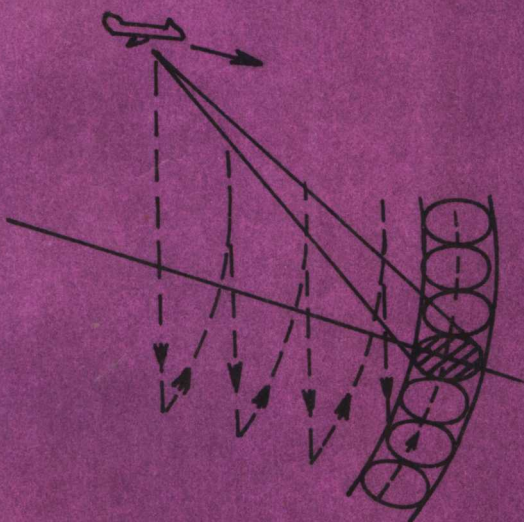


现代测绘科技丛书

雷达遥感原理

舒宁 编著



测绘出版社

现代测绘科技丛书

雷达遥感原理

舒 宁 编著

测绘出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书在简要阐述了有关微波的基本原理之后,主要介绍了主动式成像微波遥感的原理与方法,包括雷达图像特点,典型地物的散射特性、雷达图像模拟、图像几何变形分析、图像几何校正的数学模型与方法、图像的目视解译特点、图像的计算机处理与分析方法及近期有关雷达遥感的研究和应用简介等。

本书可供从事遥感工作的科技人员使用,也可作为有关专业师生的教学和科研参考书。

图书在版编目(CIP)数据

雷达遥感原理/舒宁编著.-北京:测绘出版社,1996.8

ISBN 7-5030-0887-3

I. 雷… II. 舒… III. 微波遥感-理论 IV. TP722.

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 14860 号

测绘出版社出版发行

(100045 北京市复外三里河路 50 号 (010)68512182)

北京市怀柔新华印刷厂印刷·新华书店总店北京发行所经销

1997 年 3 月第一版·1997 年 3 月第一次印刷

开本: 850×1168 1/32·印张: 6.25

字数: 162 千字·印数: 0001—2500 册

定价: 13.00 元

《现代测绘科技丛书》

编委会委员名单

主任委员：陈俊勇

副主任委员：宁津生 高俊 张祖勋
楚良才 陈永奇 华彬文

委员（以姓氏笔划为序）：

于来法 方恒 田应中
朱华统 李德仁 陈绍光
张清浦 林宗坚 陶本藻
钱曾波 黄杏元 梁宜希
喻永昌 廖克 潘正风

出版说明

《现代测绘科技丛书》是经国家测绘局批准列入我社“八五”重点出书规划的选题之一。其编写宗旨是对 80 年代以来测绘科技领域在新理论、新技术、新工艺等方面所取得的成果进行总结，整理成册，以期对改造传统测绘生产技术，提高劳动生产率和产品质量，形成我国现代测绘技术体系，发挥科技图书应有的作用；同时也为反映我国测绘科学研究水平，丰富我国测绘学术专著宝库服务。出版本套丛书也是为适应加速测绘科技成果转化成为现实生产力的需要。

本套丛书按专题成册，专题有两种类型：一类偏重学术性；主要反映我国测绘各专业近十年来在理论研究方面所取得的、能代表我国先进水平的新成就和某些老专家毕生研究成果的专著，以及测绘前沿填补国内空白的著作；另一类偏重应用技术，是本丛书的主体，其内容是在理论指导下以新技术、新工艺、新材料、新产品研究成果的推广应用为主，个别的配有实用软件。

由于 GPS(全球定位系统)涉及测量界多方面的应用，内容较多，丛书中将分册配套编写。有关各册主题明确，内容相辅相成，组合起来 GPS 测量内容就显得比较完整，又发挥了各作者的专长。

丛书编委会于 1992 年 1 月成立，全体编委对丛书出版意图、读者对象，乃至每个选题及其内容都作了充分研究和讨论，在全国测绘界选择了有代表性的专家参加各个分册的撰写和审稿工作。按照计划，这套丛书的各分册将根据撰写完成情况先后定稿出版，陆续与读者见面。

