

CONICAL SLEEVE TOP LOAD MEDIUM WAVE ANTENNA

浅析新型锥面套筒顶负荷中波小天线

王国福

宁夏广电总台传输发射中心

摘要：

新型套筒顶负荷中波小天线是一种新型的小型中波发射天线，利用曲面顶缓变原理、折叠振子天线原理、分布参数和集总参数加载原理有机的融合，从而开发出的一种新型中波天线。它占地面积小，效率高，便于维护，目前已有多家中波台在试用。我区的中波发射台站比较多，而且所有中波发射台站一直沿用拉线式桅杆天线，天线高，场地面积大，不利于维护和城市规划。

关键词：

天线 带宽 中波 锥面

1 套筒式中波小天线的创新点及原理

1) 利用锥面缓变原理，降低终端反射和谐振频率，使天线的长度变小，也不影响天线的效率；

2) 利用天线长细比原理，降低阻抗的变化率，提升天线带宽；

3) 利用套筒天线理论，提高输入电阻和辐射电阻，降低阻抗变化率，从而提高了小天线的带宽。

锥面缓变原理告知我们，天线从发射体向锥面沿小于 90° 方向过度，从而减小终端的反射，由于锥体比较大，对地形成

一定的电抗，提升了容抗，使天线的谐振点下移，从而有效的降低了天线的高度，斜面是7m的锥体其有效谐振高度为40m左右，加之垂直发射体高度，天线有效高度近似为76m高塔左右。

根据天线的长细比原理，振子天线的输入阻抗随电长度而变化的剧烈程度主要取决于天线的特性阻抗。特性阻抗越大，输入阻抗随电长度的变化就越激烈，天线的阻抗带宽就越窄；反之，特性阻抗越小，天线的阻抗带宽就越宽。振子天线的特性阻抗主要取决于长细比 Ω ，即 $\Omega = 2\ln(2L/a)$ ，其中L是天线振子臂的长度，a是天线臂的半径。 Ω

越大，天线的特性阻抗就越大，因此，在同样长度条件下，粗振子天线具有较宽的工作带宽。我们生产的数字套筒式宽频带中波小天线，其发射体增加到φ1100mm就是为了有效的提高天线带宽；另一方面可以使天线的抗风能力提升到原来天线的二倍以上。

粗振子有较低的特性阻抗，而不对称的结构形式可以起到类似电路中的参差调谐的作用，从而有效地展宽阻抗带宽。一个加粗振子并实现不对称馈电的简单方法，是在天线辐射体外面加上一个与之同轴的金属套筒，形成所谓套筒天线。从直观上看，金

属套筒相当于一个粗振子，加之其特殊的馈电方式，使得这种结构的天线的阻抗特性明显地优于普通振子天线。一般套筒天线的相对带宽至少可以达到一个倍频程以上。

这种天线用同轴线馈电，同轴线的内导体伸出作为辐射体，同轴线外导体的外壁电流与内导体电流同方向，也构成了辐射体的一部分，并兼作套筒。套筒内发射体的电流和套筒内壁电流反相，起到了传输线的作用，套筒外壁电流和内发射体的电流同方向，也构成了辐射体的一部分。这种结构的不仅提高了天线的机械强度，而且由于振子加粗，明显的改善了天线的阻抗特性，有效的展宽了天线的工作频带。

这种天线用同轴线馈电，同轴线的内导体伸出作为辐射体，同轴线外导体的外壁电流与内导体电流同方向，也构成了辐射体的一部分，并兼作套筒。套筒内发射体的电流和套筒内壁电流反相，起到了传输线的作用，套筒外壁电流和内发射体的电流同方向，也构成了辐射体的一部分。这种结构的不仅提高了天线的机械强度，而且由于振子加粗，明显的改善了天线的阻抗特性，有效的展宽了天线的工作频带。

典型的套筒式单极小天线，其主要结构参数有：上辐射体长度L，套筒长度l；内辐射体的直径d和套筒直径D。理论分析和实验都表明，对天线电特性起决定作用的参数是套筒单极子的总长度L+l以及上辐射体长度与套筒长度之比l/L。

如果套筒天线的 $l/L=2.25$ ，且 $L+l=\lambda_{\max}/4$ 时， $D/d=3$ ，则天线的输入阻抗 $Z_c=60\ln 3=60 \times 1.0986 \approx 66\Omega$ 。由于在中长波频段内 $L+l$ 不能做的太长，而且 l/L 有时太小，所以输入阻抗往往偏低，在实际的套筒天线方面，我们只有使 $l/L=2.25$ ，加大 D/d 值，从而使输入阻抗不要太小。

套筒天线的 $l/L=1.26$ ，且 $L+l=28$ 米， $D/d=1.57$ ，则天线的输入阻抗 $Z_c=60\ln 1.57=60 \times 0.451 \approx 27\Omega$ 。

