

文章编号: 2095-4980(2017)05-0807-05

天线远场调试测量方法

王 虎, 张译苒

(中航工业雷华电子技术研究所, 江苏 无锡 214063)

摘 要: 天线研制、生产过程中, 天线调试是一项重要工作。本文将天线测试和调试进行了一体化研究。详细研究了天线测试系统、测试环境、天线调测方法等, 给出了具体的天线远场调测系统, 并经试验验证了所研究的天线远场调测方法的合理性与可行性。

关键词: 天线测试; 远场; 天线调试; 天线

中图分类号: TN820.1⁺2

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201705.0807

Far field debugging and test methods for antenna

WANG Hu, ZHANG Yiqian

(AVIC Leihua Electronic Technology Research Institute, Wuxi Jiangsu 214063, China)

Abstract: Debugging is an important work in the development and production of antenna. In this paper, an integrated research is performed on testing and debugging of antenna. The antenna test system, test environment, and antenna debugging methods are studied in detail. A specific antenna far field measurement system is put forward. It is verified by experiment that the proposed antenna far field debugging method is reasonable and feasible.

Keywords: antenna test; far field; antenna debugging; antenna

天线测试场是进行天线测试的场地和设备系统的总称, 科研阶段需要用它对天线设计进行验证, 生产阶段需要用它检验天线指标是否合格, 因此天线测试场对天线科研生产非常重要。天线测试远场可以不经换算, 直接测试天线的远场性能, 测试方法简单, 结果直接, 是一种常用的天线测试场。现有文献资料大多侧重介绍远场某一具体技术解决方法, 对如何进行完整远场方案设计介绍相对较少; 而且一般天线测试场侧重把待测天线看作“黑盒子”进行天线测试, 对天线需要在测试场通过调试来修正其性能时, 调试效率不高。本文通过研究远场方案设计时对远场各部分需要考虑的因素, 给出一个具体的远场方案设计, 其中特别提出完成天线调试的能力并给出一个调试功能方案设计。

1 天线测试和调试需求

根据使用需求, 某天线(副瓣 >-35 dB)测试场需完成天线测试和天线调试。天线测试需求见表1。

表1 天线测试需求
Table1 Antenna test requirements

antenna size/m	frequency range/GHz	directional patterns	test index	sidelobe accuracy/dB	gain accuracy/dB	angle accuracy/(°)
≤ 1	$1 \leq f \leq 12$	azimuth pattern, elevation pattern	main lobe width, sidelobe, zero depth, far sidelobe, gain	± 0.5 (no reflections)	± 0.5 (all factors in total)	± 0.01

天线调试需求: 当天线指标不合格时能够进行调试。调试时天线维持所需工作状态, 采取调试措施时能实时得到调试所需数据。

2 测试场方案设计

根据天线测试和调试需求, 合理选取测试方法和测试场地并搭建测试系统。由于近场测试不能实时观测天线

的远场分布变化,无法满足调试要求,根据条件,决定采用等高远场^[1]、待测天线接收测试方式。系统组成如图 1 所示。

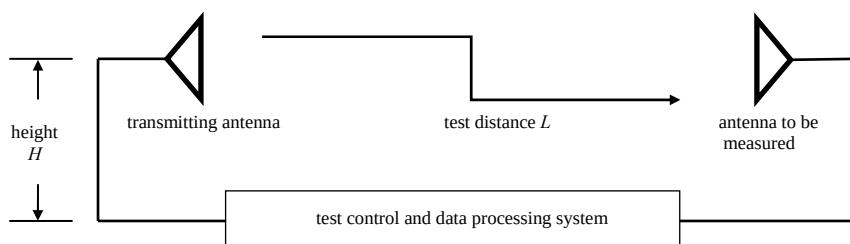


Fig.1 Diagram of far field with equal height
图 1 等高远场示意图

根据天线测试精确度要求,得到测试场电磁波指标要求^[2],见表 2。

计算出所需测试场电磁波需求后,进行测试场各部分详细方案设计,这其中主要包括测试场选择、测试场发射端、测试场接收端、测控系统等方面的设计,各部分设计时应考虑的因素如下。

