

文章编号:1001-893X(2012)05-0658-05

提高航天测量船定轨精度的途径^{*}

朱伟康,李辉芬,陈德明,伍辉华,陈红英

(中国卫星海上测控部,江苏 江阴 214431)

摘要:在“神舟”任务中,航天测量船的定轨精度直接影响着整个地面测控系统的完成质量。在分析研究测量船误差源对近地近圆轨道确定影响的基础上,提出了提高海上定轨精度急需解决的问题及研究方向,建立了测速数据的船姿船速修正模型,设计了自适应信息检测算法,实现了测量船复杂误差的精确仿真并基于次序统计量研究了初轨根数的选优问题。这些技术的应用使初轨计算半长轴外符合精度提高了 3 倍,为提高测量船定轨精度发挥了重要作用。

关键词:航天测量船;定轨精度;误差分析;数据处理

中图分类号:TN95;TP391 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-893x.2012.05.011

Ways to Improve Orbit Determination Precision of Space TT&C Ships

ZHU Wei-kang, LI Hui-fen, CHEN De-ming, WU Hui-hua, CHEN Hong-ying

(China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin 214431, China)

Abstract: In the task of Shenzhou, the orbit determination precision of space TT&C ships influences directly the quality of earth TT&C system. This paper bases its research on the analysis of error source's influence on the determination of near-earth and near-circular orbit, and proposes imminent problems and research direction of improving maritime orbit determination precision. It establishes a model for adjusting ship position and speed, designs a self-adjusting information checking calculation method, realizes accurate simulation of ship complex error and researches on selection of preliminary orbit elements based on sequence statistics. By the application of these technology, the outer-accord precision of preliminary orbit calculation is improved by 3 times. The technology plays an important role in improving the orbit determination precision of space TT&C ships.

Key words: space TT&C ship; orbit determination precision; error analysis; data processing

1 引言

对于船载外测设备,从获取数据到将资料转至惯导地平系提供给中心使用,除了与陆基同类设备做类似的误差修正外,还要针对海上移动测站的特点进行船姿、船位、船体变形等测量船特有误差的修正,这些基础性的处理工作,是提高测轨精度的前提条件。目前测量船拥有一套适用于近地近圆轨道的高精度的定轨方法,在定轨方法不变的情况下,如何获取高质量的外测数据对提高定轨精度至关重要。

某次载人航天发射任务测量船的测控覆盖率占地面测控系统总覆盖率的四成多,其精度直接影响着整个测控系统的完成质量,但因海况恶劣、设备性能不佳、天线遮挡、信号闪断等因素的影响会导致测量船外测数据质量下降^[1],从而影响测控中心对测量船数据的利用率和定轨精度。如何提高船载设备测量数据质量,提高测量船外测数据预处理的精度,使花费巨资换回的数据发挥作用,成为测量船必须解决的问题。本文在分析研究测量船各误差源对近地近圆轨道定轨结果影响的基础上,研究提出了提高海

^{*} 收稿日期:2012-01-20;修回日期:2012-03-13

上定轨精度急需解决的问题及研究方向,在船载测量设备、定轨方法不变的前提下,从完善预处理模型方法和轨道根数选优策略方面开展了相关技术的研究工作。

2 测量船误差影响分析

2.1 船载设备测量误差影响因素

测量误差分析针对轨道测量进行,选择的目标函数是半长轴的测定精度。根据活力公式和误差传播定律得到:

$$\sigma_a = \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial r}\right)^2 \sigma_r^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial v}\right)^2 \sigma_v^2} = \sqrt{\left(\frac{2a^2}{r^2}\right)^2 \sigma_r^2 + \left(\frac{2a^2 v}{\mu}\right)^2 \sigma_v^2} \quad (1)$$

