

# 北斗接收模块授时精度恶化问题研究

刘洪源<sup>1</sup> 吴安国<sup>2</sup>

(中国卫星海上测控部 江阴 214431)

**摘要:** 简要介绍了北斗接收模块的工作原理,结合使用现状,采用故障树分析法,对北斗接收模块授时精度恶化问题进行分析研究。经分析可知问题原因在于,模块接收通道无法自动释放而达到饱和,无法继续捕获卫星。通过升级基带算法软件,增加接收通道释放函数的方法,能有效解决特殊环境下捕获卫星的问题,并通过测试验证了该方法的正确性和可行性,为提高北斗接收模块工作的稳定性,实现岸船时间同步、满足海上测控任务要求提供了可靠的保障。该问题的解决,对北斗接收模块的推广应用具有重要的意义。

**关键词:** 北斗;授时精度;基带算法;接收通道

**中图分类号:** TN966.4 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.50

## Research on the problem of Beidou receiver module timing accuracy deterioration

Liu Hongyuan<sup>1</sup> Wu Anguo<sup>2</sup>

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

**Abstract:** This article briefly introduces the working principle of the Beidou receiver module. Combined with the use of Beidou receiver module, using the fault tree analysis method, this article analysis and researches on the problem of Beidou receiver module timing accuracy deterioration. After analysis, the reason for the problem is that the receiving channel of the module can not automatically release, which results in the receiving channel reach saturation so that can not continue to capture the satellite. By upgrading the baseband algorithm software, the method of increasing releasing function of the receiving channel can effectively solve the problem of capturing the satellite in the special environment. The correctness and feasibility of the method is verified by testing, which finally improve the stability of Beidou receiver module, achieve time synchronization between shore and ship, and provide reliable protection to the requirements of tracking and control tasks aboard. The solution of this problem is of great significance to the popularization and application of Beidou receiving module.

**Keywords:** Beidou; timing accuracy; baseband algorithm; receiving channel

## 0 引言

随着北斗卫星导航定位系统的加速组网,其实用性不断增强,导航定位、高精度授时等服务,为航天测控时间同步系统的应用奠定了坚实基础<sup>[1]</sup>。北斗高精度授时在固定授时模式的时间同步系统中得到了广泛应用,其精度和可靠性均满足了各领域的要求。

以往测量船都是以GPS定时为主、铷原子钟守时为辅的方式,实现岸船时间同步<sup>[2]</sup>。最新一代航天测量船时间统一系统采用了GPS、北斗、外同步3种定时接收模块进行时间同步。北斗接收模块作为其重要组成部分,负责接收北斗导航卫星信号用于时间同步。但是北斗授时在海上航

天测控时间同步系统的应用还处于起步阶段。在使用过程中,存在北斗解调秒相位单向漂移、授时精度恶化等问题,导致北斗接收模块无法定位授时,直接影响到测量船岸船时间同步精度<sup>[3]</sup>。因此,对北斗模块授时精度恶化问题进行深入分析和研究,提高北斗模块工作的稳定性,确保时间同步精度满足海上航天测控任务要求,具有重要的现实意义。

## 1 北斗接收模块应用现状及工作原理

### 1.1 应用现状

最新一代测量船采用GPS、北斗和外同步3种定时方式,实现岸船时间同步。北斗接收模块是测量船时间统一

系统的重要组成部分,接收北斗卫星信号,解调出时间信息,并输出相应的秒信号,送到时统主机箱背板,供主机箱和扩展机箱的其他模块用于时间同步。

在使用过程中,出现北斗接收模块授时精度恶化现象,其解调秒相位与本地原子钟、GPS、外同步的相位出现单向漂移,最大相位误差达到毫秒量级,最终导致北斗模块时间对比出错,北斗时间停止走时。同时监控设备的设备日志和告警信息中,存在“北斗时间不可靠、北斗模块出错、北斗时间对比出错”三类告警。通过时统控制器对北斗定时接收机进行复位,北斗时间无法恢复正常。上述现象和问题直接影响到岸船时间同步的实现。

### 1.2 原理分析

#### 1) 北斗接收模块工作原理

北斗接收模块由北斗 OEM 板<sup>[4]</sup>、微处理器、CAN 总线控制器、CAN 总线收发器、电平转换电路以及电源等功能部件组成。各部分连接关系如图 1 所示。

