



(测绘技术资料第七期)

人造地球卫星大地测量

唐昌先

赠阅
请交换

中国人民解放军测绘学校训练部

一九七五年十月

2144
71

前 言

人造地球卫星大地测量(简称人卫大地测量),是20世纪60年代人造地球卫星上天以后,大地测量发展中一门新的技术。到目前还不足20年,就其成就来说,与传统的大地测量相比较,是有特殊贡献的。观测人卫(测定人卫的方向和距离)可以建立全球性的地心坐标系,建立精度较高的人卫大地网和更为精确地对地球重力场作了描述,从而求定了地心参考地球椭球的扁率和长半径等。无产阶级文化大革命以来,我国社会主义革命和社会主义建设突飞猛进,在大地测量方面也提出了新的要求。为了了解大地测量有关这方面的新成就,编写了这本书,以供参考。

本书共分四章:

第一章绪论。它是作为学习以下各章的基础而写的。主要讲叙了人卫在大地测量上的应用和成就,人卫六个轨道参数的意义,照像观测及距离测定的一些基本知识和方法。

第二章地心坐标和海陆联测。主要讲叙了把人卫作为高空目标进行岛屿联测以及坐标换算的基本方法。

第三章地球椭球扁率与人卫轨道变化的关系。主要讲叙了地球扁率对人卫轨道参数的影响,并根据人卫轨道参数的变化求定地球重力场的主要参数和地球椭球的扁率、正常重力、重力异常和大地水准面的差距等。并利用地面点的地心大地直角坐标求定地心参考椭球的长半径。

第四章人卫大地网。主要讲叙了通过空间人卫网建立空间人卫大地网的基本方法和平差方法,并用数学模型来分析有关精度问题以及把空间人卫大地网归算到地球椭球面上等。

由于本人对这方面的知识有限又缺乏实践,因此写得不够全面,有待进一步补充。错误之处在所难免,希望提出指正,以便提高。

目 录

第一章 绪 论

§ (1—1) 人卫在大地测量上的应用和成就	1
(一) 利用人卫作为高空测量目标传算坐标和建立人卫 大地网	1
(二) 利用人卫轨道变化求定地球重力场的参数	1
(三) 人卫大地测量的成就	1
§ (1—2) 人卫的运行和正常轨道参数以及初始轨 道参数的求定	2
(一) 人卫轨道平面在空中的位置	4
(二) 人卫轨道的大小和形状	4
(三) 定向角 ω 及人卫过近地点的时刻 T	6
(四) 以我国第一颗人卫为例计算六个初始轨道参数	6
§ (1—3) 人卫照像观测	8
(一) 照像仪器	8
(二) 仪器的整置和观测	9
§ (1—3) 求定测站对人卫的方向	11
(一) 用球心投影法求定定标星的标准坐标	11
(二) 由底片的量测坐标计算人卫的标准坐标	16
(三) 由人卫的标准坐标计算人卫的视赤经赤纬	19
(四) 计算例	21
§ (1—5) 微大气折射和微光行差的改正以及坐 标系的选择	24
(一) 微大气折射差的改正	24

(二) 微光行差的改正	29
(三) 坐标系的选择	31
§ (1-6) 照像观测精度的分析	31
§ (1-7) 测站对人卫的距离测定	34
(一) 人卫测距一般概念	34
(二) 激光人卫测距系统	35
(三) 多普勒观测	39
§ (1-8) 测地卫星	40
第二章 地心坐标和海屿联测	
§ (2-1) 以地球中心为坐标原点地面点的地心 大地直角坐标与地心大地坐标的关系	43
§ (2-2) 根据人卫的地心直角坐标求定测站地 心大地直角坐标的基本方程	49
§ (2-3) 观测人卫求定它在观测瞬时 t 的地心 直角坐标的基本方程	52
§ (2-4) 人卫地心赤经赤纬法	53
(一) 由人卫的视位置 (S, α', δ') 求定相应的地 心赤经赤纬及测站的地心大地直角坐标的基本公式	54
(二) 求定人卫在观测瞬时 t 的地心向径 r	55
(三) 模拟的计算例	56
§ (2-5) 轨道法 (一)	58
(一) 基本方程	62
(二) 解算测站地心大地直角坐标及轨道参数	63
(三) 误差方程式的组成	67
(四) 模拟的计算例	78

