

碟式太阳能自动跟踪系统传动机构的误差分析

王林军^{1,2}, 许立晓^{1,2}, 邵磊^{1,2}, 门静^{1,2},
张东², 刘伟^{1,2}, 高章维^{1,2}

(1. 兰州理工大学机电工程学院, 兰州 730050; 2. 兰州理工大学西部能源与环境研究中心, 兰州 730050)

摘要: 虽然碟式太阳能集热发电的效率、开发潜力巨大, 但是需要实时对太阳的位置进行精确跟踪。为了提高碟式太阳能自动跟踪系统的精度, 该文设计了一种碟式太阳能自动跟踪系统的工作原理图和传动机构, 并使用 ADAMS 软件对其进行了物理仿真, 仿真主要基于传动机构运动学特性, 包括跟踪角度及主驱动件的角速度、角加速度等方面。分析结果显示传动机构运动学误差约为 0.02° , 与目前整机系统最小误差 $\pm 0.20^\circ$ 的标准相比, 仅为其误差量的 10%。同时, 对碟式太阳能自动跟踪系统的误差进行了分析, 该研究为提高碟式太阳能自动跟踪系统精度提供了一定的理论依据。

关键词: 太阳能; 运动学; 误差; 传动机构; ADAMS

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.18.008

中图分类号: TH132

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-18-0063-07

王林军, 许立晓, 邵磊, 等. 碟式太阳能自动跟踪系统传动机构的误差分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(18): 63-69.

Wang Linjun, Xu Lixiao, Shao Lei, et al. Errors analysis of transmission mechanism of dish solar auto-tracking system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(18): 63-69. (in Chinese with English abstract)

0 引言

在太阳能热发电中, 碟式太阳能热发电系统与槽式和塔式系统相比具有结构简单、布局灵活、发电效率高、初始投资少、系统优化潜力和成本降低潜力大、应用前景广等一系列优点。碟式太阳能热发电属于点集热发电技术^[1-2], 需要实时对太阳的位置进行精确跟踪。美国 SES 公司^[3-4]制造的碟式太阳能自动跟踪系统精度可达 $\pm 0.20^\circ$, 其中机械结构误差约占总误差量的 90%。碟式太阳能集热发电设备的研究主要包括 2 个方面: 一方面是研究如何提高吸热设备效率; 另一方面是研究如何提高设备跟踪精度。其中关于提高设备跟踪精度的研究尚不成熟, 仍有较大的研究空间。为了提高碟式太阳能热发电的效率、降低成本, 太阳能自动跟踪装置是太阳能发电系统中必不可少的装置, 能够实现在方位角 360° 和高度角 180° 范围内实时对太阳进行跟踪。本文从碟式太阳能自动跟踪系统的跟踪精度入手, 对碟式太阳能自动跟踪系统传动机构运动学误差进行了深入的研究。

1 碟式太阳能自动跟踪系统概述

1.1 碟式太阳能自动跟踪系统的组成及工作原理

通常碟式太阳能自动跟踪系统由以下几个部分组成: 聚光设备、传感器、传动机构、控制系统和对地安装机构等。该系统采用点聚焦方式进行集热, 控制器根据传感器的反馈信息对聚光器的位置进行调整, 保证聚光器的中轴线与太阳光线平行。

为了减小碟式太阳能自动跟踪系统的误差, 图 1 为我们所设计的该系统的工作原理图。该系统采用光电跟踪和程序跟踪相结合的混合跟踪方式, 系统运行过程中, 光电传感器每隔一段时间需对外界光强进行检测, 并与跟踪系统预设的光强阈值作比较后, 切换到指定的跟踪方式(光强值大于阈值时, 采用光电跟踪; 光强值小于阈值时, 采用程序跟踪)。而此时太阳位置信息传递到控制器, 控制器计算出步进电机所需转动的圈数和方向, 通过驱动系统从而控制聚光器追踪太阳。其中, 光电跟踪程序及程序跟踪程序写在控制器中, 驱动系统包括驱动器、步进电机及驱动机构。

该系统基于已有的 1 kW 碟式太阳能自动跟踪系统工作平台, 其中, 集热器采用直径为 24 000 mm 的旋转抛物面。为了提高该系统的跟踪精度, 选择精度较高的传动机构与其匹配。方位角使用双蜗杆

收稿日期: 2014-05-28 修订日期: 2014-08-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(51166008)