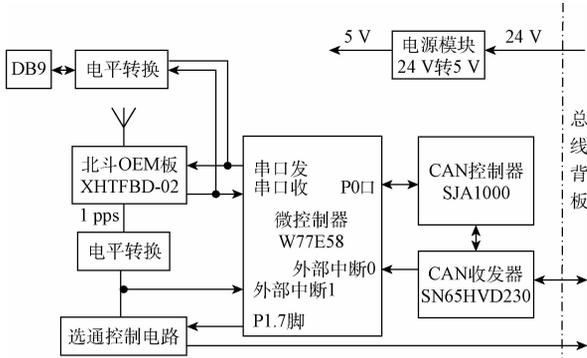


图 1 北斗接收模块各功能部件连接图

北斗 OEM 板的串口信息分 2 路,一路经过电平转换成 RS232 电平,输出至模块后面板,用于检测本机北斗 OEM 板的信息和状态;另一路被微控制器接收,通过微处理器解调出时间信息、位置信息和可用状态。当信息可用时,选通输出到背板的 1 pps 信号,在 1 pps 中断到来时,通过 CAN 总线控制器和收发器将时间信息和位置信息送至总线背板。当 CAN 总线控制器接收到总线背板的命令时,向微控制器申请中断,微控制器接收到中断后,执行中断处理相关命令。

#### 2) 北斗接收模块软件处理流程

北斗接收模块软件处理流程如图 2 所示。

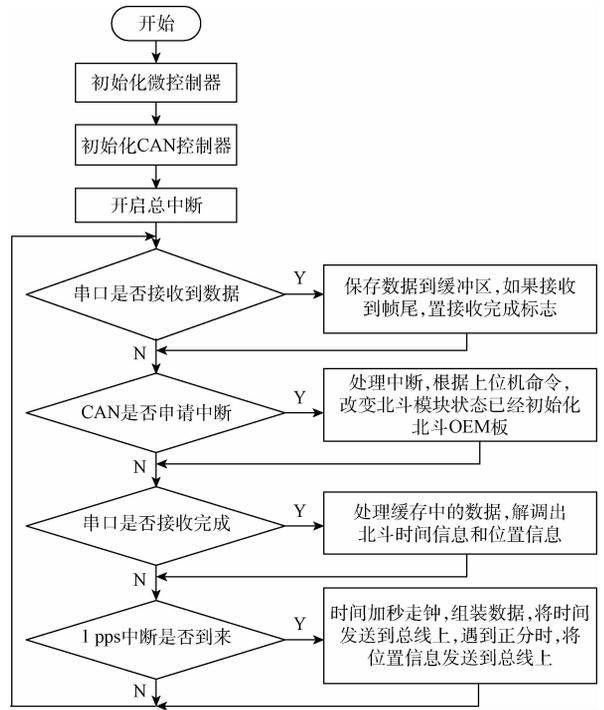


图 2 北斗接收模块程序流程

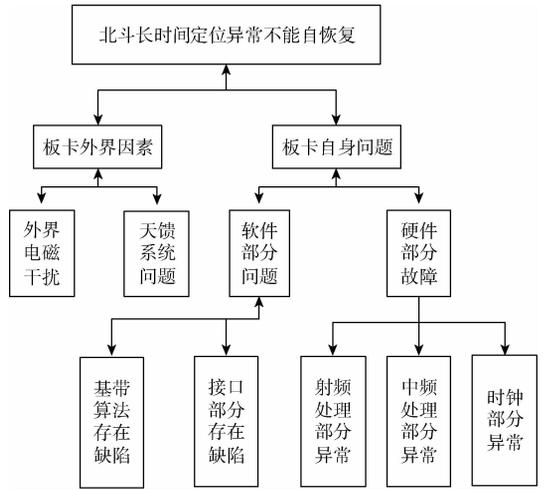


图 3 故障树模型

由于受到外界电磁干扰,会使模块收星质量下降,严重时导致模块长时间不能定位且无法自行恢复。由于模块设计时考虑了电磁兼容问题,具有一定的抗干扰能力<sup>[5]</sup>。通过增加屏蔽罩等手段进行测试,现象与未屏蔽处理时一致,因此可以排除此项因素的影响。

