



卫星转发器的技术指标并不多,除了G/T、SFD和EIRP外,用户可关心的似乎只有工作频段、覆盖范围以及单位带宽的租金。在使用上,其实没有两段转发器频段是完全相同的。鉴于邻星、反极化以及本转发器其他用户的干扰,卫星操作者的管理经验,卫星天线与通信转发器的结构设计都可能影响使用效果。为此,用户在租赁转发器以前,应该尽可能多地了解和比较卫星资源。本文以笔者在卫星转发器管理与卫星通信网建设这两个方面的经验为基础,尽可能详尽地介绍在比较和选择卫星转发器资源时值得注意的方方面面,以供同行参考。

## 一、卫星资源

### 1. 转发器参数

卫星转发器的主要参数为G/T、SFD和EIRP。其中,G/T和SFD与卫星接收天线增益的对数值线性相关,EIRP则与卫星发送天线增益相关。应该注意的是,卫星天线增益随工作频率与天线指向而变。因此,用户应要求卫星操作者提供特定转发器(而不是卫星)的G/T与EIRP分布图以及特征城市的参数表。

G/T值是接收天线增益G与接收系统噪声温度T之比值。系统噪声温度主要由天线噪声温度和接收系统前置级放大器的噪声温度所构成。由于卫星天线指向噪声温度较高的地球表面,天线噪声温度远高于低噪声放大器的噪声温度,因此,系统噪声温度主要由天线噪声温度所决定。G/

T值决定了卫星接收系统的性能。某些卫星为了片面追求下行EIRP,设计中采用大口径发送天线配合小口径接收天线的方式。该方式的G/T值相对较低,为了保证足够的上行C/N,使用时必须相应提高上行EIRP。

饱和通量密度SFD的定义为,上行载波将转发器推到饱和时,在接收天线口面所达到的通量密度。SFD不是一个固定值,它可通过改变转发器内部电路的增益而得到调整。卫星参数表中所列的SFD对应于某个增益档设置值。在作链路估算时,应根据转发器实际所用的增益档对SFD作相应的修正。较为灵敏的SFD可以降低上行EIRP,但这时的载波相对容易受上行干扰的影响。在某些场合,过于灵敏的SFD限制了上行EIRP,这将降低系统余量,并使卫星EIRP等性能得不到充分的利用。(后述)

EIRP为天线增益与功放输出功率之对数和。天线增益随频率而变,不同转发器的功放输出功率略有不同,功放输出端的传输损耗也因波导长度不同而有差异,因此,各个转发器的下行EIRP也不尽相同。转发器在多载波工作时,需要适当降低输出功率以避免交调干扰。相应的功率减小值被称为输出回退量。有些卫星转发器在功率放大器的前级插入用于减轻交调干扰的线化器,可以相对较少的输出回退满足多载波工作条件,从而提高了下行EIRP的利用率。此外,实际工作中所能使用的EIRP,有可能因为邻星协调的限制,而不得不低于卫星的设计参数。

### 2. 工作频段

通信卫星通常工作于6/4GHz的C频段和14/12GHz的Ku频段。Ku频段信道资源与C频段的的不同点主要在于:服务区小,卫星EIRP高,同等工作条件下可用较小的天线,高降雨区难免有雨衰中断,卫星信道和地面射频设备的成本较高,与地面干扰和邻星干扰的协调比较简单。

Ku频段的工作频率远高于C频段,Ku天线的增益通常比相同口径的C频段天线高6dB以上。不少人误认为,这就是Ku频段卫星通信可用小口径天线的原因。实际上,天线增益与空间传输损耗都与工作频率的平方成正比,Ku频段地面天线增益的提高恰好被传输损耗的增大所抵消。Ku频段可用小口径接收天线的主要原因在于,Ku频段通信卫星的下行功率谱密度不像C频段那样受到限制,其下行EIRP通常远高于C频段卫星。考虑到EIRP可以通过加大发射功率而得到提高,G/T中的噪声温度则受客观条件所限而无从改变。一般而言,Ku卫星接收系统的G/T值相对于C频段卫星的增幅,远低于EIRP的增幅。因此,Ku频段卫星地球站设备对功放输出功率的要求,通常要高于C频段地球站。

