

团 体 标 准

T/CAMETA XXX—2024

工业移动机器人可靠性测试与评定标准

Reliability test and evaluation standard for industrial mobile robots

2024-XX-XX 发布

2024-XX-XX 实施

中国机电一体化技术应用协会 发布

目录

前言	4
1 范围	5
2 规范性引用文件	5
3 术语和定义	5
3.1 可靠性 reliability	5
3.2 故障 fault/failure	5
3.3 故障率 failure rate	5
3.4 产品 item; entity	6
3.5 工作时间 operating time	6
3.6 平均故障前时间 mean time to failure; MTTF	6
3.7 故障判据 failure criterion	6
3.8 可靠度 reliability; R	6
3.9 可靠性模型 reliability model	6
4 移动工业机器人 AGV 可靠性测试内容	6
4.1.基本功能测试	6
4.2 载重能力测试	6
4.3 运动性能测试	6
4.4 环境适应性测试	7
4.5 安全性能测试	7
4.6 控制系统测试	7
4.7 电池寿命测试	7
4.8 尺寸和外观检测	7
4.9 故障排除和恢复能力测试	7
5 故障分类和统计原则	7
5.1 故障判据	7
5.2 故障分类	8
5.2.1 责任故障	8
5.2.2 非责任故障	8
5.3 故障统计原则	8

6 可靠性指标评估的流程 9

7 故障数据的收集与统计 10

 7.1 故障数据收集 10

 7.2 故障数据统计 10

8 可靠性模型的参数估计 10

 8.1 双参数指数分布的参数估计 10

 8.2 威布尔分布的参数估计 11

 8.3 正态分布的参数估计 12

 8.4 对数正态分布的参数估计 13

9 可靠性模型的拟合优度检验 14

10 可靠性模型的优选 15

11 可靠性指标的评估 14

12 可靠性试验报告 15

13 附录 15

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。

本文件由中国机电一体化技术应用协会提出。

本文件由中国机电一体化技术应用协会归口。

本文件主要起草单位：

本文件参加起草单位：

本文件主要起草人：

工业移动机器人可靠性测试与评定标准

1 范围

本标准规定了移动工业机器人可靠性指标评价方法的术语和定义、故障分类和统计原则、可靠性指标评估的流程、故障数据的收集与统计、可靠性模型的参数估计、可靠性模型的拟合优度检验、可靠性模型的优选、可靠性指标的评价等。

本标准适用于各类移动工业机器人的可靠性指标评价。

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，仅所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（包括所有的修订版）适用于本文件。

GB/T 2900.99-2016 电工术语 可信性

GB/T 12643-2013 机器人与机器人装备 词汇

GJB 451A-2005 可靠性维修性保障性术语

GJB 899A-2009 可靠性鉴定和验收试验

3 术语和定义

GB/T 2900.99-2016、GB/T 12643-2013 和 GJB 451A-2005 中确立的，以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 可靠性 reliability

在给定的条件，给定的时间区间，能无故障地执行要求的能力。

3.2 故障 fault/failure

产品不能完成要求的功能的状态。预防性维修或其他计划的行动或因缺乏外部资源的情况除外。

3.3 故障率 failure rate

设在时间区间开始时刻前未发生故障，不修理的产品在时间区间 $(t, t+\Delta t)$ 内出现一个故障的条件概率与区间长度 Δt 之比，当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限(如果存在)。

