

DV17/08
登记证号(京)143号

内 容 提 要

本书是一本有关面天线各种新技术的理论和工程实践专著,是作者及其同事们近十几年来在面天线领域中研究成果的总结。包括新馈源技术,面天线方向图综合、计算技术,差模自跟踪技术和双频共用馈源技术。这些都是目前国内同行们所关注的问题,也是其他著作中很少见的。

全书各章从天线到馈源自成体系,但又不失全书的完整性和系统性。既有深入的理论分析,又有大量可供设计选用的曲线,只要认真阅读此书,就可进行实际工程设计。

本书可供从事天线、馈源和微波技术研究、设计的工程技术人员以及相关专业的的大专院校师生阅读。

现代面天线新技术

杨可忠 杨智友 章日荣 著

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 850×1168	1/32	1993年 1 月	第 一 版
印张: 18 8/32	页数: 292	1993年 1 月	河北第 1 次印刷
字数: 416	千字	印数: 1—4000册	

ISBN7-115-04792-8/TN·562

定价: 17.30 元

《全国高技术重点图书》 出版指导委员会

主 任： 朱丽兰

副主任： 刘 杲 卢鸣谷

委 员： （以姓氏笔划为序）

王大中	王为珍	王守武	牛田佳	卢鸣谷
叶培大	刘 仁	刘 杲	朱丽兰	孙宝寅
师昌绪	任新民	杨牧之	杨嘉墀	陈芳允
陈能宽	张钰珍	张效详	罗见龙	周炳琨
欧阳莲	赵忠贤	顾孝诚	谈德颜	龚 刚
梁祥丰				

总干事： 罗见龙 梁祥丰

《全国高技术重点图书·通信技术领域》 编审委员会

主 任： 叶培大

委 员： 陈俊亮 徐大雄 姚 彦
程时昕 陈芳烈 李树岭

前 言

70年代以来,面天线领域涌现出许多新技术,尤其随着卫星通信的发展,开发了地球站用的前馈抛物面天线的 δ -Gain馈源和类 δ -Gain馈源,使这种天线效率由原来的50~55%提高到65~70%,从而开辟了前馈抛物面天线的新前景。

本书第一章中,我们从抛物面焦平面场的分析入手,讨论了焦平面场的主极化和交叉极化场特性,从而得出了最佳照射馈源,为这类天线的设计提供了理论依据。

对称性双镜天线是目前通信、雷达和射电天文中广泛应用的一类天线。尤其在卫星通信中,应用更为广泛。以追求低旁瓣、低噪声温度、高 G/T 值和高极化鉴别率为目标的双镜天线,多采用波纹喇叭作为初级馈源,这种情况下,用以前的设计技术很难处理初级馈源遮挡大于副镜次级遮挡的矛盾,这就成为对称性双镜天线设计中的一个难题,而且对于中小口径的双镜天线来说,这一困难变得更加突出。

第二章我们给出了由波纹喇叭入手进行设计的新技术,从而解决了上述难题。对于中小口径的对称双镜天线,我们则提出了利用环焦天线解决上述困难的方法。本章中我们还详细讨论了以低旁瓣和最佳 G/T 值为目标的双镜天线赋形技术,给出了对称型双镜天线的全部理论分析和设计方法。

为了克服前馈抛物面天线中馈源及其支杆对抛物面的遮挡,人们提出了单偏置抛物面天线。这类天线可获得良好的低旁瓣和较低的输入电压驻波比特性,但是由于偏置结构破坏了对称性,造成单偏置抛物面天线在线极化使用时的交叉极化上升和圆极化使用时的波束倾斜。

本书第三章详细分析了单偏置抛物面天线的几何机理和物理机理；导出了口面场和辐射场的计算公式；分析和讨论了线极化使用时造成的交叉极化上升和圆极化使用时的波束倾斜以及差模跟踪的零点飘移；研究了单偏置抛物面天线在各种领域的应用及出现的问题，并且也从分析焦平面特性入手，提出了单偏置抛物面天线新馈源的设想。因为第三章内容涉及到单偏置抛物面天线理论的各个方面，因而构成了较完整的理论体系，为研究单偏置抛物面天线提供了比较全面的理论依据。