C频段和Ku频段都包含常规与扩展频段。工作于常规频段的卫星地球站天线和射频设备的设计带宽通常略大于500MHz。工作于扩展频段的设备因也通常用于常规频段,其带宽多在800MHz左右。扩展频段的地球站设备成本较高,但卫星信道成本较低,也因使用并不广泛而邻星干扰相对较少。

### 3. 卫星天线与服务区

为能充分利用频率资源,通信卫星大多采用正交极化频率复用方式。通常的做法是,转发器的上行和下行分别工作于水平和垂直极化。当代的卫星天线大多采用单馈源、成型反射面方式。为了满足复杂的增益分布要求,同时保证高增益和极化隔离度,设计时往往采用单极化的发送天线。这样,转发器的接收和发送就可能分别工作在不同的天线上。由此带来的问题是,尽管接收和发送天线都能保证极化隔离度要求,但是服务区中的特定地点对收、发天线的极化调整角可能并不一致。卫星操作者为了避免反极化干扰,通常要求用户将地面天线的极化调整角调整到最佳点。如果收、发极化的调整角有较大的差异,可能使地面天线的极化隔离度得不到保证。如上所述,有些卫星的接收天线口径比发送天线小,因此G/T值相对较低。为使上行C/N不致过低,使用中需要相对调低SFD灵敏度,同时增加上行EIRP。提高上行EIRP意味着增大天线口径或者高功放输出功率,亦即增加地球站设备成本。由于以上原因,从使用者的角度出发,转发器的接收和发送等服务区都较大,其覆盖范围通常都包含从星上可见的大部分陆地。Ku频段卫星多因追求高EIRP,而将服务区限制在人口密度高和经济发达的地区。由于卫星操作者无法直接控制对转发器的干扰和非法发射,较小的服务区可以减少来自服务区外干扰的可能性。因此,如果在可见的将来并没有扩展需求,专用的卫星通信网不应追求过大的服务区。

天线仰角也是选择通信卫星时的一项考虑因素。天线仰角过低时,通信波束穿越大气层的距离较长,其旁瓣接收到的地球噪声也较大,天线的G/T值将被降低。工作于Ku频段的卫星还需考虑降雨衰减的影响。可以设想,降雨高度一定时,仰角越低,穿越雨区的距离就越长,所受的雨衰也越大。为此,在卫星通信网的设计中,应使网内的绝大部分天线在指向所用卫星时都有较高的仰角。

## 二、卫星操作者与转发器管理

卫星操作者的管理能力至少和转发器

的性能指标同样重要。合理的载波安排可以充分利用转发器的潜力,严格的管理可以减少和避免用户抢占资源,严密的监测可以及时发现故障和干扰,完善的技术支持可以帮助用户提升系统能力和排除故障。通过对链路预算表的合理性检查和载波频谱的观察,用户可以大致判断卫星操作者的转发器管理能力。

用户在比较卫星资源的阶段可以要求卫星操作者提供链路预算表。链路预算表的方法多为分别计算上行和下行的C/T(或C/N),然后加上几项干扰因素的C/T(或C/N)推算出系统C/N,最后求得系统余量。下行C/N由下行载波的EIRP与地面接收系统的G/T值所决定。由于卫星操作者不能容忍用户载波多占转发器功率,用户也不愿换用更大的接收天线,下行C/N是难以提高的。上行C/N由上行载波的EIRP与卫星系统的SFD和G/T值所决定,它可通过调低转发器的SFD灵敏度并且增加上行功率而得到提高。为此,在合理的链路预算表中,应使上行C/N高于下行C/N,从而使系统C/N接近于下行C/N。如果发现系统C/N远低于下行C/N,就可认为链路预算并不合理。另有一种简易的测试方法为,要求卫星操作者在其链路预算软件中,将卫星EIRP减小3dB,如果求得的系统C/N和系统余量的减小量远低于3dB,则说明原有的链路预算不合理,没有充分利用卫星的EIRP性能。这也能从一个侧面说明转发器管理者的经验有限。

