

第2章 基础环境勘测评估

2.1 概述

基础环境勘测是根据工程建设法律法规要求，查明、分析、评价建设场地的气候环境、地形地貌、地表土壤、电气、电磁及建筑等条件，编制建设工程勘察文件的活动。

评估是对勘查和测量结果的计算、分析及评价估量，决定建设方案的设计、工程经费预算及建设周期等，影响整个工程质量及工程的顺利实施。

通信基础环境勘测一般包括“查勘”和“测量”两个工序，查勘一般指实地调查了解，测量是现场具体测量。根据工程的繁、简、大、小又可分为“方案查勘”、“初步设计查勘”与“现场测量”三个阶段。在建设规模较大、技术上较复杂的工程时，一般应根据主管部门的要求，首先进行方案查勘。对于二阶段勘测设计的工程，则根据设计任务书的要求进行初步设计查勘后进行测量。例如：长途线路工程一般属于二阶段勘测设计；本地网的营区线路工程、市线工程一般属于一阶段勘测设计，即查勘和测量是同时进行的。另外，通信建设任务不同，勘测和评估的步骤有一定差异。

勘测是设计的基础，是设计的依据。设计是否能够指导施工，直接取决于勘测所确定的方案是否合理，以及勘测资料是否细致和全面。如果勘测有遗漏和差错，即使设计水平再高也没有办法弥补。在目前的大量通信工程建设中，多数设计问题均由勘测不细致而导致。另外，无勘测的通信工程设计，只能构建在虚构的基础环境上，施工时，轻者出现缺陷，重者漏洞百出，亡羊补牢也不一定能解决，并将延误工期或错失战机，或造成人力、财力等的极大浪费。所以，勘测人员均应高度重视，一定要把勘测工作做好。

勘测和评估人员，需要有气候环境、地形地貌、地表土壤、电气、电磁及建筑等广泛的基础知识。依据通信建设具体任务的不同，还应具备无线传播理论，天馈系统，短波、超短波、卫星、导航、移动基站等无线及设备技术性能知识，以及光（电）线缆、程控电话交换机、网络路由交换机、光端机等有线及专业设备技术性能知识。

2.2 电磁环境测评

2.2.1 电磁环境构成

静电是一种物理现象，静电场的改变会产生电流，电流会在周围产生磁场，变动的磁场则会产生新的电流。变化的电场和变化的磁场构成了一个相互依存、不可分离的统一的场，即电磁场。电磁波是电磁场的一种运动形态，变化的电磁场在空间传播就形成了电磁波。

电磁场表现出的波动性，使其与声波、振动波等波动现象类似，也有相应的频率、波长等物理量。电磁波存在于人类生存环境的每一个角落，且无时不在。我们看到的阳光、使用的红外线加热器，都是电磁波的特定形式，更不用说人们每天使用的手机、微波炉、电视机、电脑等常用电器了，它们都靠电磁波驱动或依赖电磁波进行工作。电磁辐射实际上就是电磁

波。根据波长（频率）的不同，电磁波可分为静电、工频、低频射频、无线电（射频）、微波、红外线、可见光、紫外线等不同频率波段，每个大类还可按照频率细分。

现代社会，随着电磁辐射源的数量迅速增长，电磁环境变得越来越复杂，使得具有电磁敏感性的电子信息系统受到复杂电磁环境的影响越来越严重，而这种影响随着电子信息系统的广泛使用以及人们对电子信息系统依赖程度的日益提高而变得越来越具有危害性。这种危害性在军事领域表现得尤为突出。各种雷达、通信、导航、敌我识别、电子战装备等军用电磁辐射体的功率越来越大，数量成倍增加，频谱也越来越宽，再加上高功率微波武器等定向能武器、电磁脉冲炸弹以及超宽带、强电磁辐射干扰机的出现，使战场电磁环境越来越复杂。

国军标 GJB 6130—2007《战场电磁环境术语》中给出了战场“复杂电磁环境”的定义：在一定的空域、时域、频域和功率域上，多种电磁信号同时存在，对武器装备运用和作战行动产生一定影响的电磁环境。可以认为，复杂电磁环境是由人为和自然的、民用和军用的、对抗和非对抗的多种电磁信号综合形成的一个电磁环境，包含诸多因素，如无源传播因素、有源电磁辐射，有源电磁辐射又分为自然环境电磁辐射、民事电磁辐射与军事电磁辐射等。

无源传播因素与自然环境电磁辐射主要由大气噪声、宇宙噪声、气象条件、地理因素等组成。民事与军事电磁辐射主要由民事无线设备与民事非无线设备电磁辐射、军事无线设备与军事非无线设备电磁辐射等组成。下面简单介绍几种典型的电磁辐射。

1. 大气噪声

大气噪声主要是来自电离层和地面之间通过波导形式绕地球传播的较低纬度的闪电或电子爆，以及大气层中天然的电磁现象，如雨点、沙、尘以及下雪引起的静电放电。由雷电和放电现象所产生的大气噪声占据频谱宽度的最大分量在 2 ~ 30 kHz 之间，在夏季主要由本地和邻近地区的雷电产生，而在冬季是由于热带地区雷电造成的。总的来说，大气噪声功率值一般在 1 MHz 以后随频率增大而急剧降低，只在 4 ~ 20 MHz 的频域内略有回升，但其最大值也低于相应的 1 MHz 时大气噪声功率值。在超过 3 ~ 30 MHz 时大气噪声功率值随频率的变化基本上是一个常数，其大气噪声的影响也可忽略不计。

2. 地理因素

地理因素中，地震是一种由于地壳运动产生的自然现象，早在 20 世纪 70 年代，科学家就发现地震时存在电磁波辐射。

3. 金属矿山吸收

电磁波是在各种空间场所内（如地表或低空大气层、电离层内）传播的，在传播过程中，由于传输媒质电参数的变化，会造成信号的衰落，这种衰落被称为吸收型衰落或媒质对电磁波的吸收。媒质的不均匀性、地貌的影响、特殊地物的影响等都会使信号产生畸变或衰落。

4. 无线电设备干扰

无线电设备是指以辐射或接收电磁波的形式来完成任务的电子设备，如通信、雷达、导航、制导、广播等设备。无线电设备引发的人为电磁环境的变化，主要是使用相同或相近频

谱的无线电设备之间的干扰，其产生干扰的因素包括：无线电设备的数量、设备辐射电磁波的频谱、调制方式、辐射方向、辐射功率、辐射距离以及辐射设备性能等。

引起的干扰类型包括：

同频干扰：接收某一预定发射机信号时，受到工作于同一频道的其他发射机信号的干扰。

邻频道干扰：接收某一预定发射机信号时，受到工作于邻频道的其他发射机信号的干扰。

发射机带外噪声：发射机中存在着以载波频率为中心，分布在相当宽的范围内，比载频电平低 70 ~ 90 dB 的噪声，这种噪声被称为发射机的带外噪声。

发射机寄生辐射：因发射机倍频器的滤波器特性不好而在发射机的输出级产生的杂散辐射。

接收机的灵敏度抑制（阻塞干扰）：当接收机接收低电平有用信号时，若邻近频率的强干扰信号进入接收机的前端，导致接收机灵敏度下降，甚至使接收机完全阻塞。

互调干扰：当一个地区有多个无线电系统同时工作时，或在一个系统内采用多频道共用技术时，会因在非线性传输电路中互相调制而产生和有用信号完全相同或相近的组合频率，构成干扰。

