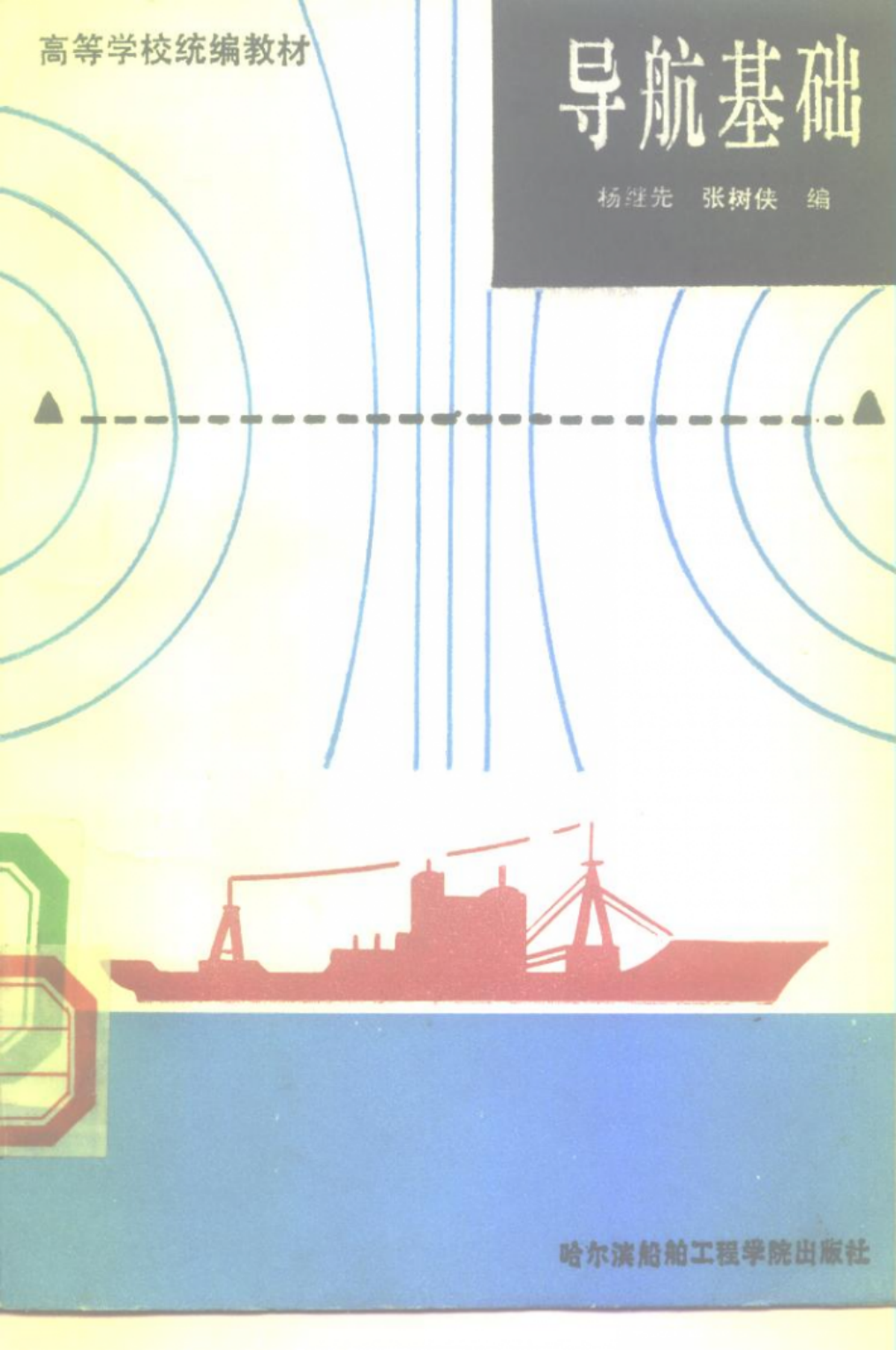


高等学校统编教材

导航基础

杨继先 张树侠 编



哈尔滨船舶工程学院出版社

U675.7
Y18

3 1 6 9

458746

导 航 基 础

杨继先 张树侠 编



00458746



哈尔滨船舶工程学院出版社

内 容 摘 要

本书以舰船导航为背景,介绍了地文航海、天文航海、无线电导航、以及用陀螺罗经、计程仪组成的舰位推算导航系统的发展历史、定义、术语和基本理论。

书中分两篇,共八章。第一篇介绍了航海学基础,诸如地球形状、向位、航程及海图等概念,并说明了海图作业法、计算舰位法和地文航海测定舰位法。第二篇叙述了天文航海学基础及观测天体确定舰位法。