上述错误产生的原因,可能在于将某项干扰因素的C/T或C/N算得过差,也可能在于因将卫星的SFD灵敏度调得太高而限制了载波上行EIRP和上行C/N,其结果都会使卫星EIRP与地面接收天线增益指标的下行C/N得不到充分的利用。SFD灵敏度过高的情况多出现于Ku频段。Ku频段最为人称颂的优点在于可用小口径天线。从上文可以了解到,下行链路因卫星EIRP较高而支持小天线的应用,但上行链路因卫星G/T值不够高而往往需要较高的上行EIRP。Ku卫星要考虑雨衰补偿,卫星天线增益的设计梯度比较大,服务区边缘的卫星G/T值更低。转发器的SFD灵敏度设置较低时,位于服务区边缘的地球站以及需为高雨衰预留功率余量的地球站的上行EIRP往往不足。出于成本上的考

虑,通常都采用加大天线口径,而不用提高发射功率的方法增加上行EIRP。由此看来,Ku频段的上行链路未必支持小天线的应用。如果要坚持在这些EIRP不足的上行站使用小天线,卫星操作者只能将SFD灵敏度调高。高灵敏的SFD设置节省了用户在上行段的功放购置成本,但因上行C/N变差而拖低了系统C/N,反过来又浪费了下行链路的卫星EIRP和接收天线增益等性能。

用频谱仪观察转发器上的用户载波,也能大致了解转发器的管理水平。用户载波在转发器上所占用的带宽资源和功率资源应相对平衡。如果任由不自觉的用户随意增加载波功率,最终将使转发器工作于非线性区,从而引起严重的交调干扰。反映在频谱上,转发器上的不同载波,不论带宽是宽是窄,载波幅度应大致相等。如果观察到载波幅度高低悬殊,则可认为卫星操作者对用户的管理存在问题。在接收天线增益和下行EIRP大致相同的条件下比较载波频谱与链路预算中的C/N,也能发现问题。个别载波的幅度略高于链路预算结果,有可能是专供小口径天线接收的广播业务。如果个别载波的幅度远高于链路预算结果,则有可能是因为用户系统存在问题或者受到干扰而被迫加大功率。转发器上的多数载波幅度都远高于链路预算结果,其原因可能是链路预算不正确或者转发器管理混乱,甚至转发器在使用上存在潜在的问题。有条件的话,还可以比较不同转发器上的载波频谱。如果观察到某个挤满用户载波的转发器上的载波平均幅度远低于相邻转发器上的载波,同时也低于链路预算结果,则表明该转发器上可能存在着严重的交调干扰,使载波的C/N因转发器的噪声底被抬高而降低。

## 三、邻星协调与邻星干扰

由于轨位资源日趋紧缺,通信卫星之间的轨位间距已从十年前的5度左右缩小到如今的2.5度左右。轨位间距的变窄提高了邻星干扰协调的难度,也增加了对载波发射的限制。按照国际电联的协调规则,协调优先地位取决于卫星协调资料的公布日期,而不是卫星发射日期的先后。出于对己方卫星系统的保护,也出于同行业竞争的原因,协调地位优先的一方通常都对邻星业务提出较为苛刻的限制条件。用户

在比较和选择转发器资源时,应注意了解邻星干扰协调的状况。

首先要了解的是有关卫星与其两侧的工作于同频段共服务区的邻星之间的轨位间隔。间隔越大,协调难度和互扰程度就越低。除了在轨邻星,已经公布协调资料并且正在计划发射中的邻星也应包含在调查范围之内。这是因为,待发射卫星的协调地位优先于在轨邻星的情况并不少见。

