

# 论多普勒测量的参考坐标系

宋 文 尧

(中国科学院测量与地球物理研究所)

## 提 要

本文讨论了大地测量参考坐标系的定义,追溯了多普勒坐标系的形成和发展,探讨了各种坐标系之间的互相转换,最后提出了在进行经典大地网与多普勒网联合平差前,必须研究两种不同类型控制网的参考坐标系之间的相互关系,从天文大地测量资料中,分析出两种坐标框架之间的差异,即 $Z$ 轴的偏差值和经度零点差。其次从两种不同的椭球体参数和重力场模型中,求出对大地测量坐标值的影响,在顾及上述误差后,再提出最佳的联合平差方案。

卫星大地测量的发展,为建立全球统一的地心坐标提供了手段和条件,各国除了纷纷布设多普勒控制网外,还研究了经典大地网与多普勒网的联合平差问题。1979年,在十七届国际大地测量与地球物理联合会(IUGG)上,莫里兹(Moritz)推荐了1980大地测量参考坐标系(GRS 80),为此美国国防制图局水文/地形测量中心(DMAHTC)追溯了多普勒参考坐标系的演变过程,探讨了各种坐标系间互相转换关系,加拿大的Kouba也研究陆地参考系与卫星多普勒参考系的关系。为了澄清某些问题,本文论述了三个问题:

- 一、大地测量参考坐标系的定义;
- 二、多普勒坐标系的形成;
- 三、各种坐标系间的互相转换。

## 一、大地测量参考坐标系的定义

大地测量参考坐标系应由下列两个内容来定义,即

第一,原点在地球质心上的三度空间的直角坐标系,可称为参考框架(Reference frame),它的 $X$ 轴指向BIH天文零子午线, $Z$ 轴指向国际习用原点CIO, $Y$ 轴按右手系确定,有人称为BIH-CIO坐标系。由于这个框架固定在地球上,并随地球一起旋转,国际上通称为地固坐标系。就国际习用原点CIO而论,国际上相对于CIO确定极坐标有几种极移服务,如BIH综合值、ILS、IPMS、DPMS<sup>[1][2]</sup>以及激光测卫、激光测月和连线或甚长基线干涉测量所求定的地球自转参数。ILS系统由五个国际纬度站所组成,五个站采用相同的仪器和观测纲要,具有消除某些系统差等优点,但是有的台站非极变化影响很大,因此人们对ILS结果的稳定性、可靠性产生怀疑。自1962年起,一些国家组成了IPMS和BIH极移服务,广泛采用全

球分布的天文台纬度观测资料,但因时间不长,处理方法各不相同,所得结果差异较大。1973年 DPMS 正式参加 BIH 系统,它利用了全球 20 多个 NNSS 卫星跟踪站的资料,在精密星历的轨道计算中,分别解出极坐标值,它与 BIH、IPMS、ILS 的结果相比较, $x$  分量相差较大。我国授时系统利用国内外 41 个台站的纬度观测资料,分别对极移的长期分量和周期分量进行研究,建立了 1968.0 年平北极为原点的地极坐标系统,命名为 1968.0 JYD 系统<sup>[3]</sup>。这些系统之间存在着明显的系统差,都影响到椭球体  $Z$  轴的定向。就 BIH 零子午线而论,它涉及到世界时系统,不论采用那种观测技术确定地球自转参数(时间和极移)或进行轨道计算,都须使用分点、岁差、章动等天文常数和星(历)表,可以说不同的星(历)表确定不同的天球坐标系,它也间接地影响到框架各轴的定向,因此笼统地泛指  $X$  和  $Z$  轴的指向是没有实际意义的。

第二,大地测量坐标系还必须包括所采用椭球体的几何参数、物理参数及其重力场模型。也可以说,不同的地球模型,反映了不同的坐标系。多普勒参考坐标系的演变,使人们产生很多误解。鉴于上述理由,我们认为,大地测量参考坐标系应由某种资料所确定的参考框架和所采用的椭球几何参数、物理参数以及重力场模型来定义,这才能全面地理解大地测量参考坐标系(Geodetic Reference System)的含义。

