

ICS 点击此处添加 ICS 号
CCS 点击此处添加 CCS 号

T/ZJAA

团 体 标 准

T/ZJAA XXXX—2022

太阳能光热发电用双导程蜗轮蜗杆式回转 减速机技术要求及试验方法

Technical requirements and test methods of dual lead worm and wheel azimuth
reducers for concentrated solar power system

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

浙江省自动化学会 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 技术要求	2
5 检验及试验方法	4

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。

本文件由浙江省自动化学会提出。

本文件由浙江省自动化学会归口。

本文件负责起草单位：浙江台玖精密机械有限公司。

本文件拟参加起草单位：

本文件主要起草人：

太阳能光热发电用双导程蜗轮蜗杆式回转减速机 技术要求及试验方法

1 范围

本文件规定了太阳能光热发电用双导程蜗轮蜗杆式回转减速机的术语与定义、技术要求及试验方法。本文件适用于太阳能塔式光热发电定日镜重量800kg以下的驱动系统。

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/T 228.1	金属材料拉伸试验 第1部分：室温试验方法
GB/T 230.1	金属材料 洛氏硬度试验
GB/T 1348	球墨铸铁件
GB/T 1771	色漆和清漆 耐中性盐雾性能的测定
GB/T 3077	合金结构钢
GB/T 4208	外壳防护等级
GB/T 6414	铸件 尺寸公差、几何公差与机械加工余量
GB/T 6461	盐雾试验国标
GB/T 9450	钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核
GB/T 10125	人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
GB/T 10085	圆柱蜗杆传动基本参数
GB/T 10086	圆柱蜗杆、蜗轮代号
GB/T 10087	圆柱蜗杆基本齿廓
GB/T 10089	圆柱蜗轮蜗杆精度
GB/T 26972	聚光型太阳能热发电术语
JB/T 5558	减（增）速器试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

双导程蜗轮蜗杆 Duplex Worm Gear

双导程蜗轮蜗杆是齿部的左、右两侧面具有不同导程角的蜗轮蜗杆。

3.2

定日镜 Heliostat

定日镜是以机械驱动方式使太阳辐射恒定地朝一个方向反射的反射器。

3.3

太阳能热发电 Solar Thermal Power

太阳能热发电是将太阳能转换为热能，通过热功转换过程发电的系统。

3.4

塔式太阳能热发电 Solar Power Tower

塔式太阳能热发电是太阳能集热场由定日镜和位于高塔上的吸热器组成的太阳能热发电方式。

3.5

扭转刚性 Torsional Rigidity

扭转刚性是固定回转减速机的底座，在外壳上施加一个平行于底座安装面的扭矩，减速机外壳因此所产生的弹性角位移量。

3.6

弯曲刚性 Flexural Rigidity

弯曲刚性是固定回转减速机的底座，在外壳上施加一个垂直于底座安装面的扭矩，减速机外壳因此所产生的弹性角位移量。

3.7

蜗轮副侧隙 Backlash

蜗轮副侧隙是蜗杆保持静止，轻载条件下蜗轮正、反向可转动的角度。

3.8

跟踪精度 Tracking Accuracy

跟踪精度是在消除减速机的传动间隙后，令输入端继续旋转一定的角度 (α)，使外壳产生旋转，再令输入端反向旋转相同的角度 ($-\alpha$)，外壳不能完全复位，产生的角度偏差。

3.9

动态自锁 Dynamic Self-locking

动态自锁是固定回转减速机的输入端，给输出法兰施加较小转矩消除传动间隙后，继续施加设定频率、设定峰值的冲击转矩，输出法兰因此产生的角度位移量。

3.10

传动效率 Transmission Efficiency

传动效率是减速机输出功率与输入功率的比值。

4 技术要求

4.1 一般要求

4.1.1 外观

表面漆层应均匀、无流迹、无露底；各密封面、结合面不应有渗漏油现象。

4.1.2 蜗杆材料要求

蜗杆材料一般采用低碳合金结构钢，其力学性能应不低于 GB/T 3077 中的规定，允许采用力学性能相当或较高的其他材料。

4.1.3 蜗杆热处理要求

蜗杆应进行渗碳淬火处理，齿面磨削加工后有效硬化层深度 0.7 mm~1.1 mm 范围内，且不得有裂纹，齿面硬度 58 HRC~62 HRC 范围内，芯部硬度 30 HRC~42 HRC 范围内。