为了克服单偏置抛物面线极化使用时的交叉极化上升和圆极化使用时的波束倾斜问题，人们研制了双偏置天线。双偏置天线既保持了单偏置抛物面天线的低旁瓣特性优点，又克服了单偏置抛物面天线的缺点，是一种具有很大发展前途的新型天线，受到人们普遍的关注。

第四章详细地研究了双偏置天线几何参数的选择和设计并给出了以控制交叉极化电平为约束条件的赋形方程。本书中，我们所提出的赋形公式便于数学计算，也便于几何参数的优化。

近10年来溅散板馈源天线有了新的发展，也就是以追求低旁瓣特性为前提，对介质表面和副反射镜表面进行同时修正（不修正主反射镜）的技术日趋成熟。第五章中，我们导出了溅散板馈源天线介质表面和溅散板的赋形方程，并对赋形中应注意的问题进行了分析和讨论。

第六章我们详细地研究了各类旁瓣源对旁瓣的贡献，探寻出了一些适用于降低旁瓣而又能保持良好增益特性的口面场分布函数，导出了天线全方向图的计算公式，并提出了降低旁瓣的措施。

众所周知，馈源是天线的核心，馈源的性能决定了天线的性能，因此本书以很大篇幅对馈源进行了详细的研究和分析。第七章我们利用场匹配法导出了馈源典型组件的 S 参数的数学表达式，在 $Z > 0$ 的半空间，利用角谱函数来表示电场的横向分量，而在 $Z = 0$ 的平面内（即馈源的口平面），利用两边磁场横向分量相等把馈

源的内部场与半空间的辐射场联系起来,从而使整个问题得以求解。就波纹馈源而言,这种处理方法不再利用混合模,而是采用TE模和TM模,这样就简化了运算,便于计算机优化设计。

第八章我们对 δ -Gain 馈源的传播和辐射特性作了详细求解,并进行了严格的数学分析,为进一步研究这类馈源提供了理论基础。

第九章我们从多模喇叭设计观点出发,给出了模比曲线。重点研究了等化预期模比,提出了三种设计方法,给出了模比综合公式和多模喇叭设计的完整数据和曲线。

第十章我们集中研究了双频段共用馈源技术,对几种可行的途径进行了探讨。

差模跟踪是一种高精度跟踪,目前在卫星通信中广泛应用着。为此我们在第十一章中讨论了四种差模跟踪方案,对每种跟踪方案的机理进行了分析,比较了它们的优缺点。

本书是作者及其同事们多年研究成果的总结,同时,也参考了国外文章。许多内容是已出版的书刊中所不多见的。

本书注意理论的系统性,同时为照顾设计者的需要,给出了设计方法和程序。书中所给出的大量曲线和图表,对于实际工程设计是十分有用的。

全书各章自成体系,几乎涉及到所有面天线的新技术,形成了面天线新技术体系。我们希望本书对从事天线,特别是从事面天线教学研究和设计的技术人员进一步开展理论研究和利用本书所提供的方法进行实际设计有所帮助。

作 者

1992年4月

目 录

第一章 前馈抛物面天线	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 抛物面的焦区场	(2)
1.3 焦平面场的性质	(12)
1.3.1 焦平面主极化场	(12)
1.3.2 焦平面交叉极化场	(12)
1.3.3 焦平面的功率流	(13)
1.4 抛物面天线的最佳馈源	(14)
1.5 各类馈源的交叉极化特性	(19)
1.6 天线焦距直径比的选择	(20)
1.7 非均匀口面分布	(20)
第二章 对称型双镜天线	(23)
2.1 概述	(23)
2.2 目前双镜天线设计中存在的问题	(25)
2.3 天线焦距直径比 (F/D) 和副镜直径的选择	(25)
2.4 卡塞格伦天线几何参数的设计及选择	(27)
2.4.1 F/D 和 D_s/D 的选择	(27)
2.4.2 副镜照射锥角的选择	(27)
2.4.3 由波纹喇叭入手的新设计方法	(29)
2.4.4 副镜几何参数的确定	(32)
2.4.5 遮挡条件的验证	(34)
2.5 格里高利天线	(35)
2.6 格里高利天线与卡塞格伦天线比较	(36)
2.7 环焦天线	(38)
2.7.1 环焦天线特点	(38)

