

Ku 波段 DBS 平面天线发展综述

吴 群

高 虹

(哈尔滨工业大学无线电工程系 哈尔滨 150001) (黑龙江省邮电设计院 哈尔滨 150080)

摘要 近十几年来,日本、欧洲和美洲等一些国家和地区相继发射了广播卫星,并开展了一系列 Ku 波段(12GHz)卫星直播(DBS)业务,促进了卫星电视接收技术的飞速发展,尤其是 DBS 平面天线的发展。本文介绍了 DBS 平面天线的基本原理、结构和特点。综述了 DBS 平面天线的技术现状和发展趋势,探讨了我国发展 DBS 平面天线的必要性和紧迫性。

关键词 平面天线,微带天线,卫星直播电视, Ku-波段,接收

1 引言

Ku 波段(12GHz)卫星电视广播是1977年世界无线电行政会议(WARC)推荐优先使用的波段^[1]。由于 Ku 波段的工作频率比 C 波段要高3倍;全向等效辐射功率(EIRP)比 C 波段要大20dB左右,因而工作频率高和卫星转发器发射功率大,使得 Ku 波段卫星地面站实现小型化和低成本。个体接收使用抛物面天线可使直径小到1.2m以下,而中心地带还可小到0.5m,达到普通家庭可以购买的水平^[2]。对于我国,地域辽阔,地形复杂,只有采用 Ku 波段卫星电视广播,方可把广播电视节目送到广大农村和边远山区,普及到千家万户,显示出具大的优越性。

在常规的 Ku 波段 DBS 接收天线中,主要是以中心馈电式抛物面天线为主。为解决效率和旁瓣的矛盾,兴起了偏置馈电抛物面天线。尽管这种天线有频率特性好,效率高(60—70%)的优点,但由于容易受到风、雨、雪等外界环境因素影响导致天线性能下降,因而近年来,国外已把注意力转向了平面结构天线的研究,并取得了突破性的进展^[3,4]。

目前日本、欧洲和美洲等一些国家和地区已开展了 Ku 波段 DBS 业务。因此,天馈系统的研究在这些国家中起步早,发展快,尤其是 DBS 平面天线已商品化,不能再引起我们注意。本文综述了平面天线的结构特点和几种国外平面天线的研究成果,并提出了我国开展平面天线研究的基础设想和发展方向,供同行们参考。

2 DBS 平面天线的特点

(1) 体积小 最小的外形平面尺寸为 $35 \times 35\text{cm}^2$, 厚度为1.7cm, 要小于抛物面天

1994-01-17收到, 1994-08-24定稿

吴 群 男, 1955年生, 高级工程师, 现从事微波技术与天线的教学和科研。

高 虹 女, 1957年生, 助理工程师, 现从事科技档案管理和通信技术研究。

线的轴向厚度。并且不会象抛物面天线那样容易受到风力、积雪等外界因素的影响而导致天线性能的下降。

(2) 重量轻 最轻的仅 1.3kg。由于是平面结构,便于与房屋建筑相协调,可方便地悬挂在室外的墙壁上,或平放于屋顶上或凉台上。

(3) 易调整 平面天线的半功率角大,通常为 $6^{\circ} \sim 8^{\circ}$ ^[9],因而较抛物面天线更易于对准卫星。

(4) 波束可控 天线的平面可与接收方向有一固定的倾斜角^[6,7],制成“波束倾斜天线”,或采用有源电控元件,根据平放的位置控制波束的任意指向,制成“电控波束指向天线”。

此外,还有制造加工方便,使馈电网络与天线结构一起制作,便于实现微波集成,适合于印刷电路工艺技术的大批量生产等优点^[9]。

3 DBS 平面天线的构成原理

在平面天线的发展中,最早的结构都是以微带天线为基础发展起来的。1953年,德尚(G. A. Deschamps)^[9]就提出,利用微带线的辐射原理制成微带天线的概念。20年之后,随着微波集成技术的发展和空间技术对薄形天线的迫切要求,芒森(R. E. Munson)^[10]和豪厄尔(J. Q. Howell)^[11]等研究者研制出了第一批实用的微带天线。之后,微带天线也就成为天线领域里的一个专门分支。