本书作为高等院校、中等专业学校导航专业的教学用书,也可作为航海部门从事导航及测量专业的科研、生产、使用人员的参考书。

DW57/05

导 航 基 础

杨继先 张树侠 编

*

哈尔滨船舶工程学院出版社出版

新华书店首都发行所发行

绥棱印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张7 字数157千字

1988年8月第1版 1988年8月第1次印刷

印数:1—1 000册

ISBN 7-81007-030-4/U·8

定价: 1.20元

前 言

本书是根据1982年5月全国高等院校船舶类专业惯性导航及仪器教材编审会议上通过的“导航基础”教学大纲编写的，供有关院校导航专业教学使用。

导航的概念起源于航海事业，指南针的发明使舰船在海上安全航行有了保障。而近代技术的发展，导致了众多的航空、航天飞行器相继出现，诸如飞机、导弹、人造卫星、宇宙飞船等等。这样就大大扩展了“导航”的概念。它除了保证航行安全外，还要为载体或载体中监视、测量、武备系统提供精确的导航定位和姿态信息。所以说，导航直接关系到运载体的航行安全及航行的经济性。本书在介绍了各种导航设备的优缺点之后，进而说明要实现高精度、高可靠性、全球、全天候连续地自动导航，靠任何单独的导航设备都是无能为力的。只有把传统的导航方法和设备与当代的导航定位技术有机地组合，借助计算机，把不同特点的单个设备（或系统）有机地结合在一起，通过对多种导航信息的综合处理，才能达到进一步提高导航定位精度的目的。

尽管种种先进的导航设备的出现，但是舰位推算技术仍然是导航领域中不可缺少的。这是因为舰位推算导航方法具有两个独特的优点：一是可随时定位；二是能够给出舰船现在和将来的位置。

本书由沈增琦和程禄两同志主审，在编写过程中得到中国船舶工业总公司教材编审室和哈尔滨船舶工程学院402教研室部分同志的指导和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，错误与不足之处在所难免，敬请广大读者批评指教。

编 者

目 录

第一篇 航海学基础

第一章 地球的形状和地理坐标

- § 1.1 地球的形状和大小.....(1)
- § 1.2 地球的坐标系及地理坐标.....(5)
- § 1.3 子午线上一角分纬度的弧长.....(8)

第二章 向位和航程

- § 2.1 测者的基准方向.....(12)
- § 2.2 方向系统.....(13)
- § 2.3 真向位.....(14)
- § 2.4 罗经向位.....(16)
- § 2.5 测者能见地平面.....(20)
- § 2.6 航程计算.....(23)

第三章 海 图

- § 3.1 对海图的要求.....(27)
- § 3.2 恒向线.....(28)
- § 3.3 墨卡托投影.....(32)
- § 3.4 海图比例尺.....(38)
- § 3.5 高斯平面直角坐标图.....(40)
- § 3.6 地理坐标与高斯直角坐标的换算.....(44)

第四章 海图作业和计算舰位法

- § 4.1 海图作业的概念.....(46)
- § 4.2 海图作业法.....(47)
- § 4.3 风和海流对舰船航行的影响.....(49)

§ 4.4 舰船的旋回·····	(57)
§ 4.5 推算舰位法·····	(60)
§ 4.6 推算舰位的误差·····	(66)
§ 4.7 大圆航法·····	(73)