由式(1)可知,卫星轨道半长轴的测定精度是由卫星位置精度和卫星速度精度所决定,对于船载外测设备,目标的位置误差 σ_r^2 和速度误差 σ_v^2 的表达式为^[2]

$$\begin{aligned} \sigma_r^2 = & \left[\sigma_R^2 + R^2(\sigma_E^2 + \sigma_A^2 \cos^2 E) \right] C_0^2 + \\ & R^2 \left[\sigma_k^2 \cos^2 E + \sigma_{\psi_c}^2 (\sin^2 E \sin^2 A + \cos^2 A) \right] C_0^2 + \\ & R^2 \sigma_{\theta_c}^2 (\sin^2 E \cos^2 A + \sin^2 A) C_0^2 + \\ & R \sqrt{\sigma_{k_b}^2 \cos^2 E + \sigma_{\psi_b}^2 (1 + \sin^2 E)} C_0^2 + \\ & \left[d^2 \left(1 + \frac{R^2 + 2Rr_e \sin E}{r_e^2} \right) + \sigma_{zs}^2 \right] C_0^2 \\ \sigma_v^2 = & \left[\sigma_R^2 + R^2(\sigma_E^2 + \sigma_A^2 \cos^2 E) \right] C_1^2 + R^2 \sigma_k^2 \cos^2 E C_1^2 + \\ & \sigma_{\psi_c}^2 (\sin^2 E \sin^2 A + \cos^2 A) C_1^2 + \\ & \sigma_{\theta_c}^2 (\sin^2 E \cos^2 A + \sin^2 A) C_1^2 \end{aligned}$$

式中, C_0^2 为平滑后的位置误差方差压缩比, C_1^2 是经平滑后速度误差方差压缩比, R 、 E 、 A 为船载雷达测量数据, k_c 、 ψ_c 、 θ_c 为船摇数据, k_b 、 ψ_b 、 θ_b 为变形数据。能给测量船数据带来较大影响的误差源包括外测设备测量误差、船位误差、船摇误差、变形误差、大气折射修正剩余误差、动态滞后误差等^[3]。影响定轨精度的因素除雷达、船姿、船位测量误差外,还包括观测的几何条件、可利用的观测弧段的长短和轨道形状,卫星轨道的形状影响半长轴对目标地心距 r 和速度 v 的偏导数,测站的观测几何影响测量误差的传播,即影响目标位置误差 σ_r 和速度误差 σ_v 。

2.2 误差估算与结果分析

航天器的测量是一种动态测量,随着目标位置的不断改变,随机误差和系统误差分量会随着目标坐标和运动参数改变而变化^[4]。进行误差估计时仅

考虑船载测量设备在中等级测量精度时各误差源的影响情况。初轨计算中半长轴的测定精度与观测的几何条件及轨道形状有密切关系,假设轨道半长轴 $a = 6\,800\text{ km}$, $e = 0.03$, 分别就 3 种不同的观测几何条件对近地近圆轨道进行计算:①近距离、高仰角跟踪 ($R = 290\text{ km}$, $E = 50^\circ$);②中等距离、中等仰角跟踪 ($R = 600\text{ km}$, $E = 19.5^\circ$);③中等距离、低仰角跟踪 ($R = 1\,600\text{ km}$, $E = 1.0^\circ$)。并采用二阶多项式 61 点中心平滑,数据采样率为每秒一点。对于近地近圆这种轨道,目标地心距和速度在轨道的不同位置上基本保持不变,地心距 r 为 $6\,596\text{ km}$, 速度约为 $v = 7\,885\text{ m/s}$, 轨道半长轴对 r 和 v 的偏导数分别为 $\partial a / \partial r = 2.12$ 和 $\partial a / \partial v = 1\,829.4$ 。各误差源对轨道半长轴精度的影响示于表 1, 表中列出了各单项误差平方占总误差平方的百分比。

表 1 各误差分量平方在总误差平方中的百分比
Table 1 The percentage of each squared error in the squared total error

误差源	观测条件①	观测条件②	观测条件③
雷达	47.75	65.54	57.13
船摇	37.75	25.17	20.38
变形	12.10	9.00	7.59
折射剩余	0.70	0.00	14.87
船位	1.68	0.29	0.03

对计算结果进行分析,得出以下结论。

(1)在船载外测数据的误差源中除设备的测量误差占较大比例外,船摇误差、变形误差和船位误差仍占有较大比例,而后几项是海上测量带来的^[5]。此外,在低仰角跟踪时,还有大气折射修正剩余误差,在近距离、高仰角跟踪时,还有动态滞后误差。船位误差和动态滞后误差是一种系统性偏差,其余误差既包括系统分量,也包括随机分量。系统误差分量主要影响目标的位置误差,而随机误差分量既影响目标的位置误差,也影响目标的速度误差。