构成微带天线的辐射单元可划分为^[12]微带贴片天线、微带振子天线、微带线型天线(微带行波天线)和微带隙缝天线。

由以上各种微带辐射单元做为基本单元,其增益仅 6~8dB。为获得高增益,或为实现特定方向性的要求,通常是把这些微带辐射单元组成微带阵列,如微带贴片阵、微带振子阵、微带隙缝阵等平面阵列天线^[13]。如将微带面阵作二维组合还可构成微带面阵天线,以获得更高的增益和效率。若把若干辐射单元排列在一条直线上所形成的阵列称为线阵;若把若干个辐射单元分布排列在一个平面所形成的阵列称为面阵。而立体阵列则是由分布于三维空间的辐射元所组成。常见的微带天线面阵形式有梳状线面阵、城墙线面阵、矩形贴片阵、圆极化圆形贴片阵、变极化贴片阵、背馈圆形贴片阵、交叉馈电圆极化阵等。上述各种天线都是用刻蚀把辐射和馈电网络制做在印刷基板上,故又统称为印刷天线^[14]。

4 DBS 平面天线技术

DBS 平面天线按馈线结构形式可分为微带、带状线(三板式结构)、悬置线和波导隙缝阵列天线^[15],如表 1 所示。

4.1 微带天线

在 Ku 波段,频率高达 12GHz,对于普通形式的微带天线,因微带导体、介质基板损耗以及馈线辐射损耗加大,从而导致微带阻抗带宽特性变差,致使天线效率降低,即使采

表 1 几种 DBS 平面天线

结 构	馈电方式	频带特性	辐射单元	极化方式	波束倾斜
印 刷 阵 列 平 面 天 线	微 带 线	窄	宽 缝 隙 缝 梳 状 线 曲 柄 线 条 和 缝 方 片 圆 片	线 线 线 圆 圆 圆 圆	能 能 能 能
	带 状 线 (三板结构)	较 宽	折合振子 矩形隙缝 圆 片	线 圆 圆	能
	悬 置 线	很 宽	圆 片 圆 喇叭	圆 线	能
波导阵列平面天线	径向波导	宽	隙 缝 对 隙 缝 对	线 圆	
	矩形波导	宽	长 缝 十 字 缝	线 圆	能

用阵列结构,其效率也只能达到 40—50%^[16,17]。

4.2 带状线天线

为了降低损耗,提高效率,把天线各辐射元和馈线设计在各自的基板上,从而构成带状线(三板式结构)天线^[18-21]。

4.3 悬置线天线

带状线天线的电磁能量仍在较窄的空间传播,电场较集中,导体和介质损耗仍较大,天线效率提高不大。随之,悬置线天线问世,天线效率高达 60%,但加工复杂,成本高^[22,23]。

4.4 波导隙缝阵列天线

4.4.1 径向线隙缝天线 (RLSA) RLSA 平面天线首先是由日本学者后藤尚久^[24]于 1980 年提出的,它是采用径向行波激励隙缝,属于波导隙缝天线的一种。径向线波导实际损耗仅 0.05dB^[25]。因此,损耗可降到最低限度^[26]。RLSA 具有如下优点:(a)口径面分布均匀,增益高。(b)交叉极化性能好,不易受到旋向不同的极化波影响。(c)采用圆形平面口面,风阻极小。(d)因天线上积雪引起的增益下降小,适合于高寒地区使用。(e)传输损耗小,效率高。(f)体积小,重量轻,安装方便。

RLSA 平面天线分为双层和单层结构^[27-29]两种。对于双层结构,下层径向线波导的行波从圆盘边缘传入上层径向线波导,形成内向波来激励波导^[30-32]。双层 RLSA 天线因波导结构较复杂,下波导折叠到上波导的锥变引起的驻波较大,因而天线效率只能达到 75%。然而单层 RLSA 具有结构简单,成本低、易推广的优点。它是利用沿径向的外向行波来激励隙缝,天线效率已高达 84%,是普通微带天线的两倍,超过了偏馈抛物面。可

以说,是目前 12GHz 波段 DBS 平面接收天线中效率最高的一种天线。这种天线已代表了 DBS 平面天线的发展趋势,是在 Ku 波段实现小型化的一种较为理想的平面天线。目前,在日本已实现了商品化。为了适合接收线极化波,安藤真^[33]提出了一种实现线极化的 RLSA 天线,但目前尚存在效率不高的问题(直径 60cm 时的天线效率为 54%)^[34]。RLSA 平面天线的设计关键是要解决和控制各隙缝间的耦合,以保证口径场的均匀分布性。