2.7.2	副镜母线是椭圆的环焦天线	(38)
2.7.3	副镜母线是椭圆的环焦天线的几何参数	(41)
2.7.4	副镜母线是椭圆的环焦天线的设计	(43)
2.7.5	副镜母线是双曲线的环焦天线	(49)
2.8	对称双镜天线的赋形技术	(51)
2.8.1	口面场分布函数的选择	(51)
2.8.2	初级馈源方向图的逼近方法	(52)
2.8.3	赋形方程	(56)
2.9	非赋形频率口面场的求得	(66)
2.10	老式卫星通信地球站天线的低旁瓣途径	(69)
2.11	赋形卡塞格仑和格里高利天线副镜散射方向图旋 转中心的确定	(71)
2.12	赋形环焦天线副镜散射方向图旋转中心的确定	(73)

第三章 单偏置抛物面天线

3.1	概述	(79)
3.2	单偏置抛物面天线几何结构与坐标关系	(79)
3.3	单偏置抛物面的投影口面	(83)
3.3.1	单偏置抛物面在 xy 平面的投影	(83)
3.3.2	单偏置抛物面在 $x'y'$ 平面的投影	(85)
3.3.3	单偏置抛物面边缘轮廓在当地坐标系中的表 示式	(87)
3.3.4	单偏置抛物面上任一点在当地坐标系中的方 程式	(90)
3.4	单偏置抛物面天线的口径场	(94)
3.5	单偏置抛物面天线的辐射场	(100)
3.5.1	E 模辐射场公式法	(100)
3.5.2	朱兰成辐射公式法	(102)
3.5.3	镜面电流法计算辐射场	(105)

3.5.4	积分处理	(113)
3.6	圆极化工作时的波束倾斜和零点漂移	(116)
3.7	单偏置抛物面天线的GTD分析	(121)
3.7.1	单偏置抛物面天线边缘轮廓表示式	(121)
3.7.2	边缘点P的一些几何参数	(123)
3.7.3	绕射点的确定	(125)
3.7.4	扩散因子的计算	(127)
3.7.5	射线固定坐标系	(129)
3.7.6	入射场分解为 $\hat{\varphi}_0$ 和 $\hat{\beta}'_0$ 分量	(132)
3.7.7	数值法计算入射场的斜率	(133)
3.7.8	尖锐边缘的GTD边缘绕射系数	(133)
3.7.9	绕射场的计算	(134)
3.8	单偏置抛物面电气特性的研究	(135)
3.8.1	线极化工作	(135)
3.8.2	圆极化工作	(137)
3.9	单偏置抛物面天线的实际应用	(137)
3.9.1	TVRO天线	(137)
3.9.2	小型卫星通信地球站天线	(138)
3.9.3	单脉冲跟踪雷达	(139)
3.9.4	赋形波束	(140)
3.9.5	多波束	(142)
3.10	单偏置抛物面的焦平面场特性研究	(143)
3.10.1	光程因子	(144)
3.10.2	积分面元	(144)
3.10.3	有关式(1.11)中的一些数学处理	(144)
3.10.4	单偏置抛物面焦平面的场	(145)
3.11	单偏置抛物面的新馈源设想	(148)
3.11.1	光壁圆波导的新馈源	(148)
3.11.2	波纹圆波导新馈源	(154)

3.12 单偏置抛物面的发展前景	(156)
------------------------	---------

第四章 双偏置天线

(158)

4.1 概述	(158)
4.2 格里高利型双偏置天线	(159)
4.2.1 几何参数的选择及它们之间的关系	(159)
4.2.2 重点考虑因素	(163)
4.3 卡塞格仑型双偏置天线	(166)
4.3.1 几何参数的选择及它们之间的关系	(166)
4.3.2 重点考虑因素	(169)
4.4 双偏置天线的设计	(171)
4.4.1 副镜边缘照射锥削的选择	(171)
4.4.2 设计方法	(171)
4.5 非赋形双偏置天线	(174)
4.5.1 反射镜面微波光学	(174)
4.5.2 坐标的处理	(182)
4.5.3 主镜口面上的电磁场	(193)
4.6 赋形双偏置天线	(206)
4.6.1 一般数学处理	(206)
4.6.2 口面场分布函数	(210)
4.6.3 消除交叉极化的赋形格里高利型双偏置天线	(211)
4.7 双偏置天线的辐射场	(226)

