

单多基地 有源无源定位技术

孙仲康 周一宇 何毅强 著

国防工业出版社

TN953
05

32698103

单多基地有源无源定位技术

孙仲康
周一宇 著
何黎星



HK41/04

国防工业出版社



C0336212

图书在版编目(CIP)数据

单多基地有源无源定位技术/孙仲康等编著. —北京:
国防工业出版社, 1996. 5

ISBN 7-118-01532-6

I. 单… II. 孙… III. ①多基地雷达-有源网络-无线电
定位②多基地雷达-无源定位 IV. TN953

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 16532 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 11 $\frac{3}{4}$ 295 千字

1996 年 5 月第 1 版 1996 年 5 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 20.00 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

IV

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 第二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	刘琯德		
委员	尤子平	朱森元	朵英贤
(按姓氏笔划为序)	刘仁	何庆芝	何国伟
	何新贵	宋家树	张汝果
	范学虹	胡万忱	柯有安
	侯迁	侯正明	莫梧生
	崔尔杰		

前 言

现代高技术条件下的战争,其突出的特点是空(天)、地、海、电磁波领域的四维一体化作战。而争夺战场主动权的核​​心就是争夺电子战,也即争夺电磁波领域内的主动权。为了争夺电子战的主动权,各种探测、定位跟踪、识别、引导、制导、通信等系统,采用了无源被动探测、无源半主动探测、隐蔽定位、隐蔽识别、隐蔽传输等电磁隐蔽技术;并要组成频域覆盖宽、空域覆盖密布、工作体制多样、工作模式可控转换的、由多种传感器构成的分布式网状系统,从而实现体系对体系的作战对抗模式,使争夺电子战的主动权具备基础条件。适应现代高技术战争的要求,本书在集中式单基地及分布式双/多基地等多种传感器分布组网条件下,对含有有源和无源探测定位站的定位原理、定位方法、定位可实现性、可观测性、定位误差几何分布、定位模式转换、定位性能优化等问题,进行了研究探讨,给出了有关研究结果。

本书的主要内容有:定位的基本原理,单基地系统定位原理、方法和误差分析,双/多基地系统的定位方法、定位误差几何分布分析、定位性能优化,无源被动定位跟踪技术,单站无源被动定位跟踪技术(Single Observer Passive Location And Tracking, SO-PLAT),定位跟踪精度的度量,两坐标测量系统实现三维空间定位跟踪技术等。对集中式系统及分布式组网条件下的隐蔽定位跟踪技术,在介绍中给予突出的地位。

作者出版过有关定位方面的著作,经过近十年的研究生教学及对多传感器分布式组网中的无源有源定位跟踪技术的研究,本书是以研究成果及作者们在国内外已发表的论文为核心内容撰写而成的。本书的各章节分别由孙仲康教授、周一宇博士副教授、何

黎星博士及博士生陈永光执笔,并由孙仲康教授统一整理后写出。

本书介绍的研究成果,在评审鉴定过程中受到国内著名电子学专家童志鹏教授、酆能敬教授、张光义研究员、阮信畅研究员、保铮教授、柯有安教授、毛士艺教授、丁鹭飞教授、张以杰教授、梁旬农教授等的指导和关怀,在此深表感谢。本书的撰写出版受到“国防科技图书出版基金评审委员会”及其办公室的大力支持,还有责任编辑的关心、支持和努力,作者也在此深表感谢。

孙仲康 周一宇 何黎星

内 容 简 介

本书是单基地及双/多基地有源和无源定位技术的一本专著,介绍了定位原理、定位精度分析方法,特别是对单站无源定位跟踪方法及双/多基地系统的定位性能分析等进行了深入地研究和探讨。本书的主要内容有:定位的基本原理,单基地系统定位原理、定位方法和误差分析,双/多基地系统的定位方法、定位误差几何分布分析、定位性能优化、无源被动定位跟踪技术、单站无源被动定位跟踪技术及其定位跟踪精度的量度,两坐标测量系统实现三维空间定位跟踪技术等。

本书可供从事雷达系统、电子对抗系统、指挥控制系统研究电子战条件下探测定位跟踪的工程技术人员、大专院校有关专业的研究生和教师,以及有关部队和行业的技术管理干部阅读和参考。

