



# 动中通天线 在传统通信卫星系统中的应用

■ 中卫普信宽带通信有限公司 吴波洋

## 摘要

针对动中通天线的天线旁瓣、跟踪制导、交叉极化、失锁重捕等问题，就天线测试、邻星协调和系统设计等作了相关探讨。

关键字：动中通天线 天线指向性能测试 邻星干扰与协调

## 0 前言

卫星通信倚仗其布网迅速、通信成本与距离无关等特点，在应急通信等领域发挥着重要作用。天线厂商设计了多种能够自动跟踪、锁定静止通信卫星的定向天线。这类天线因能使车辆和船舶在行驶过程中利用传统通信卫星进行移动通信，又被称为动中通天线。

## 1 动中通天线概述

一般地，动中通天线可分为抛物反射面和平板微波电路两种类型。抛物反射面类型的动中通天线采用传统的偏馈或正馈面反射天线，外型呈球状，尺寸较大；其天线增益较高，旁瓣特性较好；可跟踪制导系统控制天线的方位和俯仰指向；其售价多在百万元人民币左右，据称也有数万元的。

平板微波电路类型的动中通天线采用平板微波电路或相控阵电路阵列，外型呈圆盘状，其高度较

低；其天线增益和旁瓣特性较差；跟踪制导系统大多只控制方位角的机械转动，在俯仰角上只作（或不作）电扫描调整；售价多为数十万元人民币。

动中通天线的跟踪伺服系统差异较大，有的只被动跟踪卫星上的信标或载波，有的还可以利用惯性制导方式主动抵消天线载体的姿态变化，其指向跟踪性能随系统结构而异。

动中通天线的载体可为飞机、火车、汽车和船舶等。大型载体通常运行平稳，对指向跟踪的性能要求较低。小型载体的机动性较好，对指向跟踪响应速度有较高要求。

动中通天线多用于应急通信。应急通信车辆大多需要传送视频信号并收发双向数据，客机和火车目前存在IP接入潜在需求。动中通天线也可应用于边远地区的火车和客车以及沿海船舶等载体的电视单收业务。

动中通天线的口径小、波束宽，其旁瓣性能不容易满足邻近卫星干扰协调要求，极化隔离程度不足以避免与同频率反极化信道互扰。

除了需要应付载体运行方向的变化，动中通天

线还需要抵消载体的颠簸、摇摆等运行状况。天线跟踪和惯性制导信号在控制电机、驱动传动机构、调整天线指向的过程中难免产生时延,从而有可能因滞后控制而造成天线指向偏差。

## 2 天线旁瓣和极化性能

抛物反射面类型动中通天线的等效天线的口径一般在0.5米到1米之间,发射增益在35dBi到41dBi之间。平板微波电路类型动中通天线的发射增益一般为30dBi,其等效天线口径低于0.3米。天线生产商通常会在设备性能中注明,动中通天线的旁瓣特性满足ITU-R的建议S.465或S.580等要求。但事实上,邻星协调很少关注超小口径天线是否满足相关建议中 $29 - 25 \log(\theta)$ 的远旁瓣要求。因为超小口径天线仅主瓣宽度就有3度左右,泄漏到邻星的偏轴辐射应该采用主瓣或第一旁瓣的公式进行估算。 $D/\lambda$ 低于25的超小口径天线,在2度或3度偏轴角上的偏轴增益,可用ITU-R S.1428和BO.1443等建议中的天线旁瓣公式计算。以14GHz工作频率为条件的计算结果表明,0.6米天线的 $D/\lambda$ 值约为28,其3度和2度偏轴增益差分别约为18dB和8dB;0.4米天线的 $D/\lambda$ 约为19,其3度和2度偏轴增益差分别约为8dB和3.5dB。平板微波天线的增益更低,其旁瓣特性理应更差。