## 二、多普勒参考坐标系的形成

众所周知,多普勒测量所使用的广播星历或精密星历是根据不同地球重力场模型和跟踪站网的坐标计算出来的。近十几年来,多普勒跟踪站网起了变化(站坐标的修正和站数增加),重力场模型也有所改进。这里,前者称为坐标系(coordinate system),后者称为重力场,并分别给予代号以示区别。

### 1. 广播星历

广播星历是由美国海军航天大队(U.S.A. Naval Astronautics Group—NAG)根据四个跟踪站的观测数据进行轨道计算后,实时提供轨道根数的外推值(预报值)。跟踪站网的坐标系采用了 NWL-10D,重力场参数采用 WGS-72 系统,由于广播星历应用较广,深入了解星历编算过程及同精密星历的差别很有必要。

#### ① 预报误差

广播星历属于预报性星历,其主要误差是由大气阻力摄动所引起的,它与太阳活动的变化紧密相关。由大气阻力的性质所决定的预报误差,几乎大部分反映到卫星的沿轨(切向)方向上,切向误差不仅表现出天与天之间的随机波动,而且还存在长周期趋势。按切向、法向和径向误差来估算,分别为 19、14、10 米,三维单点定位的精度约为 5 米,比精密星历要差许多倍。为了削弱预报误差,国内外普遍采用短弧法和传测法,卫星经过数达 100—150,并考虑到南—北、东—西经过的对称和次数平衡。

#### ② 时间改正

NNSS 的时间基准为 UTC,但在编算星历时,NAG 没有考虑  $\Delta = \text{UTC} - \text{UTI}$  的改正,略去  $\Delta$  值,就引起在地固坐标系中卫星升交点经度误差,这项误差随着  $\Delta$  变率增大而增大,并

不能被抵消,其误差量为

$$\delta\lambda = \omega_e(t - t_0) \frac{d\Delta}{dt} \quad (1)$$

式中  $\omega_e$  为地球自转速度,

$t$  为卫星经过时刻,

$t_0$  为轨道预报间隔的起始时刻。

由于轨道外推最长时间为 30 小时,取  $t - t_0$  为 1.5 天,其平均经度误差为

$$\delta\lambda = 0.00011\dot{\Delta} \quad (1')$$

式中  $\dot{\Delta}$  为 UTC-UT1 的变率,以秒/日计,当  $\dot{\Delta}$  为正时,经度误差为负(向西),这使星历包含着经度差,其差值在赤道可达 2—3 米。

自 1979 年起 NAG 着手从美国海军天文台每周公报 (U.S. Naval Observatory Weekly Bulletins) 中,利用  $\Delta$  的外推值进行修正,以保持与精密星历相一致。

### ③ 极移改正

NNSS 是以国际习用原点 CIO 来定义 Z 轴的。实际上,星历在 1974 年 1 月 27 日以前,采用了瞬时自转极,未加极移改正。此后, NAG 采用了 BIH 每月 B/C 通报(The monthly B/C Circular of the BIH) 中极坐标的预报值,而精密星历是通过两天弧段的轨道计算中所解出的极坐标(即 DPMS),两者相差达 1 米左右,由此有 1—2 米系统误差保留在广播星历之中。

### ④ 常数采用

首先在重力场模型方面, NAG 使用了 WGS-72 系数,而精密星历使用 NSWG 10E-1 系数,两者仅在 28 阶共谱项上存在着有效的差异,它导致星历和定位的微量差别。Anderle 认为,两种重力模型是根据相同的多普勒标准方程式所产生的,而 WGS-72 中包含着其它解中所没有的重力测量数据,模拟表明,上述差别的影响是局部相关的,其量级为 1 米,该差值还可通过强制这两系统用共同引力表达式而达到完全消除。