4.1.4 蜗轮材料要求

蜗轮一般采用球墨铸铁件，其力学性能应不低于 GB/T 1348 的规定，允许采用力学性能相当或较高的其他材料。

4.1.5 蜗杆、蜗轮精度要求

蜗杆、蜗轮的齿部精度应不低于 GB/T 10089 中规定的 7 级。

4.2 性能要求

4.2.1 功能

双导程蜗轮蜗杆式光热回转减速机主要用于塔式二次反射太阳能光热发电，工作时减速机底座固定在基座上，电机驱动行星减速器转动，行星减速器带动蜗轮蜗杆转动，蜗轮的转动带动定日镜镜架转动，以此完成定日镜镜面的精确水平回转运动。

4.2.2 轴向承载力

轴向承载力 $\leq 9000\text{N}$ 。

4.2.3 扭转刚性

扭转刚性 $\geq 900\text{N}\cdot\text{m}/\text{mrad}$ 。

4.2.4 弯曲刚性

弯曲刚性 $\geq 1950\text{N}\cdot\text{m}/\text{mrad}$ 。

4.2.5 蜗轮副侧隙

蜗轮副侧隙 $\leq 0.7\text{mrad}$ 。

4.2.6 跟踪精度

跟踪精度 $\leq 1.5\text{mrad}$ 。

4.2.7 动态自锁

动态自锁 $\leq 1\text{mrad}$ 。

4.2.8 传动效率

负载扭矩 $850\text{N}\cdot\text{m}$ 时，传动效率 $\geq 18\%$ 。

4.3 耐久性要求

4.3.1 寿命要求

正常使用应不低于 25 年，减速机的跟踪精度应 $\leq 2.0\text{mrad}$ 。

4.3.2 蜗轮副磨损要求

寿命测试结束后，蜗轮副侧隙应 $\leq 1.5\text{mrad}$ 。

4.3.3 刚性损失要求

寿命测试结束后，扭转刚性 $\geq 900\text{N}\cdot\text{m}/\text{mrad}$ 。弯曲刚性 $\geq 1950\text{N}\cdot\text{m}/\text{mrad}$ 。

4.4 耐候性要求

4.4.1 防护等级

按 5.5.1 方法，结果应符合 GB/T 4208 规定的 IP65 级。

4.4.2 气密性

按 5.5.2 方法，泄压值 $\leq 10\text{KPa}$ 。

4.4.3 抗盐雾能力

按 5.5.3 方法，保护评级 \geq GB/T 6461 规定的 Rp5 级。

5 检验及试验方法

5.1 检验及试验条件

5.1.1 检验及试验温度

在室内检测，温度 $20\pm 10^\circ\text{C}$ ，湿度 $\leq 75\%\text{RH}$ 。

5.2 一般要求检验方法

5.2.1 外观

目视，结果应符合 4.1.1 要求。表面漆层应均匀、无流迹、无露底；各密封面、结合面不应有渗漏油现象。

5.2.2 蜗杆材料

材料元素使用直读光谱仪检测，材料力学性能使用拉力试验机根据 GB/T 228.1 规定检测，检测结果应符合 4.1.2 要求。其力学性能应不低于 GB/T 3077 中的规定。

5.2.3 蜗杆热处理

蜗杆表面硬度使用洛氏硬度计根据 GB/T230.1 规定检测，渗碳层深度根据 GB/T 9450 检测，检测结果应符合 4.1.3 要求。齿面磨削加工后有效硬化层深度 $0.7\text{ mm}\sim 1.1\text{ mm}$ 范围内，且不得有裂纹，齿面硬度 $58\text{ HRC}\sim 62\text{ HRC}$ 范围内，芯部硬度 $30\text{ HRC}\sim 42\text{ HRC}$ 范围内

