

# 东北亚地区 GPS 观测数据质量检测和分

李 军<sup>1</sup> 王继业<sup>1</sup> 熊 熊<sup>1</sup> 许厚泽<sup>1</sup>

(1 中国科学院测量与地球物理研究所动力大地测量学重点实验室, 武汉市徐东大街 340 号, 430077)

**摘 要:** 利用 TEQC 软件对东北亚地区 52 个 GPS 台站 4 a 的观测资料进行了质量检测, 给出了这些站的数据质量报告, 并按照 IGS 的质量标准对这些数据进行统计分析。结果表明, 90% 以上的台站观测数据质量 (CSR < 10, MP<sub>1</sub> < 0.5, MP<sub>2</sub> < 0.75) 好于全球 IGS 站的资料质量状况。

**关键词:** TEQC; GPS; 数据质量检测; 东北亚地区

**中图法分类号:** P228.41

东亚大陆是国际地学研究的一个传统热点地区, 它覆盖了全球最引人注目、也最具争议的陆陆碰撞造山带——喜马拉雅-青藏高原造山带和太平洋板块、菲律宾板块俯冲的海陆综合作用地区<sup>[1]</sup>。一直以来, 许多学者致力于东亚板块的内部地壳形变和构造分区研究<sup>[2,3]</sup>。但是, 由于地质与地球物理学证据的缺乏, 东亚地区块体分区等问题尚存在许多疑问, 如备受关注的东北亚地区内 Amurian 板块的存在与边界等问题<sup>[4]</sup>。

笔者收集了该区中、日、韩等国 52 个 GPS 永久站(台站分布见图 1) 2000~2003 年 4 a 的连续观测资料。由于所收集的资料来自不同国家, 为了对这些数据质量有个清晰的认识, 并使最后的 GPS 解算结果更加可靠, 本文对所收集的 52 个 GPS 观测台站 4 a 的连续观测资料进行质量检测和分析, 给出这些台站的质量检测结果, 通过数据质量和数据解算结果关系的分析, 明确数据质量对解算结果的影响, 为 GPS 数据处理过程中对数据的采用提供依据。

## 1 软件和原理简介

目前, GPS 观测站数据的质量检测普遍采用由 UNAVCO (university NAVSTAR consortium) 开发研制的 TEQC 软件包。TEQC 是一个操作简单但功能强大的 GPS 数据预处理软件, 主

要包含数据格式转换、数据编辑以及数据的质量检测<sup>[7]</sup> 3 个功能。本文主要采用数据的质量检测 (quality checking, QC)。

TEQC 的 QC 部分是检测双频 GPS/GLON-SS 接收机的静态和动态数据质量, 其基本原理是通过伪距和相位观测量的线性组合, 计算出 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 观测量的多路径效应、电离层对相位的影响、电离层延迟的变化以及接收机的钟漂和周跳等, 以图形和文件两种形式输出结果。几个比较关心的结果参数 MP<sub>1</sub>、MP<sub>2</sub>、o/slps 都输出在结果文件 S 文件中。o/slps 表示观测值和周跳比, 它直接反映出数据的周跳情况, 本文采用另一种表示方式:

$$CSR = \frac{1000}{o/slps} \quad (1)$$

MP<sub>1</sub>、MP<sub>2</sub> 则分别表示 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 波段上的多路径效应对伪距和相位影响的综合指标, 其计算公式分别为:

$$MP_1 = P_1 - \left[ 1 + \frac{2}{\alpha - 1} \right] \phi_1 + \left[ \frac{2}{\alpha - 1} \right] \phi_2 \quad (2)$$

$$MP_2 = P_2 - \left[ \frac{2\alpha}{\alpha - 1} \right] \phi_1 + \left[ \frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1 \right] \phi_2 \quad (3)$$

式中, P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub> 分别表示 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 波段上的码伪距观测, φ<sub>1</sub>、φ<sub>2</sub> 分别表示 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 波段上的载波相位观测, α 为 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 波段的频率 f<sub>1</sub> 和 f<sub>2</sub> 之比的平方 (α = f<sub>1</sub><sup>2</sup>/f<sub>2</sub><sup>2</sup>)。

收稿日期: 2005-12-20。

项目来源: 国家自然科学基金资助项目(40574011;40274037); 中国科学院国际合作重点资助项目(GJH2205); 地球空间环境与大地测量教育部重点实验室开放研究基金资助项目(04-01-08)。

