GNSS 性能监测与评估系统
采购项目

合同文件

买方：中国民用航空局空中交通管理局

卖方：中国电子科技集团公司第五十四研究所

2024 年 4 月 30 日

目　录

一、合同协议书.....1
二、通用合同条款.....3
1. 一般约定.....3
2. 合同范围.....6
3. 合同价格与支付.....6
4. 监造及交货前检验.....7
5.包装、标记、运输和交付.....9
6. 开箱检验、安装、调试、考核、验收.....10
7. 技术服务.....13
8. 质量保证期.....13
9. 质保期服务.....14
10. 履约保证金.....15
11. 保证.....15
12. 知识产权.....16
13. 保密.....16
14. 违约责任.....17
15. 合同的解除.....17
16. 不可抗力.....18
17. 争议的解决.....18
三、专用合同条款.....20
1.一般约定.....20
2.合同范围.....21
3.合同价格与支付.....22
4.交货前检验.....23
5.包装、标记、运输和交付.....23
6.开箱检验、现场技术督导、调试、考核、验收.....24
8.质量保证期.....24
9.质保期服务.....25

10.履约保证金.....25
12.知识产权.....25
14.违约责任.....25
15.合同的解除.....26
17.争议的解决.....26
18.合同其他条款的约定.....26
四、合同附件.....28
附件 1 中标通知书.....28
附件 2 供货范围及分项价格表.....29
附件 3 工作说明.....48
附件 4 项目管理文件.....58
附件 5 技术规格说明.....63
附件 6 保密协议.....183

一、合同协议书

合同协议书

中国民用航空局空中交通管理局（以下简称“买方”）为获得 GNSS 性能监测与评估系统采购项目 合同货物、技术服务和质保期服务，已接受 中国电子科技集团公司第五十四研究所（以下简称“卖方”）为提供上述合同货物、技术服务和质保期服务所作的投标，买方和卖方共同达成如下协议：

1. 本协议书与下列文件一起构成合同文件：

1）专用合同条款；

2）通用合同条款。

3）合同附件：

附件1-中标通知书；

附件2-供货范围及分项价格表；

附件3-工作说明；

附件4-项目管理方案；

附件5-技术规格说明；

附件6-保密协议。

（4）投标函；

（5）商务和技术偏差表；

（6）其他合同文件。

2. 上述合同文件互相补充和解释。如果合同文件之间存在矛盾或不一致之处，以上述文件的排列顺序在先者为准。合同未尽之处以招标和投标文件作为解释和补充。

3. 签约合同价为含税固定总价：人民币壹仟零贰拾伍万元整（¥10,250,000.00元）。

4. 卖方承诺保证完全按照合同约定提供合同货物、技术服务和质保期服务并修补缺陷。

5. 买方承诺保证按照合同约定的条件、时间和方式向卖方支付合同价款。

6. 本合同自双方法定代表人或其委托代理人签字并经双方加盖公章或合同专用章之日起生效。本合同协议书一式 六 份，合同双方各执 三 份，具有同等效力。

7. 合同未尽事宜，双方另行签订补充协议，补充协议是合同的组成部分，具有同等效力。

（签字盖章页）

买方：_____（盖章）

法定代表人（单位负责人）或其委托代理人：_____

单位名称：中国民用航空局空中交通管理局

纳税人识别号：12100000400006065X

地址、电话：北京市东城区东四西大街 155 号 87786063

开户行及账号：中国工商银行股份有限公司北京潘家园支行

0200022729200031420

卖方：_____（盖章）

法定代表人（单位负责人）或其委托代理人：_____

单位名称：中国电子科技集团公司第五十四研究所

纳税人识别号：12100000401749530L

地址、电话：河北省石家庄市桥西区中山西路 589 号

开户行及账号：石家庄市建设银行建华南大街支行

13001615801050003100

二、通用合同条款

1. 一般约定

1.1 词语定义

除专用合同条款另有约定外，合同中的下列词语应具有本款所赋予的含义。

1.1.1 合同

1.1.1.1 合同文件（或称合同）：指合同协议书、中标通知书、投标函、商务和技术偏差表、专用合同条款、通用合同条款、供货要求、分项报价表、中标设备技术性能指标的详细描述、技术服务和质保期服务计划，以及其他构成合同组成部分的文件。

1.1.1.2 合同协议书：指买方和卖方共同签署的合同协议书。

1.1.1.3 中标通知书：指买方通知卖方中标的函件。

1.1.1.4 投标函：指由卖方填写并签署的，名为“投标函”的函件。

1.1.1.5 商务和技术偏差表：指卖方投标文件中的商务和技术偏差表。

1.1.1.6 供货要求：指合同文件中名为“供货要求”的文件。

1.1.1.7 中标设备技术性能指标的详细描述：指卖方投标文件中的投标设备技术性能指标的详细描述。

1.1.1.8 技术服务和质保期服务计划：指卖方投标文件中的技术服务和质保期服务计划。

1.1.1.9 分项报价表：指卖方投标文件中的分项报价表。

1.1.1.10 其他合同文件：指经合同双方当事人确认构成合同文件的其他文件。

1.1.2 合同当事人

1.1.2.1 合同当事人：指买方和（或）卖方。

1.1.2.2 买方：指与卖方签订合同协议书，购买合同货物、技术服务和质保期服务的当事人，及其合法继承人。

1.1.2.3 卖方：指与买方签订合同协议书，提供合同货物、技术服务和质保期服务的当事人，及其合法继承人。

1.1.3 合同价格

1.1.3.1 签约合同价：是签订合同时合同协议书中写明的合同总金额。

1.1.3.2 合同价格：指卖方按合同约定履行了全部合同义务后，买方应付给卖方的金

额。

1.1.4 合同货物：指卖方按合同约定应向买方提供的设备、装置、备品、备件、易损易耗件、配套使用的软件或其他辅助电子应用程序及技术资料，或其中任何一部分。

1.1.5 技术资料：指各种纸质及电子载体的与合同货物的设计、检验、安装、调试、考核、操作、维修以及保养等有关的技术指标、规格、图纸和说明文件。

1.1.6 安装：指对合同货物进行的组装、连接以及根据需要将合同货物固定在施工场地内一定的位置上，使其就位并与相关设备、工程实现连接。

1.1.7 调试：指在合同货物安装完成后，对合同货物所进行的调校和测试。

1.1.8 考核：指在合同货物调试完成后，对合同货物进行的用于确定其是否达到合同约定的技术性能考核指标的考核。

1.1.9 验收：指合同货物通过考核达到合同约定的技术性能考核指标后，买方作出接受合同货物的确认。

1.1.10 技术服务：指卖方按合同约定，在合同货物验收前，向买方提供的安装、调试服务，或者在由买方负责的安装、调试、考核中对买方进行的技术指导、协助、监督和培训等。

1.1.11 质量保证期：指合同货物验收后，卖方按合同约定保证合同货物适当、稳定运行，并负责消除合同货物故障的期限。

1.1.12 质保期服务：指在质量保证期内，卖方向买方提供的合同货物维护服务、咨询服务、技术指导、协助以及对出现故障的合同货物进行修理或更换的服务。

1.1.13 工程

1.1.13.1 工程：指在专用合同条款中指明的，安装运行合同货物的工程。

1.1.13.2 施工场地（或称工地、施工现场）：指专用合同条款中指明的工程所在场所。

1.1.14 天（或称日）：除特别指明外，指日历天。合同中按天计算时间的，开始当天不计入，从次日开始计算。合同约定的期间的最后一天是星期日或者其他法定休假日的，以休假日的次日为期间的最后一天。

1.1.15 月：按照公历月计算。合同中按月计算时间的，开始当天不计入，从次日开始计算。合同约定的期间的最后一天是星期日或者其他法定休假日的，以休假日的次日为期间的最后一天。

1.1.16 书面形式：指合同文件、信件和数据电文（包括电报、电传、传真、电子数据交换和电子邮件）等可以有形地表现所载内容的形式。

1.2 语言文字

合同使用的语言文字为中文。专用术语使用外文的，应附有中文注释。

1.3 合同文件的优先顺序

组成合同的各项文件应互相解释，互为说明。除专用合同条款另有约定外，解释合同文件的优先顺序如下：

（1）合同协议书；

（2）中标通知书；

（3）投标函；

（4）商务和技术偏差表；

（5）专用合同条款；

（6）通用合同条款；

（7）供货要求；

（8）分项报价表；

（9）中标设备技术性能指标的详细描述；

（10）技术服务和质保期服务计划；

（11）其他合同文件。

1.4 合同的生效及变更

1.4.1 除专用合同条款另有约定外，买方和卖方的法定代表人（单位负责人）或其授权代表在合同协议书上签字并加盖单位章后，合同生效。

1.4.2 除专用合同条款另有约定外，在合同履行过程中，如需对合同进行变更，双方应签订书面协议，并经双方法定代表人（单位负责人）或其授权代表签字并加盖单位章后生效。

1.5 联络

1.5.1 买卖双方应就合同履行中有关的事项及时进行联络，重要事项应通过书面形式进行联络或确认。合同履行过程中的任何联络及相关文件的签署，均应通过专用合同条款指定的联系人和联系方式进行。合同履行过程中，双方可以书面形式增加或变更指定联系人。

1.5.2 合同履行中或与合同有关的任何联络，送达到第1.5.1项指定的联系人即视为送达。

1.5.3 买方可以安排监理等相关人员作为买方人员，与卖方进行联络或参加合同货

物的监造（如有）、交货前检验（如有）、开箱检验、安装、调试、考核、验收等，但应按照第1.5.1项的约定事先书面通知卖方。

1.6 联合体

1.6.1 卖方为联合体的，联合体各方应当共同与买方签订合同，并向买方为履行合同承担连带责任。

1.6.2 在合同履行过程中，未经买方同意，不得修改联合体协议。联合体协议中关于联合体成员间权利义务的划分，并不影响或减损联合体各方应就履行合同向买方承担的连带责任。

1.6.3 联合体牵头人代表联合体与买方联系，并接受指示，负责组织联合体各成员全面履行合同。除非专用合同条款另有约定，牵头人在履行合同中的所有行为均视为已获得联合体各方的授权。买方可将合同价款全部支付给牵头人并视为其已适当履行了付款义务。如牵头人的行为将构成对合同内容的变更，则牵头人须事先获得联合体各方的特别授权。

1.7 转让

未经对方当事人书面同意，合同任何一方均不得转让其在合同项下的权利和（或）义务。

2. 合同范围

卖方应根据供货要求、中标设备技术性能指标的详细描述、技术服务和质保期服务计划等合同文件的约定向买方提供合同货物、技术服务和质保期服务。

3. 合同价格与支付

3.1 合同价格

3.1.1 合同协议书中载明的签约合同价包括卖方为完成合同全部义务应承担的一切成本、费用和支出以及卖方的合理利润。

3.1.2 除专用合同条款另有约定外，签约合同价为固定价格。

3.2 合同价款的支付

除专用合同条款另有约定外，买方应通过以下方式和比例向卖方支付合同价款：

3.2.1 预付款合同生效后，买方在收到卖方开具的注明应付预付款金额的财务收据

正本一份并经审核无误后28日内，向卖方支付签约合同价的10%作为预付款。买方支付预付款后，如卖方未履行合同义务，则买方有权收回预付款；如卖方依约履行了合同义务，则预付款抵作合同价款。

3.2.2 交货款卖方按合同约定交付全部合同货物后，买方在收到卖方提交的下列全部单据并经审核无误后28日内，向卖方支付合同价格的60%：

（1）卖方出具的交货清单正本一份；

（2）买方签署的收货清单正本一份；

（3）制造商出具的出厂质量合格证正本一份；

（4）合同价格100%金额（付款金额与开票金额一致）的增值税发票正本一份。

3.2.3 验收款买方在收到卖方提交的买卖双方签署的合同货物验收证书或已生效的验收款支付函正本一份并经审核无误后28日内，向卖方支付合同价格的25%。

3.2.4 结清款买方在收到卖方提交的买方签署的质量保证期届满证书或已生效的结清款支付函正本一份并经审核无误后28日内，向卖方支付合同价格的5%。

如果依照合同第9.1项，卖方应向买方支付费用的，买方有权从结清款中直接扣除该笔费用。

除专用合同条款另有约定外，在买方向卖方支付验收款的同时或其后的任何时间内，卖方可在向买方提交买方可接受的金额为合同价格5%的合同结清款保函的前提下，要求买方支付合同结清款，买方不得拒绝。

3.3 买方扣款的权利

当卖方应向买方支付合同项下的违约金或赔偿金时，买方有权从上述任何一笔应付款中予以直接扣除和（或）兑付履约保证金。

4. 监造及交货前检验

4.1 监造

专用合同条款约定买方对合同货物进行监造的，双方应按本款及专用合同条款约定履行。

4.1.1 在合同货物的制造过程中，买方可派出监造人员，对合同货物的生产制造进行监造，监督合同货物制造、检验等情况。监造的范围、方式等应符合专用合同条款和（或）供货要求等合同文件的约定。

4.1.2 除专用合同条款和（或）供货要求等合同文件另有约定外，买方监造人员可到合同货物及其关键部件的生产制造现场进行监造，卖方应予配合。卖方应免费为买方监造人员提供工作条件及便利，包括但不限于必要的办公场所、技术资料、检测工具及出入许可等。除专用合同条款另有约定外，买方监造人员的交通、食宿费用由买方承担。

4.1.3 卖方制订生产制造合同货物的进度计划时，应将买方监造纳入计划安排，并提前通知买方；买方进行监造不应影响合同货物的正常生产。除专用合同条款和（或）供货要求等合同文件另有约定外，卖方应提前7日将需要买方监造人员现场监造事项通知买方；如买方监造人员未按通知出席，不影响合同货物及其关键部件的制造或检验，但买方监造人员有权事后了解、查阅、复制相关制造或检验记录。

4.1.4 买方监造人员在监造中如发现合同货物及其关键部件不符合合同约定的标准，则有权提出意见和建议。卖方应采取必要措施消除合同货物的不符，由此增加的费用和（或）造成的延误由卖方负责。

4.1.5 买方监造人员对合同货物的监造，不视为对合同货物质量的确认，不影响卖方交货后买方依照合同约定对合同货物提出质量异议和（或）退货的权利，也不免除卖方依照合同约定对合同货物所应承担的任何义务或责任。

4.2 交货前检验

专用合同条款约定买方参与交货前检验的，双方应按本款及专用合同条款约定履行。

4.2.1 合同货物交货前，卖方应会同买方代表根据合同约定对合同货物进行交货前检验并出具交货前检验记录，有关费用由卖方承担。卖方应免费为买方代表提供工作条件及便利，包括但不限于必要的办公场所、技术资料、检测工具及出入许可等。除专用合同条款另有约定外，买方代表的交通、食宿费用由买方承担。

4.2.2 除专用合同条款和（或）供货要求等合同文件另有约定外，卖方应提前7日将需要买方代表检验事项通知买方；如买方代表未按通知出席，不影响合同货物的检验。若卖方未依照合同约定提前通知买方而自行检验，则买方有权要求卖方暂停发货并重新进行检验，由此增加的费用和（或）造成的延误由卖方负责。

4.2.3 买方代表在检验中如发现合同货物不符合合同约定的标准，则有权提出异议。卖方应采取必要措施消除合同货物的不符，由此增加的费用和（或）造成的延误由卖方负责。

4.2.4 买方代表参与交货前检验及签署交货前检验记录的行为，不视为对合同货物

质量的确认，不影响卖方交货后买方依照合同约定对合同货物提出质量异议和（或）退货的权利，也不免除卖方依照合同约定对合同货物所应承担的任何义务或责任。

5.包装、标记、运输和交付

5.1 包装

5.1.1 卖方应对合同货物进行妥善包装，以满足合同货物运至施工场地及在施工场地保管的需要。包装应采取防潮、防晒、防锈、防腐蚀、防震动及防止其它损坏的必要保护措施，从而保护合同货物能够经受多次搬运、装卸、长途运输并适宜保管。

5.1.2 每个独立包装箱内应附装箱清单、质量合格证、装配图、说明书、操作指南等资料。

5.1.3 除专用合同条款另有约定外，买方无需将包装物退还给卖方。

5.2 标记

5.2.1 除专用合同条款另有约定外，卖方应在每一包装箱相邻的四个侧面以不可擦除的、明显的方式标记必要的装运信息和标记，以满足合同货物运输和保管的需要。

5.2.2 根据合同货物的特点和运输、保管的不同要求，卖方应在包装箱上清楚地标注“小心轻放”、“此端朝上，请勿倒置”、“保持干燥”等字样和其他适当标记。对于专用合同条款约定的超大超重件，卖方应在包装箱两侧标注“重心”和“起吊点”以便装卸和搬运。如果发运合同货物中含有易燃易爆物品、腐蚀物品、放射性物质等危险品，则应在包装箱上标明危险品标志。

5.3 运输

5.3.1 卖方应自行选择适宜的运输工具及线路安排合同货物运输。

5.3.2 除专用合同条款另有约定外，每件能够独立运行的设备应整套装运。该设备安装、调试、考核和运行所使用的备品、备件、易损易耗件等应随相关的主机一齐装运。

5.3.3 除专用合同条款另有约定外，卖方应在合同货物预计启运7日前，将合同货物名称、数量、箱数、总毛重、总体积（用m3表示）、每箱尺寸（长×宽×高）、装运合同货物总金额、运输方式、预计交付日期和合同货物在运输、装卸、保管中的注意事项等预通知买方，并在合同货物启运后24小时之内正式通知买方。

5.3.4卖方在根据第5.3.3项进行通知时，如果发运合同货物中包括专用合同条款约定的超大超重包装，则卖方应将超大和（或）超重的每个包装箱的重量和尺寸通知买方；

如果发运合同货物中包括易燃易爆物品、腐蚀物品、放射性物质等危险品，则危险品的品名、性质、在运输、装卸、保管方面的特殊要求、注意事项和处理意外情况的方法等，也应一并通知买方。

5.4 交付

5.4.1 除专用合同条款另有约定外，卖方应根据合同约定的交付时间和批次在施工场地车面上将合同货物交付给买方。买方对卖方交付的包装的合同货物的外观及件数进行清点核验后应签发收货清单，并自负风险和费用进行卸货。买方签发收货清单不代表对合同货物的接受，双方还应按合同约定进行后续的检验和验收。

5.4.2 合同货物的所有权和风险自交付时起由卖方转移至买方，合同货物交付给买方之前包括运输在内的所有风险均由卖方承担。

5.4.3 除专用合同条款另有约定外，买方如果发现技术资料存在短缺和（或）损坏，卖方应在收到买方的通知后7日内免费补齐短缺和（或）损坏的部分。如果买方发现卖方提供的技术资料有误，卖方应在收到买方通知后7日内免费替换。如由于买方原因导致技术资料丢失和（或）损坏，卖方应在收到买方的通知后7日内补齐丢失和（或）损坏的部分，但买方应向卖方支付合理的复制、邮寄费用。

6. 开箱检验、安装、调试、考核、验收

6.1 开箱检验

6.1.1 合同货物交付后应进行开箱检验，即合同货物数量及外观检验。开箱检验在专用合同条款约定的下列任一种时间进行：

（1）合同货物交付时；

（2）合同货物交付后的一定期限内。如开箱检验不在合同货物交付时进行，买方应在开箱检验3日前将开箱检验的时间和地点通知卖方。

6.1.2 除专用合同条款另有约定外，合同货物的开箱检验应在施工场地进行。

6.1.3 开箱检验由买卖双方共同进行，卖方应自负费用派遣代表到场参加开箱检验。

6.1.4 在开箱检验中，买方和卖方应共同签署数量、外观检验报告，报告应列明检验结果，包括检验合格或发现的任何短缺、损坏或其它与合同约定不符的情形。

6.1.5 如果卖方代表未能依约或按买方通知到场参加开箱检验，买方有权在卖方代表未在场的情况下进行开箱检验，并签署数量、外观检验报告，对于该检验报告和检验

结果，视为卖方已接受，但卖方确有合理理由且事先与买方协商推迟开箱检验时间的除外。

6.1.6 如开箱检验不在合同货物交付时进行，则合同货物交付以后到开箱检验之前，应由买方负责按交货时外包装原样对合同货物进行妥善保管。除专用合同条款另有约定外，在开箱检验时如果合同货物外包装与交货时一致，则开箱检验中发现的合同货物的短缺、损坏或其它与合同约定不符的情形，由卖方负责，卖方应补齐、更换及采取其他补救措施。如果在开箱检验时合同货物外包装不是交货时的包装或虽是交货时的包装但与交货时不一致且出现很可能导致合同货物短缺或损坏的包装破损，则开箱检验中发现合同货物短缺、损坏或其它与合同约定不符的情形的风险，由买方承担，但买方能够证明是由于卖方原因或合同货物交付前非买方原因导致的除外。

6.1.7 如双方在专用合同条款和（或）供货要求等合同文件中约定由第三方检测机构对合同货物进行开箱检验或在开箱检验过程中另行约定由第三方检验的，则第三方检测机构的检验结果对双方均具有约束力。

6.1.8 开箱检验的检验结果不能对抗在合同货物的安装、调试、考核、验收中及质量保证期内发现的合同货物质量问题，也不能免除或影响卖方依照合同约定对买方负有的包括合同货物质量在内的任何义务或责任。

6.2 安装、调试

6.2.1 开箱检验完成后，双方应对合同货物进行安装、调试，以使其具备考核的状态。安装、调试应按照专用合同条款约定的下列任一种方式进行：

（1）卖方按照合同约定完成合同货物的安装、调试工作；

（2）买方或买方安排第三方负责合同货物的安装、调试工作，卖方提供技术服务。除专用合同条款另有约定外，在安装、调试过程中，如由于买方或买方安排的第三方未按照卖方现场服务人员的指导导致安装、调试不成功和（或）出现合同货物损坏，买方应自行承担责任。如在买方或买方安排的第三方按照卖方现场服务人员的指导进行安装、调试的情况下出现安装、调试不成功和（或）造成合同货物损坏的情况，卖方应承担责任。

6.2.2 除专用合同条款另有约定外，安装、调试中合同货物运行需要的用水、用电、其他动力和原材料（如需要）等均由买方承担。

6.2.3 双方应对合同货物的安装、调试情况共同及时进行记录。

6.3 考核

6.3.1 安装、调试完成后，双方应对合同货物进行考核，以确定合同货物是否达到合同约定的技术性能考核指标。除专用合同条款另有约定外，考核中合同货物运行需要的用水、用电、其他动力和原材料（如需要）等均由买方承担。

6.3.2 如由于卖方原因合同货物在考核中未能达到合同约定的技术性能考核指标，则卖方应在双方同意的期限内采取措施消除合同货物中存在的缺陷，并在缺陷消除以后，尽快进行再次考核。

6.3.3 由于卖方原因未能达到技术性能考核指标时，为卖方进行考核的机会不超过三次。如果由于卖方原因，三次考核均未能达到合同约定的技术性能考核指标，则买卖双方应就合同的后续履行进行协商，协商不成的，买方有权解除合同。但如合同中约定了或双方在考核中另行达成了合同货物的最低技术性能考核指标，且合同货物达到了最低技术性能考核指标的，视为合同货物已达到技术性能考核指标，买方无权解除合同，且应接受合同货物，但卖方应按专用合同条款的约定进行减价或向买方支付补偿金。

6.3.4 如由于买方原因合同货物在考核中未能达到合同约定的技术性能考核指标，则卖方应协助买方安排再次考核。由于买方原因未能达到技术性能考核指标时，为买方进行考核的机会不超过三次。

6.3.5 考核期间，双方应及时共同记录合同货物的用水、用电、其他动力和原材料（如有）的使用及设备考核情况。对于未达到技术性能考核指标的，应如实记录设备表现、可能原因及处理情况等。

6.4 验收

6.4.1 如合同货物在考核中达到或视为达到技术性能考核指标，则买卖双方应在考核完成后7日内或专用合同条款另行约定的时间内签署合同货物验收证书一式二份，双方各持一份。验收日期应为合同货物达到或视为达到技术性能考核指标的日期。

6.4.2 如由于买方原因合同货物在三次考核中均未能达到技术性能考核指标，买卖双方应在考核结束后7日内或专用合同条款另行约定的时间内签署验收款支付函。

除专用合同条款另有约定外，卖方有义务在验收款支付函签署后12个月内应买方要求提供相关技术服务，协助买方采取一切必要措施使合同货物达到技术性能考核指标。买方应承担卖方因此产生的全部费用。

在上述12个月的期限内，如合同货物经过考核达到或视为达到技术性能考核指标，则买卖双方应按照第6.4.1项的约定签署合同货物验收证书。

6.4.3 除专用合同条款另有约定外，如由于买方原因在最后一批合同货物交货后6个

月内未能开始考核，则买卖双方应在上述期限届满后7日内或专用合同条款另行约定的时间内签署验收款支付函。

除专用合同条款另有约定外，卖方有义务在验收款支付函签署后6个月内应买方要求提供不超出合同范围的技术服务，协助买方采取一切必要措施使合同货物达到技术性能考核指标，且买方无需因此向卖方支付费用。

在上述6个月的期限内，如合同货物经过考核达到或视为达到技术性能考核指标，则买卖双方应按照第6.4.1项的约定签署合同货物验收证书。

6.4.4 在第6.4.2项和第6.4.3项情形下，卖方也可单方签署验收款支付函提交买方，如果买方在收到卖方签署的验收款支付函后14日内未向卖方提出书面异议，则验收款支付函自签署之日起生效。

6.4.5 合同货物验收证书的签署不能免除卖方在质量保证期内对合同货物应承担的保证责任。

7. 技术服务

7.1 卖方应派遣技术熟练、称职的技术人员到施工场地为买方提供技术服务。卖方的技术服务应符合合同的约定。

7.2 买方应免费为卖方技术人员提供工作条件及便利，包括但不限于必要的办公场所、技术资料及出入许可等。除专用合同条款另有约定外，卖方技术人员的交通、食宿费用由卖方承担。

7.3 卖方技术人员应遵守买方施工现场的各项规章制度和安全操作规程，并服从买方的现场管理。

7.4 如果任何技术人员不合格，买方有权要求卖方撤换，因撤换而产生的费用应由卖方承担。在不影响技术服务并且征得买方同意的条件下，卖方也可自负费用更换其技术人员。

8. 质量保证期

8.1 除专用合同条款和（或）供货要求等合同文件另有约定外，合同货物整体质量保证期为验收之日起12个月。如对合同货物中关键部件的质量保证期有特殊要求的，买卖双方可在专用合同条款中约定。在合同第6.4.2项情形下，无论合同货物何时验收，其

质量保证期最长为签署验收款支付函后12个月。在合同第6.4.3项情形下，无论合同货物何时验收，其质量保证期最长为签署验收款支付函后6个月。

8.2 在质量保证期内如果合同货物出现故障，卖方应自负费用提供质保期服务，对相关合同货物进行修理或更换以消除故障。更换的合同货物和（或）关键部件的质量保证期应重新计算。但如果合同货物的故障是由于买方原因造成的，则对合同货物进行修理和更换的费用应由买方承担。

8.3 质量保证期届满后，买方应在7日内或专用合同条款另行约定的时间内向卖方出具合同货物的质量保证期届满证书。

8.4 在合同第6.4.2项情形下，如在验收款支付函签署后12个月内由于买方原因合同货物仍未能达到技术性能考核指标，则买卖双方应在该12个月届满后7日内或专用合同条款另行约定的时间内签署结清款支付函。

8.5 在合同第6.4.3项情形下，如在验收款支付函签署后6个月内由于买方原因合同货物仍未进行考核或仍未达到技术性能考核指标，则买卖双方应在该6个月届满后7日内或专用合同条款另行约定的时间内签署结清款支付函。

8.6 在第8.4款和第8.5款情形下，卖方也可单方签署结清款支付函提交买方，如果买方在收到卖方签署的结清款支付函后14日内未向卖方提出书面异议，则结清款支付函自签署之日起生效。

9. 质保期服务

9.1 卖方应为质保期服务配备充足的技术人员、工具和备件并保证提供的联系方式畅通。除专用合同条款和（或）供货要求等合同文件另有约定外，卖方应在收到买方通知后24小时内做出响应，如需卖方到合同货物现场，卖方应在收到买方通知后48小时内到达，并在到达后7日内解决合同货物的故障（重大故障除外）。如果卖方未在上述时间内作出响应，则买方有权自行或委托他人解决相关问题或查找和解决合同货物的故障，卖方应承担由此发生的全部费用。

9.2 如卖方技术人员需到合同货物现场进行质保期服务，则买方应免费为卖方技术人员提供工作条件及便利，包括但不限于必要的办公场所、技术资料及出入许可等。除专用合同条款另有约定外，卖方技术人员的交通、食宿费用由卖方承担。卖方技术人员应遵守买方施工现场的各项规章制度和安全操作规程，并服从买方的现场管理。

9.3 如果任何技术人员不合格，买方有权要求卖方撤换，因撤换而产生的费用应由卖方承担。在不影响质保期服务并且征得买方同意的条件下，卖方也可自负费用更换其技术人员。

9.4 除专用合同条款另有约定外，卖方应就在施工现场进行质保期服务的情况进行记录，记载合同货物故障发生的时间、原因及解决情况等，由买方签字确认，并在质量保证期结束后提交给买方。

10. 履约保证金

除专用合同条款另有约定外，履约保证金自合同生效之日起生效，在合同货物验收证书或验收款支付函签署之日起28日后失效。如果卖方不履行合同约定的义务或其履行不符合合同的约定，买方有权扣划相应金额的履约保证金。

11. 保证

11.1 卖方保证其具有完全的能力履行本合同项下的全部义务。

11.2 卖方保证其所提供的合同货物及对合同的履行符合所有应适用的法律、行政法规、地方性法规、自治条例和单行条例、规章及其他规范性文件的强制性规定。

11.3 卖方保证其对合同货物的销售不损害任何第三方的合法权益和社会公众利益。任何第三方不会因卖方原因而基于所有权、抵押权、留置权或其他任何权利或事由对合同货物主张权利。

11.4 卖方保证合同货物符合合同约定的规格、标准、技术性能考核指标等，能够安全和稳定地运行，且合同货物（包括全部部件）全新、完整、未使用过，除非专用合同条款和（或）供货要求等合同文件另有约定。

11.5 卖方保证，卖方所提供的技术资料完整、清晰、准确，符合合同约定并且能够满足合同货物的安装、调试、考核、操作以及维修和保养的需要。

11.6 卖方保证合同范围内提供的备品备件能够满足合同货物在质量保证期结束前正常运行及维修的需要，如在质量保证期结束前因卖方原因出现备品备件短缺影响合同货物正常运行的，卖方应免费提供。

11.7 除专用合同条款和（或）供货要求等合同文件另有约定外，如果在合同货物设计使用寿命期内发生合同项下备品备件停止生产的情况，卖方应事先将拟停止生产的计

划通知买方，使买方有足够的时间考虑备品备件的需求量。根据买方要求，卖方应：

（1）以不高于同期市场价格或其向任何第三方销售同类产品的价格提供合同货物正常运行所需的全部备品备件。或

（2）免费提供可供买方或第三方制造停产备品备件所需的全部技术资料，以便买方持续获得上述备品备件以满足合同货物在寿命期内正常运行的需要。卖方保证买方或买方委托的第三方制造及买方使用这些备品备件不侵犯任何人的知识产权。

11.8 卖方保证，在合同货物设计使用寿命期内，如果卖方发现合同货物由于设计、制造、标识等原因存在足以危及人身、财产安全的缺陷，卖方将及时通知买方并及时采取修正或者补充标识、修理、更换等措施消除缺陷。

12. 知识产权

12.1 买方在履行合同过程中提供给卖方的全部图纸、文件和其他含有数据和信息的资料，其知识产权属于买方。

12.2 除专用合同条款另有约定外，买方不因签署和履行合同而享有卖方在履行合同过程中提供给买方的图纸、文件、配套软件、电子辅助程序和其他含有数据和信息的资料的知识产权。

12.3 如合同货物涉及知识产权，则卖方保证买方在使用合同货物过程中免于受到第三方提出的有关知识产权侵权的主张、索赔或诉讼的伤害。

12.4 如果买方收到任何第三方有关知识产权的主张、索赔或诉讼，卖方在收到买方通知后，应以买方名义并在买方的协助下，自负费用处理与第三方的索赔或诉讼，并赔偿买方因此发生的费用和遭受的损失。除专用合同条款另有约定外，如果卖方拒绝处理前述索赔或诉讼或在收到买方通知后28日内未作表示，买方可以自己的名义进行这些索赔或诉讼，因此发生的费用和遭受的损失均应由卖方承担。

