

T/CRSS

重庆市机器人学会团体标准

T/CRSS XXXX—XXXX

精密行星减速器 精度稳定性测评方法

Precision and stability testing and evaluation method for Precision planetary reducers

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

重庆市机器人协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 2

5 测试设备 3

6 被试件及安装 4

7 测试条件 4

8 试验方法 5

9 数据处理 5

10 评价方法 6

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。

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专利的责任。

本文件由重庆市机器人学会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

精密行星减速器 精度稳定性测评方法

1 范围

本文件规定了精密行星减速器精度稳定性的试验方法和评价方法。
本文件适用于精密行星减速器研制生产、交付使用和行业监管。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 11368-89	齿轮装置清洁度
GB/T 11281-2009	微电机用齿轮减速器通用技术条件
GB/T 14118-1993	谐波传动减速器
GB/T 35089-2018	机器人用精密齿轮传动装置试验方法
GB/T 30819-2014	机器人用谐波齿轮减速器
GB/T 40731-2021	精密减速器回差测试与评价方法
JB/T 5558-2015	减（增）速器试验方法
JB/T 9050.3-1999	圆柱齿轮减速器 加载试验方法
Q/HKF 001-2016	精密行星齿轮减速器

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

精度 accuracy

精度是指值准确程度，是指值的精细程度，一般来说是测量得到的值与真实值的差别。在精密行星减速器行业一般是指静态测试几何回差、传动误差。

3.2

精度稳定性 accuracy stability

精度稳定性是准确率，是值的连续表现程度，一定时间内示值的连续准确程度，是一定时间段的指标。在精密行星减速器行业一般是指设计减速器规定寿命内静态测试几何回差、传动误差损失的程度。

3.3

回差 lost motion

精密行星减速器输入端运动方向改变后到输出端运动方向跟随改变时，输出端在转角上的滞后量。

注：8.3.3中当k=3时“静态测试几何回差”的值等于GB/T 35089-2018和GB/T 36491-2018中“回差”的值。

3.4

回差曲线 lost motion curve

精密行星减速器输出端在360°转角范围内，各转角位置的回差值所构成的曲线。

3.5

平均回差 mean lost motion

精密行星减速器输出端在360°转角范围内，各转角位置的回差值的算术平均值。

3.6

几何回差 geometric lost motion

精密行星减速器由于几何因素（设计、加工、装配等）所产生的回差。

- 3.7
弹性回差 elastic lost motion
精密行星减速器在额定扭矩下，由于弹性变形所产生的回差。
- 3.8
总回差 total lost motion
精密行星减速器在额定扭矩下，由于几何因素和弹性变形的综合作用所产生的回差。
- 3.9
传动误差 transmission error
输出端的实际输出转角与理论转角之差。
- 3.10
回差静态测试 static test of lost motion
将精密行星减速器的输入端固定，通过输出端加载、卸载，获取滞回曲线而完成的回差测试。
- 3.11
回差动态测试 dynamic test of motion
通过测试精密行星减速器的双向传动误差曲线，获取回差曲线而完成的回差曲线。
- 3.12
额定扭矩 torque capacity
额定输入转速容许的输出端的连续负载扭矩，一般要求寿命在2万小时。
- 3.13
额定转速 rated speed
在容许的温升和噪音值内，能连续运行转速，一般精密行星减速器表面温度不能超过90度，推荐在60度内运行，如果外部温度高，就会更快达到温度限制，需要降低额定输入转速。
- 3.14
负载系数 KA（冲击系数） load coefficient
每小时的受到的冲击次数，计算扭矩时考虑冲击系数对精密行星减速器造成的破坏，保证其矩富余量充足，使用扭矩X负载系数<减速器额定扭矩。（见图1）

KA	周期次数/小时 Periodic times/hour
1.0	0~1,000
1.1	1,000~1,500
1.3	1,500~2,000
1.6	2,000~3,000
1.8	3,000~5,000

图1 负载系数图

- 3.15
瞬时容许最大扭矩 instantaneous permissible maximum torque
由于紧急停止或者外部的、无法预期的冲击，可能会在减速器上作用比较大的负载扭矩。精密行星减速器承受扭矩达到瞬间容许最大扭矩时，会对其产生不可逆的损害。
- 3.16
设计寿命 design life
在输入转速为2000~3000r/min时，输出扭矩为额定扭矩的情况下，精密行星减速器的寿命。

4 符号

符号说明详见表1.

