



中国深空网VLBI定轨精度及分时采集模式分析

牛东文, 段建锋, 王 美, 陈 略, 路伟涛, 任天鹏

A Study of the Orbit Determination Ability and Time-Sharing Acquisition Mode for China's Deep Space Network VLBI Data

NIU Dongwen, DUAN Jianfeng, WANG Mei, CHEN Lue, LU Weitao, and REN Tianpeng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15982/j.issn.2096-9287.2021.20191120001>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

双站跟踪模式下“嫦娥4号”中继星定轨仿真分析

A Simulation Study of the Orbit Determination Ability for Chang'E-4 Relay Satellite——Magpie Bridge Under Dual-Station Tracking Mode

深空探测学报(中英文) . 2019, 6(3): 241–246

一种应用于实时深空干涉测量的电离层时延修正方法

A Method of Ionosphere Delay Calibration in Real-Time Deep Space Interferometric Tracking

深空探测学报(中英文) . 2019, 6(3): 232–235,300

深空测控网干涉测量系统在“鹊桥”任务中的应用分析

Application of Deep Space VLBI System in Queqiao Mission

深空探测学报(中英文) . 2018, 5(6): 539–543

空间引力波探测器轨道确定及仿真分析

Simulation and Analysis of Orbit Determination of Space Gravitational Wave Detector

深空探测学报(中英文) . 2021, 8(2): 182–189

“嫦娥4号”中继星使命轨道段定轨计算与分析

Orbit Determination and Analysis of Chang'E-4 Relay Satellite on Mission Orbit

深空探测学报(中英文) . 2019, 6(3): 247–253

基于中国深空站的木星探测器开环测量试验

Juno Radio Open Loop Measurement Experiment based on China's Deep Space Stations

深空探测学报(中英文) . 2018, 5(4): 382–386



关注微信公众号，获得更多资讯信息

中国深空网VLBI定轨精度及分时采集模式分析

牛东文, 段建锋, 王 美, 陈 略, 路伟涛, 任天鹏

(北京航天飞行控制中心, 北京 100094)

摘 要: 针对“嫦娥四号”(CE-4)探测器任务,应用中国深空网佳木斯深空站和喀什深空站的干涉测量观测数据,分析了实时测量数据和事后修正数据分别与统一S波段(Unified S-Band, USB)测量数据的联合定轨精度,同时分析了权重设置对轨道精度的影响;针对后续深空任务中中国深空网的链路实际,提出了分时采集模式以降低干涉测量数据量,利用“嫦娥四号”探测器的干涉测量实测数据,分析了分时采集模式对轨道精度的影响。结果显示:在地月转移段与精密轨道均相差百m量级,在环月段与精密星历均相差10 m量级,说明中国深空网干涉测量实时测量数据精度已达到事后修正数据精度;同时对于每天2~3 h双站共视弧长,在分时采集模式下,采用步长1 min每日总计采集20 min数据的方法,可保证轨道精度不降低。研究可对中国后续深空探测任务提供支持。

关键词: 深空网;干涉测量;分时采集;精度分析

中图分类号: V11

文献标识码: A

文章编号: 2096-9287(2021)05-0495-08

DOI:10.15982/j.issn.2096-9287.2021.20191120001

引用格式: 牛东文,段建锋,王美,等.中国深空网VLBI定轨精度及分时采集模式分析[J].深空探测学报(中英文),2021,8(5):495-502.

Reference format: NIU D W, DUAN J F, WANG M, et al. A study of the orbit determination ability and time-sharing acquisition mode for China's deep space network VLBI data[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2021, 8(5): 495-502.

引 言

“嫦娥四号”(CE-4)任务首次实现了人类月球背面软着陆及巡视勘察。任务分为两个阶段,分别为发射“鹊桥”中继卫星阶段和发射着陆器、巡视器组合体的探测器任务阶段。“鹊桥”于2018年5月21日利用“长征四号丙遥27”(CZ-4C Y27)运载火箭在西昌卫星发射中心成功发射,当前已成功运行在地月 L_2 点,为着陆器的月面工作以及巡视器的遥操作提供中继服务;2018年12月8日,“嫦娥四号”探测器在西昌卫星发射中心利用“长征三号乙”(CZ-3B)运载火箭成功发射,经过地月转移、近月制动以及环月修正等阶段,于2019年1月3日成功实施动力下降,通过“鹊桥”中继卫星与地面建立通信链路,着陆器在月球背面开展就位探测,巡视器开展巡视探测。

同时,根据中国探月工程“绕、落、回”分三步走实施的计划,探月工程三期将实现月面采样返回,包括再入返回飞行试验(CE-5T1)、“嫦娥五号”(CE-5)和“嫦娥六号”(CE-6)共3次任务。CE-5T1任务已于