3.4 产品 item; entity

能够被单独考虑的任何零部件、元器件、装置、分系统、功能单元、设备或系统。

3.5 工作时间 operating time

产品处于工作状态的时间区间。

3.6 平均故障前时间 mean time to failure; MTTF

故障前时间的数学期望。

3.7 故障判据 failure criterion

预先定义的接受确证故障的条件。

3.8 可靠度 reliability; R

产品在给定的条件下和给定的时间区间(t_1, t_2)内，能完成要求的功能的概率。

3.9 可靠性模型 reliability model

为预计或估算产品的可靠性所建立的框图和数学模型。

4 移动工业机器人 AGV 可靠性测试内容

AGV（自动导引车）的可靠性测试是一个综合的过程，旨在确保 AGV 在各种工作环境下都能稳定、可靠地运行。以下是 AGV 可靠性测试的主要方面及其包含的内容：

4.1 基本功能测试

检查 AGV 的启动、停止、转向、加速、减速等基本功能是否正常。

测试 AGV 在接收到不同指令时的响应速度和准确性。

4.2 载重能力测试

测试 AGV 在不同负载情况下的搬运能力，包括最大载重量和最大搬运速度。

在不同负载条件下，观察 AGV 的运行稳定性和安全性。

4.3 运动性能测试

额定速度测试：测试 AGV 在直线和转弯时的速度是否达到设计要求。

运动精度测试：测试 AGV 在导引路线上的运动精度，包括直线和转弯时的偏差。

正常停车测试：测试 AGV 在接收到停车指令后的停车精度和稳定性。

4.4 环境适应性测试

测试 AGV 在不同温度、湿度、光照、灰尘等环境条件下的工作性能。

测试 AGV 在不平整地面、坡度、起伏路面等复杂地形下的稳定性和可靠性。

4.5 安全性能测试

测试 AGV 的避障功能是否有效，包括接触障碍缓冲装置、激光测距、红外漫反射、超声探测等。

测试 AGV 的报警设备和停止按钮的功能是否正常，确保在紧急情况下能够及时停止运行。

应急停止键检测：测试在按下应急停止键时，AGV 的动力系统是否会被切断，并启动轮闸。

4.6 控制系统测试

检测 AGV 的控制系统是否稳定可靠，包括导航定位、路径规划、任务调度等方面。

检测 AGV 的控制精度是否符合设计要求，包括运动精度、定位精度等。

4.7 电池寿命测试

检测 AGV 电池的充放电性能是否良好，以及电池的使用寿命是否符合设计要求。

在不同工作负载和环境下测试电池的续航能力和性能稳定性。

4.8 尺寸和外观检测

检测 AGV 的长度、宽度、高度是否符合设计要求。

检查 AGV 的外观是否完好，无损坏或变形现象。

4.9 故障排除和恢复能力测试

检测 AGV 在出现故障时的故障排除能力，包括自动诊断和人工干预两种方式。

测试 AGV 在故障排除后的恢复能力，确保能够迅速恢复正常工作状态。

通过以上测试，可以全面评估 AGV 的可靠性、稳定性和安全性，为 AGV 在实际应用中的稳定运行提供有力保障。

5 故障分类和统计原则

5.1 故障判据

移动工业机器人满足如下条件之一即为故障：

- a) 在规定的条件下，一个或多个功能丧失；
- b) 在规定的条件下，一个或多个性能参数超出允许范围；
- c) 在规定的条件下，出现影响样品功能、性能和结构完整性的机械部件、结构件或元器件的破损、断裂或损坏状态。

5.2 故障分类

根据 GJB899A 的故障分类，试验期间出现的所有故障，分为关联故障和非关联故障。

非关联故障：已经证实是未按规定的条件使用而引起的故障，或预期在现场使用中不会发生的故障。

关联故障：在现场使用中预期会出现的所有故障，关联故障又分为责任故障与非责任故障。

5.2.1 责任故障

因样品本身缺陷而引发的关联独立故障以及由此引起的从属故障计为一次责任故障，责任故障是判决样品试验通过与否的依据。责任故障包括：

- a) 由于设计、工艺等引起的故障；
- b) 零部件和材料设计、制造、选用不当引起的故障；
- c) 软件错误引发的故障；
- d) 由于提供的操作、维护和维修程序不当引起的故障；
- e) 未证实的故障（指无法重现或尚未查清原因的故障）。对于已划定的责任故障，不应因为采取纠正措施进行纠正而列入非责任故障。

5.2.2 非责任故障

不是由样品或某个单元本身引发的故障为非责任故障。非责任故障不作为判决样品试验通过与否的依据。非责任故障包括：

- a) 由独立故障引起的从属故障；
- b) 故障未修复而再发生的故障；
- c) 由试验设备、测试仪器引起的受试样机的故障；
- d) 操作、维护和修理不当引起的故障；
- e) 施加了不符合本大纲规定的试验应力而引起的故障。