上述天线旁瓣增益的估算公式仅用于没有实测数据时。面反射类型天线的生产商通常可以提交在天线测试场地对匀速偏转天线实测得到的旁瓣增益分布图。在方位和俯仰两个方向上分别采用机械和电子方式跟踪扫描的平板微波类型天线,可能较难以偏转天线的方式测试其旁瓣性能。如果天线生产商不能提供天线增益分布图的实测数据,或许可以采取如下方式获取此类天线在若干个离散点的主旁瓣增益分布数据:(1)在微波远场条件下,于波束中心、俯仰正负2度和2.5度、以及方位正负2度、2.5度和3度等处,分别设置若干个馈源;(2)在天线跟踪指向波束中心时,分别测量记录不同位置所在馈源的接收电平。

利用测试天线旁瓣增益的场地设备,可以先后或同时测试并且记录正反两个极化的天线主瓣和旁瓣增益分布,两者的重合即为天线随指向角度而变的交叉极化分布图。实测数据表明,天线在主轴方

向上的交叉极化隔离度通常远高于偏轴方向。由此而得出的推断为,天线指向产生严重偏差时,上下行链路都可能引入较严重的交叉极化干扰。

## 3 天线跟踪与失锁重捕性能

动中通用户最关心的莫过于天线指向在载体运动中的跟踪性能。在这个相对较新的行业分类中,跟踪性能指标和数据测试方法似乎都是天线生产商自行设定的。据介绍,跟踪误差数据多为天线跟踪伺服系统中各个分系统误差数据的均方根统计结果。各个分系统数据或由实测统计,或由数学分析得出。考虑到包括路况、车况、车速和机动方式在内的不同测试条件会产生差别很大的测试结果,由各家厂商自行提供的跟踪误差数据之间的可比性较差。再加上对邻星干扰和使用效果影响更大的可能是最大值,而不仅仅是统计值,有条件的卫星公司和用户有必要自行实测一番。

建议采用如下的卫星信标跟踪接收方法,在与工作要求相近的场地进行实测:(1)选用在测试天线工作频段有信标、服务区覆盖测试地点、轨位间隔为2度到3度的两颗卫星;(2)令天线指向信标电平较低的那颗卫星;(3)下行信号经分路器分别送到接收不同卫星信标的两个频谱仪;(4)调整频谱仪的设置,用0 span方式跟踪显示信标电平,选用最长的扫描时间以确保每次测试能得到较多的数据记录;(5)在行驶过程中同时进行两个频谱仪的单次扫描;(6)在无遮挡的不同地形,记录不同车速和机动方式的多组测量数据。

在条件不具备时,可以只对一颗卫星作测试。如果因天线接收增益过低而使信标电平的动态范围不足以反映天线指向的变化,也可采用由被测天线发送单载波,分别由两个天线接收并比较经卫星转发的载波电平的方法。最严重的天线指向偏差一般是由车辆行驶过程中的颠簸引起的,因此,载体行驶方向最好选在天线方位角的切向。如果选择轨位与测试地点经度相近的卫星,可使天线大致指向南方,从而能简单地将天线载体的行驶路线选择在东西方向。为了减少因频偏导致的测量误差,频谱仪宜选用适当较大的分辨带宽。不过,较宽的分辨带宽会降低接收信标的载噪比,从而降低测试数据的



动态范围。

对测试记录的分析：(1) 在未产生指向偏差时，天线所指向卫星的信标电平应该少有起伏；

(2) 天线所指向卫星信标电平的最低值对应着天线指向偏差的极值；(3) 邻星信标电平的最大值对应着天线偏向邻星的干扰极值；(4) 比较所指卫星和邻星信标电平变化的相关性。需要注意的是，对邻星干扰的测试效果未必能反映实际情况，因为天线的指向偏差可能发生在任意方向，但有可能产生邻星干扰的只是其中的一个角度。