第二在引力常数  $GM$  方面,自 1976 年以来, NAG 采用了  $398,600.8 \text{ km}^3/\text{s}^2$  (该值为 WGS-72 系统中包含大气质量的  $GM$  值),而精密星历采用了  $398,601.0 \text{ km}^3/\text{s}^2$ ,由于两者形成自相容性,只有在考虑跟踪站坐标不同时,才可看出两者差值的影响。

第三在地球自转速度  $\omega_e$  方面,其正确值为

$$\omega_e = 0.7292115855 \times 10^{-4} \text{ 弧度/秒}$$

它是相对于瞬时真春分点的旋转速度,而广播星历采用了 WGS-72<sup>[4]</sup> 文献中所列出的错误值为

$$\omega_e' = 0.7292115147 \times 10^{-4} \text{ 弧度/秒}$$

使用该值引起平均经度差达  $3 \times 10^{-7}$  弧度,在赤道上大约有 2 米偏差。

### ⑤ 跟踪站坐标

在 1975 年,当 NAG 采用 WGS-72 重力场模型时, Anderle 即时提供了一系列站坐标,这些值比较符合于多普勒跟踪所采用的 WGS-72 重力系数,被命名为 NWL 10 D 坐标系。目前除了经度存在微小偏差外,广播星历的站坐标相当接近于 NSWG-9Z-2 坐标系。

若顾及平均经度差和坐标、尺度( $GM$ )差所引起的间接影响,则对广播星历的总影响为:

Z 轴平移为 2 米, 半径变化为 1 米以及经度差为  $3 \times 10^{-7}$  弧度, 其公式为

$$\text{经度}_{(92-2)} = \text{经度}_{\text{广历}} - 3 \times 10^{-7} \text{弧度}$$

$$Z_{(92-2)} = Z_{\text{广历}} - 2 \text{米}$$

$$R_{(92-2)} = (1 + 2 \times 10^{-7}) R_{\text{广历}}$$

值得注意的是, 广播星历所忽略的 UTC-UT1 的影响, 恰好消除了过去几年的经度偏差。同样,  $\delta\lambda$  所引起的  $-3 \times 10^{-7}$  弧度的平均经度差, 几乎抵消了由于站坐标不同所引起的经度偏差。

Jenkins 和 Leroy 收集了全球的多普勒数据, 按七参数转换公式, 求订广历向精历的转换参数, 其公式为

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{精历}} = \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + (1 + \varepsilon) \begin{bmatrix} 1 & -\theta_Z & \theta_Y \\ \theta_Z & 1 & -\theta_X \\ -\theta_Y & \theta_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{广历}} \quad (2)$$

上式中  $T_X = -0.8 \pm 0.5$  米,

$$T_Y = 0.2 \pm 0.5 \text{米},$$

$$T_Z = -2.6 \pm 0.5 \text{米},$$

$$\theta_X = -2.3 \times 10^{-7} \pm 1.2 \times 10^{-7} \text{弧度},$$

$$\theta_Y = 0.9 \times 10^{-7} \pm 1.1 \times 10^{-7} \text{弧度},$$

$$\theta_Z = -0.3 \times 10^{-7} \pm 1.0 \times 10^{-7} \text{弧度},$$

$$\varepsilon = 2.2 \times 10^{-7} \pm 0.7 \times 10^{-7}.$$

如果忽略微量, 则(2)式简化为

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{精历}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -2.6 \end{bmatrix} + (1 + 2.2 \times 10^{-7}) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{广历}} \quad (2')$$

## 2. 精密星历

精密星历是由美国国防制图局水文/地形测量中心 (U.S.A. Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center—DMAHTC) 根据全球 20 多个跟踪站网 (亦称 TRANET 网), 按 48 小时的多普勒观测数据拟合轨道弧段计算出来的。多普勒系统原先是建立在 WGS-72 系统的基础之上, 其后, 经历了三次变化 (二次重力场和一次坐标系), 近十年内又作了其他方面的改正, 预期在八十年代达到亚米级定位程度。