13. 保密

合同双方应对因履行合同而取得的另一方当事人的信息、资料等予以保密。未经另一方当事人书面同意，任何一方均不得为与履行合同无关的目的使用或向第三方披露另一方当事人提供的信息、资料。

合同当事人的保密义务不适用于下列信息：

（1）非因接受信息一方的过失现在或以后进入公共领域的信息；

（2）接受信息一方当事人合法地从第三方获得并且据其善意了解第三方也不对此承担保密义务的信息；

（3）法律或法律的执行要求披露的信息。

14. 违约责任

14.1 合同一方不履行合同义务、履行合同义务不符合约定或者违反合同项下所作保证的，应向对方承担继续履行、采取修理、更换、退货等补救措施或者赔偿损失等违约责任。

14.2 卖方未能按时交付合同货物（包括仅迟延交付技术资料但足以导致合同货物安装、调试、考核、验收工作推迟的）的，应向买方支付迟延交付违约金。除专用合同条款另有约定外，迟延交付违约金的计算方法如下：

（1）从迟交的第一周到第四周，每周迟延交付违约金为迟交合同货物价格的0.5%；

（2）从迟交的第五周到第八周，每周迟延交付违约金为迟交合同货物价格的1%；

（3）从迟交第九周起，每周迟延交付违约金为迟交合同货物价格的1.5%。在计算迟延交付违约金时，迟交不足一周的按一周计算。迟延交付违约金的总额不得超过合同价格的10%。迟延交付违约金的支付不能免除卖方继续交付相关合同货物的义务，但如迟延交付必然导致合同货物安装、调试、考核、验收工作推迟的，相关工作应相应顺延。

14.3 买方未能按合同约定支付合同价款的，应向卖方支付延迟付款违约金。除专用合同条款另有约定外，迟延付款违约金的计算方法如下：

（1）从迟付的第一周到第四周，每周迟延付款违约金为迟延付款金额的0.5%；

（2）从迟付的第五周到第八周，每周迟延付款违约金为迟延付款金额的1%；

（3）从迟付第九周起，每周迟延付款违约金为迟延付款金额的1.5%。在计算迟延付款违约金时，迟付不足一周的按一周计算。迟延付款违约金的总额不得超过合同价格的10%。

15. 合同的解除

除专用合同条款另有约定外，有下述情形之一，当事人可发出书面通知全部或部分地解除合同，合同自通知到达对方时全部或部分地解除：

（1）卖方迟延交付合同货物超过3个月；

（2）合同货物由于卖方原因三次考核均未能达到技术性能考核指标或在合同约定了或双方在考核中另行达成了最低技术性能考核指标时均未能达到最低技术性能考核指标，且买卖双方未就合同的后续履行协商达成一致；

（3）买方迟延付款超过3个月；

（4）合同一方当事人未能履行合同项下任何其它义务（细微义务除外），或在未事先征得另一方当事人同意的情况下，从事任何可能在实质上不利影响其履行合同能力的活动，经另一方当事人书面通知后14日内或在专用合同条款约定的其他期限内未能对其行为作出补救；

（5）合同一方当事人出现破产、清算、资不抵债、成为失信被执行人等可能丧失履约能力的情形，且未能提供令对方满意的履约保证金。

16. 不可抗力

16.1 如果任何一方当事人受到不能预见、不能避免且不能克服的不可抗力事件的影响，例如战争、严重的火灾、台风、地震、洪水和专用合同条款约定的其他情形，而无法履行合同项下的任何义务，则受影响的一方当事人应立即将此类事件的发生通知另一方当事人，并应在不可抗力事件发生后28日内将有关当局或机构出具的证明文件提交给另一方当事人。

16.2 受不可抗力事件影响的一方当事人对于不可抗力事件导致的任何合同义务的迟延履行或不能履行不承担违约责任。但该方当事人应尽快将不可抗力事件结束或消除的情况通知另一方当事人。

16.3 双方当事人应在不可抗力事件结束或其影响消除后立即继续履行其合同义务，合同期限也应相应顺延。除专用合同条款另有约定外，如果不可抗力事件的影响持续超过140日，则任何一方当事人均有权以书面通知解除合同。

17. 争议的解决

因本合同引起的或与本合同有关的任何争议,双方可通过友好协商解决。友好协商解决不成的，可在专用合同条款中约定下列一种方式解决：

（1）向约定的仲裁委员会申请仲裁；

（2）向有管辖权的人民法院提起诉讼。

三、专用合同条款

1.一般约定

1.1.1.1 合同文件（或称合同）：指合同协议书、通用合同条款、专用合同条款、中标通知书、供货范围及分项价格表、工作说明、技术规格说明。

1.1.1.6 工作说明：指合同文件中名为“工作说明”的文件。

1.1.1.9 供货范围及分项价格表：指卖方投标文件中的分项报价表。

1.1.2 合同当事人

1.1.2.1 合同当事人：指买方、卖方。

1.1.2.2 买方：中国民用航空局空中交通管理局。

1.1.2.3 卖方：中国电子科技集团公司第五十四研究所。

1.1.9 验收：本合同验收主要分为现场验收、竣工预验收和竣工验收，详见“附件-工作说明：3.验收”。

1.1.9.1 现场验收：指本合同全部货物通过现场验收各阶段测试，买方对货物性能指标及功能等进行的确认。

1.1.9.2 竣工预验收：指由本工程监理单位组织设计、施工等单位对本合同所属工程是否满足竣工验收条件而进行的验收，是竣工验收的前置工作。

1.1.9.3 竣工验收：指由建设单位（同本合同“买方”）组织设计、施工、监理等单位对本合同所属工程全部建设内容完成情况的验收。

1.1.13 工程

1.1.13.1 工程：GNSS 性能监测与评估系统工程。

1.1.13.2 施工场地（或称工地、施工现场）：在北京民航空管设备保障与测试基地的技术中心机房建设 1 个主控中心。北京、哈尔滨、上海、海口、成都、拉萨、阿拉善盟、乌鲁木齐建设 8 个监测站。

1.3 合同文件的优先顺序

解释合同文件的优先顺序如下：

（1）合同协议书；

（2）专用合同条款；

（3）通用合同条款；

（4）中标通知书；

（5）合同附件：供货范围及分项价格表；

（6）合同附件：工作说明；

（7）合同附件：项目管理方案；

（8）合同附件：技术规格说明；

（9）合同附件：保密协议；

（10）投标函；

（11）商务和技术偏差表；

（12）其他合同文件。

1.5 联络

1.5.1 以下所列为各方联系的有效方式和法律文书送达地址，包括收件人、电话、传真、地址、电子邮箱等；任何一方在收到另一方发出的变更下列联系方式的书面通知之前，该方的有效联系方式仍以下列所载为准：

买方联系人：闫磊

电话：010-87786987

电子邮箱：yale727@163.com

通信地址：北京市朝阳区东三环中路 12 号

卖方联系人：易卿武

电话：0311-86921407

传真：0311-86928548

电子邮箱：13933827718@139.com

通信地址：河北省石家庄市中山西路 589 号

1.5.2 合同履行中与合同有关的任何联络，送达到第 1.5.1 项指定的联系人即视为送达，以送达日期或文件中指定生效日期为生效日期，两者中以晚的一个日期为准。

2.合同范围

2.1 供货范围：

2.1.1 合同供货范围详见“附件-供货范围及分项价格表”。

2.1.2 卖方确保其申明的供货范围是在不使买方另行采购其他任何部件的前提下能够运转的独立集成系统。但在执行合同过程中如发现有任何漏项和短缺，在发货清单中并未列入而且确实是卖方供货范围中应该有的，均应由卖方自费负责按买方要求时间将所缺的货物、技术资料等补齐，确保提供货物能够正常运转，否则卖方应按照本合同第14.1 条承担违约责任。

2.2 供货要求：

2.2.1 卖方负责合同供货范围内硬件设备、定制软件及商用软件的供货，负责提供硬件设备的现场技术督导、系统集成和其他伴随服务，并需配合买方组织评审、检查和验收，使系统最终完成现场验收。

2.2.1.1 现场技术督导具体为：买方指定的具有相应资质要求的安装工程施工单位负责将硬件设备进行上架、安装及加电，卖方负责对此项工作监督和指导。

2.2.1.2 系统集成具体为：卖方负责制定系统的硬件配制方案和软件集成调试技术方案，并负责全系统联合调试，使其形成一套完整、可用、安全并符合本合同“附件-技术规格说明”要求的完整系统。

2.2.1.3 其他伴随服务具体为：项目管理与实施、技术服务、技术资料及档案、运输、保险、培训、评审、验收及系统质保等服务，详见合同“附件-工作说明”。

2.2.2 供货范围详见合同附件-供货范围及分项价格表；凡卖方供应的货物应是全新的、技术先进的、性能稳定的且仅供本项目所使用的产品。

2.2.4 卖方负责提供本项目的总体实施方案，应根据买方有关项目进度及目标的要求，制定出项目管理方案，其中应包括项目实施计划、项目组织机构、项目参与人员等内容，并服从买方对各项内容的调整。

3.合同价格与支付

3.1.1 合同约定的价格为含税固定总价。本合同上述价格包括合同货物、评审、运输、现场技术督导、调试、技术资料、人员培训、验收及技术服务、质保期服务等费用，还包括但不限于合同货物的税费、包装费、运杂费、保险费等完成本合同执行过程中所有可能发生的一切费用（不含买方参加培训及验收人员的异地差旅交通和住宿费用）。合同单价的分项价格见“附件-供货范围及分项价格表”。本合同总价在合同供货期内为不变价（合同总价含运费及保险费、税费、服务费等相关费用），卖方应认真分析、估算可

能发生的所有相关费用，在项目实施过程中不得藉此要求增加任何费用。

3.2 合同价款的支付

合同约定的付款方式如下：

本合同使用货币种类为人民币。

支付方式：银行汇款。

（1）从本合同签订且买方收到卖方提供的签约合同价 10%的履约保函及合法有效的增值税专用发票、书面请款函后 30 日内，买方向卖方支付合同总价的 10%作为首付款，计人民币（大写）壹佰零贰万伍仟元整（¥1,025,000.00 元）。

（2）该系统通过详细设计评审且买方收到卖方提供的合同价 20%的合法有效的增值税专用发票、书面请款函和评审报告后 30 日内买方向卖方支付合同价的 20%的合同款，计人民币（大写）贰佰零伍万元整（¥2,050,000.00 元）。

（3）该系统通过功能性验收，并且买方收到卖方提供的合同价 30%的合法有效的增值税专用发票、书面请款函和功能性验收合格证后 30 日内，买方向卖方支付合同价的 30%的合同款，计人民币（大写）叁佰零柒万伍仟元整（¥3,075,000.00 元）。

（4）该系统通过现场验收，并且买方收到卖方提供的有效期 5 年且金额为合同价 5%的质量保函、合同价 30%的合法有效的增值税专用发票、书面请款函和现场验收合格证后 30 日内，买方向卖方支付合同价的 30%的合同款，计人民币（大写）叁佰零柒万伍仟元整（¥3,075,000.00 元）。

（5）完成本项目工程档案收集整理及移交，并且买方收到卖方提供的合同价 10%的合法有效的增值税专用发票、书面请款函及买方开具的档案交接文据后 30 日内，买方向卖方支付合同价的 10%的合同款，计人民币（大写）壹佰零贰万伍仟元整（¥1,025,000.00 元）。

（6）卖方确保向买方开具或提供的增值税专用发票票面信息全部真实并通过防伪税控系统认证，相关品目、价款等内容与本合同约定一致。

4.交货前检验

本合同中交货前检验指“功能性验收”。详见合同“附件-工作说明：3.验收”。

5.包装、标记、运输和交付

5.1 包装

5.1.1 所有货物均采用标准包装，包装、运杂和保险等运至交货地点的所有费用由卖方负责，费用包含在投标报价中。

5.4 交付

5.4.2 合同货物的所有权和风险自全系统整体验收通过且买卖双方共同签署现场验收合格证之日起由卖方转移至买方，在此之前合同货物包括运输在内的所有风险均由卖方承担。

6.开箱检验、现场技术督导、调试、考核、验收

6.1 开箱检验

6.1.1 开箱检验在约定的下列时间进行：合同货物到货后，买方指定时间。

6.1.2 开箱检验地点：买方指定地点。

6.1.7 第三方检测机构的确定：买方可以根据需要委托第三方检测机构进行检验，卖方需配合第三方检测机构提供相应的材料。

6.2 现场技术督导、调试

6.2.1 买方指定的具有相应资质要求的安装工程施工单位负责将硬件设备进行上架、安装及加电。

6.2.2 卖方负责对硬件设备进行上架、安装及加电工作的监督和指导，并负责系统软硬件的集成调试及全系统联合调试。

6.3 考核

本合同中考核指系统各阶段验收测试，详见合同“附件-工作说明：3.验收”。

6.4 验收

本合同中验收指功能性验收、现场验收、联合调试验收、竣工预验收和竣工验收。详见合同“附件-工作说明：3.验收”。

8.质量保证期

8.1 本系统质保期为 5 年，质保起始时间自买卖双方签订的现场验收合格证书之日起计算。卖方应在现场验收通过后向买方提交金额为合同价 5%，有效期为 5 年的质量保函。如硬件生产厂家提供的硬件保修期高于 5 年，应以硬件生产厂家的保修期为准。

9.质保期服务

9.1 详见合同“附件-工作说明：4.保修及后续服务”。

10.履约保证金

卖方应在合同签订后 30 个工作日内向买方提交金额为签约合同价 10%的履约保证金，形式为银行保函，有效期至系统现场验收通过后 30 天止。

12.知识产权

12.4 如果买方收到任何第三方有关知识产权的主张、索赔或诉讼，卖方在收到买方通知后，应以买方名义并在买方的协助下，自负费用处理与第三方的索赔或诉讼 ，并赔偿买方因此发生的费用和遭受的损失，包括但不限于：诉讼费、鉴定费、评估费、保全费、律师费等。除专用合同条款另有约定外，如果卖方拒绝处理前述索赔或诉讼或在收到买方通知后 28 日内未作表示，买方可以自己的名义进行这些索赔或诉讼，因此发生的费用和遭受的损失均应由卖方承担。

12.5 卖方为本项目定制开发软件的知识产权及所有权归买方所有，卖方未经买方书面许可不得擅自交予第三方使用。

14.违约责任

14.1 违约责任约定的以下其他情形：

14.1.1 如由于卖方原因，影响本工程的设备到货、安装、调试、验收等工程进度的，应当承担违约责任，每延误一周，承担所涉及合同价款 1% 的违约金。

14.1.2 如货物由于卖方责任经验收不能达到本合同所规定的一项或多项关键指标时，且未按照双方约定时间修复或更换，则卖方应承担所涉及货物合同价格 30%的违约金，且买方有权解除所涉及货物部分的合同。若买方解除该部分合同的，卖方同时应按本合同约定承担责任。若买方不解除该部分的合同，卖方应立即无偿修复或更换，且每天承担所涉及货物价款 1%的违约金，直至再次进行系统现场验收合格为止。在此期间，买方仍有权选择解除该部分合同与退货。

14.1.3 卖方支付违约金并不免除按合同所规定的相应义务。若卖方直接解除合同的，

应当经买方同意。如买方同意，则卖方应当承担合同总价款 30%的违约金，并应立即返还买方已支付的全部合同款项。同时，买方有权要求卖方按买方计划配合买方撤走卖方已交付的设备，因撤走设备所发生的费用由卖方承担。在卖方支付违约金和返还合同款项前，无权撤走已交付的设备。

14.1.4 若卖方的货物有潜在缺陷（如不符合设计要求、本合同的约定等在系统现场验收中未发现的潜在缺陷），产生质量问题，造成买方损失的，即使已过质保期，卖方也应按本合同约定以终身责任制承担违约与赔偿责任。

14.1.5 在质保期内，若有质量问题，卖方未能在买方通知之时点起 1 小时内回应，并在 24 小时内派人员到达用户现场，48 小时内处理完毕，除承担本合同 14.1.4 约定的相关违约责任外，买方有权另请第三方修理或自行修理，相关费用由卖方承担，买方有权从质量保证金中直接扣除。同时，买方的自行修理或请第三方的修理不免除卖方的质量责任与其他责任。

15.合同的解除

通用条款中（3）修订为：买方无正当理由迟延付款超过 3 个月；

通用条款中（5）修订为：合同一方当事人出现破产、清算、资不抵债、成为失信被执行人等可能丧失履约能力的情形，且未能提供令合同约定的履约保证金。

新增条款（6）：由于卖方原因，导致系统详细设计方案经 3 次评审仍无法通过，买方有权解除合同，卖方需赔偿由此对买方造成的一切经济损失，包括但不限于诉讼费、评估费、鉴定费、保全费、律师费等实现债权的费用。

17.争议的解决

17.1 因本合同及合同有关事项产生的争议，买卖双方应通过友好协商解决；如经协商不能得到解决的，买卖双方同意选择以下方式解决争议：

向买方所在地有管辖权的人民法院提起诉讼。

17.2 合同有关争议解决的条款独立存在，合同的变更、解除、终止、无效或者被撤销均不影响其效力。在诉讼期间，除正在进行诉讼的部分外，合同其它部分应继续执行。

18.合同其他条款的约定

18.1 除专用术语外，与招标投标有关的语言均使用中文。必要时专用术语应附有中

文注释。

18.2 工程预验收前 15 日，卖方负责按买方要求提交整理完备的工程档案，具体要求详见“附件 3 工作说明：5.项目资料及工程档案”。

18.3 本合同自双方法定代表人或其委托代理人签字并经双方加盖公章或合同专用章之日起生效。本合同正文一式【六】份。买、卖双方各执【三】份，均具有同等法律效力。

四、合同附件

附件 1 中标通知书

中标通知书

中国电子科技集团公司第五十四研究所：

贵公司参与下述项目，经评议，确认贵公司中标。

项目名称：GNSS 性能监测与评估系统招标采购项目（第三次）

项目编号：0748-2311CA1149GK/01

中标金额：¥10,250,000.00

请在收到此中标通知书后 30 日内，与中国民用航空局空中交通管理局联系签订合同等事宜。

特此通知。

2024 年 4 月 3 日

中航材国际招标有限公司

地址：北京市朝阳区霄云里 2 号

电话：010-84384807

联系人：史宛灵

中航材国际招标有限公司 招标专用章（一）

附件 2 供货范围及分项价格表

表 1 供货范围及分项价格表　　单位：元，所有报价均为含税价

序号	项目	型号	规格	数量	厂商	单价	总价	备注
一	总价（含税）						10250000	
1	**监测站**						5566400	
1.1	**北京监测站**							
1.1.1	GNSS 监测接收机 A	PwrPak7		1	诺瓦泰（NovAtel）	115000	115000	
1.1.2	GNSS 监测接收机 B	PolaRx5S		1	Septentrio	180000	180000	
1.1.3	GNSS 监测接收机 C	NPR-055		1	中国电科 54 所	120000	120000	
1.1.4	GNSS 接收天线 A	ARF-AS1-3D-FS		1	RF-Tech	12000	12000	
1.1.5	GNSS 接收天线 B	VeraChoke		1	Septentrio	33000	33000	
1.1.6	GNSS 接收天线 C	HX-CGX601A		1	华信	7000	7000	
1.1.7	数据处理单元	IPC-8206E		2	研祥	14600	29200	
1.1.8	数据交换设备	S5735-S24T4XE-V2		2	华为	2600	5200	
1.1.9	数据安全设备	AF1000-AI-55		2	新华三	60000	120000	
1.1.10	UPS 电源	UPS2000-G-3KRTL		1	华为	10000	10000	
1.1.11	机柜	JXDH-TS2401		1	盈凡	10000	10000	
1.1.12	KVM 切换器	MT-1708UL		1	迈拓维矩	5000	5000	
1.1.13	天线馈线电缆	LMR240		1	中国电科 54 所	5000	5000	
1.1.14	随机辅材（配件及线缆）	定制		1	中国电科 54 所	0	0	
1.1.15	射频接口适配器	AS-3		1	中国电科 54 所	5000	5000	
1.1.16	网络电源	EN10/G801MI		1	同为	2000	2000	
1.2	**哈尔滨监测站**							
1.2.1	GNSS 监测接收机 A	PwrPak7		1	诺瓦泰（NovAtel）	115000	115000	
1.2.2	GNSS 监测接收机 B	PolaRx5S		1	Septentrio	180000	180000	
1.2.3	GNSS 监测接收机 C	NPR-055		1	中国电科 54 所	120000	120000	
1.2.4	GNSS 接收天线 A	ARF-AS1-3D-FS		1	RF-Tech	12000	12000	

项目名称：GNSS 性能监测与评估系统招标采购项目

序号	项目	型号	规格	数量	厂商	单价	总价	备注
1.2.5	GNSS 接收天线 B	VeraChoke		1	Septentrio	33000	33000	
1.2.6	GNSS 接收天线 C	HX-CGX601A		1	华信	7000	7000	
1.2.7	数据处理单元	IPC-8206E		2	研祥	14600	29200	
1.2.8	数据交换设备	S5735-S24T4XE-V2		2	华为	2600	5200	
1.2.9	数据安全设备	AF1000-AI-55		2	新华三	60000	120000	
1.2.10	UPS 电源 3KVA	UPS2000-G-3KRTL		1	华为	10000	10000	
1.2.11	机柜	JXDH-TS2401		1	盈凡	10000	10000	
1.2.12	KVM 切换器	MT-1708UL		1	迈拓维矩	5000	5000	
1.2.13	天线馈线电缆	LMR240		1	中国电科 54 所	10000	10000	
1.2.14	随机辅材（配件及线缆）	定制		1	中国电科 54 所	0	0	
1.2.15	射频接口适配器	AS-3		1	中国电科 54 所	5000	5000	
1.2.16	网络电源	EN10/G801MI		1	同为	2000	2000	
1.3	**上海监测站**							
1.3.1	GNSS 监测接收机 A	PwrPak7		1	诺瓦泰（NovAtel）	115000	115000	
1.3.2	GNSS 监测接收机 B	PolaRx5S		1	Septentrio	180000	180000	
1.3.3	GNSS 监测接收机 C	NPR-055		1	中国电科 54 所	120000	120000	
1.3.4	GNSS 接收天线 A	ARF-AS1-3D-FS		1	RF-Tech	12000	12000	
1.3.5	GNSS 接收天线 B	VeraChoke		1	Septentrio	33000	33000	
1.3.6	GNSS 接收天线 C	HX-CGX601A		1	华信	7000	7000	
1.3.7	数据处理单元	IPC-8206E		2	研祥	14600	29200	
1.3.8	数据交换设备	S5735-S24T4XE-V2		2	华为	2600	5200	
1.3.9	数据安全设备	AF1000-AI-55		2	新华三	60000	120000	
1.3.10	机柜	JXDH-TS2401		1	盈凡	10000	10000	
1.3.11	KVM 切换器	MT-1708UL		1	迈拓维矩	5000	5000	
1.3.12	天线馈线电缆	LMR240		1	中国电科 54 所	5000	5000	
1.3.13	随机辅材（配件及线缆）	定制		1	中国电科 54 所	0	0	
1.3.14	射频接口适配器	AS-3		1	中国电科 54 所	5000	5000	

项目名称：GNSS 性能监测与评估系统招标采购项目

序号	项目	型号	规格	数量	厂商	单价	总价	备注
1.3.15	网络电源	EN10/G801MI		1	同为	2000	2000	
1.4	**海口监测站**							
1.4.1	GNSS 监测接收机 A	PwrPak7		1	诺瓦泰（NovAtel）	115000	115000	
1.4.2	GNSS 监测接收机 B	PolaRx5S		1	Septentrio	180000	180000	
1.4.3	GNSS 监测接收机 C	NPR-055		1	中国电科 54 所	120000	120000	
1.4.4	GNSS 接收天线 A	ARF-AS1-3D-FS		1	RF-Tech	12000	12000	
1.4.5	GNSS 接收天线 B	VeraChoke		1	Septentrio	33000	33000	
1.4.6	GNSS 接收天线 C	HX-CGX601A		1	华信	7000	7000	
1.4.7	数据处理单元	IPC-8206E		2	研祥	14600	29200	
1.4.8	数据交换设备	S5735-S24T4XE-V2		2	华为	2600	5200	
1.4.9	数据安全设备	AF1000-AI-55		2	新华三	60000	120000	
1.4.10	机柜	JXDH-TS2401		1	盈凡	10000	10000	
1.4.11	KVM 切换器	MT-1708UL		1	迈拓维矩	5000	5000	
1.4.12	天线馈线电缆	LMR240		1	中国电科 54 所	5000	5000	
1.4.13	随机辅材（配件及线缆）	定制		1	中国电科 54 所	0	0	
1.4.14	射频接口适配器	AS-3		1	中国电科 54 所	5000	5000	
1.4.15	网络电源	EN10/G801MI		1	同为	2000	2000	
1.5	**成都监测站**							
1.5.1	GNSS 监测接收机 A	PwrPak7		1	诺瓦泰（NovAtel）	115000	115000	
1.5.2	GNSS 监测接收机 B	PolaRx5S		1	Septentrio	180000	180000	
1.5.3	GNSS 监测接收机 C	NPR-055		1	中国电科 54 所	120000	120000	
1.5.4	GNSS 接收天线 A	ARF-AS1-3D-FS		1	RF-Tech	12000	12000	
1.5.5	GNSS 接收天线 B	VeraChoke		1	Septentrio	33000	33000	
1.5.6	GNSS 接收天线 C	HX-CGX601A		1	华信	7000	7000	
1.5.7	数据处理单元	IPC-8206E		2	研祥	14600	29200	
1.5.8	数据交换设备	S5735-S24T4XE-V2		2	华为	2600	5200	
1.5.9	数据安全设备	AF1000-AI-55		2	新华三	60000	120000	

项目名称：GNSS 性能监测与评估系统招标采购项目

序号	项目	型号	规格	数量	厂商	单价	总价	备注
1.5.10	UPS 电源 3KVA	UPS2000-G-3KRTL		1	华为	10000	10000	
1.5.11	机柜	JXDH-TS2401		1	盈凡	10000	10000	
1.5.12	KVM 切换器	MT-1708UL		1	迈拓维矩	5000	5000	
1.5.13	天线馈线电缆	LMR240		1	中国电科 54 所	5000	5000	
1.5.14	随机辅材（配件及线缆）	定制		1	中国电科 54 所	0	0	
1.5.15	射频接口适配器	AS-3		1	中国电科 54 所	5000	5000	
1.5.16	网络电源	EN10/G801MI		1	同为	2000	2000	
1.6	**拉萨监测站**							
1.6.1	GNSS 监测接收机 A	PwrPak7		1	诺瓦泰（NovAtel）	115000	115000	
1.6.2	GNSS 监测接收机 B	PolaRx5S		1	Septentrio	180000	180000	
1.6.3	GNSS 监测接收机 C	NPR-055		1	中国电科 54 所	120000	120000	
1.6.4	GNSS 接收天线 A	ARF-AS1-3D-FS		1	RF-Tech	12000	12000	
1.6.5	GNSS 接收天线 B	VeraChoke		1	Septentrio	33000	33000	
1.6.6	GNSS 接收天线 C	HX-CGX601A		1	华信	7000	7000	
1.6.7	数据处理单元	IPC-8206E		2	研祥	14600	29200	
1.6.8	数据交换设备	S5735-S24T4XE-V2		2	华为	2600	5200	
1.6.9	数据安全设备	AF1000-AI-55		2	新华三	60000	120000	
1.6.10	机柜	JXDH-TS2401		1	盈凡	10000	10000	
1.6.11	KVM 切换器	MT-1708UL		1	迈拓维矩	5000	5000	
1.6.12	天线馈线电缆	LMR240		1	中国电科 54 所	12000	12000	
1.6.13	随机辅材（配件及线缆）	定制		1	中国电科 54 所	0	0	
1.6.14	射频接口适配器	AS-3		1	中国电科 54 所	5000	5000	
1.6.15	网络电源	EN10/G801MI		1	同为	2000	2000	
1. 7	**阿拉善监测站**							
1.7.1	GNSS 监测接收机 A	PwrPak7		1	诺瓦泰（NovAtel）	115000	115000	
1.7.2	GNSS 监测接收机 B	PolaRx5S		1	Septentrio	180000	180000	
1.7.3	GNSS 监测接收机 C	NPR-055		1	中国电科	120000	120000	

项目名称：GNSS 性能监测与评估系统招标采购项目

序号	项目	型号	规格	数量	厂商	单价	总价	备注
					54 所			
1.7.4	GNSS 接收天线 A	ARF-AS1-3D-FS		1	RF-Tech	12000	12000	
1.7.5	GNSS 接收天线 B	VeraChoke		1	Septentrio	33000	33000	
1.7.6	GNSS 接收天线 C	HX-CGX601A		1	华信	7000	7000	
1.7.7	数据处理单元	IPC-8206E		2	研祥	14600	29200	
1.7.8	数据交换设备	S5735-S24T4XE-V2		2	华为	2600	5200	
1.7.9	数据安全设备	AF1000-AI-55		2	新华三	60000	120000	
1.7.10	UPS 电源 6KVA	UPS2000-H-3KRTL		1	华为	10000	10000	
1.7.11	机柜	JXDH-TS2401		1	盈凡	10000	10000	
1.7.12	KVM 切换器	MT-1708UL		1	迈拓维矩	5000	5000	
1.7.13	天线馈线电缆	LMR240		1	中国电科 54 所	5000	5000	
1.7.14	随机辅材（配件及线缆）	定制		1	中国电科 54 所	0	0	
1.7.15	射频接口适配器	AS-3		1	中国电科 54 所	5000	5000	
1.7.16	网络电源	EN10/G801MI		1	同为	2000	2000	
1.8	**乌鲁木齐监测站**							
1.8.1	GNSS 监测接收机 A	PwrPak7		1	诺瓦泰（NovAtel）	115000	115000	
1.8.2	GNSS 监测接收机 B	PolaRx5S		1	Septentrio	180000	180000	
1.8.3	GNSS 监测接收机 C	NPR-055		1	中国电科 54 所	120000	120000	
1.8.4	GNSS 接收天线 A	ARF-AS1-3D-FS		1	RF-Tech	12000	12000	
1.8.5	GNSS 接收天线 B	VeraChoke		1	Septentrio	33000	33000	
1.8.6	GNSS 接收天线 C	HX-CGX601A		1	华信	7000	7000	
1.8.7	数据处理单元	IPC-8206E		3	研祥	14600	43800	
1.8.8	数据交换设备	S5735-S24T4XE-V2		3	华为	2600	7800	
1.8.9	数据安全设备	AF1000-AI-55		2	新华三	60000	120000	
1.8.10	UPS 电源 3KVA	UPS2000-G-3KRTL		2	华为	10000	20000	
1.8.11	机柜	JXDH-TS2401		2	盈凡	10000	20000	
1.8.12	KVM 切换器	MT-1708UL		1	迈拓维矩	5000	5000	
1.8.13	天线馈线电缆	LMR240		1	中国电科 54 所	5000	5000	

项目名称：GNSS 性能监测与评估系统招标采购项目

序号	项目	型号	规格	数量	厂商	单价	总价	备注
1.8.14	随机辅材（配件及线缆）	定制		1	中国电科54所	0	0	
1.8.15	射频接口适配器	AS-3		1	中国电科54所	5000	5000	
1.8.16	网络电源	EN10/G801MI		1	同为	2000	2000	
1.9	**监测站软件**							
1.9.1	导航信号观测功能							
1.9.1.1	数据接收模块	定制		1	中国电科54所	20000	20000	
1.9.2	数据预处理功能							
1.9.2.1	数据解析模块	定制		1	中国电科54所	20000	20000	
1.9.2.2	数据处理模块	定制		1	中国电科54所	30000	30000	
1.9.3	数据预处理功能							
1.9.3.1	数据处理模块	定制		1	中国电科54所	60000	60000	
1.9.4	监控维护功能							
1.9.4.1	设备状态监测	定制		1	中国电科54所	20000	20000	
1.9.4.2	参数配置模块	定制		1	中国电科54所	30000	30000	
1.9.4.3	远程操作维护	定制		1	中国电科54所	20000	20000	
1.9.4.4	自动切换	定制		1	中国电科54所	50000	50000	
1.9.5	数据传输与存储功能							
1.9.5.1	数据存储与输出	定制		1	中国电科54所	30000	30000	
2	**主控中心（含税）**						4411800	
2.1	**主控中心硬件**							
2.1.1	内网数据接收处理单元	NF5280m6		2	浪潮	30800	61600	
2.1.2	内网 web 处理单元	NF5280m6		2	浪潮	30800	61600	
2.1.3	外网数据接收处理单元	NF5280m6		2	浪潮	30800	61600	