5. 非无线电设备射频干扰

除无线电设备之外，还有一些影响电磁环境的人为设施，它们并不需要以发射和接收电磁波的形式来完成自己的功能，但在运行过程中却“无意”而又必然产生电磁波。

国际无线电干扰委员会（CISPR）共列举了 16 种工业、交通、能源、科学、医疗等领域内的射频设备，包括：机动车设备（电动机）、交流电气化运输系统、高压输电线、核设施，日常家用的电风扇、吸尘器、电动理发吹风机等辐射电磁波的非无线电设施。

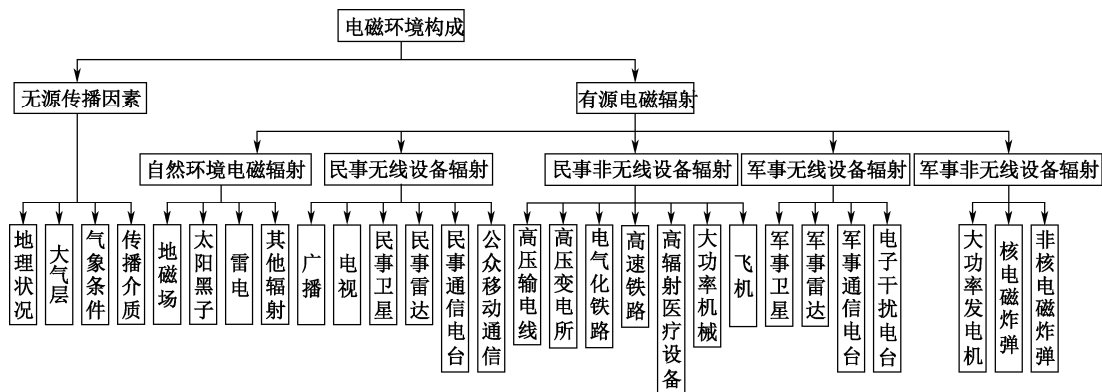
例如，对普通机动车（如小汽车、卡车或摩托车）来说，50 ~ 80 m 的范围内较为显著，在 250 m 内都有可能发生干扰。拖拉机等特殊车辆及其发动机所产生的干扰将更为强烈，在未加干扰保护装置的拖拉机 300 m 的距离内的短波无线电设备，都会受到较为明显的干扰，干扰距离最远甚至可达 700 m。

6. 电磁武器

在现代战争中，电磁设备和信息化制导武器装备已经得到广泛使用。数量众多的电磁辐射源聚集在特定的作战区域，自然和人为的、对抗与非对抗的、敌方与我方的各种电磁信号充斥在作战空间，综合形成了一个动态变化、复杂密集的电磁环境，开辟了与海陆空天并存的第五维战场。第五维战场的电磁武器，爆炸时产生频率从数亿赫兹到数百亿赫兹的强电磁波脉冲，破坏敌方的通信系统、电力网、计算机和各种电子装备，从而使敌方瘫痪。这是因为大多数物件对微波是透明的，因而电磁炸弹对它们不会造成损害，而集成电路芯片、MOS 器件、双极器件中的“金属—半导体”结构，则会强烈吸收微波并将自身加热，高威力电磁炸弹会使电路熔化，即使威力较小的电磁炸弹也会使电气装备的工作瞬时中断，或几分钟、几天甚至几周后引起电路的永久性损坏。

鉴于复杂电磁环境对电子信息系统效能发挥的严重影响，进行电磁环境勘测与评估将是非常重要和十分必要的。

基于上述，我们给出电磁环境构成如图 2.1 所示。



2.2.2 监测系统组成

电磁环境监测是指采用与构成电磁环境的信号特性相适应的监测设备和监测技术方法,对生成的复杂电磁环境的信号状态进行监视和测量的过程。通过电磁环境监测,能够全方位地把握电磁环境信号,为后期电磁环境评估提供原始的数据支撑,其技术组成有接收天线、低噪声放大器(LNA)、频谱分析仪(宽带监测接收机)、场强测试仪、静电测试仪、经纬仪、指南针以及相应的计算机软硬件等,如图 2.2 所示。

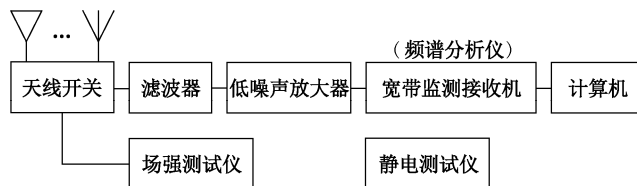


图 2.2 电磁环境监测系统技术组成

寻常意义上的监测是一种测试手段，这里的电磁环境监测就是基于一定的设备及技术手段对周围的各种电磁辐射进行测量，确定其无线电发射频率、发射带宽、时域和调制域的宽带信号、猝发和间歇信号等。为了提高测量的精度与准确性，测量天线应根据测量的工作频率范围选择增益大、性能高的天线，例如：L 波段推荐使用高增益喇叭天线。图 2.3 所示为电磁环境测量天线示例。



图 2.3 电磁环境测量天线示例

常用电磁环境监测系统有固定、移动与便携三种。

图 2.4 所示为国家无线电频谱管理研究所生产的一套宽频带、多功能便携式监测系统 (NSMI-0118J-), 该系统由五大部分组成: 监测控制器, 天馈线系统, 笔记本电脑, 频谱仪, GPS 授时器。

NSMI-0118J- 型系统将微机与频谱仪进行有机的结合,能完成电磁环境测试,并具有数据保存、分析等功能,具有体积小、重量轻、结构紧凑、可靠性高,以及界面友好、操作简

单等特点。该系统主要用于 1 MHz ~ 18 GHz 频段内（涵盖中短波、超短波、微波的超宽频段范围）的电磁环境测量，实现微波站、卫星地球站、雷达站、扩频通信和移动通信系统等电磁环境测试和相关干扰信号查找。