4.4.2 漏波长缝阵^[35] 它是由一波导馈电的若干波导漏波天线组成。对于 30 条 60cm 长缝组成的平面天线可获得 55° 的波束倾斜,增益为 34dB,效率达 80%,也是一种高效率平面天线。由于倾斜角大,可用于移动式车载或舰载的 DBS 接收,其方位控制是采用机械调节或程序电控方式。

4.4.3 漏波十字缝^[36] 这种天线的特点是馈电结构简单。由于采用单层结构,使得整个阵列便于分析和加工。在波导上方开有许多十字缝,用来产生圆极化波,并可产生倾斜波束。对于馈线长 49.5cm,波导长 51.9cm 的平面天线,在实现 38° 的波束倾斜下获得了高于 80% 的效率。

5 几种国外 DBS 平面天线性能比较

DBS 平面天线以日本为最多。日本有十几家公司生产平面天线,三十多种型号已商品化。表 2 给出了日本生产的几种典型的已商品化天线性能参数。表 3 给出了各种 DBS

表 2 几种典型的日本商品化天线性能参数

型 号	尺 寸 (cm)	效 率 (%)	增 益 (dB)	型 号	尺 寸 (cm)	效 率 (%)	增 益 (dB)
AFR-50A	∅51.2	78	34.6	DFS-44m	46×46	68	33.5
BSA-F55(B)	∅51.2	78	34.6	BS-F1000	54×66.2	55	34.5
BSF-44X	46×46	65	33.5	BSF-50	∅51.2	78	34.6
TA-BS7A	45×45	68	33.5	TA-BS7A	∅42.3	65	32
PA445H/W	45×45	71	33.5	PA-771	78×78	55	36.3
PA446H/W				PA-671			
BS-PA50	54×66.2	55	34.5	BS-PA40	37.7×54	32.5	1.3
AT-F400	51×41		32	BS-TA502	∅38.8		32.5
SAN-F500	58×46	70	35	∅650		36	
BX-AF45	44.8×44.8		33.5	PA-471	42×78	65	35.1

表 3 不同形式 DBS 天线性能比较

参 数 \ 天线形式	偏置抛物面	微 带	带状线	波导隙缝阵列
口面分布均匀性	中	优	优	优
传输损耗	小	大	中	小
频带特性	优	良	良	中(良)
VSWR	同	同	同	同
增 益	较 高	中	中	高
交叉极化特性	中	中	中	低
占有空间	大	小	小	小
雪的影响	大	中	中	小
风力影响	大	小	小	小

表 4 不同辐射单元数目的平面天线性能

项 目	性 能 参 数								
辐射单元数目	192	256	280	320	332	384	476	512	1024
增益(dB)	29.8	32.5	32	29	34	34.5	34.1	34.2	37
效率(%)	42.2		51		62	65		60	40
波束倾斜角度($^{\circ}$)	28	0	0	0	0	0	10	0	12/23
平面尺寸(cm^2)	40 $\times$ 45	41 $\times$ 42	40 $\times$ 38.6	35.4 $\times$ 27.2	64 $\times$ 43	42 $\times$ 60	55.6 $\times$ 47.6	42 $\times$ 60	78 $\times$ 78
厚度(cm)					2.1	2.5	2.2	1.7	2.5
重量(kg)					4.7	4.0	4.2		11

天线的结构特点比较。表 4 给出了不同辐射单元阵列平面天线性能比较。

6 DBS 平面天线发展趋势

DBS 平面天线发展趋势^[37]可归结为如下:

- (1) 提高效率, 展宽频带, 降低成本。
- (2) 小型化, 多功能化。利用一个天线的多极化、多波束设计法, 可实现多颗卫星同时接收^[38,39]。
- (3) 应用计算机辅助设计(CAD)技术, 进行天线综合设计^[40], 简化阵列结构设计^[41], 用较简单设计实现波束可控技术。
- (4) 应用计算机辅助制造(CAM)技术, 提高集成工艺和印刷电路加工水平, 加速新式结构天线的研究^[42,43]。
- (5) 应用微波单片集成电路(MMIC)技术研制高性能多波束^[44]天线。
- (6) 研制供车、船和飞机等运动物体使用的可自动跟踪接收方向的天线。
- (7) 研制可安装于电视机内的内藏式一体化卫星电视接收系统。
- (8) 研制损耗小、介电常数低、成本低的新材料的介质基板。

