QTT高精度位移促动器设计与测试

项斌斌^{1,2*}, 彭海波³, 王娜^{1,2}, 李桐³, 陈卯蒸^{1,2}, 许谦^{1,2}

1. 中国科学院新疆天文台, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院射电天文重点实验室, 南京 210008;

3. 西安微电子技术研究所, 西安 710119

*联系人, E-mail: xiangbinbin@xao.ac.cn

收稿日期: 2018-12-28; 接受日期: 2019-01-28; 网络出版日期: 2019-06-05

国家重点基础研究发展计划(编号: 2015CB857100)、国家重点研发计划(编号: 2018YFA0404702)、中国科学院“西部之光”人才培养引进计划(编号: 2017-XBQNXZ-B-021)和国家自然科学基金(编号: 11803078)资助项目

摘要 本文针对110 m口径全向可动射电望远镜的高精度位移促动器进行设计与测试研究. 设计了采用步进电机、角度传感器、滚珠丝杠+蜗轮蜗杆的位移促动器方案. 针对关键部件进行了详细设计和仿真分析, 并对精度、电磁兼容性、环境适应性进行了专门设计. 对促动器样机进行了精度测试, 结果表明促动器定位精度小于15 μm , 满足设计精度要求. 将促动器样机放置于新疆, 进行了超过1年的实地环境适应性测试, 在整个测试过程中, 促动器样机运行可靠, 未出现故障, 满足环境适应性要求.

关键词 主动反射面, 促动器, 110 m口径全向可动射电望远镜, 主动补偿

PACS: 47.11.Fg, 95.55.-n, 95.85.-e

1 引言

110 m口径全向可动射电望远镜(也称奇台射电望远镜, QiTai radio Telescope, QTT)是一架口径为110 m全可转动的通用型射电望远镜, 主要用于射电天文观测, 工作波段覆盖150 MHz–115 GHz, 波长覆盖100 cm–3 mm^[1]. QTT的台址位于新疆奇台县半截沟镇石河子村, 工程正在进行建设中, QTT建成后将是世界上口径最大的全可动射电望远镜, 其高灵敏度、大视场和宽频段覆盖的特点, 可满足射电天文学多种实测研究的观测需要, 可显著提升我国天体物理、天

体测量、空间探测水平.

由于主反射面在望远镜系统中是汇聚接收电磁波主要部分, 所以反射面的表面误差就成为了影响望远镜性能的关键因素. 对于天文观测而言, 为了能够使望远镜提供较好的工作性能, 需要使天线反射面变形误差保持在相对于波长较低的水平, 进而能够保证高效的天文观测. 根据经典的RUZE公式^[2], 望远镜表面精度应保持在小于最短工作波长的1/16, 通常约1/20, 如工作波长7 mm需要表面精度约0.35 mm (rms). 对于QTT而言, 其最短工作波长为3 mm, 考虑到天线结构尺寸、环境影响、观测情况等因素, 表面精度基本要

引用格式: 项斌斌, 彭海波, 王娜, 等. QTT高精度位移促动器设计与测试. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 099505

Xiang B B, Peng H B, Wang N, et al. Design and test of a precision positioning actuator for QTT (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2019, 49: 099505, doi: [10.1360/SSPMA2018-00421](https://doi.org/10.1360/SSPMA2018-00421)

求为0.2 mm (rms). 对于这样庞大的百米级天线来说, 环境载荷(重力、温度、风载)影响非常显著, 要实现如此高的表面精度将是一项巨大的挑战. 为了满足0.2 mm (rms)表面精度的要求, QTT除了采用“保型设计”原理^[3]对天线结构进行优化设计来减小“保型变形”误差外, 还将采用主动补偿技术^[4], 如主动主反射面调整^[5,6]和副面位置调整^[7,8]等, 来进一步减小结构变形.