作者简介: 王林军(1963-), 男, 教授, 主要从事机械 CAD、工程图学、新能源利用技术等方面的研究工作。兰州市兰工坪路 287 号 兰州理工大学机电工程学院, 730050。Email: wanglinjun@lut.cn

单蜗轮传动机构，2 个蜗杆同步运动，共同驱动蜗轮，且 2 蜗杆的运行速度大小、方向均相同；高度角使用丝杠螺母传动机构，具有自锁功能。该蜗杆为单头，有效工作长度为 260 mm，模数为 5，分度

圆直径为 33 mm，直径系数为 6.60，导程为 47 mm，导程角为 26.57°，蜗轮齿数为 20；丝杠的有效工作长度为 1 300 mm，中径为 29 mm，使用梯形单头螺纹、右旋，螺距为 6 mm，螺旋升角为 3.70°。

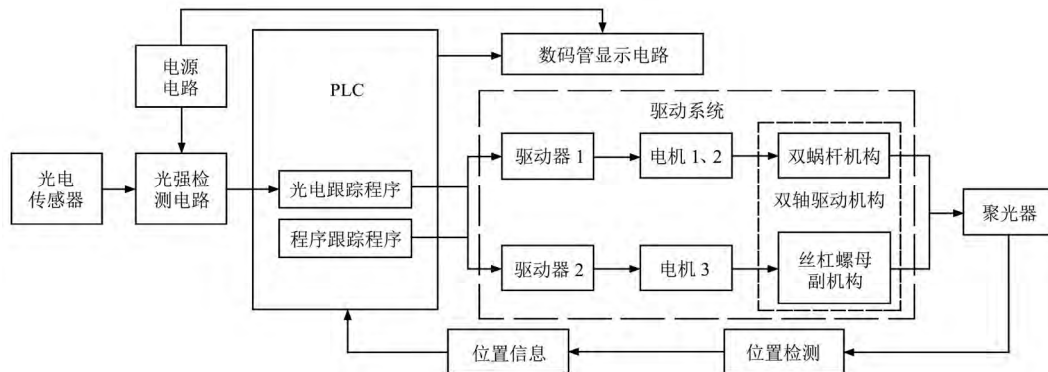


图 1 碟式太阳能自动跟踪系统工作原理图

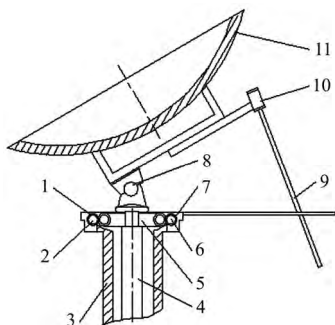
Fig.1 Working diagram of dish solar auto-tracking system

1.2 碟式太阳能自动跟踪系统常用传动机构

目前，常用于碟式太阳能自动跟踪系统的传动机构大致可以分为两类：回转传动机构和直线传动机构。

回转传动机构就是机构输入输出均为回转运动的传动结构，如圆柱齿轮传动机构、蜗轮蜗杆传动机构；直线传动机构就是输入为回转运动，输出为直线运动的传动机构，如齿轮齿条传动机构、丝杠螺母传动机构、液压缸传动机构^[5-11]。

本文对研究的碟式太阳自动跟踪系统采取了一定的消除间隙措施：首先，高度角使用丝杠螺母进行传动，在传动过程中丝杠始终受拉力作用，消除啮合间隙对机构的影响；其次，方位角使用双蜗杆单蜗轮传动形式，实时自补偿消除蜗轮蜗杆传动副的啮合间隙对系统跟踪精度的影响。图 2 为我们所设计的该系统的传动机构示意图。



1.电机 1 2.蜗杆 1 3.支撑圆筒 4.立柱 5.蜗轮 6.蜗杆 2 7.电机 2 8.横轴 9.丝杠螺母副 10.电机 3 11.聚光器
1. Electric machine 1 2. Worm 1 3. Supporting cylinder 4. Column 5. Worm gear 6. Worm 2 7. Electric machine 2 8. Horizontal axis 9. Screw and nut 10. Electric machine 3 11. Condenser

图 2 碟式太阳能自动跟踪系统传动机构示意图

Fig.2 Transmission mechanism of dish solar auto-tracking system

该传动机构使用丝杠螺母副传动高度角方向的变化，使用蜗轮蜗杆副传动方位角方向的变化。这种配置结构的优点就在于：丝杠螺母副和蜗轮蜗杆副同属于高精度传动机构，且均具有自锁功能，工作稳定性也都较其他传动机构好。但这 2 种传动机构存在同样缺点，即传动效率都不是太高。

