

微波天线及其高精度远场测试系统详解

1、简介 Introduction

与光纤通信相比，微波点对点通信有可移植性好、性价比高、不涉及土地产权等众多优点。在很多国家，它们已经成为基站间光纤连接的替代技术，例如在美国、英国，日本等国家，运营商 85%以上的基站回传通信已经采用微波通信。调查显示全球微波天线年需求量以每年大概 10%的速度增长。此外，商场、公园、车站等公共场所的无线宽频接入的需求也越来越普遍，小基站已经成为流行的解决方案，该类型通信系统的后端点对点回传方案也可以采用微波天线，这些都给微波天线及外围器件提供了很好的市场前景。本文谈及的微波天线主要是指工作在 4~86GHz 频段的无源天线。它们使通信系统在不需电源模块的情况下具备较高的动态范围和实现宽带模拟信道传输，属于现代点对点无线通信系统中核心天线部件。

在尽量少的空间内布置尽可能多的微波天线就需要对天线与天线之间的互扰提出非常严格的要求，同时对测试系统的精度和动态范围提出了很高的要求。大体上说，衡量这种互扰的主要天线参数有前后比，旁瓣和方向图。本文重点介绍了广东通宇通讯股份有限公司的高精度微波天线远场测试系统，并以 Eband ETSI Class4 天线为列给出了一些测试结果。

2、微波天线分类 Microwave Antennas Classifications

微波天线可以从多个角度分类，一般业界有以下几种分类方式。

2.1 按照频率和口径分类 According to Frequency and dimension

微波天线最常见也是普遍被业界认可的分类方式是频段和天线直径，天线生产厂家也基本以此来定义各自的产品编码。表 1 是各个频率的频带定义，表 2 是通宇通讯股份有限公司已经研发成功并可以大批量供货的产品频段和尺寸对应表格，值得提的是，虽然微波天线覆盖 4—86GHz，大口径天线并非全频段覆盖，这主要是因为大口径天线一般用于远距离的微波传输，随着频率增高空间损耗变的难以体现大口径高增益的优势，另外频率越高波束宽度越窄，太高频率的大口径天线也会使得链路对调成为问题。另外，传统微波天线大概有 10%左右的带宽，通宇通讯已陆续推出的 20%的宽频天线，包括 5W, 6W, 7W, 10W, 23W 和 27W。

NO	Frequency Band	Frequency(GHz)	Code
1	L6	5.925~6.425	06L
2	U6	6.425~7.125	06U
3	7W	7.125~8.5	07W
4	L7	7.125~7.725	07L
5	U7	7.725~8.275	07U
6	8G	8.2~8.5	008
7	10G	10.125~10.7	010
8	11G	10.7~11.7	011
9	10W	10.0-11.7	10W
10	13G	12.75~13.25	013
11	15G	14.4~15.35	015
12	18G	17.7~19.7	018
13	23G	21.2~23.6	023
14	23G	21.1-24.5	23W
13	26G	24.25~26.5	026
14	28G	27.5~29.5	028
15	32G	31.8~33.4	032
16	38G	37.0~40.0	038

表 1 微波天线频率

微波天线—Class3		频段																					
		5W	6W	7W	10G	10W	11G	13G	15G	17G	18G	23G	23W	24G	26G	27W	28G	32G	38G	42G	60G	80G	
口径	0.1m															ok							
	0.2m				ok			ok															
	0.3m			ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok			ok
	0.6m	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok			ok
	0.9m	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok			
	1.2m	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok					
	1.8m		ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok											
	2.4m			ok	ok		ok		ok	ok													
	3.0m			ok	ok		ok		ok														
	3.7m			ok	ok																		

表 2 天线按频段和口径分类列表

2.2 按照极化分类 According to Polarization

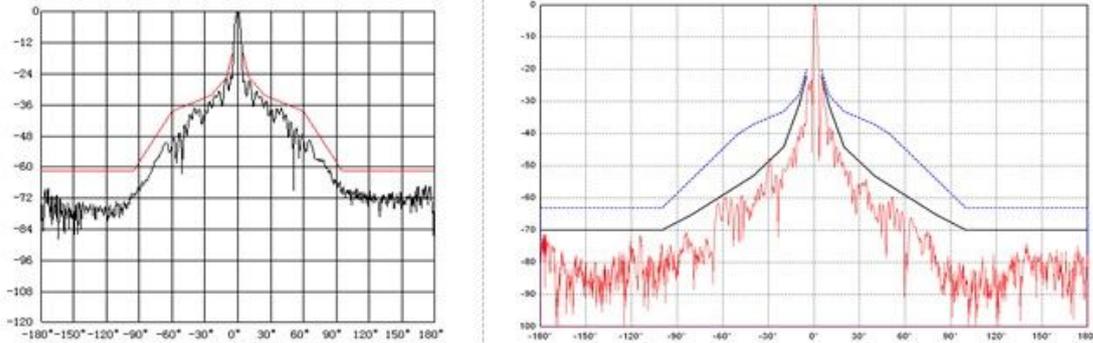
极化是电磁场的一大特性，在通信信道中采用正交的极化信号使得在频带不变的情况下信道容量增倍。目前点对点微波通信系统按照极化分为单极化，双极化 2 种，其中前两种相对成熟，图 1 和图 2 分别是通宇公司生产的两款单极化和双极化微波天线产品。