第五章 溅散板馈源天线

(237)

5.1 概述	(237)
5.1.1 工作原理	(239)
5.1.2 优点	(239)
5.2 数学模型	(240)
5.3 赋形中应注意的问题	(245)

5.4 溅散板馈源天线与卡塞格伦天线比较	(246)
----------------------------	---------

第六章 反射面天线的低旁瓣技术..... (250)

6.1 概述	(250)
--------------	---------

6.2 各类旁瓣源对旁瓣的贡献	(252)
-----------------------	---------

6.2.1 主镜口面场分布函数(包括副镜遮挡的影 响)	(253)
--------------------------------------	---------

6.2.2 主副镜边缘以外的漏泄和主副镜边缘的绕射	(255)
---------------------------	---------

6.2.3 副镜支杆的散射	(260)
---------------------	---------

6.2.4 反射镜的表面公差	(263)
----------------------	---------

6.3 主镜口面场分布函数的寻求	(263)
------------------------	---------

6.3.1 广义台劳位移分布和改型广义台劳位移分布	(264)
---------------------------	---------

6.3.2 环形分布和改型环形分布	(270)
-------------------------	---------

6.3.3 指数型口面场分布函数	(273)
------------------------	---------

6.3.4 一维汉森分布	(275)
--------------------	---------

6.3.5 双锥削口面场分布	(276)
----------------------	---------

6.3.6 等幅余弦分布	(276)
--------------------	---------

6.3.7 幂函数分布	(276)
-------------------	---------

6.3.8 高斯分布	(277)
------------------	---------

6.4 赋形对称双镜天线全方向图的计算	(277)
---------------------------	---------

6.4.1 口面场分布函数所形成的辐射场	(277)
----------------------------	---------

6.4.2 各种绕射场的计算——UGTD法	(278)
-----------------------------	---------

6.4.3 散焦区场的计算	(309)
---------------------	---------

6.4.4 初级馈源喇叭的漏泄场	(319)
------------------------	---------

6.4.5 主镜轮廓偏差对天线旁瓣的影响	(319)
----------------------------	---------

6.4.6 NFUGTD—SWE法计算天线完整方向图.....	(320)
---------------------------------	---------

6.5 低旁瓣天线技术的展望	(329)
----------------------	---------

6.5.1 新天线结构的开拓	(329)
----------------------	---------

6.5.2 天线增益与旁瓣关系	(330)
-----------------------	---------

6.5.3	研究性能更好的馈源	(330)
6.5.4	改进天线主副镜表面公差控制技术	(339)
第七章	波纹馈源的新分析方法	(332)
7.1	概述	(332)
7.2	典型组件 S 参数的导出	(334)
7.2.1	典型组件的场	(335)
7.2.2	散射矩阵参数的导出	(338)
7.2.3	相邻两组件的组合散射矩阵	(349)
7.2.4	由几何参数所确定的矩阵参数	(350)
7.3	喇叭或波导与口面之间波导段的处理方法	(352)
7.4	平面波角谱法	(353)
7.4.1	平面波函数	(353)
7.4.2	口面对半空间的辐射	(356)
7.5	整个问题的处理	(361)
7.6	数学处理	(363)
7.6.1	矩形口面 $a \times b$	(363)
7.6.2	半径为 a 的圆口面	(366)
7.7	宽频带波纹喇叭	(374)
7.7.1	特殊点参数图	(375)
7.7.2	宽带波纹喇叭的设计原则	(398)
7.7.3	宽带波纹喇叭的设计	(408)
7.8	球面波展开法计算波纹喇叭方向图	(412)
7.8.1	圆锥波纹喇叭在以其顶点 O 为原点、斜长 R_0 为 半径的球口面上的切向电场表示式	(414)
7.8.2	自由空间中的球面波函数组	(415)
7.8.3	球面波系数的求得	(416)
7.9	模数选取	(419)

第八章 6-Gain馈源..... (422)

8.1 概述 (422)

8.2 数学模型 (425)

8.2.1 利用矩量法求模比 (427)

8.2.2 具体数学处理 (430)

8.3 馈源的辐射方向图 (440)

8.3.1 投射面 P' 上的场 (440)

8.3.2 馈源辐射方向图公式的导出 (441)