前 言

本世纪 90 年代是遥感发展的新阶段。其主要标志之一就是微波遥感的空前发展，作为主动式微波遥感的合成孔径雷达成像遥感已成为世界范围内遥感发展的主要方向之一。雷达遥感已开始建立自己的用户市场，并不断拓宽这个市场。由于雷达遥感比可见光和红外遥感具有许多优越性，如阴雨天、多云天可以照常获得人们所需要的图像资料，夜间也同样可以工作，这样一来，对地观测的许多限制性条件对雷达遥感就不起作用了。面对全球范围内资源与环境这样两个有关人类生存的重大课题，雷达遥感就成了一个极其重要的工具。再如雷达遥感所具有的穿透性，对地物表面粗糙度，地物内部结构和复介电常数等所具有的敏感性，使它能够提供可见光和红外遥感所不能提供的信息。因此雷达遥感越来越得到广泛的重视，得到了越来越快的发展。

为了帮助广大热心于雷达遥感的科技工作者，及希望更多了解 and 掌握雷达遥感原理与方法的人们，编著者在参阅国内有关教材、文献和科研成果介绍性资料以及国外有关资料的基础上，根据在科研、教学中的积累，编写了本书，以尽微薄之力。

雷达遥感成像有其特殊的一面，其图像处理、分析和应用也就具有不同于可见光、红外遥感图像的许多特点。本书正是基于这一特殊性，就其图像特点、几何处理、解译方法、数字图像分析等诸多问题全面展开，给读者一个入门和深入的基础。

由于时间有限、能力微薄，虽努力写好，并再三斟酌修改，仍感仓促和不足。恐还有错误、缺陷，望诸位读者谅解和指正。

编著者

1996 年 7 月

目 录

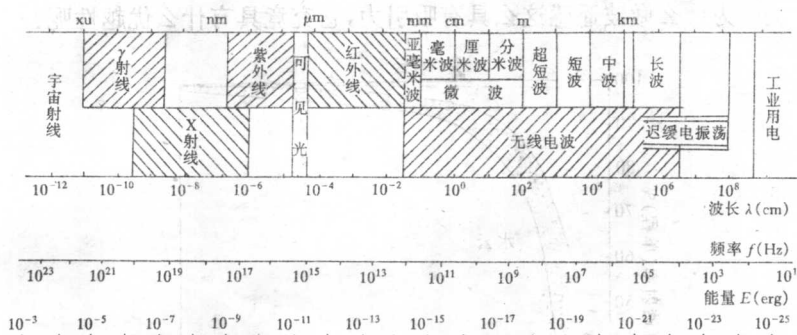
第一章 微波遥感基础	(1)
§ 1-1 引言	(1)
§ 1-2 电磁波理论与微波	(7)
§ 1-3 微波与物质的相互作用	(14)
第二章 微波遥感系统	(25)
§ 2-1 微波非成像传感器	(25)
§ 2-2 成像微波传感器	(28)
§ 2-3 天线、雷达方程和灰度方程	(36)
§ 2-4 空间微波遥感系统	(44)
第三章 雷达图像的特点	(48)
§ 3-1 侧视雷达图像参数	(48)
§ 3-2 侧视雷达图像的几何特点	(52)
§ 3-3 侧视雷达影像的信息特点	(60)
§ 3-4 典型地物的散射特性	(80)
第四章 雷达图像的校准、定标与模拟	(90)
§ 4-1 雷达回波的校准	(90)
§ 4-2 雷达图像定标	(94)
§ 4-3 雷达图像模拟	(103)
第五章 雷达图像的几何校正	(110)
§ 5-1 侧视雷达图像的几何变形分析	(110)
§ 5-2 侧视雷达图像的构像方程	(120)
§ 5-3 普通几何校正方法和利用模拟影像的方法	(124)
§ 5-4 利用构像方程的几何校正方法	(125)
第六章 雷达图像与测量	(133)

§ 6-1	简单的图上测量	(133)
§ 6-2	目标点的解析定位	(139)
§ 6-3	利用侧视雷达图像的解析测图方法	(146)
第七章	雷达图像的目视解译及计算机处理与识别	(151)
§ 7-1	雷达图像的解译标志特点	(151)
§ 7-2	雷达图像中各类地物的解译	(153)
§ 7-3	图像变换、彩色合成与目标解译	(159)
§ 7-4	计算机处理与识别	(162)
第八章	雷达遥感图像的研究与应用	(168)
§ 8-1	在农业方面的应用	(168)
§ 8-2	测绘方面的应用	(170)
§ 8-3	海岸带和海洋方面的应用	(173)
§ 8-4	在森林方面的应用	(178)
§ 8-5	地质方面的应用	(180)
§ 8-6	水文方面的应用	(183)
§ 8-7	土地利用调查	(185)
§ 8-8	海冰调查	(188)
参考文献	(192)

