

无线电波传播理论 及其应用

● 吕保维 王贞松 著



科学出版社

www.sciencep.com

无线电波传播理论 及其应用

吕保维 王贞松 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书全面系统地阐述了电磁波在大气层、对流层、电离层及空间各种环境下传播的基础理论、基本方程及其求解方法;详细讨论了与通信、遥感等应用直接有关的天线、电磁波散射等内容。主要内容包括三大部分:电动力学概要,电磁波的基本特性,狭义相对论;天线理论概要,地波传播,电磁波在对流层中的传播;高空大气物理概要,等离子体物理概要,电离层中波的传播,长波和超长波传播。

本书对信息学科、电子工程、空间物理、大气物理、地球物理、电波传播等专业的大学生、研究生来说是一本富有特色的新颖的电波传播基础理论教程;对上述学科领域的科研工作者是一本极好的理论导论。

图书在版编目(CIP)数据

无线电波传播理论及其应用/吕保维、王贞松著. —北京:科学出版社, 2003

ISBN 7-03-010840-X

I. 无… I. ①吕…②王… III. 电波传播 IV. TN011

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 082249 号

责任编辑:唐正必 马长芳 / 责任校对:柏连海

责任印制:刘秀平 / 封面设计:黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年8月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2003年8月第一次印刷 印张: 33 1/2

印数: 1—2 000 字数: 658 000

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

序 言

中国科学院资深院士吕保维教授和王贞松研究员合著的《无线电波传播理论及其应用》一书出版了。吕保维院士已八十五岁高龄,他以对事业的高度热爱和执著追求,以坚强的意志克服了健康上的诸多困难,在与他的学生和同事王贞松研究员的合作下,为我们后辈学人完成了这一部著作。这部著作的出版是无线电科学学术界的一件幸事。我作为吕先生的晚辈和学生,十分高兴地向读者推荐这本电波传播基础理论专著。

吕保维院士是我国空间科学和电波传播事业的创始人之一。60年来,他一直在电波传播学科的前沿,锲而不舍地从事科学研究和工程实践,作出了奠基性、开拓性的贡献。1944年他在美国哈佛大学以题为“电离层吸收日变化研究”的论文获得博士学位。1949年新中国成立之日回到祖国后,就全身心投入起草第一个全国科学技术规划和筹建我国电离层观测站网工作,开创了我国电离层研究事业。20世纪60年代,他发展了对流层和电离层前向散射理论,完成了利用短波地波探测超视距海上目标的原理可行性试验,提出了地面与卫星式飞船间短波通信的“滑行波”模式理论。70年代他参加了我国卫星的系统设计,研究了卫星轨道摄动理论和多通道调频系统信噪比计算方法。80年代以来,他主要从事电磁场理论及应用、空间等离子体电动力学、全球定位系统应用、地球环境中低频电磁波传播和在哨声波传播中的应用等研究。特别是近年来,他带领他的学生和同事,对相对论和宇宙学、非线性电磁学等学科前沿问题进行许多新的探索,提出了独特的见解和分析方法,取得了一批高水平成果。他在1963年创建了我国惟一的国家级电波传播专业研究所——中国电波传播研究所。1979年出任中国科学院电子学研究所所长,为该所发展作出了重大贡献。

王贞松研究员是无线电科学界知名的专家,对电磁理论和电波传播基础理论的研究有很高的造诣,特别在合成孔径雷达技术等研究领域取得了突出成就。

电磁理论表述需要尽量严格,而工程应用又需要有必要的近似。现代无线电电子系统都要依赖电磁波作为其信息的搭载工具。对一个无线电系统而言,地球及其大气层等传播环境同无线电系统的辐射源和接收设备一起,实际上是一个整体。因此,在电波传播理论指导下,正确地进行无线电电子系统的总体设计,以及高质量的电波传播环境(和目标)特性探测和预测是电子系统存在和能力发挥的前提。正确地选择无线电电子系统工作参数,与电波传播环境相匹配地进行工作,系统性能就会倍增;反之,系统能量再大也将是无济于事。吕保维院士与王贞松研究员在他们的科学论著中充分体现了上述原理。

