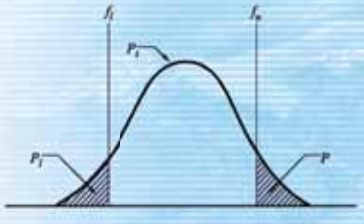
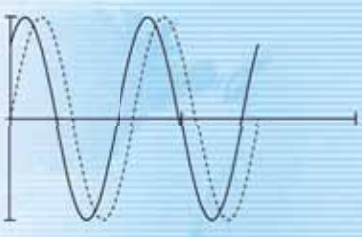
国　际　电　信　联　盟

手册

频谱监测——增补





无线电通信局

国际电信联盟

国际电联无线电通信部门

无线电通信部门的作用是确保所有无线电通信业务，包括卫星业务，合理、公平、有效和经济地使用无线电频谱，并在建议书被采纳的基础上进行不受频率范围限制的研究。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界和区域性无线电通信大会以及无线电通信全会完成，并得到各研究组的支持。

询问有关无线电通信事项

请联系：

ITU
Radiocommunication Bureau
Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

电话： +41 22 730 5800
传真： +41 22 730 5785
电子邮件： brmail@itu.int
网址： www.itu.int/itu-r

订阅国际电联出版物

请注意，不能通过电话进行订阅，应通过传真或电子邮件的方式。

ITU
Sales and Marketing Division
Place des Nations
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

传真： +41 22 730 5194
电子邮件： sales@itu.int
国际电联的电子书店： www.itu.int/publications

© 国际电联 2009

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何形式或手段复制本出版物的任何部分。

前言

本文件是《ITU-R手册—频谱监测》（2002年版）的增补，是为该手册的下一完整版发布之前及时提供若干相关问题的最新信息。特别是提供了对手册第3章（监测设备和监测操作自动化）、第5章第5.1节（航天器辐射监测）以及附件1（监测系统规划与投标）的全面而独立的修订。

本增补文件由无线电通信第1研究组本着这一目的而组建的一个报告人组起草。我向报告人、各章报告人和联合报告人、投稿人、参与者以及所有为本增补文件的成功起草而向报告人组提供了众多支持和帮助的人们致以深深的谢意！

瓦列里 • 吉莫弗耶夫

无线电通信局主任

目录

页码

前言 iii

第3章 – 监测设备和监测操作自动化 1

第5章 – 特殊的监测系统和程序 87

5.1 – 航天器辐射监测 87

附件1 – 监测系统规划与投标 159

第3章

监测设备和监测操作自动化

页码

3.1 引言 …… 3
3.1.1 总体考虑 …… 3
3.1.2 干扰环境的影响 …… 4
3.1.3 人机接口 …… 5
3.1.3.1 基本原则 …… 5
3.1.3.2 动作和效果 …… 6
3.1.3.3 执行器识别和反馈要求 …… 6
3.1.3.4 计算机接口 …… 7
3.2 监测与测量天线 …… 7
3.2.1 总体考虑 …… 7
3.2.2 合适的天线配置 …… 7
3.2.2.1 与全向天线相关的监测任务 …… 8
3.2.2.2 与定向天线相关的监测任务 …… 10
3.2.2.3 天线选择概述 …… 12
3.2.3 VLF、LF、MF和HF天线 …… 13
3.2.3.1 VLF/LF/MF全向型 …… 13
3.2.3.2 HF天线的总体考虑 …… 15
3.2.3.3 HF天线类型 …… 16
3.2.4 VHF、UHF和SHF天线 …… 20
3.2.4.1 VHF和UHF全向型 …… 20
3.2.4.2 VHF和UHF定向型 …… 24
3.2.4.3 用于3 000 MHz以上频率的天线 …… 24
3.2.5 天线定位 …… 28
3.2.6 用于移动监测站的天线 …… 31
3.2.7 用于可移动和便携式监测站的天线 …… 34
3.2.8 传输线和分配系统 …… 36
3.2.8.1 传输线 …… 36
3.2.8.2 分配系统 …… 36
3.3 监测接收机 …… 42
3.3.1 总体考虑 …… 42
3.3.2 模拟接收机 …… 42

页码

3.3.3 数字接收机 …… 43
3.3.4 用于接收机的频率合成器 …… 45
3.3.5 监测接收机的典型规范 …… 45
3.4 测向（DF） …… 49
3.4.1 总体考虑 …… 49
3.4.2 天线 …… 49
3.4.3 设备 …… 50
3.4.4 接收机数量 …… 50
3.4.4.1 单信道系统 …… 50
3.4.4.2 多信道系统（一个参考信道以及一个或多个交换采样信道） …… 52
3.4.4.3 *N*信道系统（*N* =接收机信道数目=天线数目） …… 52
3.4.5 信号处理 …… 53
3.5 额外的和独立的设备 …… 53
3.5.1 频率测量设备 …… 53
3.5.2 场强测量设备 …… 54
3.5.3 频谱分析和带宽测量设备 …… 54
3.5.4 自动监测频谱占用情况的设备 …… 55
3.5.5 记录设备 …… 56
3.5.5.1 记录媒介 …… 56
3.5.5.2 宽带记录设备 …… 58
3.5.6 调制测量设备 …… 59
3.5.7 识别设备 …… 60
3.6 监测自动化 …… 61
3.6.1 引言 …… 61
3.6.2 监管操作自动化 …… 62
3.6.2.1 自动化等级 …… 63
3.6.2.2 监测站自动化 …… 63
3.6.3 计算机化的监测网络 …… 78
3.6.3.1 引言 …… 78
3.6.3.2 集成的计算机化的国家级系统 …… 79
3.6.3.3 HF/VHF/UHF自动系统示例 …… 82
3.6.4 自动系统中的报告设备和软件 …… 83

3.1 引言

3.1.1 总体考虑

在无线电监测站上可使用的设备，应当适于执行在该站上要求的测量功能。这些测量源自分配给该监测站的任务。反过来，这些任务取决于在第1.3节和第2.3节中所涵盖的国内无线电监测的目的与目标。测量的性质与质量将决定必备设备的类型。

加入国际监测系统的监测站，必须能够执行一些测量任务，测量的准确性应符合相关ITU-R建议书中所包含的、有关监测站的技术标准。第3.3节～第3.5节中适当地提到了这些建议书。设备的其他特性应符合第3.3节～第3.5节中各相关部分提及的最低标准。对第3.1.2节中所讨论的、为测量接收机和有源天线提供的建议性线性特性，并考虑到环境的影响，如周围的金属结构等，应予以特别关注。

对监测站，必备的最少设备是针对相关频率范围的一台接收机和一套天线系统。一副可旋转的定向天线可以提供原始的方位信息。还要求具备基本的频率和场强测量能力，借助一台经校准的接收机和一副天线，可以提供上述能力。

而后，该系统可以通过增加过程控制器而得到补充，来自动实现某些基本的测量任务，通过增加测向（DF）设备，来获取方位信息。大多数监测站都实现了自动化，使操作人员从费时且长期的测量任务中解脱出来，如频谱占用度测量任务。

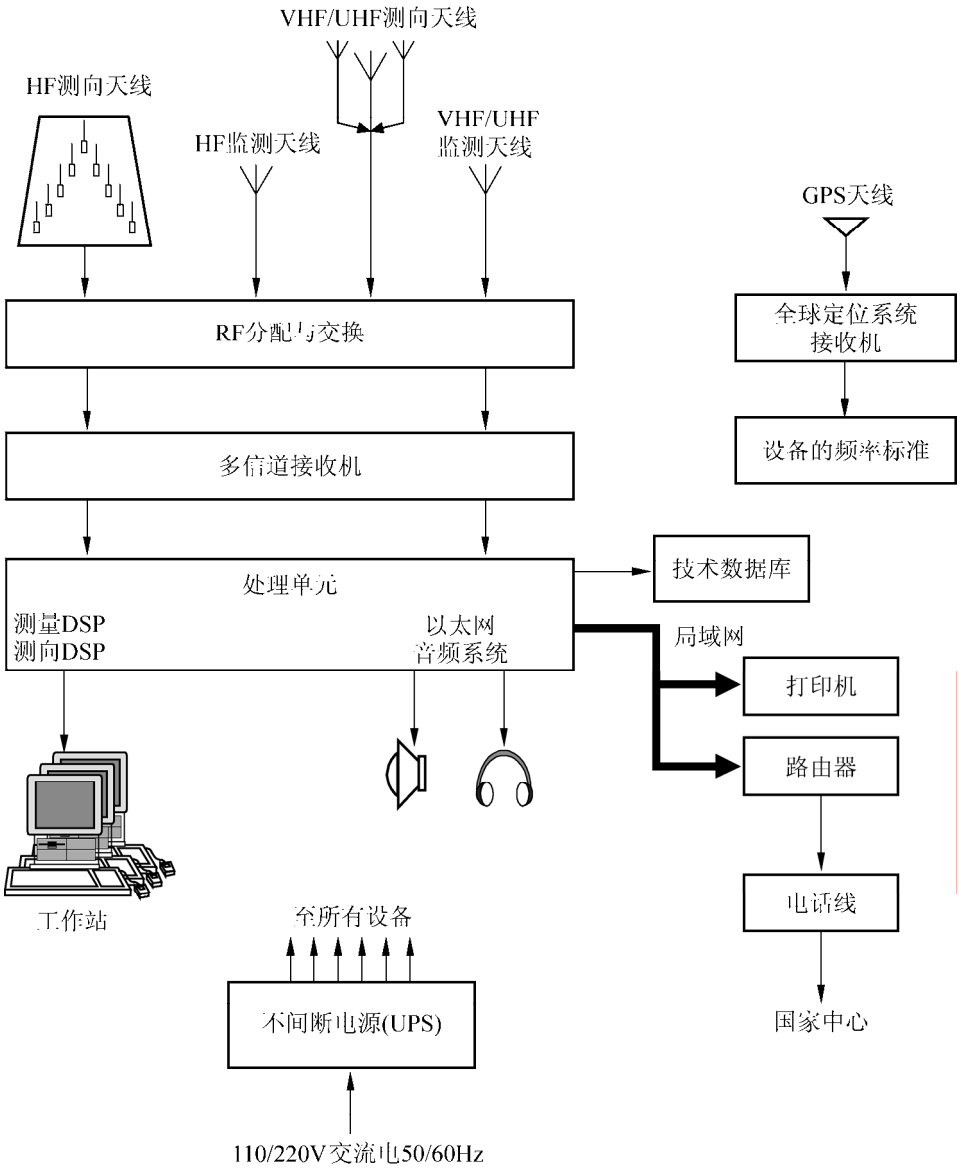
最复杂的监测系统包括一个层次结构，由国家级、区域级、遥控的和移动的监测站组成，它们实时组网，以便从一个单独的操作控制台实现对多个监测站的集成控制。这类系统以计算机和网络为基础，运用尖端的软件，使操作人员从繁重的任务中解脱出来，并可极大提高测量速度。通过允许执行一些后台任务，如搜索未授权的发射机等，还提高了设备的利用率，当设备不因其他目的而被占用时，这些后台任务可自动得到执行。

图3-1所示是一个现代化的、拥有最少设备的集成监测站的结构框图。该站所用接收机的频率覆盖范围为9 kHz～3 000 MHz，提供了有关频率、场强、调制分析和测向等基本的测量功能。随着时间的推移，能够进行诸如频谱占用度等测量的控制单元也将问世。该集成监测站还提供了一个包含授权和技术信息的数据库，或是与频谱管理系统数据库的直接接口。这一技术数据库包括授权监测站的技术信息及其参数，这些信息和参数使集成监测站一方面可以识别数据库中未包含之发射机的频率，这些发射机因此被假定为是未授权的，另一方面还可以识别那些未以其授权之参数进行运行的发射机。

应当注意的是，无线电监测系统的整体准确性不仅取决于如接收机和天线等单个组成部件的指标，其他的相关参数，如线性特性、灵敏度、方位角准确性和场强准确性，也会受到系统组成部件之间的电缆类型和长度以及环境条件等的影响。

图3-1

集成监测站结构图



3.1.2 干扰环境的影响

理想状况下，监测站应置于不会受到邻近发射机干扰的地点上，或者不会受到高压线路或穿越站点的微波链路干扰的地点上。此外，一旦选定站点，或者更重要的是，一旦开始监测作业，则应采取一定的措施来对站点实施保护，如做好频率规划等。

由于上述原则不会始终得到遵守，因此频谱监测站的天线和接收机通常会在干扰条件下运行，而且这些干扰通常比普通通信接收天线和接收机所承受的干扰要严重得多。一台固定业务接收机的工作频率、位置、天线高度和方位角等，都要在频率分配阶段进行精心选择，以使考虑中的接收机得到适当保护（通过提供无线电监测站之间适当的频率以及地理间距来实施保护，尤其要依据天线和接收机的特定参数来选择其频率和间距），使之不受其他无线电链路发射机干扰的影响。因此，应不遗余力地保持对所有新分配频率的这种一对一保护。

反之，理想的情况下，频谱监测站天线应置于周围是开放空间的制高点上，以确保接收到来自广大业务范围和所有方位角上的、最大可能数量受监测发射机的信号。经常会出现这样的情况：监测站置于城市中，靠近大功率发射机 — 包括那些用于语音和电视广播的发射机 — 它们拥有高大的天线，或者部署在靠近现有监测站的站点上。在此类情况下，很少有人或者没有人注意到频率监测和地理间隔要求方面的问题，而它们实际上是为无线电通信设备做好频率规划的一个基本特征。结果是，监测站天线和接收机通常不得不在所受干扰比其他无线电设备严重得多的情况下运行。这对某些参数强加了特殊要求，这些参数用于表征接收机和有源天线的固有保护措施，从而使之不受潜在干扰的影响。

首先，它考虑以下这些参数：接收机选择性和线性（二阶和三阶截获点）、中频和镜频抑制、接收机动态范围、有源天线的线性（二阶和三阶截获点）及其对干扰的保护措施（损伤阈值）等。整体上，上述参数在很大程度上决定了频谱监测站设备在严重的、未受控干扰情形下进行测量的能力。如果由于未能达到第3.2节和第3.3节中所提到的要求而导致保护不足，那么天线和/或接收机将会受到干扰的影响，某些（或全部）发射机辐射参数和测向作业的测量结果都可能存在大量错误；换言之，测量数据将是不可靠的，或者是不能简单获取的。因此，如果使用了特性不足的天线和接收机，那么有可能浪费建立频谱监测站和网络的大笔投资。干扰信号的影响通常以互调和/或阻塞的形式出现。在第3.3.2节中对这些现象的原理进行了分析。

根据上面所述，建议避免使用未达到第3.2节和第3.3节中所提全部要求的标准接收机来执行频谱监测任务。

现场测量和测向结果很大程度上还会受到其他天线和周围金属结构的影响；这将在第3.2.5节中进行讨论。

3.1.3 人机接口

为了执行监测站任务，常常需要执行人工操作，包括接收机和维护设备，以及系统的交互操作。另外，对第3.6节中所述的自动频谱监测系统的操作，应遵守涉及人机接口的某些指导原则。《IEC 447/4.93：人机接口（MMI）－执行原理》中给出了总的指导原则。

3.1.3.1 基本原则

执行原理的应用、执行器的布置和次序，应明确给出，尤其是对操作人员须使用不同厂商的设备来执行各种不同任务的监测站。应考虑到要求的工作速度、人体工程学方面的因素，以及对非计划操作所需的预防级别。

执行器应是可明确识别的，它应只能通过执行器的有意操作来执行一个命令（这限制了双功能执行器的应用），所用的对话方法应考虑到与任务相关的人体工程学方面的因素。

为避免操作人员出错，建议采取以下措施：

– 确定命令的优先级；以及

– 简化执行器的运行次序（例如，通过自动化）。

执行器的排列应根据其操作或功能相关性在逻辑上进行分组。可运用以下中的一条或多条分组原则：

– 根据功能或相互关系；

– 根据使用的次序；

– 根据使用的频率；

– 根据优先级。

3.1.3.2 动作和效果

只要可能，根据操作方向或者相关的执行器位置，执行器的必要动作应与要求的最终效果相关联。最终效果可以归类为递增的效果和递减的效果。

主要有两种不同方法来执行相反的动作，它们分别利用的是：

– 带有两个操作方向的执行器（例如，手动转轮或调谐钮）；

– 一组执行器，如两台执行器（例如，按钮），每台只有一个操作方向。

有些操作员更喜欢使用调谐钮，特别是在设置接收机的频率和控制音量时。因此，能够以一种简易的方式在修正频率的同时以设定的音量听到语音信号。为便于双手操作，要求两个调谐按钮之间留出足够的间隔。

3.1.3.3 执行器识别和反馈要求

视觉、听觉或触觉的信息/反馈，将有助于改善人机接口。执行器动作的反应/效果应是立即的，延迟可能导致用户的错误动作。这方面的例子有：

– 可使用一个发光二极管（LED）来指示开关已设为开状态ON（LED的颜色最好是棕黄色的或绿色的）。

– 每次改变设置（如频率、带宽、衰减），应立即在显示器上予以指示。

– 在阳光下以及在光线昏暗的房间内，显示器都应能轻易看清。

– 多数情况下，除了一个来自扬声器的声音之外，只有一个语音反馈是不够的，原因是它可能干扰音频信号。

– 扬声器应首先考虑安装在接收机的前面板上，原因是耳机插座可能将它关闭。

– 当干扰效果骚扰到信号接收时，全景显示器有助于频率调谐和定向。理想的状况是：显示器应是实时型的，具有为维持最大值而实现数字存储的可能性。当添加了最大保持时，闪烁信号可很容易地在持续发射时被发现。

– 当利用调谐按钮以间歇方式进行频率调谐时，使用带有磁锁的调谐按钮已证明是非常有用的，它可为每一步调谐都提供触觉，同时防止由振动等导致的无意去谐。另一方面，磁锁可与一个能够进行快速调谐的飞轮相结合使用。

  信息的数字化处理步骤应以逐渐加快的调谐速度来提供加速度。将一组键进行组合，可实现用调谐按钮进行准连续调谐，并实现逐个信道地调谐，如上所述，通过结合两个执行器，可做到这一点。

– 手动调谐具有模拟反应是有益的，如一个电平计和调谐计，尤其是在没有全景频谱显示器可用的情况下。例如，一个模拟调谐计有助于引导天线指向最大接收方向。

3.1.3.4 计算机接口

不是使每台仪器都拥有自己独立的用户接口，而是可以利用计算机、软件和遥控设备创建一个用户接口，这将在第3.6节中做进一步探讨。这一用户接口能够以同样的方式实现对各个仪器的控制，从而减少对操作人员的培训。此类用户接口的例子是使用菜单和对话框，或者图形表示法，如图标和符号。当从事实际任务的操作人员可以定制时，这种方法的功能显得尤其强大，它可灵活地完成寻址任务和选择处理方法。

3.2 监测与测量天线

3.2.1 总体考虑

接收天线的目的是从环境中尽可能地提取出信号，并将该信号作为接收机的输入，同时使接收的噪声和干扰信号尽可能小。监测天线的特性在很大程度上将取决于每一次特定应用。在选择监测天线时，必须考虑其他一些因素，如目标信号的特性、欲监测的参数、安装现场的特性以及可能出现的任何干扰。

为使接收效果最佳，天线应具备对应到达信号波阵面极化的极化，并应使传输线阻抗与接收机输入电路阻抗相匹配，以确保功率的最佳传输。对一般性监测或者确定无线电频谱，全向接收样式已被证明是有效的。对共用频率上特殊信号的监测，使用定向天线是可取的，它要么将一个或多个干扰信号变为零值，要么将想要的信号最大化。在通过更加靠近发射有用信号的天线来分隔共用频率时，使用移动单元也是一种有效的方法。对某些类型的监测，如对场强的研究，需要考虑到所用天线的特性相对频率相应是可准确预测的，并且不会随时间发生变化。带有已校准天线的移动单元能够在指定区域中实现对平均场强的测量。由于没有哪种天线具有有效接收所有类型信号所需的所有特性，因此一般情况下，监测站需要拥有大量不同类型的天线。

以下各节将描述针对特殊应用的各类天线，它们依据频带进行分类。

3.2.2 合适的天线配置

电磁波的特性，包括波长、谐振、信号和噪声传播，有助于选择与以下内容相关的天线：

– 方向性和增益，它们是天线的主要技术参数。天线可以分为两类：全向天线（其中的方位角辐射图形基本上是圆形的）和定向天线。当发射机的位置未知时，全向天线可用于执行一般性监测任务（占用率、扫描），同时，当需要更高灵敏度时，定向天线可用于执行特殊任务（技术测量）。

– VLF、LF、HF、VHF、UHF 或 SHF频带。

– 在选择天线时要考虑到尺寸和重量，这取决于监测站的类型：固定的、移动的、可移动的或便携式的。

3.2.2.1 与全向天线相关的监测任务

全向天线适于执行以下监测任务：

– 搜索未知的发射机；

– 测量频谱占用度；

– 进行频带或频率扫描；

– 测向；

– 自动执行的任务。

全向天线还适于：

– 当天线系数已知时，进行技术测量（场强、带宽和频率测量）；

– 监测移动的发射机；

– 识别和分析移动的或蜂窝网络业务。

3.2.2.1.1 VLF/LF/MF/HF频带

对这些频带，波长非常长，拥有尺寸相当于四分之一波长的天线是不切实际的，若天线尺寸达到四分之一的波长，天线的灵敏度将达到最高。可使用有源天线，但它们由于互调而导致线性特性较差。

固定监测站：

固定无线电监测设备对尺寸和重量的限制较小，因此可以采用更高性能的天线。固定监测站应安装在远离城市的农村地区，以及安装在那些拥有足够陆地面积来容纳整个天线的地方。

VLF/LF/MF/HF固定监测站对长距离信号的分析和高功率发射机的分析非常重要，包括邻近边界的监测或在大国中的监测、测向以及单站定位（SSL），在单站定位中，单站可测量仰角和方位角，并使用电离层信息来定位发射机。

适合此类监测站的全向天线包括：

– 在短波频率范围中（2～30 MHz）提供全向垂直极化接收的天线系统。该系统可包括一副大型天线，如宽带倒锥形天线、在频率上重叠的几副锥形单极型天线，或者有源天线。

– 至少要有一个全向有源天线系统，它们可以垂直和水平极化，或者存在极化分集接收的可能性，并且覆盖频率范围9 kHz～30 MHz，尤其当空间和/或经济性是限制因素时。

– 一个长程的大孔径测向天线阵，尺寸可以为50～300 m，可提供定向信息。天线可以是全向的，也可以是定向的。其他监测站可提供额外的方位信息，而发射机的位置可通过三角测量法来确定。（频率范围从数百kHz到约30 MHz）

移动监测站：

对于VLF/LF/MF/HF移动监测站，天线尺寸是主要的限制条件。此类监测站允许：

– 在发射机附近移动时的测量结果。例如，尽管一个固定监测站可能由于*S/N*太低而无法实现准确测量，但移动监测站可以移至发射机附近，以增大*S/N*。

– 增加一根方位线（LoB），它与固定监测站相关，以提高定位精度。

尺寸很大程度上限制了对以下天线的选择：

– 短的单极天线（鞭状天线）；

– 偶极天线（中心馈源）；

– 磁环天线；

– 有源天线。

3.2.2.1.2 VHF/UHF频带

在这些频带上，天线尺寸并不是太关键的因素（除了对较低的VHF频带，其中的天线尺寸会对灵敏度产生直接影响）。固定天线和移动天线具有相似的特性；主要区别在天线的位置以及是否能够安装在天线杆顶部。

在这些频带上使用的全向天线类型包括偶极的、圆锥形的或是双锥形的天线。也可使用定向天线，例如用于测向系统中的天线。

固定监测站：

固定监测站的主要优势是可以将天线升高至高固定天线杆的顶部，以便增大视距（LoS），从而能比移动监测站接收更远的发射机信号。在城市中使用这种天线，重要的是努力减小因建筑物反射而引起的多径效应。

全向天线有助于执行靠近固定站的一般性监测，它能覆盖较大的范围，尤其是对自动监测任务更有用。在VHF频带的较低频率上，为使灵敏度更高，还需要具有更大物理尺寸的全向天线。

如果一个固定监测站安装在大城市内或靠近大城市，那么可以使用一个垂直极化的和一个水平极化的、增益中等的全向通用监测天线系统。针对要求的频率范围，通过使用一个旋转的、高增益的、对数周期交叉极化（垂直极化和水平极化）天线系统，可以实现对灵敏度的少量改善。由于VHF/UHF传播是视距（LoS）传播，因此，通常情况下，增加全向天线的高度是一种性价比更高的解决方案。

移动监测站：

在VHF/UHF频带上，全向的、圆锥形或双锥形的天线非常适于移动应用：

– 尺寸更小、重量更轻、性能更好，意味着它们是安装在车辆上的一个良好折中方案。

– 在驾驶过程中允许实施监测和测向定位的天线。

– 它们的重量轻，使之可置于直立的天线杆顶部，增大覆盖范围，减少低障碍物的干扰。

– 它们可以与固定监测站协同进行监测。例如，当固定监测站截获一个低*S/N*的信号时，移动监测站可通过向发射机靠近来获得更佳的结果。

– 它们可以在无法配备固定监测站的地方实施监测。由于UHF频带的传播更加是视距（LoS）传播，因此用固定监测站来实现覆盖通常是不可能的。

对蜂窝网络监测，这些监测站是有用的：

– 小尺寸蜂窝有利于使用移动监测站；

– 接收的信号电平无需高灵敏度天线。

便携式/可移动监测站：

此类监测站的优点与移动监测站的相同。便携式和可移动的天线还可用于执行以下监测任务：

– 从建筑物顶部进行监测。移动监测站通常受到多路径的骚扰，而便携式监测站可以提供减小多路径效用的解决方案；

– 从乡村进行监测，将监测站放置在移动车辆无法到达的高海拔地点或偏远地点上；

– 从某个特定点或某个建筑物上进行测量（学校、医院）。

3.2.2.1.3 SHF频带

在SHF频带上，某些全向天线增益很差，而传播损耗要求采用高增益的天线；结果上，在该频带上，监测天线通常是定向性很强的天线；全向天线和固定天线需要处于有用信号的主波束内。

移动的全向天线通常仅用于SHF频带的较低频率（约为6 GHz的频率）。不过，它们通常用于执行以下监测任务：

– 利用发射机附近的监测天线来截获、分析和执行对微波链路直接波束流的测量；

– 分析蜂窝网络。

3.2.2.2 与定向天线相关的监测任务

定向天线有助于执行以下监测任务：

– 对已知发射机的测量，在信号方向上能够获得更大的增益，因此而改善对低电平信号的监测，或者获得更大的*S/N*；

– 对技术测量，当对方向性有要求时，可以通过提高*S/N* 和降低多路径效应或干扰影响来获得更好的测量结果；

– 对SHF监测，传播时需要高增益的天线。

对SHF天线，定向天线的旋转器必须十分精确。天线的旋转要求花时间操纵天线，使之指向到达信号的方向。因此，定向天线无法适应快速扫描和占用率测量。

3.2.2.2.1 VLF/LF/HF频带

在这些频带上，要求采用大尺寸的定向天线，并且只有在有大片安装区域可用的地方才适合安装在固定站点上。

固定监测站：

在这些频带上，定向天线的主要目的要么是增大灵敏度，要么是增大接收到的*S/N*。一个主要用途是用于监测国际或国家层面的信号。

在此类监测站上适用的定向天线包括：

– 在短波频率范围上，在围绕罗盘所有点的各扇区中，天线系统将提供高度定向、垂直极化的接收。替代方案包括一个单对数周期的、带有六个幕的星状幕形天线阵，或者是一个双向端射环形天线阵的辐式样式。

– 在短波频率范围上，在所有方位角上，天线系统将提供高度定向、水平极化的接收。替代方案包括一个大型可旋转的、线串水平极化的对数周期天线阵，其不足是需要花60 s或更多的时间在方位角上转动，或者是一个具有六个水平幕的天线阵，在六个60°波束上提供360°的方位覆盖。

– 一个长程的大孔径测向阵，其尺寸为50～300 m，以提供定向方位。天线可以是全向的，也可以是定向的。

3.2.2.2.2 VHF/UHF频带

定向天线可通过降低噪声和干扰来改善技术测量，并可为一般性监测和测向任务提供更大的覆盖范围和*S/N*。单个定向天线可安装在一个旋转器上，或者可使用覆盖所有方向的固定式定向天线阵，如一个外表看似圆形的天线阵。带有定向或全向单元的固定天线阵适用于VHF/UHF测向系统。

固定监测站：

在固定监测站中，尺寸和重量较之移动监测站不那么重要，而定向天线是全向天线的一种良好补充。

移动监测站：

位于移动监测站上的定向天线，与那些位于固定监测站上的定向天线具有相同的优点，但其缺陷是它们需要在移动的环境中安装和维护一副旋转的天线。在天线杆顶部的全向天线可以升高，以提高接收效果，它是旋转天线的优秀替代品。此外，在可以开动、以提高*S/N*和改善接收效果的车辆上，不要求具备更高的灵敏度。

3.2.2.2.3 SHF频带

由于在这些频率上的传播损耗，又由于定向天线的高增益，因此定向天线特别适合于SHF频带。它们的主要缺陷在于入射信号的方向性，这意味着测量必须在信号主波束上进行。

固定监测站：

当监测SHF信号时，固定监测站只适合执行特定的监测任务。它们对微波链路、上行卫星和蜂窝网络是没有用的。只有对卫星下行链路的监测，才需要固定监测站。在监测下行卫星信号时，要求在固定监测站中使用大型定向天线。这些天线可以是10 m直径的碟形天线，它们能够提供很高的灵敏度。

移动、可移动和便携式监测站：

为了部署进入或接近天线波束的天线，3 GHz以上的测量通常要求移动操作。移动的、可移动的和便携式的监测站允许使用小型天线，其直径小至1 m。

其目标是：

– 截获和分析微波链路（直接路径或发射天线的副瓣）；

– 通过将监测站移近发射机天线来分析卫星上行链路；

– 带天线方向性的测向信号。在SHF频带上，利用碟形天线进行测量可获得准确的结果。

天线的两种主要类型，喇叭形或碟形，用在移动监测站的这些频带上：

– 喇叭形天线增益较低，结果是，灵敏度也较低。不过，喇叭形天线方向性要求较低，更适于监测未知的信号；

– 碟形天线增益较高，因此灵敏度较高。不过，此类天线的方向性要求很高，要求明确了解发射机或信号源的方向，或者要求实施自动扫描，以定位信号源。总之，喇叭形天线很适合于在SHF频带的低频率上（f < 18 GHz）实施一般性的监测。只有碟形天线适合用在路径损耗高的高频率上。

3.2.2.3 天线选择概述

天线的选择应考虑到新兴的数字处理技术，如智能天线，它能够使全向天线具备定向特性。表3-1为各种不同监测任务的天线选择提供了一般性指导原则。

表3-1

根据监测任务和频带选择天线

	VLF/MF/HF					
	监测应用				**测向应用**	
	全向天线		**定向天线**			
	固定的	**移动的/可移动的**	**固定的**	**移动的/可移动的**	**固定的**	**移动的/可移动的**
环形	X	X	X(1)		X	X
单极	X	X	X(1)		X	X(2)
偶极	X	X	X(1)		X	X
圆锥/双锥	X					
依扇区的对数周期	X					
对数周期			X			
	VHF/UHF					
	监测应用				**测向应用**	
	全向天线		**定向天线**			
	固定的	**移动的/可移动的**	**固定的**	**移动的/可移动的**	**固定的**	**移动的/可移动的**
单极	X	X	X(1)	X(1)	X	X
偶极	X	X	X(1)	X(1)	X	X
圆锥/双锥	X	X	X(1)	X(1)	X	X
扇形			X	X	X	X
对数周期			X	X(3)		

表3-1（续）

	SHF					
	监测应用				测向应用	
	全向天线		定向天线			
	固定的	移动的/可移动的	固定的	移动的/可移动的	固定的	移动的/可移动的
碟形			X	X		
喇叭形			X	X		
对数周期			X	X	X	X
倾斜	X(4)	X				
偶极					X	X

X(1)：用作一个带有模拟或数字波束形成的天线阵。

X(1)：只在MF/HF频带内。

X(3)：天线高度比方向性更重要；升高较小的全向天线比升高定向天线更容易，因此，可移动的对数周期应用比移动的对数周期应用更切合实际。

X(4)：由于它是一个固定站，因此其覆盖范围是有限的。

3.2.3 VLF、LF、MF和HF天线

3.2.3.1 VLF/LF/MF全向型

由于VLF、LF和MF的波长非常长（例如，30 kHz频率的波长为10 000 m），这些频率的天线尺寸必须限定在与波长相比而言较小的尺寸上。由于这些频带上的信号主要是垂直极化的信号，因此，通常使用垂直天线来接收信号。一副简易的垂直天线仅为四分之一波长的一小部分，它具有较大的反应阻抗和较大的尺寸。这样一副天线通常可以做得足够高，以提供所需的、高于环境噪声电平的灵敏度。

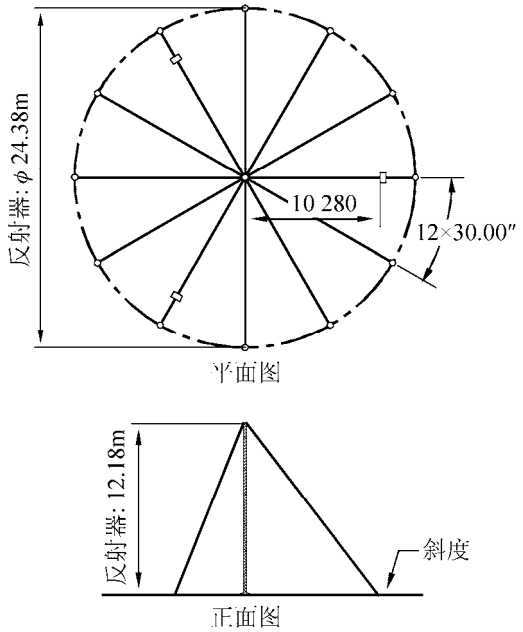
当天线单元的尺寸在物理上限制为波长的一小部分时，例如在VLF和LF中出现的情况，有源天线通常将提供比以下情况大得多的*S/N*，即直接将天线与接收机相连，而不为了阻抗匹配使用有源器件。为了避免有源电路中的互调和交叉调制现象，应注意以下技术数据：

天线系数20 log（E/V）应介于以下数值之间：	15 dB和25 dB
二阶截获点（天线输出）应不小于：	50 dBm
三阶截获点（天线输出）应不小于：	25 dBm
对10 dB交叉调制，允许的场强应不小于：	10 V/m
干扰强场的最大允许r.m.s值（闪电保护损伤阈值）应不小于：	100 kHz时为20 kV/m
	10 kHz时为200 kV/m

有几家厂商可提供符合以上特定规格要求的先进的有源天线。在局部场强很高的情况下，在中波以及FM和TV波段上都是很常见的，即使上述有关有源天线的规范不够准确，应改为采用无源天线，如12 m高的单极天线，如图3-2所示。

图3-2

用于VLF/LF/MF/HF/、9 kHz~30 MHz频率范围的典型的无源接收天线

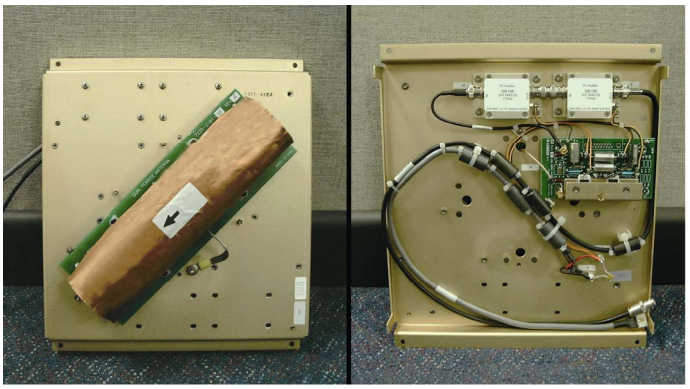


Spec-3-02

图3-3所示是紧凑型有源天线的一个例子，它可用于监测和测向，是一对小型的有源磁环；图3-3所示是磁环对的顶部和底部视图。这种天线可以做得很小（两侧约为0.3 ×0.3 m，高度为0.1 m），其频率范围为300 kHz～30 MHz，但具有大得多的天线（如3 m高的鞭状天线阵）所具有的高灵敏度和方位角测向精度。

图3-3

紧凑型有源天线



Spec-3-03

每个磁环包含一根高渗透性的铁氧体棒，棒上缠绕一个多匝线圈。线圈用静电屏蔽物予以防护，插座与一台变压器相连，目的是使天线对本地电场骚扰别那么灵敏，从而提高测向的精度。变压器提供阻抗匹配、共模抑制，以及对不平衡变压的平衡。

还可以为水平极化和垂直极化制造覆盖VLF/LF/MF/HF频率（9 kHz～30 MHz）的有源天线，如图3-4所示。天线提供了两个输出连接器，一个用于垂直极化，一个用于水平极化。它覆盖了9 kHz～80 MHz频率范围的垂直极化以及600 kHz～40 MHz频率范围的水平极化。

图3-4

垂直和水平极化的有源天线

Spec-3-04

3.2.3.2 HF天线的总体考虑

在HF中，无线电波反射离开存在于地球上方100～300 km的电离层。天线必须在要求的高度和方位角上，在这些电离反射层上直接最大辐射，这样就可以实现对所期望之地点的覆盖。

例如，如果一台发射机的位置距离监测站350 km，那么对于离开300 km高的电离层的反射，来自天线的最大辐射应在接近60°的仰角上出现。在这种情况下—射线路径是从监测站到电离层，然后再到发射机，形成了一个近似的等边三角形，包括一条介于监测站与发射机之间的直线；这种简单的一条反射路径称为单跳转路径。随着距离的增大，单跳转路径的仰角或辐射仰角减小；对于最长的路径，单跳转射线的辐射仰角可以低至3°左右。3°一般是最小的辐射仰角，它受到附近小山、其他障碍物和在非常小的仰角上底切的天线辐射样式的限制。一般而言，通向接收机的路径可以包含几个跳转；例如，双跳转路径出现在发射机位置与监测站之间存在地面反射中间途径的地方，从电离层有两次反射。单跳转和双跳转可以单独存在，也可以同时存在。当同时出现两条或多条路径时，称为多路径传播。

由于HF上存在较多的人造和大气无线电噪声，因此通常不需要效率很高的接收天线。例如，出于辐射样式覆盖的原因，人们可能希望使用垂直极化的天线，并可接受数dB的天线损耗，原因是，该天线损耗通常不会对接收系统的灵敏度产生巨大的影响。

对于接收，更为重要的是使用带有高定向增益的天线，以使天线提取的信号电平相对噪声而言得到了增强。基于在所有方向上接收到的噪声功率强度是相同的这一假设，通常是这种情况，认为天线接收到的总的噪声功率与天线的方向性是无关的。因此，通过增强接收天线的方向性，接收到的*S/N*将得以增大。

一个特定的监测站可使用几副天线来提供所需的短程和长程覆盖。天线的选择可以包括一副短程全向高辐射仰角的天线，加上几副中程和长程的定向天线。此外，监测站可使用的陆地面积可能是有限的，并可能需要使用少量的单一类型天线，以便在所有距离上提供最佳服务。可以本节中介绍的某些地面站天线类型供监测站使用。所有的HF—高功率发射机（>1 kW）都应部署在至少远离监测站5～10 km的地方，以便在HF发射机与HF接收机之间实现高度隔离，并使接收现场成为无线电噪声较低的环境。用于HF的天线应覆盖2～30 MHz的频带。

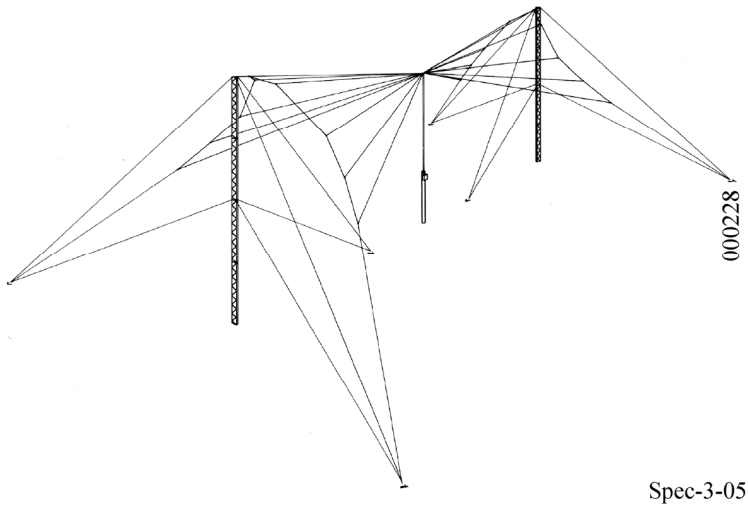
3.2.3.3 HF天线类型

水平宽带偶极天线（参见图3-5）

对于短程和中程HF覆盖，最佳的天线类型是带有接近顶点的峰值辐射的水平极化或圆极化天线。由垂直极化的HF天线辐射的地波会被地损耗衰减，通常无法接收到100 km之外的地波以及约300 km之外的、海洋水面上传播的波。所有的垂直极化天线都是零开销，不适于在HF上监测非常短程的天波。水平带宽偶极天线是天线的一个例子，它能够提供短程覆盖，从约3～12 MHz，带有完全的全向辐射样式。这些天线相对较小；水平极化偶极天线的一个例子是安装在两个塔上，高22 m，需要的陆地面积是66 m × 38 m；这是一种在接收或发射场地有限时使用的良好天线。这种天线的增益通常为5 dBi或更高。对于非常高的增益值，可设计使用水平极化对数周期天线，以便实现短程覆盖，方法是将针对低频的、完全全向辐射样式转变为针对高频的、中程和长程覆盖和定向辐射样式。

图3-5

宽带水平偶极天线 — 短程到中程



水平极化可旋转对数周期天线

使用安装在天线杆顶部的水平极化对数周期偶极天线，可以实现更大的增益值（取决于天线杆的高度，可大至12 dBi）。这些定向天线典型地拥有60°～70°的半功率点波束宽度。利用旋转器，天线可以旋转，以覆盖所有的方位角（参见图3-6）。

图3-6

带有旋转器、用于监测2～30 MHz频率范围的水平极化天线示例

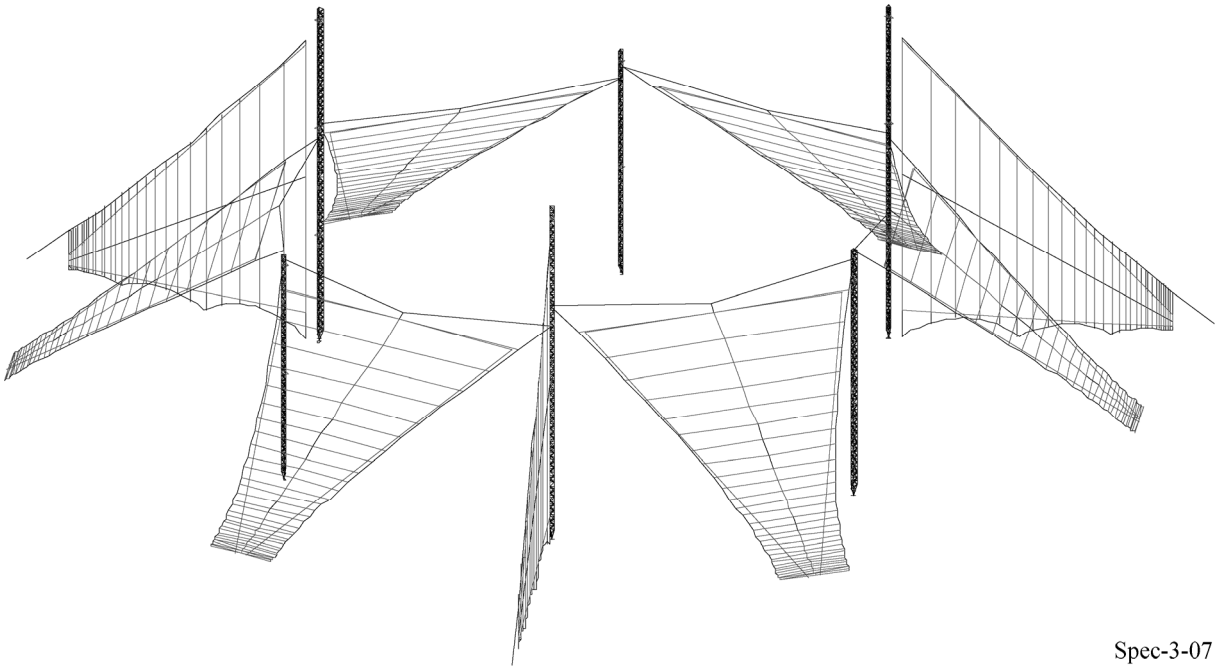
Spec-3-06

对数周期星状幕形天线阵

一个对数周期星状幕形天线阵可以提供垂直极化或水平极化的定向波束，或者同时提供两种极化的定向波束。垂直极化的天线阵可有六片幕，各幕占约60°的半功率点波束宽度，环绕中间的支撑天线杆（可高达60 m）每幕间隔60°。水平极化的天线阵可有六片水平幕，它们共用六根支撑天线杆，也将在六个60°波束上提供360°方位角的覆盖。图3-7所示是提供两种极化的一个天线阵，该特别例子包括六副水平极化的天线以及三副垂直极化的天线。

图3-7

对数周期星状幕形天线阵示例



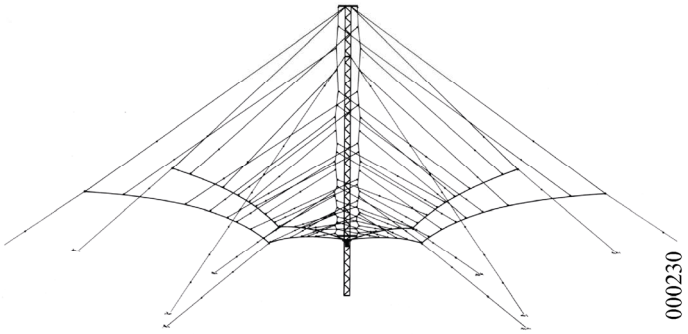
Spec-3-07

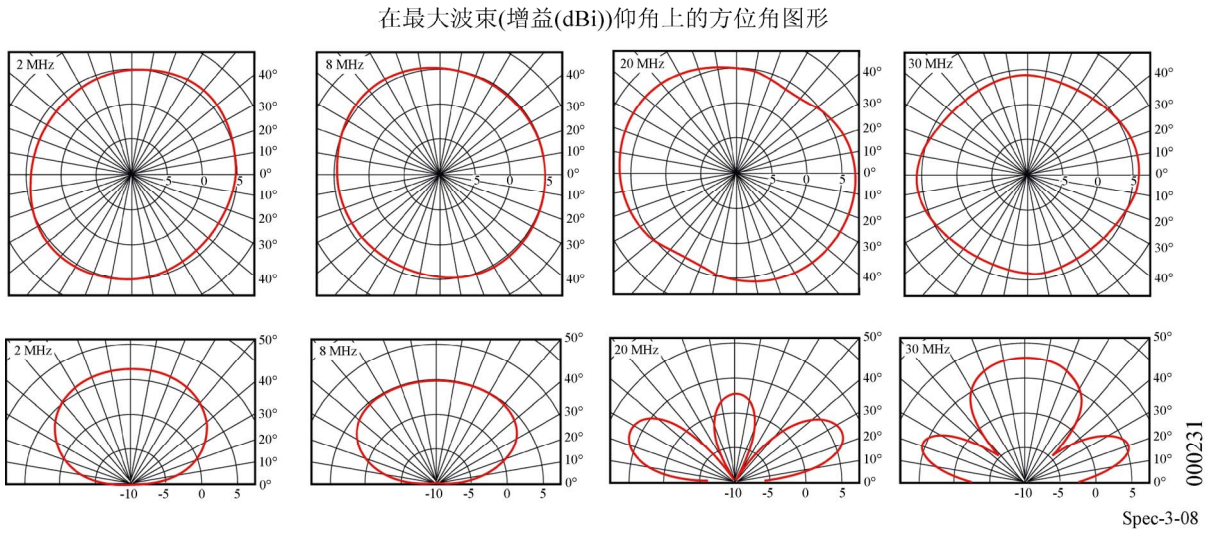
全向圆极化LPA（参见图3-8）

在整个HF频带上提供全向覆盖的天线类型是圆极化的对数周期天线（CPLPA）。这种天线具有从某一架构处提供短程和中程通信的优点。在较低的频率上，天线在更大的仰角上辐射，实现短程覆盖，而在更高的HF频率上，针对远程接收的辐射仰角则更小。这种天线由单塔支撑，有两组正交的对数周期偶极天线阵，每个偶极子作为中心馈源的倒V形天线，与沿着塔两侧支撑的馈线相连。支撑塔高28 m，需要的面积为94 m×94 m。这种天线的增益为5 dBi。

图3-8

圆极化的对数周期全向天线（短程到中程）



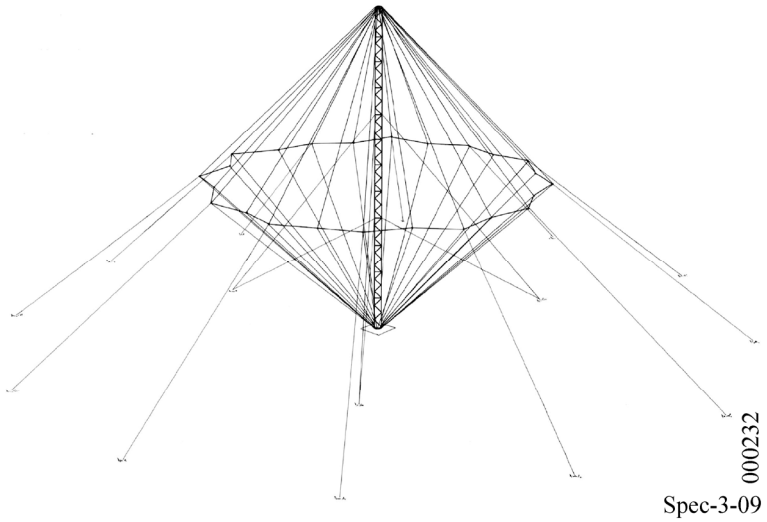


垂直极化的宽带单极全向天线

这种天线是一种宽带全向天线，可以用于接收短程地波以及中程到长程的天波。图3-9所示是一种典型的垂直极化宽带单极天线。这种天线在3～30 MHz的频率范围上高度可达25 m，直径为52 m。垂直极化的宽带单极天线和CPLPA天线在辐射仰角较小的低频上具有接近相等的增益；不过，在较高频率上，CPLPA天线的性能更佳。

图3-9

宽带垂直全向天线—中程到远程



环形天线阵

电气上，小型、功率不足的天线，如环形天线，在HF频率范围内众多的接收应用中具有优势。因天线功率不足而产生的噪声，对*S/N* 具有与其他噪声源相同的影响。当外部噪声大于因天线功率不足（如果存在的话，以及内部电子）产生的噪声时，天线可称为“外部噪声限制的”。外部噪声限制的天线其内部噪声相对较小，原因是更大的外部噪声源决定了系统的*S/N*。当外部噪声相对较大时，小型的接收天线与全尺寸、全效率的天线工作得一样好。

基本的环形天线是一根大型的低电感铝管。它通过一个宽带无源匹配网络在上方的中点处馈源。在偶极子上的环形天线的优点之一是它们的输入阻抗较低。环形天线的性能相对不受附近导体的影响，如树、建筑物和雪。此外，在电气上，由于小型天线的辐射电阻较低，因此相互影响通常较小，使得环形天线可以配置在符合其性能要求的各种各样天线阵中，以满足特殊的接收需求。

单个环形天线的方位角样式在水平面上是一个8字形，在更大的到达角上逐渐全向，在大于50°的到达角上，垂直方向上与方位角无关。来自多个环形天线的信号可以在相位上结合，或者“在波束上结合”。因此而形成的样式是定向的，方位对应天线阵中的其中一个方向。定向样式在低于顶点的某些角度上具有最大的增益。增加环形单元的数量，可增大增益、增强方向性。虽然这种定向样式有助于监测，但如果环形单元的阵列用于测向，那么不可组合这些单元，以便每个单元的响应可以单独予以测量。

通过将阵列中每一单元的馈源电缆引入到位于天线阵物理中心的延迟/合成仪单元或者波束形成器上，可实现波束形成。在单向的波束形成中，来自每一单元的信号借助适当长度的同轴电缆或者延迟电缆可得到延迟，然后在一台合成仪中合成。在双向的波束形成中，信号被分开，馈送至两个单独的延迟线组中，然后在两台独立的合成仪中合成。

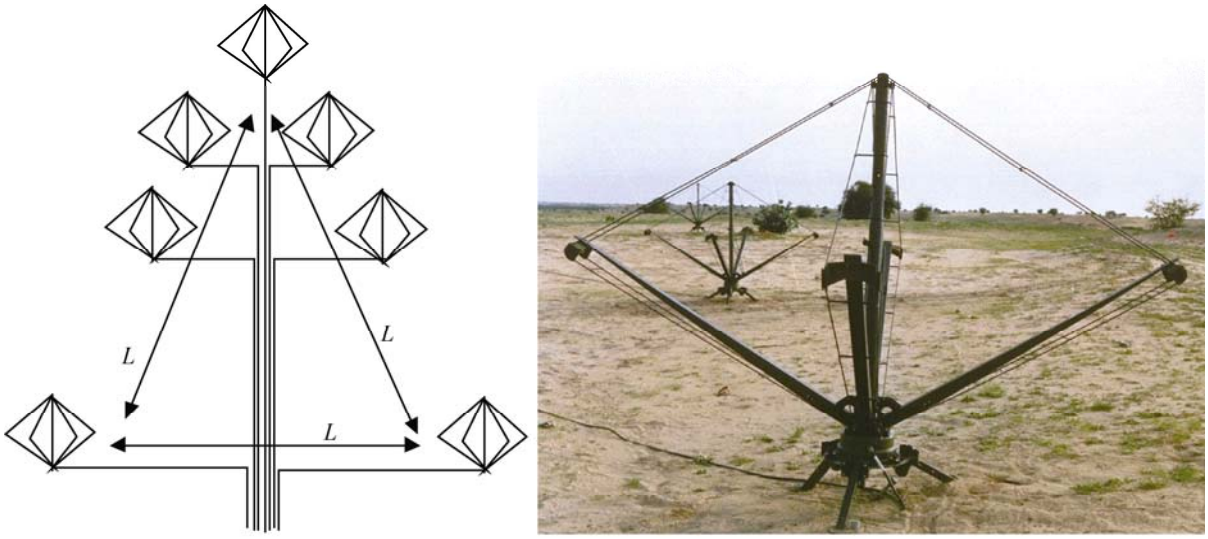
多个小型阵列通常以玫瑰花形配置进行结合。一种常见的玫瑰花形由三个双向臂组成，它们在方位角上以共同的中心等距离分隔开。每条臂包含八个环。这种三臂、24个单元的环形配置，可以产生六个波束，每一个波束对应一个60°的方位角。

交叉环形天线

另一类环形天线包括两个垂直的有源框架，高度大概是2 m。这种交叉环形天线可作为单机使用，或者在天线阵中使用，带有一个开关交换装置，基于干涉测量原理进行测向。这种天线阵由7 或 9个天线单元组成，包括一副参考天线，安装在一个等边三角形的两条边上或者安装在带有约200 m孔径的一个圆形配置中。减小孔径将降低测向的精度。图3-10所示是一个天线阵。

图3-10

1～30 MHz频率范围的交叉环形天线阵



Spec-3-10

与单极天线不同，这种天线能够接收所有的极化。取决于所选的极化，天线内的一个开关使之能够选择交叉环形两个端口中的一个或另一个。这些天线，连同干涉测量法测向原理，可以在天波和视距传播中执行测向任务，将胜过仅限于垂直极化和切线入射的U-Adcock型天线，由于在这一频率范围中会出现所有的极化，因此在HF上，这是一个主要的不足。干涉测量测向原理允许进行单站定位（SSL）测量，而基于沃森瓦特原理，是无法测量仰角的，因此SSL是不可能的。

3.2.4 VHF、UHF和SHF天线

VHF 和UHF频带上的传播条件通常将接收限制在邻近的视距上。为了扩大接收区域覆盖范围，VHF 和UHF天线通常安装在塔的顶部，而塔又定位在监测建筑物附近。这样，在这些频率上可以变得很高的同轴线路损耗，就可以保持在一个最低的水平上。

3.2.4.1 VHF和UHF全向型

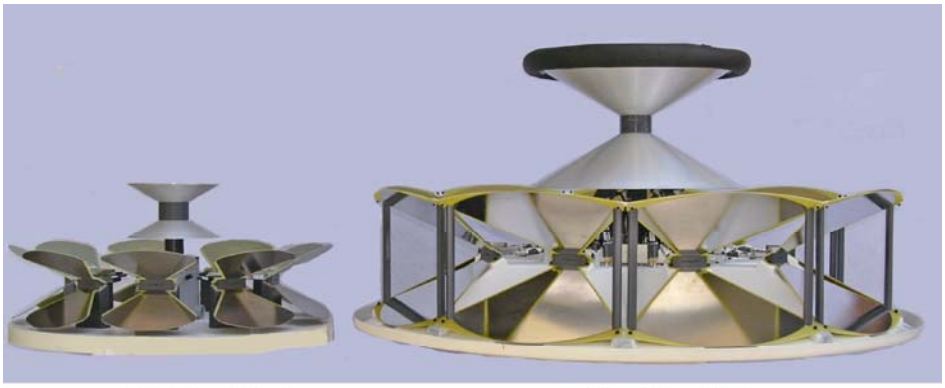
图3-11 a）所示是在VHF/UHF范围内使用天线的一个例子，它是宽带全向双锥形天线。这种天线可与一个九单元的扇形阵列一同提供，以实现测向覆盖，这也在该图中进行了阐述。图中对这种天线的两种尺寸配置进行了描述。左侧较小的配置是紧凑形和轻型配置，足以在便携式配置中使用，或者

也可以置于一辆标准客车的行李架上，看上去像是一件行李，可以作为一个不显眼的移动监测站。右侧较大的配置可用在垂直极化或双极化天线中（对垂直极化进行了描述）；双极化天线具有独立的垂直计划和水平极化输出。两种配置都能在20～3 000 MHz的150:1频率范围内提供很好的覆盖，较小的配置在低于100 MHz的频率上灵敏度略有下降。

双锥形天线和九单元扇形的结合，可以在固定式和移动式应用中在整个VHF/UHF频率范围上用于监测和测向；不过，为在固定站点中实现更好的灵敏度和精度，可使用图3-11 a）中所示的较大天线，以及图3-12 a）中所示的一个附加的、物理尺寸上更大的阵列，它包含一个由5 个单元组成的VHF垂直偶极天线阵。

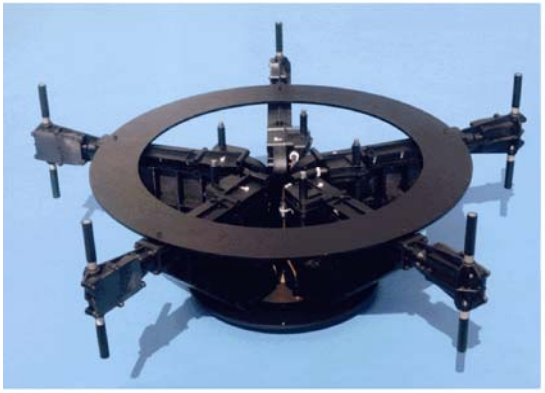
图3-11

VHF/UHF天线单元示例（不包括附件）



(D =0.8m×0.4m) (D =1.3m×0.7m)

a)



(D =1.1m×0.44m)

b)

（高度：约为0.8 m)

c)

Spec-3-11

图3-11 b)、图3-11 c)、图3-12 b）和图3-12 c）显示了在VHF/UHF范围中用于监测和测向的其他天线。图3-12 c）包含一个九单元的VHF垂直偶极天线阵。

为了在需要高动态范围的应用中获得最佳性能（高度灵敏和轻度失真），天线应使用无源天线单元，随后再使用有源射频开关和前置放大器。使用无源天线单元可确保天线不受无源响应的影响，对测向精度具有良好的运行模式和增益/相位响应，并且不会产生失真（IM或谐波），失真在有源单元天线中是一个常见问题。图3-12 b）所示是这种天线的一个例子，在一个五角形结构中排列了三组独立的偶极子，在垂直极化时可覆盖20～3 000 MHz的频率范围。

这种天线的设计目的是用于提供最佳的抗恶劣天气和抗雷电性能。对VHF/UHF测向天线而言，防雷电是最为重要的，原因是根据其特性，它应安装在欲监测区域可能的最高点上，因此将直接暴露在雷电之下。图3-12 b）所示的天线包括一个耐腐蚀的金属盒，盒内装有监测和测向设备，盒子保护这些设备不受雷电损伤。这种天线的结构管形材料为安装在天线顶部的避雷装置采集的电荷提供了接地功能。

应考虑到，尽管有源天线有一些优点，如尺寸较小、重量较轻、提供更大的覆盖范围和更大的天线增益，但它们可能带来无源响应、从而产生失真，如IM和谐波、较低的MTBF，以及随着老化而出现性能不稳等。还应考虑到计划的用途和安装的地点，如每种技术的优点和不足都得到了适当考虑。

图3-12

VHF/UHF（20～3 000 MHz）天线阵示例

a) b) c)

Spec-3-12

例如，可考虑在市区带有较大频谱使用的地方安装监测站。这种装置可用于监测低电平传输信号，用极为灵敏的监测站以及在市中心之外的、理论上良好的地点可能无法检测到这种传输信号。由于市中心的高射频电平，监测站中使用的有源天线和宽带交换设备的性能和有效性在这些地点可能会受到严重影响，这推动了无源天线的无源使用需求和/或甚至滤波器以及更多选择性系统的使用需求，以便避免干扰。

不过，无源振子天线的灵敏度会很低，除非它们的物理尺寸很大，并在多个频带上建造，以便在较窄的频率范围上实现优化。这可能致使天线结构复杂，难以安装和维护。反之，如果非常高动态范围的射频前置放大器和射频开关电路跟在无源单元之后，那么天线既可以覆盖宽广的频率范围，也可以提供良好的灵敏度。如果无源天线单元和有源射频放大以相同的阻抗运行，那么这是有可能的，即有可能做出带有非常高动态范围和宽带响应的前置放大器和开关。

高动态范围的射频开关以及前置放大电路物理上应安装在天线中，以便在将之用于测向时无需在天线与系统其余部分之间连接相位匹配射频电缆，并提供接近信号源的线路放大功能，克服电缆损耗，否则将带来系统噪声系数的增大，并因此而降低灵敏度。天线中使用的射频前置放大器应具备大大超过与之相连之接收机的性能特性，原因是射频前置放大器必须处理整个VHF/UHF频谱，与此同时，接收机通常具有预选择滤波器，它们限定了接收机射频前端电路必须处理的射频信号能量。

图3-13显示了另一种有用的天线，它是一副VHF/UHF同轴宽带偶极天线，在80～2 000 MHz的频率范围上拥有最佳性能。在较低的频率范围上，垂直极化的天线以同轴模式进行工作，与此同时，在较高的频率范围上，它以全向波导模式进行工作。

如上所述，有源天线系统可以最大限度地减小VHF/UHF天线的尺寸。图3-14所示是一个用有源偶极子作为基本单元的有源宽带天线系统，具有很广的动态范围和很高的灵敏度。垂直天线是一种中心馈源的有源偶极天线，频率范围为20～1 300 MHz。水平天线覆盖范围为20～500 MHz，建成十字转门型，包含两个有源宽带偶极子，通过混合器结合在一起，以便提供接近全向辐射的样式。这些小型有源天线十分适合宽带监测系统，包括向众多接收机分配信号，原因是，只带有一副能够覆盖整个频率范围的天线，分配系统将变得更加简单。

图3-13

VHF/UHF宽带偶极子

Spec-3-13

图3-14

有源VHF/UHF天线系统

Spec-3-14

另一种有助于改善全向VHF/UHF监测天线特性的有效技术解决方案是，在天线的中频上安装一些无线电信号转换器（中频[IF]转换器），而不是安装放大器[Ashikhmin等, 2006年], [Rembovsky等，2006年]。

在这种情况下，考虑到这种电缆在从天线单元到无线电接收机传送接收到的信号时是主要的噪声源，因此可通过将高频电缆长度减至最小值来改善天线的特性。在最紧邻天线单元的地方安装中频转换器，能够消除电缆对天线的影响（在这种情况下，它传送中频信号），此外，也向远至数百米的地方发送中频信号。它可使灵敏度不断提高，并增大系统的动态范围。

3.2.4.2 VHF和UHF定向型

在VHF和UHF频带上，天线需要具备低的电压驻波比（VSWR）和一致的样式，因此带来了带有一系列单元的天线阵的发展，这些天线阵的特性根据频率的对数（对数周期）而重复。这些天线阵可做到满足适当的增益要求（典型的是10 dBi），具有良好的方向性（典型的是14 dB的前后比），并能保持一致的样式，即在高至约10:1的频率范围上保持一致。典型地，辐射样式是宽泛的，对大多数频率而言，接近单极反射器—导向器天线的样式。天线一致的增益、样式和阻抗特性有助于结合在一起，形成一个宽带阵列，以供希望使用高定向天线的地方使用。特别地，对数周期天线很适合用作UHF上抛物面反射器的照射器，它要求非常窄的波速宽度。

这种天线通常由一系列辐射单元组成，它们中心传输线进行馈送，并沿中心传输线安装。对单个偶极子对单元中的每一个，设计上考虑到了要在整个工作频带的狭窄部分具有要求的天线属性，并尽可能一致地在其有源频率范围上保持它们的特性。单个单元以一定间隔重复，与频率对数保持一致。间隔的数量取决于要求的增益和整个天线设计的VSWR。

天线阵中单个单元的特性重叠，提供了一个包含若干相邻单元的有源区，随着频率变化，它将沿结构缓步前行。天线的电压驻波比直接取决于特殊频率上天线有源区中的单元数量及其在电磁波与传输线之间的能量耦合效率。

