



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39590.1—2020

---

## 机器人可靠性 第1部分：通用导则

Robot reliability—Part 1: General guidelines

2020-12-14 发布

2021-07-01 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
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语、定义和缩略语 .....	1
3.1 术语和定义 .....	1
3.2 缩略语 .....	2
4 设计开发 .....	3
4.1 概述 .....	3
4.2 可靠性指标体系 .....	3
4.3 可靠性分配 .....	3
4.4 可靠性建模和预计 .....	4
4.5 可靠性设计准则 .....	4
4.6 失效模式和影响分析 .....	5
4.7 故障树分析 .....	6
4.8 有限元分析 .....	6
4.9 耐久性分析 .....	6
4.10 可靠性设计评审 .....	6
5 物料管理 .....	6
5.1 概述 .....	6
5.2 物料管理要点 .....	6
5.3 物料管理程序或要求 .....	7
6 生产制造 .....	7
6.1 过程管控 .....	7
6.2 生产测试 .....	7
7 运行监测 .....	8
7.1 概述 .....	8
7.2 运行监测系统建设 .....	8
7.3 运行故障改进 .....	8
7.4 失效模式库构建 .....	9
8 可靠性试验 .....	9
8.1 概述 .....	9
8.2 可靠性研制试验 .....	10

8.3	寿命试验	11
8.4	可靠性验证试验	11
8.5	环境应力筛选	12
9	软件可靠性	12
9.1	概述	12
9.2	软件可靠性需求分配与分析	12
9.3	软件可靠性设计与实现	13
9.4	软件可靠性测试	13
9.5	软件可靠性维护	14
	参考文献	15

## 前 言

GB/T 39590《机器人可靠性》已发布了以下部分：

——第1部分：通用导则。

本部分为 GB/T 39590 的第1部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由国家机器人标准化总体组提出并归口。

本部分起草单位：上海机器人产业技术研究院有限公司、上海电器科学研究院、安徽巨鼎智能科技有限公司、科沃斯商用机器人有限公司、浙江钱江机器人有限公司、上海木木机器人技术有限公司、麦荷机器人(苏州)有限公司、上海节卡机器人科技有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、昆山企运网信息技术有限公司、扬州天苗科技有限公司、配天机器人技术有限公司、重庆德新机器人检测中心有限公司、北京京东乾石科技有限公司、广东省网纳智能装备有限公司、扬州中易科技有限公司、昆山思达软件集成有限公司、墨鲁智能科技(昆山)有限公司、青岛海德马克智能装备有限公司、上海电器科学研究所(集团)有限公司、上海电器设备检测所有限公司、上海添唯认证技术有限公司。

本部分主要起草人：张坤、黄慧洁、张韬、黄小中、赵振龙、沈文婷、梁恒康、张明星、李明洋、刘文威、张向通、吴宝伟、付伟宁、杨安坤、曹宇轩、杜龙刚、靳修峰、袁红中、蒋化冰、邢琳、凌益美、朱昊、陈灏、李小兵、王安基、王远航、黄武凯。



## 引 言

GB/T 39590 是指导机器人企业开展可靠性工作的通用性标准,拟由 4 个部分构成:

- 第 1 部分:通用导则。目的在于提供机器人全生命周期内可靠性工作的流程和方法。
- 第 2 部分:可靠性指标体系。目的在于为机器人的需方、评价者、供方提供统一的可靠性指标要求。
- 第 3 部分:软件测试方法。目的在于制定针对机器人相关软件的测试方法。
- 第 4 部分:可靠性评估方法。目的在于提供机器人可靠性定量评估工作的流程和方法。

为助力机器人产业和企业可靠性工程能力的提升,结合当前机器人产业发展和标准化现状,GB/T 39590 提供了机器人领域开展可靠性工作的通用方法和流程、测试评估方法以及指标的确定方法。



