

电磁环境监测与评价

国家环境保护总局
核安全与辐射环境管理司

中國經濟發展與改革

編者 鄧正德 吳元伯

編者 鄧正德 吳元伯 鄧正德 吳元伯

电磁环境监测与评价

国家环境保护总局
核安全与辐射环境管理司

前 言

随着文明进程的发展，人类进入信息社会，大量电视塔、广播站、雷达、卫星通信、微波等产生电磁场的设备也越来越多。这些设备对人类的生活和发展起到了重要作用。但也造成环境中电磁能量密度增大，频谱增密，电磁噪声水平的增高。高强度、长时间的电磁场照射，对公众的身体健康有不良的影响；同时对家用电器、医疗设备、军用设施等，都有干扰。高强度的电磁场是一个重要的环境污染要素。所以，既要把电磁能作为一种资源，充分地利用；又要加强管理，将其负面效应控制在最小的程度。

改革开放以来，我国经济高速发展，产生电磁能设备的数量也快速增加，造成局部地区电磁噪声水平增高，电磁环境质量恶化，民事纠纷也大幅度增多。而电磁能是能量流污染，看不见，摸不着，却充满了整个空间。所以，必须有专门的技术人员，配备相关仪器进行检测、评价和管理。为此，我局组织有关专家，编写了《电磁环境监测与评价》。从电磁场的基本原理，监测仪器，监测方法，以及产生电磁场的建设项目环境影响评价，全面论述了电磁环境监测、评价的技术和方法。本书第一章由北京邮电大学高攸纲教授主编，第三章、第四章由北方交通大学张林昌教授主编，第五章由北方交通大学蒋忠涌教授主编，第二章、第七章、第八章由北京环境监测中心王毅教授主编，第六章由国家环保总局核安全与辐射环境管理司张志刚负责编写。

本书可作为伴有电磁场产生的建设项目环境影响评价的参考书，也可作为电磁环境监测人员的培训教材。

序

人类一直生活在电磁环境中。在早期的进化中，人们受到的电磁辐射主要来自天然源的照射，如雷电等产生的电场、磁场等，照射水平较低。但自上个世纪中叶以后，由于科学技术的进步，经济的快速发展，环境中人工电磁辐射水平急剧上升。现在，人类的生存环境中，人工电磁辐射的影响已经成了不可忽视的一种污染。

环境中的人工电磁污染是由许多新技术的广泛应用造成的。广播、电视、移动通讯、微波加热、交通运输、电力系统、家用电器以及其他各种各样的电子产品在工作时都会产生电磁场。这种电磁场对环境质量而言就是一种污染因素。而电磁污染看不见、闻不到、摸不着，不易被人感知，属于一种能量流污染。

电磁辐射污染与其他的环境污染要素有所不同。电磁辐射除了是一种污染要素之外，还是一种非常有用资源。作为资源，就要广泛使用。因此，电磁环境管理的任务是既要保护好环境免受电磁能污染，保护好公众身体健康，同时要积极探索研究有效的电磁污染防治与治理对策，使得伴有电磁辐射技术的发展和环境保护工作协调起来，以实现人类与自然环境和谐共存、持续协调发展的愿望。

由国家环境保护总局核安全与辐射环境管理司组织编写的《电磁环境监测与评价》教材，比较全面、系统地论述了电磁辐射产生、监测、危害与评价等内容。本教材将有助于推动我国电磁环境保护和评价工作。

国家环境保护总局核安全与辐射环境管理司

2003年7月10日

目 录

第一部分 电磁波与电磁辐射环境

第一章 电磁波环境

第一节 电磁波基础知识	(1)
电磁场基础知识	(1)
(一) 电磁波基本定义	(1)
交变电磁场的性质	(1)
电磁波的性质	(1)
球面波与平面波	(1)
电磁波的频率与波段划分	(1)
电磁发射	(3)
电磁环境	(3)
电磁骚扰	(3)
电磁兼容	(3)
电磁干扰	(3)
电磁噪声	(3)
抗扰性	(3)
敏感性	(3)
发射限值	(3)
抗扰性限值	(3)
(二) 电磁波极化	(3)
(三) 电磁波的传播	(5)
平面波的传播	(5)
平面波的反射、折射、绕射和散射	(5)
第二节 远场与近场	(8)
第三节 电磁波传播方式	(9)
(一) 地波传播	(9)
(二) 天波传播	(11)
电离层的形成、结构与变化	(11)
电磁波在电离层中的传播	(12)
各波段电磁波在电离层中的传播特性	(13)
(三) 空间波传播	(14)
(四) 散射传播	(15)
第四节 电磁波基本传输特性	(16)
(一) 传输损耗	(16)
(二) 衰落	(17)
(三) 多径效应	(17)
(四) 传输失真	(17)

