

ICS 39.020

CCS J17

团 体 标 准

T/ZJAA 001—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

2022 - 08 - 20 发布

2022 - 09 - 20 实施

浙江省自动化学会 发布

目 次

目次	I
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	1
4.1 一般要求	1
4.2 性能要求	2
4.3 耐久性要求	2
4.4 耐候性要求	3
5 检验及试验方法	3
5.1 一般要求检验方法	3
5.2 性能检验方法	3
5.3 耐久性检验方法	8
5.4 耐候性试验方法	9

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。

本文件由浙江省自动化学会提出并归口。

本文件负责起草单位：浙江台玖精密机械有限公司。

本文件参加起草单位：杭州环道科技有限公司、杭州詮世传动有限公司、浙江长征职业技术学院、杭州新世宝电动转向系统有限公司、浙江科技学院、温州职业技术学院、浙江方圆检测集团股份有限公司、银川威力传动汽车技术股份有限公司。

本文件主要起草人：龚子涛、杨圆、陈泽辉、寿炳炎、张晓燕、张晓刚、江健、张新闻、李强、李武朝、张林海、陈锋、田光泽、马文广。

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 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 金属基体上金属和其他无机覆盖层经腐蚀试验后的试样和试件的评级
- GB/T 9450 钢件渗碳淬火硬化层深度的测定和校核
- GB/T 10089 圆柱蜗轮蜗杆精度
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- 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

GB/T 26972 界定的术语和定义适用于本文件。

4 技术要求

4.1 一般要求

4.1.1 工作环境

温度：-30℃~+65℃。

湿度：不应大于75% RH

4.1.2 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。

4.1.3 蜗杆材料

蜗杆材料一般采用低碳合金结构钢，其力学性能不应低于 GB/T 3077 中规定的抗拉强度 1080 MPa，

允许采用力学性能相当或更高的其他材料。

4.1.4 蜗杆热处理

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宜在 0.7 mm~1.1 mm 范围内，且不得有裂纹，齿面硬度宜在 58 HRC~62 HRC 范围内，芯部硬度宜在 30 HRC~42 HRC 范围内。

4.1.5 蜗轮材料

蜗轮材料一般采用球墨铸铁，其力学性能不应低于 GB/T 1348 中规定抗拉强度 500 MPa，允许采用力学性能相当或更高的其他材料。

4.1.6 蜗杆、蜗轮精度

蜗杆、蜗轮的齿部精度不应低于 GB/T 10089 中规定的 7 级。

4.2 性能要求

4.2.1 功能

太阳能光热发电用双导程蜗轮蜗杆式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

轴向承载力不应小于 8000 N。

4.2.3 扭转刚性

扭转刚性不应小于 700 N·m/mrad。

4.2.4 弯曲刚性

弯曲刚性不应小于 1600 N·m/mrad。

4.2.5 蜗轮副侧隙

蜗轮副侧隙不应大于 0.8 mrad。

4.2.6 跟踪精度

跟踪精度不应大于 1.6 mrad。

4.2.7 动态自锁

动态自锁不应大于 0.8 mrad。

4.2.8 传动效率

负载扭矩 850 N·m~950 N·m 时，传动效率不应小于 20%。

4.3 耐久性要求

4.3.1 寿命要求

在减速机的跟踪精度不大于 2.0 mrad 前提下, 工作不应低于 25 年。

4.3.2 蜗轮副磨损要求

按 4.3.1 寿命要求测试结束后, 蜗轮副侧隙不应大于 1.8 mrad。

4.4 耐候性要求

4.4.1 防护等级

应符合 GB/T 4208 规定的 IP65 级。

4.4.2 气密性

通入 50~70KPa 的压缩空气, 保持 60 秒后, 泄压值不应大于 10 KPa。

4.4.3 抗盐雾能力

不应小于 GB/T 6461 规定的 Rp5 级。

5 检验及试验方法

5.1 一般要求检验方法

5.1.1 外观

目视, 结果应符合 4.1.2 规定。

5.1.2 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。

5.1.3 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 规定检测。

5.1.4 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。

5.1.5 蜗杆、蜗轮精度

使用高精度齿轮测量仪检测, 检测结果应按 GB/T 10089 做判定。

5.2 性能检验方法

5.2.1 功能

减速机底座朝下, 固定减速机底座, 连接驱动电机, 减速机外壳上方负载 800 kg 砝码, 启动电机, 电机转速 200 rpm, 减速机输出端可以 360° 正反向转动。

