

基站天线的质量控制探讨

1 引言

基站天线是移动通信系统的重要组成部分,其质量的好坏直接影响整个无线网络的整体性能,只有天线质量得到有效控制,网络质量才有保证。基站天线的质量控制需通过对天线性能影响进行分析、研究,找出决定天线性能与质量的相关因素如天线结构、材料、工艺及装配水平等,并寻求保证天线高品质的相关方法。

2 影响天线质量的因素

天线质量主要由设计和制造水平限定,在优秀设计方案的前提下,天线结构、材料、工艺及装配水平等是天线性能的稳定性和耐用程度的保障。

总而言之,高品质、高质量的基站天线必须具备以下 3 个条件:

- 优秀的设计方案和先进的工艺;
- 良好的物料一致性和装配焊接一致性;
- 严格过程控制的流水化生产和性能检测。

3 天线生产质量控制及保障条件

天线生产质量需要一定的软件和硬件条件进行保障及控制,最终表征应是高效的生产效率及电路指标一次性达通率。研发、物料控制、生产过程控制、生产调测、电性能测试、环境与可靠性验证的软件和硬件条件都应有基本门槛。标志性指标如下。电路指标直通率(一次性达通率)指产品在不经调试时的指标合格率。该指标和辐射指标一致性结合,是对设计水平及生产过程质量控制能力最直接、最准确、最公正的结果导向评估。

单位时间产出天线的数量能够准确反映生产效率,单位时间产出天线的直通率能够准确反映设计和生产质量。

3.1 软件条件

(1)设计软件

优质天线的研发需要高效的电磁仿真软件、力学仿真软件及配套的超级仿真工作站。精确的电磁仿真软件、智能的后处理优化软件与力学仿真软件分别实现电磁场领域和天线结构力学领域的高效仿真和计算,为设计出电气性能指标优越、结构性能可靠的天线提供保证。同时,用于天线设计的电磁及力学仿真软件均需要顶级的仿真工作站与之配套。为了完成复杂的天线物理结构模型的麦克斯韦方程求解和结构力学计算,需要多 CPU 并行处理运算能力和海量内存的超级工作站。

(2)管理软件

质量控制涉及人、机、法、料、环，光靠人很难确保各项质量要求和措施的有效落实、执行，必须配备先进的管理软件工具，以实现信息的有效传递、问题的追溯和解决、文档及数据的归档和分析等。

(3)完善的生命周期质量管理体系

完善的生命周期质量管理体系是产品质量的有效保证，其在各个阶段（设计开发过程阶段，中式和小批量试制阶段、供应商管理及来料控制阶段以及生产过程控制阶段）均应有关键的程序文件、设计规范、输出文件等予以支撑。

3.2 硬件条件

理论研究及仿真设计需要通过实验测试来验证。同时，生产过程中来料与装配的一致性也需要严格的检验来保障。这些需要精确的机、电测试设备，如远场微波暗室或多探头近场微波暗室、网络分析仪、互调测试仪等，以及相关环境与可靠性试验设备。

保证批量产品的高品质必须抓住以下几个重要环节：冗余的工序输出、优质的物料控制方法以及严格的制程质量控制。

(1)冗余的工序输出

批量时，物料、装配等难以避免存在离散性，天线厂家要克服这些离散性对指标的影响，需提高生产输入的指标冗余度，确保批量生产高的指标一次达通率，避免调试、维修带来的质量下降。

天线是电气、结构、工艺高度结合的产品，除输出图纸、工艺文件等外，还需要一些必要的文件以指导供应商、IQC 及生产制造部门正确地生产和检验等。

(2)优质的物料控制方法

来料检验包括常规检验和深度检验，常规检验是指采用游标卡尺、目测等工具或方法对物料的尺寸、外观等进行检验。常规检验只能保证批量产品出厂时的电性能指标一致性。

如需保证产品可靠性和耐久性，则需配备必要的专业设备对来料的材质、工艺、镀层等进行深度检验。

(3)严格的制程质量控制——多重质量监督点

生产过程中，通过多重质量监督把控天线质量。

(4)严格的制程质量控制——部件生产必备的设备

经调试或返修后的天线，其电气指标，特别是三阶交调指标的稳定性将会大幅下降，从这个角度讲，天线不具备可返修性，且不可能对部件实现 100%检测。因此，必须有良好的工艺和设备保证关键部件的批量生产质量和较高的一致性。

4 天线性能测试

天线质量的好坏需要相应的测试设备进行验证，而天线测试主要涉及到电气测试和可靠性试验，电气测试又分为辐射参数测试和电路参数测试。其中辐射参数的测试对场地的要求极高，需要给予特别关注。辐射参数的测试方法可以大致分为远场测试、紧缩场测试、近场测试三类。理论上，任何一类测试方法都是正确的，都有可能实现准确的测试，但实际上由于各自硬件条件的限制、经费预算的限制以及对测试效率的期望，导致每一种测试方法所对应的实际系统会引入各自固有的测试误差，从而限制辐射参数测试的准确性。