5.2.4 蜗轮材料

材料元素使用直读光谱仪检测，材料力学性能使用拉力试验机根据 GB/T 228.1 规定检测，检测结果应符合 4.1.4 要求。其力学性能应不低于 GB/T 1348 的规定。

5.2.5 蜗杆、蜗轮精度

使用高精度齿轮测量仪检测，检测结果应符合 4.1.5 要求。蜗杆、蜗轮的齿部精度应不低于 GB/T 10089 中规定的 7 级。

5.3 性能检验方法

5.3.1 功能

固定减速机底座，连接驱动电机，上方负载 800KG 砝码，启动电机，电机转速 200rpm，减速机输出端可以 $\pm 360^\circ$ 转动。

5.3.2 轴向承载力

如图 1 所示，在减速机外壳上方轴向施加 9000N 的力，范围不允许超过减速机外沿，保持 5-10 分钟，测试完成后减速机能够正常运转。

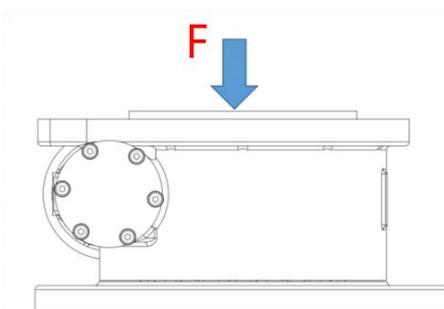
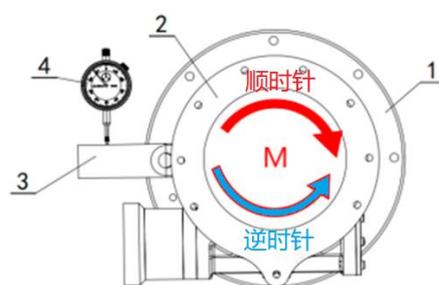


图1 轴向承载力测试示意图

5.3.3 扭转刚性

a) 如图 2 所示，在测试台上固定减速机底座，在减速机外壳上固定一个辅助杆，辅助杆中心线通过减速机回转中心，千分表打表点距离减速机回转中心 $L=200\text{mm}\sim 300\text{mm}$ ，百分表测量杆应大致与辅助杆中心线保持垂直，调整千分表压表读数在 $0.5\text{mm}\sim 1\text{mm}$ 之间。



1-底座； 2-外壳； 3-辅助杆； 4-千分表
图2 扭转刚性测试示意图

b) 在减速机外壳上顺时针施加一个垂直于减速机输出轴轴线的扭矩 M ，扭矩 M 的大小按表 1 的顺序依次施加，并依次记录千分表读数 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_9 （单位 mm）。