§ (2—6)	轨道法 (一)-----	8 4
	(一) 同时测定方向和距离-----	8 4
	(二) 只测定人卫的方向不测定距离-----	8 5
	(三) 只测定测站到人卫的距离-----	8 7
	(四) 测定测站到各卫星点的距离差-----	9 0
§ (2—7)	两点同时观测人卫由已知点求定 未知点的坐标-----	9 3
	(一) 两点同时观测人卫都测定方向和距离-----	9 3
	(二) 两点同时观测人卫已知点测定方向和距离 未知点只测定方向-----	9 7
§ (2—8)	两点同时观测人卫测定方向由两 已知点求定未知点的坐标-----	9 8
§ (2—9)	三点同时观测人卫测定方向由两 已知点求定未知点的坐标-----	1 0 5
§ (2—10)	四点同时观测人卫测定距离由 三已知点求定未知点的坐标-----	1 1 2
§ (2—11)	坐标换算的基本公式-----	1 1 5
	(一) 两类尤拉方程-----	1 1 6
	(二) 坐标换算的基本公式-----	1 2 1
第三章 地球椭球的扁率与人卫轨道变化的关系		
§ (3—1)	人卫的摄动运动方程-----	1 3 0
	(一) 摄动运动方程的基本形式-----	1 3 0
	(二) 人卫的摄动运动方程-----	1 3 4
§ (3—2)	地球重力位及摄动函数-----	1 3 5
	(一) 地球重力位函数的展开式-----	1 3 6

(二) 摄动函数和它对人卫六个轨道参数的影响	1 3 8
§ (3—3) 地球扁率对人卫升交点赤经 Ω 的影响	1 4 3
(一) 影响的几何意义	1 4 3
(二) 影响的数学分析	1 4 4
§ (3—4) 利用人卫轨道变化求定地球椭球的扁率	1 4 6
(一) 根据带谐系数 J_2 求定 α	1 4 7
(二) 观测人卫求定 J_2 之值	1 4 9
§ (3—5) 利用人卫求定正常重力及 GM 之值	1 5 2
§ (3—6) 重力异常和大地水准面的差距	1 5 4
(一) 重力异常	1 5 4
(二) 大地水准面的差距	1 5 7
§ (3—7) 利用地面点已知的地心大地直角坐标求	
定地心参考椭球的长半径	1 5 8
(一) 根据 P 点已知的地心大地直角坐标求 $\Delta \rho$	1 5 9
(二) 高程异常的误差方程式	1 6 2

第四章 人卫大地网

§ (4—1) 空间人卫大地网的建立	1 6 5
(一) 两站同时观测人卫只测定方向	1 6 6
(二) 两站同时观测人卫、同时测定方向和距离	1 6 9
§ (4—2) 用数学模型来说明一些问题	1 7 2
(一) 同时测定方向和距离建立空间人卫大地网的	
数学模型	1 7 2
(二) 同时测定方向和距离 (第一测回)	1 7 5
(三) 同时测定方向和距离 (第二测回)	1 8 0
(四) 两测回结果的中数与数学模型的真值比较	1 8 3

(五)	只同时测定方向建立空间人卫大地网	185
(六)	两站同时测观人卫测定方向和距离差建立 空间人卫大地网	199
(七)	现将前面三种情况的误差列表于下,以资比较	203
§ (4-3)	空间人卫网按附有未知数的条件平差	206
(一)	空间人卫网条件的类型	206
(二)	改正数条件方程式	212
§ (4-4)	空间人卫网按间接法平差	229
§ (4-5)	空间人卫大地网归算到地球椭球面和 对平差的一点意见	235
	结 束 语	238
	附 录	240
§ 1	偏近点角	240
(一)	偏近点角的几何意义	240
(二)	人卫地心向径 r 与偏近点角的关系式	240
(三)	真近点角 V 与偏近点角 E 的关系式	241
(四)	平近点角 M 与偏近点角 E 的关系式	242
§ 2	$n^2 a^3 = GM$ 的推证	243
(一)	开普勒第三定律的意义	243
(二)	开普勒常数的推求	244