上述对两颗卫星的信标测试也可改为对同一颗卫星上正反两个极化信标的测试。其比较结果为，因天线指向偏差而引起的极化隔离度恶化效果。

船载天线可能需要现场（湖面、河面、海面及不同的风浪环境）测试数据。但是，以同等路况和行驶条件下获取的车载测试数据，与其他的动中通天线更具可比性。

为了避免对邻星的过度干扰，部分动中通天线设备会在感知可能产生较大指向偏差时自动关停上行载波，并在判断已经重新对准卫星后恢复发射。有条件的用户可以观测记录自动关机和重新开机时的信标电平，以及从关机到重开载波的时间宽度。

不论是被动跟踪型、还是惯性制导型的动中通天线，都有必要测试树木、山岩、建筑物等遮蔽条件下的跟踪指向效果、以及遮蔽失锁后的重捕性能。如何选择测试条件，以及如何分析测试结果，还有待于天线生产商、卫星公司和用户的进一步探讨。

## 4 干扰协调与应用考虑

按照《无线电规则》附录8给出的干扰协调条件，因邻星干扰所产生的噪声增量 $\Delta T$ 与被扰系统自身的等效噪声 $T$ 之比（ $\Delta T/T$ ）应该不高于6%。折算到链路载波电平 $C$ 与干扰电平 $I$ 之比（ $C/I$ ）上，应该比链路自身所要求的最低载噪比（ $C/N$ ）高12.2dB。考虑到常用的QPSK调制和3/4 FEC编码方式所需的 $C/N$ 要求约为7.7dB，对应的 $C/I$ 要求接近20dB。亦即，由本系统地球站泄露到邻星的上行干扰信号的功率谱密度应比邻星系统所收到自身载

波的上行功率谱密度低20dB。假设两个系统地球站的上行EIRP大致相当，则要求产生干扰一方的上行天线在指向己星和邻星方向的偏轴增益差不低于20dB。由此看来，前述0.6米Ku天线在2度、以及0.4米Ku天线在3度条件下的8dB偏轴增益差是远远不能满足邻星干扰协调要求的。

例行的邻星干扰协调多采用最坏条件（worst case）下的计算结果，协调地位较高的一方通常会提出略为过分的上行天线口径和功率谱密度要求。但在实际应用中，干扰影响很可能远弱于最坏的估算结果。因此，卫星操作者之间，可以采取逐项配的方法来安排和处理双方在同频率同服务区载波的方法，使双方系统都能在最大程度上得到合理利用。

在转发器带宽供过于求的今天，各家卫星公司都开始默许包括动中通在内的小口径天线应用。当然，为了避免及减少动中通天线对邻星的干扰，卫星公司应该考虑：(1) 掌握天线的近旁瓣辐射特性，以便了解天线指向稳定时的干扰程度；(2) 了解天线在运动中的跟踪对星性能，因为指向偏差会影响链路可用度，也可能增大对邻星的干扰；(3) 考虑采用传输效率较低的调制编码方式，使通信链路能在较低的载波功率谱密度条件下工作，从而减少干扰；(4) 选用G/T值较高的卫星资源（例如G/T值比传统卫星高约10dB的iPSTAR卫星中国点波束），可以相应降低上行载波的功率谱密度要求。

为了减小反极化干扰的影响，动中通天线系统应该尽可能选择单极化工作的卫星转发器。在中国上空的相关资源大致有：亚太6号卫星Ku频段转发器、iPSTAR卫星、以及亚洲4号卫星Ku频段中垂直和水平极化分别工作在中国和澳洲波束的部分转发器。

为了保证低增益动中通天线在中国西部等EIRP较低地区的接收效果，广播载波可在满足对邻星和反极化干扰要求的前提下，适当提高载波的功率谱密度，必要时选用对载噪比要求较低的BPSK和1/2 FEC等调制编码方式。