《无线电波传播理论及其应用》一书讲的是无线电波传播的理论基础,重点阐述在日地环境中的电波传播理论和应用。该书既有基础理论,又引入了近年来这一学科内及作者本人大量的理论推导和研究成果。全书共分三个部分,第一部分是电动力学概要、电磁波的基本特性和狭义相对论;第二部分是天线理论概要、地波传播和电磁波在对流层中的传播;第三部分是高空大气物理概要、等离子体物理概要、电离层中波的传播、长波和超长波传播。

全书特别注重理论的基本概念和研究的哲学思想,富有启迪性和引导性。对信息科学、电子工程、空间物理、大气物理、地球物理、电波传播等专业的大学生、研究生来说是一本富有特色的新颖的电波传播基础理论教程,对致力于研究电波传播科学的科技工作者是一本极好的理论导论。

焦培南

中国电波传播研究所总工程师 研究员

前 言

余从事电磁波理论和应用研究已有半个世纪,其间目睹电磁科学自身的飞速发展及其成果对人类文明社会的巨大推动,可谓感慨万千!可以这样说,没有电磁理论的产生和广泛应用,就不会有人类社会今天的发展和进步。

50多年来,余在电磁波理论和应用研究中每有所得,必记录之,并陆续整理成文。20世纪60年代,我应邀在中国科学技术大学、中国科学院电子学研究所和北京大学给本科生、研究生和科研人员讲解有关课程,备有系统的讲稿。这些构成了撰写本书的基础。有感于电磁理论的宏伟辉煌,以及在现今信息社会电子科学仍起着极其重要的作用,多年来我刻意把对电磁理论的认识和研究成果归纳总结,希望在有生之年结合该领域的若干新发展,写作成书,以飨后人。

本书阐述电磁波传播的理论基础及其应用。我力求表达出电磁理论的严格与和谐,尽量做到既有完美的数学形式,又有清晰的物理图像。本书主要讨论日地环境中电磁波的传播,并不企求覆盖所有的电波传播问题。

在完成本书的后期,由于自己健康所限,我邀请我的学生王贞松研究员协助我整理手稿,他为此花费了不少精力,并补充撰写了第二部分的5.4,6.4,6.5节,第三部分的7.3,7.7,7.8,8.1~8.13,9.4,9.6,9.15~9.17节及整个第十章,为本书的最后完成作出了贡献。现在拙著终于与读者见面了,实现了我的夙愿。但由于本书成书时间较长,作者水平、精力有限,错误之处难免,恳请读者指正。

感谢中国电波传播研究所总工程师焦培南研究员在百忙之中为本书撰写了序言,感谢本书责任编辑唐正必先生付出的大量劳动,感谢薛玉斌同志耐心细致地打字录入,感谢郑天奎、丁丁、谢列宾三位同志为本书作图,同时感谢一切协助本书出版的人们。