2014年11月顺利完成,验证了CE-5返回器技术方案的可行性。CE-5任务是探月工程三期的主任务,实现了中国首次月面采样返回,推动了中国科学技术重大跨越。

甚长基线干涉测量(Very Long Baseline Interferometry, VLBI)技术是当前天文学使用的一项高分辨率、高测量精度的观测技术,在天体物理方面主要应用于类星体、射电星体等致密射电源毫角秒级的精细结构研究和精确定位等^[1]。正是由于其具有很高的测角精度,从20世纪60年代起逐步被应用于深空探测,对传统测距测速形成了有效补充。

各个航天机构都对干涉测量技术进行了研究及应用,美国利用其深空网干涉测量技术有力地支撑了其“阿波罗”(Apollo)登月工程、“旅行者号”(Voyager)探测器、火星轨道器“奥德赛号”(Odyssey)、“机遇号”(Opportunity)及“勇气号”(Spirit)等深空探测任务。俄罗斯(前苏联)在其金星大气风速测量中对于“维加号”(Vega)探测器进行了VLBI测量。日本在其火星探测器“希望号”

(Nozomi)、小行星探测器“隼鸟号”(Hayabusa)及“月女神探测器”(SELenological and ENgineering Explorer, SELENE)等任务中进行了VLBI测轨观测。欧洲利用自己的VLBI网有效支持了“智慧1号”(Smart 1)、“金星快车号”(Venus Express)、“火星快车号”(Mars Express)等任务^[7]。

国内最早以中国科学院上海天文台为代表的科研机构进行了VLBI技术研究,依托中国VLBI网,有力地支持了中国历次探月任务。探月工程启动后,中国以探月工程为牵引,兼顾火星、小行星等深空探测任务,开始在中国东部、西部以及南美洲建设能提供全球90%测控覆盖的中国深空网(China's Deep Space Network, CDSN)^[3]。2013年,佳木斯及喀什深空站初步建成,配备了干涉测量设备,初步具备了干涉测量能力。后续随着南美深空站和纳米比亚站干涉测量系统入网,将使中国深空网具备全时段深空干涉测量覆盖能力,并将在未来中国的深空探测任务中发挥越来越大的作用。本文主要分析在“嫦娥四号”探测器任务中中国深空测控网干涉测量数据定轨精度及分析采集模式,为“嫦娥五号”及后续深空探测任务提供支持。

1 中国深空网VLBI数据处理

在“嫦娥四号”探测器任务中,佳木斯深空站和喀什深空站对探测器开展了干涉测量观测。由于两个网深空站肩负着探测器的测轨、遥测、遥控、接收数传信号等任务,为尽可能确保探测器的安全,两个深空站不能按照常规的短时交替方法分别观测射电源和探测器来进行系统差标校。在实际任务中,采用站外标校即稀疏标校模式,即在第一个深空站进站前对一个射电源进行观测以标校系统差,在第二个深空站出站后对第二个射电源进行观以标校系统差,对探测器的跟踪观测则在中间两深空站共视情况下连续进行^[4]。

在稀疏标校模式下,由于前后射电源标校与探测器的观测时间间隔长、角距大,数据处理中引入了高精度的钟差误差修正、传播介质误差修正用以辅助长时射电源标校模式。

1) 测站钟差修正

对于测站钟差的修正,采用了全球定位系统(Global Position System, GPS)共视法,测站连续记录测站钟与GPS时钟的差异,构造钟差随时间的变化模型,在数据处理中钟差采用线性模型。

2) 传播介质误差修正

对于传播介质误差修正,数据处理中引入了对流层误差修正模型,实时对探测器观测量进行误差修

正。在事后数据处理时,利用测站配备的环境参数采集设备测量相关的气象参数,对电离层和对流层等传播介质误差项进行修正,采集设备包括水汽微波辐射计、全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)双频接收机、气象仪等^[5]。

2 干涉测量数据定轨精度分析

2.1 分析策略

“嫦娥四号”探测器在2018年12月8日—2018年12月12日处于地月转移段,其中12月9日有一次轨道控制,2018年12月12日—2019年1月3日处于环月运行段。结合环月段的轨道控制,以及中国深空网干涉测量观测时段,选择地月转移段和2018年12月26日—2018年12月30日的环月段进行中国深空网干涉测量数据定轨精度分析。分析基本策略如表1所示,共计分析3个时段,其中地月转移段有两个时段。第一个时段是2018年12月8日—2018年12月9日,月球非球形采用 8×8 的Grail660模型,积分中心为地心;第二个时段是2018年12月9日—2018年12月12日,月球非球形采用 32×32 的Grail660模型,积分中心为地心;第三个时段是2018年12月26日—2018年12月30日,月球非球形采用 100×100 的Grail660模型,积分中心为月心^[6-11]。