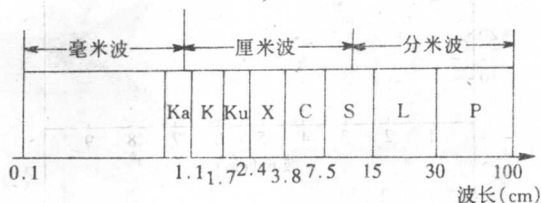
第一章 微波遥感基础

§ 1-1 引言

微波是电磁波的一种形式。把微波与可见光、红外线、紫外线、X射线、γ射线及无线电波等按波长大小顺序排列起来，可以得到如图 1-1-1 (a) 的电磁波谱，从中我们可以看到微波实际上也是一种无线电波，它的波长从 1mm~1000mm，一般分为毫米



(a) 电磁波谱



(b) 微波波段划分

图 1-1-1

波，厘米波，分米波和米波。微波各波段及命名如图 1-1-1 (b) 所示。微波遥感就是利用某种传感器接收地面各种地物发射或反射的微波信号，藉以识别、分析地物，提取所需的信息。在遥感技术体系中，可见光是人们最为熟悉的，无论是航空摄影、航天摄影还是利用某种扫描仪，都可以获取反映地面信息的像片或数字影像，其对人们认识和发现各类地物及其相互关系起到了重要的作用，在资源与环境的调查研究中也产生了越来越大的效益。红外遥感是利用 $0.76\mu\text{m}\sim 1000\mu\text{m}$ 的红外射线与各类地物的关系来进行资源与环境的调查及监测的，它为人们认识世界开辟了一条全新的有效途径。微波遥感则是自 60 年代始，为各国所重视并竞相发展的，在 90 年代形成高潮的又一个遥感的重要手段。

为什么微波遥感这么具有吸引力，它究竟具有什么优越性呢？

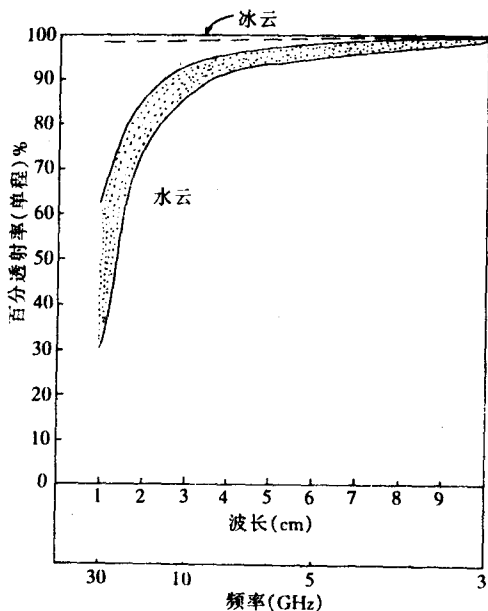


图 1-1-2 云层对无线电波从空间到地面之间传输的影响 ([2])

其一，微波能穿透云雾及雨雪，具有全天候工作能力。

图 1-1-2 (该图下方标题的后面所附 [2] 表示该图出自文献 [2]，后面的图表凡需说明出处时均这样表示) 说明微波的云层透射率随波长而变化情况，冰云对任何波长的微波都几乎没有什么影响，这对于经常有 40%~60% 的地球表面被云层覆盖情况来说无疑具有重要的意义，因为可见光和红外传感器对于云层覆盖是无能为力的。

