

林昌禄 宋锡明 编著

圆极化天线



人民邮电出版社

科技新书目, 113-122

统一书号, 15045

总3172—无6364

定 价: 2.55元



圆极化天线

林昌禄 宋锡明 编著

吴葆捐 审校

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书介绍一种新型的、日益获得广泛应用的圆极化天线。书中系统地讲述了圆极化天线的有关问题，有电磁波极化的基础理论、圆极化的产生方式及各种圆极化天线。专门介绍了几种典型的圆极化天线，如螺旋天线、背射天线等。最后讲述圆极化天线的测量，并附有一个卫星地球站的大型天线的测试结果作为实例。

本书可供卫星通信、微波接力通信、雷达、遥控遥测、电子对抗等各部门的工程技术人员阅读，也可作为高等院校天线专业的教学参考书。

圆 极 化 天 线

林昌禄 宋锡明 编著

吴葆揖 审校

责任编辑：俞天林

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1986年6月第 一 版
印张：11 24/32 页数：188 1986年6月河北第一次印刷
字数：270 千字 印数：1—3,500 册

统一书号：15045·总3172—无6364

定价：2.55 元

前 言

随着无线电通信、遥控遥测、雷达、射电天文、电子对抗、电视、宇航等技术的发展，圆极化天线的使用日益广泛。而关于圆极化天线理论和技术的资料仅散见于国内外期刊中，在至今的各类天线书籍中对此问题很少涉及，故特编著本书，意在补此不足。

本书较系统地讲述了圆极化天线的有关问题，它不仅对从事无线电工程，特别是天馈线系统设计、生产和使用的工程技术人员有参考价值，而且还可作为高等院校有关专业的教学参考书。

全书共分七章。第一、二两章讲述有关电磁波极化的一些基础理论知识，特别说明圆极化波的特性和应用。第三、四章介绍各种类型的圆极化产生器和圆极化天线。由于螺旋天线是圆极化天线的典型代表，且用途较广，故在第五章中专门讲述，它包括圆柱螺旋、圆锥螺旋、平面螺旋等多种类型的螺旋天线。背射天线是较新型的天线之一，因此，也专列一章，在第六章中讲述圆极化背射天线的原理、类型、设计和实例。第七章是圆极化天线的测量，在简要介绍了天线的一般测量原理后，着重讲述了圆极化天线所独有的一些电参数的测量原理和方法，以便于对某种圆极化天线的质量指标进行准确的鉴定，并附有一个A型卫星地球站的测试实例。在附录中还汇集了一些有用的图表和曲线。

本书编写过程中，谢处方教授曾给予热情的指导和鼓励，

章日荣高级工程师详细审阅了初稿，特在此表示衷心感谢。限于作者水平，书中不妥之处想必难免，愿望读者不吝指正。

作者

1984年9月

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 电磁波的传播、衰减和反射	(2)
1.3 波的极化	(3)
1.4 圆极化波的特性	(4)
1.5 圆极化天线的应用	(6)
第二章 极化理论基础	(9)
2.1 引言	(9)
2.2 电磁波极化的讨论	(11)
2.3 椭圆极化波的参数	(17)
2.4 椭圆极化波的合成与分解	(27)
2.5 波的正交性和有效值	(41)
2.6 分析极化问题的图解技术	(46)
2.7 分析极化问题的复矢代数法	(60)
参考文献.....	(66)
第三章 圆极化器	(67)
3.1 引言	(67)
3.2 平行板圆极化器	(68)
3.3 十字形波导圆极化器	(72)
3.4 交叉槽圆极化器	(74)
3.5 TE_{11} 模圆极化器.....	(78)
3.6 周期加载圆极化器	(87)

3.7	片状圆极化器	(96)
3.8	利用各向异性介质的宽带圆极化器	(102)
3.9	介质板变极化器	(109)
3.10	铁氧体变极化器.....	(112)
	参考文献.....	(116)
第四章	圆极化天线.....	(117)
4.1	引言	(117)
4.2	十字形圆极化天线	(117)
4.3	电磁振子圆极化天线	(127)
4.4	圆极化角形反射器天线	(129)
4.5	圆极化环—槽天线	(132)
4.6	平行板圆极化器组成的圆极化反射器天 线	(134)
4.7	多槽圆极化天线	(136)
4.8	左右旋圆极化天线	(139)
4.9	单脉冲圆极化天线	(141)
4.10	圆极化相控阵天线.....	(150)
4.11	微带圆极化天线.....	(155)
	参考文献.....	(159)
第五章	螺旋天线.....	(160)
5.1	引言	(160)
5.2	圆柱形螺旋天线的辐射和极化特性	(161)
5.3	螺旋天线中传播的波型	(164)
5.4	圆柱形轴向辐射螺旋天线的辐射场	(168)
5.5	圆柱形轴向辐射螺旋天线的输入阻抗	(180)
5.6	圆柱形轴向辐射螺旋天线的相位中心	(184)
5.7	圆柱形轴向辐射螺旋天线的频带特性	(186)