# 机器人可靠性 第1部分：通用导则

## 1 范围

GB/T 39590 的本部分规定了机器人生命周期内开展可靠性工作的设计开发、物料管理、运行监测、可靠性试验及软件可靠性。

本部分适用于 GB/T 12643—2013 中定义的所有机器人。

本部分可供机器人研制厂商、检测机构、用户使用。

## 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 7826 系统可靠性分析技术 失效模式和影响分析(FMEA)程序

GB/T 7827 可靠性预计程序

GB/T 7829 故障树分析程序

GB/T 12642 工业机器人 性能规范及其试验方法

GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇

GB/T 29309 电工电子产品加速应力试验规程 高加速寿命试验导则

GB/T 32466 电工电子产品加速应力试验规程 高加速应力筛选导则

GB/T 34986 产品加速试验方法

JB/T 10825 工业机器人 产品验收实施规范

## 3 术语、定义和缩略语

### 3.1 术语和定义

GB/T 12643—2013 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 12643—2013 中的某些术语和定义。

#### 3.1.1

##### 机器人 robot

具有两个或两个以上可编程的轴，以及一定程度的自主能力，可在其环境内运动以执行预期任务的执行机构。

注1：机器人包括控制系统和控制系统接口。

注2：按照预期的用途，机器人分类可划为工业机器人或服务机器人。

[GB/T 12643—2013, 定义 2.6]

#### 3.1.2

##### 可靠性 reliability

产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。

注：可靠性的概率度量称可靠度。

3.1.3

**失效率 failure rate**

故障率

在规定的条件下和规定的期间内,产品的故障总数与寿命单位总数之比。

3.1.4

**可靠寿命 reliable life**

给定的可靠度所对应的寿命单位数。

3.1.5

**任务可靠度 mission reliability**

任务可靠性的概率度量。

3.1.6

**平均故障间隔时间 mean time between failure; MTBF**

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。

注:可修复产品的一种基本可靠性参数。

3.1.7

**平均严重故障间隔时间 mean time between critical failures; MTBCF**

在规定的一系列任务剖面中,产品任务总时间与严重故障总数之比。

注:与任务有关的一种可靠性参数。原称致命性故障间的任务时间。

3.1.8

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

在规定条件下和规定的期间内,产品寿命单位总数与故障产品总数之比。

注:不可修复产品的一种基本可靠性参数。

3.1.9

**平均修复时间 mean time to repair; MTTR**

在规定的条件下和规定的期间内,产品在规定的维修级别上,修复性维修总时间与该级别上被修复产品的故障总数之比。

注:产品维修性的一种基本参数,是一种设计参数。

3.1.10

**可用性 availability**

产品在任一时刻需要和开始执行任务时,处于可工作或可使用状态的程度。

注:可用性的概率度量称可用度。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

FMEA:失效模式和影响分析(Failure Mode and Effect Analysis)

FTA:故障树分析(Fault Tree Analysis)

HALT:高加速寿命试验(Highly Accelerated Life Test)

HASS:高加速应力筛选(Highly Accelerated Stress Screening)

SFMEA:软件失效模式和影响分析(Software Failure Mode and Effect Analysis)

SFTA:软件故障树分析(Software Fault Tree Analysis)

SIP:标准检验程序(Standard Inspection Procedure)

SOP:标准作业程序(Standard Operation Procedure)

TAAF; 试验-分析-改进 (Test, Analyze And Fix)

## 4 设计开发

### 4.1 概述

机器人可靠性的设计开发包含一系列的工作项目。机器人研发过程中可选择对机器人设计有效的可靠性工作项目,发现机器人的薄弱环节并加以改进,满足产品可靠性设计要求。

### 4.2 可靠性指标体系

#### 4.2.1 可靠性指标

机器人可靠性指标主要有可靠度、失效率、平均故障间隔时间(MTBF)、平均修复时间(MTTR)、平均故障前时间(MTTF)、平均严重故障间隔时间(MTBCF)、可用度、使用寿命、可靠寿命、任务可靠度等。

#### 4.2.2 指标选取

机器人及零部件的故障特点不同,选取考核的可靠性指标有:

- a) 考核机器人、软件及零部件的故障次数,宜选用可靠度、失效率、MTBF;
- b) 考核机器人的早期故障,宜选用 MTTF;
- c) 考核机器人的可用性,宜选用可用度、MTBF、MTBCF、MTTR;
- d) 考核机器人及其零部件的耐久性,宜选用使用寿命、可靠寿命。

#### 4.2.3 指标水平的确定

机器人可靠性指标水平的确定应基于以下因素或原则:

- a) 依据机器人的寿命剖面 and 任务剖面;
- b) 基于机器人研制企业的研发能力;
- c) 参考以往机器人产品的可靠性水平;
- d) 参考行业同类机器人产品的可靠性水平;
- e) 可靠性指标水平的选取宜高于使用方的要求值;
- f) 机器人零部件的可靠性指标水平可单独提出,但应满足机器人的总体可靠性水平;
- g) 对于相互关联的可靠性指标,所确定的可靠性指标水平应相互匹配。

## 4.3 可靠性分配

### 4.3.1 分配对象

可靠性分配的对象是可靠性指标,分为两类:

- a) 描述机器人基本可靠性的指标,如可靠度、失效率、MTBF 等;
- b) 描述机器人任务可靠性的指标,如任务可靠度、MTBCF 等。

### 4.3.2 分配原则

可靠性分配的主要原则有:

- a) 可靠性指标分配在机器人研制阶段的早期进行;



- b) 根据各模块能够达到的可靠性量值进行分配,可靠性分配宜与可靠性预计工作结合进行;
- c) 对复杂度较高的模块,分配较低的可靠性指标;
- d) 对在恶劣环境条件下工作的模块,分配较低的可靠性指标;
- e) 对失效率高的模块,分配较低的可靠性指标;
- f) 对不易维修、更换的零部件,分配较高的可靠性指标;
- g) 对不易版本升级与迭代的软件模块,分配较高的可靠性指标;
- h) 对故障致命性高的模块,分配较高的可靠性指标;
- i) 对已有可靠性指标或使用成熟的模块,不再单独分配。

#### 4.3.3 分配方法

工程上,常用的可靠性分配方法有等分配法、评分分配法、比例组合分配法等:

- a) 等分配法默认机器人各组成模块单元重要度、复杂度等情况相同,将机器人的可靠性定量要求平均分配到规定层次。该方法简单,适用于粗略分配。
- b) 评分分配法是由有经验的技术专家对相关因素进行评分,根据评分结果给每个单元分配可靠性指标。当缺乏有关机器人的可靠性数据时,可选用该方法。
- c) 比例组合分配法是将机器人的可靠性定量要求按机器人和各模块失效率数据的比例进行可靠性指标分配。该方法适用于新研、历史机器人结构相似,而且有历史统计数据或者新研机器人各模块预计数据的串联系统。

#### 4.4 可靠性建模和预计

机器人可靠性建模和预计应在研制阶段的早期进行。当产品的设计条件、环境要求、应力数据、失效率数据、工作模式发生重要变更时,应及时修正模型并重新预计。

机器人可预计的可靠性指标,常见的有失效率、MTBF等。机器人可靠性模型的建立和可靠性预计按照 GB/T 7827 规定的程序和方法进行。

#### 4.5 可靠性设计准则

##### 4.5.1 准则制定

可靠性准则的制定宜符合以下程序:

- a) 收集机器人的可靠性要求、相似产品的可靠性设计准则、历史项目的可靠性设计经验等,归纳形成准则草案;
- b) 逐条审查可靠性设计准则草案的适用性与可行性;
- c) 确定可靠性设计准则。

##### 4.5.2 主要准则

###### 4.5.2.1 概述

可靠性设计准则通常包含简化设计、降额设计、冗余设计、热设计、环境防护设计、电磁兼容设计、储存和运输设计等。

###### 4.5.2.2 简化设计

在保证性能要求及便于制造装配维修的前提下,可简化产品的零部件尺寸精度、形位要求、结构或整个模块、系统的要求。主要简化原则有:

- a) 对机器人功能进行分析权衡,合并相同或相似功能,消除不必要的功能;
- b) 在满足规定功能要求的条件下,尽可能减少产品层次和零部件的数量;
- c) 最大限度地采用通用的零部件,在合理范围内尽量减少其供应商数量;
- d) 尽量使用成熟的模块或单元。

#### 4.5.2.3 降额设计

机器人电气模块的降额设计工作,主要是确定降额等级、降额参数和降额因子(工作应力与额定应力之比)等。

机器人机械模块的降额设计工作,通常是采用提高强度均值、降低应力均值、降低应力和强度方差等基本方法,找出应力与强度的最佳匹配。

#### 4.5.2.4 冗余设计

机器人的冗余设计主要原则有:

- a) 当简化设计、降额设计及选用高可靠性的模块仍不能满足任务可靠性要求时,采用冗余设计;
- b) 在质量、体积、成本允许的条件下,冗余设计比其他设计方法更能满足任务可靠性要求;
- c) 对于影响任务成功的关键模块,如有单点故障模式,可考虑采用冗余设计;
- d) 冗余设计中宜重视冗余转换的设计,尽量选择高可靠的转换模块。

#### 4.5.2.5 热设计

合理的散热设计可降低产品的工作温度及产品的失效率。热设计主要原则有:

- a) 通过控制散热量来控制温升;
- b) 选择合理的热传递方式(传导、对流、辐射);
- c) 尽量减小传热路径的热阻;
- d) 选择合理的冷却方式(自然、强迫);
- e) 热设计宜与其他设计(电气设计、结构设计、材料选型等)同时进行,当出现矛盾时进行权衡分析,折中解决,但不应有损电气性能。

#### 4.5.2.6 环境防护设计

机器人的环境防护设计包括温度防护设计、冲击与振动的防护设计、“三防”设计(防潮湿、防盐雾和防霉)、防雷击设计、外壳防护设计等。

注:要特别注意综合环境防护设计问题,例如采用整体密封结构,不仅能起到“三防”作用,也能起到对电磁环境的防护作用。

#### 4.5.2.7 电磁兼容设计

机器人产品的电磁兼容设计宜从组件、模块、系统等层级考虑。例如,工业机器人的电磁兼容设计,包含考虑示教器、控制柜、机器人本体等。

#### 4.5.2.8 储存与运输设计

储存与运输设计宜考虑产品在包装、储存、装卸与运输过程中可能出现的故障,并对包装、储存、装卸与运输方式提出约束要求。

### 4.6 失效模式和影响分析

FMEA(包括 SFMEA)宜在研制早期与设计过程同步进行,机器人的 FMEA 分析按照 GB/T 7826

的程序进行。

#### 4.7 故障树分析

运用演绎法逐级分析,寻找导致某故障事件(顶事件)的可能原因,直到最基本的原因,并通过逻辑关系的分析确定潜在的硬件、软件的设计缺陷,以便采取改进措施。

机器人的故障树分析(FTA)按照 GB/T 7829 的程序进行。

#### 4.8 有限元分析

在设计过程中对产品的机械强度和热特性等进行分析与评价,尽早发现承载结构和材料的薄弱环节及产品的过热部分,以便及时采取设计改进措施。有限元分析要点有:

- a) 在产品研制进展到设计和材料基本确定时进行有限元分析;
- b) 进行有限元分析的关键是要正确建立产品结构和材料对负载或环境响应的模型;
- c) 对有安全要求和任务关键的机械结构件与产品,尽量实施有限元分析。

#### 4.9 耐久性分析

通过分析产品在预期寿命周期内的应力载荷、结构、材料特性、故障模式、故障机理等来识别过早出现的与损耗故障有关的设计问题,以便采取改进措施。

机器人耐久性分析的程序有:

- a) 确定机器人工作与非工作寿命要求;
- b) 确定机器人寿命剖面,包括温度、湿度、振动等,从而量化载荷和环境应力,确定运行比;
- c) 识别材料特性,通常参考相关行业手册;
- d) 确定机器人可能发生的故障部位;
- e) 计算零部件或产品的寿命,确定预期的时间(或周期)内是否发生故障。

#### 4.10 可靠性设计评审

组织非直接参加设计的各有关方面专家参见 GB/T 7828 进行可靠性设计评审,评审结果宜达到的目的有:

- a) 对设计进行及时详细的论证;
- b) 发现和纠正潜在的设计缺陷;
- c) 为改进设计提供信息;
- d) 加速设计的成熟。

### 5 物料管理

#### 5.1 概述

对机器人各元器件零部件物料进行可靠性管理,保证机器人产品的基础可靠性水平及稳定批量生产。

#### 5.2 物料管理要点

物料管理要点包括:

- a) 根据机器人产品的规格和额定使用环境,制定物料的选择、认证和使用要求;

- b) 机器人设计开发过程宜包括物料的工程验证,并形成项目管控文件;
- c) 编制合格供应商名录和选用指南;
- d) 严格控制合格供应商名录之外的物料选用;
- e) 制定批量生产阶段机器人的物料替代供应商选择、工程验证等项目管控要求。