人卫大地测量

第一章 绪论

§ (1-1) 人卫在大地测量上的应用和成就

在20世纪初，就有大地测量工作者观测地球的自然卫星月球决定地球椭球的扁率和长半径，并利用月掩星和对月球照像的方法，求定测站的地心坐标。由于月球离地球较远，轨道变化很慢，目标大其形状又不是一个正圆，故不易获得较为精确的结果。到20世纪60年代，人造地球卫星上天以后，由于人卫离地球较近（数千公里），轨道变化较快，目标小（约为4等星），因而上述缺点就被克服了，并且人卫能携带有利于大地测量观测的仪器，故能获得较为精确的结果。

从而，人卫便为大地测量提供了一种新技术。人卫大地测量新技术，可以应用于两个方面。

(一) 利用人卫作为高空测量目标来推算坐标和建立人卫大地网。

把人卫作为高空测量目标，人卫点与地面点可以构成空间人卫网，由空间人卫网可以决定地面点的地心坐标和人卫大地网。并利用地面点的地心坐标也可以推求地心参考椭球的长半径。

(二) 利用人卫的轨道变化决定地球重力场的参数。

人卫是在地球重力场内运行而且离地较近，它的轨道变化主要是受地球重力场的影响。故我们可以观测人卫的轨道变化求定地球重力场的参数。并利用这些参数可以求定地球椭球的扁率和正常重力、重力异常以及大地水准面的差距等。

(三) 人卫大地测量的成就

这样看来，人卫大地测量与传统的大地测量和大地重力测量一样。

除了在地面上能建立地心大地坐标和精密的人卫大地网而外，还可以决定地球形状和大小。就以观测人卫决定地球椭球的扁率而言，其精度大概要比一般用传统的大地测量方法所得到的数值的精度高得多。克拉索夫斯基的 α 的中误差在分母上为 ± 0.4 个单位，人造卫星的为 ± 0.01 个单位。人类过去花费了七十年才把地球形状到底是向两极拉长呢？还是在两极稍扁的问题搞清楚，过后又花费了一百五十年来测定地球椭球的扁率，尚未得到满意的结果，现在只用短短的几年工夫，就得到很满意的解决，这不能不说是人卫大地测量的一个惊人的成就。

至于观测人卫在地面上建立精密的人卫大地网籍以提高地面天文大地网的精度，也有一定的成就。欧美的地面天文大地网精度不高，4000公里相对中误差为 10^{-5} ，而相应的人卫大地网的精度为 10^{-6} ，相应的点位误差为 ± 5 米，这就提高了一个数量级。