5.3 故障统计原则

移动工业机器人可靠性指标评估过程中只统计关联故障。关联责任故障应按以下原则进行统计：

- a) 可证实是由于同一原因引起的间歇故障只计为一次故障；
- b) 当可证实多个故障现象由同一原因引起时，可计为一次故障；
- 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；若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，则有效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) 在故障检测和修理期间，若发现受试产品还存在其它故障而不能确定为是由原有故障引起的，则应将其视为单独的责任故障进行统计；
- g) 在现场运行中，对于零部件的轻微缺陷，若不丧失规定功能，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，经确认后，不计入关联责任故障。

6 可靠性指标评估的流程

移动工业机器人运行可靠性指标评估的流程如图 1 所示，包括：

- a) 收集与统计移动工业机器人的故障数据，初步得到工业机器人的可靠度和累计故障概率；
- b) 采用双参数指数分布、威布尔分布、正态分布以及对数正态分布可靠性模型分别对移动工业机器人的累计故障概率进行拟合，获取可靠性模型的未知参数；
- c) 采用 Kolmogorov-Smirnov 检验法对可靠性模型进行拟合优度检验，来评估可靠性模型对于移动工业机器人累计故障概率的吻合性；如果多个可靠性模型通过模型的拟合优度检验，则需要开展可靠性模型的优选；
- d) 采用残差平方和最小的方法对移动工业机器人的可靠性模型进行优选，从而获得移动工业机器人的最优可靠性模型；
- e) 根据得到的工业机器人可靠性模型，评估工业机器人的可靠性指标。

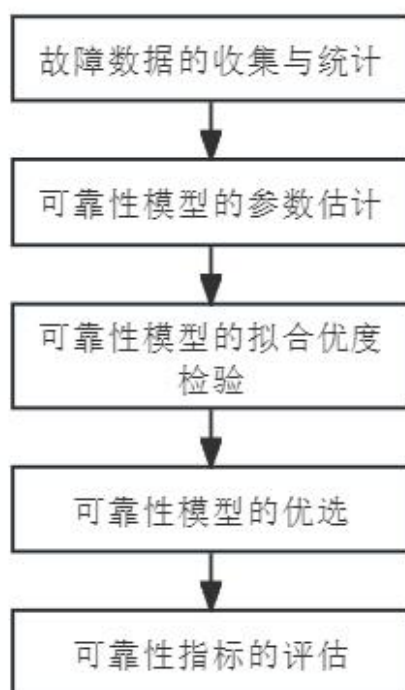


图 1 移动工业机器人可靠性指标评估流程

7 故障数据的收集与统计

7.1 故障数据收集

按照一定的表格收集某批次移动工业机器人的故障数据。

7.2 故障数据统计

移动工业机器人故障数据统计的步骤如下：

a)将移动工业机器人所有的故障数据的故障前工作时间由小到大排序 $t_1 \leq t_2 \leq \dots t_i \dots \leq t_n$, n 为总故障数, $i = 1, 2, \dots, n$;

b)用近似中位秩公式计算移动工业机器人各故障时间对应的可靠度 $R(t)$ 和累计故障概率 $F(t)$ 计算公式分别如下所示, 其中 N 为移动工业机器人总数;

$$R(t) = 1 - (i - 0.3)/(N + 0.4) \quad (1)$$

$$F(t) = (i - 0.3)/(N + 0.4) \quad (2)$$

c)统计得到如表 1 所示的移动工业机器人的可靠度和累计故障概率。

表 1 可靠度和累计故障概率的统计结果

序号	时间 t (小时)	可靠度 $R(t)$	累计故障概率 $F(t)$
1	t_1	$1 - (1 - 0.3)/(N + 0.4)$	$(1 - 0.3)/(N + 0.4)$
2	t_2	$1 - (2 - 0.3)/(N + 0.4)$	$(2 - 0.3)/(N + 0.4)$
...	...	...	...
n	t_n	$1 - (n - 0.3)/(N + 0.4)$	$(n - 0.3)/(N + 0.4)$

8 可靠性模型的参数估计

8.1 双参数指数分布的参数估计

双参数指数分布的累计故障概率函数 $F(t)$ 如下所示:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda(t-T)}, t > T \quad (3)$$

式中:

λ ——工业机器人的故障率;