(2)影响测量结果精度的主要误差源是外测设备误差、船摇误差和变形误差,它们的误差平方在总误差平方中的比例分别达到 50% ~ 60%、20% ~ 30% 和 5% ~ 10%。动态滞后误差和船位误差对测量结果的影响都比较小,对于低仰角跟踪,大气折射修正剩余误差的影响达到 8% ~ 15%,超过变形误差的影响,有时甚至与船摇误差相等。

(3)观测几何条件及轨道形状对测量结果的影响很大。在轨道测量中,上述因素直接影响轨道半长轴

对目标地心距 r 和目标速度 v 的偏导数,从而影响半长轴的测定精度。对于近地近圆轨道, $\partial a/\partial r \approx 2$ 和 $\partial a/\partial v \approx 1\ 600 \sim 1\ 800$, 半长轴对速度的偏导数约为其位置偏导数的几百至几千倍, 目标的速度误差对轨道半长轴的影响远大于位置误差的影响。

合理布站可以有效抑制大气折射修正剩余误差和动态滞后误差。避开低仰角跟踪, 可以使大气折射修正剩余误差降到 1% 以内, 适当增加近站点的距离, 避开高仰角跟踪, 可以大大减小动态滞后误差。选择比较好的海况也可以减小船摇、变形误差的影响^[6]。

3 定轨精度提高途径研究

要提高海上定轨精度有多条途径, 如改进定轨方法、提高测控设备的测量精度、数据预处理精度和报轨精度等, 在现有测量设备和定轨方法不变的前提下, 从完善预处理模型方法及提高报轨精度方面提出了 4 个研究方向。

3.1 研究建立船载设备多普勒测速数据的船姿船速误差修正模型

测量船跟踪测量某一空间飞行器时, 由于船以一定的航速在运动, 加上潮涌、风浪等外力作用的影响, 使船体发生摇摆和变形, 这些因素会使船载雷达测量元素附加陆上测量所没有的误差项, 这些误差源是海上测量所独有的。从前面的分析已经知道, 在船载外测数据的误差源中外测设备的测量误差占有较大的比重, 在雷达的观测元素中, 距离及距离变化率的精度较高, 要提高船载雷达的定轨精度, 测量船应尽量采用四元素定轨, 充分发挥测速数据的作用。多普勒测速数据也附加了陆上测量所没有的误差项, 只有精确地修正测量过程中带来的各项误差后, 才能更好地使用多普勒测速数据, 发挥其在轨道计算中的作用。下面就是研究建立的船载多普勒测速数据船姿、船速误差修正模型, 式中第二项是船速修正, 第三项是船摇修正, 第四项是变形修正。

$$\begin{aligned} \dot{R}_g = & \frac{R_c}{R_g} \dot{R}_c + \frac{1}{R_g} (x_c v_s + \mathbf{r}_o^T B(b) \dot{\mathbf{r}}_s) + \\ & \frac{1}{R_g} [\mathbf{r}_o^T B(b) \dot{\mathbf{r}}_c] + \frac{1}{R_g} [\mathbf{r}_o^T \dot{B}(b) \dot{\mathbf{r}}_c] \end{aligned} \quad (2)$$

其中:

$$\begin{aligned} R_g = & \sqrt{\mathbf{r}_g^T \cdot \mathbf{r}_g} \\ \mathbf{r}_g^T \cdot \mathbf{r}_g = & \ell^2 + R_c^2 + 2\mathbf{r}_o^T B(b) \mathbf{r}_c \end{aligned}$$

$$\mathbf{r}_c = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_c \cos E_c \cos A_c \\ R_c \sin E_c \\ R_c \cos E_c \sin A_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{r}}_c = & \begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \\ \dot{z}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos E_c \cos A_c & -R_c \sin E_c \cos A_c & -R_c \cos E_c \sin A_c \\ \sin E_c & R_c \cos E_c & 0 \\ \cos E_c \sin A_c & -R_c \sin E_c \sin A_c & R_c \cos E_c \cos A_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{R}_c \\ \dot{E}_c \\ \dot{A}_c \end{bmatrix} \\ \mathbf{r}_o^T B(b) \dot{\mathbf{r}}_c = & v_s (x_o + y_o \psi_b) \\ \mathbf{r}_o^T \dot{B}(b) \dot{\mathbf{r}}_c = & \dot{x}_c (y_o \psi_b + x_o) + \dot{y}_c (-x_o \psi_b + y_o) - \\ & \dot{z}_c (x_o \theta_b + y_o \theta_b) \end{aligned}$$