表1 定轨分析策略
Table 1 Strategy for the orbit determination

动力学	模型	参数
地球质点	J2000地心惯性系	
地球非球形	JGM-3	8×8 阶次
月球质点	第三体引力	JPL-DE421历表
月球非球形	Grail660	8×8 阶次
太阳质点	第三体引力	JPL-DE421历表
其它大行星	第三体引力	JPL-DE421历表
太阳光压	球形模型固定面质比	锥形阴影Cr = 1.2

根据表1的策略,分析CDSN实时测量数据和事后修正数据分别与USB测距数据联合定轨残差和星历,并与精密星历进行比较,其中时延权重均设置为0.2 m,时延率权重均设置为0.2 mm/s。本文所采用的精密星历是通过全程USB测距数据和中国VLBI网的时延、时延率数据,同时结合轨道控制情况进行精密定轨计算得到的^[12-13]。

2.2 精度分析

3个时段实时数据定轨星历与精密星历比较结果如图1所示;事后数据定轨星历与精密星历比较结果如图2所示。从图1和图2可以看到,在探测器地月转移段实时和事后定轨星历与精密星历比较结果均很一致,

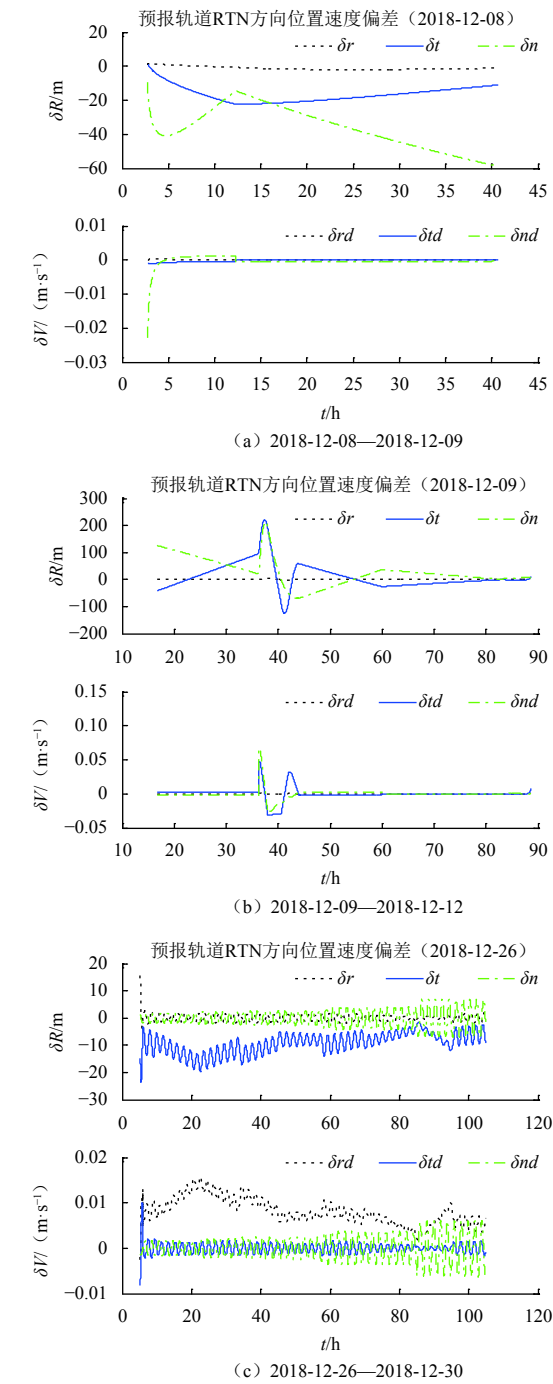


图 1 CDSN实时VLBI数据定轨星历比较
Fig. 1 Comparison of orbit ephemeris of CDSN real-time VLBI data

与精密星历差异基本在100 m以内；12月10日因为探测器有陀螺标定，所以精度稍变差，最大差异200 m左右。环月阶段由于USB测量数据本身对轨道约束很强，所以精度得到显著改善，差异正常情况下不超过10 m。可以看到，CDSN实时数据精度已经达到了事后的数据精度。