T ——双参数指数分布的位置参数。

采用最小二乘法对双参数指数分布的未知参数进行估计。

令

$$y = \ln \frac{1}{1 - F(t)} \quad (4)$$

$$x = t \quad (5)$$

$$A = -\lambda T \quad (6)$$

$$B = \lambda \quad (7)$$

$$\hat{B} = \frac{l_{xy}}{l_{xx}} \quad (8)$$

$$\hat{A} = y - \hat{B}x \quad (9)$$

其中：

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \quad (10)$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x} \cdot \bar{y} \quad (11)$$

最终，得到故障率 λ 和参数 T 的估计值 $\hat{\lambda}$ 和 $\hat{T}$ 分别为：

$$\hat{\lambda} = \hat{B} \quad (12)$$

$$\hat{T} = -\hat{A} / \hat{B} \quad (13)$$

8.2 威布尔分布的参数估计

威布尔分布的累计故障概率函数 $F(t)$ 如下所示：

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \quad (14)$$

式中：

η ——尺度参数；

m ——形状参数。

采用最小二乘法对威布尔分布的未知参数进行估计。

对累计故障概率函数 $F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right]$ 进行变换，得

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} = m \ln \eta + m \ln t \quad (15)$$

$$y = \ln \ln \frac{1}{1 - F(t)} \quad (16)$$

$$x = \ln t \quad (17)$$

$$A = -m \ln \eta \quad (18)$$

$$B = m \quad (19)$$

则有

$$\hat{B} = \frac{l_{xy}}{l_{xx}} \quad (20)$$

$$\hat{A} = y - \hat{B}x \quad (21)$$

其中：

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - nx^2 \quad (22)$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - nx \cdot y \quad (23)$$

最终，得到尺度参数 η 和形状参数 m 的估计值 $\hat{\eta}$ 和 $\hat{m}$ 分别为：

$$\hat{\eta} = \exp(-\hat{A} / \hat{B}) \quad (24)$$

$$\hat{m} = \hat{B} \quad (25)$$

8.3 正态分布的参数估计

正态分布的累计故障概率函数 $F(t)$ 如下所示：

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (26)$$

式中：

μ ——均值；

σ ——标准差。

采用最小二乘法对正态分布的未知参数进行估计。

累计故障概率函数变换，得

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (27)$$

由于标准正态分布函数 $\Phi(x)$ 是严格单调上升的，故其存在反函数，且反函数为

$$\Phi^{-1}[F(t)] = t - \mu / \sigma \quad (28)$$

若令

$$y = \Phi^{-1}[F(t)] \quad (29)$$

$$x = t \quad (30)$$

$$A = \frac{1}{\sigma} \quad (31)$$

则有

$$B = -\frac{\mu}{\sigma} \quad (32)$$

$$\hat{B} = \frac{l_{xy}}{l_{xx}} \quad (33)$$

$$\hat{A} = y - \hat{B}x \quad (34)$$

其中：

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \quad (35)$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x} \cdot \bar{y} \quad (36)$$

最终，得到均值 μ 和标准差 σ 的估计值 $\hat{\sigma}$ 和 $\hat{\mu}$ 分别为：

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{\hat{A}} \quad (37)$$

$$\hat{\mu} = -\hat{A}\hat{B} \quad (38)$$

8.4 对数正态分布的参数估计

对数正态分布的累计故障概率函数 $F(t)$ 如下所示：

$$F(t) = \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (39)$$

式中：

μ ——对数均值；

σ ——对数标准差。

同样，采用最小二乘法对对数正态分布的未知参数进行估计。

累计故障概率函数变换，得

$$F(t) = \int_{-\infty}^{\frac{\ln t - \mu}{\sigma}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \Phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right) \quad (40)$$

由于标准正态分布函数 $\Phi(x)$ 是严格单调上升的，故其存在反函数，且反函数为

$$\Phi^{-1}[F(t)] = \frac{\ln t - \mu}{\sigma} \quad (41)$$

若令

$$y = \Phi^{-1}[F(t)] \quad (42)$$

$$x = \ln t \quad (43)$$

$$A = \frac{1}{\sigma} \quad (44)$$

$$B = -\frac{\mu}{\sigma} \quad (45)$$

则有

$$\hat{B} = \frac{l_{xy}}{l_{xx}} \quad (46)$$

$$\hat{A} = \bar{y} - \hat{B}\bar{x} \quad (47)$$

其中:

$$l_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \quad (48)$$

$$l_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x} \cdot \bar{y} \quad (49)$$

