中国科学: 物理学 力学 天文学 2026 年 第 56 卷 第 9 期: 299508
SCIENTIA SINICA Physica, Mechanica & Astronomica physcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS
论 文 高频段大口径射电望远镜设计与观测专题

日喀则40米射电望远镜S/X频段天线性能测量

许志强[1], 王锦清[1,2,3,4*], 蒋甬斌[1], 虞林峰[1], 江永琛[1], 赵融冰[1,2,3,4], 吴晓静[1], 孙焱[1], 格桑[1], 王凡[5], 格桑曲旦[1], 卜运忠[1], 马明成[1], 王玲玲[1], 觉安罗布[1], 张建伟[1,6], 周海凌[5], 张伟[5]

1. 中国科学院上海天文台, 上海 200030
2. 中国科学院射电天文重点实验室, 南京 210023
3. 上海市空间导航与定位技术重点实验室, 上海 200030
4. 射电天文与技术全国重点实验室, 北京 100101
5. 中国电子科技集团公司第三十九研究所, 西安 710065
6. 中国科学院大学, 北京 100049
*联系人, E-mail: jqwang@shao.ac.cn

收稿日期: 2025-10-17; 接受日期: 2025-12-09; 网络出版日期: 2026-08-04
基准专项(编号: JZZX-0101)、国家自然科学基金(编号: 12273097)和国家重点基础研究发展计划(编号: 2021YFC2203501)资助项目

摘要 本文报告了日喀则40米射电望远镜S/X频段的系统噪声温度、天线效率、灵敏度的性能测试情况, 另外还报告了条纹测试、天体测量与测地观测实验的实测数据. 首先介绍了射电天文接收系统的关键指标, 接着对各项指标的测试方法进行了论述. 最后给出了日喀则40米射电望远镜上S/X频段的系统噪声温度、天线效率、灵敏度以及VLBI观测结果, 测试结果表明, 日喀则40米射电望远镜性能优异, 在天顶方向S波段系统噪声温度可以保持在30 K以内, X波段为20 K左右, 受副面随动模型影响不大. 而在开启副面随动模型时, 则可以显著提高射电望远镜的天线效率, 在8°至85°俯仰角上, 均可以控制在70%以上. 同时, 其对灵敏度也有较大的改善. 而通过VLBI观测, 台站也取得了毫米级的站坐标精度.

关键词 天线效率, 系统噪声温度, 灵敏度

PACS: 95.55.Jz, 84.40.Ba, 95.10.Jk, 91.10.Fc

1 引言

日喀则40米望远镜(图1)是中国为探月工程和深空探测打造的重要设施, 由中国科学院上海天文台主导建设, 2024年底与长白山40米望远镜同步启用. 望远镜位于西藏自治区日喀则市桑珠孜区聂日雄乡(加列村)和萨迦县扯休乡(陈村)两县的交界处, 站址坐标为东经88.6°, 北纬29.2°, 海拔4100米, 位于我国西南边陲, 无线电环境优越, 冬季寒冷干燥, 具备米波至毫米波射电天文观测条件. 日喀则40米望远镜是一台精

引用格式: 许志强, 王锦清, 蒋甬斌, 等. 日喀则40米射电望远镜S/X频段天线性能测量. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2026, 56: 299508
Xu Z, Wang J, Jiang Y, et al. Antenna performance measurements on S/X bands for Shigatse 40-meter radio telescope (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2026, 56: 299508, doi: 10.1360/SSPMA-2025-0459

© 2026《中国科学》杂志社



图 1　日喀则40米射电望远镜
Figure 1　Shigatse 40-meter radio telescope.

密的大型射电天文观测设备, 主要特点有: 采用高精度双叉臂转台式双反射面天线形式; 主反射面由816块高精度筋开槽实面板构成, 单块面板精度优于80微米, 主反射面面型总公差优于0.3毫米; 副反射面为4.2米碳纤维拼接, 面型精度优于30微米, 配置有并联调整机构, 实现副反射面三自由度调整; X波段效率在仰角10°和80°范围内优于70%, 跟踪指向精度优于5角秒; 采用整体保温技术, 主副反射面背架、俯仰叉臂、方位舱、天线塔基全部包裹; 具备主焦和卡焦双焦点, 规划的六套单频接收机可以实现700 MHz至50 GHz连续频谱覆盖, 具备升级到W波段观测能力(67–116 GHz). 目前, 已配置一台满足VLBI卫星测轨及大地测量的S/X双频致冷接收机.

射电望远镜的性能是其观测能力的核心, 主要体现在天线的增益、效率、灵敏度、指向精度、波束宽度、系统噪声温度、面型精度等多个方面. 其中, 系统噪声温度、天线效率和灵敏度是射电望远镜的关键指标.

本文先论述了射电源方法测试天线效率、灵敏度以及系统噪声温度的方法. 最后给出了实际测试情况, 并对测量的结果进行了一定的分析.

2　系统噪声温度

系统噪声温度是天线系统中各部件(如天线、馈源、接收机)等效噪声温度的级联结果, 反映了系统接收到的噪声信号强度, 简易表示如下式:

$$T_{\rm sys} = T_{\rm ant} + T_{\rm feed} + T_R + T_{\rm sky} + T_{\rm gnd}, \tag{1}$$

式中各参数的定义如下:

$T_{\rm ant}$: 天线欧姆损耗, 主要由天线反射面损耗导致; $T_{\rm feed}$: 常温下馈源网络(包含极化器)插入损耗对应的等效噪声温度; T_R: 致冷接收机噪声温度; $T_{\rm sky}$: 来自天空的噪声温度, 主要从天线方向图的主瓣进入链路; $T_{\rm gnd}$: 地面辐射泄露, 主要从天线方向图的旁瓣和后瓣进入链路.

