

PZ-90 GLONASS 与 ITRF 之间转换参数的谱分析

焦文海¹ 魏子卿¹ 刘光明¹ 何涛¹

(西安测绘研究所, 西安市雁塔路中段 1 号, 710054)

摘要: 根据 BKG 中心的转换参数结果, 采用 FFT 方法, 计算分析了 PZ-90 GLONASS 与 ITRF 间转换参数及其周期变化特性, 并得出了一些有益的结论。

关键词: PZ-90 GLONASS; ITRF; 坐标转换

中图法分类号: P228.42

GLONASS 采用的坐标系 PZ-90 与 ITRF (或 WGS84) 之间转换参数是一项重要的研究课题。文献[1] 利用分布欧洲的 6 个跟踪站在 PZ-90 和 WGS84 下的坐标, 计算了 PZ-90 到 WGS84 的转换参数, 发现两者绕 Z 轴有 $-0.33''$ 的旋转。文献[2] 利用两颗 GLONASS 卫星的 PZ-90 与 WGS84 坐标计算了这两个坐标系之间的转换参数, 除证实两者绕 Z 轴有 $-0.4''$ 的旋转外, 还得出沿 Y 轴有 2.5m 的平移量。文献[3] 分析了 PZ-90 与 WGS84 的转换参数, 发现 3 个旋转参数和 3 个平移参数具有周期性变化, 且旋转参数 R_x 、 R_y 的变化主要由 GLONASS 控制中心计算轨道时未采用 IERS 极移参数引起。文献[4] 利用位于俄罗斯境内 8 个跟踪站的 PZ-90 和 WGS84 坐标在估计旋转参数 R_z 的同时, 还估计了 3 个平移和尺度参数。文献[5] 从距离观测量的角度, 直接估计了 PZ-90 与 WGS84 的 7 个转换参数。文献[6] 是文献[3] 更进一步的延伸, 它采用的激光观测资料弧长达 3.5a, 参与参数解算的卫星数目有 8 颗, 它得到的转换参数更为准确。文献[7] 将不同作者采用不同方案得到的 PZ-90 与 WGS84 转换参数结果做了比较分析, 得出了更为可信的结果。

1 转换参数资料及其谱分析

1.1 转换参数资料

IGEX 的欧洲地区分析中心 BKG 从 1998 年第 291 天起, 每天计算 PZ-90 GLONASS 与 ITRF

间的转换参数, 每周通过 IGEXMail 方式提供给用户, 详细的计算方案及结果见 <ftp://igs.ifaq.de>。笔者搜集了该中心从 1998 年第 291 天至 2003 年第 011 天共 1 540 组的转换参数结果, 转换参数结果时间序列见图 1~图 4。需说明的是, 在这 4 年多的时间跨度内, 计算的 GLONASS 精密星历曾采用了 ITRF96、ITRF97 和 ITRF2000 参考框架, 考虑到这几个框架的坐标系定义基本一致, 精度约 cm 级, 文中将其不加以区别, 统称为 ITRF。图 1 为平移参数 T_x 、 T_y 、 T_z 的时间序列, 可以看出, 相比较而言, T_x 、 T_y 的变化比较稳定, 而 T_z 具有明显的周期性; 图 2 为旋转参数 R_x 、 R_y 、 R_z 的时间序列, 这 3 个参数都有明显的周期变化, 且 R_x 、 R_y 表现出明显的线性变化规律; 图 3 为尺度参数的时间序列; 图 4 为坐标转换后每天的残差时间序列, 可以看出, 卫星坐标转换残差约 5m, 对于地面点而言, 相应于 1m 多精度, 这可认为是每天转换参数的精度。2000 年以后, 参数的变化幅度明显增大, 这可能与 GLONASS 卫星急剧减少有关。

1.2 转换参数的谱分析

对连续的序列数据进行谱分析之前, 需扣除其中的常数项和线性项。首先, 针对转换参数的 7 组数据, 对其进行线性拟合:

$$\tilde{y}_i(t) = y_i(t) - (\hat{a}_i + \hat{b}_i t), \quad i = 1, 2, \dots, 7 \quad (1)$$

式中, 下标 i 表示转换参数; $y_i(t)$ 为相对时刻 t 的原始转换参数结果; $\tilde{y}_i(t)$ 为拟合残差; \hat{a}_i 和 \hat{b}_i 为