项目名称：GNSS 性能监测与评估系统招标采购项目

序号	项目	型号	规格	数量	厂商	单价	总价	备注
2.1.4	外网 web 处理单元	NF5280m6		2	浪潮	30800	61600	
2.1.5	web 业务处理单元	NF5280m6		2	浪潮	30800	61600	
2.1.6	数据库处理单元	NF5280m6		2	浪潮	30800	61600	
2.1.7	监测告警处理单元	NF5280m6		2	浪潮	30800	61600	
2.1.8	数据质量 评估处理单元	NF5280m6		1	浪潮	30800	30800	
2.1.9	基准维持处理单元	NF5280m6		1	浪潮	30800	30800	
2.1.10	GPS/BDS 评估处理单元	NF5280m6		2	浪潮	30800	61600	
2.1.11	BDSBAS 评估处理单元	NF5280m6		2	浪潮	30800	61600	
2.1.12	控制管理处理单元	NF5280m6		2	浪潮	30800	61600	
2.1.13	数据管理与 发布处理单元	NF5280m6		2	浪潮	30800	61600	
2.1.14	实时监控工作单元	P720		4	联想	19800	79200	
2.1.15	评估分析工作单元	P720		2	联想	19800	39600	
2.1.16	网络存储设备	OceanStor 5210		2	华为	220800	441600	
2.1.17	NTP 处理单元	T600-BDOCP		2	北斗邦泰	20000	40000	
2.1.18	GNSS 接收天线	北斗邦泰		2	北斗邦泰	0	0	
2.1.19	天线馈线电缆	LMR240		70m	中国电科 54 所	50	3500	
2.1.20	外网数据交换单元	S6730-H48X6C-V2		2	华为	25200	50400	
2.1.21	内网数据交换单元	S5735-S48T4XE-V2		2	华为	7500	15000	
2.1.22	内网数据 安全防护单元	AF1000-AI-75		2	新华三	97000	194000	
2.1.23	汇聚数据 安全防护单元	AF1000-AI-75		2	新新华三	97000	194000	
2.1.24	外网数据 安全防护单元	AF1000-AI-75		2	新新华三	97000	194000	
2.1.25	安管一体机	NS-SecCenter X6025		1	新新华三	560000	560000	
2.1.26	网闸	H3C SecPath GAP2000-BE		2	新新华三	100000	200000	
2.1.27	KVM 切换器	MT-1708UL		5	迈拓维矩	5000	25000	
2.1.28	民航通信网 IP 业务接入设备	NetEngine 8000E M8		2	华为	229900	459800	

项目名称：GNSS 性能监测与评估系统招标采购项目

序号	项目	型号	规格	数量	厂商	单价	总价	备注
2.1.29	工作台	定制		6	中国电科54 所	5400	32400	
2.2	**主控中心软件**							
2.2.1	数据接收预处理功能							
2.2.1.1	数据接收软件	定制		1	中国电科54 所	30000	30000	
2.2.1.2	多路数据交叉验证软件	定制		1	中国电科54 所	20000	20000	
2.2.1.3	NANU/NABU信息采集和解析软件	定制		1	中国电科54 所	20000	20000	
2.2.1.4	BDSBAS 数据接收和解析软件	定制		1	中国电科54 所	30000	30000	
2.2.1.5	BDSBAS 服务性能监测信息接收和解析软件	定制		1	中国电科54 所	30000	30000	
2.2.1.6	监测站坐标维持软件	定制		1	中国电科54 所	20000	20000	
2.2.2	信息服务产品生成							
2.2.2.1	GPS L1 C/A 实时监测告警/预测告警软件	定制		1	中国电科54 所	50000	50000	
2.2.2.2	BDS B1I 实时监测告警/预测告警软件	定制		1	中国电科54 所	50000	50000	
2.2.2.3	BDS B1C 实时监测告警/预测告警软件	定制		1	中国电科54 所	50000	50000	
2.2.2.4	GPS 实时监测软件	定制		1	中国电科54 所	50000	50000	
2.2.2.5	BDS实时监测软件	定制		1	中国电科54 所	50000	50000	
2.2.2.6	BDSBAS实时监测软件	定制		1	中国电科54 所	50000	50000	
2.2.2.7	GPS/BDS 民航应用服务性能分析预测软件	定制		1	中国电科54 所	50000	50000	
2.2.2.8	BDSBAS 民航应用服务性能分析预测软	定制		1	中国电科54 所	50000	50000	

项目名称：GNSS 性能监测与评估系统招标采购项目

序号	项目	型号	规格	数量	厂商	单价	总价	备注
	件							
2.2.2.9	BDSBSAS 信号性能分析软件	定制		1	中国电科 54 所	50000	50000	
2.2.2.10	BDSBAS 星历改正数据分析软件	定制		1	中国电科 54 所	50000	50000	
2.2.2.11	NANU/NABU/BDSBAS 报文统计分析软件	定制		1	中国电科 54 所	20000	20000	
2.2.2.12	信号干扰分析软件	定制		1	中国电科 54 所	50000	50000	
2.2.2.13	监测站数据质量分析软件	定制		1	中国电科 54 所	30000	30000	
2.2.2.14	卫星和接收机硬件延迟解算软件	定制		1	中国电科 54 所	30000	30000	
2.2.2.15	GPS 精密轨道事后分析软件	定制		1	中国电科 54 所	20000	20000	
2.2.2.16	GPS 精密钟差事后分析软件	定制		1	中国电科 54 所	20000	20000	
2.2.2.17	GPS 服务性能事后分析软件	定制		1	中国电科 54 所	20000	20000	
2.2.2.18	BDS 精密轨道事后分析软件	定制		1	中国电科 54 所	20000	20000	
2.2.2.19	BDS 精密钟差事后分析软件	定制		1	中国电科 54 所	20000	20000	
2.2.2.20	BDS 服务性能事后分析软件	定制		1	中国电科 54 所	30000	30000	
2.2.2.21	BDSBAS 服务性能事后分析软件	定制		1	中国电科 54 所	30000	30000	
2.2.2.22	电离层分析评估软件	定制		1	中国电科 54 所	30000	30000	
2.2.2.23	Web 服务软件	定制		1	中国电科 54 所	20000	20000	
2.2.2.24	Web 业务处理软件	定制		1	中国电科 54 所	20000	20000	
2.2.2.25	GPS/BDS 服务性能评估报告生成软件	定制		1	中国电科 54 所	10000	10000	
2.2.2.26	BDSBAS 服务性能评估报告生成软件	定制		1	中国电科 54 所	10000	10000	
2.2.3	数据管理与记录							

项目名称：GNSS 性能监测与评估系统招标采购项目

序号	项目	型号	规格	数量	厂商	单价	总价	备注
2.2.3.1	数据库软件	定制		1	中国电科54所	20000	20000	
2.2.3.2	数据管理软件	定制		1	中国电科54所	20000	20000	
2.2.4	监控维护功能							
2.2.4.1	系统控制管理软件	定制		1	中国电科54所	50000	50000	
2.2.5	运行管理功能							
2.2.5.1	用户管理软件	定制		1	中国电科54所	24100	24100	
3	**配套备品备件（含税）**						253800	
3.1	GNSS 监测接收机	NPR-055		1	中国电科54所	120000	120000	
3.2	GNSS 接收天线	HX-CGX601A		1	华信	7000	7000	
3.3	GNSS 监测站数据处理单元	IPC-8206E		1	研祥	14600	14600	
3.4	数据处理中心处理单元	NF5280m6		3	浪潮	30800	92400	
3.5	数据处理中心工作单元	P720		1	联想	19800	19800	
4	**商用软件（含税）**						18000	
4.1	操作系统软件	Windows10		6	Windows	3000	18000	
4.2	双机热备软件	Keepalived		8	开源	0	0	
二	其它费用小计					0	0	含
三	合计金额人民币大写：壹仟零贰拾伍万元整　小写：￥10,250,000.00 元							
	注：1 其它费用小计栏若含于总价之内，请在备注中注明“含”或“免”的字样； 2 硬件设备配置见表 2。							

表 2 硬件设备配置表

序号	设备配制类型	合计数量	所选型号	所选设备参数	厂商
1	GNSS 接收机 A	8	PwrPak7	可跟踪观测的 GNSS 卫星信号包括：GPS：L1C/A, L1C, L2C, L2P, L5 ； GLONASS：L1C/A, L2C/A, L2P,L3, L5 ； BeiDou：B1I, B1C, B2I, B3I、B2a, B2b ； Galileo：E1, E5 AltBOC,E5a, E5b E6；SBAS：L1, L5 ； Nav IC (IRNSS)：L5；QZSS：L1C/A, L1C, L1S, L2C, L5 可输出所有星座的伪距、相位、多普勒、载噪比、星历、历书； 支持最高 20Hz 内频率可调 支持标准数据记录格式，包括 RINEX 标准数据格式（观测数据、导航电文等）、BINEX 数据格式、NMEA 输出格式、RTCM 标准输出格式等； 相位噪声偏差 0.03rad；所有频点的伪距精度均优于 16cm；所有频点载波相位精度均优于 1.5mm。； 数据完整率优于 95%。具备远程控制和升级能力。 工作温度：-40~+75℃；相对湿度：95%（非冷凝）；最高工作高度：不低于海拔 5000m	NovAtel
2	GNSS 接收机 B	8	PolaRx5S	可跟踪观测的 GNSS 卫星信号包括：GPS(L1P,L1C/A,L2,L5)；BEIDOU(B1I,B2I,B3I,B1C, B2a)；GALILEO(E1,E5ab,AltBoc, E6)；GLONASS(L1,L2,L3)；SBAS(L1,L5),NavIC(L5),QZSS(L1,L2,L5) 可输出所有星座的伪距、相位、多普勒、载噪比、星历、历书；支持最高 100Hz 内频率可调 支持标准数据记录格式，包括 RINEX 标准数据格式（观测数据、导航电文等）、BINEX 数据格式、NMEA 输出格式、RTCM 标准输出格式等； 相位噪声偏差(Phi60)0.03rad；所有频点的伪距精度均优于 16cm；所有频点载波相位精度均优于 1.3mm。数据完整率：优于 95%。具备远程控制和升级能力。 支持电离层指数监测，包括电离层 S4 指数、Phi 指数、电离层闪烁强度等；支持 TEC 监测；支持实时输出 TEC 和电离层闪烁指数数据；电离层闪烁指数和 TEC 更新率优于 60s。	Septentrio

序号	设备配制类型	合计数量	所选型号	所选设备参数	厂商
				工作温度：-40~+65℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）；最高工作高度：不低于海拔 5000m	
3	GNSS 接收机 C	9	NPR-055	可跟踪观测的 GNSS 卫星信号包括：北斗：B1I、B2I、B3I、B1C、B2a；GPS： L1 C/A、L2C、L2P、L5；Galileo： E1、E5a、E5b、E6；GLONASS： G1、G2、G3；BDSBAS： B1C、B2a 可输出所有星座的伪距、相位、多普勒、载噪比、星历、历书； 支持最高 20Hz 内频率可调； 支持标准数据记录格式，包括 RINEX 标准数据格式（观测数据、导航电文等）、BINEX 数据格式、NMEA 输出格式、RTCM 标准输出格式等； 相位噪声偏差(Phi60)0.03rad；所有频点的伪距精度均优于 15cm 所有频点载波相位精度均优于 1.5mm。数据完整率：优于 98%。 具备远程控制和升级能力；支持多相关值上报功能和信号畸变监测信息的输出； 工作温度：-40~+65℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）；最高工作高度：不低于海拔 5000m	中国电科 54 所
4	GNSS 天线 A	8	ARF-AS1-3D-FS	*观测信号：BDS B1、B2、B3；GPS L1C/A、L1P、L2、L5；GLONASS L1、L2、L3；GALILEO E1、E5a、E5b、E6；SBAS L1C/A；QZSS L1； 配备扼流圈及其他抑制多路径信号设备。 增益指标；天顶增益：3dBic；天顶至水平增益变化：-10dB 至-15dB； 不圆度：小于 1dB；相位中心稳定度：小于 2mm；驻波比：小于 2.0；额定阻抗：50Ω。 工作温度：-40℃~85℃；风速：0~36m/s；相对湿度：0~100%； 降雨：0~100mm/h（风速为 18m/s）；0~195kg/m2；0~50mm（除天线罩）；冰雹直径：0~13mm；最大盐雾浓度：不低于 5%（连续 48h 内）；最高工作高度：不低于海拔 5000m；最大振动加速度：不低于 4.9m/s2（频率范围 10Hz~500Hz）。	RF-Tech

序号	设备配制类型	合计数量	所选型号	所选设备参数	厂商
5	GNSS 天线 B	8	VeraChoke	观测信号：BDS B1、B2、B3；GPS L1、L2、L5；GLONASS L1、L2、L3；GALILEO E1、E5a、E5b、E6；SBAS L1、L5；QZSS L1、L2、L5、L6； 配备扼流圈及其他抑制多路径信号设备。 增益指标；天顶增益：5.8dBic；天顶至水平增益变化：-10dB 至-15dB； 不圆度：小于 0.5dB；相位中心稳定度：小于 1mm； 驻波比：小于 1.5；额定阻抗：50Ω。 工作温度：-55℃~85℃；风速：0~36m/s；相对湿度：0~100%； 降雨：0~100mm/h（风速为 18m/s）；0~195kg/m2；0~50mm（除天线罩）；冰雹直径：0~13mm；最大盐雾浓度：不低于 5%（连续 48h 内）；最高工作高度：不低于海拔 5000m；最大振动加速度：不低于 4.9m/s2（频率范围 10Hz~500Hz）。	Septentrio
6	GNSS 天线 C	9	HX-CGX601A	*观测信号：GPS L1、L2、L5 ；BDS B1I、B2I、B3I、B1C、B2a、B2b ；GLONASS L1、L2、L3；GALILEO E1、E5a、E5b、E6；QZSS L1、L2、L5、L6 ；IRNSS L1、L5 配备扼流圈及其他抑制多路径信号设备。 增益指标；天顶增益：7dBic；天顶至水平增益变化：-10dB 至-15dB； 不圆度：小于 1dB；相位中心稳定度：小于 2mm；驻波比：小于 2.0；额定阻抗：50Ω。 工作温度：-40℃~85℃；风速：0~36m/s；相对湿度：0~100%； 降雨：0~100mm/h（风速为 18m/s）；0~195kg/m2；0~50mm（除天线罩）；冰雹直径：0~13mm；最大盐雾浓度：不低于 5%（连续 48h 内）；最高工作高度：不低于海拔 5000m；最大振动加速度：不低于 4.9m/s2（频率范围 10Hz~500Hz）。	华信
7	A 型	27	NF5280M6	CPU：2 颗 Intel 至强银牌 4314（单颗 16 核心/2.4GHz 主频/32 线程/24M 缓存）	浪潮

序号	设备配制类型	合计数量	所选型号	所选设备参数	厂商
	处理单元			内存：128GB 4*32G 3200MHz DDR4；硬盘：4*4TB SAS 7.2k 硬盘 阵列卡：PM8222 ；电源：2*800W 冗余电源；网口：4 个千兆网口 工作温度：+5～+45℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）；导轨/3 年质保服务	
8	B 型处理单元	17	IPC-8206E	计算性能：1 个，酷睿 i7-6700 (3.4GHz/4Core)； 处理性能：DDR4 RAM，8GB；存储性能：SSD，1TB； 高度：2U，可安装于深度为 1 米的 19 英寸标准机架内； 电源：双电源；接口：3 个 COM 口。 工作温度：-10~ +50℃相对湿度：5%-95%（非冷凝）最高工作高度：不低于海拔 5000m	研祥
9	NTP 时钟	2	T600-BDOCP NTP 网络时间服务器	时间参考：GPS、BDS、IRIG-B、1PPS、10M；时间同步精度：20ns； 输出：NTP、1PPS、IRIG-B、10M； 稳定度(艾伦方差)：1s:<3.0E-10； 10s:<3.0E-11； 100s:<3.0E-11； 守时精度：10us/24 小时；网络协议：NTP、SNTP、SNMP、HTTP/SSL 等； NTP 服务性能：23000 次/秒请求数量；具备远程监控管理功能； 现场监控状态指示：电源、PPS、告警；指示 GNSS 锁定状态、NTP 服务状态、本地时钟驯服状态及设备 告警等；19 英寸标准机架结构。	北斗邦泰
10	存储设备	2	OceanStor 5210	架构：双控制器；高速缓存：128GB； 接口类型：2* (4*GE +2*10GE)；硬盘容量：336T SAS+4T SSD； 工作温度：+5～+45℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）；	华为
11	图形工作站	7	ThinkServer P720	CPU：2 颗 Intel 至强银牌 4210（单颗 10 核心/2.2GHz 主频/20 线程/13.75M 缓存） 内存：32GB (2*16G 3200MHz DDR4)	联想

序号	设备配制类型	合计数量	所选型号	所选设备参数	厂商
				硬盘：2TB m.2 SSD 固态 ；显卡：GT730 2G 独立显卡 ；电源：1000W 显示器：27 寸 LCD 显示器，2K 分辨率（具备 HDMI、DP、DVI 等接口） 键鼠/三年质保服务；工作温度：+5～+45℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）；	
12	A 型数据交换设备	2	S6730-H48X6C-V2	高度：1U；支持 L3 以太网交换 (48SFP Plus+6QSFP Plus)； 双电源双风扇；传输速率：100/1000/10000Mbps； 交换方式：存储-转发，背板带宽 2.56Tbps/25.6Tbps；包转发率：1920Mpps。 工作温度：+5～+45℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）；	华为
13	B 型数据交换设备	2	S5735-S48T4XE-V2	高度：不大于 1U；支持 L3 以太网交换； 支持 48 个 10/100/1000BASE-T 端口；支持 4 个 10G/1G BASE-X SFP+端口； 双电源双风扇；工作温度：-5～+45℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）；	华为
14	C 型数据交换设备	16	S5735-S24T4XE-V2	高度：1U；交换带宽：520Gbps/5.2Tbps 包转发速率：126Mpps 24 个 10/100/1000BASE-T 以太网端口，4 个万兆 SFP+，2 个 12GE 专用堆叠口 ； 配置基本授权；支持 802.1Q、802.1X、802.1D、802.1p、802.1ad 等协议； 支持 VLAN、QoS、端口汇聚、端口镜像等网管功能； 支持 SNMP v1/v2/v3、IGMP snooping 支持 GMRP，支持静态组播 工作温度：-10~ +50℃相对湿度：5%-95%（非冷凝）最高工作高度：不低于海拔 5000m	华为
15	A 型数据安全防护单元	6	SecPath F1000-AI-75	高度：2U； 16 个千兆电口+8 个千兆光口+2 个万兆光口；2 个接口卡扩展槽位，500G 硬盘； 三层吞吐量 12Gbps，七层吞吐量 4Gbps；并发连接数 200 万，每秒新建连接数 8 万； 支持抗 DDOS、流量检测、应用审计、网页过滤、带宽管理、IPS。	新新华三

序号	设备配制类型	合计数量	所选型号	所选设备参数	厂商
				支持安全控制、VPN、NAT、DOS/DDOS 防御等传统防火墙能力，同时还一体化地集成了入侵防御、防病毒、应用控制、DLP、URL 分类及自定义过滤等深度安全防御的功能，实现了基于用户、应用、时间、地理位置、安全状态等多维度的策略控制功能，能够有效解决用户网络中可能出现的僵尸网络、勒索病毒等恶意攻击事件。 工作温度：+5～+45℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）；	
16	B 型数据安全防护单元	16	SecPath AF1000-AI-55	高度：1U；16 个千兆以太电口，2 个扩展槽位，标配 500G 硬盘；4 个 Combo 接口 ；6 个千兆以太光口 ；2 个万兆以太光口；双电源； 三层吞吐量 6Gbps，七层吞吐量 2Gbps； WAN 口带宽：流控 600M，IPS+流控 500M，流控+IPS+AV 防病毒 400M； 支持抗 DDOS、加密流量检测、网页过滤、带宽管理等应用层安全功能； 支持 SSL VPN \IPSEC VPN 等多种 VPN 功能。 支持安全控制、VPN、NAT、DOS/DDOS 防御等传统防火墙能力，同时还一体化地集成了入侵防御、防病毒、应用控制、DLP、URL 分类及自定义过滤等深度安全防御的功能，实现了基于用户、应用、时间、地理位置、安全状态等多维度的策略控制功能，能够有效解决用户网络中可能出现的僵尸网络、勒索病毒等恶意攻击事件。 工作温度：-10~+50℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）；最高工作高度：不低于海拔 5000m	新新华三
17	A 型引接路由器	2	NetEngine 8000E M8	双主控转发单板*2；双交流电源； 10 端口 100/1000Base-X-SFP MACsec 物理接口卡*3； 8 端口 100/1000Base-RJ45 物理接口卡*3； 16 端口 E1 物理接口卡*2；	华为

序号	设备配制类型	合计数量	所选型号	所选设备参数	厂商
				光收发一体模块（eSFP,1310nm,1.25Gb/s, ,单模,LC,10km）*10; 光收发一体模块（eSFP,1310nm, STM1,,单模,LC,15Km）*2; 配套各类线缆；管理软件及许可； 网管管理 license（网管等效网元）*2。 工作温度：-22 ~ +55℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）;	
18	安管一体机	1	NS-SecCenter X6025	高度：2U；4 光 4 电接口模块； 具有①漏洞扫描、②日志审计、③运维审计、④数据库审计、⑤终端杀毒、⑥WAF、⑦ACG 功能支持 （Windows 和 Linux 系统）；全面满足网络安全等级保护技术要求中的管理审计需求，同时安管一体机集中整合纳管网络系统中的组成元素形成多态化的安全管理中心，满足系统管理、审计管理、安全管理、集中管控的要求。 工作温度：+5 ~ +45℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）;	新新华三
19	网闸	2	H3C SecPath GAP2000-BE	高度：不大于 2U； 2+1 硬件架构，专用传输隔离部件完全自主开发且外部无法编程控制，64G CF 卡容量； 内端机有 6 个千兆电口+2 个千兆光口+1 个管理口； 外端机有 6 个千兆电口+2 个千兆光口+1 个 HA 口； 网络吞吐量为 700Mbps，系统整体时延<10ms； 并发连接数 50000，最大受控协议通道为 255 种； 管理端和审计端需独立与管理口连接使用，禁止使用内端机或外端机上的通讯口对网闸进行配置管理，禁止在外端机上具有管理接口； 支持上网访问、邮件访问、文件传输、文件同步、数据库访问；	新新华三

序号	设备配制类型	合计数量	所选型号	所选设备参数	厂商
				工作温度：+5～+45℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）；	
20	3KVA UPS	4	UPS2000-G-3KRTL	安装方式：机架式，可安装在本次采购机柜内； 主机功率：3000VA；输出功率：2400W；电池容量：8 只 12V-100AH 电池； 输出电压：220V； 输入电压：110-300V AC；输入频率：40-70Hz； 转换时间：0（毫秒 ms） 工作温度：-10~+50℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）； 最高工作高度：不低于海拔 5000m	华为
21	6KVA UPS	1	UPS2000-H-6KRT-L	安装方式：机架式，可安装在本次采购机柜内； 主机功率：6000VA；输出功率：5400W；电池容量：16 只 12V-100AH 电池； 输出电压：220V； 输入电压：220V±15% AC； 输入频率：45-63Hz；转换时间：0（毫秒 ms） 工作温度：-10~+50℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）； 最高工作高度：不低于海拔 5000m	华为
22	机柜	8	JXDH-TS2401	机柜高度：42U； 机柜深度：1000mm； 承重≥1000KG； 前后门均采用蜂孔设计，通风率≥75%； 机柜采用冷轧钢板，压铸结构，表面采用静电喷塑处理； 配件包括 2 个 PDU、支架、面板和双侧走线单元。	盈凡

序号	设备配制类型	合计数量	所选型号	所选设备参数	厂商
23	KVM 切换器	13	MT-1708UL	高度 1U 17 寸液晶折叠套件以及相应的管理模块和线缆；8 进 1 出 控制管理模块，标准键盘、鼠标套件。 工作温度：-45℃～+60℃；相对湿度：5%-95%（非冷凝）； 最高工作高度：不低于海拔 5000m	迈拓维矩
24	工作台	6	定制	尺寸：1800mm×1000mm×730mm(L×D×H)； 配制封闭式地柜，可放置本次采购工作站主机； 配制背板屏风，可安装各类标准电源接口及信息接口； 配置 2 个 5 位以上国标五孔 PDU； 配置键盘托架，可以放下常用键盘； 配置双显示器支臂，可安装 2 台 27 寸及以下显示器； 底柜内配设备接地铜条，理线架（槽），隔板等； 具体方案在本项目详细设计审定阶段确定。	中国电科 54 所

附件 3 工作说明

1.交货期

1.1 系统应在合同签订后 6 个月内交付现场并开始安装和调试，并在交付后 6 个月内完成现场安装调试，具备现场验收条件。收卖方应据此提供详细工程进度安排。

2.现场技术督导及集成调试

2.1 卖方负责采购本合同采购的所有设备，经功能性验收合格后，由卖方组织发货至各安装现场。

2.2 卖方需在买方指定时间及地点，由买方、监理人共同对到货硬件设备进行开箱清点，清点无误后各方签署设备开箱清单。凡卖方供应的货物应是全新的、技术先进的、性能稳定的且仅供本项目所使用的产品。

2.3 在卖方现场工程师的监督和指导下，由买方指定安装工程施工单位负责卖方硬件设备在各现场的上架、安装及加电工作，但卖方应承担设备安装过程中的质量及安全指导责任。

2.4 买方负责提供设备安装场地准备，卖方负责对场地条件的确认。

2.5 买方负责将系统所需的外部接口和数据引接至机房内；卖方负责提供各类设备附带的随机配件和随机线缆。

2.6 卖方负责制定系统的总体技术方案、各类设备配置方案和集成调试技术方案。

2.7 为获取第三方设备的相关接口信息，卖方需要对相关接口进行测试、分析，以及为实现与第三方设备提供商接口的连接，可能需要额外增加设备，由此可能产生费用由卖方负责。

2.8 卖方应与买方主动沟通，以便做好现场技术督导及集成调试前的一切准备工作，同时整个过程需对买方完全开放。

2.9 卖方所负责的现场技术督导及调试过程需符合中华人民共和国相关安全生产法律、法规、疫情防控及民航局空管局相关规定的要求。卖方对所有违反前述法律、法规和规定的行为所造成的后果承担全部责任。买方及本工程监理人有权制止任何违反前述法律、法规和规定的行为。

3.验收

3.1 总体要求

3.1.1 本次采购系统须通过由买方或监理人组织的各类验收。

3.1.2 卖方提供与验收工作相关的各项准备与支持工作，验收的各项系统功能及测试数据必须符合合同规定。

3.1.3 本项目验收包括本系统功能性验收、现场验收和全系统的联合调试验收，及本系统所属整体工程项目的竣工预验收和竣工验收。

3.1.4 在对本系统进行的各项验收中，除双方约定的测试程序和内容，买方有权进行自由测试。

3.2 功能性验收

3.2.1 卖方应在合同签订生效之日起 5 个月内具备功能性验收条件。功能性验收测试时间不得少于 5 个工作日。

3.2.2 卖方须在功能性验收前 15 日内，向买方提交功能性验收大纲，功能性验收大纲至少包括：验收通过原则、测试故障定级、测试方案、测试用例、测试平台搭建情况。经买方审查通过后的功能性验收大纲作为功能性验收的依据。

3.2.3 卖方须在功能性验收前准备好测试环境，至少包括测试场地、测试设备供电及测试所需各类数据，卖方应保障测试环境具备系统稳定运行的能力。以上相关费用应包含在投标报价伴随服务费用中，不作单独报价。

3.2.4 功能性验收测试故障分为 S1、S2、S3 及 S4 四个级别，S1 级为导致全系统无法正常运行；S2 级为单项功能模块无法正常运行，但不影响全系统运行；S3 单项功能无法正常运行，但不影响该功能模块运行；S4 级为轻微缺陷，但不影响各软件功能运行。功能性验收通过原则为：S1 及故障 0 项，S2 级故障≤1 项，S3 级故障≤3%，S4 级故障≤5%。

3.2.5 功能性验收测试完成后形成功能性验收测试报告，对于功能性验收测试期间发现的各项故障，卖方应在约定的时间内完成整改并向买方提交整改报告，买方将在现场验收测试期间中重新测试该故障。

3.2.6 功能性验收测试期间因系统故障导致无法继续开展验收工作或功能性验收未通过，卖方应在故障解决后重新组织验收，由此产生的相关费用由卖方承担，如同时造成了工期延误卖方还应承担相应违约责任。

3.2.7 功能性验收通过后，由买方及卖方双方共同签署功能性验收合格证书。

3.2.8 功能性验收通过后，卖方按买方指定时间发货至各安装现场。

3.3 现场验收

3.3.1 现场验收测试工作在 8 个监测站及 1 个主控中心分别开展，各现场验收测试通

过后，买方、卖方及监理人共同签署当前现场的现场验收报告。

3.3.2 卖方须在现场验收前 15 日，向买方提交现场验收大纲，现场验收大纲至少包括：验收通过原则、测试故障定级、测试方案、测试用例、设备清单、文档清单。经买方审查通过后的现场验收大纲作为现场验收的依据。

3.3.3 各监测站现场验收包括现场验收测试和稳定性测试两个阶段。各监测站现场验收测试通过后进行 72 小时稳定性测试，稳定性测试通过后该监测站现场验收测试工作完成。

3.3.4 监测站现场验收测试故障分为 S1、S2、S3 及 S4 四个级别，S1 级为导致全系统无法正常运行；S2 级为单项功能模块无法运行，但不影响全系统正常运行；S3 单项功能无法正常运行，但不影响该功能模块运行；S4 级为轻微缺陷，但不影响各软件功能正常运行。监测站现场验收通过原则为：S1 及故障 0 项，S2 级故障 0 项，S3 级故障 0 项，S4 级故障≤3%。

3.3.5 主控中心现场验收测试故障分为 S1、S2、S3 及 S4 四个级别，S1 级为导致全系统无法正常运行；S2 级为单项功能模块无法正常运行，但不影响全系统运行；S3 单项功能无法正常运行，但不影响该功能模块运行；S4 级为轻微缺陷，但不影响各软件功能正常运行。主控中心现场验收通过原则为：S1 及故障 0 项，S2 级故障 0 项，S3 级故障≤1%，S4 级故障≤3%。

3.3.6 现场验收测试完成后形成各现场验收测试报告，对于现场验收测试期间发现的各类故障，卖方应在约定的时间内完成整改并向买方提交整改报告，买方将在联合调试验收测试期间中重新测试该故障。

3.3.7 现场验收测试期间因系统故障导致无法继续开展验收工作或现场验收未通过，卖方应在故障解决后重新组织验收，由此产生的相关费用由卖方承担，如同时造成了工期延误卖方还应承担相应违约责任。

3.4 联合调试验收

3.4.1 本系统 8 个监测站及 1 个主控中心现场验收全部通过后，将在本系统主控中心开展全系统联合调试验收工作，联合调试验收包括功能性测试和稳定性测试两阶段。

3.4.2 卖方须在联合调试验收前 15 日，向买方提交联合调试验收大纲，联合调试验收大纲至少包括：验收通过原则、测试故障定级、测试方案、测试用例、文档清单。经买方审查通过后的联合调试验收大纲作为全系统联合调试验收的依据。

3.4.3 联合调试验收测试故障分为 S1、S2、S3 及 S4 四个级别，S1 级为导致全系统

无法正常运行；S2 级为单项功能模块无法正常运行，但不影响全系统运行；S3 单项功能无法正常运行，但不影响该功能模块运行；S4 级为轻微缺陷，但不影响各软件功能正常运行。联合调试验收通过原则为：S1 及故障 0 项，S2 级故障 0 项，S3 级故障 0 项，S4 级故障≤3%。

3.4.4 联合调试功能性测试完成后，将在主控中心现场进行为期 7 天的全系统稳定性测试（包括 8 个监测站及引接 BDSBAS 民用服务平台的 27 个监测站数据与主控中心数据交互的稳定性测试），稳定性测试通过后全系统联合调试验收工作完成。

3.4.5 联合调试验收功能测试完成后形成各联合调试验收测试报告，对于联合调试验收测试期间发现的各类故障，卖方需按约定的时间完成整改并进行回归测试，经买方确认各项故障整改完成后出具整改报告。

3.4.6 全部 8 个监测站和 1 个主控中心的现场验收及全系统联合调试验收通过并完成全部故障整改后，由买方及卖方双方共同签署本项目现场验收合格证书。

3.4.7 联合调试验收测试期间因系统故障原因导致无法继续开展验收工作或联合调试验收未通过，卖方应在问题解决后重新组织验收，由此产生的相关费用由卖方承担，如同时造成了工期延误卖方还应承担相应违约责任。