在厘米波段测量天线的系统噪声温度通常采用Y因子法[1], 即先对系统输入一个已知噪声温度的白噪声信号, 得到一个输出功率; 再让系统对向冷空, 得到第二个输出功率; 两者的比值为Y因子, 通过Y因子可以计算出系统噪声温度. 对于不同的输入信号, 实现手段上有所不同, 当前主要采用冷热负载、空间亮温恒定区域以及定标噪声源等作为已知输入亮温, 进行测试.

2.1　冷热负载法

采用冷热负载法, 在馈源口分别提供300 K(T_{300})常温和77 K(T_{77})液氮温度负载[2], 这可以通过把黑体分别置于常温和液氮中来实现上述两个温度负载, 记录两个物理温度输入时对应的输出功率的比值, 得到第1个Y因子如下:

$$Y_1 = \frac{P_{300}}{P_{77}} = \frac{T_R + T_{\rm feed} + T_{300}}{T_R + T_{\rm feed} + T_{77}}, \tag{2}$$

其中, T_{300}和T_{77}可以实际测量得到. 由此可以计算得到等效噪声温度$T_R + T_{\rm feed}$. 再移去负载, 天线对向冷空, 记录系统功率, 得到第2个Y因子:

$$Y_2 = \frac{T_R + T_{\rm feed} + T_{300}}{T_{\rm sys}} = \frac{T_R + T_{\rm feed} + T_{300}}{T_R + T_{\rm feed} + T_{\rm sky} + T_{\rm gnd} + T_{\rm ant}}. \tag{3}$$

通过式(3)可以得到整个系统噪声温度$T_{\rm sky}$, 并可以分离得到$T_{\rm sky} + T_{\rm gnd} + T_{\rm ant}$.

通常$T_R + T_{\rm feed}$在实验室已有测量值, 采用常温T_{300}和冷空两个负载获得Y因子后, 系统噪声温度可以表

示如下:

$$T_{\rm sys}=\frac{T_{300}}{Y}=\frac{T_R+T_{\rm feed}}{Y},\tag{4}$$

式中: T_{300}表示常温负载的物理温度; $T_R+T_{\rm feed}$表示接收机和馈源实验室测量值.

在实际测试中, 在馈源口采用常温300 K和冷空两个负载, 记录对应的输出功率的比值, 得到Y因子, 再通过实验室已有测得的$T_R+T_{\rm feed}$值, 通过式(4)可以得出S/X波段在天顶方向的系统噪声温度, 如图2和3所示. 图中可以看出整个带通内S波段天顶方向的系统噪声温度保持在30 K以内, 其中S波段末端受到外界干扰引起了系统温度的升高. 而X波段天顶方向的系统噪声温度大约为20 K.

下面给出了S波段及X波段接收机噪声温度值, 如图4和5所示.

2.2　定标噪声源法

定标噪声源法在本质上与冷热负载法一致, 并在厘米波段接收系统上应用已经十分普遍[3], 一般通过

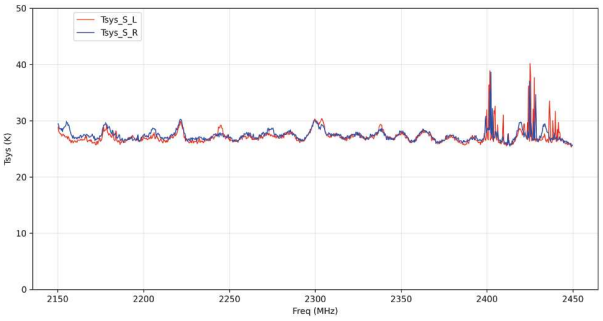


图 2　S波段天顶方向系统噪声温度
Figure 2　System noise temperature in the S-band at zenith direction.

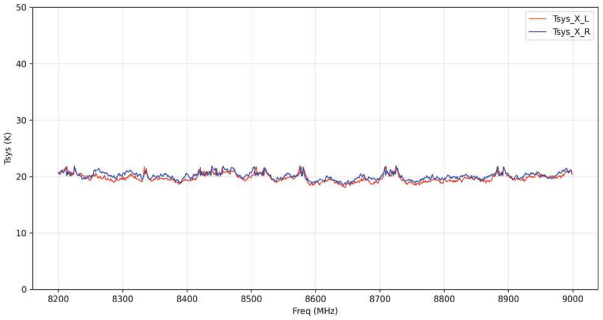


图 3　X波段天顶方向系统噪声温度
Figure 3　System noise temperature in the X-band at zenith direction.

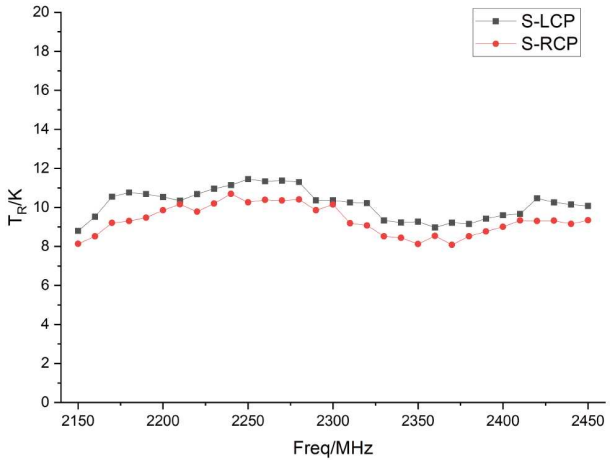


图 4　S波段接收机噪声温度
Figure 4　Noise temperature of S-band receiver.