#### 2) 天馈系统问题

北斗接收模块天馈系统异常时,会使模块接收不到卫星信号,或接收到的卫星信号质量差,导致模块长时间不能定位且无法自行恢复。通过交换天线、馈线及检查收星定位情况,天线、馈线工作正常。该天馈系统使用在其他卫星

## 2 授时精度恶化问题分析

### 2.1 故障树分析模型

根据北斗模块的应用现状和存在的问题,结合设备工作原理,采用故障树分析法,对北斗接收模块进行技术分析和问题定位,故障树如图 3 所示。

### 2.2 模块外界因素分析

#### 1) 外界电磁干扰

导航模块可以正常工作,故可以排除此项因素的影响。

### 2.3 模块自身问题分析

#### 1) 模块硬件分析

模块射频处理部分异常,会使模块无法处理射频信号,或处理后的射频信号质量变差。导致模块不能正常定位且无法自行恢复。通过模拟器发送单载波,利用频谱仪测试模块射频信号部分处理情况,该部分工作正常,故可以排除此项因素的影响。

模块中频处理部分异常,会使模块无法处理中频信号,或处理后的中频信号质量变差。导致模块不能正常定位且无法自行恢复。通过模拟器发送单载波,使用示波器、频谱仪测试模块中频输出数字信号,该部分工作正常,故可以排除此项因素的影响。

模块时钟部分异常,会使模块信号处理不稳定,引起收星状态异常、观测质量下降,导致模块不能正常定位且无法自行恢复<sup>[6]</sup>。通过计数器测量模块时钟部分,该部分工作正常,故可以排除此项因素的影响。

#### 2) 模块软件分析

模块基带算法处理及接口部分算法存在缺陷,均会导致模块不能正常定位且无法自行恢复,造成北斗授时设备长时间失效。

模块接口软件部分存在缺陷,会造成模块输出数据重复,出现致模块长时间无法定位且不能自恢复的情况。通过分析模块异常时的数据,发现模块接口输出数据不是完全重复的,时间信息还在延续,故可以排除此项因素的影响。

模块基带算法存在缺陷,会导致模块控制收星、计算伪距、载波相位<sup>[7]</sup>、星历等观测量信息过程出错,造成模块长时间不能正常定位且不能自行恢复。

通过分析模块异常的数据,发现模块的收星状况(GSV语句中的收星参数如图4所示)从失锁不定位时开始到5h后的收星状况完全一致<sup>[8]</sup>。由于船舶处于航行状态,接收天线位置一直在变化,且天空中的卫星也处于运动状态,所以5h内的收星状况不可能完全一致,因此故障原因就在于模块基带算法存在缺陷。

## 3 北斗接收模块基带算法的改进

### 3.1 机理分析

当北斗接收模块搜索到某个卫星信号之后,接收通道由捕获阶段进入跟踪阶段;当模块的锁定检测器判定总环路对信号失锁后,接收通道又从跟踪阶段返回捕获阶段。

北斗模块的接收通道在捕获与跟踪阶段之间的转换为:接收通道在任意时刻所处的状态为等待、捕获、确认、牵入和跟踪5个状态的某一个<sup>[9]</sup>。为提高信号捕获的可靠性和对信号参数估算的精确性,模块在信号捕获成功后,还需要依次进入确认、牵入和跟踪状态。不同通道间的运行基本上相互独立,其中那些不进行任何信号捕获或跟踪等工作的闲置通道被称为等待通道。一旦模块根据卫星历元计

消息格式	\$-GSV,NoMsg,MsgNo,NoSv,sv1,elv1,az1,cno1,sv2,elv2,az2,cno2,sv3,elv3,az3,cno3,sv4,elv4,az4,cno4*cs
例子	\$GPGSV,3,1,11,3,82,133,50,6,70,73,50,7,21,311,45,13,46,275,50*75 \$GPGSV,3,2,11,16,52,51,49,19,52,194,49,21,12,49,37,23,40,222,49*7C \$GPGSV,3,3,11,30,31,69,46,31,8,127,19,1,5,,44*77 \$BDGSV,2,1,5,161,35,140,47,163,33,224,47,164,24,124,43,167,47,73,48*54 \$BDGSV,2,2,5,168,5,,50*52
描述	可见的GNSS 卫星 每条GSV 消息只包含4 颗卫星的信息。当卫星数量超过4 颗时,接收机连续发送多条GSV 消息
类型	输出
参数定义	
-	STR 系统标识 GP - GPS 卫星信息 BD - BD2 卫星信息
NoMsg	UINT GSV 消息总数, 最小值为1 NoMsg 为本系统的GSV 消息总数, 比如GPGSV 中的NoMsg 为GPGSV 的消息总数, 不包含BDGSV 的消息数量
MsgNo	UINT 本条GSV 消息的编号, 最小值为1
MsgNo	UINT 为本条GSV 消息在本系统GSV 消息中的编号。连续输出的GPGSV 和BDGSV 分别编号。
NoSv	UINT 本系统可见卫星的总数
sv1 ~ sv4	UINT 第1~第4 颗卫星的卫星号 GPS 卫星号为1 ~ 32 BD2 卫星号为161 ~ 197 (160 + BD2 PRN 号)
elv1 ~ elv4	UINT 第1~第4 颗卫星的仰角 (0°~ 90°)
az1 ~ az4	UINT 第1~第4 颗卫星的方位角 (0°~ 359°)