表1 扭转刚性扭矩表

i	M _i (单位N.m)
1	150
2	300
3	450
4	600
5	750
6	900
7	1050
8	1200
9	1350

c) 再次逆时针施加转矩，并记录千分表读数 S1'、S2'、S3'、S4'、S5'、S6'、S7'、S8'、S9'。

d) 分别计算相邻两扭矩之间的刚性（单位为 N.m/mrad）。

$$GI_1 = \frac{300 - 150}{(S_2 - S_1) / L} \div 1000 \quad (1)$$

$$GI_2 = \frac{450 - 300}{(S_3 - S_2) / L} \div 1000 \quad (2)$$

$$GI_3 = \frac{600 - 450}{(S_4 - S_3) / L} \div 1000 \quad (3)$$

$$GI_4 = \frac{750 - 600}{(S_5 - S_4) / L} \div 1000 \quad (4)$$

$$GI_5 = \frac{900 - 750}{(S_6 - S_5) / L} \div 1000 \quad (5)$$

$$GI_6 = \frac{1050 - 900}{(S_7 - S_6) / L} \div 1000 \quad (6)$$

$$GI_7 = \frac{1200 - 1050}{(S_8 - S_7) / L} \div 1000 \quad (7)$$

$$GI_8 = \frac{1350 - 1200}{(S_9 - S_8) / L} \div 1000 \quad (8)$$

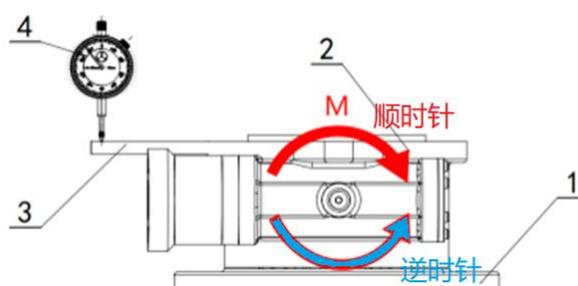
e) 将计算的结果带入下面的公式 9，计算出顺时针方向的扭转刚性，结果应符合 4.2.3 要求，扭转刚性 ≥ 900 N.m/mrad。

$$GI = \frac{\sum_{n=1}^8 GI_n}{8} \quad (9)$$

f) 同理计算出逆时针方向的扭转刚性，结果应符合 4.2.3 要求，扭转刚性 ≥ 900 N.m/mrad。

5.3.4 弯曲刚性

a) 如图 3 所示，在测试台上固定减速机底座，在减速机外壳上固定一个辅助杆，辅助杆中心线通过减速机回转中心，千分表打表点距离减速机回转中心 $L=200\text{mm}\sim 300\text{mm}$ ，百分表测量杆应大致与辅助杆中心线保持垂直，调整千分表压表读数在 $0.5\text{mm}\sim 1\text{mm}$ 之间。



1-底座；2-外壳；3-辅助杆；4-千分表

图3 测试示意图

b) 在减速机外壳上顺时针施加一个平行于减速机输出轴轴线的扭矩 M ，扭矩 M 的大小按表 2 的顺序依次施加，并依次记录千分表读数 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 、 S_7 （单位 mm）。

表2弯曲刚性扭矩表

i	M_i (单位N.m)
1	100
2	200
3	500
4	1000
5	1500
6	2000
7	2500

c) 再次逆时针施加扭矩并记录千分表读数 S_1' 、 S_2' 、 S_3' 、 S_4' 、 S_5' 、 S_6' 、 S_7' 。

d) 分别计算相邻两扭矩之间的刚性（单位为 N.m/mrad）。

$$EI_1 = \frac{200 - 100}{(S_2 - S_1) / L} \div 1000 \quad (10)$$

$$EI_2 = \frac{500 - 200}{(S_3 - S_2) / L} \div 1000 \quad (11)$$

$$EI_3 = \frac{1000 - 500}{(S_4 - S_3) / L} \div 1000 \quad (12)$$

$$EI_4 = \frac{1500 - 1000}{(S_5 - S_4) / L} \div 1000 \quad (13)$$

$$EI_5 = \frac{2000 - 1500}{(S_6 - S_5) / L} \div 1000 \quad (14)$$

$$EI_6 = \frac{2500 - 2000}{(S_7 - S_6) / L} \div 1000 \quad (15)$$

e) 将计算的结果带入下面的公式 16，计算出顺时针方向的平均弯曲刚性，结果应符合 4.2.4 要求，弯曲刚性 $\geq 1950 \text{ N.m/mrad}$ 。

$$EI = \frac{\sum_{n=1}^6 EI_n}{6} \quad (16)$$

f) 同理计算出逆时针方向的平均弯曲刚性, 结果应符合 4.2.4 要求, 弯曲刚性 $\geq 1950\text{N}\cdot\text{m}/\text{mrad}$ 。