利用人卫观测站的地心坐标把全球各个国家独立的坐标换算为统一的地心坐标系以及再根据控制点的地心坐标推算地心参考椭球的长半径，最近几年都有新的发展和成就。

此外人卫还可以进行航空照像测图，在这些方面的应用和成就也是值得注意的。

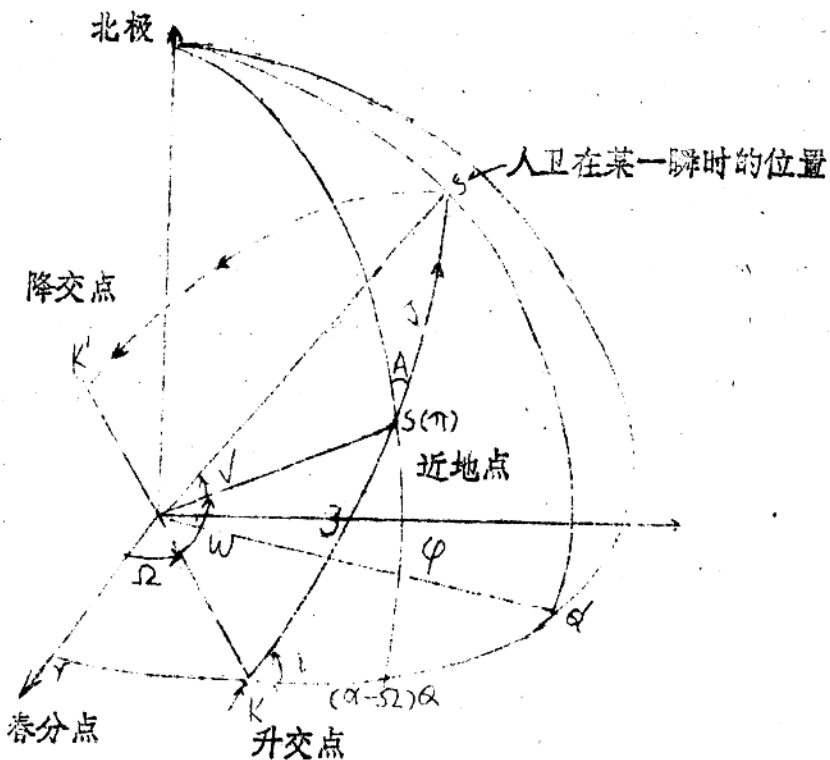
§(1-2) 人卫的运行和正常轨道参数以及初始轨道参数的求定
众所周知，地面上的物体要飞上天空，必须克服地球的引力。如果人卫通过多节控制火箭的推力而升高，当进入轨道时，在旋转轨道的起点处，在飞行的水平方向，若给以初始速度 v （初始速度可由下式计算），它就绕着地球飞行了。

$$v = \sqrt{\frac{G(M+m)}{R+H_{\tau}}(1+e)}$$

如果地球是一个质量均匀的正球体(即地球为一个质点), 又不受其他的影响, 则人卫运行的轨道将是一个正常椭圆。地球的重心位于正常椭圆的一个焦点上。上式中 G 为地球引力常数, M 为地球的质量, m 为人卫的质量, R 为地球的平均半径, H_{π} 为人卫近地点的高度(一般即发射时上升的高度), e 为椭圆轨道的偏心率($0 < e < 1$)。根据人卫观测最近求得的地球引力常数与其质量的乘积为

$$GM = 3.986036 \times 10^{20} \text{ Cm}^3 / \text{Sec}^2 \quad (1-1)$$

由上式可以看出, 若人卫上升的高度和初始速度不同, 则人卫轨道的形状和大小也就不同。故人卫轨道的形状和大小取决于上升的高度 H_{π} 和初始速度 v 之值。



图(1-1)

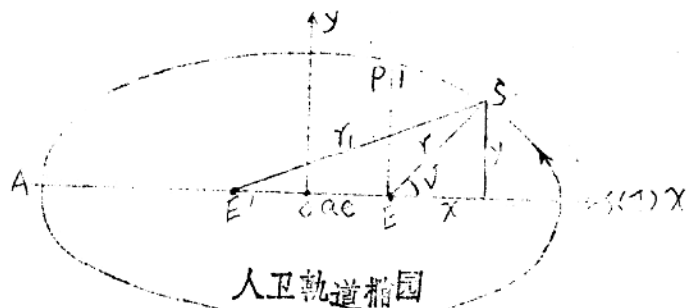
若人卫轨道不起变化，只要我们能测定正常椭圆轨道在空中的位置、它的形状和大小以及人卫过近地点的时刻等要素，就能按照天体力学中的定律来预报人卫运行的情况。

(一) 人卫轨道平面在空中的位置(赤经和倾角)

人卫的轨道平面是通过地球重心的。轨道平面在空中的位置可用两个参数赤经和倾角(Ω, i)来决定。如图(1-1)所示, $K S(\pi) S K'$ 为轨道平面, 它是人卫轨道平面在天球上的投影。 $S(\pi)$ 为近地点, i 为轨道平面的倾角, 它是轨道平面与地球赤道面间的夹角。人卫每绕地球运行一周, 它的轨道与地球赤道相交于两点(K, K')。人卫由赤道南飞向赤道北与赤道的交点 K 为升交点, 由赤道北飞向赤道南的交点 K' 为降交点。 Γ 为春分点(太阳沿黄道从南向北穿过赤道的交点), Ω 为升交点 K 的赤经。由图(1-1)可以看出, 若 Ω 和 i 已定, 则人卫的轨道平面在空中的位置也就确定了。