为了尽可能缩短因遮蔽而产生的通信中断时间，系统设计中应尽可能选用失锁重捕时间较短的天线跟踪系统和接收解调设备。（下转第40页）



如：收发隔离度下降）将被测信号耦合到了接收端，信号就会通过接收天线辐射出去，这样，测试期间就可能进行通话。电磁信号泄漏应当引起运营商的高度重视，只不过这样的泄漏辐射还较小，没有造成对接收设备的不良影响，应当尽早查明原因，并采取措

#### (4) 关于单时隙工作方式问题

由于正常使用中的TETRA系统，用于信息（语音、指令、数据等）收发的时隙是成对出现的，便于收发和交换信息。标准中规定的单时隙测试方法只能用于设备未投入正常运行前（入关进口）的核准测试，是一种指定的特殊的测试模式，只有设备生产厂商提供软件全部控制，运营商能够对系统进行模式控制后，方可进行测试。

对如何解决“空闲状态载波泄漏”项目测试的问题，建议：一方面要得到设备生产厂商的支持，另一方面要立项研究出更好的测试方法和评判依据。

## 7 结束语

数字集群通信网从技术上讲，类似于中国联通和中国移动等公网通信技术，但从功能上讲，有其独特的使用方式和使用功能。数字集群系统，除了具有传统专业移动通信网上的调度指挥功能外，还具有数据传输功能（状态信息和短消息业务），开发了多个时

隙同时传输的数据传输业务，可以实时地传输动态图像。数字集群系统，可以提供足够安全的通信保密措施，即具有鉴权、空中接口加密和端对端加密等加密方式，可满足普通、商业、秘密、机密等不同级别需要。国外各大厂商还在TCP/IP的基础上开发数据传输业务，可以通过共享无线资源和话音业务，实现IP用户间的持续交流，提供一系列数据应用，如：WAP应用、企业内部网应用、车队管理、电子邮件、数据库查询、调度、遥测、监视、自动车辆定位、导航、文件传递等业务。自信息产业部信部无[2001]518号文发布后，在我国很多地区投资建设了面向社会服务的数字集群共网和特殊需求专网。为有效保护集群通信网络的正常通信，无线电频率管理、频谱监测、设备检测还将有很多工作要做。

### 参考文献

- [1]信部无〔2001〕518号《信息产业部关于800MHz集群频率使用管理有关事宜的通知》
- [2]信部无〔2004〕54号《关于350-390MHz频段数字集群通信设备技术指标的通知》
- [3]中华人民共和国电子行业标准SJ/T 11228-200《数字集群移动通信系统体制》
- [4]ETD 300 391-1 March 1996  
Radio Equipment System(RES);  
Trans-European Trunked Radio(TETRA);  
Conformance testing specification; Part 1 :Radio
- [5]中华人民共和国国家标准GB/T 1574-1995《集群移动通信系统设备通用规范》
- [6]《移动通信基础》张殿富主编 中国水利水电出版社
- [7]《数字集群移动通信系统》(第2版) 郑祖辉等编著 电子工业出版社

(上接第35页)

## 5 结束语

动中通天线的反射面口径和整体尺寸都比较小，天线波束比较宽，因此比较容易产生邻星干扰。动中通天线可能因跟踪制导系统的误差和延时降低对星准确度，从而影响通信效果并引起干扰。动中通天线可能因产生对星误差而加重本系统和同频反极化系统之间的交叉极化干扰。动中通天线在移动通信过程中易受遮蔽而中断通信，摆脱遮蔽后需对天线指向和载波

解调作重新捕获。上述问题对本系统和邻系统都存在潜在影响，天线供应商、卫星操作者、系统集成商和用户应在天线测试、邻星协调、系统设计和实际使用中予以充分重视。

### 参考文献

- [1] 康学海,王双平. 高数据速率“动中通”移动卫星通信终端天线的基本设计与指标说明, 2007年中国卫星应用大会会议文集
- [2] 吴波洋. Ku邻星在0.5度方位间隔的共存可能性探讨, 中国无线电管理, 2001年第1、第2期