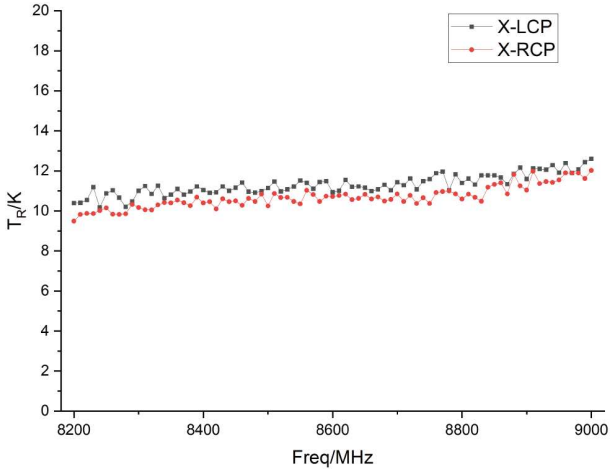


图 5　X波段接收机噪声温度
Figure 5　Noise temperature of X-band receiver.

在接收机LNA前端耦合入1个已知噪声温度为$T_{\rm cal}$的噪声信号, 然后再通过类似于下式的比例式可以计算出系统噪声温度值:

$$T_{\rm sys}=\frac{P_b-P_0}{P_n-P_b}T_{\rm cal},\tag{5}$$

式中: P_b: 天线指向天空背景时的功率读数; P_0: 接收系统零点功率读数; P_n: 天线指向天空背景时开启噪声源后的功率读数; $T_{\rm cal}$: 定标噪声源的已知噪声温度.

实际测试中, 在接收机LNA前端耦合一个已知噪声温度的定标噪声源, 通过测量开启和关闭噪声源时的输出功率比值, 通过式(5)可以计算出天线各俯仰角

的系统噪声温度. 图6和7分别给出了S波段以及X波段副面随动前后各俯仰角的系统噪声温度. 可以看出全俯仰角度下, 系统噪声温度随俯仰升高有所降低, 在副面随动开启前后变化不大.

接着将望远镜的俯仰设置为10°, 转动方位角度, 每10°开关一次噪声源, 记录输出功率比值, 通过式(5)可以计算出天线各方位角的系统噪声温度. 图8给出了S波段低俯仰不同方位角的系统噪声温度, 图9给出了X波段低俯仰不同方位角的系统噪声温度. 可以看出, 系统噪声温度在低俯仰角(10°)时, S波段起伏较大, 在方位140°, 180°, 340°数值有明显的变高, 从台站实地

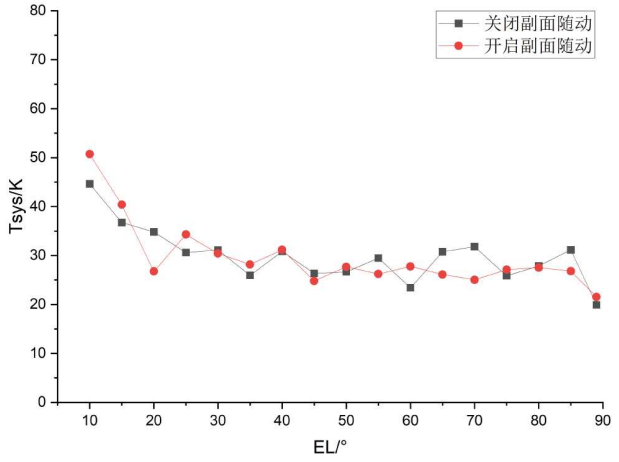


图 6　S波段不同俯仰角的系统噪声温度

Figure 6　System noise temperature in the S-band at different elevation angles.

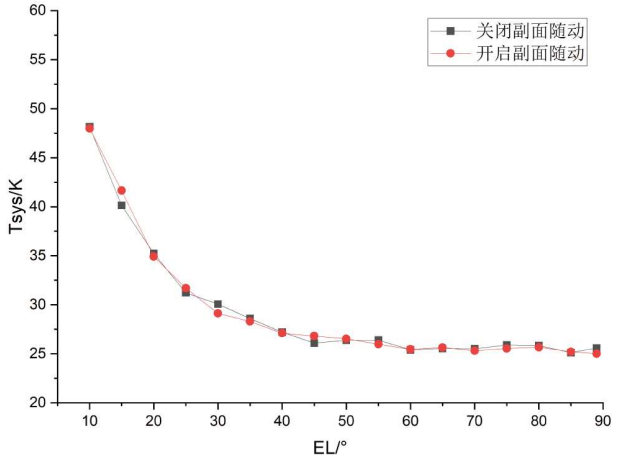


图 7　X波段不同俯仰角的系统噪声温度

Figure 7　System noise temperature in the X-band at different elevation angles.

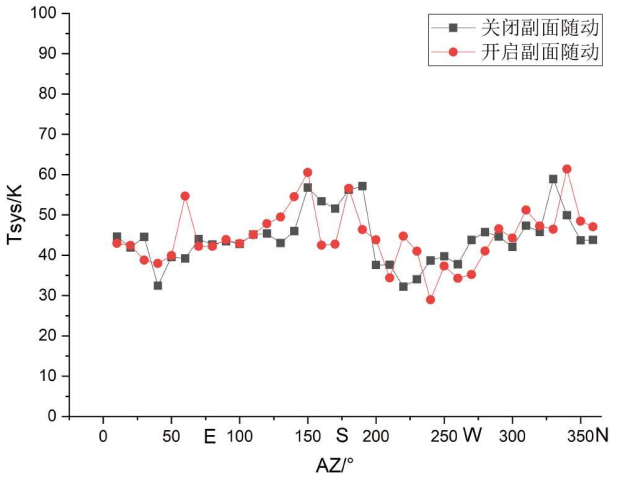


图 8　S 波段低俯仰不同方位角的系统噪声温度@俯仰10度

Figure 8　System noise temperature in the S-band at low elevation and various azimuth angles @elevation (EL)=10°.