5.3.5 蜗轮副侧隙

如图 3 所示, 测量计算步骤如下:

a) 在测试台上固定减速机底座, 在外壳上固定一根辅助杆, 辅助杆轴线大致通过减速机回转中心, 百分表打表点半径为 $R=200\text{mm}\sim 300\text{mm}$, 千分表测量杆应大致与辅助杆中心线保持垂直, 调整千分表压表读数在 $0.5\text{mm}\sim 1\text{mm}$ 之间。

b) 定义当前外壳位置在 0° 点, 对外壳正向施加 $(75\pm 5)\text{Nm}$ 的扭矩, 记录百分表读数 A; 卸力后对外壳再反方向施加 $(75\pm 5)\text{N}\cdot\text{m}$ 的转矩, 记录千分表读数 B; 可计算蜗轮副间隙数值 $C=B-A$, 单位为 mm 。

c) 重复步骤 a) 到 b), 分别测量外壳在 120° 点附近和 240° 点附近时的蜗轮副齿侧间隙的数值 D 和 E, 单位均为 mm 。

e) 分别计算 30° 点、 120° 点和 240° 点的蜗轮副侧隙 θ_1 、 θ_2 和 θ_3 (单位均为毫弧度 mrad)。

$$\theta_1 = \frac{C}{R} \times 1000 \quad (17)$$

$$\theta_2 = \frac{D}{R} \times 1000 \quad (18)$$

$$\theta_3 = \frac{E}{R} \times 1000 \quad (19)$$

f) 将计算的结果带入下面的公式 20, 计算出平均蜗轮副侧隙, 结果应符合 4.2.5 要求, 蜗轮副侧隙 $\leq 0.7\text{mrad}$ 。

$$\theta = \frac{\sum_{n=1}^3 \theta_n}{3} \quad (20)$$

5.3.6 跟踪精度

如图 3 所示, 测量计算步骤如下:

a) 在测试台上固定减速机底座, 在外壳上固定一根辅助杆, 辅助杆轴线大致通过减速机回转中心, 百分表打表点半径为 $R=200\text{mm}\sim 300\text{mm}$, 千分表测量杆应大致与辅助杆中心线保持垂直, 调整千分表压表读数在 $0.5\text{mm}\sim 1\text{mm}$ 之间。

b) 定义当前外壳位置在 0° 点, 驱动回转装置输入端, 使外壳旋转至 30° 点, 打表记录读数 A'; 然后将外壳转到 40° 点后再转回到 30° 理论点, 记录百分表读数 B'; 计算回转间隙数值 $C'=B'-A'$,

单位为 mm。

c) 重复步骤 a) 到 b)，分别测量输出法兰在 120° 点和 240° 点时的回转间隙的数值 D' 和 E'，单位均为 mm。

d) 分别计算 30° 点、120° 点和 240° 点的跟踪精度 θ_1' 、 θ_2' 和 θ_3' （单位均为毫弧度 mrad）。

$$\theta_1' = \frac{C'}{R} \times 1000 \quad (21)$$

$$\theta_2' = \frac{D'}{R} \times 1000 \quad (22)$$

$$\theta_3' = \frac{E'}{R} \times 1000 \quad (23)$$

g) 将计算的结果带入下面的公式 24，计算出平均跟踪精度，结果应符合 4.2.6 要求，跟踪精度 $\leq 1.5\text{mrad}$ 。

$$\theta' = \frac{\sum_{n=1}^3 \theta'_n}{3} \quad (24)$$

5.3.7 动态自锁

如图 3 所示，测量计算步骤如下：

a) 在测试台上固定减速机底座，在外壳上固定一根辅助杆，辅助杆轴线大致通过减速机回转中心，百分表打表点半径为 $R=200\text{ mm} \sim 300\text{ mm}$ ，千分表测量杆应大致与辅助杆中心线保持垂直，调整千分表压表读数在 $0.5\text{ mm} \sim 1\text{ mm}$ 之间。

b) 固定减速机的底座，给外壳施加 $400\text{ N}\cdot\text{m}$ 扭矩，记录千分表读数 A，在外壳上按间隔 1s 施加 $\geq 400\text{ N}\cdot\text{m}$ 冲击同方向扭矩，时长为 30s，然后保持住 $400\text{ N}\cdot\text{m}$ 的扭矩，记录千分表读数 B。根据下面公式 25 计算动态自锁，结果应符合 4.2.7，动态自锁 $\leq 1\text{ mrad}$ 。