7 结 语

目前,尽管我国尚未发射 Ku 波段卫星,但“亚洲二号”同步卫星将载有 9 个 Ku 波段转发器,将于 1995 年第一季度升空开展 DBS 业务。“亚二”星是目前世界上最大,最先进的静止轨道通信卫星^[45]。计划定点于东经 100.5 度的轨道上,在轨寿命长达 15 年,其覆盖区域东起日本,西到地中海,北至俄罗斯,南到新西兰。总共覆盖 53 个国家和地区,33 亿人口,占世界人口总数的 63%。此外还有“亚太二号”(计划 1994 年底发射)等卫星将陆续升空。可见我国上空 Ku 波段卫星资源日益增多。我国已向亚洲卫星联合公司正式提出租用多个转发器的各种需求,并准备开展 Ku 波段广播电视业务。面对这一紧迫形势,我国的天线专家应不失时机地加速开展研究工作。另外,我国的 Ku 波段卫星不久也将发射,由于我国地域辽阔,东西横跨 4 个时区,南北占 35 个纬度,环境地形复杂,要采用多波束技术来解决各个局部区域的覆盖问题。

在当前形势下,应加速开展 Ku 波段天馈系统的研究,尤其是 DBS 平面天线的研究和开发,才能促使我国国产介质基板材料制造技术的发展,不断探索新型结构的平面天线技术,为研究出高性能、低成本的平面天线打下良好基础。我们要齐心协力,搞好超前研究和技术储备工作,为开发研制出新一代适合我国国情的实用商品化 DBS 平面天线而努力。

参 考 文 献

- [1] 邓绍范,邱景辉,吴 群. Ku 波段卫星电视接收高频头. 1991 年微波电路及其系统工程应用学术会议论文集,1992,深圳.
- [2] 吴 群,邓绍范,邱景辉. Ku 波段平面波纹喇叭馈源的实验研究. 中国电子学会第四届电波与传播学术会议论文集,1991,444—446.
- [3] 钟顺时. DBS 平面接收天线的发展. DBS 平面天线技术研讨会特邀报告,1992,桂林.
- [4] Rammos E. Electron. Lett., 1982, 18: 252—253.
- [5] 薛俊涛译. Ku 波段电视接收平板天线. 如意广播电视,1989,(9): 18—19.
- [6] Maddocks M C D, Smith M S. IEE Proc.-H, 1991, 138(2): 159—168.
- [7] Maddocks M C D. Electron. Lett., 1988, 24(3): 173—174.
- [8] 何志强译. 微带天线技术和工艺的现状. 无线电工程,1990,21(4): 62—72.
- [9] Deschamps G. A. Microstrip Microwave Antennas. Presented at the 3rd USAF Symposium on Antennas, 1953.
- [10] Munson R E. IEEE Trans. on AP, 1974, AP-22(1): 74—78.
- [11] Howell J Q. Microstrip Antennas. IEEE AP-S Int. Symp. Digest, 1972, 177—180.
- [12] 钟顺时. 微带天线理论与应用. 西安: 西安电子科技大学出版社,1991,第一章.
- [13] 梁联倬,寇廷耀,译. 微带天线. 北京: 电子工业出版社,1984,第四章.
- [14] 王丸谦治. テレビジョン学会誌,1987,41(1): 98—102.
- [15] Ito K. IEEE Trans. on Broadcasting, 1988, B-34(4): 457—464.
- [16] 村田孝雄,王丸廉志. 電子通信学会論文誌,1989, J72(6): 236—244.
- [17] 羽石操. テレビジョン学会誌,1984,38(11): 976—983.
- [18] 中冈快二郎,伊藤精彦,松本正. 電子通信学会論文誌,1978, J61(11): 942—949.
- [19] 羽石操,吉田信一郎,因部田雅司. 信学论,1981, J64-B(7): 612—618.
- [20] 羽石操,斋藤作義,松井章典,羽仓幸雄. 電子通信学会論文誌,1987, J61(11): 942—949.
- [21] 羽石操,松井章典,中山真男,斋藤作義. 电子情报通信学会,1990, J73-B-II(1): 34—39.
- [22] 翅石操,松井章典,羽仓幸雄. 信学技報,1987, AP87—60,19—22.
- [23] 羽石操,皆濑淳,斋藤作義. テレビジョン学会誌,1987,41(7): 642—647.
- [24] Goto N, Yamamoto M. Circularly Polarized Radial-Line Slot Antennas. IECE Japan, Tech. Rep.

