

90—115GHz 超导 SIS 接收机研制成功

*
戴 新 徐之材

(紫金山天文台 南京 210008)

关 键 词 超导接收机, 研制

低温超导是最早得到应用的超导电子技术, 它可用作电压标准、可用作弱电信号检测器件、弱磁场检测器件, 也可产生毫米波、亚毫米波振荡信号等。天文学家为了研究宇宙演化, 需探测极其微弱的来自宇宙的信号, 在毫米波和亚毫米波段应用了超导 SIS(超导-绝缘层-超导) 接收技术, 显著提高了毫米波、亚毫米波射电天文望远镜的灵敏度和工作频率, 成为近十多年来毫米波、亚毫米波天文学进展的显著特点。

1 超导 SIS 接收机的构成与特性

紫金山天文台青年研究员史生才带领毫米波实验室课题组, 承担并完成院“八五”重大项目紫金山天文台 13.7 米毫米波射电望远镜所用“90—115GHz 超导 SIS 接收机”的研制工作。该项目 1993 年立项, 1995 年正式启动, 1998 年完成, 并安装于 13.7 米望远镜。该项工作得到了中国科学院超导中心、中国科学院基础局和紫金山天文台的大力支持, 并得到了日本国立天文台的技术支持。

该接收机的构成与特性如下:

(1) 90—115GHz 超导接收机系统主要由 4K 低温致冷系统、超导 SIS 接收机本体和准光学系统组成, 故完成该项目需掌握包含超导 SIS 结设计加工技术在内的超导 SIS 混频核心技术和 4K 致冷技术, 以及准光学馈电技术等。

(2) 4K 低温致冷系统首次采用了新型蓄冷材料的 GM(Gifford-McMahon) 两段制冷机。其特点是体积小、电耗低、重量轻、操作维护方便和相对低成本。4K 金属杜瓦的设计慎重考虑了 GM 两级 4K 制冷机相对较低的致冷功率(0.5 瓦)。此低温致冷系统最低温度可达 3.7K 左右, 温度波动范围约 $\pm 0.08\text{K}$, 从室温降至 4K 的冷却时间约为 3 小时。

(3) 准光学方案采用的校准方法是国际上通用的斩波轮法。来自卡氏天线副面的波束通过一个椭球镜($f=228.5$ 毫米) 和一个平面镜反射, 进入一个 Teflon 透镜($f=65$ 毫米) 进行再次聚焦。Teflon 透镜的表面有防反射涂层。聚焦后的波束在波纹喇叭口面的波束参数与波纹喇叭的参数相匹配。准光学计基本上满足频率独立条件。另外还在天线的第二焦点处设置了一

* 紫金山天文台党委书记, 高级工程师

收稿日期: 2000 年 6 月 22 日

个斩波轮。其作用有两个:一是望远镜观测时进行波束调制,二是实现观测定标。

(4) 90—115GHz 超导 SIS 接收机本体由毫米波波纹喇叭、20dB Cross-Guide 型定向耦合器、波导型 SIS 混频器和 L 波段 HEMT 低温致冷前置中频放大器组成。L 波段低温致冷前端的工作频率范围是 1.2—1.8GHz,总增益大于 36dB,噪声温度小于 14K。90—115GHz 波导型 SIS 混频器采用了单馈电并联双结 SIS 结和无调谐宽带混频座(具有 30% 的相对带宽)。

2 跻身国际先进水平行列

1999 年 5 月 26 日,由中国科学院和院超导办公室主持,由 4 位院士和 9 名研究员、教授组成的鉴定委员会,经讨论确定鉴定意见为:

(1) 超导结技术用于微弱信号的低噪声、高灵敏度接收,是 80 年代以来国际上十分重视的热点之一。本项目根据我国的需要,把高新技术的研究与实际应用目标紧密地结合,使我国超导接收技术的应用迈出了坚实的一步,大大改善了我国毫米波射电天文的观测手段。

(2) 紫金山天文台的 13.7 米毫米波射电天文望远镜在用该超导 SIS 接收机替换了原来的肖特基接收机后,系统灵敏度提高了近 6 倍,目前在 110GHz,望远镜系统噪声温度(单边带)约为 200—300K,该性能与国际上射电望远镜同频段系统相当。接收机的噪声温度为 $TR(\text{DSB}) \leq 40\text{K}$ 。连同中频范围、中频带宽、连续工作时间等方面的测试,确认该接收机已经超过了原定的技术指标。主要性能已达到当前国际先进水平。

(3) 本项目采取了自行研制为主和充分开展国际合作相结合的做法,是一个成功的经验。本项目的主要技术创新是:首次在 3 毫米波段采用了单馈电并联双结阵,频带宽且易于制作;提出了一种新型的宽带无调谐波导混频电路,带宽达 30%,相对尺寸大,易于推广到亚毫米波段;首次将 GM 两级 4K 制冷机应用于实际的超导 SIS 接收机系统。通过本项目的工作,不仅研制成一套先进的设备,而且掌握了意义广泛的先进技术,培养了一流的技术人才。

(4) 研制成的超导 SIS 接收机安装在青海德令哈观测站的 13.7 米毫米波射电望远镜之上后,用于实际天文观测,并对有关单位开放。经过实践的考验,证明接收机的性能稳定,能满足长时间天文观测的要求。与采用肖特基二极管混频器的接收机相比,超导 SIS 接收机的噪声温度降低了一个量级,相应的结果是,望远镜的灵敏度改善了 4—6 倍。

3 推广应用前景

(1) 应用 SIS 混频器的超导接收机由于具有极低的噪声温度、很高的工作频率,而且需要的本机振荡器的功率很小,故在短毫米和亚毫米波射电天文中得到广泛应用。(2) 其它领域推广应用前景: ①用于球载、机载和卫星的毫米波遥感辐射计中; ②用于地面遥感辐射计中,如用于大气臭氧的遥感设备中; ③用于毫米波深空站、毫米波卫星通讯、毫米波电子侦察设备等。