表2给出了3个时段实时和事后数据的时延误差统计。从表2可以看到，事后数据相比于实时数据，主要

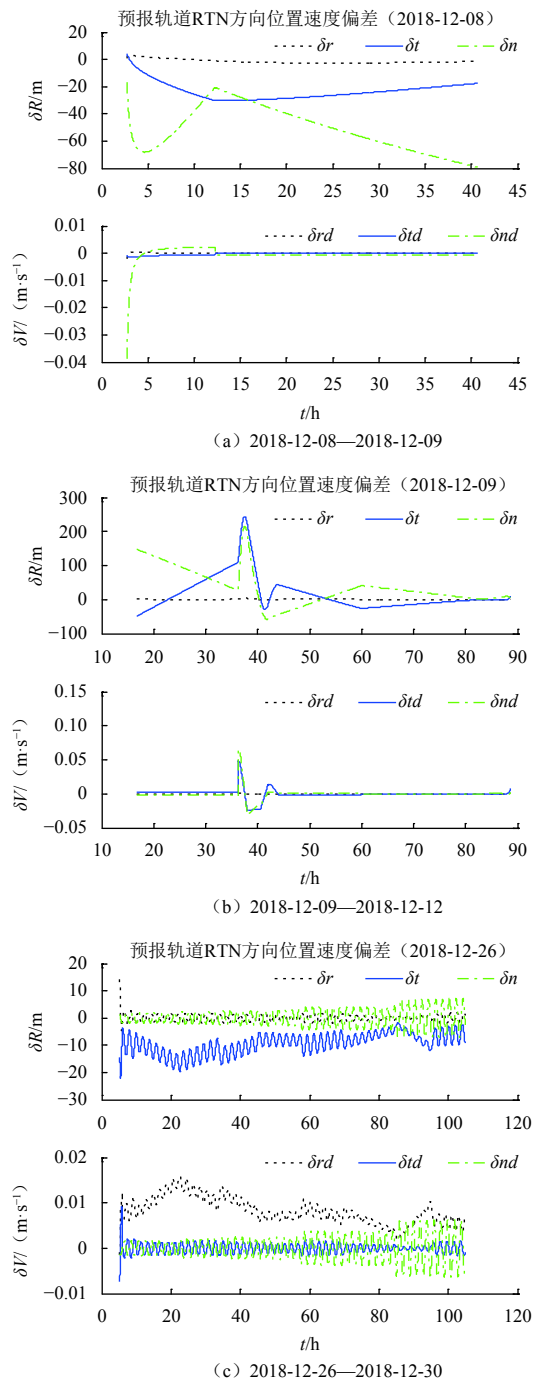


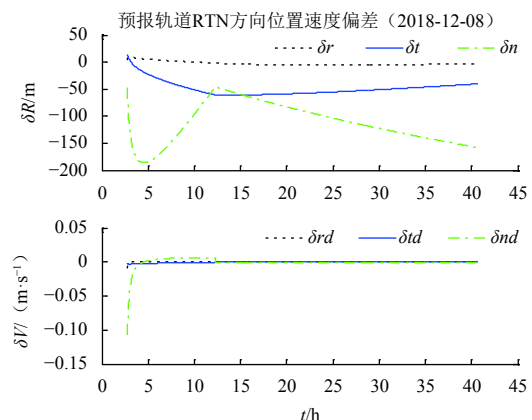
图 2 CDSN事后VLBI数据定轨星历比较
Fig. 2 Comparison of orbit ephemeris of CDSN post-correction VLBI data

表 2 时延数据误差统计
Table 2 Error statistics of delay data

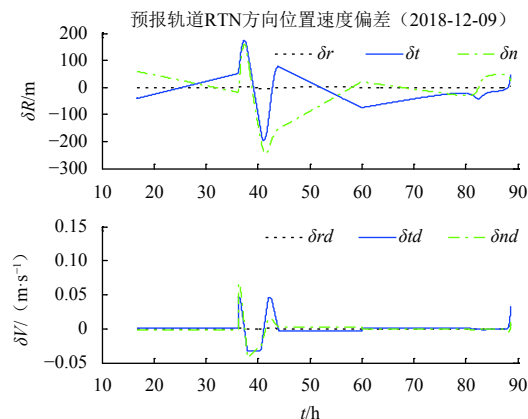
时段	实时时延数据		事后时延数据	
	系统差/m	RMS/m	系统差/m	RMS/m
12-08—12-09	7.54	0.263	6.4	0.377
12-09—12-12	0.812	0.314	0.905	0.252
12-26—12-30	0.211	0.266	0.176	0.271

是修正了测量数据中的系统差。

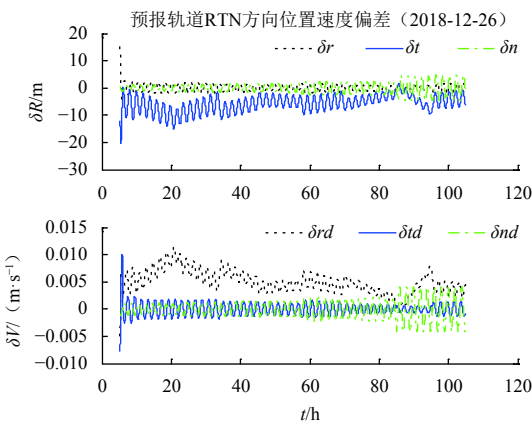
考虑到权重设置对定轨精度的影响,根据表1的策略分析了CDSN干涉测量实时数据时延不同权重时的定轨精度。图3给出了时延权重为0.05 m的分别为定轨星历比较结果,图4给出了时延权重为0.8 m的定轨星历比较结果。



