分类意见,维修中所采取的措施。

B.2.3 故障分析记录

故障分析记录由故障分析人员填写可靠性试验故障分析及纠正措施记录表,可参考表 B.3 格式,包括以下 3 点:

- a) 可靠性试验故障分析基本信息:目视和初始测量情况、分析日期、分析所用设备、故障分类和分析人员姓名等;
- b) 引起故障原因的分析;
- c) 故障的分析意见及纠正措施的建议。

表 B.1 可靠性试验时间记录表

设备名称			设备型号			
设备编号			制造商			
日期	开始工作时刻	结束工作时刻	单次时间 h	有效时间 h	记录人	校核人
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
___月___日	___点___分	___点___分				
使用记录核实意见：				制造商： 日期：___年___月___日		
				试验方： 日期：___年___月___日		

表 B.2 可靠性试验故障记录表

设备名称		设备型号	
制造商		故障时刻	____年____月____日____时____分
发现时机	第____循环,第____分	前次监测	第____循环,第____分
故障时机	试验循环数:____循环;相关试验时间:____小时____分; 累计试验循环数:____循环;累计相关试验时间:____小时____分。		
故障时 试验应力	温度:____℃;湿度:____%;振动:____g ² /Hz; 电应力:直流____伏;交流____伏。		
故障现象:			
故障判定依据:			
注:故障是否首次发生? <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否			
记录人签名:____ 日期:____年____月____日			
现场处理方法: <input type="checkbox"/> 停机排故 <input type="checkbox"/> 更换被测工业机器人 <input type="checkbox"/> 继续观察试验中断时间:____小时____分。			
记录人签名:____ 日期:____年____月____日			
校核人签名:____ 日期:____年____月____日			
故障核实及初步分析意见:		制造商:	
		日期:____年____月____日	
		试验方:	
		日期:____年____月____日	

表 B.3 可靠性试验故障分析及纠正措施记录表

故障产品名称		故障产品型号	
故障件名称		故障件型号	
故障件批次号		制造商	
分析日期	____年____月____日	故障分类	<input type="checkbox"/> 关联故障 <input type="checkbox"/> 非关联故障
分析所用设备			
目视和初始测量情况			
故障原因分析及纠正措施建议(需要时另加附页)			
分析人签名:			
纠正措施			
纠正措施制定人签名:			
制造商意见			
签名: 日期: ____年____月____日			
实施人签名:完成日期: ____年____月____日			
验证方法及纠正效果			
签名: 日期: ____年____月____日			
遗留问题及处理意见			
制造商技术主管: 制造商质量主管: 试验方:			



参 考 文 献

- [1] GB/T 2423.101 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验:倾斜和摇摆
 - [2] GB/T 5080.1—2012 可靠性试验 第1部分:试验条件和统计检验原理
 - [3] GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇
-