表1 符号说明表

符号	说明	单位
T_1	精密行星减速器输入端扭矩	Nm
T_2	精密行星减速器输出端扭矩的平均值	Nm
T_r	精密行星减速器输出端额定扭矩	Nm
n_1	精密行星减速器输入端速度	r/min
n_2	精密行星减速器输出端速度的平均值	r/min
n_r	精密行星减速器额定输入端速	r/min
θ_{cr}	传动误差	()
δ_g	静态测试几何回差	()
δ_{gd}	动态测试几何回差	()
$\bar{\delta}_g$	静态测试几何回差的平均值	()
$\bar{\delta}_{gd}$	动态测试几何回差的平均值	()
κ_t	扭矩系数	—
κ_s	速度系数	—
L	实际测试时间	h
L_d	精密行星减速器的设计寿命	h
Le	等效测试时间	h

5 测试设备

5.1 总体要求

精度稳定性测试设备需要精度测试设备与扭矩负载测试设备完成，也可以是一台综合检测设备。

5.2 精度测试设备

- 5.2.1 组成示意图2（不限于卧式或立式）。
- 5.2.2 相邻单元轴的同轴度误差应不大于 0.01mm。
- 5.2.3 在被试件额定转速下，驱动转速的波动值应不大于±1r/min。
- 5.2.4 当进行回差动态测试时，应保证负载扭矩稳定，负载扭矩的波动值应不大于被试件额定扭矩的± 1.5%。
- 5.2.5 转角测量误差应不大于被试件回差允许值的 1/3。
- 5.2.6 扭矩转速传感器和角度传感器的规格、精度、动态响应等应与测试要求相适应。

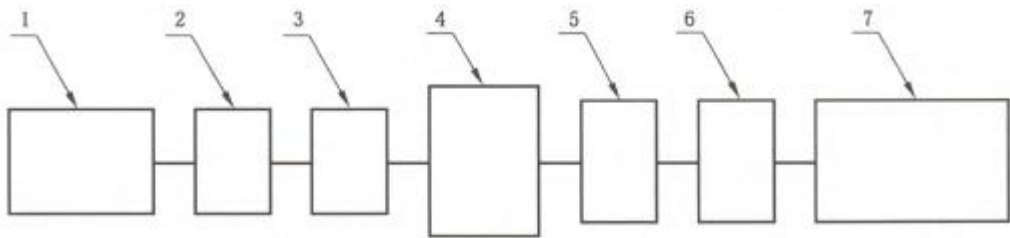


图2 测试设备组成示意图

- 标引序号说明：
- 1—驱动单元；
 - 2—输入端扭矩转速传感器（可选装）；
 - 3—输入端角度传感器；
 - 4—被试件；
 - 5—输出端角度传感器；
 - 6—输出端扭矩转速传感器；
 - 7—加载单元。

5.3 扭矩负载测试设备

- 5.3.1 组成示意图见图3（不限于卧式或立式）。
- 5.3.2 相邻单元轴的同轴度误差应不大于 0.03mm。
- 5.3.3 在被试件额定转速下，驱动转速的波动值应不大于±1r/min。
- 5.3.4 当进行负载测试时，应保证负载扭矩稳定，负载扭矩的波动值应不大于被试件额定扭矩的±1.5%。
- 5.3.5 扭矩转速传感器和角度传感器的规格、精度、动态响应等应与测试要求相适应，测试精度不超过读数的 1%。

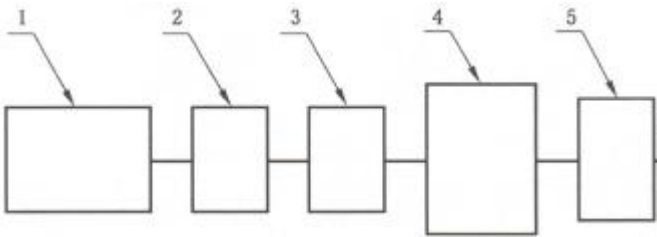


图3 测试设备组成示意图

- 标引序号说明：
- 1—驱动单元；
 - 2—输入端扭矩转速传感器；
 - 3—被试件；
 - 4—输出端扭矩转速传感器；
 - 5—加载单元。

6 被试件及安装

- 6.1 总体要求被试件应为可进行回差测试的产品或样机。被试件应有制造商规范的检查记录可用于测试分析。
- 6.2 被试件的安装应符合以下要求。
 - 6.2.1 应按设计的功率流传输方向进行安装；
 - 6.2.2 精度测试输入和输出端的轴线与相邻单元的轴线同轴度误差应不大于 0.01mm，负载测试相邻单元轴的同轴度误差应不大于 0.03mm。
 - 6.2.3 运转应灵活、无滞涩。
- 6.3 精度测试应在被试件热平衡状态下和允许使用温度范围内进行，容许增加强制冷却措施，比如风冷。

7 测试条件

7.1 测试减速器类型

包含应用在机器人、自动化设备、加工机床等要求有较长寿命设备的通用减速器，如行星减速器、谐波减速器、摆线减速器、圆柱齿轮减速器、蜗轮蜗杆减速器等。

7.2 减速器测试时间的确定

- a) 谐波减速器推荐测试时间 5000 小时；
- b) 伞齿轮、圆柱齿轮减速器（硬齿面）推荐测试时间 10000 小时；
- c) 摆线减速器推荐测试时间 20000 小时；
- d) 行星减速器推荐测试时间 20000 小时；
- e) 其它非标定制减速机推荐测试时间 10000 小时；
- f) 由于额定扭矩负载测试时间很长，可通过加大载荷缩短测试时间。