2 仿真分析

2.1 驱动方程推导

碟式太阳能自动跟踪系统通常使用高度角和方位角这 2 个角度变量来进行描述太阳位置。查阅相关资料，可知高度角与方位角方程为^[12-13]，高度角 h ：

$$h = \arcsin(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \Omega) \quad (1)$$

方位角 A ：

当 $\Omega \leq$ 正午时刻，

$$A = -\arccos \frac{\sin h \sin \phi - \sin \delta}{\cos h \cos \phi} \quad (2)$$

当 $\Omega >$ 正午时刻，

$$A = \arccos \frac{\sin h \sin \phi - \sin \delta}{\cos h \cos \phi} \quad (3)$$

式中： δ 为赤纬角，(°)； ϕ 为本地纬度，(°)； Ω 为太阳时角，(°)。

由图 2 及已知的高度角、方位角方程，可推导出该传动机构 2 个方向上的参数驱动方程：

高度角参数 E_h 驱动方程为：

$$E_h = \frac{2 \times C \times 360}{P} \times \left[\sin \frac{180 - B - \arcsin(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \Omega_0)}{2} - \sin \frac{180 - B - \arcsin(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \Omega)}{2} \right] \quad (4)$$

方位角参数 E_A 驱动方程为：

当 $\Omega \leq$ 正午时刻，

$$E_A = -20 \times \arccos \frac{\sin h \sin \phi - \sin \delta}{\cos h \cos \phi} \quad (5)$$

当 $\Omega >$ 正午时刻，

$$E_A = 20 \times \arccos \frac{\sin h \sin \phi - \sin \delta}{\cos h \cos \phi} \quad (6)$$

式中： B 为丝杠固定结构差角， $B = \arccos(\frac{92.5}{C})$ ， $(^\circ)$ ； C 为丝杠固定端到高度角回转中心的距离， mm 。

2.2 ADAMS 仿真分析

ADAMS (automatic dynamic analysis of mechanical systems) 是美国 MDI 公司开发的虚拟样机分析软件，它可以在计算机上建立和测试虚拟样机，其求解器采用多刚体系统动力学理论中的拉格朗日方程方法，建立系统动力学方程，对虚拟机械系统进行静力学、运动学和动力学分析，输出位移、速度、加速度和反作用力曲线，以此了解复杂机械系统设计特性^[14]。文章正是使用 ADAMS 软件对碟式太阳能自动跟踪系统传动机构进行了运动学仿真，得到其相关运动误差。

仿真主要针对春分、夏至、秋分、冬至这 4 个典型时间，此处以兰州市为仿真研究地点，取 2013 年 6 月 21 日夏至为仿真分析时间，对仿真结果进行详细阐述，由以上研究条件可知：

- 1) 兰州市地理位置为 103.51°E 、 36.04°N ，即 $\Phi=36.04^\circ$ ；
- 2) 赤纬角为 $\delta=23.44^\circ$ ；
- 3) 太阳时角 $\Omega=15t-196.88$ ； t 为时间， h 。

首先，将以上条件带入参数驱动方程中，得到机构的驱动方程表达式；然后，使用 Pro/E 软件建立碟式太阳能自动跟踪系统的三维模型；再将模型导入到 ADAMS 软件中，建立各零件间的连接关系，在主驱动件上加载驱动方程（式（4）、式（5）和式（6）），进行仿真；最后，输出相关仿真数据。

3 结果与分析

3.1 角度仿真数据分析

由太阳运行轨迹方程式（式（1）、式（2）和式（3）），可以得到太阳在夏至当天方位角及高度角的变化曲线，如图 3 所示。

太阳方位角变化时以正午时分为分界点，正午时方位角为 0 ，其变化是由 -119.46° 单调递增至 $+119.55^\circ$ ；太阳高度角也可以认为是以正午时分为分界点，正午时高度角为全天最大值 77.40° ，在正

午之前高度角为递增趋势，正午过后高度角呈递减趋势。将模型导入 ADAMS 中进行运动学仿真之后，可以得到夏至当天碟式太阳能自动跟踪系统的方位角及高度角仿真变化曲线，如图 4 所示。