主动主反射面调整(简称主动面)技术是通过将分块拼接而成的主反射面板进行位置调整来修正表面形状, 补偿因重力、温度和风载等因素造成的面形误差. 当前全世界应用主动面技术的全可动射电望远镜主要有美国GBT^[9]、墨西哥LMT^[10]、意大利SRT^[6]、中国TianMa^[11]等. 经过几十年的发展, 主动面技术已成为提高大口径高精度全可动射电望远镜表面精度的必备手段之一.

主动面系统主要包括位移促动器、多节点控制网络、面形测量系统等组成^[12], 其中促动器作为面板的位置调节驱动部件, 是实现反射面误差主动修正的关键基础. 表1列出了当前国际上使用主动面系统的射电望远镜所采用的促动器的主要技术指标. 对于QTT主动面系统来说, 其要在克服环境因素影响的前提下, 实现反射面全天候高精度调整要求, 因此要求位移促动器具有高可靠性、高精度、长寿命等特点, 此外为了减小促动器的电磁辐射干扰, 还要求促动器具有较低的电磁辐射. 对于应用于新疆地区的促动器来而言,

全年环境温度变化大的特点对其环境适应性提出了特殊要求, 进而对促动器的研制提出了新的挑战.

文章主要描述了QTT位移促动器的设计与实验测试. 根据参数指标要求进行了促动器方案设计, 对位移促动器关键部件进行详细设计与分析, 并对所设计的QTT促动器样机进行了包括定位精度、电磁兼容性和可靠性等指标的实验测试.

2 QTT促动器方案设计

促动器是一种高精度的直线位移机构, 其需要将电机的旋转运动转化为直线位移运动, 并实现高精度位移定位. QTT促动器的特点主要是: 运动精度要求高, 运动速度较低, 承受轴向压力或拉力作用, 承受较大的侧向力作用, 使用寿命长, 能够进行自锁. 促动器伺服系统通常由机械执行元件、传动单元、检测单元和控制单元构成, 其中机械执行元件通常由电动机提供驱动力矩和转速; 传动单元主要由减速机构和螺旋传动机构构成; 检测单元主要是由传感器构成; 控制单元主要由功率驱动器和运动控制器构成, 系统框图如图1所示, 为了实现促动器高精度的运动要求, 需要在传动链的中间或末端增加运动特性检测与反馈.

促动器进行位置控制的电动机主要有伺服电机和步进电机两类, 其中步进电机比较符合促动器低转速、大扭矩、高精度的要求, 文本方案选用步进电机

表 1 国际主动面系统的促动器主要技术指标^{a)}

Table 1 Main specifications of actuators applied in the international telescopes^{a)}

指标	GBT	SRT	TianMa	QTT
天线口径 (m)	100	64	65	110
行程 (mm)	51	30	30	50
速度 (mm/s)	0.25	0.36	0.36	0.36
定位精度 (μm)	<50	± 15	± 15	± 15
轴向工作负载 (kg)	481	250	300	300
径向工作负载 (kg)	481	100	150	180
轴向极限负载 (kg)	—	1000	1000	1000
径向极限负载 (kg)	—	700	700	700
工作温度 ($^{\circ}\text{C}$)	—	-10 ~ +60	-10 ~ +60	-40 ~ +60
保护等级	—	IP65	IP65	IP65
EMC	ITU-R RA.769	—	GB19626-3,4	ITU-R RA.769
寿命 (年)	20	20	20	20

a) 表中所列为可查到技术指标.

图 1 促动器伺服系统框图

Figure 1 Block diagram of servo system of actuator.

作为机械执行元件。

促动器检测单元主要进行机械执行机构的精确位置信息检测与反馈, 直线位移传感器和角度传感器都可以实现该功能。直线位移传感器的种类众多, 其结构尺寸由机械执行机构运行长度决定, 运行的距离越长, 尺寸越大。角度传感器结构形式简单, 体积小、重量轻, 可将其安装于丝杠的末端或底部, 通过它可测量出丝杠的旋转角度, 通过计算可得到丝杠螺母的直线运行位移。由于角度传感器安装在丝杠末端, 通过对其防护可以很容易地实现防护性和电磁兼容性。综合考虑, 促动器位置检测单元选用角度传感器。