(五) 电磁波线轨迹弯曲·····	(18)
第五节 传输线介绍	
(一) 概况·····	(18)
(二) 均匀传输线的分布参数及其等效电路·····	(19)
(三) 在一端激励的传输线·····	(22)
(四) 在两端激励的传输线·····	(25)
(五) 由单一源在线路中间激励的传输线·····	(29)
(六) 沿导体具有分布源的传输线·····	(31)
(七) 匹配与反射·····	(32)
第六节 天线介绍	(32)
(一) 天线基本原理·····	(32)
天线方向性图·····	(33)
天线的方向性系数和增益·····	(33)
天线的阻抗特性·····	(34)
天线的工作频带·····	(34)
(二) 常用发射天线介绍·····	(34)
振子天线与阵列天线·····	(34)
圆极化和宽波段发射天线·····	(35)
反射面天线·····	(36)
第七节 工频场	(36)

第二章 电磁辐射环境与电磁辐射污染源

第一节 电磁环境与电磁辐射污染	(38)
一、电磁辐射污染的出现与发展·····	(38)
(一) 电磁干扰方面·····	(38)
(二) 电磁危害方面·····	(39)
(三) 近十年来,我国城市电磁环境出现的新特征、新问题·····	(39)
二、电磁辐射污染·····	(40)
(一) 电磁辐射生物效应·····	(40)
(二) 对电子设备或系统的干扰影响·····	(40)
第二节 电磁辐射污染源	(41)
一、电磁辐射源的种类与特征·····	(41)
二、电磁辐射源简介·····	(41)
(一) 广播电视系统发射设备·····	(41)
1. 中波广播·····	(42)
2. 短波广播·····	(43)
3. 调频广播与发展·····	(44)
(二) 通信、雷达及导航等无线电发射设备·····	(44)
1. 无线电通信·····	(44)
2. 雷达与导航设备·····	(50)
(三) 工业、科学、医疗射频设备·····	(51)
(四) 交通系统电磁辐射干扰·····	(52)
1. 交通干线两侧电磁噪声·····	(52)

2.电牵引系统·····	(53)
(五) 高压电力设备·····	(56)
(六) 其它·····	(57)
1.办公环境中的信息技术设备·····	(57)
2.逐渐进入人们家庭生活的品种繁多的家用电器·····	(57)

第二部分 电磁辐射测量基础与测量仪器

第三章 电磁辐射测量基础及天线

第一节 定义与术语·····	(59)
1.电磁环境·····	(59)
2.无线电环境·····	(59)
3.电磁辐射·····	(59)
4.电磁噪声·····	(59)
5.无用信号·····	(59)
6.干扰信号·····	(60)
7.电磁骚扰·····	(60)
8.电磁干扰·····	(60)
9.电磁兼容·····	(60)
10.电磁发射·····	(60)
11.(无线电通信中的)发射·····	(60)
12.(时变量的)电平·····	(61)
13.(电磁波的)场强·····	(61)
14.电场强度·····	(61)
15.磁场强度·····	(61)
16.功率密度·····	(62)
17.功率谱密度·····	(62)
18.基波(分量)·····	(62)
19.谐波(分量)·····	(62)
20.谐波次数·····	(62)
21.第 n 次谐波比·····	(62)
22.峰值检波器·····	(62)
23.均方根值检波器·····	(62)
24.平均值检波器·····	(62)
25.准峰值检波器·····	(63)
26.工科医(经认可的)设备·····	(63)
27.交调·····	(63)
28.互调·····	(63)
第二节 常用测量单位及换算·····	(63)
1.功率·····	(63)
2.电压·····	(64)
3.电流·····	(64)
4.功率密度·····	(64)