(a) 2018-12-08—2018-12-09



(b) 2018-12-09—2018-12-12

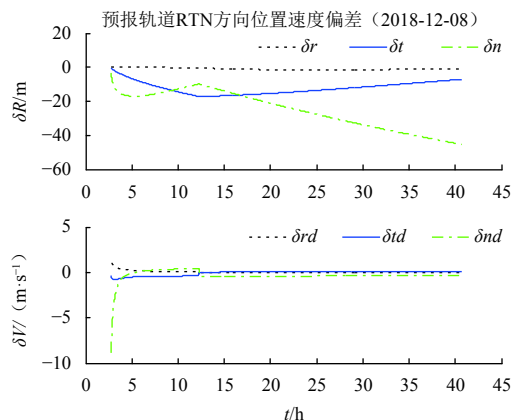


(c) 2018-12-26—2018-12-30

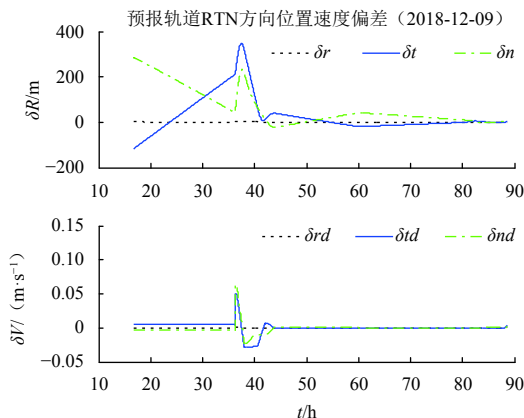
图3 权重0.05 m实时VLBI数据定轨星历比较

Fig. 3 Comparison of orbit ephemeris for real-time VLBI data with a weight of 0.05 m

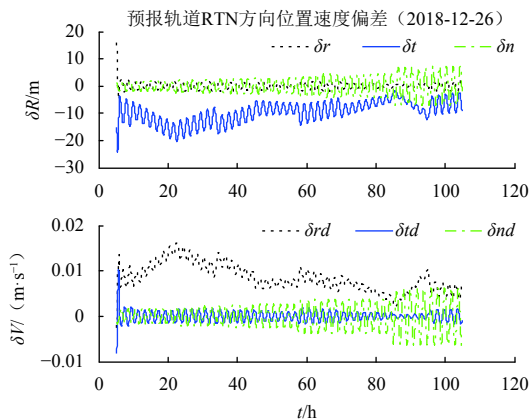
数据权重,轨道将有一个量级的差异,12月10日由于有陀螺标定,权重设置较小(权重为0.8 m)时,对轨道约束变差,造成偏差变大;而在环月段,权重设置基本不会对轨道产生量级上的影响。



(a) 2018-12-08—2018-12-09



(b) 2018-12-09—2018-12-12



(c) 2018-12-26—2018-12-30

图4 权重0.8 m时实时VLBI数据定轨星历比较

Fig. 4 Comparison of orbit ephemeris for real-time VLBI data with a weight of 0.8 m

3 干涉测量数据分时采集模式分析

在“嫦娥五号”任务中,CDSN同时有4个测站(佳

从图3和图4能够看到,在地月转移段,通过调整

木斯深空站、喀什深空站、阿根廷深空站、纳米比亚站) 参与干涉测量观测。

由于两个国外站到CDSN北京VLBI中心的路由带宽受限, 且同时需要传输其它任务数据, 所以两个国外站在进行传统VLBI观测时, 难以将所有共视弧段内的原始观测数据实时传输至北京VLBI中心用于干涉测量相关处理及轨道确定^[14-16], 需要分析在带宽受限情况下, 如何确定VLBI分时采集方式及最小数据量, 才能不影响轨道精度。

本节分析将采用“嫦娥四号”着巡组合体地月转移段2018年12月11日和12月12日器上两次控制之间的USB数据和CSDN的VLBI数据, 其中USB数据总弧长约27 h, CSDN的VLBI数据每天约2~3 h。分析中需确定两个变量, VLBI每天总数据时长和均匀采集步长, 两者关系如图5所示。

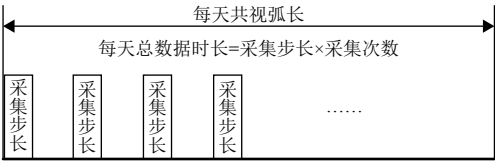


图 5 CDSN干涉测量数据每天总数据时长与均匀采集步长关系
Fig. 5 The relationship between the total data length and the uniform acquisition step for CDSN VLBI data everyday

3.1 最佳采集步长分析

根据当前两个国外站至CDSN北京VLBI中心的带宽, 对于每天2~3 h的共视弧长, 总数据量取30 min为宜。同时CDSN的VLBI数据采集系统的最小采集步长为1 min。在这两个约束下, 本节按照采集步长分别为1 min、5 min、10 min、15 min、30 min的情况进行分析, RTN方向与精密轨道的误差统计结果如表3所示。图6给出了统计结果图。

