

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 23120091152674

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

用于 BD2 卫星导航系统的收发一体
终端天线研究

Study on The Transmitting and Receiving Terminal
Antennas for BD2 Satellite Navigation System

周 志 微

指导教师姓名: 周建华 教 授

专 业 名 称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2012 年 月

论文答辩时间: 2012 年 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2012 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为()课题(组)的研究成果，获得()课题(组)经费或实验室的资助，在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。
2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

随着卫星导航技术的快速发展,很多科研大国都开始大力发展自己的导航系统。目前,中国的北斗卫星导航系统也在逐步利用卫星向部分地区以及全球用户提供高质量的导航、定位与授时服务。而收发一体终端天线是卫星导航系统的重要组成部分,在一定程度上决定了卫星导航系统的工作性能。因此,研究一种结构尺寸小、圆极化比较好、增益比较高的收发一体终端天线具有极其重大的应用价值与现实意义。

本论文结合北斗卫星导航终端天线的设计指标,并依托本课题组承担的科研项目进行研究与设计,主要研究工作在微带天线的电磁理论基础,仿真设计了应用于北斗卫星导航系统的三款单层收发一体的卫星终端天线以及一款多层贴片结构的收发一体卫星终端天线。其中,单层收发一体的卫星终端天线分别采用了多 L 型缝隙阵列结构、寄生单元加载技术以及双馈电的方法来实现我国的北斗卫星导航系统收发工作频段,其发射频率工作于 L 频段: 1610-1626.5 MHz, 此频段采用左旋圆极化; 其接收频率工作于 S 频段: 2483.5-2500 MHz, 此频段采用右旋圆极化。而多层贴片结构天线的上下两层分别采用了互补金属开口谐振环 (CSRR) 结构加载技术、分形技术以及双馈技术来实现。通过运用传输线或腔体模型理论分别对天线结构进行理论分析, 并仿真优化了天线的电磁参数, 如: 回波损耗、轴比图以及方向性增益图等。所有结果表明, 论文提出的技术与方法对天线的小型化、多频段、圆极化以及较高的低仰角增益都有很好的提升效果。

最后, 在对系列天线结构完成优化设计后, 对其设计结构进行了样品加工, 完成了电磁参数测试以及系统整机测试。电磁参数测试结果表明, 本文所设计的天线在 L 频段(发射频段)和 S 频段(接收频段)的回波损耗系数都小于 -10 dB, 最大方向增益大于 2.5 dB, 圆极化轴比小于 3 dB, 并且其测量结果与模拟仿真设计结果基本一样。同时整机测试结果表明, 本文中所设计的天线都能匹配于专项任务中的北斗卫星手持式接收机样机, 并能准确地定位测试地点的坐标。理论及实际测试结果表明我们提出的设计方案及提升天线性能的系列措施是有效可行的, 多种新型天线结构完全可以推广到实际工程应用中。

关键词: BD-2 终端; 微带天线; L 型缝隙; 加载寄生单元; CSRR 加载; 分形

Abstract

With the development of satellite navigation, many scientific-research great powers vigorously develop their own satellite navigation system. At present, the BeiDou satellite navigation system in China progressively is planned to provide high-quality regional and global navigation positioning and timing services. As an important part of the satellite navigation system, the transmitting and receiving terminal antennas determine the system performance to a certain extent. Therefore, the development of transmitting and receiving terminal antennas with small size, wide circular polarization and high gain is of great application value and practical significance.

The research work has been done according to the design requirements of BeiDou satellite navigation antennas and the relative scientific projects of our research group. Based on the theory of microstrip antenna, three single-layer and one multi-layer transmitting and receiving terminal antennas are designed by electromagnetic simulation. Those single-layer terminal antennas are realized by the methods of multi L-shaped slot array structure, parasitic cell loaded technology and dual feeds applied. For transmitting and receiving bands of Beidou satellite navigation system, the transmitting antennas operate at L-band of 1610-1626.5 MHz with left-hand circular polarization; and the receiving ones operate at S-band of 2483.5-2500 MHz with right-hand circular polarization. Multi-layer patch antennas of upper and lower levels respectively are implemented by a complementary metal-ring resonators (CSRR) structure loaded, fractal technology, as well as dual feeds. Exploiting the theory of transmission line or cavity model theory, all the proposed novel antennas are analyzed and optimized in structures and primary electromagnetic parameters, including: return loss, axial ratio and field pattern etc. All the results show that these techniques and methods applied is effective for the BD-2 terminal antennas to achieve miniaturization, multi-band, circularly polarized and high elevation gain in the low angle.

