



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 40575—2021

---

## 工业机器人能效评估导则

Guidelines of energy efficiency evaluation for industrial robots

2021-10-11 发布

2022-05-01 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 工业机器人能效评估流程 ..... 3

5 工业机器人能效测试方法 ..... 4

6 工业机器人能效评估指标 ..... 7

7 评估报告的编写 ..... 10

附录 A（资料性附录） 工业机器人能效评估示例 ..... 11

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国自动化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：重庆大学、中机生产力促进中心、重庆华数机器人有限公司、苏州苏相机器人智能装备有限公司、苏州傲特敏机器人技术服务有限公司、北京机械工业自动化研究所有限公司、苏州大学、江苏汇博机器人技术股份有限公司、南京熊猫电子装备有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、福州广泰机械设备有限公司、国机智能技术研究院有限公司、上海沃迪智能装备股份有限公司。

本标准主要起草人：曹华军、孙婷婷、江沛、杨海滨、孙立宁、瞿卫新、杨品、尹作重、赵新波、辛明哲、陈国栋、王振华、陈彬、高宏伟、秦修功、杜已超、王富林、李志海、吴晓岚、贾建民、童上高、何杏兴、王呈栋。

# 工业机器人能效评估导则

## 1 范围

本标准规定了工业机器人能效评估术语和定义、能效评估流程、能效测试方法、能效评估指标、能效分析及评估报告的编写。

本标准适用于工业机器人本体能效评估,不包括末端执行器能效。

注:末端执行器是指安装在机器人机械接口的焊枪、喷枪、切削主轴等。

## 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 12642—2013 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 12644—2001 工业机器人 特性表示

## 3 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。

### 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,可对三个和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。

[GB/T 12643—2013,定义 2.9]