从本节的分析可以看出, 同时考虑轨道精度的最大误差和RMS, 在总数据时长30 min情况下, 如图6所示, 对于CDSN的VLBI数据, 需按照最小采集步长1 min, 在共视弧段内进行观测数据的均匀采集, 才能获得最佳的轨道精度。

此外, 对比采集步长1 min (均匀采集30次) 和采集步长30 min (仅采集1次) 可以看出, 共视弧长内总数据量一定时, 均匀采集的轨道精度要优于集中采集, 这和预想的结论一致, 所以分析中直接采用了均匀采集方式。

3.2 最小数据量分析

在3.1节的分析中, 根据链路带宽设定了总数据时长为30 min, 那么在1 min的采集步长下, 能否进一步

表 3 不同采集步长定轨精度统计结果

Table 3 Statistical results of the orbit determination for different acquisition steps

采集步长/min	误差项	定轨误差			
		位置/m		速度/(m·s ⁻¹)	
		MAX	RMS	MAX	RMS
1	R	-3.248 9	0.331 1	-0.003 3	0.000 28
	T	26.966 1	6.093 8	-0.018 0	0.001 17
	N	-27.999 9	16.521 2	-0.007 4	0.000 47
	Total	29.283 4	17.612 4	0.019 7	0.001 30
5	R	-3.336 9	0.336 2	-0.003 4	0.000 29
	T	28.133 2	6.289 5	-0.018 5	0.001 21
	N	-28.933 0	17.338 9	-0.007 5	0.000 48
	Total	30.295 0	18.447 5	0.020 2	0.001 33
10	R	-2.955 0	0.287 1	-0.003 0	0.000 25
	T	27.678 9	6.185 3 7	-0.016 1	0.001 05
	N	-26.529 3	18.127 6	-0.006 5	0.000 45
	Total	28.205 5	19.156 0	0.017 5 9	0.001 17
15	R	-2.516 2	0.244 3	-0.002 5	0.000 22
	T	25.600 4	5.889 1	-0.013 3	0.000 87
	N	25.239 1	17.985 7	-0.005 3	0.000 41
	Total	25.638 5	18.926 9	0.014 5 0	0.000 98
30	R	-2.432 2 0	0.243 7 1	-0.002 4	0.000 21
	T	28.129 8	6.475 1 0	-0.012 5	0.000 82
	N	35.072 0	21.727 0	-0.004 9	0.000 47
	Total	35.246 2	22.672 7	0.013 6	0.000 96

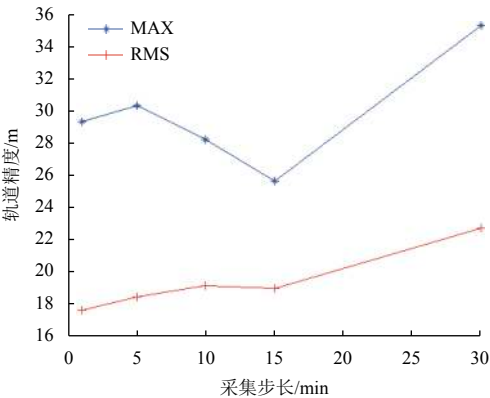


图 6 VLBI数据采集步长与轨道精度关系

Fig. 6 The relationship between the acquisition step of VLBI data and the orbit accuracy

降低总数据时长而保证轨道精度呢? 本节主要按照每天总时长为5 min、10 min、15 min、20 min、25 min、30 min的情况来进行分析, RTN方向与精轨的误差统计结果如表4所示。图7给出了统计结果图。

表4 每天不同数据总时长定轨精度统计结果

Table 4 Statistical results of the orbit determination accuracy for different total data durations everyday

采集步长	误差项	定轨误差			
		位置/m		速度/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	
		MAX	RMS	MAX	RMS
5 min	R	1.671 9	0.527 7	0.001 7 0	0.000 14
	T	-30.117 0	11.657 5	0.011 2	0.000 84
	N	108.881 0	35.383 9	0.005 3	0.000 94
	Total	112.982 0	37.258 5	0.012 5	0.001 27
10 min	R	1.034 3	0.306 0	-0.000 1	0.000 01
	T	18.416 0	8.432 7	0.001 3	0.000 26
	N	72.879 0	26.405 7	0.001 1	0.000 62
	Total	74.645 4	27.721 2	0.001 7	0.000 67
15 min	R	-1.539 6	0.200 0	-0.001 5	0.000 13
	T	22.625 0	6.474 01	-0.007 4	0.000 49
	N	42.034 7	20.323 1	-0.002 7	0.000 42
	Total	42.230 8	21.330 3	0.008 0	0.000 66
20 min	R	-2.204 0	0.219 6	-0.002 2	0.000 19
	T	24.380 0	5.967 3	-0.011 5	0.000 75
	N	26.474 2	18.080 3	-0.004 5	0.000 39
	Total	26.536 0	19.040 8	0.012 51	0.000 87
25 min	R	-2.889 6	0.285 0	-0.002 9	0.000 25
	T	26.206 1	5.936 2	-0.015 8	0.001 03
	N	-25.585 8	16.818 2	-0.006 4	0.000 43
	Total	27.058 3	17.837 4	0.017 2	0.001 15
30 min	R	-3.248 9	0.331 1	-0.003 3	0.000 28
	T	26.966 1	6.093 8	-0.018 0	0.001 18
	N	-27.999 9	16.521 2	-0.007 4	0.000 47
	Total	29.283 3	17.612 4	0.019 71	0.001 30

