

# 中华人民共和国国家军用标准

FL 6111

GJB 2593A—2024  
代替 GJB 2593—1995

## 军用谐波传动变速器通用规范

General specification for military harmonic drive transmission

2025—01—07 发布

2025—03—01 实施



中央军委装备发展部 颁布

## 目 次

前言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 要求	1
3.1 总则	1
3.2 材料、零部件和工艺	1
3.3 设计	1
3.4 标准件	1
3.5 外观	2
3.6 外形尺寸	2
3.7 质量	2
3.8 性能特性	2
3.9 环境要求	4
4 质量保证规定	4
4.1 检验分类	4
4.2 检验条件	5
4.3 鉴定检验	5
4.4 质量一致性检验	6
4.5 检验方法	7
5 交货准备	13
5.1 包装	13
5.2 运输	13
5.3 储存	13
6 说明事项	13
6.1 预定用途	13
6.2 分类及命名	13
6.3 订购文件应明确的内容	14
6.4 质量保证期	14
6.5 使用术语说明	14
6.6 术语和定义	14
附录 A (资料性附录) 转动惯量及反向启动转矩参考值	16

## 前 言

本规范代替 GJB 2593—1995《军用谐波传动变速器通用规范》。

本规范与 GJB 2593—1995 相比，主要有下列变化：

- a) 增加了背隙的要求和测试方法；
- b) 增加了反向启动转矩的要求和测试方法；
- c) 增加了空载摩擦转矩的要求和测试方法；
- d) 增加了弯曲刚度的要求和测试方法；
- e) 增加了传动精度、传动误差、空程(回差)、背隙(齿隙)、启动转矩、反向启动转矩、空载摩擦转矩、传动效率、滞回曲线、扭转刚度、弯曲刚度、效率、转动惯量等术语；
- f) 修订了跑合、超载能力、传动精度、启动转矩、扭转刚度、传动效率、转动惯量、寿命等要求及试验方法；
- g) 增加了产品鉴定检验样品数；
- h) 将质量一致性检验明确为由 A 组检验和 C 组检验组成；
- i) 在产品质量保证规定中，明确了周期检验时间；
- j) 环境试验方法中，增加了 GJB 360B—2009 的要求。

本规范的附录 A 为资料性附录。

本规范由中央军委装备发展部综合计划局提出。

本规范起草单位：工业和信息化部电子第四研究院、陕西渭河工模具有限公司、中国电子科技集团公司第二十一研究所、国营三六五一厂、国营九〇六厂、航天二院六九九厂、西安微电机研究所、北京中技克美谐波传动股份有限公司。

本规范主要起草人：田晨燕、彭 伟、张彦君、沈 蕾、葛发华、李 胜、翟景山、郭巧彬、高明艳。

GJB 2593 于 1995 年首次发布。

# 军用谐波传动变速器通用规范

## 1 范围

本规范规定了军用谐波传动变速器的通用技术要求、质量保证规定以及交货准备等。

本规范适用于具有减速功能的谐波变速器(以下简称谐波减速器)。其他类型的谐波传动变速器可参考使用。

## 2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本规范的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包括勘误的内容)或修订版本都不适用于本规范,但提倡使用本规范的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡未注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本规范。

GB/T 321—2005	优先数和优先数系
GB/T 1800.3—1998	极限与配合 基础第三部分:标准公差和基本偏差数值表
GB/T 6404.1—2005	齿轮装置的验收规范 第1部分:空气传播噪声的试验规范
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
GJB 150.3A—2009	军用装备实验室环境试验方法 第3部分:高温试验
GJB 150.4A—2009	军用装备实验室环境试验方法 第4部分:低温试验
GJB 150.9A—2009	军用装备实验室环境试验方法 第9部分:湿热试验
GJB 150.10A—2009	军用装备实验室环境试验方法 第10部分:霉菌试验
GJB 150.11A—2009	军用装备实验室环境试验方法 第11部分:盐雾试验
GJB 150.15A—2009	军用装备实验室环境试验方法 第15部分:加速度试验
GJB 150.16A—2009	军用装备实验室环境试验方法 第16部分:振动试验
GJB 150.18A—2009	军用装备实验室环境试验方法 第18部分:冲击试验
GJB 179A—1996	计数抽样检验程序及表
GJB 360B—2009	电子及电气元件试验方法
GJB 546	电子元器件质量保证大纲

## 3 要求

### 3.1 总则

谐波减速器应符合本规范和相应相关详细规范规定的所有要求。本规范的要求与相关详细规范的要求不一致时,应以相关详细规范为准。

承制方应按 GJB546 规定建立和保持质量保证大纲。

### 3.2 材料、零部件和工艺

按本规范提交检验的谐波减速器所用材料、零部件和工艺,应能保证其使用性、可靠性和安全性,并应符合相应材料和零部件标准及有关技术文件的规定。

### 3.3 设计

谐波减速器主要由带有内齿圈的刚性齿轮(刚轮)、带有外齿圈的柔性齿轮(柔轮)、波发生器三个基本构件组成,设计应结构简单、体积小、重量轻,啮合齿数多,承载能力强,反应灵敏、传动精度高,传动比大,运动平稳、噪声小。特别在高真空或有害的介质密封空间传动时,应保证安全、可靠。

### 3.4 标准件

在组件中应最大限度地采用标准零部件，并优先从现有的国家军用标准和国家标准中选用。同一机型相同的零部件应能通用互换。

### 3.5 外观

谐波减速器表面应无锈蚀、碰伤划痕和涂覆层脱落，紧固件连接应牢固，产品标志字迹应清晰无误。必要时可采用试样件等明确不易量化外观标准。

谐波减速器应有唯一铭牌或刻、印标志，标志应位于产品明显部位，字迹、图形应清晰完整，在经受环境试验后，标记仍应易于辨认。铭牌标志内容至少应包括：产品名称、产品型号、产品编号、承制方厂名或商标等。