### 3.2

#### 负载 **load**

在规定速度和加速度条件下,沿着运动各个方向,机械接口处可承受的力和/或扭矩。

注:改写 GB/T 12643—2013,定义 6.2.1。

### 3.3

#### 额定负载 **rated load**

正常操作条件下作用于机械接口且不会使机器人性能降低的最大负载。

注:改写 GB/T 12643—2013,定义 6.2.2。

### 3.4

#### 机器人电机使能 **enable robot motors**

使能装置允许机器人电机运行。

### 3.5

#### 机器人电机取消使能 **disable robot motors**

使能装置禁止机器人电机运行。

3.6

**上电状态 power-on state**

工业机器人总电源接通但电机取消使能的状态。

3.7

**空载运行 unloaded operation**

工业机器人机械接口不具有负载的情况下,接通工业机器人总电源并使能电机,按照预先编制程序运行的状态。

3.8

**额定负载运行 rated loaded operation**

工业机器人机械接口具有额定负载的情况下,接通工业机器人总电源并使能电机,按照预先编制程序运行的状态。

3.9

**上电平均功率 power-on average power**

工业机器人在上电状态下功率值,包括机器人除驱动电机外电气装置功率的总和。

3.10

**空载平均功率 average power without load**

工业机器人在空载状况下,一个或几个循环周期内所有电器装置总功率的平均值。

3.11

**额定负载平均功率 average power with rated load**

工业机器人在额定负载状况下,一个或几个循环周期内所有电器装置总功率的平均值。

3.12

**空载运行总能耗 total energy consumption without load**

工业机器人在无负载状况下机器人所消耗的总能量。

3.13

**本体能耗 body energy consumption**

工业机器人在无负载状况下机器人本体所消耗的能量。

3.14

**额定负载运行总能耗 total energy consumption with rated load**

工业机器人在额定负载状况下机器人本体及额定负载所消耗的总能量。

3.15

**额定负载能耗 energy consumption with rated load**

工业机器人在额定负载状况下额定负载所消耗的能量。

3.16

**本体能效 body energy efficiency**

工业机器人在无负载状况下机器人本体能耗与空载运行总能耗的比值。

3.17

**额定负载能效 energy efficiency with rated load**

工业机器人在额定负载状况下机器人额定负载能耗与额定负载运行总能耗的比值。

3.18

**工业机器人能效评估 energy efficiency evaluation for industrial robots**

对工业机器人能量效率的分析及其量化表示。

注:包括能量效率指标的确定,能量数据的获取和能量效率指标的计算等内容。

## 4 工业机器人能效评估流程

### 4.1 能效评估流程图

工业机器人能效评估流程如图 1 所示：

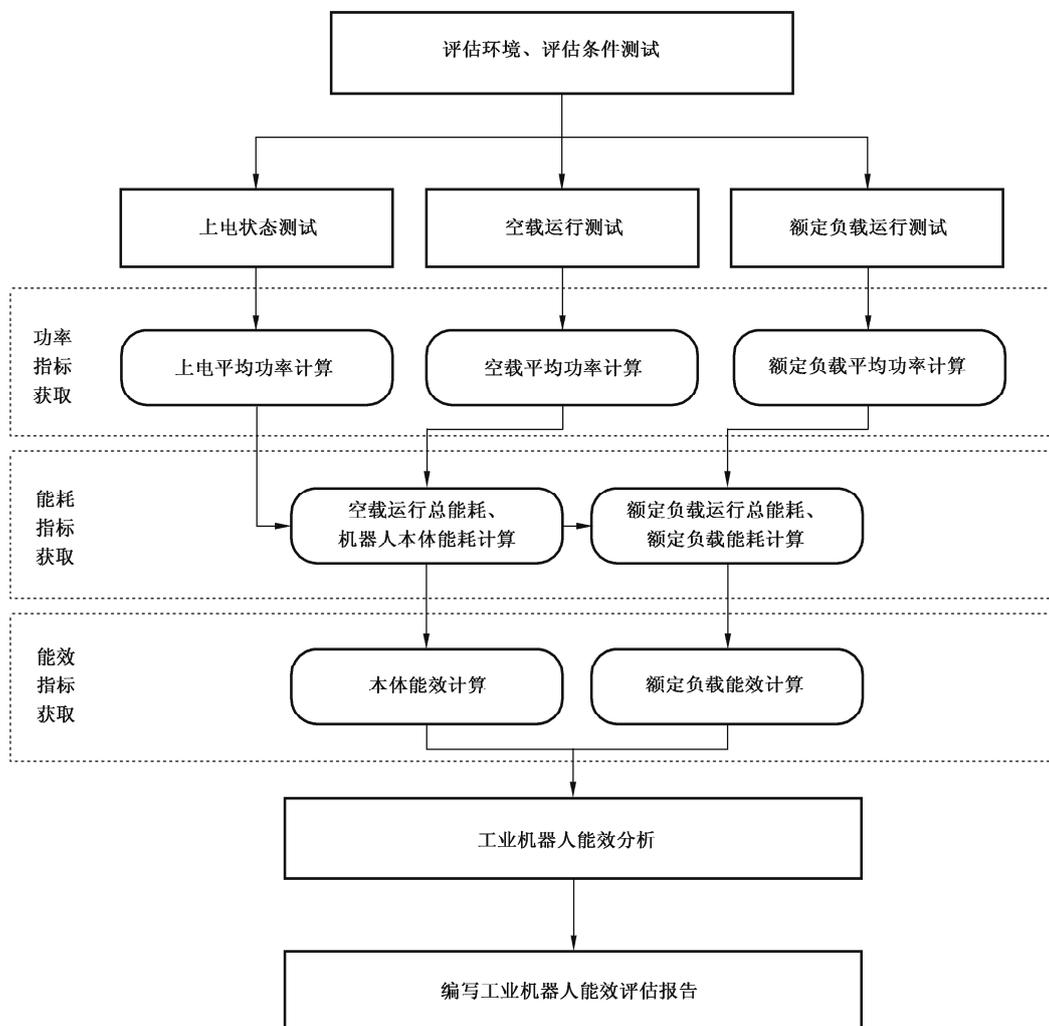


图 1 工业机器人能效估流程

### 4.2 能效评估步骤

工业机器人能效评估具体操作步骤如下：

- 确定循环运动轨迹并编写循环运动程序；
- 测定确定的负载重心偏移参数、能效测试环境，并记录；
- 热机操作；
- 接入功率检测设备；
- 按 5.6~5.8 进行工业机器人上电状态测试、空载运行测试和额定负载运行测试，获取工业机器人上电状态功率曲线、空载运行功率曲线和额定负载运行功率曲线；
- 按式(1)~式(3)分别进行计算工业机器人上电平均功率、空载运行平均功率和额定负载运行