表 2 测试场电磁波指标

Table2 Far field electromagnetic wave indexes(on antenna front)		
amplitude change/dB	phase change/(°)	reflected signal/dB
≤0.25	≤14	<-60

2.1 测试场地设计

测试场地需考虑的因素包括场地大小、测试高度以及场地环境。

2.1.1 场地长度设计

考虑有限距离测试对测试结果的影响^[3],根据待测天线中心和边缘电磁波相位差不大于 14°的要求,计算最小测试距离 L (见图 1)^[4]:

$$L \geq \frac{2\pi D^2}{8\lambda\phi} \quad (1)$$

式中: D 为待测天线口径; ϕ 为要求的最大相位差; λ 为工作频带内最短工作波长。经计算,距离约为 130 m。因此场地距离应大于 130 m,但也不能太远,否则会造成低增益天线测试数据波动大。

2.1.2 测试高度计算

高度(见图 1)要求是为了保证信号传输和减少反射。测试高度应该满足以下要求^[5]:

$$H_1 \geq \tan \frac{BW_0}{2} \quad (2)$$

$$H_2 \geq 4D_1 \quad (3)$$

式中: H 为天线架设高度; D_1 为被测天线垂直口面直径; BW_0 为发射天线垂直面零功率点波束宽度。

本测试场最大测试天线直径为 1 m,根据能得到的发射喇叭天线(发射端波束垂直面削波后),由式(2)~(3)计算, $H_1 \geq 28$ m, $H_2 \geq 4$ m。所以建设高度不能低于 28 m。

2.1.3 场地宽度

除了场地长度、测试高度需满足测试要求外,还要考虑场地宽度,场地宽度不能低于高度要求。

2.1.4 场地环境考虑因素

场地环境包括四周环境和场地中间环境,是场地选择的重点。场地四周应该无强反射物体、高大物体或建筑物影响测试;要保证发射和接收之间不能有任何障碍物影响电磁波直线传输;场地中间地面反射小或者地面反射不影响测试,如果有无法避免的反射,应想法消除,无法消除的场地不予考虑。

场地电磁环境应该受气候变化,如风、雪、光照变化等影响小,以保证测试稳定。

场地环境还要考虑场地位置应该交通方便,建设方便,建成以后工作使用方便;发射接收端之间不会有人流或物流活动,以保证辐射安全和测试精确度。

2.2 发射端设计

发射端是测试信号来源,产生所需的测试电磁波。发射端设计考虑因素包括:发射端空间需求、发射信号源、发射天线、发射天线极化控制、远程控制需求、发射端反射要求、仪器工作环境要求等。发射端设计见图 2。

发射端空间应该能满足仪器设备安装和人员工作要求,预留更换发射天线及工装放置处,并留有余地。

发射端要求发射信号源的信号频率范围、信号功率范围、信号波形满足要求。选择安捷伦微波信号源 E8257D 作为发射信号源。

发射天线需考虑工作频带、增益和波束形状和安装要求。宽带宽波束天线反射强,抛物面天线对工装要求高,考虑采用已有喇叭天线发射,其工作频带、增益满足测试要求;发射天线波束横向幅度锥削满足要求。发射喇叭天线波束垂直面宽度较宽,需采取削波措施满足锐形波束要求。

发射天线极化控制要求发射天线必须和待测天线极化一致。在发射端安装 1 个小圆极化转台,控制发射天线极化。

为工作高效、简便,需对发射端仪器设备进行远程控制。由于距离较远,采用电信号远程控制需中继,建设复杂,远程控制采用光纤连接发射端和控制室。

发射端要求不能有反射信号进入直射波束,反射信号来源于发射天线的发射信号扩散。在发射端建立暗室吸收反射,在发射室发射开口进行吸波处理。

发射端仪器设备技术指标的稳定需要有稳定的环境,而设备长时间工作散热和气温四季变化不利于仪器稳定可靠地工作。因此设计将发射仪器设备装入机箱,箱内安装空调以提供稳定可靠的工作环境。