步进电机驱动单元实现控制信号转化成电机需要的电流信号, 电机驱动可将输出电流反馈给控制单元, 实现电流环控制。根据主动面系统的工作特点, 选用 CAN 总线(Controller Area Network)作为促动器控制总线。

传动单元实现将电机的旋转运动转换为直线位移运动, 提供所需的力矩及速度, 并通过蜗轮蜗杆副作为减速机构实现自锁功能及满足额定速度下的承载能力的要求。丝杠螺旋传动可实现运动方向的转换, 其中滚珠丝杠螺旋副的运动效率较高, 成本适中, 且具有较好的维护性, 可满足促动器技术要求。

综合上述考虑, 如图2所示, 促动器基本方案为: 机械执行元件采用步进电机, 检测单元采用角度传感器, 传动单元采用滚珠丝杠+蜗轮蜗杆, 控制/驱动单元采用 CAN 总线作为控制总线并进行电流环控制。

图 2 QTT促动器方案简图

Figure 2 Schematic of scheme of the QTT actuator.

图 3 QTT促动器示意图

Figure 3 Diagram of structure of the QTT actuator.

3 促动器详细设计

根据QTT促动器设计方案, 进行了详细设计, 其简图如图3所示。

3.1 关键部件设计

(1) 驱动单元

根据促动器受到的最大载荷为轴向载荷10000 N, 径向载荷7000 N, 根据促动器推杆与壳体预估摩擦系数, 并考虑到降额设计等因素进行计算, 需选用额定输出功率约为40 W的电机。根据功率、转速、扭矩之

间的关系, 在相同功率下, 转速越低, 扭矩越高. 由于促动器运行速度较低, 因此, 希望能通过降低电机的额定运行速度来简化设计. 初步确定选用步进电机, 电机扭矩计算公式^[13]为

$$T = 9550 \cdot \frac{P_1}{n}, \quad (1)$$

式中, P_1 为电机功率, n 为电机转速. 粗选电机的工作转速为300 r/min, 按照此计算电机输出扭矩为1.21 N·m. 根据此参数进行电机的选择, 选取了两相混合式步进电机, 步距角为1.8°. 对电机控制采用分段PID控制算法. 当误差较大时直接返回最大值; 当误差进入控制区域的阈值内, 采用PD控制, 防止积分饱和; 当误差较小时采用PID控制, 确保控制精度; 当运动到接近目标位置时, 控制电机停止转动, 同时将控制算法中的位置误差设为零.

(2) 传动单元

传动单元主要包括滚珠丝杠和蜗轮蜗杆. 根据所设计的促动器最大转速和步进电机参数指标要求, 按照标准选取滚珠丝杠的导程为5 mm. 促动器的减速比计算公式^[10]为

$$i = \frac{n \cdot P_h}{V \cdot 60}, \quad (2)$$

式中, n 为电机的理想转速; V 为促动器的最大运动速度; P_h 为丝杠的导程. QTT促动器的设计最大运动速度为0.5 mm/s, 电机转速为300 r/min, 丝杠的导程为5 mm, 则系统的减速比为50. 从整体方案分析来看, 考虑自锁性, 蜗轮蜗杆副的蜗杆头数取1, 考虑加工性, 蜗轮齿数一般取27~80, 由于蜗轮蜗杆副常用的减速比在27~80之间, 能够满足系统 $i=50$ 的减速比要求. 因此, 采用一级蜗轮蜗杆减速来实现.

根据促动器轴向载荷, 工作载荷不大于3000 N, 极限载荷不大于10000 N, 估算额定载荷为7667 N. 采用丝杠轴驱动丝杠螺母的形式, 根据初选的丝杠导程5 mm, 促动器运行速度0.5 mm/s, 预期连续使用寿命20000 h, 初选丝杠结构为单螺母结构, 钢球循环采用内循环形式. 根据使用寿命及工况计算, 预期额定动载荷为16285 N. 根据丝杠设计手册^[13], 选用20×5滚珠丝杠副. 承载钢球的圈数为4. 经过计算, 动载荷和静载荷满足使用需求. 经过计算得, 丝杠轴向载荷为71386 N, 大于轴向载荷10000 N; 螺杆强度应力为27.3 MPa, 小于373 MPa要求, 安全系数为5; 丝杠稳定性为12.6, 大