2.3 按照性能级别分类 According to Level of Performance

根据天线方向图特性，不同国家制定了不同的标准用以描述微波天线级别和差异。业界中最为常用的是 ETSI 标准，它针对点对点天线辐射包络图的高低制定了 Class1—Class4

级别。目前市场上畅销的点对点微波天线属于 Class 3 级别，而 Class 4 天线具备更高的前后比及方向图包络要求，已经成为各大厂家积极开发的下一代产品。图 3 和图 4 是通宇通讯股份有限公司开发的 Class3 和 Class4 天线方向辐射图测试结果。可以看出天线要满 ETSI 的标准，其方向图曲线低于 ETSI 指定的 Class3 和 Class4 包络之上限。Class4 天线对比 Class3 天线，它要求天线方向图压得更低，前后比更高，这使得在有限空间范围内可以部署更多数量的微波天线。



天线厂家针对不同的市场，充分论证自己天线的性能用于满足世界各地客户的需求。例如 TYA06U38S 和 TYA06E38S 是通宇公司两款微波天线产品，满足 ETSI Class 3 级别的天线采用了超高性能天线代码'U'，满足 ETSI Class 4 级别的天线则采用异高性能天线代码'E'来表示，它们分别代表了 0.6m 口径工作在 38GHz 的 C3 和 C4 单极化天线。

2.4 按照应用场景分类 According to Application Scenarios

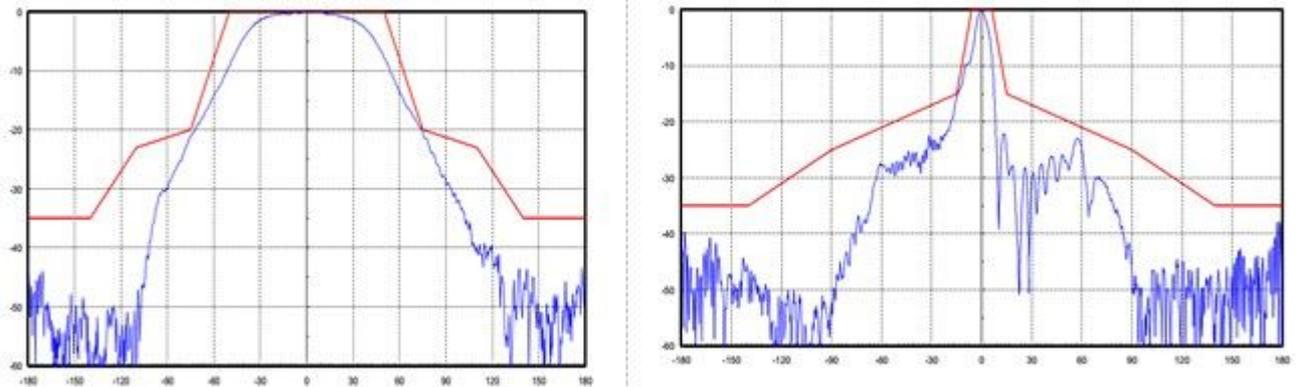


图 7 点对多点扇形天线

微波天线的应用场景主要是指电场景，是指微波天线在搭建无线电链路的场合，其分为点对点（p2p）微波天线和点对多点(p2mp)微波天线两种。由于其使用场合不同，微波天线的辐射特性要求也不同。例如用于替代光纤这种单点对单点传输的微波天线，它们的三维方向图要具备类似铅笔光束（Pencil beam）的特性，其二维切面方向图需具备图 3 或图 4 所示的效果。而用于多点覆盖的微波天线其特性类似常规的基站天线，目的是在大角度范围内实现信号播报，因此 p2mp 的微波天线三维方向图要具备扇形（Fan beam）的特征，其二维方向图须具备图 5 和图 6 所示的效果。图 7 是通宇通讯设计的可以用于点对多点通讯的扇形天线。