### 3.6 外形尺寸

谐波减速器的外形及安装接口尺寸、位置关系应符合相关详细规范的规定，与支座或系统连接配合接口尺寸精度不低于 GB/T 1800.3—1998 中 IT7。

### 3.7 质量

谐波减速器的质量应符合相关详细规范的规定。

### 3.8 性能特性

#### 3.8.1 额定输出转矩及传动比

额定输出转矩及传动比应符合相关详细规范规定。

#### 3.8.2 跑合

空载和加载跑合试验优先使用产品配套电机或同型号工艺电机，使用调速电机跑合时输入转速不低于 2000r/min；除相关详细规范另有规定外，空载按正反向各不少于 30min 跑合，加载按正反向各不少于 10min 跑合；试验中，结合处不应漏油、松动，运转平稳，无异常响声。

#### 3.8.3 超载能力

当负载为额定输出转矩的 1.5 倍时，应能正常运转 30min；当负载为额定输出转矩的 2.5 倍时，应能正常运转 1min。

#### 3.8.4 传动精度

传动精度包括传动误差及空程(回差)，产品传动误差等级要求见表 1，产品空程(回差)等级要求见表 2。传动精度应符合相关详细规范的规定。

表 1 传动误差精度要求

精度等级	要求
1	$\leq 1'$
2	$1' < \text{精度} \leq 3'$
3	$3' < \text{精度} \leq 5'$
4	$5' < \text{精度} \leq 7'$

表 2 空程(回差)精度要求

精度等级	要求
1	$\leq 1'$
2	$1' < \text{精度} \leq 3'$
3	$3' < \text{精度} \leq 6'$
4	$6' < \text{精度} \leq 9'$

### 3.8.5 背隙(齿隙)

背隙(齿隙)检测结果应符合相应空程(回差)要求。背隙应符合相关详细规范的规定。

### 3.8.6 启动转矩

启动转矩最大值应不超过表3的规定,具体应符合相关详细规范的规定。

表3 启动转矩

机型	启动转矩 N·cm	机型	启动转矩 N·cm
25	0.8	100	12.5
32	1.25	120	20
40	2	160	35
50	3	200	60
60	5	250	100
80	8	320	150

### 3.8.7 反向启动转矩

反向启动转矩最大值应符合相关详细规范的规定。其参考值参见附录A中表A.2。

### 3.8.8 空载摩擦转矩

空载摩擦转矩应满足相关详细规范的规定。

### 3.8.9 扭转刚度

扭转刚度数值应不低于表4的要求,具体应满足相关详细规范的规定。

表4 扭转刚度

机型	扭转刚度 N·m/arc min	机型	扭转刚度 N·m/arc min	机型	扭转刚度 N·m/arc min
25	0.365	60	5.80	160	93.1
32	0.725	80	11.7	200	186
40	1.45	100	23.3	250	327
50	2.90	120	46.6	320	745

### 3.8.10 弯曲刚度

弯曲刚度应满足相关详细规范的规定。

### 3.8.11 传动效率

在输入转速为2000r/min、额定输出转矩下,单级谐波齿轮传动效率不低于60%,两级传动军用谐波减速器传动效率应不低于45%。

### 3.8.12 转动惯量

转动惯量应符合相关详细规范的规定。其参考值见附录A中表A.1。

### 3.8.13 密封

谐波减速器在工作状态下,应密封良好,允许漏油量每24小时不大于1滴(1滴=1/20cm<sup>3</sup>),停止工作时,不允许漏油。

### 3.8.14 噪声

在额定转速和额定输出转矩下的噪声:25~40机型≤50dB;50~80机型≤60dB;100~160机型≤70dB;200~320机型≤75dB;其他机型由相关详细规范规定。

### 3.8.15 寿命

在室温下,寿命试验为1000h。试验后额定输出转矩应满足3.8.1。除另有规定外,试验后传动精度

等级允许比 3.8.4 规定的初始值降低 1 级。

### 3.9 环境要求

#### 3.9.1 高温

谐波减速器应能在 55℃ 或相关详细规范规定的高温环境下正常工作，能在 85℃ 或相关详细规范规定的高温环境下贮存。

谐波减速器在高温试验后，考核启动转矩、传动误差、空程(回差)；启动转矩应符合 3.8.6 规定值，传动误差、空程(回差)应符合 3.8.4 所规定的原精度等级要求。

#### 3.9.2 低温

谐波减速器应能在 -40℃ 或相关详细规范规定的低温环境下正常工作，能在 -55℃ 或相关详细规范规定的低温环境下贮存。

谐波减速器在低温试验后，考核启动转矩、传动误差、空程(回差)；启动转矩应在 3.8.6 规定值的 1.5 倍以内，传动误差、空程(回差)应符合 3.8.4 所规定的原精度等级要求。

#### 3.9.3 湿热

谐波减速器应能在 GJB150.9A—2009 或 GJB 360B—2009 中方法 103 “稳态湿热试验”，或相关详细规范规定的湿热条件下正常工作，耐湿试验后外观应无锈蚀。

#### 3.9.4 霉菌

谐波减速器应能在 GJB 150.10A—2009 规定的霉菌试验条件或相关详细规范规定的霉菌条件下，具有抗霉菌的性能。试验后长霉生长程度不超过 GJB 150.10A—2009 中 2 级要求。允许提供材料合格证明代替。

#### 3.9.5 盐雾

当有要求时，谐波减速器应能在 GJB 150.11A—2009 或 GJB 360B—2009 中方法 101 “盐雾试验”规定的条件，或相关详细规范规定的盐雾试验条件下，具有抗盐雾的侵蚀能力。试验后表面应无明显的腐蚀、发暗、发黑、漆层脱落等现象。

#### 3.9.6 振动

谐波减速器应能在 GJB 150.16A—2009 或 GJB 360B—2009 中方法 204 “高频振动试验”、方法 214 “随机振动试验”中相应产品的振动环境试验规定的振动条件，或相关详细规范规定的振动条件下正常工作。