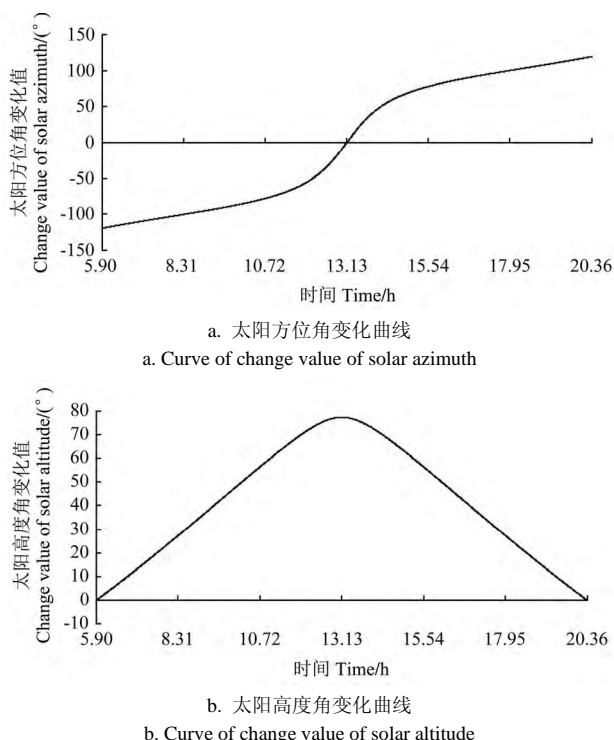


图 3 太阳方位角与高度角变化曲线(2013-06-21)
Fig.3 Curve of change value of solar azimuth and altitude (2013-06-21)

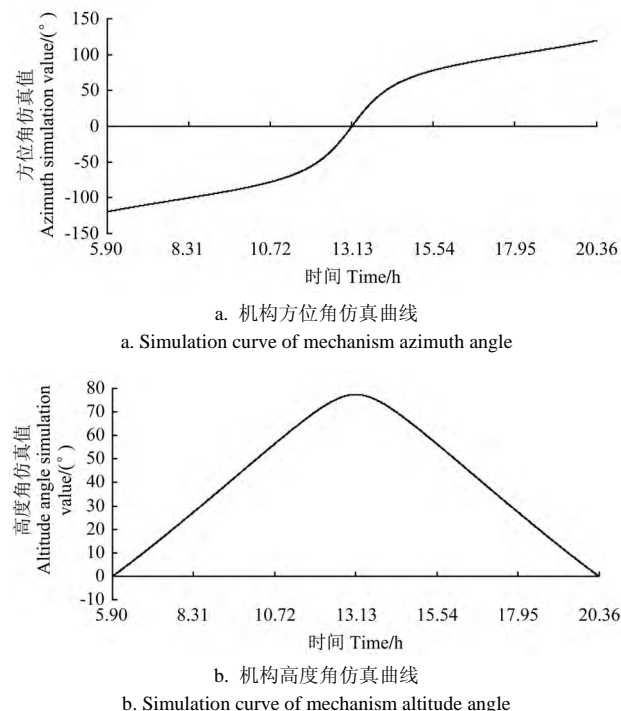


图 4 机构方位角与高度角仿真曲线 (2013-06-21)
Fig.4 Simulation curve of mechanism azimuth and altitude angle (2013-06-21)

为更方便的比较实际太阳方位角、高度角曲线与机构方位角、高度角仿真曲线的差别，此处引入绝对误差 Δ ，来对仿真前后数据进行比较。由此得到，方位角和高度角仿真前后绝对误差曲线如图 5 所示。