$\mathbf{r}_o$ 是测量设备原点在惯导甲板系中相对惯导三轴中心的位置矢量; $\mathbf{r}_c$ 是测量系中的目标位置矢量和目标速度矢量; $\dot{\mathbf{r}}_s$ 是测量系中的船速矢量, 在该坐标系中, 船速 v_s 的方向与 x_c 轴的方向一致; R_g 、 $\dot{R}_g$ 是惯导地平系的目标距离和距离变化率; R_c 、 $\dot{R}_c$ 是设备测量系的目标距离和距离变化率; $B(b)$ 为坐标转换矩阵的乘积; ℓ 是设备测量原点到惯导三轴中心的距离, $\dot{R}_c$ 、 R_c 、 E_c 、 A_c 以测量值代入, $\dot{E}_c$ 、 $\dot{A}_c$ 由 E_c 、 A_c 微分得到。

利用实测数据考察各误差项的修正效果, 实际计算结果表明, 船速修正项的平均值达到了每秒数米的量级, 船摇修正项的最大量级可达到 10^{-1} , 而 $\dot{R}_c$ 的测量精度为 10^{-2} 的量级, 因此, 为提高定轨精度, 对船载多普勒测速数据进行船速修正和船摇修正是必须的。

3.2 研究设计参数自适应信息检择算法

对于船载外测设备, 从获取数据到最终将资料转至惯导地平系用于定轨, 除了与陆基同类设备做类似的误差修正外, 还要针对海上移动测站的特点进行船姿、船位、船体变形等测量船独有的误差修正, 这些基础性的处理工作, 是提高定轨精度的前提条件^[7]。目前测量船拥有一套适用于近地近圆轨道的高精度的定轨方法, 在定轨方法不变的情况下, 如何获取高质量的外测数据对提高定轨精度至关重要。如何提高测量船外测数据质量, 使耗费巨资获取的数据发挥更大作用, 是航天测量船进一步提高海上定轨精度的有效途径。异常数据的纠错处理, 是提高处理精度、改善处理结果质量的有效措施。参数自适应信息检择算法^[8]就是为解决测量船包含有复杂变形、船摇周期的外测数据的纠错难题而设计的, 它结

合周期图方法,选用文献[9]中的“滑动中值平滑估计模型”构建的信息检择算法。它是一种稳健的中值估计方法,采用分阶段多次滑动中值与滑动均值平滑组合从采样数据序列中提取有效信息。

航天测量船测量数据序列中蕴含着船摇周期,采用的检择算法既要能滤去误差数据,同时又不破坏数据本身隐含的船摇周期的变化规律,因此,中值和均值平滑区间的准确设置非常关键,区间设置太小,不能滤去误差数据;设置太大,又会破坏正常的船摇周期。基于此要求,将周期图方法引入到中值容错平滑算法中,根据异常数据长度及所处区域船摇周期变化情况,实现了滑动中值平滑区间及局部均值平滑区间参数的动态调整,来适应测量船这种蕴含着船摇周期非单调变化数据的特点,应用自适应信息检测算法对测量数据进行纠错,虽然数据序列中蕴藏着船摇周期,但纠错效果非常理想,无论是趋势性变化的数据列,还是周期性变化的数据列,应用自适应信息检测算法都能可靠地从带斑点型异常数据的采样数据序列中提取有效信息,