其次要询问有关卫星相对于每个邻星网路的协调地位以及协调的完成情况。笼统的地位优先并不能保证不受邻星干扰。由于实际通信卫星所用的协调文件可能由前后几份资料组合而成,而不同公布日期的资料相对于邻星的协调地位可能有优先与落后之分,因此,即使被考察卫星的协调地位在总体上优先于邻星,它的某些工作频段或者部分服务区仍有可能相对落后。考虑到国际电联在邻星协调方面只有理论上的权威,而没有实际的约束和制裁能力,干扰协调最终还得由有关双方通过谈判而得到解决。

如果已经完成干扰协调,则检查转发器在上行和下行功率谱密度以及地面天线口径等方面是否受到限制。如果协调地位并不优先,而且协调尚未完成,则需了解潜在的限制使用条件,并对可能发生的更坏结果做好思想准备。

## 四、降雨衰耗

C频段的降雨衰耗通常都不会超出链路设计的余量。笔者曾经观测到,新加坡和台湾发送的C频段电视载波的上行EIRP都曾在暴雨时出现过3到5dB的下降。用国际电联所建议的雨衰计算公式并不能求得如此高的C频段雨衰量。仅有的合理解释为,这类现象出于高仰角天线的主反射面因暴雨而形成积水,从而使天线增益大幅度降低。

降雨衰耗对Ku频段卫星通信的负面影响比预期的严重。在香港监测Ku频段卫星信标时发现,夏季阵雨时的短时间下行降雨衰耗可达20dB甚至30dB。中国南部沿海某地所发的Ku载波在台风季节的上行雨衰,曾有连续半小时维持在10dB以上的纪录。即使是位于中国北方的北京,Ku设备的8dB上行功率控制量也不足以补偿夏季阵雨所产生的降雨衰耗。由此看来,

通常能为系统预留的下行降雨余量以及上行功率补偿量,都不能补偿短时间的暴雨所产生的降雨衰耗。对于实时性不强的数据业务,由Ku雨衰所造成的误码和通信中断可以通过重发等手段得到解决。对于必须保证实时传输质量的数据业务以及音频和视频等连续的数据流业务,最好还是选择在C频段上工作。

雨衰估算结果表明,在同等的降雨条件下,不同频率和极化的载波所遭受的雨衰也不相同。在Ku频段,频率高端的水平极化载波所受的雨衰最大,频率高端的垂直极化和频率低端的水平极化载波所受雨衰居中,频率低端的垂直极化载波所受雨衰最小。在选择Ku频段转发器时,应该考虑这一因素。

雨衰的计算公式为单位路程的雨衰量与电波穿越斜距以及路程缩短因子的乘积。其中,电波穿越斜距为降雨高度与天线仰角的正弦值之商。一般说来,天线仰角越低,穿越斜距越长,雨衰量越大。但是,路程缩短因子的计算公式考虑了电波穿越斜距在水平方向上的投影距离以及降雨强度的影响。降雨高度越高,天线仰角越低,水平投影距离就越长,相应的路程缩短因子也就越小。其物理解释为,水平投影距离越长,电波笼罩在雨团中的部分就越少。此外,降雨强度越高,路程缩短因子也越小。其解释为,降雨强度越高,雨区在水平方向上的分布就越窄,电波被该强度雨区所笼罩的比例也就越小。路程缩短因子的值在天线仰角较低和雨量较大时可小至0.4左右。为此,在考虑Ku频段降雨衰耗时,不必过分强调天线仰角的影响。

Ku频段卫星通信通常采用上行站设备中的上行功率控制(UPC)或者卫星转发器中的自动电平控制(ALC)补偿降雨衰耗对上行载波的影响。ALC的工作原理为根据接收到的载波强度调整转发器的SFD灵敏度。它的使用条件为,转发器中的所有载波都由同一个地点发送上星。ALC的初始设置方式为,通过调整转发器SFD,使在晴空条件下的载波上行功率略高于不采用ALC时。这是因为,若在晴空时不增加上行功率,降雨时就全靠提高SFD灵敏度以使下行EIRP维持不变。由于到达卫星的功率因雨衰而降低,上行C/N也随之下降,从而使系统C/N变差。但是,晴空时的上行功率也不能过高,因为这将