- Ap80-57, Aug. 1980.
- [25] Ando M, Sakurai K, Goto N, Ito Y. IEEE Trans. on AP, 1985, AP-33(12): 1347—1353.
 - [26] Ando M, Sakurai K, Goto N. IEEE Trans. on AP, 1986, AP-34(10): 1269—1272.
 - [27] Takahashi M, Takada J, Ando M, Goto N. IEEE Trans. on AP, 1991, AP-39(7): 954—959.
 - [28] Takahashi M, Takada J, Ando M, Goto N. IEEE Trans. on AP, 1992, AP-40(12): 79—83.
 - [29] Takada J, Takahashi M, Ando M, Goto N. An Aperture synthesis of a Single-Layered Radial Line Slot Antenna. Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Microwave Conference. Tokyo: 1990, 71—74.
 - [30] Sasazawa H, Oshima Y, Ando M, Goto N. IEEE Trans. on AP, 1988, AP-36(9): 1221—1226.
 - [31] Hirokawa J, Ando M, Goto N. IEE Proc.-H, 1990, 137(10): 249—254.
 - [32] Hirokawa J, Sakurai K, Ando M, Goto N. IEE Proc. -H, 1990, 137(6): 367—371.
 - [33] Ando M, Numata T, Takada J, Goto N. IEEE Trans. on AP, 1988, AP-36(12): 1675—1680.
 - [34] Takada J, Ando M, Goto N. IEEE Trans. on AP, 1992, AP-40(4): 433—438.
 - [35] Ito K, Kabayashi A, Chatani T, *et al.* Basic Study on a Vehicular Antenna for DBS Reception. Report of Technical Group, IEICE of Japan, 1988, AP87(137): 51—56.
 - [36] Fukukawa Y, Goto N, Maechara K. A Beam-tilt Planar Waveguide Slot Antenna of Single Layer Structure for Satellite TV. Report of Technical Group, IEICE of Japan, 1988, AP88(46): 45—49.
 - [37] 吴 群, 邓绍范, 李大斌, 王 勇. Ku 波段 DBS 平面天线及发展综述. DBS 平面天线技术研讨会论文集, 桂林: 1992, 49—66.
 - [38] Vetterlein S J, Hall P S. IEE Proc.-H, 1991, 138(2): 176—184.
 - [39] Hall P S, Vetterlein S J. Electro. Lett., 1989, 25(7): 1149—1150.
 - [40] Tonye E, Temdenou J B. IEE Proc.-H, 1992, 139(1): 59—64.
 - [41] Lo Y L, Engst B, Lee R Q. IEE Proc.-H, 1988, 135(3): 213—215.
 - [42] Herscovici N I, Pozat D M. IEEE Trans. on AP, 1993, AP-41(10): 1371—1378.
 - [43] Hall P S, Hall C M, IEE Proc.-H, 1988, 135(3): 180—186.
 - [44] Hall P S, Vetterlein S J. Microwave Journal, 1992, 35(1): 103—114.
 - [45] 吴寿康译. 新建立的亚太卫星系统 APSTAR. 电信快报, 1994, (7): 57.

REVIEW ON THE Ku-BAND DBS PLANAR ANTENNAS AND THEIR CURRENT PROGRESS

Wu Qun* Gao Hong**

* (Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

** (Heilongjiang Designing Institute of Posts and Telecommunications, Harbin 150080)

Abstract Over past ten years, the Ku-band broadcasting satellites had been sent into orbit by some countries and regions such as Japan, Western Europe and Northern America, etc. Also, a series of business for Direct Broadcasting Satellite (DBS) had been carried out. Those situations have accelerated the development of the receiving techniques for television broadcast by satellites, especially, the development of the small-size planar antennas. This paper discusses the basic principle, construction and features of small-size planar antennas. This paper also gives some technical parameters of the small-size planar antenna developed both at home and abroad. On the basis of the microstrip antenna, this paper summarizes all sorts of small-size planar antennas presented at several countries. At last, this paper explores the necessity to develop small-size planar antenna in our country and proposed the current urgent task for us to do.

Key words Planar antenna, Microstrip antenna, DBS, Ku-band, Reception