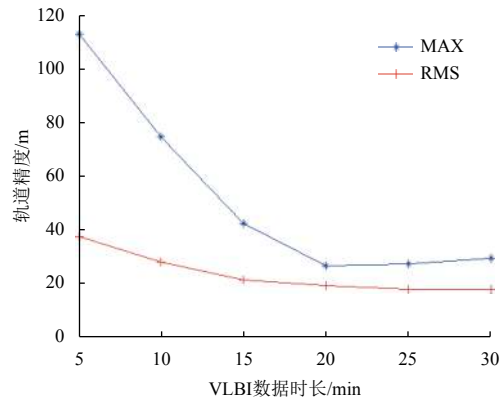


图7 VLBI数据每天总时长与轨道精度关系

Fig. 7 The relationship between everyday total time length of VLBI data and the orbit accuracy

从图7可以看出，在1 min的采集步长下，对于CDSN的VLBI数据至少需要每天均匀采集总计20 min以上的数据，才能保证轨道精度不降低。

4 结 论

综上所述，本文基于“嫦娥四号”探测器任务CDSN干涉测量数据、环月段实时测量数据及事后修正数据，重点分析了中国深空网的定轨精度，得出如下结论：在地月转移段CDSN干涉测量数据和USB联合定轨精度与精密轨道相差百m量级，环月段由于USB数据本身对轨道约束强，CDSN干涉测量数据和USB联合定轨精度与精密轨道相差10 m量级；并分析了权重设置对轨道精度的影响。同时，结合“嫦娥五号”等后续任务中CDSN的链路实际，提出了采用分时采集模式以减小干涉测量数据量，并利用“嫦娥四号”任务中的VLBI测量数据，分析了采用分时采集模式对轨道精度的影响。结果表明：CDSN干涉测量数据实时精度已达到事后修正精度，同时对于每天2~3 h双站共视弧长，在分时采集模式下可以以步长1 min总计采集20 min数据而保证最佳的轨道精度。说明CDSN干涉测量数据可以对中国后续深空探测任务提供支持，并可以采用分时采集模式既降低VLBI数据量以利于实时传输，又能保证轨道精度不降低。

参 考 文 献

[1] 唐歌实. 深空测控无线电测量技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.

[2] 钱志涵, 李金岭. 甚长基线干涉测量技术在深空探测中的应用[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2012.

[3] 董光亮, 耿虎军, 李国民, 等. 中国深空网: 系统设计与关键技术(下) 深空干涉测量系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.

[4] 韩松涛, 陈略, 任天鹏, 等. 中国深空网首次△DOR联合测轨试验分析[J]. 飞行器测控学报, 2014, 33(3): 258-261.

[5] HAN S T, CHEN L, REN T P, et al. Analysis of the first multi-agency joint △DOR tracking of China's deep space network[J]. Journal of Spacecraft TT&C Technology, 2014, 33(3): 258-261.

[6] 王美, 陈略, 韩松涛, 等. 深空测控网干涉测量系统在“鹊桥”任务中的应用分析[J]. 深空探测学报(中英文), 2018, 5(6): 539-543.

[7] WANG M, CHEN L, HAN S T, et al. Application of deep space VLBI system in queqiao mission[J]. Journal of Deep Space Exploration, 2018, 5(6): 539-543.

[8] 汤锡生, 陈贻迎, 朱民才. 载人飞船轨道确定和返回控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.

[9] 李济生. 人造卫星精密轨道确定[M]. 北京: 解放军出版社, 1995.

[10] 陈明, 张宇, 曹建峰, 等. 嫦娥二号探测器轨道确定与测轨技术[J]. 科学通报, 2012, 57(9): 689-696.