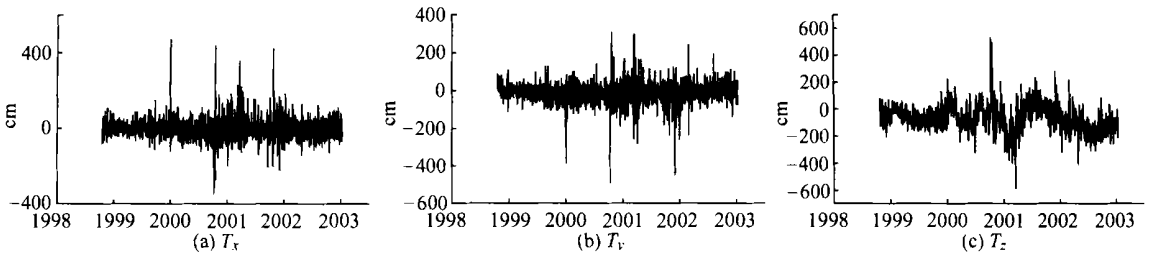


图 1 平移参数的时间序列

Fig. 1 Time Series of Translation

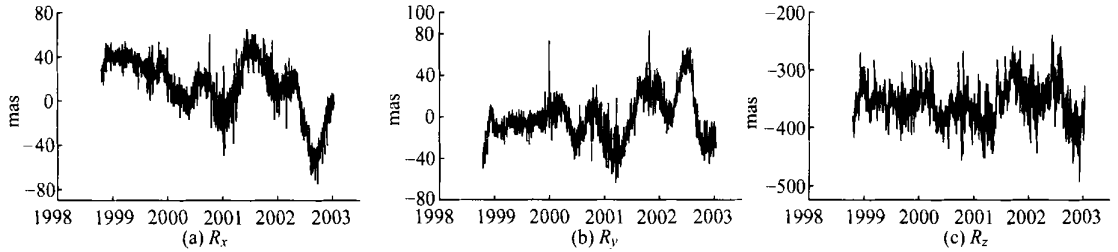


图 2 旋转参数的时间序列

Fig. 2 Time Series of Rotation

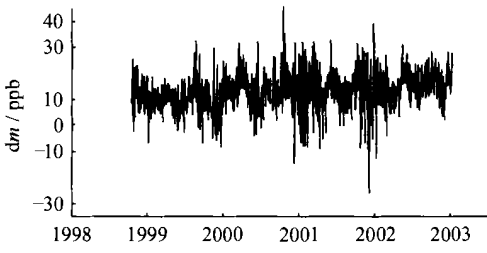


图 3 尺度参数 dm 的时间序列

Fig. 3 Time Series of Scale dm

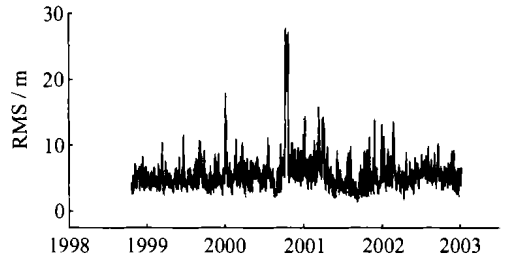


图 4 转换残差 RMS 的时间序列

Fig. 4 Time Series of Coordinate Transformation RMS

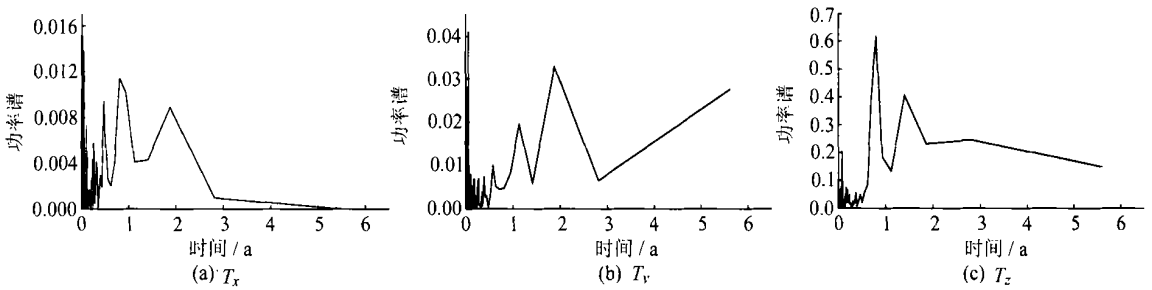


图 5 平移参数的功率谱

Fig. 5 Power Spectrum of Translation

估计的转换参数常数项和线性项。由于 $\tilde{y}_i(t)$ 是等间隔连续采样的 (1 天 1 组结果), 这符合 FFT 谱分析的条件。以 $\tilde{y}_i(t)$ 为输入数据, 采用 FFT 谱分析方法, 笔者获得了 7 个转换参数的功率谱, 结果见图 5~图 7。