谐波减速器在振动试验后，考核启动转矩，传动误差、空程(回差)；启动转矩应符合 3.8.6 规定值，传动误差、空程(回差)应符合 3.8.4 所规定的原精度等级要求。

#### 3.9.7 冲击

谐波减速器应能在 GJB 150.18A—2009 或 GJB 360B—2009 中方法 213 冲击(规定脉冲)试验”中相应产品的冲击环境试验规定的冲击条件，或相关详细规范规定的冲击条件下正常工作。

谐波减速器在冲击试验后，考核启动转矩、传动误差、空程(回差)；启动转矩应在 3.8.6 规定值的 1.5 倍以内，允许传动误差、空程(回差)的精度等级比 3.8.4 所规定的原精度等级降低一级。

#### 3.9.8 稳态加速度

谐波减速器应能在 GJB 150.15A—2009 或 GJB 360B—2009 中方法 212 “稳态加速度”中相应产品的加速度环境试验规定的加速度条件，或相关详细规范规定的加速度条件下正常工作。

谐波减速器在稳态加速度(离心加速度)试验后，考核启动转矩、传动误差、回差；启动转矩应在 3.8.6 规定值的 1.5 倍以内，允许传动误差、回差的精度等级比 3.8.4 所规定的原精度等级降低一级。

## 4 质量保证规定

### 4.1 检验分类

本规范规定的检验分为：

- a) 鉴定检验(见 4.3)；
- b) 质量一致性检验(见 4.4)。

#### 4.2 检验条件

除另有规定外，本规范规定的检验条件为：

- a) 温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：45%~75%；
- c) 大气压力：86kPa~108kPa。

#### 4.3 鉴定检验

##### 4.3.1 通则

鉴定检验应在鉴定机构认可的实验室进行。当产品主要设计、工艺、材料及零部件改变或长期停产后恢复生产时，均应进行鉴定检验。鉴定检验应在鉴定机构认可的试验室进行。所有样机应是正常生产中通常使用的材料、设备和工艺生产的产品。试验台需通过定期或试验前标定合格及理论计算确定系统误差。

若鉴定检验合格，则认为所提交型号的谐波减速器鉴定合格。

##### 4.3.2 样机数量

承制方应提交能代表相应生产阶段的样机六台，其中四台作为鉴定检验用，两台作为存放对比用。相关详细规范有明确样机数量规定的按照相关详细规范执行。

##### 4.3.3 检验程序

样机应按表 5 规定的项目及顺序进行试验。

表 5 鉴定检验及质量一致性检验项目表

序号	检验项目	要求 章条号	检验方法 章条号	鉴定 检验样机编号	质量一致性检验	
					A 组检验	C 组检验
1	外观	3.5	4.5.1	1、2、3、4	√	—
2	外形及安装接口尺寸	3.6	4.5.2	1、2、3、4	√	—
3	质量	3.7	4.5.3	1、2、3、4	√	—
4	跑合	3.8.2	4.5.4	1、2、3、4	√	—
5	传动精度	3.8.4	4.5.6	1、2、3、4	√	—
6	密封	3.8.13	4.5.25	1、2、3、4	√	—
7	背隙(齿隙)	3.8.5	4.5.7	1、2、3、4	—	√
8	启动转矩	3.8.6	4.5.8	1、2、3、4	—	√
9	反向启动转矩	3.8.7	4.5.9	1、2、3、4	—	√
10	空载摩擦转矩	3.8.8	4.5.10	1、2、3、4	—	√
11	扭转刚度	3.8.9	4.5.11	1、2、3、4	—	√
12	弯曲刚度	3.8.10	4.5.12	1、2、3、4	—	√
13	传动效率	3.8.11	4.5.13	1、2、3、4	—	√
14	转动惯量	3.8.12	4.5.14	1、2、3、4	—	√
15	噪声	3.8.14	4.5.16	1、2、3、4	√	—
16	低温	3.9.2	4.5.18	1、2	—	√
17	高温	3.9.1	4.5.17	1、2	—	√
18	振动	3.9.6	4.5.22	1、2	—	√

表 5(续)

序号	检验项目	要求 章条号	检验方法 章条号	鉴定 检验样机编号	质量一致性检验	
					A 组检验	C 组检验
19	冲击	3.9.7	4.5.23	1、2	—	√
20	稳态加速度	3.9.8	4.5.24	1、2	—	√
21	超载能力	3.8.3	4.5.5	1、2	—	√
22	寿命	3.8.15	4.5.15	3、4	—	√
23	湿热	3.9.3	4.5.19	1、2	—	√
24	霉菌	3.9.4	4.5.20	1、2	—	—
25	盐雾	3.9.5	4.5.21	1、2	—	—

注：√表示必检项目；—表示不检项目。

#### 4.3.4 试验结果的评定

##### 4.3.4.1 不合格

只要有一台样机的任一项目不符合要求，且不属于 4.3.4.2 和 4.3.4.3 的情况，则鉴定检验不合格。

##### 4.3.4.2 偶然失效

当鉴定机构确定样机失效是属于孤立性质的偶然失效时，对每一台失效样机允许用一台新的样机代替，并补作已经做过的试验，然后继续试验，若再有一台样机的任何一个项目不符合要求则鉴定检验不合格。

##### 4.3.4.3 性能降低

样机经环境试验后，允许性能发生不影响其使用性的降低，具体性能降低如不同于本规范规定时，应在相关详细规范中规定。

##### 4.3.4.4 环境试验期间和试验后的性能严重降低

样机在环境试验期间和试验后，发生影响其使用性的性能严重降低时，鉴定机构可以采取下列两种方式：

- a) 认为鉴定检验不合格；
- b) 当一台样机失效时，允许从对比组样机抽取替代，并补作已经做过的试验，然后补足原样机数目继续试验；若再有一台样机的任何一个项目不合格则鉴定检验不合格。