8.4 计算结果与实测结果的比较 (444)

第九章 多模馈源..... (447)

9.1 概述 (447)

9.2 圆锥多模喇叭设计的基本知识 (452)

9.2.1 圆锥系统的模比公式及模比曲线 (452)

9.2.2 关于移相量的计算 (463)

9.3 多模喇叭方向图的估算——空间因子 $u=4$ 的等化
预期模比曲线 (465)

9.3.1 空间因子 $u=k\sin\theta_{,m}=4$ 的等化预期模比曲
线 (468)

9.3.2 关于预期模比曲线的讨论 (470)

9.4 多模喇叭的设计 (473)

9.4.1 抑制法 (474)

9.4.2 利用法 (477)

9.4.3 取样法 (481)

9.4.4 “双频区”多模喇叭的设计原则 (486)

9.5 模比综合技术 (487)

9.5.1 衰减模的计算 (488)

9.5.2 模比综合 (488)

第十章 双频段共用馈源技术 (493)

10.1 概述 (493)

10.2 中心加载介质棒的波纹波导 (495)

10.2.1 场表达式 (495)

10.2.2 特征方程 (498)

10.2.3 中心加载介质棒波纹波导的传播特性 (502)

10.2.4 中心加载介质棒波纹波导场系数的求得 (508)

10.2.5 中心加载介质棒的波纹波导的辐射特性 (509)

10.3 双槽深波纹馈源 (516)

10.3.1 低频截止点 $\beta_0 a = 0, k_0 a = ka$ (517)

10.3.2 高频截止点 (518)

10.3.3 平衡混合 $Y_d = 0$ (520)

10.3.4 慢波条件 $\beta_0 a = ka$ (521)

10.3.5 短路条件 $S_d = \infty$ (521)

10.4 环加载的波纹馈源 (521)

10.5 波纹结构的双频共用馈源有害模的抑制 (525)

第十一章 差模跟踪 (528)

11.1 概述 (528)

11.2 TE_{11}° 、 TM_{01}° 两模自跟踪 (529)

11.2.1 各波模电压激励的数学处理 (530)

11.2.2 信号的提取 (532)

11.2.3 TM_{01}° 模的耦合 (533)

11.2.4 误差信号的获得 (533)

11.2.5 关于交叉耦合的讨论 (538)

11.3 TE_{11}° 、 TE_{21}° 两模自跟踪 (539)

11.3.1 TE_{11}° 和 TE_{21}° 模的耦合方式 (540)

11.3.2 信标来波在圆波导内激励起的场 (543)

11.3.3	任意极化波的四信道方式·····	(545)
11.3.4	任意极化波的二信道方式·····	(547)
11.3.5	线极化波的二信道方式·····	(550)
11.4	TE_{11}° 为和模, TM_{01}° 和 TE_{01}° 为差模的三模 自跟踪方式·····	(551)
11.4.1	信标来波所激励起的波模电压·····	(552)
11.4.2	误差信号的提取·····	(553)
11.5	TE_{11}° 、 TE_{21}° 、 TM_{01}° 三模自跟踪·····	(557)
11.5.1	耦合方式·····	(558)
11.5.2	波模电压和方向图的矢量表示·····	(559)
11.5.3	各模信号的数学处理·····	(562)
11.5.4	极化跟踪信号·····	(563)
11.5.5	误差信号的提取·····	(563)
11.5.6	高次模耦合的回转位置·····	(565)

第一章

前馈抛物面天线^{〔1〕}

1.1 概 述

最先出现的抛物面天线是前馈抛物面天线，它在面天线发展史上起了奠基作用。后来出现的卡塞格伦和格里高利天线以及由此发展起来的修正卡塞格伦及修正格里高利天线都是在前馈抛物面天线基础上发展起来的。由于前馈抛物面天线的馈源与位于抛物面顶点后面的接收单元（或发射单元）要用波导或电缆连接，因而引入较大的传输损耗，且馈源的维修也不方便。加之早期的前馈抛物面天线由于其馈源的方向图不等化，造成天线效率只有50~55%，因而前馈抛物面被认为是一种低效率面天线。