(二) 人卫轨道的大小和形状

人卫轨道的形状若为椭圆, 若椭圆的长半径 a 及偏心率 e 为已知, 则其大小和形状也已确定。如图(1-2)所示, 设人卫过近地点 $S(\pi)$ 后运行到 S 处, E 为地球重心(中心)也是轨道椭圆的一个焦点, E' 为另一个焦点。 r 为人卫在某一瞬时的地心向径, v 为人卫的真近点角(即过近地点后所运行的角度), p 为半通径, A 为远地点。现求人卫的地



图(1-2)

心向径 r 的表达式。由图 (1-2) 可知

$$r^2 = (x - ae)^2 + y^2$$

$$r_1^2 = (x + ae)^2 + y^2$$

上两式相减得

$$r_1^2 - r^2 = 4aex$$

即 $(r_1 + r)(r_1 - r) = 4aex$

又由于 $r_1 + r = 2a$ (a)

从而得 $r_1 - r = 2ex$ (b)

由 (a)、(b) 式消去 r_1 得 $r = a - ex$

或 $ex = a - r$

又由图 (1-2) 知 $x - ae = r \cos V$

此式两端同乘以 e 则有 $ex - ae^2 = re \cos V$

故得 $re \cos V = a - r - ae^2 = -r + a(1 - e^2)$

即得 r 的表达式为

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos V} \quad (1-2)$$

(1-2) 式就是人卫的地心向径 r 与轨道椭圆的长半径 a 和偏心率 e 以及相应的真近点角 V 的关系式。当 $V = 90^\circ$ 时，即得半通径

$$p = a(1 - e^2) \quad (1-2)_1$$

当 V 为 0° 和 180° 时，即得人卫在近地点和远地点与地心 E 的距离。则有

$$r_\pi = a(1 - e) = R + H_\pi$$

$$r_A = a(1 + e) = R + H_A \quad (1-2)_2$$

式中 R 为地球的平均半径， H_π 和 H_A 为人卫在近地点和远地点离地面的高度。由上式可得椭圆轨道的长半径及偏心率为：

$$\left. \begin{aligned} a &= R + \frac{1}{2}(H_{\pi} + H_A) \\ e &= \frac{1}{2a}(H_A - H_{\pi}) \end{aligned} \right\} (1-2)_3$$

由(1-2)₃式可知,若能知道人卫的远地点和近地点的高度(一般发射的高度为近地点的高度),则a和e即可求得。

(三) 定向角 ω 和人卫过近地点的时刻T

有了上述四个参数 Ω 、 i 、 a 、 e 之后,人卫的轨道平面在空中的位置已定,轨道的形状大小已定,但轨道是如何定向的还不知道,也就是说,人卫轨道在轨道平面内是如何摆法的,还不知道,由图(1-1)可以知道,若升交点与近地点的向径 rk 和 $rs(\pi)$ 之间所张的角 ω (定向角)已知,则轨道之向已定。若再加上人卫过近地点的时刻T,则总起来就有六个参数:

$$\Omega, i, a, e, \omega, T$$

它们称为人卫的轨道参数。若我们测定了这六个参数,再根据观测人卫的时刻t,人卫运行的情况就可以完全掌握了。

此外,人卫过近地点的时刻T也可以用真近点角 ν 代替,也可以用平近点角 M 代替。设人卫运行的平均角速为 n ,观测瞬时的时刻为t,则人卫过近地点后的平近点角

$$M = n(t - T) \quad (1-3)$$

设人卫运行的周期为P,则平均角速度

$$n = \frac{2\pi}{P} \quad (1-3)_1$$

(四) 以我国第一颗人卫为例计算六个初始轨道参数。

我国在伟大领袖毛主席“我们也要搞人造卫星”的指示下,在1970年4月24日发射了第一颗人造地球卫星。卫星运行轨道,距地球最近点439公里,最远点2384公里,轨道平面和地球赤道面的夹角 68.5°

绕地球一周 114 分钟。

人卫初始轨道平面的位置，可以通过发射地点的纬度 φ 和赤经 α 以及进入轨道的方位角 A 来确定。如图 (1-1) 所示。由球面直角三角形 $\Delta S(\pi) Q$ 可得

$$\begin{aligned}\sin \omega &= \sin \varphi / \sin i \\ \cos i &= \cos \varphi \sin A \\ \cos(\alpha - \Omega) &= \cos A / \sin i\end{aligned}\quad (1-4)$$