##### 4.3.5 鉴定合格资格的保持

承制方应每隔两年或鉴定机构规定的时间，向鉴定机构提交鉴定合格资格保持的报告。报告应符合下列要求：

- a) 质量保证大纲符合规定；
- b) 产品设计未作更改；
- c) 质量一致性检验合格。

#### 4.4 质量一致性检验

##### 4.4.1 通则

质量一致性检验由 A 组检验和 C 组检验组成。

##### 4.4.2 A 组检验

A 组检验项目及基本顺序按表 5 的规定。

A 组检验抽样按 GJB 179A—1996 中 5.4.2 规定的一般检查水平 II，GJB 179A—1996 中 5.4.3 规定的可接收质量水平(AQL)采用为 1.0~1.5，一次正常检验抽样方案进行。

A 组检验中，一台样机只要有一个项目不合格，则认为该样机为不合格品。

若 A 组检验合格，则除抽样中不合格样机之外，订购方应整批接收。

若 A 组检验不合格，则整批拒收，由承制方重新进行检验，消除缺陷并剔除不合格品后，可再次

提交进行 A 组检验。但只允许重复提交一次。

经过 A 组检验的样机符合或经修复后符合本规范要求，可以按合同交货。

#### 4.4.3 C 组检验

C 组检验项目及基本顺序按表 5 的规定。

C 组检验每 24 个月进行一次。C 组检验的样机，应从已通过 A 组检验的产品批中随机抽取。

C 组检验的样机数量及检验结果的评定按 4.3.2 及 4.3.4 的规定。

若 C 组检验不合格，则停止交货，承制方应将不合格情况报告鉴定机构，在采取纠正措施后，应根据鉴定机构的意见，重新进行全部项目的试验，或只对不合格的项目进行试验。若试验仍不合格，则将不合格的情况报告鉴定机构。

### 4.5 检验方法

#### 4.5.1 外观

用目视法检验产品外观质量。

#### 4.5.2 外形及安装接口尺寸

用能保证尺寸精度要求的量具检查谐波减速器外形及安装尺寸。

#### 4.5.3 质量

使用量程适宜，分辨率不低于 1g，示值误差不超过  $\pm 3\text{g}$  的电子秤检测。

#### 4.5.4 跑合

跑合试验是在装有调速电机、转矩转速传感器、加载器等的试验台上进行。将减速器固定在试验台上，通过调整使得输入端与电机轴同轴度、输出端与转矩转速传感器及加载器同轴度均不大于 0.03mm，分别使用联轴节联接，并反复启动调速电机确认无附加安装应力，才允许开始试验。

空载跑合试验：输出端无负载（或松开输出端与转矩转速传感器联接），额定转速下正、反向分别运转各 30min。

负载跑合试验：空载跑合试验后，在额定转速下，施加 100% 的额定输出转矩，均正、反转各 10min；另有规定时，按相关详细规范施加负载。

跑合试验依据相关详细规范的规定，允许并优先使用产品配套电机或同型工艺电机开展，并记录详细规范指定的跑合过程中电机输入电压、电流、温升、噪声等数据。

#### 4.5.5 超载能力

超载能力试验应在空载跑合与负载跑合试验后，方可进行。试验装置同 4.5.7，在额定转速下，施加额定输出转矩的 1.5 倍，正、反向各 30min；施加额定输出转矩的 2.5 倍，正、反向各 1min。

当使用产品配套电机或同型工艺电机开展时，应记录详细规范指定的跑合过程中电机输入电压、电流、温升、噪声等数据。

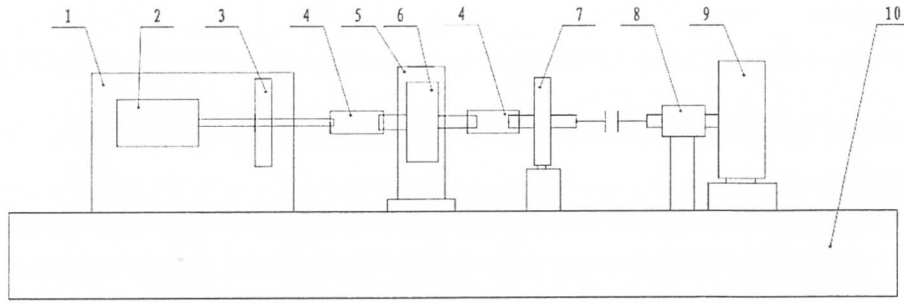
#### 4.5.6 传动精度

##### 4.5.6.1 通则

参照 GB/T 35089—2018 中传动精度试验方法，传动精度试验装置通常采用精密机械、光、电、计算机综合测量技术，如图 1 所示：减速器试验件应能紧固安装在试验装置的工作台上，输入端由电机驱动，连续回转，驱动转速稳定可调，由圆光栅传感器动态记录输入轴的回转角；输出端连接高精度圆光栅传感器，连续动态记录输出轴的回转角，圆光栅转角测量误差应不大于试验件传动误差的 1/3；检测时可自动采集输入端、输出端圆光栅传感器实时数据，通过计算机处理绘出连续的传动误差曲线和空程（回差）曲线，给出传动误差和空程（回差）检测结果。

试验装置各活动部件，运动应平稳、灵活，无阻滞现象，回转及直线运动部件应保证加工精度；试验装置各调节部位应能够锁死；各制动部件作用可靠，不应有松动现象；试验台通电后，各部件应能正常工作并能实现自动记录数据。试验台需通过标定及理论计算确定系统误差。传动精度检测一般为空载下进行，如图 1 在输出端增加转矩传感器和加载系统可进行负载条件测试。

试验装置通常选用谐波减速器传动链测试仪。



1—驱动箱；2—伺服电机；3—输入端圆光栅；4—联轴节；5—被测件安装座；6—谐波减速器；  
7—输出端圆光栅；8—转矩传感器；9—加载器；10—工作台

图1 传动精度试验装置(传动链测试仪)安装方式示意图

#### 4.5.6.2 传动误差

传动误差应正、反向分别测试。从谐波减速器输入端启动，输出端空载或施加指定负载，待转速和载荷平稳后，在输出端运行一周范围内记录输入、输出端的实时转角值。测试过程中，转角值采样数量不低于 1000 点，如有特殊要求，按相关详细规范的规定。