有许多制造厂商可为使用宽带和窄带的特殊业务提供完整的对数周期天线。在参考资料所列的出版物中以及在其他技术资料中可以获得详细的设计信息。

3.2.4.3 用于3 000 MHz以上频率的天线

为实现远距离监测所需的高天线增益，主要使用“碟形和馈源”天线。增益取决于碟直径与波长之间的关系，并取决于天线的孔径效率。

为在SHF频率范围上实现天线系统的最优化，必须考虑到若干参数：窄带、宽带应用以及一般性监测或信号监视。

对于窄带应用，可以将一个喇叭型或波导型馈源、偶极子或交叉偶极子准确地放在抛物面反射器的焦点上。通过尽可能降低因不足照射或侧面辐射而引起的损耗，可以提高效率，从而可实现焦点长度/直径之间关系的最优化。结果是，天线增益会尽可能地得到提高。

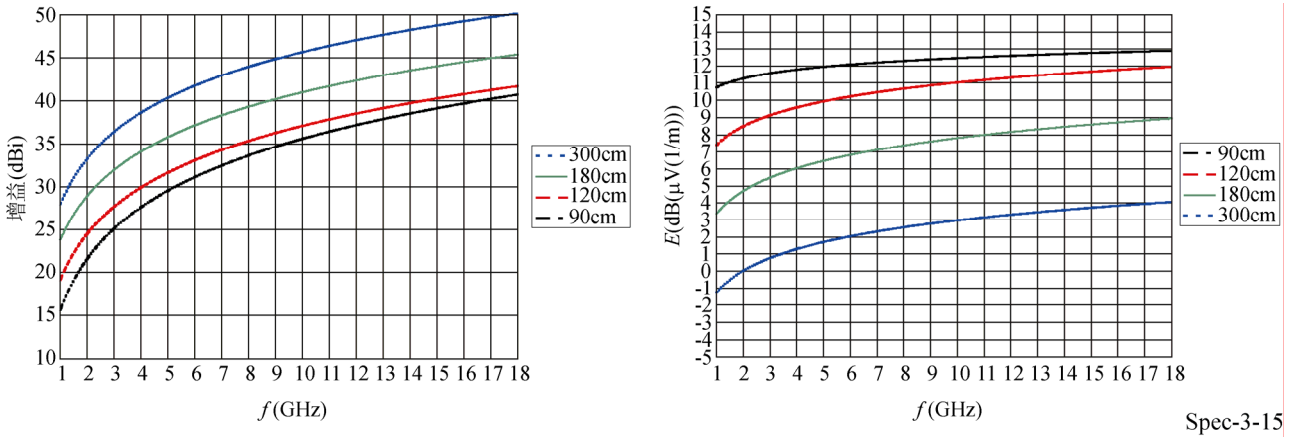
为实施监测和监视，需要用高增益和宽波束来采集信号。在这种情况下，一种常用的方法是利用马达驱动的机械设备，来对天线馈源进行聚焦或散焦。1:4 和 1:10之间的波束宽度变化是可能的。

对于宽带应用，可使用线性、双线性对数周期天线、圆锥螺旋形或背腔天线，后者主要用于圆极化。根据对数周期原则，宽带馈源没有固定的相位中心。取决于频率，相位中心可从结构的最短辐射体向最长辐射体移动。如果为某个频率而将结构部署在反射器中，那么对其他频率反射器将出现散焦。根据其他参数（如长度/直径）的计算来优化，可将由散焦引起的损耗最小化。为避免这些损耗，如上所述，可以使用机械聚焦。

另一种解决方案是对反射器使用一种特殊的外形，使之不是完全的抛物线型。在这种情况下，天线增益将增大，而波束宽度将减少至某个频率，而后二者接近一致（参见图3-15）。

图3-15

不同直径和线性馈源反射器的增益和最低可测量场强



为了监视来自某个特定方向的信号，微波天线静止地安装在一个三角架或塔上。在这种情况下，手动可调节的设备可用来调节天线系统，使之准确对准目标方向。天线的波束宽度可能在20°～0.05°之间变化，这取决于直径/波长。

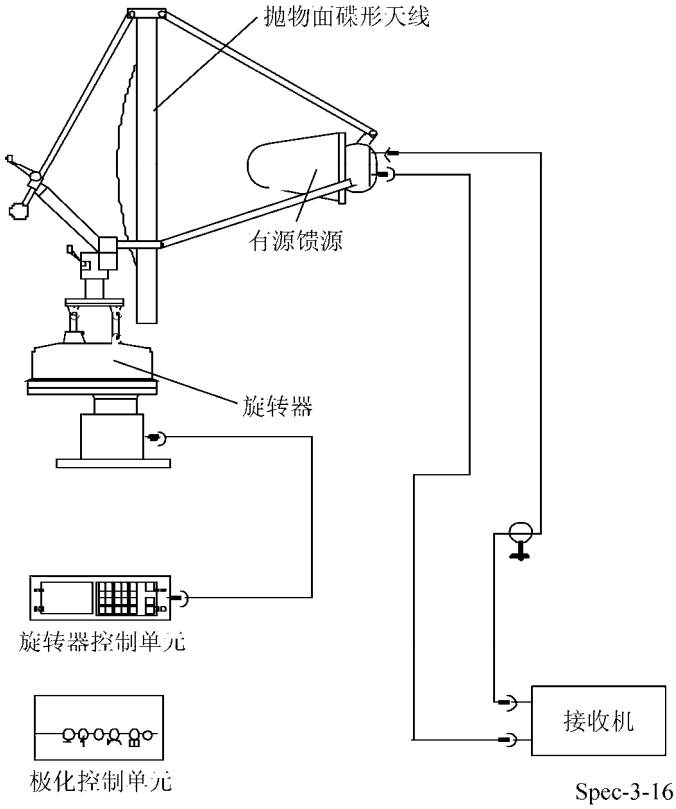
对于一般性的监测，天线系统安装在高精度、单轴或双轴的定位器上。取决于天线反射器的直径，如果要求能在高风速下运行和生存，那么尺寸和成本可能会有很大差别。对于陆地监测，使用带有旋转接头或电缆缠绕设备的单轴定位器。后者受到方位角旋转范围（如360°）的限制。仰角可以手动调节或远程控制，范围在10°内。

对于卫星监测，双轴定位器允许在−10°与大于+90°之间进行额外的移动。

马达驱动的定位器通过带有各种可能操作模式的控制单元实施远程控制，如可变速度、预设位置、扫描和天线选择等。为了系统集成，提供了并行和串行计算机接口。图3-16所示是一个典型的结构图。强烈建议紧邻馈源安装低噪声放大器（LNA），以避免由电缆导致的额外衰减和噪声。这些结合方式可以作为所谓的“有源馈源”来使用，要么利用宽带前置放大器（如1～18 GHz），要么利用可在1个八度频率范围内可转换的放大器单元。图3-17所示是这些馈源的一个例子。

图3-16

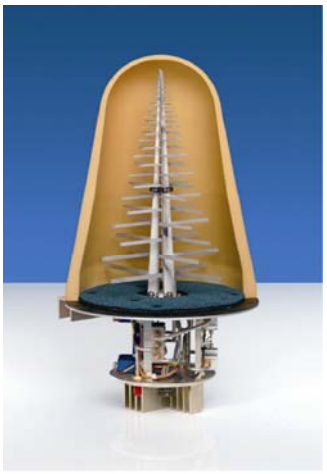
可操控微波天线结构图（频率范围：1～18 GHz）



Spec-3-16

图3-17

反射器天线系统馈线示例（频率范围：1～18 GHz）（天线罩的横截面）



Spec-3-17

因此，还提供了用于远程可控极化的控制单元和频率范围。另外一些特点是可开关的旁路、衰减器和内置的限制器。还建议紧邻天线安装接收系统的转换器，以获得最佳的系统性能。

对于大型的天线反射器，馈源不安放在碟的焦点上，而置于其顶点。一个双曲线的副反射器会转移辐射。该反射器也可进入“offset（补偿）模式”，此时天线馈源置于反射器二次辐射之外的一个斜面位置上。

对于特殊应用，可使用双形反射器，如抛物柱面或余割的反射器。在这种情况下，取决于应用，方位角和仰角中的波束宽度可以是不同的。

对于顶部空间受限的移动应用，可使用全向天线。斜线性极化的全向天线接收所有极化，包括垂直极化、水平极化、左手和右手圆极化，并覆盖众多频带。典型的覆盖范围包括：1～4 GHz、4～18 GHz、1～18 GHz 和 12～40 GHz。

因此，有了这三种相对较小的天线（最大尺寸为300 mm），可以覆盖整个频带。非常重要的是，这些天线可以安装在紧邻接收机的地点上（约3 m以内），以便在连接的同轴电缆中保持较小的衰减损耗。

一种紧凑型解决方案是测量1～40 GHz及更高频率的SHF频带，可以认为包括若干副喇叭形天线和一副三角架形天线。

在1～18 GHz频带内，为避免产生大的噪声，应使用选择性滤波器，并应限制LNA增益（小于20 dB）。在18～40 GHz及更高频率的频带上，可利用波导来改善测量结果。由于波导是通过带通滤波器定义的，因此可使用更高增益的放大器。

考虑到这些因素，图3-18显示了手持系统的一个典型例子。它包括一只手提箱，箱内包含一副带有放大器、滤波器、电源、电池和电缆的喇叭形天线，可以完成对1～40 GHz频率范围的测量。

图3-18

用于SHF测量的、典型的紧凑型解决方案

Spec-3-18

此外，还可在手提箱中增加数根电缆和适配器。手提箱的尺寸为600 x 500 x 230 mm，全部装满时重量仅为16 kg。

3.2.5 天线定位

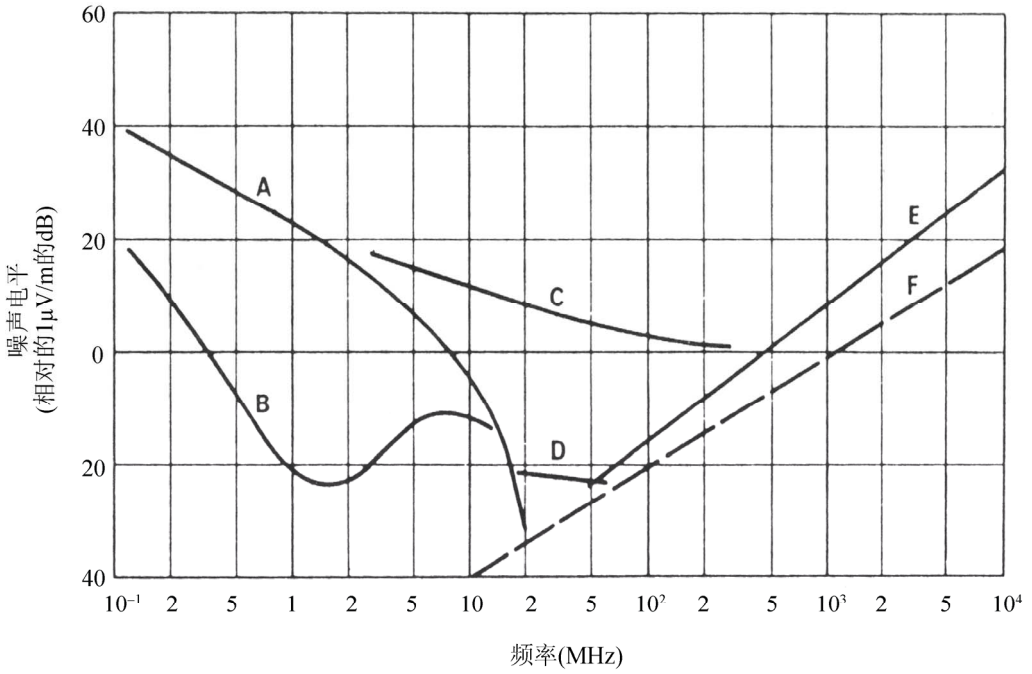
在选择监测站天线地点时，必须考虑到三个主要因素：干扰噪声电平、地形对天线性能的影响以及其他天线和金属结构或附近物体的影响。在确定恰当的天线安装位置和设计方案前，必须全部考虑到这些因素。附近金属结构的影响，如天线杆和天线杆拉索，应在天线结构设计期间予以考虑。其他因素，如经济和政治方面的因素，也将影响监测站的选址与规划。

对无线电波接收产生干扰的噪声可以分为两类：自然噪声和人为噪声。

自然噪声是由大自然的各种事物造成的噪声，既包括地球本身的噪声，也包括附近天空体系发出的噪声。地球上产生的大自然噪声，主要成分来自众多风暴中心产生的静电放电，这种现象在地球上几乎是持续活跃的。风暴在赤道地区最为活跃，它们的噪声向两极辐射，导致了大气噪声成分在赤道最大，在两极最小。天空中存在高能的银河噪声源（特别是人马座和仙后座），是天线接收之噪声中的很大一部分，天线放置在大气噪声电平很低的环境，如较高纬度的地方。如图3-19所示，对大多数频率而言，宇宙噪声通常会被其他噪声源淹没，但在某些情况下它会非常大，特别是如果接收天线恰好有一个波瓣处于强噪声源的方向上。

图3-19

6 kHz带宽的、典型的平均噪声电平（频率范围：100 kHz～10 GHz）



曲线A：大气静电噪声，夜晚
曲线B：中午
曲线C：大城市点火噪声
曲线D：宇宙噪声
曲线E：典型的设备噪声
曲线F：热噪声

Spec-3-19

来自人造源的对接收的干扰，可以以多种形式出现（也可参见第2.6节和第4.3节）。在选择天线地点时，要避免的最重要噪声源之一是附近的广播站。即使该站的工作频率与建议的监测频率差别很大，但乱真发射的辐射和主频率的谐波仍会带来巨大的干扰，并产生互调，或者产生因接收机的无线电频率、中频和音频电路过载而导致的其他响应。即使乱真响应不显著，也可能会出现接收机减敏现象。

其他人造噪声源，如X射线和电热疗机、高压发电厂和配电设施、焊接和重工业制造过程、街道照明、高度集中的道路交通，甚至大面积的居民建筑等，都可能产生超过预期无线电频率信号的巨大电平。除了直接辐射，来自这些源头的噪声还可能从配电线路导入，对比直接辐射影响地区远得多的地方造成干扰。

一旦从噪声干扰准则的角度选定了一个合适的位置，那么必须检查地形对接收的影响。由于监测天线通常与测向天线置于同一位置上，因此这一点显得尤为重要。对测向天线而言，重要的是地形必须是平坦的，没有阻断，并且在所有方向上视线没有遮挡，从而避免在无线电波到达方位角上产生错误。第2.6节和第4.7节阐述了监测站和测向站的选址情况。不过，除非出于限制的、特定的和监测的目的，一个好的测向站点也将是一个好的监测天线站点。

在为许多将安装在同一地址的不同天线选址时必须考虑的一个因素是天线之间、天线与附近其他金属结构之间将会出现的相互影响，金属结构包括天线杆、天线杆拉索、围栏、金属管、梯子和其他金属结构。

对相似类型的天线而言，在一个地址中多副天线之间的相互影响将是最大的，这些天线要么为相同的频率范围而设计，要么为在相同频率上获得相近的谐振而设计。例如，在在用接收频率上，当两副菱形天线中的一副处于另一副的波瓣中时，建议这两副天线之间的距离不可低于约10个波长。对于不同类型天线之间的最小干扰，建议至少在两种普通类别上提供最大的差别，如空间、频率和极化。

相对绝缘条件下的天线而言，除了其他天线，距离天线小于数个波长的周围金属结构可能会不可接受地破坏天线特性，如仰角、方位角天线样式以及与馈源的匹配。由此类影响而引起的发射参数测量错误，可能会大大超过第4章中所述之规定的错误容限。

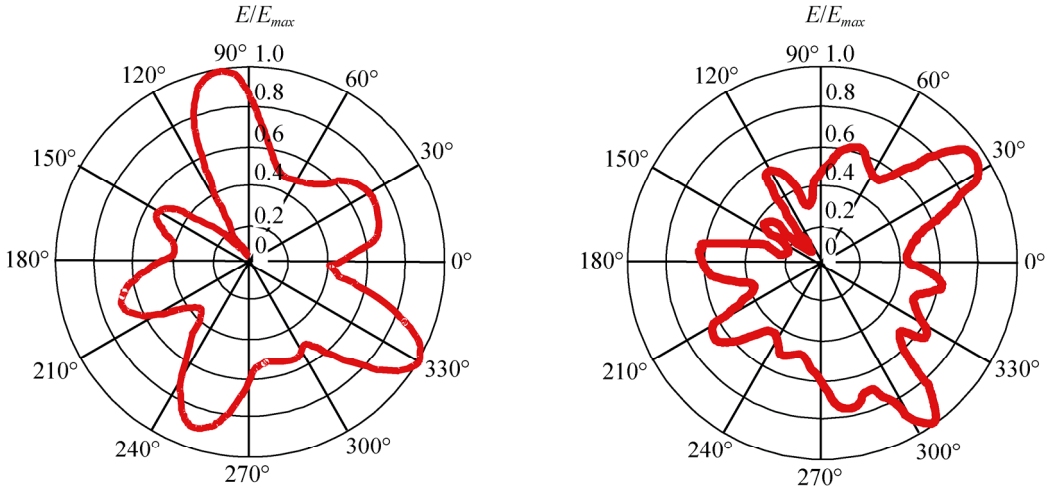
利用计算机软件[Kharchenko 和 Fomintsev，2001年]、[Tanner 和 Andreasen，1967年], [Harrington，1968年]以及[Thiele，1973年]，可以定量地确定其他天线和金属结构的影响。距考虑中的天线在几倍波长（通常为4～8倍波长）内的金属结构和其他天线，可通过电线结构来建模，保留该结构的几何比例。然后，借助快速的计算机程序，计算出电线结构中所有单元中的电流分布；天线和周围物体的这种电气力学模型使得在存在因附近金属结构而引起的散射、辐射和谐振的情况下，能够确定天线的真正特性。

作为使用特定技术的一个例子[Kharchenko 和 Fomintsev，2001年]，图3-20显示了30～80 MHz全向圆片式伞形天线在周围存在巨大金属结构情况下的计算方位角样式。这些金属结构包括在相同频率范围中工作的其他类似天线以及两幅在80～100 MHz频率范围中工作的圆片式伞形天线。还存在几副棒形通信天线、一个金属围栏和其他一些金属物体。

图3-20清楚地表明，周围的天线和其他金属结构，将把全向样式转变为定向样式，如图3-8所示。此外，样式的变化很大程度上与频率的变化有关，由于非线性，差异可达20 dB。这一变化使从天线获得准确测量结果变得非常复杂。

图3-20

30～80 MHz全向天线的实际方位角图形



E：场强

a) *F*=40MHz　　b) *F*=60MHz

Spec-3-20

关于相对监测建筑物的天线安放位置以及相互之间位置关系的一些特别建议针对的是：

HF 环形天线阵。这些天线阵至少应距离天线阵—接收建筑物100 m，以防止由接收建筑物产生的辐射样式失真。

MF/HF 宽带天线阵。这些天线阵不可距离建筑物太远（≈ 100～200 m）。应有足够的间隔距离，以防止建筑物对天线造成遮蔽，但间隔不要太大，以至于在馈线中产生巨大的损耗。建议使用同轴电缆，原因是这些天线是宽带单元，在阻抗特性方面有严格限制，相比谐振类型天线，某种程度上增益更低。

发射和接收天线。用于传输和用于接收的天线之间应保持最大的间隔，以使因本地发射机产生的信号而导致的接收机过载现象保持最低。在定位发射天线时应谨慎从事，以使其主波瓣和副波瓣不会直接照射到仅用于接收目的的天线上。

测向天线。如果测向设备要安装在监测站上，那么应考虑到来自接收天线再辐射部件的可能影响，它们有可能在测向设备导入错误（参见第2.7节和第4.7节）。

有源天线。由于有源天线之间的相互耦合以及它们与其他结构之间的相互耦合降至最低，因此有源天线可以比无源天线更加紧密地安装在一起。有源天线可受到大功率无线电发射机的骚扰，在定位这些天线时，需考虑到这一点。

*VHF/UHF*天线（频率大于30 MHz）。这些天线应安装在接收建筑物附近的高塔上，以便最大限度地降低同轴电缆的损耗，使视距（LoS）覆盖范围最大。对于20 km 的视距（LoS）半径，要求24 m高的塔。一座48 m高的塔可提供超过约30 km的视距（LoS）覆盖。

用于频率大于*1 000 MHz*的天线。这些天线应安装在清晰视距（LoS）可得到保证的地方（例如，建筑物、高塔或山顶上），尤其是对陆地监测。接收系统应安装在紧邻天线的地方，以避免同轴电缆中的高损耗。

3.2.6 用于移动监测站的天线

移动监测站可提供与安装在移动车辆（可从甲地开动至乙地）中的固定站相同的功能。这种配置方案能够测量那些可轻易移动的信号源，以便对某个特殊投诉或其他监测需求作出响应，它可安装在目标信号的视距（LoS）传播路径上。

移动监测站天线的主要限制在尺寸。由于不可避免地受到空间限制，天线必须是小型的。因此，在最低频率的情况下，天线尺寸仅为波长非常小的一部分。可使用含有或不含有铁素体材料的、覆盖9 kHz～30 MHz频率范围的环形天线，同时，由于其明确定义的电气特性，特别适合用于场强的测量和地波信号的测向。对于30 MHz～3 GHz之间的频率，为接收垂直极化或水平极化的波，可使用宽带全向天线。典型的频率范围为20～1 000 MHz、200～3 000 MHz或者30 MHz～3 GHz。

对于30 MHz以上的频率，可以使用各种各样的定向和测向天线，包括宽带或窄带八木天线、可调的偶极天线、折叠偶极天线、双锥形天线和对数周期天线。这些天线可覆盖相当宽的频带，并能满足移动监测站的所有需求。在第3.2.4.1节的开头部分，对一副具有代表性的天线做了描述。

大多数用于移动站的天线都安装在车辆上。不过，对于1 000 MHz以上频率的反射天线，通常不会永久安装在车辆上，而是随车携带，并在停车时根据需要升起，如图3-21所示。在所有频率范围中，考虑到有源天线的技术数据和限制，可以使用有源天线，这在上述有关全向天线的讨论中已经提到。手持有源天线（参见图3-22）可用于执行监测、场强测量或者甚至测向任务。

图3-21

可移动的微波天线

Spec-3-21

图3-22

手持式定向天线

Spec-3-22

图3-23所示为典型的移动监测站，每个站带有一副安装在气动天线杆上的顶面天线。

图3-23

移动监测站示例

Spec-3-23

对于微波频率上的监测，移动监测站尤其重要。微波通信信号通常在非常窄、极为确定的波束中传播，设计这些波束用于进行点对点通信或一点对多点通信。因此，不可能将固定监测站安装在微波路径附近，以便能够截获微波通信信号。由于其成本高以及效益非常有限，因此不建议在固定站中安装微波截获装置；相反地，这种装置应安装在移动的车辆或者便携式设备中。对于专用车辆，可安装一个完整的系统来实现对1～40 GHz及以上频率的测量。

在这种情况下，如典型的结构图中所示（参见图3-24），天线系统由以下单元组成：

– 天线系统；

– 自动定位系统；

– 天线监测单元；

– 天线输出表；

– 方位角和仰角控制单元。

如图3-25所示，天线系统可包含数副天线，以监测整个频带。此外，为确保SHF测量的灵活性，考虑到不同的测量情况以及SHF信号的低电平，将一些邻近天线系统的附件纳入进来是有用的，如LNA和YIG滤波器等。

图3-24

SHF监测系统示例

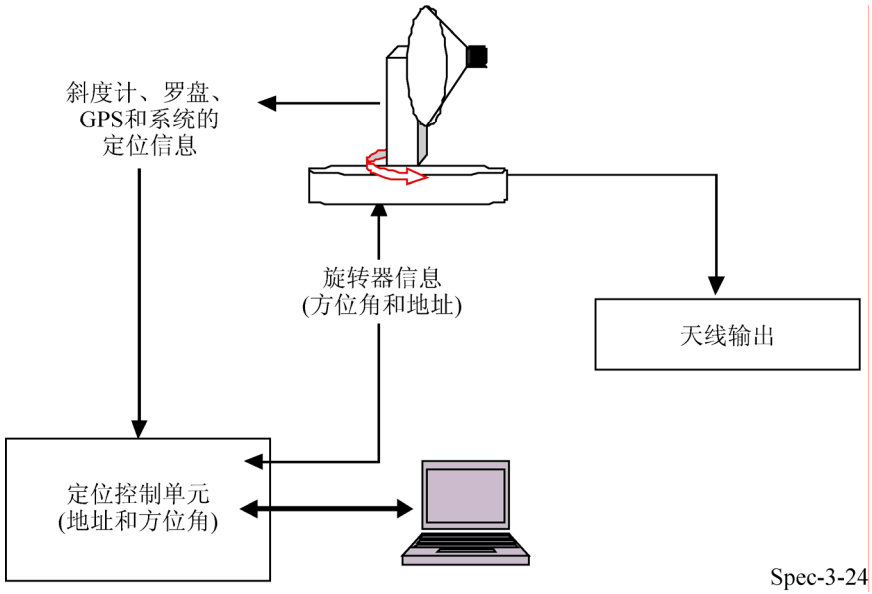
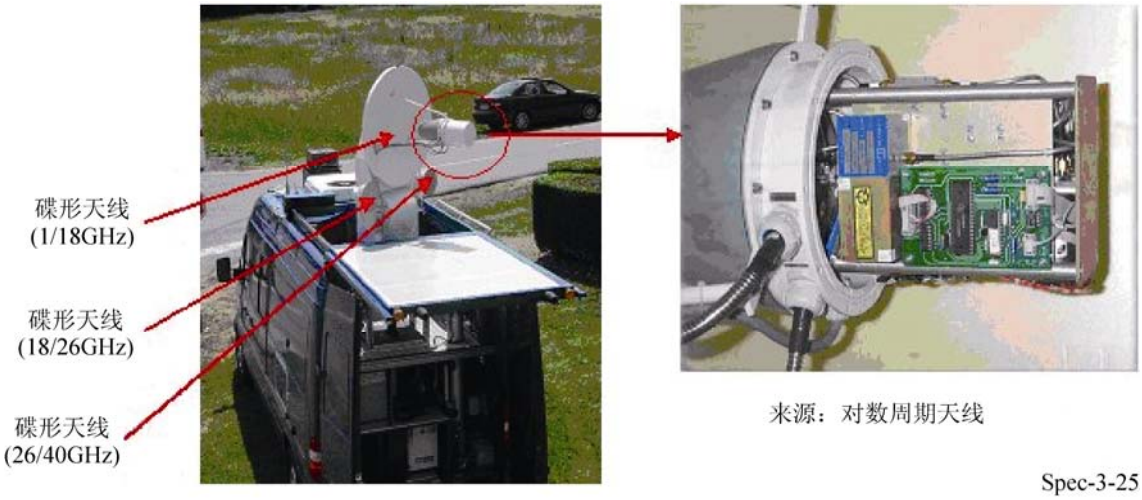


图3-25

天线系统概图



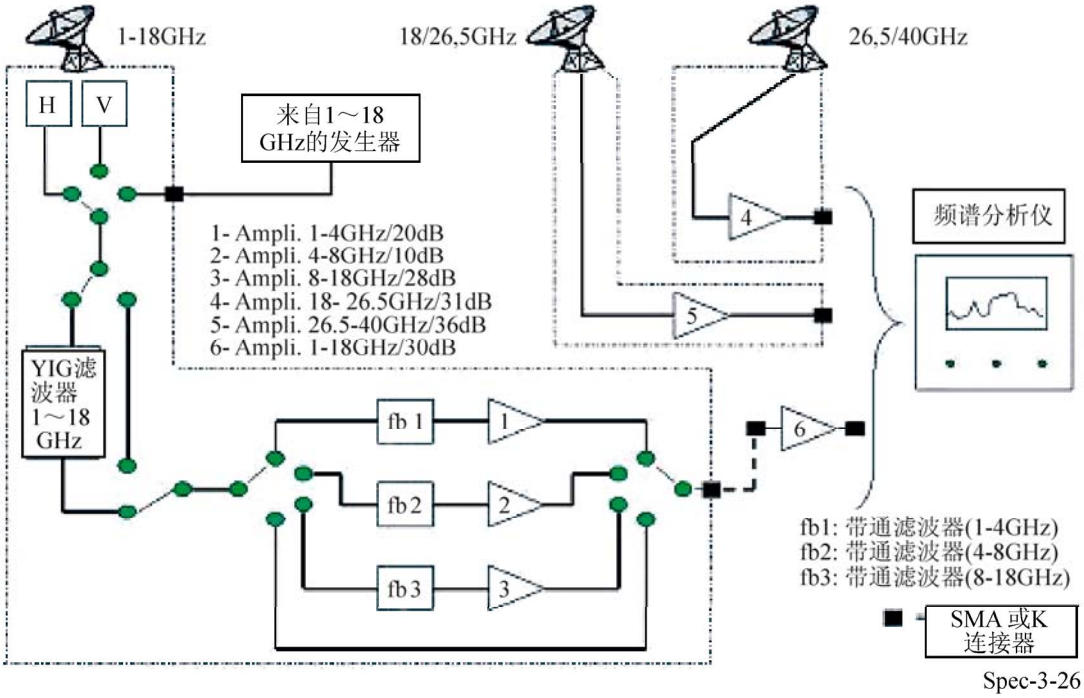
天线系统与用户之间的接口由一台微机来提供。

定位控制单元是监管设备。它发送数据来监测定位系统，并接收来自不同传感器的信息，以便提供系统状态和地理参考数据。

用户可使用一个天线输出面板来将不同的测量设备与所有可用的输出相连接（带或不带LNA、滤波器等）。图3-26所示是一个典型的SHF测量链结构框图。

图3-26

接收链结构图



3.2.7 用于可移动和便携式监测站的天线

可移动的和便携式天线的重量和尺寸应设计得尽可能小。图3-11 a）（左图）所示的天线用于移动的或可移动的用途。天线可装在一个包装箱中方便地移动。可移动的天线可固定在一个小型的伸缩天线杆顶部，以便最大限度地缩短架设时间。它也可以安装在车辆上，用在半固定的监测站中。

技术的进步和集成的发展，使得可移动的天线能够提供与固定站和移动站中的天线类似的功能和性能。这些天线与一台集成的接收机相连，使监测站也变得是可移动的或便携式的，这对于在市内或不易到达地区执行监测任务尤其有用。在市区，频谱非常密集，并且在街道上的监测测量不会总是相关的；只有来自专门站点顶部的测量结果，通常是市内的建筑物，才能提供可靠的测量结果。对于这种监测作业，需要使用紧凑型和高度低/重量轻的便携式天线和监测站。可移动的或便携式的配置方案提供了一种可简便移动的测量资源，可安放在信号的视距（LoS）传播路径上实施监测作业。

便携式天线/监测站的三个例子如下所示：

第1类：第一类便携式天线/监测站需要进行部署。这种设备由人背至专门的测量地点。图3-27是这种测向天线的一个例子，它能够快速完成部署（数分钟）。天线和监测站是完全集成的，包括接收机、电缆开关单元和天线，都可背在背上。天线结构可整个放入一个塑料盒中。

第2类：第二类便携式天线无需进行部署。整个监测站（天线和接收机）集成在一个人可携带的背包中，在操作人员移动时也可工作。MMI要么集成在一台PDA上，使操作员可以自由移动，要么集成在一台手提电脑中。内置的测向天线集成在接收机的一侧。由单人执行监测任务时，可腾出双手执行其他任务。可以为更高的频带提供测向天线。

图3-27

便携式VHF/UHF天线示例

a) 天线安装在一个便于携带的盒子中。

b) 处于部署配置状态的20～3000MHz天线，当中安装了一个紧凑型接收机和测向天线。

Spec-3-27

第3类：第三类便携式天线是一种非常紧凑的解决方案。手持式定向天线用作监测和测向天线，它与手持式接收机相连，无需额外的PC/PDA就可实现对前面板的操作。监测任务由单人执行。

另一种可能是特殊用途所需的天线如图3-28所示。这是一种安装在气球外皮上的、灵活的监测天线，对监测持续时间较短的事件非常有用，例如用于监测国事访问和体育赛事这类特殊事件。

此类气球可使天线的高度升至100 m，能够对最大数量的感兴趣信号实现检测和测量。由于没有建筑物、森林和其他高障碍物的骚扰，并且不存在多路径，因此在截获最大数量的信号方面，它也要比陆地监测站好。

气球与一台紧凑型接收机（安装在地面上）相连，便于快速部署，并可迅速对VHF/UHF频带实施监测，包括监测未授权用户和干扰等。

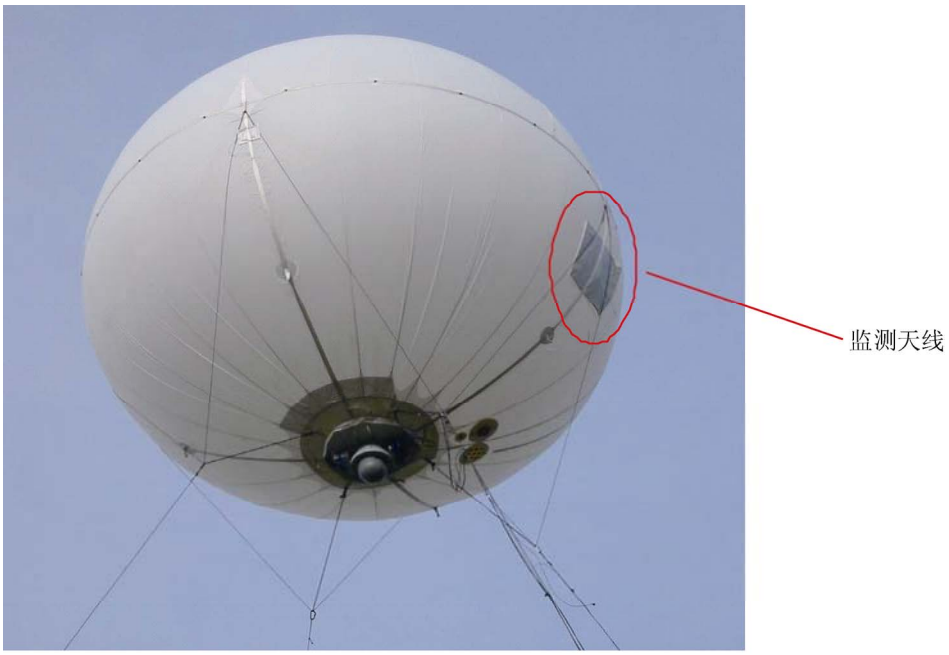
为避免因气球过高而导致过大的电缆损耗，可采用两种配置方案：

– 可在气球下方安放一台监测接收机和处理单元。在这种情况下，使用两根电缆（电源线和数据传输线）来与地面站相连。

– 可使用一个下行转换单元来将射频信号转换到中频基带中。对于模拟转换，如果气球高度较低，那么可使用射频电缆。对于数字转换，可使用光纤或数据链路来将数据传输到地面站。

图3-28

支持灵活VHF/UHF天线的气球示例



Spec-3-28

3.2.8 传输线和分配系统

3.2.8.1 传输线

监测站的传输线将接收到的功率从天线传至接收机。

在各种不同类型的传输线中，监测站首选同轴输电线。假如包括连接器在内的各种部件的尺寸都得到适当控制，那么同轴传输线的阻抗是一致的。在性能优良同轴电缆中的信号不会因其他物体的存在而遭受严重影响。同轴电缆可做成多种多样的尺寸，其制作材料也多种多样。可用同轴电缆的属性很多，而且各不相同，价格范围也很宽泛。大量的手册，尤其是来自不同电缆制造厂商的手册，列举了各种同轴电缆的属性。重要的是使用双层屏蔽编织或实心外皮的导线型同轴电缆。

对于接收传输线，总的衰减为3 dB是完全可接受的。在天线基座上使用集成接收机避免了使用长电缆，减少了插入损耗，消除了在开关单元中对LNA的任何需求。

3.2.8.2 分配系统

一旦由特定天线接收的能量被引导到监测建筑物内的某个点上，通常需要对该能量进行分配，将之分配给一系列不同的接收点。分配系统应考虑到构成其最终使用情况的每个输出，以便获得最佳结果。一般而言，应尽可能保持高的信号电平，这样，就无需接收设备具有过高的灵敏度。此外，还应保持信号的质量（*S/N*），或者将信号的退化保持在最低水平，这样，就不至于削弱高增益天线和低损耗分配电缆的优势。

由于驻波、不确定的功率分配和本地振荡器再辐射等因素，跨传输线简单并联的接收机将使监测系统的性能下降。不建议采用这种方法，而应采用匹配和信号分配。

随着技术的进步，无线电监测站中使用的天线数量将日益增多，从而使接收系统和分配系统变得越来越复杂。有时需要从带有不同接收机的不同频带天线中接收信号。分配系统得益于计算机和软件技术，已从机械式设备模块发展为数字式设备模块。

3.2.8.2.1 原则

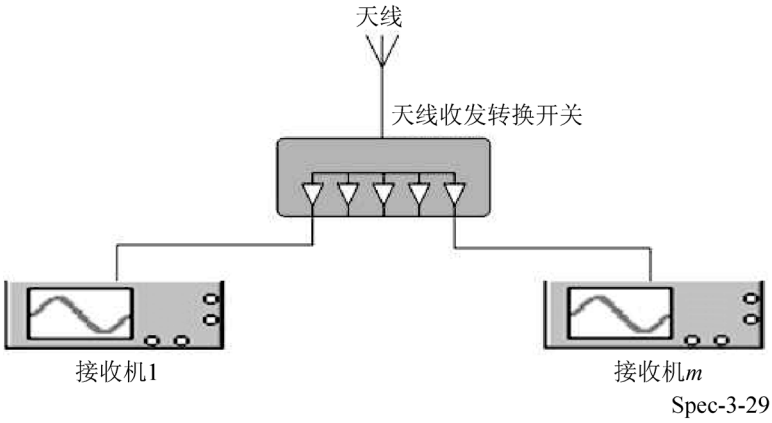
分配系统通常包括一个天线开关和天线收发转换开关。使用先进的技术将二者结合在一起，以便通过网络实现遥控。

3.2.8.2.1.1 天线收发转换开关

在接收系统中，从天线向一台多信道接收机或多台接收机分配信号的设备称为天线收发转换开关。天线收发转移开关是接收系统中的第一个组件，它应具有良好的线性特性，以使互调现象最小化。图3-29显示了天线、分配系统和分析设备之间的连接关系。

图3-29

分配系统示例



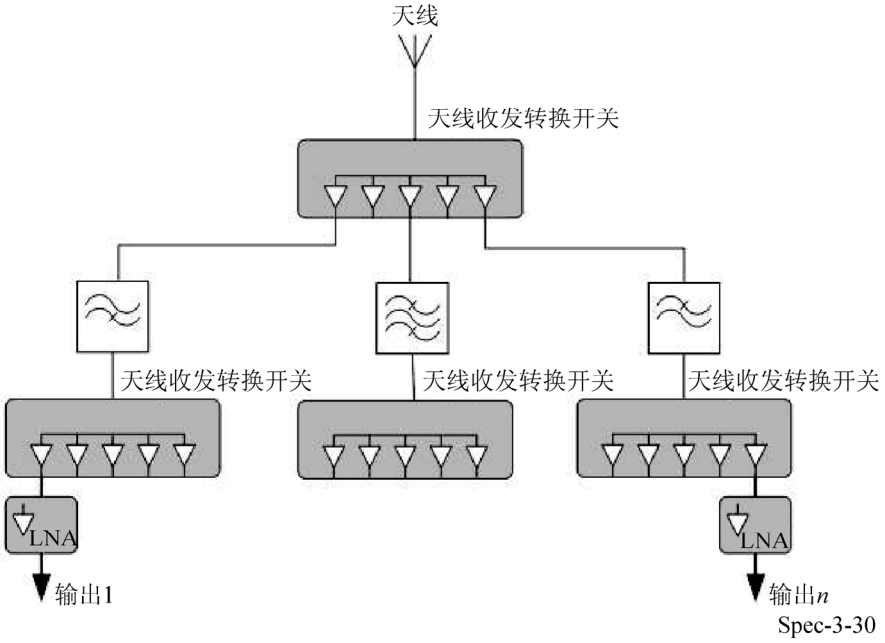
Spec-3-29

一个天线收发转换开关可由多个天线收发转换器组成，并可包括单独的、与不同信号路径隔离的滤波器；使用LNA来补偿衰减和控制电路。图3-30所示是一台多路径天线收发转换开关的结构图。

由于某些组件的非线性特性，在用于连接的多级天线收发转换开关中，噪声指数的降低不可避免。因此，为维持其性能，广泛使用2级和3级天线收发转换开关。一般而言，噪声指数和线性特性将随输出的增大而下降。

图3-30

多路天线收发转换开关的典型结构图

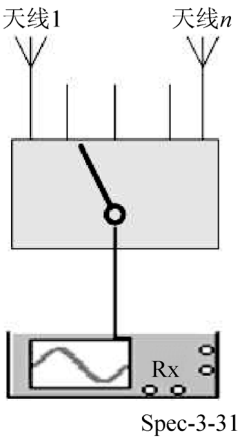


3.2.8.2.1.2 天线开关

天线开关从数个天线输入中为某个接收机选择想要的输入信号。图3-31所示是一个射频天线开关。

图3-31

典型的天线开关



如同天线收发转换开关，由于单个组件的频率限制，天线收发转换开关由针对不同频带的不同组件构成；这些组件之间必须采用绝缘设计。有时使用LNA来补偿组件的衰减。

3.2.8.2.1.3 分配系统

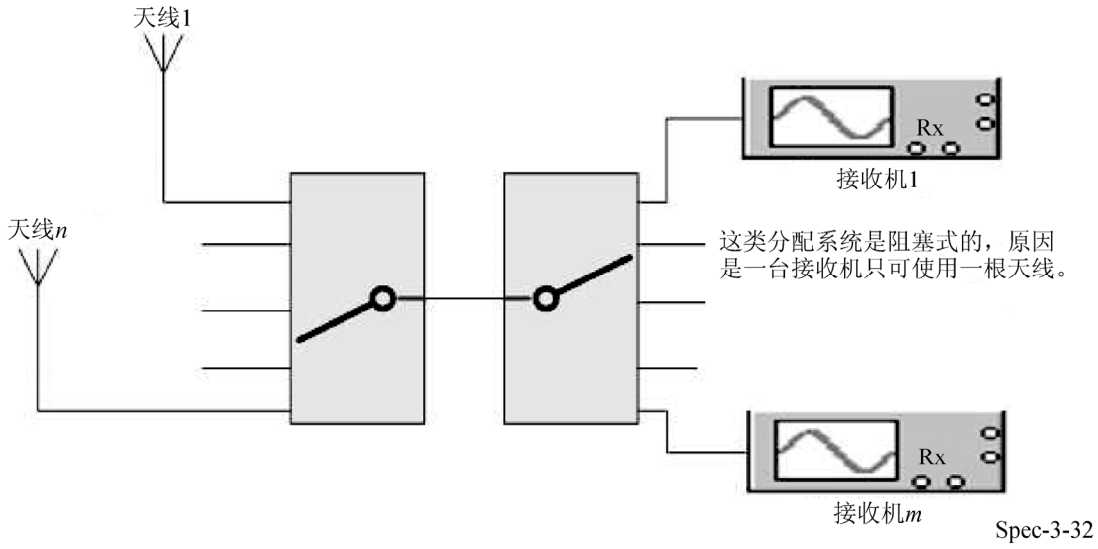
射频信号分配系统用于将来自不同天线的信号分配给不同的接收机。来自任何天线的信号都可为任何一台接收机所用；任何输入信号都可传送到分配系统的任何输出端上。

有两种类型的分配系统。一种类似于我们在交换系统中看到的，称为阻塞式系统。在这种系统中，只有一副天线与接收机相连，任何与之相连的新的尝试都将被阻塞。图3-32所示是一个典型的阻塞式分配系统。

另一种分配系统使用了更新的技术，能够在多副天线与任何天线或者一副天线与多台接收机之间建立起连接。

图3-32

典型的阻塞式分配系统



事实上，一个理想的$M \times N$ 矩阵由一个M 天线收发转换开关和一个N 天线开关组成。每副天线提供n 路带有输出的天线收发转换开关，同时，天线收发转换开关的n 路输出与n 个天线开关的输入相连接。每个天线开关都将提供n 个带有输出的接收机。图3-33显示了一个非阻塞式天线矩阵的原理图。

例如，如果一台x 接收机必须与一副y 天线相连，那么该天线的信号将由y 天线收发转换开关分为m 输出，并由x 天线开关转换到x 接收机。

其中：

n： 带有天线收发转换开关的天线最大数目；

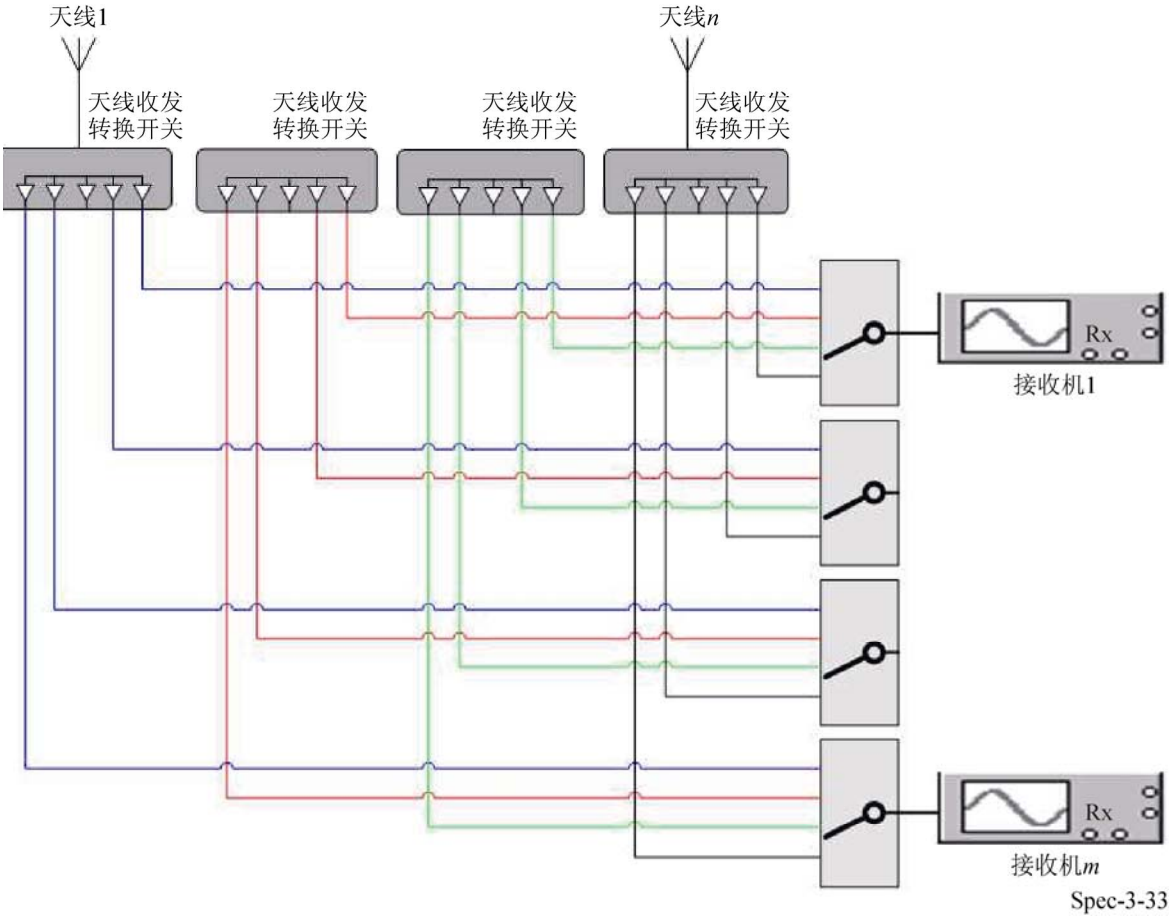
m： 接收机的最大数目；

x： 选定的接收机；

y： 选定的天线。

图3-33

典型的非阻塞式分配系统



3.2.8.2.2 性能

尽管在信号检测领域数字信号处理技术得以蓬勃发展，但在信号分配领域，解调和测向、模拟技术仍是必不可少的技术。一个良好的分配系统应当在以下方面的性能上进行优化，如灵敏度、动态范围、射频信号交换、分配能力和信道之间的隔离等。分配系统的指标要求应包含以下主要参数：

– 频率范围；

– 插入损耗；

– 绝缘；

– 动态范围；

– 三阶互调分量（IP3）；

– 噪声指数。

参考文献

ASHIKHMIN, A., KOZMIN, V., KOROVIN, A. and REMBOVSKY, A. [2006] Distributed Systems of Radio Monitoring and Direction Finding. *Spetsialnaya Tekhnika*, **5** (http://www.ircos.ru/eng/articles.htm).

HARRINGTON, R. F. [1968] *Field Computation by Moment Methods*. The Macmillan Company, New York, United States of America.

KHARCHENKO, I. P. and FOMINTSEV, S. S. [2001] Raschet kharakteristik antennikh sistem stantsii radiokontrolya na osnove matematicheskogo modelirovaniya (Calculation of the characteristics of radio monitoring station antenna systems on the basis of the mathematical modelling). *Elektrosvyaz*, **9**, Moscow, Russian Federation.

REMBOVSKY, A., ASHIKHMIN, A. and KOZMIN, V. [2006] *Radiomonitoring: Problems, Methods and Equipment*. Moscow, Goriachaya Liniya-Telekom press (http://www.ircos.ru/eng/articles.htm).

TANNER, R. L. and ANDREASEN, M. G. [September, 1967] Numerical Solution of Electromagnetic Problems. IEEE Spectrum.

THIELE, G. A. [1973] *Wire Antennas in Computer Techniques for Electromagnetics*, Chapter 2. Pergamon Press, New York, United States of America.

参考资料

AISENBERG, G. Z., IAMPOLSKY, V. G. and TERESHIN, O. N. [1977] *Antenny UKV* (UHF Antennas). Sviaz, Moscow, Russian Federation.

AISENBERG, G. Z., BELOUSOV, S. P., JURBENKO, E. M. *et al.* [1985] Korotkovolnovye antenny (HF Antennas). *Radio i Sviaz*, Moscow, Russian Federation.

ARRL [2000] *The ARRL Antenna Book*. Newington, CT, United States of America.

BALANIS, C. A. [1982] *Antenna Theory*. John Wiley and Sons, United States of America.

BRAULT, R. and PIAT, R. [1962] *Les antennes*. Librairie de la radio, Paris, France.

DAVIES, K. [1990] *Ionospheric Radio*. Peter Peregrinus Ltd, London, United Kingdom.

JOHNSON, R. C. [1993] *Antenna Engineering Handbook*. McGraw-Hill, New York, NY, United States of America.

KRAUS, J. D. [1950] *Antennas*. McGraw-Hill, New York, NY, United States of America.

MARKOV, G. T. and SAZONOV, D. M. [1975] *Antenny* (Antennas). Energia, Moscow, Russian Federation.

THOUREL, L. [1956] *Les antennes*. Dunod, Paris, France.

WATT, A. D. [1967] *VLF Radio Engineering*. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom.

WEEKS, W. L. [1968] *Antenna Engineering*. McGraw-Hill, New York, NY, United States of America.

ITU-R建议书：

注 — 在任何情况下都建议引用最新版本的建议书。

ITU-R F.162建议书 — 在工作于30 MHz以下频带的固定业务中使用定向发射天线。

ITU-R BS.705建议书 — HF发射和接收天线特性与图形。

3.3 监测接收机

3.3.1 总体考虑

监测站的性能与站设备的质量直接相关，包括天线、接收机、无线电测向设备和处理器等。第3.2节、第3.4节和第3.6.2节中讨论了天线、测向和处理设备。要对接收机进行深入研究，需要一本专门的书籍，因此，此处只能对接收机的组成、主要特点的定义和操作防护措施做一概述。

接收机的功能是从与之相连的天线截获的所有信号中选择一个无线电信号，并在接收机的输出端重新产生由无线电信号或其特性发射的信息。过去，大多数接收机都使用整个模拟电路，但大多数现代接收机都是数字的，使用数字信号处理（DSP）技术来实现众多的接收机功能，从简单的将检测器输出数字化，到将整个基带数字化，包括数字解调，例如由“软件定义的无线电”系统执行的功能。下面对模拟和数字这两类接收机都做一论述。

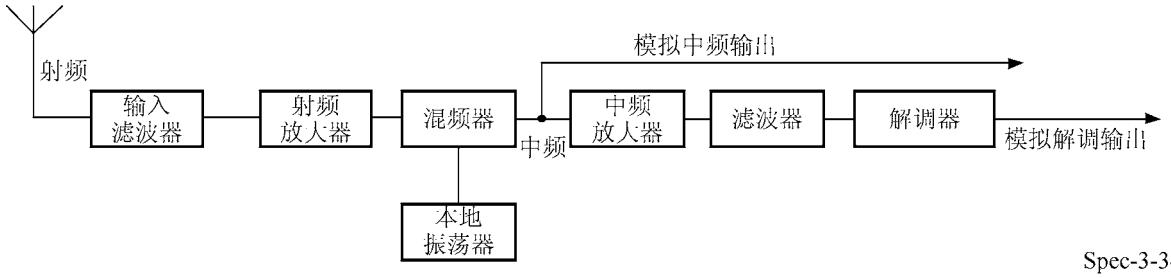
由于技术进步，现代接收机变得越来越紧凑。稳定性极高的振荡器的小型化，使得接收机的模拟部件变得越来越小。对于数字接收机，其数字部分的作用正变得越来越强大，而体积变得越来越小，这归功于模拟数字转换器、内存以及处理器技术的进步。如今，接口已全部实现数字化。

3.3.2 模拟接收机

图3-34中的结构图显示了模拟接收机的各主要步骤。输入滤波器通常是一组亚倍频的预选器或跟踪滤波器，用于目标信号的接收，并消除带外信号，以排除高频放大器中的互调现象。这种滤波器应包括待接收的中心传输频率，并拥有一条足够宽的通带，以接收全部的期望发射频谱。

图3-34

模拟接收机的典型结构图



Spec-3-34

然后，监测站的设计者必须注意到，传输的功率可能在这一输入滤波器的通带中进行接收；除了期待的信号，其他信号也可能通过射频放大器中的互调而产生虚假信号和/或造成因射频放大器阻塞而出现的灵敏度下降。为消除这些影响，必须具有足够的射频放大器线性特性。

输入滤波器还有一个目的，就是用于衰减镜像频率的接收。

射频放大器，借助其增益，部分地决定了接收机的灵敏度。但它还有另一个非常重要的目的：借助输入滤波器，它防止了本地振荡器信号被导入辐射这一信号的天线中，否则将产生一个虚假的无线电信号。

如第6.5节中所述，当此类信号通过一个非线性电路时，会在两个信号之间出现互调现象。互调信号会在有用信号上重叠，对其造成干扰。从互调的角度来看，接收机的质量由其三阶截获点的值来表征，三阶截获点的值应尽可能高。

由接收机输入电路，特别是由射频放大器和混频器产生的噪声，限制了接收机的灵敏度。灵敏度也可表示为表3-2中所示的噪声指数，该指数应尽可能低。对同一接收机，灵敏度与噪声指数之间的关系牵涉到接收机的通带。

当接收机与天线连接时，除了它自身内部产生的噪声外，还增加了外部产生的自然噪声，如大气的、银河的和太阳的噪声，还有一些诸如由工业干扰、来自电磁设备辐射以及通常由发射机辐射产生的人为噪声。因此，监测站的设计者必须根据测量到的噪声电平，从接收机灵敏度的角度来选择接收机。

应注意到，灵敏度很高的接收机，其线性方面的性能会很差，也就是互调和阻塞。阻塞标志着接收机的灵敏度降低，只要有一个无用的信号出现在有用的载波附近和接收机中频通带之外，就会出现阻塞现象。

出于这一事实，监测接收机通常包括增益可变换的或增益可编程的前置放大器。这使得接收机能够以高灵敏度模式工作（当前置放大器处于“on”模式时），或者能够以高线性/低失真模式工作（当前置放大器处于“off”模式时）。

还应规定或研究其他一些特征，如：

– 中频滤波器的带宽；

– 需要的解调类型；

– 自动增益控制的效果；

– 自动调谐系统的效果；

– 处理解调信号的电路的频率响应；

– 显示器的精度和易读性；以及

– 这些特征随温度的变化情况。

通常，使用两种类型的接收机可覆盖9 kHz～3 000 MHz的频率范围，一种类型覆盖至30 MHz的频率，另一类类型覆盖20～3 000 MHz的频率。如果要覆盖一个扩展的频率范围（例如高至40 GHz），那么还需要额外的设备。在选择接收机时，应考虑到要监测的各种各样的调制类型，如AM、CW、SSB、ISB、FSK和FM，并为这些辐射信号的接收做出规定。

接收机希望在一个主接收站中运用的所有质量指标，也是监测接收机的要求，此外还包括良好的频率设定精度（好于或等于1 Hz）、快速的调谐和最小的波段转换。

还应为连接额外单元，即无线电传打印机键控单元、示波器、全景适配器等做出规定。接收机的中频输出应通过缓冲步骤在低阻抗上提供。为了获得长期的高频稳定性，为外部频率标准获得一个输入是有用的（参见第3.3.4节）。此外，有必要在接收机的输入端插入一个衰减器，以消除因高电平信号过载接收机输入阶段而产生的虚假频率。还应提供用于远程控制和数据输出的接口。

3.3.3 数字接收机

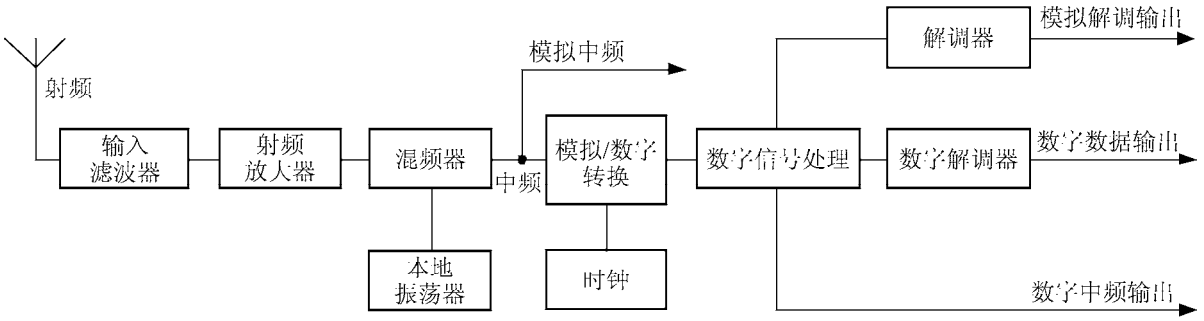
高速、低成本数字信号处理芯片（DSP）和高动态范围模拟数字转换器（A/D）的出现，使设计高性能接收机成为可能，它利用数字电路来替代模拟电路。这些“数字接收机”在频率转换方面的性能得到了改善；滤波和解调实现了选择性、稳定性的提高和自动增益控制。此外，在模拟接收机中未实现的自适应干扰对消、提速和识别等功能，都可能在数字接收机中得以实现。当试图在信号拥塞的环境中挑选和识别特定信号时，这些功能是非常重要的。由于使用数字电路和相关的软件算法，这些

接收机的性能不会随时间和温度变化而变化。数字接收机的最重要特点之一是灵活性得到了改善，这方面的一个例子是：数字接收机能够容纳在蜂窝和高性能控制链路中普遍使用的、复杂的调制格式。通过软件的改变，在基于DSP的电路中就可以实现额外的中频带宽、解调模式或其他功能，而在模拟接收机中，这需要通过更换昂贵的设备来实现。滤波器可以通过数字处理进行合成，以提供极为精确的滤波整形因子，同时在期望的通带上保持非常平的振幅和线性相位响应。这种处理技术使通常会由模拟滤波器引入的信号失真最小化。它还有可能产生非常窄（小于50 Hz）的滤波器，能够直接对发射机载波的虚假成分进行测量，如电力线相关的嗡嗡声。

数字接收机的基本单元包括：RF调谐器、IF数字转换器、信号处理器、模拟信号重构模块，如图3-35所示。

图3-35

数字接收机的典型结构图



数据接收机的第一个主要处理步骤是将所需的射频信号转换为数字格式。这一过程通过将射频调谐器和中频数字转换器的结合来实现。射频调谐器，包括模拟预选，将射频频谱中需要的部分转换为一个宽带信号或者一个预先的中频信号，以供中频数字转换器处理。中频数字转换器使用一台A/D转换器和其他电路，来将来自射频调谐器的中频信号数字化。因此而产生的数字信号供信号处理器使用，以执行诸如滤波、微调和解调等功能。随后，来自该模块的数字输出结果可供进一步处理和/或记录。模拟信号重构模块将数字输出结果转换为模拟信号，以供操作人员监测或做进一步处理。

第3.3.2节中列举的接收机特性也适用于数字接收机。对于依照ITU-R建议书执行频谱监测任务的接收机，应提供以下功能：

– 对预先确定的频率范围进行扫描；

– 对数百个信道进行内存扫描；

– 对FM、AM、CW、SSB、ISB、ASK、FSK、PSK、IQ以及脉冲传输进行音频监测；

– 识别；

– 为后来的用户或下载保存测量值。

利用最优*S/N*，为各种各样可用的信号处理这些不同的功能，要求具有大量的中频宽带。

现代数字监测接收机包括一台显示器和处理单元，可以是一台带计算机软件的独立的微机，它提供“虚拟控制面板”，也可以是一个内置的处理单元。接收机有一个遥控接口，包括为本地和远程控制操作而提供的局域网（以太网）。此外，监测接收机的操作概念应满足接收机对频率、频率偏移、场强、调制、带宽和频谱占用测量等任务所提的全部需求。对于频谱占用，接收机必须通过数字控制技术对感兴趣的频率范围进行扫描，并显示相关的频谱。

数字接收机可单独封装，但通常集成到测量与处理系统中，如第3.6.2节所述。接收机包括许多接口，例如：数字中频输出、用于测向的基于I/Q的输出、用于外部全景显示的宽带中频输出、用于外部扬声器的输出以及耳机插孔。

在数字降频转换器（DDC）的帮助下，选定的信号与基带进行混合，以便做进一步处理（解调、解码、识别、测量调制参数）。通过使用一组并联的DDC（如在FPGA、DSP或ASIC等技术中实现），许多信号可得到混合和并行处理。每一台DDC可以在由宽带中频覆盖的频率范围中进行调谐，并作为一台虚拟接收机工作。这一技术对信号处理特别有用：通过重放数字中频使之回到宽带接收机，将之记录在数字宽带中频内，并使用DDC技术来选择感兴趣的信号进行处理。

这一处理技术使检测和分析短时间的传输信号成为可能，如跳频信号。跳频发射机的猝发由宽带接收机（直播或重放）接收，并用自动猝发检测算法进行检测。通过使用DDC技术，跳频混合到基带中，并得到分析（准确的长度、带宽、调制参数）。对所有检测到的猝发信号信息进行测量研究的评估处理过程，将确定猝发的不同类型、接收的发射机的不同跳变速度和跳变集（频率集）。这种统计分析技术可提供有关跳频器如何动作的信息，例如有源跳频发射机的数量以及所用的通信方法类型。

3.3.4 用于接收机的频率合成器

频率合成器是接收机最重要的组成部件之一。频率合成器的主要目的是提供射频能量的标准源，准确掌握其频率、功率电平和调制特性。用于控制和检测现代接收系统的频率，要求的精度变得越来越严格，这也是为什么合成器必须具备可能的最高精度和稳定性的原因。因此，大多数监测站都拥有一个能够覆盖很宽频率范围、精度很高的频率合成器。

3.3.5 监测接收机的典型规范

一台监测接收机通常应满足表3-2中所列的、针对VLF/LF/HF 和 VHF/UHF接收机的指标要求。该表适用于模拟和数字接收机。人们还应将这些指标视为用于设备选择的一条总的指导原则，所选设备能够为监测系统要求的任务提供良好的性能和可靠性。对于某些应用，有可能在市场上找到更加简易的设备，考虑到预期应用，它们可能已足够用。

表3-2中给出的某些接收机参数，如三阶截获、噪声指数和滤波器参数等，都十分重要，对某些监测任务而言，将对接收机是否使用产生直接影响，其规格和测量程序由ITU-R建议书定义。测量结果很大程度上取决于所用的测试程序，标准化的测试程序可以更加容易和客观地实现对不同制造厂商产品的比较。在ITU-R SM.1839建议书中讨论过的、不同测量要求的扫描速度，很大程度上取决于测量的目的和应用；例如，检测是否存在单一信号猝发所需的接收机扫描速度，就要比测量信号某些参数或特性所需的扫描速度快得多。

表3-2

通用监测接收机的典型规范

功能	VLF/LF/HF	VHF/UHF
频率范围	9 kHz～30 MHz	20 MHz～3 000 MHz
调谐分辨率	≤1 Hz	≤ 10 Hz
调谐错误	≤1 ppm，或者 ≤0.01 ppm，为外部参考而使用卫星 (1) 的全球定位	≤ 0.1 ppm，或者 ≤0.001 ppm，为外部参考而使用卫星 (1) 的全球定位
合成器处理时间	≤ 10 ms	≤ 5 ms
输入（天线输入） VSWR	50 Ω（标称值） ≤ 3	50 Ω（标称值） ≤2.5
预选（高线性接收机也许无需预先选择而能符合互调规范）	一组亚倍频带通滤波器或跟踪滤波器	一组亚倍频带通滤波器或跟踪滤波器
三阶截获	≥ 20 dBm （>3 MHz） (1)	≥ 10 dBm (1)
二阶截获	≥ 60 dBm （>3 MHz）	≥ 40 dBm
噪声指数	≤15 dB （>2 MHz） (2)	≤12 dB (2)
LO—相位噪声	参见如下	参见如下
中频抑制	≥80 dB	≥80 dB
镜像抑制	≥80 dB	≥80 dB
中频带宽（－6 dB）	内部或外部滤波器，最好是数字的，频率范围从0.1 kHz至少到10 kHz (3)	内部或外部滤波器，最好是数字的，频率范围从1 kHz至少到300 kHz (3)
灵敏度为60～6 dB（形状因子）	2:1 (3)	2:1 (3)
检测模式（在数字接收机中，解调可在内部或外部DSP中进行）	AM、FM、CW、LSB、USB	AM、FM、CW、LSB、USB
AGC范围（对于数字接收机，可在内部或外部DSP中部分执行）	≥120 dB	≥120 dB
输出—中频	数字中频输出	数字中频输出
音频	0 dBm，600 Ω，或者 数字流音频和耳机插孔	0 dBm，600 Ω，或者 数字流音频和耳机插孔
中频监测器	对于外部中频监测器， 或者数字数据流	对于外部中频监测器， 或者数字数据流
远程控制	以太网LAN，或GPIB，或RS-232	以太网LAN，或GPIB，或RS-232
中频频谱（可在DSP中进行）	内置的或外接的，FFT处理； 刷新 ≥ 10/s	内置的或外接的，FFT处理； 刷新 ≥10/s
射频频谱（可在DSP中进行）	内置的或外接的；刷新≥10/s	内置的或外接的；刷新≥10/s
射频和中频频谱显示	通过本地控制或远程控制	通过本地控制或远程控制
电磁适应性	IEC 61000-4-2，-3，-4 CISPR 11，组1，类别B	IEC 61000-4-2，-3，-4 CISPR 11，组1，类别B
工作温度范围	0°～45° C	0°～45° C
相对湿度	95%不凝固	95%不凝固
振动	IEC 68-2-6	IEC 68-2-6