最终, 得到均值 μ 和标准差 σ 的估计值 $\hat{\mu}$ 和 $\hat{\sigma}$ 分别为:

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{\hat{A}} \quad (50)$$

$$\hat{\mu} = -\hat{A}\hat{B} \quad (51)$$

9 可靠性模型的拟合优度检验

可靠性模型拟合优度检验采用Kolmogorov-Smirnov 检验法。

原假设: 近似中位秩公式计算得到累积故障概率函数 $F_n(t)$ =拟合得到累积故障概率函数 $F(t)$ 。近似中位秩公式计算得到累积故障概率函数和拟合得到的累积故障概率函数之间的最大偏差 D_n 可由下面式子求得:

$$D_n = \sup_{0 \leq t < +\infty} |F_n(t) - F(t)| = \max_{1 \leq i \leq n} \{d_i\} \quad (52)$$

给定显著性水平 α , 查表 D_n 的极限分布表得到临界值 $D_{n,\alpha}$ 。当 $D_n < D_{n,\alpha}$ 时, 接受原假设; 反之则拒绝。

10 可靠性模型的优选

采用残差平方和最小的方式进行可靠性模型的优选。其残差平方和 SSE 如下所示：

$$SSE = \sum_{i=1}^n [F(t) - F_n(t)]^2 \quad (53)$$

可靠性模型的 SSE 值越小，模型的拟合效果越好。选择最小 SSE 值的可靠性模型作为工业机器人的最优可靠性模型。

11 可靠性指标的评估

根据得到工业机器人的可靠性模型 $F(t)$ ，评估其可靠性指标，包括：

a) 工业机器人故障密度函数 $f(t)$ 的计算公式如下所示：

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (54)$$

b) 工业机器人故障率 $\lambda(t)$ 的计算公式如下所示：

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (55)$$

c) 工业机器人可靠度函数 $R(t)$ 的计算公式如下所示：

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (56)$$

d) 工业机器人平均故障前时间 $MTTF$ 的计算公式如下所示：

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (57)$$

1) 对于双参数指数分布的可靠性模型，平均故障前时间 $MTTF$ 为：

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda(t-T)} dt = \frac{1}{\lambda} + T \quad (58)$$

2) 对于威布尔分布的可靠性模型，平均故障前时间 $MTTF$ 为：

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} t \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] dt = \eta \cdot \Gamma(1 + 1/m) \quad (59)$$

式中： $\Gamma(x)$ 为伽马函数。

3) 对于正态分布的可靠性模型，平均故障前时间 $MTTF$ 为：

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = u \quad (60)$$

4) 对于对数正态分布的可靠性模型，平均故障前时间 $MTTF$ 为：

$$MTTF = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} t\lambda e^{-\lambda t} dt = e^{\mu+\sigma^2/2} \quad (61)$$

12 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) 被测工业移动机器人说明；
- e) 试验统计方案；
- f) 试验设施和仪器情况；
- g) 试验中发生的故障次数、故障分类及故障处理情况；
- 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。

13 附录

附录 A (资料性附录) 试 验 记 录

A.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移动机器人试验时间, 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 A. 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 A. 1 中。

A.2 故障记录

A.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 A. 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, 故障时的工作条件和环境条件, 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。

A.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。

A.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 A. 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 A.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	审核人
___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				
				制造商：日期：___年___月___日		
				试验方： 日期：___年___月___日		

表 A.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____月____日
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? ☐ 是 ☐ 否 记录人签名: 日期: 年 月 日			
现场处理方法: ☐ 停机排故 ☐ 更换被测工业机器人 ☐ 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 A.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	☐ 关联故障 ☐ 非关联故障
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: 日期: 年 月 日			
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:			