增大对邻星和反极化转发器的干扰。UPC的工作原理为,根据检测到的当地雨衰量调整上行功率。采用UPC方式时,上下行C/N基本保持不变,但它要求上行站拥有足够的功率储备量。

## 五、潜在的干扰

### 1. 转发器上的相邻载波

转发器上的载波排列方式对交调干扰有一定的影响。原则上,多个载波不宜以相同的频率间隔排列,以避免使交调产物落在载波上。此外,可能产生较多交调产物的宽带载波应被安置在转发器的两边,以使其交调产物部分落在转发器的带外。不过,在安排宽带载波时,也应考虑到转发器边缘的幅频和相频特性通常都比转发器的中间频段差。

采用MSK、CPFSK等调制方式的载波的带宽利用率较高,但其输出滤波器的滚降特性较差,在其占用带宽之外的载波分量也多于PSK载波。窄带TDMA和DAMA载波的上行站多,设备复杂,因操作失误或设备故障而产生的干扰也较难排除。有可能的话,所租赁的频段应尽可能远离这些载波。

### 2. 反极化转发器

被安排在转发器中间频段的载波,可能因其正处于反极化转发器之间的保护带中,可以免受反极化干扰的影响。

TDMA载波和DAMA载波的分配频段由较多的上行站共用,如果其中个别站附近存在干扰站,就会出现偶发的反极化干扰。由于干扰是以突发和随机形式出现的,干扰站不易被发现。除非使系统停止工作,并且逐站检查,否则难以彻底排除反极化干扰。由于UPC能在雨衰时维持到达卫星的上行功率不变,而降雨时的极化隔离度会变差,因此在降雨时将加重反极化干扰。从避免和减轻反极化干扰考虑,通常不希望在所租赁频段的反极化有上述载波工作。

### 3. 相邻转发器

如果被分配的工作频率在转发器的边缘,则希望相邻转发器并不工作于ALC模式。ALC将使转发器的输出功率维持在某个预设值上。当上行载波功率因各种原因而降低时,转发器的增益将(下转第26页)

大会(WRC-97)已对BSS-77规划按新的技术参数进行修改,如EIRP值比BSS-77规划降低了5dB,轨道位置间隔从6降为3,等于频率资源增加了一倍。当前为争夺DBS轨道和频率资源的斗争激烈,很多国家纷纷向ITU提出新的DBS系统需求。为利用好宝贵的DBS频率资源,维护国家权益,我国也应尽快发射直播卫星。

#### 4. 占领广播电视节目太空阵地的需要

在国际广播电视直播卫星迅速发展的今天,我国周围一些国家和地区正在发展卫星直播广播电视。特别是很多国家和地区(包括西方国家)利用Ku频段通信卫星DTH传送的节日已“服务”到我国,其中很多境外节日用很小口径的碟型天线和IRD就可收到。

广播电视节目是一种文化,直接影响我国人民的精神文化生活和政治局面的稳定。如果我国不用健康的、丰富的、有社会主义特色的广播电视节目占领太空阵地,境外文化和敌对势力的宣传就容易渗透过来。

#### 5. 为发展我国新型产业提供机遇

建设DBS/DTH是一个系统工程,其高科技含量大,特别是数字技术,IRD的发展将形成一个新型消费类电子产业市场。九十年代以来发达国家就十分看好我国的有线电视市场。目前,又对亚太和中国的DBS/DTH发展予以极大的关注。

科技的进步带动事业的发展,事业的发展又为产业的发展提供了广阔的市场。我国适时地发展数字卫星直播广播电视,将为我国民族工业提供一个发展新型产业的机遇,进一步振兴电子工业,并参与国际市场的竞争。

### 五、我国应尽快发展数字卫星直播广播电视

我国发展数字直播卫星广播电视有两个途径:一是直接发展BSS段的DBS广播电视,一步到位;二是先发展FSS段的DTH广播电视,今后再发展BSS段的DBS广播电视。从目前我国广播电视事业发展的实际出发,后一种方法比较适合国情,而且也是世界上很多国家和地区正在实施中的方法。