图 1-1-3 是雨对微波影响的情况，当波长为 3cm，大雨倾盆的地区对雷达的影响已经很小，这就是说，任何恶劣的天气条件都无碍于微波。

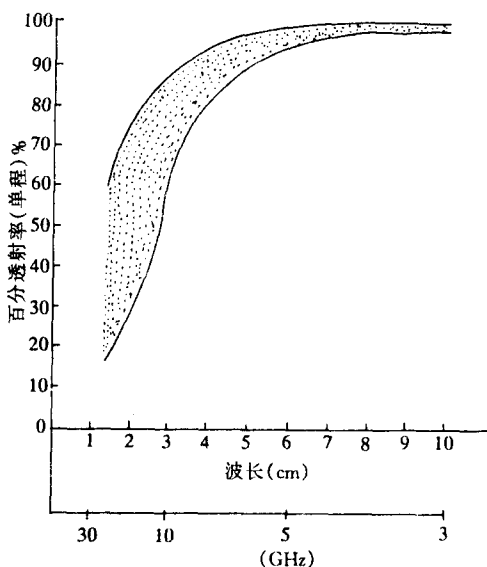


图 1-1-3 雨对无线电波从空间到地面之间传输的影响 ([2])

微波遥感分为主动和被动两种方式。其中被动方式与可见光和红外遥感一样，由某种传感器，如微波扫描辐射计接收地面地

物的微波辐射。然而微波的运用常取主动方式，即由传感器发射微波波束，再接收地物反射回来的信号，因而它不依赖于太阳辐射，不论白天黑夜都可以工作，故称全天时。红外线虽然也可以在夜间工作（如热红外扫描仪接收夜间地物的热辐射），但它受大气衰减的影响很大，遇到云雨影响更大。微波则不然，这是其长处之一。

其二，微波对地物有一定的穿透能力。

一般说来，微波对各种地物的穿透深度因波长和物质不同有很大差异，波长越长，穿透能力越强。图 1-1-4 表示了不同波长的微波对不同土壤的穿透能力，由该图可见，同一种土壤湿度越小，穿透越深。微波对干沙可穿透几十米，对冰层能穿透 100 米左右，但对潮湿的土壤只能穿透几厘米到几米。

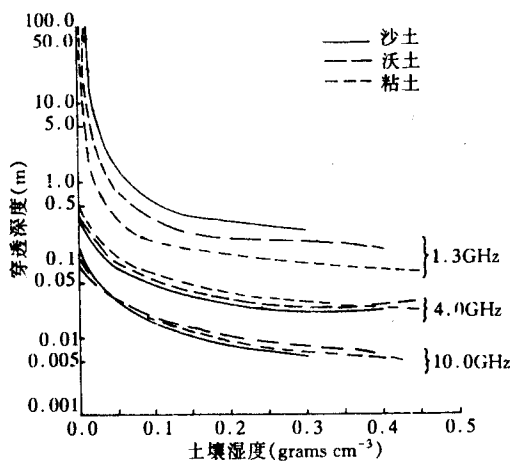


图 1-1-4 穿透深度与土壤湿度、频率、土壤类型的关系 ([2])

波长较短的微波虽然穿透能力差些，也能提供可见光或红外线不能观测到的信息，而目前航天微波遥感所用微波波段一般是 C 波段 (3.8cm~7.5cm) 和 L 波段 (15cm~30cm)，都具有一定

穿透能力，故可适用于地质勘探和军事目标探测。

其三，微波能提供不同于可见光和红外遥感所能提供的某些信息。

例如，微波高度计和合成孔径雷达具有测量距离的能力，可用于测定大地水准面。再如，由于海洋表面对微波的散射作用，可利用微波探测海面风力场，有利于提取海面的动态信息。主要用于海洋探测的海洋卫星 SEASAT-A 上微波传感器占 80%，说明微波在这方面的重要应用，而可见光和红外线是替代不了的。

特别要指出的是，雷达遥感可以提供复数形式的数字，不仅包括地物反射、散射的回波强度信号，而且包括了回波的相位信息，从而可以进行干涉测量。目前的研究表明，雷达影像干涉测量在地面点高程和地表形变测量方面已达到很高精度。这更是可见光和红外遥感所不可比拟的。

微波遥感也有其不足之处。例如，除合成孔径侧视雷达影像外，一般说来，微波传感器所获图像的空间分辨率比可见光和红外传感器低，其特殊的成像方式使得数据处理和解译相对困难些，与可见光和红外传感器数据不能在空间上一致，不像红外与可见光传感器可以作到同步获取同一地物的信息，两类影像中的相应像元在空间位置上可以作到一致等等。但这些不足比起其上述长处来讲，是常常可以忽略的，何况目前航天微波遥感所获取的影像空间分辨率也达到了 10m~20m，随着人们广泛利用和开发微波遥感，影像处理和译的技术和能力也会不断提高，因而所说不足也会渐渐不成其为不足了。