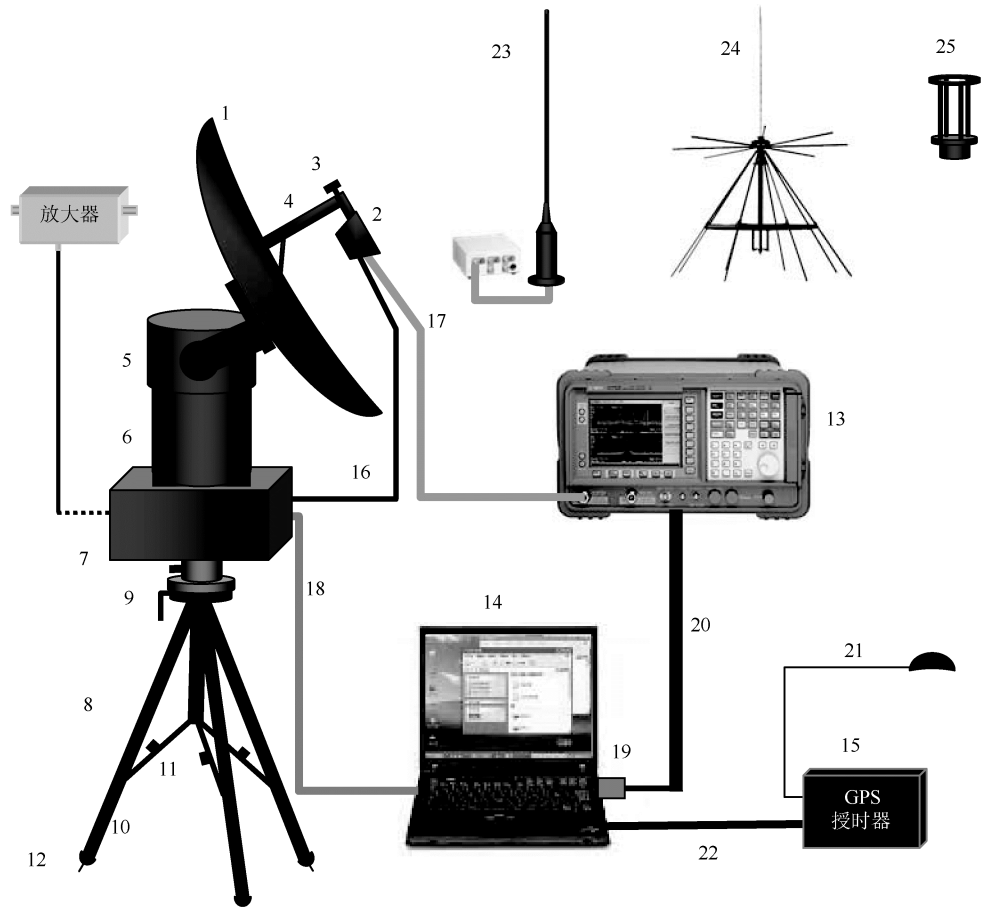


图 2.4 宽频段、多功能便携式监测系统（NSMI-0118J-II）

- 1——天线抛物面 2——馈源 3——低噪声放大器 4——馈源支撑杆 5——天线锁紧螺栓（2 个）
6——频谱监测控制器 7——控制器锁紧螺栓 8——三角架 9——三角架摇杆 10——三角架伸缩套筒锁紧螺栓
11——三角架支架锁紧螺栓 12——三角架固定针 13——频谱仪 14——笔记本电脑 15——GPS 授时器
16——12V 电源线 17——射频电缆 18——通信电缆 19——PCMCIA GPIB 通信卡 20——488 电缆
21——GPS 天线 22——USB 线 23——有源杆状天线 24——可收折式天线 25——天线连接装置

2.2.3 测评法规依据

目前，世界各发达国家和军队以及国际组织十分重视电磁环境勘测、评估和频谱管理工作，经过多年发展，形成了门类齐全、结构合理、内容全面的技术标准体系，可分为通用基础标准与专业标准两部分。下面主要介绍一些常用的国际、国内电磁环境勘查、测量和评估的相关方法、准则、要求及建议。

1. 国际电联电磁环境勘测评估建议

国际电联（ITU-R）负责维护和修订《无线电规则》，并按照《无线电规则》协调和管理各国对无线电频谱的规划和卫星轨道的使用，开展无线电应用研究并提出建议。其中：

SM.1753《无线电噪声的测量方法》、SM.1536《频率信道占用测量》、SM.1268-1《监测站 FM 广播发射的最大频偏的测量方法》、SM.1270《发射分类和标志相关的监测附加信息》、SM.1447《用于验证符合许可证要求的陆地移动网络的无线电覆盖监测》、SM.1681《监测地球站时采用噪声降低技术测量来自空间站的低电平发射》、SM.1754《超宽带传输的测量技术》、SM.1792《用于监测目的的 T-DAB 和 DVB-T 发射机带外辐射的测量》、SM.1793《利用频率带宽测量技术确定频率信道占用》、SM.854-2《监测站对 30MHz 以下信号的测向和定位》等，规定了无线电信号的测量方法，用于验证设备或台站的频谱技术参数和电磁环境的监测。

SM.1050《监测业务的任务》、SM.378《监测站的场强测量》、SM.575《固定监测站的干扰保护》、SM.1836《无线电监测接收机中频滤波器属性测量程序》、SM.1837《无线电监测接收机 3 阶互调的测量程序》、SM.1838《无线电监测接收机噪声系数的测量程序》、SM.1839《无线电监测接收机的扫描速率的测试程序》、SM.1840《利用模拟调制信号测试无线电监测接收机灵敏度的程序》等，规定了无线电监测方法、环境保护及其接收机性能指标的测量方法。

SM.667《国家频谱管理数据》、SM.1139《国际监测系统》、SM.1370《高级自动频谱管理系统开发设计指南》、SM.1413《用于通知和协调目的的无线电通信数据字典》、SM.1537《具有自动频谱管理功能的频谱监测系统的自动化及集成》、SM.1604《发展中国家升级频谱管理系统指南》、SM.1794《宽带瞬时带宽频谱监测系统》、SM.1809《监测站频段注册和测量的标准数据交换格式》等，规定了电磁频谱管理系统设计和研制中相关问题的解决方法。

2. 中国电磁环境勘测评估法规 and 标准

我国电磁环境勘测、评估和频谱管理制度体系，可以分为环保部政策法规、国家无线电频率管理等规定、文件通知和技术标准，其中通用基础标准及专业性标准主要有：

- ▶ GB 8702—2014《电磁环境控制限制》；
- ▶ GB 13421—1992《无线电发射机杂散发射功率电平的限值和测量方法》；
- ▶ GB/T 12572—2008《无线电发射设备参数通用要求和测量方法》；
- ▶ GB/T 15541—1995《发射频率的测量方法》；
- ▶ GJB 6525—2008《电磁环境监测设备通用规范》；
- ▶ GJB 6131—2008《电磁环境监测通用要求》；
- ▶ GJB 2080—1994《接收点场强的一般测量方法》；
- ▶ GJB 2079—1994《无线电系统间干扰的测量方法》；
- ▶ GJB 6528—2008《合同战术训练光电信号监测方法》；
- ▶ GJB 6527—2008《合同战术训练通信信号监测方法》；
- ▶ GJB 6526—2008《合同战术训练雷达信号监测方法》；
- ▶ GJB 6520—2008《战场电磁环境分类与分级方法》；
- ▶ GJB 6126—2007《水面舰艇训练电磁环境构建通用要求》；
- ▶ GJB 5313—2004《电磁辐射暴露限值和测量方法》；
- ▶ GJB 1143—1991《无线电频谱特性的测量》；
- ▶ GB 6364—1986《航空无线电导航台站电磁环境要求》；
- ▶ GB 13613—1992《对海中远程无线电导航台站电磁环境要求》；
- ▶ GB 13615—1992《地球站电磁环境保护要求》；
- ▶ GB 13616—1992《微波接力站电磁环境保护要求》；

- ▶ GB 13617—1992《短波无线电收信台（站）电磁环境要求》；
- ▶ GB 13618—1992《对空情报雷达站电磁环境保护要求》；
- ▶ GB/T 12858—1991《地面无线电导航设备环境要求和试验方法》；
- ▶ GJB 4944—2003《舰载卫星通信地球站电磁环境要求》；
- ▶ GJBZ 20093—92《VHF/UHF 航空无线电通信台站电磁环境要求》；
- ▶ GJBZ 20048—96《对空情报雷达电磁环境保护要求的测试方法》；
- ▶ GJB 2266—1995《卫星通信地球站勘察选址规程》；
- ▶ GJB 3244—1998《对流层散射通信系统站址选择要求》；
- ▶ GJB 2810—1997《数字微波通信台站勘察选址规程》；
- ▶ GJB 4645—1993《地面雷达阵地选择规范》；
- ▶ GJB 4944—2003《舰载卫星通信地球站电磁环境要求》；
- ▶ GJB 6708—2009《短波侦查阵地电磁环境测量方法》；
- ▶ GJB 3909—1999《指挥中心（所）电磁兼容性要求》。