第五章 地文航海测定舰位法

§ 5.1 舰位线的一般概念·····	(81)
§ 5.2 利用三标两水平角法测定舰位·····	(85)
§ 5.3 利用两标及三标方位法测定舰位·····	(89)
§ 5.4 利用两标距离法测定舰位·····	(92)
§ 5.5 单一目标测定舰位法·····	(94)
§ 5.6 雷达定位及雷达导航·····	(96)
§ 5.7 劳兰C测定舰位法·····	(98)
§ 5.8 奥米加定位·····	(106)

第二篇 天文航海学基础

第六章 天文航海学基础知识

§ 6.1 天文航海学概述·····	(112)
§ 6.2 天球的基本概念·····	(127)
§ 6.3 太阳的周年视运动·····	(145)
§ 6.4 岁差和章动·····	(154)
§ 6.5 月球的运动·····	(157)
§ 6.6 行星的运动·····	(161)

第七章 时间及天体高度的观测

§ 7.1 时间的基本概念·····	(165)
§ 7.2 恒星日和恒星时·····	(166)
§ 7.3 太阳日和太阳时·····	(167)
§ 7.4 原子时与协调世界时·····	(172)

§ 7.5	地方时、区时和船时·····	(174)
§ 7.6	天文航海的记时仪器——天文钟·····	(179)
§ 7.7	在海上用航海六分仪测定 天体高度的方法·····	(181)
§ 7.8	观测天体高度的修正·····	(186)
§ 7.9	航海天文历与应用·····	(194)

第八章 观测天体确定舰位法

§ 8.1	天文舰位线理论基础·····	(199)
§ 8.2	利用高度差求天文舰位线法·····	(202)
§ 8.3	求观测舰位的经纬度法·····	(206)
§ 8.4	测星确定舰位法·····	(210)

第一篇 航海学基础

第一章 地球的形状和地理坐标

§1.1 地球的形状和大小

在近代航海中，由于对舰船位置坐标的精度要求越来越高，所以在航海学中需要对地球的形状和大小进行深入研究。

地球表面有高山、深谷、江河、湖泊、海洋等，其自然表面并不是完全平坦的。地球的真实形体是一个不规则的几何体，但是为了研究和计算的方便，我们这里只讨论大地体。大地体是指大地水准面所包围的形体。

大地水准面是海洋的表面以及由它延伸到陆地下面并保持着与垂线方向成直角的整个闭合形状的面。此时假定海洋的水体处在完全平衡的状态，没有潮汐风浪等影响。

由于地球的自转，地球表面的形状是一个两极略扁的扁球体，这个扁球体与一个旋转椭球体相差很小，基本上可用椭球体代替它。但实际上地壳物质分布是不均匀的，当使用旋转椭球体来代替大地体时，其法线和铅垂线之间偏差很小，仅在特殊情况下才达20角秒。大地体的表面和椭球体的表面高度差一般不超过100米至150米。所以在大地测量学、天文测量学和制图学中均以椭球体的表面作为地球的表面，称之为地球椭球体。在航海学中，只有在研究精度要求很高的问题时，才将地球看做是旋转椭球体。

旋转椭球体是由母椭圆 $PQP'e$ (图1-1) 绕着它的短轴

PP' 旋转而成。母椭圆的长半轴为 a ，短半轴为 b ，椭圆长半轴的顶端绕短轴旋转得到的平面，称之为赤道平面，该平面通过地球椭球体中心并与短轴相垂直。赤道平面与地球表面相交的线称为赤道。通过地球表面上的一点，并包括旋转短轴 PP' 的平面与地球椭球体表面相交而得椭圆子午圈。椭圆子午圈的一半 PQP' 或 $P\epsilon P'$ 则称为地理子午线或称经度线。

