



基于分集技术的天线测试效率提升方案

安少康, 房育良, 陈林

(中国信息通信研究院泰尔实验室, 北京 100045)

摘要:随着移动通信的发展,对天线测试的效率要求越来越高,但天线测试的效率受制于其测试原理。为了提高测试的效率,同时保证测试结果的准确性,决定引入分集技术的概念。在对分集技术进行实用化论证后,对现有的测试系统进行了改造。改造后的测试结果表明,采用分集技术可以大幅提高测试效率,同时保证测试的准确性,具有良好的技术发展前景和经济效益。

关键词:天线测试;分集技术;空间分集;远场测试

中图分类号: TN929.53

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016091

Efficiency improvement of antenna testing based on diversity technology

AN Shaogeng, FANG Yuliang, CHEN Lin

China Telecommunication Technology Labs, China Academy of Telecommunication

Research of MIIT, Beijing 100045, China

Abstract: With the development of mobile communication, the efficiency of the antenna test demand is higher and higher, but antenna test efficiency is subject to the testing principle. In order to improve the test efficiency while ensuring accuracy of test results, the concept of diversity test was introduced. After argument and research, the test system was reformed. The test results show that the test method of diversity ensures the accuracy of the test, and the test efficiency has been greatly improved, and it has a good technical development prospects and economic benefits.

Key words: antenna measurement, diversity technology, space diversity reception, far field measurement

1 引言

天线测试在生产厂商的产品研发、质量控制等环节有着非常重要的作用。在运营商选型和采购的环节,天线测试更是衡量天线产品质量唯一的手段。面对目前快速发展的天线测试需求,如何在确保高测试质量的情况下提高测试的效率,成为了第三方实验室研究的一大方向。本文分5个部分,重点介绍了天线测试的重要性;目前天线远场测试的原理和影响效率的主要因素;分集概念的引入;仪

表设备改造和改造前后测试精度的对比。

2 天线测试的重要性

移动网络覆盖的质量对于无线通信的性能来说非常重要。而网络的覆盖,除了基站等主设备按照设计要求产生基站信号外,还需要将信号均匀地发射到日常生活工作的环境中。天线作为无线网络系统中电流与电磁场转换的装置,其性能优劣至关重要。天线对电流转换的效率和转换产生的电磁场的波形是评价其产品质量的两个重要指



标。如果这两个指标与设计值相比出现了较大的偏差,对网络将产生严重影响,可能会造成网络信号覆盖不足,也会造成多小区重叠覆盖,从而造成网络质量下降。因此,网络性能和天线质量有着紧密的联系^[1]。

无线网络在设计初期,对于覆盖的要求是理想化的蜂窝结构。在实现过程中,需要使用站点选址、天线架设、路测、网络优化等各种手段来确保实际的网络情况与设计的尽量保持一致。在这过程中,对于天线的使用,是按照产品的标称技术指标进行的。如果天线实际的性能与标称的指标不一致,没有达到预期的效果,在网络使用过程中将会出现很多问题,待发现问题后,再进行弥补,将会费时、费力、费成本。因此在天线上塔之前进行质量的保证,对于无线网络的组建是非常重要的。

鉴于天线质量对网络的重要程度,各大网络运营商和生产厂商对此都高度重视。产品选型、集中采购、到货检查等各个阶段都制定了详尽的测试计划,以保证即将上网使用产品的性能。而生产厂商则通过提高产品设计方案、制作工艺和生产材料等级等方案提高产品质量,并在产品的生产过程中,对天线的电路参数等一些技术指标进行全检或抽检,以提高产品质量,杜绝不合格产品出厂。

目前对天线质量的控制,最主要的手段就是抽样检测。检测的内容主要有电路参数、辐射参数以及环境可靠性。其中,辐射参数的测试对于实验室测试系统、测量技术、人员素质和测量方法的要求最为严格。