在实际通信工程设计时，除必须依据上述的标准、建议进行电磁环境勘测评估外，还应考虑相关通信专业及外围设备电磁环境要求。例如，卫星地面站电磁环境测量，可考虑 YD5050—97《国内卫星通信地球站工程设计规范》、GB50174—2008《电子信息系统机房设计规范》、GBJ42—81《工业企业通信设计规范》、YDT1003—1999《卫星通信地球站电磁干扰测量方法》以及工业和信息化部《建立卫星通信网和设置使用地球站管理规定》等，这样可保证卫星地面站建设后工作，避免受到空中、地面各种电磁辐射和干扰。

2.2.4 主要测评内容

电磁环境的主要测评内容有：频率测量、带宽测量、频谱占用度测量、场强测量、辐射强度测量。

1. 频率测量

为掌握周围环境的电磁信号频率数值及主要频率成分，需进行频率测量。虽然频率测量可用频谱测量仪完成，但为减小误差，提高测量精度，可利用遥感测量接收机或其他测量技术。在考虑被测频率精度估计时，通常要把误差考虑在内，在描述测量系统的精度时，以整个系统的最大误差为准。

2. 带宽测量

模拟信号带宽概念比较简单，数字信号带宽有不同的定义，在带宽测量中常用到必要带宽、占用带宽、 x dB 带宽等。

必要带宽（Necessary Bandwidth）：指对给定的发射类别（调制方式）而言，恰好足以保证在规定条件下以所要求的速率和质量传输信息的频带宽度。例如，双边带模拟信号的必要带宽等于两倍边带，而对于特定发射类型的无线电台站，可以根据建议书 ITU-R SM.328 计算必要带宽。必要带宽以外的发射称为带外域发射或杂散域发射。

占用带宽（Occupied Bandwidth）：也称总平均发射功率占用百分比带宽，指在其频率下限和上限之间所发射的平均功率等于总平均功率的百分数所对应的带宽。一般在实际测量中常用 99% 功率占用带宽。

x dB 带宽：指信号的连续频谱功率密度或者离散频谱分量在其上限和下限频率之外比原先预设的 0 dB 电平低 x dB 所对应的带宽。我们常以信号功率谱密度的顶点下降 1/2 作为信号 3 dB 带宽。

例如，在美国联邦通信委员会（FCC）占用带宽测试及电磁兼容（EMC）认证中，通常进行 20 dB 和 99% 占用带宽项目测试，在实际的测试和编写报告过程中，不能把 20 dB 和 99% 占用带宽两个项目混淆。在美国标准 FCC Part15C 中规定 20 dB 占用带宽概念是最大功率值降低 20 dB 后的带宽占用宽度，在 FCC Part22 和 Part24 中规定 99% 占用带宽是指整个信道的最大占用宽度。

3. 频谱占用度测量

在进行频谱占用度测量时要了解具体的信号的类型、特点、参数等。其测量内容主要有：

测量各个频段的占用情况：用相关的仪器检测整个频段，结果显示整个频段的占用情况。

测量频道占用情况：可以按照不同的信道间隔，测量预先设定的信道，这样可以保存许多发射参数。

4. 场强测量

电磁场强度可以是电场分量或磁场分量的强度，常用电场分量来表示。电场又分为静电场和非静电场，其测量内容和方法有差异。

（1）静电场测量

静电作为一种近场危害源，静电放电过程可形成高电压、强电场、瞬时大电流，其电流波形的上升时间可小于 1 ns，并伴随有强电磁辐射，形成静电放电电磁脉冲（ESDEMP）。静电放电电磁脉冲不仅可以对电子设备造成严重干扰和损伤，而且还可能形成潜在性危害，使电子设备的工作可靠性降低，引发重大工程事故。人体与各种物体发生接触而又分离时，常常会带上几千伏甚至上万伏的静电，在防静电工作区（Electrostatic Protection Area, EPA）等场所，人体作为带电的静电导体，一旦形成火花放电，瞬间释放能量，形成高压、瞬态大电流并伴随强电磁辐射，能够对弹药、武器装备、电子元器件等静电敏感物质造成严重危害。因此，国内外学者普遍认为：人体静电是静电防护工程中主要危害源之一。对于不同的对象，静电作用的效果不同，形成的危害也不同。但无论对象如何变化，要防止静电造成危害，必须把相关的静电参数控制在安全范围之内，所以对静电相关参数进行测量是非常必要的。重要的参数有静电电位、静电电荷量、静电感度等。例如，对于计算机房电磁环境，要求其静电电位不应大于 1 kV。

静电电位测量通常采用专用测试仪，这是因为静电中有电位无电流（无导电回路）。利用欧姆定理分流分压原理设计制作的万用表，测量时其内首先要构成回路，这就将会放掉静电，所以用万用表无法直接测量静电电位。

（2）非静电场测量

非静电场测量通常采用标准天线法，一副形状简单的标准天线放置在电场强度分量为 E 的电磁场内，感应到天线上的电压 U_a 与场强 E 有如下关系：

$$U_a = hE \quad (2.1)$$

式中： h 是天线有效高度（或有效长度），可按理论计算； U_a 为天线感应电压。如能测量出 U_a ，则场强 E 就可按下式计算：

$$E = U_a / h \quad (2.2)$$

即场强 E 实际上就是测量的天线上所感应的电压值，单位为 V/m、 $\mu\text{V/m}$ 或 dB（ $0 \text{ dB} = 1 \mu\text{V/m}$ ）。

标准天线主要有环状天线、短垂直（杆状）天线与半波对称振子天线，这些天线的形状比较简单，其有效高度与内阻可按天线理论计算。

由于电场的矢量特性，不同方向、不同地点的电场强度大小不同，所以要多方向、多个地点多次测量，以不同位置、不同方向的最大数值为测量记录。

5. 辐射强度测量

辐射强度通常是针对人体来讲的：在外电场的作用下，人体内将产生感应电磁场。由于人体各种器官均为有耗介质，所以人体内的电磁场将会产生电流，同时吸收和耗散电磁波能量，国际上用生物体每单位质量所吸收的电磁辐射功率，即比吸收率（Specific Absorption Rate，SAR）表征：

$$\text{SAR} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right) = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (2.3)$$

式中：SAR 为比吸收率（W/kg）， W 为机体组织吸收的电磁波能量（J）， m 为机体组织的质量（kg）， E 为细胞组织中的电场强度有效值（V/m）， σ 为人体组织的电导率（S/m）， ρ 为人体组织密度（ kg/m^3 ）。

目前，比较通用的测量手段包括频谱分析仪、场强仪和微波漏能仪等，或以上述设备和计算机等为基础，组成自动 SAR 测量系统，测量特定场所内、特定辐射源产生的电磁辐射强度，并分析、评估其对人体健康的影响程度。