平均功率等功率数据；

- g) 在功率数据的基础上,按式(4)~式(7)分别计算工业机器人空载运行总能耗、本体能耗、额定负载总能耗和额定负载能耗等功率数据；
- h) 在能耗数据的基础上,按式(8)、式(9)分别计算工业机器人本体能效和额定负载能效等能效数据；
- i) 围绕上电平均功率、空载平均功率、额定负载平均功率、本体能效和额定负载能效等指标,分析工业机器人能效水平；
- j) 编写工业机器人能效评估报告。

工业机器人能效评估示例参见附录 A。

## 5 工业机器人能效测试方法

### 5.1 一般要求

#### 5.1.1 单位

测试中涉及的电压、能量、功率、时间、长度、速度等,单位应采用国际单位制(SI)。

#### 5.1.2 功率检测设备

测试前,应对功率检测设备进行校准,并在评估报告中注明功率检测设备的误差。

#### 5.1.3 测试温度

测试的环境温度应保持在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 范围内,采用其他的环境温度应在评估报告中指明并加以解释。

为使机器人和测试设备在实验前处于热稳定状态下,应将它们置于试验环境中足够长的时间(最好一昼夜)。还应防止通风和外部热辐射(如阳光、加热器)。

#### 5.1.4 操作条件

测试中的正常操作条件,应由工业机器人制造商指明。正常操作条件,包括对电源的要求,最大单轴速度要求,负载限制等。

### 5.2 热机要求

工业机器人在进行能效测试前应进行热机操作,热机操作应符合 GB/T 12642—2013 中的要求。

### 5.3 机械接口的额定负载

额定负载运行测试应在 100%额定负载条件下进行,即制造商规定的质量、重心位置和惯性力矩。额定负载的重心位置应符合 GB/T 12644—2001 的附录 A 中给出的负载重心偏移参数。

### 5.4 设备连接

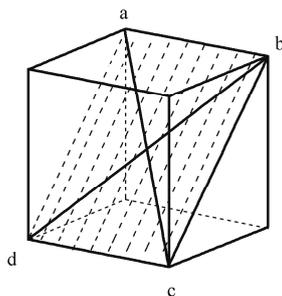
功率检测设备应按照产品说明书接入工业机器人主电源。

### 5.5 循环运动测试要求

#### 5.5.1 测试路径的要求

测试路径的形状为测试平面上的曲线,由多段直线组成,位于测试立方体中。应采用边长为

250 mm, 400 mm, 630 mm, 1 000 mm 中的最大的立方体。测试路径如图 2 所示。



说明:

a、b、c、d——测试立方体顶点。

图 2 测试路径形状

测试立方体应位于工业机器人的限定空间内,制造商可以根据机座坐标系或关节坐标系来确定测试路径位置。测试路径位置如图 3 所示。

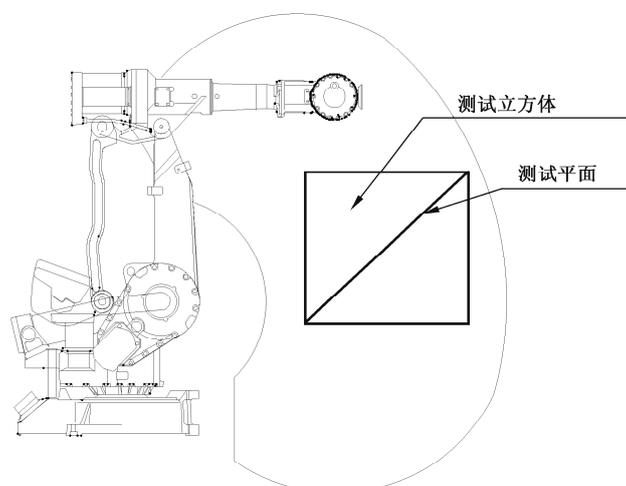


图 3 测试路径位置

### 5.5.2 循环运动

工业机器人应按图 2 的测试路径以  $a \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow d \rightarrow a$  的顺序循环运动,并按 5.5.3 中规定的运动速度及循环次数,进行循环运动,并编写循环运动程序。