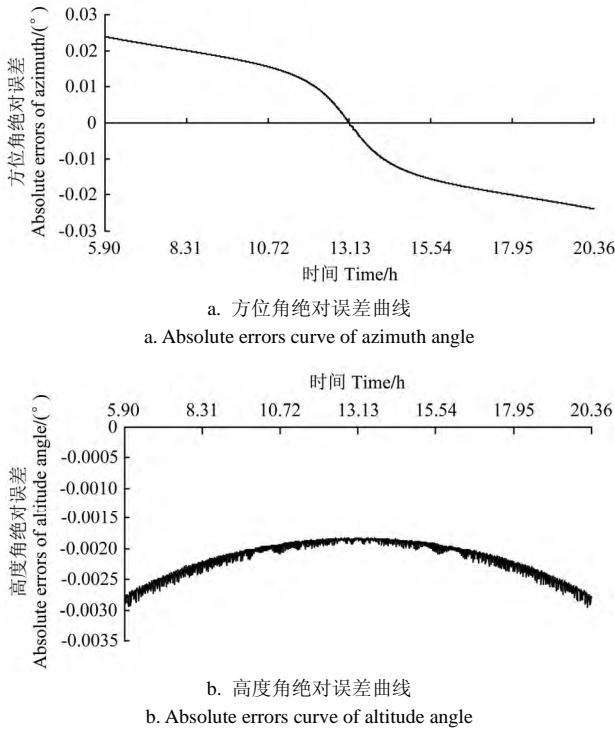


Fig.5 Absolute errors curve of azimuth and altitude angle

由图 5 绝对误差曲线图可以分析得出：

- 1) 方位角误差变化呈规则的递减曲线；
- 2) 方位角误差在正午时分前后最小，趋近于 0，而在日出日落时，相对较大；
- 3) 方位角仿真误差最大值 $\Delta A_{max}=0.02^\circ$ ；
- 4) 高度角误差变化存在抖动现象，并不规则，但其变化趋势为先增后减；
- 5) 高度角误差靠近正午时分较小，靠近日出与日落时，相对较大；
- 6) 高度角仿真误差最大值 $\Delta h_{max}=0.003^\circ$ 。

由以上总结得出的方位角、高度角最大仿真误差进行叠加计算，可以得出，本文研究的碟式太阳能自动跟踪系统的传动机构误差 $\Delta=\Delta A_{max}+\Delta h_{max}=0.023^\circ$ 。

此外，结合春分、秋分和冬至时的仿真角度数据可以得出，三者仿真角度变化趋势均与夏至时相同，数据分析结果也与夏至当天类似。但是由于春分、夏至、秋分和冬至太阳直射纬度不同，造成跟踪误差最大；春分与秋分跟踪误差相对较小；冬至跟踪误差最小。