3.3 应用测量船复杂误差仿真模型进行定轨精度分析

在“神舟”任务的关键弧段,同一测量船上装载的多套外测设备常常同时跟踪,为了在实时任务中能选出一组高精度的轨道根数向中心发送,测量船需要在任务前根据设备的状态对每套设备的测控精度进行分析,其中关键步骤是真实地再现测量船误差的复杂特性,而测量船外测数据中的船摇、变形等修正残差使得船基外测数据误差比陆基测量误差复杂,难以用传统的方法仿真。我们采用样条函数的统计模型和自回归模型建模技术,研究建立了适合海上动态测量条件下复杂误差特性的测量船误差模型,解决了船载外测数据经船摇、船体变形修正后残差不确定的难题,实现了测量船外测数据复杂误差的高精度仿真,满足了船载不同外测设备测量精度评定的需求。将测量船复杂误差仿真模型应用到测量船定轨精度分析中,设计了基于复杂误差的仿真算法:

Step 1: 对选取的复杂误差样本数据 $\hat{z}(t)$ 进行样条拟合和小波分频后,建立复杂误差拟合模型:

$$z(t) = s(t) + c(t) + e(t) = \sum_{j=-1}^{m+1} a_j M_4\left(\frac{t - T_j^s}{h^s}\right) + \sum_{j=-1}^{n+1} b_j M_4\left(\frac{t - T_j^c}{h^c}\right) + \varphi_1 e_{t-1} + \cdots + \varphi_p e_{t-p} + \varepsilon_t$$

Step 2: 由参数估计算法计算参数 $\hat{a}_{-1}, \hat{a}_0, \cdots, \hat{a}_{m+1}, \hat{b}_{-1}, \hat{b}_0, \cdots, \hat{b}_{n+1}$ 和 $\hat{\varphi}_1, \hat{\varphi}_2, \cdots, \hat{\varphi}_p$;

Step 3: 计算 $\hat{t}_1 = \min_j a_j, \hat{t}_2 = \max_j a_j$, 并从 $U(\hat{t}_1, \hat{t}_2)$ 采样获得仿真参数 $a_{-1}, a_0, \cdots, a_{m+1}$;

Step 4: 计算 $s(t) = \sum_{j=-1}^{m+1} a_j M_4\left(\frac{t - T_j}{h}\right)$, 利用等距节点的样条模型仿真产生 $s(t)$;

Step 5: 原理同 Step 3 和 Step 4, 利用最优节点的样条模型仿真产生 $c(t)$;

Step 6: 由参数为 $\hat{\varphi}_1, \hat{\varphi}_2, \cdots, \hat{\varphi}_p$ 的 $AR(p)$ 型仿真产生 $e(t)$;

Step 7: 由 $s(t), c(t)$ 和 $e(t)$ 综合得到复杂误差的仿真数据。

利用复杂误差仿真算法实现了航天测量船外测数据不同频带误差的精确分离,利用一组实测误差样本数据就可精确地仿真得到多组复杂误差,解决了任务前精度分析需要大量误差数据的难题,为任务实时定轨结果选择提供了重要的参考依据,提高了测量船报轨精度。

3.4 研究提出基于次序统计量的轨道根数选优策略

在初轨计算中,由于资料误差的影响,使定轨精度受到影响,特别是轨道半长轴 a 和偏心率 e ,在实时定轨时,会利用不同跟踪段落的测量数据,定出若干组轨道根数,各组轨道根数可能相差较大,该如何优选初轨根数,才能与观测资料吻合得最好? 为解决这个难题,基于次序统计量研究了初轨根数的选优问题,提出了初轨根数的选优策略,研究建立了同一测量设备多组初轨根数选优方法,提高了测量船初轨根数选取的科学性和可靠性。

4 结束语

以上技术先后在“神舟”七号任务和交会对接任务中得到应用,对多普勒测速数据进行船姿船速误差修正,提高了测速数据精度,增加测速元素误差修正的四元素定轨半长轴外符合精度提高了百米量级,有效提高了初轨计算的精度。利用“参数自适应信息检测算法”,解决了“神舟”七号任务中由于飞船捆扎电缆的遮挡和飞船的调姿造成信号闪断及目标丢失引起船测数据跳变、不连续的问题,该方法的使用,改善了定轨数据的质量,用该算法对抖动严重的

测量数据进行纠错处理后,初轨计算中轨道半长轴的外符合精度提高了 3 倍^[8]。这些技术的应用,为提高测量船定轨精度发挥了作用。

参考文献:

- [1] 茅永兴,倪晓秋,张忠华.航天发射任务火箭分离前调姿段测轨数据定初轨精度分析[J].飞行器测控学报,2010,29(2):44-49.
MAO Yong-xing, NI Xiao-qiu, ZHANG Zhong-hua. Analysis of Orbit Determination Precision with Data in Attitude Adjusting Segment before Separation of Satellite rockets in Space Launch Mission[J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2010, 29(2): 44-49. (in Chinese)
- [2] 江文达. 航天测量船[M]. 北京:国防工业出版社, 2002.
JIANG Wen-da. TT&C Ship[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002. (in Chinese)
- [3] 李辉芬,朱伟康,刘冰,等.海上移动测站精度估算方法研究[J].飞行器测控学报,2011,30(5):85-89.
LI Hui-fen, ZHU Wei-kang, LIU Bing, et al. Accuracy Estimation Methods Applied in Mobile Maritime Tracking Stations[J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2011, 30(5): 85-89. (in Chinese)
- [4] 康德勇,李晓勇,王旭良.船位误差对外弹道测量及定轨精度的影响[J].电讯技术,2010,50(9):106-109.
KANG De-yong, LI Xiao-yong, WANG Xu-liang. Influence of Ship's Position Error on Exterior Trajectory Measurement and Orbit Determination[J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(9): 106-109. (in Chinese)
- [5] 张忠华,李晓勇,杨磊,等.航天测量船船姿数据处理方法[M].北京:国防工业出版社,2009.
ZHANG Zhong-hua, LI Xiao-yong, YANG Lei, et al. Ship attitude data processing methods applied to space tracking ships[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2009. (in Chinese)
- [6] 李晓勇,张忠华,何晶.船体变形对航天测量船外弹道测量的影响[J].飞行器测控学报,2006,25(3):7-12.
LI Xian-yong, ZHANG Zhong-hua, HE Jing. The effects of spacecraft TT&C ship's deformation on its outer trajectory measurement data[J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2006, 25(3): 7-12. (in Chinese)
- [7] 李辉芬,张忠华,朱伟康.船载设备测量数据处理结果的综

合分析方法[J].飞行器测控学报,2008,27(6):65-70.

LI Hui-fen, ZHANG Zhong-hua, ZHU Wei-kang. The Exterior Tracking & Measuring Data Analyzing and Processing of Instrumentation Ship[J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2008, 27(6): 65-70. (in Chinese)

- [8] 李辉芬.航天测量船外测数据异常值自适应处理算法设计[J].电讯技术,2011,51(4):54-59.
LI Hui-fen. Adaptive Processing of Abnormal Value in Measured Data by Space Tracking Ship[J]. Telecommunication Engineering, 2011, 51(4): 54-59. (in Chinese)
- [9] 胡绍林,许爱华,郭小红.脉冲雷达跟踪测量数据处理技术[M].北京:国防工业出版社,2007.
HU Shao-lin, XU Ai-hua, GUO Xiao-hong. Data processing technology applied to pulse radar tracking[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007. (in Chinese)

作者简介:

朱伟康(1961—),男,上海人,硕士,高级工程师,主要研究方向为海上测控总体技术;

ZHU Wei-kang was born in Shanghai, in 1961. He is now a senior engineer with the M.S. degree. His research concerns maritime tracking and controlling.

李辉芬(1968—),女,云南昭通人,硕士,高级工程师,主要从事海上测量数据处理与精度分析工作;

LI Hui-fen was born in Zhaotong, Yunnan Province, in 1968. She is now a senior engineer with the M.S. degree. Her research concerns maritime measurement data processing and precision analysis.

Email: wylhf@yeah.net

陈德明(1967—),男,江苏人,高级工程师,主要从事航天测控总体工作;

CHEN De-ming was born in Jiangsu Province, in 1967. He is now a senior engineer. His research concerns general space tracking management.

伍辉华(1982—),男,湖南人,工程师,主要从事数据处理与精度分析工作;

WU Hui-hua was born in Hunan Province, in 1982. He is now an engineer. His research concerns data processing and precision analysis.

陈红英(1982—),女,四川人,工程师,主要从事数据处理工作。

CHEN Hong-ying was born in Sichuan Province, in 1982. She is now an engineer. Her research concerns data processing.