7.3 测试扭矩、转速的确定，按照样本宣传的额定扭矩与额定速度测试，如果温升过高可强制冷却。

7.4 传动误差中正向传动误差与反向传动误差采样点数各不少于 1000 个。

7.5 静态测试几何回差采样点数不少于 24 个，角度均匀分布。

8 试验方法

8.1 试验的方法是被测件负载测试前后的精度比较（传动误差、静态测试几何回差或动态测试几何回差），得出精度变化值，但是减速器设计寿命较长，可将测试过程分为若干段完成，记录每段精度变化，如果测试精度没有达到预期及时终止，由于部分减速器设计寿命较长，试验时间可进行等效转换，达到短期内验证结果。

8.2 被测试件进行首次精度检测，记录几何回差与传动精度，符合 GB/T 40731-2021 精密减速器回差测试与评价方法。

8.3 被测试件进行扭矩负载测试，符合 JB/T9050.3-1999 圆柱齿轮减速机加载试验方法，测试参数按照额定输入转速、额定输出扭矩测试，测试的时间在规定设计寿命一段时间。

8.4 扭矩负载测试完成后，被测试件进行精度检测，如果精度损失在评定范围内，则继续测试，否则终止试验。

8.5 重复 6.2、6.3 步骤，完成设计寿命周期内的测试过程。

8.6 数据整理记录如表 2 所示。说明：传动误差连续测试 3 次，如果出现异常值，则重新测试连续测试 3 次。

表2 精度记录表

精度检验1	负载测试1	精度检验2		负载测试n	精度检验n

9 数据处理

9.1 精度数据处理

- 9.1.1 静态测试几何回差变化量=最终静态测试几何回差-首次静态测试几何回差。
- 9.1.2 动态测试几何回差变化量=最终动态测试几何回差-首次动态测试几何回差。
- 9.1.3 正传动误差变化量=最终正向传动误差-首次正向传动误差。
- 9.1.4 反传动误差变化量=最终反向传动误差-首次反向传动误差。

9.2 扭矩负载数据处理

9.2.1 减速器输出端扭矩的平均值

见式（1）。

$$\bar{T}_2 = \sqrt[3]{\frac{T_1^2 \cdot t_1 \cdot n_1 + T_2^2 \cdot t_2 \cdot n_2 + T_n^2 \cdot t_n \cdot n_n}{t_1 \cdot n_1 + t_2 \cdot n_2 + t_n \cdot n_n}} \dots\dots\dots (1.)$$

9.2.2 减速器输入转速的平均值

见式（2）。

$$\bar{n}_2 = \frac{n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2 + n_3 \cdot t_3 + n_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + t_n} \dots\dots\dots (2.)$$

式中：

- $\bar{T}_2$ —扭矩平均值，Nm；
- $\bar{n}_2$ —扭矩平均值，Nm；
- T1、T2、Tn每组数据扭矩值，r/min；
- t1、t2、tn每组数据时间值，r/min；
- n1、n2、nn、每组数据转速值，r/min。

9.2.3 扭矩系数 κ_t 计算

见表3。

表3 扭矩系数

$\bar{T}_2/T_1$	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
κ_t	0.5	0.7	1	1.5	1.8	3	5	8

9.2.4 速度系数 κ_s 计算

见表4。

$\bar{n}_2/n_1$	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
κ_s	0.5	0.7	1	1.2	1.4	1.8	2	3

9.2.5 等效测试时间计算

见式（3）

$$L_e = L \cdot K_t \cdot K_s \dots\dots\dots (3.)$$

说明被测试件等效测试时间等于测试时间后才能给予评价。

10 评价方法

10.1 精度在 1 弧分内的高精度减速器

- 10.1.1 一级：几何回差变化量≤0.5 弧分，传动误差≤1 弧分；20%达到。
- 10.1.2 二级：几何回差变化量≤1 弧分，传动误差≤1.5 弧分；70%达到。

10.1.3 三级：几何回差变化量≤1.5 弧分，传动误差≤2 弧分；95%达到。

10.2 精度在 1~3 弧分内的高精度减速器

10.2.1 一级：几何回差变化量≤1 弧分，传动误差≤2 弧分。

10.2.2 二级：几何回差变化量≤2 弧分，传动误差≤3 弧分。

10.2.3 三级：几何回差变化量≤3 弧分，传动误差≤4 弧分。

10.3 精度在 3 弧分以上精度减速器

10.3.1 一级：几何回差变化量≤2 弧分，传动误差≤8 弧分。

10.3.2 二级：几何回差变化量≤3 弧分，传动误差≤10 弧分。

10.3.3 三级：几何回差变化量≤5 弧分，传动误差≤12 弧分。

注：如果测试过程中异常损坏、中途测试已超差、评价时没有能达到最低标准，则评判为不合格。

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^k T_i}{k} \tag{1}$$

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{k} \tag{2}$$

$\bar{T}$ —扭矩平均值，Nm；

$\bar{n}$ —转速平均值，r/min；

T_i —每组数据扭矩值，r/min；

n_i —每组数据转速值，r/min；