(1) 根据 ITU-R SM.1837建议书的测量程序。

(2) 根据 ITU-R SM.1838建议书的测量程序。

(3) 根据 ITU-R SM.1836建议书的测量程序。

相位噪声

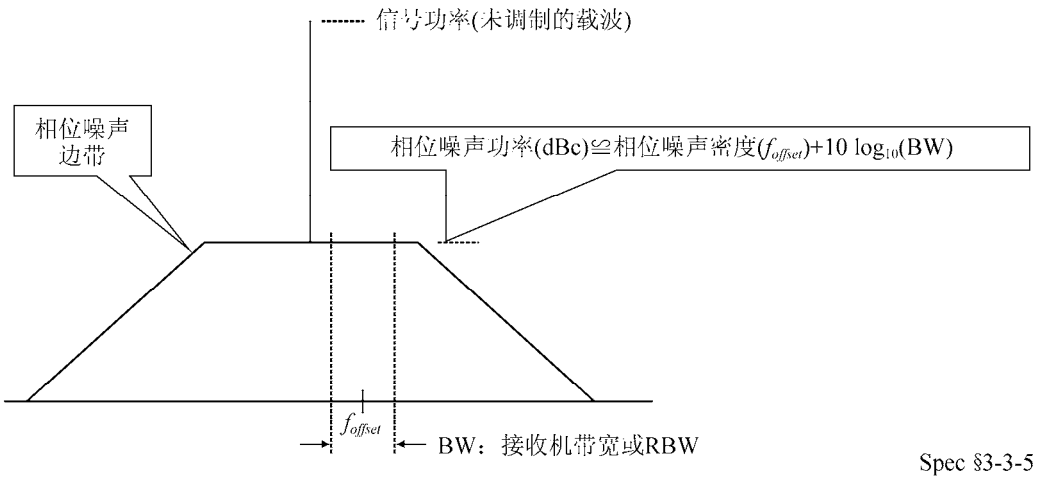
接收机的相位噪声性能直接影响到解析不同振幅在空间上紧邻信号的能力。它还有碍准确的解调。接收机相中的相位噪声调制不断增大其带宽的接收信号。在接收机输入处也许不具备重叠频谱的两个相邻信号，一旦由接收机相位噪声调制，则可能会在接收机中出现相互干扰。

相位噪声是倍增的，因此，被规定为相对于载波的噪声密度（dBc/Hz），信号越大，相位噪声的功率越大。相位噪声的最大影响是对不同功率的、空间紧邻信号的影响。

信号越大，在相位噪声边带中具有的功率越大，因此对比周边其他信号更弱的邻近信号的检测或解调将产生更大的影响。对大信号，相位噪声限制了接收机的动态范围。

相位噪声密度通常在固定的频率偏移上规定，如10 kHz 或 100 kHz。在频率偏移很小时，相位噪声密度通常会最大。出于这一原因，相位噪声要求很大程度上取决于将要实施监测的信号类型。窄带信号比宽带信号的相位噪声要求高得多，因此，接收机的规范将主要由待监测的最窄载波（或者副载波）决定。

假设相位噪声频谱在带宽（BW）上比较平坦，那么大信号附近的动态范围可按以下方法进行估算：



Spec §3-3-5

以上方程应用的例子：

带宽或RBW	相位噪声	f_{offset}	相位噪声功率
25 kHz	－100 dBc/Hz	10 kHz	－56 dBc

频率偏移和要求的带宽影响相位噪声功率。HF应用要求的带宽可能更窄，而UHF应用要求的带宽可能更宽。

参考文献

ITU-R文本：

注 — 在任何情况下都建议引用最新版本的建议书。

ITU-R SM.331建议书 — 接收机的噪声和灵敏度。

ITU-R SM.332建议书 — 接收机的选择性。

ITU-R SM.1836建议书 — 用于测量无线电监测接收机中频滤波器特性的测试程序。

ITU-R SM.1837建议书 — 用于测量无线电监测接收机三阶截获点（IP3）的测试程序。

ITU-R SM.1838建议书 — 用于测量无线电监测接收机噪声系数的测试程序。

ITU-R SM.1839建议书 — 用于测量无线电监测接收机扫描速度的测试程序。

ITU-R SM.1840建议书 — 利用模拟调制信号测量无线电监测接收机灵敏度的测试程序。

ITU-R SM.2125报告 — HF/VHF/UHV监测接收机和监测站的参数与测量程序。

3.4 测向（DF）

3.4.1 总体考虑

如果发射机的位置可由三角测量法或使用测向设备的SSL来确定，那么将有助于确定未知的发射位置。更准确地确定发射机的位置需要借助安装在合适地理位置上的若干个测向站来进行。理想情况下，最少使用两个测向站可以实现“交叉定向”或“定位”（即方位线交叉的点），两个测向站不必位于同一个国家中，工作方式不必一致。有望用于定位的监测站可以为一个经验丰富的操作员提供信息，使之能以更高的信心来确定发射位置。

测向设备的复杂性取决于要求的精度和当地的条件，这些将在第4.7节中进行更加详细的讨论。由于测向天线必须架设在没有任何建筑、天线、电线、电话线和其他突出物的地方上，因此它通常应安装在离监测站的其余设施有一定距离的地方上，或者可以安装在一个独立的地点上，并在远程控制下来操作它。

定位的精度取决于以下因素（不以重要性排序）：

– 如第3.4.2节中所述，天线孔径；

– 天线配置，包括天线单元的数量、它们在频带中的组织方式、单元的方向性及其他因素；

– 测向设备的类型；

– 接收信道的数量；

– 现场的特性；

– 信号强度和*S/N*；

– 综合时间；

– 传播条件；

– 干扰数量。

在存在天波传播的频率范围中，典型地为1～30 MHz，SSL系统能够用单台无线电测向设备来确定发射机的地理位置，测量到达信号的仰角和方位角。无线电测向提供的处理数据（方位角、仰角、位置），与电离层预报结果或者更适当的是来自探测器的实时电离测量结果相关，能够估算出发射机的距离。因此，当因地理、定时和可用性等原因而无法安装完整的三角测量无线电测向导航系统时，或者当无法在多个站点上接收到感兴趣的信号时，SSL概念允许执行定位任务。

更多的信息请参考ITU-R SM.854建议书 — 在监测站上测向和定位，以及第4.7节。

3.4.2 天线

测向天线是测向设备的最重要组成部件之一，原因是它在很大程度上决定了测向的精度。天线阵的孔径（D/λ；D：天线阵的直径；λ：接收到信号的波长）在决定定向精度方面发挥着最重要的作用。$D/\lambda > 1$的测向天线，即所谓的大孔径天线，克服了多径效应问题以及其他传播效应、噪声、干扰、站点的不规则性以及其他错误源，相比小孔径天线（$D/\lambda < 0.5$），对某个给定的精度水平，它可以提供更大的*S/N*、更小的测向错误、更大的反射免疫性、更高的灵敏度，以及更短的综合时间。不是所有的测向方法都能够使用大孔径天线，但在可以使用它们的地方，它们可提供最准确的测向结果。

每副测向天线都包含大量的天线单元（最少为三个）。取决于测向方法，可采用各种各样的测向天线阵配置方案。孔径越大的测向天线往往拥有越多的天线单元，以填充孔径和避免模糊；随机噪声引入错误的可能性往往可通过天线单元数量的平方根倒数来减小。在HF频率范围上，圆形和“L”或“X”形的线性特性阵列是常见的，在VHF/UHF频率范围上，主要使用圆形阵列。测向方法还对一副天线阵能否覆盖宽广的频率范围有影响，或者对是否需要将频率范围分割成众多子范围以对应不同的天线阵有影响。

通常，人们必须区分用于固定应用和移动应用的测向天线。天线单元的类型取决于频率范围和应用：在HF频率范围上，单级阵或交叉环形单元用于固定系统，而移动系统使用或含有环形单元或含有铁素体单元的天线阵（参见第3.2.3.1节）。在VHF/UHF频率范围上，大多数使用单极或扇形的天线阵（参见第3.2.4.1节）。

3.4.3 设备

如第3.6.2节所述，测向设备可以与监测站上的测量设备相集成，或者可以包含独立的单元。对便携式单元，请参见第3.2.7节。测向设备的频率范围不仅取决于测向天线，也取决于接收机，它们是设备的组成部分。实际上，还有MF/HF 测向设备（例如0.3～30 MHz）和VHF/UHF 测向设备（例如20～3 000 MHz）。

接收机的数量可从1台到*n*台不等，其中，*n*是组成测向天线阵的单元数量，它还取决于测向方法。对于特定的精度，多个接收机系统要求的综合时间更短和/或要求的*S/N*更低，因此相比单信道系统，它能提供更快的响应时间。如果使用不止一台接收机，那么所有接收机都必须由一台公共的振荡器进行调谐。在现代化接收机中，以数字格式对中频进行处理。测向接收机的一个非常重要特性是接收机的选择性，它避免了两个相邻信号之间的相互影响。至少一台测向接收机应当可以对接收到的信号的调制进行解调。

某些测向方法要求以特定的时间间隔对接收机、射频分配和天线进行校准。出于该目的，确定的信号将并行地注入接收路径中，并在为每条路径测量幅值和相位后，如有必要，为每条信道采取纠正措施，以恢复其一致的特性。一个非常重要的特性是在任何距离上有可能对设备进行遥控。针对RS-232、ISDN、LAN WAN和蜂窝电话链路的接口是通用的。

3.4.4 接收机数量

本节对带有不同数量接收机信道的测向系统进行比较，分析其各自的优缺点。一个测向系统可以拥有一台单信道接收机、双信道接收机、三信道接收机，或者信道数量等同天线单元数量的多信道接收机。带有至少两个接收机信道、但信道数量又小于天线数量的系统，称为多信道系统。接收机信道数量等同天线数量的系统称为*N*信道系统，其中的*N*为接收机信道和天线的数量。

3.4.4.1 单信道系统

优　　点	缺　　点
– 只需要一个接收机信道； – 从测向天线到设备的电缆较短； – 不需要相位匹配/校准； – 对使用多路复用电路的干扰仪单一信道测向，进行准确的相位测量是可能的。	– 相比带有多个信道的测向系统，开关的数量和相关的采样时间需要多得多的测量时间； – 对快速的信号相位变化敏感，可导致数据变差和/或综合时间变长； – 如果使用多路复用电路，那么天线开关会很复杂。

单信道测向系统可以分为两类：

– 简易的单信道测向系统，其中的每个天线单元都按顺序用一个接收机信道进行；以及

– 干涉仪或多路复用的单信道系统，其中的参考天线单元与其他各天线单元一起采样，并对两个信号进行综合，而后传送给一个接收机信道。

在任何一种情况中，每次转换之后，必须允许接收机中的中频滤波器在电压被采样之前进行处理。总的采样时间取决于滤波器的处理时间，这与其带宽和天线单元数量有关。单信道系统的采样时间比带有多个接收机信道的系统要长得多。

在单信道系统采样期间，信号的波态可能因信号内部调制的变化或者传播媒介的影响而发生变化，如天线阵单元顺序采样期间引起的衰减、多径效应和反射。顺序转换过程期间的波态变化可在单信道系统中引入错误，原因是，对顺序采样天线中引起的信号变化，它们可能是不可辨别的，这些天线的主波束具有不同的样式或方向。单信道系统只能处理以下机制引入的错误：它们在长得足以求出此类影响平均值的时间期间内，对信号进行测量。在不具备足够求平均值时间的情况下，如在信号持续时间很短的情况下，单信道系统可能会被搞糊涂。不过，如第4.7.1.1.16节所述，当能满足10 ms的响应时间要求时，可以建立单信道的测向系统。

3.4.4.1.1 简单的单信道测向系统

简单的单信道测向系统对每个天线单元顺序进行采样。但使用多路复用电路的干扰仪单信道测向系统不同，它只测量和处理信号的幅值，它不测量相位。不利用到达波中相位信息的系统，固有不如那些利用到达波中所有可用信息的系统精确。

3.4.4.1.2 干涉仪或复用的单信道测向系统

干扰仪单信道测向系统使用一种正交多路复用技术。由于相位参考单元总是与所有其他天线单元一起测量，因此干扰仪单信道测向系统能够测量信号的幅值和相位。

在测量过程中，对所有天线单元逐一进行采样，信号的幅值可能因信号内部调制的变化而发生变化，或者因衰减、多径效应和反射等传播媒介的影响而发生变化。为了避免精度的下降，要求额外进行求平均。此外，两个天线单元之间的信号幅值差不能同时进行测量，而只能随着时间的推移进行求平均来获得，这就丢失了那些对采用了定向天线单元的系统而言可能有用的信息。

在天线单元之间每次转换后，以及在正交多路复用器中，必须允许接收机中的中频滤波器在电压被采样之前进行处理。总的采样时间取决于滤波器的处理时间，它受到其带宽和天线单元数量的约束。干扰仪单信道系统的这一采样时间比带有简易单信道的系统长得多。这与其带宽和天线单元数量有关。干涉仪单信道系统的这种采样时间比简单的单信道系统要长得多。

3.4.4.2 多信道系统（一个参考信道以及一个或多个交换采样信道）

优　　点	缺　　点
– 获得结果的时间比单信道测向要短，即更短的响应时间； – 准确地应对因传播或调制条件而产生的波态变化； – 通过校准或二次求平均的方法，可方便地实现相位和/或幅值匹配； – 在信道之间同步测量幅值差。	– 需要两个或多个接收机信道；布线更为复杂； – 相比带有多个接收机信道和天线的测向系统，开关的数量和相关的采样时间需要更多的测量时间； – 需要定期校准，以便匹配两个接收机信道，或者对双信道系统而言，可使用二次求平均的方法。

多信道系统拥有多个接收机信道，但其信道数少于天线数；它们拥有一个参考信道以及一个或多个交换采样信道。由于所有信道都受同一振荡器源驱动，因此它们只有一个本地振荡器。这些信道不必一致地与具有完全相同滤波器形状的滤波器匹配；而是可以使用受同一振荡器驱动的非匹配接收机。这些接收机在两个信道中提供相关的信号检测，并在从天线到A/D转换器之间的整个射频路径上，依据任何相位延时、滤波器形状差异等，并考虑到测向单元与采样电路之间的馈线差别，进行校准。这种校准也是内置测试和对此类系统进行诊断的主要步骤。

为避免匹配单元和/或校准源，并为简化测量，但无需进行端对端的校准和内置测试，在两个接收机信道的情况下，可采用二次求平均法，在这一方法中，对两个信道的幅值和相位差进行测量，而后天线开关将天线连接倒转，并对另一个幅值和相位进行测量，然后对结果求平均，在不单独进行校准的情况下抵消幅值和相位的任何不匹配。这种二次求平均法的缺点在延长了测量时间。

由于此处讨论的系统拥有一副参考天线和一个可作为相位参考的接收机信道，因此可以准确测出采样信道与参考信道之间的相位差，其精度可达十分之一度或更佳。采样信道与参考信道之间的幅值差也可以准确而同时地得到测量，这使得系统能够辨别因天线方向性方面的任何差别而引起的幅值变化，如果不在长时间内求出平均值，以计算出调制和传播效应的平均值，单信道系统是做不到这一点的。

将在每副采样天线上进行的电压测量结果，与在完全相同的时间内对参考天线的电压测量结果进行比较。在采样信道上的测量结果通过参考信道进行校正；将采样信道上的电压除以参考信道上的电压。

这种校正方法消除了传播影响和调制变化，如上所述，在与单信道系统连接时，传播影响和调制变化会引入错误，原因是在平面波接收条件下（通常是假设的情形），调制和传播因素对每一副天线具有相同影响。这种校正方法排除了可能影响相位和幅值测量精度的所有外部因素。

3.4.4.3 *N*信道系统（*N* =接收机信道数目=天线数目）

优　　点	缺　　点
– 相比其他方法，可实现更快的测向测量； – 不需要天线开关转换；	– 需要多个接收机信道；布线更为复杂； – 需要进行相位和幅值校准，增大了系统的复杂性。

每副天线具有一个接收机信道的N信道系统，是速度最快和性能最高的系统，原因是对到达波可以在所有天线单元上同时进行采样，而不是像接收机信道较少的系统中那样，需要按序对天线进行采样。所有接收机信道由一个公共的本地振荡器驱动。

相比接收机信道较少的系统，这些系统更昂贵，是接收机信道数量的一个函数，另外要么需要相位与信道匹配，要么需要在它们当中进行实时校准。这些信道无需精确匹配，但可以实时地进行简单校准。

N信道系统测量每个单元相对选为参考单元之单元的电压和相位，因此，在能够测量相对参考单元的相位与幅值信息方面，它们具有在之前章节中讨论过的全部系统优点。

3.4.5 信号处理

可以根据不同的测向方法来进行方位处理。取决于不同的应用，每种方法的原理具有其不同的优缺点。主要使用以下方法：

– 旋转天线特性；

– Wullenweber方法；

– Adcock/ 沃森瓦特方法；

– 多普勒/伪多普勒；

– 相位干涉仪；

– 相关性/超分辨率。

测向设备产生具有一定精度的方位，并将指出系统调谐之信号的接收电平。有些测向设备为每个方位产生一个可用于抑制“野”方位的质量值。如果接收的信号作为天波抵达，那么HF频率范围上的相位敏感测向设备还将指出仰角。

现代化测向设备一个非常重要的特点是能够工作于“测向扫描”模式中。有了这个特点，就有可能在体现频率占有率的、整个确定的频率范围内进行扫描，并同时计算超出阈值的任何角度的相关方位。利用DSP来执行测向扫描功能，当中运用快速傅里叶变换（FFT）技术来将接收机带宽细分为许多个单独信道或FFT频带。用于测向处理技术的占用信息和电压信息，由FFT来为每个单独的信道进行计算。

在第3.6.2节接近结尾的地方讨论和描述了测向扫描。该处理技术使之截获短时间的发射信号成为可能，如跳频信号和猝发信号。

3.5 额外的和独立的设备

如第3.6节所述，大多数频谱监测站使用自动的集成式系统。这些系统使用集成式测量设备，执行国际电联建议的频率、场强、宽带和调制测量任务，以及执行频谱占用率和测向测量任务。不过，不是作为这些自动的集成式系统的替代或补充，额外的和独立的设备也可用来执行这些测量任务，并帮助识别。下面将讨论一些此类设备：

3.5.1 频率测量设备

大多数频率测量设备的设计目的是将测量的频率与标准的频率进行比较，其精度直接决定了测量的精度。因此，测量频率的基本设备是一种能够产生参考频率或参考时间的频率标准。建议由全球定位系统提供这种标准。对特定的频率，传统的振荡器也可用于此目的，它带有一个用作倍增器的分频器、频率合成器或谐波生成器。

第4.2.4.2.4节中给出了频率测量设备中可用的频率测量精度。

远程发射机的频率应当始终根据与标准频率进行比较的方法，利用接收机来测量。关于频率测量的更多详情，请参见第4.2节和ITU-R SM.377建议书。

3.5.2 场强测量设备

场强的测量主要基于接收天线对影响它的电场或磁场的响应的测量结果。连接到天线的接收机对这种天线响应进行检测。电磁场的响应必须相对天线和场的动作来分析。一台场强测量设备一般包括若干个单元，它们通常组装成一个单独的设备。这些单元是：

– 一副具有已知特性的天线；

– 一台包括步进式衰减器、能够调整灵敏度的接收机；

– 一台用于校准接收机灵敏度的信号发生器；

– 一台测量设备，根据是否需要测量接收机输入电压或场强，可用线性方式或对数方式进行校准。

场强测量装置具有以下属性：

– 高稳定性；它应当能够在不必进行频率重新校准的情况下，在相当长的期限内执行测量任务；

– 良好的相对精度；实际上，由两名操作员分别对一个恒定的场进行测量，应当得到相同的结果；

– 很宽的测量范围（从每米几毫伏[mV]到几伏[V/m]）；

– 测量仪器的指示值应当与场强的r.m.s、峰值或平均值成比例，这取决于测量的类型。

与监测接收机中的情形一样，场强测量装置应当具有一个特殊的输出，用于DC记录设备的连接，以便长时间进行记录。

关于场强测量技术的更多详情，请参见第4.3节和ITU-R SM.378建议书。

3.5.3 频谱分析和带宽测量设备

尽管以上描述的设备可执行许多监测功能，但另外一些仪器能使监测站的运行更加高效，并能扩展其性能。

近期在频率分析仪和矢量信号分析仪性能方面取得的技术进步，使之在显示信号的幅值方面具备了很大的动态范围，从而提高了目视监测操作的重要性。频谱分析为迅速识别和分类各种类型的复杂辐射信号提供了方法。通过确定值得进一步分析的当前活动区域，目视监测可提高监测操作的效率。使用直观的显示技术，可以加快为无线电频谱用户的服务速度，以便将干扰事件与导致干扰的辐射活动同步起来。

如今，监测站中越来越广泛地使用计算机和过程控制器，用于生成监测报告和/或控制监测设备。

三大类设备可以用来在频域中分析无线频谱：

– 利用10 Hz/div.与超过100 MHz/div.间的分辨率，可以使用宽带分析仪来显示选中的频谱部分；

– 可以使用全景显示模块来显示接收机调谐频率周围的、有限的频谱部分，它与接收机的中频输出相连。对普通的接收机类型，这通常不会超过中频的40%左右。全景接收机还可用于显示选定之调谐模块的整个范围或其一小部分（有时可同步显示），既使用FFT方法，也使用IFM方法。

可使用仪器来自动比较和控制一个相对标准频率发射的频率源。

关于宽带测量的更多信息，请参见第4.5节。

频谱分析仪可用于以下目的：

– 作为时间和频率函数的完全信号分析（幅值调制、频率调制或脉冲）；

– 波形监测；

– 检测和识别虚假幅值调制和频率调制信号；

– 测量脉冲上升时间、脉冲宽度和脉冲接收率；

– 测量脉冲调制信号的光谱特性；

– 在传播研究、绘制天线方向图等中用作敏感脉冲和连续波（CW）接收机。

带宽测量的质量取决于带宽测量装置或频谱分析仪的以下技术特性：

– 探测器和求平均；

– 扫描宽度；

– 滤波器带宽；

– 相对幅值精度；

– 幅值动态范围。

用于带宽测量的所有类型的仪器，其性能受到衰减和干扰的限制，特别是对远距离发射信号的监测。利用频谱分析仪，有可能通过将几次连续扫描的结果进行叠加，获得监测站上收到之信号频带频谱占用率的非常有用的信息。

关于宽带测量的更多信息，请参见第4.5节、ITU-R SM.328建议书和ITU-R SM.443建议书。

3.5.4 自动监测频谱占用情况的设备

频谱占用率是频谱监测要求的最重要的测量项目之一。测量频谱占用率的目的是为了确定频带是如何分配的以及频谱是如何共享的。

进行此类测量所需的设备可包括以下几种：

天线：对于一般性的占用率测量，需要使用全向天线。测量的目的是测量在某个地区的整个频谱。

对于特殊的测量，例如，为了确定专用发射机的时间占用率，也可以使用定向天线。

接收机：对于占用率，使用的模拟宽带越宽，可以同时获得的信息越多。利用窄带接收机，模拟宽带必须逐个频率地进行转换。

对于占用率和自动监测，无需进行高精度的测量—包括精确的频率和电平。主要的参数是总的扫描速度和最大的瞬时带宽：

– 合成器处理时间越短，对占用率的测量就越快。对VHF/UHF频带的处理时间最好小于5 ms，对HF频带的处理事件最好小于10 ms；

– 宽带瞬时带宽使宽带FFT成为可能，并减少合成器切换。对VHF/UHF频带可使用20 MHz阶的瞬时带宽，对HF频带可使用2 MHz的瞬时带宽。

数字处理：FFT技术非常适合用于执行占用率测量任务，并具有许多优点：

– FFT方法能够进行整个中频带宽的瞬时分析。与宽带接收机相关，FFT方法能够对带宽中的所有信号进行计算。

– 可以考虑用与FFT方法相关的高速扫描接收机来进行新的频率调制。诸如TDMA的调制方法，用扫描频谱分析仪可能无法看到，原因是对感兴趣的频带可能需要花更长时间来扫描。此外，通过同时处理所测频谱的所有频率，FFT技术能更好地测量时变信号（门控的、脉冲的或者瞬时的）和复杂调制的动态信号。

– FFT方法允许并行地进行其他测量。虽然频谱占用率测量适用于整个带宽，但数字降频器可以在带宽中选择一个特定的信号，然后确定其频率或带宽。

– 占用率测量通过统计计算来支持。这意味着，取决于占用率以及独立的和相关的样本，需要用到大量的样本。由于FFT方法迅速的再访问时间，因此它可以在短时间内获得很高的置信水平。

– 使用FFT技术进行的占用率测量，在频率精度、速度、频谱数据的数字存储、测量结果的再现能力、区分空间上紧邻的载波和嘈杂环境等方面，提供了超过传统测量方法的优点。

图3-36和图3-37显示了占用率数据的例子。尽管FFT是进行占用率测量的一种现代化的和有效的方法，但仍可使用其他一些方法。

3.5.5 记录设备

记录包含有无线电频谱和音频信息的频谱监测系统是有用的。记录的数据可以再现，也可以随后对之进行验证，并可用作判定非法无线电站的证据。通过记录数据结果，还可以实现高性价比的、无人值守的频谱监测系统。

除了记录在频谱监测系统中接收的音频，还应记录或登记有关检测时间、频率、调制、带宽、方向、场强和ID等的信息。

3.5.5.1 记录媒介

固态数据记录器和磁盘数据记录器是传统磁带记录器的首选替代物。记录媒介应能提供巨大、连续的记录容量，并应能随机存取，以实现迅速地重放数据。希望这种设备能够提供数据记录、再现和编辑等功能。

图3-36

光谱图表示法的例子

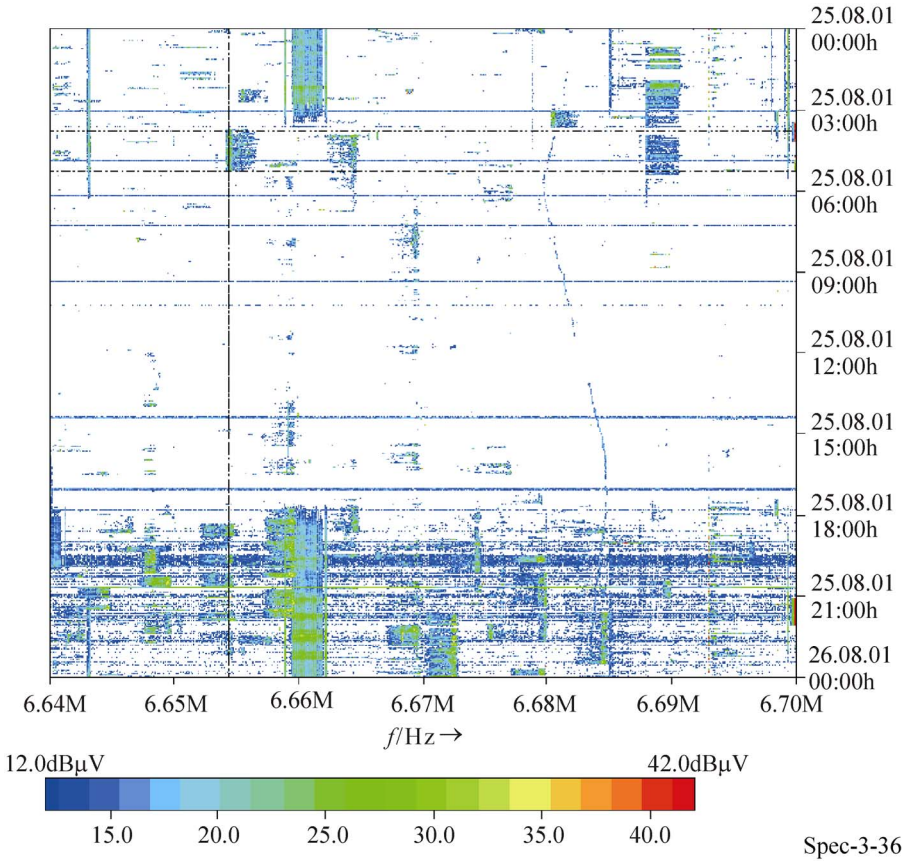
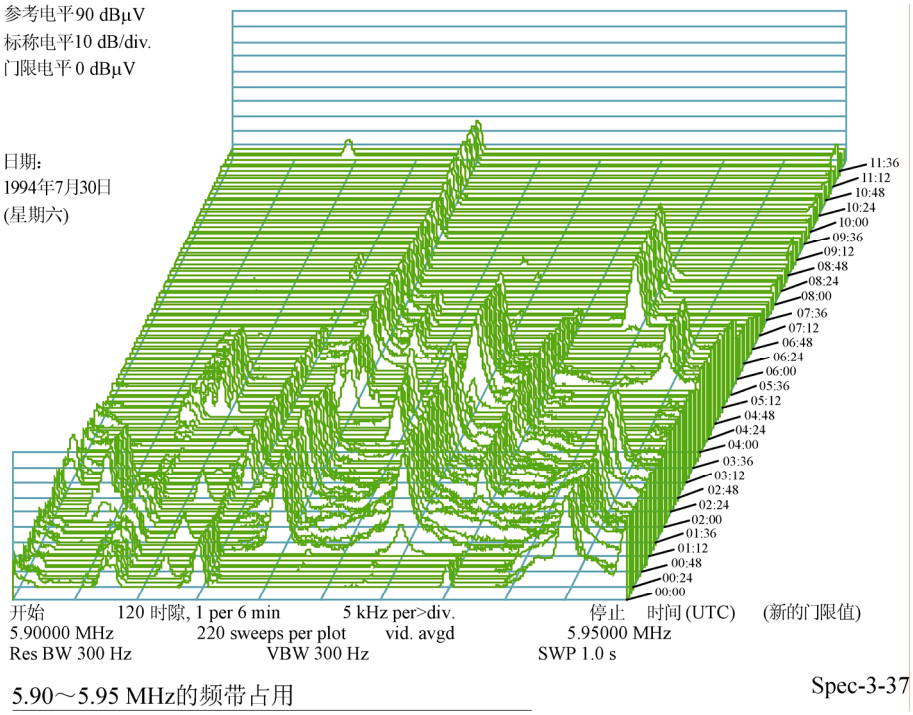


图3-37

瀑布表示法的例子



5.90～5.95 MHz的频带占用

数据记录最好至少72小时持续进行。这种长时间的记录可以实现长时间的无人值守运行。一旦接收到监测的数据，就应启动记录功能，以便立即捕获不期望的信号，而当没有接收到监测的数据时，应停止记录。为了便于特定数据的再现，应谨慎考虑将记录媒介格式化。操作人员应当能够在一个监测的数据流中嵌入“标记”，而在重放期间，在需要时，该“标记”应当方便地予以定位。

数据复制功能应当根据记录的数据，准确地复制同样的监测数据。无线电频谱信息和声音信息应当在复制期间同步。数据复制功能还应具备寻找“标记”、快进、快倒和报头寻找功能。

数据编辑功能应当能够从记录的数据中提取和复制指定的数据。操作人员应当能够简便地指定和选择某个需要的数据进行提取和复制。

3.5.5.2 宽带记录设备

本节阐述监测站的数字数据存储容量需求。本节并不提供技术规范，而是阐述如何确定所需的存储容量。事实上，当今的技术进步如此之快，以至于许多规范会在几年后过时。

3.5.5.2.1 记录数据和格式

有了现代化的监测站，就有了五种类型的记录数据及其相关的文件：

第1类：数字数据，表示基带或中频输出一个连续流或块模式样本的同相和正交（I/Q）分量，是一种通用的格式。这种原始数据可在随后传送给接收机，用来分析所记录的信号。如果固定监测站的分析设备不总是可用，那么这尤其有助于移动信号的记录。应用的例子包括对短时间信号的分析以及对无人值守记录期间截获之信号的分析。

第2类：来自时域测量FFT的频谱数据。现代化的监测站每秒钟可以输出数百个FFT，它们与更宽的带宽测量结果相关。文本文件是标准的文件格式。

第3类：解调的和解码的数据，其输出格式为文本文件。

第4类：wav、mp3或其他音频格式文件形式的音频数字数据。

第5类：文本文件形式的原始测量数据。

由于相关的高数据率，典型地，以I/Q格式存储的数字数据，需要大容量的存储器和大量的记录带宽。其他类型的记录要求较低。

3.5.5.2.2 数字数据记录

由于接口要么是模/数（A/D）转换器，要么是数字降频器，因此，一个重要的考虑是记录的长度、数据类型（每个样本的字节数）以及信号的带宽。如今，可以使用大容量的存储器，而技术的研究与发展将继续开发更大容量的系统。倘若接收机和记录设备上可使用一个合适的数字输入/输出，那么数字接收机可直接与记录设备相接合。

3.5.5.2.3 记录设备带宽

要记录信号的带宽，不仅影响到记录容量的要求，而且影响到系统的记录带宽要求。记录接收机对存储设备而言可以是本地的，或者可通过广域网相连。更宽的带宽信号（例如，> 5 MHz），由于数据率高，因此需要非常迅速的存储系统访问。在选择网络连接和记录设备时应谨慎从事，这些设备具有高度持续的数据率吞吐量，超过要记录信号要求的最大信号带宽，但不会在互连容量中放入高负载（在分组交换环境中 > 30%）。

3.5.5.2.4 记录设备性能要求

存储容量和数据率需求可通过以下公式来计算：

$$C\ （\text{Mbytes}）= F_s \times N_b\text{\_Bytes\_Per\_Samples x Rec\_time}$$

其中：

F_s： ADC或DDC的采样频率（MHz）；

N_b _Bytes_Per_Samples： 对16位的I/Q样本，一般为4字节；

Rec_time： 记录时间（s）。

例如，10 MHz的信号带宽需要F_s = 25 MHz基带的采样率或者12.5 MHz的I/Q。每个样本16位的基带信号和1分钟的记录时间可带来：

数据率： 25（MHz）×2（bytes/sample）=> 50 Mbyte/s

存储容量/记录： 50（Mbyte/s）× 60（s）=> 存储容量 =3 Gbytes

3.5.6 调制测量设备

第4.6节中描述了国际电联建议的标准调制测量。现代化监测站的宽带接收机和处理能力使其能够进行调制测量，包括数字调制测量。当使用带有中频输出的窄带接收机时，希望具有专用的测量设备。矢量信号分析仪（VSA）是一种具有矢量分析能力的外部频谱分析仪，或者自身带有适当软件的监测站将有助于测量数字调制。

如第4.6节所述，解调和测量*n*-PSK、QAM及其他矢量型图形所需的接收机，具有高性能降频转换器的特点，其中频信号的幅值和群时延响应不会造成所测量信号的降级。对于数字调制分析，降频转换器或接收机后跟的是VSA [Blue等，1993年]。为了实现稳定和高性能的中频通带响应，通过使用DSP，由VSA来实现最终的中频带宽。此外，通过改变DSP的系数，可以合成一系列接收机滤波器，以广泛地涵盖各种各样的调制类型。

如果使用VSA可选择的射频降频转换器，并且不包含射频预选器，那么在信号密集的条件下，必须使用外部预选器或带通滤波器。对预选器通带响应的校正可能必须包括在校正程序中，这一程序针对的是中频滤波器的通带响应，目的是为了获得最高的性能。

在设定了有用的载波频率、调制类型和符号率后，VSA或者频谱分析仪中的DSP实现解调。除了显示调制的信号，分析仪还提供了对数字调制错误的测量。通过解调信号和生成一个理想的参考，可以做到这一点。这两者进行对比，会产生错误的测量结果。

对于调制质量的无线电监测，传输路径可能是测量调制质量因子的主导因素。多径效应或其他同信道干扰，可能会使调制质量测量变得十分不可靠或毫无用处。因此，只有在发射机的位置上进行详尽的调制测量才是合适的，最好采用与发射机的直接连接。此类测量包括：误差矢量幅值、相位和幅值错误、载波馈通、I/Q增益不平衡、幅值衰退和载波频率误差。

一般性的测量可提供有关整体调制质量的信息，可以在发射机的位置上进行，或者在一定距离外进行，包括：误差矢量频谱（以突出干扰）、相邻信道功率比、占用的带宽、频谱辐射掩模、互补的累积分布功能、载波频率和码域测量（功率、计时和相位）。

信道脉冲响应（CIR）的测量[Riedel；1991年；Bues 和 Riedel，1993年] 不是一种调制测量，而是对传播信道多径效应的测量。这种多径效应严重影响接收站的调制质量。另一种对接收站调制质量的间接测量法是测量BER。第5.3.5.4节对这些质量测量法有更加详尽的描述。

3.5.7 识别设备

无线电信号的识别是最困难的监测任务之一。它的难度，部分是由于呼叫信号很少发射，部分是由于使用简短的或未注册的呼叫信号，以及在很大程度上，是由于越来越多地使用复杂传输系统，即频率转换、频率分割和/或时间分割多路复用等，使得信号难以解码。此外，除了使用摩尔斯码，还有许多使用其他众多代码的机械电报系统、传真系统、单个的和独立的边带系统以及保密设备。

如今，数字处理技术和微型计算机使设计多功能识别设备变得可能，这类设备能够对大多数信号进行解调和解码，并可进行编程，以响应新的传输方案。ITU-R SM.1600建议书 —《数字信号的技术识别》对这一主题做了论述。

因此，监测站必须具有接收和/或识别几类模拟和数字调制的设备。

关于信号识别的更多信息，请参见第4.8节。

参考文献

BLUE, K. *et al.* [December 1993] Vector Signal Analyzers for Difficult Measurements on Time-Varying and Complex Modulated Signals. *Hewlett-Packard J.*, Vol. 44, p. 6-47.

BUES, D. and RIEDEL, P. [1993] Planning digital radio networks using Impulse Response Analyzer PCS and test transmitter system. *News from Rohde & Schwarz*, **141**, p. 26-27.

RIEDEL, P. [1991] TS 9955 measures channel impulse response in GSM radio networks. *News from Rohde & Schwarz*, **137**, p. 12-14.

ITU-R建议书：

注 — 在任何情况下都建议引用最新版本的建议书。

ITU-R SM.182建议书—对无线电频率频谱占用率的自动测量。

ITU-R SM.328建议书—频谱与带宽辐射。

ITU-R SM.377建议书—用于国际监测任务的监测站的频率测量精度。

ITU-R SM.378建议书—在监测站上进行的场强测量。

ITU-R SM.443建议书—在监测站上进行的带宽测量。

ITU-R SM.854建议书—在监测站上进行的测向和位置测定。

ITU-R SM.1600建议书—数字信号的技术识别。

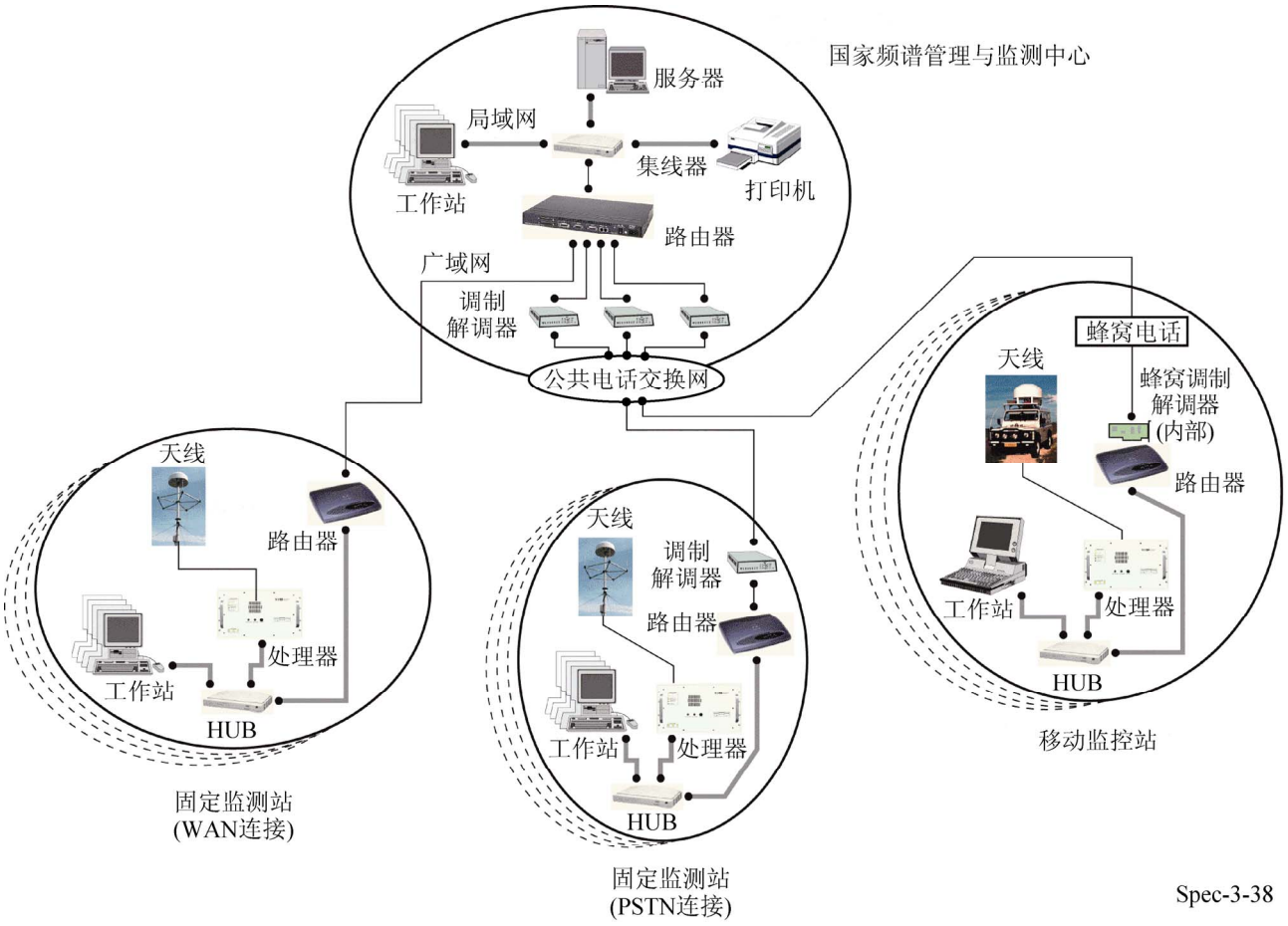
3.6 监测自动化

3.6.1 引言

通过计算机的使用实现了自动化，现代化的客户机/服务器结构和远程通信简化了监测作业的许多职责和任务。计算机化的设备为迅速而准确地执行普通而重复的测量任务提供了一种方法，从而可以腾出操作人员来从事要求更高的任务。通过数据库和计算机建模，简化了频谱管理功能并提高了效率，有助于防止干扰。将频谱管理与频谱监测结合起来，使得集成化系统成为可能，集成化系统可以自动使用来自监测系统的测量数据以及来自管理数据库的授权信息，来检测未授权的发射和其他违反授权的现象。集成化监测与管理系统可拥有一台中央管理设备，在该设备中对无线电监测系统进行整体管理，并可对监测系统数据库中保存的测量数据进行统计分析。这些分析结果用于频谱管理规划（如频率的撤销和重新指派）。图3-38所示是一个典型的集成化系统的结构图，ITU-R SM.1537建议书对此图有进一步的描述。应用不同，配置方案（在每个监测站中的工作站数量、监测站的数量等）、通信方法（TCP或其他协议、使用PSTN、无线电或卫星）和其他细节也将有所不同。可替代的系统配置方案包括增加一个监测中心，它直接与监测站相连，也与管理中心相连。除了拥有主监测中心或国家级监测中心，大型的监测服务机构可能拥有区域级监测中心，用以监测业务的分布控制。

图3-38

与管理系统集成的监测系统示例



3.6.2 监管操作自动化

如第2.4节中所述，自动化的监测站通常执行固定监测站的功能。所有日常监测测量任务都是重复性的任务，便于实现自动化。

– 占用率测量：利用计算机生成的显示来高分辨率地扫描频带以及可储存几天中信道占用情况的大容量，使得非常适合实现自动化。

– 频率测量：当*S/N* 足够高、且利用载波频率进行传输时，这些可以自动进行。在HF上，信道通常在空间上是紧邻的；因此，在同一信道中出现几个频率的情况下，必须具有敏锐的频率选择性。

– 如果可行，进行电平和场强测量。

– 带宽测量。

– 调制参数测量。DSP硬件和算法的进步推动了调制识别系统的发展，使得可实时实现对调制类型的识别。这些系统可以在单台仪器、计算机外接卡和相关的软件中运行，或者可以集成到其他仪器中（如接收机或分析仪）。这些系统可用于识别各种各样的调制格式（数字的和模拟的均可），可用于测量常见的技术参数，并可用于信号解调或解码。

– 信号分析：不过，并非信号分析的所有工作都可自动完成。

– 测向。

– 监测站识别：通过定位、消息内容信息或自动信号分析（编码识别、单元数量、传输率）来实现。

所有这些测量任务通常都能自动进行，但诸如带宽和调制等的测量，需要信号具有良好的*S/N*，以便获得足够的精度。这些测量任务将获得技术测量数据，它们可与频谱管理数据库中记录的技术参数进行比较，或与因此而得到的数据进行比较。在此类数据库中为发射机记录的技术参数包括：

– 分配的频率；

– 计算的场强；

– 辐射类别；

– 分配的带宽；

– 辐射带宽；

– 呼叫信号。

每个监测站通常都拥有一系列发射机，操作人员将列出的发射机参数与自动设备记录的监测结果进行比较。除了收集数据，集成化的自动系统还可以自动进行这种比较任务，这是下面所描述之自动违例检测的一个例子。不论采用何种方法，比较时都必须使用与国际电联建议之测量精度相一致的测量参数容差，以便最大限度地降低虚警率。目标是确保符合规定的程序及其数据库中列举的技术数据。当检测到差异或异常参数时，它们通常包括：

– 非法的或未授权的发射机或频率；

– 未授权的工作周期或地点；

– 非法的发射类别或不良的调制质量；

– 过大的频率偏移；

– 没有或不完整的呼叫信号；

– 过大的带宽；

– 过大的功率（过大的场强）。

3.6.2.1 自动化等级

在监测作业中，可以在多个等级上实现自动化。单个工作站可以使用预编程的参数进行自动的占用率调查。在一个站点上的几个工作站，可以联结成一组单独的测量设备，以共享测量资源。在整个监测站或监测站网络中，可以实现自动化，可能是由于它们的遥远位置，并且其监测结果可以重新传送到一个更加集中的站上。在几个站点中的各个位置上可以用以下方式联结起来：一个位置自动调整其他站点的位置，以获取多个有关感兴趣信号的同步测量结果。可以对计算机控制的设备进行编程，以确定在所监测频率上是否存在未包含在授权发射机数据库中的发射机，并确定发射机是否未工作在其授权的参数上。

自动化有助于缩短定位和识别信号的时间，减少操控监测站所需工作人员，并使操作人员能够执行更高优先级的功能，如协助测向作业中的移动站或执行数据分析任务，还有助于增加业务可有效监测的无线电频谱数量。另一方面，在遥远的监测站点上，如果出现设备故障，那么当操作人员或技术人员不在场时，可能导致设备的长时间停机。不过，自动化设备可能不具备对难以接收信号进行调谐的灵敏度，而通过手动调谐，操作人员可以达到所需的灵敏度，这通常出现在HF环境中。任何情况下，当某个站点或监测站实现自动化时，在选择工作模式时，任何一项业务都应综合考虑到这些因素，以决定是否将某个站点或监测站恢复原状用手工操作，本地操作或者远程操作。老旧设备的自动化一般需要一台单独的计算机，通常需要替换老旧设备。

3.6.2.2 监测站自动化

现代DSP技术能够经济地实现整个监测站的自动化。一个自动监测站由以下部分组成：

– 一小组复杂的测量设备模块，包括由计算机运行的数字接收机，它通常指的是一个测量服务器；以及

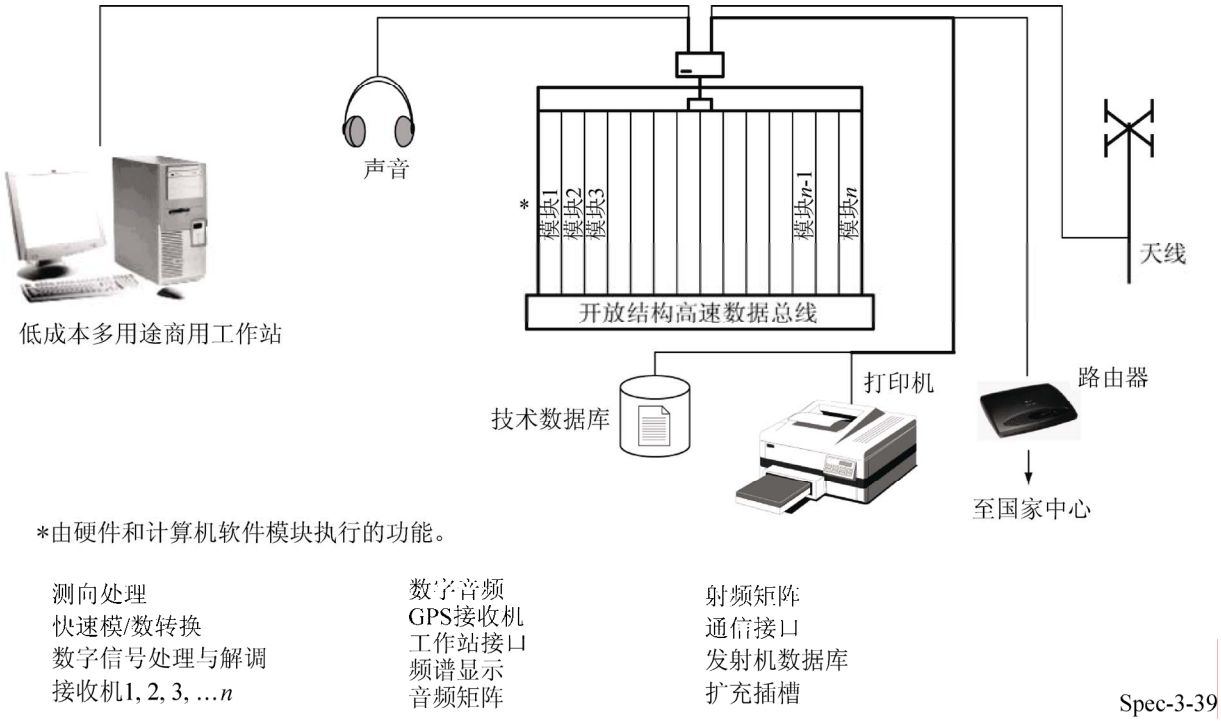
– 操作人员工作站，通常指的是客户机，它用作操作人员的接口，包含使系统易于使用和易于维护的计算机软件。

监测站可以本地操作，也可以从一个更方便的地方实施远程控制。测量站与控制站之间的连接可以是无线电方式，也可以是陆地方式。实质上，监测站变成为广域网中、在控制站上管理的一个节点。

一个完全自动化的监测站通常具有如图3-39所示的结构。该监测站包括天线、紧凑型测量服务器（它是一个模块化的高速总线单元，包括处理器、接收机和其他电子设备）、一个或多个低成本的商用工作站客户机，以及各种各样的外围设备（包括打印机、电话和调制解调器）。另一种可替代但相关的监测站结构，带有独立但高度集成的单元，包括数字接收机、测向仪和处理器，在这种情况下，图3-39中包含开放结构高速总线的部分（带有各种各样的模块），将由独立的单元所替代，包括一台数字接收机、一台数字测向仪和一台处理器。一台自动化的机内测试设备（BITE）可以提供所有设备的当前状态，并在设备出现故障时发出告警信号。

图3-39

典型的现代化集成式无线电频谱监测系统



自动化监测站的功能包括：

– 监测、解调和解码；

– 声音记录；

– 技术测量与分析，包括频率和频率偏移、电平/场强、包括AM调制深度和FM频率偏差的调制参数、带宽以及频谱分析；

– 频谱占用率；

– 测向；

– 与授权参数自动、实时的比较；

– 对异常或未知发射信号的自动报警生成。

3.6.2.2.1 典型的自动化监测站运行模式

典型地，自动化监测站具有三种运行模式，用于执行以下任务：

模式1：交互式或实时操作模式；

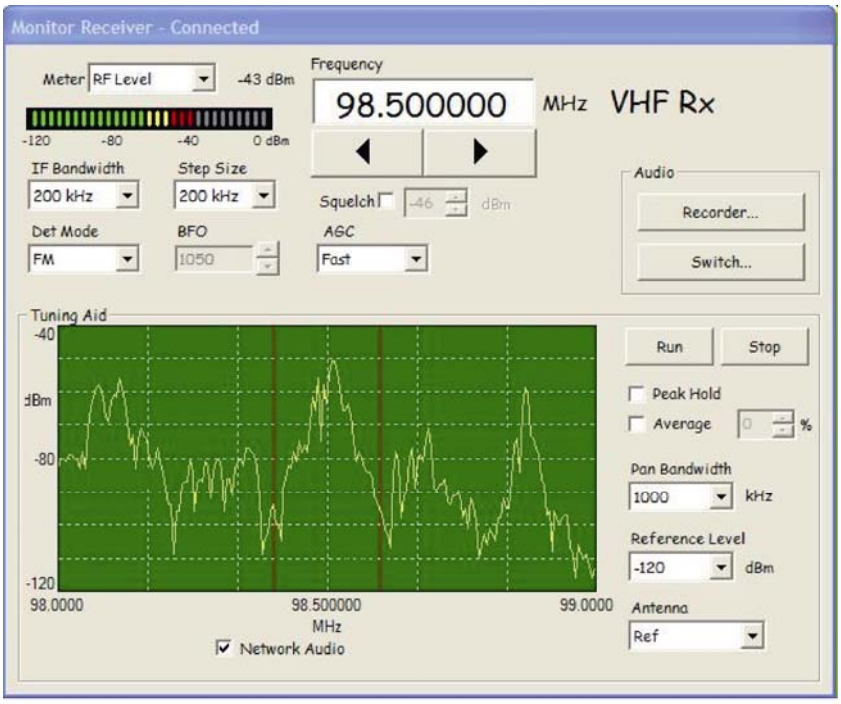
模式2：自动或按计划操作模式；

模式3：后台操作模式。

交互模式能够与各种各样提供瞬时反馈的功能直接交互，如监测接收机调谐、解调选择和全景显示选择。即使在自动化系统中，交互模式也是有必要的，它使操作人员能够在需要时进行干预，从而使设备能够由操作人员或自动化的系统软件实施远程控制。交互功能从客户机工作站的“虚拟控制面板”上进行控制，使用如图3-40所示的显示屏。在操作员工作站上，创建了合成的全景显示和频谱显示图，并包括了瀑布形显示图（信号幅值对频率、对时间的三维显示）和光谱图显示图（信号频率对时间的二维显示，信号由颜色标示）。

图3-40

监测接收机虚拟控制面板示例



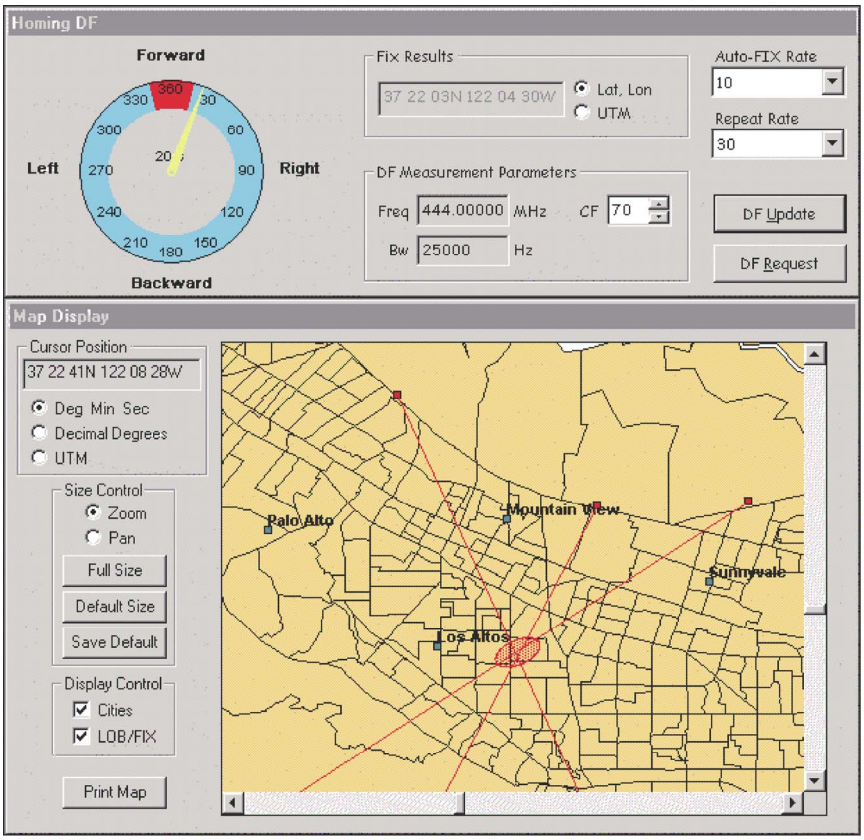
Spec-3-40

测向导航是交互式操作的一个重要例子。当移动单元处于运动时，可以在其上进行测向。如图3-41所示，测向结果显示在车辆的前方，使驾驶员可以决定开往哪个方向，以便接近目标信号发射机。来自不同位置的测向结果也在一张地图上显示，使系统能够利用三角测量法来定位信号发射机。一个高精度的GPS接收机持续不断地更新移动单元的准确位置，一个电子罗盘测量车辆相对北方的方位。

自动或计划模式可以规划需立即执行的任务或者可在未来规定时间执行的任务。在计划模式下，执行的功能包括技术测量与分析以及测向。可以规定测量参数，如测量和求平均方法、测量时间（或者需要重复测量情况下的测量次数），或者由所用系统提供缺省值。操作人员可使用包含日历的显示屏，日历显示一周内的天数，以及一天中各个小时内的多个间隔，用于规划这些功能。为了执行要求的测量任务，客户机从测量服务器那里请求时隙。时隙的分配方法允许多个客户机与一个服务器连接。为了计划在同一时隙中执行多个测量任务，服务器应支持一种“便利的”计划模式。当已预留了请求的时隙时，客户机对服务器时隙的请求移至第一个可用的时隙。服务器可以在一个规定的时间窗口内寻找可用的时隙，典型地为几分钟。测量服务器执行请求的测量任务，使用适当的进度和优先级算法来解决任何进度冲突，并在客户机请求测量结果之前，对测量结果进行保存。对于某些测量类型，服务器拥有记录伴随这些请求之测量任务的信号音频的容量。

图3-41

测向导航显示与地图示例



Spec-3-41

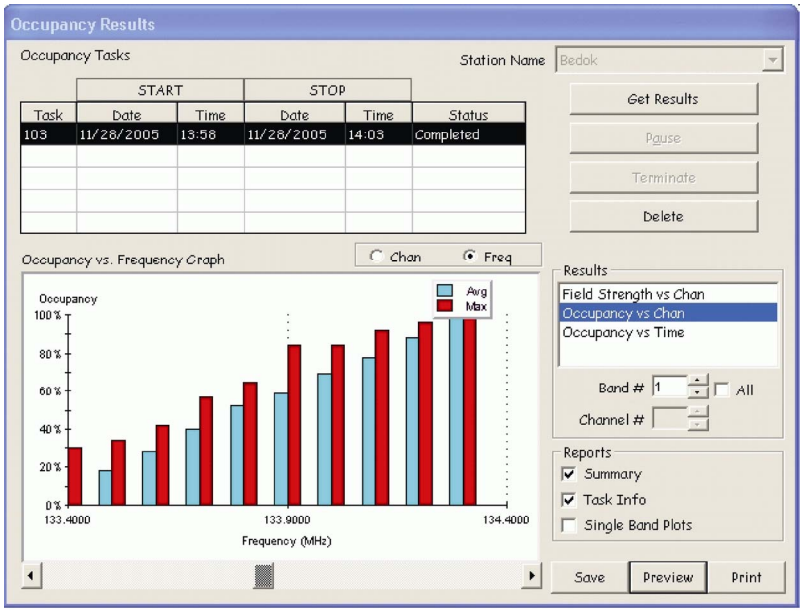
后台模式用于执行诸如频谱占用率和自动违例检测等任务 — 这些任务要求长时间的收集数据。对占用率测量或者与占用率测量相结合的测向任务（称为“测向扫描”），可以规定宽带扫描，可以对系统进行规划，以便在特定的频率或频率范围上执行自动扫描，一旦检测到信号，就启动操作员规定的活动，如测向或技术测量任务。

后台模式以低于计划模式的优先级进行工作，因此，特定的计划测量任务将中断后台模式，以便使用测量服务器。在完成计划的测量任务后，控制返回至已启动的任何后台模式测量任务。

当客户机请求提供测量结果时，客户机可以查看它们，结果以便利的格式予以显示。大量的信息是用图表方式来显示的，形式包括占用率的柱状图（参见图3-42）、场强－频率图、显示方位结果的地图（参见图3-41）以及其他的图形显示。

图3-42

频谱占用柱状图示例

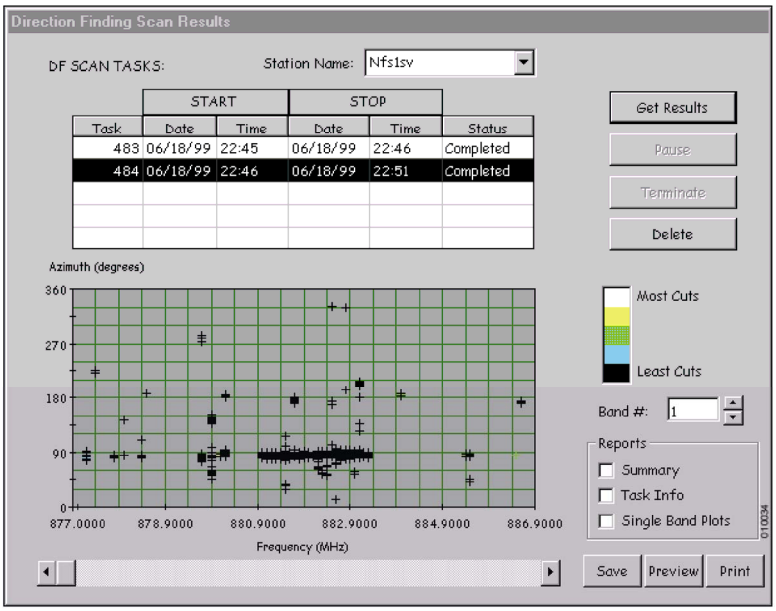


Spec-3-42

这些系统可在许多频率上同步进行测向，并可提供方位角－频率图（参见图3-43），这有助于截获和处理现代化的数字调制；在此类显示图中、来自众多不同频率、相同方位角上的测向结果，是存在跳频信号的一个明显证据。

图3-43

测向扫描显示结果示例



Spec-3-43

相比带有诸如接收机和频谱分析仪等单独设备单元的系统，复杂的客户机/服务器系统可设计得更易于使用。利用计算机显示屏上的任务图标和工具条（操作人员可以通过移动和点击计算机鼠标来访问），这些系统可以变得非常直观和易于学习。对于难以获得合格操作人员的主管部门，简化监测系统的操作是一个非常重要的考虑因素。

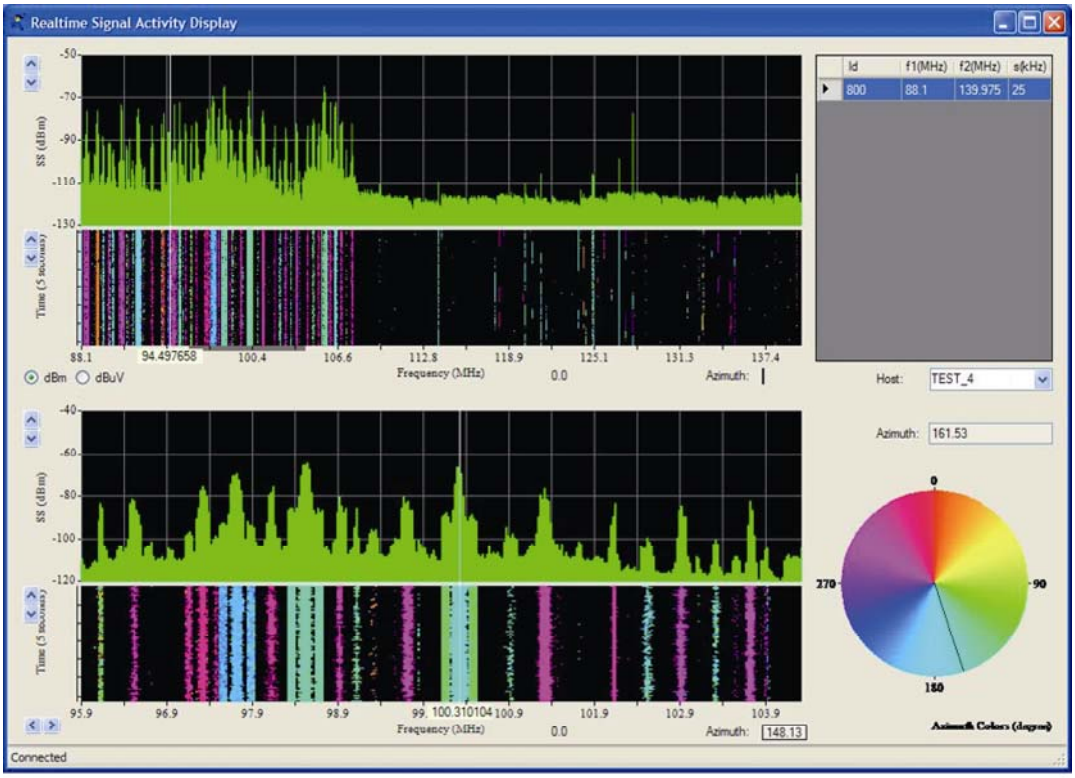
3.6.2.2.2 宽带宽自动显示示例

基于现代DSP技术的测量服务器能够提供非常宽的瞬时带宽，根据ITU-R SM.1794建议书，可高至20 MHz，并可提供极大的动态范围，从而使该带宽中的强信号不会妨碍带宽中弱信号的接收和处理。具有非常宽瞬时带宽的自动化系统，能够以非常快的速度扫描频谱、自动调谐接收机和收集占用率数据，能够进行非常频繁的重新访问和刷新数据显示，以便操作人员能够更好地理解无线电频谱。它们能够高效地获取和测量间歇、宽带和频率捷变信号，在用窄带系统进行监测时，这些信号可能以噪声形式出现。为了能在较窄的测量带宽时提供最佳性能，可自动选择一个较窄的瞬时带宽而不是较宽的带宽，这样可以降低噪声并提高*S/N*。