5.2.2 轴向承载力

如图 1 所示, 在减速机外壳上方轴向施加 8000 N 的力, 范围不允许超过减速机外沿, 保持 10~20

分钟，测试完成后减速机能够正常运转。

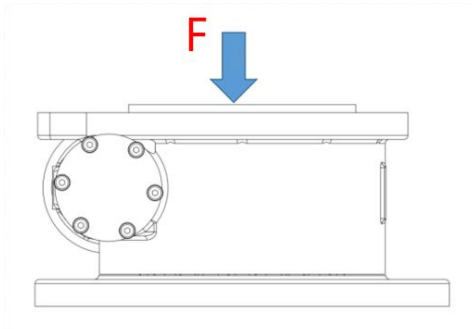
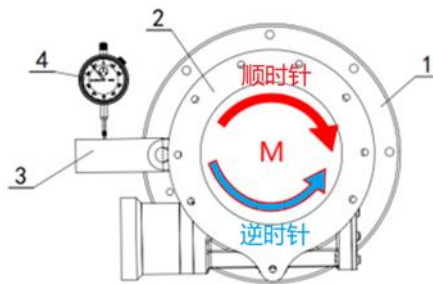


图1 轴向承载力测试示意图

5.2.3 扭转刚性

5.2.3.1 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 200 mm~300 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 mm~1 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

5.2.3.2 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_i ($i=1\sim 9$)，扭矩 M_i 的大小按表1的顺序依次施加，并依次记录千分表读数 $S_1\sim S_9$ (单位为 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

5.2.3.3 再次逆时针施加转矩，并记录千分表读数 $S_1'\sim S_9'$ (单位为 mm)。

5.2.3.4 按下列公式 (1) ~ (8) 分别计算顺时针相邻两扭矩之间的刚性 (单位为 $N\cdot m/mrad$)。

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

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

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

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

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

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

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

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

式中：L—千分表打表点距离减速机回转中心距离

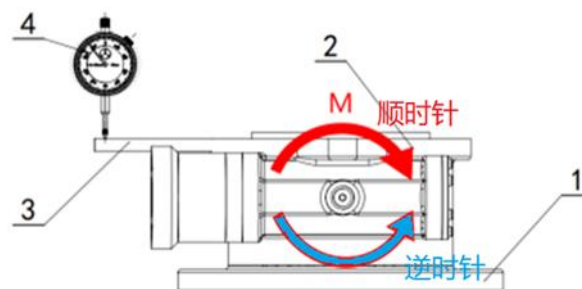
5.2.3.5 将计算的结果按下列公式（9），计算出顺时针方向的扭转刚性，结果应符合 4.2.3 规定。

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

5.2.3.6 同理计算出逆时针方向的扭转刚性，结果应符合 4.2.3 规定。

5.2.4 弯曲刚性

5.2.4.1 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 200 mm~300 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 mm~1 mm 之间。



1—底座；2—外壳；3—辅助杆；4—千分表

图3 测试示意图

5.2.4.2 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_i ($i=1\sim 9$)，扭矩 M_i 的大小按表 2 的顺序依次施加，并依次记录千分表读数 $S_1\sim S_7$ (单位为 mm)。

表2 弯曲刚性扭矩表

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

5.2.4.3 再次逆时针施加扭矩并记录千分表读数 $S_1' \sim S_7'$ (单位为 mm)。

5.2.4.4 按下列公式分别计算相邻两扭矩之间的刚性 (单位为 $N \cdot m/mrad$)。

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

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

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

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

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

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

式中: L —千分表打表点距离减速机回转中心距离

5.2.4.5 将计算的结果按下列公式 (16), 计算出顺时针方向的平均弯曲刚性, 结果应符合 4.2.4 规定。

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

5.2.4.6 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 规定。

5.2.5 蜗轮副侧隙

5.2.5.1 如图 3 所示, 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, 千分表打表点半径为 200 mm~300 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 mm~1 mm 之间。