### 5.3 物料管理程序或要求

机器人物料管理宜建立以下管理程序或要求:

- a) 合格供应商名录的确认程序;
- b) 选用指南外物料的确认程序;
- c) 物料的验收程序,包括必要时的元器件筛选要求;
- d) 物料运输、仓储的管理要求。

上述程序与管理要求的制定,以保障机器人项目成功的时间、成本、质量等要求为主,各责任方宜根据实际情况执行。

## 6 生产制造

### 6.1 过程管控

宜对机器人的生产制造过程进行有效的监管和管控,以保障机器人生产制造与设计要求的一致性,包括:

- a) 建立机器人生产制造过程的 SOP 制定与评审机制,SOP 流程宜重点管控机器人设计开发过程中的物料、组装等问题风险。
- b) 建立机器人生产制造过程的工艺与操作参数记录机制,保障参数记录的完整性和有效性。
- c) 建立机器人生产制造过程中 SIP 产品检验规范的制定与评审机制,包括各机器人的功能检查、性能检测项。SIP 中的各检测项目宜根据实际情况确定。
- d) 建立机器人生产制造过程的变更管理与评审机制,包括产品技术变更、物料变更、生产变更、测试与检验规范变更等。

### 6.2 生产测试

#### 6.2.1 测试分类

机器人生产测试的目的是识别批量生产阶段产品来料、组装、工艺等制程的变异。常见的机器人生产测试分为两类:

- a) 抽检类测试;
- b) 全检类测试。

#### 6.2.2 抽检类测试

抽检类测试,通常选取机器人研制试验项目。一般考虑产品的寿命剖面、使用环境、典型任务等,制定较为严酷的测试项目。测试样品的抽样方案参见 GB/T 2828.1。通过抽样测试与研发阶段测试结果的对比,实现监测批量生产可靠性水平稳定与否。

#### 6.2.3 全检类测试

全检类测试,也可称为广义环境应力筛选,一般采用接近用户环境与工况的测试条件,全批次方式

进行可靠性测试。

考虑产品的研发问题、寿命剖面、测试周期与成本等,制定较为严酷的测试项目。

机器人常用的全检类测试为连续运行测试,其条件制定重点考虑产品的典型任务与程序指令,测试条件包括测试时间、载荷输入、测试环境条件、功能性能检查项与检查周期等。例如,JB/T 10825 给出了工业机器人连续运行测试的一般条件,工况条件为额定负载下关节 100% 额定速度动作,连续运行时间为 120 h,并实时监测工业机器人动力消耗、压力波动、温升等。

## 7 运行监测

### 7.1 概述

运行监测主要包括三个阶段活动:

- a) 运行监测系统建设;
- b) 运行故障改进;
- c) 失效模式库构建。

### 7.2 运行监测系统建设

#### 7.2.1 监测信息要点

机器人运行监测系统宜覆盖机器人的日志记录、失效故障模式、改进措施等信息。对于机器人的功能与性能运行的监测,以识别机器人故障异常或性能超出为基本要求。对于机器人运行信息与数据的监测应注意:

- a) 系统监测数据与所描述机器人状态一致,数据要客观反映设备的状态;
- b) 保障监测数据采集的完整性和有效性,包括数据采集时间段的完整性、多源信号的完整性、数据值无缺失等;
- c) 考虑监测数据的时效性要求和时延性特点;
- d) 考虑监测系统的采样频率、数据处理时间对齐的问题;
- e) 考虑监测系统的智能化要求,例如,实现重要机器人的现场运行趋势预测及故障诊断。

#### 7.2.2 监测系统建设原则

运行监测系统的建设,宜考虑机器人功能与性能的可测试性、运行监测成本、客户需求等。监测系统建设原则有:

- a) 高可靠性:监测系统的可靠性水平高于机器人可靠性指标,可实现持续性和稳定性运行,可用 MTBF 作为系统建设指标;
- b) 低干扰性:数据的采集与监测不能影响机器人的实际作业,不能影响和修改机器人的控制信号;
- c) 高计算能力:对多通道采集和大数据量的实时处理;
- d) 良好的扩展性:支持按照客户的需求进行优化;
- e) 易用性强:拥有良好的人机界面。

### 7.3 运行故障改进

#### 7.3.1 改进活动

运行监测系统识别到关键故障与风险后宜进行如下改进活动:

- a) 故障快速定位；
- b) 机理分析；
- c) 复现性测试；
- d) 问题改进与验证；
- e) 解决措施落地。

运行故障改进活动可结合机器人故障风险类型、费用成本、客户需求等进行适当优化。

机器人运行故障的维修和维修保障计划的制定与执行活动,参见 GB/T 9414.9。

### 7.3.2 改进流程

运行故障改进流程：

- a) 运行监测系统,从机器人传感器上获取各类数据,经过相关报警参数提取与预处理后,对疑似故障的信号特征进行报警；
- b) 报警提示显示在监测系统的人机交互界面上,也可通过接口主动推送给相关责任部门；
- c) 责任部门接到报警提示后对系统数据和报警信息进行分析,判断是否为机器人的故障,按类别进行记录处理；
- d) 责任部门通过故障定位、机理分析、测试复现、改进及验证等工作,确定故障改善措施,并明确各问题的解决措施并落实责任人和目标日期。

### 7.4 失效模式库构建

失效模式库的构建可实现历史产品的故障闭环与总结,便于指导新研产品的可靠性设计、测试对比等。机器人失效模式库包含如下信息：

- a) 产品型号信息,主要记录机器人的可靠性设计属性、零部件属性、制造工艺属性等；
- b) 使用环境信息,主要记录机器人客户的使用任务剖面信息、工作环境信息、使用时长等；
- c) 故障信息,主要记录机器人的故障位置信息、故障时间、故障比例、失效机理等；
- d) 改善措施信息,主要记录机器人的解决措施(含设计改进或者预防性维修)、问题验证性测试信息等。

## 8 可靠性试验

### 8.1 概述

可靠性试验是为了解、分析、提高、评价产品的可靠性而进行的测试工作总称。可靠性试验分类见图 1。各试验的目的、适用对象和适用时机见表 1。

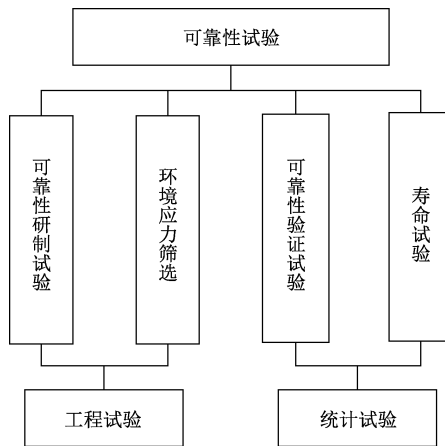


图 1 可靠性试验分类图

表 1 各类试验项目的目的、使用对象和适用时机

试验类型	目的	适用对象	适用时机
可靠性研制试验	对产品施加适当的环境应力、工作载荷,暴露产品中的潜在缺陷	适用于机器人及各零部件	产品的研制阶段
寿命试验	验证产品在规定的条件下的使用寿命、储存寿命是否达到规定的要求	适用于有使用寿命、储存寿命要求的机器人及各零部件	产品的研制早期和中期
可靠性验证试验	验证产品可靠性是否达到规定的水平	适用于机器人及各零部件	产品的研制阶段中期和后期、生产阶段
环境应力筛选	在产品交付使用前发现和排除不良元器件、制造工艺和其他原因引入的缺陷造成的风险	主要适用于机器人的电子零部件,也可用于机器人整机	产品的生产阶段

## 8.2 可靠性研制试验

### 8.2.1 目的

通过对产品施加适当的环境应力、工作载荷,暴露产品中的潜在缺陷,以改进设计,提高产品的固有可靠性水平。

### 8.2.2 可靠性研制试验开展原则

开展机器人可靠性研制试验应遵从以下原则:

- a) 在研制阶段应尽早开展可靠性研制试验,通过 TAAF 过程来提高机器人的可靠性。
- b) 可靠性研制试验是设计开发试验的组成部分,尽可能与其他研制试验结合进行。
- c) 可靠性研制试验可采用加速应力进行,诱发故障以识别薄弱环节,或验证设计余量。工程较为常用的试验方法,如 HALT 测试,具体测试方法按照 GB/T 34986 或 GB/T 29309。