为了降低天线的高度，展宽天线的阻抗带宽，可以将套筒也做成锥形。输入阻抗即为双锥天线的特性阻抗，即

$$Z_{in}=Z_c=120\ln\operatorname{ctg}(\theta/0.2)$$

上式适用于对称双锥天线。置于理想导电面上的直立单圆锥天线的输入阻抗是对称双锥天线的一半，即

$$Z_{in}=Z_c=60\ln\operatorname{ctg}(\theta/0.2)$$

小锥角双锥天线的输入阻抗和圆柱偶极子天线相类似，随电长度的变化十分剧烈，因而小锥角双锥天线不具有宽频带特性。如果锥角够大，圆锥天线的输入阻抗和输入电抗随 $k_0 h$ 的变化都十分平缓，尤其是在 $2\theta_0$ 接近 90° 时，这种天线的输入电抗在 $k_0 h > \pi/2$ 以后几乎为零，其输入阻抗接近 50Ω ，因而这种天线具有很宽的阻抗带宽。

由于套筒双锥面顶负荷中波发射天线采用套筒式发射体结构和上下双锥角发射体结构相结合，与现有传统发射天线相比，能提高天线的辐射电阻，降低电抗分量，拓展天线带宽，使天线

的辐射效率提高，完全可以满足数字广播信号的传输要求。

2 天线增益特性

天线是一个能量转换器，就希望转换效率比较高，这是最基本的要求。当天线用交变电动势馈电时，在其周围产生感应场和辐射场，只有辐射场的能量才对接受有用。此外，如果在天线附近有损耗媒介质存在（如土壤），那感应场就会在该媒质中产生热损耗，损失的能量需要由发射机来补偿。

当天线辐射的电磁波能量对天线来说也是一种损耗，但它对我们是有用的叫辐射损耗。

天线效率就是天线的辐射功率 Pr 与天线的输入功率 Pin 之比 $\eta = Pr / Pin$ ，当天线的长度可以和工作波长比拟时，天线的效率一般是较高的，但这在中、长波波段却难以做到，故通常采用加顶负载的方法来提高辐射能力，并敷设地网来降低天线附近的损耗。

3 套筒式天线的抗电磁干扰优势

1) 感应场问题：

天线的感应场大小主要分布在二分之一波长内，解决的办法就是铺设良好的地网，使电流很畅通的流回到天线底部，如果无地网或不能很好在地表形成回路，就会在天线底部附近形成感应场干扰。

在天线附近的地表面（20cm深）铺设良好的地网（8m—5m），并在地网末端有一接地棒，其深度等于地电流的集肤深度。与此同时，在天线的底部接有一铜汇流板，地网的始端

均匀分布并焊接在此汇流板上。同时，汇流板与地井相连，地井深为电流的集肤深度，一般在3m左右，因此，小天线感应场非常小。

2) 杂散场问题：

小天线在天线附近感应场小，辐射场相对传统天线也小，因此产生的杂散场就小。另外，对天调室进行屏蔽，使感应场、辐射场与网络，网络与天线周围不能形成互感，产生不了杂散场干扰。

4 套筒式天线的防雷

1) 由于套筒式天线的外筒下部与地相连，对于雷电有很好的通地效果。

2) 在外筒与内发射体之间设有防雷放电装置。

3) 在调配室装有防雷器。

4) 调配网络有泄放线圈。

5 套筒式天线的稳定性和安全性

最新套筒中波小天线，其抗风能力更强：

1) 加顶结构是立体结构，无论是垂直面，还是水平面都可以抵抗不同方向的风，完全解决了V型天线结构的缺点。

2) 天线体采用套筒钢结构，直径可达1.1m，完全可以抵抗14级以上台风。

3) 天线体采用热镀锌钢结构，加顶结构是立体不锈钢结构，抗腐蚀性能高，可以做到免维护。

4) 天线利用solidworks软件设计，安装方便，拆卸方便；天线体设有外爬梯，检修方便。

由于结构的稳定性，在大风下，保持天线不动摇，相应天线

参数保持不变；由于采用套筒天线原理，输入阻抗高，辐射阻抗高：因而，该套筒天线稳定性就高。

6 网络工作原理

由于锥面顶负荷中波小天线在低端输入阻抗得到了提升，匹配网络中电流有所降低。针对网络中的电感、电容器件而言，电流容量有所降低，器件就不易发热和损坏，相应的天线的效率就得到了提升，杂散辐射就得到了抑制。

1) 起阻塞外来频率广播及拓宽带宽的功能，串联谐振在本频上，并联谐振在外来频率上，起阻外频，通本频作用。

2) 匹配使用T型网络，即有移相作用，又有阻抗匹配作用，还有防雷作用。

3) 使用串并联吸收网络，既吸收外来频率的干扰，有对天线带宽起到补偿作用。

4) 石墨放电球装置，泄放大电流雷电。石墨放电球的好处是放电时，只是掉一些石墨粉，表面不受破坏。

5) 减小天线电抗分量，提高天线Q值。

6) 预调网络的作用是首先提高天线的阻抗，再就是拓宽天线带宽，其次是雷电的 μH 级泄放线圈，泄放雷电的低频分量。

作者简介：

王国福，本科学历，宁夏广电总台传输发射中心中波发射台工程师，高级天线工，高压类电工。

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)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)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)，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>