3.2 角速度仿真数据分析

由软件仿真结果可以得到太阳夏至当天丝杠和蜗杆的角速度及角加速度变化曲线，如图 6 和图 7 所示。

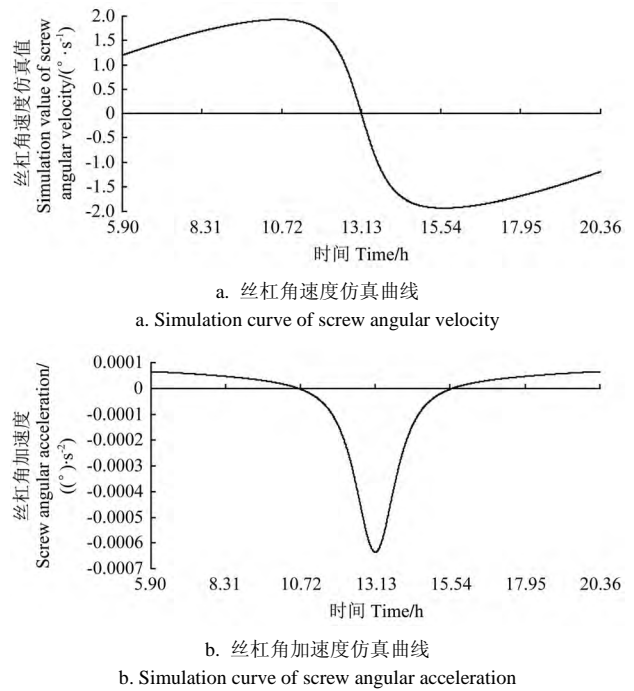


Fig.6 Simulation curve of screw angular velocity and angular acceleration

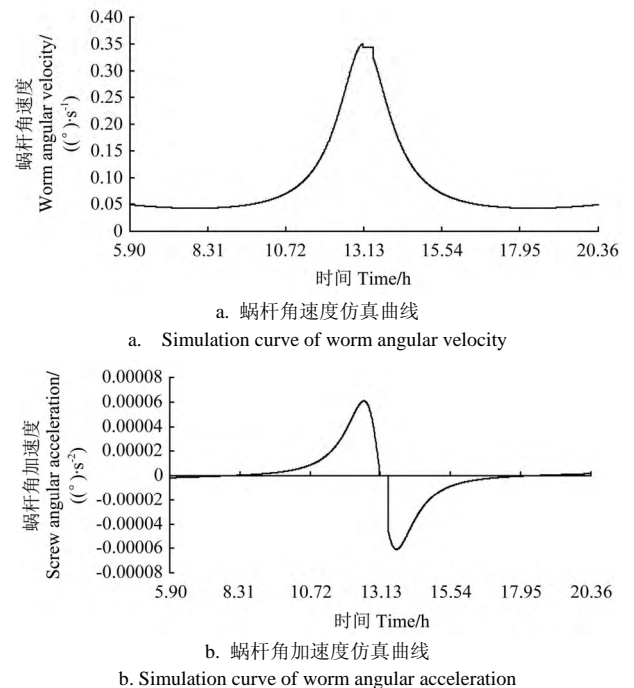


Fig.7 Simulation curve of worm angular velocity and acceleration

由图 6 可得，丝杠角速度、角加速度变化与高度角变化相对应，都是以正午时间为分界：正午之

前,丝杠角加速度先为正值,10.64 h 后丝杠角加速度变为负值,因此,丝杠的角速度在这个阶段呈现先增加后减小的趋势,与高度角呈单调递增趋势相对应;正午之后,丝杠角加速度先为负值,15.61 h 后丝杠角加速度变为正值,因此,丝杠的角速度在这个阶段呈现先减小后增大的趋势,与高度角单调递减趋势相对应。

由图 7 可得,蜗杆角速度、角加速度变化与方位角变化相对应,都是以正午时间为分界:正午之前,蜗杆角加速度始终为正值,因此,蜗杆的角速度在这个阶段呈现单调递增趋势,与方位角呈单调递增趋势相对应;正午之后,蜗杆角加速度始终为负值,因此,蜗杆的角速度在这个阶段呈单调递减趋势,但速度仍为正值,与方位角呈单调递增趋势相对应。

结合春分、秋分和冬至时的仿真角度数据可以得出,三者仿真角度变化趋势均与夏至时相同,数据显示分析结果也与夏至当天类似。但是由于春分、夏至、秋分和冬至太阳直射纬度不同,造成夏至丝杠和蜗杆的角速度、角加速度变化曲线最陡;春分与秋分丝杠和蜗杆的角速度、角加速度变化曲线相对平缓;冬至丝杠和蜗杆的角速度、角加速度变化曲线最平缓。

4 碟式太阳能自动跟踪系统误差分析

综合现有机制造及装配的实际情况,将碟式太阳能自动跟踪系统的误差总结为以下几个方面:控制部分误差、传动部分误差和其他部分误差。

控制部分是碟式太阳能自动跟踪系统的核心计算单元,它完成的任务主要是在系统运行初始时判断或检测太阳相对于工作地点的位置(该位置通常使用高度角和方位角进行表示);然后输出控制信号。控制系统误差主要由 2 部分组成,即软件系统误差和硬件系统误差。该部分的研究比较成熟,已经达到了较高的精度,优化空间较小。

传动部分是介于控制部分与工作平台之间的执行单元,主要任务就是接收来自控制部分的输出信号,并将其转换成机械部件之间的运动,从而控制工作平台直接对准太阳。传动部分使用的机械结构可分为 2 类:回转传动机构和直线传动机构。回转传动机构就是输入输出均表现为回转运动的传动机构,这种传动机构既可以用于高度角方向,也可以用于方位角方向。方位角本文采用蜗轮蜗杆传动机构,它属于一种特殊的齿轮传动机构,其

主要运用于高精度传动中,与圆柱齿轮机构相比较,其传动效率较低,但传动精度高。蜗轮与蜗杆之间的传动存在很多不可避免的误差,如蜗轮、蜗杆本身的制造误差,磨损产生的误差和中心距误差等。蜗轮、蜗杆本身的制造误差有机械行业限定的公差等级作为约束,其误差已经很小。蜗轮、蜗杆磨损产生的误差主要取决于传动机构的载荷以及润滑情况,该部分误差是一种较难控制的误差,且这种误差存在累积性,难以确定。齿轮中心距误差是对系统传动精度有较大影响的一种误差形式。中心距误差在机械装配过程中是不可避免的,因此,我们只能尽可能的减小此类误差,而无法将其完全消除。

运用于碟式太阳能跟踪中的直线传动机构就是输入为回转运动而输出为直线运动的传动机构,这种传动机构仅可使用于高度角方向。高度角本文采用丝杠螺母传动机构,其制造成本相对较高,其误差的主要表现形式为丝杠和螺母啮合时存在间隙误差,此误差使机构反向运动时丝杠与螺母之间会出现空程现象,该空程的大小取决于丝杠螺母啮合间隙的大小,且啮合间隙会随丝杠螺母的运动磨损而增大,存在累加性,一般难以确定。