通常, QC 的结果文件里是输出观测时段  $MP_1$ 、 $MP_2$  的均方差(RMS)值, 结合 CSR, 这 3 个值能较好地反映出台站的观测环境以及观测数据的质量。

## 2 计算结果和分析

本文采用来自中、日、韩国际合作项目“利用

GPS 技术研究东亚地区地壳运动”覆盖东亚大陆的 52 个 GPS 连续观测站从 2000 年到 2003 年的数据资料。其中日本地区 37 个连续站, 韩国 6 个, 中国境内选取 9 个覆盖东北地区的连续站。笔者利用 TEQC 软件来检测这些数据资料, 得到这些台站每天的质量检测报告。由于篇幅原因, 表 1 仅列出了有代表性的 GPS 台站的每年的 CSR、 $MP_1$  和  $MP_2$  的平均值。

表 1 东亚大陆 GPS 站 CSR、 $MP_1$ 、 $MP_2$  值(2000~2003 年)  
Tab. 1 CSR,  $MP_1$  and  $MP_2$  Values of GPS Stations in Eastern Asia

站名	站点说明	TEQC Results 2000			TEQC Results 2001			TEQC Results 2002			TEQC Results 2003		
		CSR	$MP_1$	$MP_2$	CSR	$MP_1$	$MP_2$	CSR	$MP_1$	$MP_2$	CSR	$MP_1$	$MP_2$
0094	HYUUGA	48.23	0.25	0.38	41.29	0.27	0.38	5.60	0.29	0.37	2.52	0.29	0.37
0202	INAWASHIRO1	3.46	0.41	0.57	3.38	0.39	0.55	2.30	0.27	0.40	2.54	0.29	0.40
0497	M INAM IDAITOH	4.31	0.35	0.54	4.63	0.34	0.54	2.63	0.27	0.43	4.32	0.35	0.54
0742	TONAKI	4.16	0.30	0.52	4.43	0.30	0.53	4.45	0.29	0.52	4.12	0.30	0.52
0085	TOSASHIMIZU	2.97	0.23	0.38	3.73	0.24	0.38	2.00	0.28	0.39	2.59	0.27	0.37
daej	Daejeon	1.95	0.28	0.84	1.89	0.31	0.89	2.06	0.34	0.94	2.18	0.35	0.92
jeju	Jeju	1.18	0.20	0.58	1.32	0.20	0.61	1.39	0.23	0.67	1.61	0.23	0.66
junj	Junju	2.72	0.24	0.70	3.13	0.19	0.52	3.69	0.18	0.50	3.79	0.18	0.50
skch	Sokcho	1.15	0.25	0.74	1.78	0.26	0.96	1.65	0.24	0.91	1.55	0.23	0.81
suwn	Suwon	3.20	0.19	0.89	1.78	0.13	0.76	1.64	0.12	0.68	1.63	0.09	0.69
bjfs	Beijing	0.34	0.18	0.27	0.77	0.17	0.24	1.43	0.19	0.25	1.61	0.14	0.18
shao	Shanghai	57.11	0.39	1.04	108.8	0.35	1.1	114.48	0.32	1.22	68.38	0.41	0.99
chun	Changchun	2.17	0.20	0.25	1.67	0.20	0.26	1.83	0.20	0.25	1.84	0.20	0.25
hlar	Hailar	0.65	0.12	0.15	1.07	0.12	0.15	1.13	0.12	0.15	0.99	0.11	0.13
tain	Taian	5.05	0.23	0.34	3.23	0.29	0.4	3.42	0.27	0.38	2.8	0.23	0.3

从表 1 中可见, 这些连续观测站的数据质量都比较稳定。其中 SHAO 站 2000~2003 年的 CSR 值分别为 57.11、108.8、114.48、68.38, 日本 0094 站 2000~2001 年的 CSR 值分别为 48.23 和 41.29, 这些时间段的值比其他的台站的 CSR 值明显高出很多。所有 GPS 站的  $MP_1$  都比较好, 而韩国境内的台站的  $MP_2$  值普遍比其他的站的  $MP_2$  值要高一些。