3 天线远场测试的原理及影响效率的因素

目前天线辐射方向图的测试手段大致分为两种:一种是远场法测试,在满足被测天线远场距离的测试场里,进行扫描测试,记录天线在各角度上接收到的电平值;另一种是近场法测试,通过电场探头,在距离被测天线若干个波长的距离上进行扫描测量,记录所测量到的幅度和相位,再经过数学公式变换,转换出在远场距离下的天线方向图。本文中所讨论的天线测试方法是基于远场的。远场条件的计算式为:

$$S \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (1)$$

其中, D 为被测天线的口径, λ 为测试频率的波长。

通过式(1)计算出相应频率和尺寸的天线产品所需的距离,在满足此距离要求的场地上进行天线的扫描测试^[2]。远场法测试的结果是最直接、最接近实际使用情况的,方

向图直接反映了产品的辐射性能。而在测试速度、效率等方面则受测试系统机械部分的制约,其精度和速度是相互影响的两个重要因素。传统的远场法测试需要调整发射天线的极化与接收天线一致或正交,并且在各种方位下做360°的扫描,以取得相应切面上的角度幅度值。通过角度和幅度的对应关系,形成天线的方向图,并计算出相应的指标,对天线的性能进行判定。通常一根天线测试需要进行至少6个切面的扫描,才能够达到满足所有指标要求的测试。而扫描的速度,则根据扫描频点的数量多少而不同,如果要求的频点数目多,一个切面的扫描时间可能会长达10 min。一个固定下倾角天线的测试时间在1 h左右,而对于电调天线,一根天线的测试时间将会超过3 h。

相比之下,近场法测试中,电场探头在接收到电信号的幅度和相位后,还要带入复杂的公式进行计算,生成模拟远场情况的方向图,结果受很多因素的影响,可能与实际的远场方向图会有很大的偏差。但在测试速度上,近场法可以在几分钟之内完成天线多个频点上的3D方向图^[3]。相比之下,测试效率更高。

目前各种天线测试的需求越来越多,从天线生产厂商的认证测试,到运营商的选型、集采及到货抽检等测试。采用传统的测试方法已经无法完成巨大的测试需求。对此,必须在保证测试精度的情况下提高测试的速度。

通过网络分析仪方案进行远场法测试的系统组成如图1所示。

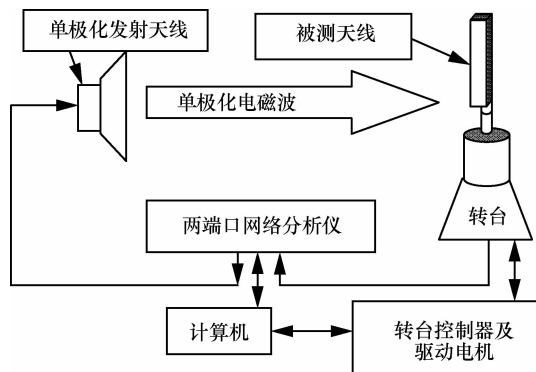


图1 采用网络分析仪的单发单收测量系统示意

由图1可见,由两端口网络分析仪输出单路扫频信号,通过单端口单极化发射天线向空间辐射扫频信号,接收端多端口被测天线将接收到的信号经过配备单通道关节的转台传送至矢量网络分析仪的输入端,在计算机及转台控制器的组合控制下实现对被测天线的旋转控制,实现360°空间中电磁波信号的连续不间断数据采集。

4 分集技术概念及其在天线测试中的应用

为了提高测试效率,已经将信号源接收机测试升级为网络分析仪测试,将以前单频点扫描变为全频段多频点扫描,测试时间有了成倍的缩短;同时,如何继续提高效率,成为目前要解决的问题。经过长期考察和经验积累,将突破点放在空间分集测试方面。分集的概念在通信中应用广泛。分集技术的核心原理为分散发射、集中接收。而分集的手段又包括空间分集、极化分集、频率分集、时间分集和码域分集等方面^[4]。

在天线的远场测试方面,已经采取频率分集的方式,将测试效率提高了 n 倍(n 为网络分析仪设定的频点数),在双端口天线的测试过程中,每个端口都需要按照表 1 中的顺序进行 6 次扫描测试,按照发射端和接收端极化和图形切面方式的组合形式列出。