目前有两大主流测量、分析、评估标准，一个是国际非电离辐射防护委员会（The International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection，ICNIRP）规定的 2.0 W/kg 标准，另一个是美国电气和电子工程师协会（IEEE）规定的 1.6 W/kg 标准。我国采用 ICNIRP 标准，另外，国家环保局 GB 8702—88《电磁辐射防护规定》、国家卫生部 GB 9175—88《环境电磁波卫生标准》、国家环境保护行业标准 HJ/T10.2—1996 以及国标 GB 21288—2007《移动电话电磁辐射局部暴露限值》、GBZ1—2002《工业企业设计卫生标准》等，均有更详细规范，因篇幅原因这里不再讨论。表 2.1 所示为 GB 9175-88 电场强度、功率密度容许限值。

表 2.1 GB 9175—88《环境电磁波卫生标准》电场强度、功率密度容许限值

项 目		容 许 限 值	
		I 级（安全区）	II 级（中间区）
电场强度	0.1 ~ 30 MHz	10 V/m	25 V/m
	30 ~ 300 MHz	5 V/m	12 V/m
功率密度	300 ~ 300000 MHz	$10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$	$40 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

2.2.5 勘测评估步骤

电磁环境勘测评估，应依据相关通信工程标准法规进行。不同类型的通信工程，其勘测评估步骤不尽相同，卫星地面站电磁环境勘测评估最具有代表性，因此可作为案例介绍。

为保证卫星地面站正常工作，避免受到空中、地面各种电磁辐射及干扰，应按照 GB 13615—92《地球站电磁环境保护要求》、YD 5050—97《国内卫星通信地球站工程设计规范》、GB 50174—2008《电子信息机房设计规范》、GBJ 42—81《工业企业通信设计规范》、YDT 1003—1999《卫星通信地球站电磁干扰测量方法》、工信部《建立卫星通信网和设置使用地球站管理规定》等国家标准和规定，对拟建站址周围进行电磁环境测评，测评步骤内容如下。

1. 站址周围电磁环境初步调查分析

拟建站址地处××市东南郊，周围有电视台、广播电台、移动基站，以及许多工业企业等，会产生大量的无线电信号或无用的电磁波，这些都可能对卫星测控站产生电磁干扰。初步调查分析，主要可分为以下几类：

① 站址周围微波接力通信系统辐射干扰。因微波通信与卫星通信工作在同一频段，容易发生同频或差频干扰，严重影响卫星通信。

站址周围雷达、广播、电视、移动基站干扰。雷达信号具有发射功率大、工作频带宽的特点，其信号落入卫星接收信号范围内，对卫星信号接收影响较大。另外，在预选站址周围，×××电视台、×××广播电台及众多的移动基站，也会不同程度地干扰卫星通信信号接收，或引起中频、交调、互调等干扰。

站址周围电力等工业设备干扰。电力传输系统的电晕效应和间隙放电引起的无线电噪声、高压线传输的载波控制信号，也会对卫星站的电磁环境造成影响。另外高压输电线路作为金属物体，对无线电信号会产生反射和再辐射，会改变信号的空中场型，容易形成无源干扰。

站址周围铁路、机场干扰。

一般前两类干扰对卫星通信的影响大。

2. 测量内容步骤

0°仰角全方位、全频段，干扰测量。

调整已经架设好的测量天线仰角为0°，然后从方位角磁北0°开始顺时针水平旋转天线，每隔一定方位角度停止转动1次，观察频谱仪的扫描线从左到右扫描一次后，按下打印键，记录一次干扰曲线图。方位间隔角度应等于测量天线的半功率张角。在记录纸带上应同时记录下极化方向、方位角、仰角、测量时间等。

继续调整天线的方位角，直到天线沿水平面旋转一周（360°），重复上述测量。

改变天线的极化方向，再次重复上述测试直至天线沿水平面旋转一周（360°）。

0°仰角全方位卫星工作频段，干扰测量。

完成垂直和水平极化测试，判定出最大干扰源方向，并在最大干扰源方向上进行重复测试。测试包括：改变仰角和方位，改变频谱仪的工作状态，如分辨率带宽、视频带宽、中心频率、频距，记录下每个干扰信号的频谱和强度。

卫星仰角、方位范围内工作频段，干扰测量。

最大干扰源方向，干扰测量。

在完成上述测试步骤后，若判断卫星站周围电磁环境基本可行，则应进一步做较长时间的观察测试，判断干扰的重复性。一般一个站址的电磁环境测试时间取一天（24小时），原则上应在9:00-12:00、14:00-18:00、20:00-24:00、0:00-6:00四个时间段分别测量，每次测量均

做记录。

在测试过程中如发现干扰，应尽可能准确地判断干扰源方向、干扰源地点，提出抑制或清除干扰的方法，必要时应停止测量；调查干扰性质以及干扰源长期存在的可能变化，以便寻找新的站址，进行新的测量。

另外，为防止周围地形及建筑物遮挡、屏蔽卫星信号，还应进行天际线及天际角测量。天际线是指当你站在某地，远望天空时，所看到的天与地相交的轮廓线，天际线与水平面的夹角为天际角。卫星地面站要求天际角大于 10° ，即 10° 以上不应有成片障碍物和导体。

3. 电磁环境评估

根据不同通信工程的使用频段、调制方式以及允许的背景噪声、频谱占用度和干扰信号强度等多项指标，进行电磁环境评估。电磁环境等级如表 2.2 所示。

一般，电磁环境等级为中度复杂时依装备抗扰性而产生不同的影响，电磁环境等级为重度复杂时对大部分装备会产生严重影响。

表 2.2 电磁环境等级

电磁环境等级	一 般			复 杂						
				轻度		中度		重度		
电磁环境分级										
频谱占用度 $\lambda/\%$	$0 \leq \lambda < 10$	$10 \leq \lambda < 20$	$20 \leq \lambda < 30$	$30 \leq \lambda < 40$	$40 \leq \lambda < 50$	$50 \leq \lambda < 60$	$60 \leq \lambda < 70$	$70 \leq \lambda < 80$	$80 \leq \lambda < 90$	$90 \leq \lambda < 100$
噪声电平相对增量 Δ/dB	$0 \leq \Delta < 1$	$1 \leq \Delta < 2$	$2 \leq \Delta < 3$	$3 \leq \Delta < 4.5$	$4.5 \leq \Delta < 6$	$6 \leq \Delta < 7.5$	$7.5 \leq \Delta < 9$	$9 \leq \Delta < 11$	$11 \leq \Delta < 13$	$\Delta \geq 13$
干扰信号相对功率 Δ/dB	$0 \leq \Delta < 3$	$3 \leq \Delta < 6$	$6 \leq \Delta < 9$	$9 \leq \Delta < 12$	$12 \leq \Delta < 15$	$15 \leq \Delta < 18$	$18 \leq \Delta < 21$	$21 \leq \Delta < 24$	$24 \leq \Delta < 27$	$\Delta \geq 27$

2.3 气候环境勘查

影响通信工程的气候因素和天气现象一般有：风、雨、雪、冰雹、雷电、雾霾、结冰、沙尘暴等。在工程设计前应依据通信工程建设与运行对冷、热、干、湿、风等环境的具体要求进行勘查，勘查内容主要有：温度及湿度情况、冰雪日数及大小、风向及最大风力、雷电日数及大小等。