Finally, according to the optimized antenna structures, the antenna samples are fabricated and measured. The results show that the designed antennas can operate at L band(transmitting band) and S band(receiving band) quite well, with the characteristics of return loss less than -10 dB, antennas gain greater than 2.5 dB, circular polarization of axial ratio less than 3 dB. Also, the measurement results and simulation results are essentially agree with each other. Then, the online measured results show that the antenna samples can match with the handheld receiver of Beidou satellite, and accurately locate the coordinates of the test sites. All the measured results show that this design method is valid and the developed antennas can be applied in the actual engineering project.

Key Words : BD-2 terminal; microstrip antenna; L-type slot; parasitic loaded; CSRR loaded; fractal

第一章 绪论	1
1.1 北斗卫星导航定位系统简介	1
1.1.1 北斗导航定位系统研究背景与组成.....	1
1.1.2 北斗导航定位系统的工作原理与定位流程.....	2
1.1.3 北斗导航定位系统面临的挑战与未来展望.....	3
1.2 北斗卫星终端天线的工作要求	4
1.3 卫星终端天线的研究现状	5
1.4 选题背景及意义	7
1.5 论文主要研究工作以及内容安排	8
参与文献	9
第二章 微带天线设计的基本理论	11
2.1 微带天线概述	11
2.1.1 微带天线定义和分类.....	11
2.1.2 微带天线的馈电技术.....	12
2.1.3 微带天线的辐射机理.....	12
2.2 微带天线分析方法	13
2.2.1 微带天线传输线模型理论分析方法.....	14
2.2.2 微带天线腔体模型理论分析方法.....	15
2.3 微带天线的小型化、圆极化及双频特性分析	17
2.3.1 小型化微带天线设计方法.....	17
2.3.2 圆极化微带天线设计方法.....	20
2.3.3 双频微带天线设计方法.....	23
2.4 本章小结	25
参考文献	26
第三章 “BD-2”收发一体单层微带天线的设计与分析	28
3.1 L型缝隙陶瓷微带天线设计	28
3.1.1 基本矩形陶瓷微带天线的设计.....	29
3.1.2 多对L型缝隙陶瓷微带天线结构理论性分析.....	31
3.1.3 双L型缝隙陶瓷微带天线结构仿真设计.....	36
3.1.4 改进型双L型缝隙陶瓷微带天线仿真设计.....	40
3.1.5 L型缝隙陶瓷微带天线性能影响因素探讨.....	46
3.2 加载寄生单元的三角形陶瓷微带天线设计	50
3.2.1 基本三角形陶瓷微带天线仿真设计.....	50
3.2.2 加载寄生单元的三角形陶瓷微带天线结构理论性分析.....	52
3.2.3 加载寄生单元的三角形陶瓷微带天线仿真设计.....	53
3.2.4 加载寄生单元的三角形陶瓷微带天线影响因素探讨.....	56
3.3 本章小结	58

参考文献.....	59
第四章 双层微带天线探讨性结构的设计与分析.....	61
4.1 CSRR 加载双层陶瓷微带天线设计.....	61
4.1.1 天线结构相关性理论分析.....	61
4.1.2 天线的仿真设计.....	68
4.1.3 天线影响因素探讨.....	71
4.2 本章小结.....	74
参考文献.....	74
第五章 天线样品的加工与测试分析.....	77
5.1 天线样品的加工.....	77
5.2 天线的测试结果以及与仿真结果对比分析.....	81
5.2.1 天线的测试.....	81
5.2.2 测试结果与仿真结果的对比分析.....	82
5.3 整机测试.....	89
5.4 总结分析.....	91
5.5 本章小结.....	92
参考文献.....	92
第六章 总结与展望.....	94
6.1 总结.....	94
6.2 展望.....	96
附录一 实验仪器与测试环境.....	97
附录二 天线样品.....	98
附录三 攻读学位期间的研究成果.....	100
致 谢.....	101