表 1 单发单收测试情况

接收端	发射端		切面方位
	+45°极化	-45°极化	
+45°端口	(1)水平面(主极化)	(2)水平面(交叉极化)	H 面扫描
	(3)垂直面(主极化)	—	E 面扫描
-45°端口	(4)水平面(交叉极化)	(5)水平面(主极化)	H 面扫描
	—	(6)垂直面(主极化)	E 面扫描

由表 1 可见,在发射端+45°极化发射的状态下,+45°端口进行了表 1 中状态(1)的测试,在相同的状态下,-45°端口也会进行表 1 中状态(4)的测试。

同理,在发射端-45°极化发射的同时,两个接收端口

也进行了表 1 中状态(2)和状态(6)的测试。极化分集在天线的测试系统中指某一极化集中发射,被测天线两个或多个端口分散接收,利用线极化电磁波正交相关性为零的特性,相互垂直的两组振子接收到的信号相互之间没有影响^[5]。从而可以在同一时间内采集两个相互正交极化端口的数据,成倍提升测试速度。

如果能够在同一时间采集±45°端口的电平数据,就可以将表 1 中状态(1)和状态(4)的测试放在一起,同样状态(2)和状态(6)也可以压缩为一个状态。

这种测试模式与原先单发单收的原理是相同的。在被测天线围绕上方位轴进行 360°旋转时,任何角度坐标状态下都会有主极化和交叉极化两个电信号同时被测量和记录。而这两个信号的电平对应同一个角度坐标,这样再做最终数据处理时,角度电平采集所带来的误差就会小很多。

压缩后的测试模式见表 2。

由于接收端的双端口可以同时接受两路信号,所以在接收端减少一个排列组合。由此,组合可以将表 1 的 6 个测试状态压缩为表 2 中的 4 个。在测试时间上可以减少到以前的 2/3,同时增加了两个端口垂直面的交叉极化性能指标。而发射端还是采用集中发射的模式。如果进一步对发射端进行改进,如增加信号链路、改造发射喇叭、由集中发射演进成分散发射,理论上效率还可以得到成倍提高。

如果更进一步,将测试系统中的发射天线升级为双端口双极化发射天线,接收端也是双端口一同接收,测试情况见表 3。

由表 3 可见,由于发射段的排列减少为一个,配合接收端一个组合,在这种情况下,一幅双极化基站天线只需

表 2 单发双收测试情况

接收端	发射端		切面方位
	+45°极化(S1)	-45°极化(S1)	
双端口 (+45°端口 S3) (-45°端口 S4)	(1)+45°端口水平面(主极化 S13)	(2)+45°端口水平面(交叉极化 S13)	H 面扫描
	-45°端口水平面(交叉极化 S14)	-45°端口水平面(主极化 S14)	
	(3)+45°端口垂直面(主极化 S13)	(4)+45°端口垂直面(交叉极化 S13)	E 面扫描
	-45°端口垂直面(交叉极化 S14)	-45°端口垂直面(主极化 S14)	

表 3 双发双收测试情况

接收端	发射端		切面方位
	+45°极化(S1)&-45°极化(S2)		
双端口 (+45°端口 S3) (-45°端口 S4)	(1)+45°端口水平面(主极化 S13);+45°端口水平面(交叉极化 S23)		H 面扫描
	-45°端口水平面(交叉极化 S14);-45°端口水平面(主极化 S24)		
	(2)+45°端口垂直面(主极化 S13);+45°端口垂直面(交叉极化 S23)		E 面扫描
	-45°端口垂直面(交叉极化 S14);-45°端口垂直面(主极化 S24)		



要转台进行两次 360°扫描即可完成所有测试。测试效率得到了一倍的提高。

5 分集概念的实施及测试系统的改造

实验方法经过论证后,进入实现方案阶段。在单发单收的基础上,经过反复论证,结合实际情况,选择了单发双收的方案进行升级。这个方案的特点是发射端不需要任何改动,只需要在接收端进行双收的升级即可。