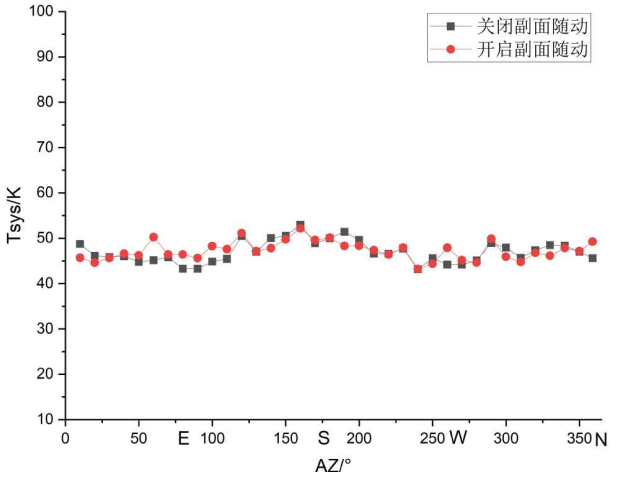


图 9　X波段低俯仰不同方位角的系统噪声温度@俯仰10度

Figure 9　System noise temperature in the X-band at low elevation and various azimuth angles @EL=10°.

观察发现台站南北方向山体较高(图10), 对系统噪声温度有所影响. 而X波段系统噪声温度起伏在10 K左右, 副面随动开启前后变化不明显.

2.3　天空噪声

采用常温300 K和冷空两个负载测量天线系统噪声时, 利用从实验室中测量得到的接收机和馈源噪声温度$T_R+T_{\rm feed}$, 即可算出此时的天线系统噪声, 并可以分离得到$T_{\rm sky}+T_{\rm gnd}+T_{\rm ant}$. 地面噪声泄露$T_{\rm gnd}$与天线欧姆损耗噪声$T_{\rm ant}$很难分离, 导致天空噪声$T_{\rm sky}$无法从系



图 10　台站正南方向(方位180°)山体情况
Figure 10　Terrain/topography conditions of the mountainous area due south (azimuth 180°) of the station.

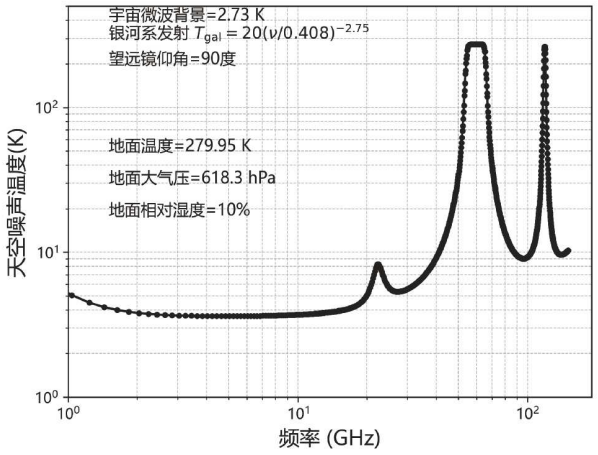


图 11　日喀则站天空噪声温度
Figure 11　Sky noise temperature at Shigatse station.

统噪声中分离出来.

通过计算大气亮温的数学模型[4]，图11给出了日喀则站的天顶方向的天空噪声温度，其中已经包含了2.73 K宇宙背景辐射以及银河系辐射. 输入的参数为天线位置的海拔、温度、湿度和气压参数.

3　天线效率

射电望远镜的天线效率是衡量其接收射电信号能力的重要指标，它反映了天线在接收电磁波过程中的能量转换效率，会直接影响望远镜的灵敏度和分辨率. 影响抛物面天线效率的关键因素主要有：天线口面的照明设计、天线面精度误差、副面和撑腿等遮挡、天线的指向误差、天线面的欧姆损耗以及周围的噪声情况. 其中, 天线效率、系统噪声温度是决定天线灵敏度的两项关键指标.

为了测量射电望远镜的效率，可以采用流量已知的射电源作为标准信号源[5,6]，将实际接收到的功率与理论上标准源应辐射到望远镜处的功率进行对比，用比值表示为$\eta(\varphi)$, 其中φ为天线俯仰角.

$$\eta(\varphi)=\frac{2kT_{\rm as}(\varphi)K_1K_2K_3K_4K_5}{SA_g}. \tag{6}$$

式中各参数的定义如下：k：玻尔兹曼常数(k=1.3806505×10^{-23} J/K). $T_{\rm as}$：射电源引起的天线噪声温度(单位: K). S: 某一历元的射电源流量密度(单位: Jy). A_g：天线的几何面积(单位：m^2). K_1：大气吸收改正因子，通过$K_1=e^{\frac{\tau_0}{\sin(\rm EL)}}$计算，$\tau_0$是天顶方向的大气光学厚度(反映大气对无线电波的吸收能力)，EL是天线指向射电源时的仰角，仰角越低，无线电波穿过大气层的路径越长，吸收越严重，K_1通过指数函数补偿这种衰减. K_2：射电源角扩展修正因子，点源情况下，可认为$K_2=1$ (采用点源观测，以避免修正因子的影响[7–9]). K_3: 射电源流量随时间变化修正因子, 当射电源流量随时间恒定时，$K_3=1$. K_4：射电源的流量密度随频率变化的修正因子，当流量密度随频率恒定时，$K_4=1$，否则代入修正曲线或查表. K_5：射电源的偏振修正因子，偏振流量可以忽略时，$K_5=1$.

通过温度、湿度、气压可以算出天顶方向的大气光学深度曲线, 如图12所示, 实际测试中可以通过天线各俯仰角的系统噪声温度拟合计算τ_0, 如图13所示，拟合曲线的斜率为5.047，除以测量时的环境温度282 K, 计算得出τ_0为0.0179.

传统方法通常依赖理论模型或标准大气参数估算大气光学厚度τ_0，而此次通过实测温度、湿度、气压等环境数据，结合系统噪声温度随仰角的变化进行拟合，直接反演出适用于当前观测条件的τ_0值, 显著提升了大气吸收改正因子K_1的精度和实时适应性.