IGS(International GPS Service)的数据质量检测分析显示, 超过半数的 IGS 站的 CSR 年平均小于 5, 2/3 以上的 CSR 平均值是在 10 以下。对于多路径效应而言, 2/3 的 IGS 站的  $MP_1$  平均值小于 0.5, 而 2/3 的  $MP_2$  平均值小于 0.75。

依照 2/3 的 IGS 站的质量标准对结果进行统计, 列出符合这个标准的台站数占总数的百分比, 如表 2。

显然, 所选用的 GPS 站点的数据质量基本都符合 IGS 站标准, 而且总体数据质量逐年改善。导致数据质量改善的因素有多种, 如仪器的日趋稳定、观测环境的改善等。

为了得到数据质量和解算结果的关系, 利用 GAMIT/GLOBK 软件分两种方案进行解算比较研究。

首先选取 14 个 GPS 站 2002 年每月的第一

表 2 东亚大陆 GPS 站的数据质量统计/%

Tab. 2 Data Quality Statistics of GPS Stations in Eastern Asia

	2000	2001	2002	2003
CSR ≤ 10	96.2	96.2	98.1	98.1
$MP_1$ ≤ 0.5	100	100	100	100
$MP_2$ ≤ 0.75	90.4	90.4	92.3	94.2

周共 84 d 的数据, 站点的分布和 GPS 网的结构图如图 2。第一方案是使用全部原始数据进行处理, 第二方案是在原始数据中剔除 CSR 值大于 10 的数据进行处理, 并对两方案的结果进行比较分析。在两种方案处理中, 为了得到客观的对比结果, 采用了相同的台站 GPS 卫星截止角, 且都归算到相同的参考历元。由于 GPS 多路径效应对差分 GPS 数据处理的结果影响很小, 这里只考虑 CSR 的值对结果的影响。

通过这两种方案的结果对比, 这 14 个站的坐标结果相差很小, 平均为 0.4 mm。下面选取 BJFS 站来进行具体分析。

图 3 是 BJFS 站在两种方案下结果的比较图, 分别为 X、Y、Z 3 个分量。横坐标是时间, 以 GPS 周表示; 纵坐标是解算坐标与 IGS 坐标的差, 单位是 m。图中符号“+”表示选取所有数据解算的结果, 符号“○”表示只选取那些 CSR 值小

于 10 的数据解算的结果。从图出可以看出, 两个结果吻合得非常好, 没有明显的差别。在第 1 157 周, 两者相差最大, 3 个分量平均相差为 2.1 mm;