ISBN 7-118-01532-6 / TN·250

定价:20.00 元

目 录

第一章	空间定位原理	1
§ 1.1	空间定位的几何基础	1
§ 1.2	坐标系及坐标转换	6
§ 1.3	定位误差的度量	18
第二章	空间定位方法及误差分析	24
§ 2.1	单站球坐标测量定位系统	24
§ 2.2	斜距离测量定位系统	28
第三章	定位误差的几何分布	37
§ 3.1	最大似然估计定位误差分布	37
§ 3.2	用方向矢量夹角表达定位误差分布	43
§ 3.3	用惯性矩及惯性积表达定位误差的分布	50
第四章	双基地系统定位方法及误差分析	69
§ 4.1	引 言	69
§ 4.2	二维 T/R - R 型双基地定位及其性能分析	71
§ 4.3	利用两坐标观测实现目标三维定位	88
§ 4.4	利用三坐标 T/R - R 型双基地系统的三维定位	99
§ 4.5	T - R 型双基地定位	109
第五章	双基地系统定位性能优化	117
§ 5.1	引 言	117
§ 5.2	优化算法 I: 简化加权最小二乘估计算法(SWLS)	118
§ 5.3	优化算法 II: 测量子集选优法	124
§ 5.4	两种优化算法的比较	125
第六章	多基地系统定位	132
§ 6.1	引 言	132
§ 6.2	多基地系统 I——联网双基地系统	133

§ 6.3	多基地系统 II——只用距离信息定位的多基地系统	142
第七章	多站无源定位	181
§ 7.1	时差定位法	181
§ 7.2	方位测量定位法	187
§ 7.3	几种机载定位系统的定位方法比较	194
第八章	目标运动分析的可观测性	196
§ 8.1	单站无源观测问题	196
§ 8.2	运动模型	197
§ 8.3	可观测性分析原理	199
§ 8.4	运用单一信息的可观测性分析	203
§ 8.5	运用联合信息的可观测性分析	214
§ 8.6	系统可观测度比较	225
第九章	对运动辐射源的单站无源定位与跟踪	234
§ 9.1	机动测向机对运动辐射源的定位与跟踪	235
§ 9.2	采用方位、多普勒频率测量的运动辐射源定位与跟踪	247
§ 9.3	采用到达方向、到达时间测量的运动辐射源定位与跟踪	255
附录 9.1	P_{EKF} 的极限特性	289
第十章	单站无源定位跟踪精度的量度	291
§ 10.1	定位跟踪精度的量度方法	291
§ 10.2	对称航迹条件下的参数估计精度	294
§ 10.3	任意航迹的跟踪精度	305
§ 10.4	跟踪误差的几何分布	309
§ 10.5	位置不确定度分析	312
第十一章	单站无源定位跟踪技术在双基地系统中的应用	317
§ 11.1	双基地雷达接收站自主定位跟踪原理	317
§ 11.2	定位跟踪算法	319
§ 11.3	WMEKF 算法的仿真结果	327
§ 11.4	收站自主定位跟踪双基地系统对机动目标的跟踪	331
§ 11.5	双基地收站无俯仰测量时的运动目标定位跟踪算法	338
§ 11.6	利用方位角和距离差测量实现运动目标三维定位跟踪	343
参考文献		349