2.3 接收端设计

接收端是控制室和待测天线所在,因此所需考虑的因素最多、最复杂,包括接收端工作布局、接收端仪器设备、测控系统、接收暗室等。接收端设计见图 3。

2.3.1 接收端布局

接收端布局首先考虑满足测试要求,在此基础上再考虑额外需求。为减少测试时的人为影响并考虑电磁安全,接收端分为两部分:一为放置待测天线的接收室;二为测试人员工作的控制间。天线测试调试时额外会产生一些空间需求如临时装配、天线部件测试、临时存储等。另外还要考虑配套设备间,如所需电源、冷却设备、送风设备等安装处。所以额外布置一些天线工作需要的现场临时存贮间、装配间、测试间、配套设备间等。

2.3.2 接收端仪器设备设计

接收端仪器设备包括转台及配套仪器设备、天线测试相配套仪器设备。

转台及配套仪器设备包括台体和相应的控制、驱动部分。测试场要完成天线方向图增益测试,需要转台带动天线按所需方式旋转,对于本文的线极化天线只需测试其水平、垂直 2 个主极化方向的方向图,因此采用一维方位转台。对转台需考虑转向、转速、最大转角、角度精确度、承重能力、工装安装方式、控制方式等因素,本文要求是定制的。

天线测试相配套仪器设备包括天线测试采用外混频法和相参测试法所需的仪器设备。外混频法可得到较大的测试动态范围,测试时信号由安捷伦 85320A 混频器把天线工作的射频信号转变为中频信号,送入安捷伦 85309A,最后送入矢量网络分析仪读出数据,以安捷伦 E8257 微波信号源作为本振源。信号频带以外的干扰信号,主要是通过测试系统滤波器来抑制。采用相参测试法(参考天线法)以排除源端信号的不稳定,参考天线采用标准增益测试喇叭天线。

接收端还应配备满足天线、仪器设备、人员工作所需的设备,如空调、液冷、电源等。

2.3.3 测控系统设计

测试控制系统是指整个系统控制部分,包括自主设计的软件和控制连线。测试控制处理包括 3 部分:转台控制部分、发射天线控制部分、天线测试和数据处理部分。

转台控制部分负责对转台进行转向、角度和转速控制,根据系统要求控制转台转动起始角、转速、终止角,

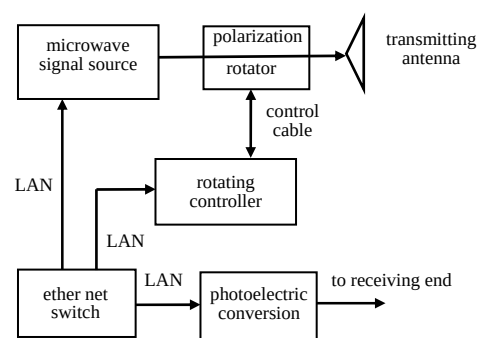


Fig.2 Design of transmitter end
图 2 发射端设计

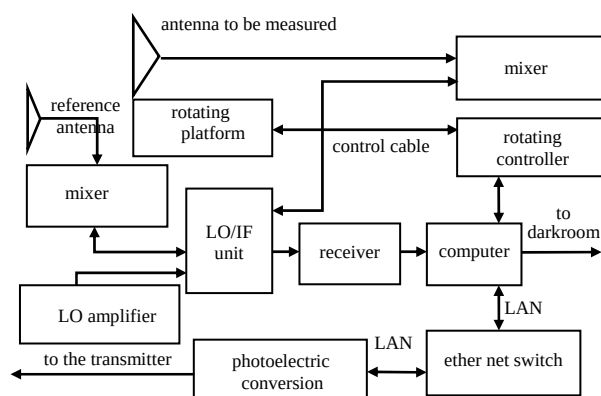


Fig.3 Design of receiver end
图 3 接收端设计

并把相应的角度信号传递给系统。转台控制设置参数为起始角、终止角、转速、角度采样间隔。

天线发射信号控制部分远程控制发射天线的极化、发射信号频率、发射功率。参数设置为极化角度、发射信号频率、发射功率。

天线测试和数据处理部分包括天线测试和测试完成后的数据处理部分, 天线测试设置参数有: 天线型号、编号、极化、频率、本振功率、多测试通道等参数, 测试时以曲线方式实时显示角度、测试值。数据处理部分包括测试数据, 以 TXT 文件类型存贮, 数据处理时采用 DVD 图像格式或 EXCEL 报表形式显示测试曲线, 自动计算所选天线指标。