以输入端转角值除以传动比做为输出端理论转角，将输出端实际转角值与其理论转角值之差做为该位置传动误差。根据实时采样结果，以输出端角度位置为横坐标，以该角度对应的传动误差值为纵坐标，绘制传动误差曲线，如图 2 所示。曲线纵坐标最大值与最小值之差  $\theta$  即为试验件的传动误差。

传动误差本质为传动比误差，测试结果与传动比设定相关，该指标测试也可作为传动比验证。

对于同一个试验件，必要时应在相同工况下连续检测至少 3 次，检测结果取平均值。连续测量应保持采样位置相同，以避免不同位置的检测结果相叠加引入的测量误差。

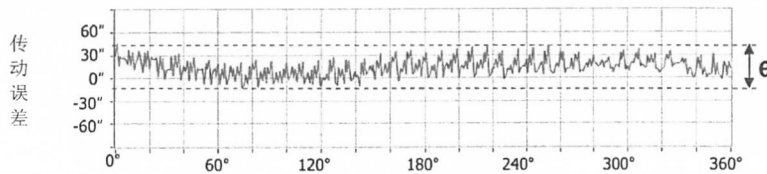


图2 传动误差曲线图

#### 4.5.6.3 空程(回差)

在正、反向连续测试传动误差后，以输出端同一位置对应输入端正反向的转角差除以速比，做为输出端此位置的空程，在输出端一转内连续评价得到空程曲线。

根据连续计算结果，以输出端角度为横坐标，以对应的空程值为纵坐标，绘制空程曲线，如图 3 所示。曲线纵坐标绝对值的最大值即为试验件的空程(回差)。

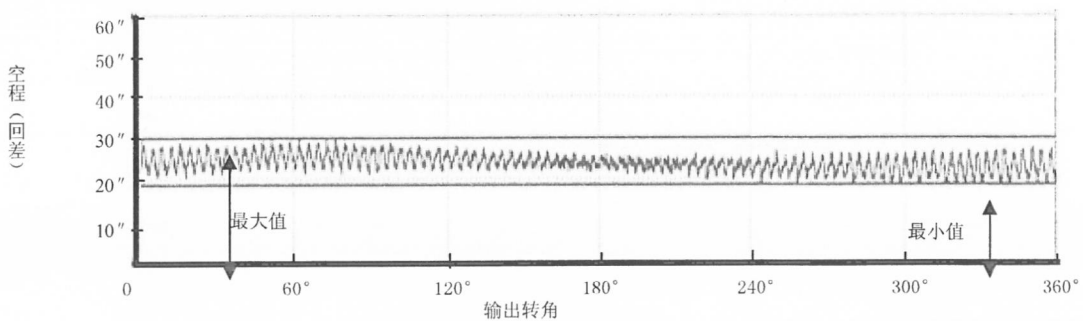


图3 空程(回差)曲线图

#### 4.5.7 背隙(齿隙)

背隙检测时,需将减速器固定在试验装置台面上,锁紧输入端,在输出端连接角度传感器和加载装置。施加±2%额定载荷缓慢扭转输出端,记录正、反向间微小的扭转角即为背隙值。

背隙检测应在减速器输出端旋转至少4个不同位置检测,取其最大值为检测结果。

#### 4.5.8 启动转矩

启动转矩检测时,需将减速器固定在试验装置台面上,输出端无负载,从输入端缓慢驱动试验件至输出端启动,期间通过转矩传感器实时采集输入端转矩(建议采样频率应不低于1kHz)。取输出端启动瞬间,输入端转矩最大值作为启动转矩。

启动转矩检测应在减速器输出端至少旋转4个不同位置测量,取其最大值为检测结果。

#### 4.5.9 反向启动转矩

反向启动转矩检测时,需将减速器固定在试验装置台面上,输入端无负载,从输出端缓慢驱动试验件至输入端启动,期间实时采集输出端转矩(建议采样频率应不低于1kHz)。取输入端启动瞬间,输出端转矩最大值作为反向启动转矩。

反向启动转矩检测应在减速器输出端至少旋转4个不同位置测量,取其最大值为检测结果。

#### 4.5.10 空载摩擦转矩

空载摩擦转矩检测时,需将减速器固定在综合性能试验装置台面上,输出端空载状态下,从输入端启动,在不同转速下稳定运转,并实时采集试验件输入转速及摩擦转矩。

未规定转速条件时,按2000r/min进行测试,并将该转速下的检测结果记录为空载摩擦转矩。

#### 4.5.11 扭转刚度

扭转刚度的测试方法按以下步骤:

- 扭转刚度试验时,需将减速器固定在综合性能试验装置台面上,输入端固定,给输出端逐渐加载至额定转矩后卸载,再反向逐渐加载至额定转矩后卸载,记录输出端对应的转矩、转角值,同时绘制出滞回曲线,如图4所示。试验过程中应保证各连接部分无侧隙,若存在侧隙,则需在试验前准确测量,并在最终结果中将连接部分侧隙作为系统误差修正;
- 从零加载至额定转矩,再从额定转矩降至零,输出转矩及转角的采样数量分别不少于100点;反向加载亦然。试验数据应根据角位移的正增加与负增加进行记录;
- 扭转刚度值由滞回曲线中计算得出。扭转刚度值应根据滞回曲线分段拟合,一般可将单方向加载及卸载曲线按照斜率不同分为2至3段,或根据试验件试验需求进行划分。对每段加载及卸载曲线进行最小二乘法直线拟合,获得该段的斜率 $k=a/b$ , $k$ 值的倒数即为该段转矩范围内的扭转刚度。