于标准值2.4~4; 丝杠系统刚性, 轴向载荷3000 N时变形量为 6.4×10^{-4} mm, 刚性为1563 N/μm, 能够满足使用需求. 为了提高丝杠的精度, 选用P2级高精度滚珠丝杠, 采用光栅尺对丝杠在整个行程内多个位置的反向间隙(也称回差)进行测量, 并对滚珠丝杠副螺母进行适当地预紧.

按照促动器最快速度0.5 mm/s计算, 蜗轮转速最快为6 r/min. 由传动比 $i=50$, 选择中心距约为34 mm. 由于自锁的需要选择蜗杆头数为1, 模数为1, 蜗轮的齿数为50. 计算齿面接触疲劳强度安全系数为1.6, 齿根弯曲疲劳强度安全系数为2.0, 达到了高可靠度要求.

由于丝杠不能承受过大的径向力, 因此, 为了能够承受额定的径向力, 通过采用轴承支撑及多层壳体设计, 将径向力由轴承和壳体承受, 减少了丝杠所受的径向力; 对于轴向力, 采用一对滚动轴承与滑动轴承配合安装, 保证丝杠受力平衡及刚性. 同时, 丝杠螺母采用直线轴承进行辅助支撑和导向. 蜗轮安装在丝杠轴上, 由成对安装的圆锥滚子轴承进行支撑. 蜗杆采用一对角接触轴承安装支撑.

(3) 传感器单元

为了实现促动器高精度的要求, 需要在传动链末端增加反馈; 步进电机前端设计驱动单元, 该单元主要是将控制信号转化为电机使用的驱动电流; 驱动单元前端设计数据控制逻辑, 实现对促动器的位置信息的采集、上位机的控制命令和电机控制指令的发出. 控制框如图4所示.

位移传感器是决定系统精度的关键因素. 根据QTT促动器技术指标和应用环境, 对传感器的选择具有较大局限性. 由于设备的使用环境为室外, 而高精

图 4 QTT促动器控制框图

Figure 4 Block diagram of control of the QTT actuator.

度传感器主要的使用环境为实验室条件. 根据使用环境、测量行程和测量精度, 采用直线位移传感器如磁致伸缩、线性可变差动变压器传感器(Linear Variable Differential Transformer, LVDT)等无法满足应用要求, 因此考虑选用可靠性较高的角度传感器. 综合考虑系统精度要求、使用环境、使用寿命、安装方式以及成本控制等多种因素, 选用了电感式角度传感器作为位移检测元件. 选用分辨率为12位的传感器, 测量范围为 0° – 360° . 将角度传感器安装于蜗轮蜗杆的输出端, 即丝杠的输入端. 通过角度检测, 蜗轮蜗杆到电机带来的机械误差由传感器精度决定, 丝杠的误差靠其自身的机械精度来保证.

由于传感器的分辨率为12位, 换算成角度误差应为 $\pm 360/4096$, 即 $\pm 0.0879^{\circ}$. 而A/D采样最高精度可达到12位, 换算成角度误差应为 $\pm 0.0879^{\circ}$. 最大误差可控制在 $\pm 0.1758^{\circ}$.

3.2 精度设计

为了提高促动器的精度, 从控制器的采集精度、传感器的输出精度、丝杠的传动精度三个方面进行了研究.

控制器采集精度主要由电气设计来进行保证, 对AD芯片进行了选型研究, 选取AD7683进行采集电路设计, 并对参考电路、电源电路、信号调理电路进行了特殊设计.

传感器的输出精度是促动器精度保证的关键环节. 虽然采用的电感传感器的精度较高, 通过校准可达到了13位, 但促动器控制不是位移检测的全闭环控制, 其精度无法反映真实的机械精度. 为了提高传感器的反馈精度, 本设计利用误差补偿的基本思想, 通过设计传感器标定的工装和制定标定方法, 来提高传感器输出精度.