假如发射地点为北京 $\varphi = 40^\circ$ ，进入轨道的瞬时北京的赤经为 140° ，进入轨道时，轨道平面的倾角 i 为 $68^\circ 5'$ 。根据 (1-4) 式即可求得射入轨道的方位角 A 应为 $28^\circ 6'$ ，而升交点的赤经 $\Omega = 120^\circ 67'$ 。在这种情况下，必须根据人卫轨道平面的倾角 i 来确定人卫进入轨道的方位角。

现取地球的平均半径 $R = 6371$ 公里，由 (1-2) 式即可求得我国发射的第一颗人卫的初始轨道椭圆的长半径 $a = 7782.5$ 公里，偏心率 $e = \frac{1}{8}$ 。若要保证偏心率 $e = \frac{1}{8}$ ，则射入轨道的初始速度应为每秒

8.4 公里。

我国第一颗人卫初始轨道椭圆的定向角 ω 可由 (1-4) 式计算为 $43^\circ 7'$ 。若人卫上升进入轨道的高度为近地点高度，则进入轨道的时刻即为 T 。

此外，由于人卫运行周期 $P = 114$ 分钟，则由 (1-3) 式得平均角速度 $n = 3.15789 / \text{分}$ 。

以上是人卫发射时初始轨道六个参数的计算，由于人卫的轨道参数是随时间而变动的，因此人卫轨道不是椭圆，而是一空间曲线，但在短时间内可以看成是椭圆，称为吻合椭圆。发射以后，观测人卫如何比较精确地计算吻合椭圆（也称密切椭圆）轨道参数，并利用轨道参数求定

测站的地心大地直角坐标，将在下一章内作较详细的介绍。

§ (1—3) 人卫照像观测

人卫照像观测，就是利用光学原理以恒星为背景拍摄卫星的方法。根据恒星已知的赤经赤纬，用坐标量测仪求定测站对人卫的方向（即视赤经赤纬）和观测时刻。如果被拍摄的是自动卫星（卫星上装有闪光的），拍下的卫星是许多点，如果被拍摄的是被动卫星（反射太阳光的卫星），拍下的卫星不是一个点而是一条轨迹线，但可以用开关快门的方法将其切断为许多点，一个点一个方向的精度约为 $\pm 1''$ 到 $\pm 2''$ 。如果利用许多卫星点进行内插取中数，一次摄影的方向精度据说可以达到 $\pm 0''.2$ ，在时刻上可以达到 ± 1 微秒（即 10^{-6} 秒）。

(一)照像观测的仪器可分长焦距（100cm以上的）和短焦距（80cm以下的）两种。如威特厂BG-4焦距 $f=25\text{cm}$ 和 45cm ，西德BMK弹道摄影仪焦距 $f=75\text{cm}$ 。美国贝克隆（Baker-Munn）摄影仪焦距 $f=50\text{cm}$ 等为短焦距的摄影仪。如施密特（Schmidt）摄影仪焦距 $f=103\text{cm}$ 施密特—维塞拉（Schmidt-Vaisala）摄影仪焦距 $f=102\text{cm}$ 等为长焦距摄影仪。近年来我国人卫测向仪也有很大发展，南京天文仪器厂试制成功一台大型折反射式人卫摄影仪，基本上达到了国际水平。

长焦距摄影仪一般孔径小，影像摄在软片上，定标星的数量少（10—20个），因而一系列曝光中取得的卫星点的数量也少（5—10个），又因使用软片，片基和药膜都易变形，闪烁影响（空气跳跃的影响）较大。由于焦距较长，虽然一个点一个方向的精度比短焦距为好，但由于有这些缺点，故其定向精度不能满足人卫大地测量上的需要。

短焦距的摄影仪一般孔径较大，以玻璃板作为片基，可以得到数量很多的定标星作为定向和仪器校准用，每张像片约有100个定标星和300个卫星点。为了确定曝光中摄影仪可能发生移动，在卫星通过前