最后,感谢国家自然科学基金委员会和中国科学院电子学研究所对本书出版的支持。

吕保维

目 录

序言

前言

绪论..... 1

第一部分 电动力学概要 电磁波的基本特性 狭义相对论

第一章 Maxwell 方程和波动方程 10

1.1 Maxwell 方程的依据..... 10

1.2 静电学和静磁学中的 Coulomb 定律 11

1.3 任意带电物体所产生的电场和任意磁化物体所产生的磁场..... 15

1.4 电荷守恒定律..... 19

1.5 适用于真空中的 Maxwell 方程 20

1.6 在有限空间内任意恒定电流分布所产生的磁场..... 24

1.7 适用于物体媒质中的 Maxwell 方程 27

1.8 Lorentz 力 30

1.9 固定物体媒质的结构关系方程..... 34

1.10 单位制问题 36

1.11 能量关系和动量关系 42

1.12 激励电流 46

1.13 边界条件 49

1.14 波动方程和势函数 52

1.15 Maxwell 方程的复数表示式 57

1.16 时间色散和空间色散现象的进一步讨论 60

第二章 Maxwell 方程求解的基本方法 电磁波的一些基本特性 70

2.1 解电磁场问题的 Helmholtz 方法..... 70

2.2 自由空间中的电偶极子..... 82

2.3 自由空间中的磁偶极子..... 88

2.4 在理想传导平面以上的电偶极子..... 91

2.5	平面波	98
2.6	平面波在平面上的反射和折射	104
2.7	平面波在平面分层半空间的反射	112
2.8	无线电波的偏振	119
2.9	相速和群速	124
2.10	几何光学方法	130
第三章	狭义相对论	137
3.1	时间和空间	137
3.2	Lorentz 变换	142
3.3	固有时间和固有长度	151
3.4	笛卡儿坐标系内的标量、矢量和张量	152
3.5	Maxwell 方程对 Lorentz 变换的协变性	155
3.6	运动媒质中的 Maxwell 方程和边界条件	160
3.7	Doppler 效应	165
3.8	相对论力学	166
3.9	电磁理论与变分原理	175

第二部分 天线理论概要 地波传播

电磁波在对流层的传播

第四章	天线理论概要	179
4.1	天线的互易定理	179
4.2	天线的几种特性参数	183
4.3	细线形天线中的电流分布	191
4.4	自由空间中的多节驻波天线	198
4.5	自由空间中的褶皱多节驻波天线	206
4.6	自由空间中的中点馈电天线	209
4.7	在理想传导平面以上的直线形天线	212
4.8	菱形天线	213
4.9	计算天线的自阻抗和互阻抗的电动势方法	222
4.10	口径天线和口径场近似法	227
4.11	矩形波导开口端的辐射	228
4.12	旋转抛物面天线的辐射	231
4.13	Babinet 原理	233
4.14	对数周期天线	237

4.15	天线阵	241
4.16	良好导体的雷达散射截面	244
第五章	不考虑大气不均匀性情况下的地波传播	248
5.1	引言	248
5.2	均匀平地面上的竖直电偶极子(I)	248
5.3	均匀平地面上的竖直电偶极子(II)	260
5.4	Zenneck 波	263
5.5	均匀平地面上的竖直磁偶极子	267
5.6	均匀平地面上的水平电偶极子	271
5.7	均匀平地面上的水平磁偶极子	277
5.8	F 和 G 的实用表示式	282
5.9	Leontovich 近似边界条件	286
5.10	鞍点方法	295
5.11	均匀球地面以上的竖直电偶极子	299
5.12	均匀球地面以上的竖直磁偶极子	309
5.13	均匀球地面以上实际天线所产生的场强	311
5.14	不均匀平地面上的传播	317
第六章	无线电波在对流层中的传播	328
6.1	对流层中大气的折射率	328
6.2	在分层大气中球地面对传播与平地面对传播之间的近似互换关系、等效地球半径	331
6.3	分层大气中的几何光学	334
6.4	大气的随机性质	339
6.5	电磁波在随机不均匀大气中的传播	341
6.6	对流层散射传播	347

第三部分 高空大气物理概要 等离子体物理概要 电离层中波的传播 长波和超长波传播

第七章	高空大气物理概要	359
7.1	太阳的电磁辐射和粒子辐射	359
7.2	地球大气层结构的概述	361
7.3	地球磁场	365
7.4	电离层结构和形成机理的概述	366
7.5	Chapman 理论	367
7.6	电离层结构和形成机理的进一步讨论	375