5. 磁场强度	(65)
第三节 测量天线的主要参数	(66)
1. 有效高度	(66)
2. 天线系数	(67)
3. 天线阻抗	(69)
4. 天线反射系数	(69)
5. 天线电压驻波比	(69)
6. 方向性增益	(70)
7. 功率增益	(71)
8. 实际增益	(71)
9. 有效口径	(72)
10. 天线的噪声温度	(72)
11. 等效辐射功率	(73)
第四节 主要测量天线	(74)
1. 参数的精确度	(74)
2. 参数的稳定性	(74)
3. 宽带	(74)
4. 有源天线的低噪声系数	(75)
半波振子	(75)
环天线	(76)
对数周期天线	(79)
单极天线	(81)
喇叭天线	(81)
第五节 辐射发射的近场与远场	(83)
第四章 测量仪器	
第一节 宽带场强仪	(86)
1. 电场全向宽带探头的夹角	(87)
2. 空间叠加原理	(87)
3. 天线特性分析	(88)
4. 显示表体中电路的工作原理	(90)
5. 射频三维全向宽带场强仪的进展	(91)
第二节 测量接收机	(92)
1. 准峰值测量接收机的整机特性	(92)
2. 通频带	(94)
3. 检波器及指示电表的时间常数	(96)
4. 过载系数	(99)
5. 平均值测量接收机	(100)
6. 均方根值测量接收机	(102)
第三节 射频频谱分析仪	(104)
1. 频谱分析原理	(104)
2. 频谱分析仪的主要指标	(107)
3. 频谱分析仪显示屏	(110)

4. 频谱仪的使用	(113)
第四节 部分仪器举例	(116)
第五章 环境电磁辐射场测量	
第一节 电磁辐射场测量基本要求	(117)
第二节 工频辐射场测量	(117)
一、工频电场测量	(117)
(一) 球形偶极子场强表的测量原理	(117)
(二) 工频电场的测量	(118)
二、工频磁场测量	(120)
(一) 测量原理	(120)
(二) 工频磁场的测量	(121)
第三节 射频辐射场测量	(122)
一、9KHz ~ 30MHz 辐射场强测量	(122)
(一) 测量原理	(122)
(二) 测量方法	(123)
(三) 测量仪器的校准	(124)
二、30 ~ 300MHz (VHF 频段) 辐射场强测量	(130)
(一) 测试天线	(130)
(二) 测量方法	(131)
(三) 测量仪器的校准	(132)
三、300 ~ 100MHz (UHF 频段) 辐射场强测量	(135)
(一) 测试天线	(135)
(二) 测量方法	(135)
(三) 测量仪器的校准	(135)
四、脉冲辐射场强测量	(138)
(一) 干扰信号的分类	(138)
(二) 利用电磁干扰场强测量仪测量脉冲干扰	(138)
(三) 利用频谱仪测量脉冲干扰	(139)
五、近区场强的测量	(141)
(一) 近区场测量的特点	(142)
(二) 近区场强仪的校准	(142)
(三) 测量方法	(142)
六、微波辐射场测量	(142)
(一) 测量原理	(142)
(二) 校准方法	(144)
(三) 测量方法	(145)
第四节 静电场测量	(146)
一、静电电位测量仪器的特点	(146)
二、常用的静电电位测量仪器	(147)
三、静电电位的测量	(149)
第五节 工业、科学和医疗射频设备无线电辐射特性的 测量方法及允许值	(150)

一、工、科、医设备的分组与分类·····	(150)
二、工、科、医设备电磁辐射骚扰限值·····	(150)
三、工、科、医设备使用现场的测量方法·····	(152)
四、测试中的安全防护·····	(153)
第六节 交流电气化铁道无线电辐射骚扰测量方法·····	(154)
一、电气化铁道无线电骚扰特性·····	(154)
二、交流电气化铁道无线电辐射骚扰的测量方法·····	(159)
三、数据处理与统计评价·····	(161)
第七节 高压架空输电线、变电站无线电骚扰测量方法·····	(166)
一、导线的电晕放电·····	(167)
(一)电晕放电机理·····	(167)
(二)电晕无线电噪声的电平及其频谱·····	(167)
(三)架空输电线无线电噪声场强的计算·····	(172)
(四)影响电晕无线电噪声电平的因素·····	(172)
二、其他无线电噪声源·····	(175)
(一)线路附件电晕产生的无线电噪声·····	(175)
(二)绝缘子的无线电噪声·····	(175)
(三)无线电噪声的传播·····	(177)
(四)变电站无线电噪声特性·····	(178)
(五)高压架空输电线、变电站无线电骚扰测量方法·····	(180)
第八节 高压架空输电线、变电站工频电场和磁场的测量方法·····	(182)
一、电力线路下空间工频电场强度的计算·····	(182)
(一)单位长度导线上等效电荷的计算·····	(182)
(二)计算由等效电荷产生的电场·····	(184)
(三)计算举例·····	(186)
二、影响工频电场强度的主要因素·····	(190)
(一)架空地线的影响·····	(191)
(二)导线对地高度的影响·····	(191)
(三)相间距离的影响·····	(191)
(四)分裂导线结构尺寸的影响·····	(191)
(五)导线布置方式的影响·····	(191)
(六)双回路相序布置的影响·····	(192)
三、变电站内空间工频电场的分布规律·····	(193)
四、电力线路周围空间工频磁场强度的计算·····	(194)
五、输电线路、变电站工频电场和磁场的测量·····	(195)
第九节 车辆、机动船和火花点火发动机驱动装置无线电骚扰特性的测量方法及允许值·····	(145)