### ① 重力场

表 1 重力场修正

| 日 期             | 重力场       | 说 明                          |
|-----------------|-----------|------------------------------|
| 1967 年 2 月 20 日 | NWL 8D    | 在 NWL 10E 重力场模型中增加两个新的谐振重力系数 |
| 1968 年 4 月 18 日 | NWL 8H    |                              |
| 1970 年 2 月 13 日 | NWL 9B    |                              |
| 1973 年 1 月 2 日  | NWL 10E   |                              |
| 1977 年 6 月 15 日 | NWL 10E-1 |                              |

表 1 列出了多普勒系统的重力场修正, 可以估计由不同重力场计算的卫星位置, 其变化约为 5 米, 随着用新的星历计算跟踪站位置的相应改正, 卫星位置误差约为 2 到 3 米。

## ② 坐标系

表 2 坐标系修正

| 日 期              | 坐标系       | 说 明                                                    |
|------------------|-----------|--------------------------------------------------------|
| 1967 年 2 月 20 日  | NWL 8E    | 取自七颗 NNSS 卫星的一年数据                                      |
| 1968 年 1 月 19 日  | NWL 8F    | NWL 8E 从 1966.7 平极变换到 CIO 极                            |
| 1970 年 12 月 20 日 | NWL 9C    | 在 1970 年用了 BIH 初步极坐标的 40 天数据保持不变                       |
| 1971 年 10 月 18 日 | NWL 9D    | 对 NWL 9C 的三个站高度进行改正                                    |
| 1977 年 6 月 15 日  | NSWC 9Z-2 | NWL 9D 转换到 NSWC 9Z-2 根据一年的站坐标解算得到。Love 数由 0.26 改为 0.28 |

近年来, 随着重力场的修正, TRANET 网的站坐标也有变化, NWL 9C 与 NWL 8F 所得坐标差约为 3 米; NWL 9D 与 NSWC 9Z-2 所得坐标差约为 1—2 米。从 NWL 9D 变换到 NSWC 9Z 的七参数为

表 3

| 平 移 量     |           |           | 欧 拉 角(弧秒)  |            |            | 尺 度              |
|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------------|
| $T_x$ (m) | $T_y$ (m) | $T_z$ (m) | $\theta_x$ | $\theta_y$ | $\theta_z$ | $\epsilon$ (ppm) |
| +0.5      | -0.5      | -0.9      | -0.03      | -0.01      | -0.01      | 0.2              |
| $\pm 0.4$ | $\pm 0.4$ | $\pm 0.4$ | $\pm 0.01$ | $\pm 0.01$ | $\pm 0.01$ | $\pm 0.1$        |

注: (1) 根据 NSWC 9Z-2 减去 NWL 9D 坐标。

(2) 正轴朝向格林尼治、东、和 CIO。

## ③ NWL 9D/NSWC 9Z-2 的地心位置及定向

自 1977 年 6 月起, 利用 NSWC 9Z-2 计算精密星历。为了鉴定 NSWC 9Z-2 坐标系的地心位置和定向, 将  $GM$  值由  $398,601.0\text{km}^3/\text{s}^2$  改用为  $398,600.5\text{km}^3/\text{s}^2$  后, 则该项差值影响大地高  $h$  为 -1.7 米, 同时考虑到地面跟踪站所接收的多普勒信号是由卫星的天线相位中心所发射的, 而不是来自卫星的质量中心, 这样对跟踪站大地高平均影响为 -0.7 米, 两者合并影响为 -2.4 米。现定义 NSWC 11Z 坐标系为

$$\phi_{\text{NSWC 11 Z}} = \phi_{\text{NSWC 9Z-2}}$$

$$\lambda_{\text{NSWC 11 Z}} = \lambda_{\text{NSWC 9Z-2}}$$

$$h_{\text{NSWC 11 Z}} = h_{\text{NSWC 9Z-2}} - 2.4 \text{ 米}$$

如果采用 GRS 80 参数并将 NSWC 9Z-2 的经度零点改正到 BIH 零子午线, 则采用下列公式:

$$a = 6,378,137 \text{ 米}$$

$$f = 1/298.257$$

$$C_{2,0} = -0.10826371527218 \text{ E-2}$$

则定义新的坐标系为

$$\left. \begin{aligned} \phi_{\text{NSWC } 12 \text{ Z}} &= \phi_{\text{NSWC } 11 \text{ Z}} + \Delta f \sin 2\phi / \sin 1'' \\ \lambda_{\text{NSWC } 12 \text{ Z}} &= \lambda_{\text{NSWC } 11 \text{ Z}} + 0''.8 \\ h_{\text{NSWC } 12 \text{ Z}} &= h_{\text{NSWC } 11 \text{ Z}} + a_{\text{GRS80}} \cdot \Delta f \sin^2 \phi - \Delta a \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

上式中

$$\Delta a = a_{\text{GRS80}} - a_{\text{NSWC } 9\text{Z}-2} = 6,378,137 - 6,378,145 \text{ (米)}$$

$$\Delta f = f_{\text{GRS80}} - f_{\text{NSWC } 9\text{Z}-2} = 1/297.257 - 1/297.25$$

如果光速 299,792.5km/s 改为 299,792.458km/s, 则对大地高  $h$  平均影响为 -0.26 米 ( $\pm 0.02$ ), 并从  $h_{\text{NSWC } 12 \text{ Z}}$  中减去, 这样就构成 NSWC 13Z, 显然该坐标系与 GRS80 十分接近。

另外, 为了论证 NSWC 9Z-2 的地心位置, 可在多普勒单点定位中分别用 NSWC 9Z 和 GRS80 两种系统进行计算, 其坐标差为

$$\Delta \phi = 0''.002 (\pm 0''.006)$$

$$\Delta \lambda = -0''.8 (\pm 0''.003)$$

$$\Delta h = 2.97 \text{ 米} (\pm 0.04)$$

可以看出: 纬度不存在系统差, 经度存在 0.8 秒的系统差, 大地高存在 -2.97 米系统差, 其中 -2.66 米是可以解释的。

Lachapelle 和 Kouba<sup>[5]</sup> 认为, NWL 9D 的地心位置可由卫星多普勒 (NWL 9D) 推算的大地水准面起伏  $N_D$  ( $N_D = h - H$ ,  $h$  为大地高,  $H$  为正高) 与不同地球重力场模型所推算的起伏的比较中求解, 其值为

表 4 NWL9D 与 GEM, SAO, SE 和 WGS72 模型相比较所解出的地心位置

(利用全球分布的 390 个多普勒跟踪站)

(以米计)

| 地球模型          | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta Z$ | $a$         |
|---------------|------------|------------|------------|-------------|
| GEM 9         | 0.9        | -0.1       | 3.9        | 6,378,138.5 |
| GEM 10        | 0.7        | -0.2       | 4.0        | 6,378,135.7 |
| GEM 10B       | 0.6        | 0.3        | 4.3        | 6,378,136.6 |
| AO SE I       | 0.6        | -0.4       | 2.7        | 6,378,138.4 |
| SAO SE IV.3   | 0.5        | 0.2        | 3.4        | 6,378,138.6 |
| SAO 重力模型      | 1.2        | 0.1        | 3.3        | 6,378,138.2 |
| WGS72 (12.12) | 0.8        | -0.5       | 4.8        | 6,378,139.2 |

可以看出, NWL 9D 坐标系在 Z 分量上确实增大了 4 米的偏差。同样从卫星多普勒测量与甚长基线干涉测量的数据比较中表明, NWL 9D 的经度零点增加  $0''.8 (\pm 0''.1)$ , 才能使 NWL 9D 的大地测量零子午面与 BIH 天文零子午面相平行, 同时 NWL 9D 的 Z 轴与国际习用原点 CIO 存在  $0''.05$  的系统差。