对于六自由度工业机器人,运动过程中应保持固定的姿态。对于少于六自由度的工业机器人,运动过程中宜使用尽量少的姿态指令。在试验报告中应说明指令位姿的数目、位置和编程方法(示教编程、人工输入数据或离线编程)。

### 5.5.3 循环运动测试速度与次数

循环运动测试应在制造商规定的额定轨迹速度的 100%、50% 和 10% 下进行。在每一条轨迹线段中,工业机器人能在 50% 的线段长度中达到规定速度,循环测试才是有效的,且在空载运行测试和额定负载运行测试中,在不同的运行速度下循环次数均应为 10 次,循环运动方式和时间相同。

### 5.6 上电状态测试步骤

采用功率检测设备测试工业机器人上电状态下的能耗,具体操作步骤如下:

- a) 打开工业机器人主电源;
- b) 等待功率检测设备的读数稳定后,关闭工业机器人主电源。

### 5.7 空载运行测试步骤

采用功率检测设备测试工业机器人在空载运行状态下的能耗,具体操作步骤如下:

- a) 打开工业机器人主电源;
- b) 将工业机器人电机使能;
- c) 按照 5.5 的要求运行循环运动程序,进行空载循环运动;
- d) 将工业机器人电机取消使能;
- e) 关闭工业机器人主电源。

测试过程中各步骤持续时间应足够长,待功率检测设备的读数稳定后再进入下一步骤。

### 5.8 额定负载运行测试步骤

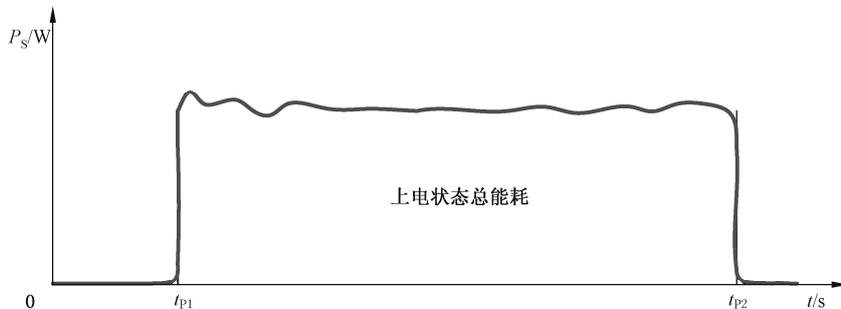
采用功率检测设备测试工业机器人在额定负载运行状态下的能耗,具体操作步骤如下:

- a) 在工业机器人机械接口安装额定负载;
- b) 打开工业机器人主电源;
- c) 将工业机器人电机使能;
- d) 按 5.5 的规定运行循环运动程序,进行负载循环运动;
- e) 将工业机器人电机取消使能;
- f) 关闭工业机器人主电源。

测试中各步骤持续的时间应与空载运行测试中对应步骤的持续时间相同,且额定负载运行测试中的循环运动程序应和空载运行测试中的循环运动程序相同。

### 5.9 测试结果记录

用功率检测设备测量上电状态、空载运行及额定负载运行过程中工业机器人功率随时间变化情况,采用上电状态功率曲线、空载运行功率曲线和额定负载运行功率曲线记录测试结果,图 4、图 5、图 6 分别为上电状态、空载运行及额定负载运行测试结果记录示例。



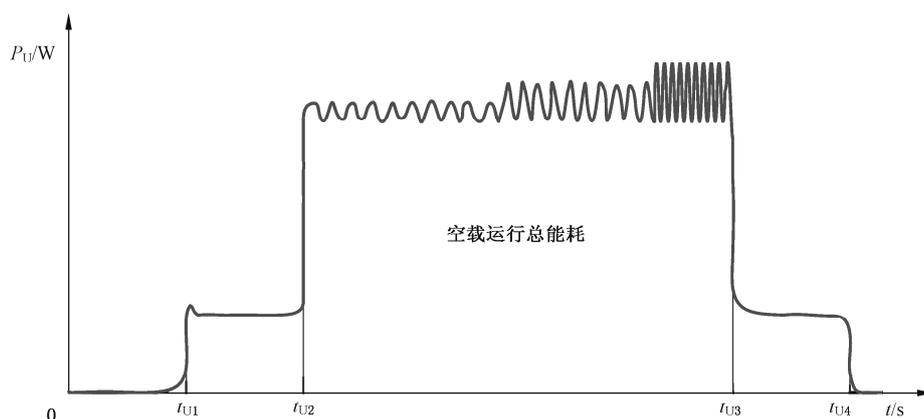
说明:

$P_s$ ——工业机器人瞬时功率;

$t_{p1}$ ——主电源打开时刻;

$t_{p2}$ ——主电源关闭时刻。

图 4 上电状态功率曲线



说明：

$P_U$  ——工业机器人瞬时功率；

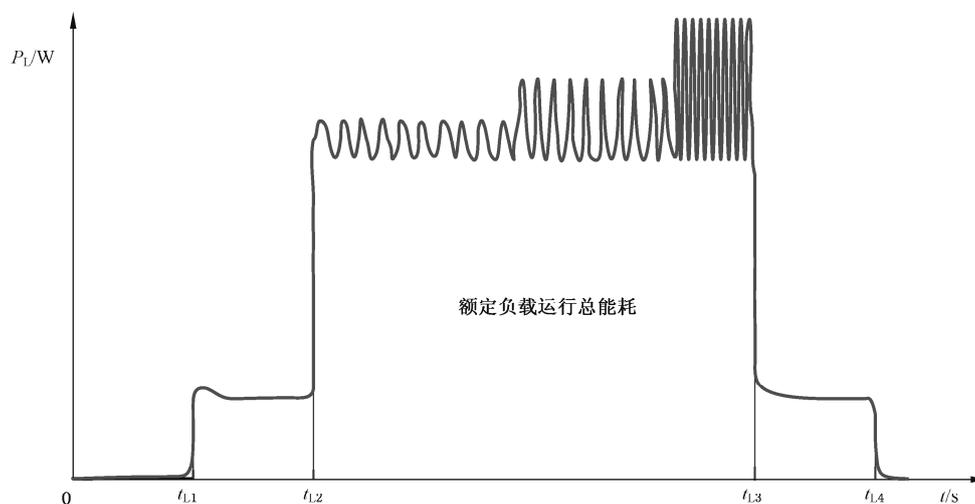
$t_{U1}$  ——主电源打开时刻；

$t_{U2}$  ——电机使能时刻；

$t_{U3}$  ——电机取消使能时刻；

$t_{U4}$  ——主电源关闭时刻。

图 5 空载运行功率曲线



说明：

$P_L$  ——工业机器人瞬时功率；

$t_{L1}$  ——主电源打开时刻；

$t_{L2}$  ——电机使能时刻；

$t_{L3}$  ——电机取消使能时刻；

$t_{L4}$  ——主电源关闭时刻。

图 6 额定负载运行功率曲线

## 6 工业机器人能效评估指标

### 6.1 能效评估指标构成

能效评估指标包括上电平均功率、空载平均功率、额定负载平均功率、本体能效和额定负载能效。

## 6.2 功率数据计算

### 6.2.1 上电平均功率

上电状态测试中,工业机器人上电状态总能耗如图 4 所示,上电状态功率通过式(1)计算:

$$\overline{P}_S = \frac{\int_{t_{P1}}^{t_{P2}} P_S dt}{t_{P2} - t_{P1}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$P_S$  ——工业机器人的瞬时功率,单位为瓦特(W);

$\overline{P}_S$  ——工业机器人上电平均功率,单位为瓦特(W);

$t_{P1}$  ——主电源打开时刻,单位为秒(s);

$t_{P2}$  ——主电源关闭时刻,单位为秒(s)。

### 6.2.2 空载平均功率

在空载运行测试中,工业机器人空载运行总能耗如图 5 所示,空载平均功率通过式(2)计算:

$$\overline{P}_U = \frac{\int_{t_{U2}}^{t_{U3}} P_U dt}{t_{U3} - t_{U2}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$P_U$  ——工业机器人的瞬时功率,单位为瓦特(W);

$\overline{P}_U$  ——空载运行平均功率,单位为瓦特(W);

$t_{U2}$  ——电机使能时刻,单位为秒(s);