主动微波遥感影像常称为雷达影像，这是因为成像微波遥感常采用真实孔径雷达和合成孔径雷达，都是由雷达发展而来。所谓雷达，其英文原名是 RADAR，它借助发射无线电波，接收目标的反射信号以进行探测，当将探测到的各种目标信息及其它特征信息显示在一幅图像上时就形成了微波遥感图像。

雷达最初主要用于军事，第二次世界大战期间，军队广泛使

用雷达 B 型扫描仪和平面位置显示器就是最初的雷达图像，当时主要利用这种图像搜索发现目标，或进行导航等工作，雷达用于地球科学则是 60 年代的事情。

自 1967 年美国第一次用双频道微波辐射计测量金星表面温度以来，微波传感器开始用于空间遥感。在美国、前苏联等国发射的许多宇宙飞行器和气象卫星上，不断地进行了利用微波传感器的尝试。1968 年前苏联发射“宇宙-243”卫星，第一次用微波辐射计进行了对地球的微波遥感。1972 年以后，美国又相继发射“雨云”气象卫星系列，“天空试验室”和“海洋卫星-A”等，进行了一系列空间微波遥感试验。特别是 1978 年“雨云-7”卫星和“海洋卫星-A”的发射成功，标志着微波遥感技术进入了一个新的阶段。“海洋卫星-A”是一颗综合性微波遥感卫星，它装载了多波段微波扫描辐射计、微波高度计、微波散射计和合成孔径侧视雷达，获得了大量有价值的信息，其中微波高度计测量大洋水准面的精度据称已达到 7cm，超过了 10cm 的设计指标，从而把微波遥感技术推进了一大步。

80 年代期间，美国于 1981 年 11 月在哥伦比亚航天飞机第二次飞行时装载了成像雷达 SIR-A，1984 年利用航天飞机又将 SIR-B 载入太空，由于这些微波遥感成像系统提供了大量的地面数据，甚至从撒哈拉沙漠的图像中解译出古尼罗河道，取得了举世瞩目的成绩，为微波遥感的进一步发展奠定了基础。

90 年代，微波遥感发展到了新的重要阶段。欧洲空间局于 1991 年发射的 ERS-1 卫星和日本于 1993 年发射的 JERS-1 卫星，标志着广泛应用微波遥感阶段的到来。1995 年加拿大发射了 RADARSAT，这表明到本世纪末，微波遥感将与可见光及红外遥感并驾齐驱，为人类认识世界和改造世界发挥重大作用。

这里需要指出的是，我们以航天微波遥感的进程来描述微波遥感的发展过程，但其中机载微波遥感的研究、发展和应用更是深入、广泛，因为它总是航天微波遥感发展的先驱。

我国的微波遥感技术工作起步虽晚，也已有 20 年的历史，已先后成功地研制出微波辐射计、微波扫描仪、微波高度计、微波散射计，真实孔径侧视雷达和合成孔径侧视雷达等微波传感器，通过机载合成孔径雷达获得的图像，其地面分辨率达 10m 左右。此外在利用微波传感器进行大气探测、土地资源调查、地质矿产调查和海洋污染监测等方面也开展了许多试验研究，为微波遥感技术的发展奠定了良好的基础。目前我国正在考虑发展星载微波遥感技术以努力跟上国际微波遥感的步伐。

§ 1-2 电磁波理论与微波

我们知道，空间任何一处只要存在着变化的电场，它就能够周围空间激发磁场；同样，变化的磁场也能够在它的周围空间激发电场。这种电场和磁场能量不断地相互转化，就能形成随时间而变化的交变电磁场并以波动的形式在空间传播。所谓电磁波，就是以波动形式在空间传播并传递电磁能量的交变电磁场。电场和磁场总是不可分离地联系在一起。既不会有与磁场分离的纯电波，也不会有与电场分离的纯磁波。在自由空间中传播的电磁波一般是平面波，它是一种电场和磁场相互垂直的横波。

电磁波具有波长或频率，传播方向，振幅和极化面（亦称偏振面，下同）四个基本物理量。只要这四个物理量确定了，一个平面电磁波就被完全确定了。一般说来，振幅是指电场振动的幅度，它表示电磁波传递的能量大小；极化面是指电场振动方向所在的平面。电磁波的传播是能量存在的一种形式。下面简要结合微波回顾一下电磁波的基本特征。