### 三、几种坐标系之间的转换

如上所述, NSWC-13Z 与 GRS80 的参数是一致的, 并命名为试验坐标系。下面列出 NSWC 9Z-2 与试验系统的八个参数:

表 5

| 项 目              | NSWC 9Z-2                                 | 试验系统                                          |
|------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 地球的长半径           | 6,378,145 米                               | 6,378,137 米                                   |
| 扁率               | 1/298.25                                  | 1/298.257                                     |
| 引力常数 $GM$        | 398,601.0 km <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> | 398,600.5 km <sup>3</sup> /s <sup>2</sup>     |
| 站网经度             | $\lambda_{NSWC 9Z-2}$                     | $\lambda_{NSWC 9Z-2} + 0''.8 = \lambda_{BIH}$ |
| 动力形状因子 $C_{2,0}$ | -0.10826344368564E-2                      | -0.10826371527218E-2                          |
| 光速               | 299,792.5 km/s                            | 299,792.458 km/s                              |
| 星历的参考点           | 卫星质心                                      | 卫星天线                                          |
| NAG/OPNET 数据的利用  | 频率数据                                      | 距离差数据                                         |

## ① 对四种多普勒系统转换

按照莫洛琴斯基简化公式计算坐标系之间的转换参数, 首先列出有关系统的椭球参数如下:

表 6

| 系 统              | $a$       | $f$       |
|------------------|-----------|-----------|
| NWL 9D/NSWC 9Z-2 | 6,378,145 | 1/298.25  |
| WGS72            | 6,378,135 | 1/298.26  |
| 广播星历*            | 6,378,135 | 1/298.26  |
| 试验系统             | 6,378,137 | 1/298.257 |

\* 假定 WGS72 参数置于“实时”软件中。

第二, 不同多普勒系统之间的尺度因子及其必要的变换公式为

表 7 尺度因子  $\Delta r$  (米)

| 新<br>旧              | NWL 9D<br>NSWC 9Z-2 | WGS72 | 广播星历 | 试 验   |
|---------------------|---------------------|-------|------|-------|
| NWL 9D<br>NSWC 9Z-2 | 0                   | -5.27 | 0    | -2.97 |
| WGS72               | 5.27                | 0     | 5.27 | 2.30  |
| 广播星历                | 0                   | -5.27 | 0    | -2.97 |
| 试 验                 | 2.97                | -2.30 | 2.97 | 0     |

\* 假设软件包含 WGS72 椭球参数。

转变公式为

$$\begin{aligned}
 H_{\text{新}} &= H_{\text{旧}} + \Delta H \\
 \Delta H &= a_{\text{新}} \cdot \Delta f \cdot \sin^2 \phi - \Delta a + \Delta r \\
 \Delta a &= a_{\text{新}} - a_{\text{旧}} \\
 \Delta f &= f_{\text{新}} - f_{\text{旧}} \\
 \phi_{\text{新}} &= \phi_{\text{旧}} + \Delta \phi \\
 \Delta \phi'' &= \Delta f \sin 2\phi / \sin 1''
 \end{aligned} \tag{4}$$

第三, 经度旋转因子  $\Delta \lambda''$  为

表 8

| 新<br>旧              | NWL 9D<br>NSWC 9Z-2 | WGS72 | 广播星历  | 试 验   |
|---------------------|---------------------|-------|-------|-------|
| NWL 9D<br>NSWC 9Z-2 | 0                   | 0.26  | 0     | +0.80 |
| WGS72               | -0.26               | 0     | -0.26 | +0.54 |
| 广播星历                | 0                   | 0.26  | 0     | +0.80 |
| 试 验                 | -0.80               | -0.54 | -0.80 | 0     |