操作人员可以查看一个非常宽的带宽全景显示图，以提高其定位干扰源和识别正在监测之信号与干扰类型的能力。图3-44显示了一个典型的全景显示图。这种特殊的显示图可覆盖50 MHz的频谱，在显示屏上方带有一个全景显示图，下方则显示过去5秒钟内的信号活动情况，信号依据其到达方向用不同颜色进行标记。根据操作人员的命令，用颜色标记的到达方向显示图可以变为显示用颜色标记的信号强度图。显示图的底部提供了一个放大的全景显示图和频谱显示图，在这些显示图中，操作人员可简单地点击上方的显示图，以指明要放大的频率范围，系统将自动产生一个放大的显示图；在这一图例中，上方显示图中的8.5 MHz部分已被放大，填补了可用于显示的水平区域。显示图实时、连续地更新，频谱显示图及时、连续地推进，以显示当前的信号活动情况和到达方向。

图3-44

非常宽的带宽测量的典型显示图

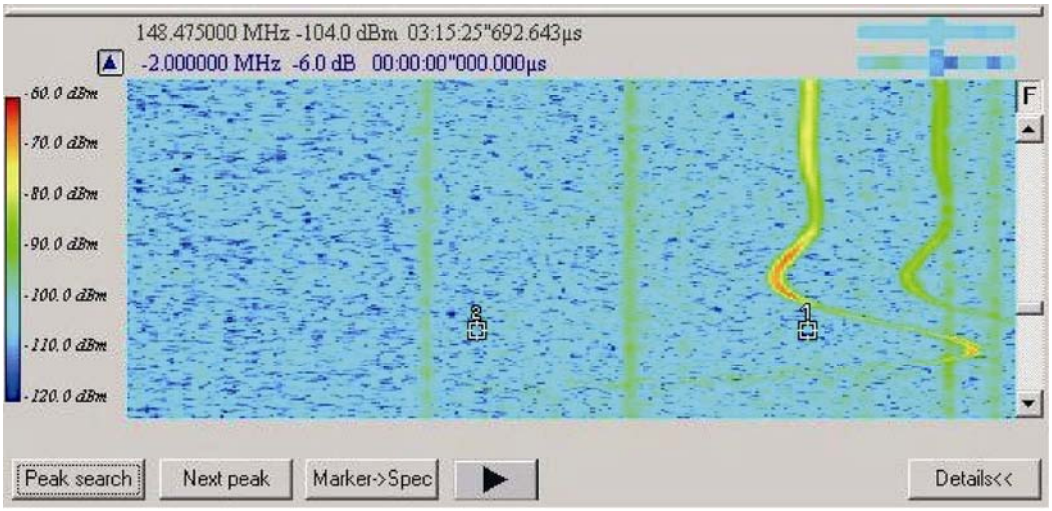


Spec-3-44

图3-45中显示了一个不稳定的发射机信号。只有宽带接收机可检测到此类对邻近信道信号会构成骚扰的信号。窄带接收机要么过慢而无法检测到这些信号，要么过窄而无法察觉到这些信号的波动。

图3-45

由宽带接收机检测到的、波动非常迅速的宽带信号的典型显示图

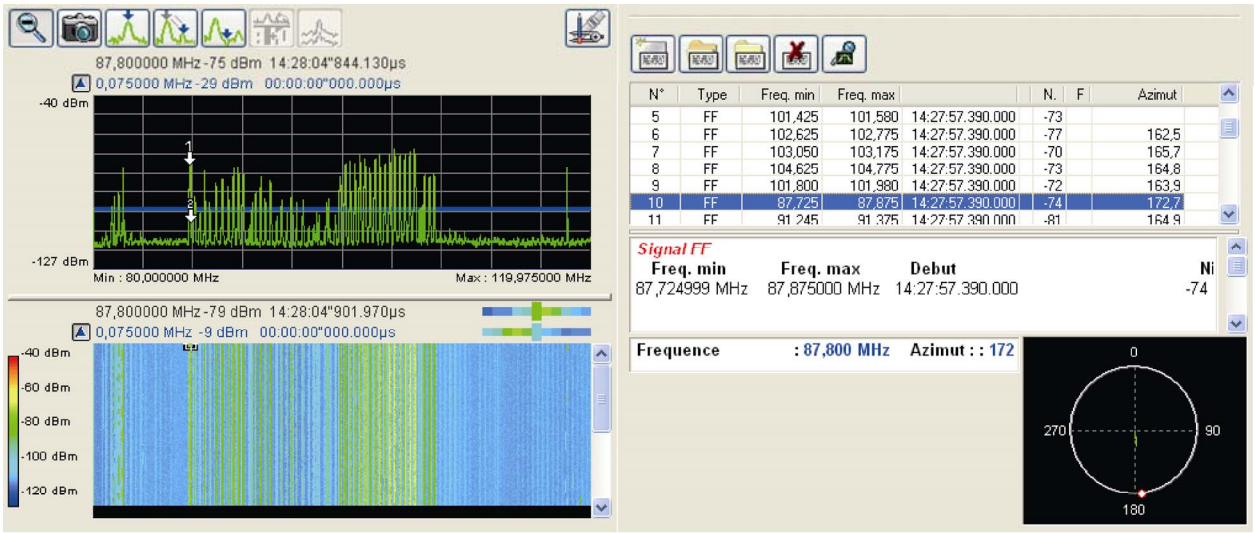


Spec-3-45

操作人员可以看到一个非常宽的带宽全景显示图，这改善了它们定位干扰源和确定所监测信号与干扰类型的能力。图3-46显示了这样一个显示图，显示了一个实时、瞬时的40 MHz带宽，不带任何扫描。宽的瞬时带宽能够在几微秒的时间内检测到持续时间非常短的信号。

图3-46

非常宽的带宽测量的典型显示图



Spec-3-46

DSP在为将来监测系统增大性能方面提供了巨大的灵活性。如果出现了需要进行特殊处理的新的信号类型，或者需要新的带宽，那么通过改变监测系统的计算机软件，就可以将它们添加到基于DSP的系统中。

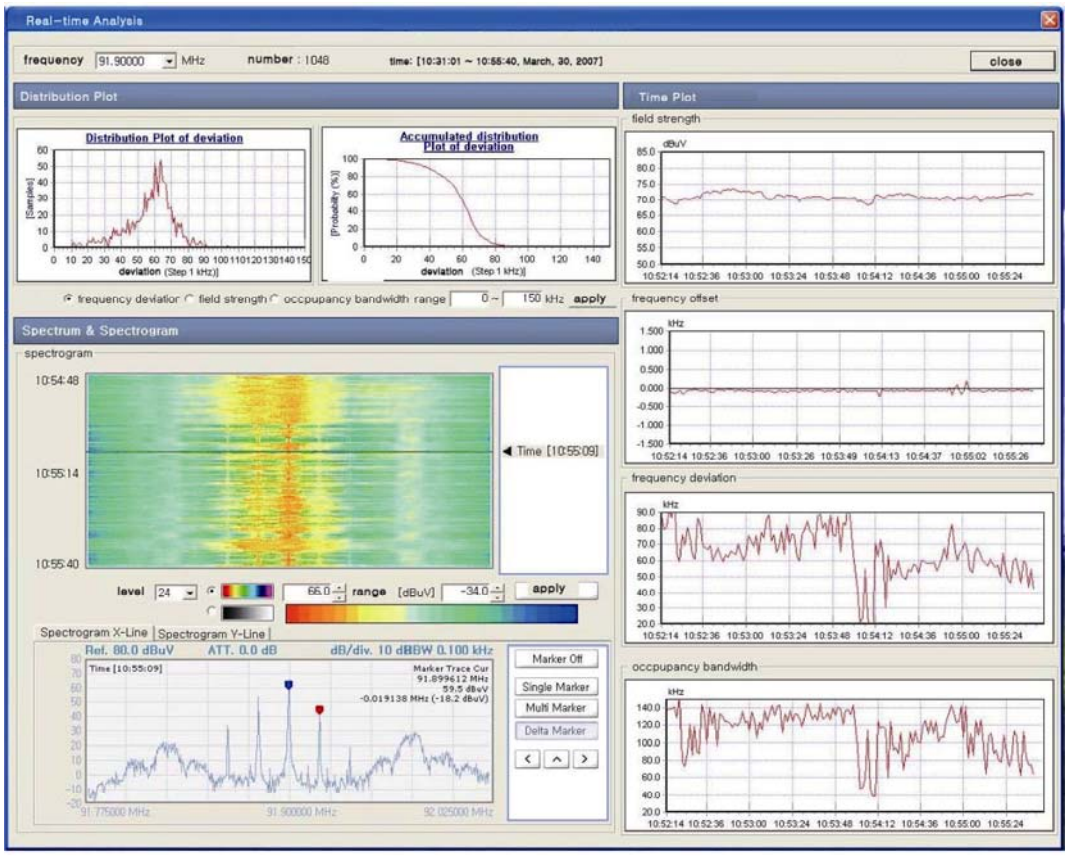
3.6.2.2.3 对测量结果进行分析示例

自动化监测站可以具备分析测量结果的运行模式。该模式用于分析在不同条件下来自各测量设备的测量结果。在频谱管理中心可执行此类分析任务。

无线电质量测量结果用图形方式进行显示，其形式包括测量值（场强、频率偏移、频率偏差、占用带宽）－时间图、偏差分布图，或者偏差与光谱的累积分布图。图3-47所示是一种典型的光谱显示图。测量值－时间图最适合用于短时间上的分析，而偏差分布图或偏差累积分布图则适合用于较长时间上的分析。

图3-47

实时分析测量结果的典型曲线图



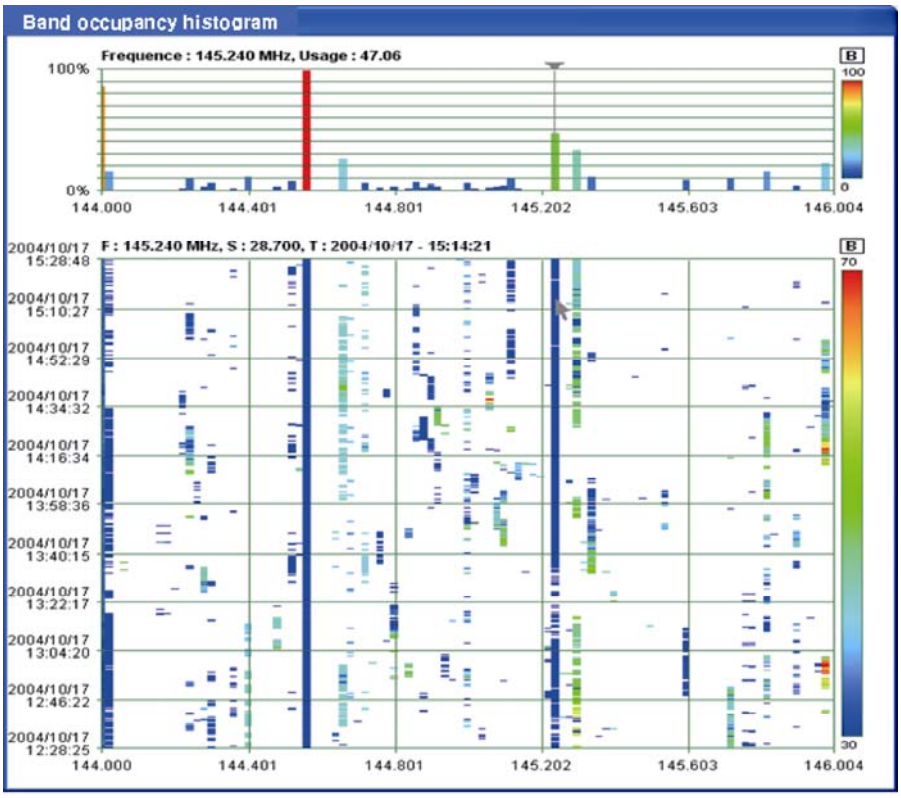
Spec-3-47

频带占用测量结果可以在一个时间－频率图上进行显示；场强用颜色进行图形化显示。图3-48所示是一个典型的显示图。带有信号光谱图的频带占用柱状图显示了信号出现率、频谱占用率和场强。

使用迅速产生的频谱测量结果，通过各种各样的功能，可以执行频谱分析任务。频带与频率分布图进行比较，信号频率根据标记指示进行显示。图3-49所示是一个典型的显示图。测量结果和分析结果用于预测干扰的可能性以及检测到达的无线电波。

图3-48

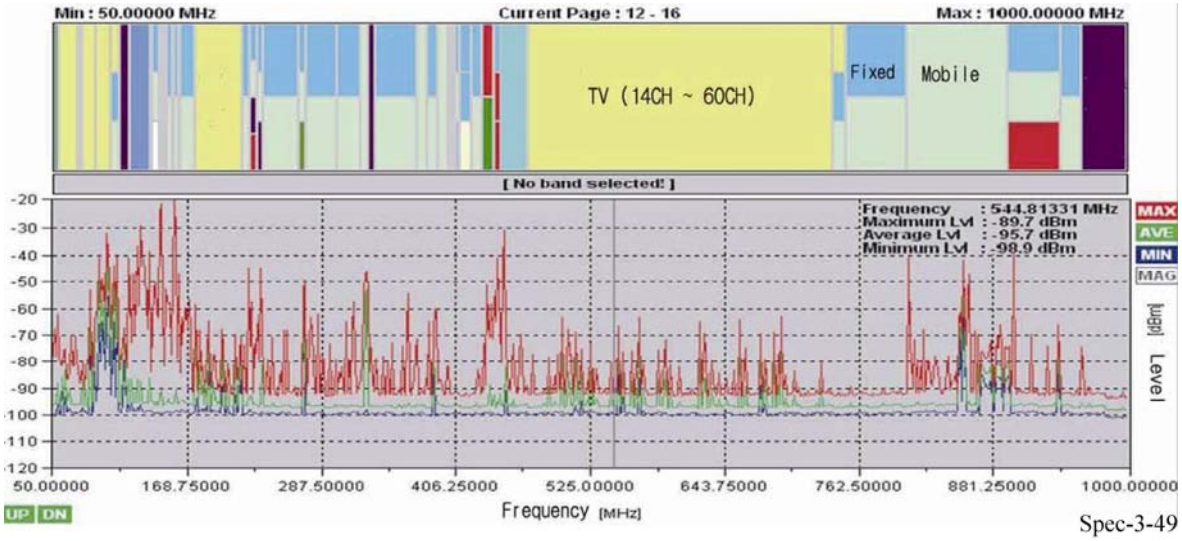
带信号光谱图的频带占用柱状图



Spec-3-48

图3-49

相比频率分布图的频谱频带



Spec-3-49

3.6.2.2.4 带快速频谱扫描、瞬时测向和操作员警报的实时操作

在某些频带上可以随时保持对无线电发射活动的实时控制是一个基本的要求。这包括迅速识别和定位合法的发射机，以及迅速识别、定位和消除干扰源。要求进行此类保护的频带的例子包括航空频带、航海频带以及各种各样的紧急信道，它们对于搜索和营救行动是至关重要的。这类频谱保护要求无线电监测系统能够实时运行，并能对频谱进行快速扫描，对所有活动的信号能够进行瞬时测试测量。当在任何紧急信道上对信号活动情况进行检测时，系统需能向本地或远程操作人员发出实时警报。

将信号搜索、测向和监测功能集成到一个单一的处理器上，将使在所有检测信号上同时进行快速频谱扫描和测向测量成为可能。典型的系统在一秒钟内至少可以十次重新访问几十个海事移动和紧急信道，并能检测和测量短至10 ms的信号。

为几十个信道同时测向，测量结果在操作员显示器上实时进行显示。用于选定信道的方位线（LoB）在一个大的数字地图和极坐标柱状图上进行显示。如果两个或多个监测站在网状配置中运行（如第3.6.3节所述），那么系统将在操作员工作站上不仅显示LoB，而且显示对应发射机的三角测量定位结果。该操作将由系统自动执行，无需操作员的任何干预，开始发射后，在几分之一秒内，对位置的估计将显示在操作员的显示屏上。

所有的测向测量结果都可自动存储在操作员工作站上的本地数据库中，并在那里保留一段合理的时间，如48小时。操作员可从其工作站计算机中执行一系列功能，包括：

– 持续监测信号的活动情况、LoB以及在其所有分配信道中的方位；

– 冻结测向结果，并创建一份发射机位置报告，该报告自动保存在其本地数据库中；

– 核查和回放存储在其计算机中的测向结果和方位；

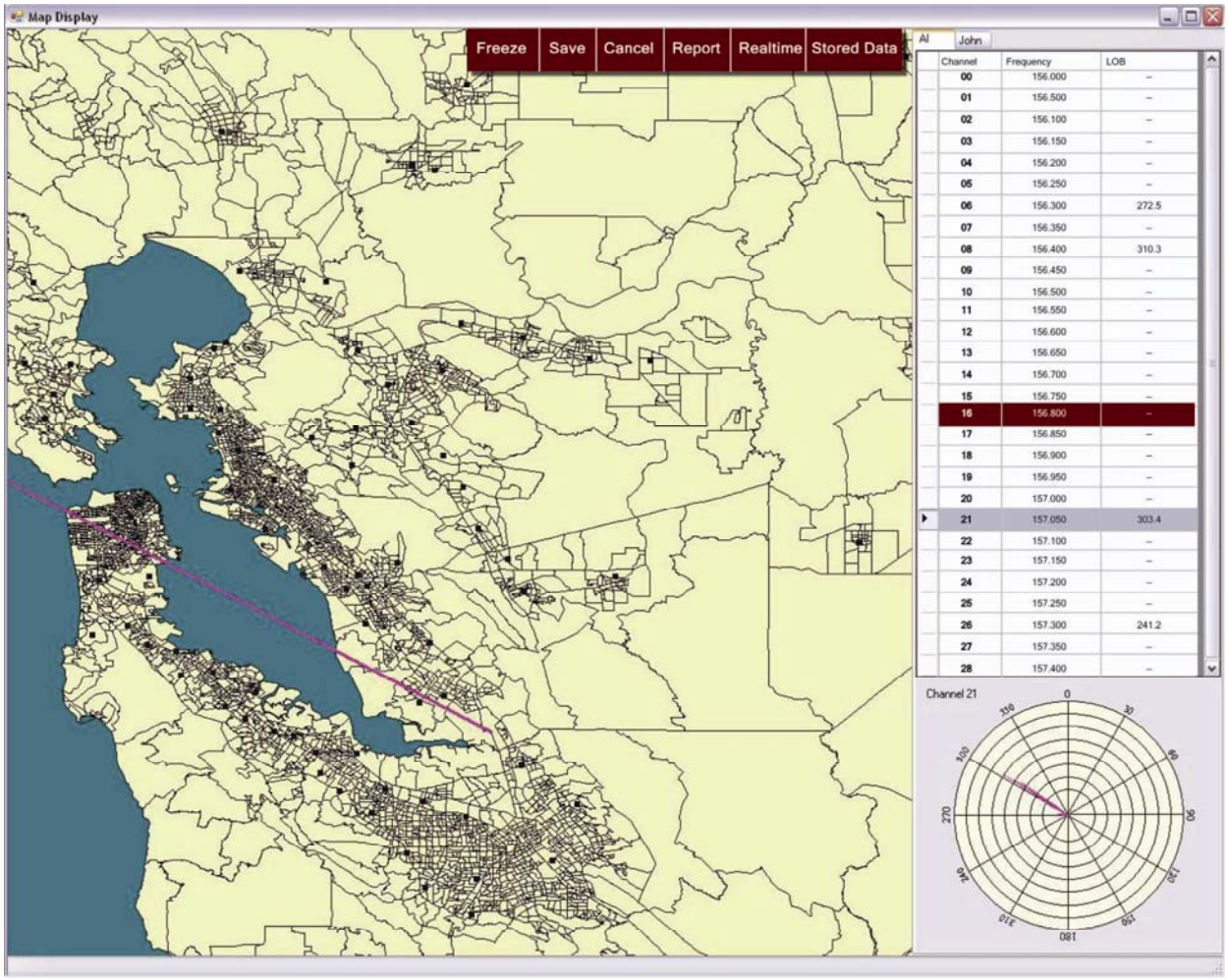
– 核查存储在其计算机中的测向结果，并创建信号活动情况列表。

图3-50显示了一个在海事频带中利用快速频谱扫描和瞬时测向功能进行实时操作的例子。为多达29个信道实时、同时测量LoB，测量结果以数字形式显示在显示屏上（右上角）。选定信道的LoB在地图上（左侧）和极坐标柱状图上（右下方）予以显示。在这个例子中，操作人员选择了21个信道进行监测，因此，这是显示在地图和极坐标图上的LoB。屏幕上方显示了操作人员可以使用的特殊功能键。

图3-51显示了当一个信号由多个无线电监测站进行测量时的情形。在这个例子中，有两个无线电监测站。系统自动计算方位，并在地图上实时显示计算结果。

图3-50

为众多信道同步测量的、实时刷新的测向结果（右上）；
针对选定信道的，在地图上显示的LoB（左）以及在极坐标柱状图上显示的LoB（右下）



Spec-3-50

图3-51

为多个站测得的信号实时自动计算和显示定位信息

Spec-3-51

这一软件允许操作员定义若干“高优先级”的信道。如果在任何高优先级信道上检测到任何信号的活动，那么软件将自动在屏幕上向操作员发出警报，在工作站上，它发出一个听得见的报警信号，可设定向一个外部电子邮件地址或手机号码发送一条消息。

3.6.2.2.5 测向导航自动化示例

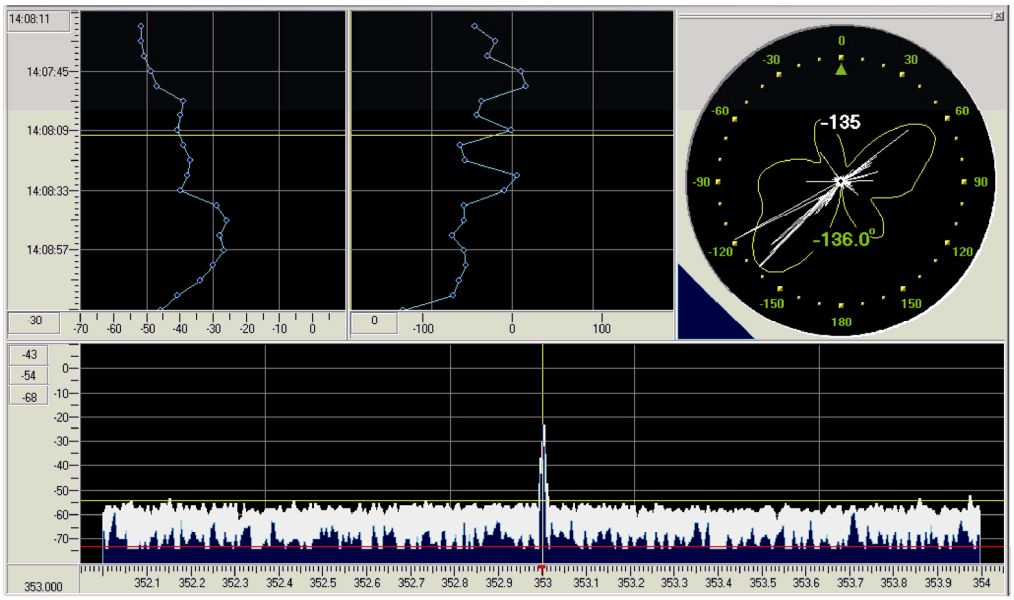
进步的监测自动化软件[Rembovsky等，2006年]还为统计处理提供在移动监测站上持续获得的方位信息，从而简化操作人员与搜索信号发射机相关的作业。

图3-52显示了一个典型的、工作于某个感兴趣信号上的设备控制软件显示窗口。它包括幅值历史图（位于图3-52的左上角）和方位历史图（位于图中间）。两个图具有共同的时间坐标。幅值历史图的横坐标是方位信号的电平（dB），而方位历史图的横坐标是方位角（°）。

历史图可使操作人员实时跟踪信号的幅值和方位变化。此外，窗口右上方的圆形图同步显示瞬时方位值和方位分布密度曲线（方位柱状图），其最大值对应最可能的信号到达方向。方位分布曲线最大值的方向变化情况反映在方位历史图上。在强干扰的情形中，最大值的角度值显示了测向仪的首选移动方向。

图3-52

导航模式中的程序窗口



Spec-3-52

图3-52中的幅值和方位历史图为实时导航提供了非常有用的信息。在这个例子中，信号幅值从－50 dBmV逐步递增到－30 dBmV，而在这期间（在图3-52中，从14.07.45到14.08.45左右），图开头处显示的方位值确认了移动监测站向信号发射机靠近。然后（在图3-52中，从14.08.45左右），信号发射机位于车辆左侧，原因是方位已经系统地转换至左侧，并且信号幅值开始系统地降低。为了定位信号发射机，移动监测站应旋转180°，然后再转回来，并寻找在监测站右侧的发射机。

用幅值和方位历史图进行导航的优点很多，包括可靠性更大、搜索时间更短、由周围物体引起的错误影响得到降低，原因是移动监测站不断在移动，而通向信号发射机的最有可能的方向取决于对连续获得之方位数据的统计处理。

3.6.2.2.6 自动现场搜索电磁辐射源

配备了高速相关/干扰仪测向系统的移动站，能够提供测向信息（方位角和仰角），可用来定位发射设备、HF用户或医疗设备，以及其他的无线电干扰源[Ashikhmin等，2003年]、[Rembovsky等，2006年]。移动站还应配备一个摄像机和定制的软件。

针对特定频率范围而建立的检测会话包括三个步骤：

第1步：编辑原始数据帧；

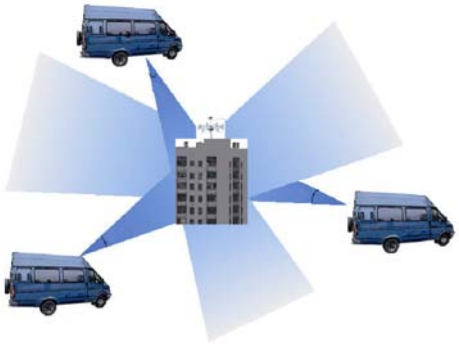
第2步：分析帧和确定有待进一步细致研究的频率；

第3步：分析列表中的频率，并准确确定辐射源的位置。

移动站置于正在研究之站点附近的几个位置上，其他站置于比较远的位置上（图3-53）。对每个位置，收集一“帧”的原始数据。这些数据包括：频谱和方位全景（频率、电平、方位角和仰角）、描述站点角边界的站点数码相机图片，从监测站的位置来观察。在市区，由于多径传播效应和其他本地效应，方位分析依赖概率方法。理想情况下，应选择一个适当的位置，使研究的站点处于视距（LoS）内，并且要求移动站附近不存在任何高的建筑物或大的金属结构。来自不同位置的帧使用得越多，定位的精度就越高。

图3-53

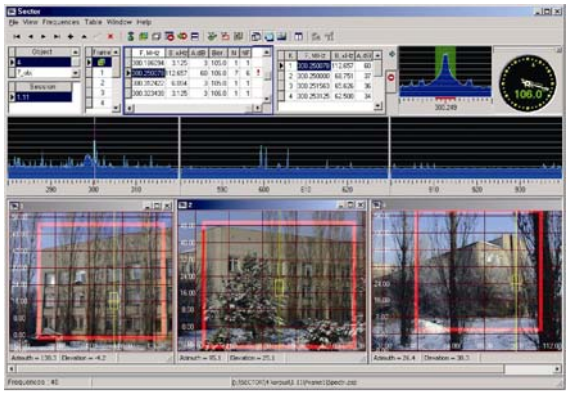
对应若干帧的、移动站的一次操作会话



Spec-3-53

图3-54

第二步之后的、分析模块屏幕的显示图



Spec-3-54

在第2步期间，收集到的原始数据用于获取一个频率列表，应依据以下准则对列表进行研究：在某个频率上测得的方位角与仰角应在两帧或多帧的站点角边界内；从某个遥远位置上测得的信号电平远弱于来自附近位置上测得的信号电平。图3-54 所示是依据遥远位置上的三帧和附近位置上的三帧而获得的频率列表的软件屏幕显示图。该程序显示了在紧邻站点的位置上获得的站点数字图像。对其进行分析，就可确定在300.25 MHz频率上发射的信号，它出现在全部六帧中，其到达角处于站点角边界内。最可能的发射机位置是靠前的四个（从左算起的第四个或第五个窗口）。

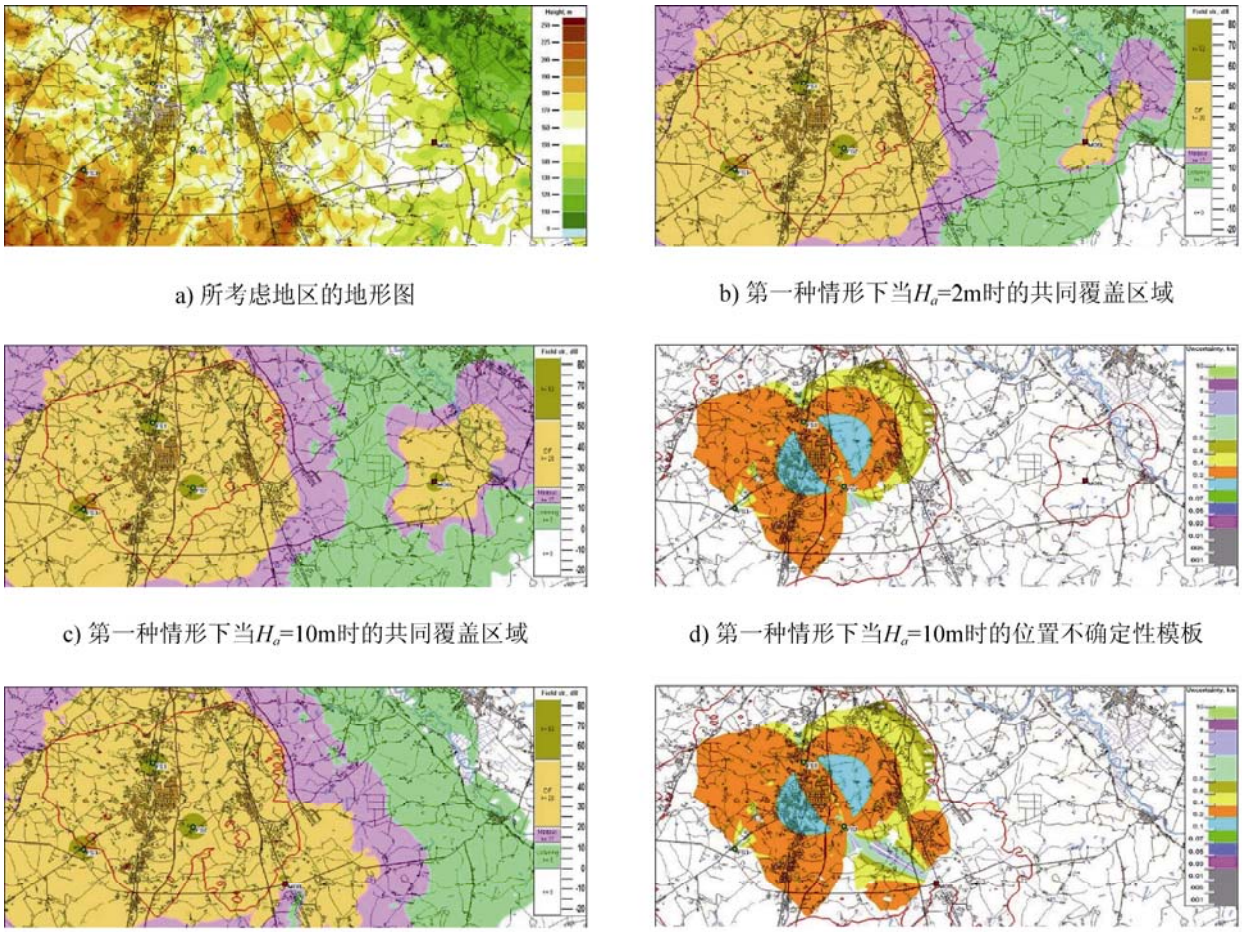
在第3步期间，根据位置附近的测向结果来分析频率列表。测向数据实时地叠加于站点视频图像上，信号由操作员进行侦听。为了增大可靠性，可在几个位置上安装监测站。

3.6.2.2.7 VHF/UHF频谱监测站覆盖范围可视化

实践表明[Bondarenko等, 2008年]，用于规划和设计频谱监测网络的方法[Kogan 和Pavlyuk，2004年]及相关软件（参见《频谱管理计算机辅助技术手册》（2005年版）第5章中的“案例研究9”），可以成功地用来将运行期间的VHF/UHF固定监测站、尤其是移动监测站的覆盖范围的自动实现可视化。该工具还能确定固定监测站和移动监测站在执行各种各样监测功能时的交互条件，从而提高监测站的运行效率。

图3-55中显示的例子描述了这些功能。使用在[Kogan 和 Pavlyuk，2004年]中所述的一组输入参数，可以进行计算。

图3-55



a) 所考虑地区的地形图

b) 第一种情形下当H_a=2m时的共同覆盖区域

c) 第一种情形下当H_a=10m时的共同覆盖区域

d) 第一种情形下当H_a=10m时的位置不确定性模板

e) 第二种情形下当H_a=2m时的共同覆盖区域

f) 第二种情形下当H_a=2m时的位置不确定性模板

Spec-3-55

图3-55 a）显示了考虑中的地区地形。它包含一些高度差达到120 m的小山丘。让我们假设城市周边有三个固定的监测/测向站（FS1、FS2和FS3），其测向不确定性为1° r.m.s.，以及一个测向不确定性为2° r.m.s.的移动站（MOB）。也就是说，在前一种情形中，最初确定的站点离固定站组相当远。

图3-55 b）和图3-55 c）显示了当一号移动站的位置远离固定站组时所有站点的覆盖范围。图3-55 b）对应移动站天线高度H_a = 2 m（安装在汽车顶部），图3-55 c）对应天线高度H_a = 10 m（架设在天线杆上）。测向覆盖范围内的红线显示了由三角测量法测得的区域边界。

图3-55 b）和图3-55 c）还表明，在该位置上的移动站，与带有固定站的本地联合监测网络相连，只有在相关覆盖范围交叉的区域内执行侦听功能时，才能与它们交互。把天线杆升高到10 m将显示，除了站点，所有监测功能的覆盖范围都将得到极大提高。

图3-55 d）显示了站点覆盖模板，其外部边界对应图3-55 b）和图3-55 c）测向覆盖范围中的红线。模板中不同颜色的区域表示站点不确定性的等级（km），这与图右侧颜色索引表示的意思是一致的。移动监测站根本不会影响这个模板。在这里，外部的红线对应图3-55 b）和图3-55 c）提供之联合测向覆盖范围的边界。

图3-55 e）涉及第2种情形，显示了当带有2 m高天线的移动站置于离固定站组非常近的一个小山丘顶部时，所有站的覆盖区域。计算表明，在这种情形中，架设10 m高的天线杆不会显著改善其性能。

在第2种情形中，固定站和移动站的测向覆盖范围交叉，这意味着固定站和移动站可以使用位置三角测量功能进行交互。图3-55 f）显示了这种情形，显示了该模板在东南方向上的扩展。更多详情和解释可在[Bondarenko等，2005年]中找到。

以上简短的描述表明了监测覆盖范围可视化工具的极大潜力，它们用于支持固定监测站、尤其是移动监测站的日常操作。有了这些工具，监测站的操作人员就多了一双“眼睛”，可以通过不同的监测功能，以及通过在发射期间移动站与最近处固定站之间的交互，查看本地联合网络中单个站或一组站的实际覆盖范围。如今，通过部署高的半静止天线，就可迅速测定移动站能获得的增益，通过它，如果测定在某个特定站点上的增益小得可以忽略不计，那么就可以决定不必把时间花在这上面。这样，操作人员第一次能够完全知晓他们将面临怎样的状况。该技术还能在接手一项实际的任务之前，对移动监测站的今后路径进行研究，并沿路径选择最佳的观测点，使任务能以最快速、最优质的方式完成。

3.6.3 计算机化的监测网络

3.6.3.1 引言

如ITU-R SM.1537建议书以及如第3.6.3.3节描述，频谱监测站应当通过一个计算机化的网络连接起来，并应与主管部门的频谱管理系统联网。频谱管理和监测包括一系列管理和技术活动，它们可以在一个网络化、集成化的系统框架内方便地得到执行。

*频谱管理*活动最终导致授权或权限的发布。为了执行这些管理任务，一个计算机数据库是必需的。该数据库将与许多管理数据和技术数据相结合，如分配的带宽、许可证持有者、设备特性等，构成计算机化自动频谱管理系统的核心。

*频谱监测*使人们能够检查这些频率的使用是否遵守授权或许可证的规定，它还借助移动站，对频谱占用率进行测量。

频谱管理与频谱监测之间存在重要而不可拆分的关系，应当在二者之间保持密切的合作关系，从而使频谱监测任务有助于频谱管理。

频谱管理与频谱监测之间主要的交叉范畴如下所述：

– 频谱管理为辐射监测创建一个有关分配频率的正式列表；

– 频谱管理提供有关待扫描频带和特殊监测任务的基本指南；

– 频谱监测从频谱管理中接收有关特殊任务的请求：例如，对待监测干扰的投诉，以解决问题，并测量待分配频率的占用率。

– 频谱监测能够对技术参数进行测量，并检查发射机在技术上的符合性、确定未授权或不相符的发射机，并检测特殊的问题。

频谱管理与计算机化频谱监测系统的交互可以优化操作，既有利于提高操作效率，又有利于降低系统成本。系统围绕计算机化的数据库进行组织，数据库与个人计算机的使用有关。数据库是所有功能及相关应用的核心：数据更新、记账、频率指派等，以及频率和发射机相关之技术参数的更新。

3.6.3.2 集成的计算机化的国家级系统

一个完全集成化、计算机化的国家级频谱管理和监测系统，依赖一台或多台带有网络的数字服务器，以便整个系统中的工作站或客户机能够访问数据库。管理系统服务器包括一台主服务器，有时还包括一台或多台服务器，用于从主数据库中提取出来的一个数据库和/或专用于某项应用或在本地指挥中心的一个数据库。无论是固定的还是移动的，每个监测站都拥有一台测量服务器以及一个或多个工作站，如图3-39所示。基于通过以太局域网互联的服务器和工作站计算机，每个站使用一个模块化结构。

所有监测站都通过广域网相连。这个完全集成化的系统应使任何位置的操作人员能迅速使用系统中可用的任何服务器功能。图3-38所示的结构框图显示了这一系统配置。

主服务器包含一个关系数据库，该数据库中装有区域级或国家级网络中的管理数据与技术数据，数据内容如国际电联《频谱管理计算机辅助技术手册》和ITU-R SM.1370建议书所建议。一般地，该服务器是一个基于结构化查询语言（SQL）的系统，使具有适当访问权限的用户能够容易地查询数据库。现代化数据库提供了冗余系统，数据定期进行备份。带有分布式计算机网络的数据库允许实施客户机/服务器体系结构和分布式计算机系统：

– 数据库服务器集中进行数据管理，因而提升了安全性，保留了高度的完整性；它包含关于应用、授权、站点、设备、记账、频率分配等方面的数据；对特殊应用，该数据库的一些部分可以有选择地复制到本地或移动的服务器中；

– 管理、监管员和数据录入工作站是一些个人计算机，它们使数据库能装载管理参数和技术参数，这些参数由管理和监测人员用于频率管理、技术管理等任务。

应当为来自现有数据库的电子数据提供数据库软件，如果存在这样一个软件，那么要么是直接存在，要么是通过一个专门准备的数据转换程序。

3.6.3.2.1 自动监测站网络的运行

在集成化系统中，管理系统应当与监测站通过广域网（WAN）相接合，以便能够从远程和本地执行任务，并能够从远程和本地监测站报告情况。监测站的任务包括依据ITU-R建议书进行的系统测量，如在接到一个投诉后，对某个特定频率进行的频谱占用率、信号参数和测向测量。在监测站上接收任务的测量服务器（如第3.6.2.2节所述）自动执行请求的测量任务。此类信息可以以文字数字或图表报告形式提供给监管人员。

监测报告可包括测量结果以及对覆盖范围或区域的地理显示，包括：

– 监测站的位置；

– 已知发射机的位置；

– 有关发射机位置的监测站方位测向结果。

监测站可以是固定的，也可以是移动的，在计算机化的国家级系统中同时拥有这两种类型是有益的。固定监测站适合于长时间地监测信号，或者适于HF，它对天线空间的要求很重要，传播通常是借助天波的远距离传播。市区附近的固定监测站也有助于监测市区中的VHF/UHF。移动的和可移动的监测站适于监测VHF/UHF/SHF（和HF地波），原因是这些情形中都是较短程的传播，测量系统通常必须移至感兴趣的地区中。在必须准确定位非法监测站或干扰源的许多情况下，也需要它们。

3.6.3.2.2 远程访问系统资源

带有第3.6.2.2节所述之客户机/服务器结构的集成化、网络化的多任务系统，通常能够使任何站点上的客户机访问任一或全部测量服务器上的资源，既包括与客户机处于同一位置上的服务器，也包括其他站点上的服务器。这样，任何指定的操作人员都可以使用多站网络中的所有资源，只要操作人员具有访问所有这些资源的适当权限。

监测站可以从频谱控制中心、频谱管理中心、本地指挥中心的一台工作站上或者从监测站本身的一台工作站上进行远程控制，监测结果可以回报给该工作站。假如现场无需经验丰富的监测操作人员，那么这种远程控制可使频谱监测操作人员只需从一个中心监测站进行操作，而不必亲临遥远的监测现场。重要的是要注意到，操作人员仍需对测量数据进行分析，并在将任何数据录入中央数据库之前对它们进行验证。

监测站之间可用的通信链路，只需在客户机向远程服务器分配任务时以及之后当客户机请求其任务执行结果时可用即可；只要在分配任务时通信链路是可用的，即使之后它们变得不可用，测量结果也不会丢失，而是保存在测量服务器上，直至被请求。

3.6.3.2.3 自动违规检测

集成化频谱管理和监测系统可以对监测系统的测量结果与管理系统的授权信息进行比较，以便执行自动违例检测任务 — 识别其上存在发射机的频率是否未在授权数据库中，并识别发射机是否未以其授权的参数进行工作。自动违例检测使操作人员能够通过规定待搜索频带的起始频率和终止频率，来确定所监测的范围，并规定包括搜索时间期限在内的搜索参数。

系统应当能够在规定的频率范围上、在规定的时间期限内执行扫描任务。系统使用来自扫描的测量结果，而后使用在授权数据库中的信息，来确定所测频谱中哪些信号未在授权数据库中，因此自动提供一个未在数据库中的在用频率列表。系统还应当检查其他的信号参数，如带宽、相对授权之中心频率的调制偏差，并在发现违例时发出警报或报告。因此，要么根据缺省的准则，要么根据操作员已经规定的准则，这些报告警示操作人员，出现了意料之外的信号或不符合要求的信号，并为操作人员更深入的检查提供依据。自动违例检测结果，包括相对频率或信道而言的未授权或不符合要求之发射机的信息，显示在结果显示屏上。类似于图3-41的一张地图，可以显示出授权站的位置，并指出未授权或不符合要求之发射机的位置。

为了有助于自动违例检测过程进行，并确保它是可运行的，即使在各站、各客户机中的通信不可用的情况下，无论是在固定站中还是在移动站中，都应在其操作范围内保持授权站自身的数据库。该数据库应从管理系统数据库中获得。利用该本地数据库，每台客户机可以继续运行，并执行自动违例检测任务，即使通信是不可用的。

3.6.3.2.4 一个控制站操作多个监测站的无线电监测传输协议示例

无线电监测传输协议（RMTP）不断发展，使得本地或远程用户的单一控制站可以操控由不同设备供应商提供的、独立的远程固定监测站和移动监测站。由于制造商通常认为其通信和控制协议是专属的，因此，创建了由控制中心使用的标准消息协议，并鼓励制造商提供与该标准控制中心协议的接口。图3-56显示了该软件的结构。

图3-56

监测网络软件结构

Spec-3-56

控制中心可以获得在线的各种各样远程监测站的状态，打开窗口控制其接收机，并为远程站设定其他的任务参数、请求进行技术测量和测向测量、在指定的频带上使用指定的带宽进行扫描，并执行其他典型的监测系统功能。

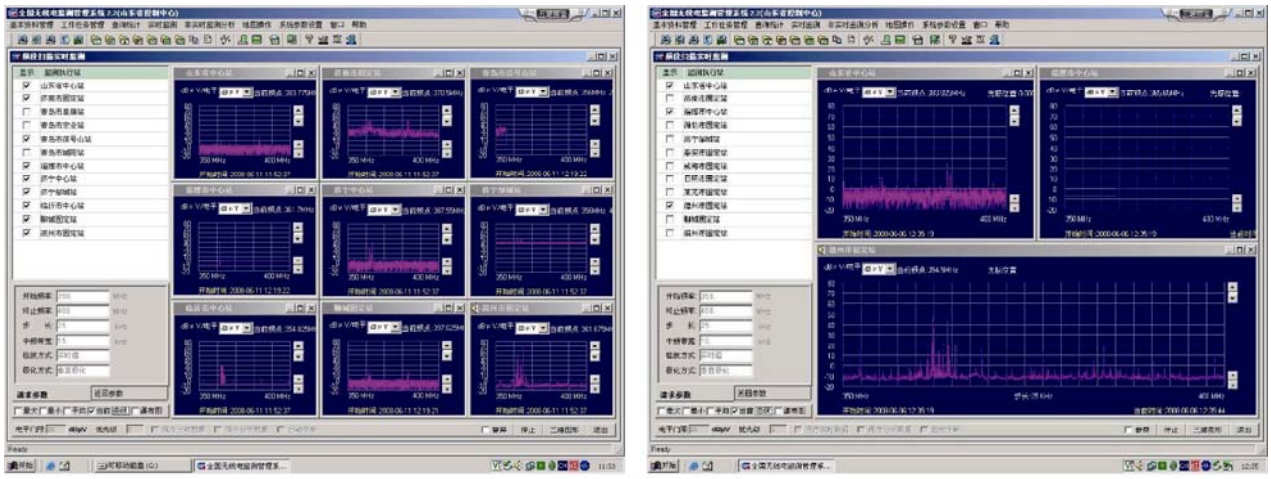
控制中心可以获得测量结果、在地图上显示测得的测向和位置信息、查看全景显示器（假如通信信道具有足够的带宽来实时更新全景显示器）、查看频谱显示，瀑布显示图和其他频谱监测数据。控制中心可以将测量结果与授权数据库进行比较，以确定在哪些频率上可能存在未授权的站，并找到未被使用的授权频率。

尽管监测数据可以在不同制造商提供的设备上来测量，但数据全部都是从使用RMTP的远程监测站上获得的，并都在控制中心的显示屏上显示。图3-57是控制中心显示屏的两个例子；左侧是由不同制造商生产的接收机产生的、9个不同远程监测站的9个频谱显示，右侧是3个频谱显示。在某些情况下，由于一些监测站与其他站相距遥远，因此频谱是不同的。在两个屏幕上，左上角都提供了所有在线监测站的列表，选中它们用来执行某些监测或测向任务，而左下角可以录入参数，包括起始，终止和步进频率、带宽、极化、解调等。

虽然这个例子是某国中监测站的例子，但不同国家的网络站都可使用相同的RMTP，以使它们可以从一个或多个控制中心进行控制。这将使不同国家的主管部门能够共享资源，例如，使用其他国家的测向仪，帮助改善确定未授权发射机的定位精度。

图3-57

从9个（左图）和9个（右图）监测站中测得的频谱示例



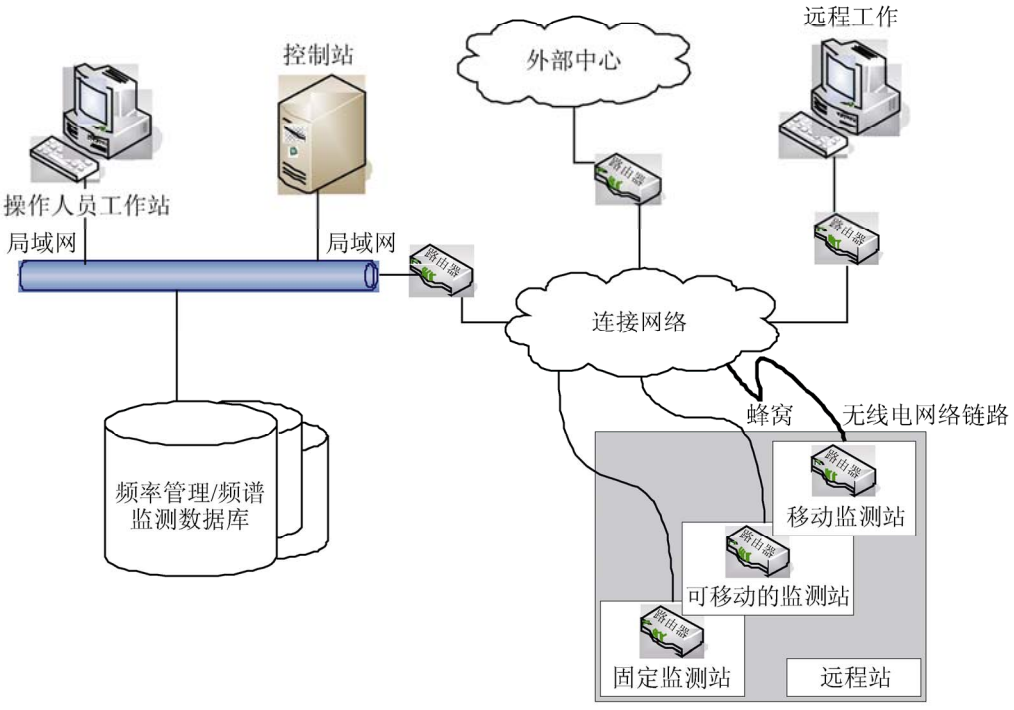
Spec-3-57

3.6.3.3 HF/VHF/UHF自动系统示例

对本例中的频谱监测，有一个由多个远程站组成的技术监测网络（参见图3-58），这些远程站通过一个标准的通信网络与控制站相连。

图3-58

HF/VHF/UHF 计算机化系统示例



Spec-3-58

构成该系统的各种不同单元具有以下特点：

a） 操作人员工作站负责执行无线电监测任务，这在本手册的第2章中予以描述。

b） 控制站负责管理和监测系统、规划和分配资源、消息路由、错误模式管理和系统时间管理。

c） 远程站可以包括不同的监测设备，以确保完成部分或全部监测任务，这在本手册的第2章中予以描述。

在各种不同的频带上，可以建立四种类型的远程站：

– 由人控制或不由人控制的固定站；

– 位于移动庇护所并通过固定或无线数据链路与控制站相连的可移动站；

– 放在车辆中并通过固定或无线数据链路与控制站相连的移动站；

– 放在箱子中并通过固定或无线数据链路与控制站相连的便携式站。

所有这些站都完全自动化，并由运行控制中心的操作人员进行监管。对每个监测站，开发了两种不同的工作方式：

– 首先，可对站进行在线控制，使操作人员能够以对本地站类似的方式来使用远程站；

– 其次，远程站能够以预定模式或批处理模式运行，因而能够载入一组参数，以便在指定期限内自动执行测量任务。

图3-59所示是HF/VHF/UHF远程站的一个例子。

3.6.4 自动系统中的报告设备和软件

现代化频谱监测系统中的报告由计算机软件生成。它们基于测量结果，但可以引用在频谱监测和频谱管理数据库中可用的不同数据记录。应有大量报告可用，包括原始跟踪信息、按日期或频带进行的载波分析、信道占用情况和可用性统计数据、消息长度统计数据、信道功率统计数据、系统和警报日志，以及监测计划和进度报告。图3-60显示了一份典型的由计算机生成的报告。系统应当能够根据操作人员的要求，调整或定制报告。

报告应当自动地从任何结果显示屏中产生。操作人员规定涉及的报告类型以及要使用的测量数据；操作人员激活“报告”功能，在其显示屏上自动生成文本报告。图形报告通常是用于检验数据的首选方法，原因是它们从数据角度总结了信息，并使之更易于确定趋势和异常。通过颜色的使用，甚至在单个图中也可传递更多的信息。

无论是位于移动单元、固定站中，还是位于管理系统中，一个现代化的系统都应能提供同样的自动化报告能力，基于不同站点中的数据远程创建报告的能力也是典型系统软件的一个组成部分。

图3-59

HF/VHF/UHF远程监测站示例

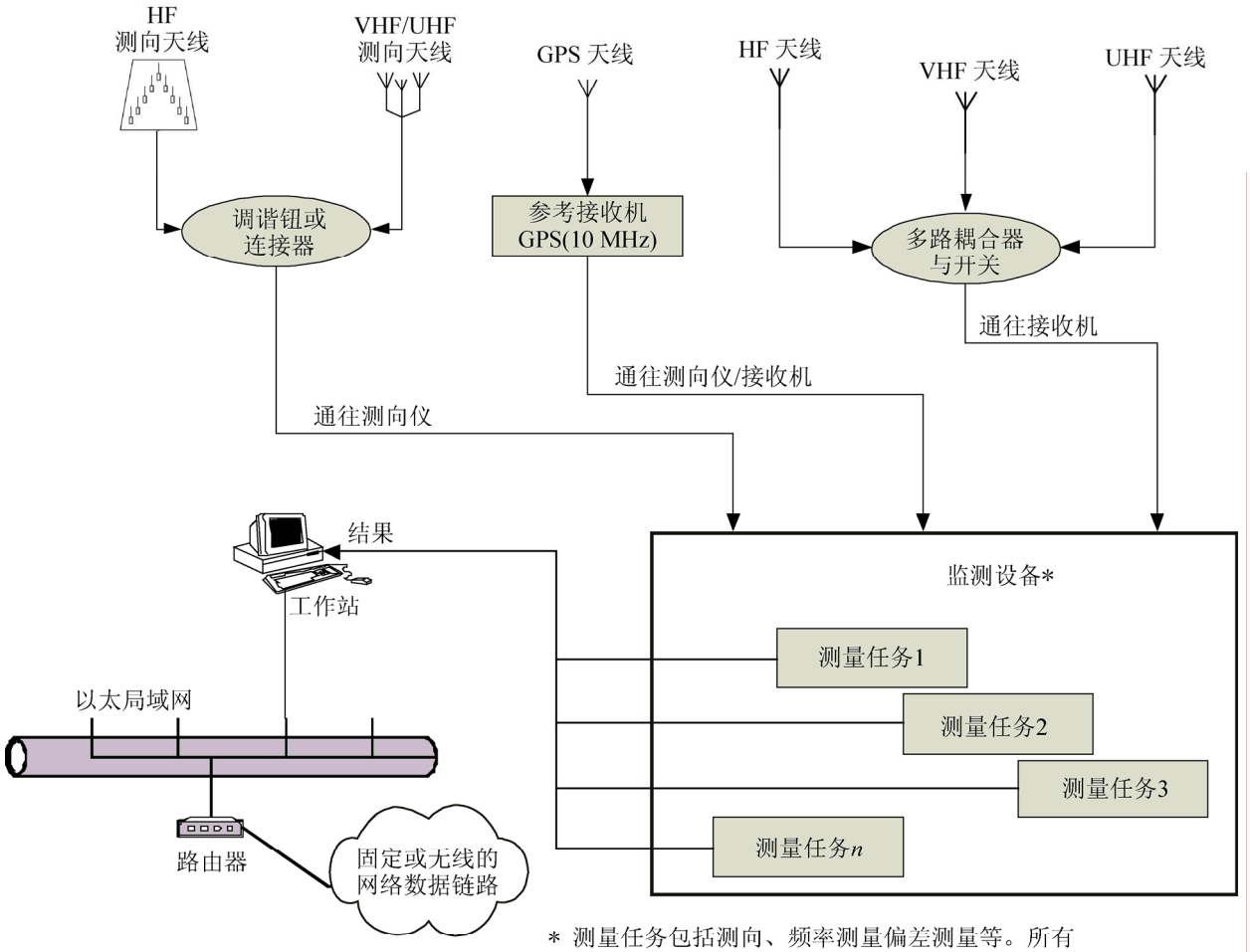


图3-60

典型的计算机生成的频谱占用报告的一部分

占用－信道

任务编号：	676	储存间隔时间：	15 s
操作员ID：	TRNI	消息长度：	15 s
计划时间：	2/12/01 6：01：02 PM	阈值方法：	噪声到达10 dB
完成时间：	2/12/01 6：01：02 PM	持续时间：	固定的：30 min
起始频率：	88.100000 MHz	频带编号	1
终止频率：	107.900000 MHz	带宽：	50 kHz
站点位置：	S 23 24'47.5" W 142 0'59"	信道数目：	397

信道：	频率：	最大占用：	平均占用：
•			
•			
21	89.100000	0	0
22	89.150000	4	0
23	89.200000	4	0
24	89.250000	80	53
25	89.300000	100	99
26	89.350000	76	51
27	89.400000	4	0
28	89.450000	0	0
29	89.500000	0	0
30	89.550000	0	0
31	89.600000	4	0
32	89.650000	9	0
33	89.700000	57	32
34	89.750000	14	2
35	89.800000	4	0

Spec-3-60

参考文献

ASHIKHMIN, A., KOZMIN, V., SHADRIN, I., STOPKIN, V. and ZHUKOV, A. [2003] Detection of EM-Wave Transmitters by means of Mobile Radio Control and Direction Finding Stations. *Spetsialnaya Tekhnika*, **5**, (http://www.ircos.ru/eng/articles.htm).

BONDARENKO, K., KRUTOVA, O. and PAVLYUK, A. [June, 2008] Visualization of coverage areas of VHF/UHF spectrum monitoring stations in the course of their routine operations. Proceedings of the Nineteenth International Wroclaw Symposium on EMC, Wroclaw, Poland.

KOGAN, V. and PAVLIOUK, A. [June, 2004] Methodology of spectrum monitoring networks planning. Proceedings of the Seventeenth International Wroclaw Symposium on EMC, Wroclaw, Poland.

REMBOVSKY, A., ASHIKHMIN, A. and KOZMIN, V. [2006] *Radiomonitoring: Problems, Methods and Equipment*. Moscow, Goriachaya Liniya-Telekom press (http://www.ircos.ru/eng/articles.htm).