一、电磁波的基本特征与微波

微波是电磁波的一种形式，因此了解电磁波的一些基本特征即是对微波基本特征的了解。

1. 叠加原理

当空间同时存在由两个或两个以上的波源所产生的波时，每个波并不因其它的波的存在而改变其传播规律，仍保持原有的频率（或波长）和振动方向，按照自己的传播方向继续前进，而空间相遇点的振动的物理量则等于各个独立波在该点激起的振动的物理量之和。这就是波的叠加原理。叠加原理适用于遥感中所使用的各种电磁波。

根据这一原理，也可以把任何复杂的波动看成是由很多简单的较易理解的波形叠加的结果。最常见的简单的波形是正弦波或简谐波。人们已经在数学上证明了任何复杂波形都可以用无穷个具有适当振幅、频率和相位的正弦波叠加而成。

2. 相干性和非相干性

由两个（或两个以上）频率相同、振动方向相同、相位相同或相位差恒定的电磁波在空间叠加时，合成波振幅为各个波的振幅的矢量和。因此，会出现交叠区某些地方振动加强，某些地方振动减弱或完全抵消的现象。这种现象称为干涉。产生干涉现象的电磁波称为相干波。电波天线正是利用电磁波的相干性制成的。

如果两个波是非相干的，则叠加后的合成波振幅是各个波的振幅的代数和，交叠区不会出现振动强弱交替的现象。

一般说来，凡是单色波都是相干的。微波雷达发射的电磁波和激光器产生的激光就是这样。从远处两个靠得较近的物体反射回来的波是高度相干的。因而用这类电磁波的遥感器进行成像时，获取的影像上有的地方可能没有接收到任何功率，有的地方从这两个物体接收到的反射功率则可能是其中一个物体的平均反射功率的四倍。正因为波的相干性，微波雷达图像的像片上会出现颗粒状或斑点状的特征，这是一般非相干的可见光像片所没有的，也是对解译很有意义的信息。

3. 衍射

如果电磁波投射在一个它不能透过的有限大小的障碍物上，

将会有一部分波从障碍物的边界外通过。这部分波在超越障碍物时，会改变方向绕过其边缘达到障碍物后面，这种使一些辐射量发生方向改变的现象称为电磁波的衍射。

遥感器所接收的电磁辐射通量的方向和数量在遥感中是极其重要的。正是这种辐射通量构成了我们所研究的目标与遥感器之间联系的纽带。遥感器所接收的辐射通量的数量、性质和方向就成为运离遥感器目标存在的根据。因此在测量目标辐射通量的方向和性质时，就不得不考虑电磁波衍射效应的影响，因为当电磁波到达遥感天线孔径被切割或截获时要发生衍射。

4. 极化

前面已提到在自由空间中传播的电磁波是平面波，它是一种电场和磁场方向相互垂直的横波，如图 1-2-1 所示，在 Z 方向传播的均匀平面波，电场必在 XY 平面内，且垂直于 Z 轴，电场矢量的顶端在 XY 平面内画出一条轨迹曲线。当这一轨迹为直线时，称线极化平面波，或简称极化波。当轨迹曲线为圆形或椭圆形时，称圆极化波或椭圆极化波。所谓极化，即电磁波的电场振动方向的变化趋势。线极化是电场矢量方向不随时间变化的情况，它又分为两个方向的极化，即水平极化和垂直极化。水平极化指电场矢量与入射面（例如侧视雷达发射的很窄的垂直于地面的扫描波束

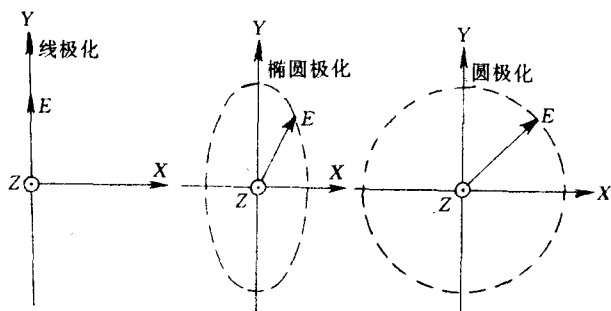


图 1-2-1 线极化、椭圆极化、圆极化示意图 ([8])