3.5 竣工预验收及竣工验收

3.5.1 卖方须参加监理人及买方组织的整体工程竣工预验收及竣工验收，配合买方开展工程竣工预验收及竣工验收所需各项工作，如验收环境准备、验收资料准备等。

3.5.2 在工程竣工预验收及竣工验收阶段如有与卖方相关的整改项目，卖方须在买方指定时间内完成整改。

3.5.3 竣工预验收前应完成所有工程档案收集和整理，通过监理人检查核验。

4.保修及后续服务

4.1 系统保修期为系统软、硬件 5 年，保修起始时间从双方签订的现场验收合格证书之日起计算，保修期间内卖方需及时对系统的软、硬件故障进行及时响应。

4.2 系统的所有硬件均应为成熟产品；如硬件生产厂家提供的硬件保修期高于 5 年，应以硬件生产厂家的保修期为准。

4.3 卖方应负责支付在保修期内故障部件的返修和更换所发生的一切费用（运输、保险等），并在返修期间为现场提供可正常使用的替代部件。修理和更换后部件的保修期延保 1 年。

4.4 在保修期内，卖方需为用户提供 7×24 小时的紧急电话支援服务，以便买方在系

统出现紧急情况时请求技术支援。

4.5 在保修期内，卖方为用户提供紧急现场支援服务。当系统出现影响主要功能实现的重大故障时，如果用户方技术人员通过紧急电话支援服务或远程连接（如果有）均不能排除系统故障，卖方需立即派遣必要的技术人员在 24 小时内赶到现场。

4.6 在保修期内，若发生质量故障，卖方未能在接到故障通知之时点起 1 小时内回应，并在 24 小时内派人员到达现场，且 48 小时内排除故障，买方有权另请第三方修理或自行修理，相关费用由卖方承担，买方有权从质量保证金中直接扣除。同时，买方的自行修理或请第三方的修理不免除卖方的质量责任与其他责任。

4.7 在保修期内出现的系统软、硬件问题，卖方需在保修期结束前全部彻底解决。如果保修期结束时仍有问题未完全解决，卖方有义务在保修期结束后彻底解决相应问题。

4.8 保修期过后，因软件缺陷问题而导致的系统故障，或因卖方对产品设计产生缺陷造成的故障，由卖方终身免费予以维修。

4.9 保修期内，系统需随时根据运行的需求进行免费升级，其中在验收后第一年内，至少按照每季度 1 个新版本进行必要的升级，之后按照至少每半年 1 个新版本对系统进行必要的升级，具体升级的周期与用户约定。新版本主要解决现场累积的补丁和使用过程中产生的需求调整，每次发布的新版本需经过用户组织的新版本测试，通过后才能安装到现场运行平台。

4.10 在保修期内，卖方对系统至少进行每年 1 次，每次为期至少 10 日的现场巡检，巡检工作须由经买方认可的卖方技术专家承担。卖方必须为巡检过程中发现的所有问题提供解决方案，经用户认可后方可结束巡检工作。巡检后，卖方需提供系统各软/硬件模块运行的最优性能组合配置和系统运行、预防性维护建议，并于巡检结束后两周内提交巡检工作报告。

4.11 卖方需在本次提供的实时监控工作站内建立系统故障管理库供买方使用和查阅，记录系统从第 1 次系统软件功能阶段性测试评审开始至生命周期结束的所有故障的详细情况，记录从故障发生开始到最后解决的全部过程，并定期与卖方管理的故障库进行同步，保证其更新状态。

4.12 卖方应在系统生命周期内（10 年）保证在工厂有相应规模的测试平台和技术支持人员，并继续对系统提供技术支持和维修服务。

5.项目资料及工程档案

5.1 随机资料

5.1.1 卖方所提供的硬件设备随机资料均应提供中文版本，随机资料应严格对应各现场安装的硬件设备，进行分类整理后统一移交买方。

5.1.2 硬件设备随机资料包括但不限于：现场安装的硬件设备清单，全部硬件设备的质量证明文件及随机提供的使用说明书等。

5.1.3 硬件设备清单应至少包括：货物名称、型号、规格、数量、单位、厂商、产品序列号、安装位置等。

5.2 技术手册

5.2.1 卖方所提供技术手册均应为中文版本，同时提供纸质资料及对应的电子文档，二者内容应保持一致，电子文档须以光盘的形式提供，并在质保期内根据系统实际情况进行修订。

5.2.2 技术手册应分为监测站和主控中心两个版本，包括但不限于系统维护技术手册和使用说明手册，卖方应为每个监测站用户分别提供 1 套监测站技术手册，为主控中心用户提供 2 套监测站及主控中心技术手册。

5.2.3 系统维护手册，至少应包括以下部分：

5.2.3.1 系统总体说明；

5.2.3.2 所有设备的参数、型号、规格和制造商信息；

5.2.3.3 系统测试的方法及工具使用说明；

5.2.3.4 系统总体故障判断与处理方法；

5.2.3.5 单个功能模块故障判断与处理方法；

5.2.3.6 硬件设备故障判断与处理方法。

5.2.3 使用说明手册，至少应包括以下部分：

5.2.3.1 系统结构、原理、配置及功能的概述；

5.2.3.2 系统软件内部组织详细说明，包括所有信息来源、流程图，表明不同软件模块、数据格式、文件结构、通信协议、异常处理等内部关系的方框图；

5.2.3.3 操作安全指南；

5.2.3.4 所有外部接口的详细说明（如电气、数据格式、协议等）以及 ICD 文件；

5.2.3.5 系统内所有第三方软/硬件的全套技术手册；

5.2.3.6 各硬件设备的基本操作步骤；

5.2.3.7 系统总体操作逻辑和操作说明；

5.2.3.8 单个功能模块的操作逻辑和操作说明；

5.2.3.9 系统运行状态监控操作说明。

5.3 项目实施文档

5.3.1 项目各阶段实施文档由卖方负责编写、整理、分类、汇总，各类文档应一式四份，存入工程档案 1 份，卖方留存 1 份，移交监理人 1 份，移交买方 1 份。

5.3.2 项目准备阶段影响买方提交项目实施方案，至少应包括以下内容：实施目标、实施内容、人员组织、任务分解、实施计划、各项任务实施方案等。

5.3.3 需求功能阶段应至少包括：需求功能说明书、评审会议纪要、评审人员签到表、需求功能评审报告、修改意见及建议等。其中系统需求功能说明书至少应包括以下内容：系统概述、系统建设目标、系统总体架构、各业务功能处理流程图、及项各功能详细需求内容。经买方评审后的功能需求说明书作为系统详细设计的依据。

5.3.4 详细设计阶段应至少包括：详细设计说明书、评审会议纪要、评审人员签到表、详细设计评审报告、修改意见及建议等。其中系统详细设计说明书至少应包括以下内容：系统建设目标、系统总体设计、系统及各功能模块工作原理、工作流程、逻辑关系、数据交换接口及格式等内容的详细说明。经买方评审后的系统详细设计说明书作为卖方进行系统建设及功能开发的依据，同时作为系统功能性验收、现场验收及联合调试验收的依据。

5.3.5 功能性验收阶段至少应包括：功能性验收大纲、功能性验收大纲评审会议纪要（如有）、功能性验收大纲修改意见、功能性验收会议纪要（如有）、功能性验收人员签到表、功能性验收测试报告、功能性验收整改意见及建议、功能性验收合格证书等。其中功能性验收大纲至少应包括以下内容：功能性验收的地点、功能性验收环境准备情况、功能性验收通过原则、测试故障定级、测试方案、测试用例、设备清单、文档清单。经买方审查通过后的功能性验收大纲作为功能性验收测试的依据。

5.3.6 现场验收阶段至少应包括：现场验收大纲、现场验收大纲评审会议纪要（如有）、现场验收大纲修改意见、现场验收会议纪要（如有）、现场验收人员签到表、现场验收测试报告、现场验收整改意见及建议等。其中现场验收大纲至少应包括以下内容：现场验收通过原则、测试故障定级、测试方案、测试用例、设备清单、文档清单。经买方审查通过后的现场验收大纲作为现场验收测试的依据。

5.3.7 联合调试验收阶段至少应包括：联合调试验收大纲、联合调试验收大纲评审会

议纪要（如有）、联合调试验收大纲修改意见、验收会议纪要（如有）、联合调试验收人员签到表、联合调试验收测试报告、整改意见及建议、现场验收合格证书等。其中联合调试验收大纲至少应包括以下内容：联合调试通过原则、测试故障定级、测试方案、测试用例、设备清单、文档清单。经买方审查通过后的联合调试验收大纲作为联合调试验收测试的依据。

5.3.8 系统安装与调试阶段应提供调试测试记录。系统调试测试记录至少应包括以下内容：调试日期、调试内容、调试人员、问题故障、解决方法及调试测试结果等。

5.3.9 系统培训工作应至少包括：培训大纲、培训人员签到表等。系统培训大纲应至少包括以下内容：培训目标、培训内容、培训时间、培训地点及方式、培训人员、培训课程安排等。

5.3.10 项目进度报告应在每自然月的 1 日和 15 日提交买方进行审核。项目进度报告应至少包括以下内容：本期工作内容、工作重点难点、工作进度、预期完成时间、重要节点、需协助解决的困难问题等。

5.4 工程档案文件

5.4.1 卖方需按照买方及监理人要求提交整理完备的工程档案纸质文件和电子扫描文件各 1 套。

5.4.2 卖方应由项目负责人（或项目经理）任档案责任人并配备相关档案资料人员，并建立相应项目档案管理制度。

5.4.3 项目档案文件应格式规范、内容准确、清晰整洁、编号和签字盖章手续完备，附件齐全。

5.4.4 项目档案文件应为原件。因故无原件的，应归具有凭证作用的复印件。

5.4.5 文字材料应用耐久字迹材料书写、绘制。杜绝使用红色墨水、纯蓝墨水、圆珠笔、复写纸、铅笔书写、绘制。

5.4.6 录音、录像文件应保证载体的有效性。长期储存的电子文件应使用不可擦除型光盘。

5.4.7 图纸一般采用蓝晒图，竣工图编制应完整、准确、清晰、规范修改到位，真实反映工程的实际情况。

5.4.8 项目档案文件应在竣工预验收前通过监理检查，并及时与买方办理完成移交手续。

5.4.9 项目开工时，卖方需接受买方对于工程档案的指导。

5.4.10 所有项目档案文件需提供中文版本。

6.培训

6.1 卖方针对本系统为买方提供人员培训， 培训人数为 20 人次，培训时间为 5 日。

6.2 培训内容应至少包括卫星导航相关基础理论、本系统的使用操作及运行维护培训，以保证参加培训的各类人员能够独立完成全系统的安装、使用和维护。

6.3 卖方按照不同培训对象提供详细的培训计划，并提供培训讲师、培训大纲、培训教材、培训计划、课程安排等，并配合买方搭建培训环境。

6.4 卖方须在培训前 2 周，向买方提交培训大纲，经买方审查通过后执行，培训大纲具体要求见“5.3 项目实施文档”相关内容。

6.5 买方负责受训人员的相关费用，具体为买方人员的异地交通费用。卖方负责受训人员的本地食宿费用，费用标准按《中央和国家机关培训费用管理办法》（财行〔2016〕540 号）三类培训标准执行。

7.项目管理

7.1 卖方应针对本项目成立专门的项目管理团队，至少应当包括成员：项目负责人（或项目经理）、技术经理、后勤经理、质量控制、档案管理等岗位。卖方需在投标文件中提供详细的项目团队人员列表，并保证在项目实施过程项目团队人员到岗到位。

7.2 卖方应在项目开工前向买方提交项目实施方案，并在取得买方审核同意后方可实施，具体要求见“5.3 项目实施文档”相关内容。

7.3 卖方应在每自然月的 1 日和 15 日提交当期项目进度报告供买方审核，具体要求见“5.3 项目实施文档”相关内容。

7.4 合同签订后 1 个月内进行系统功能需求评审，卖方应在评审前 1 周向买方提交系统功能需求书，并负责组织系统功能需求评审，买方派遣代表参加系统功能需求评审，具体人数由买方在评审前 1 周确定。功能需求评审以评审会议形式开展，所形成文档具体要求见“5.3 项目实施文档”相关内容。

7.5 系统功能需求评审通过后 1 个月进行系统详细设计评审，卖方应在评审前 1 周向买方提交系统详细设计说明书，并负责组织系统详细设计评审，买方派遣代表参加系统详细设计评审，具体人数由买方在评审前 1 周确定。详细设计评审以评审会议形式开展，所形成文档具体要求见“5.3 项目实施文档”相关内容。

7.6 在系统开发过程中，买方可根据项目进度对卖方项目进展情况进行审查，进一

步澄清用户需求，沟通项目开发过程中出现的技术和管理问题等，买方派遣代表进行审查工作。

7.7 卖方应在约定时间内完成本项目所需硬件的采购工作，并向买方提供所有硬件的物理特征和环境需求，包括三维尺寸、外型图、重量、数量和功耗、以及对散热和电磁环境等方面的特殊要求。

附件 4 项目管理方案

1.工期进度计划

根据用户要求，GNSS 性能监测与评估系统将于 T0（合同生效之日）开始系统设备的研制，T0+5 个月具备系统功能性能验收条件，T0+12 个月具备现场验收条件。具体的工期进度计划如表所示。

表 1 工期进度计划

时间划分	阶段划分	主要完成内容	成果形式	备注
T0+1 个月	需求分析阶段	完成系统资料收集；完成系统用户调研；完成需求分析文档；完成总体方案需求分析评审	《GNSS 性能监测与评估系统需求分析报告》	T0 表示合同生效之日
T0+2 个月	详细设计阶段	根据需求分析，进行系统详细设计，组织召开评审会，并进行评审	《GNSS 性能监测与评估系统系统详细设计设计说明书》	
T0+5 个月	系统功能性验收	编写测试大纲，提交用户进行评审，评审通过后，依据测试大纲进行功能性测试。功能性测试通过后，发货至各安装现场	《GNSS 性能监测与评估系统功能性验收测试报告》、《功能性验收合格证书》	
T0+6 个月	到货验收	买方、买方及监理人在各实施现场共同对货物进行开箱清点，签署到货验收单和开箱验收记录	《到货验收单》《开箱验收记录》	
T0+12 个月	现场验收	编写现场验收大纲，提交用户进行评审。待现场验收大纲评审通过后，在 8 个监测站及 1 个主控中心分别开展现场验收，各现场验收测试通过后，买方、卖方及监理人共同签署当前现场的现场验收报告	《GNSS 性能监测与评估系统现场验收报告》	
T0+ T1 个月	联合调试验收	在本系统主控中心开展全系统联合调试验收工作，对 8 个监测站、1 个主控中心进行联调测试，同时引接 BDSBAS 民用服务平台 27 个站点数据，完成整个系统集成	《GNSS 性能监测与评估系统联合调试验收报告》、《现场验收合格证书》	T1 根据用户要求确定
T0+ T2 个月	竣工预验收及竣工验收	开展系统培训、档案归档等工作，参加用户组织的整体工程竣工预验收及竣工验收，配合用户开展工程竣工预验收及竣工验收所需各项工作，如验收环境准备、验收资料准备等	-----	T2 根据用户要求确定

2.项目组织机构

根据中国电科 54 所科研生产程序及项目质量控制要求，建立 GNSS 性能监测与评估系统项目组织管理架构，如下图所示。

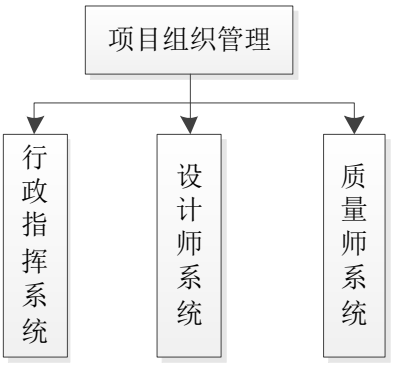


图 1 项目组织管理架构

（1）行政指挥系统

由行政领导负责工程研制的组织、指挥、计划、人员、经费和物资保障等。

计划管理员负责将项目规定的工作内容（如评审、试验等）按阶段分别纳入各级进度计划并组织实施，协调解决调研过程中出现的问题。

（2）设计师系统

设计师系统由项目负责人、总设计师、各级设计师、标准化师、软件配置管理员等组成，其中，总设计师对产品质量和可靠性全面负责，制定技术状态管理计划，遵循设计更改和技术状态管理规定，对科研过程的技术状态管理负责，结合该项目的实际需求，为高效率高质量推进该项目，将设计师分为硬件组、软件组和档案组。对所负责的设计、开发、生成的产品质量负责，按研制生产计划的规定完成各项任务；各级设计师分别对各级成果的可靠性负责，保障设计输出的正确性、完整性和规范性，遵守开发过程中的各种管理规定，参加各种评审、测试和验收活动，对出现的问题分析原因，采取纠正措施；配置管理员制定配置管理计划，建立基线和配置并及时调整基线核配置内容，协助设计师完成产品结构树的建立和调整工作；标准化师负责产品研制全过程标准化工作，对各种技术文件、资料进行标准化审查，负责产品出所时的标准化审查工作。

（3）质量师系统

负责有关技术文件和设计文件的拟制、会签，负责制定项目的质量保证大纲，对质量保证大纲的实施进行监督、支援和控制，对产品研制过程和产品质量进行监控。协助总师协调和处理研制过程中发生的重大质量问题和质量事故，对研制生产过程中出现的质量问题进行不合格品审查，组织运行故障报告、分析和纠正措施系统（FRACAS），对评审、验证、确认的问题进行跟踪管理。

3.项目人员组成

本项目课题组由总体、软件、基带、结构、网络、质量、标准化等方面的研发技术骨干组成，人员组成如下表。

表 2 项目设计师系统任命名单

任务分工	人员
项目负责人（兼项目经理、档案责任人）	蔚保国
总设计师（兼技术经理）	易卿武
副总设计师	杨建雷 赵精博 李硕 惠沈盈
可靠性设计师	杨建雷（兼）
采购负责人（兼后勤经理）	李隽
软件负责人	惠沈盈（兼）
结构负责人	戎宏飞
硬件负责人	贾诗雨
质量师	陈宝林
软件质量师	杨滕
工艺师	张新贞
标准化师	高燕鹏
计划主管	高峰
计划协管	李胜军
配置管理员	张悦
档案资料管理员	朱梦祎
项目成果管理员	罗益
软件测试师	韩勇 赵爱静 肖英
一、监测站	
监测站 总设计师	赵精博
监测站 副总设计师	伍蔡伦 秦明峰
1、监测接收系统主任设计师	谢松
监测站 GNSS 接收天线主管设计师	王刚
射频接口适配器主管设计师	刘晓旭
监测接收机主管设计师	孙一雄 于雪岗
监测站天线馈线电缆主管设计师	刘晓旭（兼）
2、监测站数据处理系统主任设计师	王彬彬
监测站数据处理单元硬件（B 型处理单元）主管设计师	王振华
监测站数据接收与处理软件主管设计师	徐广辉 肖遥
监测站监控维护软件主管设计师	郝硕 姚云峰
监测站数据传输与存储软件主管设计师	陈冲 程建强
监测站双机热备软件主管设计师	王星星
3、监测站网络与安全保障系统主任设计师	郝硕（兼）

任务分工	人员
监测站数据交换设备（C 型交换设备）主管设计师	郝硕（兼）
监测站数据安全设备（B 型安全设备）主管设计师	郝硕（兼）
监测站 KVM 切换器主管设计师	王振华（兼）
4、监测站供电系统主任设计师	郎兴康
监测站 UPS 电源（含电池）主管设计师	梁晓虎
监测站网络电源主管设计师	郎兴康（兼）
5、监测站现场安装调试主任设计师	秦明峰
北京监测站安装及调试主管设计师	秦明峰（兼）
哈尔滨监测站安装及调试主管设计师	张家齐
上海监测站安装及调试主管设计师	杜登辉
海口监测站安装及调试主管设计师	高大伟
成都监测站安装及调试主管设计师	胡晓
拉萨监测站安装及调试主管设计师	胡亚南
阿拉善监测站安装及调试主管设计师	李一凡
乌鲁木齐监测站安装及调试主管设计师	刘文
监测站结构主管设计师	陈亮
二、主控中心	
主控中心 总设计师	李硕（兼）
主控中心 副总设计师	邓志鑫 贾诗雨
1、内网集群系统主任设计师	刘亮
A 型处理单元主管设计师	祝瑞辉
网络存储设备主管设计师	祝瑞辉（兼）
图形工作站主管设计师	祝瑞辉（兼）
GNSS 接收天线（NTP 处理单元使用）主管设计师:	王刚
NTP 处理单元主管设计师	张旭论
天线馈线电缆主管设计师	刘晓旭（兼）
2、外网集群系统主任设计师	张京奎
A 型处理单元主管设计师	祝瑞辉（兼）
网络存储设备主管设计师	祝瑞辉（兼）
图形工作站主管设计师	祝瑞辉（兼）
3、网络与安全保障系统主任设计师	贾诗雨
外网数据交换单元（A 型交换设备）主管设计师	贾诗雨（兼）
内网数据交换单元（B 型交换设备）主管设计师	贾诗雨（兼）
内网数据安全防护单元（A 型安全设备）主管设计师	贾诗雨（兼）
汇聚数据安全防护单元（A 型安全设备）主管设计师	贾诗雨（兼）
外网数据安全防护单元（A 型安全设备）主管设计师	贾诗雨（兼）
安管一体机主管设计师	贾浩男
网闸主管设计师	贾浩男（兼）

任务分工	人员
民航通信网 IP 业务接入设备主管设计师	贾浩男（兼）
工作台主管设计师	祝瑞辉（兼）
KVM 切换器主管设计师	祝瑞辉（兼）
4、主控中心安装及调试主任设计师	赵军
主控中心内网安装及调试主管设计师	崔淼 田耀召
主控中心外网安装及调试主管设计师	韩双林 李绍慈
三、GNSS 性能监测与评估软件	
GNSS 性能监测与评估系统软件 总设计师	惠沈盈（兼）
GNSS 性能监测与评估系统软件 副总设计师	盛传贞 陈秀德
系统数据接收与预处理软件主管设计师	杨轩 王同
系统信息服务产品生成（监测告警）软件主管设计师	孙洪驰 郝硕
系统信息服务产品生成（分析评估）软件主管设计师	杨红雷 刘娅璇
系统数据管理与记录软件主管设计师	陈永昌 孔祥玉
系统监控维护软件主管设计师	应俊俊 马立烨
系统运行管理软件主管设计师	陈秀德 苏润佳
坐标解算软件主管设计师	金炜桐

附件 5 技术规格说明

1.系统概述

GNSS 性能监测与评估系统工程拟建设一套对 GPS、BDS（含 BDSBAS）等导航卫星的信号监测网，是具备数据采集、存储、分析、管理、发布等功能的信息服务平台，对以上 GNSS 要素的运行状况和主要服务性能指标进行监测和评估，提供实时的 GPS 和 BDS 完好性监测与告警、GPS 及 BDS（含 BDSBAS）的服务性能分析与评估、监测站数据下载等服务，支持我国民航安全有效的使用卫星导航系统，服务于民航运行、标准建立及卫星导航新技术研究等各类应用。

1.1 建设目标

本项目建设目标如下：

（1）实时监测和评估已投入运行的 GPS L1 C/A 服务性能，针对中国空域 GPS L1 出现的异常及时告警，为我国民航 RNP/RNAV 和 ADS-B 的现有服务运行提供安全保障。

（2）依据北斗民航应用的发展路线，有序开展 ICAO DFMC GNSS 元素（BDS B1I/B1C/B2a、GPS L1CA/L2P/L5）服务性能验证评估工作，为后续民航推动以北斗为核心的 DFMC 运行概念提供技术支撑。

（3）为 BDSBAS（BDSBAS B1C）民航应用验证评估工作提供完全独立的测试评估网络，为 BDSBAS 民航应用验证评估提供有力支持。

（4）为我国民航空管开展以 GNSS 为基础的应用研究建立基础平台，具备良好扩展能力。

1.2 供货范围

建设监测站 8 套，建设地点分别在北京首都机场 36L 航向台、哈尔滨太平国际机场本场 VOR/DME 台、上海浦东机场一跑道南中指点标台、海口美兰国际机场 27 号跑道航向台、成都双流国际机场 20L 跑道航向台、拉萨贡嘎机场航管楼 5 楼、阿拉善盟额济纳旗 VOR/DME 台、乌鲁木齐地窝堡国际机场东航向台，每套监测站具体包含：GNSS 监测接收机 3 套、GNSS 接收天线 3 套、数据处理单元 2 台，交换机 2 台，防火墙 2 台，UPS（部分站点）1 套，机柜 1 个，kvm 切换器 1 套，随机辅材 1 项。定制开发软件 1 项。具体如下：

（1）建设主控中心 1 套，建设地点在民航空管设备保障与测试基地一层的空管局技术中心机房，具体包含：配置内网数据接收处理单元、内网 web 处理单元、外网数据接收处理单元、外网 web 处理单元、web 业务处理单元、数据库处理单元、监测告警处

理单元、GPS/BDS 评估处理单元、BDSBAS 评估处理单元、控制管理处理单元、数据管理与发布处理单元、评估分析工作站、网络存储设备各 2 台，实时监控工作站 4 台，数据质量评估处理单元、基准维持处理单元、NTP 处理单元、GNSS 接收天线各 1 台（套），内网交换机 2 台，外网交换机 2 台，内网防火墙 2 台，汇聚防火墙 2 台，外网防火墙 2 台，安管一体机 1 台，网闸 2 台，kvm 切换器 5 套，民航通信网 IP 业务接入设备 2 台，配套备品备件 1 项。配置定制开发软件及商业软件各 1 项，主控中心机柜由买方提供。

（2）系统应接入 BDSBAS 民用服务平台中国境内 27 个监测站的数据，并对其进行分析和处理。上述监测站数据汇总至民航空管设备保障与测试基地四层的数据处理中心，本系统可通过民航通信网获取相关数据。

（3）系统的主控中心需具备通过民航通信网输出本项目建设 8 个监测站原始数据的能力。

（4）本项目供货范围包括系统所需的硬件设备、商用软件、订制开发软件、相关备品备件，以及为保障系统正常运行所需的各类工具、随机辅材及技术手册等。

（5）本项目供货范围包括系统所需的伴随服务，具体包含：项目管理与实施、技术支持、培训、评审、验收、运输、硬件设备现场技术督导、软件系统调试及系统保修、技术资料及档案等服务。

（6）本项目采购设备将安装在买方提供的的安装现场内。买方负责提供各建设站点的安装场地。

1.3 系统架构

1.3.1 全系统架构图（示意图）

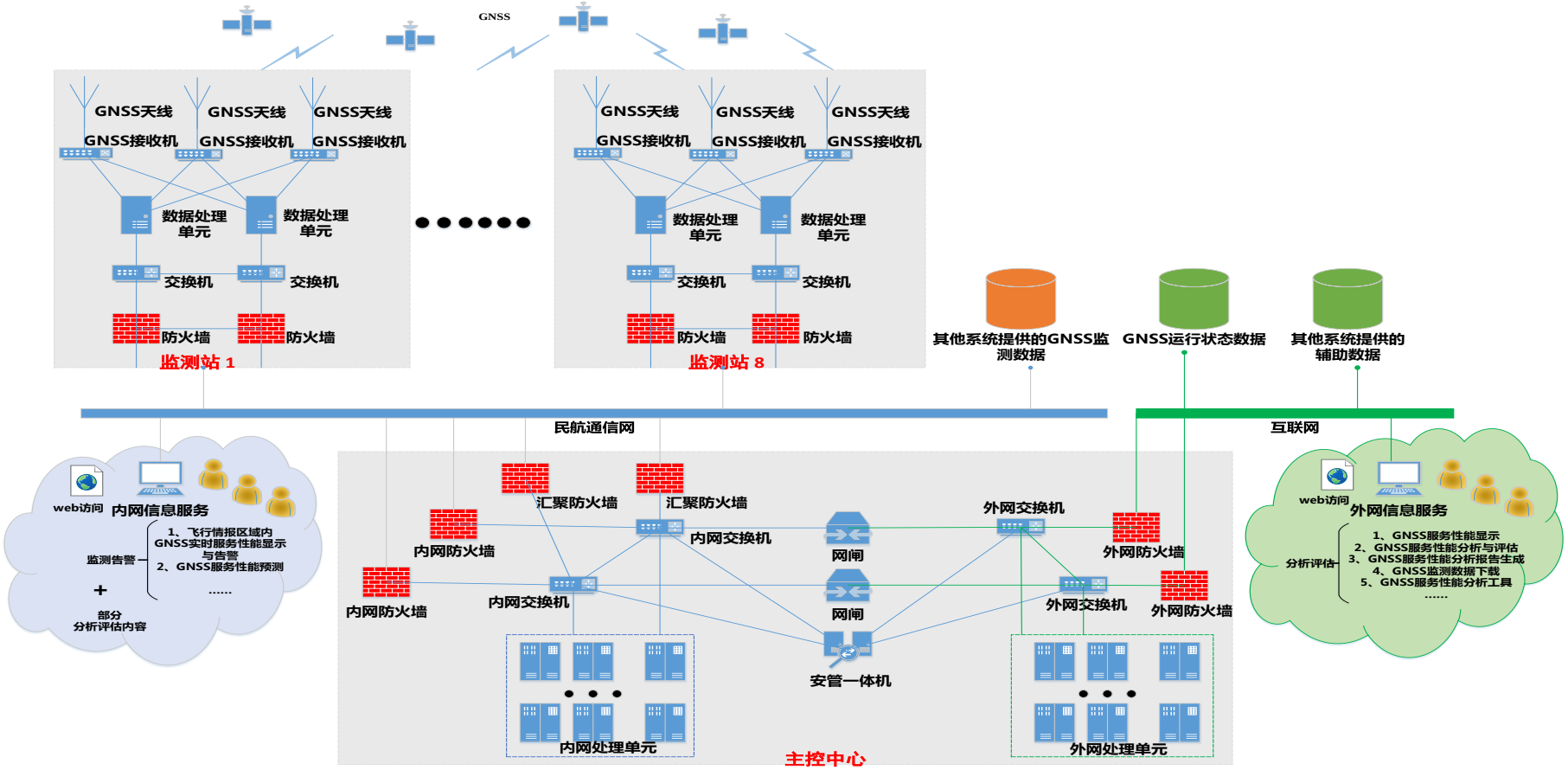


图 2 系统架构

1.3.2 监测站

监测站利用接收机和天线对 GNSS 信号进行连续观测，实时获取载波相位、伪距、多普勒、导航电文等数据，通过民航通信网将各类数据传送至主控中心。监测站分为监测接收系统、数据处理系统、网络与安全保障系统、供电系统等。

（1）监测接收系统负责接收 GNSS 空间信号，输出观测数据、星历数据和 SBAS 电文数据，并传输给数据处理系统。

（2）数据处理系统负责 GNSS 观测数据的接收与处理，对接收的数据进行本地存储，并将数据实时传输至主控中心。

（3）网络安全与保障系统用于保障该站点与民航通信网的连通性，保障该站点设备运行和数据传输网络安全性。

（4）供电系统负责提供短期内备用电力供应，至少满足设备在断电情况下的 4 小时正常运行要求。

1.3.3 主控中心

主控中心负责实时接收监测站观测数据，进行观测数据的预处理，重点对监测对象的服务性能进行监测与评估，按照信息服务要求生成相关产品，同时对有关数据和结果进行记录。主控中心分为数据监控处理系统、数据评估处理系统、发布处理系统、管理与控制系统、数据存储与授时服务系统、网络与安全保障系统等。

（1）数据监控处理系统负责接收监测站观测数据、星历数据、SBAS 电文数据及数据解析，进行多路数据交叉核验、星历核验和 SBAS 电文核验，保证后续使用数据的一致性和完好性，采取双机并行工作方式；对各监测站多路 GNSS 接收机原始数据、星历数据和 SBAS 电文数据等进行交叉验证和预处理，保证后续使用数据的一致性和完好性。

（2）数据评估处理系统负责对监测站数据实时处理，分别对监测对象状态进行监测，对监测站坐标进行定期解算，维持监测评估系统空间基准，开展对监测对象的服务性能监测与评估。

（3）发布处理系统负责民航通信网用户和互联网用户的接入和访问，接收用户的访问请求，并同时向用户反馈处理结果。

（4）管理与控制系统负责实时监控监测站、主控中心软件、硬件工作状

态，对实时数据处理状态显示、对业务进程进行控制、对数据产品进行查询检索等。

（5）数据存储与授时服务系统负责长时间记录各监测站发出的数据以及主控中心处理后的数据，以备查询和输出；负责维持监测站和主控中心的时间同步。

（6）网络与安全保障系统负责监测站、其他 GNSS 监测系统数据和主控中心的安全数据通信，具备防火墙和入侵监测等安全保护能力。

1.3.4 其他数据

其他数据主要包括 BDSBAS 民用服务平台数据、GNSS 运行状态数据和其他系统提供的辅助数据。本项目需支持通过民航通信网方式接入（BDSBAS）民用服务平台境内 27 个监测站数据，并进行分析处理。