ITU-R建议书：

注 — 在任何情况下都建议引用最新版本的建议书。

ITU-R SM.1050建议书 — 监测业务的任务。

ITU-R SM.1370建议书 — 开发先进自动频谱管理系统的设计指导原则。

ITU-R SM.1537建议书 — 具有自动频谱管理功能的频谱监测系统的自动化与集成。

ITU-R SM.1794建议书 — 宽带瞬时带宽频谱监测系统。

第5章

特殊的监测系统和程序

5.1 航天器辐射监测

页码

5.1 航天器辐射监测 89
5.1.1 需要执行的任务与测量 89
5.1.1.1 测量类型 90
5.1.1.2 由卫星系统引起的干扰类型 91
5.1.2 测量技术 92
5.1.2.1 概述 92
5.1.2.2 频率测量 92
5.1.2.3 带宽测量 94
5.1.2.4 功率通量密度测量 96
5.1.2.5 极化测量 98
5.1.2.6 确定轨道位置与轨道要素 98
5.1.2.7 使用来自两颗GSO卫星的时间与频率差测量结果来对地球上的发射机进行地理定位 99
5.1.2.8 使用单个GSO卫星和反多普勒频移来对地球上的发射机进行地理定位 101
5.1.2.9 频率占用测量和GSO轨道位置占用测量 104
5.1.2.10 本底噪声以下的测量 105
5.1.3 设备和设施要求 105
5.1.3.1 概述 106
5.1.3.2 空间监测系统的性能系数 106
5.1.3.3 天线系统 109
5.1.3.4 天线操控 109
5.1.3.5 角测量所需的天线波束宽度 110
5.1.3.6 系统极化 111
5.1.3.7 接收机 111
5.1.3.8 外设 112

页码

5.1.3.9 宽带射频或中频监测信道…… 112
5.1.3.10 无线电频率频谱记录设备…… 113
5.1.3.11 计算机要求 …… 113
5.1.4 对空间监测的文档和数据库支持…… 113
5.1.4.1 对文档和数据库的总体考虑…… 113
5.1.4.2 现有卫星的一般信息数据库…… 113
5.1.4.3 监测信息数据库…… 114
5.1.4.4 使用文档和数据库来便利监测…… 114
5.1.5 空间站的识别和地面站的地理定位…… 114
5.1.5.1 将用于识别的监测结果…… 115
5.1.5.2 识别程序 …… 116
5.1.5.3 识别空间站的其他可能性…… 116
5.1.5.4 关于对朝向GSO卫星的上行链接地面站进行地理定位的运营考虑…… 116
5.1.6 举例说明技术解决方案…… 119
5.1.6.1 空间无线电监测站的例子…… 119
5.1.6.2 对GSO卫星无线电监测的处理…… 140
5.1.6.3 精确的轨道经度监测（无线电干涉测量法） …… 143
5.1.7 举例说明监测结果…… 149
5.1.7.1 VHF频带中的频带记录…… 149
5.1.7.2 从天线角测量结果中计算轨道要素…… 151
5.1.7.3 转发器占用情况测量…… 152
5.1.7.4 GSO卫星的倾角…… 154
5.1.7.5 地理定位测量法的结果与表述…… 154

5.1 航天器辐射监测

5.1.1 需要执行的任务与测量

负责执行国内法律和规章并参与国际监测的监测业务，依据《无线电规则》（RR）第16条，通常将参与对空间站辐射的监测，当作其日常监测设施、技术和业务的正常与必要扩展。

一般而言，由用于空间业务的无线电监测站执行的任务，与用于地面业务的无线电监测站执行的任务并无差别。不过，针对空间业务的无线电监测，要求使用相对更为复杂的测量设备，如更加复杂的天线系统以及不同的监测与测量程序。这主要是由于空间站设置在卫星上，其位置与时间有关，那些在严格受控之地球同步（GSO）轨道上的卫星除外。对此类目标轨道的基本知识，是对它们进行各类监测与测量的重要前提。

由于空间监测与地面监测在测量技术和术语方面都有所不同，因此空间监测提供的空间功能称为“用于空间无线电业务的监测站”。这样一个监测站的功能可概括如下：

– 定期、系统地监测无线电频率频谱，旨在检测和识别空间站的辐射；

– 确定转发器或空间站发射机的占用率和使用百分比；

– 测量和记录空间站辐射的特性；

– 合适的话，与用于空间业务的地面和其他监测站合作，研究和消除由空间站辐射引起的有害干扰；

– 研究和消除由地面监测站、未知地面站或其他卫星的辐射而引起的、对空间站所用之频率有害的干扰，例如，通过监测和测量转发器、类似合法空间站辐射方式的干扰信号（参见下面的第5.1.1.1节）；

– 为技术与科学项目进行测量和记录；

– 检测对转发器的非法使用并识别其来源；

– 使用空间卫星技术来定位地球上的辐射源；

– 在卫星发射之前的阶段实施发射前监测，以监测相对轨道位置的、用于遥测、遥控和跟踪的频率。这种发射前监测将有助于为发射提供保护，并使之尽早进入轨道阶段，包括定位。

如果所有类型的航天器都要监测，那么天线系统必须能够跟踪低轨和高椭圆轨道卫星，并能准确地指向GSO卫星。

卫星通信分为以下无线电业务：

– *固定卫星业务（FSS）*

FSS 包括所有基于固定基础设施、通过私营或公共网络提供电话、传真、互联网、视频和数据业务的卫星通信业务。

– *广播卫星业务（BSS）*

这一无线电业务主要用于传送电视和视频信号。

– *移动卫星业务（MSS）*

MSS 业务主要用于移动电话和数据业务以及导航和卫星舰队管理。

系统的总成本必须依照针对上述性能规定而做出的设计选择方案进行平衡：频率覆盖范围、系统灵敏度、天线快速定向速度、天线指向精度、在必要时改变天线馈电硬件的难易程度、接收带宽容量、信号分析仪器的精密程度以及测量的自动化程度。高度自动化和精密的航天器监测系统完全可操控、在1～30 GHz 频谱上具有连续的频率覆盖，例如，它足够灵敏，能够在全部感兴趣的信号上提供至少26 dB的载噪比，将是理想的。不过，在本例中，一个现实的问题是，灵敏度方面的逐渐改进将带来成本几乎呈指数级的上升。因此，各主管部门必须分析其在频谱管理方面的优先级和内部需求，以便决定空间业务监测的优先级。

表5.1-1概述了在进行涉及卫星信号的监测活动时需要考虑的各种因素。此表是根据卫星类型和信号路径（至卫星的上行链路、自卫星的下行链路）来组织的。

表5.1-1

在进行涉及卫星信号的监测活动时需要考虑的因素

卫 星 类 型	卫星航天器辐射（下行链路）	卫星地面站辐射（上行链路）
地球同步卫星轨道（GSO）	监测任务通常从固定监测站中执行，原因是这些监测站具有卓越的天线性能和系统灵敏度。GSO卫星要求进行的天线定位只需沿着赤道弧。	从卫星地面站到GSO卫星的辐射监测，包括许多公司使用的甚小口径终端（VSAT），都由工作于适当频率范围上的移动车辆来执行。典型卫星地面站天线高度的方向性要求测量设备靠近发射天线或者处于主波束的某个位置上。
非地球同步卫星轨道（Non-GSO）	监测任务通常从具有天线跟踪性能的固定监测站中执行（尽管可以使用具有跟踪性能的移动系统）。 监测站天线必须基于本章后半部分中所述的几种卫星跟踪方法中的一种，来对卫星位置实施连续跟踪。	从卫星地面站到非GSO卫星的辐射监测，由移动车辆来执行。与GSO的情形一样，天线的方向性要求测量设备靠近发射天线或处于主波束的某个位置上。另一个因素是发射天线将沿着卫星轨道移动，使得幅值相关之参数的测量变得复杂起来。

5.1.1.1 测量类型

对于卫星监测，要执行以下主要的测量和测定任务：

– 频率；

– 多普勒频率；

– 关于带宽和总的e.i.r.p.、信道e.i.r.p.和载波e.i.r.p.的功率通量密度（pfd）；

– 载波C/N_0；

– 带宽和载波带宽；

– 带外频谱测量；

– 传播特性；

– 调制类型识别；

– 频谱监测记录；

– 快速光谱图，以便将快速时隙飘移和扫描信号可视化；

– 极化测量；

– 卫星轨道位置（轨道位置的精度至少为0.1°）；

– 接收信号的基带特性，即BPSK、QPSK、QAM、FDM/FM；

– 接收的*S/N*。

5.1.1.2 由卫星系统引起的干扰类型

– 相邻信道干扰；

– 同信道干扰；

– 跨信道（跨极化）干扰；

– 相邻系统干扰。

这些类型的干扰在接收地面站的输入处由载波产生，载波要么由所考虑之系统（由地面站和卫星组成）的卫星发射，要么由其他系统的卫星发生。

相邻信道干扰

这种类型的干扰由同一系统中从卫星到地面站发射的载波产生，位于所考虑之地面站相同的点波束中，该地面站进一步指的是受影响的地面站，在不同的频率上但以相同的极化进行发射。

在FDMA和TDMA访问方案中，由于传输地面站的滤波器的性能不理想，这些载波将干扰受影响的载波。

同信道（同极化）干扰

同信道干扰由同一系统中卫星向地面站发射的载波产生，这些载波与受影响之载波处于相同的频率上且极化相同。

这些干扰载波都发送至地面站，处在与FDMA和TDMA中受影响之地面站不同的点波束中，但与CDMA中受影响之地面站处在相同的点波束中。

在FDMA和TDMA中，这种干扰受到受影响之地面站方向上相邻点波束的卫星天线转动的限制，而在CDMA中，受到码互相关特性的限制。

跨信道干扰

这种类型的干扰由同一系统中卫星向地面站发射的载波产生，这些载波与受影响之载波处于相同的频率上且极化正交。

如果使用单一极化，那么这些干扰载波都发送至处于与受影响之地面站不同点波束中的地面站，但对于双极化系统，发送到与受影响之地面站处于相同点波束中的地面站。对于单极化系统，这种干扰受到受影响之地面站方向上相邻点波束的卫星天线转动的限制，也受到卫星天线极化上的隔绝的限制。在极化再用的情形中，只受到卫星和地面站天线两者极化隔绝的限制。

相邻系统干扰

这种干扰由卫星向另一个卫星通信系统中的地面站发射的载波产生，这些载波以与受影响之地面站载波相同的频率和极化进行发射。这种干扰受到受影响之地面站与两颗卫星之间的角度间隔的限制。

5.1.2 测量技术

5.1.2.1 概述

与来自地球上或地球附近固定监测站或移动监测站的辐射相比，对空间站辐射需要考虑采用不同监测、监测和测量技术的两个主要因素是：

– 接收和发射频率之间的差异以及接收频率的变化特性由多普勒频移效应引起，特别是对不在GSO轨道的卫星更是如此；

– 因距离和通常较低之发射机功率将使地面接收点上的pfd较弱；

– 来自近地轨道卫星的信号的时间比较短，在固定监测点上可以接收到；

– 必须对高度定向的地面站天线连续变更方向，这种天线用于接收来自空间站上而非GSO轨道上的辐射信号。

5.1.2.2 频率测量

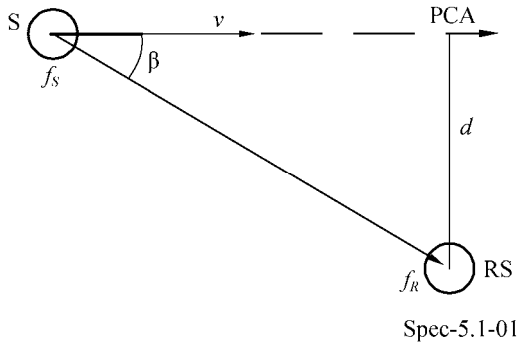
在GSO空间站的情况下，可采用那些在地面监测站中使用的相同的频率测量方法。第4.2节对这些方法进行了详细论述。

5.1.2.2.1 多普勒频移效应

当发射信号的空间站与监测站之间存在一个相对速度时，由于多普勒频移效应，发射的信号与接收的信号之间将产生一个与相对速度成比例的频率差。公式（5.1-1）和公式（5.1-2）源自图5.1-1。

图5.1-1

多普勒频移情形中的主要关系



Spec-5.1-01

$$f_R = \frac{cfs}{c - (\nu \cos\beta)} \qquad (5.1\text{-}1)$$

$$\left(\frac{\Delta f_R}{\Delta t}\right)_{max} = \frac{f_S}{c} \cdot \frac{\nu^2}{d} \qquad (5.1\text{-}2)$$

其中：

S： 卫星；

RS： 接收站；

PCA： 最接近点的位置；

f_S： 发射频率；

f_R： 接收频率；

v： 卫星速度；

d： 已过去的最小距离；

c： 电磁波的传播速度；

β： 飞行方向与至接收站视距（LoS）方向之间的角度。

这些公式导出以下结果：

– 当卫星接近监测站时，接收到的频率高于源频率；

– 测得的频率只有在最接近点的时间上（TCA）才等于正确的卫星源频率，它与最接近点的位置（PCA）相一致；

– 在TCA期间，对最大的频率变化率（MRCF）实施监测，它给出了拐切线的倾斜角（$\Delta f_R/\Delta t$）$_{max}$；

– 当卫星远离监测站时，接收到的频率低于源频率；

– 多普勒频移效应与卫星的源频率成比例，并取决于频率源与监测站之间的相对速度。

5.1.2.2.2 测量方法

由卫星辐射的确定频率可达到的精度，取决于卫星轨道参数、传播路径、测量设备和计算方法。对非GSO轨道卫星频率的测量是一种间接程序，它首先要求注册多普勒频移，然后计算多普勒曲线。

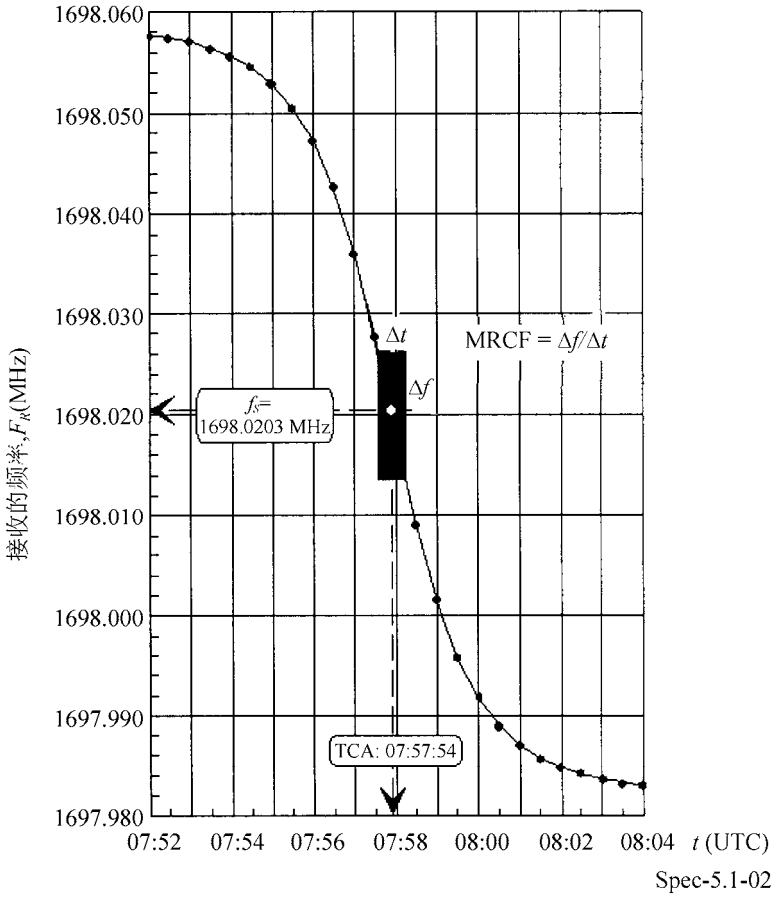
为了获得准确的测量结果，最好是采用一种自动测量方法。可能的技术解决方案的详情请参见第5.1.6.1节。

5.1.2.2.3 频率计算程序和测量精度

通过使用图示法，有可能确定卫星频率、TCA和MRCF（图5.1-2）。可达到的频率测量精度为$\pm 1\times 10^{-7}$Hz。

图5.1-2

从多普勒曲线中计算卫星频率



一种改进的方法能够提高精度，该方法通过对相对时间的多普勒频率曲线进行单次微分，可以获得一条抛物线，其顶点表示TCA，还表示卫星发射机的源频率。对于抛物线的结构，使用TCA 30 s内的单个测量值已足够。测量值之间的时间间隔必须选定，以便曲线的形状得以明确界定，例如，至少是5 s的间隔。用这种方法和图形估算法，如果使用参考振荡器的铯类型或更好的类型，那么可以获得$\pm 5\times 10^{-9}$Hz 的精度。图5.1-3显示了以这种方式得到的频率测定结果。

不是费时的图形估算方法，一种可直接处理频率计单个频率测量结果的软件方法将是最佳的方法。

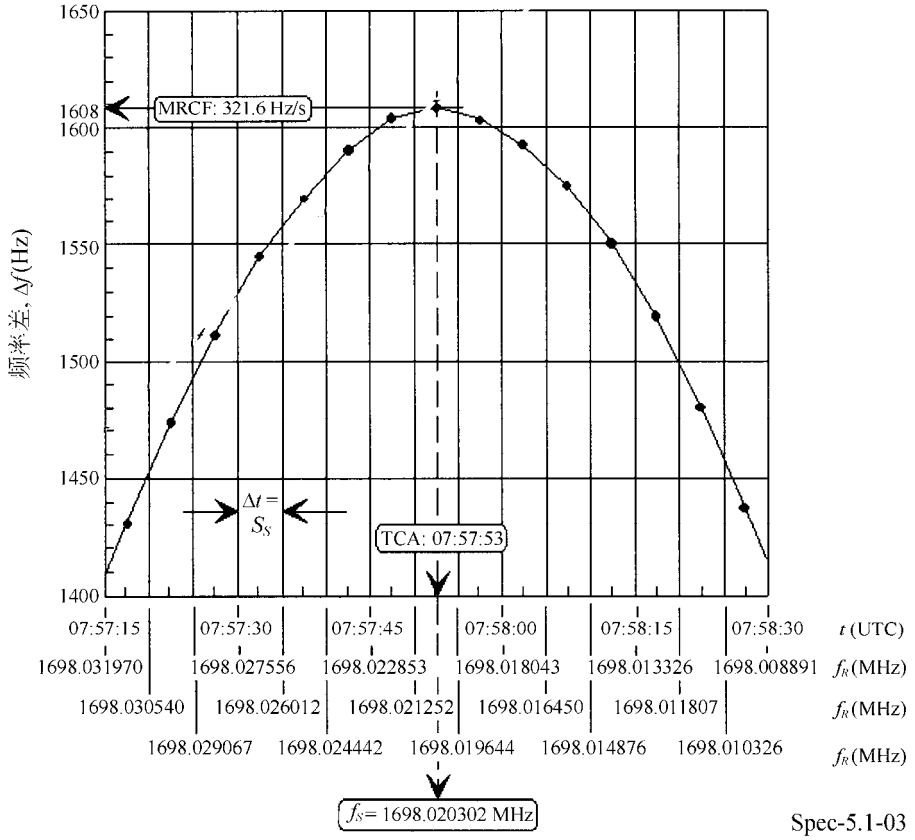
显然，只有当频谱包含一个接收机可被同步的特征频率成分，才可以执行可靠的频率测量任务。当然，这也适用于对地面站频率的测量。

5.1.2.3 带宽测量

对于GSO卫星辐射的带宽测量，原则上可采用与地面辐射测量相同的方法。第4.5节中对这些方法进行了描述。

图5.1-3

通过多普勒曲线差分计算卫星频率



在空间站与监测站之间存在相对速度的情况下，由于多普勒频移效应等同载波频率的多普勒频移效应，因此在监测站上测得的、明显的发射带宽将是变化的。必须考虑到两个因素：

– 在带宽测量所需时间内整个频率频谱的漂移；

– 对于靠近辐射频谱上端的信号分量，其频移要比那些靠近下端的信号分量的频率稍大一些。对带宽很宽的信号而言，这种差别可达数百赫兹。与在监测站上监测到的一样，该效应将导致明显的带宽发生少许变化。

在监测接收机上的自动频率控制可补偿辐射的多普勒频移。在这种情况下，用于在地面监测站中测定带宽的普通测量方法，可以在没有急剧变化的情况下使用。如果接收到的信号非常微弱，那么通过将空间站辐射的载波或导航频率用作参考信号，有可能确保自动纠正接收机振荡器的频率，空间站辐射的载波或导航频率通过极窄的通带滤波器进行滤波。如果空间业务的监测站没有适当的、带自动频率控制的接收机，那么如有必要，必须考虑到测量期间的空间站频移，方法是在测定带宽时同时进行多普勒频率测量。此外，同时记录pfd，以便消除频谱分析期间出现的pfd 变动对计算结果的影响。

5.1.2.4 功率通量密度测量

5.1.2.4.1 在参考带宽上测量

空间站的协调与成功运行，要求地球表面上指定的最大pfd 值不得大于来自空间站的辐射，包括来自反射卫星的辐射。《无线电规则》第21条第5节中给出了单个频带值、空间业务、到达角和共同条件，这些在空间监测设施中是可用的。pfd（dB(W/m^2)）与特殊的带宽相关，通常与4 kHz、1 MHz 或1.5 MHz 相关，它取决于基本辐射的频率。参考带宽（RBW）的指示值是至关重要的，原因是辐射的功率通常不会集中于单个频率上，而是分布于一个频带上。

5.1.2.4.2 总的pfd测量

在这种情形中，pfd 完全取决于辐射所占用的带宽。因此，应当选定测量滤波器的带宽。假如，比方说，要计算空间站的e.i.r.p.，那么这种测量值将会很大。对于13 GHz以下的频带，并且假设大多数时候是晴朗的天空，那么计算时可选取0.1～0.2 dB作为总的大气损耗。

5.1.2.4.3 测量程序

无论测量的是参考带宽中的pfd，还是总的pfd，最好通过直接测量功率来测定pfd，尤其是在高于1 GHz的频率上。当使用这一方法时，pfd可通过公式（5.1-3 a）和公式（5.1-3 b）来计算：

$$pfd_{RBW} = P_{SYS} - 30 - A_e - K_{BW} + K_{POL} \quad (5.1\text{-}3a)$$

$$pfd_{TOT} = P_{SYS} - 30 - A_e + K_{POL} \quad (5.1\text{-}3b)$$

其中：

pfd_{RBW}：参考带宽（RBW）中的pfd（dB(W/m^2)）；

pfd_{TOT}：辐射占用之带宽中的pfd（dB(W/m^2)）；

P_{SYS}：系统输入功率（dBm）；

30：将dBm 转换成dBW 的因子；

A_e：有效天线范围（参见注2）（dBm^2）；

K_{BW}：测量带宽的修正因子（参见注3）（dB）；

K_{POL}：极化修正因子（参见注4）（dB）。

从公式（5.1-3a）和公式（5.1-3b）中得出的pfd 值，通过使用公式（5.1-4），可用来计算空间站的e.i.r.p.。在计算时，需要了解在测量时物体的斜距：

$$\text{e.i.r.p.} = \text{pfd} + 10\log(4\pi d^2) + L_{ATM} \quad (5.1\text{-}4)$$

其中：

e.i.r.p.：空间站的等效全向辐射功率（dBW）；

pfd：测得的pfd（dB(W/m^2)）；

d：空间站与接收站之间的距离（m）；

L_{ATM}：相对自由空间的大气损耗（dB）。

注1 — 用一台热功率计测量输入功率，它通常与接收机的中频输出端相连，在它之前是已知有效带宽（r.m.s.测量）的带通滤波器。然后，输入信号由一个来自经校准之信号发生器的信号所取代。对进入之卫星信号可能的多普勒频移的补偿，应在中频输出端之前进行。

注2 — 有效天线范围（A_e）可使用公式（5.1-5），从天线孔径或增益中计算得到：

$$A_e = 10\log(A\eta) = 10\log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) + Gi \qquad (5.1\text{-}5)$$

其中：

A_e： 有效天线范围（dBm^2）；

A： 天线孔径（m^2）；

η： 以十进制数表示的效率；

λ： 波长（m）；

G_i： 全向天线增益（dBi）。

注3 — 只要功率一致地分布在测量带宽中，用于测量的带宽可以比参考带宽更宽。通过频谱分析，可以对该条件进行检测。测量带宽是滤波器的有效带宽，它不必对应其3 dB 或 6 dB带宽。通过公式（5.1-6），可以计算得到修正因子：

$$K_{BW} = 10\log\left(\frac{B_M}{RBW}\right) \qquad (5.1\text{-}6)$$

其中：

K_{BW}： 带宽修正因子（dB）；

B_M： 测量带宽；

RBW： 与B_M单位相同的参考带宽。

注4 — 在接收天线与接收到的信号之间极化匹配的情况下，极化修正因子K_{POL}＝0dB。对于圆极化辐射的线性极化接收，或者与之相反的情况，K_{POL}＝3dB。

由于pfd通常不仅随频率的变化而变化，而且随时间的变化而变化，因此必须确定其最大值。在感兴趣的频率上对一段时间的功率计输出信号进行记录是可以做到的。所用功率传感器的时间常数将决定可检测到的功率变化速率。关于e.i.r.p.计算的更多信息，可以在本手册的2002年版中找到。

5.1.2.4.4 测量的不确定性

pfd 测量的不确定程度，本质上受到三个因素的影响：

– 接收天线的天线增益的不确定性；

– 用于校准测量接收机/频谱分析仪的参考信号（功率参考发生器）的不确定性；以及

– 天线定位/跟踪的精度。

对pfd的不确定性，这一方法与第4.3节中描述的方法之间没有任何差别。尽管在很大程度上，参考源的不确定性可以得到控制并被最小化，但在接收天线的天线增益精确校准中，仍存在这个现实的问题。只有在安装地点完成装配后，才可以对更大的抛物面反射器系统进行校准。因此，为了得到令人满意的天线增益计算结果，必须考虑到安装现场的特定条件。

扩充的测量不确定性（覆盖因子为2）不应超过2 dB。应努力寻求在所有频带上降低测量的不确定性。

5.1.2.5 极化测量

了解有关卫星信号极化的知识是至关重要的，原因是测定了这一基本的信号特性将有助于识别未知的辐射信号。因此，一个合格的天线系统应能区别不同的极化类型。

极化测量技术实施方案必须考虑到在1 GHz以上频带中双极化技术的广泛应用，固定卫星业务和广播卫星业务都使用这一技术。

对于卫星信号，应在以下方面获得最佳的接收与测量条件：

– 最大的*C/N*；以及

– 通过正交极化信号之间充分的极化辨别而获得的最大的*C/I*。

将监测站接收天线的极化与入射信号的极化进行匹配应当是可能的。在双线性极化的情况下，要求极化面完全可操控。应提供至少20 dB的极化差别。

5.1.2.6 确定轨道位置与轨道要素

轨道位置的确定关系到GSO卫星，而轨道元的确定关系到非GSO卫星。

5.1.2.6.1 GSO卫星

GSO卫星会受到骚扰，致使改变其在轨道中的位置。这些骚扰会造成虚假的轨道平面旋转以及半长轴和偏心误差。如地球上的观测者所见，这会导致卫星显示出振荡运动，周期为24 h。这种运动（所谓的“8字”形运动）由北－南部分和平面内部分组成。

GSO卫星上的空间站使用分配给FSS或BSS的频率，它们必须保持在其标称位置经度的±0.1° 内（参见《无线电规则》第22款第III节），但GSO 卫星上的试验站除外，它应保持在±0.5° 经度内，对11.7～12.75 GHz频带上的BSS站，应保持在《无线电规则》附录30中规定的限值内。只要卫星网络不会对任何其他卫星网络产生不可接受的干扰，且后者的空间站满足这些限值，那么前者的空间站不必满足这些限值。因此，确定GSO卫星的位置是一项要求空间业务监测站完成的任务。轨道位置通常从对接收天线的方位角和仰角平面测量值中计算得到。第5.1.7.4节阐述了这种测量的一个例子。

5.1.2.6.2 非GSO卫星

从具有足够精度的测量值中计算非GSO卫星的轨道元（星历数据），是实现以下任务的基本要求：

– 识别未知的空间站（参见第5.1.5节）；

– 分析可能的接收时间；以及

– 将方位角和仰角预定为时间的函数，例如，在无法获得正式发布的数据的情况下，操控计算机控制的天线。

用于空间业务的监测站利用无源模式测量，可以提供以下同步的测量数据：

– 方位角；

– 仰角；以及

– 多普勒频移。

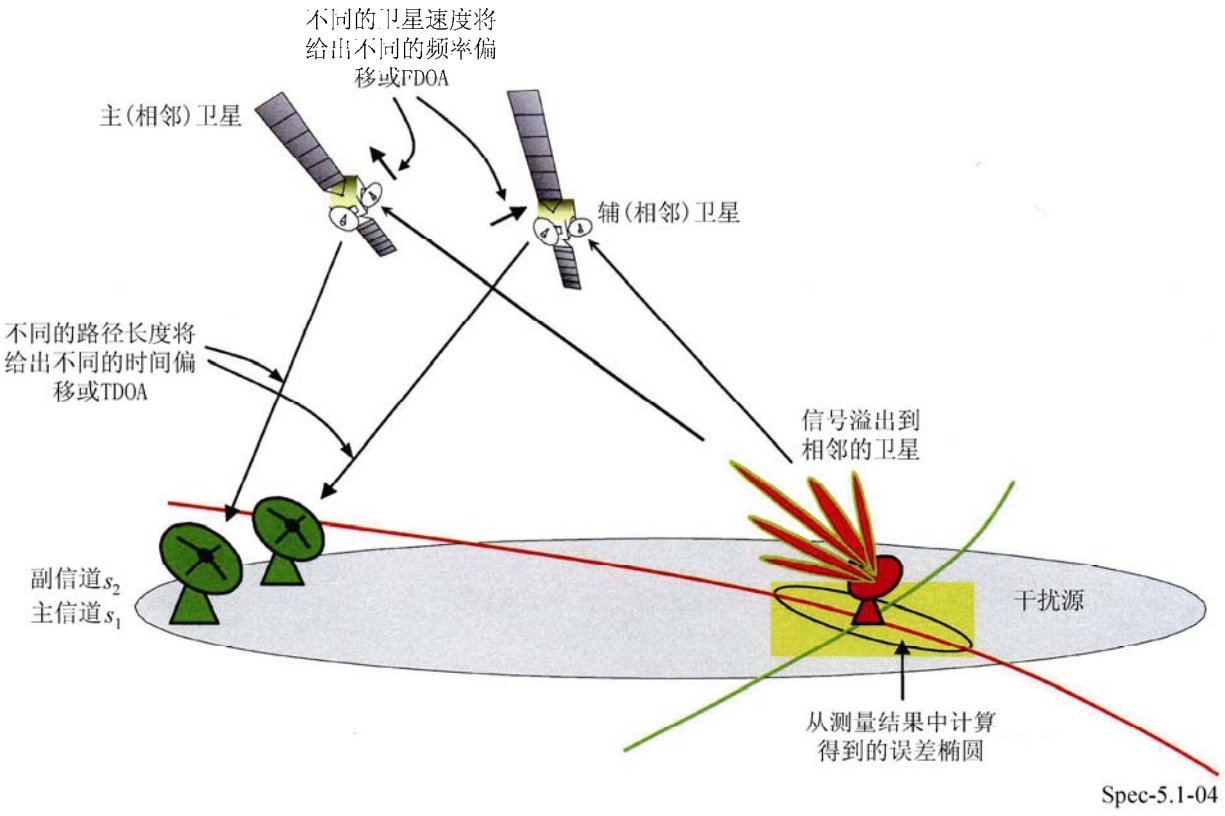
由于轨道测定要求至少解决六个要素（如开普勒轨道要素），因此必须进行上述次数的多次测量。典型地，轨道测量是一个统计计算程序的结果，在该程序中，输入数据的量越大，轨道元的精度将越高。在监测更高频率时，即1 GHz以上的频率，由于这些频率上接收天线的波束宽度更窄，因此基于方位角和仰角平面中角度测量结果估算的方法将是首选的方法。

5.1.2.7 使用来自两颗GSO卫星的时间与频率差测量结果来对地球上的发射机进行地理定位

地球上的干扰源可影响在卫星上接收的上行链路信号。期望信号的接收机将这种干扰理解为下行链路干扰。对影响GSO轨道上通信卫星的无线电发射机进行地理定位是一项富有挑战性的任务，它通常通过分析到达时间差（TDOA）和到达频率差（FDOA）的综合测量结果来实现。这两类测量任务都要求借助位于发射机波束内的第二颗GSO卫星来监测传输。承载未知信号的GSO卫星通常称为“主卫星”，以上提到的第二颗GSO卫星称为“相邻卫星”。TDOA测量将获得相同信号通过主卫星到达一台陆基接收机与通过相邻卫星到达另一台陆基接收机的时间差。FDOA 测量将获得在两台接收机上分别到达之信号之间的频率测量差。通常，两台接收机设置于同一地理位置，但并不要求这样（参见图5.1-4）。在“分布式模式”中，用于地理定位的两台接收机相互隔开，但都限制在各自空间站的下行链路波束内。当下行链路轨迹不相交时，必须使用分布式模式；事实上，这些下行链路可在不同的大陆上接收。当工作于分布式模式时，原始的信号测量必须转移到一个公共的地点上，以便做进一步的地理定位处理。

图5.1-4

使用TDOA和FDOA，从两颗GSO卫星上对地面上的发射机进行地理定位



由于从两颗不同的卫星到每台接收机，发射信号所经过的距离不同，因此，到达时间是不同的。通常，由于两颗卫星之间存在相对运动，使在传输时产生不同的多普勒频移，因此接收到的频率是不相同的。尽管GSO卫星的位置被宽泛地描述为固定在地球赤道的特定位置，但事实上，它们是在标称位置的一定范围内运动。正是这些运动，导致在接收到的信号中存在可测量的多普勒频移。由于每个卫星下行链路上设置转发频率的振荡器中存在漂移，因此接收到的频率也会存在差异。

单个TDOA或FDOA的测量结果与卫星和地面站的配置相结合，各自描述不同的表面，在未知的发射机必须置于这些表面上。地球表面（几乎所有感兴趣的发射机都会出现在该表面上）提供了包含未知位置的第三个表面。这三个表面相交可用来从单对TDOA和FDOA测量结果估算未知的信号。由于测量结果或建模误差可导致地理定位的误差，因此，通过在统计解决方案中结合额外的TDOA和FDOA测量结果，可减少此类误差。

5.1.2.7.1 测量时间与频率差

记录和分析来自两颗GSO卫星中每一颗卫星下行之发射机信号的两个时间序列，以获取它们之间（即TDOA和FDOA）的时间与频率差。通过计算二维交叉模糊度函数（CAF）或相关图，可以做到这一点。针对某个特定时间与频率差的CAF值，与两个记录信号交叉相关。在连续波（CW）辐射的特例中，不会产生任何TDOA测量结果，原因是，对所有的延迟时间差，这两个信号都是相关的。

CAF可以在三维中予以可视化，其中的CAF值既是TDOA的函数，也是FDOA的函数。对选定频率范围中单个干扰信号的情况，相对TDOA和FDOA的最大CAF值选择了这些偏移，原因是，出现在地理定位算法中的TDOA和FDOA值，将计算单台发射机的位置。对连续波（CW）辐射，这将导致沿恒定的FDOA 线产生一个脊状突起。作为一种选择，来自多个位置的几台宽带发射机将产生多个CAF峰值。Stein [1981年]详细讨论了用于计算和分析CAF 的算法。

5.1.2.7.2 地理定位算法

在迭代最小二乘法程序中，地理定位算法通常使用TDOA和/或FDOA测量结果，来估算发射信号的起始位置。在其最简单的形式中，对发射机位置及两颗卫星指定轨道所做的最初猜测，与卫星运动的物理规律相结合，以产生预测的TDOA和FDOA测量结果。实际的与预测的TDOA和FDOA测量值之间的差别（残差），用于生成对发射机位置的调整值。这一调整后的发射机位置用于产生第二组预测的TDOA和FDOA测量值，这意味着对发射机位置做进一步调整，等等。由于问题是固有地非线性，因此要求使用一种迭代解算方案。迭代将持续进行，直至发射机位置的调整值足够小，在该位置点上，认为对地理定位的计算已收敛。

由于随着时间的推移，TDOA和FDOA测量结果将通过构建的物理规律模型与发射机位置关联起来，因此，地理定位解算方法也可用于其他类型测量结果的结合。例如，通过一系列FDOA测量结果，有可能实现对连续波（CW）发射机的地理定位，其精度相比使用对应TDOA测量结果（可以从一个宽带信号中获取）的精度要低。作为一种选择，使用第三颗卫星可以产生第二组TDOA和/或FDOA测量结果，这也能提供更好的解决方案，不过，其代价是将更多地使用接收机天线资源。通过使用第三颗卫星，只有TDOA测量结果的解决方案是可能的，但源自两个卫星对的恒定TDOA表面将近乎平行，使得它们在实际使用过程中将更加取决于TDOA的测量精度，或者要花更多的时间来收集测量结果。

在实践中，两颗卫星中每一颗卫星星历的精度限制了地理定位解决方案的精度。通过对独立发射机信号的TDOA和FDOA测量，可以改进地理定位的性能，这些单独的发射机信号有时称为参考定位器，它们来自已知的位置，并作为感兴趣的信号通过同一对卫星。这些参考定位器用于优化一颗或两颗卫星的轨道星历，反过来，也可以提高对感兴趣发射机信号位置的估算精度。

5.1.2.7.3 不确定性分析

对地理定位问题进行不确定性分析的目的是对地理定位解决方案的精度做出实际评估。

有时候，进行准确的不确定性分析是复杂而困难的。单个TDOA和FDOA测量结果的精度都与相关解决方案中获得的*S/N*平方根成比例。TDOA和FDOA测量结果的精度还分别与信号带宽和测量时间成比例。最小二乘法地理定位解决方案可提供形式误差估计和感兴趣发射机位置的置信区间，它们基于分配给TDOA和FDOA测量结果的不确定性。这些TDOA和FDOA不确定性的可靠性，可以在统计学上依据它们相应的测量误差进行核对。作为一种选择，如果可使用足够数量的TDOA和FDOA测量结果，那么可通过同样的解决方案程序来估算TDOA和FDOA测量结果的不确定性。Bardelli等[1995年]提供了一个对误差进行分析的例子。

还必须提出两条附加说明。首先，TDOA和FDOA测量中的不确定性可以足够大，以使以下假设无效，即在参数空间的跨区中，解决方案是线性的。这意味着，由基于线性统计分析的地理定位算法而产生的形式误差是不太精确的。这些情况下，可采用蒙特卡罗方法来获得更准确的不确定性估计。

其次，形式的不确定性解释了随机误差的原因，对任何系统误差，都只是局部的。例如，通过对TDOA和FDOA测量结果的物理特性进行不彻底建模，或者在用于产生卫星星历的力模型中，可能出现系统误差。通过非常彻底地模拟地理定位方法及其全部的系统错误源，可以评估出系统误差的影响。

还有一些潜在的不准确性可产生定位误差。通过使用准确知晓其地理坐标的参考发射机（参见图5.1-5），可以大大减小这种误差。

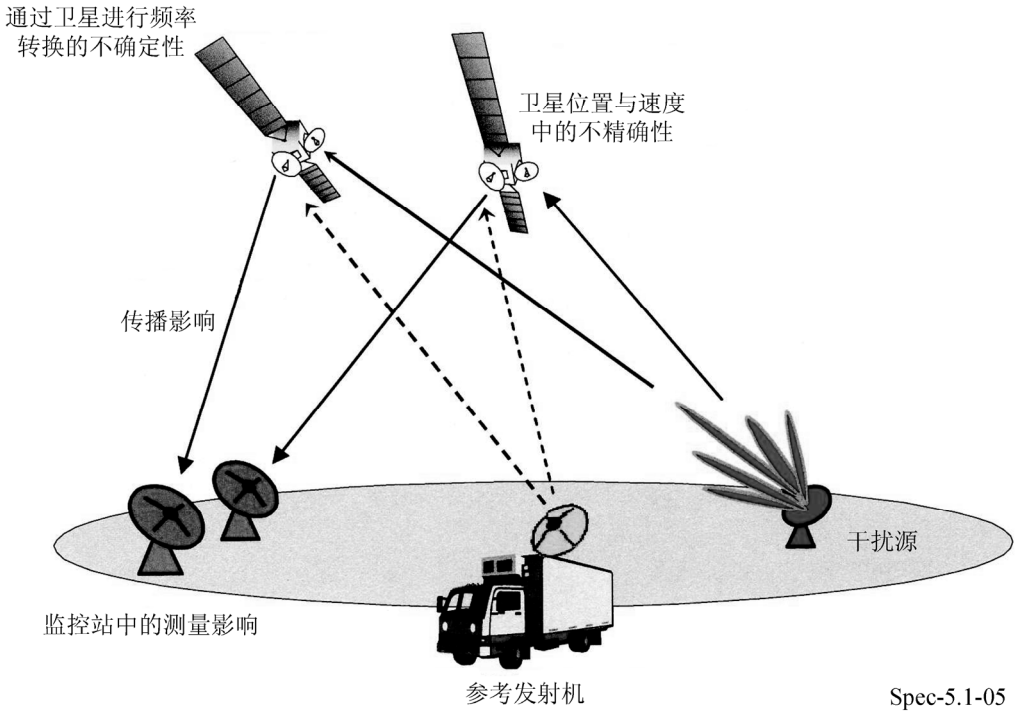
在大范围上部署的参考站可以消除因星历不准确而产生的误差，而使用部署在干扰源附近的参考站，可以使定位误差最小化（参见第5.1.5.4.5节和第5.1.5.4.6节）。

5.1.2.8 使用单个GSO卫星和反多普勒频移来对地球上的发射机进行地理定位

发射机（或干扰）在地球表面的位置，在某些条件下可以使用通过单个GSO通信卫星中继的发射信号来测定。在某个轨道上，由于卫星相对地球的微小运动而产生的、在信号载波频率上的少量多普勒频移，可以用来估算发射机的位置（在数十公里以内），可以部署移动单元，以精确定位发射机或干扰位置。这种技术使用测量结果，这些载波频率提供很少的、短促的传输，它们分布于数小时上。使用超高分辨率技术和信号处理技术，以所需的精度来估算发射信号中微小的多普勒频移。可以使用一台参考发射机来优化对卫星位置和速度的预测。

图5.1-5

利用参考发射机，使用TDOA和FDOA，从两颗GSO卫星上对地面上的发射机进行地理定位



GSO 轨道的非零倾斜角与偏离轴心会引起卫星相对地球表面的某种移动。这种移动将产生微小的多普勒频移，它可以用于估算发射机的位置。这一技术甚至利用了对很少发生的、短时间传输的监测结果，这些传输分散在若干小时内。为了使用这种方法，对传输的载波频率必须用非常高的精度进行测量。然后应用一种非线性的迭代估算技术。对GSO 卫星行程的描述，参见第5.1.2.8.3节和图 5.1-6。

出于所有这些原因，使用一颗卫星来执行地理定位的方法是非常困难的。此外，它还对发射机本身施加了通常无法满足的假设，例如：

– 长时间超稳定的发射机本地振荡器；

– 长时间的发射机辐射。

5.1.2.8.1 地理定位算法

地理定位算法运用一个数学表达式（f_R）来预测通过GSO卫星中继的信号的载波频率。这一表达式综合了卫星的已知位置和速度以及接收机的位置，还综合了搜索到的发射机的未知位置。上行链路的多普勒频移效应、卫星转发器中的频率转换以及下行链路的多普勒频移效应，都必须予以考虑。

所有向量都在三维的、以地球为中心、地球固定的笛卡尔坐标系中进行表示：

$$f_R = \left[f_T \cdot \left(1 + \frac{\vec{v}_S \cdot (\vec{r} - \vec{r}_S)}{c \cdot \|\vec{r} - \vec{r}_S\|} \right) + \Delta_f \right] \cdot \left(1 + \frac{v_D}{c} \right) \qquad (5.1\text{-}7)$$

其中：

f_R： 接收信号的载波频率；

f_T： 发射信号的载波频率；

v_S： 在监测时卫星的速度向量；

r_S： 在监测时卫星的位置向量；

r： 发射机的位置向量；

Δ_f： 卫星转发器中的频率转换；

v_D： 卫星与接收机之间的标量距离变化率；

c： 信号的传播速度。

公式（5.1-7）是已知参数和未知参数的一个函数。已知参数包括卫星的位置和速度、频率转换以及卫星与发射机之间的距离变化率。卫星的位置、速度以及距离变化率取决于时间。未知参数包括发射机的位置与载波频率。在接收机上对信号实际载波频率的测量，可以在几个监测时间点上进行。地理定位算法计算了一组未知的参数，以使测得的载波频率与从表达式中预测的载波频率之间的误差平方和最小。

地理定位算法使用接收频率表达式的线性化版本，它是公式（5.1-7）的一阶多维泰勒级数的扩充。使用这一表达式，可以形成一组线性公式，并组合成矩阵公式：

$$E = A\Delta \qquad (5.1\text{-}8)$$

其中，E是在每次监测时间上接收到信号载波频率测量结果的列向量，而$A=[A_f A_x A_y A_Z]$，当中的每个列向量A_i是有关参数i的表达式派生物，在每次监测时间上计进行算，而Δ是实际参数值与其初始估计值之间的误差向量。对向量Δ，矩阵公式以线性最小二乘法进行解算，而这一误差向量用于迭代和优化最初的参数估计值。由于使用的线性公式只是对模型的一个近似，因此需要进行数次迭代处理，为每一步使用最近获得的参数估计值。参数值收敛于最终的频率和位置估计值。

5.1.2.8.2 频率（多普勒）测量

由于GSO卫星相对固定的地球点缓慢移动，因此，在通信链路中监测到的多普勒频移是微小的，约为几十赫兹。因此，精确的地理定位取决于非常精确的载波频率估计（铷标准就已足够）。

MUSIC（多信号分类）算法可用于频率估算。频率估算仪的分辨率只受到机器精度的限制，不会受到数据集长度的限制。估算精度受到*S/N*的限制。MUSIC算法可比基于快速傅里叶变换的算法获得更精确的频率估计值。

5.1.2.8.3 位置与速度修正

精确的地理定位结果取决于每次监测时对卫星位置和速度向量的准确了解。这些向量通常使用一个轨道传播模型和一组描述卫星轨道的轨道六要素来计算。这些要素根据对卫星的监测结果定期更新，经过更新的要素组是可用的。轨道传播算法构建地球、太阳和月亮引力效应的模型，以便在比计算要素的时间点更晚的时间上，对卫星位置和速度做出预测。对一些影响卫星运动的力并未建模。因此，由此而估算的位置和速度值变得不太精确，原因是预测时间与要素组更新时间之间的差别变大了。卫星转发器中的频率转换也不是完全已知的。

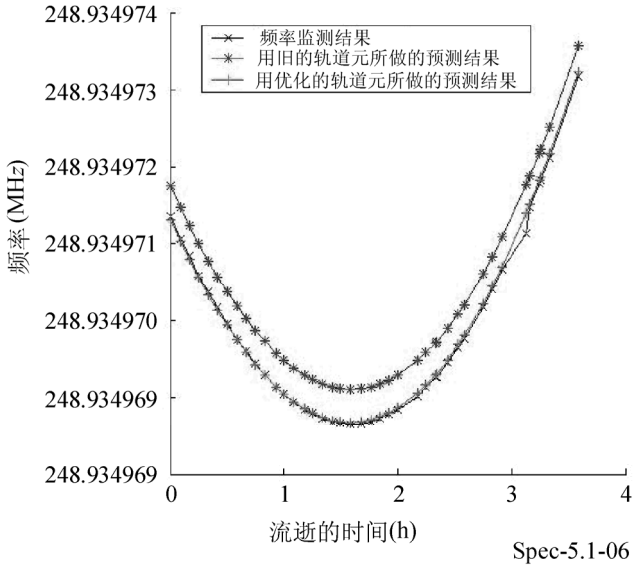
需要对卫星位置和速度预测以及频率转换进行优化，以提高位置估算精度。在已知位置上并带有已知载波频率的参考发射机，可以用来优化这些值。参考发射机应当通过卫星，在监测感兴趣信号的同一期限内，对信号进行中继。对在接收机上监测的每个参考信号的载波频率，以与目标信号相同的方式进行计算。随后，将这些监测到的参考频率与那些利用已知的参考发射机位置和最初的轨道要素组估计值以及转换频率对表达式进行估算而预测到的频率进行比较，以优化结果。图 5.1-6描述了用优化的轨道要素和优化的转换频率获得的、频率预测方面的改进情况。

5.1.2.9 频率占用测量和GSO轨道位置占用测量

在规划新的卫星系统时，准备工作应包括对其他卫星系统下行链路频率占用情况的仔细调查。通常情况下，由于不会总假设频率的使用受制于协调或通知，因此这是可行的。因此，为避免意料之外的干扰，对占用情况所做的这种测量是非常有用的。

图5.1-6

用轨道元优化来改进对频率的预测



自动无线电频谱记录设备已证明对监测低轨卫星辐射是非常有用的。使用非定向或半球形波束天线，几天之内获得的结果允许通过卫星辐射来测定频带的占用情况。此外，对卫星频率的近似测定是可能的，同样，以良好的精度来近似测定预期的接收次数以及计算解析时间也是可能的。第5.1.7.1节提供了频谱记录的一个例子。

一般而言，使用低增益天线来监测一般频率占用情况的方法不适于监测约3 GHz以上的频带。对于低pfd信号，要求使用具有适当天线增益的定向天线。不过，在GSO 空间站的情形中，测量占用情况是可能的，它：

– 测定空间站占据的位置；以及

– 提供关于占用位置上频带占用率的频率和时间相关的数据。

为了确定占用的位置，建议采用一个交互式过程，以操控用于沿GSO轨道、在其半功率波束宽度内接收的定向天线，在这一过程中，不断从用于信号处理的分析仪中获取测量结果，以监测阈值的交叉情况。在扫描了无线电监测站可视的轨道段后，分析仪转换到下一个子频带上，并重复整个过程。

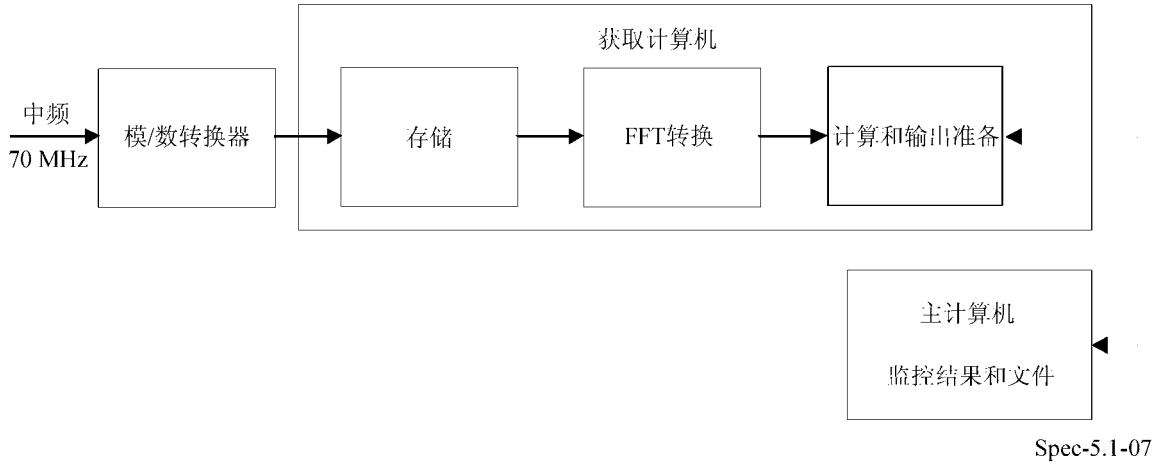
对某个预定的位置，与时间和频率相关的占用情况测量结果允许存在变化，应当细致地与选定的目标做好协调。第5.1.7.3节显示了一个例子。

5.1.2.10 本底噪声以下的测量

通常需要分析隐藏在本底噪声之下的微弱无线电信号或信号的某些部分。特别是遇到这种情形的空间无线电辐射。ITU-R SM.1681建议书 — 使用减噪技术在监测地面站上测量来自空间站的低电平辐射，就是为解决这个问题而制定的。图5.1-7所示是针对此类测量的典型结构框图。

图5.1-7

监测本底噪声以下的结构框图



对低于本底噪声的低电平辐射的测量基于一种综合方法，它从信号中减去噪声频谱。

中频信号由模拟/数字转换器采样，并存储于硬盘上。为了获得10 000个记录样本，典型的情况下，这种测量需要重复10 000次。在这之后，天线立即指向邻近的轨道位置，卫星处于天线波束之外，因此只在相同环境条件下才接收噪声。另外10 000个样本被采样并存储于硬盘上。对两个10 000个样本线进行线性平均，并相互扣除。这通常可使噪声下降，典型地，可下降10～20 dB。

应当注意的是，需要在整个接收路径上保持卓越的频率稳定性。此外，必须消除或减去任何显著的卫星多普勒频移。

5.1.3 设备和设施要求

以下各段落旨在突出某些系统特性。关于性能系数、天线系统、天线操控和自动跟踪的更多详情，包含在卫星通信（固定卫星业务）手册和参考资料所列的出版物中。

5.1.3.1 概述

用于空间业务的无线电监测站的技术理念，基本上取决于根据主管部门的特定需求而执行的任务。在规划该理念时，应当考虑到空间业务领域的新发展。表5.1-2列出了一些重要的方面。

表5.1-2

关于空间业务监测站技术概念的任务及其影响范围

序号	任　务	影响范围
1	频率频谱的哪一部分应当能够被监测？	天线系统的数量与种类
2	哪些卫星系统应包括在监测范围中？ 这些系统在接收点上产生哪些功率通量密度？ 应达到怎样的*C/N*？	接收系统的性能系数（天线增益、系统噪声温度）
3	测定GSO卫星的位置是否可能？	指向精度、天线操控的种类、接收机概念
4	测定非GSO卫星的轨道元是否可能？	指向精度、天线操控的种类、加速度和天线操控速度、接收机概念
5	在双极化系统的情况下，测定极化特性和测量是否可能？	天线馈源系统

测量精度要求非常重要，例如，对于频率和pfd的测量，尤其是对于为确定GSO空间站位置或非GSO卫星轨道元而进行的角测量。

一般而言，如同更传统的监测站，用于监测空间站信号的设备，必须具有足够的灵活性，以便在宽广的频率范围上进行调谐，这与只需满足研究性或运营性空间机构要求的点频覆盖形成对比。

5.1.3.2 空间监测系统的性能系数

在接收来自空间的辐射信号时，可达到的*C/N* 取决于以下因素：

– 接收站点上信号的pfd；

– 接收天线的增益；以及

– 接收系统的系统噪声温度。

接收系统的性能系数*G/T*，是接收信号方向上接收天线的增益与接收系统噪声温度之间的比率，如公式（5.1-9）所述：

$$\left(\frac{G}{T}\right) = G - T_{RS} \qquad (5.1\text{-}9)$$

$$\left(\frac{G}{T}\right) = \left(\frac{C}{N}\right) - \mathrm{pfd} - 10\log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) + 10\log\left(kB\right) \qquad (5.1\text{-}10)$$

其中：

G/T： 性能系数（dB（K^{-1}））；

G： 天线增益（dBi）；

T_{RS}： 接收系统的系统噪声温度（dB（K））；

C/N： 测量带宽中期望的载噪比，B（dB）；

pfd： 测量带宽中的pfd，B（dB（W/m^2））；

$\lambda^2/4\pi$： 全向天线的有效范围（m^2）；

k： 玻尔兹曼常量（1.38×10^{-23} J/K）（W/Hz）；

B： 测量带宽（Hz）。

在固定卫星业务的情形中，可准确掌握所规划系统的链路条件。对某个特定C/N 要求的G/T，可使用公式（5.1-10）来计算。测量带宽等于接收带宽。决定是通过增大天线增益还是降低噪声温度来获得要求的G/T，是系统研发人员的责任。

对于空间监测活动，不可能期望具备如此明确的条件。不过，使用的方法是类似的。依据这些空间站的最低pfd 值来计算期望的G/T，对这些空间站，对其辐射特性进行技术分析被视为是监测站必须执行的任务。

直接测量空间监测系统的G/T，最好选取单独测得的G 和T 之比，原因是这可减少出错概率。单独测量G和T 还要求使用一个信号发生器，它不必要地引入了其他的不确定性因素。太阳，而不是射电星，由于其信号更强，通常用于为校准pfd之目的而进行的G/T 测量。不过，如果接收系统足够灵敏，那么使用射电星将更好。

5.1.3.2.1 定义G/T 的术语

性能系数通常在5°仰角上测得，并以(dB(K^{-1}))为单位表示，即G/T(dB(K^{-1}))＝10log(G/T numeric)。

G/T（dB（K^{-1}））＝天线增益（dBi）－10 log（系统噪声温度（K））　　（5.1-11）

或

$$G/T \text{ (numeric)} \quad \frac{8\pi k r_1 r_2 f^2 (y_{sun} - 1)}{sc^2 y_x} \qquad (5.1\text{-}12)$$

其中：

k： 玻尔兹曼常量（1.38×10^{-23} J/K）；

r_1： 大气衰减的修正因子；针对≥5°的角；其中：

$$r_1 = \text{antilog} \frac{\frac{A}{\sin\theta}\,(\text{dB})}{10}$$

A： 垂直路径以dB为单位的单向大气吸收，而θ是测量时太阳的仰角；

r_2： 与太阳的角直径相关的接收天线半功率波束宽度的修正因子；

其中：

$r_2 = 1 + \frac{401.4}{\vartheta_h^2}$ and ϑ_h^2 是天线的半功率波束宽度（min）；

f： 频率（Hz）；

y_{sun}： 测量值，以数字单位表示；

其中：

$$y_{sun} = \text{antilog} = \frac{Y_{sun}(\text{dB})}{10}$$

s ： 从国家标准实验室获得的太阳通量密度；如果在直接感兴趣之频率（f）上的太阳通量密度s 不是可用的，那么应使用下列插值公式，而不是线性插值，以获得更大的精度：

$$s = \left(\frac{s_1}{s_2} \right)^{R_2}$$

其中：

s_1： 较低频率（f_1）上的通量（J/m^2）；

s_2： 较高频率（f_2）上的通量（J/m^2）；

$$R_2 = \frac{\log(f / f_2)}{\log(f_1 / f_2)}$$

c： 光速（3×10^8 m/s）；

y_x： 测量值，以数字单位表示；其中：

$$y_X = \text{antilog} \frac{Y_X(\text{dB})}{10}$$

5.1.3.2.2 *G/T* 测量程序

通常要求在拥有中频输出电压指示器（如伏特计或示波器）的监测站上能够获得接收机的类型。非常希望指示器具有0.1 dB（1%）或更好的电压分辨率。接收机必须稳定，并在测量期间不会出现任何显著的增益变化。

对测量：

– 应当关闭接收机自动增益电路；

– 天线应当指向太阳和获得的最大信号。太阳应当具有大于30°左右的仰角，以避免大气效应，并确保修正因子 r_1 和 r_2 受到的影响最小；

– 接着，天线应当只在方位角中旋转，远离太阳，如大于一定的角度。应当记录中频的电压水平。这一电压对应冷天的参考值；

– 接着，天线应当在朝向太阳方位角中翻转，并记下电压。读数的差别等于Y_{sun}（dB）；以及

– 接着，天线应当只在仰角坐标中旋转，比太阳低5° 仰角，并记下电压。这一电压水平与冷天电压水平之间的差，对于x° 仰角为Y_x（dB）。应当注意的是，5° 仰角（x°）是一个通用的参考标准。

而后使用测的的y_{sun} 和 y_x，以及使用r_1 和 r_2修正值，可以估算得到G/T。太阳通量密度s 可以从国家级标准实验室中获得。

运用计算*G*/*T* 的公式，测量不确定性的和方根约为< 0.5 dB。

必须在晴朗、明亮的天气条件下执行这些测量程序。

5.1.3.3 天线系统

为了给测量设备提供良好的最小灵敏度限制，天线增益应当尽可能高。

螺旋天线或偶极天线阵适合100～1 000 MHz 的频率范围。作为单一天线，它们的增益约为12～16 dBi。

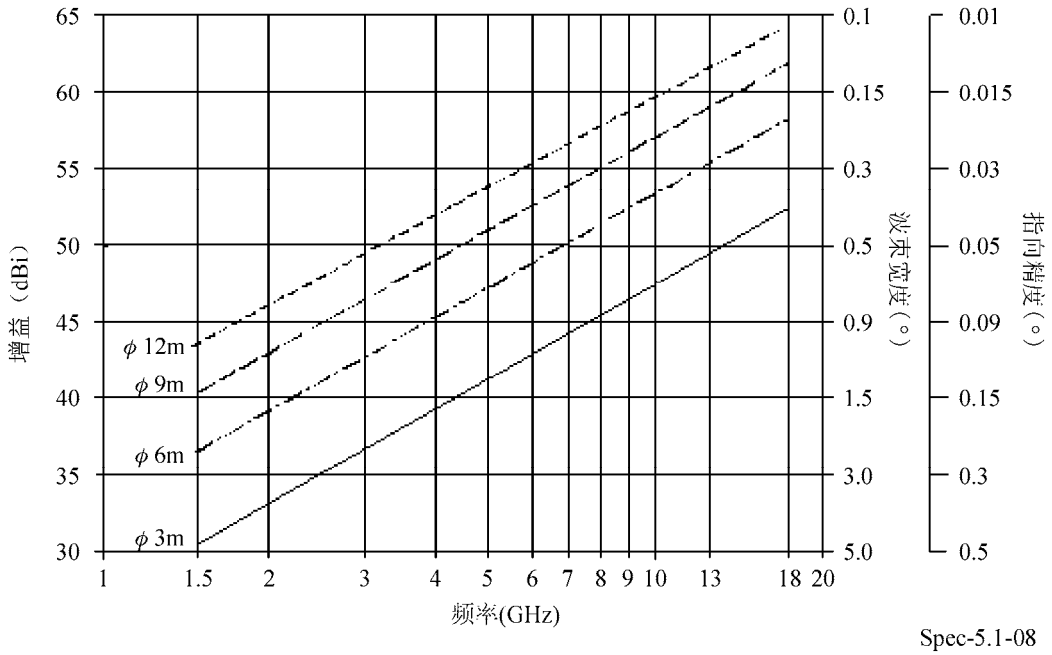
对于1～26.5 GHz的频率范围，在主焦点上带有一个宽带馈源的抛物面反射器已足够。如果要求具备优化的极化和方向性特性，那么最好采用一种使用可交换馈源系统的设计方案。第5.1.6.1节中给出了这种技术解决方案的例子。

图5.1-8显示，对于抛物面反射器的不同直径，天线增益是频率的一个函数，它假设典型的天线效率为55%。反射器的直径应当最小为3 m。在这种情况下，可获得从1.5 GHz 时31 dBi 至18 GHz 时 53 dBi 的天线增益。还可以外推至更高的频率。通常情况下，使用直径为6 m～12 m 的天线。

在某些情况下，使用对数周期天线具有优势。这种天线在10:1的频率范围上提供良好的普通覆盖，已用于50～5 000 MHz之间频率上的卫星监测。这种情况下的不足是天线增益与频率无关，且接近常数，通常在10 dBi以下变动。

图5.1-8

天线增益、3 dB波束宽度，以及作为不同直径抛物面反射器频率的一个函数的指向精度，天线效率为55%



Spec-5.1-08

5.1.3.4 天线操控

天线驱动系统应当既允许手动调整，也允许计算机控制的调整。如果要求准确确定GSO卫星的位置，或者，如果依据角度测量结果来计算空间站轨道元视为一项要求的任务，那么有必要进行自动跟踪。步进跟踪或单脉冲跟踪是两种可能的解决方案。

步进跟踪技术基于在预期卫星位置周围位置上对接收信号强度的测量结果。通过计算，逐步找到最佳值。单脉冲跟踪技术基于对跟踪接收机中抵达波型的分析。只有当天线直接指向卫星时，才会产生预期的波型（波导模式）。其他波型将为正确的指向产生跟踪信息。单脉冲跟踪技术可用于GSO和非GSO卫星，对功率测量结果不会产生任何影响。

5.1.3.5 角测量所需的天线波束宽度

本小节的意图是在天线的半功率（3 dB）波束宽度与可达到的指向精度之间建立一种关系。在对GSO 空间站位置保持情况实施监测时，或者在计算非GSO 卫星轨道元被视为无线电监测站的一种要求任务时（参见第5.1.2.6节），对自动跟踪技术，这是有用的。指向精度是对天线系统确定一个物体视角（方位角、仰角）好坏程度的一种度量。在这方面，固定卫星业务的空间监测与地面站之间存在一定的差别，原因是，在后一种情况下，甚至可能的最小相对校正误差（相对于空间站）也将是巨大的。

天线的半功率波束宽度与最大可达到的指向精度之间可以建立起关系式：

$$R = n \cdot \theta_0 \qquad (5.1\text{-}13)$$

其中：

R： 角测量误差（°）；

n： 改善因子；

θ_0： 半功率波束宽度（°）。

对于优化的窄带天线，n = 0.01。对于通常由空间业务无线电监测站使用的宽带型天线，如果使用单脉冲系统，那么因子0.1看起来是可行的，如果使用步进跟踪系统，那么因子0.15看起来是可行的。剩余的变量，即半功率波束宽度，是反射器直径的一个函数。

考虑到如《无线电规则》中所定义的最小纵向位置公差±0.1°，应选择适当的半功率波束宽度。±0.1°的经度公差定义了赤道轨道平面的角部分。在监测站在赤道上运行的限制性情形中，位置保持必须通过角测量结果来检查，只能在天线的仰角平面中。当监测站切换到南方或北方时，将在监测天线的方位角平面内发生旋转。例如，在50°纬度的情况下，这意味着GSO 空间站的经度位置保持公差将主要作为天线方位角平面中的角度差来测量。如果监测站与子卫星点之间的纵向差达到0°，那么它将达到±0.13°，如果经度差达到60°，那么它将降为±0.085°。在这一例子中，相应的测量误差为±0.01°，即相比允许的公差，小了10倍。

图5.1-8包含针对半功率波束宽度的值以及作为频率与反射器直径函数的天线指向精度值。显然，完全将定位监测当作一项监测任务来执行存在一些局限，尤其是在低频带情况下。不太严格的要求还有待确定，它允许在以下情况下使用较小的天线系统，即在位置保持中仅存在较大的分散或偏离，例如，在对有害干扰进行研究时。

5.1.3.6 系统极化

对于极化测量结果（第5.1.2.5节），应谨慎考虑天线系统的特性。由于在1 GHz以上的频带中使用圆极化和线性极化，在固定卫星业务频带中使用双极化是一种标准的方法，因此，接收系统的极化需要能够适应接收信号的极化，并能充分区分极化。

除了能够获得接收信号的极化特性，这种系统还将提供最大的天线增益，并最大程度地减少两个正交极化平面之间的串音信号，对于第5.1.2节中提到的大多数测量，这是一项要求。

5.1.3.7 接收机

出于经济上的原因，以及由于在监测站上要求达到普遍覆盖，因此，通过可调谐的监测接收机，无法达到用于空间研究与运营目的之固定频率接收机所需的极低噪声系数。不过，用于空间业务的监测站，其接收系统的噪声系数将影响到整个系统的噪声系数。在空间业务监测站的设计阶段，一个重要目标是将整个系统的噪声系数降至可能的最低值。这是真实的，即使在几乎所有情况下，通过对一部分辐射频谱的窄带滤波来改善*S/N* 是可能的。

对约3 GHz以下的频率，可使用标准的监测接收机。当高于3 GHz左右时，应使用模块化设计的微波接收机系统，以便满足各种要求。由于微波范围中的高线路损耗，接收机的前端必须位于紧邻天线的位置，因此，在接收机作为独立单元的情况下，不能采用传统的理念，而低频模块和控制设备可置于操作间中。表5.1-3提供了一个有关C 波段和Ku波段接收系统规格的例子。

表5.1-3

接收系统特性示例

调谐器与合成器	
频率范围	1～18 GHz，带有几台重叠的调谐器
接收频率带宽	中心频率：±50 MHz
频率误差	$< \pm 2.5 \times 10^{-8}$
IM—自由动态范围	>66 dB（1 MHz 带宽）
振荡器相位噪声	＜－90 dBc（Hz）（自载波的10 kHz）
宽带接收机	
最小调谐步进	1 kHz
中频滤波器带宽	0.05/0.3/1.25/2.5/5/10/20/40 MHz

在使用自动方法测量多普勒频移的情况中，要求使用频率计，接收机必须发出一个无噪声的输出信号，它可准确表示卫星的载波频率。出于这一目的，接收机必须向卫星载波频率提供锁相同步。锁相环的带宽应当能够在几赫兹与数百赫兹之间变换。这种锁相电路的输出频率还可用作导航频率，用于带宽测量期间对第二台接收机进行频率调整，第5.1.2.3节对此进行了描述。

为达到更一般的目的，如果必须接收不带载波的卫星信号，并且如果这一信号的pfd足够大，那么可使用一台自动频率调谐设备来避免因接收信号频率中的多普勒频移而导致的带宽与pfd测量结果失真。

为便于测量，应提供以下接收机输出：宽带和窄带中频输出、视频、音频以及基带（AM/FM）输出。为使所有接收机都能够使用相同的辅助设备，对于测量装置的所有接收机，中频都应是相同的。

5.1.3.8 外设

5.1.3.8.1 一般设备

表5.1-4列举了一些外设的清单，它们是以上提到之测量所需的，而其他一些有用的设备可以添加到接收系统中。

表5.1-4

外设

必要的外设		额外的外设	
设备类型	**功能**	**设备类型**	**功能**
频率/时间标准	主要参考	TV解调器	解调FM和数字调制的TV载波
频率计	多普勒频移测量	TV解码器	解码TV基带信号（NTSC、PAL、SECAM、HDTV）
时间分配器	用于频率计的时序脉冲	声频载波解调器	解调TV声频次载波，可调谐的
信号分析仪	频谱分析，带宽测量	调制分析仪	识别调制类型、调制测量
功率计	pfd 测量		
信号发生器	参考pfd 测量		
记录仪	一般目的		
数字示波器	一般目的		

5.1.3.8.2 分析仪

已证明，频谱分析仪不仅对普通监测，而且对空间监测，都是功能最强大的仪器之一。为使它能够用于监测任务，频率分析仪应能与计算机控制的其他设备交互工作。

为实现实时的频谱显示和功率测量，可使用数字FFT或矢量分析仪。编程的数字滤波器可选择针对不同调制（FM、QPSK等）的带宽和适当的滤波器曲线。FFT分析显示实时频谱，无需像传统频谱分析仪那样，花大量的时间来扫描信号带宽。

5.1.3.9 宽带射频或中频监测信道

对空间业务监测站，在着手其接收系统技术设计时，建议能够对无线电频率频谱进行宽带监测。应同时能对500 MHz的最小带宽进行分析。

5.1.3.10 无线电频率频谱记录设备

用于空间监测的记录设备，其技术特性对应那些地面监测要求的设备（参见第5.1.2.9节）。由于必须使用最好是线性极化的非定向天线，因此必须通过为记录设备选择一个较小的带宽来补偿天线增益的损耗。作为一条一般性规则，尤其是对图形记录单元，总的分析频谱带宽不得超过2 MHz。

5.1.3.11 计算机要求

对计算机的要求应视为空间业务监测站的一个有机组成部分。例如，它们可用于：

– 计算轨道元；

– 从轨道元结果计算天线的指向角；

– 天线操控；

– 保存测量结果；以及

– 评估测量结果。

5.1.4 对空间监测的文档和数据库支持

5.1.4.1 对文档和数据库的总体考虑

空间业务监测站的成功运营取决于不断更新纸质文档或电子文档。最好是采用数据库系统的形式，它不仅包括国际电联正式发布的数据，即：

– 在CD-ROM上的BR国际频率信息通报（BR IFIC）；

– 空间网络列表（在线的或在CD-ROM上）；

– DVD-ROM上的空间无线电通信站；以及

– 无线电规则，纸质的或在CD-ROM上。

而且包括对轨道中所有卫星的调查，加上某些最为重要的轨道元（旋转时间、倾斜角、远地点、近地点）。主管部门授权的地面站的数据在地面站的地理定位中非常重要，尤其是在识别频谱的未授权用户时。

为方便监测作业，有必要建立一个数据库，以便记录两类信息。一类是关于所有感兴趣卫星的一般信息，另一类是通过监测获得的卫星特性信息。

5.1.4.2 现有卫星的一般信息数据库

现有卫星的一般信息数据库主要描述监测站监测能力范围之内的卫星特性和授权空间业务。最重要的信息包括：

– 卫星轨道信息，包括GSO卫星的标称经度、经度容差、非GSO卫星的星历信息等；

– 转发器信息，包括转发器数量、转发器带宽、频率范围、信标频率、最大天线增益；

– 卫星波束信息，包括波束覆盖范围、业务范围、最大功率（dBW/m^2）。

此外，下列卫星信息有助于地面站的地理定位：

– 地理信息，包括经度、纬度、高度等；

– 天线信息，包括天线尺寸、增益、天线方向图等；

– 其他信息，包括频率分配、带宽、极化、发射功率、业务类型、调制类型、工作时间等。

以上信息的来源可以是卫星运营商、主管部门和公共媒体。

5.1.4.3 监测信息数据库

监测信息数据库用于记录空间监测站的测量结果。测量结果应包括某些关键参数，如频率、极化、带宽、pfd、调制类型等。长期的频谱占用情况分析有助于更好地进行频谱规划。

为便于监测站之间的数据交换，监测本身的参数，如天线位置、天线参数、测量时间和天气等，应在数据库中予以记录。

5.1.4.4 使用文档和数据库来便利监测

在监测中，文档和数据库支持以下目标：

– 确定空间站。

通过对一般信息数据库和监测数据的比较，可以识别空间站。在以下章节中将更详细地介绍识别空间站的过程。

识别非法辐射

通过对一般信息数据库中相应的、已经主管部门批准的条目进行比较，监测工程师可以识别非法辐射。这可以通过监测系统自动实现。只有当主管部门可以使用已批准的载波数据时，这才是可行的。