2.3.1 勘查内容

温度及湿度情况：通信设备是由电子元件、集成电路等器件构成的，其电气特性容易受温度、湿度等的影响，特别是精密设备，对温度、湿度要求更高。为保障设备可靠运行和方便人员工作，应勘查温度及湿度情况，评估是否达标，否则应采取措施，如加装空气调节器等。

冰雪日数及大小：当天线、导线及台站建筑上覆盖冰雪很厚时，可导致应力折断或压垮等严重事故，如冰雪压垮线缆事故，如图 2.5 所示。为保障天线、导线及设备可靠运行，

应勘查冰雪最大厚度，评估是否会压垮天线、导线或台站建筑，否则应采取必要措施，如安装自动除冰雪器。

风向及最大风力：当风力很大时，天线或导线将会随风舞动（如图 2.6 所示），严重时可导致应力折断或吹倒等严重事故。表 2.3 所示为风级风速对照表。为保障天线或导线可靠运行，应勘查最大风力，评估是否会吹垮天线或导线，否则应采取加固措施。



图 2.5 冰雪压垮线缆事故



图 2.6 天线随狂风舞动

表 2.3 风级风速对照表

风级	名称	最大风速/（km/h）	地面物象	海面波浪	浪高/m
0	无风	1	静，烟直上	平静	0.0
1	软风	5	烟示风向	微波峰无飞沫	0.1
2	轻风	11	感觉有风	小波峰未破碎	0.2
3	微风	19	旌旗展开	小波峰顶破裂	0.6
4	和风	28	吹起尘土	小浪白沫波峰	1.0
5	劲风	38	小树摇摆	中浪白沫峰群	2.0
6	强风	49	电线有声	大浪白沫离峰	3.0
7	疾风	61	步行困难	破峰白沫成条	4.0
8	大风	74	折毁树枝	浪长高有浪花	5.5
9	烈风	88	小损房屋	浪峰倒卷	7.0
10	狂风	102	拔起树木	海浪翻滚咆哮	9.0
11	暴风	117	损毁重大	波峰全呈飞沫	11.5
12	台风	134	摧毁极大	海浪滔天	14.0
13	台风	149			-
14	强台风	166			-
15	强台风	183			-
16	超强台风	201			-
17	-	220			-

雷电日数及大小：地球上每秒钟有 100 次闪电发生，雷电灾害（如图 2.7 所示）已经成为最严重的自然灾害之一，它对社会财产和人民生命安全形成了巨大威胁。为保障通信天线、导线或设备可靠运行，免遭雷击，应勘查雷电日数及大小，确定合适的防雷等级及设计方案。

上述气候因素，可直接从国家或地区气象部门查询，并参考月、季、年、数年的气候统

计状况进行工程设计。

通常，室外气候环境对通信线缆、天线及设备的影响很大；室内空气环境对通信设备影响相对较小，但也不能忽略。

2.3.2 法规及要求

气候环境勘查，应依据相关通信工程标准法规，例如：GB 50174 - 2008《电子信息系统机房设计规范》、GB 2887 - 2000《电子计算机机房场地通用规范》、GB 9361 - 88《计算站场地安全要求》、GB/T 12858 - 97《地面无线电导航设备环境要求和试验方法》、GJB 3248 - 98《野战超短波通信天线通用规范》、YD 5050 - 97《国内卫星通信地球站工程设计规范》、YD 5017 - 96《卫星通信地球站设备工程施工及验收技术规范》、GB 50009 - 2001《建筑结构荷载规范》、YD 5137 - 2005《本地通信线路工程设计规范》、GBJ 42 - 81《工业企业通信设计规范》等。这里以风、雪勘查为例，给出一些通信工程相关技术法规及要求。

移动通信钢塔桅和天馈线工程：

风压：按 50 年一遇采用，但不小于 0.35 kN/m^2 ；

雪载荷：按 50 年一遇采用。（引自 GB 50009 - 2001）

本地架空电缆线路工程：架空电缆线路杆路杆间距离，应根据用户下线需要、地形情况、线路负荷、气象条件以及发展改建要求等因素确定，风速、冰凌厚度按 10 年一遇采用，如表 2.4 所示。对应普通杆距架空电缆吊线规格如表 2.5 所示，一般情况下市区杆距可为 35 ~ 40 m，郊区杆距可为 45 ~ 50 m。



图 2.7 雷电灾害

表 2.4 架空电缆线路负荷区划分表

气象条件	轻负荷区	中荷区	重负荷区	超重负荷区
线缆冰凌厚度/mm	≤ 5	≤ 10	≤ 15	≤ 20
结冰时最大风速/(m/s)	10	10	10	10

表 2.5 普通杆距架空电缆吊线规格

负荷区别	杆距 L/m	电缆重量 W/(kg/m)	(吊线线径/mm) ×股数
轻负荷区	≤ 45	≤ 2.11	2.2×7
	45 ~ 60	≤ 1.46	
	≤ 45	2.11 ~ 3.02	2.6×7
	45 ~ 60	1.46 ~ 2.18	
	≤ 45	3.02 ~ 4.15	3.0×7
	45 ~ 0	2.18 ~ 3.02	
重负荷区	≤ 35	≤ 1.46	2.2×7
	35 ~ 50	≤ 0.57	
	≤ 35	1.46 ~ 2.52	2.6×7
	35 ~ 50	0.57 ~ 1.22	
	≤ 35	2.52 ~ 3.98	3.0×7
	35 ~ 50	1.22 ~ 2.31	

卫星通信工程：风速 12 级（130 km/H）持续 3 s 时，设备及天线不变向（形）。（引自 GB/T 17500 - 1988）

野战超短波通信：风速 11 级（32 m/s），结冰厚度 10 mm 时，不损害并能正常工作。（引自 GJB 3248 - 98）

通信工程施工：当环境温度低于-20 时，不得对构件进行捶打、剪切和冲孔；当环境温度低于-16 时，不得对构件进行冷矫正。（引自 YD 5017 - 96）

2.4 地貌形态勘测

地貌形态一般指地势、天然地物和人工地物高低起伏变化的形态和位置，按自然形态可分为平原、丘陵、山地、裂谷、高原、盆地等基本地貌形态。

地貌形态长、宽、高、深和边坡坡度等的大小，可用地貌的符号——等高线地形图表示。

2.4.1 等高线地形图

1. 等高线概念

等高线是地面高程相等的各相邻点所连成的闭合曲线，如图 2.8 所示，用于描绘地球表面地貌情况。用等高线表示地貌，不但能简单而正确地显示地貌的形状，而且还能根据它较精确地求出图上任意点的高程。因此，一般工程上用的地形图，都用等高线来表示地貌。