本项目支持通过互联网方式接入 GNSS 运行状态数据的功能，并具备其他系统（iGMAS、CORS 或其他非民航系统建设的监测站点）提供的有关辅助数据接入能力，并根据需要进行分析处理。

2 . 监测站

监测站通过 GNSS 接收机对 GNSS 导航信号和 SBAS 增强信号进行连续跟踪和监测，并进行必要的数据处理及完好性监测等操作，形成至少 2 路正确原始观测数据、基本导航电文、星基增强电文等信息实时回传至主控中心；具备对监测站工作状态监视、状态告警、运行控制、参数配置、日志及数据记录等功能，同时支持远程软件升级和参数配置等操作维护工作。

2.1 总体设计

2.1.1 架构设计

依据 GNSS 性能监测与评估系统中监测站的技术要求，其核心任务是 GNSS 采集处理传输，利用接收机和天线对 GNSS 信号进行连续观测，实时获取 GNSS 原始观测数据并开展数据处理，通过民航通信网将各类数据传送至主控中心。在单站架构下，以 GNSS 采集处理传输为主线，监测站业务由监测接收系统、数据处理系统、网络安全与保障系统、供电系统等相互配合完成，其架构特点可概括为：“高可信采集”、“高完好处理”、“高安全传输”、“高可靠供电”。因此，监测站的整体架构可设计如下图所示。

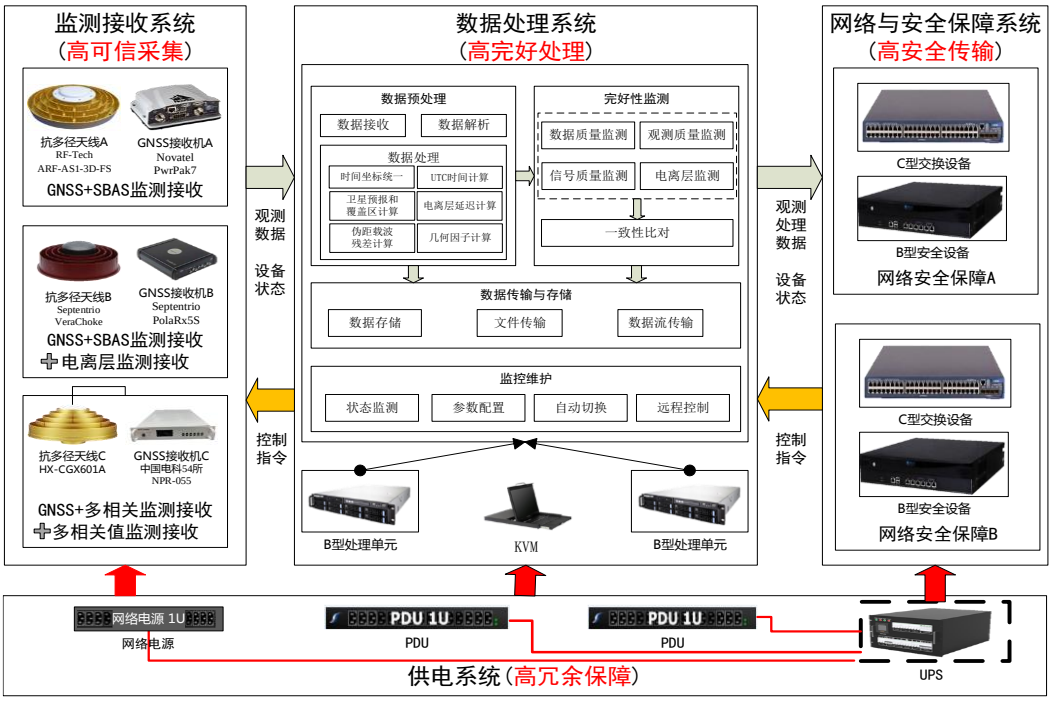


图 3 监测站架构图

针对“高可信采集”，通过配备三套数据采集设备，实现 GNSS 和 SBAS 数据的“冗余备份、互为检核”，提高监测站工作的可靠性和采集数据的可信度；此外，通过采集电离层和相关值数据，支持电离层闪烁和信号畸变的可信监测。

针对“高完好处理”，通过配备可自动切换的两套数据处理单元，实现数据处理业务可靠运行；通过对监测站三套采集设备采集的观测数据进行检核、比较、预处理、完好性监测后才具备对外输出汇报的状态，以此确保传输数据的完好性和连续性。

针对“高安全传输”，通过配备两套数据交换单元和数据安全单元，实现数据传输业务可靠运行；通过配置数据安全单元并设置合理的防护策略，实现数据传输中的防入侵攻击、防病毒；通过数据缓存、断点续传等传输策略，实现数据在链路传输的可靠性。

针对“高可靠供电”，通过配备 UPS 提供稳定且不间断的高质量电源；并且实时监控电源状态并在电源异常时进行应急处理。

2.1.2 监测站组成

为保证系统可靠运行，监测站组成设备采用全固态器件和集成电路，并有相应的正常、告警、故障指示，包括：GNSS 接收机、数据处理单元、数据交换单

元、数据安全单元、UPS 主机、KVM 等，其加电后可显示供电正常、故障告警、故障指示等。

同时，以监测站高可靠连续运行设计实现为核心目标，通过产品六性指标约束采购符合要求的成熟产品，并且对交付产品进行六性筛选，筛选符合要求的设备，保障室内设备 MTBF 不小于 20000h，室内设备 MTTR 不大于 30min。最终集成为满足要求的监测站，实现 7×24 小时连续工作，寿命不小于 10 年。

监测站设备组成框图如下图所示。

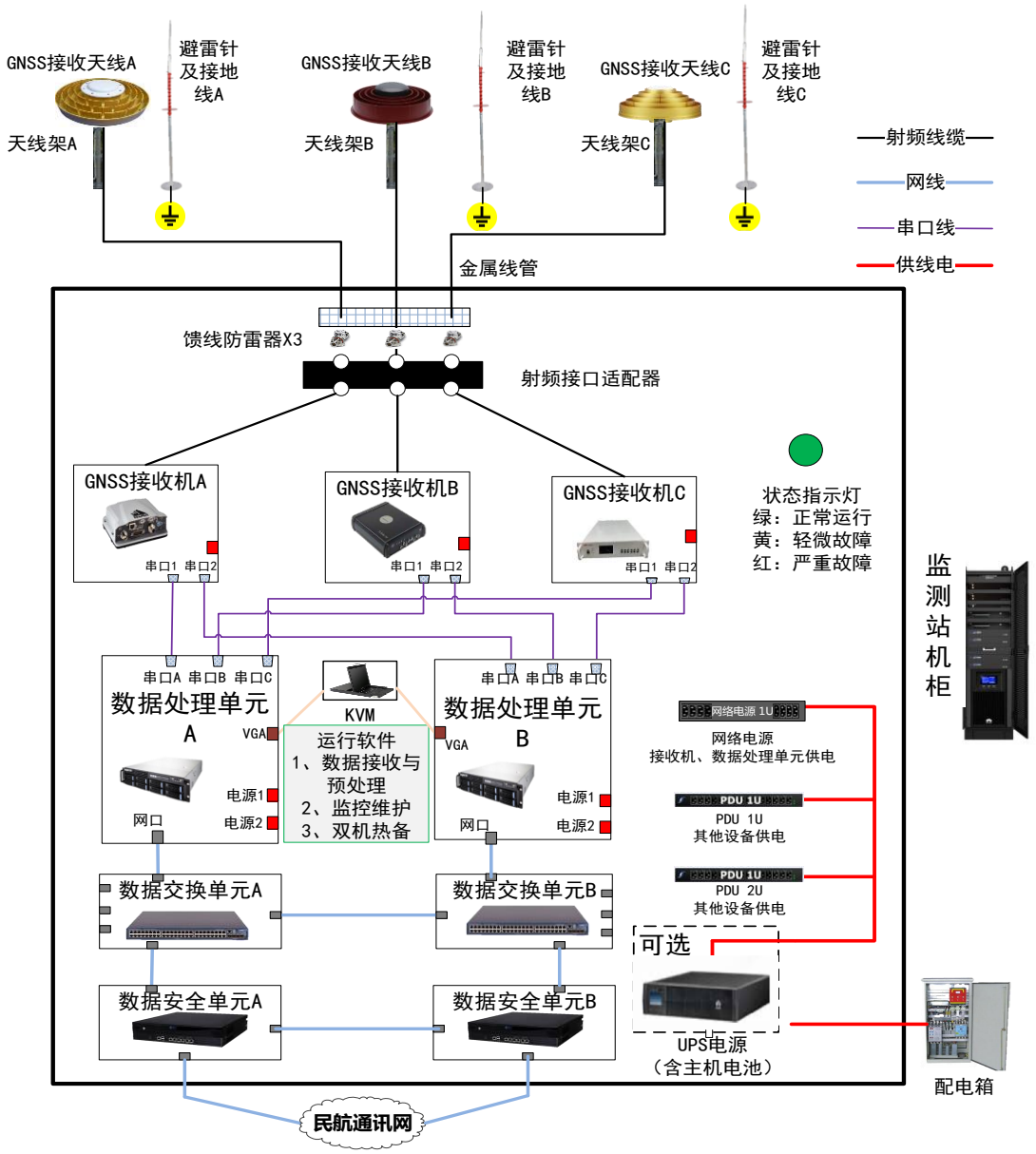


图 4　监测站设备组成图

单套监测站设备基本配置如下表所示，其中，UPS 根据具体站点的要求配置不同。

表 3 监测站设备组成表

序号	设备名称	单位	数量	备注
监测接收设备				
1	GNSS 接收天线 A	台	1	与 GNSS 监测接收机 A 配套
2	GNSS 接收天线 B	台	1	与 GNSS 监测接收机 B 配套
3	GNSS 接收天线 C	台	1	与 GNSS 监测接收机 C 配套
4	GNSS 监测接收机 A	台	1	GNSS 监测
5	GNSS 监测接收机 B	台	1	支持电离层监测
6	GNSS 监测接收机 C	台	1	支持多相关值上报
7	射频接口适配器	台	1	支持射频测试信号分路与耦合
8	馈线防雷器	个	3	防雷，保护 GNSS 监测接收机
9	GNSS 射频电缆（室外）	根	3	3 个连接室外的 GNSS 接收天线至射频接口适配器（连接馈线防雷器）；
10	GNSS 射频电缆（室内）	根	3	3 根连接馈线防雷器至机柜内 GNSS 监测接收机
11	串口线	根	6	3 台监测接收机与 2 台数据处理单元交叉连接，支持数据上报与维护。
数据处理设备				
12	数据处理单元 A	台	1	B 型数据处理单元
13	数据处理单元 B	台	1	B 型数据处理单元
14	KVM 切换器	套	1	包括控制管理模块，键盘、鼠标套件。
15	网线	根	2	2 台数据处理单元与 2 台交换机交叉连接
网络与安全保障设备				
16	数据交换单元 A	台	1	C 型数据交换单元
17	数据交换单元 B	台	1	C 型数据交换单元
18	数据安全单元 A	台	1	B 型数据安全单元
19	数据安全单元 B	台	1	B 型数据安全单元
20	随机辅材（配件及线缆）	套	1	光纤跳线、网络跳线等，用于网络安全保障设备内部及其与民航通信网连接
供电设备				
21	UPS 电源主机及电池电缆	套	1	北京、哈尔滨、成都、乌鲁木齐配备 3KVA UPS 阿拉善配备 6KVA UPS
22	网络电源	个	1	为 GNSS 接收机与数据处理单元供电（机柜配置）
23	PDU	个	2	为其它设备供电（机柜内配置）
软件				
24	操作系统软件	-	2	系统运行保障
25	站点数据接收与预处理软件	-	2	A/B 主备。包括数据接收、数据解析、完好性监测功能。
26	站点监控维护软件	-	2	监控维护功能包括参数配置、设备状态监测、远程操作维护和自动切换、故障管理

序号	设备名称	单位	数量	备注
27	双机热备软件	-	2	KEEP ALIVED 软件
28	数据库管理软件	-	2	MySQL，支持用户账户管理、日志等的记录与查询。
29	杀毒软件	-	2	系统安全保障
配置模块				
30	FTP 服务配置模块	-	1	支持监测站远程
31	NTP 授时配置模块		1	接收主控中心授时
32	远程访问配置模块		1	支持远程访问
机柜				
33	机柜	个	1	42U 类机柜，配备网络电源、PDU、安装托盘、接地线、空面板等。 具备故障状态指示灯。

在上述组成下，相关设备相互配合、协同工作，根据任务类型形成 4 个系统，包括监测接收系统、数据处理系统、网络安全与保障系统、供电系统等。各个系统协同工作，共同完成监测站的所需功能，达到所需性能。

2.1.3 工作原理

监测站根据工作原理逻辑可分为：采集层、处理层、管理层、传输层、保障层。其中，采集层完成监测站原始 GNSS、SBAS 观测的采集并上报处理层；处理层完成 GNSS、SBAS 原始数据的预处理、完好性监测、数据传输与存储功能，通过传输层将数据传输至主控中心；管理层自动化完成状态监测、日志记录、自动切换、故障管理等功能，并支持本地与主控中心远程参数配置、升级维护等操作；传输层提供与外界数据交互的防入侵攻击、防火墙、防病毒等安全防护能力。保障为监测站稳定运行提供基本条件，提供高可靠高可控自动化的电力供应。

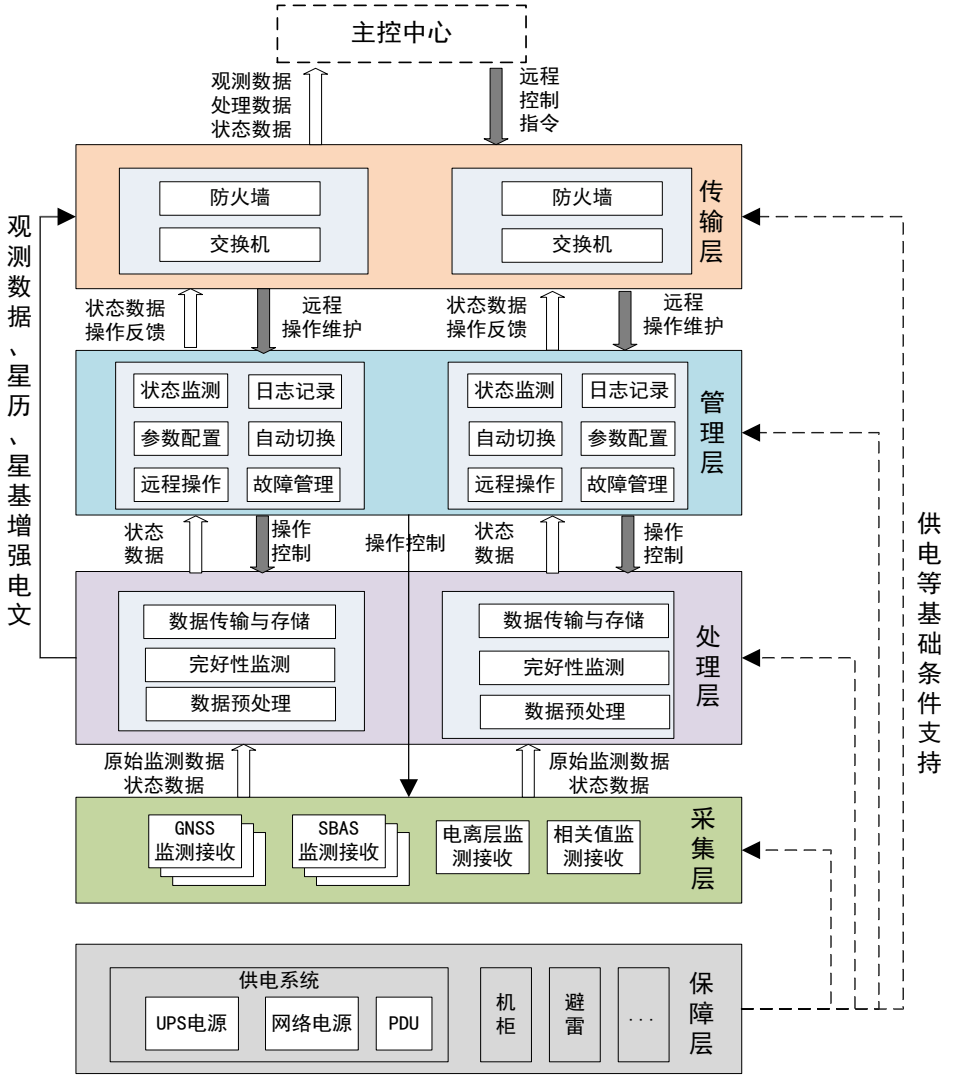


图 5　监测站工作原理图

（1）采集层监测接收工作原理

监测接收以采集 GNSS 观测数据、星历数据、 SBAS 电文数据、多相关值、电离层监测数据为核心任务，采用自动化的工作方式进行运行，将 3 台不同厂家的 GNSS 接收天线与监测接收机的多个功能主体进行有机结合，完成对视界内各卫星导航系统下行导航信号的接收与处理，同时监测和收集 GNSS 监测接收机运行工况信息等处理信息，最终提供 3 路相互独立的高性能 GNSS(含 SBAS)监测接收数据。同时，提供 1 路电离层闪烁与 TEC 监测数据、1 路 GNSS 多相关值监测接收数据，并在接收机内部按照规定的帧格式将数据打包，通过 2 个串口分别传送到 2 套数据处理单元。

（2）处理层数据处理原理

数据处理主要包括站点数据接收与预处理软件、FTP 服务配置模块等。数据

处理是整个监测站设备的数据枢纽。数据处理主要包括数据预处理、完好性监测、数据传输与存储。数据预处理模块主要完成 3 路 GNSS 接收机原始格式的数据接收、解析以及常规处理等功能；完好性监测模块基于解析的数据开展数据质量监测、观测质量监测、信号质量监测、电离层闪烁监测，并基于一致性对比，提供至少 2 路正确观测数据；数据传输与存储模块接收系统的原始数据、状态数据、业务数据、状态数据、操作日志，并以数据文件格式进行存储，同时支持数据的 NTRIP 实时流与 FTP 文件传输。

（3）传输层网络安全与保障工作原理

网络安全与保障通过基于 TCP/IP 协议建立监测站主控中心与监测站之间的通信链路。主控中心一般配置为服务器模式，监测站配置为客户端模式。监测站监测接收机支持通过基于 TCP/IP 的 Point to Point Protocol（PPP）协议实现远程维护与升级操作。网络安全与保障配置了 2 套交换机、2 套防火墙，具备防入侵攻击、防火墙、防病毒等安全防护能力。

（4）管理层监控维护工作原理

监控维护业务是整个监测站的运行枢纽。监控维护业务主要由站点监控维护软件（具备状态监测与告警、参数配置与远程操作、日志记录与故障管理等）、双机热备软件、NTP 授时配置模块、远程访问配置模块等组成。NTP 授时配置模块接收主控中心的网络授时信号，完成监测站本地数据处理单元与主控中心的时间同步；远程访问配置模块支持主控中心通过 SSH 协议可靠的远程登录监测站数据处理单元，对监测站进行直接操作维护；双机热备软件通过主机与从机互相监测，实现主机异常时的主从自动切换；状态监测与告警业务通过对接收机、传输链路、数据处理单元等进行实时状态监测，根据当前状态判定是否存在故障及故障操作方法，进而执行指令配置、断电重启、告警等待人工操作等；参数配置与远程操作接收本地与远程的配置指令，进行用户权限、参数有效性等检查后，执行相应配置并反馈配置结果；日志记录与故障管理，记录历史状态、参数配置等日志，并支持人工故障输入与软件自动故障记录。

（5）保障层工作原理

监测站配置了供电系统为站点提供不间断高质量电源；同时，采取了完善的

避雷设计保障监测站运行安全。

2.2 监测站分系统设计方案

监测站分为监测接收系统、数据处理系统、网络安全与保障系统、供电系统四个分系统。

2.2.1 监测接收系统设计方案

监测接收系统主要完成对GNSS导航信号和SBAS增强信号进行连续跟踪和监测，产生GNSS和SBAS原始数据、电离层监测数据、多相关值检测数据，并进行必要的数据处理及完好性监测等操作，形成至少2路正确原始观测数据、基本导航电文、星基增强电文等信息，并实时回传至主控中心，为GNSS完好性监测与告警、GNSS和SBAS服务性能分析与评估、监测站数据下载等提供原始数据支撑。同时具备对监测站工作状态监视、状态告警、运行控制、参数配置、日志及数据记录等功能，同时支持远程软件升级和参数配置等操作维护工作。

2.2.1.1 组成与工作原理

监测接收系统负责接收 GNSS 空间信号，输出观测数据、星历数据和 SBAS 电文数据，并传输给数据处理系统。根据设计要求，监测接收系统利用三套不同型号和功能的监测接收机及天线对GNSS信号进行连续观测，实时获取载波相位、伪距、多普勒、导航电文等数据，通过民航通信网将各类数据传送至主控中心。

监测接收分系统主要包括：GNSS接收天线3台、GNSS监测接收机3台及附属配件（射频电缆等）、射频接口适配器、串口线缆、网口线缆等，可提供3路独立的GNSS监测接收数据。具体包括：

（1）GNSS监测接收机A及接收天线A，采用成熟货架产品Novatel PwrPak7接收机与ARF-AS1-3D-FS 抗多径天线及配件

（2）GNSS 监测接收机 B 及接收天线 B，采用成熟货架产品 Septentrio PolaRx5S电离层监测接收机与SeptentrioVeroChoke抗多径天线及配件；

（3）GNSS监测接收机C及接收天线C，采用中国电科54所NPR-055接收机与华信HX-CGX601A抗多径天线及配件；

（4）射频接口适配器，采用自研设备，内置分路器和耦合器，支持测试信号输入和输出；

（5）馈线防雷器，防止感应雷，保护机柜内设备；

（6）线缆，包括射频线缆、串口线缆等。

具体工作原理为：

三套抗多径天线 ARF-AS1-3D-FS、SeptentrioVeroChoke、华信 HX-CGX601A 通过对低仰角多径信号的抑制，实现对 GNSS（包括 SBAS）空间信号的高质量接收，并将其转换成射频信号传输，经过低损耗传输电缆和射频接口适配器转接至 NovatelPwrPak7 接收机、SeptentrioPolaRx5S 电离层监测接收机、自研 GNSS 多相关监测接收机;NovatelPwrPak7 接收机接收 GNSS、SBAS 射频信号，生成 GNSS 和 SBAS 的观测数据和电文数据，并通过 COM1 与 COM2 两个串口分别传输至两套数据处理单元；SeptentrioPolaRx5S 电离层监测接收机接收 GNSS、SBAS 射频信号，生成 GNSS 和 SBAS 的观测数据、电文数据和电离层监测数据，通过 COM1 与 COM2 分别传输至两套数据处理单元；GNSS 多相关监测接收机接收 GNSS、SBAS 射频信号，生成 GNSS 和 SBAS 的观测数据、电文数据和相关值数据，并通过 COM1 与 COM2 分别传输至数据处理单元。

同时，射频接口适配器内置分路器和耦合器，可支持抗多径天线信号分路输出至测试接收机，并且支持外接模拟器设备的模拟导航信号输入至接收机，以支持系统自测试功能。

工作原理如下图所示。

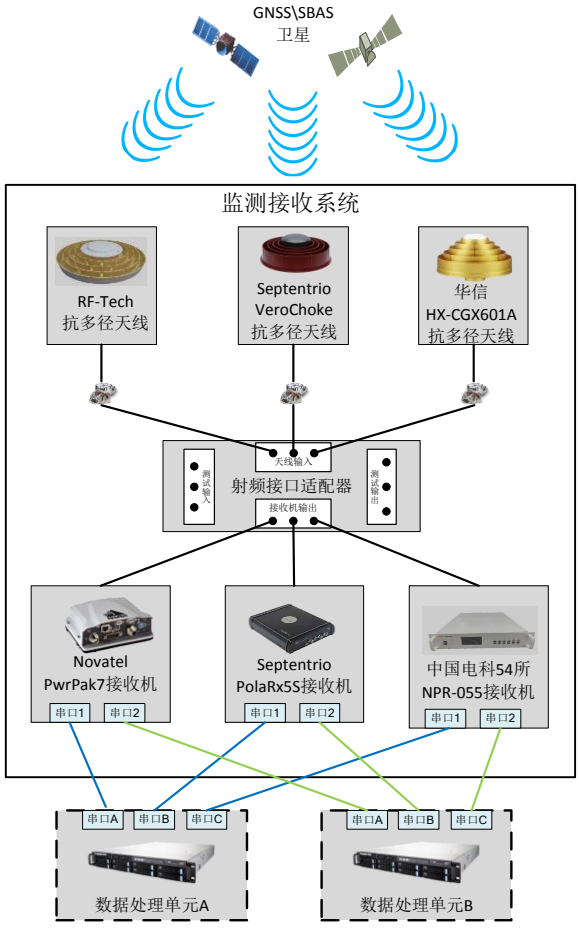


图 6 监测接收工作原理图

2.2.1.2 GNSS 监测接收机与天线方案

由于民航 GNSS 监测评估对数据的可信性、系统工作连续性和可用性要求较高，需确保采集上报的观测数据真实可信。在监测接收架构上，采用**“冗余异构、互为独立、一致检核”**的方法。具体为在设备选型上采用不同型号的接收机和天线，利用不同型号设备设计理念和处理流程不同的特点，实现对同一信号多种方法不同接收处理，达到相互验证、相互检核的目的，提高的监测评估数据的可信度。基于以上设计原理，本方案采用了 1 套 GNSS 商用接收机+1 套 GNSS 商用电离层监测接收机+1 套 GNSS 多相关监测接收机的方案。电离层监测、相关值上报等特殊功能所消耗硬件资源多，在同一台监测接收机上实现难度大，需要 2 台单独的监测接收机。配置三套不同型号天线，主要目的是减少相同类型天线误差同质性，由于不同天线设计技术和制造工艺不同，相同环境下对 GNSS 信号感应效果不同，避免出现三套天线均异常的情况，确保整个监测接收机系统工作连续性、可用性和数据的可靠性。

具体设备差异化分析如下：

（1）GNSS 抗多径天线差异化分析对比

ARF-AS1-3D-FS 天线采用独特的 3D 扼流圈底盘设计，已通过 IGS 校准认证，与内核天线完美配合，提供了卓越的抗多路径干扰和低仰角收星能力；具有相位中心稳定性高、高精度、高抗干扰性的特点，适用于测量、测绘、测向、授时、导航等各种应用，可为参考站、形变监测、地震预报、卫星信号转发、科研等提供高质量的 GNSS 信号。

Septentrio VeroChoke 天线基于高精度的大地多频多星座的扼流圈天线，结合了低相噪放大器，强大的外干扰滤波器，有着优越的多路径反馈和稳定的相位中心；天线罩密封，即使在恶劣条件下也能接收到可靠的信号。

HX-CGX601A 的特点如下：采用 3D 扼流圈，具备三维锁环结构设计，具有优异的多径抑制能力；采用低噪放大器，提高抗干扰性能；实现了亚毫米级相位中心误差，具有出色的稳定性和重复性；高增益，具有较强的低仰角信号跟踪能力；卓越的 IP68 防水防尘等级，使其能够在恶劣的环境中工作。

总的来说，三款天线作为广泛应用的货架产品，具有高稳定相位中心和优异的抗多径能力，可满足应用要求。同时，选择三种不同类型天线仍然可削弱误差同质性，避免共性误差造成接收不可用。

（2）GNSS 接收机差异化分析对比

本方案选用了 NovatelPwrPak7 接收机、SeptentrioPolaRx5S 电离层监测接收机、自研 GNSS 多相关监测接收机三款不同的接收机，三款接收机具有不同的

特性，具体分析主要可体现在核心功能差异化、内部处理差异化等方面，具体如下：

1）功能差异化

三款接收机功能冗余且互补，可满足系统建设要求。

Novatel PwrPak7 主要用于 GNSS 和 SBAS 监测，主要原因是同厂家同类收机已经过 WAAS、LAAS 等完好性监测专业领域的应用验证，表明其可满足航空导航监测应用的需求。

Septentrio PolaRx5S 主要用于电离层监测，同时兼顾 GNSS 和 SBAS 监测，主要原因是其作为目前全球应用最广的电离层监测接收机，提供高性能电离层监测能力的同时，也满足 GNSS/SBAS 的监测需求。

自研 GNSS 多相关监测接收机主要用于支持信号畸变监测，兼顾 GNSS 和 SBAS 监测，主要原因是多相关值作为一项特殊的定制化功能要求，难以从现有商用接收机中选型确定，中国电科 54 所作为国内领先的监测接收机厂家，具有支持信号畸变的多相关值上报功能接收机研制技术储备，并且应用于 GBAS、北斗系统建设等，可提供满足方案技术要求的监测接收机。

2）干扰环境下差异化

三款接收机采用了不同的干扰检测与抑制技术，不同的干扰检测技术互有优劣，可保障干扰环境下的 GNSS 数据采集能力。

Novatel PwrPak7 采用了 NovAtel ITK 干扰检测与抑制技术，具有频谱分析及显示、手动干扰抑制、自动干扰检测、自动干扰抑制等功能。目前 ITK 技术在无人机、地面车辆定位、CORS 站建设等领域应用较多，主要用于消除有意无意的干扰和反欺骗，有效提高监测站在弱干扰环境下工作稳定性。

Septentrio PolaRx5S 采用了一系列新颖的信号解算算法，其中 ALM+抗干扰平滑技术，保障了监测站可在干扰环境下稳定监测 GNSS/SBAS 信号。

自研 GNSS 多相关监测接收机内置干扰检测与抑制模块，具备干扰信号检测功能，并输出干扰信号检测参数；具备根据指令对指定导航信号频段进行实时频谱监测功能；具备抗带内窄带和脉冲干扰信号功能。

3）多径环境下差异化

三款接收机采用了不同的抗多径技术，不同的干扰检测技术互有优劣，可保障干扰环境下的 GNSS 数据采集能力。

Novatel PwrPak7 采用 Vision 抗多径技术。在复杂多径环境下，Vision 技术能够超越其他技术有效消除天线附近的多路径干扰。本方案中 Vision 技术可有效降低周边环境对监测评估结果的影响，更加精准的反映卫星导航系统服务性

能。

Septentrio PolaRx5S 采用了一系列自主创新的信号解算算法，包括 APME+先进多路径平滑算法技术、LOCK+高振动情况下的超稳定跟踪算法技术，所以能不间断同步跟踪 GPS/GLONASS/GALILEO/北斗信号，并提供高品质的超低噪观测数据，保障了监测站可在多径环境下稳定监测 GNSS/SBAS 信号。

自研 GNSS 多相关监测接收机内置了多种类型的基带处理抗多径模块；具备屏蔽低仰角多径效应功能，接收机可根据指令设置接收机多径抑制算法启用或关闭功能。

4）电离层环境下差异化

电离层闪烁期间接收机环路状态不稳定，因此，高精度监测接收机与电离层闪烁监测接收机的环路配置通常不一致。电离层幅度闪烁造成卫星信号载噪比下降，影响接收机载波环路的跟踪性能；电离层相位闪烁造成接收信号的相位抖动，这种抖动可看作一种相位噪声，引起接收机载波跟踪环路的性能降低。因此，电离层监测接收相比高精度监测接收需要更大的环路带宽。

本文 Septentrio PolaRx5S 电离层监测接收机采用 IONO+技术的 Septentrio 接收机，能够在阻扰标准型接收机的条件下持续跟踪信号。它还使 Septentrio 接收机能够识别闪烁事件，限制它们可能对位置精度产生的任何不利影响。

5） 设备特性差异化

不同型号接收机由于不同的设计技术和制造工艺，相同环境下对 GNSS 信号感应效果不同，其可靠性、可维护性、环境适应性不同。因此，选择不同厂家的接收机和天线可避免共性故障。

综上，本方案三套接收机和天线的差异性保障了监测站可在不同的环境下提供多维度的监测量，为监测评估提供可信的数据源。

表 4　天线与接收机分析对比

型号	基本功能	抗多径抗干扰	电离层抑制	多相关值检测	应用	选型理由
ARF-AS1-3D-FS 与 Novatel PwrPak 7 接收机	具备	具备 Interference Toolkit 抗干扰技术 3D 扼流圈抗多径相关技术	—	—	WAAS、LAAS	天线通过 IGS 认证；基本 GNSS/SBAS 检测