丝杠传动精度主要是由生产、装配决定的, 为了保证传动精度, 采用了高精度的丝杠, 但相应会带来成本较高的问题. 在长期测试过程中, 丝杠的预紧力出现了变化, 导致回差增大, 最终影响到了促动器的定位精度, 因此, 需要定期对其进行维护.

3.3 电磁兼容设计

QTT促动器的电磁兼容性要求极高, 参照国际射电电磁防护标准执行. 因此, 在设计过程中, 注重信号完整性对电磁兼容性的影响, 在设计和生产的源头, 将

仿真技术应用于设计中, 在器件选择、工艺选择和电路板生产成本控制等方面均充分考虑了电磁兼容影响. 在PCB预布线和布线阶段, 建立了相应的设计指南, 包括目标层阻抗、布线间距、倾向采用的器件工艺、重要节点拓扑和端接规划. 结构设计上采用了暗室结构, 减少了内部电磁对外泄露, 按照电磁防护的设计方式对螺钉合理选用及布置.

3.4 环境适应性设计

对于QTT促动器而言, 其工作的环境较为复杂, 需要在台址冬季的低温情况(一般为 -20°C , 极端为 -40°C)与夏季日晒的高温(一般为 $+40^{\circ}\text{C}$, 极端为 $+60^{\circ}\text{C}$)情况下保证正常工作. 这样的宽温条件对促动器的元器件及机械传动都极具危害, 需要优选一些高环境适应性的电容作为主要的滤波元器件, 另外产品机械润滑的好坏也直接影响到电器设备的工作, 需要重点考虑环境适应性要求来选用适合的润滑方式. 为了提高环境适应性, QTT促动器选用了高可靠铝电解电容, 既保证了电容的滤波性能又能保证在高温 $+60^{\circ}\text{C}$ 下达到100000 h以上的使用寿命, 保证了设备20年的生命周期. 此外, 采用低温润滑油的润滑方式, 可使设备在低温下依然能够进行高效率的运行, 这样能够降低系统在低温下对电源的要求, 也能够保证机械的可靠润滑, 延长设备使用寿命.

3.5 仿真分析

根据促动器详细设计建立了促动器三维模型, 如图5所示, 并对关键部件进行了强度仿真分析. 如图6和7所示, 分析了促动器传动结构和丝杠在推杆承受最大轴向(10000 N)和径向载荷(7000 N)时的应力情况. 其结果表明, 在该载荷条件下, 促动器主要承载部件(推杆、壳体和丝杠)均无塑性变形, 满足技术要求.

为了了解QTT促动器在极端温度下, 其内部的温度分布情况, 分别对 -40 和 60°C 两个极限环境温度下, 对促动器进行稳态热分析. 如图8和9所示, 对步进电机和功率模块等发热原件添加热流密度, 分析环境温度为 -40 和 60°C 时促动器的热分布. 结果表明, 环境温度为 -40°C 时, 促动器最低温度为 -43.3°C ; 环境温度为 60°C 时, 促动器最高温度为 77.9°C . 通过分析可知, 在极端环境温度条件下, 促动器各器件均满足温度条件使用要求.

图 5 (网络版彩图)QTT促动器模型
Figure 5 (Color online) The QTT actuator model.

图 6 (网络版彩图)促动器传动结构力学分析图
Figure 6 (Color online) Mechanical analysis of transmission of actuator.

4 促动器样机测试

为了检验促动器研制情况, 基于设计方案进行了促动器样机加工与性能测试. 如图10所示, 加工了几台促动器样机.

采用光栅尺进行精度测量, 对促动器样机进行了定位精度测试. 光栅尺测量精度为 $\pm 0.5 \mu\text{m}$, 满足促动器($\pm 15 \mu\text{m}$)的精度测试要求. 控制促动器在0–50 mm全行程范围内往返运动, 测量实际位置与指令位置的偏差, 其结果如图11所示, 2号、3号促动器定位误差在往返运动中基本都小于 $15 \mu\text{m}$, 满足了设计要求.