其他部分误差的成分较为复杂,包括工作平台误差、安装连接误差、润滑和密封造成的误差以及风载造成的误差等。工作平台主要由吸热器和集热器组成,是太阳能-电能的直接转化单元。其误差会直接影响系统的热电转化效率。工作平台中存在的误差主要有 2 项:集热器制造误差和吸热器相对于集热器的安装误差。安装连接误差就是指在系统各部件之间的装配误差,以及系统整体安装于地面上时产生的误差。机械装配误差的存在是产生此类误差的主要原因。安装连接误差大致包括以下几类:系统对地安装误差、光电传感器安装误差、轴承产生的误差等。由于碟式太阳能自动跟踪系统工作于室外,且其集热器受风面积较大,系统每时每刻都可能受到来自不同方向的风力作用。风力会使系统对地安装机构产生不稳定力矩,使对地安装机构发生不可预测的弹性变形,造成机构工作平台偏离预期工作位置,产生一定的系统跟踪误差。这种误差与风力大小和方向相关,通常难以精确的预测和具体量化表达。

5 结 论

本文主要对一种碟式太阳能自动跟踪系统进

行了物理仿真,该传动机构高度角使用丝杠螺母副进行传动,方位角使用蜗轮蜗杆副进行传动,该传动机构在设计过程中使用特殊的消除间隙方法,使机构能够自补偿消除啮合间隙。在使用这种特殊传动机构的前提下,使用 ADAMS 软件进行运动学仿真分析,分析结果显示,该碟式太阳能自动跟踪系统传动机构的误差约为 0.02° ,与目前的碟式太阳能自动跟踪系统最高跟踪精度 $\pm 0.20^\circ$ 的标准相比,仅占其误差量的 10%。同时,对传动机构主驱动件角速度和角加速度进行了仿真,结果显示丝杠与蜗杆的变化与高度角和方位角变化趋势相同。另外,对碟式太阳能自动跟踪系统的误差进行了简单的分析。传动机构运动学误差仅为碟式太阳能自动跟踪系统误差的一部分,后续相关传动机构误差的研究正在进行当中。该研究结果为提高碟式太阳能自动跟踪系统跟踪精度提供了一定的理论依据。

[参 考 文 献]

- [1] Lovegrove K. Paraboloidal dish solar concentrators for multi-megawatt power generation[C]// Proceedings of Solar World Congress. Beijing: Australian National University, 2007: 18—22.
- [2] Agee J T, Jimoh A A. Control of a 3kW polar-axis solar power platform with nonlinear measurements[J]. Solar Energy, 2010(432): 43—67.
- [3] Barlev D, Vidu R, Stroeve P. Innovation in concentrated solar power[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2011, 95(10): 2703—2725.
- [4] 彭长青, 彭佑多, 胡燕平, 等. 大功率单碟式太阳能聚光器跟踪控制系统研究及实现[J]. 湖南科技大学学报, 2012, 27(3): 28—34.
Peng Changqing, Peng Youduo, Hu Yanping, et al. Research and implementation of tracking control system for a high-power single-disc solar concentrator[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology, 2012, 27(3): 28—34. (in Chinese with English abstract)
- [5] Zawadski A, Covernty J. Paraboloidal Dish Solar Concentrators for Multi-Megawatt Power Generation[R]. Beijing: Solar World Congress, 2007.
- [6] 关继文. 基于 DSP 的高精度太阳能跟踪系统控制器设计与实现[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
Guan Jiwen. Designed and Realization High-Precision Solar Tracking Controller Based on DSP[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [7] Weiliang Chen, Tsay C B. Contact characteristics of recess action worm gear drives with double-depth teeth[J]. Journal of Mechanical Design, 2011, 133(11): 1—10.
- [8] 张武, 高启坤, 杨晓苞, 等. 丝杠螺母副升降机构动力学稳定性分析[J]. 火控雷达, 2011, 40(2): 76—81.
Zhang Wu, Gao Qikun, Yang Xiaobao, et al. Analysis of dynamics stability of screw-nut auxiliary elevating mechanism [J]. Fire Control Radar Technology, 2011, 40(2): 76—81. (in Chinese with English abstract)
- [9] 洪添胜. 基于丝杠传动的太阳跟踪装置及其控制调节方法: 中国专利, 201110103316.X[P]. 2011-08-17.
- [10] 张四全. 槽式太阳能集热装置电液控制系统设计与研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2009.
Zhang Siquan. Design and Study of the Electro Hydraulic Control System for the Solar Heat Collection Device of Trough Solar Power Station[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [11] 尹东文. 太阳能接收器自动跟踪系统研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2011.
Yi Dongwen. Research of Solar Receptor Auto-Tracking System[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [12] 周炳辰. 微机太阳能自动跟踪系统的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2010.
Zhou Bingchen. Research of Computer Solar Tracking System[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [13] 向平, 程建民, 毕玉庆. 碟式太阳能跟踪装置的结构设计和动力分析[J]. 机械设计与制造, 2009, (6): 17—19.
Xiang Ping, Cheng Jianmin, Bi Yuqing. The tracking device design and drive analysis of the dish solar power tracking system[J]. Machinery Design & Manufacture, 2009, (6): 17—19. (in Chinese with English abstract)
- [14] 史丽红. 基于 Pro/E 和 ADAMS 软件的少自由度联机机器人运动学和动力学分析[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2010.
Shi Lihong. Analysis of Kinematics and Dynamics for Lower Mobility Parallel Robots Based on Pro/E and ADAMS Software [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2010. (in Chinese with English abstract)