- d) 可靠性研制试验的应力选择应综合考虑环境条件、工作载荷、薄弱环节、敏感应力等因素。
- e) 可靠性研制试验的时间选择应以有效激发故障为出发点。例如,在机器人研制阶段常开展的可靠性摸底试验,一般测试时间为 120 h 或者 240 h。对于小概率故障的激发,测试时间也可延长到机器人最低寿命要求的 20%~30%。

### 8.3 寿命试验

#### 8.3.1 目的

发现产品中可能过早发生耗损的零部件,以确定影响产品寿命的根本原因和可能采取的纠正措施;验证产品在规定条件下的使用寿命和储存寿命是否达到规定的要求。

#### 8.3.2 试验要点

试验要点有:

- a) 寿命试验适用于产品的研制早期和中期。
- b) 对有寿命要求的机器人及零部件,进行寿命试验。
- c) 为缩短试验时间,在不改变失效机理的条件下可采用加速寿命试验方法。加速寿命试验一般在零部件级进行。加速寿命测试具体方法按照 GB/T 34986 执行。
- d) 对于耐久性测试,主要考虑耗损性故障和可监测的性能退化指标。耐久性测试可采用任务加速的方式实施。耐久性测试宜确定测试环境条件、应力载荷、运行程序与剖面、性能监测指标等。例如,对工业机器人,运行程序应考虑机器人各关节的速度、加速度、行程等参数设置。一般地,速度设置为最大值,加速度设置为额定值,各关节行程不小于 75%。可监测的性能退化指标有摩擦力、背隙、刚度、精度、功率、发热量等,精度类性能指标的选择按照 GB/T 12642 执行。
- e) 寿命试验方案与结论宜进行评审确定。

### 8.4 可靠性验证试验

#### 8.4.1 目的

验证产品的设计是否达到了规定的可靠性要求。可靠性验证试验的数据可用于产品可靠性评估工作,通常是评估产品的 MTBF 值,给出产品 MTBF 值的置信下限。

#### 8.4.2 试验要点

试验要点有:

- a) 对有可靠性指标要求的机器人,特别是任务关键的或新技术含量较高的机器人,进行可靠性验证试验。试验一般在第三方进行。
- b) 可靠性验证试验尽可能在较高层次的模块上进行,以充分考核接口的实际情况,提高试验的真实性。
- c) 可靠性验证试验适合在机器人量产前的阶段执行。
- d) 统计方案参见 GB/T 5080.7 或 IEC 61124。
- e) 可靠性验证试验前和试验后进行评审。



## 8.5 环境应力筛选

### 8.5.1 目的

对产品施加规定的环境应力,以发现和剔除制造过程中的不良零部件、工艺缺陷等使用阶段的早期故障。

### 8.5.2 试验要点

试验要点有:

- a) 机器人批量生产初期应进行环境应力筛选,在批量生产中、后期可根据批次数量及质量稳定情况进行全样或抽样筛选。
- b) 环境应力筛选可以在机器人的任何装配级上进行。对大型系统应优先考虑在较低装配级上进行筛选。
- c) 机器人的环境应力筛选,可参见 IEC61163-2。对于零部件、机器人模块,一般根据缺陷类型确定筛选应力。除温度循环和随机振动以外,其他应力也可以作为环境应力。
- d) 为缩短筛选的时间,可采用 HASS 法,快速发现机器人使用阶段的早期缺陷。筛选程序按照 GB/T 32466 进行。

## 9 软件可靠性

### 9.1 概述

软件可靠性工程活动贯穿机器人软件全生命周期,机器人软件包括机器人示教器软件、机器人嵌入式软件及机器人管理软件。机器人软件全生命周期可靠性工程活动主要包括:需求获取、需求分析、软件设计与编码实现、软件测试、验收交付、使用维护等阶段,见图 2。