图 4 GSV 协议内容

算出某颗卫星变得可见<sup>[10]</sup>,在模块还有闲置通道的情况下,就会搜索卫星信号,其中一个接收通道就从等待状态进入捕获状态。进入捕获状态之后,再经过确认、牵入状态,最后进入跟踪状态。如图5所示。

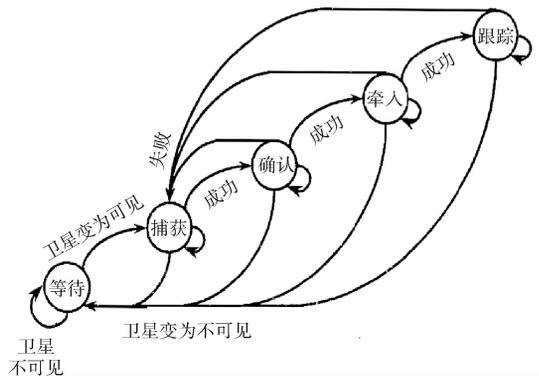


图 5 接收通道转换

为了提高北斗接收模块的灵敏度,能够捕获到微弱信号,既通过加长相干积分时间来提高信噪比、增加信号搜索与捕获所需的时间<sup>[11]</sup>,还使用以前的历元信号,对已经跟踪过的卫星,在信号失锁后继续保留此通道,延长对该卫星信号的搜索时间,加大搜索力度。这种方案对于弱信号有很好的效果,但是会引发模块通道满载饱和,无法接收到新的卫星信号,跟踪过的卫星又没有捕获到,从而出现长时间收星状况未更新、模块不能重新定位的情况。这种现象多发生在收星环境较差的状况下<sup>[12]</sup>,此时模块由于长时间失锁不能定位,对错误卫星进行持续性的捕获,未能及时释放

模块通道,最终导致通道饱和。

### 3.2 基带算法改进

通过以上分析和研究,对模块基带算法软件部分进行调整,软件由 R1.0Build14420 版本更新为 R1.0Build17108 版本。软件新增部分如下:

```

    if(pCH->tick_isr[1] != pCH->tick_isr
[0]) //累加中断
    {
        pCH->err = 0;
    }
    else if(pCH->err++ > 200) //通道连续没有
累加值,通道复位
    {
        __phy_chx_lock_err(pCH); //通道错误、释放
函数
        pCH++;
        continue;
    }

    pCH->tick_isr[1] = pCH->tick_isr[0];

```

当模块长时间无法正常收星定位时,对模块通道进行释放,防止模块的卫星接收通道饱和,从而避免了模块长时间不定位且不能自行恢复的问题。通过多次测试,试验结果正常,问题得到解决。