下面表1给出了日喀则40米射电望远镜7个频段效率的设计指标，目前配置了S/X致冷接收机，其他波段

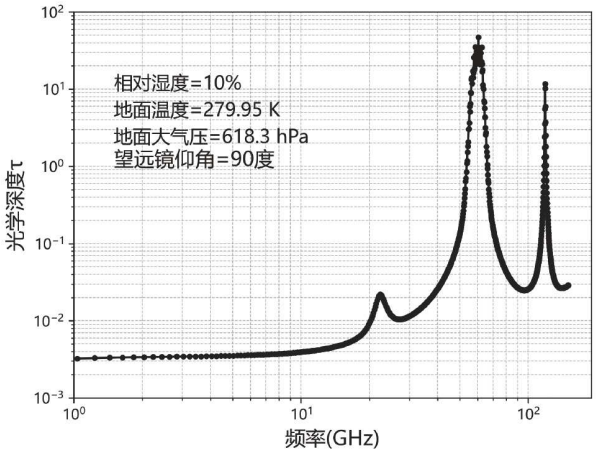


图 12　光学深度计算曲线
Figure 12　Optical depth calculation curve.

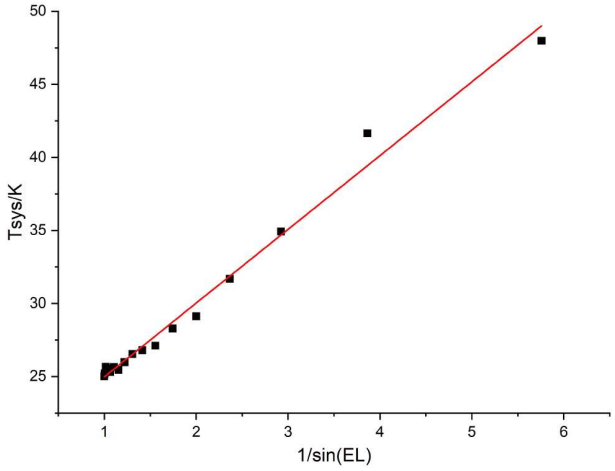


图 13　X波段系统噪声温度拟合曲线
Figure 13　Fitted curve of X-band system noise temperature.

表 1　天线效率设计指标
Table 1　Antenna efficiency design specification

频段	L	S	C	X	Ku	K	Ka
波长(cm)	18	13	6	3.6	2.5	1.3	0.9
频率范围(GHz)	0.7–4	2.15–2.45	4–12	8–9	12–18	28–26	25–35
最佳仰角效率(%)	≥60	≥65	≥60	≥65	≥55	≥50	≥45

为可扩展波段.

实际测试中, 用3C123, 3C286, DR21等作为标准流量的观测射电源, 对日喀则40米射电望远镜测量天线效率. 首先将副面固定在初始基准位置, 测量当前俯仰角度下的天线效率, 之后开启副面随动模型, 让副面移动到当前俯仰角度所对应的随动位置, 再对相同的射电源测量天线效率, 全俯仰角度上测量得到副面随动开启和关闭时的天线效率数据. 最后对副面随动开启和关闭状态下的效率数据进行多项式拟合, 得到在全俯仰角度范围的效率曲线. 图14给出了S波段天线效率的情况. 图15是X波段天线效率的情况, 可以看出, 开启副面随动模型后, 可以显著提高射电望远镜在高低俯仰角度上的天线效率, 俯仰角度在8°至85°之间的效率可以控制在70%以上.

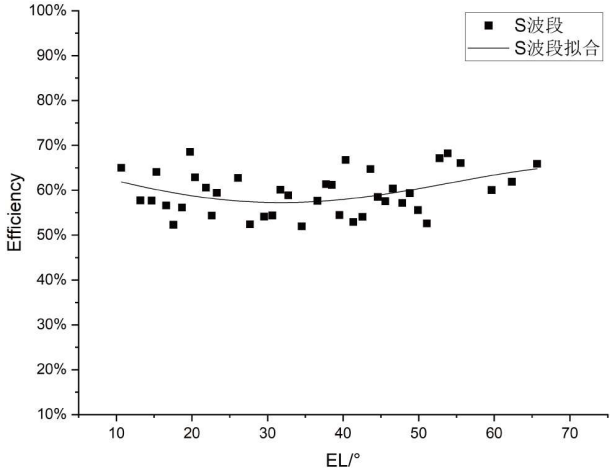


图 14　S波段不同俯仰角的天线效率
Figure 14　Antenna efficiency in the S-band at different elevation angles.

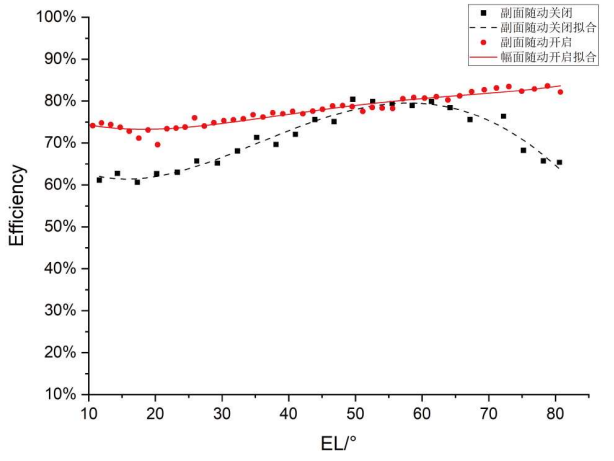


图 15　X波段不同俯仰角的天线效率(副面随动开/关)
Figure 15　X-band antenna efficiency at different elevation angles (with/without sub-reflector tracking).

4　灵敏度

射电望远镜的灵敏度决定了其对微弱信号的观测能力. 在射电天文领域, 天线的灵敏度通常采用系统等效流量密度(System Equivalent Flux Density, SEFD)作为评估指标, 定义为系统噪声温度$T_{\rm sys}$和单位流量天线温度(Degrees Per Flux Unit, DPFU)的比值, 这个值越小, 表明望远镜的灵敏度越高, 即在相同观测条件下能探测到更弱的射电源. 可以通过降低系统噪声温度来提高灵敏度, 也可以通过提高单位流量天线温度来实现.