4.1 远场测试

理论上远场测试可选室内或室外。室外由于环境电磁干扰大、建筑物多径反射大、难以全天候工作等诸多缺点，在经济条件许可的前提下逐渐被淘汰。室内远场测试是主流趋势。因为测试过程是最基本、最原始的天线原理：由发射天线发射一个参考信号，被测天线收到后，被幅相接收机接收下来。如果被测天线置于转台上同步转动，幅相接收机就可以收到不同角度来的接收信号，将接收信号与接收角度记录下来，画成方向图。

远场测试系统的误差来源主要有 3 个方面：室内收发天线之间的距离、室内空间的横截面尺寸、室内环境的整体反射电平。这些误差来源与经费预算密切相关，也与系统的设计水平相关。

(1)室内收发天线之间的距离

根据基本公式 $2 \times D \times D / \lambda$ ，收发距离如能达到 100 m，则可以满足所有移动通信天线测试，受造价限制，目前行业内无此条件。30~40 m 收发距离是折衷的选择，基本可以满足 90%以上的天线型号的测试。极少数大尺寸天线测试时部分指标将由此引入一定的测试误差。更小的收发距离的测试误差会逐渐大到不能接受。

(2)室内空间的横截面尺寸

理论上要求横截面的宽度和高度尺寸必须大于收发距离的 50%。比如 40 m 的收发距离，则横截面的尺寸应该大于 20 m 才符合天线原理，否则菲涅耳区的多径反射破坏接收静区的场的均匀性，无法实现准确测试。

(3)室内环境的整体反射电平

场地的尺寸大小、吸波材料的吸波能力、设计方案的优劣等都将集中反映到系统的整体反射电平，这个值基本上反映了远场测试误差的大小。根据用户对测试误差所能容忍的程度，可以推算出所需要的反射电平，从而指导远场暗室的基本设计要求。目前行业内能够做到的

反射电平的较好水平在 GSM 频段大致为-46~-41 dB，高于-40 dB 属于较差水平。根据这一情况，用户可提出切实可行的允许误差要求。

4.2 紧缩场测试

紧缩场测试对场地的尺寸要求比远场测试大致减小了一半，因此场地尺寸不是瓶颈。其原理是通过馈源喇叭照射到反射面上，反射面产生平面波照射到被测天线，从而节约测试空间。测试的接收机以及转台的记录原理则等同于远场测试，同样属于直接测试、直接记录结果，没有任何数据变换。

紧缩场测试的误差来源主要是反射面是否产生真正的平面波，包括幅度和相位，而且要求同一个反射面物理结构系统在各个频段产生平面波，其检测和验证方法和远场是一致的，可以在接收静区内测试场的幅度、相位的起伏以及整体的反射电平。为了达到高测试精度，反射面系统的造价和维护保养费用惊人，所以在移动通信行业中，国内没有，国外少见。紧缩场测试和远场测试的过程是直接的、透明的，场地精度的鉴定也是直接的、透明的，两者这一共同特点与近场测试不同。

4.3 近场测试

近场分为平面近场、柱面近场、球面近场。其原理是将被测天线用一封闭曲面包围，并将曲面上的近场探测出来，然后用天线原理中的近场与远场积分变换，推导出远场方向图。因此，任意的曲面测试都是符合原理的，平面、柱面、球面只是为了节省成本、简化操作的特例，都是可行的，而且业内主推多探头球面近场。

球面近场测试对场地的尺寸要求低，测试误差的来源与前两种情况完全不同。理论上来看，需要同一标准探头在同一瞬间“快照”出球面上任一点的近场幅相，有了正确的幅相数据，才有可能积分变换，反演计算出正确的远场。实际上，“快照”是不可能的：多探头是为了提高效率，但探头的性能并不一致；误差校准方法在理论上不可能完备；探头机械定位精度不可能完全与预期重合；转台转动的定位精度也带来误差。因为不能实现“快照”，功率放大器和接收机的热噪声，环境温度、湿度的变化等都会对近场测试的精度带来影响，作为反演的数据，最终影响到远场的正确性。另外，反演过程是不透明的、非公开的算法，软件允许主观加入不同可选开关项，目的是为了减小测试误差，但操作中受水平和经验的限制，不排除会引入额外误差。

近场测试的优点是测试效率高、能够测试出 3D 的方向图。其缺点是不能直接评估和鉴定出测试可以达到的精度。对于测试精度，有 2 种间接法可以考虑用于评估：一是在规定的静区球面内，平移被测天线的安装位置，重复测量幅度方向图，观察重复性，求出最大误差；第二是用被测天线在不同的场地验证比较，间接求证。

作者简介

卜斌龙

现任京信通信系统（中国）有限公司集团副总裁兼天馈事业部总经理，负责京信集团移

动通信基站及子系统天线产品研发与运营管理工作。

林学进

现任京信通信系统（中国）有限公司天馈系统事业部产品策划暨技术咨询室经理，负责公司移动通信基站及子系统天线产品策划及技术推广工作。