$t_{U3}$  ——电机取消使能时刻,单位为秒(s)。

### 6.2.3 额定负载平均功率

在额定负载运行测试中,工业机器人额定负载运行总能耗如图 6 所示,额定负载平均功率通过式(3)计算:

$$\overline{P}_L = \frac{\int_{t_{L2}}^{t_{L3}} P_L dt}{t_{L3} - t_{L2}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$P_L$  ——工业机器人的瞬时功率,单位为瓦特(W);

$\overline{P}_L$  ——额定负载平均功率,单位为瓦特(W);

$t_{L2}$  ——电机使能时刻,单位为秒(s);

$t_{L3}$  ——电机取消使能时刻,单位为秒(s)。

## 6.3 能耗数据计算

### 6.3.1 空载运行总能耗

空载运行总能耗通过式(4)计算:

$$E_U = \overline{P}_U \times (t_{U3} - t_{U2}) \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$E_U$  ——空载运行总能耗,单位为焦耳(J)。

### 6.3.2 机器人本体能耗

本体能耗通过式(5)计算:

$$E_B = E_U - \bar{P}_S \times (t_{U3} - t_{U2}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$E_B$ ——机器人本体能耗,单位为焦耳(J)。

### 6.3.3 额定负载运行总能耗

额定负载运行总能耗通过式(6)计算:

$$E_{LS} = \bar{P}_L \times (t_{L3} - t_{L2}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$E_{LS}$ ——额定负载运行总能耗,单位为焦耳(J)。

### 6.3.4 额定负载能耗

工业机器人额定负载能耗通过式(7)计算:

$$E_L = E_{LS} - E_B - \bar{P}_S \times (t_{L3} - t_{L2}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$E_L$ ——额定负载运行测试中的额定负载能耗,单位为焦耳(J)。

## 6.4 能效数据计算

### 6.4.1 本体能效

本体能效通过式(8)计算:

$$\eta_B = \frac{E_B}{E_U} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$\eta_B$ ——本体能效。

### 6.4.2 额定负载能效

额定负载能效通过式(9)计算:

$$\eta_L = \frac{E_L}{E_{LS}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$\eta_L$ ——额定负载能效。

## 6.5 能效分析

能效指标是对工业机器人能量利用效率的反映,通过各能效评估指标对工业机器人的能效水平进行分析,各指标含义如下:

- 上电平均功率:工业机器人在上电状态下功率值,包括机器人除驱动电机外电气装置功率的总和,反映工业机器人在控制器、开关电源等电气装置的能耗情况。上电平均功率值越小,工业机器人在除驱动电机外电气装置的能量损耗越低。
- 空载平均功率:工业机器人在空载状况下,一个或几个循环周期内所有电器装置总功率的平均值,反映工业机器人在空载状态下的能耗情况。同负载水平的工业机器人中,空载平均功率值越低,工业机器人空载运行状态能耗越低。

- 额定负载平均功率:工业机器人在额定负载状况下,一个或几个循环周期内所有电器装置总功率的平均值,反映工业机器人在额定负载状态下的能耗情况。同负载水平的工业机器人中,额定负载平均功率值越低,工业机器人额定负载运行状态下能耗越低。
- 本体能效:工业机器人在无负载状况下机器人本体能耗与空载运行总能耗的比值,反映了工业机器将输入电能转换为工业机器人本体输入能量的效率。本体能效值越大,工业机器人将输入电能转换为机器人本体能量效率越高。
- 额定负载能效:工业机器人在额定负载状况下机器人额定负载能耗与额定负载运行总能耗的比值,反映了工业机器人将输入电能转换为有效输出能量的效率。额定负载能效值越大,工业机器人将电能转换为有效输出机械能的效率越高。

## 7 评估报告的编写

工业机器人能效评估报告应包含如下内容:

- 工业机器人的型号、制造商、制造时间以及软件版本号;
- 测试场所、日期、测试温度、热机时间以及测试负责人;
- 功率检测设备的类型、型号、制造商及精度;
- 额定负载质量及负载图[负载图应在机械接口坐标系来说明负载重心(质心)的位置,参见 GB/T 12644—2001 中 5.13 给出的格式];
- 循环运动轨迹、测试立方体边长及编程方法;
- 上电状态测试、空载运行测试及额定负载运行测试的功率曲线;
- 工业机器人上电平均功率、空载平均功率、额定负载平均功率、本体能效和额定负载能效。