《工业移动机器人可靠性测试与评定标准》

编制说明

一 工作简况

（一） 任务来源

随着《中国制造 2025》等国家战略的深入实施，工业移动机器人作为智能制造的重要组成部分，其可靠性受到高度重视。参考和借鉴国内外的相关标准和规范，编制工业移动机器人测试与评定标准，以提升工业移动机器人的技术水平，是确保可靠性生产的重要措施。同时，保证我国工业移动机器人测试与评定标准具有先进性和适用性，提升我国工业移动机器人在国际市场的竞争力。

（二） 国内关于工业移动机器人安全标准的制定情况及最新要求

2013 年由中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会发布了国家标准《工业机器人性能规范及其试验方法》(GB/T 12642-2013)，主要内容涵盖了工业机器人性能测试的条件、位姿特性、轨迹特性、最小定位时间、静态柔顺性、面向应用的特殊性能规范等，本标准给出试验方法中的哪些特性是对机器人性能起显著影响的性能指标，目的是便于机器人及其系统的制造商和用户间的沟通。本标准自实施之日起代替《工业机器人性能规范》和《工业机器人性能测试方法》两个标准。该标准于 2014 年 03 月正式实施。

2021 年由广东省电子信息行业协会发布的《工业机器人可靠性指标评价方法》(T/GDEIIA 4-2020)，主要内容涵盖了故障的分类和统计原则、可靠性指标评估的流程、故障数据的收集与统计、可靠性模型的参数估计、可靠性模型的拟合优度检验、可靠性模型的优选等，该标准于 2021 年 9 月实施。

随着人工智能、传感器等技术的快速发展，工业移动机器人具备更高的智能化水平，包括自主导航、环境感知、智能决策等能力，以提高工作效率。工业移动机器人的功能和应用场景不断拓展，对可靠性的要求也日益严格。国家鼓励和支持工业移动机器人可靠性测试和评定标准的制定和完善，以推动工业移动机器人产业的健康发展。工业移动机器人在设计、制造和使用过程中，必须充分考虑可靠性，确保机器人能够在各种复杂环境下稳定可靠运行。随着工业应用移动机器人技术的不断进步，新的问题和隐患可能不断出现，而现有标准可能无法及时覆盖这些新情况。

借于国内工业移动机器人的应用特点和实际情况，广州番禺职业技术学院作为主编单位承担了《工业移动机器人可靠性测试与评定标准》的编制工作。

（三） 标准编制的目的、意义

编制该标准的主要目的在于确保工业移动机器人在各种工作场景中的可靠性和稳定性，通过制定详细的测试内容和测试方法，标准有助于减少因机器人操作不当或设计缺陷导致的事故，从而提高工业移动机器人的可靠性。有助于推动工业移动机器人技术的健康发展和国内外工业移动机器人产业的交流与合作，提升我国在国际市场上的竞争力。

随着工业移动机器人技术的不断进步，该标准对机器人的可靠性测试方法和评定模型等方面给出了明确的步骤，以确保机器人在各种复杂环境下都能可靠地稳定运行。针对机器人可靠性指标模型，给出了四种参数估计模型，包括双参数指数分布的参数估计的模型、威布尔分布的参数估计的模型、正态分布的参数估计的模型、对数正态分布的参数估计模型，以提高可靠性测试的适应性。对机器人的可靠性指标的评估参数给出了详细的计算公式，以确保可靠性测试的有效性。

《工业移动机器人可靠性测试与评定标准》的编制对于保障工业移动机器人的可靠性测试和评定、推动产业发展以及提升国际竞争力具有重要意义。同时，该标准对现有标准的完善和升级也有助于提升工业移动机器人的整体技术水平，为未来的应用和发展奠定坚实基础。

（四） 标准特点

1. **本标准是对已有 T/GDEIIA 4-2020 使用范围的细化。**T/GDEIIA 4-2020 标准针对的是工业机器人可靠性指标的评价方法，本标准的应用对象工业移动机器人，应用对象更加细化。

2. **本标准是对已有 T/GDEIIA 4-2020 的有效补充。**在标准拟定过程中，充分借鉴国内外相关标准的技术条件，并结合国内目前主流厂家的生产工艺，以提高产品的可靠性测试为目标，补充了移动工业机器人 AGV 可靠性测试内容，包括基本功能测试、载重测试、运动性测试等 9 项测试内容，并给出了每个测试内容的测试参数和方法等，如运动性能测试主要是对额定速度、运动精度和正常停车三个方面。