图 7 (网络版彩图)丝杠力学分析
Figure 7 (Color online) Mechanical analysis of screw of actuator.

图 8 (网络版彩图)–40°C环境温度下促动器温度分布
Figure 8 (Color online) Temperature distribution of actuator (–40°C).

针对促动器样机的电磁辐射情况进行了电磁兼容性相关测试. 在具有国家资格认证的微波暗室内进行GJB151A-1997-RE102电磁辐射测试. 测试结果表明, 促动器样机在运行状态下, 电磁辐射能够满足GJB151A-1997规定的军工电子设备的辐射发射限值要求. 在200 MHz以上频率, 没有明显高于背景噪声的辐射, 在200 MHz以下频率有较明显的辐射频段, 辐射频谱与促动器内部电气设备的工作频率相吻合. 对于该低频辐射, 后续可通过结构优化设计等措施来进一步提高电磁兼容性能.

为了测试促动器样机的环境适应性, 在新疆搭建了促动器测试平台, 模拟促动器实地工作情况, 图12(a)和(b)分别为促动器在秋季和冬季的测试情况.

图 9 (网络版彩图)60°C环境温度下促动器温度分布
Figure 9 (Color online) Temperature distribution of actuator (60°C).

图 10 (网络版彩图)QTT促动器样机
Figure 10 (Color online) QTT actuator prototypes.

如图12所示, 测试平台由底座和促动器支撑架构成. 促动器支撑架由9个促动器支撑4块面板组成, 支撑架下端装有电动缸可推动支撑架进行 0° – 45° 倾斜调节, 来模拟天线反射体不同角度的俯仰运动. 通过9个促动器的推杆上下运动, 来调节面板角位置, 模拟主动面的调节功能. 为了测试促动器全季节的环境适应性和工作寿命, 对促动器样机进行了长期实地测试, 测试持续超过1年.

整个测试过程经历了新疆全年自然环境的春、夏、秋、冬四季, 9个促动器样机的防护均满足现场环境适应性要求, 没有影响性能的不良现象出现. 促动器样机累计测试时间约6500 h (不包括主动停止测试时间), 实际运动时间超过了2500 h (促动器进行间歇运动), 接近3000 h的使用寿命设计要求, 整个测试过程

图 11 (网络版彩图)促动器样机定位精度测试结果
Figure 11 (Color online) Test results of positioning accuracy of actuator prototypes.

图 12 (网络版彩图)促动器样机实地环境适应性测试. (a) 秋季测试; (b) 冬季测试
Figure 12 (Color online) Field test of environmental adaptability. (a) Testing in autumn; (b) testing in winter.

中, 促动器样机未出现故障和机械卡死现象, 电气控制硬件系统工作稳定, 满足可靠性和寿命设计要求.

5 结论

本文设计了用于QTT主动反射面调整技术的位移促动器, 并进行了一系列性能测试. 根据QTT促动器的技术要求和特点, 设计了采用步进电机、角度传感器、滚珠丝杠+蜗轮蜗杆的位移促动器方案. 针对促动器的关键部件, 进行了详细设计与分析, 并对运动精度、电磁兼容性和环境适应性进行了特殊设计. 为了检验促动器研制情况, 进行了促动器样机加工与多种性能测试. 通过实验测试可知, 本文所设计的位移促动器在0–50 mm全行程范围内基本满足小于 $15\text{ }\mu\text{m}$ 的定位精度要求, 并通过超过1年的新疆实地测

试, 验证了环境适应性和使用寿命的要求. 综合测试结果表明, 所设计的 QTT 位移促动器能够基本满足相关技术要求. 该促动器的研究为实现 QTT 主动面系统建设提供技术条件.

