



《中国工程物理研究院科技丛书》第 029 号

再入飞行器天线

金显盛 著

国防工业出版社

417
1004 《中国工程物理研究院科技丛书》第 029 号

V475
1004-1

再入飞行器天线

Reentry Vehicle Antennas

金显盛 著



30847827

国防工业出版社

· 北 京 ·

847827

图书在版编目(CIP)数据

再入飞行器天线/金显盛著. —北京:国防工业出版社, 2000. 2

(中国工程物理研究院科技丛书)

ISBN 7-118-02184-9

I. 再… II. 金… III. 再入飞行器-天线-研究
IV. V475.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 48859 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 12 1/8 304 千字

2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:23.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金

第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员

怀国模

主任委员

黄 宁

副主任委员

殷鹤龄 高景德 陈芳允 曾 铎

秘 书 长

崔士义

委 员

(以姓氏笔划为序)

于景元 王小谟 尤子平 冯允成

刘 仁 朱森元 朵英贤 宋家树

杨星豪 吴有生 何庆芝 何国伟

何新贵 张立同 张汝果 张均武

张涵信 陈火旺 范学虹 柯有安

侯正明 莫梧生 崔尔杰

《中国工程物理研究院科技丛书》出版说明

中国工程物理研究院建院以来,坚持理论研究、科学实验和工程设计密切结合的科研方向,完成了国家下达的各项国防科研任务,通过完成任务,在许多专业学科领域里,不论在基础理论方面,还是在实验测试技术和工程应用技术方面,都有重要发展和创新,积累了丰富的知识经验,造就了一大批优秀科技人材。

为了扩大科技交流与合作,促进我院事业的继承与发展,系统地总结我院建院以来在各个专业领域里集体积累起来的经验,吸收国内外最新科技成果,形成一套系列科技丛书,无疑是一件十分有意义的事情。

这套丛书将部分地反映中国工程物理研究院科研工作的成果,内容涉及本院过去开设过的二十几个主要学科。现在和今后开设的新学科,也将编著出书,续入本丛书中。

这套丛书将在今后几年里陆续编辑出版。我院早些年零散编著出版的专业书籍,经编委会审定后,也纳入本丛书系列。

谨以这套丛书献给为我国国防现代化而献身的人们!

《中国工程物理研究院科技丛书》

编审委员会

1989年1月25日

《中国工程物理研究院科技丛书》

第三届编审委员会

主 任 杜祥琬

副主任 章冠人 华欣生 王新堂

委 员 (以姓氏笔划为序)

邓门才 方宗璠 水鸿寿 田常津 刘庆兆

刘常龄 沈元如 花平环 陈银亮 汪源浚

周关林 吴宏志 罗顺火 范宗喜 竺家亨

张寿齐 张俊哲 张富堂 俞大光 赵维晋

姜学贤 高国桐 蒲仁壁 赖祖武 魏奎超

丛书编辑部

负 责 人 吴衍斌

本册编辑 郭玉团 吴衍斌

《中国工程物理研究院科技丛书》

已 出 版 书 目

- | | | | | |
|-----|---------------|-----------|---------|----------|
| 001 | 高能炸药及相关物性能 | 董海山、周芬芬主编 | 科学出版社 | 1989年11月 |
| 002 | 光学高速摄影测试技术 | 谭显祥编著 | 科学出版社 | 1990年02月 |
| 003 | 凝聚炸药起爆动力学 | 章冠人等编著 | 国防工业出版社 | 1991年09月 |
| 004 | 线性代数方程组的迭代解法 | 胡家赣编著 | 科学出版社 | 1991年12月 |
| 005 | 映象与混沌 | 陈式刚编著 | 国防工业出版社 | 1992年06月 |
| 006 | 再入遥测技术(上册) | 谢铭勋编著 | 国防工业出版社 | 1992年06月 |
| 007 | 再入遥测技术(下册) | 谢铭勋编著 | 国防工业出版社 | 1992年12月 |
| 008 | 高温辐射物理与量子辐射理论 | 李世昌编著 | 国防工业出版社 | 1992年10月 |
| 009 | 粘性消动法和差分格式粘性 | 郭柏灵著 | 科学出版社 | 1993年03月 |
| 010 | 无损检测技术及其应用 | 张俊哲等著 | 科学出版社 | 1993年05月 |
| 011 | 半导体材料辐射效应 | 曹建中著 | 科学出版社 | 1993年05月 |