第一章 空间定位原理

§ 1.1 空间定位的几何基础

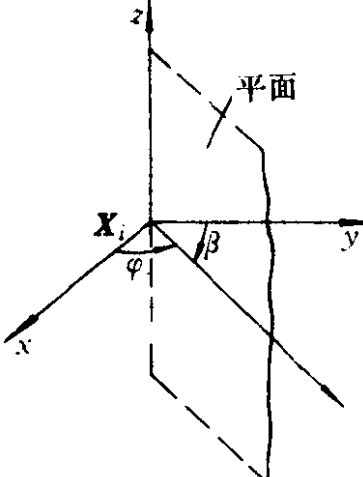
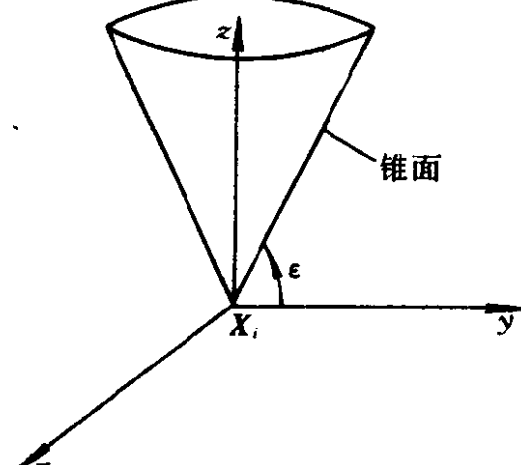
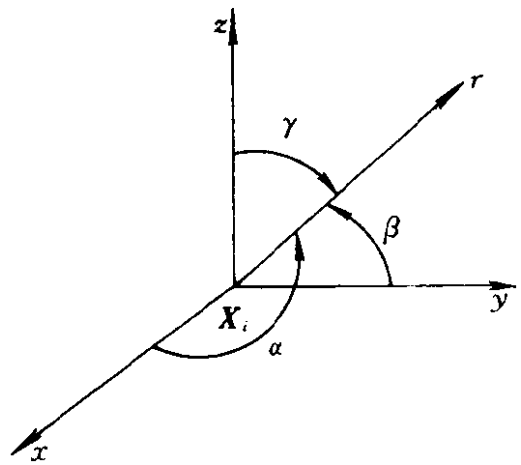
由单个有源探测器或多个分布设置的有源无源探测器,在探测到目标(散射体或辐射体)并获得有关定位参数的基础上,利用适当的数据处理手段,确定出目标在三维空间中的位置点来,这就是探测定位系统对目标进行空间定位的过程。

从几何角度看,确定空间的一个点,可以由三个或三个以上的曲面或平面在三维空间内相交而得出。探测器从散射体(或辐射体)目标获得的定位参数或测量量,例如方位角 β 或 φ , 俯仰角 ϵ , 方向余弦 l, m, n , 斜距 r , 距离和 ρ 或 s , 距离差 Δr , 高度 h 等,在几何上都对应一个平面或曲面。利用探测系统获得的同一个目标的定位参数所对应的面,定义为定位面。通过一定的组合,使面面相交得线,线线或面线相交得点,从而确定出目标位置点来。这里面面相交得出的是定位线,线线、线面相交得出的是定位点。

1. 空间的定位面 有源、无源探测器测量获得的测量量,它所对应的空间定位平面或曲面及其代数表达式,可列举如下。设定目标位置 $\mathbf{X} = [x \ y \ z]^T$, 测量站址 $\mathbf{X}_i = [x_i \ y_i \ z_i]^T$, 则目标将位于这种定位面上。定位面列表如表 1.1 所示。

2. 空间的定位线 若一个探测器同时可测得两个测量量,如同时测得方位、俯仰(φ, ϵ), 或方位、斜距(φ, r); 又若分置的两个探测器分别能测得同一目标的方位角(φ_1, φ_2); 这时对应两个测量量的定位面,将交出一条空间曲线,目标将位于这条线上,故称之为定位线,现举例示于表 1.2 中。

表 1.1 定位面列表

测量量	定位面形式	代数表达式
方位角 β, φ	平面 	$\operatorname{tg}\beta = \frac{x - x_i}{y - y_i}$ $\operatorname{tg}\varphi = \frac{y - y_i}{x - x_i}$ 或 $\cos\beta(x - x_i) - \sin\beta(y - y_i) = 0$ $\sin\varphi(x - x_i) - \cos\varphi(y - y_i) = 0$
俯仰角 ϵ	锥面 	$\operatorname{tge} = \frac{z - z_i}{\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}}$ $= \frac{z - z_i}{d}$ 式中 d ——目标水平距离 或 $(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 - \operatorname{ctg}^2\epsilon(z - z_i)^2 = 0$
方向余弦 l, m, n	 <p>三个方向余弦分别对应以 x, y, z 轴为圆锥轴, 以 α, β, γ 为半顶角的三个圆锥面, 任两面相交得方向线 γ 也即定位线</p>	$l = \cos\alpha = \frac{x - x_i}{r}$ $m = \cos\beta = \frac{y - y_i}{r}$ $n = \cos\gamma = \frac{z - z_i}{r}$ $= \sqrt{1 - l^2 - m^2}$ 式中 $r = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2]^{\frac{1}{2}}$