3. **本标准与已有的 GB/T 12642-2013 形成互补。**新增的移动工业机器人 AGV 可靠性测试内容，以保障工业移动机器人测试的可参考性，在测试时可以利用 GB/T 12642-2013 中的性能测试条件与本标准的测试内容和故障数据二者结合去评估被测对象的可靠性，本标准是对 GB/T 12642-2013 标准的补充。

（四） 主要工作过程

1. 编制准备阶段

2023 年 9 月主编单位接到编制任务后，组织专业技术人员成立编制组，开展大量的资料收集和前期调研工作，编写完成标准大纲、标准初稿等。

2. 征求意见阶段

进行中

3. 送审阶段

未进行

4. 报批阶段

未进行

二 标准编制原则

（一）科学性原则：本标准编制是在科学理论和实践经验基础上，确保技术要求和规范具有科学性和可行性，能够有效指导实际施工过程。

（二）统一性原则：本标准编制统一了各方的要求和标准，确保项目参建单位在进行矿山生态修复过程中能够按照该标准进行操作，实施可行。

（三）公正性原则：本标准编制过程公正、公平、透明，确保标准的制定过程中各方利益的平衡，不偏袒任何一方，保证标准的客观性和公信力。

（四）可操作性原则：本标准编制时充分考虑了可操作性，确保项目参建单位能够对照标准的要求进行施工，避免标准过于理论化或难以实施的情况。

（五）合规性原则：本标准编制符合国家法律法规和相关行业的规范和标准，确保标准的合法性和合规性，遵循国家政策和法律要求。

三 标准主要内容

1. 范围：介绍工业移动机器人可靠性指标评价方法的术语和定义和适用范围等；
2. 规范性引用文件：本标准编制时引用的标准规范等文件；
3. 术语与定义：对本标准中所涉及的名词术语进行定义；
4. 移动工业机器人 AGV 可靠性测试内容：明确了工业移动机器人可靠性测试的主要方面及其包含的内容；
5. 故障分类和统计原则：明确工业移动机器人故障分类和统计依据；

6. 可靠性指标评估的流程：规定移动工业机器人运行可靠性指标评估的流程；
7. 故障数据的收集与统计：明确故障数据收集的范围和故障数据统计的步骤；
8. 可靠性模型的参数估计：指出了四种参数估计的模型，包括双参数指数分布的参数估计的模型、威布尔分布的参数估计的模型、正态分布的参数估计的模型、对数正态分布的参数估计的模型。
9. 可靠性模型的优选：给出可靠性模型优选的方案；
10. 可靠性指标的评估：根据可靠性模型明确可靠性指标参数；
11. 可靠性试验报告：给出可靠性试验报告包含的内容。

四 预期经济效果

工业移动机器人可靠性测试与评定标准的实施，预期将带来显著的经济效果。首先，通过确保机器人的安全操作，减少了因事故导致的停机时间和维修成本，提高了生产效率和产品质量。其次，标准的统一有助于推动工业移动机器人行业的规范化发展，提升整个行业的竞争力。此外，符合安全标准的机器人产品更易于获得市场认可，有助于拓展国内外市场，增加企业的经济收益。

五 采用国际标准和国外先进标准情况

在编制工业移动机器人可靠性测试与评定标准过程中，我们充分借鉴了国际标准和国外先进标准，结合国内实际情况进行了深入研究与修订。通过与国际接轨，确保我国工业移动机器人可靠性测试与评定标准达到国际先进水平，为产业发展提供有力支撑。

六 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

在编制工业移动机器人可靠性测试与评定标准过程中，我们严格遵循了相关的现行法律、法规和强制性国家标准，确保标准的合规性和权威性。同时，我们也充分考虑了机器人技术的发展趋势和应用需求。

七 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在起草过程中未出现重大分歧意见。

八 标准性质的说明

建议本标准为推荐性标准。

九 贯彻标准的要求和措施建议

本标准经征求各相关方意见，已形成共识，标准实施之日起，各相关方将遵照执行。

十 废止现行有关标准的建议

无。