### 3.3 试验验证

软件版本为 R1.0Build14420 时,进行 24 h 不间断模拟环境测试。开始能正常收星定位,出现问题之后,卫星信号的信噪比很低。随着船舶的移动,搜索过的卫星数逐渐增多<sup>[13]</sup>,而北斗接收模块的接收通道数量有限,最终导致接收通道饱和。然而模块的基带软件算法中没有对该情况进行判别和处理,无法释放通道,最终导致北斗接收模块不能收星定位<sup>[14]</sup>,无法恢复正常情况。北斗报文数据如下:

```

$ BDGGA,020742.000,3043.837453,N,10357.292146,
E,1.08,1.579,494.706,M,0,M,,* 6A
$ BDGSV,4,1,14,161,36,125,36,162,51,204,,
163,51,155,,164,14,104,33* 6D
$ BDGSV,4,2,14,165,50,209,,166,33,154,34,
167,16,180,35,168,53,32,44* 51
$ BDGSV,4,3,14,169,16,169,,170,33,193,,171,
58,18,52,172,23,83,38* 61
$ BDGSV,4,4,14,173,59,340,45,174,38,165,39
* 63
$ BDRMC,020742.000,A,3043.837453,N,10357.292146,
E,0.159,343.048,201016,,E,A* 38
$ BDGGA,020743.000,3043.837453,N,10357.292146,
E,,00,1.579,494.706,M,0,M,,* 52
$ BDGSV,4,1,14,161,36,125,37,162,51,204,,

```

```

163,51,155,,164,14,104,33* 6C
$ BDGSV,4,2,14,165,50,209,,166,33,154,33,
167,16,180,35,168,53,32,44* 56
$ BDGSV,4,3,14,169,16,169,,170,33,193,,171,
58,18,52,172,23,83,38* 61
$ BDGSV,4,4,14,173,59,340,45,174,38,165,39
* 63
$ BDRMC,020743.000,V,3043.837453,N,10357.292146,
E,0.159,343.048,201016,,E,N* 21
$ BDGGA,020744.000,3043.837496,N,10357.292131,
E,,00,1.579,494.706,M,0,M,,* 5C
$ BDGSV,4,1,14,161,36,125,37,162,51,204,,
163,51,155,,164,14,104,33* 6C
$ BDGSV,4,2,14,165,50,209,,166,33,154,33,
167,16,180,35,168,53,32,44* 56
$ BDGSV,4,3,14,169,16,169,,170,33,193,,171,
58,18,52,172,23,83,38* 61
$ BDGSV,4,4,14,173,59,340,45,174,38,165,39
* 63
$ BDRMC,020744.000,V,3043.837496,N,10357.292131,
E,0.159,343.048,201016,,E,N* 2F
    将模块软件版本升为 R1.0Build17108,进行 7 d 不间断模拟环境测试,接收机收星定位正常,未发现故障现象。北斗报文数据如下:
$ BDGGA,023204.000,3043.838667,N,10357.285968,
E,1.07,1.652,501.835,M,0,M,,* 61
$ BDGSV,4,1,13,161,31,118,32,162,49,216,5,
163,54,167,5,164,14,104,* 69
$ BDGSV,4,2,13,165,30,245,5,166,52,156,16,
167,5,180,20,168,55,54,32* 59
$ BDGSV,4,3,13,169,33,179,24,170,17,195,,
171,2,112,5,173,62,359,32* 6A
$ BDGSV,4,4,13,174,28,45,31* 51
$ BDRMC,023204.000,A,3043.838667,N,10357.285968,
E,0.001,264.358,021116,,E,A* 3F
$ BDGGA,023205.000,3043.838667,N,10357.285968,
E,1.07,1.652,501.835,M,0,M,,* 60
$ BDGSV,4,1,13,161,31,118,32,162,49,216,5,
163,54,167,5,164,14,104,* 69
$ BDGSV,4,2,13,165,30,245,5,166,52,156,16,
167,5,180,21,168,55,54,32* 58
$ BDGSV,4,3,13,169,33,179,24,170,17,195,,
171,2,112,5,173,62,359,32* 6A
$ BDGSV,4,4,13,174,28,45,31* 51
$ BDRMC,023205.000,A,3043.838667,N,10357.285968,
E,0.000,110.145,021116,,E,A* 31
$ BDGGA,023206.000,3043.838667,N,

```

10357.285968,E,1,07,1.652,501.834,M,0,M,,\*62  
 \$BDGSV,4,1,13,161,31,118,32,162,49,216,5,  
 163,54,167,5,164,14,104,\*69  
 \$BDGSV,4,2,13,165,30,245,5,166,52,156,16,  
 167,5,180,21,168,55,54,32\*58  
 \$BDGSV,4,3,13,169,33,179,24,170,17,195,,  
 171,2,112,5,173,62,359,32\*6A  
 \$BDGSV,4,4,13,174,28,45,31\*51  
 \$BDRMC,023206.000,A,3043.838667,N,10357.285968,  
 E,0.000,162.522,021116,,E,A\*32