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Beidou satellite navigation and positioning system introduction.....	1
1.1.1 Background and composition of BD.....	1
1.1.2 Working principle and positioning process of BD.....	2
1.1.3 Challenges and prospects of BD.....	3
1.2 Design requirements of BD satellite terminal antennas.....	4
1.3 The actuality and achievement of satellite terminal antennas.....	5
1.4 Background and significance of the subject.....	7
1.5 Main research work and content arrangements.....	8
References.....	9
Chapter 2 Basic theories for microstrip antenna.....	11
2.1 Introduction of microstrip antenna.....	11
2.1.1 Definition and classification of microstrip antenna.....	11
2.1.2 Feeding technology of microstrip antenna.....	12
2.1.3 The radiation mechanism of microstrip antenna.....	12
2.2 Analytical methods of microstrip antenna.....	13
2.2.1 Transmission line model of microstrip antenna.....	14
2.2.2 Cavity model of microstrip antenna.....	15
2.3 Minimization, circular polarization, Dual-band of microstrip antenna.....	17
2.3.1 Design method of miniaturized microstrip antenna.....	17
2.3.2 Design method of circularly polarized microstrip antenna.....	20
2.3.3 Design method of Dual-band microstrip antenna.....	23
2.4 Chapter summary.....	25
References.....	26
Chapter 3 Design of single-layer microstrip antenna based on “BD-2”	28
.....	28
3.1 Design of L-shaped slot microstrip antenna.....	28
3.1.1 Design of basic rectangular microstrip antenna.....	29
3.1.2 Theoretical analysis of multi the L-shaped slot micrstrip antenna.....	31
3.1.3 Simulation design of dual L-shaped slot micrstrip antenna.....	36
3.1.4 Simulation analysis of improved dual L-shaped slot micrstrip antenna.....	40
3.1.5 The influence of L-shaped slot microstrip antenna.....	46
3.2 Design of triangular microstrip antenna loaded parasitic elements.....	50
3.2.1 Design of basic triangular microstrip antenna.....	50
3.2.2 Theoretical analysis of triangular micrstrip antenna loaded parasitic	

elements.....	52
3.2.3 Simulation design of triangular microstrip antenna loaded parasitic elements	53
3.2.4 The influence of triangular microstrip antenna loaded parasitic elements.....	56
3.3 Chapter summary.....	58
References.....	59
Chapter 4 Design of dual-layer exploratory microstrip antenna.....	61
4.1 Design of dual-layer microstrip antenna loaded CSRR.....	61
4.1.1 Theoretical analysis of antennas.....	61
4.1.2 Simulation design of antennas.....	68
4.1.3 The influence of antennas.....	71
4.3 Chapter summary.....	74
References.....	74
Chapter 5 Manufacture and measurements of antenna samples.....	77
5.1 Manufacture of the antenna samples.....	77
5.2 Measurement and comparative analysis with simulations.....	81
5.2.1 Measurement of antennas.....	81
5.2.2 Comparative analysis of measurement and simulations.....	82
5.3 Measurement of complete machine.....	89
5.4 Conclusion and analysis.....	91
5.5 Chapter summary.....	92
References.....	92
Chapter 6 Conclusion and expectation.....	94
6.1 Conclusion.....	94
6.2 Expectation.....	96
Appendices 1 Laboratory instruments and measurement systems... 	97
Appendices 2 Antenna samples.....	98
Appendices 3 Research results.....	100
Acknowledgements.....	101

第一章 绪论

本章首先对北斗卫星导航定位系统进行了概述,并引出北斗卫星终端天线的设计要求;其中重点讨论卫星终端天线的研究现状,同时也阐述了论文的选题背景与意义;最后给出论文的主要研究工作与内容安排。

1.1 北斗卫星导航定位系统简介

1.1.1 北斗导航定位系统研究背景与组成

卫星导航系统能够全天时与全天候为用户提供短报文通信、高精度的导航与定位以及可靠的授时服务,是人类社会不可或缺的空间信息基础设施。因此,对于卫星导航系统的建设、应用和发展,一些主要的航天国家都极其关注。近几十年来,全球卫星导航系统竞相发展,呈现出美国的 GPS 一路领先,俄罗斯的 GLONASS 曲折前进,中国的北斗分步迈进、欧洲的 GALILEO 踟躇前行的态势^[1]。

