

# 智能天线发展方向浅析

姚美英 石家庄邮电职业技术学院  
李 明 河北省城乡规划设计研究院

**【摘要】**文章分析了智能天线在TD-SCDMA工程以及适应4G网络的需求方面所面临的挑战，提出了智能天线应朝着小型化、电调化、宽带化、与MIMO技术结合等方向发展，并对其发展中采用的技术进行了探讨。

**【关键词】**智能天线 小型化 电调化 宽带化 MIMO

## 1 引言

自从2009年开始大规模部署TD-SCDMA网络以来，中国移动已建成25万个TD-SCDMA基站。在网络建设中，作为TD-SCDMA基站重要组成部分的智能天线在工程方面遇到了诸多挑战：天线横截面积大、重量大，选址、运输、安装困难，天线下倾角调节难度大，网络优化需要闭站等。

而在TD-SCDMA部署刚满两年之后的2011年初，中国移动决定在6个城市组建TD-LTE实验网络，现已建立850多个基站。据悉，中国移动将在2012年建立10000~20000个TD-LTE基站。网络快速更新换代也对智能天线提出了挑战：智能天线如何与4G关键技术相结合，适应4G网络的需求？

## 2 智能天线发展方向

智能天线是多列取向相同的阵元按照一定方式排列

和激励，利用波的干涉原理形成预定波束的阵列结构天线，通过阵元信号的加权幅度和相位来改变阵列的方向图形，即自适应或以预制方式控制波束宽度、指向和零点位置，使波束指向期望的方向，实现对移动用户的波束跟踪，并自动地抑制干扰方向的副瓣电平。智能天线为了适应4G网络的需求，呈现出下列发展方向：小型化、电调化、宽带化、与MIMO（多输入多输出）技术结合。

### 2.1 小型化

智能天线面积大，群众普遍认为电磁辐射强度大，抵触情绪高，加上迎风面积大、固定难度高，造成选址、安装、调试困难，所以其小型化是首要发展方向。小型化方法有多种，比较典型的有：

（1）减少阵元数：将常规8阵元天线改为6阵元或4阵元天线。智能天线的性能与天线尺寸密切相关，减少阵元数将使天线垂直波束变宽，增益明显下降。在允许适当降低某些性能的情况下，可采用6阵元或4阵元天线。

（2）缩小阵元间距：TD-SCDMA系统工作的主频

收稿日期：2011-11-25

责任编辑：左永君 zuoyongjun@mbc.com.cn >>>

段是1880MHz~1920MHz和2010MHz~2025MHz，常规智能天线的阵元间距为波长的一半，约为75mm。将常规的75mm间距缩小到48mm，做成紧凑型天线，可以大幅度降低尺寸。如8阵元紧凑型天线宽度减小为398mm，是常规8阵元智能天线的62%。但是阵元间距的减小导致阵元间互耦增强、隔离度变差，天线赋形半波宽度变宽、增益下降。紧凑型8阵元天线性能稍差于常规8阵元天线，略优于常规6阵元天线。

(3) 采用双层阵元：把双层设计引入阵列设计中，将8阵元分两层排列，尺寸为常规8阵元天线的50%，达到常规4阵元天线的尺寸。双层排列天线的相邻阵元隔离度变差，阵元的波束宽度变化较大，赋形增益下降；而且由于单元波束差异较大，广播波束的权值设计与优化存在一定的难度；另外由于前层对后层的遮挡，隔离度变差，覆盖和赋形明显差于常规8阵元天线，整体性能介于常规6阵元和4阵元天线之间。

(4) 正交双极化设计：在常规单极化8阵元天线的基础上，用一组双极化辐射单元代替原有单极化辐射单元，在保持端口总数不变的前提下，阵列数量减少为原来的一半，达到减小天线宽度的目的。由于不同极化方向信道之间的弱相关性，双极化智能天线能够产生极化分集的效果，极化分集增益弥补因天线口径减少引起的天线增益下降，其波束赋形和跟踪功能与常规单极化8阵元天线水平相当，是目前TD网络建设的主力产品。

(5) 采用介质智能天线：介质智能天线是将介质天线和智能天线相结合而制造出来的几何尺寸较小的智能天线。由于电磁波在不同的介质中传播特性有所不同。因此采用低损耗高频介质作为填充材料，结合适当的天线结构，在选择适当形状、介电常数以及馈电方式的情况下，介质谐振器可以作为天线来使用。介质材料的使用不仅可以减小单个天线单元的尺寸，还可以减小天线单元之间的距离，从而大幅度减小智能天线整体尺寸（远小于双极化阵元智能天线），目前产品不多。