图 6 中的折点, 估计是由系统误差引起而产生的突变。通过 FFT 方法, 可以获得转换参数变

化的周期、振幅、相位。这里仅给出各个参数的三个功率谱最大的主周期, 结果见表 1。可以看出, 三个旋转参数具有相同的主周期变化, 即都具有 293.7d、685.3d 和 1 028.0d 的主周期变化, 振幅在 9.1~16.3mas 之间。在平移参数方面, T_x 有 7.0d、7.6d 和 5.4d 的短周期变化, 振幅约 5.4cm; T_y 除有 16.1d、8.0d 的短周期变化外, 还有与旋

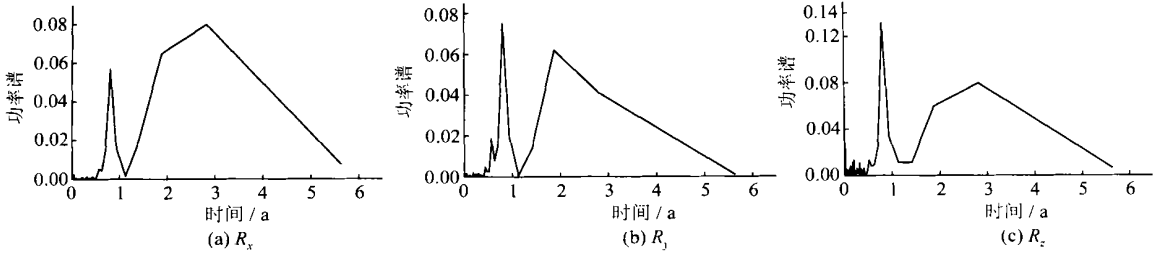


图 6 旋转参数的功率谱

Fig. 6 Power Spectrum of Rotation

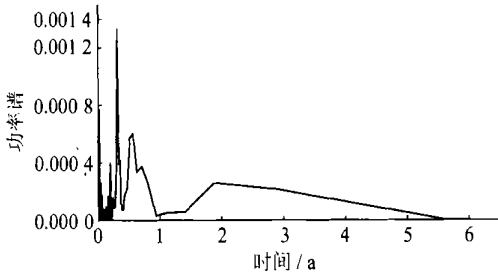


图 7 尺度参数 dm 的功率谱

Fig. 7 Power Spectrum of Scale dm

RMS2 为不考虑周期项时的残差均方根, RMS3 为考虑周期项时的残差均方根。可以看出, 估计线性项后, 平移参数 T_z 、尺度参数 dm 和旋转参数 R_x 、 R_y 及其残差均方根的变化是显著的, 因此这 4 个参数具有明显的线性变化。RMS 2 和 RMS3 的差异说明 3 个旋转参数和 1 个平移参数 T_z 具有

表 1 转换参数频谱的主周期

Tab. 1 Primary Periods of Transformation Parameters from Spectrum Analysis

参数	周期/d	振幅	功率谱
T_x	7.0	5.5cm	0.015 08
	7.6	5.4cm	0.014 68
	5.4	5.3cm	0.013 96
T_y	16.1	9.1cm	0.041 06
	685.3	8.2cm	0.032 84
	8.0	7.6cm	0.027 96
T_z	293.7	35.4cm	0.613 36
	257.0	29.1cm	0.414 43
	514.0	28.8cm	0.405 12
R_x	1 028.0	12.8mas	0.080 04
	685.3	11.5mas	0.064 89
	293.7	10.7mas	0.056 11
R_y	293.7	12.3mas	0.074 40
	685.3	11.3mas	0.061 93
	1 028.0	9.1mas	0.040 82
R_z	293.7	16.3mas	0.130 28
	1 028.0	12.8mas	0.079 49
	685.3	11.0mas	0.059 41
dm	114.2	1.6ppb	0.001 33
	8.0	1.2ppb	0.000 77
	205.6	1.1ppb	0.000 60

转参数相同的 685.3d 的长周期变化, 它们的振幅约 8cm; T_z 具有 257.0d、514.0d 以及同旋转参数一样的 293.7d 的长周期变化, 振幅分别为 29.1cm、28.8cm 和 35.4cm; 尺度参数有 8.0d 的短周期和 114.2d、205.6d 的长周期变化。值得指出的是, 平移参数和尺度参数都有同旋转参数相同的长周期变化, 它们相比较而言不是主要项, 在表 1 中未列出。