网络分析仪作为测试的基础仪表,双端口的网络分析仪已经无法满足测试的需要,最终选择了一块 4 端口网络分析仪,其不仅能够满足目前单发双收的测试方案,也能够未来满足双发双收的测试方案。

除了测试仪表,测试系统的链路搭建也是一个关键环节。双收的方案重点是双路接收信号的传输。单发单收的测试系统中,在接收端转台上使用传统的单通道旋转关节即可满足测试的需求,而双路接收状态下的双路电信号则需要使用双通道的旋转关节进行传输,以保证转台的连续性。双通道方案与单通道相比,不仅需要稳定的链路,还需要两个通道之间的低相关性,在技术指标上表现为两个信号通道之间的高隔离度。在天线测试中,前后比等指标要求通常在 25~30 dB,这就要求测试系统的动态范围大于 30 dB,链路之间的隔离度也应满足系统最低要求,即信号通道之间的隔离度要大于 30 dB,否则将会影响天线测试方向图中一些硬性指标的要求,从而影响测试结果的判定。

在实际系统改造过程中,经过多方面考察和比较,选择了进口某品牌的双路旋转关节。此类旋转关节在通信频段内能够保证低损耗(双路均小于 1 dB)和高隔离度(大于 30 dB)的链路。

在网络分析仪的购置过程中,先后考察了两家专业仪表公司生产的类似功能产品。经过全方面的比价后,选择了其中一家公司的 5071C 产品,此网络分析仪可以定义任意两端口的发射和任意两端口的接收。在测试调试时,选择 3 号端口进行信号发射,1 号和 2 号端口进行信号接收。其中,1 号定义为+45°端口,2 号定义为-45°端口。

另外,由于双端口的旋转关节相比传统单端口旋转关节在体积方面有了显著增加,无法在原有转台的基础上安装,为此对接收端的转台进行升级,在适应大型双端口旋转关节的同时,也增加了承重等指标。改造后的系统连接如图 2 所示。关键的两个改造点就是 4 端口网络分析仪和接收端两条通路的设计和施工。

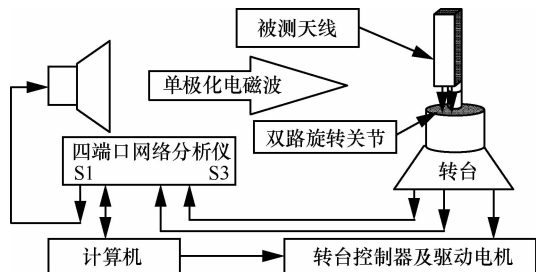


图 2 采用网络分析仪的单发双收测量系统示意

6 传统测试方案与分集测试方案的结果比较

系统改造完成后,为了能够客观地对新系统进行评估,选取了一副双极化天线进行辐射指标的比对测试,测试指标包括增益、前后比、横向交叉极化比、 $\pm 60^\circ$ 交叉极化比等。测试结果见表 4~表 7。

在增益测试中,改造前后的差值在 ± 0.5 dB 之内,满足天线测试判定的要求,在正常测试不确定度范围以内。说明在改造过程中,多端口网络分析仪的特性完全满足增益

表 4 增益比较

频率/MHz	改造前增益/dBi	改造后增益/dBi	差值/dBi
880	14.85	14.38	0.47
895	14.60	15.01	-0.41
910	14.66	14.23	0.43
925	14.67	14.41	0.26
940	15.42	14.99	0.43
960	15.11	15.36	-0.25

表 5 前后比比较结果

频率/MHz	改造前/dB	改造后/dB	差值/dB
880	33.33	30.73	2.50
895	35.36	33.85	1.51
910	32.59	32.55	0.04
925	32.76	30.36	2.4
940	33.25	31.12	2.13
960	31.19	28.73	2.46

表 6 轴向交叉极化比比较结果

频率/MHz	改造前/dB	改造后/dB	差值/dB
880	27.12	28.62	-1.5
895	22.98	20.77	2.21
910	24.21	22.79	1.42
925	27.95	30.51	-2.56
940	27.87	26.97	0.90
960	24.29	26.58	-2.29