但是，过去15年中，馈源的理论研究和实验研究获得很多成果，这些成果主要表现为：

馈源方向图的等化理论和设计方法日渐成熟，使设计者能较容易地设计出等化方向图或旋转轴对称方向图的馈源，从而使抛物面获得旋转轴对称的照射，导致天线照射效率的提高。

δ -Gain 馈源的出现是前馈抛物面天线获得新生的又一重要标志。所谓 δ -Gain 馈源就是其方向图不仅轴对称，并且在抛物面照射角度内基本上是均匀的，而在抛物面边缘其方向图又迅速下跌。这种馈源以同轴多模馈源为代表，配置合适的焦距直径比，可使天线的效率达到65~70%。

第三个促使前馈抛物面天线获得新生的原因是，低噪声放大器的噪声温度降低和小型化以及发射单元的固态化、小型化，使收发单元可直接放在馈源之后而又不致占有较大的空间造成对抛物面的遮挡。此外，先进的低噪声放大器和发射单元具有较好的可靠性而不必经常进行维修。

还要提到的是，鉴于 δ -Gain馈源在抛物面边缘可维持相当低的照射锥角，使抛物面的远旁瓣和背瓣可控制得很低，因此抛物面采用前馈照射同样可获得良好的旁瓣特性。这就克服了老式前馈抛物面天线的固有缺点。从上面讨论的情况来看，馈源实际上是天线的核心（或心脏）。馈源问题解决了，天线的问题也就解决了。

但是，前馈抛物面天线终究不能代替后馈抛物面天线。这主要还是馈源问题，因为前馈抛物面天线馈源的宽频带特性是很难实现的。以同轴多模馈源而言，其方向图等化的相对带宽充其量不过是25%，这是因为凡是多模馈源都有一个模比的问题。模比选得合适才能实现方向图等化，而模比的频率特性是很严重的，关于这一问题我们将在第九章中作详细讨论。因此前馈抛物面天线一般多在窄频带使用，例如TVRO天线。

1.2 抛物面的焦区场

本节讨论一个平面波从无穷远处沿抛物面轴线方向射来时，在抛物面焦区所激励起的场的一些基本性质。

假定入射平面波其电场方向沿 x 方向，那末入射的电场可表示为（见图1.1所示）

$$E_i = E_0 e^{-jk r_0 \cos \theta} \hat{x} \quad (1.1)$$

入射的磁场可表示为

$$\begin{aligned} H_i &= -E_0 Y_0 e^{-jk r_0 \cos \theta} \hat{y} \\ &= -H_0 e^{-jk r_0 \cos \theta} \hat{y} \end{aligned} \quad (1.2)$$

式中,

E_0 ——电场强度;

H_0 ——磁场强度;

$Y_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} = \frac{1}{Z_0}$ 为自由空间波导纳, Z_0 为自由空间波阻抗。

$\hat{x}$, $\hat{y}$ ——分别为 x 方向和 y 方向的单位矢量。

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ 为自由空间波长。

其它参数如图1.1所示。图中,

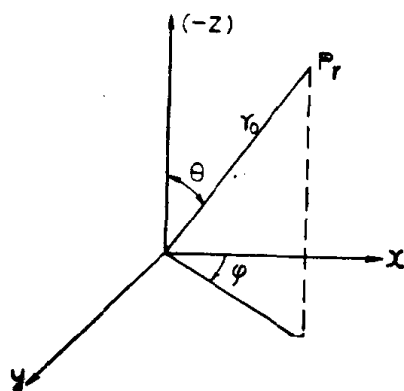
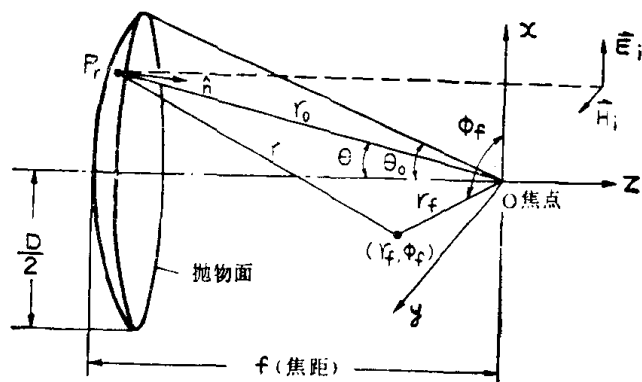


图 1.1 抛物面焦区坐标