所有参数设置时, 有相应的反馈以保证参数设置正确。

2.3.4 接收暗室设计

为了抑制反射波, 接收室为一个半开口暗室, 接收暗室的建设考虑以下几点要求:

暗室应避开阳光直射到待测天线, 夏季阳光直射会引起某些天线指标变化, 为此增加暗室纵深。为了防止反射, 暗室开口应尽可能小, 同时为了防止开口处电磁波绕射到天线, 开口边缘到待测天线垂直距离应不小于 0.5 m。暗室开口需铺设吸波材料防止电磁波在暗室开口反射到待测天线上。

暗室形状需有对称中心(即天线放置处)以利于暗室内各方反射互相抵消。因为待测天线直径为 1 m, 设计静区长宽高均为 2 m; 考虑吸波材料铺设空间、仪器设备架设空间和人员活动空间, 设计暗室为矩形, 纵深大于宽度, 暗室为宽 5.5 m, 高 5.5 m, 纵深 7.5 m。

因为要求暗室反射水平低于 -60 dB 以上(场地地面反射另行处理), 暗室墙壁、设备、设施设计铺设吸波材料以减少反射。根据吸波材料性能和暗室反射状态, 背面墙选择频率为 1 GHz 时反射低于 -60 dB 的吸波材料, 对其他墙面的要求可以稍微降低。

由于测试间附近有强电场, 天线接收信号辐射很强, 考虑测试人员安全, 暗室墙壁加金属屏蔽, 暗室地面和墙壁做防静电设计, 地线连成一个整体, 留好各种强弱电引线孔。

暗室还应考虑天线工作、测试所需配套, 预装管路、管线, 如电源、冷却系统、安装、运输、起重葫芦等。

2.4 天线调试能力设计

一个功能完善的测试场不应只是一个鉴定场, 仅完成所需的天线测试, 得出天线性能指标, 有时还能方便高效地对天线进行调试, 修正其不合格指标。现有的测试系统包括进口系统, 其主要出发点是满足高效测试需求, 对调试需求并不重视。比如当波导缝隙天线副瓣不合格时, 需要在天线上贴电性能调整条调试副瓣。为提高调试效率, 希望能实时显示贴上调整条后天线数据的变化, 以便立即调整调整条。而一般测试系统在转台停止旋转时并不测试数据, 所以做不到实时显示数据变化, 只能重新测试方向图, 这样调试效率很低。有时为了实验对比天线不同状态下如不同发射功率、不同本振功率等的性能差别, 需要单独改变测试系统某一仪器设备参数设置, 而现在系统为了提高测试效率, 往往简化测试设置, 不同仪器参数设置联动, 无法单独改变某一仪器设备参数。因此本远场设计方案针对调试能力薄弱进行优化, 为了满足天线调试需求, 对测试场进行以下特殊设计。

转台设计为具有自动和手动模式。调试时, 转台工作在手动模式, 便于调试人员根据需要通过旋转摇柄转动转台调整天线角度。手动转动转台时, 在暗室实时显示转台的角度和天线测试值。

测控系统设计为能够因调试所需对任一仪器进行单独控制和设置参数。测控系统能随时停止转动转台, 停止时已测数据不丢失, 测控系统继续测试停止角度的测试值, 但不存储, 以作调试分析。测控系统为双路显示输出, 一路作为测控所用, 另外一路输出到暗室为调试所用。

暗室还应能扩展测试, 留有扩展空间, 必要时能测试天线多种类型数据, 如驻波、衰减、相位、功率等, 允许外扩接测试仪器而不增加暗室反射。因此暗室为调试所需布置一些仪器柜, 仪器柜能在需要时放置需要的调试仪器, 仪器柜前面、顶面铺设吸波材料以减少反射。

仪器柜同时也是调试人员上下阶梯, 暗室升降不采用升降台是因为升降台虽然能不破坏暗室电磁空间结构, 但存在安全性、工作不便、上下效率很低等问题。本方案中暗室转台前安装长宽高为 3 m×1 m×1 m 的仪器柜, 转台侧面放置的仪器柜长宽高为 1.5 m×0.5 m×0.5 m。工作人员调试时站在转台前仪器柜上, 测控计算机测试数据显示仪器上仰 45°放在暗室侧面仪器柜顶面, 以保证天线前的调试人员能看见, 不用时放入仪器柜隐藏。暗室布置设计见图 4。