型号	基本功能	抗多径抗干扰	电离层抑制	多相关值检测	应用	选型理由
Septentrio VeroChoke 天线与 Septentrio PolaRx5S 接收机	具备	具备 ALM+抗干扰 平滑技术 扼流圈	100Hz 电离层采样	—	电离层监测与抑制（巴西地区实验）	电离层监测
HX-CGX601A 与 NPR-055 接收机	具备	干扰信号检测与窄带脉冲干扰抑制 基带抗多径功能	—	具备	北斗系统、iGMAS、GBAS	信号质量监测

2.2.1.3 射频接口适配器

为满足系统可测试性的要求，监测接收系统配置了一套射频接口适配器。射频接口适配器支持耦合外接导航模拟器信号输入至监测站 GNSS 接收机，并输出 GNSS 接收天线信号至外接测试接收机，以满足监测站功能性能测试、故障排查、运行维护等的实际要求。

射频接口适配器为 1U 机箱，内部主要包括 3 个 L 频段的分路器和 3 个 L 频段耦合器，主要输入口包括 3 个 GNSS 天线信号输入口、3 个模拟器信号输入口；主要输出口包括 3 个 GNSS 接收机信号输出口、3 个 GNSS 测试信号输出口。其中每个 L 频段的分路器、L 频段耦合器、GNSS 天线信号输入口、模拟器信号输入口、GNSS 接收机信号输出口、GNSS 测试信号输出口构成一个射频接口适配单元，共有 3 套相互独立的射频接口适配单元。

其工作原理为：GNSS 天线信号通过 GNSS 天线输入口连接至 L 频段分路器，L 频段分路器将 GNSS 天线信号分为 2 路，其中 1 路连接至 GNSS 接收机输出口，另外 1 路连接至 L 频段耦合器，与 GNSS 模拟器输入口的模拟测试信号耦合，输出信号至 GNSS 接收机输出口和 GNSS 测试输出口。

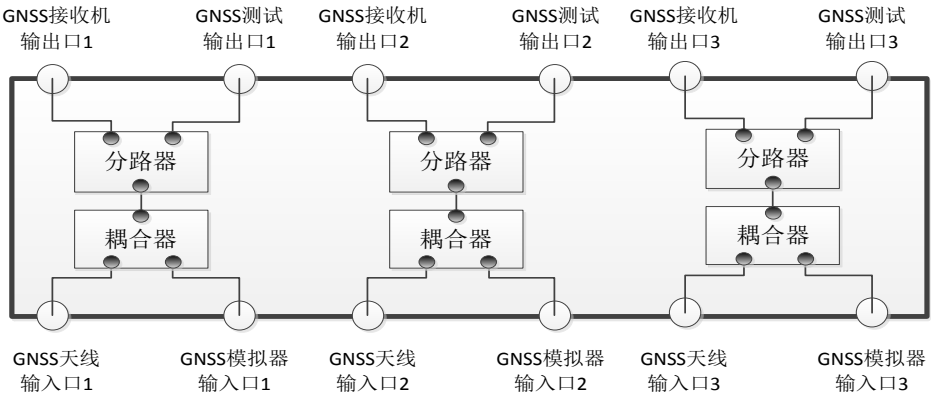


图 7 射频接口适配器内部组成与连接关系图

射频接口适配器可自适应支持多种场景，正常情况下只有 GNSS 天线输入口连接 GNSS 天线，GNSS 接收机输出口连接 GNSS 接收机。但是在测试场景下其支持外接模拟器输出或者 GNSS 信号输出，以满足系统功能性能评估测试需求。

2.2.2 数据处理系统

数据处理系统负责 GNSS 观测数据的接收与处理，对接收的数据进行本地存储，并将数据实时传输至主控中心。

2.2.2.1 组成与工作原理

数据处理系统根据监测站的数据处理所需功能类型，可分为数据预处理模块、完好性监测模块、数据传输与存储模块、监控维护模块以及数据处理单元等附属硬件构成。

具体工作原理如下图所示，数据预处理模块接收三台监测接收机上报的原始数据与状态数据，解析后生成观测数据、星历、多相关值、电离层数据，并进行处理，生成监测站的卫星导航常规监测数据。完好性监测功能可分为两步,第一步是基于预处理模块提供的数据，开展数据质量监测、电离层监测、观测质量监测、信号质量监测，从多个维度对卫星导航的完好性进行监测，生成监测量与完好性标记，从单接收机单维度反应卫星导航完好性水平；第二步基于 3 台接收机 4 类完好性监测共计 32 个监测结果进行监测量的一致性比对，基于一致性对比结果和告警标记判定异常，同时进一步采取 RAIM 实现故障识别与隔离，以精准识别卫星故障、接收机故障以及通道故障，提供 2 路正确的数据。数据传输与存储模块完成与主控中心的数据传输，以及所需数据的本地存储。

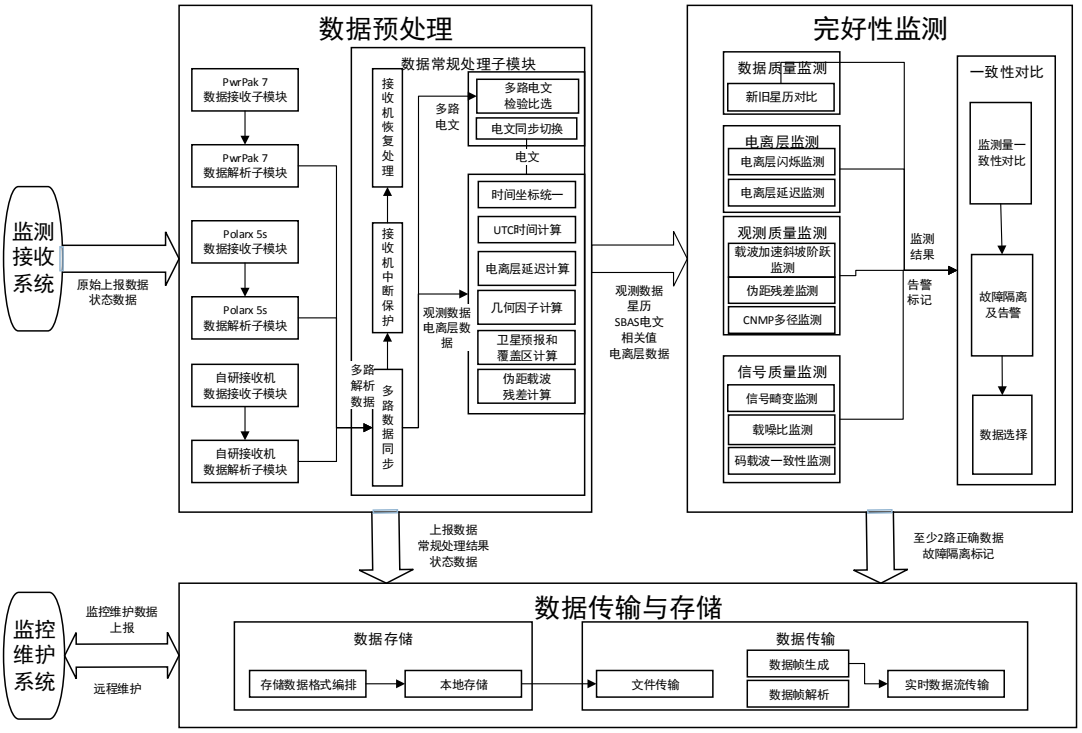


图 8 监测站数据处理系统原理图

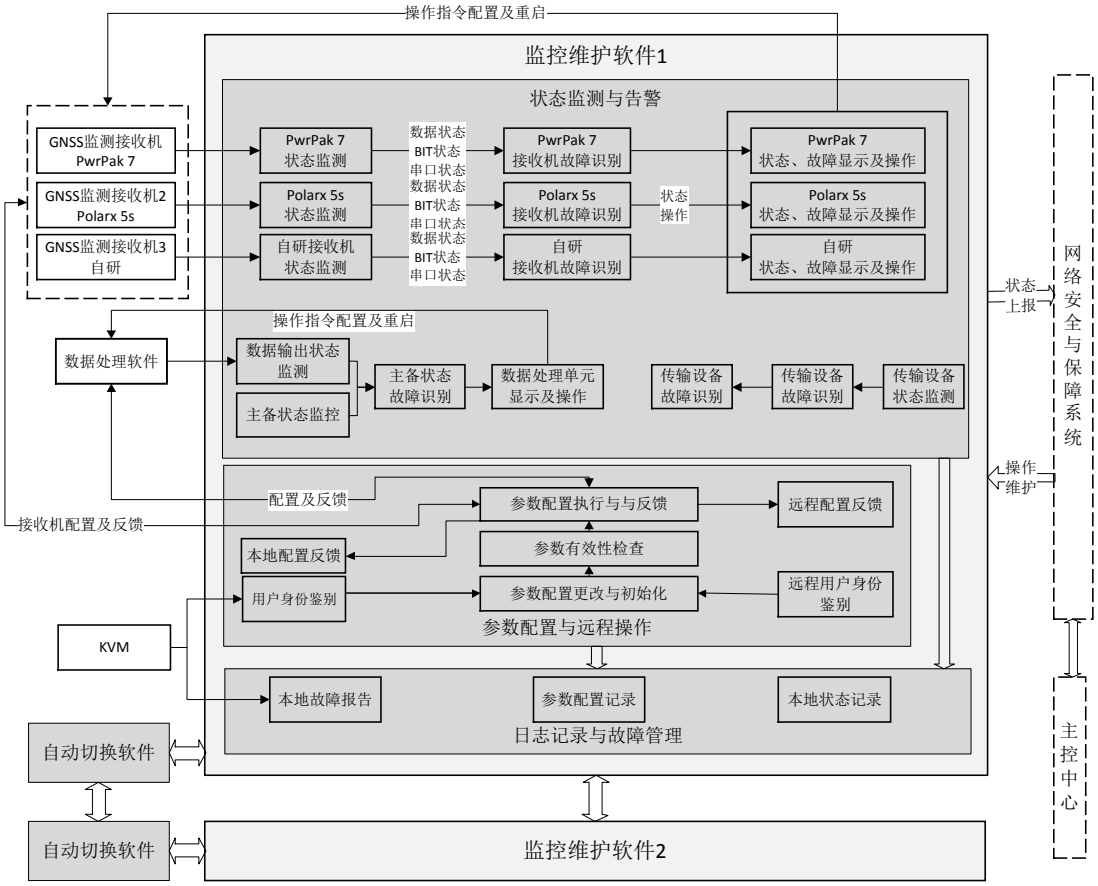


图 9 监测站监控维护原理图

本系统是监测站的核心系统，其原理可进一步详细描述，如下：

数据预处理模块的主要功能是完成监测站三台监测接收机上报原始数据、状态数据的接收、解析、常规处理，为完好性监测功能提供符合格式的数据；为数据传输与存储模块提供原始数据、状态数据以及常规处理结果。数据预处理模块根据用户可配置的定时、触发两种数据接收模式，通过 DB9 串口，接收 3 路 GNSS 接收机原始格式的混合数据，基于接收机 BIT 对接收机数据异常故障自动检测，通过三个串口与接收机的对应关系实现对混合数据的异步接收缓存，并采用自动检索帧头帧尾、帧校验、多路数据缓存同步等方法实现对 3 路 GNSS 接收机原始格式的混合数据的解析，提供 GNSS 星历和观测数据、BDSBAS 电文数据、接收机状态数据，继而通过多路数据同步、接收机数据中断保护、接收机恢复处理、多接收机广播电文检验和比选、广播电文同步切换、统一坐标和时间，为完好性监测提供时空统一的待处理数据，并且完成卫星位置、几何因子、UTC 时间、当地电离层延迟和伪距残差的计算。

完好性监测模块的主要功能是对三台监测接收机上报的数据进行数据质量监测、观测质量监测、信号质量监测、电离层闪烁监测，并进行一致性对比，提供至少 2 路正确观测数据，保障传输至主控中心观测数据的正确性。完好性监测模块接收数据预处理模块提供的 GNSS 星历与观测数据、电离层监测数据、相关值数据等。基于相关值的对称性、斜率、比率等完成信号质量监测的信号畸变监测；基于载噪比完成信号质量监测的功率监测；通过对码伪距与载波相位差值的变化率进行二阶 Hatch 滤波实现信号质量监测的码载波一致性监测。基于新旧星历比对方法等方法完成数据质量监测。基于校正伪距与星站距的差值完成伪距残差监测；基于对载波残差的二项式拟合完成载波加速-阶跃-斜坡监测；基于伪距和载波相位实现 CNMP 多径监测。基于电离层监测接收机上报的监测数据实现电离层延迟监测、电离层闪烁监测。在上述监测的基础上，通过对三个监测站监测结果的综合逻辑处理与一致性比对，完成对单故障监测与隔离功能排除潜在的异常数据，提供至少 2 路正确的观测数据。

数据传输与存储模块的主要功能是按照相关接口协议完成与主控中心的所需数据传输与本地存储。数据传输与存储模块采用 NTRIP 协议实现与主控中心的数据流实时传输，采用 FTP 实现数据文件推送和下载；并且将原始数据、状态数据等按照规定格式在本地存储。

监控维护模块按照业务可分为：状态监测与告警、参数配置与远程操作、日志记录与故障管理、自动切换。状态监测与告警业务通过对接收机、传输链路、数据处理单元等进行实时状态监测，根据当前状态判定是否存在故障及故障操作

方法，进而执行指令配置、断电重启、告警等待人工操作等具体操作；参数配置与远程操作业务通过接收本地与远程的配置指令，进行用户权限、参数有效性等检查后，执行相应配置并反馈配置结果；自动切换业务通过开源 KEEPALIVED 软件执行，双机热备主要是实时数据、报警信息和变量历史记录的热备。主从机都正常工作时，主机从设备采集数据，并产生报警和事件信息。从机通过网络从主机获取实时数据和报警信息，而不会从设备读取或自己产生报警信息，主从机都各自记录变量历史数据。同时，从机通过网络监听主机，从机与主机之间的监听采取请求与应答的方式，从机以一定的时间间隔（冗余机心跳检测时间）向主机发出请求，主机应答表示工作正常，主机如果没有作出应答，从机将切断与主机的网络数据传输，转入活动状态，改由下位设备获取数据，并产生报警和事件信息。此后，从机还会定时监听主机状态，一旦主机恢复，就切换到热备状态，通过这种方式实现了热备。日志记录与故障管理业务记录历史状态、参数配置等日志，并支持人工故障输入与软件自动故障记录。

2.2.2.2 数据预处理

数据预处理模块可分为数据接收模块、数据解析模块、数据常规处理模块。

（1）数据接收模块

数据接收子模块主要为支持接收 3 路 GNSS 接收机原始格式的混合数据，具备异步接收缓存，支持定时、触发模式，具备接收机数据异常故障自动检测。

数据接收子模块接收三台监测接收机的数据包括：

表 5　接收机上报数据表

序号	接收机类型	数据类型	格式
1	Novatel PwrPak7	GNSS 观测数据	OEM7 Commands LogsManual
2		GNSS 星历	
3		BDSBAS 电文	
4		状态数据	
5	Septentrio PolaRx5S	GNSS 观测数据	PolaRx5S Firmwarev5.4.0 ReferenceGuide
6		GNSS 星历	
7		BDSBAS 电文	
8		状态数据	
9		电离层监测数据	
10	NPR-055 接收机	GNSS 观测数据	自定义
11		GNSS 星历	
12		BDSBAS 电文	
13		状态数据	

序号	接收机类型	数据类型	格式
14		多相关值数据	

具体的接收流程如下图所示：

监测接收机将原始数据通过串口上报至数据处理单元并在串口缓存。

数据接收支持定时模式与触发模式。定时模式下，定时器按照约定时间产生数据接收信号，读取串口缓存；触发模式下，根据串口缓存上报的状态产生接收信号，读取串口缓存。

数据异常故障自动检测缓存中读取的数据内容，如果数据上报时间、上报格式存在异常，则产生故障告警并传输至站点监控维护软件。

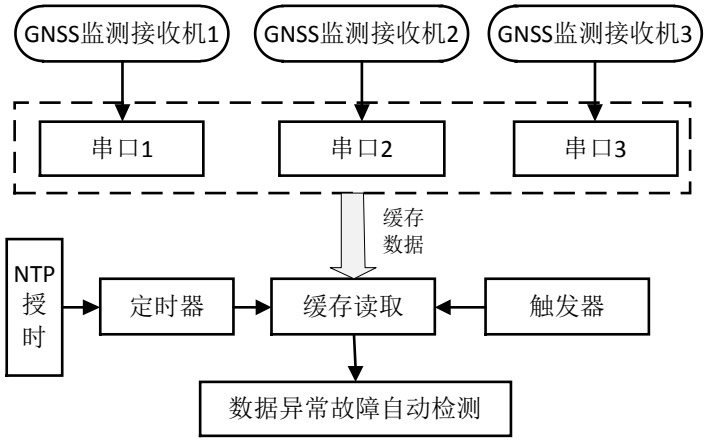


图 10 数据接收子模块原理流程图

（2）数据解析模块

模块支持自动检索帧头帧尾，支持帧校验，多路数据缓存同步，支持解析格式包括 GPS、BDS2、BDS3、GLONASS、Galileo 的星历和观测数据，BDSBAS 电文数据，接收机状态数据等。

主要的工作流程为：

根据接收机上报数据表，分别按照《OEM7 Commands Logs Manual》、《PolaRx5S Firmwarev5.4.0 Reference Guide》、《GNSS 多相关监测接收机接口规范》进行自动检索帧头帧尾，CRC 校验、数据块解析，生成解析数据；

基于 NTP 授时产生本地时间基准，提取 3 路解析数据的时间标签，对本地时间基准与 3 路解析数据的时间标签进行匹配，完成多路数据缓存同步。

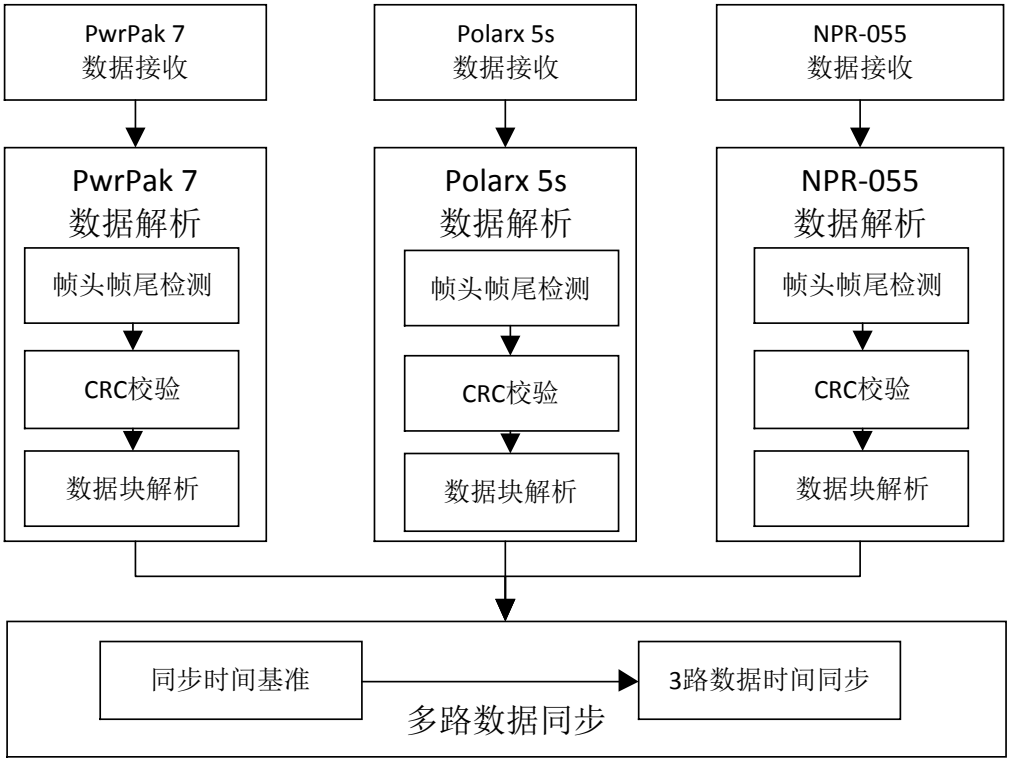


图 11 数据解析子模块原理流程图

（3）数据预处理模块

主要功能是：多路数据同步，接收机数据中断保护，接收机恢复处理，多接收机广播电文检验和比选，广播电文同步切换，统一坐标和时间，计算卫星位置，计算 PDOP 等几何因子，计算 UTC 时间，计算当地电离层延迟，计算伪距残差。

具体的方法为：

- **多路数据同步**

多路数据同步功能已在数据解析功能子模块中实现，在此不作重复工作。

- **接收机数据中断保护与接收机恢复处理**

接收机数据中断保护与恢复处理主要是未来避免偶发传输中断导致的数据丢失。主要流程如下，当前接收机缓存解析失败后，则将当前接收机缓存数据保存，并将其与下一个缓存数据进行合并，再进行解析，避免偶发传输故障的数据丢失。

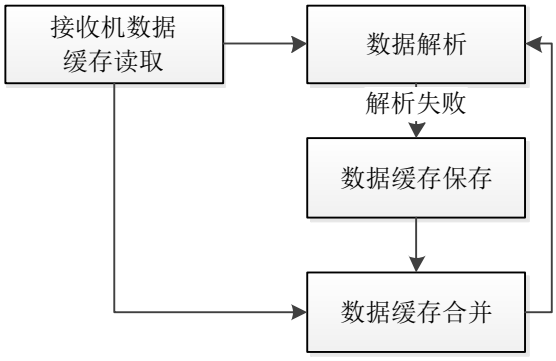


图 12 接收机数据中断保护与接收机恢复处理原理流程图

- **多接收机广播电文检验和比选与广播电文同步切换**

多接收机广播电文检验和比选对三台监测接收机上报的广播电文进行合并，产生统一的广播电文。具体方法为：分别将三路广播电文与已验证的广播电文进行对比，判断是否更新；继而进行更新广播电文一致性判断，若 3 台监测接收机中 2 台监测接收机的广播电文已更新且相同，则更新广播电文。

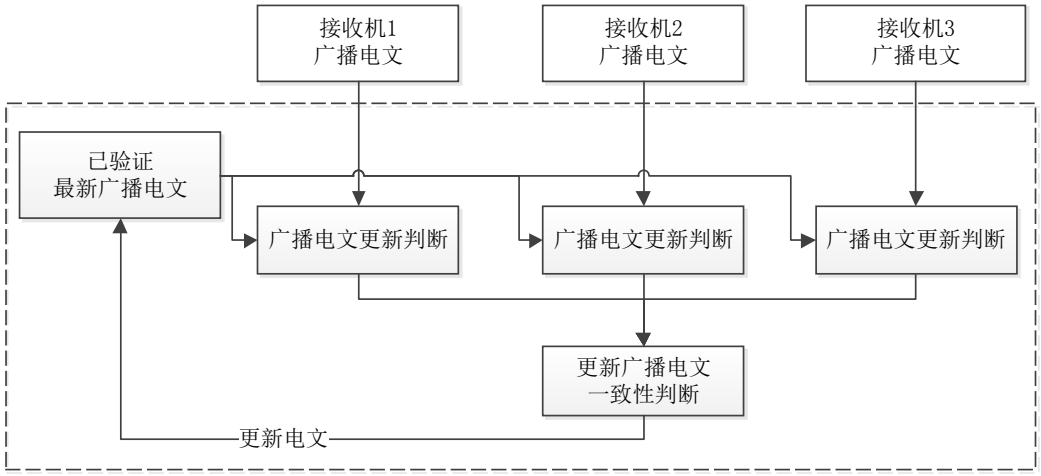


图 13 多接收机广播电文检验和比选与广播电文同步切换

广播电文同步切换是保障不同监测站的监测结果一致性，通过配置约定更新时间，一般可以设定为广播电文更新 3min 时，统一将已验证的最新广播电文替换应用的广播电文。

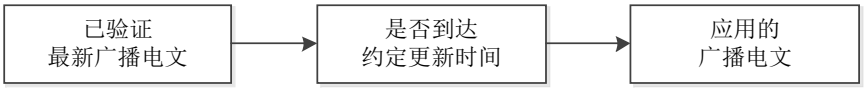


图 14 广播电文切换

- **坐标和时间统一**

监测站通过接收主控中心定期解算的监测站坐标，并根据其配置站点数据接收与预处理软件中的监测站参数，实现监测站的坐标统一。通过接收主控中心的 NTP 授时信号，并执行定期同步，将监测站服务器的本地时钟与主控中心的时钟

进行同步，实现时间统一。

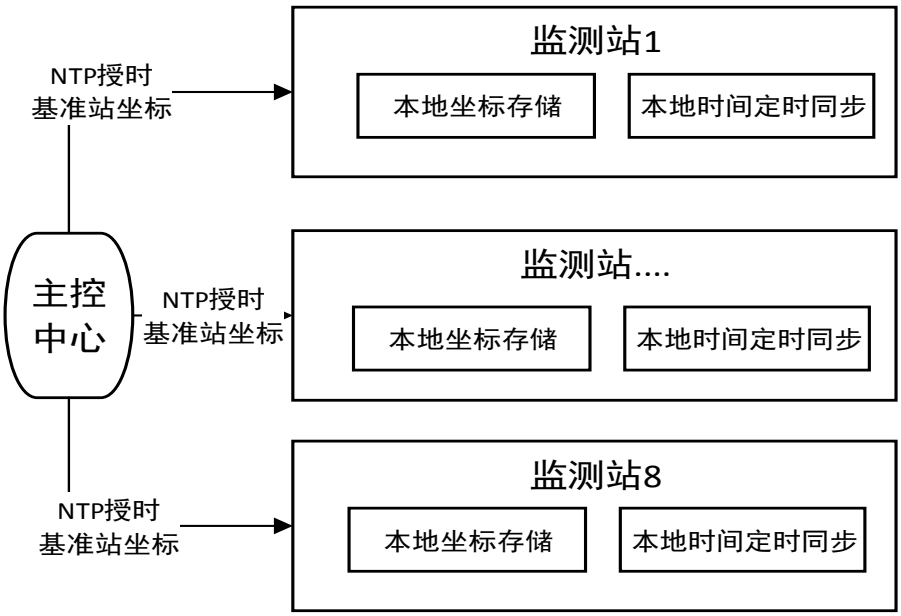


图 15 坐标和时间统一流程图

卫星位置、卫星仰角和方位角的计算流程如下：

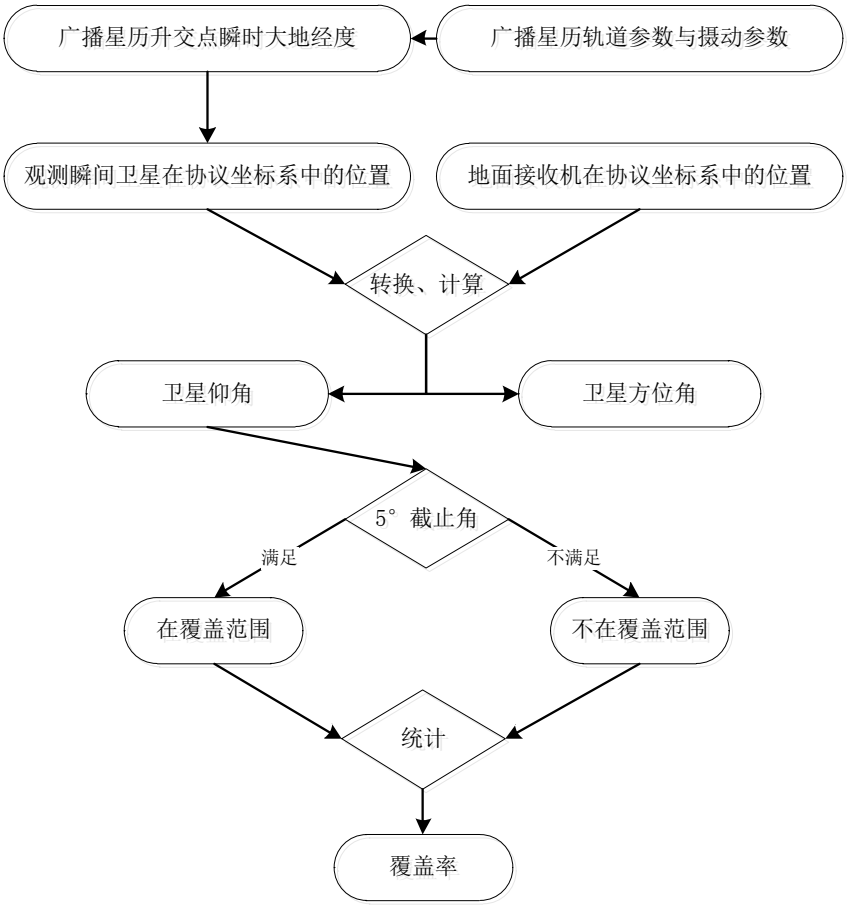


图 16 卫星位置、卫星仰角和方位角的计算流程图

- **卫星几何分布因子计算**

精度因子（DOP）分为几何精度因子（GDOP）、位置精度因子（PDOP）、垂直精度因子（VDOP）、水平精度因子（HDOP）以及时间精度因子（TDOP）五种。以上参数可按照单 GNSS 星座或多 GNSS 星座组合计算，具体步骤如下：

1）计算空间直角坐标系下定位的权系数矩阵。设用户观测到 4 颗或 4 颗以上卫星进行单点定位解算，则权系数矩阵有：

$$Q_X = (A^T A)^{-1}$$

式中，Q_X表示在空间直角坐标系下n颗卫星参与定位计算的权系数矩阵；X表示三维位置(x, y, z)及接收机钟差dt参数；A表示观测方程的系数矩阵。

2）计算大地坐标系下定位的权系数矩阵。为了估算用户定位精度，常采用其在大地坐标系统中的表达形式。在大地坐标系中权系数矩阵有：

$$G = HQ_X H^T = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{43} & g_{43} & g_{44} \end{bmatrix}$$

式中，G表示大地坐标系下n颗卫星参与定位计算的权系数矩阵；Q_X表示在空间直角坐标系下n颗卫星参与定位计算的权系数矩阵；g_{ij}表示G矩阵的元素，其中i, j取值为$1,2,3,4$；H表示转换矩阵，有：

$$H = \begin{bmatrix} -\sin B \cos L & -\sin B \sin L & \cos B & 0 \\ -\sin L & \cos L & 0 & 0 \\ \cos B \cos L & \cos B \sin L & \sin B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

式中，B表示大地纬度，L表示大地经度。

3）计算各类精度因子。

几何精度因子G_{GDOP}计算公式有：

$$G_{GDOP} = \sqrt{g_{11} + g_{22} + g_{33} + g_{44}}$$

位置精度因子G_{PDOP}计算公式有：

$$G_{PDOP} = \sqrt{g_{11} + g_{22} + g_{33}}$$

垂直精度因子G_{VDOP}计算公式有：

$$G_{VDOP} = \sqrt{g_{33}}$$

水平精度因子G_{HDOP}计算公式有：

$$G_{HDOP} = \sqrt{{G_{PDOP}}^2 - {G_{VDOP}}^2}$$

时间精度因子G_{TDOP}计算公式有：

$$G_{TDOP} = \sqrt{g_{44}}$$

综上，卫星几何精度因子计算流程如下：



图 17 卫星几何精度因子计算流程图

- **UTC 时间计算**

协调世界时是以原子时秒长为基础，在时刻上尽量接近于世界时的一种时间计量系统。对于 BDST 和 GPST 而言，首先将它们化归到原子时 TAI。TAI 与 BDST 的转换计算公式为：

$$BDST = TAI - 33s$$

TAI 与 GPST 之间的转换计算公式为：

$$TAI = GST + 19s$$

而对于 GLONASS 而言，其与 UTC 之间的直接转换计算公式为：

$$UTC + 3^h = GLONASST + C_1$$

式中，C_1值表示微小差异，由专门机构加以测定并予以公布。而 UTC 与 TAI 之间的转换计算公式为：

$$TAI - UTC = 4.21317 + (UTC - JD_{1965.12.31}) \times 0.002592$$

式中，等式右边 UTC 用儒略日表示，$JD_{1965.12.31}$表示 1965 年 12 月 31 日对应的儒略日。而在 1972 年以后，TAI-UTC 可由 IERS 公报查取。