其他时间, 3 个分量的差均在 0.1~ 0.5 mm 之间, 两者基本一致, 即数据质量和最后的解算的结果之间未显示出明显的相关关系。

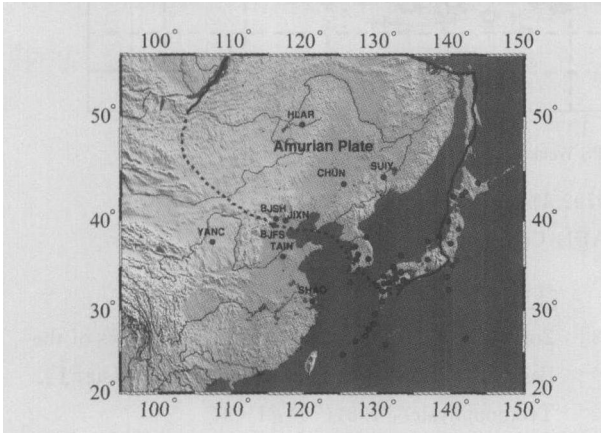


图 1 东亚大陆 GPS 观测站点分布图

Fig. 1 Map of GPS Stations in Eastern Asia

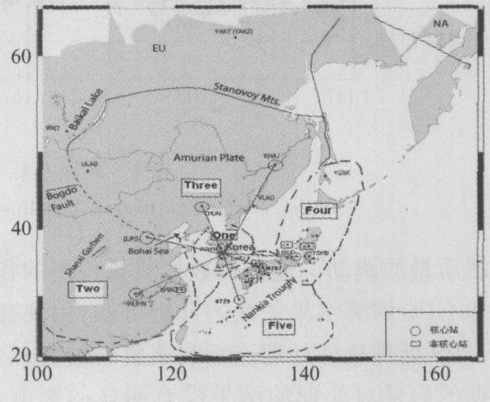


图 2 GPS 观测站网络图

Fig. 2 Network Map of GPS Stations

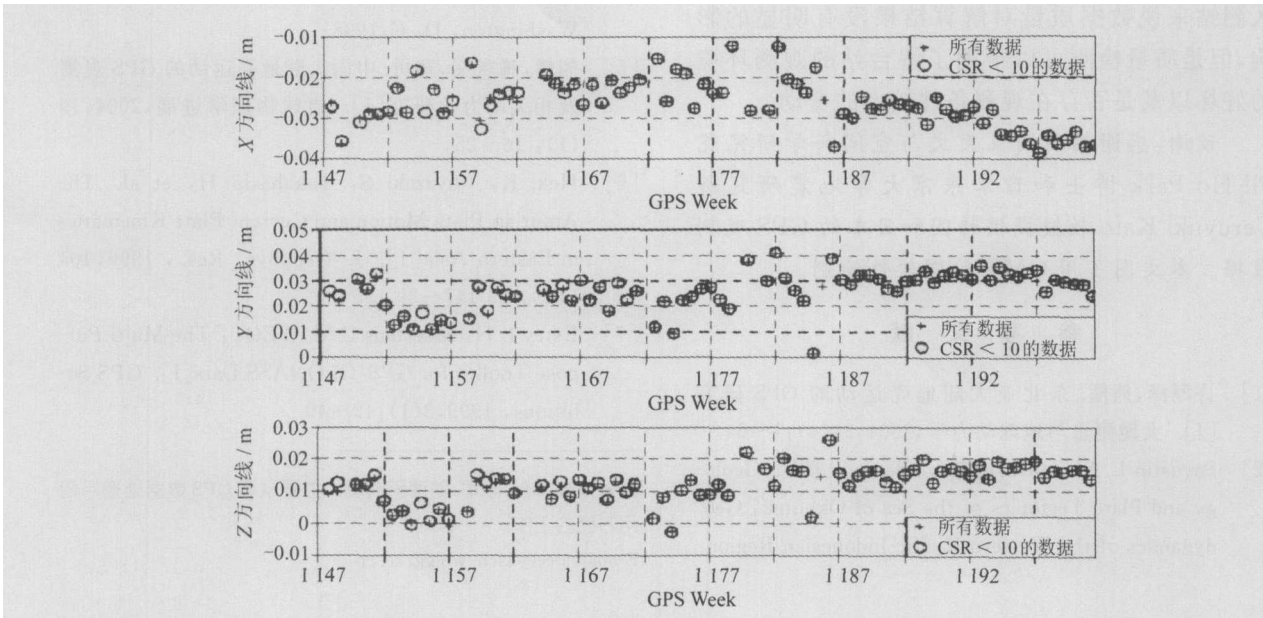


图 3 BJFS 两种方案下的坐标残差图

Fig. 3 Coordinates Difference of BJFS Station by Two Schemes

图 4 显示了两种方案下基线的比较。选取了台站 0792 和 DAEJ 之间的基线。从图中可以看出, 对于一条长为 700 多 km 的基线, 数据质量的影响平均在 2~ 3 mm, 最大的达到了 1 cm, 大部分历元都是吻合的。从上面两个例子可以看出, 数据质量对最后的解算结果几乎没有影响, 特别是在处理 24 h 连续观测的数据的时候。这可能是由于目前一些成熟的 GPS 数据处理软件包(如 GIPSY、GAMIT、Bernese 等)都包含了周跳探测和修复的功能, 而且在高精度 GPS 处理时, 最后都是对载波相位进行处理, 而 GPS 多路径效应的影响在载波相位上远远比伪距上小得多。所以,

在处理 GPS 数据的时候, 可以忽略数据质量的影响。当然, 这里说的数据质量是一个相对的好坏, 如果数据质量很差(比如观测时段非常短, 而且周跳又很多), 肯定会对最后的解算结果产生明显影响。特别是在进行实时 GPS 定位的时候, 对数据质量的要求更高。