附 录 A  
(资料性附录)  
工业机器人能效评估示例

工业机器人能效评估步骤示例如下所示：

### 1. 确定循环运动轨迹,并编写循环运动程序

工业机器人最大工作半径为 1 550 mm,但是由于工作空间存在奇异位型,无法选取边长 1 000 mm 的测试立方体,故选取边长为 630 mm 的测试立方体。根据测试立方体位置与边长,确定测试路径,采用离线编程的方式编写循环运动程序,并下载到工业机器人控制器。

### 2. 测定确定的负载重心偏移参数、能效测试环境温度

记录工业机器人额定负载,按 GB/T 12643—2013 中附录 A 的规范,确定负载重心偏移参数。测定并记录能效测试环境温度。

### 3. 热机操作

打开主电源,将机器人电机使能,按 GB/T 12642—2013 中 7.6 的要求热机 8 h,测量是否符合 GB/T 12642 中 7.6 的热机要求,关闭主电源。

### 4. 接入功率检测设备

选取功率分析仪,并根据功率分析仪产品说明书,将功率分析仪接入工业机器人主电源。

### 5. 获取功率曲线

- 1) 上电状态测试。打开工业机器人主电源,100 s 后关闭工业机器人主电源,通过功率分析仪记录上电测试功率曲线。
- 2) 空载运行测试。打开工业机器人主电源,将工业机器人电机使能,运行工业机器人循环运动程序。运行完成后,将工业机器人电机取消使能,并关闭工业机器人主电源,通过功率分析仪记录空载运行功率曲线。
- 3) 额定负载运行测试。在工业机器人机械接口安装额定负载,打开工业机器人主电源,将工业机器人电机使能,并运行工业机器人循环运动程序。运行完成后,将工业机器人电机取消使能,并关闭工业机器人主电源,通过功率分析仪记录额定负载运行功率曲线。

### 6. 计算功率数据

计算上电平均功率  $\overline{P}_s = 39.7 \text{ W}$ 。根据空载运行功率曲线,计算空载运行平均功率  $\overline{P}_U = 453.5 \text{ W}$ 。根据额定负载运行功率曲线,计算额定负载运行平均功率  $\overline{P}_L = 487.0 \text{ W}$ 。

### 7. 计算能耗数据

计算空载运行总能耗  $E_U = 44\ 150.0 \text{ J}$ ,机器人本体能耗  $E_B = 40\ 140.6 \text{ J}$ 。根据额定负载运行功率,计算额定负载运行总能耗  $E_{LS} = 47\ 407.0 \text{ J}$  和额定负载能耗  $E_{LS} = 3\ 257.0 \text{ J}$ 。

### 8. 计算能效数据

根据能耗数据,分别计算本体能效  $\eta_B = 90.92\%$  和额定负载能效  $\eta_L = 6.87\%$ 。

### 9. 编写能效评估报告

根据测试及计算结果编写能效评估报告,工业机器人能效评估报告格式如下:

工业机器人能效评估报告	
1) 工业机器人信息	
制造商: _____	型号: _____
制造时间: _____	软件版本号: _____
2) 测试环境	
测定场所: _____	测试时间: _____
环境温度: _____	热机时间: _____
测试负责人: _____	
3) 功率检测设备	
类型: _____	制造商: _____
型号: _____	精度: _____
备注: _____	
4) 负载	
额定负载质量(kg): _____	
负载图: _____	
5) 循环运动轨迹及编程方法	
循环运动轨迹: _____	测试立方体边长(mm): _____
编程方法: _____	
6) 测试数据:	
(上电状态测试功率曲线、空载运行测试功率曲线、额定负载测试功率曲线图)	

## 7) 能效评估指标

能效评估指标表

指标类型	指标名称	测试值
功率指标	上电平均功率 $\bar{P}_s$ (W)	
	空载平均功率 $\bar{P}_u$ (W)	
	额定负载平均功率 $\bar{P}_L$ (W)	
能量效率指标	本体能效 $\eta_B$ (%)	
	额定负载能效 $\eta_L$ (%)	