7.7	太阳风和磁层	379
7.8	电离层骚扰	385
第八章	等离子体物理概要	389
8.1	粒子间的弹性碰撞和等离子体的判据	389
8.2	带电粒子在均匀恒定磁场内的运动	392
8.3	带电粒子在均匀恒定磁场和均匀恒定电场内的运动	394
8.4	带电粒子在均匀恒定磁场和均匀恒定引力场中的运动	395
8.5	回旋中心近似	395
8.6	带电粒子在不均匀磁场内的运动	396
8.7	带电粒子在恒定磁场与平面波电场中的运动	399
8.8	绝热不变量和纵向梯度	402
8.9	带电粒子的漂移和电流	403
8.10	流体力学近似	404
8.11	等离子体的动力学理论	411
8.12	Vlasov 方程和 Boltzmann 方程	415
8.13	Bogoliubov 理论和 Klimontovich 理论	420
8.14	电磁波在冷等离子体中的传播——磁离子理论, Appleton-Hartree 公式	422
8.15	考虑离子运动情况下的色散方程	427
8.16	考虑电子热运动情况下的色散方程	430
8.17	似纵传播和似横传播	432
8.18	等离子体中波的进一步讨论	435
第九章	电离层中波的传播	439
9.1	不均匀电离层中的几何光学方法——垂直投射	439
9.2	不均匀电离层中的几何光学方法——斜投射	440
9.3	考虑地磁场影响, 不均匀电离层中的几何光学方法——斜投射	442
9.4	电离层对无线电波的部分反射	456
9.5	无线电波经电离层的吸收	457
9.6	最高可用频率和最小距离	460
9.7	斜投射与垂直投射之间的关系	461
9.8	电离层中短波无线电波的远距离传播	465
9.9	电离层中随机不均匀结构和它对无线电波传播的影响	480
9.10	有效高度及其测量方法	486
9.11	从有效高度对频率的曲线求电子密度随高度分布的方法	488
9.12	对流层、电离层对向高空目标进行定位的影响	491
9.13	利用 Doppler 效应进行定位的方法	496

9.14	Faraday 旋转效应	497
9.15	电离层的非线性效应和电离层加热	500
9.16	非相干散射	504
9.17	哨声波的传播	507
第十章	无线电波在分层磁化等离子体中的全波解法	511
10.1	电离层中全波解法引论	511
10.2	各向异性媒质中的全波解法	511
10.3	球面地球模型中长波的传播简介	516
参考文献		519
后记		522

绪 论

本书要讲的是无线电波传播的理论基础。首先,应当大致弄清两个问题:(1)无线电波传播作为一门学科究竟包含哪些内容;(2)研究这门学科究竟有什么意义。关于第一个问题,可以概括地说,无线电波传播所研究的是各个波段的无线电波在各种自然背景条件下的传播问题,包括传播的现象和规律,及其应用中的一些问题。与传播现象和规律相联系,内容范围还应包括有关的自然背景条件的研究,有时还应考虑到一些人为的因素,如火箭和空间飞行体的飞行、核爆炸等对背景和传播的影响。在绝大多数无线电波传播问题中,主要的自然背景条件是地球和它的大气层,有时还联系到行星际空间以及地球外其他行星的大气层,联系到太阳的日冕等。无线电波在地下和水下的传播问题也属于这一学科的总范围之内。现在来谈上述的第二个问题,即为什么要研究无线电波传播。人们利用无线电波来进行通信、广播、定向、定位、导航、遥测、遥控、制导等,它们的应用范围日益广阔,技术日益提高,在国民经济和国防上起着十分重要的作用。在这些无线电系统的使用和设计中,都有无线电波传播问题,为了很好地设计和使用这些系统,为了能为创造新的系统体制开辟道路,都要求我们研究和了解传播环境即背景条件和传播规律。信号能否到达预定的接收点,媒质对信号的衰减有多大,信号的衰落变化怎样,信号的偏振状态怎样,在媒质特性不断变化的情况下保持无线电联络的可靠性怎样,不同的传播环境对无线电导航、定位的精度影响如何,怎样去计算、预测和克服这些影响,从而使能达到高精度的要求。如何使无线电波穿透高速空间飞行体再入或进入大气层时所形成的等离子体鞘套,如何通过收测空中核爆炸所产生的无线电波脉冲信号作为探测手段的一种加以应用等等一系列的问题,都是无线电波传播问题,或与它有极其密切的联系,除了上述几个方面的实际应用外,我们还可以利用无线电波来探测云层等,以及收测雷电从空中所发出的无线电波,从而确定雷电中心的位置及其运动,这方面工作的发展开创了一门学科分支——无线电气象学;我们也可以接收从太阳及其他天体或射电源所发出的无线电波,从而研究太阳及这些天体或射电源的一些物理问题,探索宇宙的奥秘,这方面工作的发展开创了另一门学科分支——无线电天文学即射电天文学;我们也可以利用雷达来探测流星,探测月球、金星、火星、太阳等的表面,精确测定这些星球离地球的距离,可以通过接收月球雷达回波来测量电离层里的电子含量,并且随着雷达功率的增大和接收技术的提高,我们已能使用功率很大的雷达来直接探测电离层以及磁层里的电子密度分布及其他参数,这方面工作的发展又从无线电天文学中开拓出一个新的分支——雷达天文学。人们发射人造地球卫星和星际火箭的成功,尤其是载人的星际