- 012 炸药热分析
楚士晋编著 科学出版社 1994 年 12 月
- 013 脉冲辐射场诊断技术
刘庆兆主编 科学出版社 1994 年 12 月
- 014 放射性核素活度的测量
方法和技术
古当长编著 科学出版社 1994 年 12 月
- 015 二维非定常流和激波
王继海编著 科学出版社 1994 年 12 月
- 016 抛物型方程差分方法引
论
李德元、陈光南著 科学出版社 1995 年 12 月
- 017 特种结构分析
刘新民、韦日演主编 国防工业出版社 1995 年 12 月
- 018 理论爆轰物理
孙锦山、朱建士著 国防工业出版社 1995 年 12 月
- 019 可靠性维修性可用性评
估手册
潘吉安编著 国防工业出版社 1995 年 12 月
- 020 脉冲辐射场测量数据处
理与误差分析
陈元金编著 国防工业出版社 1997 年 01 月
- 021 近代成象技术与图象处
理
吴世法著 国防工业出版社 1997 年 03 月
- 022 一维流体力学差分方法
水鸿寿著 国防工业出版社 1998 年 02 月
- 023 抗辐射电子学
——辐射效应及加固原
理
赖祖武等著 国防工业出版社 1998 年 07 月

024 金属的环境氢脆及其试验技术

周德惠、谭云编著

国防工业出版社 1998年12月

025 实验核物理测量中的粒子分辨

段绍节编著

国防工业出版社 1999年06月

026 实验物态方程导引(第二版)

经福谦著

科学出版社 1999年09月

027 无穷维动力系统

郭柏灵著

国防工业出版社 2000年1月

028 真空吸取器的设计与应用

单景德著

国防工业出版社 2000年1月

029 再入飞行器天线

金显盛著

国防工业出版社 2000年2月

前 言

本书是根据中国工程物理研究院近 40 年来在研制各种再入飞行器天线方面的经验,并吸纳国内外有关研究成果,经过理论化、系统化汇集而成的一本科技专著。

本书在内容安排与写法上不同于一般高等学校教学用书。高等学校教学用书是按照应讲授的内容以天线类型为线索安排章节的,理论的讲述也是系统、完整的。而本书则是按天线在飞行器上的安装形式划分章节的。在写这本书的第一稿时,也曾从多种角度考虑编排本书稿内容,但均觉不妥,最后决定按天线在飞行器上的安装状态,非齐平安安装,齐平安安装天线安排编写内容。因为一般说来,在再入飞行器上,总希望天线齐平安安装。因而,一种天线是否能用于再入飞行器,它是否具有齐平安安装性能,便成了重要条件。这是本书与高等学校教学用书在章节划分原则上的一个不同点。第二个不同点在于内容的取舍。高等学校教学用书的内容,不仅要求天线理论要系统完整,而且对一些定义、术语都要加以说明。对于本书中的天线未分门别类系统地介绍它们的理论,只是需要什么理论就讲述什么理论。实际上,有的类型的天线,例如介质天线,这就不可能用一章的篇幅系统地分析介质天线。又如,折叠缝隙二元阵,在飞行器上也只用过一次,阵的形式又只一种,因此,也不可能用一章的篇幅系统地讲述阵理论。此外,由于本书的主要阅读对象是高年级大学生、研究生和从事飞行器天线研究的科技工作者,所以,天线理论中的一些定义、术语和一些定理、原理一般都不作介绍。不过,个别天线例外,如漏波天线。对于这种天线,我们在再入飞行器上用得比较多,并且由漏波天线还衍生出一些别的天线。因此,对漏波天线的理论、设计和实验结合技术均作了系统的介绍。

此外,本书标题是《再入飞行器天线》,然而我们知道,飞行器再入时,存在气动加热,飞行器表面温度高达数千度。显然,介质天线不能用作再入飞行器天线。但由于介质天线曾用于我院非再入飞行器上,所以,虽然不能将介质天线列入《再入飞行器天线》范畴,仍编入了本书。

全书共分9章。第1章绪论。介绍再入飞行器天线的用途、工作环境以及对再入飞行器天线的要求。第2章介绍了再入飞行器天线解析基础,为后面分析天线特性奠定基础。第3章介绍了三种求解圆锥缝隙辐射场的方法。从原则上说,有了这三种方法,只要知道了口径场分布,圆锥上的口径辐射场都可以求解。第4章介绍非齐平安装天线。一般说来,这些天线只能用于低马赫数的再入飞行器。第5章介绍齐平安装天线(I)。这一章介绍了多种不同用途的天线。第6章讲述齐平安装天线(II)。该章系统地介绍了漏波天线理论、漏波天线设计及多种漏波天线。第7章介绍共用天线。第8章介绍了再入飞行器天线的方向图与输入阻抗的调控,它体现了在小天线研究中具有的特色。第9章介绍等离子体中的天线。等离子体物理是一门专门学科,理论性很强,而天线技术则是基于麦克斯韦方程的另一门学科。如果将这两门学科相互渗透,统一处理,即使是在非常理想的情况下,也是非常困难的。因此,如果详细地讲述等离子体中的天线,一是要花大量的篇幅,二是关于这方面资料也并不多,再则本书的重点也不在于此。所以,关于等离子体中天线的行为只能给读者一些定性的知识。

本书由西安交通大学汪文秉教授、中国工程物理研究院蒲仁璧研究员主审,西南交通大学杨儒贵教授也审阅了本书。他们对书稿内容提出了许多宝贵的意见和建议,对此一并表示衷心感谢!

本书在写作过程中得到中国工程物理研究院各级领导的关心和支持,著者表示十分感谢!