纵观其上，目前小型化的最佳方案是采用双极化阵元天线，未来或许会采用更小型的介质智能天线。

## 2.2 电调化

在馈电网络增加移相器做成电调下倾天线，改变馈入电波的相位，使天线主波束改变辐射方向。采用电调下倾天线不仅可以实现对天线的远程监控调整，解决呼吸效应，方便维护、优化，还可以解决预制下倾角小、机械下倾引起的方向图畸变和越区覆盖等问题。

使用机械下倾天线，下倾角度较大时，天线方向图严重变形，大幅增加扇区之间的重叠；尤其是蜂窝较小、天线架设高度较高的情况下，其基站辐射功率会覆盖到其他的基站，增加切换的概率。相反电调下倾天线能够均匀地下倾整个波束，减小覆盖范围，降低扇区切换率。二者对比如图1所示：

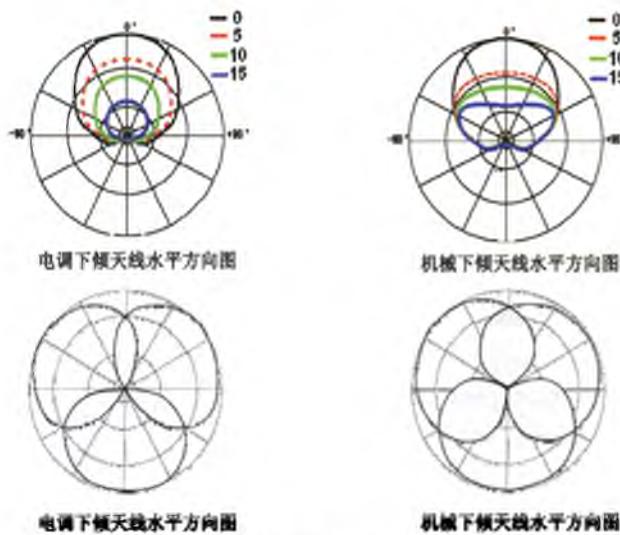


图1 电调下倾天线与机械下倾天线水平方向图对比

在进行网络优化、管理和维护时，若需要调整天线下倾角度，电调下倾天线系统无需关机，维护人员也不必爬到天线安放处，而是可以利用移动通信专用测试设备，监测天线倾角，实行远程监控调整，保证天线下倾角度为最佳值。电调天线调整倾角的步进为0.1°，远小于机械调整下倾角的步进。可见电调天线不仅维护方

便,而且精度高、效果好。

### 2.3 宽带化

宽带化可以为运营商节约系统的建设成本,不管主设备如何选择频段,天线都避免了更新换代、重复采购、浪费资源,还可以为网络系统的扩频升级做好准备,为TD-SCDMA网络向TD-LTE的演进奠定基础。目前TD-SCDMA和TD-LTE网络可用频段有3个: F频段, 1880MHz~1920MHz; A频段, 2010MHz~2025MHz; D频段, 2500MHz~2690MHz。工作频段覆盖F和A段或F、A和D段的天线已完全实现。

但在天线设计中遇到了新的难题。首先是水平维的天线阵元间距选取问题,阵元间距减小,阵元间互耦增强,隔离度变差,阵元水平方向图展宽;其次是垂直维下倾角精度的控制,由于F、D两端频带间隔较大,达到810MHz,同一组赋形权值难以同时满足高、低频的设计需要。为此,需要引入特殊边界技术、宽带馈电技术等,提高阵元间隔高度,改善垂直维下倾角精度。

有了支持多频带的宽频带天线,多系统可以通过合路器实现共天线,如图2所示:



图2 多系统通过合路器共用宽频带天线

支持多制式的宽频带天线可以解决同一站址天线太多、太乱的问题,达到简化天线安装和美化环境、节约站址安装空间和基站建设成本的目的。

### 2.4 与MIMO技术相结合

MIMO是LTE的关键技术之一,是指发送端和接收端均配备多根天线或天线阵列,将用户数据分解为多个并行的数据流,在指定的带宽内由多个发射天线上同时发

射,经过无线信道后,由多个接收天线接收,并根据各个并行数据流的空间特性,利用解调技术,恢复出原数据流。它利用多天线间形成的多个空间子信道的分集增益提高发送端与接收端之间的信道容量。

MIMO天线系统,频谱效率 $C=M\log_2(1+SNR)$  [bps/Hz],其中 $M=\min(\text{发射天线数}, \text{接收天线数})$ 。天线数增加一倍,频谱效率也得到倍增。如果将智能天线与MIMO技术相结合,系统能同时获得空间分集和空间复用增益。这样天馈系统不但能提供智能天线所带来的覆盖增益,还能通过MIMO技术获得 $M$ 倍的容量增益。

常规智能天线阵元间距为波长的一半,彼此之间存在很强的相关性。如果想与MIMO技术相结合,需要弱化天线间的相关性,可以从以下两个方向着手:

空间复用,需将天线尽量拉开距离,以满足较低的衰落相关性。衰落相关性依赖于天线间距和角度扩展(角度扩展即角度分布的标准差)。对于宏基站来说,基站端的角度扩展可能仅为几度。所以天线的水平间距拉远至 $10\lambda$  ( $\lambda$ 为波长)以上才能基本满足信道相关性的要求。

极化复用,可以采用两个相互垂直的极化方向来满足较低的衰落相关性,这些正交极化后的天线阵元彼此间的相关性很小,而且组合成的天线体积会相应缩小。

按照复用方法的不同,现有智能天线系统可以采用以下三种MIMO演进方案:天线拉远、智能天线空间分组拉远、双极化智能天线分组复用,如图3所示。

(1) 天线拉远,使用智能天线阵列中相距最远的两个阵元进行信号的发送,两端阵元的间距,决定了阵列所能取得的最大增益。在BS端,以智能天线的几个阵元中相差最远的两个阵元作为MIMO的2根天线;在MS端,采用2根天线,构成广义的2×2 MIMO系统。在这种方案中,智能天线阵列中除位于两端的两个阵元是被采用的之外,其余几个阵元是被虚置的。

(2) 智能天线空间分组复用,是在基站端采用智能天线,并将基站端智能天线的 $M$ 个阵元平均分成 $n$ 组,每组内阵元间保持 $\lambda/2$ 的间距,同时分组之间可以拉开一定的距离(通常是几个波长),以弱化相关性。此时每个分组可以近似看成MIMO系统的一根天线,与MS端的

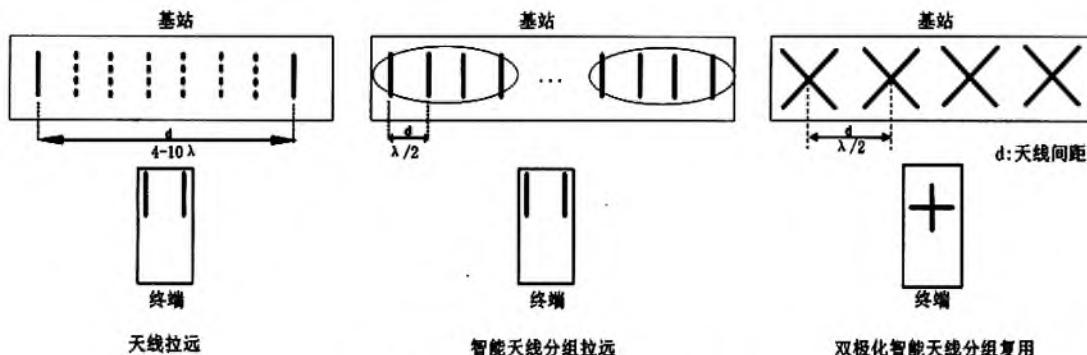


图3 智能天线与MIMO的结合方案

天线构成MIMO系统，既保持了部分智能天线的天线增益，又带来MIMO系统的复用增益。这种方案中，分组间距是影响系统性能的一个关键因素，其关系到两个分组之间的相关性。另外，由于将智能天线的 $M$ 个阵元分成了 $n$ 组，相应地，天线增益会较未分组前有 $n$ 倍的减少，这是获得复用增益所带来的开销。

(3) 双极化智能天线分组复用，是在基站端采用双极化智能天线，工程上通常采用 $\pm 45^\circ$ 极化，天线阵元按照不同的极化方式分成两组，每组阵元可看作MIMO系统的一根天线；由于在基站端采用了正交极化天线，在MS端，为了保证接收的可靠性，同样需要采用正交极化的两根天线，形成广义的 $2*2$  MIMO系统。采用这种方案，天线整体的体积会较空间分组复用时有所减小。

双极化智能天线分组复用的性能优于前两种空间复用智能天线，又兼有天线体积小等好处，是最佳的智能天线与MIMO的结合方案。

### 3 结束语

智能天线作为TD-SCDMA的关键技术，在TD-SCDMA网络中发挥着重要的作用，其技术一直在发展中，从常规单极化8天线发展到天线性能一致但宽度窄一半的双极化天线，从机械调整下倾天线到精度高、可远程操作的电子调整下倾天线，从支持3G的单模式天线到支持3.9G、4G多模式天线，再到支持MIMO技术的天线，未来必将会有很多新型智能天线的推出。

### 参考文献

- [1] 肖育苗,江洪峰. TD智能天线的四大趋势[J]. 通信世界, 2011(2).
- [2] 鲁义轩. 向LTE演进，多天线渐显优势[J]. 通信世界, 2011(2).★

### 【作者简介】



姚美菱：硕士毕业于西安电子科技大学电子与通信工程专业，现任石家庄邮电职业技术学院讲师，主要研究方向为移动通信和下一代网络。



李明：高级工程师，本科毕业于重庆大学自动化专业，现任职于河北省城乡规划设计研究院，主要研究方向为网络规划与设计。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>