航行的成功,标志着人类已进入星际航行的时代。这些巨大成就向无线电波传播提出了新的研究课题,同时也提供了新的研究方法和新的测量数据。空间飞行不仅要求了解 F_2 层最大电子密度处以下的电离层结构,还要求了解在那以上的电离层及磁层的结构;空间飞行体在电离层中飞行,要求了解天线在等离子体内的辐射和接收特性;这不单是天线问题,而是天线与传播相结合的问题。空间飞行体再入或进入大气层时产生等离子体鞘套,这也涉及天线在等离子体内的辐射和接收特性,并要求解决使无线电波穿透等离子体鞘套的问题。载人卫星或飞船绕地球航行,要求寻找能经常保持飞船与地面站之间无线电联络的途径。如果飞行轨道经过地球的辐射带,这就要求了解地球内外辐射带内电子和质子的分布情况和它们的能量。按照地球辐射带的形成理论,其他具有磁场的行星也都有自己的辐射带,经过或绕这些行星的飞行也要求了解它们的辐射带。在空间飞行体内安装适当的仪器设备,乃至把仪器设备送到其他星球上去,以及在空中建立试验站,使我们有可能对上述的各种问题进行比较直接的测量和研究。此外,把仪器带到较稠密的大气层以上,使我们有可能更好地测量太阳辐射的光谱和太阳粒子流,测量宇宙线和微流星等天文现象。

大自然的情况是十分复杂和千变万化的,它一般随着地区和时间不同而不同,所以无线电波传播研究工作的一个重要方面是,通过在不同地区进行的长期的实际观测和实验工作,通过对大量观测和实验资料进行分析研究,来了解传播环境,掌握它的变化规律,并且从物理过程,物理机制的角度进一步提高到理论上来认识它。我们要研究无线电波在地球的大气层中以及在星际空间的传播问题,所以,要了解传播环境,就意味着必须研究大气层和星际空间的结构、特性及它们的变化,研究太阳活动对它们的影响。因此,无线电波传播是一门交叉学科,它与气象学和包括高空大气物理、太阳物理、地磁及日地关系等空间物理领域有着密切的联系。它们之间的密切联系还由于以下的事实:首先,根据无线电波传播的原理,利用无线电波来进行探测,是研究高空大气物理的一种有效方法(这里,高空大气指的是电离层及更高部分)。其次,高空的电离层、磁层、地球的辐射带、太阳的日冕,乃至整个星际空间都是电离气体或所谓等离子体。在电离气体内,气体动力学的运动与电磁场产生相互作用、相互结合,在宇宙间产生、传播着电磁波和其他电磁气体动力学波,所以,为了研究电离层物理、磁层物理、太阳物理、无线电天文等,就必须研究电磁波和其他电磁气体动力学波在等离子体内的产生、传播和能量转换问题,这些问题可以统称为等离子体的电动力学问题。近年来,主要由于国防上的意义,人们对地下通信问题给与了新的重视,提出了新的设想,开始了新的研究,这样,又使无线电波传播的研究与地球内部结构的研究结合起来。