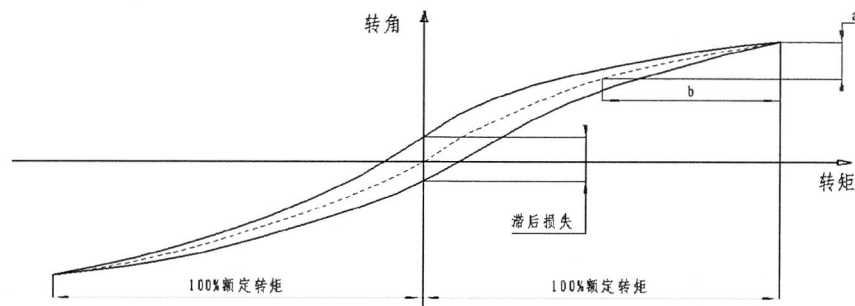
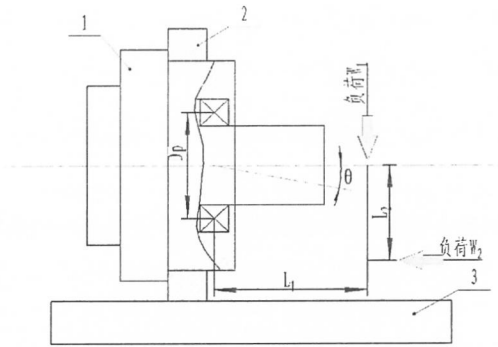


图4 扭转刚度滞回曲线

#### 4.5.12 弯曲刚度

弯曲刚度试验时,需将减速器固定在弯矩试验装置台面上,给输出端施加相互垂直的负载力 $W_1$ 和 $W_2$ 。如图5。



1—谐波减速器；2—安装支承工装；3—工作台

图5 弯矩刚度试验装置原理图

逐渐增加负载  $W_1$ 、 $W_2$ （不允许超过最大承载弯矩），记录  $\theta$ 、 $W_1$ 、 $W_2$  的值，根据下式，计算出弯曲刚度  $K_m$  见公式(1)。

$$K_m = \frac{W_1 L_1 + W_2 L_2}{\theta \times 10^3} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$K_m$ ——弯曲刚度，N·m/arc min；

$W_1$ 、 $W_2$ ——负载力，N；

$L_1$ 、 $L_2$ ——负载力作用点到基准的距离，m；

$\theta$ ——输出法兰的偏转角，arc min；

4.5.13 效率

在额定转速空载下运转至温度平衡，且壳体温度不大于 60℃时，进行效率检测。

在 4.5.7 试验台上，调速电机与谐波减速器间增加联接一台转矩转速传感器，由电机驱动，在不同转速下从零加载至额定转矩，同步记录输入/输出转矩、输入/输出转速，每个转速下至少采集 5 组数据（同时记录壳体温度、噪声和运转时间），根据记录数据计算传动效率，可绘制不同转速下的转矩—效率曲线，如图 6 所示。

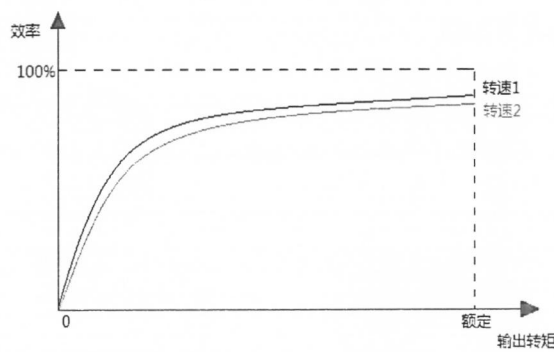


图6 转矩—效率曲线

传动效率的计算见公式(2)：

$$\eta = \frac{\overline{T}_2}{\overline{T}_1 \cdot i} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\eta$ ——传动效率；

$\overline{T}_2$ ——输出转矩算术平均值，N·m；

$\bar{T}_1$ ——输入转矩算术平均值,  $\text{N} \cdot \text{m}$ ;

$i$ ——传动装置的传动比。

未按规定转矩、转速条件时,将额定输出转矩下,2000r/min 时检测结果记录为该谐波减速器传动效率值。

#### 4.5.14 转动惯量

谐波减速器转动惯量表示各型号波发生器轴上的转动惯量,一般采用估值法计算得出,见公式(3)。

$$I = \frac{1}{4}GD^2 \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$I$ ——转动惯量,  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ;

$G$ ——波发生器质量,  $\text{kg}$ ;

$D$ ——柔性轴承内圈的外径,  $\text{m}$ 。

转动惯量的验证可使用三线摆试验装置。

三线摆试验装置构成如图 7 所示:扭振轴  $OO'$  垂直波发生器,钢丝的位置应以扭振轴  $OO'$  对称分布,用钢丝连接  $AA''$ ,  $BB''$ ,  $CC''$  将波发生器挂起。钢丝与上圆盘悬点半径  $r$  与下圆盘悬点半径  $R$  不等(防止测试时横向摆动)。连接点和悬挂点对应,互成  $120^\circ$ 。测试时,将下圆盘转过一个微小角度  $\alpha$  ( $3^\circ \sim 4^\circ$ ),放开后,波发生器作微振动,需测得 30 个~50 个周期时间,取平均值。并按公式(4)计算扭振刚体转动惯量。

$$I = \frac{mgRrT^2}{4\pi^2 H} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$I$ ——转动惯量,  $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ;

$m$ ——刚体质量,  $\text{kg}$ ;

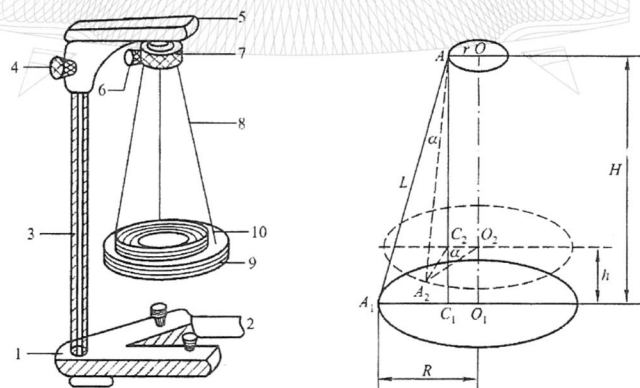
$g$ ——重力加速度,  $\text{m/s}^2$ ;