[11] CHEN M, ZHANG Y, CAO J F, et al. Orbit determination and tracking technology of CE-2 satellite[J]. Chinese Science Bulletin,

- 2012, 57(9): 689-696.
- [9] 曹建峰, 黄勇, 胡小工, 等. 月球重力场对“嫦娥一号”近月轨道的影响[J]. 宇航学报, 2010, 31(4): 998-1004.
- CAO J F, HUANG Y, HU X G, et al. The effect of lunar gravity field on the low orbit of lunar satellite CE-1[J]. *Journal of Astronautics*, 2010, 31(4): 998-1004.
- [10] 陈明, 唐歌实, 曹建峰, 等. 嫦娥一号绕月探测探测器精密定轨实现[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2011, 36(2): 212-217.
- CHEN M, TANG G S, CAO J F, et al. Precision orbit determination of CE-1 lunar satellite[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(2): 212-217.
- [11] 杨轩, 鄢建国, 叶茂, 等. 对一种月球与火星探测多程微波测量链路定轨定位的数值模拟初步分析[J]. 深空探测学报(中英文), 2018, 5(2): 154-161.
- YANG X, YAN J G, YE M, et al. Preliminary numerical analysis of precise orbit determination for a multi-way microwave measurement mode in the lunar and Mars missions[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2018, 5(2): 154-161.
- [12] 陈略, 唐歌实, 任天鹏, 等. 再入返回飞行试验深空网干涉测量应用分析[J]. 飞行器测控学报, 2015, 34(5): 407-413.
- CHEN L, TANG G S, REN T P, et al. Application of CDSN interferometric tracking in reentry return flight test missions[J]. *Journal of Spacecraft TT&C Technology*, 2015, 34(5): 407-413.
- [13] 徐茂格, 施为华. 深空微波测距测速现状及发展建议[J]. 深空探测学报(中英文), 2018, 5(2): 140-146.
- XU M G, SHI W H. Development of deep space radio ranging and velocity measurement technology[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2018, 5(2): 140-146.
- [14] 李海涛, 周欢, 郝万宏, 等. 深空导航无线电干涉测量技术的发展历程和展望[J]. 飞行器测控学报, 2013, 32(6): 470-478.
- LI H T, ZHOU H, HAO W H, et al. Development of radio interferometry and its prospect in deep space navigation[J]. *Journal of Spacecraft TT&C Technology*, 2013, 32(6): 470-478.
- [15] 陈略, 唐歌实, 王美, 等. 干涉测量宽带相关处理算法与验证[J]. 飞行器测控学报, 2011, 30(6): 77-81.
- CHEN L, TANG G S, WANG M, et al. Interferometry measurement broadband correlation processing algorithm and verification[J]. *Journal of Spacecraft TT&C Technology*, 2011, 30(6): 77-81.
- [16] 郑为民, 舒逢春, 张冬. 应用于深空跟踪测量的VLBI软件相关处理技术[J]. 宇航学报, 2008, 29(1): 18-23.
- ZHENG W M, SHU F C, ZHANG D. Application of software correlator to deep space VLBI tracking[J]. *Journal of Astronautics*, 2008, 29(1): 18-23.
- 作者简介:
牛东文(1986-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 航天测控、航天器测定轨技术。
通讯地址: 北京市海淀区北清路26号院(100094)
电话: (010)66366774
E-mail: ndw05044050@163.com

A Study of the Orbit Determination Ability and Time-Sharing Acquisition Mode for China's Deep Space Network VLBI Data

NIU Dongwen, DUAN Jianfeng, WANG Mei, CHEN Lue, LU Weitao, REN Tianpeng

(Beijing Aerospace Control Center, Beijing 100094, China)

Abstract: According to the interferometric observation data of Jiamusi deep space station and Kashi deep space station of China deep space network during the mission of Chang'E-4 probe, the orbit determination accuracy of real-time data and post-correction data respectively combined with the USB data is analyzed. The difference between the Earth Moon transfer section and the precise orbit is 100 meters, and the difference between the ring moon section and the precise ephemeris is 10 meters. At the same time, the influences of VLBI data weight setting on the orbit accuracy is analyzed. In view of the China deep space network in subsequent deep space missions such as Chang'E 5, a time-sharing acquisition mode is proposed to reduce the amount of VLBI data. The influence of this mode on orbit accuracy is analyzed by using the measured VLBI data of Chang'E 4 probe. The results show that the real-time data accuracy of China's deep space network VLBI data has reached the accuracy of post-correction data, which can support the follow-up deep space exploration tasks in China. At the same time, for 2 to 3 hours per day of common viewing time of two stations, in the time-sharing acquisition mode, the total 20 minutes per day data and 1 minute acquisition step can ensure that the orbit accuracy does not decrease.

Keywords: deep space network; VLBI; time-sharing acquisition; accuracy analysis

Highlights:

- The orbit determination accuracy of VLBI real-time data and post-correction data of China Deep Space Network combined with USB data is analyzed.
- The influence of VLBI data weight setting on the orbit determination accuracy is analyzed.
- The influence of time-sharing acquisition of VLBI data on orbit determination accuracy is analyzed, and it is obtained that the amount of VLBI data can be reduced without affecting the orbit accuracy under certain conditions.

[责任编辑: 宋宏, 英文审校: 朱恬]