5.8	圆柱形轴向辐射螺旋天线的工程设计	(187)
5.9	螺旋线激励的抛物面天线	(191)
5.10	圆锥形螺旋天线	(195)
5.11	阿基米德螺旋天线	(203)
5.12	平面等角螺旋天线	(211)
5.13	圆锥等角螺旋天线	(218)
	参考文献	(222)
第六章	圆极化背射天线	(223)
6.1	引言	(223)
6.2	背射天线的工作原理	(223)
6.3	背射天线的主要型式	(226)
6.4	背射天线的设计准则	(230)
6.5	背射天线的分析方法	(233)
6.6	十字馈源圆极化短背射天线	(236)
6.7	圆极化背射螺旋天线	(244)
	参考文献	(248)
第七章	圆极化天线的测量	(250)
7.1	引言	(250)
7.2	天线周围场区的划分	(251)
7.3	最小测试距离的确定	(253)
7.4	天线测试场	(258)
7.5	方向图测量	(267)
7.6	极化参数的测量	(271)
7.7	复极化比的测量	(279)
7.8	增益测量	(283)
7.9	近场测量技术	(305)
7.10	天体源测量技术	(317)

7.11 通信卫星地球站天线测试.....	(331)
参考文献.....	(356)
附录 图 1 ~ 图 15.....	(358)

第一章 绪 论

1.1 引言

天线的发展是和整个无线电技术的发展紧密相关的，并且很大程度上取决于无线电技术的成就及其应用范围。自二十世纪四十年代以来随着电视、调频广播、通信和雷达等方面的应用日趋广泛，天线使用的波长朝分米波、厘米波方向发展，因此，出现了多种类型的微波天线，诸如各种振子型天线、喇叭天线、透镜天线、槽天线、螺旋型天线、介质天线、表面波天线、反射面天线、单脉冲及相控阵天线等。

随着卫星通信、遥控遥测技术的发展，雷达应用范围的扩大以及对高速目标在各种极化方式和气候条件下跟踪测量的需要，单一极化方式已远难满足要求，圆极化天线的应用就显得十分重要。在电子对抗中，使用圆极化天线可以干扰和侦察敌方的各种线极化及椭圆极化方式的无线电波；在剧烈摆动或滚动的飞行器上装置圆极化天线，可以在任何状态下都能收到信息；在天文、航天通信及遥测遥感设备中采用圆极化天线，除可减小信号漏失外，还可能消除由电离层法拉弟旋转效应引起的极化畸变影响；在电视广播中采用圆极化天线，可望克服重影等等。可见，圆极化天线在通信、雷达、电子对抗、遥测遥感、天文及电视广播等方面的应用前途是相当广阔的。

圆极化天线是由线极化天线发展而来的，它们又都是椭圆极化天线的一种特例。由于习惯上把椭圆度不大的椭圆极化天

线统称为圆极化天线，故本书基本上也采用这个习惯统称，只是在分析具体问题时才加以区别，有时将标准圆极化称为纯圆极化。

圆极化天线具有许多线极化天线所没有的特性，本书将在适当的章节中，对它的有关特性、实现手段、设计方法、应用场合及测量原理等分别加以讨论。

1.2 电磁波的传播、衰减和反射

电磁波总是在实际的介质中传播的，但我们常常把在真空中进行的所谓“自由空间传播”的理想情况，作为研究实际传播问题的参考。因为大气和真空的电磁参量非常接近，如果忽略大气折射等的影响，就可将大气视为一种近似于真空的均匀介质，故电磁波在大气中的传播也就可视作在自由空间中的传播。

电磁波在自由空间传播时，其能量会因扩散而衰减，这种衰减称为自由空间的传输损耗。当天线参数、工作频率和作用距离确定之后，此损耗值为常数。衰减是电磁波穿过大气层时出现的一种现象，在自由空间中电磁波的能量按 $1/R^2$ 的关系衰减， R 是观察点到辐射源的距离。