更加具体地说,在实际工作中,有一些与无线电波传播有关的重要问题需要获得解决,许多无线电波传播方面的工作就是为了解决这些问题而发展起来的,现在将其中的一部分列举如下:

一、可靠的远距离通信问题

利用电离层“反射”的短波无线电通信是最经济、最常用的远距离无线电通信方式,但是这种方式除了频带不很宽,保密性差以外,还有一个较大的缺点,即在电离层发生骚扰时,它将受到阻碍,通过极圈附近的电路尤其如此,所以它的可靠性不够好。此外,高空核爆炸也会使短波通信中断。利用电离层的斜投射实测数据,实时地选择最佳使用频率,能够在一定程度上提高短波通信电路的可靠性,但也不能完全解决问题。研究提高电离层骚扰预报的准确性是一项应做的工作。除此以外,我们还应当寻找和补充使用其他更为稳定可靠或具有其他优点的远距离通信方式。当然,不可能有一种方式具有所有其他方式的优点和适用于所有情况,而是不同的方式各有优缺点,各在一定的情况下适用。对流层散射,电离层散射,利用人造地球卫星的转接等传播研究工作都是随着可靠远距离通信体系的研究而发展起来的。人们已经成功地利用人造地球卫星的转接实现了洲际间的通信和彩色电视广播,其他如长波和超长波通信、流星尾迹通信等也各有它们的特点。

二、高精度远距离定位问题

导弹、人造地球卫星、月球火箭、星际火箭等空间技术的发展对无线电远距离定位的精度提出了更加严格的要求,比如说,发射月球火箭、金星火箭或火星火箭,为了按预定要求到达目的地,除准确控制入轨点条件外,还往往要在中程根据精确定位的结果对轨道进行修正。这种定位的通常方法是用地面雷达,并从地面发出修正轨道的指令。对这种地面雷达的精度要求无疑是很高的。定位用的无线电波经过大气层会发生射程的微小弯曲和速度的微小改变,这些微小的变化在远距离、高精度的要求下是很重要的。怎样精确计算、预测和校正这些定位影响是受到相当重视的研究课题。解决这一问题的一个主要方面是对流层和电离层的结构进行经常的测量和观测工作,掌握折射指数的分布情况和变化规律,从而进行足够精确的预测,也可以进行实时测量和进行实时计算和修正。关于电离层对定位的影响,可以采用双频和分频体制,通过计算进行消除。关于对流层对定位的影响,这种方法则是无效的。

三、高精度远距离导航和传送精确时间信号的问题

超音速飞机的出现要求有高精度远距离导航系统。对于导弹和人造地球卫星等,由于要在地面上很多地点来精确地测定它们的轨道,要求有传送精确时间信号的系统,因为长波和超长波绕地面的传播速度具有较高的稳定性和准确性,能够较

好地满足上面两个要求,所以长波和超长波传播的理论和实验工作又受到新的重视。导航和传送时间信号的稳定性和准确性与低电离层的情况密切相关,长波和超长波传播的研究应与低电离层的研究相结合。