第三部分

电磁辐射环境管理与电磁辐射环境影响评价

第六章 电磁环境管理简介

第一节 电磁环境与电磁辐射	(199)
一、什么是电磁辐射	(199)
二、电离辐射与电磁辐射	(199)
三、电磁辐射的危害	(199)
四、场与人体之间的耦合机制	(200)
五、暴露限值的生物基础	(201)
六、产生电磁能的设施	(203)
第二节 环境管理机构与现状	(204)
一、相关国际组织	(204)
二、国内环境管理	(204)
三、目前的工作任务	(207)

第七章 电磁辐射环境影响评价

第一节 电磁辐射环境影响评价管理办法	(208)
第二节 电磁辐射环境影响预测	(210)
第三节 电磁辐射环境影响评价中注意的问题	(212)
一、电磁辐射环境影响评价的特点	(212)
二、几个注意的问题	(213)

第八章 电磁辐射防护

第一节 造成电磁辐射泄漏与辐射污染的原因	(215)
一、设备方面	(215)
二、现场布局与安装方面	(216)
三、城市规则布局方面	(216)
第二节 电磁辐射防护的技术对策	(216)
一、屏蔽技术	(216)
二、接地技术	(217)
三、滤波技术	(218)
四、吸收防护	(219)
五、减少源的辐射或泄漏	(220)
六、个体防护	(221)
七、对工作人员进行电磁辐射防护培训	(222)
八、合理安排、布局电磁辐射设备	(223)

第一章 电磁波与电磁辐射环境

第一节 电磁波基础知识

一、电磁场基础知识

(一)电磁场基本定义

交变电磁场的性质

在某空间内,任何电荷由于它本身的存在,受有一种与电荷成比例的力,则这空间内所存在的物质,也就是给电荷以作用力的物质就称为电场。如果电场的存在是由于电荷的存在,则这种电场是符合库伦定律的,称为库伦电场。静止电荷周围所存在的电场,则称为静电场,它是库伦电场的一种特殊情形。

运动电荷受到作用力的空间称为有磁场存在的空间,而且将这种力称为磁力。

此外,一个变动的磁场产生一个电场,此电场不但存在于变动磁场的范围里,并且还存在于邻近的范围里。同样,一个变动的电场在发生变动的范围和变动附近的范围里可产生一磁场。

可见,不仅电荷可以产生电场,变化的磁场也能产生电场,不仅传导电流可以产生磁场,变化的电场(位移电流)也能产生磁场。

电磁波的性质

在空间的一定范围里无论是电或磁的情况有了一个扰动,那么这个扰动就不能被限在该范围之内。在该范围里变动的场也在它附近的范围里产生场,这些场又在更外围的空间产生场,于是能量便被传播开来。当这种现象连续进行时,即有一含电磁能量的波向外传播电磁波。

球面波与平面波

波阵面(等相面)是球面的波称曰球面波。

波阵面(等相面)是平面的波,称曰平面波。又分两种:

均匀平面波——波阵面是平面,而且波阵面上场的振幅也相同的波。

不均匀平面波——波阵面是平面,但波阵面上各点场的振幅不等的波。

电磁波的频率与波段划分

波段名称表:

粗分:

超长波	10000—100000m	30—3kc
长波	1000—10000m	300—30kc
中波	100—1000m	3000—300kc
短波	10—100m	30—3Mc
超短波	1—10m	300—30Mc
微波	0.001—1m	300000—300Mc

细分:

超长波	10000—100000m	30—3kc
长波	1000—10000m	300—30kc
中波	200—1000m	1500—300kc
中短波	50—200m	6000—1500kc
短波	10—50m	30—6Mc
米波	1—10m	300—30Mc
分米波	10—100cm	3000—300Mc
厘米波	1—10cm	30—3Gc
毫米波	1—10mm	300—30Gc
亚毫米波	1mm 以下	30Gc 以上

频率范围名称表:

粗分:

甚低频	3—30kc	100000—10000m
低频	30—300kc	10000—1000m
中频	300—3000kc	1000—100m
高频	3—30Mc	100—10m
特高频	30—300Mc	10—1m
超高频	300—300000Mc	1—0.001m

细分：

甚低频	3—30kc	100000—10000m
低频	30—300kc	10000—1000m
中频	300—1500kc	1000—200m
中高频	1500—6000kc	200—50m
高频	6—30Mc	50—10m
甚高频	30—300Mc	10—1m
特高频	300—3000Mc	100—10cm
超高频	3—30Gc	10—1cm
极高频	30—300Gc	10—1mm
超极高频	300Gc 以上	1mm 以下

电磁发射

从源向外发射电磁能的现象。

电磁环境

存在于给定场所(空间)的所有电磁现象(包括全部时间与全部频谱)的总和。

电磁骚扰

任何可能引起装置、设备或系统性能降低或对有生命或无生命物质产生损害的电磁现象。

电磁兼容

设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。

电磁干扰

电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能的下降。

电磁噪声

一种明显不传送信息的时变电磁现象,它可能与有用信号叠加或组合。

抗扰性

装置、设备或系统面临电磁骚扰不降低运行性能的能力。

敏感性

在存在电磁骚扰的情况下,装置、设备或系统不能避免性能降低的程度。

发射限值

规定电磁骚扰源的最大发射电平。

抗扰性限值

规定的最小抗扰性电平。

(二)电磁波极化

电磁波领域中,极化是一个既古老又新颖的词汇。电磁波的极化状态和有关效应在 20 世纪 50 年代初已有人开始研究,近 20 年来在通讯、导航和雷达等方面逐步得到应用,并获得许

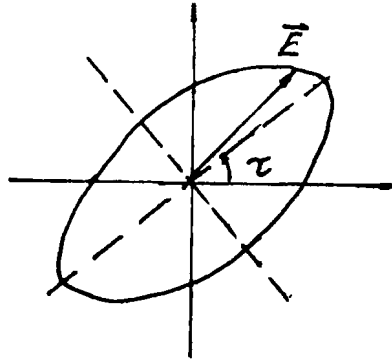


图 1-1 极化椭圆

多有益的成果。

在空间传播的平面电磁波,其电场矢量 E 位于同传播方向相垂直的平面内,见图 1-1。取三维直角坐标系,并将其 Z 轴定义在电磁波传播的方向。电场矢量 E 的取向,可在 XY 平面内取 $0 \sim 2\pi$ 范围内的任一角度。 E 矢量的取向和长度随时间的变化,组成二维空间内的广阔、连续极化域。极化的一般状态应表述为椭圆极化。椭圆长轴的方向角 $\tau (0 \leq \tau \leq \pi)$ 和长短轴的轴比 $\rho (0 \leq |\rho| \leq \infty)$ 的组合,可变化出无穷尽的极化状态。某一种椭圆极化,除由某特定的长轴方向和轴比确定外,电场强度矢量 E 在 XY 平面内的旋转方向也是一个重要特征。旋转方向反映出该极化的水平和垂直两个极化分量之间的相位关系。水平分量滞后则合成矢量右旋;水平分量超前则合成矢量左旋。IEEE 在 1983 年规定的旋向定义为,当观察者顺着电波传播方向看时,在传播路径某个固定位置上,电场矢量 E 随时间顺时针旋转者为右旋,逆时针旋转者为左旋。

当电场矢量 E 的水平与垂直分量的相位相同,或相差 180° 时, E 矢量的大小虽随时间变化,但方向保持在一直线上,称为直线极化波;当电场矢量 E 的水平分量与垂直分量振幅相等,但相位差 90° 或 270° 时, E 矢量的大小不随时间改变,但方向却随时间改变,其矢端在一圆上旋转,称为圆极化波。各种不同方向的直线极化波,是 $\rho=0$ 或 ∞ ,而 τ 取某一特定值时的特例;左旋和右旋圆极化波,则是 $\rho=\pm 1$ 而 τ 取任意值时的特例。