实际上，大气成份、压强、温度和湿度等都是随高度而变化的，因而，它是不均匀介质。它对微波频率电磁波传播的主要影响是吸收、折射、反射和散射。吸收是大气成分中的氧、水气及由水气凝聚而成的云雾、雨雪等对电磁波能量的吸收。折射是由于大气压强、温度和湿度随高度变化而使大气折射率也随高度变化，致使电磁波的传播方向发生弯曲所引起的。反射是由于大气中常常形成的介电常数突变层所引起的。散射主

要是由大气湍流运动中的不均匀体对电磁波的部分能量产生紊乱的反射与折射而造成的。因此，大气对电磁波的衰减作用比自由空间中的扩散衰减强，且衰减因数的大小除与大气气候条件有关外，还与电磁波的工作频率、极化方式等有关。

当电磁波碰到物体时，将呈现各种不同的反射特性。例如，碰到比波长大得多的良导体时，将全反射；碰到理想的电磁波吸收体时，将无反射地被吸收；碰到电磁波“透明”体时或其他半“透明”体时，将发生散射和部分反射作用，等等。可见，无论反射体是天线，或是飞行目标；是陆地，还是海面，都存在着反射。因此，每个反射体好像是一个再辐射的天线。当然，反射波（即再辐射波）能量的大小与反射物的电尺寸大小、“透明”度、外形等因素有关。关于各不同类型物体的反射理论是较复杂的，我们仅对一些特殊物体的反射特性在下面的有关段落中进行简单讨论。

1.3 波的极化

极化是描述电磁波场矢量空间指向的一个辐射特性。若未专门说明，通常都是以电场矢量的空间指向作为电磁波的极化方向。

波的极化类型分为线极化、圆极化和椭圆极化。当在空间某固定点观察时，电场矢量 \vec{E} 的振幅或方向随时间周期地变化，其变化方式就确定了极化的类型。当 \vec{E} 矢量端点在垂直于传播方向的固定平面上描绘的轨迹是椭圆时，这种波就称为椭圆极化，如图1.1(a)所示；当描绘的轨迹是直线时，就是线极化波，如图1.1(b)所示；当描绘的轨迹是圆时，就称为圆极化波，如图1.1(c)所示。有时，以地面作参考，将与地面

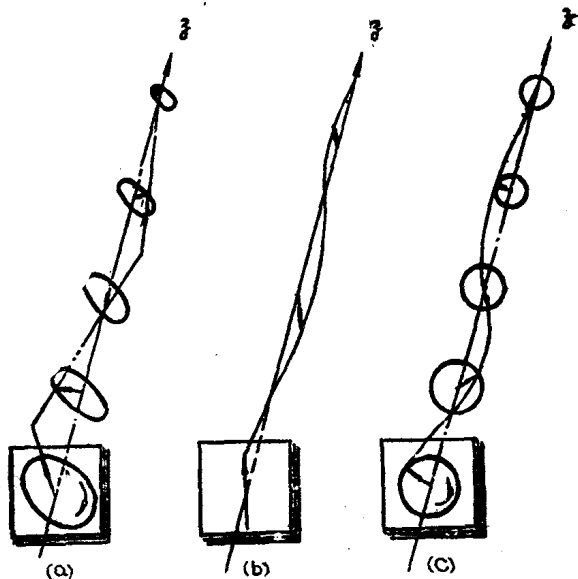


图 1.1 波的极化

平行的线极化波称为水平极化波，与地面垂直的线极化波称为垂直极化波。关于极化概念的进一步讨论，将在第二章中进行。

1.4 圆极化波的特性

圆极化波的场是等幅旋转场，有左旋向、右旋向之分。左旋圆极化天线只能辐射或接收左旋圆极化波；右旋圆极化天线只能辐射或接收右旋圆极化波。所以，工作在圆极化情况下的天线的收、发性能直接与来波的极化特性有关，或者说与电磁波作用的目标对圆极化波所呈现的特性有关。

当圆极化波辐射到一个圆对称形状或大而平滑的目标时（如表面光滑的平面或球面等），反射波是反旋向的，即若辐射的是右旋圆极化波，则反射波将为左旋圆极化波；反之，若辐射左旋圆极化波，则反射波为右旋圆极化波。因此，圆极化天线不能接收由圆对称目标反射回来的自身辐射信号。