参考文献

- 1 Wang N. Xinjiang Qitai 110 m radio telescope (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2014, 44: 783–794 [王娜. 新疆奇台 110 米射电望远镜. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2014, 44: 783–794]
- 2 Ruze J. Antenna tolerance theory: A review. *Proc IEEE*, 1966, 54: 633–640
- 3 Von Hoerner S. Homologous deformations of tiltable telescopes. *J Struct Div*, 1967, 93: 461–486
- 4 Wang C S, Li J J, Zhu M B, et al. Review of surface deformation compensation methods for large reflector antennas (in Chinese). *Electro-Mech Eng*, 2013, 29: 5–10 [王从思, 李江江, 朱敏波, 等. 大型反射面天线变形补偿技术研究进展. 电子机械工程, 2013, 29: 5–10]
- 5 Wang C S, Xiao L, Xiang B B, et al. Development of active surface technology of larger radio telescope antennas (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2017, 47: 059503 [王从思, 肖岚, 项斌斌, 等. 大型射电望远镜天线主动面补偿研究进展. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2017, 47: 059503]
- 6 Orfei A, Morsiani M, Zacchiroli G, et al. An active surface for large reflector antennas. *IEEE Antennas Propag Mag*, 2004, 46: 11–19
- 7 Xiang B B, Wang C S, Wang W, et al. Adjustment method of subreflector position of reflector antennas based on electromechanical couple theory (in Chinese). *Syst Eng Electron*, 2018, 40: 489–497 [项斌斌, 王从思, 王伟, 等. 基于机电耦合的反射面天线副面位置调整方法. 系统工程与电子技术, 2018, 40: 489–497]
- 8 Wang W, Leng G, Duan B, et al. Compensation for gravity deformation via subreflector motion of 65 m shaped Cassegrain antenna. *IET Microwaves Antennas Propagation*, 2014, 8: 158–164
- 9 Prestage R M, Constantinescu K T, Hunter T R, et al. The green bank telescope. *Proc IEEE*, 2009, 97: 1382–1390
- 10 Hughes D H, Correa J C J, Schloerb F P, et al. The large millimeter telescope. In: *Proceedings of the SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, Ground-based and Airborne Telescopes III*. San Diego: SPIE, 2010. 773312
- 11 Dong J, Jin H L, Ye Q, et al. The active surface control system for the Tian Ma Telescope. In: *Proceedings of the SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, Software and Cyberinfrastructure for Astronomy IV*. Edinburgh: SPIE, 2016. 991306
- 12 Zhao W, Ye Q, Feng Z J, et al. Brief analysis of the adjustment technique for active reflector of radio telescope (in Chinese). *Modern Radar*, 2011, 33: 85–90 [赵卫, 叶骞, 冯正进, 等. 射电望远镜主动反射面控制技术简析. 现代雷达, 2011, 33: 85–90]
- 13 Cheng D X. *Handbook of Mechanical Design* (in Chinese). Beijing: Chemical Industry Press, 2010 [成大先. 机械设计手册. 北京: 化学工业出版社, 2010]

Design and test of a precision positioning actuator for QTT

XIANG BinBin^{1,2*}, PENG HaiBo³, WANG Na^{1,2}, LI Tong³,
CHEN MaoZheng^{1,2} & XU Qian^{1,2}

¹ *Xinjiang Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;*

² *Key Laboratory of Radio Astronomy, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

³ *Xi'an Micro-electronic Technology Institute, Xi'an 710119, China*

In order to achieve the function of active adjustment of primary reflector for the QiTai radio Telescope (QTT), a kind of high precision positioning actuator is designed and some performances of the prototype are tested. The actuator scheme adopts the stepping motor, angle sensor, ball screw and worm gear. The detail design and simulation for the key components are made, and their accuracy, electromagnetic compatibility and environmental adaptation are especially studied. Accuracy tests of prototypes are carried out, and the result indicates that the actuator can meet the requirement of positioning accuracy (15 μm). Moreover, the field test of environmental adaptability of actuator prototype has been carried out in Xinjiang for more than a year, and during the test the prototypes go well without any faults, they can meet the requirement of environmental suitability.

active surface, actuator, QiTai radio telescope (QTT), active compensation

PACS: 47.11.Fg, 95.55.-n, 95.85.-e

doi: [10.1360/SSPMA2018-00421](https://doi.org/10.1360/SSPMA2018-00421)