在知道 7 个转换参数和 3 个主周期的前提下, 采用模型(2), 重新估计了这 7 个转换参数的常数、线性项的系数, 以及 3 个主周期谐波的振幅和功率谱。计算时, 将残差大于 3σ 的数据予以剔除, 结果见表 2。

$$y(t) = a + bt + \sum_{i=1}^3 A_i \cos(2\pi f_i t - \varphi_i) \quad (2)$$

表 2 中, 第 1 行结果为转换参数的平均值, RMS1 为其残差的均方根, 紧接的是同时以线性项、常数项和周期项结合估计的转换参数结果,

表 2 PZ-90 GLONASS 到 ITRF 转换参数的估计结果(历元: 1998.797)

Tab. 2 Transformation Parameters of PZ-90 GLONASS to ITRF(Epoch: 1998.797)

	T_x/cm	T_y/cm	T_z/cm	R_x/mas	R_y/mas	R_z/mas	dm/ppb
转换参数	-1.0	-12.4	-64.2	14.2	-1.3	-356.5	13.4
RMS1	44.9	45.9	88.4	25.7	21.7	33.7	6.4
常数项	1.2	-15.1	-29.0	39.7	-11.9	-354.6	10.1
线性项	-1.0	1.4	-16.8	-12.2	5.0	-1.0	1.6
RMS2	44.6	45.5	85.4	21.0	20.7	33.8	6.0
RMS3	44.8	45.3	75.5	11.9	12.8	26.8	5.8

明显的周期变化。

2 转换参数的分析

2.1 平移参数

平移参数 T_x 的主周期都接近 8d, 这与轨道计算的弧长(也是 GLONASS 的星座重复周期)接近, 笔者怀疑这两者可能有必然联系。 T_x 的线性变化和周期变化对结果影响不明显, 可认为它基本没有线性变化和周期变化。 平移参数 T_y 有 8d 和 16d 的主周期变化, 这也与轨道计算的弧长相关, 除此之外, 它还有 685.3d 的长周期变化。 平移参数 T_z 有明显的长周期变化, 振幅最大的 293.7d 周期与旋转参数 R_y 和 R_z 相一致, 这可以解释文献[3]关于 T_z 与 R_y 时间序列相关的疑问。 表 2 说明, 平移参数 T_x 、 T_y 的周期项和线性影响相对都不大, 考虑到约 45cm 的残差均方根, 这两个参数的估值是无意义的, 可认为其为 0。 T_z 的变化比较复杂, 它既有周期变化, 又有线性变化, 波动的趋势与旋转参数相一致, 这也验证了文献[7]的判定, 它是由于控制中心的轨道确定方案引起的。 此外, 监测站的不均匀分布也是导致 T_z 变化特性的主要原因之一。 文献[3]曾猜测 T_z 的变化与俄罗斯控制中心采用的岁差和章动模型有关, 但 T_z 的变化周期似乎否定了这一观点, 它变化的主周期与章动周期无关。

2.2 旋转参数

3 个旋转参数都有明显的同周期的变化, 考虑到其他 4 个参数也有这样的周期, 笔者确信这是由于俄罗斯控制中心的轨道计算方案造成的。 文献[3, 7]对此已作了详细说明。 这里重复一下, 旋转参数 R_x 、 R_y 是由俄罗斯控制中心采用自行

计算的地球定向参数引起的, 如果采用 IERS 的极移参数, 则这种周期变化基本消失, 参数的估计精度也大大提高。 考虑到这一因素, 笔者认为就参数的长时间均值来说, R_x 、 R_y 的值为 0。 如果需要更高精度的值, 可采用其常数项、线性项和周期项。 R_z 值是明显的, 这与采用的 UT1-UTC 预报值相关, 但它的线性和周期变化对其估值影响都不显著, 笔者认为它取 -356mas 比较合适。

2.3 尺度参数

相比较而言, 尺度参数虽有明显的周期变化和线性变化, 但这种变化幅度很小, 如尺度每年仅增加 1.6ppb(相当于卫星坐标分量增加 4cm)。 就长期平均而言, 尺度参数是相当稳定的, 它的值取为 13ppb 比较合适。

3 结 语

1) PZ-90 GLONASS 与 ITRF 之间的转换参数随时间变化, 其中 3 个旋转参数有相同的主周期变化, 即都具有 293.7d、685.3d 和 1 028.0d 的主周期变化, 振幅在 9.1 ~ 16.3mas 之间。 平移参数 T_z 有周期变化, 但与章动周期无关。 相比较而言, 平移参数 T_x 、 T_y 和尺度参数 dm 比较稳定, 这 3 个参数都有与 GLONASS 星座重复相同的周期变化, 但周期变化和线性变化不显著。