$R$ ——下盘钢丝连接点到扭振轴  $OO'$  的距离,  $\text{m}$ ;

$r$ ——上盘钢丝挂点到扭振轴  $OO'$  的距离,  $\text{m}$ ;

$T$ ——振动周期,  $\text{s}$ ;

$H$ ——平衡时上下盘间垂直距离,  $\text{m}$ 。



1—底座; 2—底座上的调平螺丝; 3—支杆; 4—悬架和支杆连接的固定螺丝; 5—悬架  
6—上圆盘悬线的固紧螺丝; 7—上圆盘; 8—悬线; 9—下圆盘; 10—待测波发生器

图 7 三线摆试验装置示意图

试验时,上下圆盘均处于水平,悬挂在横梁上。三个对称分布的等长悬线将两盘相连。上圆盘固定,下圆盘可绕中心轴  $OO'$  作扭摆运动。当下盘转动角很小,且略去空气阻力,扭摆的运动可近似看做简谐

运动。根据能量守恒定律刚体转动定律均可以导出物体绕中心轴 OO' 的转动惯量。试验时测出下盘运动周期  $T_0$  和上下盘垂直距离  $H$ ，依据式 4 计算出下圆盘转动惯量  $I_0$ ，然后将被测波发生器放在下圆盘中心，并使波发生器中心与中心轴 OO' 重合，测出此时下盘运动周期  $T_1$ ，可求得波发生器和下圆盘总惯量  $I_1$ ，波发生器转动惯量  $I$  计算见公式 (5)：

$$I = I_1 - I_0 = \frac{gRr}{4\pi^2 H} [(m + m_0)T_1^2 - m_0T_0^2] \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- $I$ ——波发生器转动惯量， $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ；
- $g$ ——重力加速度， $\text{m/s}^2$ ；
- $R$ ——下盘钢丝连接点到扭振轴 OO 的距离， $\text{m}$ ；
- $r$ ——上盘钢丝挂点到扭振轴 OO 的距离， $\text{m}$ ；
- $H$ ——平衡时上下盘间垂直距离， $\text{m}$ ；
- $m$ ——波发生器质量， $\text{kg}$ ；
- $m_0$ ——下圆盘质量， $\text{kg}$ ；
- $T_1$ ——下圆盘带波发生器时振动周期， $\text{s}$ ；
- $T_0$ ——仅下圆盘时振动周期， $\text{s}$ 。

4.5.15 寿命

可采用 4.5.7 试验台或依据 GB/T 35089—2018 规定的寿命耐久试验台。其试验步骤：

- a) 加载运行前，应检查减速器的润滑和加载器的冷却是否正常；
- b) 启动电机，在额定转速和额定输出转矩下进行寿命试验或提高载荷、转速进行加速寿命试验；
- c) 在运行过程中，每 0.5h 检查一次样机温升，温升不超过  $45^\circ\text{C}$ 。

4.5.16 噪声

按 GB/T 6404.1—2005 规定的方法测试。

4.5.17 高温

按 GJB 150.3A—2009 规定的方法进行。

4.5.18 低温

按 GJB 150.4A—2009 规定的方法进行。

4.5.19 湿热

按 GJB 150.9A—2009 规定的方法进行，也可选用 GJB 360B—2009 中方法 103 “稳态湿热试验”规定中适宜的方法进行。

4.5.20 霉菌

按 GJB 150.10A—2009 规定的方法进行。

4.5.21 盐雾

按 GJB 150.11A—2009 规定的方法进行，也可选用 GJB 360B—2009 中方法 101 “盐雾试验”规定中适宜的方法进行。

4.5.22 振动

按 GJB 150.16A—2009 规定的方法进行，也可选用 GJB 360B—2009 中方法 204 “高频振动试验”和方法 214 “随机振动试验”规定中适宜的方法进行。

4.5.23 冲击

按 GJB 150.18A—2009 规定的方法进行，也可选用 GJB 360B—2009 中方法 213 “冲击(规定脉冲)试验”规定中适宜的方法进行。

4.5.24 稳态加速度

按 GJB 150.15A—2009 规定的方法进行，也可选用 GJB 360B—2009 中方法 212 “稳态加速度”规定

中适宜的方法进行。

#### 4.5.25 密封

检验密封时,使减速器在工作状态,在其密封处下面放一接油盘,24h后观察漏油量;使谐波减速器停止工作,再观察其是否漏油。

### 5 交货准备

#### 5.1 包装

谐波减速器经检验合格后,进行密封包装,包装应符合用户要求;用户无特殊要求时,参照本项执行。

谐波减速器包装时应有必要的防锈和保护措施。外表面无保护部分应涂防锈油或防锈脂;使用油纸和塑料泡沫等单件包裹,用加固的包装盒盛放;包装箱内应有附加定位和固定措施;包装箱内应附有装箱单、产品合格证、性能检测报告及记录、必要的过程监测资料(材质单、热表处理报告等);包装箱外应标识产品名称、重量、放置方向、防潮标记、制造厂名等。

#### 5.2 运输

运输过程中要小心轻放、防雨淋,避免倒置、外力冲击和相互碰撞。

#### 5.3 储存

谐波减速器应能在温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度不大于85%,清洁、通风良好的库房内存放,空气中不应含有腐蚀性气体。储存期从谐波减速器出厂之日起为三年,满三年后应逐台检查,必要时更换润滑脂。