对应的关系流程图如下：

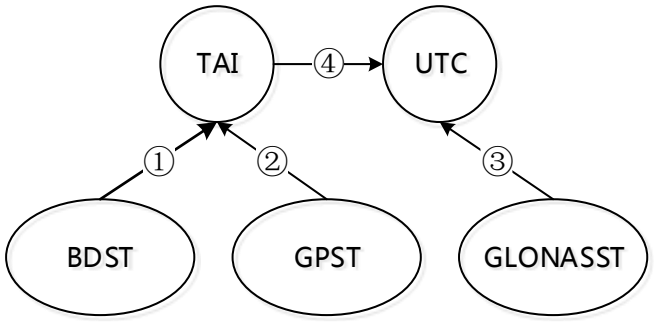


图 18 UTC 时间计算流程图

可对三台接收机的 UTC 时间采用一致性对比的方法融合计算当前监测站 UTC 时间。

- **GNSS 伪距残差计算**

参见观测质量监测下伪距残差监测。

- **电离层校正量计算**

电离层延迟是引起 GNSS 导航定位的主要误差源。设伪距观测量如下表示

$$\rho = \rho_0 - \frac{-40.3 \cdot TEC}{f^2}$$

类似，载波观测量有如下表示形式

$$\rho = \rho_0 + \frac{-40.3 \cdot TEC}{f^2}$$

式中，ρ表示实际伪距观测量；ρ_0表示站星间几何距离，包含接收钟差、卫星钟差、对流层误差等；f表示相应的频率；TEC表示站星间信号传播路径方向的总电子含量，其表达公式为：

$$TEC = \int_s N\,ds$$

式中，N表示电子密度，即单位体积内所有含电子数，常用单位为电子数$/m^3$；s表示信号传播路径。

在忽略 DCB、电离层高阶项等误差的影响时，利用双频伪距观测量计算电离层延迟的基本方程组有：

$$\begin{cases} \rho_1 = \rho_0 - \dfrac{-40.3 \cdot TEC}{{f_1}^2} \\ \rho_2 = \rho_0 - \dfrac{-40.3 \cdot TEC}{{f_2}^2} \end{cases}$$

则可得：

$$TEC = \frac{{f_1}^2 {f_2}^2}{40.3\left({f_1}^2 - {f_2}^2\right)}(\rho_2 - \rho_1)$$

式中，ρ_1和ρ_2分别表示第 1 和第 2 频点的实际伪距观测量。

同理，基于双频载波相位观测量计算电离层延迟的基本方程组有：

$$\begin{cases} \rho_1 = \lambda_1(\varphi_1 + N_1) = \rho_0 + \dfrac{-40.3 \cdot TEC}{{f_1}^2} \\ \rho_2 = \lambda_2(\varphi_2 + N_2) = \rho_0 + \dfrac{-40.3 \cdot TEC}{{f_2}^2} \end{cases}$$

则可得：

$$TEC = \frac{{f_1}^2 {f_2}^2}{40.3\left({f_1}^2 - {f_2}^2\right)}[\lambda_1(\varphi_1 + N_1) - \lambda_2(\varphi_2 + N_2)]$$

式中，φ_1和φ_2分别表示第 1 和第 2 频点上的载波相位观测量；N_1和N_2分别表示第 1 和第 2 频点上相位观测量的整周模糊度。

综上，基于双频观测量的电离层校正计算流程如下：

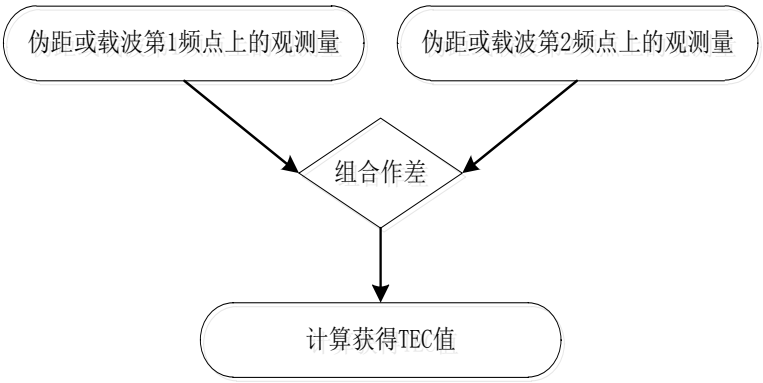


图 19 基于双频观测量的电离层校正计算流程图

2.2.2.3 完好性监测

完好性监测模块主要包括数据质量监测子模块、信号质量监测子模块、观测质量监测子模块、电离层闪烁监测子模块、一致性对比子模块 5 个子模块组成。本模块通过数据质量监测、观测质量监测、信号质量监测、电离层闪烁监测功能，实现对监测站 GNSS 的数据域、测量域、信号域的实时监测；进而进行一致性对比，监测并排除卫星、传播路径、周边环境、监测站 GNSS 接收设备的故障，提供至少 2 路正确观测数据，为主控中心提供高完好性观测数据，保障主控中心监测告警与分析评估业务的可信度。

（1）数据质量监测子模块

数据质量监测子模块的目的是为了验证卫星导航数据是否足够可信。数据质量监测本质是根据星历数据构建统计量表征卫星星历的误差大小，通过对统计量的异常监测实现对星历数据的监测。主要采用的方法包括卫星新旧星历对比。

卫星新旧星历对比的具体方法是：比较当前广播的每个导航卫星卫星的星历数据与最新经过验证的星历数据相比较，从而确认当前的星历数据是否可用。对于已经在视野中的卫星来说，如果星历帧发生了变化，和先前最新的数据进行比较。但是，如果卫星刚刚可见，最新的经过验证的星历数据是卫星的 24 小时前的星历，虽然时间间隔较长，而且不能精确的反应卫星的位置，但是仍然是比较的依据之一。如果新的星历误差很大，这种比较方法仍然可以检测出失效的情况。

数据质量监测统计量被定义为：

$$\Delta P_N = P_N - P_0$$

其中，ΔP_N表示监测统计量，P_N表示卫星当前位置，P_0表示卫星的旧位置，N表示两次计算的时间间隔。

数据质量监测统计量是针对卫星误差来定义的，其阈值需要根据导航卫星的实际性能进行估计。

具体的计算方法如下表所示：

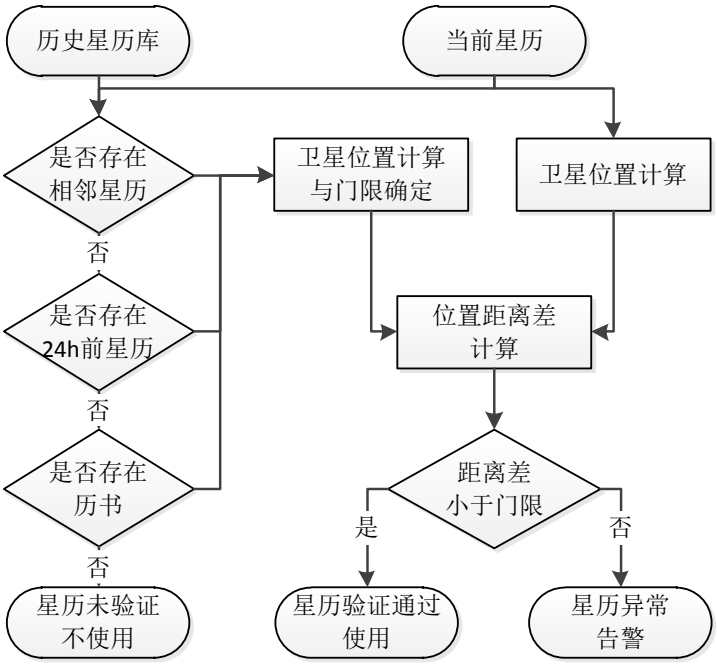


图 20 卫星新旧星历对比流程图

（2）信号质量监测子模块

信号质量监测模块的目的是发现和评估 GNSS 测距信号的畸变异常情况，包括原始信号突变、传播过程干扰和本地接收异常。信号质量监测模块主要是通过相关值、载噪比、码减载波值分别构建检验统计量表征信号质量，通过对统计量的异常监测实现对 GNSS 信号的监测。主要采用的方法包括信号畸变监测、载噪比监测和码载波一致性监测，具体计算方法如下：

1）信号畸变监测

信号畸变监测计算的是码变形导致的信号 TMA、TMB、TMC 的畸变程度。TMA、TMB、TMC 是国际民航组织定义的信号畸变模型。本方案主要根据接收机上报的多相关值计算相关峰的 R 值、Δ值反应畸变程度。主要监测量包括：

$$\Delta_{\pm offset1,\pm offset2} = \Delta_{\pm offset1} - \Delta_{\pm offset}$$

$$= \frac{I_{-offset1} - I_{+offset1}}{2 \cdot I_{prompt}} - \frac{I_{-offset2} - I_{+offset2}}{2 \cdot I_{prompt}}$$

$$R_{\pm offset,P} = \frac{(I_{-offset} + I_{+offset})}{2 \cdot I_{prompt}}$$

$$R_{+offset,P} = \frac{I_{+offset}}{I_{prompt}}$$

$$R_{-offset,P}=\frac{I_{-offset}}{I_{prompt}}$$

I_{prompt}：相关时间间隔为 0 时相关器的输出。

$Offset$：相关时间间隔，滞后为负，超前为正。

将计算出来的 R 值、Δ值同极限值比较，超出门限则告警。在受控条件下 $\Delta_{\pm offset1,\pm offset2}$ 在 0 附近，R 值在 1 附近。

综上，信号畸变监测的计算流程如下图。

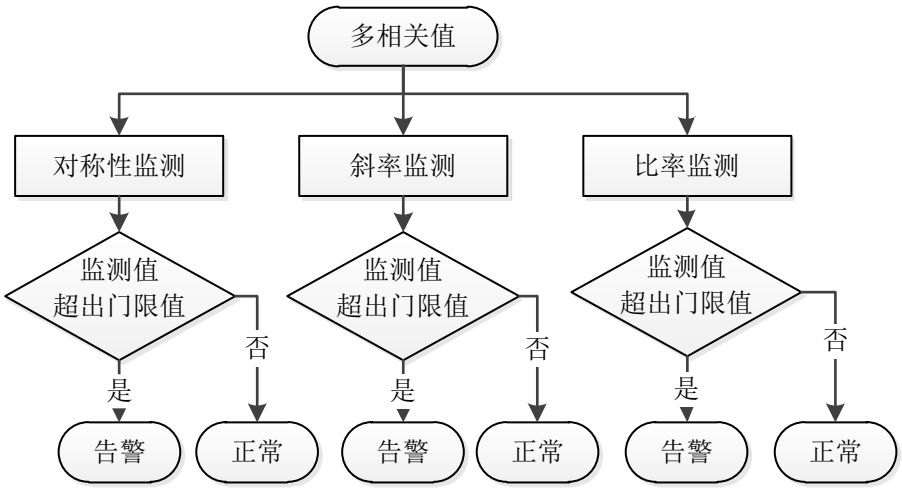


图 21 信号畸变监测流程图

2）载噪比监测

载噪比监测计算接收机载波功率密度和噪声功率密度比值的平均值，该监测量如式所示。

$$C/N_{0_avg,m,n}(k)=\frac{1}{2}(C/N_{0,m,n}(k-1)+C/N_{0,m,n}(k))$$

其中 $C/N_{0,m,n}(k)$ 为 k 时刻接收机通道 (m,n) 的载噪比。需要注意的是，对载噪比监测量来说，对于不同的接收机有不同的阈值模型，在实际处理过程中，如果发现某个接收机对应的载噪比超过了设定的阈值，则会给该接收机相关的通道添加标记并排除与该接收机有关的通道。

综上，载噪比监测的流程如下。

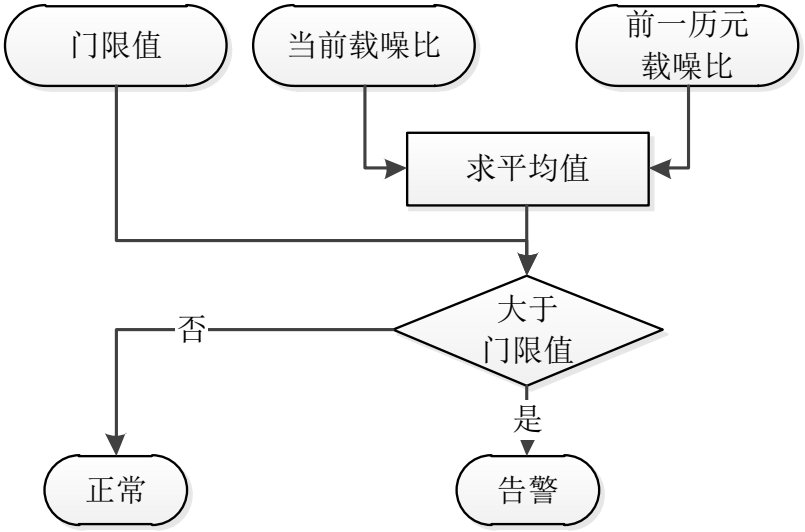


图 22 载噪比监测流程图

3）码载波一致性监测

码载波一致性监测计算的是卫星码载波分离、电离层时间梯度导致的码载波的不一致性监测量。监测量可使用下式来求解。

$$\Delta CMC_n = \frac{1}{T_s}((\rho_n - \frac{\lambda}{2\pi}\phi_n) - (\rho_{n-1} - \frac{\lambda}{2\pi}\phi_{n-1}))$$

$$Z_n = (1 - \frac{T_s}{\tau})Z_{n-1} + \frac{T_s}{\tau}\Delta CMC_n$$

$$Dvg_n = (1 - \frac{T_s}{\tau})Dvg_{n-1} + \frac{T_s}{\tau}Z_n$$

其中，ΔCMC_n表示 n 时刻的码减载波的差分量；Dvg_n表示 n 时刻的码载分散监测统计量；ρ_n表示 n 时刻的伪距观测量；ϕ_n表示 n 时刻的相位观测量；λ 表示信号波长；T_s 表示测量更新时间；τ 表示平滑时间常数，参考经验数据，本方案中 τ=100s。

综上，码载波一致性的监测流程如下图。

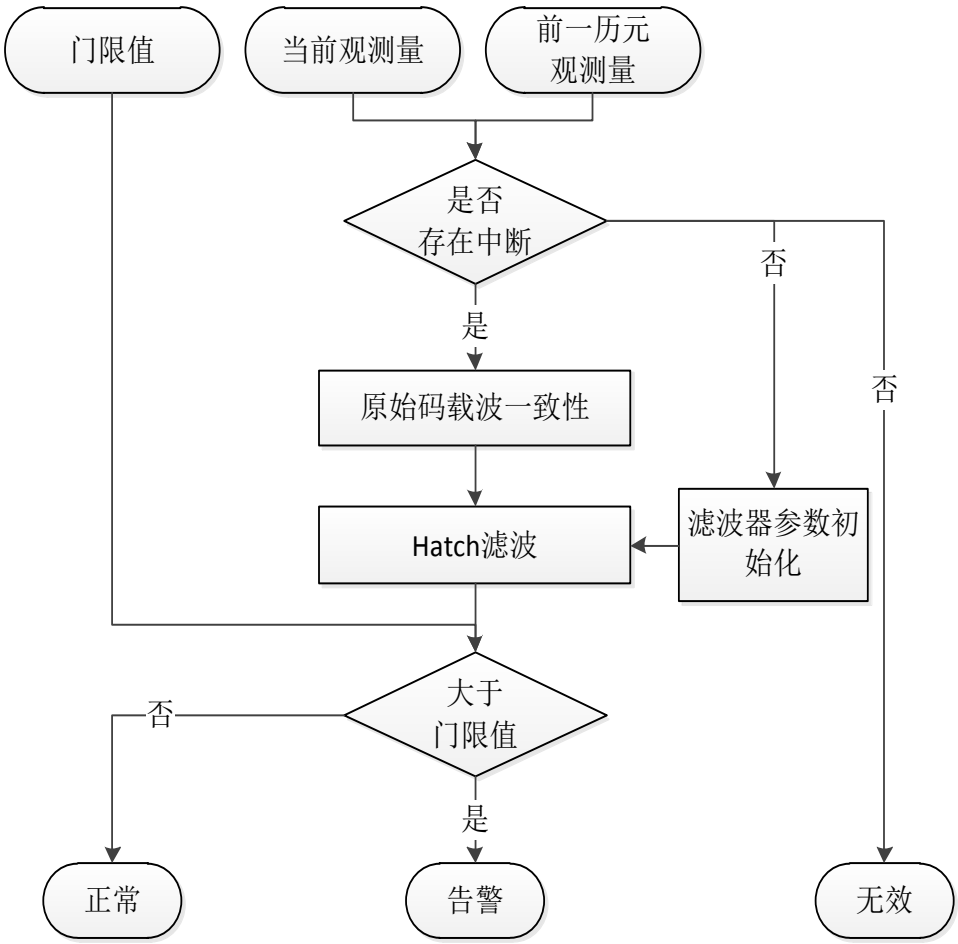


图 23 码载波一致性监测流程图

（3）观测质量监测子模块

观测质量监测用来检测导航卫星钟差或者地面接收机的失效引起的伪距和载波阶跃等快变误差。主要通过伪距残差监测实现对伪距异常的监测；通过载波加速-阶跃-斜坡监测实现对载波异常的监测。主要方法包括：伪距残差监测、载波加速-阶跃-斜坡监测和 CNMP 多径监测。计算方法如下：

1）伪距残差监测

伪距残差监测主要计算卫星、传播路径、周边环境等导致伪距的误差，它能够比较直接和客观的评价伪距观测值质量好。具体的处理方法如下：

观测值质量较好时，残差一定是在零值附近，且抖动较小；反之，观测值则可能较差时，或者有些偏差或误差项没有被校正完全，导致抖动较大。考虑各种误差修正后，利用伪距方程两边作差，可求得伪距残差。

设伪距残差为$\Delta\rho$，有：

$$\Delta\rho = \sqrt{(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2 + (z_s - z_r)^2} - C(t_s - t_r) - C(\Delta t_s - \Delta t_r) - \Delta d_{ion} - \Delta d_{trp}$$

式中，(x_r, y_r, z_r)表示地面接收机位置；(x_s, y_s, z_s)表示卫星位置；C表示光速；t_s表示卫星端信号发射时刻；t_r表示接受极端信号接收时刻；Δt_s表示卫星端信号发射时刻的钟差；Δt_r表示接受极端信号接收时刻的钟差：Δd_{ion}表示电离层延迟改正；Δd_{trp}表示对流层延迟改正。

综上，GNSS 伪距残差计算的流程如下：

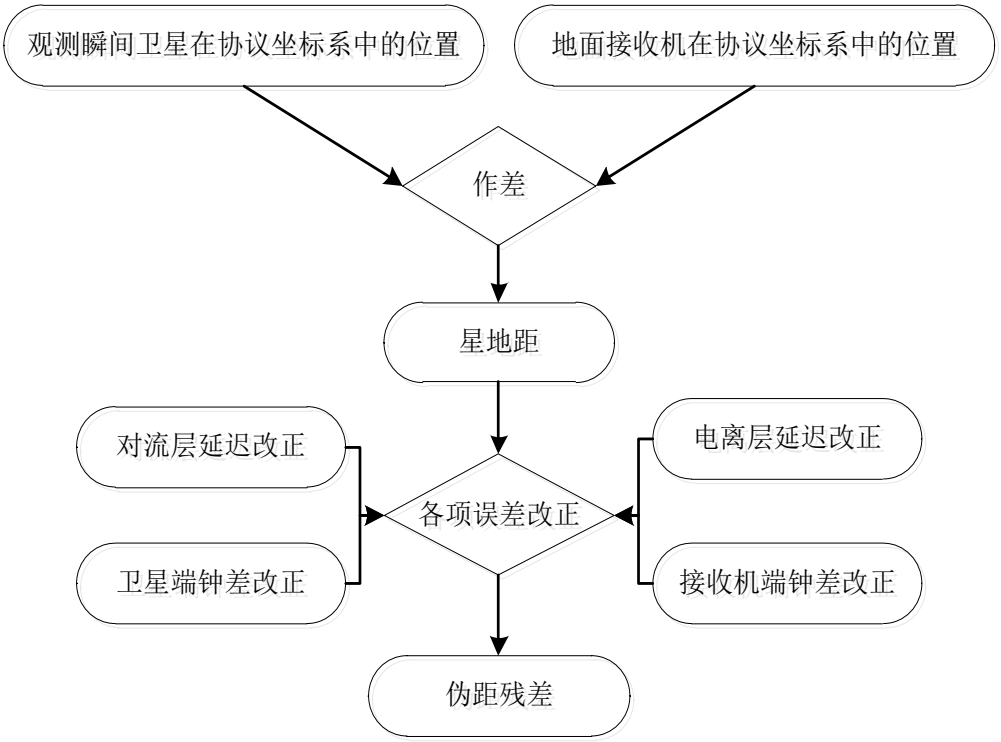


图 24 GNSS 伪距残差计算流程图

2）载波加速-斜坡-阶跃监测

载波加速-斜坡-阶跃监测主要计算脉冲、阶跃加速度等快变导致者载波相位的误差。具体处理方法如下：

计算距 k 最近的十个连续的已知点的载波相位（如 k-9 到 k）

$$\phi^*_{m,n}(k) = \phi_{c,m,n}(k) - \frac{1}{N_m}\sum_{j \in S_m(k)} \phi_{c,m,j}(k)$$

其中，$S_m(k)$是接收机跟踪的卫星集合。N_m是接收机跟踪的卫星个数。

通过最小二乘法利用计算的十个已知点来拟合方程：

$$\phi^*_{m,n}(k,t) = \phi^*_{0,m,n}(k) + \frac{d\phi^*_{m,n}(k,t)}{dt}t + \frac{d^2\phi^*_{m,n}(k,t)}{dt^2}\frac{t^2}{2}$$

通过拟合方程得二次、一次和常数项，则可精确估计加速，斜坡以及阶跃监测量，具体如下：

$$Acceleration_{m,n}(k) \equiv \frac{d^2\phi^*_{m,n}(k,t)}{dt^2}$$

$$Ramp_{m,n}(k) \equiv \frac{d\phi^*_{m,n}(k,t)}{dt}$$

$$Step_{m,n}(k) \equiv \phi^*_{meas,m,n}(k) - \phi^*_{pred,m,n}(k)$$

其中

$\phi^*_{meas,m,n}$：已知值

$\phi^*_{pred,m,n}$：通过拟合式计算值

三者中任何一个超出极限则做出完好性风险标记。如果信道包含大量的测量值失效，则其它没有受到干扰的信道计算的$\phi^*_{m,n}$则可能在平均函数中被该测量值影响，这样一个信道的失效则可能引起无失效信道的多重标记。为了避免这些误警，同时保证连续性，判决逻辑需要在计算中进行很好的解决。

在排除该信道之后，重新进行计算。如果最大值出现在不同的信道上，首先简单的保留计算结果同时突出逻辑，而不是排除所有失效的信道以至破坏信道的可用性。

综上，载波加速-斜坡-阶跃监测的计算方法如下图。

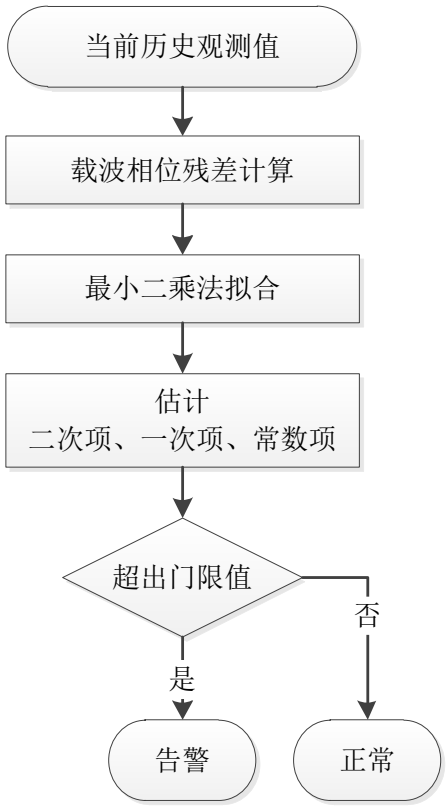


图 25 载波加速-斜坡-阶跃监测流程图

3）CNMP 多径监测

CNMP 多径监测主要监测非直达导航信号引入的测距误差，即多径误差。

计算伪距多路径误差，必须依赖双频观测数据。采用伪距观测方程和载波相位观测方程组合，消除对流层和电离层延迟影响，计算公式如下：

$$\begin{cases} MP_{k_1} = \rho_{k_1} - \dfrac{f_{k_1}^2 + f_{k_2}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2}\varphi_{k_1} + \dfrac{2f_{k_2}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2}\varphi_{k_2} \\ MP_{k_2} = \rho_{k_2} - \dfrac{2f_{k_1}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2}\varphi_{k_1} + \dfrac{f_{k_1}^2 + f_{k_2}^2}{f_{k_1}^2 - f_{k_2}^2}\varphi_{k_2} \end{cases}$$

式中，MP_{k_1}表示k_1频率上包含多路径误差和整周模糊度信息的计算量；ρ_{k_1}表示k_1频率伪距观测量，单位 *m*；f_{k_1}表示导航信号k_1载波的频率，单位 *MHz*；$f_{\square_2}$表示导航信号k_2载波的频率，单位 *MHz*；φ_{k_1}表示k_1频率载波相位观测量，单位 m；φ_{k_2}表示k_2频率载波相位观测量，单位 *m*；MP_{k_2}表示k_2频率上包含多路径误差和整周模糊度信息的计算量；ρ_{k_2}表示k_2频率伪距观测量，单位 *m*。当多频观测

数据时，采用两导航信号频率相差较大的进行双频组合计算。

对于同一颗卫星在连续观测且无周跳的情况下组合的模糊度参数不会变化，在无周跳的多个历元间按下式进行计算，得到多路径误差。

$$\overline{MP_k} = \sqrt{\frac{1}{N_{sw}-1}\sum_{i=1}^{N_{sw}}\left(MP_k(t_i) - \frac{\sum_{i=1}^{N_{sw}} MP_k(t_i)}{N_{sw}}\right)^2}$$

式中，$\overline{MP_k}$表示接收机观测到卫星在k频率上多路径误差的评估值；N_{sw}表示滑动窗口的历元个数，默认为 50；$MP_k(t_i)$表示在历元t_i接收机观测到卫星在k频率上包含多路径误差和整周模糊度信息的计算量。

综上，CNMP 伪距多路径误差的计算流程如下：

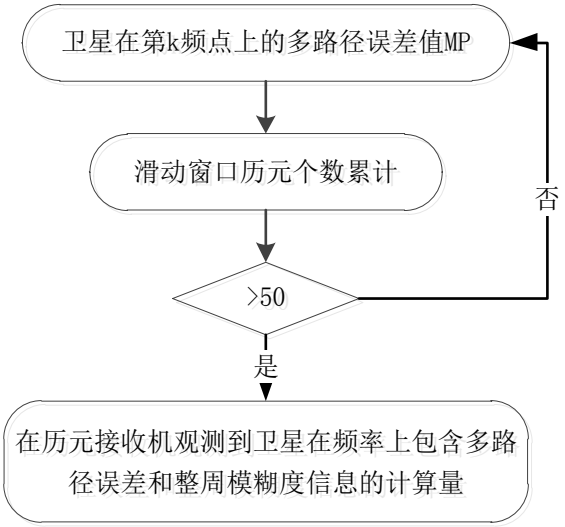


图 26 CNMP 多径监测流程图

（4）电离层监测子模块

电离层监测模块的目的是为了监测当前电离层延迟和闪烁状态。主要的模块包括电离层延迟监测和电离层闪烁监测，具体的计算方法如下：

1）电离层延迟

电离层延迟很大程度上决定了 GNSS 单频信号的定位精度和完好性，其对载波相位和伪距观测值的影响与其信号频率有关。基于 GNSS 观测站的电离层延迟监测基本原理是利用两个信号频率之间的电离层延迟差异，构建无几何距离线性组合，改正卫星频点偏差和接收机频间偏差，通过计算电离层穿刺点，获得电离层延迟，基本流程图下图所示。

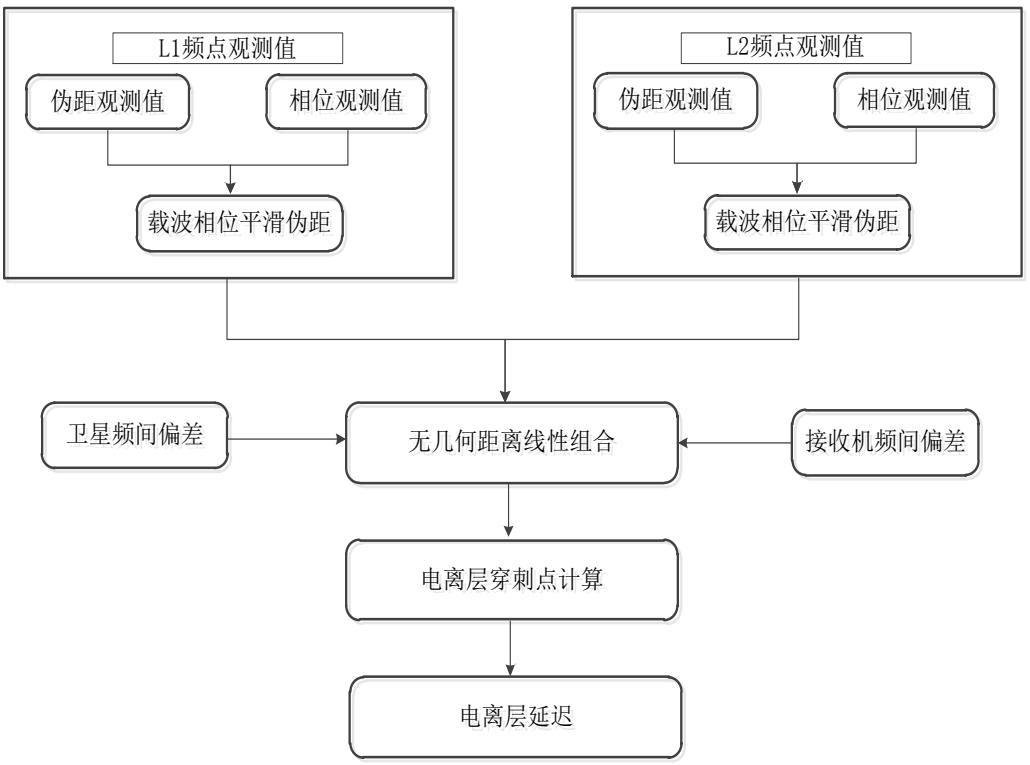


图 27 电离层延迟监测流程图

通过多个监测站的观测数据，可以在主控中心联合解算全球或者区域电离层延迟，以及卫星频间偏差和接收机频间偏差。监测站在改正卫星频间偏差和接收机频间偏差后，通过计算电离层穿刺点及投影函数，可分离模糊度，并获取电离层延迟量。

2）电离层闪烁监测

电离层闪烁监测主要基于电离层监测接收机上报的闪烁指数实现，其具体工作原理为：

电离层中电子密度的随机扰动是引起卫星信号闪烁的主要原因。电离层中存在的不规则体会导致入射电波发生畸变，引起随机的相位调制波。电离层闪烁监测站输出的观测值包括信号强度和载波相位，需要配备一个频率稳定相噪低的内部晶振源，以减小低通滤波器滤除的噪声，从而提高载波相位观测值精度。并且设置较高的采样率，以满足电离层闪烁监测对于时间分辨率的需求。

电离层闪烁分为幅值闪烁和相位闪烁。幅值闪烁由尺度在数十米至数百米的不规则体引起的。幅值闪烁指数S_4是每分钟计算得到一个值，其定义为信号强度平均值归一化的标准差：

$$S4=\sqrt{\frac{\langle SI^2\rangle-\langle SI\rangle^2}{\langle SI^2\rangle}}$$

式中〈 〉表示每分钟信号强度均值，SI 为信号强度，即接收信号的功率。

相位闪烁是由尺度数百米至数千米的不规则体引起的。使用σ_{φ}表示相位闪烁指数，定义为载波相位的标准差：

$$\delta_{\phi}=\sqrt{\langle\phi^{2}\rangle-\langle\phi\rangle^{2}}$$

式中〈 〉表示每分钟载波相位均值，ϕ是监测接收机的载波相位观测值。由于两种指数对截至频率不同的依赖性，相位闪烁指数σ_{φ}较幅值闪烁指数S_4更为敏感。

（5）一致性对比模块

一致性对比模块主要功能是对数据质量、观测质量、信号质量、电离层的监测结果进行综合，提供准确观测数据。

一致性比对包括两种结构，即平行处理架构和交叉处理架构。平行处理架构是在每个监测站设置具有独立天线的三台 GNSS 接收机，三台 GNSS 接收机采集的观测数据分别送入上位机的站点软件模块，形成三条独立的数据流，通过对三条数据流生成的数据进行一致性分析比对，以实现异常数据分离。平行处理架构实现流程如下图所示。