垂直于地球椭球体的短轴、并与赤道平面平行的平面与地球椭球体表面相交而得的小圆称为纬度圈，如图1-1经 FF' 两点的圆。

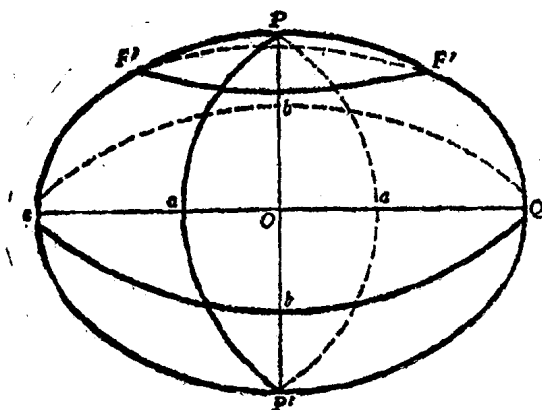


图 1-1

地球椭球体的大小和形状，可以用长半轴 a 和短半轴 b 表示。由于地球是一个微扁的圆球体，其长短半轴相差很小，有时可用扁率 α 来描述长短半轴的关系， α 值的大小由公式(1.1)确定。

$$\alpha = (a - b) / a \quad (1.1)$$

在天文学及大地测量学中，有时也使用地球椭球体的偏心率 e 来代替扁率 α ，偏心率 e 的表达式为：

$$e = \sqrt{(a^2 - b^2)/a^2} \quad (1.2)$$

在大地测量学中，是根据弧度测量的结果来计算出地球椭球体的大小和扁率的数值。

弧度的测量就是量测出地球表面子午圈和纬度圈上的不同弧段的长度。许多国家的学者都曾利用这种测量的方法来计算地球椭球体的大小及扁率的数值，由于他们所采用的测量数据各不相同，所以得出的结果和准确度也不尽一样。现将主要一些结果列于表(1-1)。

表1-1

年 代	计 算 者	长 半 轴 a 米	扁 率 a
1800	德 兰 勃	6,375,653	1 : 334.0
1830	埃·费 瑞 斯	6,377,276	1 : 300.8
1841	贝 塞 尔	6,377,397.155	1 : 299.153
1866	克 拉 克	6,378,206.4	1 : 295
1880	克 拉 克	6,378,249.2	1 : 293.465
1910	海 福 特	6,378,388	1 : 297.0
1940	克 拉 索 夫 斯 基	6,378,245	1 : 298.3
1955	柯 洛 柯 夫	6,378,203	1 : 298.3
1960	费 肖	6,378,166	1 : 298.3
1964	卡 拉	6,378,160	1 : 298.25
1967	范 士	6,378,142	1 : 298.255
1975	卫 星 观 测	6,378,135	1 : 298.26
	卫 星	6,378,145	1 : 298.25

世界各国根据各自的特点和测量资料，选定椭球体的参

数，作为一国的大地测量的依据，以此建立各自独立的表示地面点位置的大地坐标系。如我国在大地测量工作中，就是采用苏联克拉索夫斯基的椭球体参数，于1954年建立北京市某个测量原点的大地坐标系，称为1954年北京坐标系。又如美国则采用克拉克的椭球体参数，建立了1927年北美坐标系，世界主要各国坐标系见表(1-2)。

表1-2

坐标系名称	使用范围	原点位置	椭球体参数计算者
1954年北京	中国		克拉索夫斯基1940
1918年东京	日本	$\varphi=35^{\circ}39'17''.51\text{N}$ $\lambda=139^{\circ}44'40''.5\text{E}$	贝塞尔1841
1927年北美	美国、加拿大 墨西哥	$\varphi=39^{\circ}13'26''.686\text{N}$ $\lambda=98^{\circ}32'30''.506\text{W}$	克拉克1866
1942年普尔克夫	苏联、东欧	$\varphi=59^{\circ}46'18''.56\text{N}$ $\lambda=30^{\circ}19'42''.09\text{E}$	克拉索夫斯基1940
1950年欧洲	英、法、联邦德国、 荷、比、挪、土、北美 中近东	$\varphi=52^{\circ}22'51''.445\text{N}$ $\lambda=13^{\circ}03'58''.928\text{E}$	海福特1910
水星系	原国际劳兰C	地心	费肖1960
NWL-80	NNSS卫星系统	地心	卫星
WGS-72	美国军用 国际奥米加 国际劳兰C	地心	卫星1975