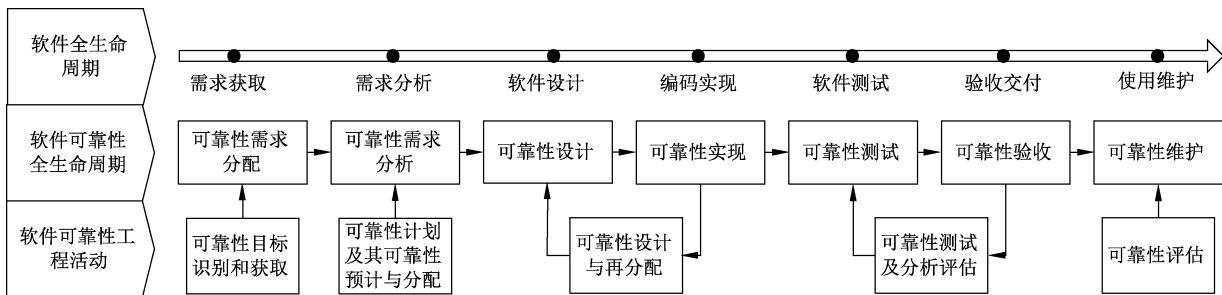


图 2 机器人软件全生命周期可靠性工程活动图

### 9.2 软件可靠性需求分配与分析

#### 9.2.1 目的

软件可靠性的需求分配与分析是从使用角度提出机器人软件开发的可靠性目标和需求,选取相关软件可靠性指标以分配形式给出或确定,为机器人软件可靠性分析、设计、测试、评估、验收等提供依据。软件可靠性指标体系选用原则见 4.2。

## 9.2.2 软件可靠性需求分配与分析要点

机器人软件的可靠性需求分配与分析要点如下：

- a) 在需求获取和识别的过程中,进行机器人软件开发策划,制定软件可靠性计划,明确软件可靠性目标、工作项目及其工作要求;
- b) 基于机器人软件的可靠性分配与预计,调整并确定软件可靠性目标;
- c) 将机器人软件可靠性目标与需求转化成可靠性指标体系,同机器人软件的功能、性能等一起分析并分配下达给各配置项、软部件,直至软件单元和相关人员;
- d) 确保机器人软件开发人员能明确其所承担的软件可靠性指标。

## 9.3 软件可靠性设计与实现

### 9.3.1 软件可靠性建模

软件可靠性建模宜在机器人软件需求获取与分析阶段,与软件可靠性指标体系的建立同步开展。软件可靠性模型的建立按照 GB/T 7827 规定的程序和方法进行。

### 9.3.2 软件可靠性分配

软件可靠性分配宜采用给定的方法将机器人软件的可靠性目标与需求分配到各个配置项、软部件直至软件单元。软件可靠性分配相关准则见 4.3。

### 9.3.3 软件可靠性预计

软件可靠性预计一般流程如下：

- a) 根据机器人软件体系结构、具体特征,选用合适的机器人软件可靠性模型;
- b) 利用相关的可靠性数据和开发信息,估计拟开发软件是否能达到既定的可靠性目标;
- c) 针对性地提出预防措施。

### 9.3.4 软件可靠性分析

软件可靠性分析用于机器人软件全生命周期过程的不同阶段,一般流程如下：

- a) 根据机器人软件的可靠性目标与需求,采用软件失效模式和影响分析(SFMEA)、软件故障树分析(SFTA)等方法进行分析;
- b) 找出机器人软件设计过程中的薄弱环节;
- c) 消除单点故障;
- d) 有目的、有计划地采取预防和控制措施。

## 9.4 软件可靠性测试

### 9.4.1 概述

软件可靠性测试主要技术包括:机器人软件建模技术、机器人软件可靠性测试数据生成技术、机器人软件可靠性测试环境构造技术等。

### 9.4.2 软件可靠性增长测试

机器人软件可靠性增长测试以迭代的方式进行,一般流程包括：

- a) 构建操作剖面。

- b) 准备测试环境。
- c) 生成测试数据。
- d) 测试运行。
- e) 分析测试结果并改正软件缺陷；评估、分析可靠性水平，如不满足要求，则回到准备测试环境流程。
- f) 达到目标要求，结束测试。

#### 9.4.3 软件可靠性确认测试

机器人软件可靠性确认测试是机器人软件发放或交付前，为确定合同约定或者具体标准规定的指标得到满足，而组织实施的最终测试，并最终验收。

#### 9.5 软件可靠性维护

软件可靠性维护要求一般由研制厂商和用户自行决定。



参 考 文 献

- [1] GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划
- [2] GB/T 5080.7 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案
- [3] GB/T 7828 可靠性设计评审
- [4] GB/T 9414.9 维修性 第9部分:维修和维修保障
- [5] IEC 61124 Reliability testing—Compliance tests for constant failure rate and constant failure intensity
- [6] IEC 61163-2 Reliability stress screening—Part 2:Components
- 