如果圆极化波辐射到象飞机那样既不是纯对称目标，又不是纯非对称目标时，其反射的波通常是椭圆极化波。这种椭圆极化波可以用两个幅度不同、旋向相反的圆极化波来表示，或者用两个幅度或相位均不相同的正交线极化波来表示，此时，圆极化接收天线只能收到同旋向的反射圆极化波分量，而线极化接收天线则只能收到相应的线极化波分量。显然，信号被抑制掉的最大量可达3dB。

若圆极化波辐射到纯非对称目标时，例如由平行金属条组成的金属栅网，则能量的一半穿过金属栅网（与金属条垂直的线极化分量），另一半被反射（与金属条平行的线极化分量），显然，反射波是线极化的。若用极化方向相同的线极化天线接收，信号将被抑制掉3dB；若用圆极化天线接收，则信号将被抑制掉的最大量可达6dB。因为，被反射回的线极化波信号已被抑制掉3dB后，它再分解为两旋向相反的圆极化波，其中与接收天线旋向相同的那部分能量才能被接收，故又损失掉3dB。

对无线电通信而言，收、发天线的极化应该匹配，即收、发天线的极化特性应该一样，这样才能获得最大的功率传输，否则，将会出现极化损失。表1.1给出了收、发天线为各种典型极化方式时，所能得到的功率传输情况。

表 1.1

发射（或接收）天线	接收（或发射）天线	接收功率 P/P_{max}
垂直（或水平）极化	垂直（或水平）极化	1
垂直（或水平）极化	水平（或垂直）极化	0
垂直（或水平）极化	圆极化	$\frac{1}{2}$
左旋（或右旋）纯圆极化	左旋（或右旋）纯圆极化	1
左旋（或右旋）纯圆极化	右旋（或左旋）纯圆极化	0

1.5 圆极化天线的应用

如前所述，不同物体对电磁波的反射特性与波的极化状态有很大关系，而圆极化波又具有一些独特的性能，故在宇空通信、雷达、遥控遥测、电子对抗、天文、电视等方面的现代设备中，愈来愈多地采用了圆极化天线。例如，仅就雷达来讲，至少可用于以下几方面。

1. 干扰雷达天线 圆极化波对任何线极化及椭圆极化波起干扰作用，故它被广泛用作干扰雷达天线。在干扰线极化波时，由于它只能对与被干扰波的极化相匹配的波的分量起干扰作用，故它发射的功率只有一半被利用。只有干扰同频同旋向的圆极化波时，才能全被利用。

2. 侦察雷达天线 无论敌方发射的是何种线极化或椭圆极化波，侦察雷达采用圆极化天线，均可收到敌方的信号。若采用双旋向圆极化天线，那就更万无一失了。

当然，在上述两种应用中，还要求有相当宽的工作频带，以便找到敌方的工作频区。

3. 抑制无源干扰的雷达天线 在雨、雾、云、雪等水滴

群对雷达电波的反射大于目标的反射时，很易隐蔽真正的目标。如果采用圆极化天线，由于雨、雪等可视为圆对称体，雨区、雪区、云层等可视为大而平整的反射面，由它们反射的信号是反旋向圆极化波，几乎不被接收。而真正目标的几何形状一般不是圆对称的，它对圆极化波的反射是椭圆极化波，其与接收天线同旋向的圆极化分量能被接收。如图1.2所示。

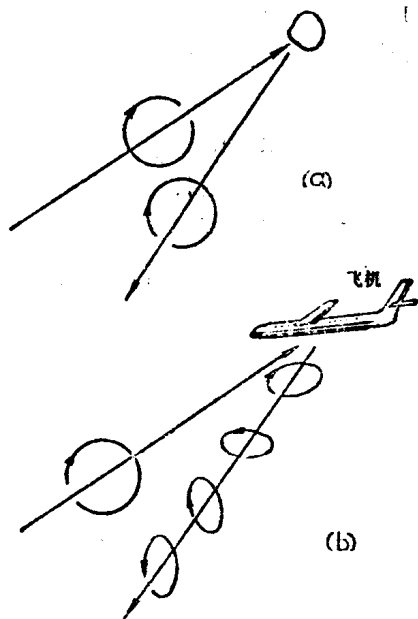


图 1.2 雨滴和飞机对圆极化波的反射
(a)雨滴的反射 (b)飞机的反射

另外，在卫星及地空通信系统中，地球站与飞行体（如飞机、导弹、卫星等）之间或各飞行体之间进行通信、遥控遥测和跟踪时，一方面由于飞行体本身在运动，姿态可能不断改变；另一方面由于电离层对电波传播会产生极化畸变和衰落现