(续)

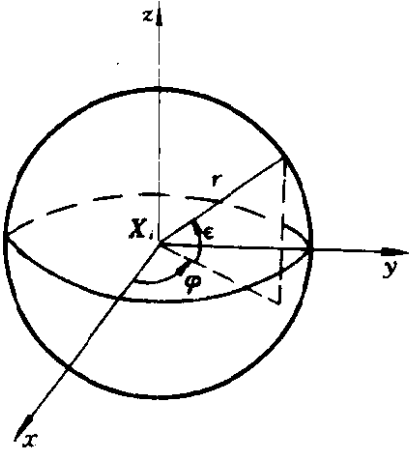
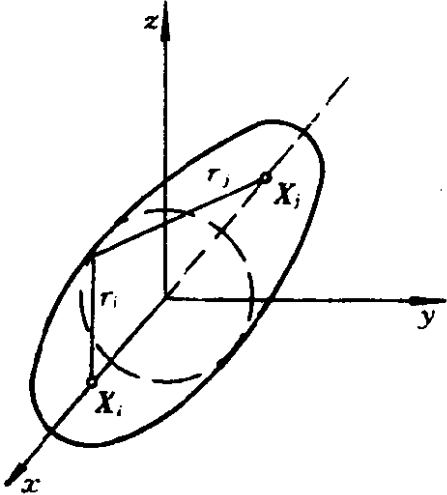
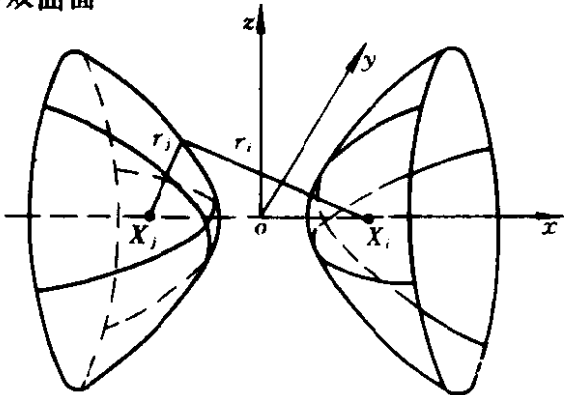
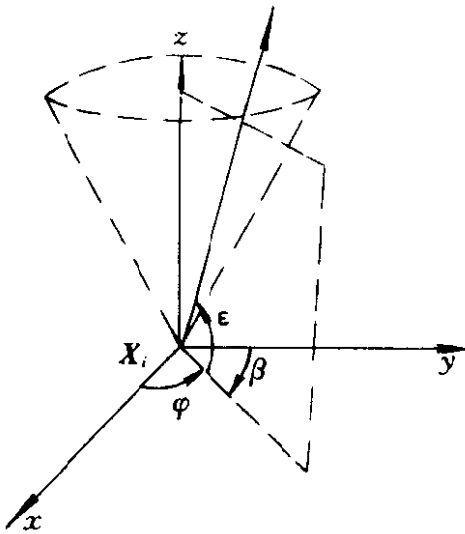
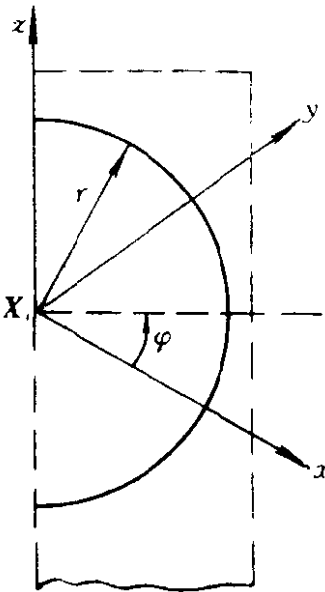
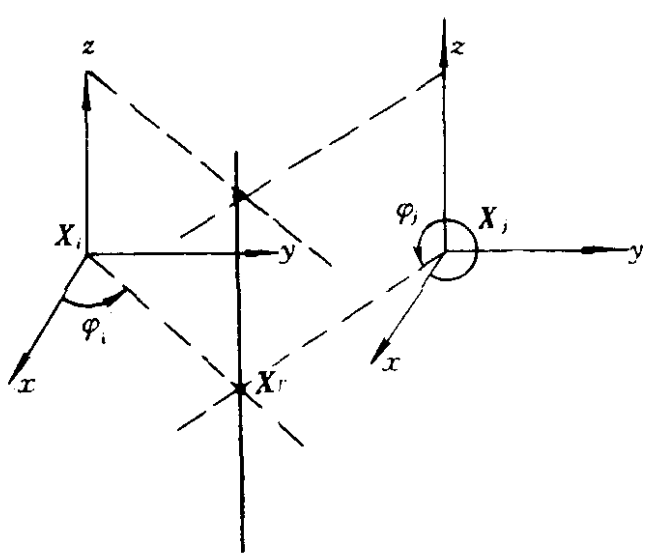
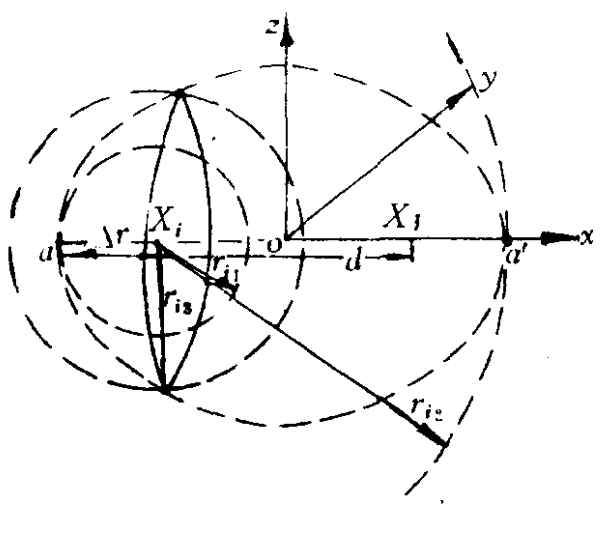
测量量	定位面形式	代数表达式
斜距 r	球面 	$r = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2]^{\frac{1}{2}}$ 或 $r = l(x - x_i) + m(y - y_i) + n(z - z_i)$ 其中 $l = \cos\varphi\cos\epsilon$ $\quad = \sin\beta\cos\epsilon$ $\quad m = \sin\varphi\cos\epsilon$ $\quad = \cos\beta\cos\epsilon$ $\quad n = \sin\epsilon$
距离和 ρ 或 s	回转椭球面 	$\rho = r_i + r_j$ $= [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2]^{\frac{1}{2}} + [(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2]^{\frac{1}{2}}$ 式中 $X_i = [x_i \ y_i \ z_i]^T$ $X_j = [x_j \ y_j \ z_j]^T$ 为第 i 及第 j 个站址; $X = [x \ y \ z]^T$ 为目标空间位置。 r_i, r_j 分别为 i, j 站与目标之间的斜距
距离差 Δr	回转双曲面 	$\Delta r = r_i - r_j$ $= [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2]^{\frac{1}{2}} - [(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2]^{\frac{1}{2}}$
高度 h	离地球表面等高 h 的椭球面, 小区域内可看成为一与 $x-y$ 平面平行的平面	$h = z - z_i$