数字卫星直播广播电视系统从总体上可分为空间段和地面段。空间段包括DBS/DTH卫星,以及保证卫星正常运行的测控和管理设施;地面段又由几部分组成:负责广播电视节目的制作和管理的广播中心,编码调制设备,节目向地球站的传输系统,地球站,用户管理中心以及地面接收系统。

采用先发展FSS的DTH数字卫星直播广播电视在我国已经开始,其优点有以下几个方面:

(1)经济、便捷,很快可以实施,如果直接上BSS的DBS,必须发射专用卫星,需要较多资金以及几年的筹建时间。

(2)迅速发展数字卫星直播广播电视

的个体接收、集体接收以及转发的用户,以形成相当规模的用户群。由于Ku频段DBS卫星业务的功率电平仅比DBS小一点,所建的地面设备(天线和IRD)可为今后发展DBS打下基础,避免DBS上天后“空转”。

(3)可积累开展数字卫星直播广播电视的经验,掌握一些关键的技术。比如,有关系统的运行、节目运作及编排、有条件接收、用户授权收费管理的经验都需在实践中积累,这也为今后DBS上天作好准备。目前,我国中央和各省市电视台的广播电视节目已使用通信卫星进行传送,而无线和有线电视也有相当的规模。在这种情况下,发展数字卫星直播广播电视有一定的难度。其中,节目、信息的内容和数字卫星接收机的功能、价格,是用户最为关心的,也是能否迅速发展用户群的关键。因此,在开展DTH数字卫星直播广播电视前,数字卫星直播广播电视的运营者必须做好计划,进行周密的考虑。目前,大功率的DBS卫星技术已成熟,在开展DTH广播电视的同时,必须及早做好发展DBS系统的规划和方案。

二十一世纪,人类将进入高度信息化社会。加快推进信息化是世界各国也是我国十分关注的。我国已确定以通信网、广播电视网(无线广播电视、有线广播电视、卫星电视)和计算机网作为国家信息化建设的重要基础设施。信息化将促进我国数字卫星直播广播电视的发展,数字卫星直播广播电视的开展,也必然会对我国国民经济信息化作出积极的贡献。

(上接第29页)被自动调高。由于转发器输出滤波器的带宽往往大于转发器的标称带宽,包括相邻转发器边缘频段在内的噪声底也将随之而被抬高。受其影响,相邻转发器边缘频段的载波可能随噪声底而上下浮动,其范围可达10dB以上。被影响载波的C/N未被改变,但是电平的上下浮动可能使接收载波落于系统动态范围之外,从而影响到解调效果。

#### 4. 邻星干扰

若能观测到同频段的邻星载波,就能推断我方所受邻星干扰的程度。一般

说来,载波幅度越高,下行干扰越大。经验表明,宽带载波多为大天线所发,因其天线波束较窄,上行干扰相对较小。反之,窄带载波多为小天线所发,其上行干扰相对较为严重。此外,窄带DAMA与TDMA载波除了发射天线口径较小以外,由操作失误或设备故障引起的不确定因素也较多。如果可以选择的话,最好避免与这类业务作邻居。

### 六、结束语

在卫星资源、转发器管理、邻星协调、降雨衰耗和潜在干扰中,最主要的似乎是卫星性能。由于转发器管理和邻星协调在

很大程度上影响到卫星性能是否能得到正常的发挥,而降雨衰耗和潜在干扰可能在短时间内影响载波正常工作,后几个因素也应在选择卫星资源时加以考虑。实际上,卫星操作者未必愿意,在某种程度上也无法提供本文所介绍的所有资料。另一方面,可供用户选择的转发器资源也未必能在各方面都满足上述要求。因此,在比较和选择卫星资源时,着重点应该放在系统的稳定工作和避免干扰上。考虑到现代通信卫星在性能上的差异并不大,为了确保转发器的正常使用和减少干扰,建议对邻星协调和转发器管理能力予以充分关注。