2) 7 个参数都有相同的长周期, 说明 PZ-90 GLONASS 与 ITRF 之间的转换参数不应是由有关的物理机制引起的, 而应该是由俄罗斯 GLONASS 控制中心的轨道计算方案造成的, 这点在 R_x 、 R_y 两个参数上已得到证实。 考虑到参数随时间变化, 提供一组平均的转换参数是必要的。 笔者建议采用的 PZ-90 GLONASS 到 ITRF 间的转换参数为:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{PZ90} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -64\text{cm} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 13\text{ppb} & -356\text{mas} & 0 \\ 356\text{mas} & 13\text{ppb} & 0 \\ 0 & 0 & 13\text{ppb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{PZ90} \quad (3)$$

这组转换关系是 1998 年 10 月 ~ 2003 年 1 月期间的平均结果, 转换精度约 1m。 为了得到更高精度的转换参数, 可考虑增加有关参数的主周期项和线性项。

参 考 文 献

1 Rossbach U, Habrich H, Zarraoa N. Transformation Parameters Between PZ-90 and WGS84. ION GPS96 Salt Lake City, 1996

2 Misra P, Abbot R, Gaposchkin E. Integrated Use of GPS and GLONASS: Transformation Between WGS84 and PZ-90. ION GPS96 Salt Lake City, 1996

3 Mitrikas V V, Revniviykh S G, Bykhanov E V. WGS84/PZ-90 Transformation Parameters Determination Based on Laser and Ephemerides Long-term GLONASS Orbital Data Processing. ION GPS98 Nashville, Tennessee, 1998

4 Bazlov Y A, Galazin V F, Kaplan B L, et al. GLONASS to GPS a New Coordinate Transformation.

- GPS World, 1999(1): 54 ~ 58
- 5 Rossbach U. PZ-90/WGS84 Transformation Parameters Directly from GLONASS Range Measurements. IGEX-98 Workshop, Nashville, Tennessee, 1999
- 6 Mitrikas V V, Revnivykh S G, Glotov V D, et al. PZ-90 GLONASS to ITRF Transformation as a Result of IGEX-98 Laser Tracking Campaign. IGEX-98 Workshop, Nashville, Tennessee, 1999
- 7 Boucher C, Altamimi Z. ITRS, PZ-90 and WGS84: Current Realizations and the Related Transformation Parameters. Journal of Geodesy, 2001, 75: 613 ~ 619
- 第一作者简介: 焦文海, 高级工程师, 博士。主要研究领域: 空间大地测量、卫星导航定位等。
E-mail: jiaowh0927@163.com

Spectrum Analysis of Transformation Parameters Between PZ-90 GLONASS and ITRF

JIAO Wenhai¹ WEI Ziqing¹ LIU Guangming¹ HE Tao¹

(1 Xi'an Institute of Surveying and Mapping 1Mid-Yanta Road, Xi'an, China 710054)

Abstract: By using FFT, this paper carries out the spectrum analysis of the transformation parameter results from the International GLONASS Experiment (IGEX) BKG Analysis Center. We found that the three rotation parameters all have primary periods 293.7 days, 685.3 days and 1 028.0 days with the amplitude being about 9.1 ~ 16.3mas. On the other hand, the remaining parameters also have the same long period fluctuations, but they aren't the dominant. The scale, translations T_x and T_y show more stable, their constant and bias terms could be neglected compared to the large rms. The fluctuation of translation T_z is similar to the rotations, and the bias term is evident, its first primary period is 293.7days. A set of transformation parameters based on our investigation are suggested.

Key words: PZ-90; GLONASS; ITRF; coordinate transformation

About the first author: JIAO Wenhai, senior engineer, Ph. D. He majors in space geodesy and satellite navigation positioning, etc.
E-mail: jiaowh0927@163.com

(责任编辑: 光远)

欢迎订阅《测绘信息与工程》

《测绘信息与工程》为测绘专业应用技术期刊,其宗旨是:贯彻从生产中来、到生产中去的办刊原则,面向测绘行业发展的实际需要,发表对测绘行业具有直接指导作用的技术、管理和教育文章,架设沟通测绘研究与应用联系的桥梁,普及测绘科学新技术,提高测绘行业的技术含量及从业人员的技术水平。本刊开辟的栏目均面向读者需要,并形成特色和优势,具有较好的社会适应性。本刊为湖北省优秀期刊。

本刊国内外公开发行,读者对象为测绘及相关专业的技术人员、管理人员、教育人员以及大学生、研究生等。本刊为双月刊, A4开本, 56面,逢双月5日出版,每册定价4.0元,邮购价加25%。本刊邮发代号: 38-316,请广大读者到各地邮局订阅。漏订者可与本刊编辑部联系补订。