便利辐射地理定位

数据库系统可以显著提高地理定位任务的效率。根据数据库中的信息，可以开展各种分析工作，包括：

– 相邻卫星分析；

– 参考信号选择；

– 潜在干扰分析。

除此之外，在空间监测上，地理信息系统（GIS）发挥着重要的作用，这是一个能够为监测工程师提供关于频率使用概况的、监测站数据库和GIS数据库的联合系统。在分析涉及对空间站的潜在干扰时，可以使用这个联合系统。

5.1.5 空间站的识别和地面站的地理定位

空间站的识别通常基于对测得的辐射和轨道特性与参考数据库和文件中获得的辐射与轨道特性所做的比较。参考特性由一张所有空间站的辐射与轨道特性列表组成，它一直以来是公开发布的，或者可供监测业务使用。对未知的站，通过对这些站的反复排除来识别，不与测得的特性相对应。表5.1-5给出了参考特性。

随着GSO卫星的广泛使用，对主管部门，必须能够识别向着GSO卫星发射的地面站，以获取全部的地面站使用信息，并消除有害的或非法的辐射。在使用第5.1.2.7节中所述的地理定位方法时，典型的情况下，位置误差可达数十公里。当从合法用户处识别辐射时，这一精度也许是足够的，但对非法辐射，可能需要其他的地面监测手段，以便最终查明和消除干扰。

表5.1-5

参考特性

辐 射 特 性	轨 道 特 性
频率	星历数据，或者，若它不可用时：
带宽	— 旋转周期
调制类型	— 轨道的倾角
极化	— 近地点和远地点距离
e.i.r.p.	— 赤道交叉时间和交叉经度

5.1.5.1 将用于识别的监测结果

5.1.5.1.1 估算频带记录

参照第5.1.2.9节以及第5.1.7.1节中提供的例子，对以下空间站特性的近似值，可以从频带记录结果中获得：

– 频率；

– 非GSO 卫星预期的接收时间；以及

– 旋转周期。

5.1.5.1.2 计算旋转周期

对于精确到数秒的旋转周期计算，通过测量两个连续路径的TCA 时间来获得一个初始的近似值是可能的。这样，优化的结果将基于一或两天时间内额外的TCA 测量结果。

5.1.5.1.3 测向（DF）

为了补充卫星对监测站准确的TCA 测定，可以绘制一条曲线，以显示信号到达方向随时间的变化情况，如同通过测向方位或方向来判定高度定向的接收天线。当卫星在一个特殊行程中离监测站最近时，将出现最大的角度变化率，借助这一方法获得的信息，应与从多普勒频移曲线中获得的信息相一致。

如果频谱中不存在载波频率，那么测向测量结果非常适合用来测定TCA。不过，测向测量结果要求在接收点上具有足够的pfd。

5.1.5.1.4 从天线角测量结果计算星历数据

如果监测站配备了自动跟踪的天线系统，那么可使用方位角和仰角平面中的角测量结果来计算未知卫星的星历数据[Montenbruck，1989年]和[Montenbruck和Pfleger，1991年]。执行这一计算任务的软件可在市场上买到。

测定星历数据的精度取决于：

– 总的角测量精度（第5.1.3.5节）；

– 用于角测量的轨道段；

– 卫星轨道的类型。

一个大的操作问题是需要在非GSO卫星进入监测站的可视范围后，立即在其上指向天线。虽然获得准确的角测量值要求采用高度定向的天线，但它们的使用增加了搜索和找到LEO卫星的难度，原因是，可用于测量的轨道部分少于总的可视轨道。第5.1.7.2节中的一个例子描述了基于角测量结果来计算轨道要素的情况。

5.1.5.1.5 辐射特性

上面各节中所述的对辐射特性的测量，对空间站的识别也许已足够。特别是对那些依照《无线电规则》来运行以及其辐射特性已被通报或公布的空间站，情况更是如此。

5.1.5.2 识别程序

如果测得的辐射特性没有实现对空间站的识别，那么测得的星历数据或其一部分，将是有帮助的。

在将测得的星历数据与公布的参考数据进行比较时，首先选择带有最多类似数据的轨道目标。随后对数据进行的逐步比较应极大地减少需考虑的目标数量。最后，通过计算有关剩余目标的可视次数和TCA，以及通过将它们与监测结果进行比较，实现准确的识别应是有可能的。

5.1.5.3 识别空间站的其他可能性

到目前为止一直在讨论的、用于识别空间站的程序，都基于对测得的和监测的信号特性与公布的信息进行比较，以及通过将测得的星历数据或其中的一部分（旋转时间、斜角、TCA）与公布的星历数据进行比较。不过，这一程序不仅费时，而且还要求访问在轨目标的星历数据。

在某些情况下，特别是不遵守《无线电规则》或者对有害干扰进行监测的情况下，另一种程序可能是有用的。在这些情况下，空间业务监测站可以记录下关于频率和带宽测量结果以及其他辐射特性的所有信息，再加上星历数据或其中的一部分，并请求从识别与跟踪中心或者卫星网络运营商、基于这一数据进行识别。

5.1.5.4 关于对朝向GSO卫星的上行链接地面站进行地理定位的运营考虑

目前，不同的制造厂商提供了一些商用的地理定位系统，这些系统运用第5.1.2.7节中所述的原则，对朝向GSO卫星的上行链路地面站进行地理定位，一些卫星运营商和主管部门采用了它们。本小节将介绍对这些系统的某些运营考虑。

一开始，地理定位系统的运营商应首先确定未知信号的性质。可以使用两种方法：一是借助其他监测设备，或者从卫星运营商那里获取信息；二是需要对一颗相邻的卫星进行测试。在评估候选的相邻卫星时，运营商可有多种选择方案。运营商还应向地理定位系统输入其他要求的信息。通常，要求使用大量的参考信号，要么用于抵消两颗卫星星上振荡器的漂移，要么用在地理定位算法中，以修正因星历误差而造成的定位不准确。

5.1.5.4.1 获得必要的信息

操作人员应确定关于所测试信号的某些有用信息。例如，携带未知信号的卫星，其转发器的频率规划、中心频率、带宽、占空比（针对中间信号）以及未知信号的频率移动特性。基于这些信息，操作人员将选择合适的监测参数，以使成功实现地理定位的可能性最大。

以上信息可借助其他监测手段获得，或者，如果未知的信号造成了有害干扰，那么由受影响的卫星来提供。

为了“看到”干扰源的活动和转发器的占用情况，在向监测站报告干扰情况后，尽快用频谱记录仪记录卫星转发器的干扰情况，也是有帮助的。

5.1.5.4.2 相邻卫星选择

也许不止一颗卫星适合用作相邻卫星。主要的考虑因素是确保所选的相邻卫星有适当的上行链路和下行链路连接性。

从已知的下行链路频率和未知信号的极化，操作人员可以推论出对应的上行链路频率和未知信号的极化。在要么使用半球上行链路波束、要么使用点上行链路波束的情况下，上行链路波束模式可对地理区域造成限制，未知信号可能源自该区域。操作人员应牢记，设置在卫星上行链路波束干扰主波束模式之外的大型上行链路天线，也可能会造成干扰。

在考虑未知信号的上行链路频率和极化以及主卫星上行链路天线的波束覆盖范围时，可以确定候选的相邻卫星。选择相邻卫星的准则如下所述：

– 与主卫星相同的上行链路频率覆盖；

– 与主卫星相同的上行链路极化；

– 与主卫星相似的上行链路波束覆盖；

– 与沿地球同步弧线之主卫星的角距；

– 不使用星上处理（OBP）的转发器。

上面列举的主要选择标准，大致根据其相对重要性进行排序。前两条准则、上行链路频率、上行链路极化以及下行链路波束覆盖范围，是成功实施测量的绝对前提条件。

一旦操作人员依据上述准则确定了一颗或多颗候选的相邻卫星，那么就可以使用次要准则来帮助作出最后的选择。次要准则包括：

– 适当参考信号对主/相邻卫星对的可用性；

– 可用于相邻卫星的星历数据的质量；

– 存在/不存在对应干扰信号频率的、相邻卫星转发器中的信号。

在对相邻卫星做出最终选择时，操作人员应牢记，将为具有高质量当前星历数据的卫星获得最佳的几何解决方案，并将为使用的卫星对选择恰当的参考信号。

参考信号可能在主卫星或相邻卫星上出现。如果主卫星上具有适当的参考信号，那么在选择相邻卫星时无需遵循该准则。固定的或可移动的专用参考发射机，还可用来改善地理定位的结果。

另一个可能影响相邻卫星选择的因素是，在测量时所选卫星对的FDOA线方向。与TDOA线不同，某个特定卫星对的FDOA线方向，可能会在一个轨道周期（1天）内产生巨大变化。

最佳选择是找到一颗在干扰信号和参考信号附近没有信号的相邻卫星。为监测实际的转发器活动，建议使用频谱记录设备来记录相邻卫星的转发器。

如果在FDOA线与TDOA线接近平行时进行测量，那么结果范围将沿恒定的TDOA线大大延长。在这种情况下，操作人员应考虑，要么选择一颗不同的相邻卫星，要么在FDOA线的方向更为有利时安排额外的测量。

5.1.5.4.3 参考信号

理想的参考信号是从准确掌握的地理位置上行而来的全时宽带信号，它在所用的两颗卫星之间产生强相关性。这一准确的位置可从地面站数据库中获得，但最好是使用便携式GPS接收机进行复核。在参考信号充裕的情况下，操作人员应尽量使用参考信号。这些参考信号是：

– 来自较小天线的上行链路连接；

– 良好的地理分布；

– 进行了适当调制；

– 其频率来自相邻卫星未使用的转发器部分。

5.1.5.4.4 星历数据

主卫星和相邻卫星的星历数据质量将直接影响测量结果的质量。在大多数情况下，通过运用两个或多个参考信号，可以在很大程度上消除星历数据中的误差（详情参见第5.1.2.7.2节）。如果星历数据的质量特别差，可能是紧随轨道机动的情形，也可能是星历数据日期比测量日期早了几天的情形，那么可能导致位置的不确定性大到数百公里。在这种情况下，操作人员应努力获取质量更高的星历数据，或者使用一颗可选的相邻卫星。

地理定位系统的操作人员可通过以下途径获取星历数据：

– 从卫星运营商请求数据；

– 从网站下载已公布的数据。

而后，用某个已知站（如参考站）的地理定位测量结果来对星历数据进行检查。如果结果的质量不够高，那么可采用星历误差补偿。这是一种补偿卫星星历误差的可能方案。用三个或多个参考站，可以实现地理定位测量。通过对地理定位测量结果的逆计算，星历误差补偿可以实现对星历数据的修正。

5.1.5.4.5 设立专用的辅助参考发射机

在某些情况下，地理定位系统的操作人员可发现参考信号的数量和地理分布不足以产生准确的结果。在一些卫星上，大多数用户位于一个或两个大城市中，它极大地限制了地理定位可用的参考信号数量。因此，主要部门有必要设立大量的专用辅助参考发射机，以便为地理定位系统的操作人员提供更多的、有关参考信号的选择方案。这些发射机应：

– 符合卫星运营商的技术要求；

– 能够指向任何可视的、沿地球同步弧线的GSO卫星；

– 良好的地理分布；

– 天线尺寸比较小；

– 使用适当的调制类型。

对各主管部门而言，在不同地点合作设立专用的辅助参考发射机，并在必要时将它们用作参考，是一种明智的做法。

在使用专用的辅助参考发射机向某颗特定卫星进行发射之前，要求事先征得卫星运营商的同意。在发射之前还要求进行某些技术测试。

5.1.5.4.6 可移动的参考发射机

一般而言，尤其是在市区，要找到向GSO卫星上行发射的发射机是非常困难的。造成困难的主要因素有二个：一是无线电波受到建筑物的阻挡；二是方向性极强的天线通常在陆地方向上具有非常微弱的旁瓣。因此，在可移动发射机的帮助下，使用TDOA和FDOA测量法来帮助精确定位产生有害干扰的发射机将是有用的。

如前一节所述，由于在发射之前需要进行某些技术测试，因此，在朝某颗特定卫星发射之前，必须事先征得卫星运营商的同意。

理论上，假定一对卫星，两个在不同频率上发射的地面站将产生相同的TDOA值以及具有微小差别的FDOA值。参考发射机越是靠近未知的干扰源，地理定位算法的精度就越高。

在使用可移动的参考发射机之前，操作人员应充分利用所有的固定参考发射机，以便尽可能降低测量结果的不准确性，并尽可能缩小测量范围。因此，在发射之前，应事先征得卫星运营商的同意，并考虑到有关发射的各技术参数。最后，应采取以下两个步骤：

第1步：将可移动的参考发射机移至测量范围的中心，并在卫星运营商同意的情况下发射参考信号。接下来，应告知地理定位系统的操作人员，以便执行地理定位测量任务。还应告知操作人员准确的车辆位置。

第2步：当使用可移动的参考发射机时，地理定位测量任务应产生一个新的结果。

在第2步之后，结果将得到优化，这些步骤可以重复进行，以获得更准确的结果。

可移动参考发射机的操作人员应与地理定位系统的操作人员保持密切联系。在实践中，路径的选择和传输将受到诸多其他因素的影响，如流量管制等，操作人员应注意到这些因素。

5.1.6 举例说明技术解决方案

5.1.6.1 空间无线电监测站的例子

本小节描述空间无线电监测站的最重要部分。典型地，它由四个主要的技术部分组成：

第1部分： 天线系统（参见第5.1.6.1.1节）

一幅或多幅不同的天线，用来覆盖所有感兴趣的电信和空间无线电频带（定向天线和全向天线）。

第2部分： 接收设备（参见第5.1.6.1.2节）

馈源系统、极化单元、下变频器、校准系统、参考频率源。

第3部分： 监测设备（参见第5.1.6.1.3节）

自动测量系统以及手动测量与分析设备，如信号分析仪、接收机、频谱记录系统和调制分析仪，都是监测设备的组成部分。

第4部分： 控制设备（参见第5.1.6.1.4节）

控制设备包括用于控制天线定位的软件和硬件、方便自动测量程序的接收系统设置和监测设备设置。

概述

监测站的位置：

监测站的位置应尽可能远离市区和带有人为噪声的工业区、手机和 RLAN。固定链路不得穿越站点位置。应在监测站周围声明建立一个保护区，并使其范围内不存在地面发射机和固定链路。

监测站周围的地形应是平坦的，不应存在因山丘和建筑物而造成的视线阻挡现象。

站点配置：

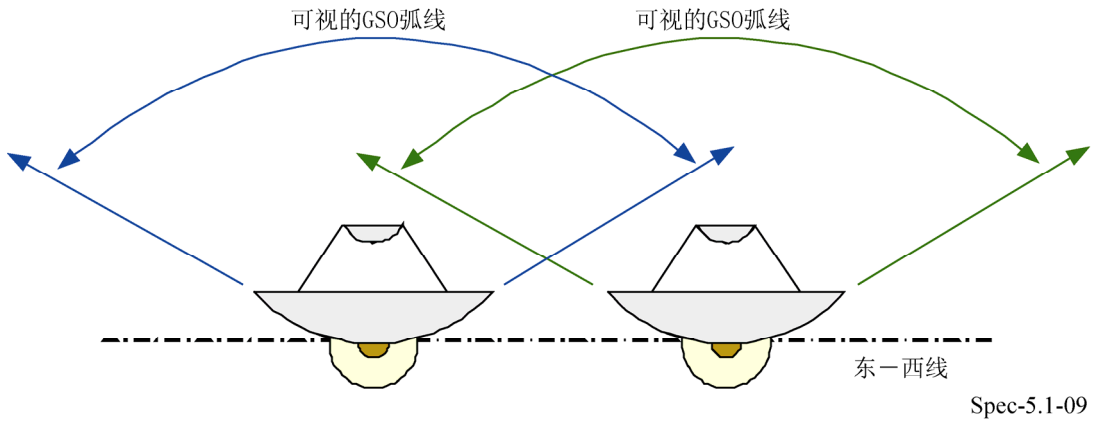
天线和建筑物的位置主要取决于监测目标（GSO卫星或非GSO卫星）以及对地球同步轨道的哪一部分感兴趣。应预测到未来的扩展。

在平坦和开放的条件下，天线应排列成一条直线，如东—西线。

在朝向GSO卫星的方向上，天线之间的距离应当足够大，地球同步弧线的可视角必须不存在障碍物（参见图5.1-9）。

图5.1-9

GSO卫星监测天线的间隔



为了实现从非GSO卫星的无障碍接收，天线周围区域必须在所有方向上都不存在障碍物（天线、建筑物），这至少达到最低要求的仰角（参见图5.1-10）。

图5.1-10

非GSO卫星监测天线的仰角

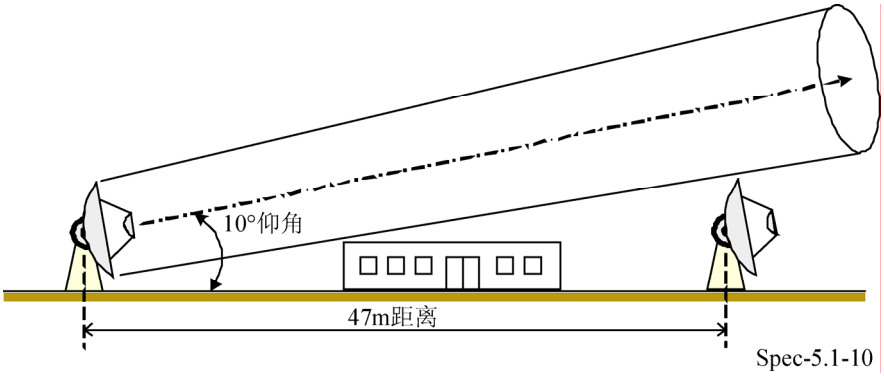


表5.1-6显示了为实现至卫星的清晰LoS，两幅天线之间的理想距离（直径各为9 m）。为实现至卫星的无遮挡视线，这一仰角是最小角度。

为了在不大幅降低天线性能的情况下实现最佳的天线数量需求，首选的方法将是接收频带的结合。地理定位测量系统需要两幅天线，二者都要覆盖要求的频带。

例如，结合三幅天线（1幅为C/Ku频带、1幅为L/S频带、1幅为Ka频带），将具备接收能力，如广播链路、网络以及可选的卫星控制与测试信号。仅使用一幅天线来结合4或5个频带也是可能的。通过使用一幅带有波束波导系统和两个舱的卡塞格伦天线，或者使用一个旋转馈源系统，可以实现这一点。

表5.1-6

为实现至卫星清晰的LoS而要求的两幅天线（尺寸相同）之间的距离

仰角（°）	距离（m）
5	99
10	47
15	30
20	22
25	18
30	16

这种多频带天线的不足在于同一时间只能使用一个频带。

5.1.6.1.1 天线系统

天线类型

– 限动天线；
– 具有>180°连续方位角行程的转塔天线；
– 仰角轴高于方位角轴的全动天线；
– 仰角轴高于方位角轴、高于倾角轴的全动天线；
– 斜角轴高于方位角轴、高于倾角轴的全动天线；
– 带X-Y基座的全动天线；
– 六足天线。

对GSO或非GSO卫星实施监测要求采用不同类型的天线。最常用的天线类型描述如下。

用于GSO卫星监测的天线

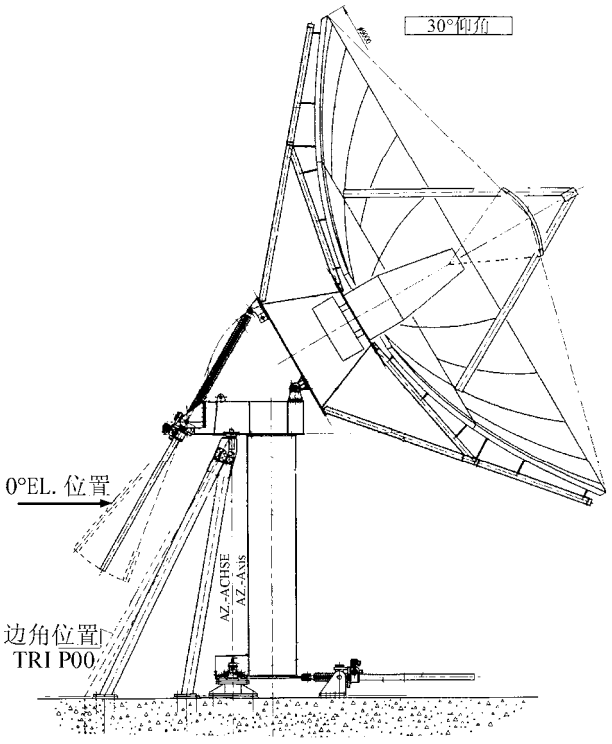
在监测GSO卫星时，可使用具有低方位角和仰角速度的天线。

可用的跟踪系统：

– 带有双线单元（TLE）的计算机跟踪；
– 步进跟踪；
– 单脉冲跟踪。

图5.1-11

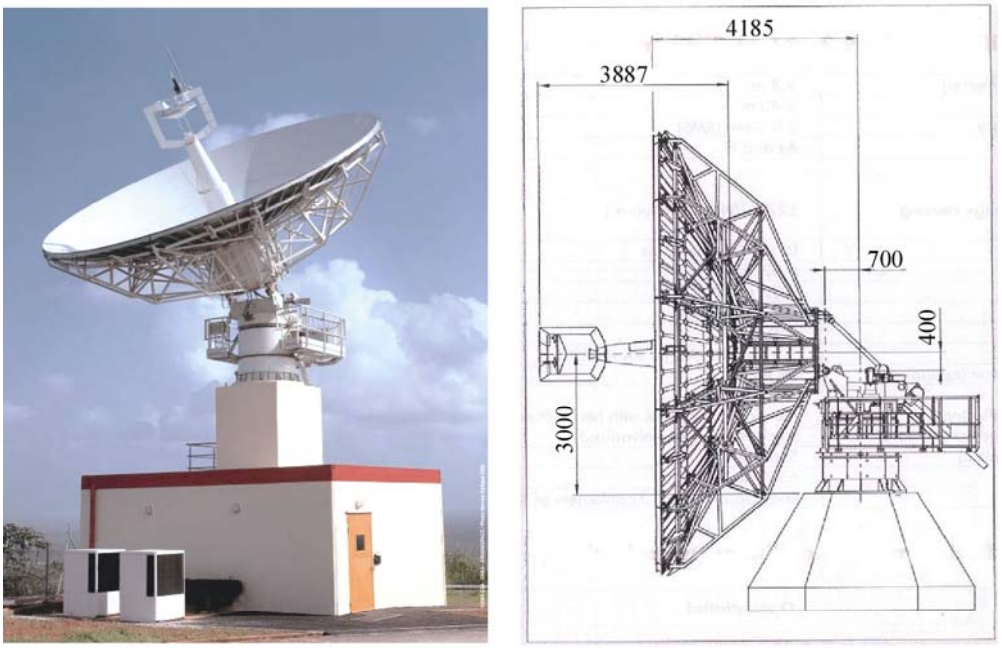
带有主梁基座和机动化螺旋起重机、位于方位角和仰角中的9 m限动天线



Spec-5.1-11

图5.1-12

9.3 m转塔天线示例



9.3 m天线的屋顶版本（0°仰角）
Spec-5.1-12

用于非GSO卫星监测的天线

必须使用速度更快并带有一个跟踪系统的全动天线。取决于天线基座类型（大于方位角的仰角或X-Y基座），要求的速度与加速度是不同的。

可用的跟踪系统：

– 带有双线单元（TLE）的计算机跟踪；

– 单脉冲跟踪。

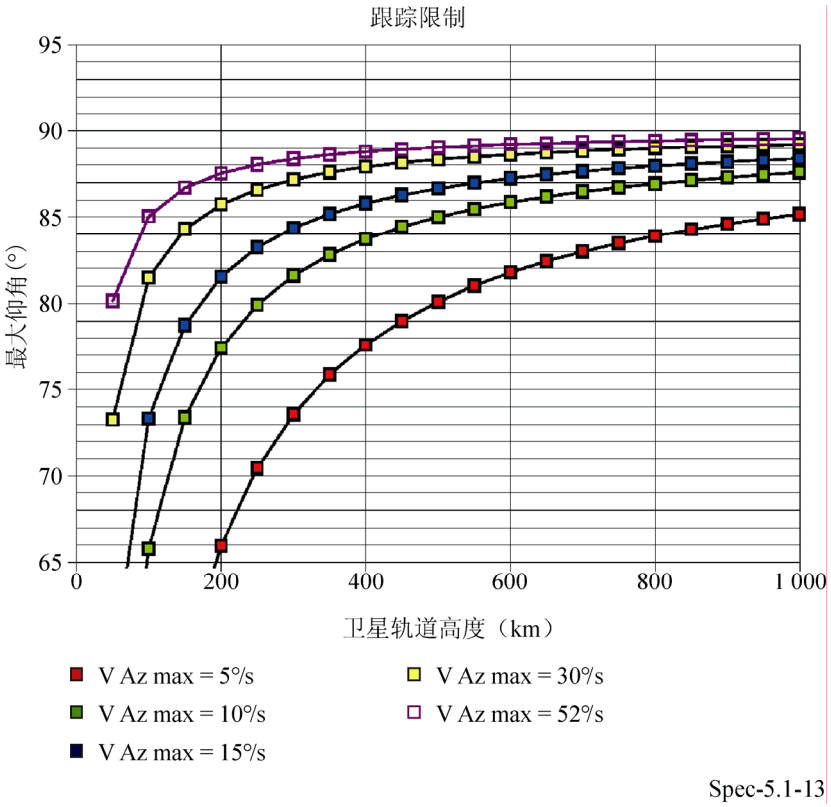
仰角轴高于方位角轴的天线

这类天线可用于高达85°仰角轨道的所有类型卫星。在其顶点，这类天线带有一个锁眼。它为接收设备的安装提供了不同的选择方案，例如，舱对准碟形天线。

取决于卫星高度，用这类天线对高达85°仰角的卫星轨道进行跟踪，要求具有约15°/s的方位角速度。特别是在考虑到具有大仰角的低轨卫星时，如果方位角速度不够，那么将存在与卫星失去联系的危险。图5.1-13显示了卫星轨道、方位角速度以及仰角之间的关系。

图5.1-13

对于仰角轴高于方位角轴的天线类型，卫星轨道、仰角和方位角速度之间的关系



为了能够降低方位角速度，可使用带有所谓倾角轴的天线。倾角轴系统改变整个天线基座的倾斜度。这使卫星甚至能够以更低的方位角速度实现不间断的跟踪。对于倾角的高级计算，必须十分清楚卫星轨道（如双线单元）。倾斜不能用于带有未知轨道数据的卫星。例如，此类卫星可以借助单脉跟踪方式来跟踪。

图5.1-14

12 m卡塞格伦波束波导天线，带有仰角高于方位角的基座
以及两个在碟形天线后部的接收设备舱

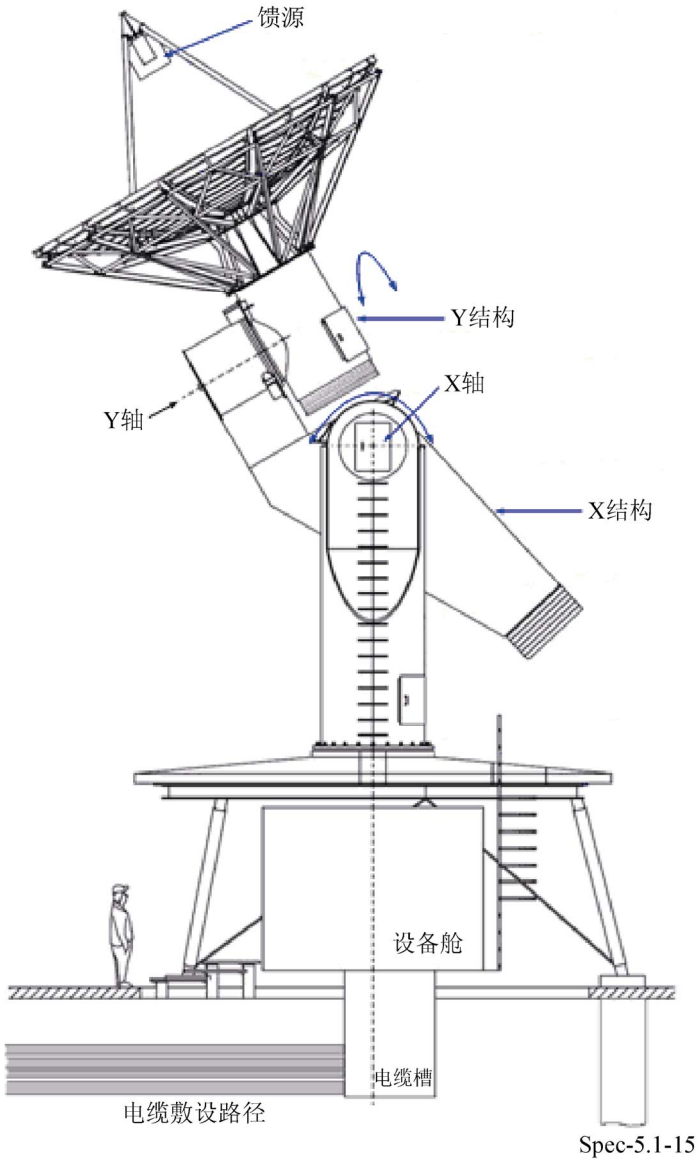
Spec-5.1-14

X-Y天线

这种类型天线具有以下优势，即它能够跟踪在顶点上没有锁眼的任何类型轨道。特殊的轴构造只需缓慢的速度和加速度（≤3°/s）。其不足是天线背面仅为接收设备提供了有限的空间。

图5.1-15

7 m X-Y主焦点天线



天线规格

表5.1-7为卫星监测天线提供了实际的技术规格。由于这些要求取决于监测站，因此表中的数据应视为典型的最小规格。不过，实际的参数应取决于特定的测量要求。

表5.1-7

卫星监测天线的实际技术规格

	参　数		性　能		
			L/S/C 频带	**Ku 频带**	**Ka 频带**
a.	频率范围		L 频带： 1 452～1 492和 1 530～1 800 MHz S 频带： 2 100～2 300 MHz 2 500～2 690 MHz C 频带： 3 400～4 200 和 4 500～4 800 MHz	10.70～12.75 GHz	17.30～21.20 GHz
b.	在低噪声放大器（LNA）输入处的最大信号电平（dBm）		≤－30	≤－30	≤－30
c.	pfd 测量性能（*C/N* 至少为23 dB）		在4 kHz 带宽中 －155 dBW/m^2	在4 kHz 带宽中 －165 dBW/m^2	在4 kHz 带宽中 －160dBW/m^2
d.	pfd 测量精度（dB）		±1	± 1	± 1
e.	性能系数（*G/T*）（dB/K）		L＝20 S＝23 C＝28	37	33
f.	参考频率精度		时效：每天10^{10}分之一； 温度：10^9分之一，总的变化范围为0°～50°。		
g.	极化		X、Y、左手圆极化（LHCP），右手圆极化（RHCP）	X、Y、LHCP、RHCP	X、Y、LHCP、RHCP
h.	频率分辨率（kHz）		1	1	1
i.	动态范围（dB）		≥60	≥60	≥60
j.	天线	天线碟的直径（m）	≥9 m	≥9 m	≥4.5 m
		指向精度（°）	0.15～0.04	0.02～0.017	0.025～0.02
		波束宽度（°）	1.6～0.5	0.22～0.18	0.27～0.22
		GSO卫星的步进跟踪速度	0.02～2°/s，手动驱动和自动步进跟踪（取决于天线位置的经度和纬度）。		
		GSO卫星的覆盖范围（°）	EL：0～90，AZ：± 60		
		非GSO卫星的覆盖范围（°）	EL：0～85，AZ：± 270（总的方位角覆盖范围为360°），在90°时保存。		

注1： 此表和第5.1节中的频率范围，如L、S、C频带，未在国际电联的《无线电规则》中进行定义，但在卫星通信领域得到了广泛应用。根据来源不同，这些频率范围的定义可稍有差别。

注2： 对于频带外辐射的测量，所列举的商用频带（参见a.）必须予以放大。必须用滤波器来阻挡强烈的陆地辐射。

5.1.6.1.2 接收设备

波束波导系统的优点是波束可以导向不同的地点，且插入损耗低。馈源可以安装在设备舱中，舱可提供充分的、设备安装、设备维护和空调所需的空间。卫星监测天线的馈源系统比较独特，原因是，这些天线仅用于接收，并且通常覆盖很宽的频率范围（参见图 5.1-16～图 5.1-23）。

图5.1-16

带可移动馈源的独立馈源以及选择反射器布局的例子
3个频带进入1个12 m波束波导天线

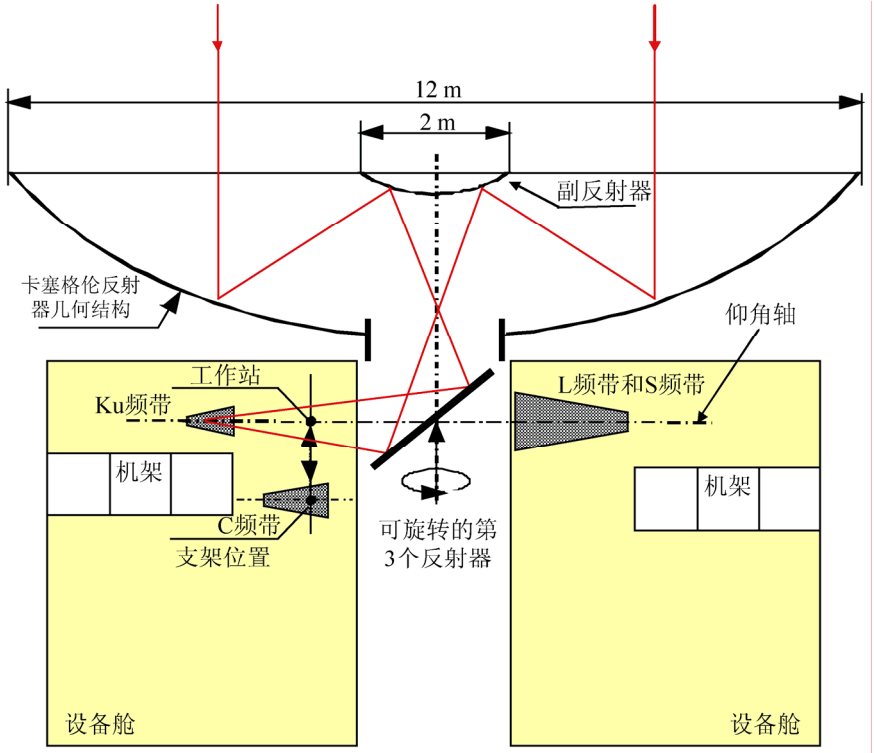
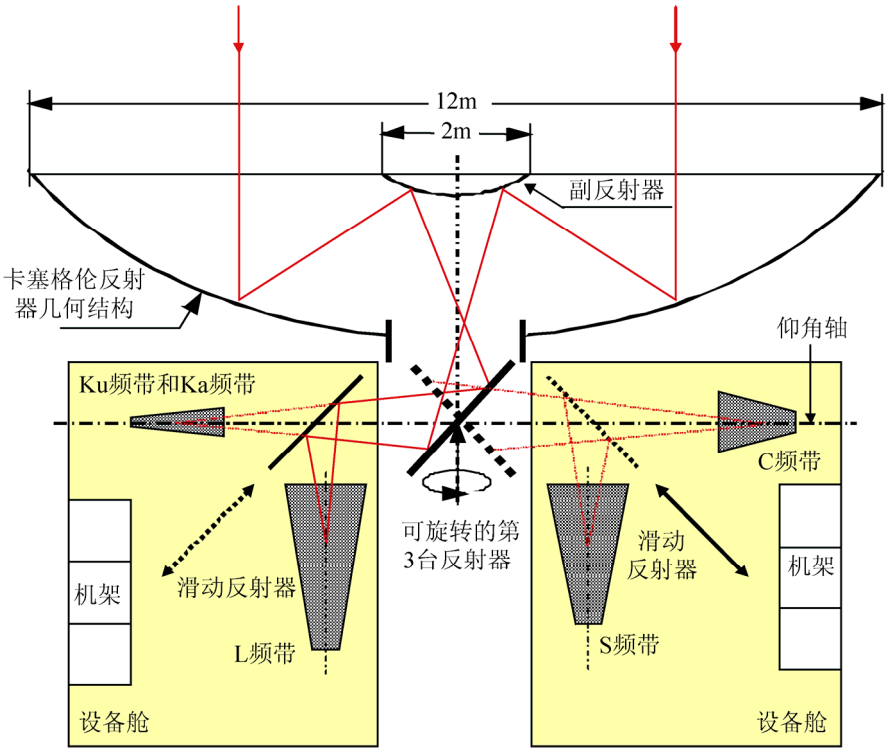


图5.1-17

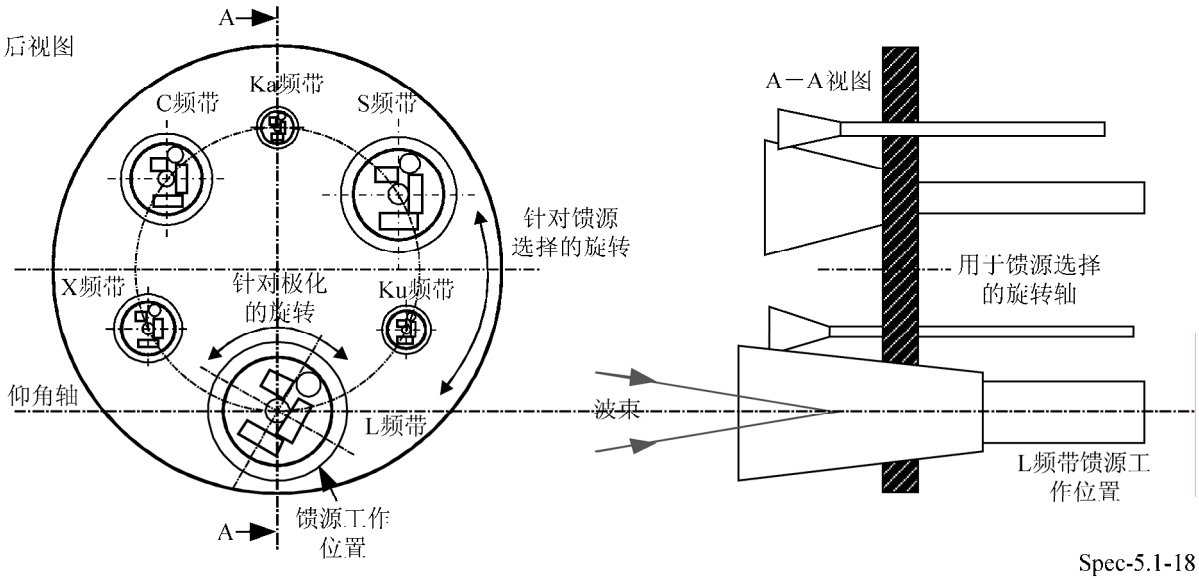
带可移动选择反射器布局的固定馈源的例子
5个频带进入1个12 m天线



Spec-5.1-17

图5.1-18

针对波束波导天线的、带6个馈源的多馈源旋转器系统的例子



Spec-5.1-18

例子：用于主焦点天线的、带8个馈源的多馈源旋转器系统

频率范围：1～26.5 GHz，无频率间隙。

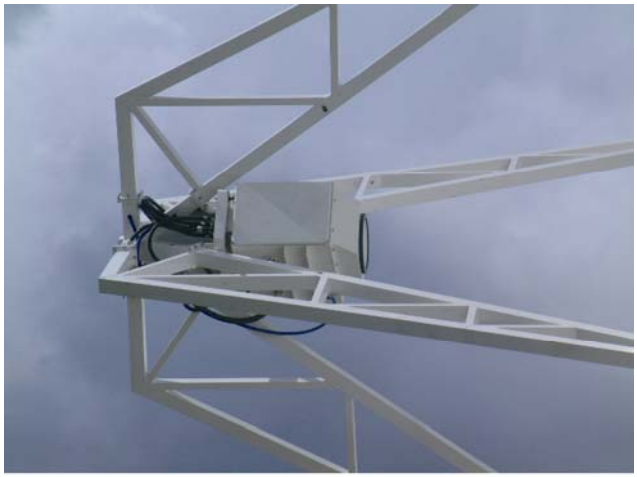
馈源1～6（频率范围1～12.75 GHz），为采用腔设计的交叉偶极子。

馈源7～8（频率范围12.5～26.5 GHz），为喇叭形天线。

户外框架尺寸：约700 mm × 700 mm × 500 mm [$W \times D \times H$]。

图5.1-19

在主焦点中安装的多馈源



Spec-5.1-19

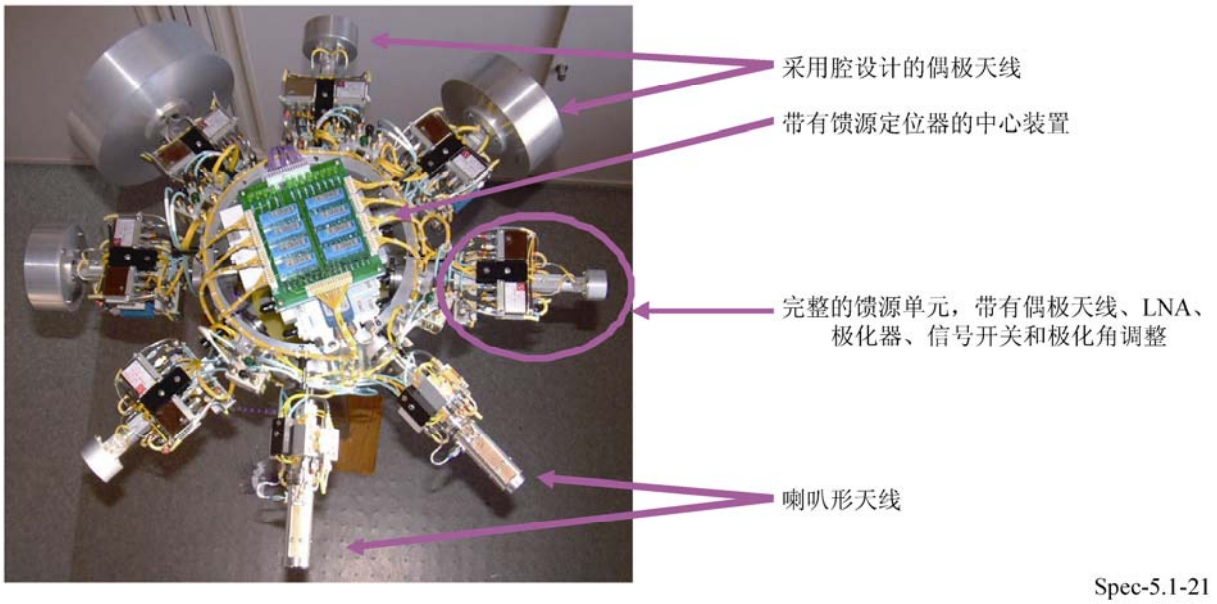
图5.1-20

在开放的户外框架中安装的多馈源

Spec-5.1-20

图5.1-21

没有户外框架安装在馈源定位器附近的馈源



Spec-5.1-21

所有馈源都用针对线性和圆极化的同轴技术来设计，极化角调整为±95°。

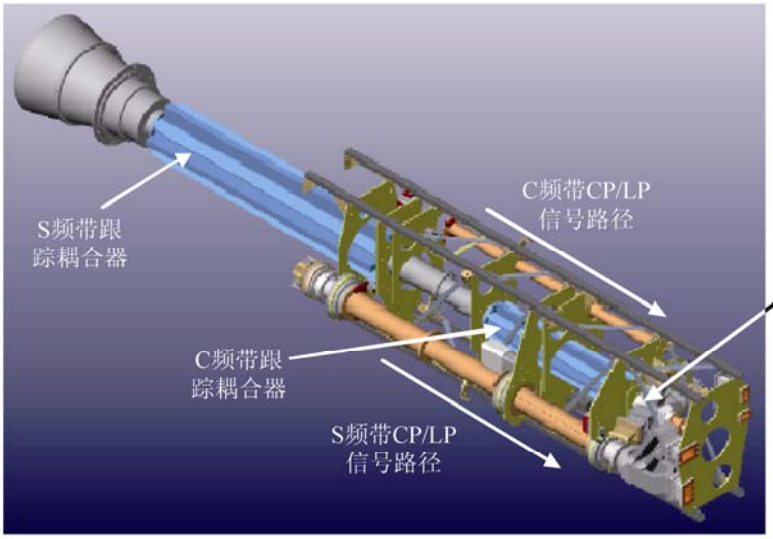
图5.1-22

将3个频带结合进 1 个12 m天线的例子

用于11 m和更大卡塞格伦天线配置的馈源系统。在两个频带中，CP/LP交换独立于LP极化调整和单脉冲跟踪

S频带：2.1-2.7 GHz

C频带：3.4-4.8 GHz



Spec-5.1-22

图5.1-23

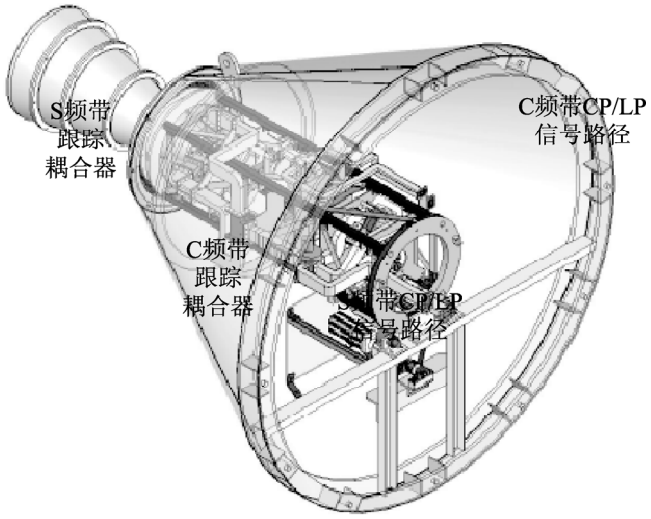
带有2个在空间上紧邻频带的馈源的例子

用于9 m和更大卡塞格伦天线配置的馈源系统

C频带：3.4-4.2 GHz, CP/LP

X频带：7.25-8.4 GHz, CP

Ku频带：10.9-12.75 GHz, CP/LP



接收设备

接收设备由表5.1-8中的各部分组成：

表5.1-8

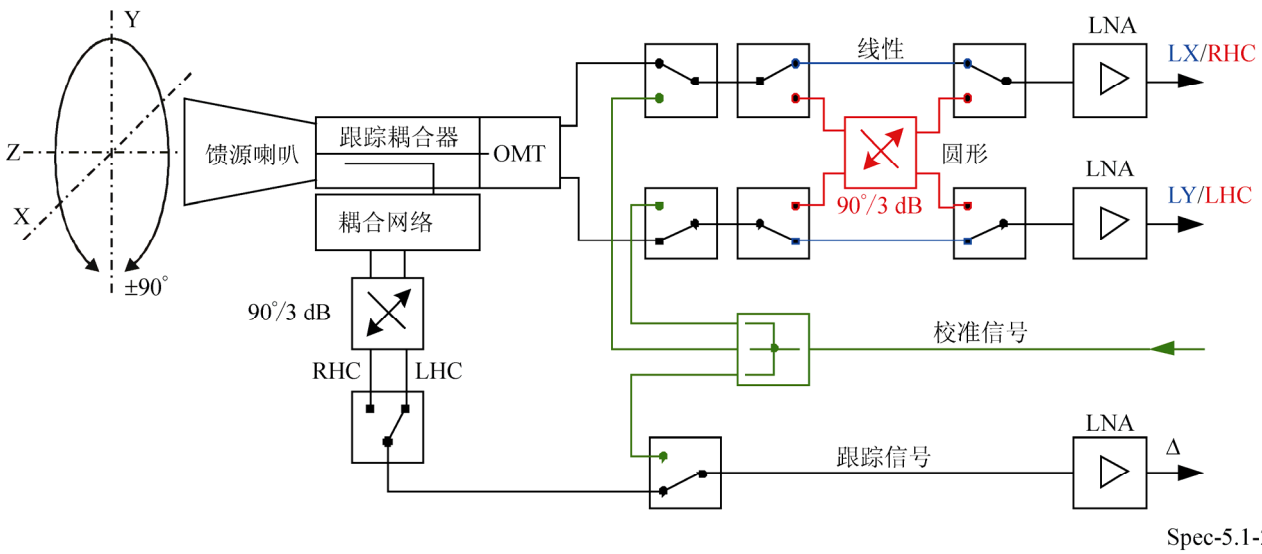
天线系统的接收设备

馈源	喇叭形、偶极或交叉偶极天线和耦合网络
跟踪耦合器	为进行单脉冲天线跟踪而耦合输出TE21模式
极化调整	用于调整极化角的旋转器
正交式变频器（OMT）	两个信道中极化面X和Y的间隔
LNA	带有尽可能小噪声系数的第一台放大器
极化器	在圆极化情况下，将X和Y信道结合进RHCP和LHCP中。
下转换器	将射频信号转换为宽带中频和/或窄带中频信号，如70 MHz的中频信号。
开关和后置放大	切换不同的信号路径并放大中频信号，以便传给主建筑物。

取决于天线类型，这些组成部分在空间上可以相互隔开。

图5.1-24

带跟踪耦合器和极化器的馈源系统框图示例



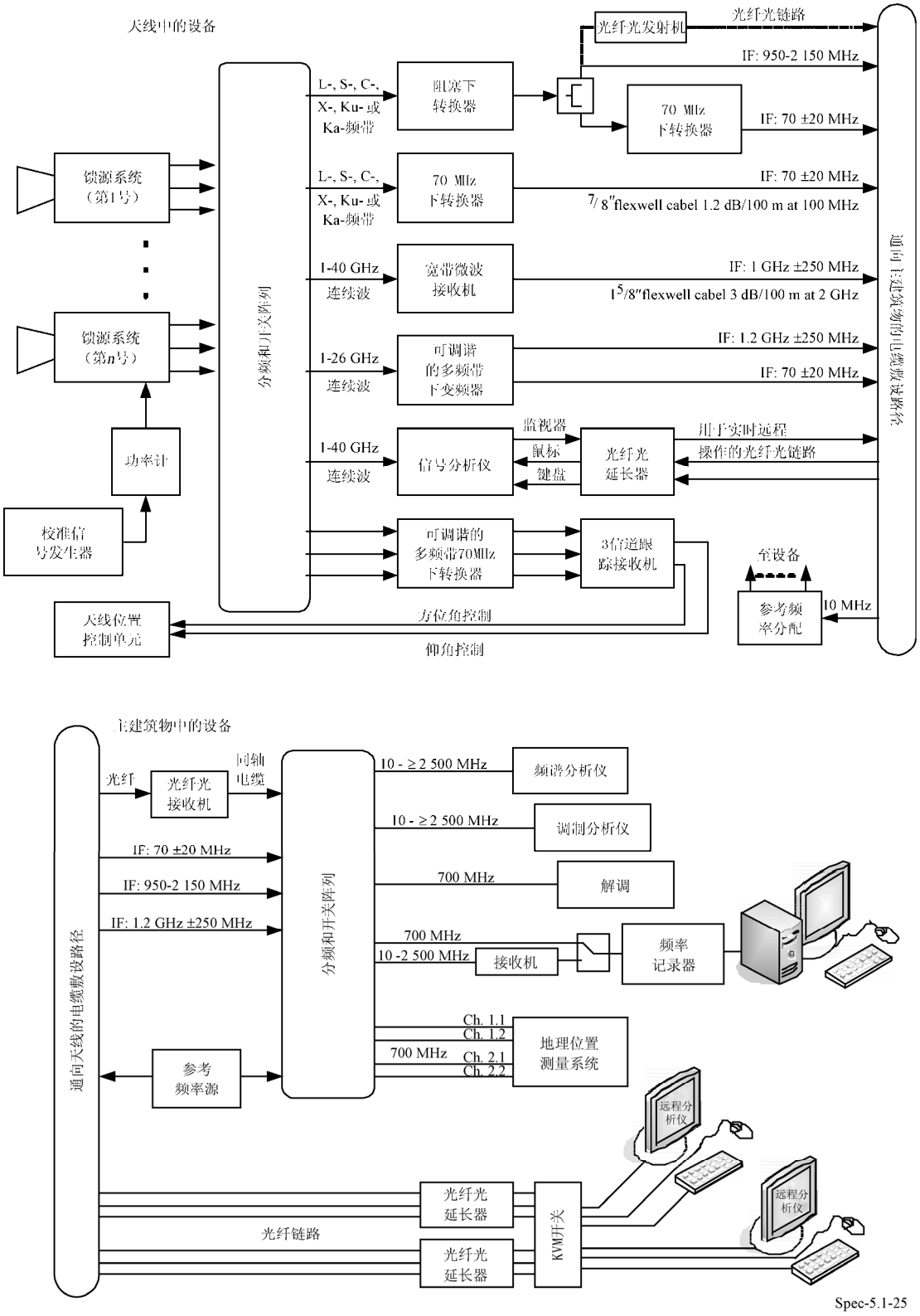
Spec-5.1-24

5.1.6.1.3 监测设备

图5.1-25显示了监测设备集成的例子。

图5.1-25

监测设备的集成

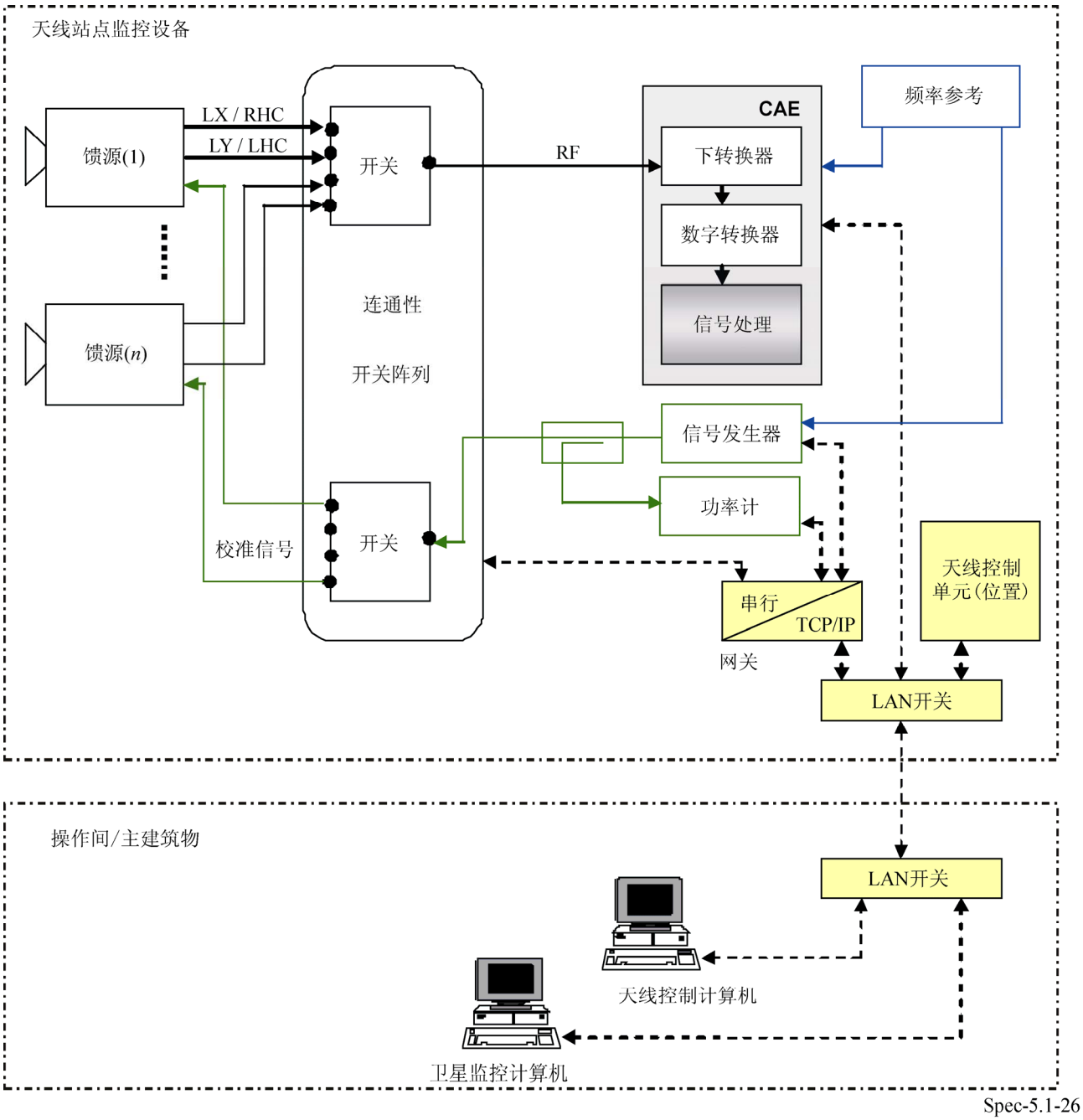


自动卫星监测系统

图5.1-26所示是一个用于载波捕获的自动监测系统。用于卫星监测的载波捕获设备（CAE）的硬件结构使用一个校准系统，图中还显示了插入点。功率计用于控制来自信号发生器的校准信号。

图5.1-26

自动卫星监测设备示例



Spec-5.1-26

CAE能够：

- 捕获在L、S、C、Ku 和 Ka中的卫星频带；
- 检测高于本底噪声的所有载波（典型地高于本底噪声6～10 dB）；
- 获取各个载波的射频参数；
- 提供完整的载波分类，包括调制器使用的所有数字参数以及使用的标准。

CAE应能分析和归类高达80 MHz带宽的载波；这覆盖了大多数民用收发机。

当卫星通信流量已知时，CAE检测不想要的载波，并且可选择地运用FDOA和TDOA方法来定位发射机。

对自动卫星监测，应执行以下测量任务：

- RF测量：
  - 设备层面的载波功率；
  - 卫星层面的载波e.i.r.p；
  - 载波C/N_0；
  - 通过重心、恢复、载波整形、峰值搜索方法来测量载波频率；
  - 载波带宽：*x* dB方法，β%的总功率方法，源自符号率计算；
  - 频谱监测与分析工具（标记、变焦、光谱图、选择器）；
  - 卫星层面的收发机e.i.r.p；
- 数字测量：
  - 载波特性；
  - 调制类型；
  - 比特率（传输速率）；
  - FEC速率；
  - 里德—所罗门速率；
  - 使用的标准；
  - 载波解调图形。
- 基于功率密度检测结果进行的载波检测（典型地高于本底噪声6～10 dB）：
  - 随后的数据库更新；
  - 内部定义的载波检测（载波抑制能力应大于13 dB）；
- 频谱监测，通过模拟最终用户*G/T*的虚拟频谱监测；
- 快速光谱图，以便将快速时隙飘移可视化（如MF TDMA访问）；
- 轨道参数（轨道位置精度至少为±0.1°）；
- 应使用校准来测定接收链的增益。

卫星监测计算机上的软件系统应既执行交互式测量，又执行自动测量。

交互式测量使操作人员能够迅速调查信号。交互式测量包括以多种格式进行多频带监测，以及传送信号，以便进行载波测量、控制频谱分析仪以及有选择地控制接收机、磁带机、打印机和绘图仪等。

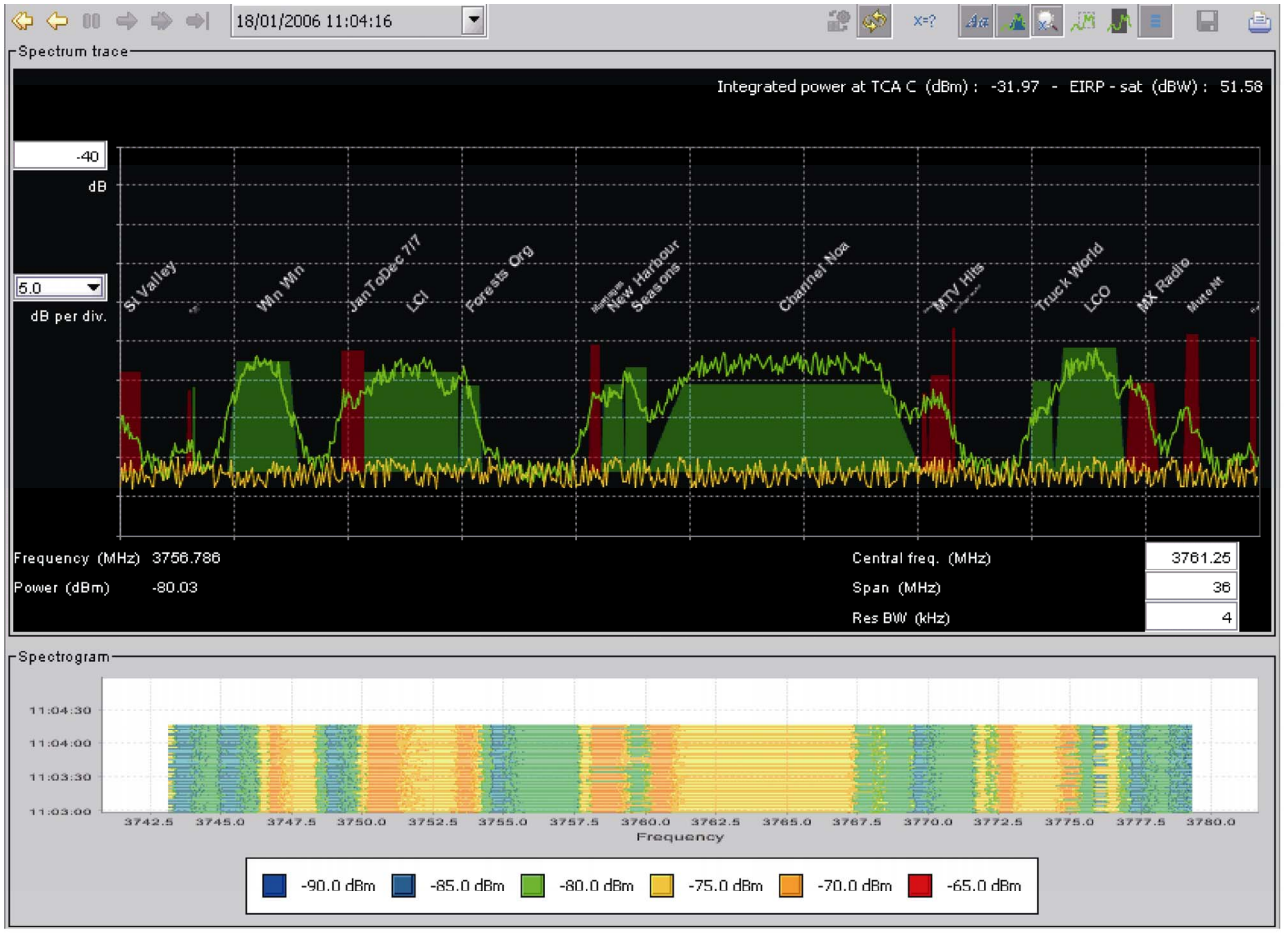
自动测量应在事件发生时（参见注1）触发，或者当操作人员不在时在后台中排定。一个任务进度表将允许对信号存在情况、载波测量结果、频谱占用情况和统计测量数据等进行协调。

注1 — 例如，可以在检测到一个不想要的信号后，立即开始记录自动的目标信号和参考信号。这为地理定位模块铺平了道路。

图5.1-27提供了监测屏幕截图的例子，显示了频谱和光谱图信息。

图5.1-27

卫星监测计算机上频谱监测屏幕截图示例



Spec-5.1-27

5.1.6.1.4 控制设备

天线控制系统的操作模式

对于空间无线电监测，要求为它们的操作提供一种对天线的简单有效控制。应有大量的不同操作模式可用，以便能够在不同的卫星星座中实现天线的有效指向。表5.1-9列出了大多数常用的天线控制功能。

表5.1-9

天线控制系统的操作模式

模　　式	描　　述	注　　解
PRESET	向预先确定的位置移动 输入：方位角和仰角值	
GEO PRESET	向预先确定的位置移动 输入：卫星位置，如E19.2°	在用户不计算Az和El值的情况下，将天线设于一个GSO轨道位置上。
POSITION	在用户确定的角度、实际的天线位置周围移动	在Az和El中移动天线，用4个箭头按钮或者用于手工天线调节的旋钮。
RATE	以用户确定的恒定速度移动	大多数用于校准和测试测量
PROGRAM TRACK	利用Az、El、数据和时间数据记录，沿预先确定的路径跟踪一个对象。	
TLE TRACK	利用来自NORAD的TLE轨道数据组，沿预先确定的路径跟踪一个对象。	
STAR TRACK	跟踪天体目标	用于校准和测试测量的选项
AUTO－TRACK	使用跟踪误差信号（单脉冲跟踪）来跟踪一个对象	需要馈源系统中的单脉冲跟踪耦合器和单脉冲跟踪接收机
STEP TRACK	使用一台步进跟踪接收机来跟踪一个对象	需要一台步进跟踪接收机，但在馈源系统中不需要其他组件
ORBIT PREDICTION TRACKING	智能步进跟踪	用以提高步进跟踪指向精度的选项
MEMORY TRACK	使用最后保存的卫星位置数据来跟踪	
SECTOR SCAN	水平/垂直地扫描用户确定的扇区	有助于寻找卫星，例如，一颗高度倾斜的卫星。
SEARCH SPIRAL	围绕最后的实际位置螺旋形转动	有助于寻找卫星，例如，一颗高度倾斜的卫星。
GEOSYNC	指向一个预先确定的地球同步轨道，并在GSO弧线上移动。	沿GSO弧线，利用东/西按钮作手动移动。