我国自主研发的、独立运行的北斗卫星导航定位系统(BeiDou (Compass) Navigation Satellite System)是一套有源三维卫星定位与通信系统(CNSS),是除 GPS、GLONASS、GALILEO 之后第四个成熟的卫星导航系统。该系统致力于向全球用户提供高质量的定位、导航、授时与通信服务^[2]。2012年2月25日凌晨0时12分,西昌卫星发射中心将第十一颗北斗导航卫星(G5)成功送入太空预定转移轨道,这是一颗地球静止轨道卫星,也是2012年中国发射的首颗北斗导航系统组网卫星。随后4月30日,我国又在西昌卫星发射中心利用“一箭双星”技术成功将两颗地球中高轨道卫星送入太空预定转移轨道^[3]。按照北斗卫星导航系统的发展战略,今年中国还将陆续发射多颗北斗导航组网卫星,形成覆盖亚太大部分地区的服务能力。2020年左右,将形成全球覆盖能力。

我国正在建设的北斗卫星导航系统包括空间端、地面端和用户端。其中空间端由5颗静止轨道卫星和30颗非静止轨道卫星组成;地面端包括监测站和主控站等若干个地面站;用户端由北斗用户终端以及其他卫星导航系统兼容的终端组

成。图 1-1 为北斗导航定位系统的三维分布图。该系统提供两种服务方式，即开放服务和授权服务（二代系统）。开放服务是在服务区内为用户提供定位和授时服务等，其定位的精度为 10 m，并可为用户提供 20 ns 授时精度。而授权服务可为用户提供双向的报文通信功能和更高精度的导航、定位与授时服务。



图 1-1 北斗卫星三维分布图

1.1.2 北斗导航定位系统的工作原理与定位流程

北斗卫星导航定位系统通过使用两颗静止轨道卫星，去定位位于卫星波束覆盖范围内的用户。图 1-2 为北斗卫星定位示意图。根据三球交会原理，从用户至两颗北斗导航卫星球心的距离为半径，可得到两个相交的球面。另一个球面为用户所在位置点至地心的距离(用户高程值)为半径的球面，从而用户的位置必然落在三个球面的交会点上。通过两次用户响应询问信号时，其中中心控制系统通过测出时间延迟 Δt_1 和 Δt_2 ，继而得出测试距离 $c\Delta t_1$ 和 $c\Delta t_2$ 。

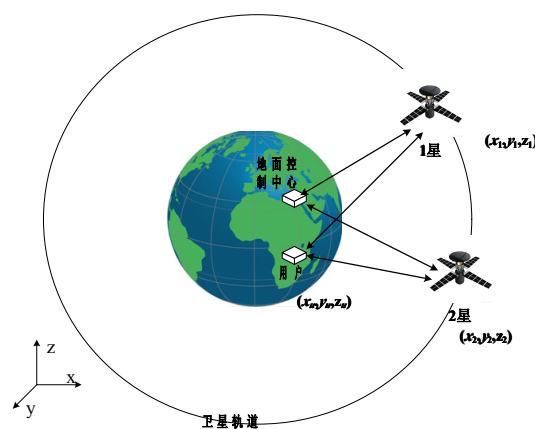


图 1-2 北斗卫星定位示意图

$$c\Delta t_1 = 2R_{u1} + 2R_{o1} \quad (1-1)$$

$$c\Delta t_2 = R_{u1} + R_{o1} + R_{u2} + R_{o2} \quad (1-2)$$

在上式中, c 是光速, R_{u1} 与 R_{u2} 分别为用户与卫星 1 和卫星 2 之间的距离, R_{o1} 与 R_{o2} 分别为地面控制中心与卫星 1 和卫星 2 之间的距离。由于地面控制中心和两颗卫星的位置坐标均是已知的, 分别表示为 (x_i, y_i, z_i) , 其中 i 为 $o, 1, 2$ 。从而可以得出用户的三维坐标 (x_u, y_u, z_u) ^[4]:

$$R_{ui} = \sqrt{(x_u - x_i)^2 + (y_u - y_i)^2 + (z_u - z_i)^2} \quad i=1,2 \quad (1-3)$$

由于这两颗卫星只能提供两个方程, 为了获得用户的三维坐标, 其用户的高程值可以从中心控制系统计算机内的数字化地形图得到。

北斗卫星导航系统的具体定位过程如下: 首先由地面控制中心向两颗卫星发送无线电询问信号(即上行信号, 此信号采用的是 L 波段的频率), 卫星接收信号后, 向服务区域发送询问信号(即下行信号, 此信号采用的是 S 波段的频率)。若服务区域中的用户接收到来自卫星的询问信号后, 向两颗卫星发送应答信号, 并通过两颗卫星将应答信号传递到控制中心。地面控制中心接收到此信号后, 即可由信号一发一收的两个延迟、用户本身的高程值以及控制中心与两颗卫星的确定坐标, 结合上述式(1-1)、(1-2)、(1-3)求解出定位时刻用户位置的 3 个坐标值。最后控制中心将这个坐标加密经卫星发送给用户或作其他处理^[5]。