DPFU和SEFD的计算公式如下:

$$\mathrm{DPFU}=\frac{\eta\pi D^2 S_U}{8k}, \tag{7}$$

$$\mathrm{SEFD}=\frac{T_{\rm sys}}{\mathrm{DPFU}}=\frac{8kT_{\rm sys}}{\eta\pi D^2 S_U}. \tag{8}$$

式中各参数的定义如下: k: 玻尔兹曼常数(k=1.3806505×10^{-23} J/K); $T_{\rm sys}$: 系统噪声温度(单位: K); η: 天线效率; D: 天线直径(单位: 米); S_U: 单位流量密度(S_U=1 Jy).

图16给出了S波段右旋的SEFD值随俯仰角度的变化情况. 图17给出了副面随动前后X波段右旋的SEFD值随俯仰角的变化情况, 可以看到, 在高低俯仰角上副面随动后SEFD有较大的改善.

5　指向模型和副面模型

天线指向模型是用于天线准确指向观测目标修正

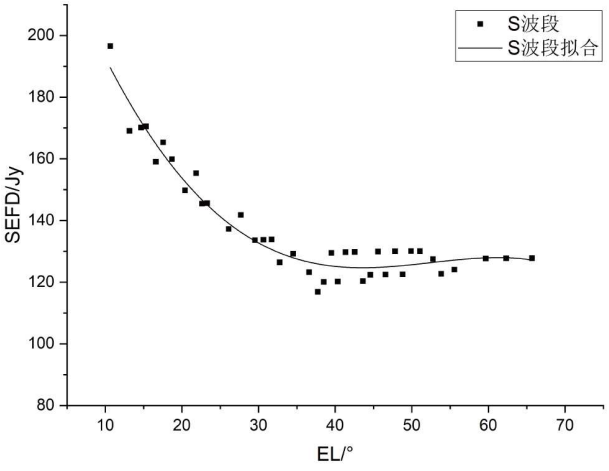


图 16　S波段不同俯仰角的SEFD
Figure 16　S-band SEFD at different elevation angles.

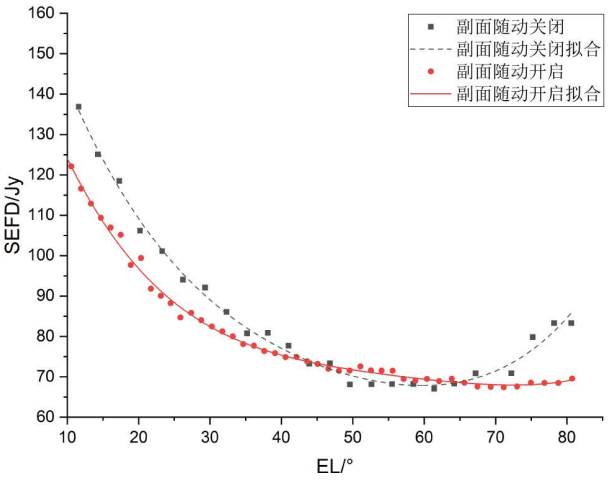


图 17　X波段不同俯仰角的SEFD (副面随动开/关)
Figure 17　X-band SEFD at different elevation angles (with/without sub-reflector tracking).

模型, 本研究采用全天区观测建模, 使得当前方位和俯仰的盲指误差均优于1/10波束宽度, 这个误差在40米口径, X波段上约为20角秒, 而实际本研究的模型实测误差7角秒(Root Mean Square, RMS).

副面模型用来实时控制副面的位姿, 使得天线在高低俯仰上, 始终具有良好聚焦的能力, 避免因为主面和副面支持的重力变形而导致的散焦问题. 本研究采用射电源扫描法实测构建了副面在重力方向(Y向)和聚焦方向(Z向)的如下副面随动模型:

$$\Delta Y=A+B\cos(\mathrm{EL}), \tag{9}$$

$$\Delta Z=C+D\sin(\mathrm{EL}), \tag{10}$$

$$\Delta\mathrm{EL}=\Omega\Delta Y. \tag{11}$$

其中, EL(elevation)为射电望远镜俯仰角度, 单位为度; ΔY和ΔZ分别表示在不同俯仰角度下副面在Y向和Z向所需调整量; A, B, C, D是副面随动模型中的四个拟合参数, 它们用来描述副面在不同俯仰角(EL)下, 为补偿重力变形而需要在Y方向和Z方向进行的位移调整量. 具体含义如下:

A: Y向位移的常数项, 当俯仰角EL=90°(cos=0)时, 副面在Y方向的基础偏移量, 反映垂直指向时的自重或安装误差导致的位移. B: Y向位移的系数, 描述Y向位移随俯仰角变化的幅度, B越大说明重力对Y向变形的影响越显著. C: Z向位移的常数项, 当俯仰角EL=0°(sin=0)时, 副面在Z方向的基础偏移量, 反映水平指向时的自重或误差导致的位移. D: Z向位移的系数, 描述

Z向位移随俯仰角变化的幅度，D越大说明重力对Z向变形的影响越显著. 式(11)用以补偿副面Y向移动所产生的俯仰指向偏差.

在各个俯仰角度上对副面进行上述Y向扫描, 得到全俯仰的副面Y向最佳位置，最后使用式(9)进行参数拟合, 结果如图18所示, 拟合得到参数A为30.25, 95%, 置信区间为(25.03, 35.48), 参数B为−66.56, 95%, 置信区间为(−73.97, −59.15).

全俯仰角度的副面Z向最佳位置拟合结果如图19所示. 拟合得到参数C为7.439, 95%, 置信区间为(7.287, 7.59)，参数D为−6.214，95%，置信区间为(−6.49, −5.938).