监测和控制系统

监测与控制（M&C）系统是一个基于中央计算机的系统，用于控制监测站中的所有设备。图形化的用户接口（GUI）提供了有关设备的抽象而清楚的概况，以及在每个操作人员位置上的开关状态（参见图 5.1-28）。为防止对设备访问的冲突，系统应拥有一个分配和锁定模式。测量单元可依靠 M&C 开发系统，而要求是完全受控的，或者只是对手动使用，在 M&C 的信号路径上进行连接。为实现有效的工作流程，应由两位监测人员来操作天线定位和设备控制功能。

控制和检查以下设备：

– 用于指向和搜索功能的天线控制系统；

– 带单脉冲或步进跟踪接收机的天线跟踪系统；

– 带有极化转换和极化角调整功能的馈源系统；

– 下转换器、滤波器和后置放大器；

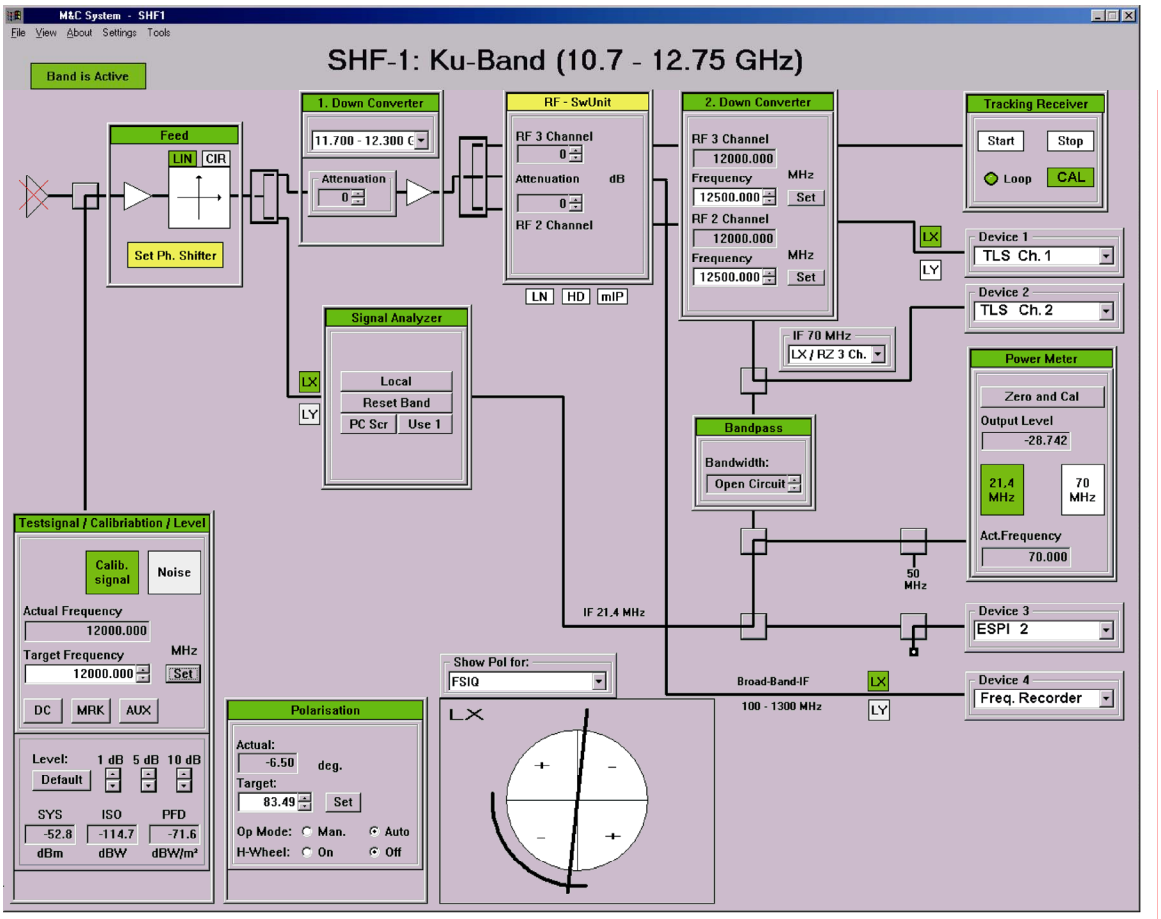
– 用于射频和中频信号连接和分发的所有转换单元；

– 测量与分析单元的连接和设置；

– 发放自动测量软件。

图5.1-28

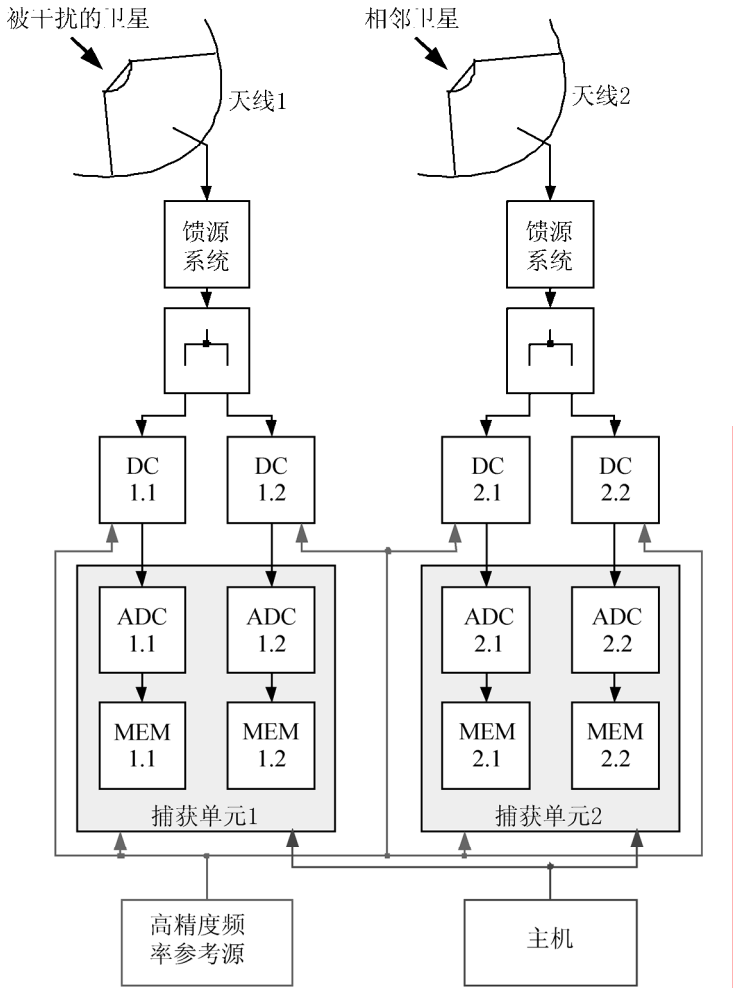
一个M和C系统的GUI显示屏示例



Spec-5.1-28

图5.1-29

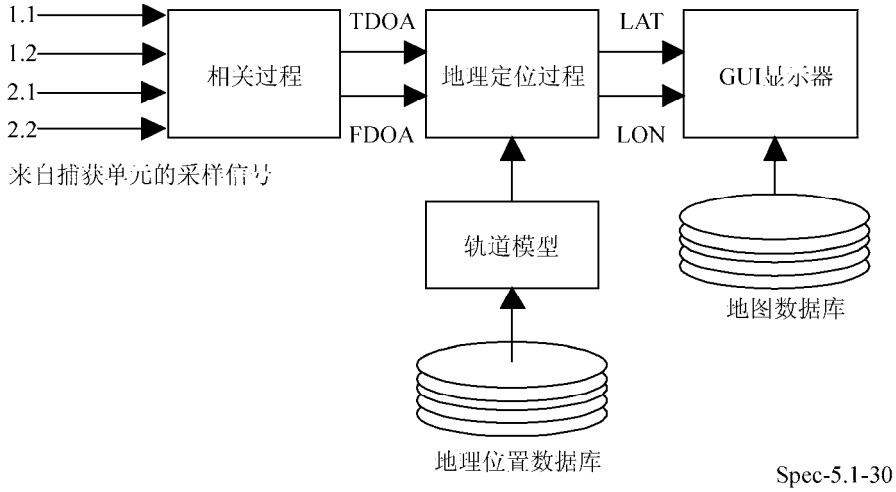
地理位置测量系统



Spec-5.1-29

图5.1-30

主计算机中的地理位置计算程序



Spec-5.1-30

TDOA：到达时间差
FDOA：到达频率差
LAT： 纬度
LON： 经度
GUI： 图形用户接口

注：
由天线1从受干扰卫星中接收的信号1.1和信号1.2；
由天线2从相邻的卫星中接收的信号2.1和信号2.2；
信号1.1和信号2.1是干扰信号，信号1.2和信号2.2是参考信号。

5.1.6.2 对GSO卫星无线电监测的处理

下面将描述用于GSO卫星无线电监测的自动系统。它力图通过使用各种各样的技术，在测量轨道和无线电波质量时，尽可能减少执行任务的操作员数量。

自动监测系统配备了一套计算机程序，它具备以下功能：

– 控制，以确定操作的优先级；
– 注册，以排定信号测量计划；
– 对系统软件进行误差检测，带有操作人员报告功能；
– 搜索和测量；
– 系统的校准和检查—以核对监测设备是否正常运行；
– 向操作人员报告测量结果；
– 在数据库中保存已注册卫星和测量结果。

空间无线电监测站的操作人员应准备好监测进度表，以便根据监测计划来执行日常的监测任务。

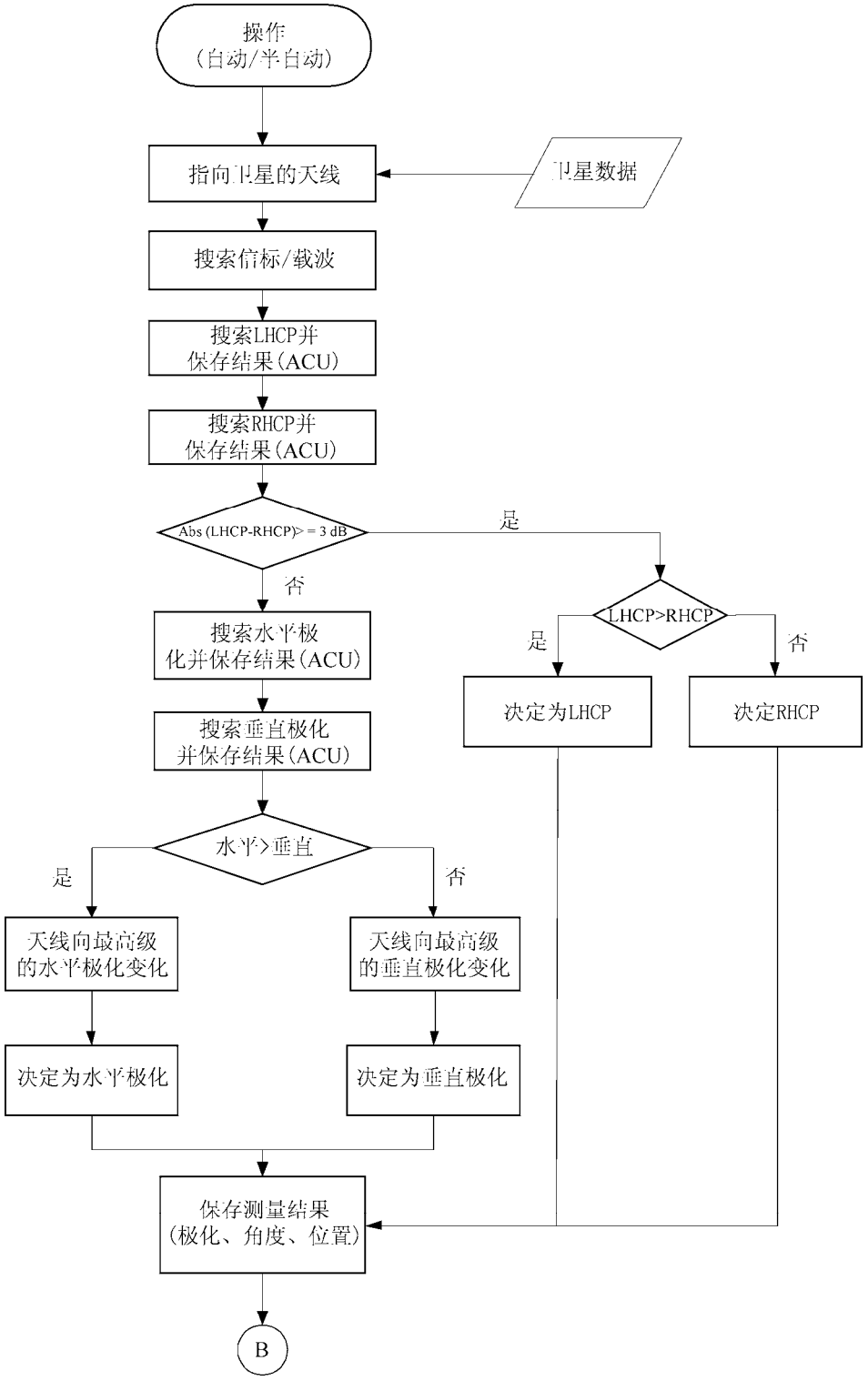
为检测有害干扰源、监测新卫星以及详细测量频谱占用情况，可同时以半自动和手动模式来操作。

监测进度表中的规定项目包括：监测时间、自动或半自动模式选择、卫星名称、监测次数、任务优先级等。

图5.1-31所示是一个顺序监测过程的例子。

图5.1-31

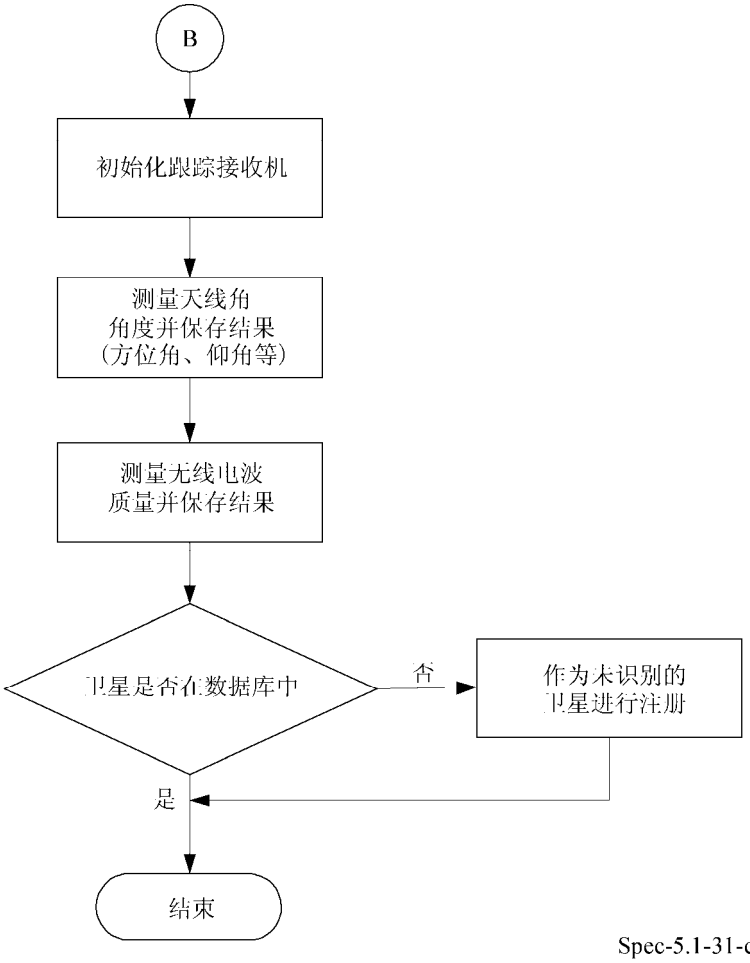
顺序监测过程



Spec-5.1-31

图5.1-31（续）

顺序监测过程



Spec-5.1-31-cont

计划中的测量项目包括卫星轨道位置、极化、中心频率、pfd、占用的带宽等等。对空间无线电频谱监测设备而言，重要的是包括以下一些技术，它们可实现快速跟踪、可借助比较算法来选择极化、可定位中心频率以测量占用带宽、可测量载波功率。

极化取决于依据极化准则对进入信号反复进行测量的结果。

通常，首选的是单脉冲跟踪方法，但其他方法也可使用，如步进跟踪。

卫星识别结果通过测量结果与卫星数据库的比较来验证。

为了提高测量结果的精度和可靠性，需要反复进行测量和修正。

考虑到在高频率上的传播特性和在地面上从卫星接收的微弱信号，测量任务应以高度的可靠性来执行。监测站应对卫星是否依据适当的技术标准和规则来运行进行验证。

此外，操作人员注册或更新针对任何新的监测请求和特殊任务的操作进度表。通常使用的标准保存程序将简化注册过程。

5.1.6.3 精确的轨道经度监测（无线电干涉测量法）

5.1.6.3.1 引言

随着日益增多的卫星越来越密集地部署在地球同步轨道上，对卫星经度的精确监测将变得越来越重要。对于此类监测任务，建议采用无线电干涉测量技术。正在开发新的监测技术，以便建立基于干涉仪的监测，[Kawase，2005年；Kawase，2007年]对此做了描述。

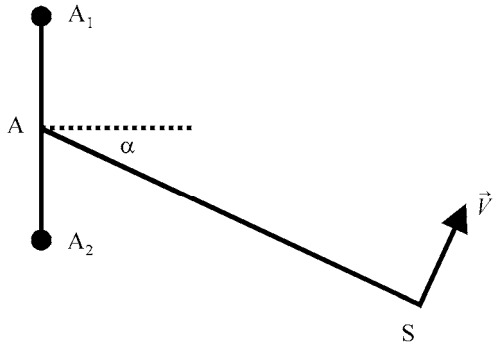
5.1.6.3.2 一般原则

带有A_1和A_2两幅天线的干涉仪，具有如图5.1-32所示的基本几何关系。天线横跨基线A_1A_2，其中点为A。来自卫星S的信号在入射角α上予以接收。

A_1与A_2之间的相位差指的是“干涉相”。$\vec{V}$ 是一个单位向量，与AS线垂直，并位于包含A_1、A_2和S的平面中。沿$\vec{V}$ 的卫星运动通过干涉仪来检测，对与$\vec{V}$ 垂直的运动则不做检测。这种选择性检测是进行经度监测的基础。

图5.1-32

干涉仪几何关系

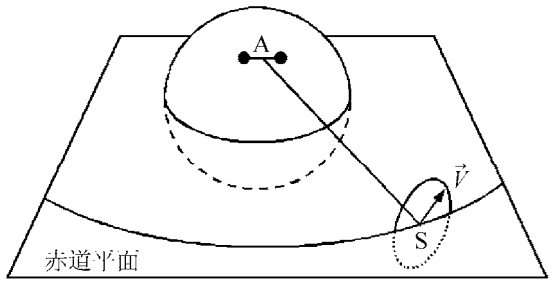


Spec-5.1-32

如图 5.1-33所示，干涉仪置于一个地面站中。基线是水平放置的，其方向是旋转的。因此，向量$\vec{V}$ 旋转，并扫过一个倾斜的圆面。

图5.1-33

卫星站几何关系

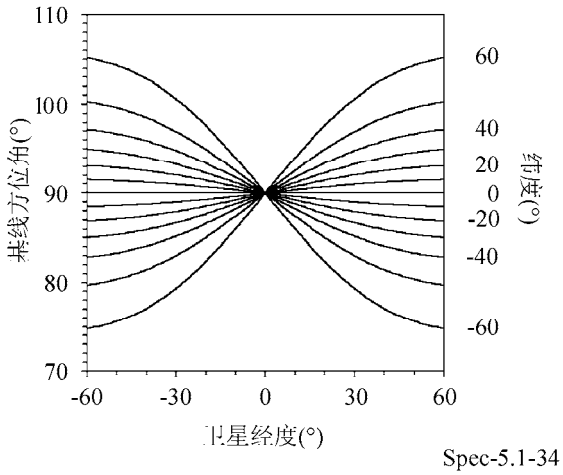


Spec-5.1-33

$\vec{V}$ 位于赤道平面中，该平面带有距基线的特殊方位。如果卫星和站处于同一经度，那么这一特殊的基线方位为东—西方向（方位角90°）。通常情况下，如图5.1-34所示，方位有别于东－西方向，这取决于卫星站的几何关系。在选择这一特殊的基线方位过程中，干涉仪只对赤道平面中的卫星运动灵敏。

图5.1-34

特殊的基线方位（站的经度为零）

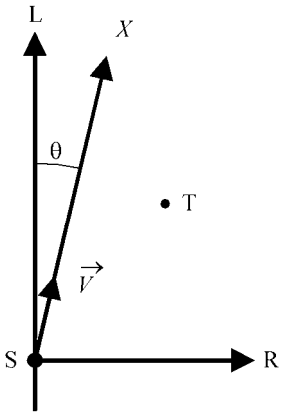


Spec-5.1-34

假设卫星在S点上具有标称的静止位置，如图 5.1-33所示，真正的卫星位置T将接近S，T将投射在赤道平面上，如图 5.1-35所示。位置T相对S测得，带有径向和纵向坐标轴（R 和 L）。向量$\vec{V}$ 定义“检测轴”X，X轴偏离L轴，偏离角度为θ，该角度取决于卫星站的几何关系。

图5.1-35

赤道平面中的坐标轴



Spec-5.1-35

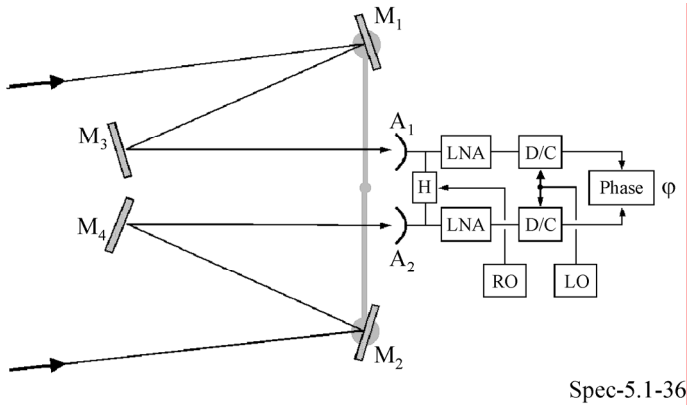
实际上，角度θ很小。例如，如果位于日本的一个监测站在10°或更高仰角上监测卫星，那么θ不到7°。因此，不考虑卫星运动的R轴成分以及使X/cosθ等同L轴，将造就准确的经度监测。如果至少在几天内卫星处于轨道位置中，那么对于平均经度，监测误差将在0.0006°之内，离心率相对误差将在0.2%之内。

5.1.6.3.3 干涉仪安装

干涉仪使用平面镜面来设立基线，如图5.1-36和图5.1-37所示。11 GHz频带上的入射波由镜面M_1和M_3在它被导向天线A_1之前进行反射，同样的情况也出现在M_2、M_4和A_2中。反射路径上的相位延迟用几何学进行计算，并将之从干涉相位中移除，这使M_1M_2能够成为干涉仪基线。基线必须重新定向，以便在不同的轨道位置对卫星实施监测。这可通过改变M_1和M_2的位置和重新指向镜面来实现，无需移动临界相位的微波成分和电缆。由于M_1和M_2安装在旋转臂上，因此它们是可移动的。一台共用的本地振荡器（LO）用于干涉相位连接，一台共用的参考振荡器（RO）用于补偿设备的时延变化。将天线并排放置，使LO和RO能够通过短电缆来分配其共用的信号，从而确保稳定的相位测量。镜面的面积为2 m^2，天线的直径为1.8 m，基线（旋转臂）的长度为13 m。

图5.1-36

干涉仪结构图



Spec-5.1-36

测得的干涉仪相位φ（rad）转变为相对于标称经度的卫星经度l（°），如下所示：

$$M=\frac{\lambda}{2\pi}(\varphi-\varphi_S-\varphi_C)\frac{r_S}{B\cos\alpha\cos\theta} \tag{5.1-14}$$

$$l=\frac{180}{\pi}\frac{M}{R_S} \tag{5.1-15}$$

其中：

R_S： 标称的轨道半径，42165×10^3（m）；

λ： 接收信号的波长（m）；

r_S： 距离AS（m）；

B： 基线长度A_1A_2（m）；

α： 入射角；

θ： X轴偏离；

φ_S： 标称位置上卫星的干涉相位（rad）；

φ_C： 干涉相位的修正值（rad）；

l： 天线经度（°）（正值引用东经，负值引用西经）；

φ： 测得的干涉相位（rad）。

图5.1-37

日本的干涉仪站

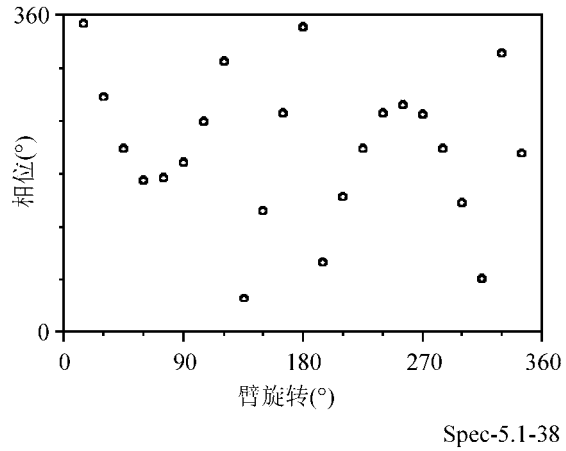
Spec-5.1-37

常数 φ_S 从卫星－干涉仪的几何关系中计算得到。定位A_1、A_2、M_3 和 M_4 时的小误差可导致近乎常量的相位误差，但这可通过φ_C 来修正。

在测得的相位中360° 的相位模糊度，导致在卫星经度上0.1° 的模糊度。通过以下步骤，可以解决这一模糊度，并确定对常量φ_C 的修正：基线臂在一次旋转中围绕其固定的中心C进行旋转。结果是，相位 $\varphi - \varphi_S$ 发生变化，如图5.1-38所示，相位从360° 跳至0° 。如图5.1-39所示，对这些跳跃重新进行连接。

图5.1-38

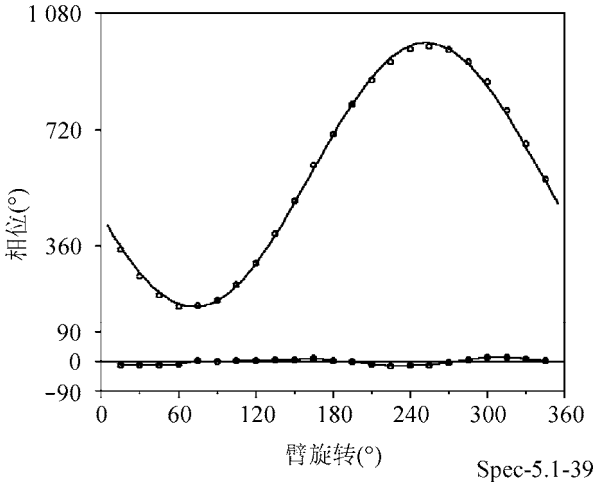
相位随着臂的旋转而变化



Spec-5.1-38

图5.1-39

相位重连和模式拟合



Spec-5.1-39

作为臂旋转角的一个函数，相位角 $\varphi - \varphi_S$ 用卫星方位角、卫星仰角来模拟，纳入φ_C 作为参数。如图5.1-39所示，模型的功能适合于重新连接的相位（实心曲线）。因此，对方位角和仰角的估计，能够进行模糊度解算和相位修正φ_C。在任何未知的卫星被监测之前，基线臂都要经历这种一次旋转的运行。

5.1.6.3.4 监测示例

图5.1-40所示是经度监测的一个例子。干涉仪通过使用光学跟踪和轨道测定来校准。图5.1-41针对的是更长的时间跨度，其中，东－西方向保持的操作出现在标有“*”的点上。这样，可以精确地测定卫星经度的占用情况。如果两颗卫星相互紧邻，那么可以分别监测其经度。于是，采用减法，可以绘制出它们的经度差，如图5.1-42所示。差别监测消除了相互邻近卫星之间常见的大气波动，因此，图5.1-42中的数据噪声将小于图5.1-41中所示的数据噪声。对于精确监测紧邻运行之卫星的经度，这是有用的。

图5.1-40

在144°E处监测经度，干涉仪（-）与光学卫星（○）

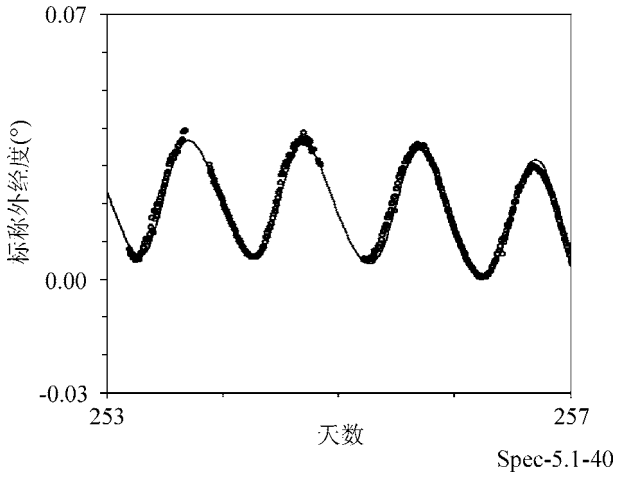


图5.1-41

监测124°E 处卫星期间的东－西方向修正

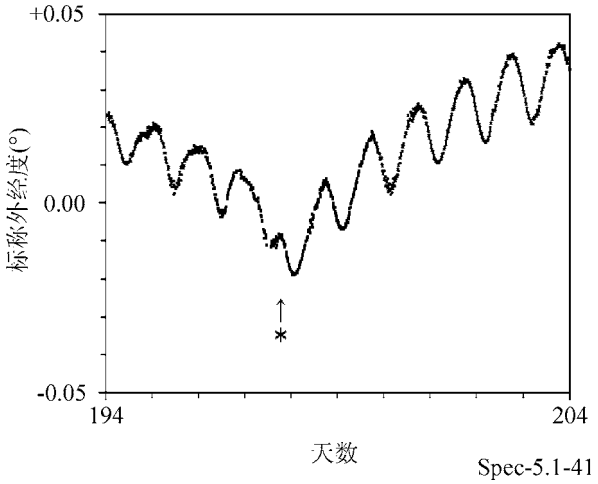
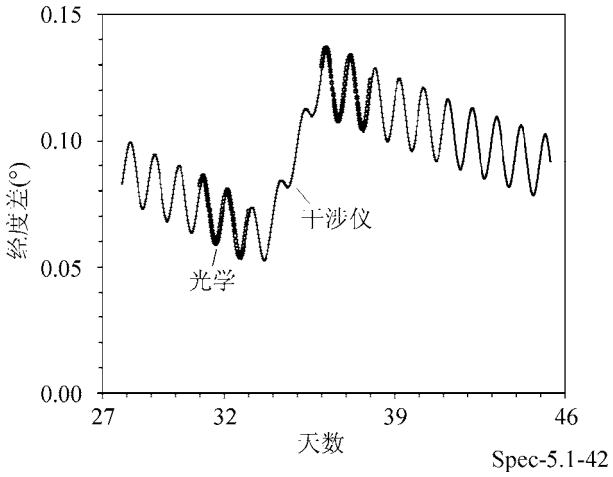


图5.1-42

监测110°E 处两颗卫星间的经度差



5.1.6.3.5 小结

无线电干涉测量法尤其可用于监测地球同步卫星的经度。小孔径天线即可满足要求，使用可移动的镜面可确保稳定的相位测量。当卫星与地球同步轨道紧密结合运行时，这种监测技术是有用的。

5.1.7 举例说明监测结果

5.1.7.1 VHF频带中的频带记录

利用全向天线，无线电频谱记录系统特别适合监测1 000 MHz以下频带中、低轨空间站辐射的频带占用情况。

占用样式的结构（多普勒曲线）取决于卫星的轨道要素，以及指纹的质量。除了接收频率，被认为是几种连续旋转平均值的旋转周期（$PERIOD_{raw}$），以及预期的接收时间，可以是不同的。为了以令人满意的精度来测定旋转周期（$PERIOD_{fine}$），建议使用一种基于以下公式的、使用从几天中选取的注册的迭代方法：

$$PERIOD_{raw} = T_2 - T_1 \quad (5.1\text{-}15)$$

$$PERIOD_{fine} = (T_x - T_1)/n \quad (5.1\text{-}16)$$

T_x 是一天或几天后接收窗口的中心点。除数n 是在公式（5.1-16）情况下的一个假设的旋转次数。它系统地变动，直至$PERIOD_{fine}$ 和 $PERIOD_{raw}$期望结果之间的分歧达到最小。以这种方式，只需24小时后，旋转时间的测量误差就可以降至几十分之一分钟。对卫星识别而言，旋转时间和记录模式特性是可靠的。

另一种方法是将可调的时间线网格用作为在两天或更多天周期内记录的卫星辐射光谱图中的一种叠加。如果时间线与卫星辐射相匹配，那么就找到了$PERIOD_{raw}$。在图5.1-43所示的例子中，$PERIOD_{raw}$ = 112分钟。

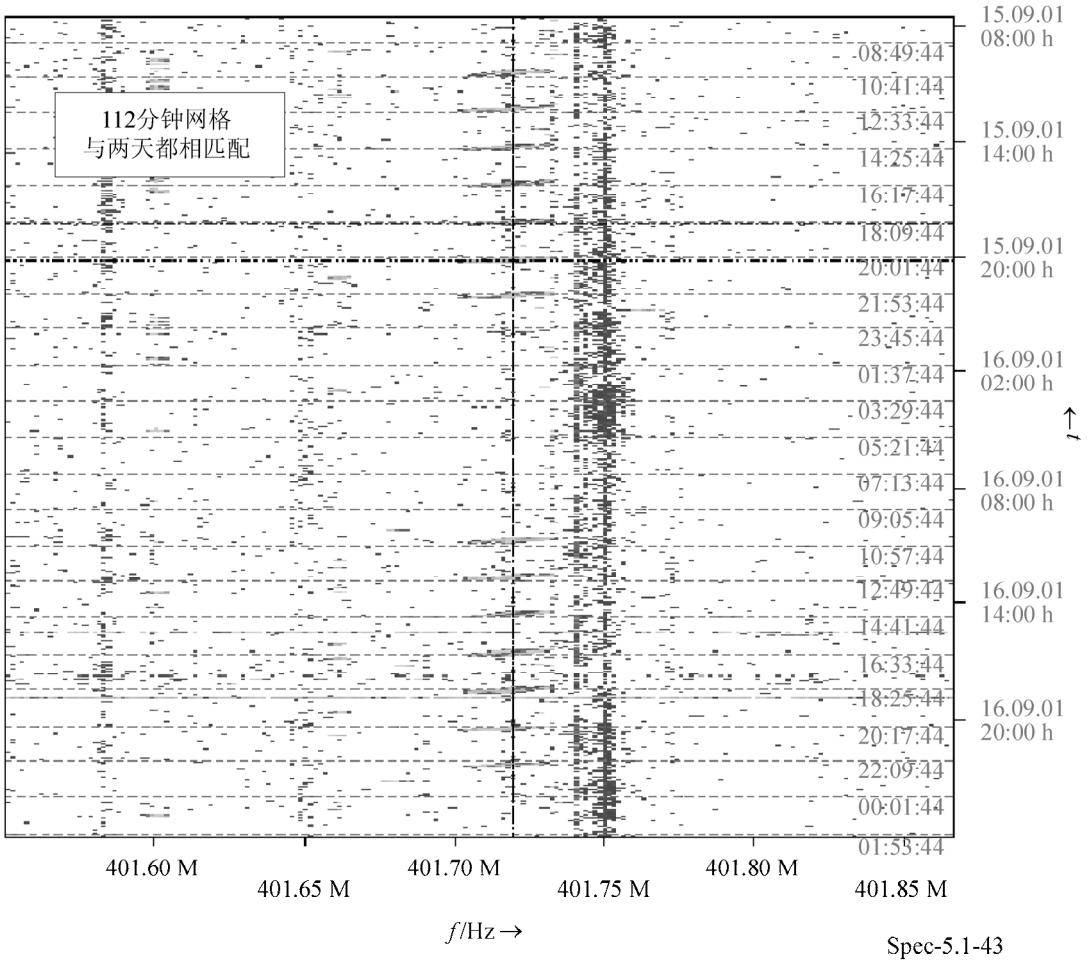
为了找到精确的时间周期，将搜索NASA数据库作为第二步是有必要的。

利用112分钟的结果，它可以用接近112分钟的旋转周期来搜索卫星。图5.1-44显示了接近112分钟的、带标记卫星的NASA-SSR数据库。利用相关的双线单元，必须对这些卫星的可见性时间、对监测站的位置进行计算。频率记录器系统可以将这些可见性窗口显示成接收到的卫星辐射光谱图中的一种叠加。

如果可见性窗口与所有记录的卫星辐射相匹配，那么卫星可确认。图5.1-45显示了具有111.9分钟旋转周期的S80/T卫星的可见性窗口。现在，在已知轨道数据后，利用这些数据，定向天线可以跟踪卫星，以便做下一步测量。

图5.1-43

频谱占用注册、旋转时间的近似测定



Spec-5.1-43

图5.1-44

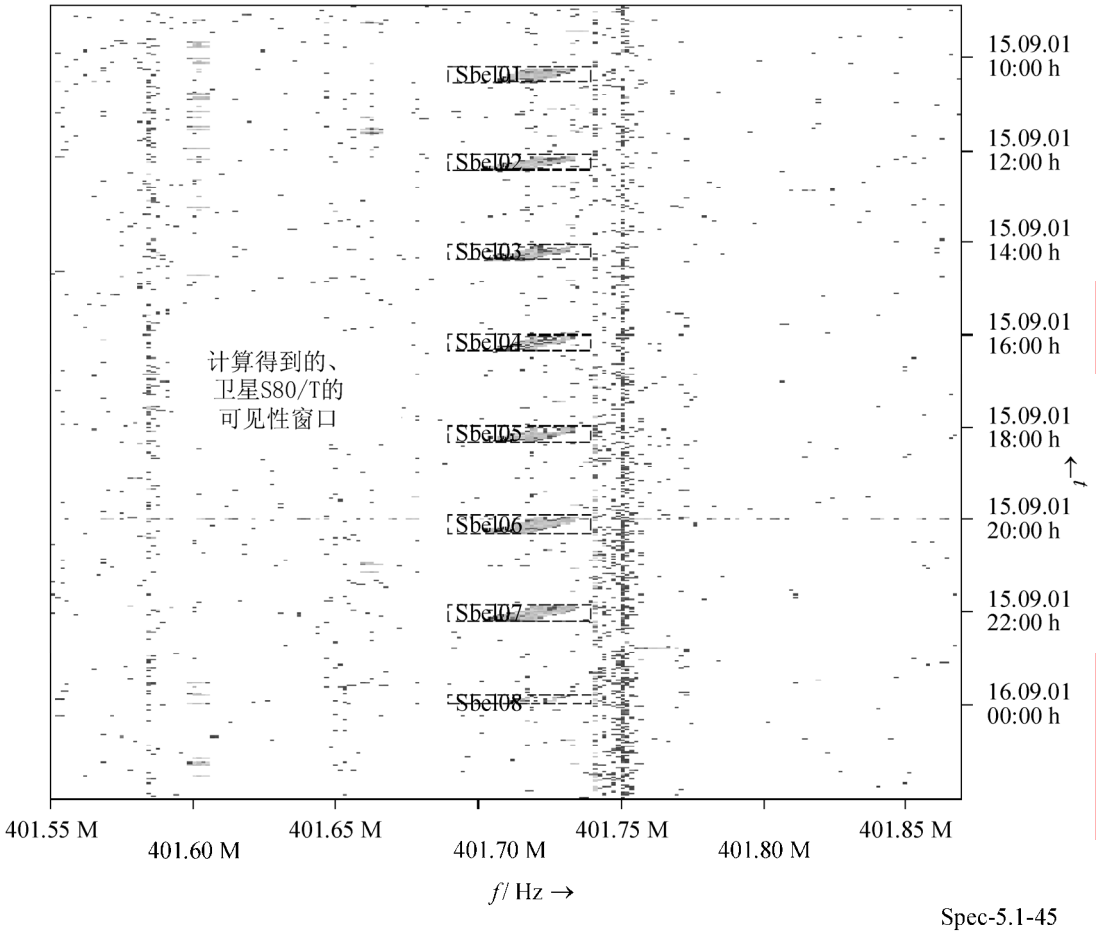
在NASA-SSR中搜索

INT-ID	CAT	SRC	PERIOD	INCL	APOG.	PERIG.	RCS	NAME	DATE
1990-114F	21033	CIS	113,7	82,6	1410	1386	2,2032	COSMOS 2119	22.12.90
1989-074B	20233	CIS	113,7	82,6	1410	1386	1,7514	COSMOS 2039	14.09.89
1988-002F	18793	CIS	113,7	82,6	1411	1384	1,9042	COSMOS 1914	15.01.88
1987-074A	18334	CIS	113,7	82,6	1409	1387	2,1058	COSMOS 1875	07.09.87
1987-026B	17583	CIS	113,7	82,6	1411	1385	2,2787	COSMOS 1828	13.03.87
1985-003C	15471	CIS	113,7	82,6	1413	1383	1,3662	COSMOS 1619	15.01.85
1992-052A	22076	US	112,4	66	1344	1332	10,6361	TOPEX/POSEIDON	10.08.92
1990-013C	20480	JPN	112,2	99,1	1744	912	0,3319	JAS 1B (FUJI 2)	07.02.90
1990-013B	20479	JPN	112,2	99,1	1743	912	0,4893	DEBUT (ORIZURU)	07.02.90
1992-052C	22078	FR	111,9	66,1	1325	1305	0,4416	S80/T	10.08.92
1992-052B	22077	KOR	111,9	66,1	1325	1307	0,2912	OSCAR 23 (KITSAT 1)	10.08.92
1994-046A	23191	US	110,6	70	2156	355	3,8606	APEX	03.08.94
2000-075C	26621	SWED	110,5	95,4	1799	701	0,1528	MUNIN	21.11.00
1989-086A	20305	CIS	110,4	82,6	1251	1238	11,6301	METEOR 3-3	24.10.89
1995-059B	23711	US	109,7	100,5	1493	934	13,2018	SURFSAT	04.11.95
1994-003B	22970	GER	109,4	82,6	1208	1185	7,6481	TUBSAT B	25.01.94
1994-003A	22969	CIS	109,4	82,6	1208	1186	41,1628	METEOR 3-6	25.01.94
1991-030A	21232	CIS	109,4	82,6	1208	1188	9,5992	METEOR 3-4	24.04.91
1991-056A	21655	CIS	109,3	82,6	1206	1187	7,8738	METEOR 3-5	15.08.91
1988-064A	19336	CIS	109,3	82,5	1208	1184	8,0195	METEOR 3-2	26.07.88

Spec-5.1-44

图5.1-45

频率占用注册中的可见性窗口



5.1.7.2 从天线角测量结果中计算轨道要素

对卫星的识别变得更容易起来，在某些情况下，只可能使用从天线角测量结果中计算得到的轨道要素。能否获得足够精确的测量值，很大程度上取决于可用天线的角测量精度，以及所跟踪轨道弧的长度和类型。对于可实现的计算精度，下面的例子应当能够得到特定的结论，当这一精度可能在同一时间内不能普遍适用。它基于NOAA10空间站星历数据（公布时精度较高，并因此用作参考数据）与从天线角测量结果中获得的星历数据之间的比较，并且基于可见性时间与方位角和仰角（以约24小时后路径的两组星历数据为基础而计算得到）之间的比较。

使用单脉冲技术的、可用的12米抛物面反射器天线的天线角测量精度，在所用的1 700 MHz频带中，约为0.12°（参见第5.1.3.5节）。高于水平面的、所跟踪轨道的最大仰角约为60°。

三组天线角测量数据（方位角/仰角/时间）用于轨道最初的数学测定，之后是轨道要素的计算。为了改善结果，接下来进行参数计算，目的是寻找一种解决方案，尽可能贴近一系列测量的天线角测量值[Montenbruck，1989年] 和 [Montenbruck 和 Pfleger，1991年]。

表5.1-10和图5.1-46显示了这些对比的结果。当用作一种识别辅助手段时，表5.1-10中的要素可极大简化对卫星的识别。不过，当星历数据作为一个整体用于预先测定作为时间函数的方位角和仰角时，需要监测随时间间隔不断增大的偏差。这是由于当从单个卫星路径的角测量结果计算轨道要素时，其精度是有限的。不过，在以下路径期间，卫星提取的数据将会得到显著改善。图5.1-46显示了24小时后（14圈旋转后）以及基于初始轨道测定的、卫星路径方位角与仰角的发散情况。将计算得到的曲线位移–1 min，以补偿时延。

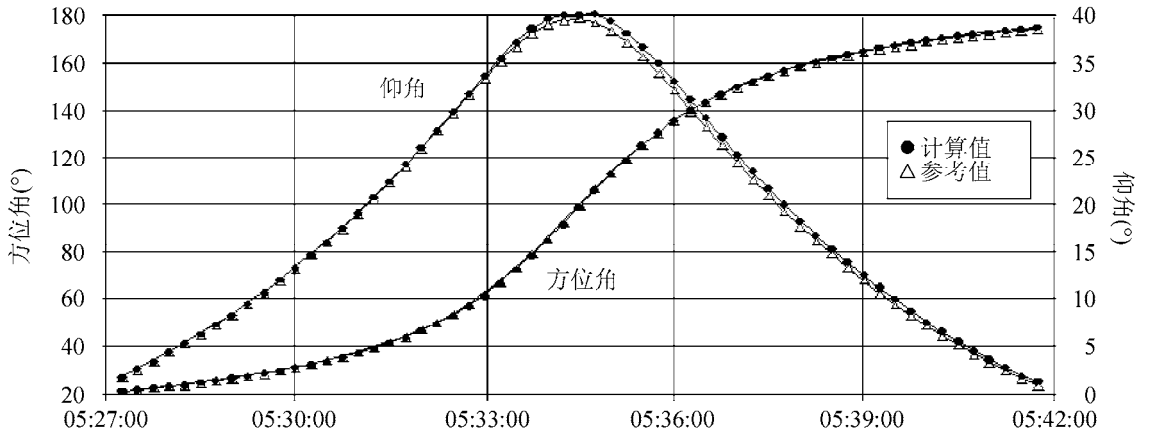
表5.1-10

参考轨道要素与计算得到的轨道要素之间的比较（最初的轨道测定）

轨道要素NOAA10	参 考 要 素	计算得到的要素
近地点（km）	807	808
远地点（km）	825	830
半长轴（km）	7 187	7 190
偏心率	0.0012156	0.0015
斜度（°）	98.5121	98.78
旋转时间（min）	100.781	100.85

图5.1-46

从参考轨道要素和计算得到的轨道要素中计算得到的天线角度之间的比较



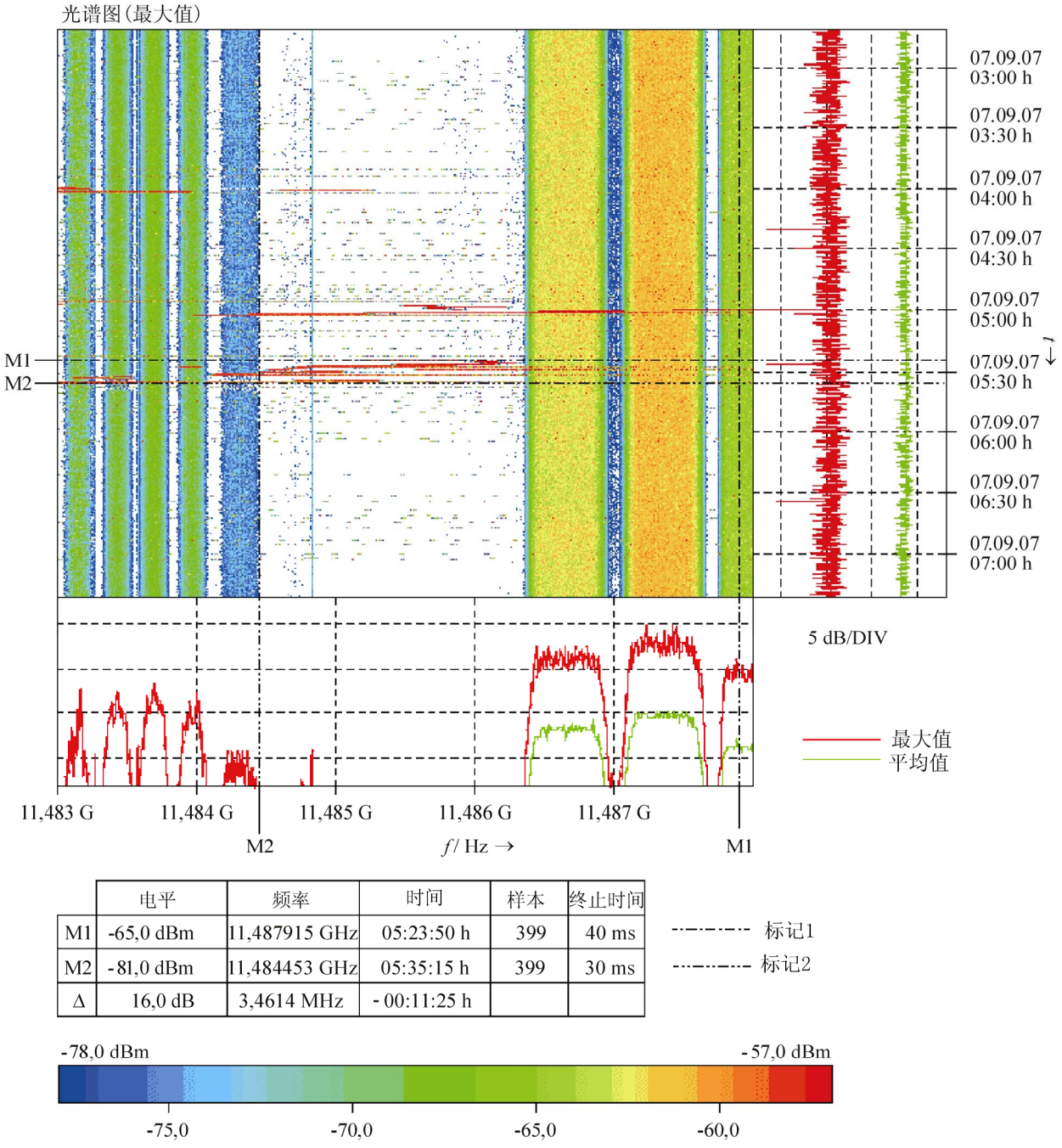
Spec-5.1-46

5.1.7.3 转发器占用情况测量

图5.1-47显示了用频率记录系统从收发机占用情况测量结果中获得的结果。光谱图显示了卫星收发机的占用情况，图中有一个未用的收发器部分处在所显示的频率范围中部，以及有一个临时出现的高功率干扰信号。

图5.1-47

收发机占用情况测量



	电平	频率	时间	样本	终止时间
M1	-65,0 dBm	11,487915 GHz	05:23:50 h	399	40 ms
M2	-81,0 dBm	11,484453 GHz	05:35:15 h	399	30 ms
Δ	16,0 dB	3,4614 MHz	-00:11:25 h		

标记1
标记2

Spec-5.1-47

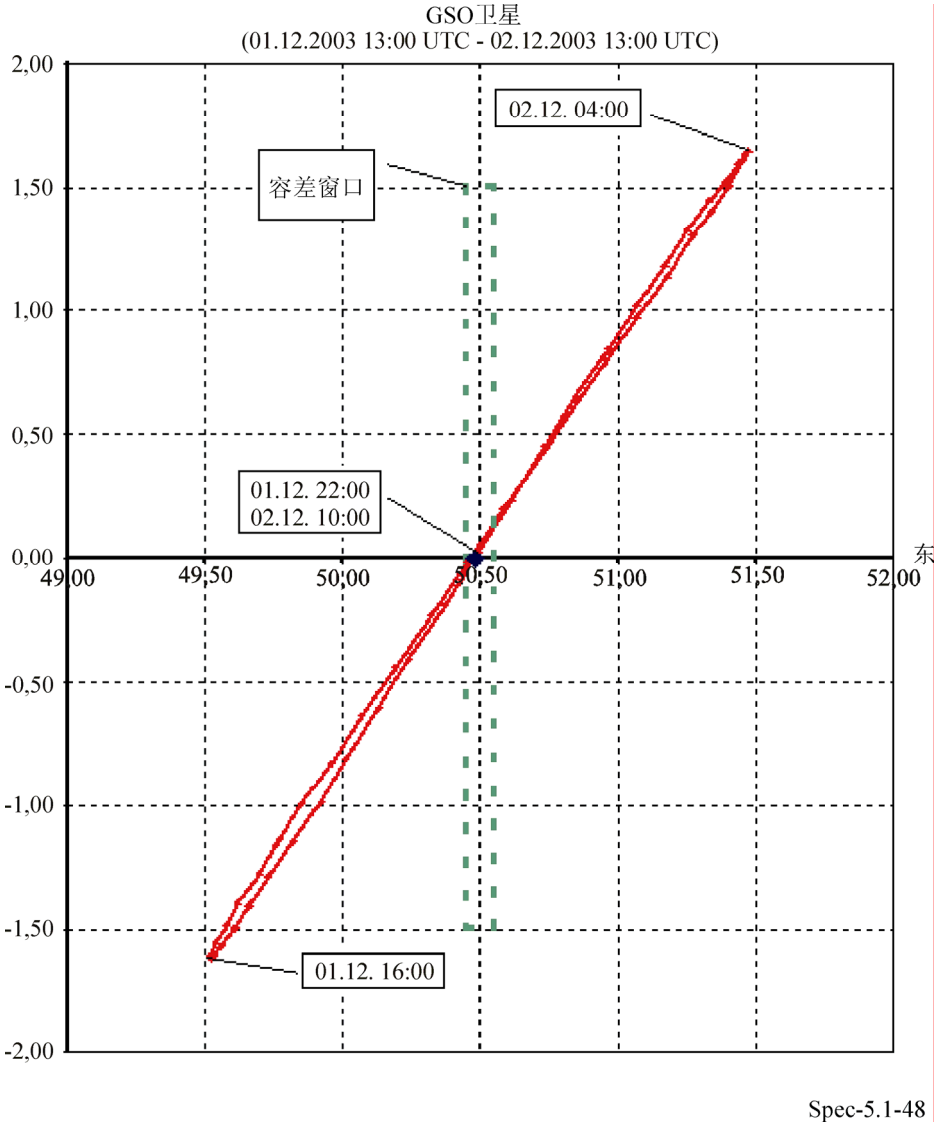
干扰源穿越快速往返的整个收发机。用定向天线接收的信号，连接到中频范围内的频率记录仪上。对信号进行数字化处理，并在线地予以表示，在频率记录仪中以光谱图形式使用FFT。频谱在硬盘上连续保存，可用于下一步的离线处理。不同颜色表示光谱图中的不同功率电平。显示的功率电平范围可由颜色范围设置进行调节。通过移近目标，光谱图可在频率范围和记录的时间范围中变化，从而可极为详尽地表示一个短的观测时间，或者通过移离目标，光谱图可在频率范围和记录的时间范围中变化，从而可极为详尽地表示一个长的观测时间，它将提供一个概貌。频率标记线和时间标记线的位置在光谱图的右侧和下方，为各自的频谱而显示。

5.1.7.4 GSO卫星的倾角

图5.1-48 中的图是通过对GSO 卫星位置的监测获得的，监测间隔为30分钟，使用一幅12米的抛物面天线，其半功率波束宽度为0.15°。基于一种单脉冲跟踪程序，可以首先通过手动定位卫星的方式来自动获取天线的指向数据。在24小时的周期内对卫星位置进行记录，并对其结果进行计算，以产生数字“8”。获得的信息显示了从其标称轨道位置开始的卫星行程，并为下一步的监测提供了参考。

图5.1-48

地球同步卫星的倾斜角（数字“8”）



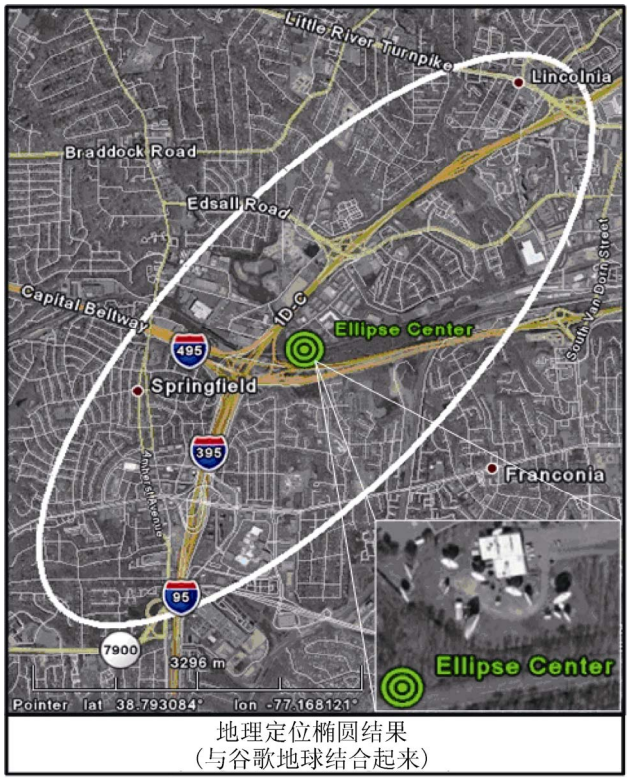
5.1.7.5 地理定位测量法的结果与表述

图5.1-49是从对一个未知的上行链路地面站进行TDOA和FDOA地理定位测量中获得的。结果通常以一个椭圆形区域的形式来表现，为更便于理解，这一椭圆形区域可叠加在一张数字化的地图上。椭圆的形状和方位可能会因已进行的测量次数、一天中的测量时间、正在测试的信号调制类型、*S/N* 相关性等因素而发生很大的变化。定义椭圆所需的要素包括：

– 半长轴的长度；
– 半短轴的长度；
– 半长轴（或半短轴）相对参考方向的角度；
– 中心的协调；
– 置信度。

图5.1-49

向GSO卫星发射信号的地面站的地理定位结果（1）



地理定位椭圆结果
（与谷歌地球结合起来）

Spec-5.1-49

图5.1-49中显示的地理定位椭圆结果，可以在表5.1-11中找到。

表5.1-11

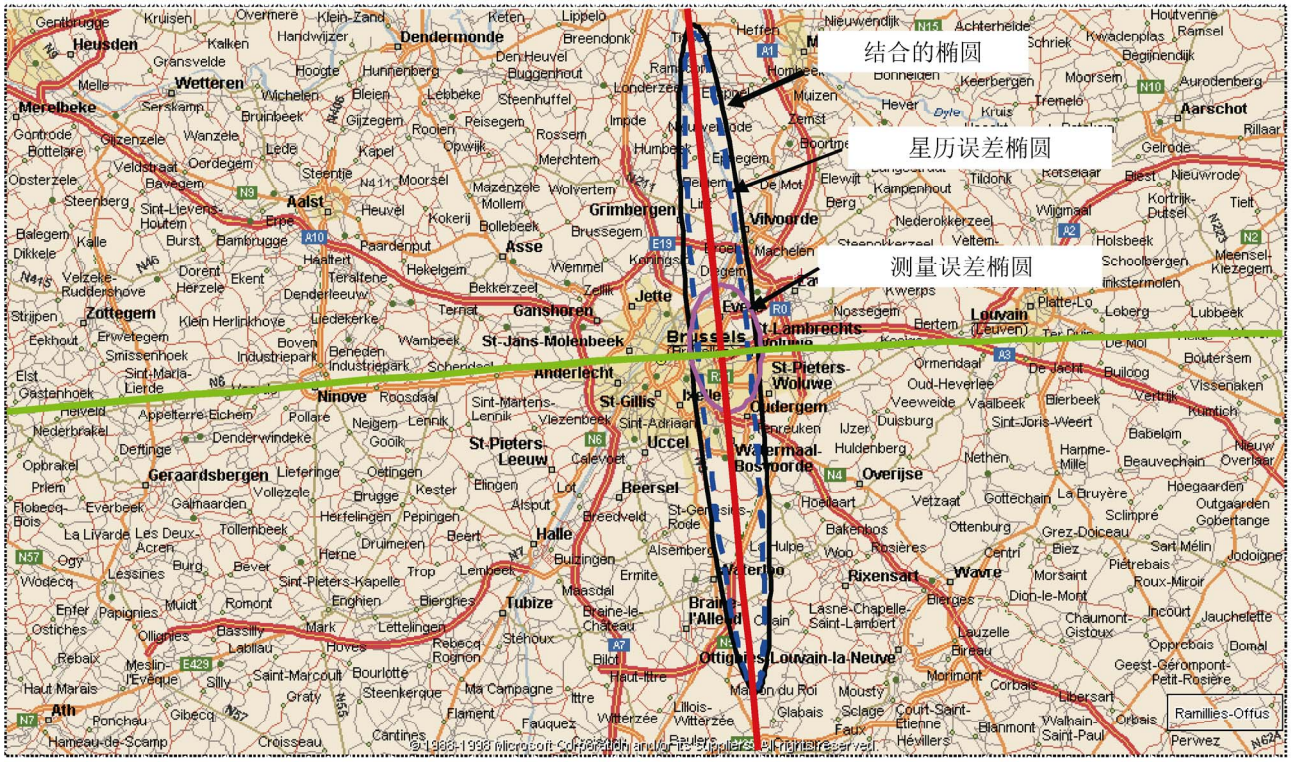
对应图5.1-49的地理定位椭圆结果

纬度（°）	N 38.793
经度（°）	W 77.168
半长轴（km）	8.679
半短轴（km）	3.338
角度（°）	51.5
置信度（%）	95

图5.1-50显示了用误差椭圆在地理定位测量地图上所做的表现形式。针对星历误差的巨型椭圆显示了在卫星位置和速度测量方面的不准确性。在这种情况下，应执行星历误差补偿测量任务。

图5.1-50

向GSO卫星发射信号的地面站的地理定位结果（2）



Spec-5.1-50

参考文献

BARDELLI, R., HAWORTH, D. and SMITH, N. [1995] Interference Localisation for the EUTELSAT Satellite System. Proc. GLOBECOM-95, Singapore.

DÜSPOHL, K. [2006] Vertex, Monitoring Ground Station Antennas. 9th International Space Radio Monitoring Meeting, Mainz, Germany.

KOETS, M. A. and BENTLEY, R. T. [1999] Satellite Based Geolocation Using a Single Geosynchronous Satellite and an Inverse Doppler Technique. Southwest Research Institute, San Antonio, United States of America.

LEUPELT, U. and GIEFING, A. [1981] 12-m-Cassegrain-Antenne mit umschaltbarem Speisesystem (A 12 m Cassegrain antenna with switchable feeder). *NTZ*, Vol. 34, p. 570-575.

MAHNER, H. [1970] Telemetrie- und Trackingempfänger für Satelliten-Bodenstationen (Telemetry and Tracking Receiver for Satellite Earth Stations), Siemens-Zeitschrift 44, Special Issue “Beiträge zur Raumfahrt”, p. 108-112.

MONTENBRUCK, O. [1989] *Practical Ephemeris Calculations*. Springer Verlag, Heidelberg.

MONTENBRUCK, O. and PFLEGER, T. [1991] *Astronomy on the Personal Computer*. Springer Verlag Heidelberg.

NEWELL, A. C., STUBENRAUCH, C. F. and BAIRD, R. C. [1986] Calibration of Microwave Antenna Gain Standards. *Proc. IEEE*, Vol. 74, **1**, p. 129-132.

NEWELL, A. C., BAIRD, R. C. and WACKER, P. F. [1973] Accurate Measurement of Antenna Gain and Polarization at Reduced Distances by an Extrapolation Technique. *IEEE Trans. Ant. Prop.,* Vol. AP-21, **4**, p. 418-430.

SATOH, T. and OGAWA, A. [1982] Exact gain measurement of large aperture antennas using celestial radio sources. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-30, **1**, p. 157-161.

SCHILLER, M. and SIGL, G. [2006] Sinan, Design and Advantages of a Compact Multiple Band Feed System. 9th International Space Radio Monitoring Meeting, Mainz, Germany.

SCHWERDTFEGER, R. [2006] Vertex RSI, Multi-function Earth Station Antennas. 9th International Space Radio Monitoring Meeting, Mainz, Germany.

STEIN, S. [1981] Algorithms for Ambiguity Function Processing. *IEEE Trans. Acoustics*, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-29, **3**.

KAWASE S. [January 2005] Interferometric monitoring of satellite longitudes. *Int. J. Sat. Comm. and Networking*, Vol. 23, p. 67-76.

KAWASE S. [April 2007] Radio interferometer for geosynchronous-satellite direction finding. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 43, p. 443-449.

参考资料

BENTLEY, R. T., JOHNSON, R. and CASTLES, M. P. [1996] Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, United States of America.

BUCERIUS, H. and SCHNEIDER, M. [1966] Himmelsmechanik I-II (Sperical Trigonometry I-II); Bd. 143/144, Bibliographisches Institut; Mannheim, United States of America.

CAPELLARI, J. O., VELEZ, C. E. and FUCHS, A. J. [1976] Mathematical Theory of the Goddard Trajectory Determination System. Goddard Space Flight Center; Greenbelt, Maryland, United States of America.

GOULD, R. G. and LUM, Y. F. [1976] *Communications satellite systems: An overview of the technology*. IEEE Press.

GREEN, R. M. [1985] *Spherical Astronomy*. Cambridge University Press, Cambridge.

HARTL, P. *Fernwirktechnik der Raumfahrt* (*Remote Control in Astronautics*). Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo.

HERTLER, E. and RUPP, H. *Nachrichtentechnik über Satelliten* (*Telecommunication via Satellite*). Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo.

ITU [1988] Specifications of transmission systems for the broadcasting-satellite service.

ITU-R Handbook – *Satellite Communications*, Third Edition, 2002, Wiley, New York, United States of America.

KAISER, W. and LOHMAR, U. [1981] *Kommunikation über Satelliten* (*Communication via Satellite*). Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo.

KOCH, G. [1972] Antennenprobleme beim Weltraumfunk (Problems in designing antennas for space communications). *NTG-Fachberichte*, Vol. 43, p. 101-123.

KRIETENSTEIN, K. [1994] Das Ohr am Orbit, Eine Darstellung von Arbeitsweisen der Funkmeßstelle Leeheim des BAPT (The Ear at Orbit, A Presentation of the Measurement Methods of the Leeheim Monitoring Station for Space Radiocommunication Services of the German Federal Office for Posts and Telecommunications), telekom praxis, 8/94, Schiele & Schön GmbH, 10969 Berlin.