书中讲述的天线其结构和边界都很复杂,很难用解析方法对这些天线严格求解。所以,对安装在再入飞行器上的天线,分析是近似的、粗糙的,对少数天线的分析虽比较严谨,但却作过这样或

那样的近似处理或略去了某些影响。不过这些分析能满足工程应用精度要求。再则本书涉及的数学理论很深,由于著者水平有限,书中不可避免地会存在不足或错误,殷切希望读者批评指正。

著 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 再入飞行器天线的用途	1
1.2 再入飞行器天线的工作环境	1
1.3 对再入飞行器天线的要求	4
1.3.1 对天线方向图的要求	5
1.3.2 对天线电压驻波比的要求	10
1.3.3 对极化的要求	11
1.3.4 对天线隔离度的要求	12
1.4 再入飞行器天线的类型及研究方法	12
1.4.1 再入飞行器天线的基本类型	12
1.4.2 再入飞行器天线的研究方法	14
第 2 章 再入飞行器天线解析基础	19
2.1 引言	19
2.2 位函数及赫兹矢量	20
2.2.1 矢量磁位和标量电位	20
2.2.2 矢量电位和标量磁位	22
2.2.3 赫兹矢量	23
2.3 二重性原理及电磁场理论中的巴比涅原理	24
2.3.1 二重性原理	24
2.3.2 电磁场理论中的巴比涅原理	25
2.4 标量齐次二阶线性偏微分方程的分离变量解	30
2.4.1 直角坐标系中标量亥姆霍兹方程的分离变量解	30
2.4.2 圆柱面坐标系中标量亥姆霍兹方程的分离变量解	33
2.4.3 球面坐标系中标量亥姆霍兹方程的分离变量解	36
2.4.4 三种常用坐标系中用基本波函数 ϕ 表示 E 和 H	38

2.5	矢量齐次二阶线性偏微分方程的直接解	43
2.6	矢量非齐次二阶线性偏微分方程的积分解	46
2.6.1	矢量亥姆霍兹方程的积分	46
2.6.2	无限区及辐射条件	52
2.6.3	有限区内的源在无限区内产生的场	54
2.6.4	远区场	56
2.6.5	良导体上电流分布的远区场	57
2.6.6	由口径场分布计算远区场	59
2.7	等效原理	61
2.8	互易定理	64
第3章	圆锥缝隙辐射场	66
3.1	直接求解半无限、良导电圆锥上缝隙的辐射场	67
3.1.1	环缝的辐射场	78
3.1.2	纵缝的辐射场	78
3.2	用几何绕射理论计算元缝的场	81
3.2.1	路程方程,路程长 s 及曲率半径 ρ_0	82
3.2.2	应用福克理论求平面波照射时良导电圆锥面上阴影区的 磁场 H_z	86
3.2.3	亮区内的几何光学项	90
3.2.4	半无限、良导电圆锥上磁偶极子的辐射场	90
3.2.5	半无限、良导电圆锥上缝的辐射场	93
3.3	半无限、良导电圆锥上缝隙辐射场计算中的并矢 格林函数法	95
第4章	非齐平安装天线	106
4.1	镜像原理	107
4.2	半无限导电平面棱上的单极子及与之互补的切口 天线	108
4.3	切口天线的馈电	120
4.4	折叠切口缝隙辐射器	121
4.5	垂直于楔形体棱的单极子	121
4.6	良导电圆锥上的套简单极天线	123

4.6.1	海伦积分方程	123
4.6.2	半径为 a 的圆柱偶极天线的输入阻抗	129
4.6.3	半径为 a_1 和 a_2 的圆柱偶极天线的电流分布及输入 阻抗	131
4.7	半无限良导电圆锥顶上的单极天线	134
4.8	良导电圆锥上的斜置金属棒	150
4.9	传输线天线	153
4.9.1	传输线天线的辐射电阻	153
4.9.2	传输线天线的辐射图形	158
4.10	变形传输线天线	159
4.11	折叠弯曲单极子辐射器	162
4.11.1	U 形天线的辐射图形	163
4.11.2	提高 U 形天线输入阻抗的方法	165
4.12	介质天线	168
4.12.1	介质棒天线的辐射场	169
4.12.2	介质棒天线的最佳方向性系数	173
4.13	介质镜像线	175
第 5 章	齐平安装天线 (I)	177
5.1	同轴折叠缝隙二元阵	177
5.1.1	同轴折叠缝隙二元阵的设计原则	177
5.1.2	同轴折叠缝隙二元阵的方向图	179
5.2	矩形开口波导辐射器	184
5.3	带腔 π 形缝天线	186
5.3.1	带腔 π 形缝天线结构及工作原理	186
5.3.2	带腔 π 形缝天线的方向图	187
5.4	带腔工字形缝隙天线	190
5.5	带腔单缝辐射器	191
5.6	带腔螺旋天线	193
5.7	新型超宽带天线	195
5.7.1	对称偶极天线的电磁能密度及其在近场区内的分布	195
5.7.2	超宽带天线设计举例	201