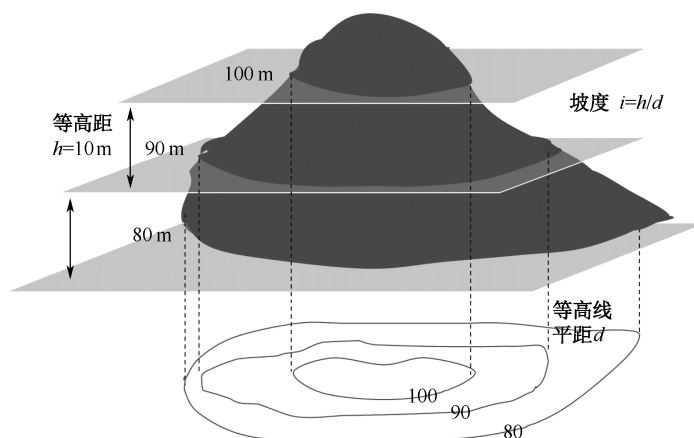


图 2.8 等高线示意图

图 2.8 等高线的主要特性如下：

平距 d 越小坡度越陡，平距 d 越大坡度越缓，如图 2.8 所示；

同一条等高线上各点的高程都相等，如图 2.9、图 2.10 所示；

若等高线图内不闭合，则图外一定闭合，如图 2.11 所示；

除悬崖或绝壁外，等高线不能相交或重合，如图 2.12 所示；

等高线与山脊线、山谷线正交，如图 2.13 所示。

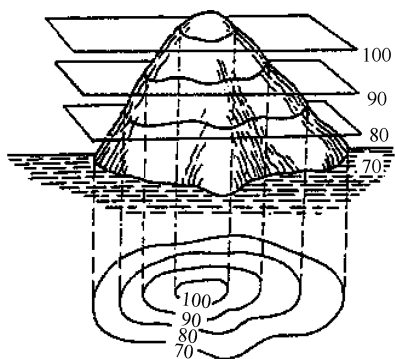


图 2.9 山头等高线

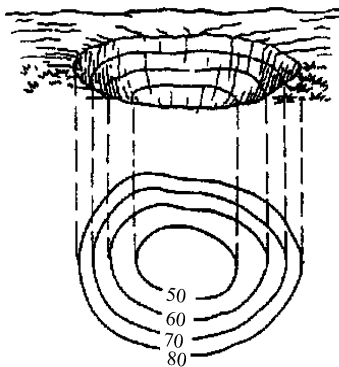


图 2.10 洼地等高线

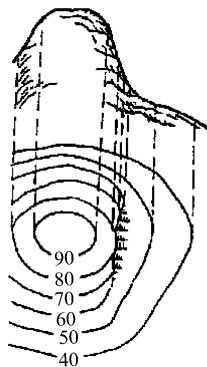


图 2.11 未闭合等高线图

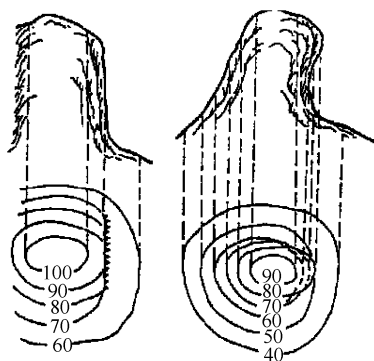


图 2.12 绝壁和悬崖等高线图

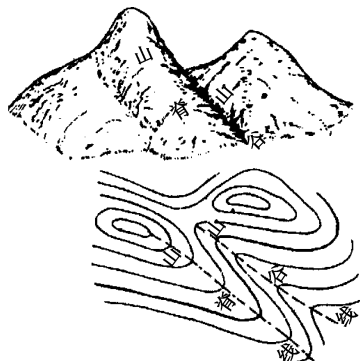


图 2.13 等高线与山脊线、山谷线

2. 等高线的分类

首曲线：在同一幅图上，按规定的等高距描绘的等高线称为首曲线，也称基本等高线。它是宽度为 0.15 mm 的细实线。

计曲线：为了读图方便，凡是高程能被 5 倍基本等高距整除的等高线加粗描绘，称为计曲线。

间曲线和助曲线：当首曲线不能显示地貌的特征时，按二分之一基本等高距描绘的等高线称为间曲线，在图上用长虚线表示。有时为显示局部地貌的需要，按四分之一基本等高距描绘的等高线，称为助曲线，一般用短虚线表示。

3. 等高线地形图的勾绘

等高线地形图的绘制可利用南方 CASS 软件，首先是将全站仪野外测的高程点数据文件导入计算机，然后建立数字地面模型(DTM)，最后采用轻量线在数字地面模型上生成等高线。若手工勾绘，应注意以下问题：

勾绘等高线时，要对照实地情况，依据测量结果先画计曲线，后画首曲线。

勾绘计曲线时，应根据碎部点（地形、地貌的特征点，如坡度变化点、河流与道路分界点、山脊线的顶点等）的高程，首先用铅笔轻轻勾绘出等高线，并注意山脊线或山谷线的走向。

碎部点是地形、地貌的特征点，如地面坡度变化处，因此相邻点之间可视为均匀坡度，这样可在两相邻碎部点的连线上，按平距与高差成正比的关系，内插出两点间各条等高线通过的位置。

地形图等高距的选择与测图比例尺有关，对不能用等高线表示的地貌，应按国家测绘局《地形图图式》规定的符号表示。

2.4.2 全站仪与地形测量

地形信息勘测仪表工具主要有全站型电子速测仪(简称全站仪)、差分 GPS、轮式测距仪、激光测距仪等。这里主要讨论全站仪。

1. 全站仪概念

全站仪是由电子经纬仪、光电测距仪、光电测角仪和数据处理系统等组成，能自动显示测量结果，直接与外围设备进行信息交换的多功能三维坐标测量仪器(系统)。由于该电子一体化仪器可较完善地实现测量、处理和交换等过程，故常称为全站型电子速测仪，简称全站仪。图 2.14 所示徕卡 Leica-TPS700 系列全站仪。



图 2.14 徕卡 Leica-TPS700 系列全站仪

2. 全站仪的结构和特点

全站仪的结构和原理框图分别如图 2.15 和图 2.16 所示。

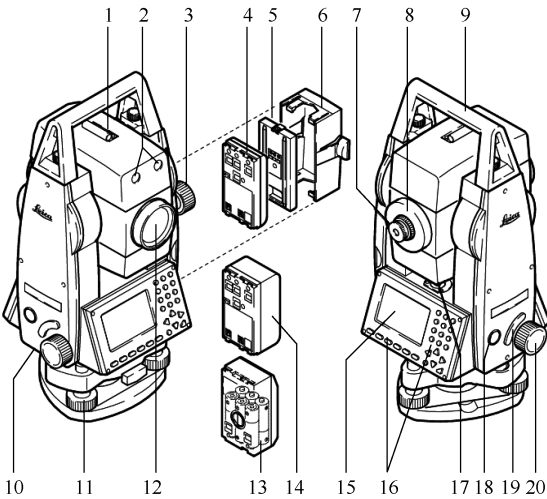


图 2.15 全站仪结构图

- 1——粗瞄器 2——内装导向光装置(选件) 3——垂直微动螺旋 4——GEB11 型号电池 5——GEB111 电池盒垫块
6——GEB111 电池盒 7——目镜 8——调焦环 9——仪器提把 10——RS232 串行接口
11——脚螺旋 12——望远镜物镜 13——GAD39 电池适配器(选件) 14——GEB121 电池(选件)
15——显示屏 16——键盘 17——圆水准器 18——电源开关键 19——热键 20——水平微动螺旋

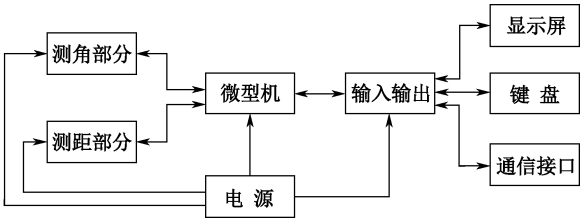


图 2.16 全站仪原理框图

全站仪的主要特点如下：

三同轴望远镜。目前的全站仪基本上采用望远镜光轴（视准轴）和测距光轴（红外光发射光轴和接收光轴）完全同轴的光学系统，其光路如图 2.17 所示。因此，望远镜照准目标棱镜一次，就能同时测定水平角、垂直角和斜距。