MAHNER, H. [1970] Telemetrie- und Trackingempfänger für Satelliten-Bodenstationen (Telemetry and tracking receiver for satellite earth stations). Siemens-Zeitschrift 44, Special Issue "Beiträge zur Raumfahrt", p. 108-112.

MIYA, K. [1975] *Satellite Communications Engineering*. Lattice Co., Tokyo, Japan.

MOENS, C. and ROESEMS, K. [1974] Nachführ- und Datenempfänger für Bodenstationen von Satellitensystemen (Tracking and data receiver for earth stations of satellite systems). *Elektrisches Nachrichtenwesen*, International Telephone and Telegraph Corporation, Vol. 49, **3**, p. 315-323.

ÖHL, H. and GÖSSL, H. [1978] Die Eigenschaften der Antennen der zentralen Deutschen Bodenstation (ZDBS) (Characteristics of the antennas of the Federal Republic of Germany's Central Earth Station (ZDBS)). *Mikrowellenmagazin*, Vol. 4, 1, p. 10-14.

SIEMENS-ZEITSCHRIFT [1970] Beiheft, Beiträge zur Raumfahrt (Papers on Astronautics). Vol. 44.

Transmitter Location Systems, LLC [2005] TLS Model 2000 Operation and Maintenance Manual.

UNGER, J. W. H. [1976] *Literature survey of communication satellite systems and technology*. IEEE Press.

WOOD, P.J. [1980] *Reflector antenna analysis and design*. Peter Peregrinus Ltd., Stevenage, United Kingdom.

ITU-R 建议书

注 — 在任何情况下都建议引用最新版本的建议书。

ITU-R BO.650建议书 — 用在《无线电规则》附录30所定义之信道中的、传统卫星广播电视系统的标准。

ITU-R S.446建议书 — 固定卫星业务中通过模拟信号或数字调制而采用角调制方式之系统的载波能量扩散。

ITU-R S.484建议书 — 固定卫星业务中在地球同步卫星经度中的位置保持。

ITU-R S.673建议书 — 关于空间无线电通信的术语与定义。

ITU-R SM.1681建议书 — 使用减噪技术在监测地球站上测量来自空间站的低电平辐射。

附件1

监测系统规划与投标

页码

A1 在发放标书之前监管部门需要考虑的主题…… 161
A2 投标过程概述…… 161
A3 准确阶段：规划…… 162
A3.1 无线电监测系统的概念…… 163
A3.2 可行性研究…… 163
A3.2.1 可行性研究的目的…… 163
A3.2.2 可行性研究报告的内容与结构…… 164
A3.3 业务规划…… 165
A3.4 系统规划与设计…… 166
A3.4.1 评审现有法律（以及法律问题）…… 167
A3.4.2 评审现有程序（以及方法）…… 167
A3.4.3 评审现有测量能力…… 167
A3.4.4 市场评估…… 167
A3.4.5 频谱管理数据库…… 167
A3.4.6 项目工程分析…… 167
A3.4.7 国家级频谱管理系统评估和监测系统测定…… 168
A3.4.8 硬件和软件评估…… 168
A3.4.9 国家级项目管理…… 168
A3.5 制定系统规格…… 168
A3.5.1 国家级和区域级中心、监测站…… 168
A3.5.2 设备一般规格…… 171
A3.5.3 监测车辆与设备…… 173
A3.5.4 软件…… 173
A3.5.5 监测系统单元的一般要求…… 173
A3.5.6 业务规格…… 174
A3.6 培训…… 174
A3.7 维护与修理…… 174
A3.8 文档…… 175

页码

A4 实施阶段：投标过程…… 175
A4.1 监测招标书范本…… 175
A4.1.1 监测招标书文档应包括以下内容…… 175
A4.2 投标者标书范本…… 178
A4.2.1 引言…… 178
A4.2.2 一般技术特性…… 178
A4.2.3 系统功能…… 178
A4.2.4 系统实施方法…… 178
A4.2.5 技术保证…… 178
A4.2.6 对以下内容的详尽描述…… 178
A4.2.7 对参考资料的陈述…… 179
A4.2.8 系统结构框图…… 179
A4.2.9 价格…… 179
A4.3 合同范本的格式…… 179
A4.4 标书的评估与比较以及合同的授予…… 181
A4.4.1 由国际电联确定的程序…… 182
A4.4.2 由世界银行确定的程序、成本与价格…… 182
A4.4.3 在采购主管部门不受国际电联或世界银行程序约束情况下的程序…… 185
A5 最后（结束）阶段：验收程序…… 185
A5.1 工厂验收…… 185
A5.2 现场验收测试程序…… 185
A5.2.1 验收（或者在临时情况下的临时验收和最终验收）…… 185
A5.2.2 最终验收…… 186
附件1的附录1 — 对标书进行技术分析的国际电联示例 …… 187
附件1的附录2 — 商业和法律评估的国际电联示例 …… 192

A1 在发放标书之前监管部门需要考虑的主题

国家无线电主管部门必须解释和执行具有国际条约约束力的国际电联《无线电规则》（RR）中的规定。它还必须执行国家法律和规章中有关无线电通信的国家法令规定。此外，全国各地的各种无线用户还必须遵守有关授权/许可的规定。监测组织是国家主管部门的现场组织，它负责提供与频谱管理相关的实际数据，包括对无线网络的控制与监管，以确保所有网络无干扰地运行。

监测组织承担所有必须履行的责任，以推动无线电通信在整个国家的连贯与广泛应用。以下各方面涉及在国家范畴下对频谱的规划、协调和管制：

a） 依据最新的国际标准和频谱管理做法以及无线监测功能，来优化对无线电频谱的使用。

b） 通过国际电联发布、通告和注册国家系统，并确保得到持续保护以免受到其他国家各种新系统的干扰，来使用和保护国家卫星和其他空间系统的的轨道/频率资源。

c） 确定新的无线网络的频谱需求，并分配适当的频率、功率、带宽、辐射、运行时间和其他技术参数，以及针对它们的、适当的操作、管制和管理规定。

d） 通过规定所有必要的技术与操作参数，如工作频率、功率、辐射、运行时间等，授权安装与运行无线监测站。

e） 考虑当前的国际规则与协议，建立一系列规则、技术参数和标准，以管理不同无线电业务监测站对各个频带或特定频率的使用。

f） 为特殊情形下的无线电系统/设备使用，如自然灾难等，开展特殊的协调工作。

g） 维护和更新授权之无线电通信系统上使用的所有信息，如频率、监测站位置、功率、呼叫标记等。

无线电监测支持所有这些功能，原因是，无线电监测是频谱管理过程的一个重要组成部分。在规划、工程、电磁兼容性以及在确保符合许可的/授权的参数等方面，无线电监测发挥着重要作用。事实上，无线电监测被称为频谱管理的“眼睛”和“耳朵”。

本手册中有关频谱监测的其他章节，对所有类型的监测站、设备和程序做了详细描述。本附件旨在概述：在开发国家级监测系统或固定监测站或移动监测站时，需要开展哪些规划、研究工作以及程序是什么。

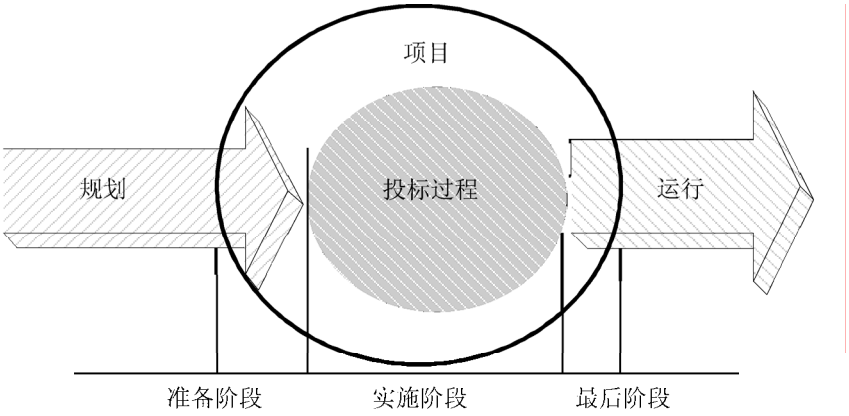
如果无线电频谱得到公平、经济、有效和合理的使用，那么要求确保适当的频率可重复性以及采用适当的设备与监测系统。

A2 投标过程概述

当国家主管部门决定建造自己的国家级监测系统、新的本地监测站、或者只是一个单个的移动测量系统时，为了实现这一指定目标，都需要将确定的项目工作分为三个阶段来实施（参见图A1-1）。

图A1-1

已确定项目的三个阶段



Spec-A1-01

准备阶段—规划：

– 无线电监测系统的概念；
– 可行性研究；
– 业务规划；
– 系统规划；
– 系统规格。

实施阶段—投标过程：

– 启动公开采购投标的邀请书（对投标者资质的考虑、针对不履行合同的取消资格条款）；
– 招标书（包括向投标者说明各项规定）；
– 投标者递交标书；
– 评估收到的标书（包括说明请求）；
– 决定授予合同；
– 签署并进入合同实施阶段。

最后（结束）阶段—验收程序，运行：

– 工厂验收、临时验收和最终验收程序；
– 培训、维护和备件供应；
– 开始运行。

A3 准确阶段：规划

本节描述为实现对全新监测系统或其某个/某些部分的投标所需的各个阶段，以最终实现对设备的采购。

在只需要替换现有监测系统一部分或单件设备的情况下，这些阶段中的某些部分是可以不要的。

在需要建造一个全新监测系统的情况下，为了建成一个满足监管机构监测要求的、预算可行的监测系统，必须确定众多的基本要求。

这些阶段描述如下：

– 无线电监测系统的概念；

– 可行性研究；

– 业务规划；

– 系统规划与设计；

– 制定系统规格。

A3.1 无线电监测系统的概念

如本手册第1章中所描述的那样，将频谱管理作为整个过程来描述，它对无线电频谱的使用实施监管和管理。频谱管理的目标是尽可能提高频谱的效率，并尽可能减少干扰。根据相关的法律而制定的规则与规章，构成了频谱管理过程的监管与法律基础。包括频谱所有授权用户详情的信息数据库，为过程提供了管理和技术基础。对这些数据库中的信息进行分析，将有助于推动频谱管理过程，并最终做出有关频谱分配、频率指派和授权的决定。其中，频谱监测提供了维护频谱管理过程完整性的必要手段，可定义为监测无线电频谱并报告其使用情况的一个过程。

在定义操作概念时，需要虑及以下各要素：

– 利用适当的计算机软件，实现数据管理和频谱监测过程的自动化。用于频谱监测活动的计算机软件和设备是专用的。因此，对于这些活动，需要提供适当的材料；

– 开发固定和移动模式的自动频谱监测、无线电噪声研究和测向设备（性能达到3 GHz）；

– 用于微波和其他更高频带以及专用业务的专用监测设施（高达50 GHz甚至更大的频率）；

– 开发用于地球同步（GSO）和非地球同步（非GSO）卫星系统的卫星监测设施；

– 组织（员工）结构及其与其他组织的交互，特别是通过频谱管理来进行的交互；

– 现有的和要求的基础设施；

– 针对机构能力和性能建设的员工培训；等等。

这些要素将在以下各节中进行阐述。

一旦定义了操作概念，应立即开展成本/效益分析，以评估能否以一种高性价比的方式来满足主管部门的需求。无论是规划一个新的系统，还是规划现有系统的现代化/改造，这都是必要的。

A3.2 可行性研究

A3.2.1 可行性研究的目的

在启动投标过程时，可行性研究是一个基本的基础。为了分析可选方案、研究项目开发对未来测量可能的影响、找到最佳解决方案，包括研究在决定不采购新设备的情况下，将会对频谱管理责任产生什么影响等，开展可行性研究是必要的。

可行性研究还需回答这样一个问题：对主管部门、信息社会和频谱用户，技术开发可取得哪些优势？

在制定监测测量设备或系统的技术规划期间，应考虑到可用设备或系统的技术能力、寿命周期和性能退化。

在规划和开发测量设备或系统的过程中，应规定和考虑到以下各项内容：

- 监测的覆盖范围，其依据是：
  - 监管机构的责任；
  - 国家的大小；
  - 国家中频谱使用的密度；
  - 频谱管理过程对其他职能部门的需求，例如频率规划、许可证发放和执行部门；
  - 监测业务的责任；
  - 未来计划中的国家无线电通信应用；
- 源自监管环境的测量任务；
- 与任务相关的设备技术规格；
- 对综合测量系统或特殊设计测量系统的需求，以执行特殊类型的测量；
- （远程）固定监测站的数目与位置；
- 移动监测单元的功能；
- 移动单元的数目与类型；
- 购置监管系统或者从单个部件开始建造系统；
- 集成到现有系统中或者购置一个单独的系统；
- 远程访问测量结果和/或频率管理数据库的必要性；
- 对单个供应商的依赖程度；
- 价格及后续的费用。

可行性研究的深度以及外部参与者的成本应与投资额度成比例。

A3.2.2 可行性研究报告的内容与结构

为实现可行性研究的目标，必须在研究报告中对任务计划的技术目的、结构、执行程序、必备的资源（财力与人力）、可能的替代方案以及预期的完成日期等内容做出明确规定。

研究报告应详细报告以下主题：

- 定义研究主题；
- 法律和监管环境以及对通信市场所做的分析；
- 定义研究理由和目标：
  - 新监测系统的背景和理由；
  - 待实施的监测系统的结构；
  - 针对监测业务的（新）任务，包括待覆盖的频率范围等；
  - 现有设备过时且无法完成要求的测量任务；
  - 现有测量设备的可用性和完整性；
  - 用技术先进的系统来提供监测业务；
  - 由监测人员以改进有效和高效的工作方式；
  - 操作新系统需要的员工数目；

  - 要求员工具备的技术能力；
  - 信息系统和数据管理；
  - 经济核算；
- 可选的项目实施方案；
- 预期的未来发展；
- 可行性研究的时间进度；
- 资源规划：
  - 人力资源（针对准备、实施和运行阶段）；
  - 财力资源（针对准备、实施和运行阶段）；
- 风险管理：
  - 确定风险因素；
  - 分类风险；
  - 分析风险影响；
  - 在分析基础上，详细阐述适当的风险管理策略。

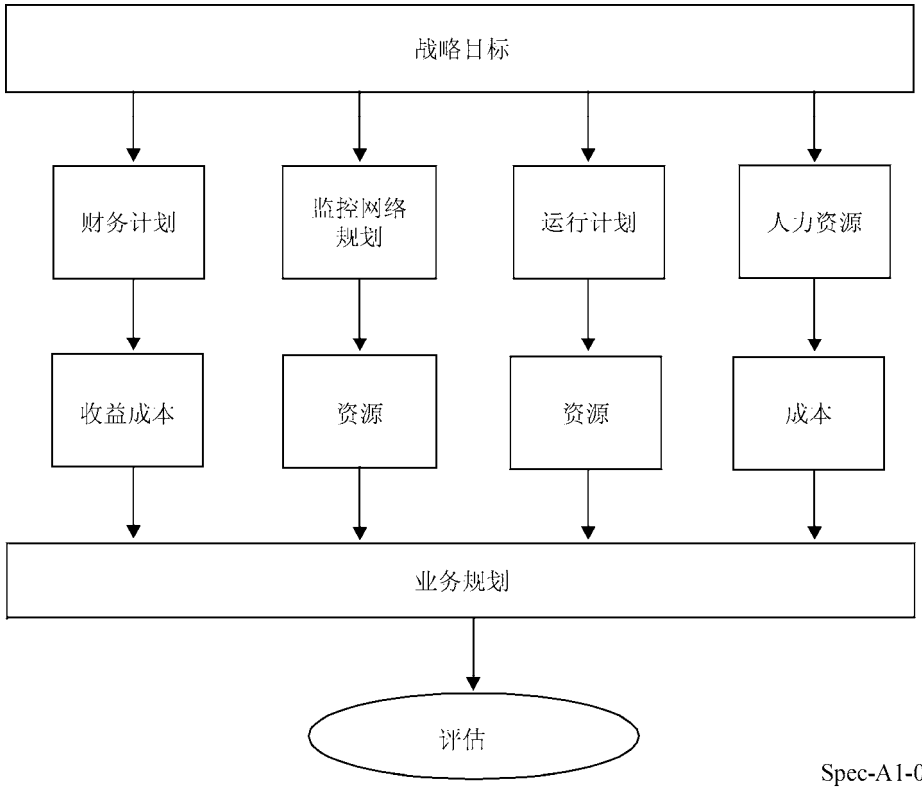
A3.3 业务规划

系统需求研究报告由主管部门或/与顾问来准备。

在设备更新以及必须对过程的某些部分进行更改（参见图A1-2）的情况下，投标也是必要的。

图A1-2

监测业务规划的国家级管理



A3.4 系统规划与设计

考虑到前面各章中描述的目标，本节建议一种技术途径与方法，以便为建立国家频谱管理与监测系统创建一个状态表。以同样的方式，所述的各条原则使得围绕基本功能建立频谱管理结构成为可能，以便达到ITU-R手册中有关国家频谱管理的目标。

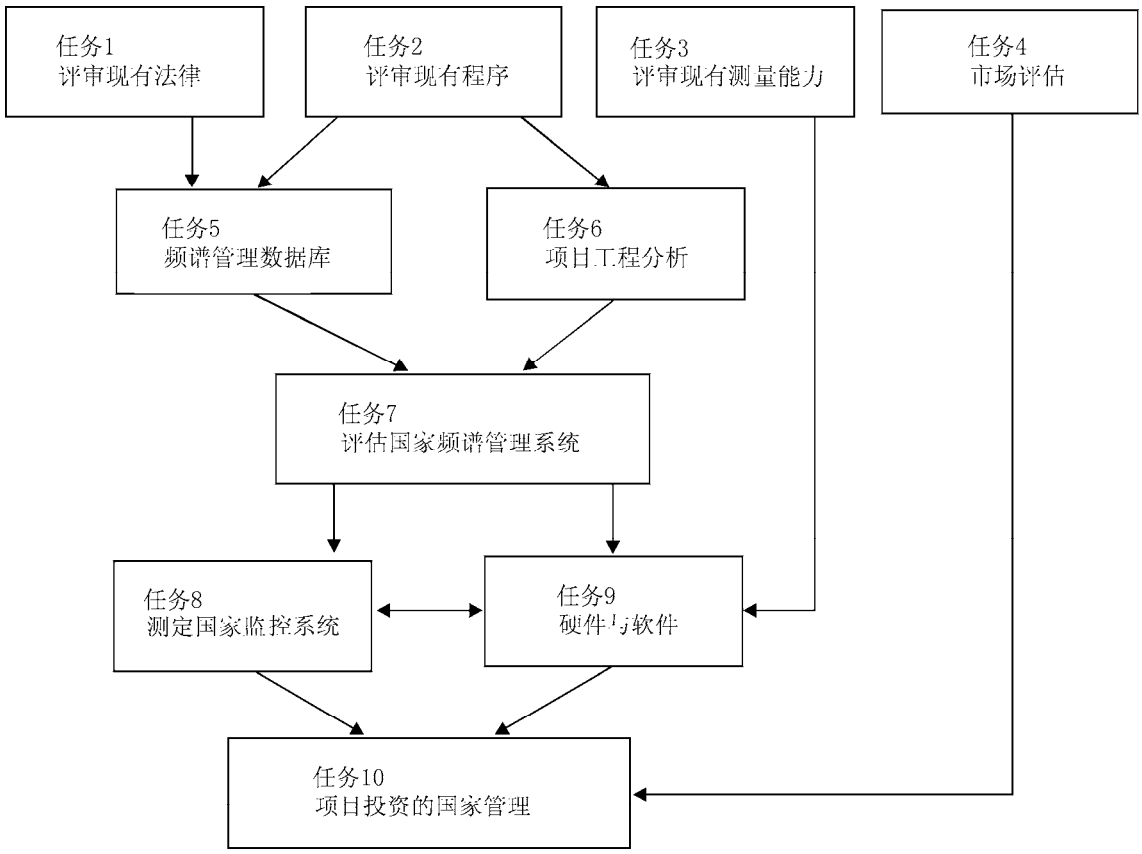
根据传统以及所考虑的国家资源，将国家频谱管理与监测系统的一些功能进行组合，或者相反地进行细分，因而影响到组织的大小。

图A1-3中所述的方法基于10 项不同的任务，考虑到了在全世界范围内因频谱管理而产生的所有法律和技术方面的问题。

这一投标模式假定陆地、建筑物和公用工程（水、污水、电话、电、燃料等）连接等方面的费用都由发布投标机构承担。

图A1-3

国家频谱管理与监测计划



Spec-A1-03

A3.4.1 评审现有法律（以及法律问题）

任务1将使主管部门可以熟悉涉及频谱使用监管的、新的和现有的、区域层面和世界层面的法律。通过这些与国家法律知识相关的研究工作，可以建立一个适当的国家法律框架。

A3.4.2 评审现有程序（以及方法）

负责频谱管理与控制的人员必须考虑这一任务（任务2）。必须评审和评估计划中的监管组织以及管理工作。必须设计一个适合协调授权请求、频率属性和授予以及相关费用的框架。为了开发一个对应频谱管理与控制需求的通用数据处理系统，将要用到这一信息。

A3.4.3 评审现有测量能力

在开发规划阶段，必须评审现有测量设备的能力与适宜性。必须确定什么样的特定测量能力足以保持当前要求的测量水平，以及哪些部分必须通过项目来改进，以满足未来的测量需要。

还必须对新购设备集成进现有系统中的可能性进行评审。

此外，在牢记新的测量任务的同时，还必须对未来人力需求进行评审。

A3.4.4 市场评估

为保证通信市场的良好运转，无线电频谱的使用及其可用性是至关重要的条件。考虑到无线电频谱是一种有限的国家资源，因此，只有通过开发新的调制技术（如数字转换）以及开放新的频带，才有可能满足通信市场日益增长的需求。在规划频谱监测系统的开发时，开发人员必须充分了解通信市场的长期频谱需求、新的调制技术的特性以及有待放开的新频带。考虑到测量系统的快速发展，应努力避免新系统的退化，甚至是在其首次运行后即废弃。

A3.4.5 频谱管理数据库

频谱管理数据库能够对数据元素进行定性和定量分析。为有效管理国家频谱，这些分析是必需的。这意味着对数据（现有的硬盘拷贝或电子媒介）进行分析以及将之整合进新的信息处理系统中，这将使信息流合理化，并将确保信息的保存（出于通告和协调的目的，参见ITU-R SM.1413建议书—无线电通信数据字典）。

A3.4.6 项目工程分析

应对必备的工程功能性和应用模块进行测定，并应包括/解释以下主要内容：

– 频率分配；

– 工程系统分析；

– 干扰和电磁兼容性；

– 特许费计算；

– 检查；

– 认可—批准；

– 报告/比率。

这些应用软件模块必须直接与管理数据库互连。ITU-R 手册— 《国家频谱管理》第7章，包含一个要求之基本模块和操作模块的列表。

A3.4.7 国家级频谱管理系统评估和监测系统测定

在这些任务中，要确定有关有效的国家监测系统的频谱监测能力以及要求。对监管系统需求而言，理想的是要求建立国家级和区域级管理办公室，以及各种类型的监测站。在某些情况下，管理办公室和监测站可以部署在同一建筑物中，但不是所有的监测站都将具有相同的设备。要求某些监测站只对VHF/UHF 频谱进行监测，而另一些则监测低于VHF和/或高于UHF的频率。未知发射机和干扰源的定位将是一项要求具备适当测向能力的主要活动，包括移动站。

无线电监测系统的主要目标是支持国家频谱管理要求的主要活动，并检查是否符合国际电联有关区域和全球范围内的频率分配规定，以及是否符合通过双边协议而进行的频率分配规定。为了有效实施，无线电监测系统必须连续地覆盖整个国家全部的主要人口中心。必须由无线电监测系统来完成的任务与活动以及所需的设备，都将在本手册中予以描述。将对为国家监管监测系统的运行而制定的技术规格进行归档。这些任务还必须考虑到现有的和/或未来的频率管理数据库的发展，以及相关的规划软件包，它们都将是管理政策要求的。

A3.4.8 硬件和软件评估

根据数据处理需要（硬件和软件）以及在任务5、任务7和任务8结论中所描述的车辆检测设备，旨在完成这一任务的专家，必须优化和/或指导基于维护/培训费用准则而确定的解决方案。

A3.4.9 国家级项目管理

在完成网络设计时，项目主管、数据工程师和财务分析人员将提出有关频谱监测网络的资本成本和投资要求。假设国家网络的一部分可使用现有的设施或改进现有基础设施的办法来提供。即使这样，也有必要评估国家可能施加在频谱计划项目上的预算限制，以使系统概念和规格能够在这些限制条件下形成。在预算有限的情况下，委员会可以对满足预算要求和当前频谱监测要求的时间阶段计划提出建议。依照这一研究报告（项目投资概要），委员会准备一份项目报告，包括将提交国家主管部门的投标文档。

A3.5 制定系统规格

A3.5.1 国家级和区域级中心、监测站

较小国家的主管部门往往拥有国家监测中心和适当数量的固定和/或移动监测站，它们直接受控于国家监测中心。较大国家的主管部门可发现，除了国家中心外，还可设立区域中心。在任何一种情况下，国家监测中心还可以包括一个国家频谱管理中心，用于提供对无线电频谱的集成化自动管理和监测。

移动监测站是固定监测站网络的补充。实际上，它们具有与固定监测站相同的测量能力，但可以容易地安装在一个国家的几乎任何地方上，能够监测不同的地区。

按照其功能，某些移动监测站（用于干扰调查、覆盖测量和微波网络测量的厢式货车）拥有专业的测量能力。当规定其类型与所需数量时，应在规划阶段努力达成最佳的建立与测量能力。在移动监测站的情况下，当规定其所需数量时，应将测量任务所需的频率当作首要准则。

在规划系统的测量能力时，所需的固定监测站数量取决于该区域的大小和地形条件，以及必须进行监测的频率范围。

在设计移动监测站时，必须在全尺寸设备、预算以及对车辆重量与空间的限制等因素之间找到良好的折中方案。因此，必须为即将执行任务确定是应当采购通用车辆还是采购专用车辆。

对选中的车辆而言，可用的业务网络以及国内的备件供应情况也是重要的准则。

A3.5.1.1 监测站的组织、操作人员岗位数量和数量

必须确定以下内容：

控制中心/监测站	组织/任务/方法/交互
层次位置	国家的/区域的/本地的/其他的
职责分配	频率范围（例如，从VLF直至HF 和/或 VHF/UHF 和/或 SHF） 待监测的业务、业务范围 直接受控的监测站列表以及移动站列表 附属的更低级控制中心列表
工作组织	现有计算机或网络体系结构，自动化软件 关于操作员位置数目，规定： – 工作时数换班次数 – 层级以及操作员之间共同的责任 – 任务报告文档后继程序（规定） 存档方法和资源（数据、音频、时间间隔……） 报告资源 安全考虑及程序
工作站描述	对所有或部分的远程站功能进行控制 程序或排定的自动任务，以便在远程站中离线运行 进行位置计算并显示结果 访问数据库，以参考频率管理技术文件（交互性） 显示地理信息 发出自动报告 预期的响应时间（为每项任务做出规定） 与远程站同步连接的最大数目以及连接类型（数据、语音级或广播声音级音频，等等） 同步记录的最大数目（如果在控制中心执行） 人机接口：语言、操作系统和数据库
与频率管理系统的交互	计算机化的频率管理系统是否可用？如果可用，是哪一个？ 是否要求与频率管理系统进行交互？ 本地频率管理数据库是否可用？
地理信息系统（GIS）	哪个地理信息系统是可用的？带有哪种集成格式？ 2-D（路线图、管理图、地形图）、向量式和/或网格式 3-D（数字的地形模型） 要使用的坐标系（UTM的、地理的，等等）、量程和分辨率、要求的范围
通信	a） 操作人员使用的资源 – 传真/电话/互联网（单独的或共享的） – 电子邮件（包含工作位置、控制中心、监测站、频率管理部门，等等） – 无线电通信资源（公共的、专用的、HF、VHF/UHF、SHF） b） 远程站或其他控制中心使用的资源 – 专用网络 – 专用的点对多点（无线电微波/PSTN/ISDN/模拟的或数字的租用线路/X25/VSAT、互联网，等等） – 速度与带宽

A3.5.1.2 测量任务

应注意到，是由各个国家负责做出有关测量任务及其相关的频率覆盖范围的决定。

为确定各个操作员位置上基本的测量设备特性，应规定以下内容：

频率测量：

– 频率范围；
– 要求的精度（中心频率标准是否可用？）；
– 辐射等级（测量方法）。

场强、电平和功率通量密度测量：

– 固定监测站和移动监测站上的测量数量与方法；
– 要求精度；
– 频率范围；
– 特殊测量：
  – 覆盖范围测量（沿着路径测量）、天线样式测量（如借助直升机）。

包括信道占用情况测量在内的频谱占用情况测量：

– HF、VHF/UHF辐射；
– 信道技术规格：带宽、间隔、调制类型；
– 记录占用时长：连续、从…到…时间段、特定几天、扫描分布；
– 要求的扫描速度（软件）；
– 需要记录的额外信息（如呼叫信号、自动识别/解码）。

占用的带宽测量：

– 使用频谱分析仪或软件的β/2和/或x-dB测量方法；
– 其他方法。

调制测量：

– 调制深度；
– 频率偏移；
– 误码率（BER）；
– 其他质量参数；
– 星座图。

测向与位置测量：

– 系统概念；
– 监测站类型：固定的、移动的、可移动的、便携式的以及要求的精度；

– 频率范围；
– 位置（通过三角测量法或SSL）、要求的数字化地形图；
– 响应时间；
– 测向天线所需的空间；
– 在数字化地图上显示方位。

识别测量结果：

– 辐射的等级；
– 确定各种传输信号（如解码）；
– “指纹”/单个发射机的包括特性。

航天器辐射的监测：

– 频率、带宽和功率通量密度测量；
– 测定轨道位置；
– 在轨道位置上的频带占用情况。

多媒体广播：

– 陆地或卫星类型；
– 接收到信号的质量（特殊设备需求）/解码。

需要监测的蜂窝电话网络：

– 确定网络类型的系统参数；
– 场强；
– 质量参数（如RxQual/CIR/BER）；
– 额外信息（如蜂窝电台的交接）；
– 信道数量；
– 测量点之间允许的最大距离；
– 相同频率/信道各测量点之间的最大距离（对所有允许的速度都是有效的）；
– 是否需要特殊的数据评估工具以及是否有意将这一系统与移动式监测（地图）系统相结合？

包括卫星链路在内的微波链路：

1～50 GHz 频率范围上的接收与测量设备，用于哪些业务？

A3.5.2 设备一般规格

关于所选的测量：选择适当的设备，以便各个监测中心、固定（远程）监测站和/或移动监测站能够完成这些测量任务。

a) 系统概念和体系结构中心、站、通信手段、软件

监测站的性能与天线、接收机、场强计和无线电测向仪的质量直接相关。

b) 天线

为了针对所选的测量来确定各个监测站的天线类型和数量，必须了解以下信息：

– 基本信息：
  – 极化（多样性）以及频率范围（子范围）；
  – 距待监测地区的大致距离（半径）；
  – 天线的地理指向（°）；
  – 天线与信号分发系统之间的距离。
– 信号分发系统：
  – 频率范围；
  – 每幅天线连接的接收机数量；
  – 如果要求天线具备多样性，那么天线的数量是多少？
  – 信号分发系统的操作：手动、半自动或自动。
– 全向天线和偶极天线：
  – 有源接收天线；
  – 发射/接收天线；
  – 空中交通管制天线。
– 定向天线：
  – 线性极化的对数周期天线；
  – 双极化的对数周期天线；
  – 碟形馈源天线。

对所有天线：频率范围（从10 kHz～50 GHz或更高）；与系统供应商合作以确定天线类型。

c) 接收机、测向仪

– 频带；
– 接收信道数量；
– 模拟或数字类型；
– 手动或自动控制（计算机、软件）。

d) 额外设备

特定的额外设备将允许监测站更有效地运行。报告设备就是一个例子：复印机、振荡器、音频—视频记录仪、打印机等，或者：

– 频率（10 MHz）和时间标准（铷、GPS 或 GLONAS）；
– 空调。

对移动监测：

– 导航和定位系统（航位推算系统、GPS、GLONAS（或其他），或是一个复杂的导航系统）；

– 用于方位角测定的罗盘。

A3.5.3 监测车辆与设备

VHF/UHF 频带移动监测站应设计和安装在车辆上，并应完整地配备所有必要的监测设备、监测天线、调制解调器、通信天线、GPS 和 GPS天线、互联电缆、电源、机柜、机架、安装硬件、接口设备和终端模块等，以组成一个完整的、独立工作的系统，此外还应配备一个可靠的组件，它是国家频谱监测系统的一个有机组成部分。为进行点监测或准确定位干扰源，车辆还可配备便携式测量仪器。

在采购车辆时，必须考虑以下选项：

– 车辆类型（货车、吉普车、客车）；

– 发动机类型（汽油、柴油发动机）；

– 四轮或两轮驱动；

– 尺寸和重量。

A3.5.4 软件

管理系统和监测系统应包含大量软件，以执行自动的数据收集、处理、评估和干扰分析任务。使用软件在关系数据库中保存频谱监测结果，并将该信息与授权用户的中央数据库相关联，将大大节省研究时间，同时还将提高精度。

监测系统应用系统和控制软件应当依照ITU-R建议书来开发，尤其是要依照ITU-R SM.1537建议书、手册—《国家频谱管理》（2005年）以及与《频谱监测手册》有关的建议书。

监测应用软件包括：

– 数字地图软件；

– 测向软件（与地图软件集成）；

– 数据库管理软件；

– 智能存档系统软件；

– 授权数据库与监测测量结果之间的接口软件；

– 测量结果评估软件（数据滤波器、数据的后处理和图形显示、自动参考值以及许可证数据库依从性调查）。

监测应用程序应是用户友好设计的，并应在相关的手册和指南中予以详细描述。

A3.5.5 监测系统单元的一般要求

在涉及招标文档的技术附件中，规定并公布了测量任务、要求的设备以及预期的最低技术要求。

固定的、移动的、便携式的或手动操作的测量系统的最佳数目以及它们之间测量任务的划分，必须在项目规划实施阶段予以确定。关于监测系统各单元技术要求的详细信息，请参阅本手册的第3章。

A3.5.6 业务规格

A3.5.6.1 现场勘察

固定无线电监测系统的位置对其效率和涉及的成本具有非常重要的影响。选址受到地理、地形和气候条件的限制，包括当地的噪声等，因此选址必须十分谨慎，原因是这将保证整个系统达到要求的性能。

通常情况下，用户负责现场勘察。此时，文档、测量结果、地形图等必须可用。

在确立系统的操作概念时，将决定独立监测站的数量及其任务，然后可根据ITU-R建议书来选址。在HF 范围中，可通过评估计算机化的无线电传播预测结果来选址，但仍需在现场进行补充测量。

A3.5.6.2 电信链路与网络

– 列举的单个站之间是否为电信链路？如果是，属于哪种类型（物理线路、无线电链路、微波）？主管部门是否会提供它们？电信线路是否可用？

– 将发射什么（话音、音乐、数据）？

– 线路细节：类型（符合ITU-T建议书（如V.24）、带有接口的公共拨号网络、专用网络、专用电信线路）、质量（以波特、比特/秒为单位的传输速率）、长度、体制（二线制、四线制）。

– 无线电链路或微波链路细节：频率、模式、信道带宽和发射/接收系统。如果可行，那么计算机将被集成到系统中，这样将有必要了解有关类型、存储容量、接口条件、外设和软件等方面的细节。一台（或几台）发射机通常应远程操作，以避免对监测站的干扰。

– 结构详情：点对点、点对多点、环形、星形。

– 是否要求屏蔽或加密？

A3.6 培训

为了有效利用监测设备，必须与监测设施一起获得一个综合培训项目。投标者应为员工提供适当的培训，要么在国内，要么在国外，以课堂培训和在职培训的形式进行。这一培训项目包含两个组成部分，列举如下：

*工厂培训*将在供应商工厂的设备上进行，设备与主管部门采购的相同。课堂培训必须包括有关频谱监测（和频率管理）基本原理的课程，由具备第一手经验的、具有适当资质的教师来执教。

一旦设备安装就位，*现场培训*将在主管部门的监测设备上进行。大部分剩余时间应由主管部门用来在职学习日益复杂的监测任务。最终应当提供一门信息课程，以展示如何使用监测信息来验证国家频谱监测。

必须对参加培训的人员数量和资质、培训地点与期限进行讨论。这需要不同层面的独立培训课程。

A3.7 维护与修理

在所有情况下维护与修理概念都应可行（例如，什么将在本地修理？什么将在中心修理？什么将由制造商修理？）

备件的库存，需要考虑到以下因素：

a） 单个部件；

b） 分组件（如电路板）；

c） 整个机架基座或插件；

d） 关键设备（不能忽略平均故障间隔时间（MTBF））。

还需要检查计划的库存时间间隔（不能忽略不同的平均修复时间（MTTR））。

A3.8 文档

设备/系统文档应以所需的语言形式提供。

作为项目的组成部分，详细的文档必须是可用的。

A4 实施阶段：投标过程

A4.1 监测招标书范本

取决于投标程序的类型，监测投标的招标书是一则广告，它邀请投标者实施一个项目。通常情况下，国家的法律规定了投标程序的形式、要求的内容以及适用的规则。招标书概述项目背景、工作范围以及投标者和客户的职责等，它还可能包含有关现场检查的信息以及用于阐明投标文档最后期限的信息。监测系统的技术要求在招标书的附件中进行详述。

投标程序，包括出版物，都取决于国家法律。

A4.1.1 监测招标书文档应包括以下内容

A4.1.1.1 指南部分

投标文档的本部分提供投标者需要了解的信息，以准备和提交符合采购者要求的、富有建设性的标书。指南部分描述投标的关键步骤、开标与评标以及授予合同的规定。

– 来自采购者主管部门的数据的可用性，该部门发布供应和安装新系统的招标书；

– （项目）概述；

– 招标文档之技术附件的可用性（有时包括价格）；

– 对要求之格式和投标文档之内容的说明；

（清楚和明了地填写注册表格是非常重要的，原因是，它可以确保已注册的申请者可以收到有关投标文档内容的任何可能的修改、修正或说明信息。）

– 对参与投标的资质以及强制要求的资质（投标者）的规定，要求投标者具备履行合同和达到规定之资质标准的经济、技术和生产能力：

  – 经过认证的参考（在处理带有以前客户名称的类似合同方面的经验）；

  – 在员工、设备和建设或制造设备方面的能力；

  – 财务和经济的稳定性；

  – 质量保证体系。

– 制造厂商的授权（如果制造商不是供应商）；

– 询问：

需要对招标书作出说明的投标者，应通过传真或电子邮件来提交其询问：

– 姓名、地址和电信设备；

– 投标者提交书面查询的最后期限（在标前会召开之前）；

– 主管部门相关答复的最后期限将通知所有注册的投标者。

– 标前会（说明会的日期、时间和地点，通常不会小于提交标书最后期限前的三周）。

投标者应承担与准备和提交其标书有关的所有费用，在任何情况下，采购者都不会负责承担这些费用。

– 到安装现场的技术访问：

两种选择方案：

选择方案1：强烈要求的投标者可以进行现场调研，以便确认自己计划投标的设备符合实际的投标要求。现场访问的费用将由投标者自己承担。

选择方案2：对多数投标而言，采购主管部门要求投标者到现场访问。对各个访问地点，主管部门都将提交一份由双方签署的正式现场报告。这些文档应与报价一同提供。投标者未进行现场访问是取消资格的一个理由。

– 投标者须知：

投标文档应为预期投标者提供所有必要的信息，以便其为设备和将要提供的业务准备标书。要求投标者对投标文档中的所有说明、格式、术语、规格和其他信息进行检查。未提供所有要求的信息或者提交的标书不足以回应招标文档的每个方面要求时，将给投标者带来风险，并可能导致其投标遭到拒绝。

– 提交标书：

– 地址（用于标书提交）；

– 投标文档原件与复印件的数目；

– 使标书合法化（由获得适当授权的一个人或几个人代表投标者签署）；

– 标书的密封和标记；

– 提交标书的最后期限（采购者将拒绝在标书提交最后期限后收到的任何标书，并将不做拆封即把标书返还给投标者）；

– 标书的语言问题（工作语言、组成标书的技术文件、指令手册、软件接口等）。

– 标书格式；

– 价格和货币提议；

– 遵循国际标准，以满足有关该主题的最新国际电联建议书的要求；

– 最新设计和使用现代技术（高标准的性能和可靠性）；

– 交货；

– 保证；

– 标书中提供的特定信息。

关于主管部门采用的国家法律和原则：“标书应包含但不必限于以下信息”：

例如：

- 建议的工作机构（机构图、工作计划等）；
- 对工作计划的详尽描述及产品的最终交付；
- 分配给各项特定任务的所有员工的姓名和履历；
- 依从性/非依从性声明；
- 违反规定，尤其是当投标者可以证明其提供的替代方案在所有方面都是令人满意的且完全能够满足主管部门的需要、完全符合技术规范时。必须对替代方案做出详尽解释；
- 在职培训。标书必须明确指明：培训员工的履历、目标、目标团队、期望的准入资格和受培训人员的数量；
- 投标保证金（投标保证书或投标保证金）；

  本文档包含投标者的银行担保：如果客户在有效期内撤销在其标书中建议的条件，那么银行将向采购者职权部门支付担保金额（通常为投标者出价的2%～5%）。
- 履约保证书（只要求中标人提供）；
- 标书的有效性（在采购者规定的标书提交最后期限后的确定时间期限内必须有效）；
- 技术和商业标书原件应由一名法律上经授权的官员代表投标者来签署，以进入合同阶段；一般地，对原件的每一页都应做证明。

- 评标：
  - 打开密封标书的日期、时间和地点；
  - 有关评标观点与方法的详细说明。
- 取消资格的条件：
  - 如果标书不完整，那么将被拒绝（如投标保证金、提议的合法性）；

  在以下情况下，投标可能被拒绝：
  - 技术评审后显示，一个或几个建议的技术参数未达到招标文档中的最低要求。

一旦作出决定，在标书中指明的期限或合法期限内，应告知投标者（通过传真，然后通过函件）。

A4.1.1.2 合同的主要条款

- 合同主题；
- 客户职责；
- 投标者职责；
- 付款条件（付款时间和方式）；
- 担保条件；
- 违反合同情况下的程序；
- 不可抗力情况下的程序；
- 出现争议情况下的程序；

– 机密信息的管理；
– 合同修改；
– 其他指示。

A4.1.1.3 技术要求

– 投标主题；
– 系统描述；
– 包含内容（项目将包含哪些内容，如软件、基础设施、业务等）；
– 其他包含内容（如被担保人、备件、软件支持与更新）；
– 针对系统各个参数和各台测量仪器的最小技术要求。

A4.2 投标者标书范本

A4.2.1 引言

– 投标者及其专长介绍；
– 所建议系统的优势；
– 如何对所建议系统进行调整以满足未来需要；
– 集成到客户现有系统中的能力；
– 倾向于参与未来发展；
– 提议的分合同商名单；
– 投标的有效期限。

A4.2.2 一般技术特性

– 可执行的测量任务（例如，依据相关的标准）；
– 工作频率范围；
– 测得数据的精度。

A4.2.3 系统功能

– 系统特性。
关于系统如何与投标技术要求匹配的信息。

A4.2.4 系统实施方法

– 指定本地分承包商，安装和启动。

A4.2.5 技术保证

– 担保期限（系统、软件）；
– 担保到期后备件的供应期限。

A4.2.6 对以下内容的详尽描述

– 承担的任务；
– 已交付产品的演示；
– 一般系统特性；

– 系统各台测量仪器的技术规格；
– 根据要求进行安装；
– 远程和本地控制；
– 数据的保存与传送；
– 未来发展的可能性；
– 软件的特性以及与频谱管理的集成；
– 电源解决方案；
– 天线的类型与特性；
– 车辆的类型与技术数据；
– 健康与安全方案；
– 校准与自测；
– 执行进度表和交付的最后期限；
– 来自客户的预期任务；
– 培训；
– 解决争议事项；
– 其他（例如，有关系统和软件维护合同的投标）。

A4.2.7 对参考资料的陈述

– 财务和经济的稳定性；
– 经过认证的参考文献；
– 质量控制系统；
– 公司注册处法律文档的复印件；
– 制造商的授权；
– 已获批准之分承包商的名单。

A4.2.8 系统结构框图

A4.2.9 价格

– 单价和总的价格；
– 付款期限和条件。

A4.3 合同范本的格式

合同是各方之间具有法律约束力的协议交换。违约将通过法律来辨别，并可提供补救措施。

合同文档必须明确定义待执行工作的范围、要供应的商品、采购方、供货方或合同方的权利与义务。

介绍性规定：

– 合同各方的名称和地址；
– 合同的预备工作；
– 合同的范围、特点和目的；

– 合同中使用的术语；
– 工作语言。

各方的法律状态、其权利与义务：

– 供货方的权利与义务：
  – 分合同；
  – 系统与系统元件的发运和安装；
  – 担保；
  – 系统的修理与维护；
  – 软件的修理、维护与开发；
  – 相关的业务；
  – 培训相关说明。
– 客户的权利与义务：
  – 一般说明；
  – 客户的监管权利；
  – 合作义务；
  – 付款义务；
  – 培训相关义务。
– 有关争议解决的适用法律和论坛。

合同主题：

– 合同主题；
– 软件及相关的权利；
– 与合同完成有关的规定；
– 遵守条令、法律、规则等：
  – 安装位置和完成日期；
  – 完成方式；
  – 合同完成日期。
– 验收程序：
  – 验收程序前的工厂验收；
  – 有关系统验收程序的一般规则；
  – 验收程序的地点；
  – 验收程序期间要做的记录；
  – 固定监测站和移动监测站的验收程序；
  – 软件和完整系统的验收。
– 包装、发运和保险；
– 产品更新；
– 附加服务：

  - 培训；
  - 担保的服务提供。

履行合同的责任；涉及无法履行的规则：

- 未正确履行合同情况下供货方的责任：
  - 供货方的义务；
  - 供货方的处罚义务；
  - 供货方采取故障补救措施的义务；
  - 供货方的担保义务。
- 客户有关未正确履行合同的责任；
- 无法完成合同。

价格与付款期限：

应包括投标文档要求的所有价格。

需要为系统生产、安装以及相关的附加服务支付的费用：

- 总的合同价格；
- 合同价格的支付：
  - 额外的付款义务。

应根据国家规章进行报价，不包括税收。

其他事项和最终条款：

- 各方开展合作、妥善处理机密信息的义务；
- 解决争议、执行法律法规和适用法律；
- 不可抗力；
- 合同的修正；
- 合同的有效性和终止；
- 各方之间缔结的其他合约；
- 由各方适当授权的合同责任人；
- 规定的违约赔偿金；
- 赔偿。

合同的附件：

合同附件将基于国际电联、世界银行或采购主管部门的程序。

在任何情况下，都应将标书附在合同上。

A4.4 标书的评估与比较以及合同的授予

为了对标书做出评估和比较，采购主管部门需要遵循预先确定的评估过程，如：

- 由国际电信联盟（ITU）确定的程序；
- 由世界银行确定的程序；

– 在采购主管部门不受国际电联或世界银行程序约束的情况下的程序。

由采购主管部门制定一个投标评估委员会，从财务、法律和技术层面对标书做出评估。评估方法由采购主管部门确定，并应在委员会的评估报告中非常详细地予以描述。

由投标者提交的标书可在投标者代表在场时、在招标书中规定的时间和地点打开。如果未附投标保证金，那么标书可被拒绝。

在评标期间，采购主管部门可要求投标者对其标书做出说明。

A4.4.1 由国际电联确定的程序

评标：

– 由国际电联或者由国际电联和采购主管部门组建的评标小组；

– 技术评估和商业评估分开进行（首先进行技术评估）：

  – 技术评估应包括以下主要内容：

    – 测量接收机、天线系统、工作站、软件、可选的测向系统、工厂验收测试（FAT）、交货、培训（参见附录1：对标书进行技术分析的国际电联示例）。

  – 商业评估应包括以下主要内容：

    – 价格、付款期限和条件以及商业条件、法律评估（参见附录2：商业和法律评估的国际电联示例）。

  – 技术问题鉴定；

  – 性能；

  – 专家经验；

  – 总的价格；

  – 将拒绝不完整的标书；

  – 机密性（有关检验、阐述或评估的任何信息均不得透露给投标者或任何其他有关人员）；

  – 一旦作出决定，应尽快告知投标者（通过传真，然后通过函件）。

拒绝标书：

– 国际电联保留拒绝任何标书并进行第二次投标的权利；

– 没有接受最低定价投标的任何义务。

A4.4.2 由世界银行确定的程序、成本与价格

注：使用的术语是世界银行的术语。

当世界银行（WB）（IBRD 或 IDA）向其成员国之一提交一份贷款协议时，世界银行向借款者提供一组名为“评标报告”的指南。这些指南有助于借款者按照指令来评标：*通过IBRD 贷款或IDA 信用资助而签署的合同—1995年1月（1996年1月、1996年8月和1997年9月修订)*，涉及第2.53段、尤其是附件1的第2段和第4段。

（参见：dbusiness@worldbank.org）。

注：

1. 根据《指导文件》第1.6段和第9页的脚注，某些国家没有获得从世界银行资助合同中受益的权利；

2. 如果借款方采用第1.8段中给出的准则，那么借款方所在国可将这些国家或地区排除在投标者之外；

3. 根据《联合国宪章》第七章，联合国安理会可禁止世界银行向确定的国家提供贷款。

评标报告（PER）描述针对借款者的程序，以评估收到的标书。此外，在任何情况下，都应采用在投标文档须知部分中描述的评估和请求程序，这点是重要的。PER包括一封建议函，其附件发送给世界银行。

为了确定标书评估所需的人员数量，借款者必须在项目准备阶段检查包含在指导原则中的评估表。世界银行可详细解释接下来的程序。世界银行鼓励借款者与拥有相关经验的顾问签订合同，以评估与复杂项目有关的标书。如果协议允许这样做（《指导文件》附件1第2-C段），那么顾问的报酬最终可用贷款来支付。

PER包括：

序言

格式—用法

评标的典型格式

建议函：

a） 如果项目受制于世界银行之前的检查（在项目做出决定之前的世界银行协议），那么借款者（部委、组织或业务）应当利用发送建议函的机会，将PER发送给世界银行。这一函件应阐明评估结论，并提供所有有助于推动世界银行评估工作的补充信息。

b） 对受制于世界银行之后检查程序的项目（非项目授予必需的世界银行协议），评估报告以及已签署的合同复印件应在任何付款要求之前（或同时）提交给世界银行（《指导文件》— 附件1和贷款协议）。

表1：确认。

对贷款协议的描述，尤其是对成本评估和世界银行评估程序（管理数据）的描述。

表2：评估程序。

投标通告（管理数据）。

表3：提交标书和开标。

根据《指导文件》第2.44段，这一表格给出标书的日期、时间和数量以及标书的有效性。如果投标程序分为两个阶段（技术的和经济的），那么这一表格应提供给每个阶段。首次会议备忘录应发送给世界银行和每个供货商。

表4：标书报价（公开报告）。

公开报告的所有价格调整，包括折扣、选项、变动等，都应在表4中进行描述。

表5：初步检查。

符合投标义务，包括技术规格。评估过程应与开标一同开始。预先检查形成鉴别主题，并拒绝不完整的标书、不容许的标书或者未对应投标者基本规定的标书，并因此不对这些标书进行评估。这一检查应考虑以下因素：

– 验证：鉴别标书的不足；

– 初始准则；

– 标书保证；

– 符合投标程序和技术规格。

以下是评估原则：

– 借款者应只评估标书的投标义务和信息这部分内容；

– 在评估过程中，借款者可请求供货商提供更多的、有关其标书中含糊不清或不连贯内容的信息。这些要求以书面形式提出，但供货商不能修改价格和供货类型、工作或提供的业务，除非计算有误（《指导文件》附件4第10段）。不能修改任何必要的价格或报价。

表6：无条件修改和折扣。

对各个供货商，该表格均提供了报价、修正价格（计算错误）、折扣和总的报价数额。

表7：汇率。

指明了用于评估的汇率。

表8A和表8B：货币兑换。

根据借款方选定的并在投标中指明的货币，这些表提供了总的报价数额，以借款方的货币计。

表9：针对遗漏、调整和货币变化的附件。

表9提供了总的报价：

– 标书中发现的遗漏和错误应当用额外的价格来平衡，（在一次报价中忽略的要素可由其他报价来弥补，即平均定价。）与此同时，可以参考外部资料，如定价清单、运输成本比例等；

– 调整：投标须知提供了实施与运营准则。

标书，包括有关投标须知的微小变动，如果在详细分析后可能赋予它一个货币价值，而该价值附加在报价上，作为罚款，以便比较，那么可以认为是可接受的。

涉及这些因素的评估方法应当在评估报告中十分详尽地予以描述，并完全符合招标须知的要求。

世界银行有时会授权对采购的设备使用计分制。在这种情况下，调整以分值来表示（参见《指导文件》第 2.6.5段）。为了借助计分制获得有关报价评估的细节，借款者可从世界银行获得建议。

表10A和表10B：国家供应和工作的优先权。

如果投标允许国家优先，那么可能会考虑到在投标规定中提供的国家关税和优惠差额。

表11：对授予标书的报价和合同的最终评估。

表11归纳了上述各表中包含的所有数据（首次会议上的价格、纠错、折扣、调整），并提名中标者。

附件I： 评标须知。

附件II： 开标会议。关于标书的信息。

附件III： 不符合条件的国家。

附件IV： 初步检查举例。

附件V： 评标报告内容。

A4.4.3 在采购主管部门不受国际电联或世界银行程序约束情况下的程序

在评标开始之前，评估委员会决定采用哪种方法来确定可以将合同授予哪个投标者。可以使用以下方法：

– 使用公式计算得分的方法；

– 加权法；

– 是/否依从性；

– 依从性与报价相结合。

A5 最后（结束）阶段：验收程序

A5.1 工厂验收

根据合同规定，依照供货商提交的、经主管部门修改或未经主管部门修改（共同协议）的工厂验收文档，供货商应在制造地点对设备和设备的任何组成部分执行所有此类测试和/或检查（费用自理）。

A5.2 现场验收测试程序

供货商向主管部门提供现场验收文档，并应适当提前通知将进行此类测试和/或检查及其时间与地点。进行这些测试，旨在验证设备各项功能均已齐全，能够正确装配和互连，能够按技术规格要求正确运转（目视检测和技术测试）。考虑到主管部门和供货承包商的各自职责，应对整个系统（包括通信链路）进行最终测试。

系统验收后，通常将提供为期一年的质量担保，在质量担保期内，可以要求供货商保留一定的担保金。可选地，对某些主管部门而言，一旦验收测试成功结束，就可以进行临时验收，然后，在一段固定的期限（通常是担保期）到期时，进行最终验收。

A5.2.1 验收（或者在临时情况下的临时验收和最终验收）

验收应针对设备或其任何组件进行，时间为：

– 验收测试成功结束，符合功能保证书；

– 验收测试未成功结束或者未进行，原因不在供货商。

如果存在小的出入或问题，那么不应拒绝验收，而应进行验收，并告知出入和问题的所在，并在担保期内予以纠正。

下面的清单提供了一个有关HF/VHF/UHF 固定站现场验收测试程序报告内容的例子：

a） 主题

本文档描述根据合同条款的频谱监测站的验收程序。

b） 目视检查

执行检查操作，以确认合同配置声明中列举的所有项目都齐全。

– 天线系统、开关、电缆、闪电保护装置；

– 天线杆、塔（支柱、油漆、闪电）；

– 检查建筑物、布线、安全设备、框架、机架、计算机、接收机、电源；

– 软件植入；

– 设备手册、软件和系统；

– 标记（设备认可）；

– 文档将受到控制，提交文档的清单将附在验收报告上。

c） 技术测试

– 电源检查（主电源和不间断电源（UPS））；

– HF/VHF/UHF 测向功能：固定频率、扫描、定位；

– HF/VHF/UHF 国际电联测量：固定频率、频率扫描、记忆扫描；

– 信号分析；

– 手动和自动任务：发射机的系统控制、频率占用率、搜索未知发射机；

– 建造集成化测试设备（BITE）。

在验收期间进行的测试的结果，将在由主管部门和供货方签署的验收测试报告中交付。

A5.2.2 最终验收

如果验收结束后，接着进入由保单保证的担保期，那么本节不适用。如果临时验收后，接着进入最终验收，那么根据用于规定担保期（通常为一年）的管理条款，由双方签署临时验收证书，在此担保期后，再提供最终验收证书。

附件1的附录1

对标书进行技术分析的国际电联示例

表A1-1

功能参数	规　　格	要　　求	Y公司基本	X公司
控制	无线电信号监控与监管。	出于培训目的的操作功能。	符合	选项1：只有软件—不符合 选项2：硬件＋软件 下面只考虑选项2。
1 监控接收机的频率范围：	频率范围：100 kHz～2.5/3 GHz。	频率范围必须包括所有在已标明频带上运行的无线电业务。	符合	有一定保留的符合（参见最后一行中的监测结果）
2 接收天线：	频率范围：100 kHz～2.5/3 GHz。	依照系统的特性。	符合	符合
3 操作模式：	手动和自动。	系统必须能够区分手动和自动监控。	符合	符合
4 测量技术信号参数：	1）频率； 2）场强和功率通量密度； 3）带宽； 4）调制百分比（AM）； 5）频率偏移（FM）； 6）频谱分析； 7）频谱占用情况测量。	— 根据ITU-R建议书和《无线电规则》来测量； — 实时和有区别地实施测量； — 截取、解调、记录和分析信号； — 自由地决定信号接收的阈值。	符合	符合

表A1-1（续）

功能参数	规　格	要　求	Y公司基本	X公司
5 解调：	CW、AM、FM、SSB、NFM、WFM		符合	符合
6 跟踪功能：	1）离散频率跟踪； 2）逐频带的频率跟踪； 3）频率步进的离散选择。	手动和自动选择频率。	符合	符合
7 数据采集：	保存测量结果并生成报告。	用于连接外设的接口，如打印机和个人计算机。	符合	符合
8 应用软件：	1）人机接口： — 用户友好； — 明确规定的功能； — 频谱； — 易于读取结果； — 单位转换； — 统计占用表格的可视化。 2）无线电测向过程的模拟； 3）系统的潜在发展： — 可容易地安装无线电测向设备； — 易于维护； — 自动测试； — 易于使用； — 多功能。		符合	符合

表A1-2

功能参数	规　格	要　求	Y公司基本	X公司
培训	1　关于设备组装的课程； 2　关于操作与维护的课程； 3　针对培训的指导材料（以打印形式或电子形式提供）。	对两位工程师需要五天； 课程1将在工厂进行； 课程2包括预防性和纠正性维护。	符合	不符合
术语、首字母缩略语和缩写词的词汇表	以英语和法语两种语言形式提供。	可选：西班牙语	符合	符合
电源	220V ± 5%, 50 Hz		符合	未指明
文档	1 安装计划； 2 系统及其组件的操作与维护手册。	系统的概念图； 系统与设备的描述； 组装与安装计划； 站的操作验收测试运行； 执行检测和纠正系统缺陷的程序； 纠正性和预防性定期维护的操作程序； 定位系统故障并予以修理的程序。	符合	符合
产品与服务的提供	与在各自合同中所确定的那样，合同方将承担提供产品与服务的责任。		*	
支持与备件	在合同最终验收后的两年内，为系统维护业务提供所需的部件与备件（可互换的和不可互换的）。		*	最终验收后10年

*注：依据Y公司在“依从性列表”中所做声明的依从性。

表A1-2（续）

功能参数	规　格	要　求	Y公司基本	X公司
工厂验收测试	对设备的技术规格进行验证。		一位国际电联专家，三个工作日。	没有任何有关工厂验收测试的指示。
运输与交付	现场最多[180]天，包括包装、运输和安装责任。		*	订货后四个月。 在日内瓦交付。
安装	安装设备并完成所有要求的测试，确保系统条件完好和工作正常，是合同方的责任。	安装、测试、集成与运行	*	
在验收之前进行临时测试	测试系统与设备的安装和功能可靠性。		*	
在验收之前进行最终测试	验收协议。		*	符合
保证	质量保证覆盖最终验收日期后12个月内的良好功能性、材料和软件。		*	符合

*注：依据Y公司在“依从性列表”中所做声明的依从性。

表A.1-3

功能参数	规　　格	要　　求	Y公司基本	X公司
保险责任	合同方签署一份保单，适用在临时验收证书发放之前可能出现的任何风险（保期从设备出厂日期算起，直到它交货并完成临时安装）。			
1）技术部分的总体介绍 2）计算机工作站（参考条款中的条目2）			1）很好 2）好 **选择列表：**……	1 标书的介绍很差，难以找到适当/相关的信息； 2 工作站：最低配置； 3 未进行工厂验收测试； 4 培训：标书不符合ToR要求。

附件1的附录2

商业和法律评估的国际电联示例

1 商业评估—商业标书的开始部分

1.1 由评估小组确定的、每一份标书的总开价如下所示：

投标者（按字母顺序排序）	总的开价（单位：美元）
X 公司	[999 999.00] — 第1份标书 [999 999.00] — 第2份标书
Y 公司	[999 999.00] — 基本标书 [999 999.00] — 可选标书

1.2 X公司提交了最全面的商务标书。Y公司在其标书中提供了大部分要求的信息。不过，其详细程度（如价格分解）不令人满意，因此要求进一步阐明。

1.3 由商业评估委员会确定的、两份标书中每一份的总估价（TEP）如下所示：

投标者	基本标书	可选标书1	可选标书2
X 公司	USD [999 999.00]	USD [999 999.00]	USD [999 999.00]
Y 公司	USD [999 999.00]	USD [999 999.00]	—

1.4 Y公司未提供详细的价格分解。因此，有必要详细说明其总的价格，以便完成对其标书的商业评估。X公司未提供全部要求的信息（对选项1和选项2项目的详细价格分解列表）。

1.5 X公司和Y公司各自的开价相差甚大。对于X公司，最大的差异来自以下事实，即基本标书只包含培训。因此，按照TEC…的建议书，更多的详情请参阅TEC的技术评估报告。

1.6 由…报出的价格包含项目总价格10%的折扣。

1.7 价格以USD CIP日内瓦计（考虑到国际电联没有确定目的地点）。国际电联需要DDU报价—根据Incoterms 2000，包括通常的包装（目的地待定）。这一点必须在合同协商期间予以阐明。

1.8 **付款期限和条件**。两家公司都就付款期限提出了建议。因此，未来合同的付款期限和条件需要与选中的公司进行协商。

1.9 两份标书都包括了**商业条件**。在与两家公司进行合同协商的情况下，国际电联可以依据国际电联规则和规章，对所有提议的、有关合同的修改意见和额外的付款条件开展讨论（参见商务标书中针对X公司的第N 章第 ii～jj 页，以及针对Y公司标书的第M章第 kk～ll 页）。

2 法律评估—符合合同范本的格式（招标书的第二部分）

一般信息	X 公司			Y 公司	
	第1份标书	**第2份标书**	**第3份标书**	**第1份标书（基本）**	**第2份标书**
标书有效性					
是否符合合同的要求	是（α）	是	是	是	是
是否符合技术需求的要求	是	是	此外	否	是
总的人数/天数	5	5	—	—	15
总的工作时间	7.5 小时/天 3～5 天	7.5 小时/天 3～5 天	—	9 小时/天 2 天	9 小时/天 6 天/4周
每人每天的价格	9 999.00	9 999.00	—	—	9 999.00
总的人数/天数	6	6		10	10
总的工作时间	7.5小时/天 5天（37.5小时）	7.5小时/天 5天（37.5小时）		6小时/天 1天（6小时）	6小时/天 5天/3周（90小时）
每人每天的价格	9 999.00	9 999.00		9 999.00	9 999.00
可能增加总的工厂固定价格的因素	如果项目限定为标书提交的价目表I～III，那么为无。	如果项目限定为标书提交的价目表I～III，那么为无。		培训 教室和设备不可用	培训 教室和设备不可用
投标者期望的类似服务将由国际电联提供	必须提供适当的安装地点	必须提供适当的安装地点		安排教室，并确保可以使用必要的培训设备	安排教室，并确保可以使用必要的培训设备
承诺开始和开展工作	合同的有效日期	合同的有效日期		合同的有效日期	合同的有效日期
交货时间/条件	*N*个月	*N*个月		*M*周	*L*周
总的公司固定价格，以美元计					

2.1 α—关于是否符合要求：

X公司说明：

– 由于我们在全球范围内的所有客户都接受英语形式的软件，因此，需单独提供将系统软件翻译为法语的服务；
– 将软件译为法语需要一次性付费；
– 设备和培训手册将以法语形式提供；
– 如果受训者具备工程学学位和经验，那么将提供有关预防性和纠正性维护的培训。

Y公司的第二份标书（可选的）完全符合各项要求。

2.2 关于建议的合同范本格式。在与两家公司进行合同协商的情况下，国际电联可以对所有提议的、有关合同范本格式的修改和增补意见以及付款条件开展讨论。最重要的是以下条款：

a） **实质性法律**（遵守条令、法律、规则）：

X公司建议，“所有争议都应依据合同条款和补充协议来解决，否则依据XYZ国中具有法律效用的实质性法律来解决，而不参照其他实质性法律。”

这一要求不符合国际电联的规则与规定。

注：声明“符合”合同范本格式。

b） 仲裁：

X公司提议，“如果合同双方中的一方以书面形式告知另一方这一事实，那么这种尝试应被视为失败“。如果解决争议的尝试失败，那么应依据[某某城市]的CCI的《调解与仲裁规则》，由三个仲裁者来解决……（参见商业部分的第*N*章第*k*/*k*页）—**对这一条款可以协商**。

c） 工厂检查验收与交货：

参见X公司的注/建议，第*n*段，可选标书的第*N*章第*m*页。

d） 保证：

两个公司都提供了详细的担保条件并请求修改。某些提议的修改不符合国际电联的标准合同，但可以进行协商。

e） 不可抗力：

X公司建议修改这一条款。参见第*N*章第*i*/*k*页，“…不可抗力情形应由商会确认…”。某些提议的修改不符合国际电联的标准合同，但可以进行协商。

_____

瑞士印刷
2009年，日内瓦
ISBN 92-61-12615-4
图片鸣谢：PhotoDisc