$$K = \frac{B - A}{R} \times 1000 \quad (25)$$

式中：A：测试前千分表读数，B：测试后千分表读数，R：千分表打表点距减速机回转中心距离。

5.3.8 传动效率

传动效率试验设备应满足 JB/T 5558 中的加载试验台要求，加载运行前，应确保减速机安装正确，同时应确保添加规定的润滑油脂。输出转速按 20rpm 进行加速试验，输出端施加 $850\text{ N}\cdot\text{m}$ 的扭矩，减速机运行 30 分钟，每 5 分钟记录一次输入电机的转速 SI 和扭矩 MI 及输出端的转速 SJ 和扭矩 MJ。将 6 次记录的数据按下面公式 26、27、28、29 计算平均数据。

$$\bar{S}_I = \frac{\sum_{n=1}^6 S_{In}}{6} \quad (26)$$

$$\bar{M}_I = \frac{\sum_{n=1}^6 M_{In}}{6} \quad (27)$$

$$\bar{S}J = \frac{\sum_{n=1}^6 SJn}{6} \quad (28)$$

$$\bar{M}J = \frac{\sum_{n=1}^6 MJn}{6} \quad (29)$$

据公式 30 计算效率结果应符合 4.2.8 要求，传动效率 $\geq 18\%$ 。

$$\eta = \frac{\bar{S}I \times \bar{M}I}{\bar{S}J \times \bar{M}J} \quad (30)$$

式中： $\bar{S}I$ ：电机输入转速的平均值， $\bar{M}I$ ：电机输入扭矩的平均值， $\bar{S}J$ ：减速机输出转速的平均值， $\bar{M}J$ ：减速机输出扭矩的平均值。

5.4 耐久性检验方法

5.4.1 寿命要求

测量计算步骤如下：

a) 传动效率试验设备应满足 JB/T 5558 中的加载试验台要求，加载运行前，应确保减速机安装正确，同时应确保添加规定的润滑油脂。输出转速按 20rpm 进行加速试验，加速试验按照每天 24h，使用寿命 25 年进行计算，依据下面公式计算等效寿命回转圈数。

$$n = 25 * t * q \quad (27)$$

式中： t ：一年的天数，按 365 计算， q ：每天实际回转圈数，1 圈/天。

b) 根据公式 27 可计算得出 9125 圈，实际测试按 10000 圈计算，按照表 3 扭矩和圈数加载进行寿命试验。

表 3 寿命测试数据表

负载扭矩 Nm	正反各测圈数
81	4000
144	550
225	250
366	150
850	50

c) 加速试验完成后按 5.3.6 方法测试跟踪精度，结果应满足 4.2.6，减速机的跟踪精度应 $\leq 2.0\text{mrad}$ 。

5.4.2 蜗轮副磨损要求

寿命测试加速试验完成后,按 5.3.5 方法测试蜗轮副侧隙,结果应满足 4.2.5,蜗轮副侧隙应 $\leq 1.5\text{mrad}$ 。

5.4.3 刚性损失要求

寿命测试加速试验完成后,按 5.3.3 和 5.3.4 方法测试,结果应符合 4.2.3 和 4.2.4 要求。扭转刚性 $\geq 900\text{N.m/mrad}$ 。弯曲刚性 $\geq 1950\text{N.m/mrad}$ 。

5.5 耐候性试验方法

5.5.1 防护等级

防水防尘等级测试应满足 GB/T 4208-2017 标准中 14.2 的试验条件要求。

5.5.2 气密性

先使用密封装置密封影响回转减速器内部升压的通口,然后向回转减速器内平缓加入 50-70kPa 已滤水的压缩空气,关闭送气阀保持 60 秒后,内部压力下降 $\leq 10\text{Kpa}$ 为合格。

5.5.3 盐雾试验

按照 GB/T10125 的规定条件,试验时间 240h。