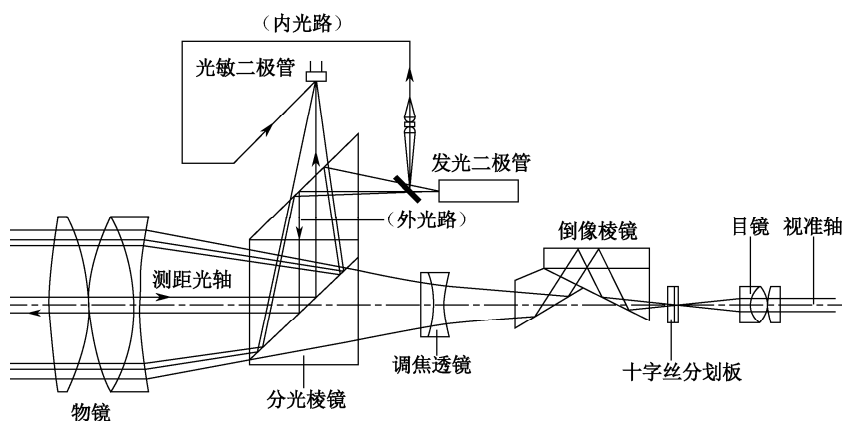


图 2.17 全站仪三同轴望远镜光路

竖轴倾斜的自动补偿。当仪器未精确调整平而使竖轴倾斜时，所引起的角度观察误差一般不能通过盘左、盘右观测取平均值完全抵消。为了消除竖轴倾斜误差对角度观测的影响，全站仪上一般设置有电子倾斜传感器，当它处于打开状态时，仪器能自动测量出竖轴倾斜的角度值，据此计算出对角度观测的影响值并显示出来，同时自动对角度观测值进行改正。

数据记录与传输。全站仪观测数据的记录，因仪器的结构不同而有三种方式：一种是通过电缆，将仪器的 RS232 数据传输接口和外接的记录器连接起来，数据直接存储在外接的记录器中；另一种是仪器内部有一个大容量的内存，用于记录数据；还有的仪器是采用插入数据记录卡。

固化程序实现测量自动化。全站仪内置只读存储器固化了常用的测量作业程序，可以在野外迅速完成特殊测量功能。例如，对边测量、悬高测量、偏心测量、面积测量等，按程序进行观测，在现场立即得出结果。全站仪也可通过传输接口，将野外采集的数据直接传输给计算机、绘图机，并配以数据处理软件，实现测量的自动化。

目标自动识别。增强型和超强型全站仪都具有目标自动识别功能模块 ATR。这一模块安装在望远镜内，并且和望远镜同轴。这类仪器可以实现角度与距离的自动测量，减少目视测量时所带来的疲劳。在测量中，只需人工照准，让棱镜在视场内，然后在开始距离测量时，在马达的驱动下，望远镜会自动对准棱镜的中心。垂直角与水平角的测量以棱镜中心为参考点，距离的量测也以棱镜的中心点为参考点。

3. 全站仪精度及其等级

全站仪的精度主要是指测角精度 m_β 和测距精度 m_D 。例如：日本拓普康公司的 GTS-710 全站仪的标称精度，测角精度 $m_\beta = \pm 2''$ ，测距精度 $m_D = \pm (2 \text{ mm} + 2D \times 10^{-6})$ ；我国苏州一光生产的 OTS232 型，测角精度 $m_\beta = \pm 2''$ ，测距精度 $m_D = \pm (3 \text{ mm} + 3D \times 10^{-6})$ ；其中 D 为所测距离。

根据国家计量规程 JJG100—94 将全站仪精度划分为 4 个等级，如表 2.6 所示。

表 2.6 全站仪精度划分

精度等级	测角中误差 m_β	测距中误差 m_D
	$ m_\beta \leq 1''$	$ m_D \leq 2 \text{ mm}$
	$1'' < m_\beta \leq 2''$	$2 \text{ mm} < m_D \leq 5 \text{ mm}$
	$2'' < m_\beta \leq 6''$	$5 \text{ mm} < m_D \leq 10 \text{ mm}$
(等外级)	$6'' < m_\beta \leq 10''$	$10 \text{ mm} < m_D $

4. 仪器的架设

架设三角架。首先将三角架打开，调整三角架的腿到适当高度以利于操作；调节三角架上的平台座，使其基本水平，并保证它在测站点的竖直方向上；拧紧三个固定螺丝。如图 2.18 所示。

安装仪器。将仪器放在脚架架头上，一手握住仪器，另一手旋紧中心螺旋。

调焦对准测站点。用光学对点器对测站点进行调焦，转动对点器的目镜至看清分划板上的十字丝，转动光学对点器的调焦环至看清地面。

安装仪器、调焦对准测站点如图 2.19 所示。

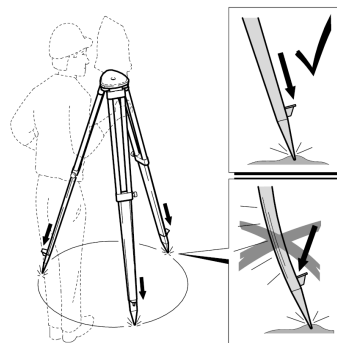


图 2.18 架设三角架

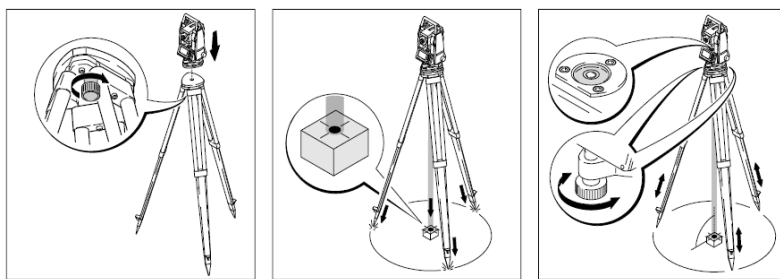


图 2.19 安装仪器、调焦对准测站点

使测站点位于十字丝中心。稍微松动中心连接螺丝，在架头上轻移仪器，直到分划板上的十字丝对准测站点标志。然后轻轻拧紧连接螺丝。

利用圆水准器气泡粗平仪器。观察圆水准器气泡的偏离方向，缩短近气泡方向的三角架腿，或伸长远气泡方向的三角架腿。为了使气泡居中，必须反复调节三角架的腿长。

利用照准部长水准器气泡精平仪器。松开水平制动旋钮转动照准部，使照准部长水准器轴平行于三个脚螺旋中的两个脚螺旋所在竖直平面；旋动这两个脚螺旋使照准部水准器气泡居中（气泡向顺时针旋转脚螺旋的方向移动）。

转动 90°使气泡居中。将照准部旋转 90°使水准器轴垂直于上一步的两个脚螺旋平面；用另一脚螺旋使照准部长水准器气泡居中。

检查气泡是否在任何方向都在同一位置。旋转 90°并检查气泡的位置，观察气泡是否偏离中心。如果气泡偏离中心，则重复、步，直到长水准气泡始终居中为止。