1.1.3 北斗导航定位系统面临的挑战与未来展望

伴随着美国基本完善的 GPS 以及其它各国着手发展的全球定位系统, 给中国北斗定位系统的发展带来了巨大的挑战: 首先是系统部署进度。各个系统部署进度是个重大考验, 因为抢占用户市场, 捷足先登是成功的第一步; 其次是系统的整体性能。导航卫星的设计和研制水平决定了系统的性能, 为了在国际导航卫星研制领域处于领先地位, 在未来的发展中还需要大力提倡自主创新; 最后是系统发展的博弈。为了不断满足用户更高的要求, 系统需要持续的发展和完善, 同时为了确保系统在未来发展与国际竞争中占据优势地位, 系统急需国家持续的经费投入、人才培养、产业推广。

相比“北斗一号”, “BD-2”在功能与性能上具有很大的优势, 其中包括提供

报文通信功能、实现无源定位、更高精度、以及有效避免遭受电磁干扰和攻击等。如：其定位精度已从原来的 10 米之内精确到厘米之内。随着北斗卫星导航系统从 2009 年起快速组网，预计到 2012 年底可为亚太大部分地区用户提供服务，在此基础上将逐步发展到为全球服务。该系统将会成为一个由 35 颗空间卫星、各类用户终端以及地面控制中心组成的庞大航天系统，其建设与应用将实现我国航天产业从单星研制向组批生产、从以卫星为核心向以系统为核心、从面向行业用户向大众用户的历史性转型，开启我国航天事业的新旅程，并将对维护我国国家安全、推动经济社会科技文化全面发展提供重要保障^[3]。

1.2 北斗卫星终端天线的工作要求

由于北斗卫星距离地球表面比较远，因此到达地面的北斗卫星信号非常微弱。同时北斗卫星发射天线阵是赋形波束，使用户在天顶和小于一定仰角时接收信号功率电平最低，两者之间逐渐增强，从而要求一定的仰角。从而一般情况下，其终端天线有如下的要求^[6]：

1. 相位方向图。在北斗卫星定位系统中，其卫星上不同角度的天线输出端的相位差，会产生一定的定位误差，对于精度要求高的用户是不能接受的。因此，对于卫星提供服务的区域内，天线应提供均匀的振幅响应和相位响应。
2. 幅度方向图和增益。在导航定位系统工作过程中，如果卫星俯仰角低于规定值时，其接收机天线将收不到信号。同时为了尽量避免严重的对流层效应和多径效应，提高天线有效角度上的方向增益。对于北斗导航卫星，要求提高天线的低仰角增益，即具有较宽波束宽度的方向图。
3. 频率和极化。目前已有的卫星导航系统工作频率各不相同，但都要求极化特性为圆极化。我国的北斗卫星导航系统工作于上行 L 频段(其中工作频点 L1：1610-1626.5 MHz，补偿频点 L2：1227.6 MHz)，此频段采用左旋圆极化；下行 S 频段(其中工作频点：2483.5-2500 MHz)，此频段采用右旋圆极化。然而，对于更精确的定位中，为了补偿在电离层传播过程中造成的延时，一般采用双频或多频工作。因此，这就要求终端天线在各个频率上都具有良好的工作性能。

综上所述，在北斗卫星导航系统终端接收天线的设计过程中，应对如下的要求进行相应的考虑：首先终端接收天线的频率应落在北斗卫星导航系统的频段

内；其天线极化特性为圆极化，以便可以接收来自空中任意极化的、任意方向的北斗卫星信号；当在恶劣环境下，为了能够接收相对比较弱的北斗卫星信号，天线应与前置放大器密封在一起；终端接收天线的应具有稳定的相位中心与其几何中心；为了防止外来信号干扰与减弱信号的多径效应，应采取适当的屏蔽与防护措施。

1.3 卫星终端天线的研究现状

随着卫星导航定位技术的发展，其应用领域也不断延展，作为导航系统的终端接收机类型也很多，依据型号分为，测地型、定时型、集成型以及手持型等；依据模式可分为单模机与多模机。所以它对终端天线要求要有电气特性、机械特性、较强的适应环境的能力。目前常用的卫星终端天线有微带天线、四臂螺旋天线以及十字交叉振子天线。其中微带天线和四臂螺旋天线由于结构简单、重量轻、成本低以及优良的电性能而广泛应用于卫星终端领域。