在近代航海中，用卫星导航系统可以获得较高的精度，但必须将地球的形状看作椭球体才行。而在一般的航海计算中，是将地球近似地看成圆球体，其半径取6,366,707米，

由此产生的误差，比之使用一般航海设备测定航向、航程及舰位所产生的误差要小得多，只是在两极地区产生的误差略大些，所以在研究航海的一些基本理论问题时，通常是将地球当做圆球体。

由于现代武器的发展，往往需要由导航系统提供出各种准确的导航参数，这时一方面要求各种高精度的导航设备，另一方面则需要将地球看作是椭球体。

§1.2 地球的坐标系及地理坐标

定义一个坐标系必须说明三个基本问题：原点的位置，三个轴的指向；所属坐标系中确定点的位置参数。地球坐标系是固定在地球上并和地球一起相对太阳自转和公转，这样就可以确定地球表面上点的坐标。

坐标系轴的定向可以通过基极和基面来描述。基极是坐标系的对称轴，例如地球的自转轴。基面是和基极垂直的平面，例如地球的赤道面。在基面内再按一定规定取两个相互垂直的基轴与基极构成右手坐标系或左手坐标系。

一、地心坐标系

地心坐标系是：原点取在地心附近；基极是地球自转轴，第一基轴是赤道平面与格林威治子午面的交线；基极、第一基轴与第二基轴成右手直角坐标系。实际上由于地球自转轴相对地球表面有不规则的逆时针方向移动，振幅约五米，其轨迹接近一个圆，大约 430 天为一周期。

二、大地坐标系

大地坐标系是非地心坐标系，其原点取在地球重心；基极直接指向地球平北极（即含岁差而没有章动的极）；基面是

含地球重心且和基极成正交的平赤道面(与平北极对应的赤道面)；第一条基轴是平赤道面和格林威治平子午面的交线，基极、第一条基轴及第二条基轴成右手坐标系。

三、地理坐标

为了确定舰船在地球上的位置，则要使用地理坐标这一概念。航海中使用纬度和经度两个地理坐标参数表示。某点的纬度有两类不同的定义：通过该点的经度圈椭圆法线和赤道平面之间的夹角称为大地纬度或地理纬度，用 φ 表示；该点与椭球体中心连线与赤道平面的夹角称地心纬度，用 φ' 表示。纬度是以赤道面为 0° 向南北各计算到 90° ，北纬的符号“+”或“N”表示，南纬的符号“-”或“S”表示，东经的符号“+”或“E”表示，西经的符号“-”或“W”表示。

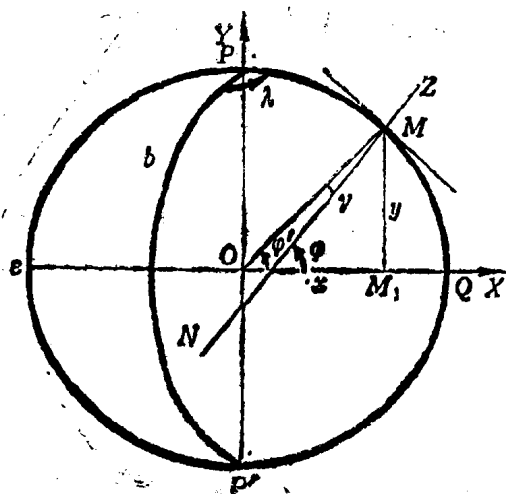


图 1-2

某点的经度是通过该点的子午面与格林威治子午面间的

夹角，用 λ 表示。经度是以格林威治子午面为 0° ，向东西各计算到 180° ，东经为正，西经为负。

四、地理纬度和地心纬度的关系

1. 地理坐标与直角直线坐标的关系

在图 1-2 中， $PQP'e$ 是通过 M 点的椭圆子午圈，它的基本方程式为：

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1.3)$$

将(1.3)式微分得：

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{x}{y}$$

已知曲线上一点的切线与 x 轴正向交角的正切值等于一阶导数 dy/dx ，因此：

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}(90^\circ + \varphi) = -\operatorname{ctg} \varphi \quad (1.4)$$

故：

$$\frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{x}{y} = \operatorname{ctg} \varphi$$