四、地下通信问题

地道战和坑道战是在一定条件下的一种作战方式,尤其在战争条件下,不仅前线作战部队的掩蔽所、前方和近前方的指挥点、军需库、医院等都要利用坑道和设在地下,后方的指挥点以及全国的指挥中心,后方医院,与国防有关的重要工厂、军需库、飞机库、导弹库、导弹发射井等也要设在地下,甚至一些城市活动也要转入地下,这样就产生坑道与坑道之间,作战部队与指挥点之间、前方与后方之间、城市与城市之间,以及在全国范围内的地下通信问题。地下通信分两种类型,一种是电路的一端或两端在地表面上或地表面以下不太深的地方,用不突出的天线为铺地天线、埋地天线(铺设在地表面下或水面下较浅的天线)来进行通信。对于这种类型的通信,传播路程的全部或大部分仍在大气里。这种通信方式的衰减很大,距离不能太远,以较长的波长为宜。陆地上对潜艇的通信就可以由潜艇在离海面不很深的地方接收岸上的大功率超长波电台来实现。另一种是根据下面的设想提出来的,即地球的壳表层含有水分和各种矿物质,它是导电的,地心的温度很高,也是导电的,中间的岩石层则是相当良好的绝缘体。所以有人提出建议:如果在收、发两端将天线的馈线插入地层足够深,我们可以使无线电波在绝缘的岩石层内作波导式的传播,从而实现地下通信系统。在核战争的情况下,这种通信方式在国防上的意义是十分明显的。

五、空间通信问题

关于空间通信,这里只提如下几个问题:其中的一个是地面与卫星式飞船间的远距离无线电联络问题。在远距离的情况下,除利用通信卫星转接外,由于地球的阻隔,无线电联络必须用短波无线电波依靠电离层的折射来实现。对于这样的短波通信,以及通常在地面上两点间的短波远距离通信的传播方式还不十分地清楚,需要通过实验和理论工作进行研究。其次,还有地面与星际火箭间的远距离超短波、微波的联络问题。这种通信的主要困难是接收信号太弱,我们必须掌握宇宙噪声和其他噪声的情况,掌握由于大气分子以及云、雨等的散射和吸收的随机性质所产生的噪声情况。再其次是所谓的哨声型波的传播问题,即长波和超长波的一个磁离子分量大体上沿地磁场的磁力线从一个半球传播到另一个半球乃至反复几次而衰减不很大,在空间通信中将会有它的用处。最后,空间音速飞行体再入或进入大气层时,由于空气动力学的加热作用,在飞行体(首先是头部)的周围形成稠密的等

离子体鞘套,如何使无线电波通过鞘套,从而保证通信、遥测、遥控的正常工作是一个重要的问题。天线在等离子体中的辐射和接收特性以及阻抗等受到人们的重视。

六、对导弹和人造地球卫星的侦察以及 导弹所携带的真假弹头的识别问题

导弹的航程一般可以分为三段,即主动段、中间段和再入段。侦察敌方可能发动的导弹袭击,最好是在主动段发现,其次是在中间段,再其次是在再入段。要在不同的段发现,所用的方法也不同。要在主动段发现,比较可靠的办法是用侦察卫星进行光学照相和红外照相,这不属于我们这里讨论的范围。但是寻求在我国领土上从地面进行侦察的途径,即使只能作为辅助手段,也是十分有意义的。一种可能的方法是用大功率短波雷达,收测导弹发射时喷出的火焰以及弹体对短波信号的散射回波,经常存在的还有地面散射所产生的回波,关键和困难的问题是怎样从较强的地面回波中识别火焰及弹体的回波。在中间段,导弹在电离层中飞行引起对周围电离层的扰动,使头部周围的电子密度增大,同时形成相当长的电子密度比背景稀薄的尾流。对于这种扰动,有可能用大功率雷达进行探测。了解扰动后的等离子体结构和了解物体及扰动后的等离子体对雷达波的散射截面和回波频谱特性无疑具有重要意义。关于人造地球卫星,它们一般带有无线电发射设备,连续或间断地发出无线电信号,可以通过收测这些信号来进行侦察,在适当条件下,也可以用光学望远镜进行侦察,这不是传播方面的问题,对于不发射或已停止发射无线电信号的人造地球卫星,侦察方法与对中间段的导弹的侦察方法相同。对于导弹的再入段,以及对于其他空间高速飞行体再入或进入大气层时的情况,则需要研究等离子体鞘套的结构,物体及鞘套对雷达波的散射截面和回波的频谱特性,除侦察和反侦察以外,我们需要进一步从识别和反识别的角度来考察真假弹头周围的等离子体结构和真假弹头及其周围等离子体结构的雷达散射截面和回波频谱特性。