### 3 结 语

采用 TEQC 软件, 对所选台站的数据进行质量检测, 从得到的结果看, 数据质量都比较稳定, 个别台站的质量或者是某一台站的某些时段出现

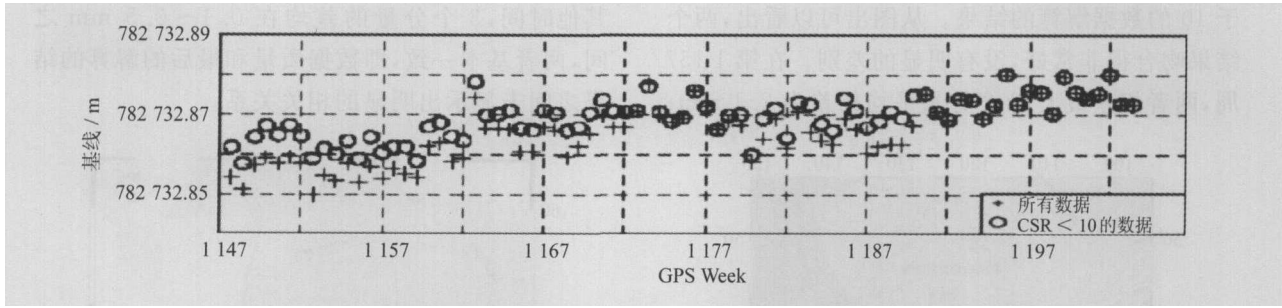


图4 两种方案下的基线(0792\_DAEJ)的比较

Fig.4 Comparison of Baselines(0792\_DAEJ) Calculated by Two Schemes

了观测质量的跳动。通过对数据质量检测的指标参数和GPS解算结果关系的分析可知,用现在成熟的GPS处理软件处理连续观测资料的时候,原始数据的质量对处理的结果没有明显的影响,其主要原因是因为一些观测的粗差或者周跳,大部分都能被处理软件自动剔除和修复。虽然对于永久测站来说数据质量对解算结果没有明显的影响,但是质量检测可以帮助了解台站的观测环境的好坏以及是否存在观测条件较大的变动。

致谢:感谢韩国国立天文与空间科学研究院 Pi-Ho Park 博士和日本东京大学地震研究所 Teruyuki Kato 教授提供韩国和日本的GPS观测数据。本文图1用GMT绘图软件绘制。

### 参 考 文 献

[1] 许厚泽,熊熊.东北亚大陆地壳运动的GPS研究[J].大地测量与地球动力学,2004,24(4):1~6  
 [2] Savostin L A, Zonenshain L, Baranov B V. Geology and Plate Tectonics of the Sea of Okhotsk, Geodynamics of the Western Pacific Indonesian Region

[J]. AGU, Washington D C, 1983  
 [3] Zonenshain L P, Savostin L A. Geodynamics of the Baikal Rift Zone and Plate Tectonics of Asia[J]. Tectonophysics, 1981(76): 1~45  
 [4] Wei Dongping, Seno T. Determination of the Amurian Plate Motion, in Mantle Dynamics and Plate Interactions in Eastern Asia[C]. AGU, Washington, D. C, 1998  
 [5] 熊熊,腾吉文,郑勇.中国大陆地壳运动的GPS观测及相关动力学研究[J].地球物理学进展,2004,19(1):16~25  
 [6] Heki K, Miyazaki S, Takahashi H, et al. The Amurian Plate Motion and Current Plate Kinematics in Eastern Asia[J]. J. Geophys. Res., 1999, 104(B2): 29 147~ 29 155  
 [7] Estey L H, Meertens C M. TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLONASS Data[J]. GPS Solutions, 1999, 3(1):42~49

第一作者简介:李军,助理研究员。主要从事GPS数据处理与应用方面的工作。

E-mail: alee@asch.whigg.ac.cn

## Quality Checking and Analysis on GPS Data in Northeast Asia

LI Jun<sup>1</sup> WANG Jiye<sup>1</sup> XIONG Xiong<sup>1</sup> XU Houze<sup>1</sup>

(1 Institute of Geodesy and Geophysics, The Chinese Academy of Sciences, 340 Xudong Street, Wuhan 430077, China)

**Abstract:** In this paper, the quality of GPS data with four-year observation span on 52 stations is checked with TEQC software. The result of data quality checking is given, and is statistically analyzed according to IGS data quality status. It is shown that over 90% of GPS stations have high qualities (with CSR < 10, MP<sub>1</sub> < 0.5, and MP<sub>2</sub> < 0.75), which is better than the quality status of IGS stations.

**Key words:** TEQC; GPS; data quality checking; Northeast Asia

About the first author: LI Jun, assistant researcher, majors in GPS data processing and application of GPS technique.

E-mail: alee@asch.whigg.ac.cn