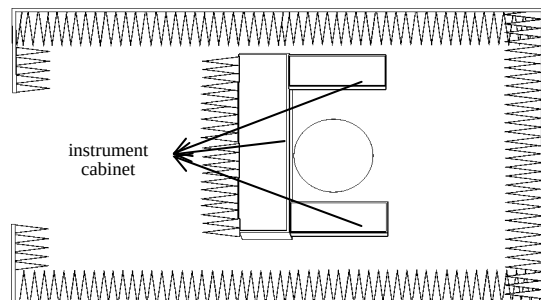


Fig.4 Layout of cabinet in darkroom
图 4 仪器柜布置

采用仪器柜后工作方便且增加的反射很低。

3 方案验证

按此设计方案修建的远场配备相应的仪器,能完成天线测试、调试、排故和校靶等工作,远场部分使用情况如图5、图6所示。测试场功能齐全,指标精确度好,工作方便高效,证明了该方案是合理可行的。



Fig.5 Test parameters setting
图5 测试参数设置

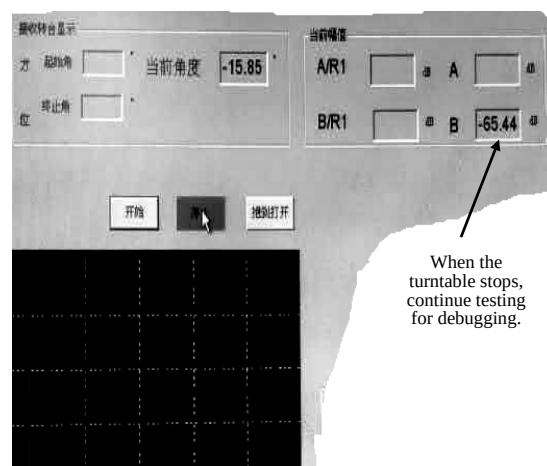


Fig.6 Reference for debugging
图6 调试时使用

4 结论

研究了天线远场方案设计涉及的场地环境、测控系统和调试测试方法等因素,并根据天线调测实际过程对调试的需求,设计了一个带调试功能的天线测试远场。该天线测试远场既能完成天线测试,又有较好的天线调试能力,满足多种使用需求,易于扩展使用范围,而不需要为满足不同需求对远场进行改造。方案设计考虑因素较为全面、详细,设计的方案具有良好使用性和较好实用价值,相关内容可以作为相应工作的参考。

参考文献:

- [1] 束咸荣. 相控阵雷达天线[M]. 北京:国防工业出版社, 2007. (SU Xianrong. Phased Array Radar Antennas[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007.)
- [2] 刘占毅. QJ2359-1992 低副瓣平板裂缝天线性能远场测试方法[S]. 1992. (LIU Zhanyi. QJ2359-1992 Methods of Far Field Measurement for Planar Waveguide-fed Slot Arrays with Low Sidelobes[S]. 1992.)
- [3] 周松林. 天线测试距离对测量结果的影响[J]. 电视技术, 2000(5):64-66. (ZHOU Songlin. Effect of antenna testing distance on testing result[J]. TV Engineering, 2000(5):64-66.)
- [4] 康行健. 天线原理与设计[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1993. (KANG Xingjian. Antenna Principle and Design[M]. Beijing:Beijing Institute of Technology Press, 1993.)
- [5] 束咸荣. SJ20884-2003 相控阵天线测试方法[S]. 北京:中国电子技术标准化研究所, 2004. (SU Xianrong. SJ20884-2003 Testing Method for Phased Array Antenna[S]. Beijing:China Institute of Standardization of Electronic Technology, 2004.)

作者简介:



王 虎(1973-),男,四川省资阳市人,工程师,主要从事天线调试工作.email:wanghu607@163.com.

张译英(1979-),女,重庆市人,高级工程师,主要研究方向为天线测试技术.