表 1.2 定位线例示

测量量	定位线形式	说 明
方位 φ , β 俯仰 ϵ	<p data-bbox="321 336 446 371">方向矢量</p> 	<p data-bbox="1011 336 1285 569">方位平面与俯仰锥面相交得一定位直线也即指向线, 指示目标的方向, 或称方向矢量, 此矢量的方向余弦为</p> $l = \cos\varphi\cos\epsilon$ $= \sin\beta\cos\epsilon$ $m = \sin\varphi\cos\epsilon$ $= \cos\beta\cos\epsilon$ $n = \sin\epsilon$
方位 φ 斜距 r	<p data-bbox="321 1196 540 1231">方位斜距定位线</p> 	<p data-bbox="1011 1196 1285 1475">方位平面与斜距球面相交, 得一起点终点在 z 轴 $\pm r$ 处, 在方位平面上的一根空间半圆弧线, 若 X_i 位于地面, 则定位线为一四分圆弧线</p>

(续)

测量量	定位线形式	说明
方位 φ_i 方位 φ_j	定位直线 	X_i 站的方位平面 φ_i 与 X_j 站的方位平面 φ_j 相交得一与 z 轴平行的直线, 其方程为 $\left. \begin{aligned} x &= x_T \\ y &= y_T \end{aligned} \right\} \text{任意 } z_T \text{ 值}$
斜距 r_i 距离和 $\rho = r_i + r_j$	r_i, ρ 定位线 	当 $r_i = \Delta r$ 或 $d + \Delta r$ $r_j = d + \Delta r$ 或 Δr 而 $\rho = r_i + r_j = d + 2\Delta r$ 时斜距球面与距离和椭球, 分别相交于一点 a 或 a' , 当 $\Delta r < r_i < d + \Delta r$, 而 $\rho = r_i + r_j = d + 2\Delta r$ 值不变时球面与椭球将相交得一圆

根据以上的几何图形分析,可以看出要作三维空间定位,至少应该有三个或三个以上的定位面,才有可能对目标实现三维空间定位。

上面讨论的空间定位的几何基础,对于认识定位的原理、定位的可实现性、理解由测量误差引起的定位误差随目标空间位置不同而改变的规律,是十分有用的。

§ 1.2 坐标系及坐标转换

空间中任何物体的空间位置都是在一定的坐标系内定义的,通常都采用右手直角坐标系,但坐标系的原点对应什么位置,以及其三个互相正交的坐标轴对应什么方向,则是很不相同的。在定位领域内,确定空间物体位置、测定飞行器轨道、所采用的一些坐标系做如下介绍。

1.2.1 定位坐标系

在近地球进行定位时使用的坐标系有:地球坐标系、地理坐标系、载体坐标系等。

1. 地球坐标系 $\{e$ 系; $x_e, y_e, z_e\}$ 的原点在地球中心,各坐标轴与地球固定连接, z_e 轴与地球自转轴重合, x_e, y_e 轴互相垂直并固定在赤道平面上。 x_e 轴由地心向外指向格林威治子午圈与赤道的交点,如图 1.1 所示。

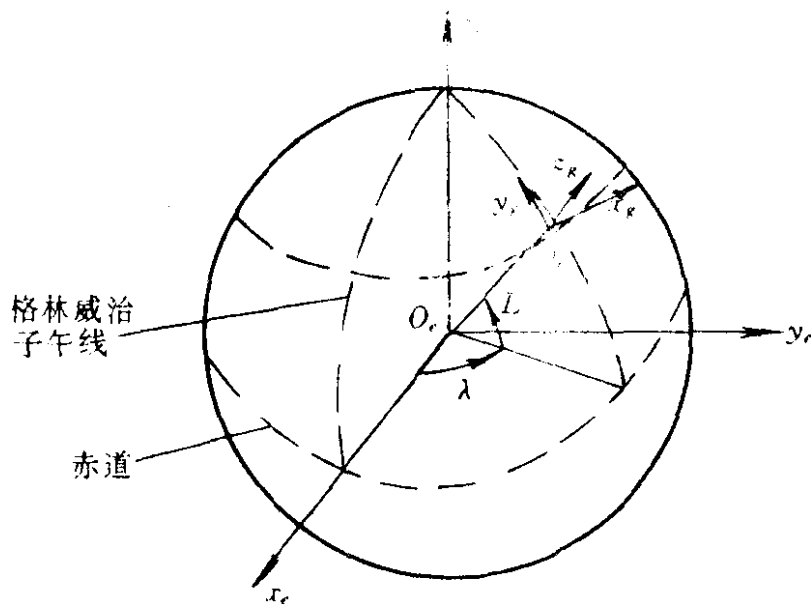


图 1.1 坐标系之间的关系

2. 地理坐标系 $\{g$ 系; $E, N, U\}$ 是一种定位站本地的坐标系,