### 6 说明事项

#### 6.1 预定用途

本规范规定的谐波减速器可用于雷达、通讯设备、飞机、舰船、卫星、导弹、核能设备、机器人等军事装备。

#### 6.2 分类及命名

##### 6.2.1 分类

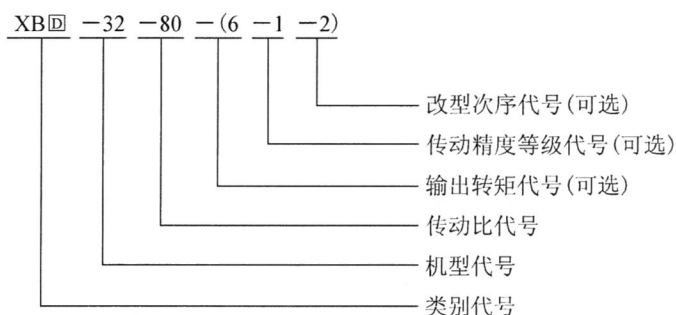
本规范规定的谐波减速器典型的机型包括25、32、40、50、60、80、100、120、160、200、250、320。机型号用柔轮内径表示,机型号按GB/T 321—2005中的R10优先数系排列。未列入机型参照此标准执行。

##### 6.2.2 型号命名

###### 6.2.2.1 通则

谐波减速器的型号参照GB/T 14118—1993的规定命名,型号由类别代号、机型代号、速比代号、输出转矩代号、精度等级代号(按传动误差和空程精度等级的最低精度等级标志)和改型次序代号六部分组成。

示例: XBD—32—80—(6—1—2)



6.2.2.2 类别代号

XB 代表谐波，□为厂家自定义类别符号。

6.2.2.3 机型号

机型号用柔轮内径数值表示。

6.2.2.4 传动比代号

传动比代号用传动比数值表示，即输入转速除以输出转速，采用四舍五入法取整处理。

6.2.2.5 输出转矩代号

输出转矩代号用输出转矩数值取整表示，小于 1Nm 时，统一表示为 1。

6.2.2.6 传动精度等级代号

精度等级代号按表 1，分为 4 级。

6.2.2.7 改型次序代号

改型次序代号用顺序号表示，第一次改型代号为 1，第二次改型代号为 2，以此类推。

6.3 订购文件应明确的内容

订购文件(合同或订单)应明确以下内容：

- a) 本规范名称和编号；
- b) 相关详细规范名称和编号；
- c) 名称、型号/规格；
- d) 标志、封存、包装和装箱要求；
- e) 订购方或承制方认为有必要明确的事项。

6.4 质量保证期

谐波减速器的质量保证期由相关详细规范规定。

6.5 使用术语说明

谐波减速器在使用过程中，额定输出转矩即为额定负载。

6.6 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

6.6.1 传动精度 **transmission accuracy**

在工作状态下，谐波减速器输入端旋转时，输出端的实际转角与相对理论转角的接近程度。

注：传动精度包括传动误差和空程(回差)。

6.6.2 传动误差 **transmission error**

当谐波减速器输入端单向旋转时，输出端的实际转角与理论转角之差。

6.6.3 空程(回差) **lost motion**

谐波减速器输入端由正向改为反向旋转时，输出端在转角上的滞后量。

6.6.4 背隙(齿隙) **back lash**

将谐波减速器输入端与壳体均固定，在输出端施加±2%额定转矩顺时针和逆时针方向扭转时，减速器输出端的微小的角位移。

6.6.5 启动转矩 **starting torque**

谐波减速器输出端无负载，缓慢扭转输入端至输出端启动瞬间所需的转矩。

6.6.6 反向启动转矩 **hackdriving torque**

谐波减速器输入端无负载，缓慢扭转输出端至输入端启动瞬间所需的转矩。

6.6.7 空载摩擦转矩 **no-load running torque**

谐波减速器在输出端无负载，驱动输入端，稳定转速下的输入转矩为该转速下空载摩擦转矩。

6.6.8 传动效率 **transmission efficiency**

谐波减速器输出功率与输入功率的比值。

#### 6.6.9 滞回曲线 hysteresis curve

谐波减速器输入端固定,给输出端逐渐加载至额定转矩后卸载,再反向逐渐加载至额定转矩后卸载,记录输出端对应的转矩、转角值,绘制完成的封闭的转矩—转角曲线。

#### 6.6.10 扭转刚度 torsional rigidity

在扭转力矩作用下,谐波减速器输出端抗扭转变形的能力,即输入端固定,输出端承受的转矩与输出端的弹性扭转角的比值。

#### 6.6.11 弯曲刚度 bending moment rigidity

在弯矩作用下,谐波减速器输出端抗倾斜弯曲的能力,即减速器固定,输出端承受的弯矩与输出端轴线的弹性偏转角的比值。

#### 6.6.12 转动惯量 moment of inertia

谐波减速器波发生器轴转动时惯性的量度。



## 附录 A

(资料性附录)

## 转动惯量及反向启动转矩参考值

## A.1 转动惯量参考值

转动惯量参考值见表 A.1。

表 A.1 转动惯量参考值

机型	波发生器转动惯量 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	机型	波发生器转动惯量 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	机型	波发生器转动惯量 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$
25	$0.007 \times 10^{-4}$	60	$0.585 \times 10^{-4}$	160	$5.65 \times 10^{-3}$
32	$0.028 \times 10^{-4}$	80	$1.77 \times 10^{-4}$	200	$1.72 \times 10^{-2}$
40	$0.038 \times 10^{-4}$	100	$5.46 \times 10^{-4}$	250	$5.16 \times 10^{-2}$
50	$0.25 \times 10^{-4}$	120	$1.18 \times 10^{-3}$	320	$1.52 \times 10^{-1}$

## A.2 反向启动转矩参考值

反向启动转矩见表 A.2。

表 A.2 反向启动转矩参考值

机型	反向启动转矩 $\text{N} \cdot \text{m}$	机型	反向启动转矩 $\text{N} \cdot \text{m}$
25	1~2	50	3~5
32	1~3	60	3~7
40	1.5~4	80	4~10
100 及以上	见相关详细规范		

中华人民共和国  
国家军用标准  
军用谐波传动变速器通用规范  
GJB 2593A—2024

\*

国家军用标准出版发行部出版  
(北京东外京顺路7号)  
国家军用标准出版发行部印刷车间印刷  
国家军用标准出版发行部发行  
版权专有 不得翻印

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1½ 字数 42 千字  
2025年2月第1版 2025年2月第1次印刷

\*

军标出字第 16397 号