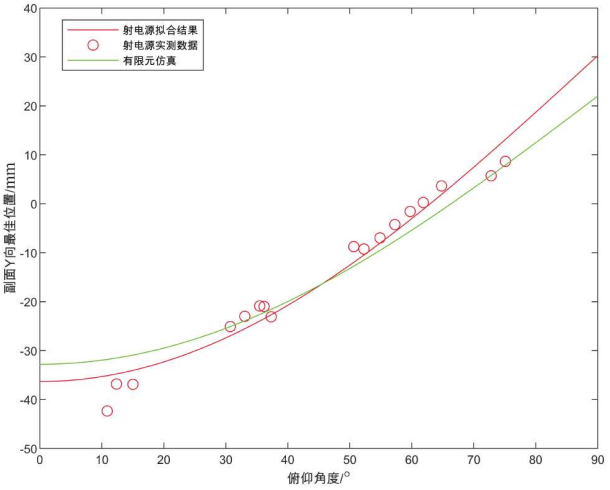


图 18　副面Y向模型对比图
Figure 18　Comparison diagram of sub-reflector Y-axis models.

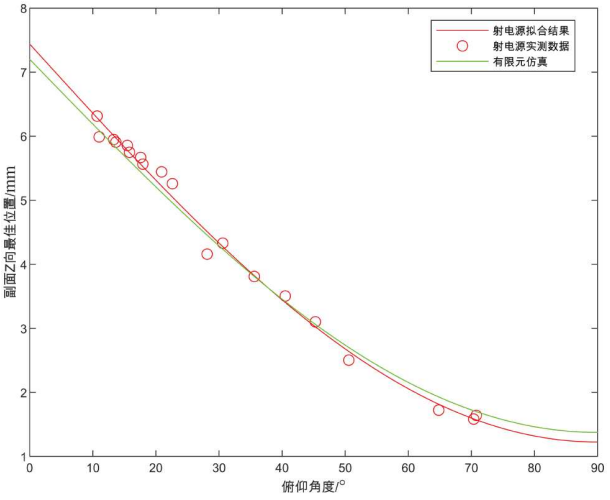


图 19　副面Z向模型对比图
Figure 19　Comparison diagram of sub-reflector Z-axis models.

实测数据拟合Q为11.32 arcsecs/mm，95%置信区间为(10.82, 11.81), 与仿真结果10.43 arcsecs/mm吻合.

6　站坐标精度

甚长基线干涉测量(Very Long Baseline Interferometry，VLBI)是一种高分辨率、高精度的射电干涉技术. 通过比较来自同一天体的电磁波信号在不同位置望远镜的接收时间差, 利用基线长度(两台望远镜间的距离)和波长计算角分辨率, 通过测量多个观测站之间的基线长度来确定目标天体的位置.

站坐标的精确性是VLBI测量的核心要素，直接影响基线长度的计算精度、地球定向参数、与其他技术的协同精度以及对环境因素的建模[10]. 若坐标存在误差, 会导致基线长度的偏差, 进而影响目标天体位置的估计.

为了获取日喀则40米射电望远镜(以下简称珠峰站，Zf)和长白山40米射电望远镜新建站的S/X双频干涉条纹，评估天体测量与测地观测性能，确定在ITRF框架下的精确坐标，共进行了三次条纹测试观测实验以及三次天体测量与测地观测实验.

表2列出了三次条纹测试观测实验的详细信息, 其中珠峰站和长白山站为新建站. 为了快速获得干涉条纹，需要通过网络传输观测站原始数据，因此观测数据速率尽可能低, 采用S/X双频16通道2 MHz带宽2 bit采样, 总数据速率为128 Mbps.

F2501观测实验，主要测试珠峰站的观测性能，珠峰站的天线指向仍在优化状态. F2502观测实验, 2个新建站同时参加测试, 珠峰站表现正常. F2503观测实验, 主要测试长白山站的观测性能, 观测性能表现正常.

此外, 共进行了三次天体测量与测地观测实验. 实

表 2　条纹测试观测实验
Table 2　Fringe test observation experiment

观测代码	观测日期	开始时间 (UT)	持续时间 (h)	参加台站
F2501	2025/02/12	13:00	6	KmShT6UrZf
F2502	2025/03/05	13:00	4	ShT6ZfCb
F2503	2025/03/14	02:00	4	CbKmShT6-Ur

注: Km: 昆明40米; Sh: 佘山25米; T6: 天马65米; Ur: 南山26米; Zf: 珠峰40米; Cb: 长白山40米

验A, 参加站均为国内的25米以上中大型口径天线, 观测数据速率沿用128 Mbps. 实验B观测实验, 参加站除了珠峰站和长白山站, 还包括天线灵敏度较低的卫星跟踪站, 为了提高射电源探测灵敏度, 采用S/X双频16通道8 MHz带宽2 bit采样, 总数据速率为512 Mbps. 实验C为国际联测, 珠峰站和长白山站采用跟随模式参加观测, 观测数据速率采用512 Mbps.

由于新建站的初始站坐标误差较大, 通常在50–100米之间, 需要进行多次迭代解算. 图20显示了珠峰站坐标在各次观测实验中相对于最终坐标值(表3, 表内站速度为采用值, 非VLBI实测值)的修正量. 从图中可以看出, 在不同观测实验中, 珠峰站的站坐标在10 mm内波动.

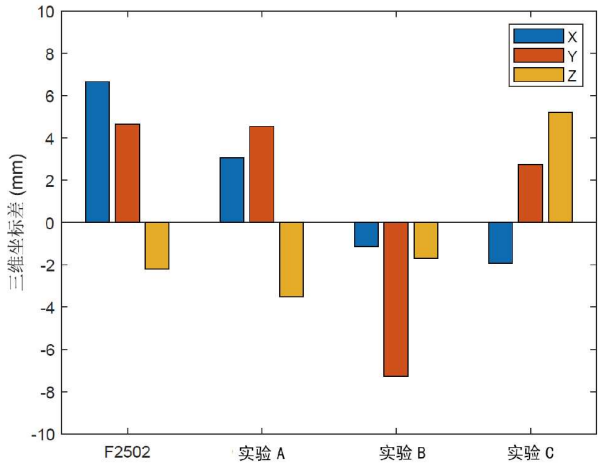


图 20　珠峰站坐标在各次观测实验中的修正量

Figure 20　Correction amounts of the Shigatse station coordinates in each observation experiment.