即：

$$y = \frac{b^2}{a^2} x \operatorname{tg} \varphi \quad (1.5)$$

将(1.5)式代入(1.3)式，得出：

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{b^2}{a^4} x^2 \operatorname{tg}^2 \varphi = 1$$

因有 $e^2 = (a^2 - b^2)/a^2$ ，故有 $b^2 = a^2(1 - e^2)$ 将此式代入前式经简化得：

$$x = a \cos \varphi / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi} \quad (1.6)$$

再将(1.6)式代入(1.5)得出

$$y = [a(1 - e^2) \sin \varphi] / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi} \quad (1.7)$$

式(1.6)与(1.7)表明了各点在椭球体上的直角直线坐标与地理纬度 φ 之间的关系。

2. 地理坐标与地心坐标的关系

从图1-2看出：地心纬度 φ' 取正切后可以表示成直角直线坐标 x 与 y 的函数

$$\operatorname{tg} \varphi' = y/x$$

根据(1.5)式可得：

$$\operatorname{tg} \varphi' = \operatorname{tg} \varphi (1 - e^2) \quad (1.8)$$

令 γ 表示地理纬度与地心纬度之差即：

$$\gamma = \varphi - \varphi'$$

由(1.8)式可得：

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi' &= e^2 \operatorname{tg} \varphi \\ \sin(\varphi - \varphi') / (\cos \varphi \varphi') &= e^2 \operatorname{tg} \varphi \\ \sin \gamma &= \sin(\varphi - \varphi') = e^2 \sin \varphi \cos \varphi' \end{aligned} \quad (1.9)$$

由 γ 的值很小，可用 $\cos \varphi$ 代替 $\cos \varphi'$ 则(1.9)可简化成：

$$\sin \gamma = \frac{1}{2} e^2 \sin 2\varphi \quad (1.10)$$

将正弦函数展成级数，只取一次项得出：

$$\gamma = \frac{1}{2} e^2 \sin \varphi \operatorname{arc} 1'$$

其中： $\operatorname{arc} 1'$ 为一角分对应的弧度值。由上式可以算出当 $\varphi = 45^\circ$ 时， γ 的数值最大，其值大约为 $11.5'$ 。

§1.3 子午线上一角分纬度的弧长

从图1-3中看出，子午线上弧长的公式为： $ds =$

其中 ds 为微小纬度增量 $d\varphi$ 所对应的微小弧长。

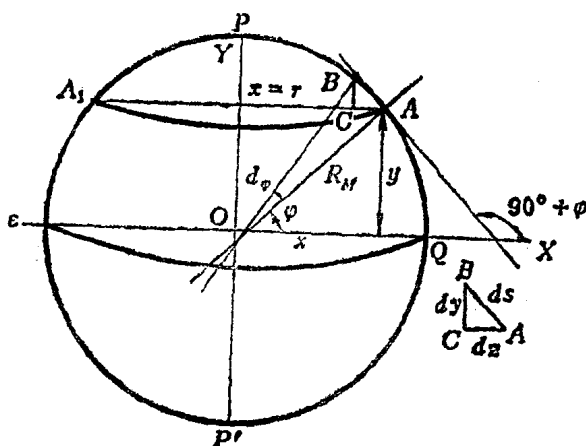


图 1-3

通过 A 和 B 点分别做两条平行于坐标轴的直线并相交于 C ，从 $\triangle ABC$ 中得到：

$$ds = \sqrt{d^2x + d^2y} = dx \sqrt{1 + (dy/dx)^2}$$

其中： $dy/dx = -\operatorname{ctg}\varphi$

$$\text{所以 } ds = dx \sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2\varphi} = dx / \sin\varphi$$

比较前面两个 ds 的表达式可以得出

$$R_M d\varphi = dx / \sin\varphi$$

$$\text{即 } R_M = \csc\varphi \frac{dx}{d\varphi}$$

将(1.6)代入上式中 $dx/d\varphi$ 有：

$$\frac{dx}{d\varphi} = \frac{-a \sin\varphi (1 - e^2 \sin^2\varphi)^{\frac{1}{2}}}{1 - e^2 \sin^2\varphi}$$