Errors analysis of transmission mechanism of dish solar auto-tracking system

Wang Linjun^{1,2}, Xu Lixiao^{1,2}, Shao Lei^{1,2}, Men Jing^{1,2}, Zhang Dong^{1,2}, Liu Wei^{1,2}, Gao Zhangwei^{1,2}

(1. College of Mechano-Electronic Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2. China Western Energy and Environment Research Center, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: The energy crisis and environmental pollution have become increasingly prominent, therefore human beings have been exploring and making use of new energy resources. Solar energy, a new energy resource that is clean, renewable, economical, universal, etc., has grown fast worldwide. Taking advantage of solar energy can solve the energy shortage, and solar energy has an important effect on our country's future development. Solar power is considered to be one of the most ideal utilizations of solar energy. The solar thermal power generation is widely concerned. Among dish, groove, and tower solar thermal power generation, dish solar thermal power generation has the highest photoelectric conversion efficiency, and it belongs to point collector generation technology, which makes it worth to develop. The ever-changing solar radiation direction and the instability of the solar radiation energy lead to the inaccuracy of tracking systems and lower utilization. When the incident sunlight parallels the solar collector, the conversion efficiency is higher. Tracking mode can greatly improve the solar utilization rate. Research shows that energy receiving rate improves 37.7% when solar thermal power generation uses tracking mode. Accurate sun tracking can greatly improve the receiver's thermal efficiency. Compared to fixed systems, power output of single-axis and dual axis tracking systems can increase 25% and 41% under the same condition. It is clear that an accurate auto-tracking control system can make solar collectors receive more solar radiation energy to improve the solar energy utilization. Although the tracking system is more complex and costs higher than the fixed system, increasing the annual output power can reduce cost effectively. Program tracking mode, which is not affected by the weather, has high adaptability. When the control software calculates the sun's position, inevitably it would have round-off error. Photoelectric tracking mode has higher tracking accuracy because it can automatically track the sun and is seriously influenced by the weather. Auto-tracking mode of the dish solar tracking system commonly uses hybrid tracking that is a combination of program tracking mode and photoelectric tracking mode. Each tracking mode makes up for the other, so as a result, the precision and stability of the tracking system is further improved and guaranteed. The tracking system works outside, therefore it is easily influenced by environmental factors so tracking accuracy and stabilization is lower. In order to improve tracking accuracy of the dish solar auto-tracking system, this paper chose the more precise transmission mechanism to match the system and mainly focuses on the transmission mechanism error of the dish solar tracking system. Based on a working platform of the existing 1 kW dish solar auto-tracking system, this paper designs a kind of transmission mechanism. The azimuth angle uses double worm single worm wheel; two worms work together to drive the worm wheel. The running speed and direction of the worms are the same, and the screw nut transmission mechanism with self-locking function tracks the altitude angle. Second, deduce the driving equation of the altitude angle and azimuth angle. Then use a software named ADAMS is used to do the system's simulation. The simulation focuses on spring equinox, summer solstice, autumn equinox, and winter solstice in 2013 in Lanzhou based on kinematics of the tracking transmission mechanism. The analytical result shows that kinematics errors of the tracking transmission mechanism are nearly $+0.021^\circ$. Compared to the minimum systematic error, which is $\pm 0.20^\circ$, the kinematics errors are just 10%. At the same time, the errors of the dish solar auto-tracking system are analyzed. It lays a theoretical foundation of the study to improve the precision of the dish solar auto-tracking system. Transmission mechanism error is only part of the dish solar auto-tracking system's errors; relevant follow-up studies on other errors of the system are ongoing.

Key words: solar energy; kinematics; error; transmission mechanism; ADAMS