由于北斗卫星定位系统属于超远距离工作，因此传输到地面的北斗卫星信号很弱。并且北斗卫星发射天线阵的波束呈赋形，从而要求其接收终端天线具有一定的仰角。加之用户要求所设计的终端天线尺寸小、增益高、制作简单、成本低、收发一体等。微带天线作为一种新型的天线，与普通天线相比，具有不可替代的优势^[7]。它具有体积小、重量轻、平面结构简单，易于实现圆极化和双频等特点；此外，微带天线也有结构紧凑，性能稳定等特性，易于使用的印刷电路技术和大批量制造技术^[8]。

国外早期对于微带天线的研究源于 G.A. Deschamps 教授，1953 年 G.A. Deschamps 教授率先提出微带微波天线的概念^[9]并随后申请了专利。在随后的十几年内芒森 (R.E. Munson) 和豪威尔 (J.Q. Howell) 等做出了第一批实用的微带天线，之后伴随着基片加工技术进步与特定性能材料的研究，微带天线得到了飞速的发展。为了使微带天线适应卫星终端天线的要求，近年来对微带天线进行了许多改进与创新。

1. 多频微带天线。通过采用多个微带贴片叠层放置以及在贴片上开缝隙的方法来实现天线的多频工作。如：2011 年 Takafumi Fujimoto 和 Ryohei Nakanishi 设计了应用于 GPS/VICS/ETC 的三频微带天线^[10]，此天线就采用叠层法实现三频的。

但由于采用了三层基板并且基板间还引入了空隙，从而使得天线的整体结构偏大。

2. 宽频微带天线。由于微带结构的本身存在频带窄、辐射效率较低及功率容量有限等问题，使其在实际应用受到了很大限制。一般微带天线的带宽大约为 6% 左右。通过加厚介质基板，可以改善带宽，但范围不大，一般也就 10% 左右而已。然而采用缝隙耦合对天线馈电，可以有效增大相对带宽，而且由于可调整参数增加，所以调整余地较大，辐射效率也可以得到一定的补偿。如：G. M. Pushpanjali^[11] 等人在 2008 年对于等边三角形微带贴片，利用缝隙耦合技术来拓宽相对带宽，最终得到 23.74% 的相对带宽，虽然采用此种技术有效地增加了带宽，但由于耦合缝隙的选取对于天线的辐射和匹配有较大的影响，要得到最佳的性能需要细致调整缝隙的位置以及尺寸。

3. 圆极化微带天线。由于圆极化天线的极化正交性、可接收与被接收任意线极化天线波等特性。卫星系统中都采用圆极化天线作为终端天线。微带天线常用于实现圆极化的方法有：引入合适的几何微扰形成简并模分离、附加相移网络和功率分配器、多线极化辐射元等方法产生圆极化特性。如：早期 M S Smith 和 G C Sole 等利用附加相移网络实现圆极化的方法设计了应用于卫星系统的双频圆极化天线^[12]。西安电子科技大学的 Chen T.B 等^[13]人采用功分器馈电网络设计了轴比带宽相对比较好、尺寸相对比较大的圆极化微带天线。前两款天线由于引入了复杂的馈电网络，从而增加了天线的设计难度与增大了天线的结构尺寸。西安交通大学的 Li Bo 等^[14]人于 2011 年设计了一款基于北斗卫星导航系统的圆极化微带天线，此天线通过在基本圆形贴片上引入一对 T 型缝隙结构，从而实现了双频圆极化特性。不过该天线的轴比带宽相对比较小。

4. 小型化微带天线。近年来对于天线的小型化研究已成来了一个热点。同时人们对于微带天线小型化研究与方法总结也一直在进行中。现在普遍实现小型化的方法如下：加载短路销钉与分布耦合腔、贴片与地板上开槽、附加有源网络、采用高介电常数介质基板以及细微分形结构等。如：2003 年，G. S. Lee^[15]等对 cantor 分形做出了深入的研究，设计了一款 2D 的贴片天线。2008 年，Mircea Rusu 和 Mervi Hirvonen^[16]等人设计一款基于 Minkowski 分形的环形偶极子天线，其最大特点在于是尺寸得到了很大程度上的缩减，大小只有 $3 \times 3 \text{ cm}^2$ 。至 2011 年，本实

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库