全部经度向东为正

公式为

$$\lambda_{\text{新}} = \lambda_{\text{旧}} + \Delta\lambda \quad (5)$$

## 2. GRS80 参数对 WGS72 结果的影响

按照表 6、7、8 和公式(4)、(5)估算从 WGS72 变换到试验系统对大地经、纬度和大地高的最大影响为

$$\Delta\lambda \text{ 为常差 } 0''.54,$$

$$\Delta\phi = \Delta f \sin 2\phi / \sin 1''$$

$$= (0.34 \times 10^{-7}) (1) / \sin 1''$$

$$= 0.34 \times 10^{-7} / 0.485 \times 10^{-5}$$

$$= 0''.007 \text{ (相当于 } 0.52 \text{ 米)},$$

$$\Delta H = a_{\text{新}} \Delta f \sin^2 \phi - \Delta a + \Delta r$$

$$= 6,378,137 \cdot (0.34 \times 10^{-7}) (1) - 2 + 2.3$$

$$= 0.52 \text{ 米}。$$

## 结 束 语

(1) 大地测量参考坐标系的定义应该包含地心坐标系的框架和所采用椭球体的几何参数、物理参数及其重力场模型。坐标系框架的三轴指向应由某种资料所定义,笼统地定义是没有实际意义的。

(2) 多普勒参考坐标系的定义应由跟踪站网的坐标所构成的坐标系和所采用的重力场模型所组成。

(3) 在进行经典大地网与多普勒网联合平差以前,必须研究两种不同类型控制网的参考坐标系之间的相互关系。从天文大地测量资料中,找出两种坐标系框架之间的差异,即 Z 轴的偏差值和经度零点差,这相当于三维坐标变换公式中的欧拉角。其次从两种不同的椭球参数和重力场模型中,求出对大地测量坐标值的影响,在顾及上述误差后,再准确求解出七参数(平移、欧拉角、尺度因子),提出最佳的联合平差数学模型。因此,深入分析经典大地网的平差结果和了解多普勒参考坐标系的演变过程十分重要。

## 参 考 文 献

[1] Bureau International de L'Heure Annual Report for 1982.



- [2] 宋文尧: DPMS 和其他观测技术所推算的极坐标的比较, 天文学报, 24(1983), No.1.
- [3] 极移协作小组: 关于 1949—1976 年的地极运动, 天文学报, 20(1979), No.1.
- [4] Seppelin, T. O., The Department of Defense World Geodetic System 1972, *Canadian Surveyor*, 28 (1974), No.5.
- [5] Lachapelle, G. and Kouba, J.: Relationship Between Terrestrial and Satellite Doppler System, *IAU Colloquium* No 56, (1980).
- [6] Jenkins, R. E. and Leroy, D. F., Broadcast Versus Precise Ephemeris —Apples and Oranges, *Proceedings of the Second International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning*, Austin, Texas, January 22—26, 1979, 39—62.
- [7] Leroy, D. F., The Impact of GRS 80 on DMA Products, *Proceedings of the Third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning*, Las Cruces, New Mexico, (1982).
- [3] Rutscheidt, E. H., A Review of Some Aspects of Doppler Satellite Geodesy, *CSTG Bulletin*, Tokyo, June 1, 1982.

## On the Reference Coordinate System of Doppler Measurement

Song Wen Yao

(Institute of Geodesy and Geophysics, Academia Sinica)

### Abstract

This paper discusses the definition of geodetic reference coordinate system, traces back to the formation and development of Doppler coordinate system and probes into the mutual transformation among varied coordinate systems. And lastly, the paper presents that, when carrying out joint adjustment of classical geodetic and Doppler networks, the interrelation between reference coordinate systems of two different types of control networks must be investigated. From data of astrogeodetic measurements, the differences between two coordinate frames, i.e. the deviation value of Z axis and the zero point difference of longitude, have been differentiated. Furthermore, from parameters of two different ellipsoids and gravity field model, the effect of them on the value of geodetic coordinates has been found. When taking the above-mentioned error into account, the optimum plan of joint adjustment is presented.