由以上分析可见,电磁波的极化,表明了其电场强度矢量 E 的取向和幅度随时间而变化的性质。具有单一极化参数的电磁波为全极化波。全极化波必然是单一频率的。没有确定极化参数的电磁波为非极化波,在自然界中不乏其存在,最典型的是日光。非极化波的极化状态是随机的,它所占的频谱很宽。介乎全极化波和非极化波之间的是部分极化波,它通常占有一个较窄的频段。

在通讯、导航等系统中,携带信息的电磁波经过发射和接收的全过程,接收时应具有尽可能高的效率。因此,接收天线的极化状态应与被接收电磁波的极化状态相匹配,即不仅应考虑发射天线与接收天线的极化状态应匹配,还应考虑电磁波传播过程中,各种环境因素引起极化状态发生的变化。在宽带通信系统和移动通信系统中,部分极化波是常见的现象,在设计系统

有关参数时,对部分极化造成接收功率的下降必须予以考虑。近年来,数字无线通信系统不断发展,它们对无线信道的容量和误码率提出了更高的要求。为了克服时延带来的误码率,可以采用圆极化波。当收发天线极化方向一致时,经过奇数次反射而到达接收天线的圆极化波将因其旋转方向与接收天线相反而无法接收,从而可以减小时延扩展,减小码间串扰,降低误码率,提高通信质量。目前,为消除电视的重影干扰,电视广播系统也采用了圆极化波。此外,极化还是反映雷达信号特征的重要参量之一,在有源隐身等许多电子战技术中还需要进行极化的侦察。所以,对电磁波极化作深入研究,是十分重要的。

(三)电磁波的传播

一、平面波的传播

麦克斯韦方程组指出,随时间变化的磁场周围伴随有随时间变化的电场,随时间变化的电场周围也伴随有随时间变化的磁场。也就是说,电磁场以波动形式传播,形成电磁波,电磁场具有波动性质。在均匀、无界媒质中,例如在空气中,电磁波是均匀平面波。所谓平面波或平面电磁波,指的是等相位面是平面;所谓均匀平面波,指的是同一个等相位面上,电磁场强度为常矢量。也就是说,在某一时刻 t ,在垂直于传播方向的平面上,电磁场强度的大小和方向处处相同,等相位面与等振幅面重合。由于电磁场强不存在传播方向上的纵向分量,这类电磁波称为横电磁波,记作 TEM 波。我们知道光波也是横电磁波,所以这个结论是光的电磁理论的一个重要依据。说明电场矢量 E 和磁场矢量 H 互相垂直,并且都垂直于传播方向,三者服从右手螺旋定则。电场和磁场的振幅比为媒质的特性阻抗,其单位为欧姆,它只与媒质的特性有关,是媒质的固有属性。在真空或空气中,特性阻抗为实数,即 120π 欧姆,表示 E 和 H 的相位相同。平面波的等相位面在空间的推进速度称为波速或相速,它与频率无关,仅与媒质的电磁参数有关。在真空或空气中,波速等于光速,为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$,这一点是光的电磁理论的又一个重要依据。

如果在无界空间中,充满了含有一定电导率 σ 的有耗媒质,则在电磁场作用下,将激发起电流。虽然这不影响均匀平面波的横电磁波特性和传播方向,其电场和磁场的方向与传播方向之间仍然服从右手螺旋定则,但电场强度和磁场强度的振幅将按指数规律随着传播距离的增加而减小,成为一个衰减的行波。此外,电场强度和磁场强度的相移常数还与频率存在复杂关系,使波速随频率的改变而变化,这称为色散效应,有耗媒质又称为色散媒质。随着频率 ω 的增高和电导率 σ 的增大,相移常数将增大、相速将减慢、并导致波长缩短。电场强度和磁场强度的振幅比虽然仍为媒质的特性阻抗,但为复数,因此,电场和磁场间存在相位差。

二、平面波的反射、折射、绕射和散射

当均匀平面电磁波由一种媒质入射到另一种媒质表面上时,将形成反射波和折射波。

假设两种媒质都是均匀、线性媒质,其分界面是 XOY 面,今有一均匀平面电磁波自媒质 1 沿 n_i 方向射入界面,并假设 n_i 在 XOZ 面上,产生一个沿 n_r 方向传播的反射波,和一个沿 n_t 方向传播的折射波,如图 1-2 所示。