对北斗接收模块基带软件升级前后分别进行148 h的拷机测试,获取测试期间的试验数据即北斗卫星报文信息。通过分析统计,得到软件升级前后接收到的卫星信号情况如表1所示。

表1 软件升级前后卫星信号接收情况统计

信噪比/dB	0	1~20	21以上
升级前卫星数	5	0	9
升级后卫星数	2	5	6

由表1中的数据可以看出,北斗接收模块在软件升级前,信噪比为0的卫星数量为5颗,即未跟踪到的卫星数量。在基带软件算法中增加通道释放函数后,信噪比为0的卫星数量减少到2颗,说明释放函数在卫星跟踪到捕获的通道转换过程中,发挥了作用,验证了该方法的正确性。

在拷机测试期间,分析并统计时统监控软件出现的故障次数得到表2。

表2 软件升级前后故障次数统计

故障原因	信号不稳定	通道饱和	总数
升级前故障次数	4	15	19
升级后故障次数	3	0	3

通过表2的数据对比可以看出,软件修改后,故障次数大幅降低,出现3次故障是由卫星信号不稳定引起的,与验证的问题无关,可以忽略。由通道饱和引发的故障次数为零,说明基带软件算法缺陷引发的问题得到彻底解决,验证了该方法的可行性。

## 4 结 论

经过深入分析和多次测试验证,北斗接收模块授时精度恶化、无法定位的原因在于模块基带算法软件存在缺陷。在设备设计初,为了提高模块部分性能指标,而忽略了提高部分性能指标所带来的负面影响。当模块在恶劣收星情况下时,会出现长时间不能定位并无法释放通道的现象,导致模块不能自行恢复。通过升级基带算法软件,增加接收通道释放函数,有效解决了北斗接收模块基带算法缺陷带来

的问题,并进行了科学的测试试验,验证了该方法的正确性和可行性,从而提高了北斗接收模块工作的稳定性和可靠性<sup>[15]</sup>,为执行海上测控任务提供坚强可靠的保障。北斗模块基带算法的优化有效解决了应用中存在的问题,对北斗接收模块在移动授时模式下的应用推广具有重要的意义。

## 参考文献

- [1] 陈洪卿,陈向东.北斗卫星导航系统授时应用[J].数字通信世界,2011(6):54-58.
- [2] 朱江森,宋文峰,高源,等.基于改进型BP神经网络的氢原子钟钟差预测[J].仪器仪表学报,2016,37(2):454-460.
- [3] 高力为,宋克柱.GPS时钟同步的分布式地球物理探测系统设计[J].电子测量技术,2017,40(1):105-109.
- [4] 唐金元.北斗卫星导航区域系统发展应用综述[J].全球定位系统,2013,38(5):47-52.
- [5] 谭述森,李琳.北斗系统导航定位报告体制与工程技术[J].导航定位学报,2013,1(3):1-9.
- [6] 冯胜民,陈娟花,曹占山,等.基于FPGA和TDC-GP2的钟差测量系统设计[J].国外电子测量技术,2015,34(1):63-68.
- [7] 谭树森.卫星导航定位工程[M].北京:国防工业出版社,2010.
- [8] 李玉本.GPS/GLONASS精密单点定位技术模型与算法的研究[D].泰安:山东农业大学,2010.
- [9] 门兰宁.北斗接收机关键技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2013.
- [10] 李东新,杨伟才,常青,等.伪卫星共视法时间同步模型及其精度分析[J].导航定位与授时,2015,2(4):39-47.
- [11] 宋洪涛.GPS接收机抗干扰技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2009.
- [12] 丁继成.弱信号条件下GPS接收机关键技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2009.
- [13] 张科.基于多源信息融合的移动定位优化技术研究[D].北京:北京邮电大学,2013.
- [14] 卿寿松,顾长鸿,任立明,等.北斗卫星导航系统可靠性工作若干问题探讨[C].第二届中国卫星导航学术年会,2011.
- [15] 陈瑞琼,刘娅,李孝辉.基于改进的卫星共视法的远程时间比对研究[J].仪器仪表学报,2016,37(4):757-763.

## 作者简介

刘洪源,工学学士,工程师,主要研究方向为网络通信、时间统一技术等。

E-mail:SDLHY123@163.com

吴安国,工学学士,工程师,主要研究方向为时间统一技术。