5.2.5.2 定义当前外壳位置在 0° 点, 对外壳正向施加 $(75 \pm 5) N \cdot m$ 的扭矩, 记录百分表读数 A ; 卸力后对外壳再反方向施加 $(75 \pm 5) N \cdot m$ 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)。

5.2.5.3 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 (单位为 mm)。

5.2.5.4 分别计算 0° 点、 120° 点和 240° 点的蜗轮副侧隙 θ_1 、 θ_2 和 θ_3 (单位为 $mrad$)。

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

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

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

式中：R—千分表打表点距离减速机回转中心距离

5.2.5.5 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 规定。

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

5.2.6 跟踪精度

5.2.6.1 如图 3 所示，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，千分表打表点半径 200 mm~300 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 mm~1 mm 之间。

5.2.6.2 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）。

5.2.6.3 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'，（单位为 mm）。

5.2.6.4 按下列公式（21）~（23）分别计算 30° 点、120° 点和 240° 点的跟踪精度 θ_1' 、 θ_2' 和 θ_3' （单位为 mrad）。

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

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

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

5.2.6.5 将计算的结果按下列公式（24），计算出平均跟踪精度，结果应符合 4.2.6 规定。

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

5.2.7 动态自锁

5.2.7.1 如图 3 所示，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，千分表打表点半径为 200 mm~300 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 0.5mm~1mm 之间。

5.2.7.2 固定减速机的底座，给外壳施加 400N·m 扭矩，记录千分表读数 A，在外壳上按间隔 1s 施加 400N·m 冲击同方向转矩，时长为 30s，然后保持住 400N·m 的扭矩，记录千分表读数 B。按下列公式（25）计算动态自锁，结果应符合 4.2.7 规定。

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

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。

5.2.8 传动效率

传动效率试验设备应符合 JB/T 5558 中的加载试验台的规定，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 20 rpm 进行试验，输出端施加 850 N·m~950 N·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 次记录的数据按下列公式 (26) ~ (29) 计算平均数据。

$$\bar{S}I = \frac{\sum_{n=1}^6 SIn}{6} \quad (26)$$

$$\bar{M}I = \frac{\sum_{n=1}^6 MIn}{6} \quad (27)$$

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

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

按下列公式 (30) 计算效率结果应符合 4.2.8 规定。

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

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。

5.3 耐久性检验方法

5.3.1 寿命

5.3.1.1 传动效率试验设备应符合 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 20 rpm 进行试验，试验按照每天 24 h，使用寿命 25 年进行计算，按下列公式 (31) 计算等效寿命回转圈数。

$$n = 25 * t * q \quad (31)$$

式中：t—一年的天数，按 365 计算，q—每天实际回转圈数，1 圈/天。

5.3.1.2 按公式 (31) 可计算得出 9125 圈，实际测试按 10000 圈计算，按照表 3 扭矩和圈数进行寿命试验。

表3 寿命测试数据表

负载扭矩 N·m	正反各测圈数
80	4000
150	550
230	250
370	150

850	50
-----	----

5.3.1.3 试验完成后按 5.2.6 方法测试跟踪精度，结果应符合 4.2.6 规定。

5.3.2 蜗轮副磨损

寿命测试试验完成后，按 5.2.5 方法测试蜗轮副侧隙，结果应符合 4.2.5 规定。

5.3.3 刚性

寿命测试试验完成后，按 5.2.3 和 5.2.4 方法测试，结果应符合 4.2.3 和 4.2.4 规定。

5.4 耐候性试验方法

5.4.1 防护等级

防水防尘等级测试应符合 GB/T 4208-2017 标准中 14.2 的试验条件规定，结果应符合 4.4.1 规定。

5.4.2 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 50~70 KPa 已滤水的压缩空气，关闭送气阀保持 60 秒后，结果应符合 4.4.2 规定。

5.4.3 盐雾试验

按照 GB/T10125 的规定条件，试验时间 240 h，结果应符合 4.4.3 规定。