七、核爆炸对传播影响的问题

当核弹在大气层中爆炸时,以及在爆炸后的若干时间内,由于发生强烈的热能和各种辐射能,在高空大气中产生异常的电离作用,使无线电波经过它时受到相当大的衰减,所以在影响严重的地区,大多数传播方式受到不利影响乃至受到破坏而使通信中断。但是有些通信方式,如电离层散射传播,则可能不受不利影响。空中核爆炸所产生的冲击波向上传播,会导致在一定区域范围内的电离层的层状结构遭到破坏,使经过该区域范围的短波无线电通信受到严重影响。在核爆炸时及其前后,应在受影响的地区及其周围加紧进行各种电离层的观测,有计划地进行各种波长、各种传播方式的传播试验,研究不同吨级、不同爆炸高度对电离层和各种波长、

各种传播方式的影响,研究这些影响的开始、发展和恢复的情况,并从理论上研究产生这些影响的机制,这样就能使我们了解怎样减小和克服核爆炸对无线电通信的破坏作用,怎样设法继续保持和迅速恢复通信。核爆炸产生长波脉冲信号,收测这种信号是侦察核爆炸的手段之一。

八、掌握传播统计特性的问题

随着对通信、定位等的要求日益严格,我们往往需要根据通信信道的统计特性来设计最佳或接近最佳的各种体制,所以除了知道一些参数的平均值和慢变化以外,还要知道各种传播统计特性以及多径效应等。

九、提高预测传播环境、传播特性的准确度的问题

为了提高通信、制导的可靠性,提高定向、定位、导航的可靠性和准确性,必须对传播环境、传播特性作足够准确的预测,这种预测工作必须建立在对对流层的结构进行大量测量和分析研究并与气象相结合的基础上,建立在对电离层的结构进行大量测量和分析研究并与太阳活动、日地关系等的研究相结合的基础上。

十、宇宙间的等离子体电动力学问题

高空大气中和宇宙间的许多物理现象、物理过程需要用等离子体电动力学理论来解释,如太阳粒子流及其对电离层、磁层的影响,电离层骚扰机制,地球辐射带形成和变化的机制等,这些都是同无线电波传播密切相关的。

以上举出的无线电波传播的某些主要应用和意义,已足以说明这一学科的重要性,不再多举例了。

概括地说,人们研究自然是为了认识自然,利用自然,改造自然。在目前的发展水平下,我们从无线电波传播的角度来研究大气层的结构及其变化,星际空间的结构及其变化,地球内部的结构等,主要是为了了解和认识传播环境,以便利用它,至于改造传播环境的任务,只是在某些很少的方面开始逐步被提到日程上来。举例说,人们已能在小的地区范围内,在一定的程度上改变气象情况,已能利用火箭或卫星在高空释放易于电离的气体或粉末,从而在电离层里形成电离密度较大的云块。美国曾利用人造地球卫星在高空释放大量的微小的铜针来企图形成一个对无线电波的反射带(这引起了许多天文学家和科学家的抗议)。人们也研究改变再入物体周围等离子体鞘套的电子密度的方法。尤其值得注意的是,人们在大气层中进行的高空核爆炸试验,对电离层在相当大的范围内产生了很大的影响,并曾产生人为的地球辐射带。毫无疑问,研究高空核爆炸对无线电波传播的影响在国防上有很