3、高精度远场测试系统

3.1 系统需求

采用传统的微波暗室测试系统来测试之前提到 C4 天线和 Eband（80GHz）天线是比较困难的，原因是相比于传统的测试系统，他们对系统的动态范围，精确度提出了更高的要求。为了得出系统需求的一般要求，我们以以下的 Eband Class-4 天线为列做详细说明：

天线直径： $\varphi=0.6\text{m}$

工作频率：71GHz-86GHz

半功率角：0.5 度

增益：50dBi

前后比：70dB

定义幅度可容忍量 σ 为最大

3.2 系统设计

1)系统框图

如图 8 所示，是系统的框图，该系统采用信号源，频谱仪的最典型的远场测试系统的构架。发射端放置在地面，接收端和中央控制系统放置在 7 层楼楼顶，两端的视距（LOS）和地面形成一个夹角，这对于测试高前后比的天线是十分有利的，因为天线可以直接对向天空。

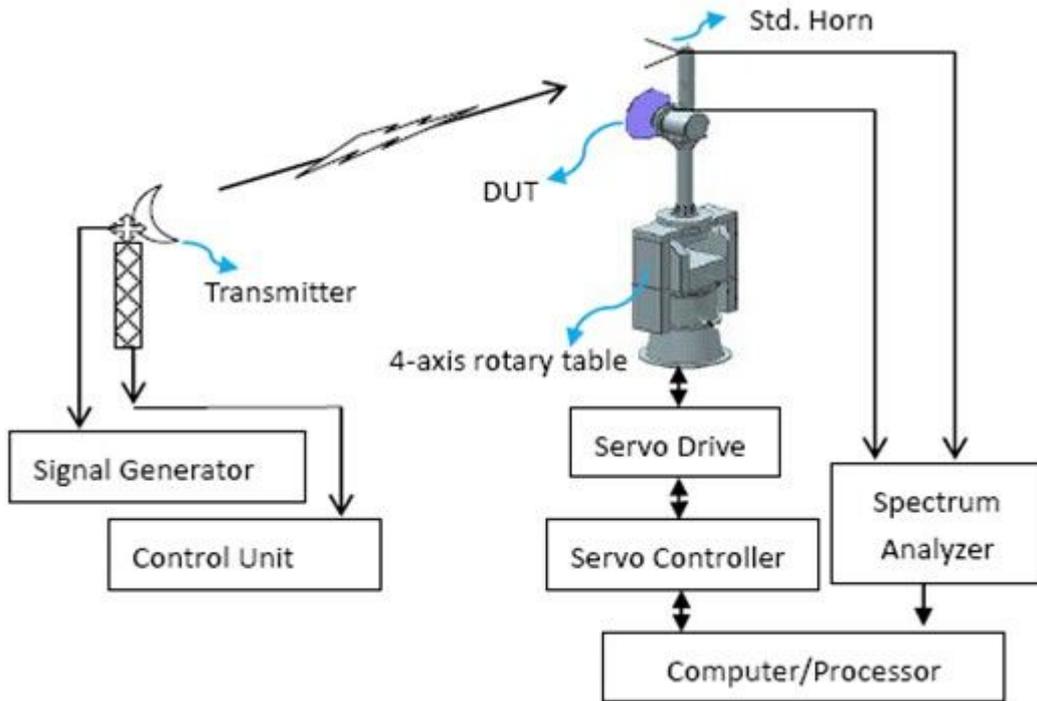


图 8 系统框图

2)系统的硬件

如图 9(a)所示，分别是发射端支架和信号源，如图 9(b)所示为接收端转台，图 9(c)为接收端的一些设备。



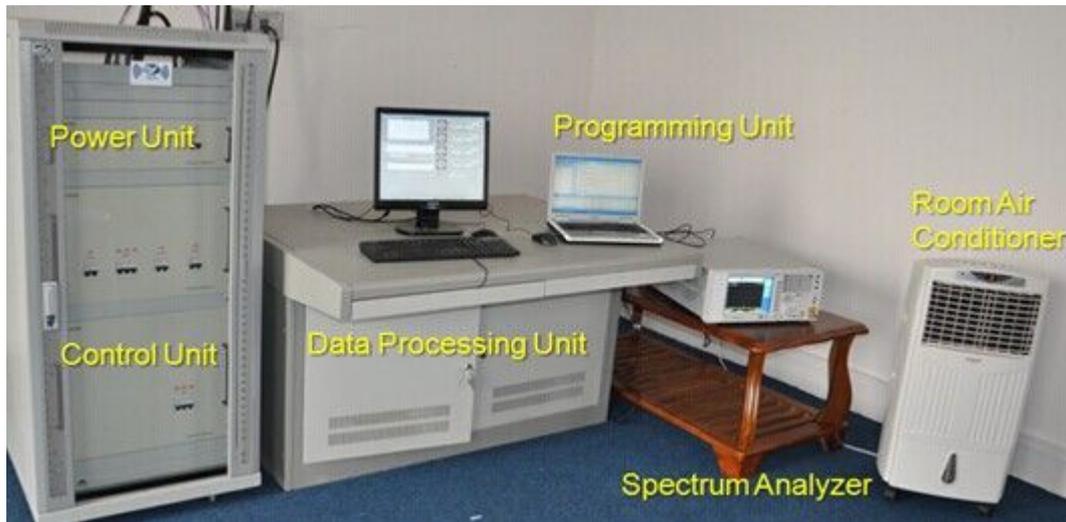
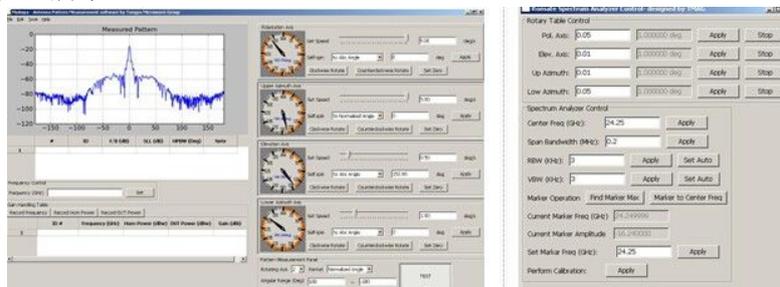


图 9 系统硬件