表 7 ±60°交叉极化比比较结果

频率/MHz	改造前/dB	改造后/dB	差值/dB
880	19.94	20.28	-0.34
895	17.92	15.65	2.27
910	17.41	15.46	1.95
925	19.01	16.46	2.55
940	20.25	17.87	2.38
960	14.95	13.89	1.06

测试的精度要求,而两条接收链路的设计以及实现,对增益测试的影响非常微小。

前后比的测试结果差距在 2.5 dB 以内,说明差距在 2 倍以内,满足测试要求,不影响结果判定。轴向交叉极化比在 20 dB 以上,动态范围需要在 100 倍以上,差异在 3 dB 之内,满足测试要求,不影响测试结果判定。

以上指标需要叠加两次旋转测试的结果,而且都涉及主信号与背向小信号或交叉极化小信号进行比较的过程,因此差异比增益和角度指标的差异要大一些,但在测量不确定度范围内,而且对判定不产生任何影响。水平波瓣宽度和垂直波瓣宽度的改造对这几个指标没有影响,比较结果见表 8、表 9。

表 8 水平波瓣宽度比较结果

频率/MHz	改造前	改造后	差值
880	66°	66°	0°
895	64°	64°	0°
910	64°	64°	0°
925	65°	64°	1°
940	64°	63°	1°
960	62°	61°	1°

表 9 垂直波瓣宽度比较结果

频率/MHz	改造前	改造后	差值
880	17°	17°	0°
895	16°	17°	-1°
910	17°	16°	1°
925	17°	16°	1°
940	16°	16°	0°
960	16°	16°	0°

水平波瓣宽度和垂直波瓣宽度的差值最大都只有 1°,满足测试判定要求,系统的稳定性很好,多端口网络分析仪在相同时间内,数据采集量是双端口网络分析仪的两倍,能够满足双路接收的要求,改造对此项结果没有任何影响。

7 结束语

本文采用分集概念,进行单发双收方式的天线远场

测试系统改造,测试效率得到了成倍提高,基本达到远场测试法的极致。而双发双收的测试方案由于发射端天线分集性能差暂时无法实现,后续将进一步进行研究和探索。

参考文献:

[1] 路怡, 李志强, 邹飞非. 移动通信网络干扰与基站天线的关系研究[J]. 移动通信, 2011, 35(1): 43-47.
LU Y, LI Z Q, ZOU F F. Research on the relationship between mobile communication network interference and base station antenna mobile communication [J]. Mobile Communications, 2011, 35(1): 43-47.

[2] 薛锋章, 杨林. 移动通信基站天线远场测量最小距离准则[J]. 移动通信, 2013(17):55-59.
XUE F Z, YANG L. Minimum distance criterion for far field measurement of mobile communication base station antenna, mobile communication [J]. Mobile Communications, 2013(17): 55-59.

[3] 张福顺, 焦永昌, 毛乃宏. 天线近场测量的综述[J]. 电子学报, 1997(9):74-77.
ZHANG F S, JIAO Y C, MAO N H. An outline of near field antenna measurement[J]. Acta Electronica Sinica, 1997(9): 74-77.

[4] 王华奎, 张立毅, 李鸿燕. 移动通信原理与技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
WANG H K, ZHANG L Y, LI H Y. Principle and technology of mobile communication [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.

[5] 周峰, 高峰, 张武荣, 等. 移动通信天线技术与工程应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2015: 11-12.
ZHOU F, GAO F, ZHANG W R, et al. Antenna technologies and applications in mobile communication system [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2015: 11-12.

[作者简介]



安少庚(1979-),男,中国信息通信研究院泰尔实验室工程师,主要研究方向为天线测试、电磁兼容测试。

房育良(1988-),男,中国信息通信研究院泰尔实验室工程师,主要研究方向为天线测试、电磁兼容测试。

陈林(1983-),男,中国信息通信研究院泰尔实验室助理工程师,主要研究方向为天线测试。