通过中和通过后拍摄恒星像片，因而定标星的数量可以增加三倍，定向和仪器校准的精度也提高了。化算按严格的方法进行，由于有充分的多余观测，可以组成误差方程进行平差。这样，定标星的坐标量测误差和卫星摄影的量测误差以及闪烁现象能得到良好的减略。又由于有大量的卫星影像，可用高次多项式进行内插，定向的精度就能大大提高。

(二) 仪器的整置和观测

当观测时，摄影仪是根据人卫的方法角 A_s 和天顶距 Z_s 来整置的。人卫过测站子午圈的星下点（人卫到地心的连线与地球椭球的交点）在世界时 (UT) 某刻 t 的经度 λ_s 纬度 φ_s 和高度 H_s 是预报的数据。我们就可以根据这个预报数据用熟知的公式计算它的地心大地直角坐标 (X_s, y_s, Z_s) ，即

$$\begin{aligned} X_s &= (N+H_s) \cos\varphi_s \cos\lambda_s \\ y_s &= (N+H_s) \cos\varphi_s \sin\lambda_s \\ Z_s &= [N(1-e^2)+H_s] \sin\varphi_s \end{aligned} \quad (1-5)$$

式中 N 是卯酉圈曲率半径， e 是地球椭球第一偏心率。同理，由测站的大地经纬度和大地地高 ($L, B, H_{大}$) 也可以算出测站的近似的地心大地直角坐标 (X, y, Z) 。在此坐标系中，测站至人卫的距离为：

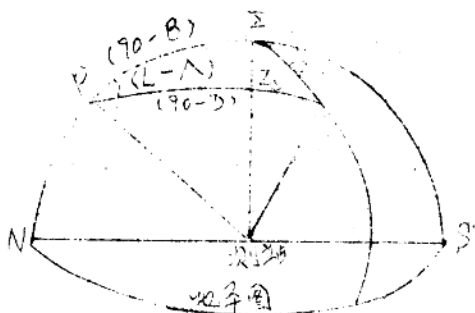
$$S = \sqrt{(X_s - X)^2 + (y_s - y)^2 + (Z_s - Z)^2}$$

又设测站对人卫的方向为 (\wedge, D) ，则有

$$\begin{aligned} X_s - X &= S \cos D \cos \wedge \\ y_s - y &= S \cos D \sin \wedge \\ Z_s - Z &= S \sin D \end{aligned}$$

从而得

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \wedge &= (y_s - y) / (X_s - X) \\ \operatorname{tg} D &= \frac{Z_s - Z}{\sqrt{(X_s - X)^2 + (y_s - y)^2}} \end{aligned} \quad (1-6)$$



图(1-3)

现在把测站对人卫的方向化为地平坐标系。如图(1-3)所示, PZS为一球面三角形, S为人卫在天球上的投影, Z为测站天顶, P为北极。根据PZS球面三角形由边的余弦公式有

$$\begin{aligned} \cos Z_s &= \cos(90-B)\cos(90-D) \\ &+ \sin(90-B)\sin(90-D)\cos(L-\Lambda). \end{aligned}$$

式中 Z_s 为人卫的天顶距。由正弦公式有

$$\sin Z_s \sin(180-A_s) = \sin(90-D)\sin(L-\Lambda),$$

式中 A_s 为人卫的方位角。又由五元素公式有

$$\begin{aligned} \sin Z_s \cos(180-A_s) &= \sin(90-B)\cos(90-D) \\ &- \cos(90-B)\sin(90-D)\cos(L-\Lambda) \end{aligned}$$

由上三式即得

$$\begin{aligned} \sin Z_s \cos A_s &= -\cos B \sin D + \sin B \cos D \cos(L-\Lambda), \\ \sin Z_s \sin A_s &= \cos D \sin(L-\Lambda) \quad (1-6)_1 \\ \cos Z_s &= \sin B \sin D + \cos B \cos D \cos(L-\Lambda) \end{aligned}$$

在(1-6)₁式中等号右端的各元素都为已知的, 其中 (Λ, D) 可由(1-6)式算出, 其中 (L, B) 为测站的大地经度和纬度。如令

$$U = \sin Z_s \cos A_s \quad (1-6)_2$$