3)系统的软件

和其他测试系统一样，软件的设计要求对其电机，频谱仪等设备能精确的控制，要求测试数据的计算和最终的显示快速有效。对于当前的测试系统，有两个亮点是值得提的，第一是所有的四个轴都支持"绝对模式"，"相对模式"和"归一化模式"，并且可以自由和独立的控制，如图 10 所示；第二是为了测试具有极高前后比或者说是测试需要极高动态范围的天线，设计了一个远程频谱仪控制系统，这个设计使频谱仪可以远程获得射频传输损耗和校正参数，如图 11 所示。



3.3 测试举例

如上所述的测试系统在广东通宇通讯股份有限公司已经成功研制成功并投入使用，该系统可以有效的测试目前的 ETSI Class3 天线和 未来的 ETSI Class 4 天线。在测试中发现，精度可以达到前后比大于 75dB 和半功率角小于 0.5 度。如图 12(a)所示为一个在 86GHz 的 0.3m 的 Class 4 天线的方向图测试结果，如图 12(b)所示为 86GHz 的 0.3m 的 Class 3 天线的方向图测试结果。

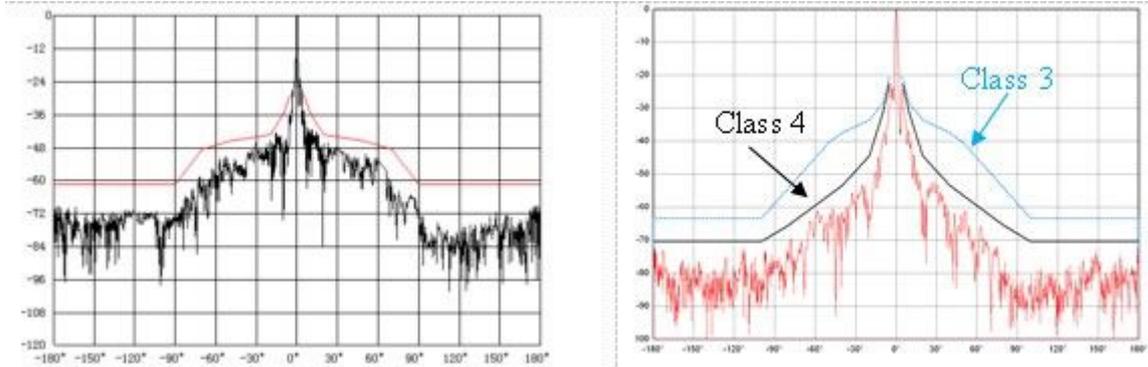


图 12 测试结果

4、总结 Conclusion

综上所述，本文介绍了点对点无线通信中的无源微波天线和高精度远场测试系统，介绍这些产品的性能和分类方法，介绍了高精度远程测试系统的架构和硬件构成，并简述了本行业的发展趋势。