7　总结

本文重点讨论了日喀则40米射电望远镜上S/X频段接收系统的性能测试情况.

系统噪声温度通过冷热负载法测得在天顶方向S波段可以保持在30 K以内, X波段为20 K左右, 而使用定标噪声源法测试, 可测得各方位和俯仰的系统噪声温度, 随俯仰升高有所降低, 在低俯仰角(10°)时, S波段起伏较大, X波段在10 K左右, 而副面随动开启前后变化不明显.

开启副面随动模型后, 可以显著提高射电望远镜在高低俯仰角度上的天线效率, 俯仰角度在8°至85°之间的效率可以控制在70%以上. 同时, 灵敏度也有较大的改善. 通过三次条纹测试观测实验以及三次天体测量与测地观测实验, 日喀则40米射电望远镜也取得了毫米级的站坐标精度.

对比相同波段国内外射电望远镜, 日喀则40米射电望远镜的系统噪声温度、效率和灵敏度都特别优良, 这得益于日喀则4100米海拔带来的低大气噪声、天线高增益设计以及后期优良的调试.

表 3　VLBI新建站的站坐标估计值(历元: 2024.25)

Table 3　Estimated station coordinates of the newly established VLBI site (epoch: 2024.25)

台站	X (m) V_x (m/y)	Y (m) V_y (m/y)	Z (m) Z_y (m/y)
珠峰	133080.5041	5573697.7211	3095833.1909
	−0.04593	−0.00770	0.01420

参考文献

1　Kerr, A R, Gibson, A K. Precise noise temperature measurements using hot and cold loads. Int J Infrared Millimeter Waves, 1986, 7: 889–903

2　Rochblatt D, Richter P, Withington P, et al. On-the-fly raster microwave holography for DSN large reflector antennas. IPN Progress Rep, 2007, 42: 169

3　Schuster D, Stelzried C T, Levy G S. The determination of noise temperatures of large paraboloidal antennas. IRE Trans Antennas Propag, 1962, 10: 286–292

4　Medellin G C. Antenna Noise Temperature Calculation. SKA Memo, 2007, 95

5　Baars J W M, Genzel R, Pauliny-Toth I I K, et al. The absolute spectrum of Cas A—An accurate flux density scale and a set of secondary calibrators. Astron Astrophys, 1997, 61: 99–106

6　Ott M, Winzel A, Quirrenbach A, et al. An updated list of radio flux density calibrators. Astron Astrophys, 1994, 284: 331–339

7　Klein M J, Stelzried C T. Calibration radio sources for radio astronomy—Precision flux-density measurements at 2295 MHz. Astron J, 1976, 81:

1078

8 Richter P. Radio Source List for Antenna Calibration. JPL D-3801, DSN No. 890–269 (internal document). Pasadena: Jet Propulsion Laboratory, 1994

9 Ulich B L, Haas R W. Absolute calibration of millimeter-wavelength spectral lines. Astrophys J Suppl Ser, 1976, 30: 247

10 Ma C, Arias E F, Eubanks T M, et al. The international celestial reference frame as realized by very long baseline interferometry. Astron J, 1998, 116: 516–546

Antenna performance measurements on S/X bands for Shigatse 40-meter radio telescope

XU Zhiqiang[1], WANG Jinqing[1,2,3,4*], JIANG Yongbin[1], YU Linfeng[1], JIANG Yongchen[1], ZHAO Rongbing[1,2,3,4], WU Xiaojing[1], SUN Yan[1], Gesang[1], WANG Fan[5], Gesangqudan[1], BU Yunzhong[1], MA Mingcheng[1], WANG Lingling[1], Jueanluobu[1], ZHANG Jianwei[1,6], ZHOU Hailing[5] & ZHANG Wei[5]

[1] *Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China*
[2] *Key Laboratory of Radio Astronomy, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210023, China*
[3] *Shanghai Key Laboratory of Space Navigation and Positioning Techniques, Shanghai 200030, China*
[4] *State Key Laboratory of Radio Astronomy and Technology, Beijing 100101, China*
[5] *China Electronics Technology Group Corporation No. 39 Research Institute, Xi'an 710065, China*
[6] *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*
**Corresponding author, email: jqwang@shao.ac.cn*

This paper reports on the performance testing of the system noise temperature, antenna efficiency, and sensitivity of the Shigatse 40-meter radio telescope in the S/X bands, as well as observations from fringe tests, astrometric and geodetic experiments. First, it introduces the key indicators of radio astronomical receiving systems, followed by a discussion of the testing methods for each indicator. Finally, it presents the system noise temperature, antenna efficiency, sensitivity, and VLBI observation results of the Shigatse 40-meter radio telescope in the S/X bands. The test results show that the Shigatse 40-meter radio telescope performs excellently, with the S-band system noise temperature maintained below 30 K and the X-band around 20 K in the zenith direction, with minimal impact from the sub-reflector tracking model. When the sub-reflector tracking model is activated, the antenna efficiency of the radio telescope is significantly improved, remaining above 70% for elevation angles from 8 to 85 degrees. This also leads to substantial improvements in sensitivity. Additionally, through VLBI observations, the station has achieved millimeter-level accuracy in station coordinates.

antenna efficiency, system temperature, sensitivity

PACS: 95.55.Jz, 84.40.Ba, 95.10.Jk, 91.10.Fc

doi: 10.1360/SSPMA-2025-0459