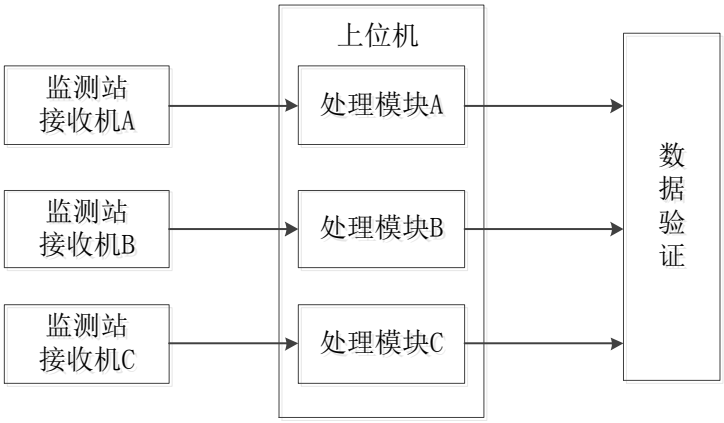


图 28 平行处理架构示意图

交叉处理架构则是在三台监测接收机平行处理的基础上，把其中一条数据产生的结果与两位两路观测数据进行交叉比较，如下图所示。交叉处理架构的优点是充分利用参考站配置的三台接收机所采集的数据，尽可能利用硬件和软件资源进行不同途径的验证，有效实现故障定位与隔离。

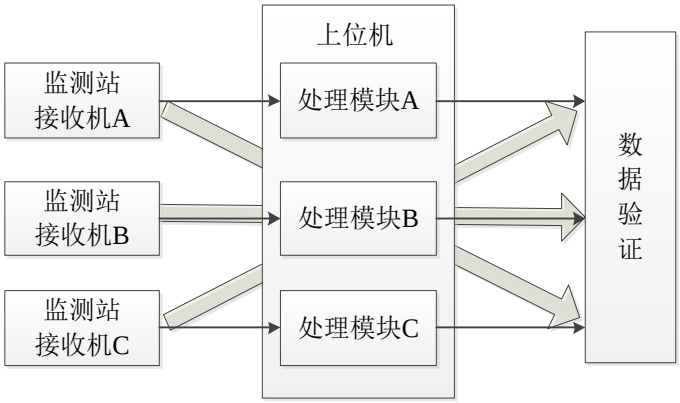


图 29 交叉处理架构示意图

一致性对比功能是对三台接收机上报的数据进行两两对比，开展 A、B、C 三个数据一致性比对，判断其结果是否在合理性范围内，共产生 8 种结果。其中

A、B、C 均通过合理性判断，则全部接收机数据均通过一致性判断；

A、B、C 均未通过合理性判断，则全部接收机数据均未通过一致性判断；

A、B、C 中 1 个未通过合理性判断，则 1 个接收机数据通过一致性判断；

A、B、C 中 2 个未通过合理性判断，则 2 个接收机数据通过一致性判断。

2.2.2.4 数据传输与存储

数据传输与存储模块的主要功能是按照相关协议接口完成与主控中心的所需传输数据的传输与所需存储数据的本地存储。监测站输出结果数据周期为每秒 1 次，输出原始数据周期为每秒 1 次；几何分布因子的计算和输出周期为每 60 秒 1 次。

监测站与主控中心使用基于 TCP 的 NTRIP 实时传输数据，同时将传输数据本地存储，支持基于 FTP 的远程文件访问。监测站基于传输层在应用层设计数据传输协议，监测站数据传输协议模型如下图所示。

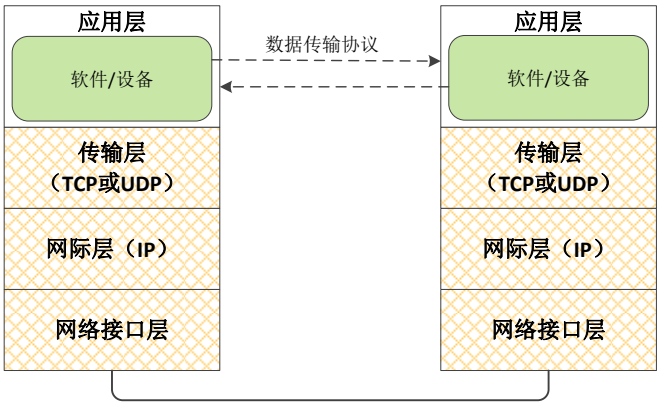


图 30 数据传输协议模型

（1）NTRIP 实时数据传输

实时数据传输功能是为了监测站观测数据传输的实时性而设计传输方式。监测站通过监测接收机采集的原始观测数据不在本地进行存储，直接传输至主控中心，支撑实时业务的需求。实时数据传输设计的主要功能是将数据通过 NTRIP 协议发送到主控中心。

数据传输功能是将预处理后的符合协议的数据，通过 NTRIP 协议按照设定的实时传输的优先级和传输频率发送到数据中心即 NTRIP 的 Caster 端。

数据传输功能数据序列图如所示。

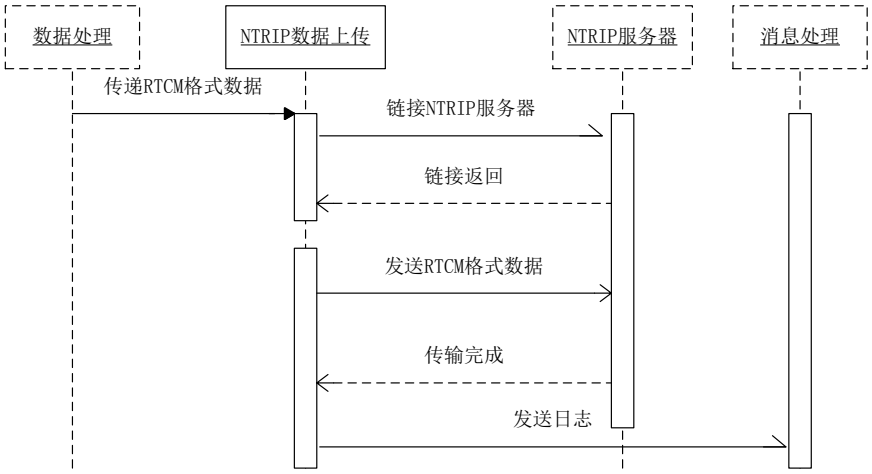


图 31 NTRIP 数据传输图

通过 NTRIP 协议向主控中心实时传输 RTCM 格式业务数据的处理流程如下：

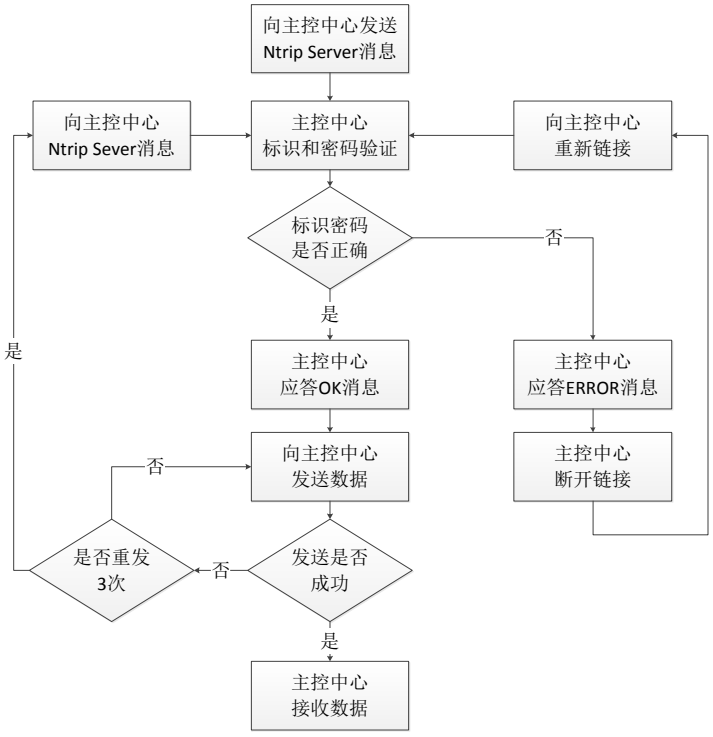


图 32 NTRIP 数据传输数据流程图

（2）文件存储与 FTP 数据文件传输

基于 FTP 文件传输协议的文件传输是一种事后传输方式。监测站采集原始观测数据按照文件存储格式进行本地存储，按照 1 小时生成 1 次文件的时间间隔存储各类文件，包括星历文件、观测数据文件、电离层文件之后采用定时传输机制，每小时向主控中心按 FTP 协议传输一次文件，根据不同文件类型传输时间设定，将对应类型文件自动上传到数据中心的 ftp 服务器的对应目录下。

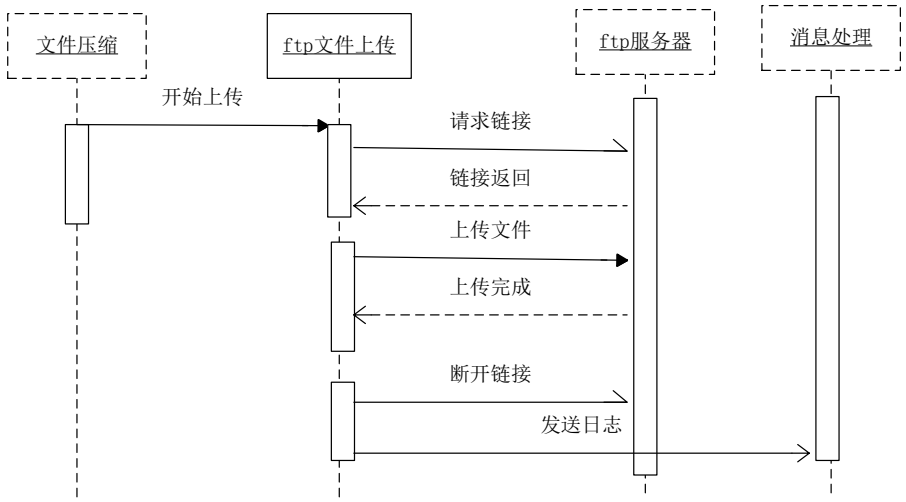


图 33 基于 FTP 传输序列图

文件传输至主控中心 FTP 服务器，其处理流程如下图所示：

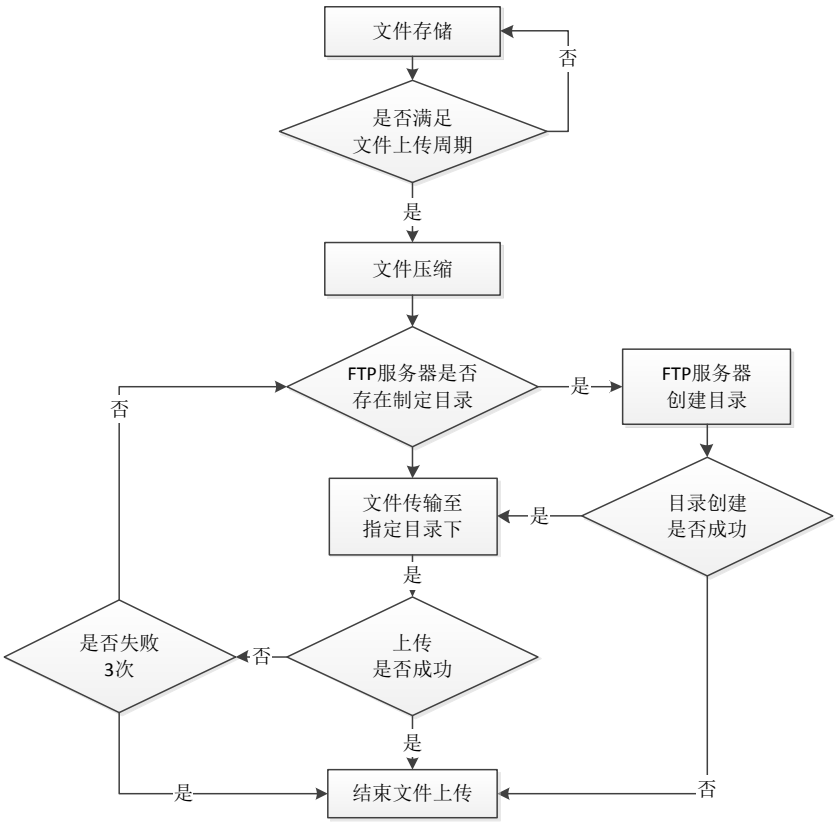


图 34 文件传输处理流程图

（2）数据格式

监测站与主控中心在 GNSS 数据方面遵循现有标准格式。新增定义的传输协议设计针对帧同步、校验和纠错、传输信息内容、通信地址等内容进行设计。数据传输协议格式定义如下图所示。

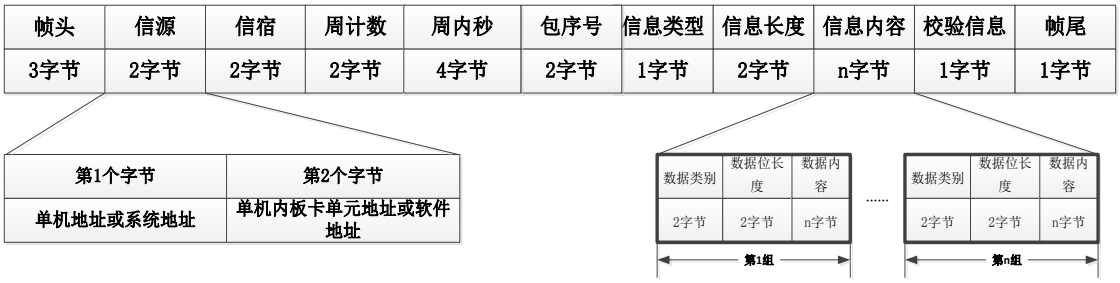


图 35 数据传输协议数据帧格式

该协议每一数据包内只能含有 1 类信息数据，同一类信息类型的数据可以有多组。数据包总长度不大于 60KB，若信息长度大于 60KB，分多包发送。

监测站系统数据不同信息类别数据传输遵循的原则如下：

1）指令信息交换原则：所有指令信息均采用“指令—响应（1～3 次）”的形式进行数据交换。指令发送采用三次重发机制，如果发送未收到响应，重发，最多发送三次，三次均未收到响应为发送失败。

2）状态信息交换原则：状态信息分为两类：工况信息和工参信息，工况信息工参信息主要采用子系统/设备主动上报的形式进行数据交换，上报频率可自行制定；频率过长的数据可同时使用“查询—上报”的方式进行数据交换。

3）业务信息交换原则：电文类数据，采用“电文—响应”形式进行数据交换。电文发送采用三次重发机制，如果发送未收到响应，重发，最多发送三次，三次均未收到响应为发送失败；规划类数据和星历数据，采用“指令—响应”的形式进行数据交换。电文数据和测距数据：根据系统需要分为连续发送或触发式发送。

2.2.3 监控与维护

监控维护主要由设备状态监测模块、参数配置模块、远程操作维护模块、自动切换模块、日志记录模块、故障管理模块组成。状态监测模块的主要功能是实时监测接收机是否在线、数据输出状态，实时监测数据处理单元主备状态，发生故障及时显示告警。参数配置模块的主要功能是支持本地配置，用户身份鉴别，软件业务、接收机、网络通用参数变更，参数有效性检查，默认配置恢复等。远程操作维护模块主要功能是支持主控中心远程维护，用户身份鉴别，软件业务、网络通用参数变更，参数有效性检查，操作结果远程反馈，默认配置恢复。自动切换模块的主要功能是数据处理单元身份保持，数据处理单元主备切换，故障数据处理单元上线检测，与主控中心双向通信管理。日志记录模块的主要功能是GNSS 监测接收机、存储数据处理单元状态数据、参数配置更改等操作日志。故障管理模块主要功能是支持人工与系统自动记录故障，以及故障闭环反馈。

2.2.3.1 状态监测模块

状态监测模块主要包括：GNSS 监测接收机状态监测、数据输出状态监测、监测数据处理单元监测、故障显示处理及告警组成。

状态监测模块通过实时监测接收机是否在线、数据输出状态，实时监测数据处理单元主备状态，发生故障及时显示告警。主要的监测状态及数据源包括：

- 接收机状态：实时监测通过接收机上报的 BIT、捕获跟踪状态、天线连接状态、时频状态、网络及串口连接情况等实时监测接收机状态；
- 数据处理单元状态：实时监测数据处理单元的主备状态、电源状态、温度、CPU 占用、内存占用、剩余存储容量、端口状态、软件工作状态；
- 数据输出状态：实时监测交换机、防火墙网络链路状态；实时监测接收机上报数据与软件上报数据状态。

软件对状态进行实时显示，且根据接收机状态、数据输出状态、数据处理单元状态对接收机、数据处理单元、网络安全与保障设备进行故障遍历与恢复操作。

数据处理单元主要通过 KEEP ALIVED 软件获取状态参数并进行主备切换。

设备故障监测、告警与恢复处理为通过判断连接状态、BIT 状态、数据上报状态、信息处理等进行判断故障等级，故障等级分别为 0、1、2、3。具体如下：

- 故障等级为 0：系统工作正常；
- 故障等级为 1：存在轻微故障，通过初始化指令进行功能重置；
- 故障等级为 2：存在一般故障，通过断电或者重启指令进行重置；
- 故障等级为 3：存在严重故障，需要人员操作维护。

所有的操作信息与故障信息进行存盘处理，满足系统设计的可追溯性，故障信息将传输至故障管理模块，支持故障库的建立。

2.2.3.2 参数配置模块

参数配置模块的主要功能是支持本地配置与远程配置，用户身份鉴别，软件业务、接收机、网络通用参数变更，参数有效性检查，默认配置恢复等。

参数配置模块的主要工作流程如下图所示。

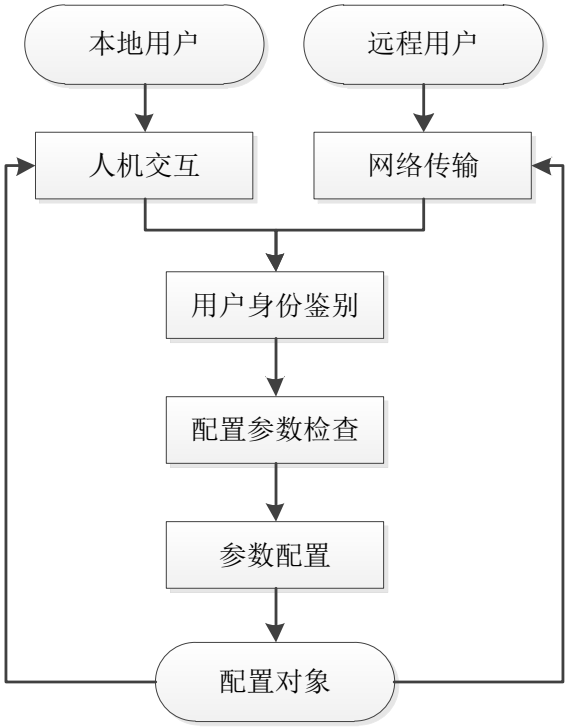


图 36 参数配置模块工作流程

（1）通过人机交互、网络传输获取本地用户与远程用户的身份与参数配置指令；

（2）用户身份鉴别，用户身份鉴别包括本地与远程用户注册、审批、等级划分、访问权限控制以及账号信息管理。

注册用户可通过管理员管理员批量生成账号和密码。首次登录后需修改和确

认密码。密码要求长度不少于 10 位，且必须包含大小写英文字母、数字和特殊字符。用户忘记密码后可向管理员申请重新设置密码。

用户若要提升账号等级，需在系统内提交账号等级提升申请，待上级领导审批后和系统管理员配置完成后，方可实现账号等级提升。

用户等级划分为普通账号、管理员账号、超级管理员账号等，账号及访问权限如下表所示。

表 6　账号访问权限统计表

账号等级 访问权限	普通账号	管理员账号	超级管理员账号
页面浏览	√	√	√
操作维护	×	√	√
用户账号管理	×	×	√

（1）　配置参数及其有效性检查

监测站可本地配置软件业务、接收机、网络通用参数，并且根据参数检查规则对其进行检查，在其满足检查规则情况下，配置参数有效，否则，其配置无效。

表 7　配置参数及其检查规则

序号	参数类型	参数检查规则	规则补充
1	主控中心 IP	XXX.XXX.XXX.XXX （XXX 为数字）	符合 IP 格式要求、非空、不与现有 IP 冲突、与保留 IP 冲突
2	监测站 IP	XXX.XXX.XXX.XXX	符合 IP 格式要求、非空、不与现有 IP 冲突、与保留 IP 冲突
3	监测站端口	0~9999	---
4	采样率	0：1Hz 1：5Hz 2：20Hz	下拉框，选择。
5	截止角	0-90	数字
6	天线参考点 ECEF-X	±13,743,895.3471m	数字
7	天线参考点 ECEF-Y	±13,743,895.3471m	数字
8	天线参考点 ECEF-Z	±13,743,895.3471m	数字
9	数据接收模式	0：定时 1：触发	下拉框
10	参数配置查询指令	0：查询 1：不查询	下拉框

（5）配置反馈

参数配置失败后将尝试继续配置，连续配置 3 次仍然失败，则返回配置失败反馈及具体失败信息。

2.2.3.3 远程操作维护模块

远程操作维护模块的主要功能是支持主控中心的远程维护，用户身份鉴别，软件业务、网络通用参数变更，参数有效性检查，操作结果远程反馈，默认配置恢复。其具体执行过程与参数配置模块（本地）类似。具体如下：

（1） 用户身份鉴别

包括远程用户注册、审批、等级划分、访问权限控制以及账号信息管理。用户的认证和权限管理实行网络认证，整个系统统一共用一个用户管理服务器，当网络不通时，可使用本地存储的用户认证信息。通过网络认证，操作员可以在主控中心和监测站本地的终端使用授权的用户名和密码登录系统。

（2） 软件业务、网络通用参数变更

模块接收主控中心向本监测站软件发送相应控制指令实现对软件业务、网络通用参数的变更、默认参数的恢复等。该级参数设置，每条指令为单独的一条基础指令，可以对设备终端、模块、天线等的各指令进行设置。基础指令是自动化运行和宏指令的一个基本执行单元，是自动化运行和宏指令设计的基础。

（3） 参数有效性检测

支持远程配置软件业务、接收机、网络通用参数，并且根据参数检查规则对其进行检查，在其满足检查规则情况下，配置参数有效，否则，其配置无效。

（4） 操作结果远程反馈

参数配置后，监测站软件将检查本地监测站的软件业务、接收机、网络通用参数的状态，如果状态与配置参数一致，则反馈主控中心配置成功，否则，反馈配置失败。

（5） 默认配置恢复

支持远程默认配置恢复指令，配置默认参数，并反馈执行结果。

（6） 软硬件设备的远程升级。

在系统软件故障、系统升级等情况下都需要对软件进行维护与升级，为了提高软件维护的便捷性、减少软件维护工作的周期性，软件在设计时实现独立功能单元的模块化，一方面，这样就实现了在维护过程中对某一个对象的修改不会对其他对象产生影响，避免了所谓的“波动效应”；另一方面，在软件进行修改维护时，可以单独对某一模块所涉及的文件或代码进行修改，完成修改后直接通过文件更新实现软件的升级维护，从而大大减少软件修改与调试时间，保障系统快速恢复正常运行。

为了保证升级软件时，不影响系统运行，采用伴随升级的方式，实现监测站软件升级，监测站内的软件均可通过伴随升级方式实现。

监测站的远程管理和升级，必须遵循一整套流程，才能保证升级的安全可靠，实现“全程业务无影响，平稳升级可回溯”的目标。

- 安全管理:建立一整套远程维护和系统安全管理规程，设置系统管理员权限和远程维护员两种权限，系统管理员可以修改密码、增删用户、设置系统权限等，远程维护员可修改自己的密码，远程维护操作人不能同时作为监护人登录等;
- 远程维护管理：完成远程维护工作以及远程维护记录的录入，操作后系统自动记录维护工作内容、维护时间等；
- 维护记录查询：根据选择的查询条件显示维护的时间和内容。
- 升级可回溯：所有升级必须保证可恢复，对于 A/B 备份的设备，不可同时升级，升级前必须保留原版本，以便回溯技术状态。

2.2.3.4 自动切换模块

监测站采用商用 Keepalived 主备切换软件实现自动切换功能。Keepalived HA 双机系统的两台服务器（主机）都与磁盘阵列（共享存储）系统直接连接，用户的操作系统、应用软件和 Keepalived HA 高可用软件分别安装在两台主机上，数据库等共享数据存放在存储系统上，两台主机之间通过私用心跳网络连接。配置好的系统主机开始工作后，Keepalived HA 软件开始监控系统，通过私用网络传递心跳信息，每台主机上的 Keepalived HA 软件都可监控另一台主机的状态。当工作主机发生故障时，心跳信息就会产生变化，这种变化可以通过私用网络被 Keepalived HA 软件捕捉。当捕捉到这种变化后 Keepalived HA 就会控制系统进行主机切换，即备份机启动和工作主机一样的应用程序接管工作主机的工作（包括提供 TCP/IP 网络服务、存储系统的存取等服务）并进行报警，提示管理人员对故障主机进行维修。当维修完毕后，可以根据 Keepalived HA 设定自动或手动切换回来，也可以不切换，此时维修好的主机就作为备份机，双机系统继续工作。

Keepalived HA 实现容错功能的关键在于，对客户端来说主机是透明的，当系统发生错误而进行切换时，即主机的切换在客户端看来没有变化，所有基于主机的应用都仍然正常运行。Keepalived HA 采用了虚拟 IP 地址映射技术来实现此功能。客户端通过虚拟地址和工作主机通讯，无论系统是否发生切换，虚拟地址始终指向工作主机。在进行网络服务时，Keepalived HA 提供一个逻辑的虚拟地址，任何一个客户端需要请求服务时只需要使用这个虚拟地址。正常运行时，虚拟地址及网络服务由主服务器提供。当主服务器出现故障时，Keepalived HA 会将虚拟地址转移到另外一台服务器的网卡上，继续提供网络服务。切换完成后，在客户端看来系统并没有出现故障，网络服务仍然可以使用。除 IP 地址外，HA

还可以提供虚拟的计算机别名供客户端访问。对于数据库服务，当有主服务器出现故障时，另外一台服务器就会自动接管，同时启动数据库和应用程序，使用户数据库可以正常操作。

传统高可用性系统中必须通过共享存储来实现数据的一致性和连续性，这个特性无形中增加了可用性系统的成本。Keepalived 基于以太网络 TCP/IP 协议，通过数据实时镜像技术，在两台主机之间实现不需要共享存储的纯软高可用系统，同时也可以实现配合使用共享存储的高可用系统。如此灵活的双机高可用系统配置方式，用户可以在充分利用已有资源的基础上，根据实际硬件环境来选择。

解决方案优点：

- 对服务器硬件配置要求不高，可以根据应用情况采用不同型号或配置
- 系统切换时间短，最大程度减少业务中断的影响
- 切换过程对应用程序无影响，无需重新启动或登录，做到无人值守
- 同时支持镜像模式和共享盘阵模式双机热备方式
- 高效成熟的多种镜像方式，支持完全镜像、差分镜像
- 最佳化的按需复制，支持自定义复制数据集。Keepalived 的数据镜像是基于文件系统之上的以字节为单位的按需复制，充分保证了系统性能和效率的最佳化
- 消除备份窗口。备份时可以使备机写入暂停或主机传输暂停，在主机应用在线持续运行的情况下，通过备机对数据进行备份操作
- 支持快照功能，保障数据安全
- 支持丰富的应用配置：Oracle、MSSQLServer、Sybase、MySQL 等
- 简洁直观的管理工具，体贴的应用配置向导支持，便于维护管理

2.2.3.5 日志记录与故障管理模块

日志记录与故障管理模块主要记录状态监测模块、参数配置模块、远程操作维护模块、自动切换模块的状态、操作、故障等信息。其中，记录的内容可参考数据传输与存储的内容。

重点是支持建立系统故障管理库，软件可自动记录从第 1 次系统软件功能阶段性测试评审开始至生命周期结束的所有故障的详细情况，以及针对故障采取的自动化操作维护与人工操作维护的过程，根据故障情况与操作维护反馈对故障进行分类处理并更新故障管理库。同时，软件支持本地人工上报故障信息，支持故障的文字、图片上报，可人工介入处理相关故障，保证系统运行可靠性，具有查询、新增、修改故障记录的权限。

2.2.4 网络安全与保障系统

监测站网络安全与保障系统用于保障该站点与民航通信网的连通性，保障该站点设备运行和数据传输网络安全性。

2.2.4.1 组成和工作原理

监测站网络安全与保障系统主要包括两套互为备份的数据交换单元和数据安全单元。如图所示，网络安全与保障系统具备采用冗余设计，利用两套互为备份的数据交换单元连接数据处理系统与数据安全设备；数据安全设备采用双主模式，正常情况下两者均工作，并在两者间建立了 TCP 链路以支撑双机热备技术（RBM），在其中一台数据安全设备故障的情况下，可通过另外一台设备完成其工作。

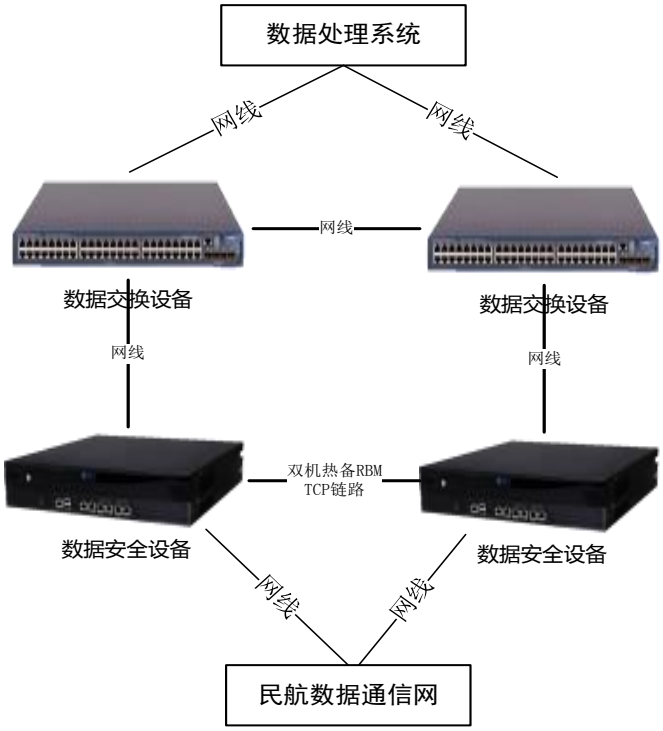


图 37 网络安全与保障工作原理图

2.2.4.2 数据交换单元方案

数据交换设备采用华为 S5735-S48T4XE-V2 交换机。该交换机基于新一代高性能硬件和华为公司统一的软件平台，具有增强的三层特性，简易的运行维护，灵活的以太组网，成熟的 IPv6 特性等特点，广泛应用于企业园区接入和汇聚、数据中心接入等多种应用场景。

数据交换单元之间采用网线直连组网，支持监测站冗余备份下的信息传输。数据交换设计实现各类数据统一输入输出管理，实现了外部网络和内部网络的衔接和融合，避免了系统内部和外部数据传输的无序和混乱。保证数据交换的实时

性、稳定性和可靠性。在数据传输过程中加入服务质量控制机制，可以保证数据的传输速率和数据的优先级，防止出现监测站与主控站之间传输数据阻塞，减小数据传输延时。数据交换设计方案如下表所示。

表 8　监测站技术要求

序号	设计要求	设计需求	设计方案
1	网络设备	所有网络和安全设备都必须统一设计、安装；敏感数据区要采用设备进行物理隔离；所有设备均要考虑从物理和逻辑上的备份策略。	每个节点均可选择配备 AB 两台设备，当某台设备或某条光纤发生故障时可保证数据成功传输
2	通信链路	能够提供足够的带宽；避免造成旁路可通，以利于实施统一的强制安全策略；避免造成信息流瓶颈，降低网络的整体性能，造成网络拥塞，形成安全故障；网络动态监控。	采用千兆交换机,带宽有冗余，支持带宽的扩展

2.2.4.3 数据安全单元方案

网络安全是保证系统稳定运行的重要基础，在进行地面网系统技术平台基础建设时，必须考虑系统安全体系建设，构建一个全面的安全体系，抵御来自各方面的攻击。具体的安全部署上，安全体系建设根据安全的客观需求选择各种先进的技术。

数据安全单元两个采用主备冗余设计，可在一台设备出故障的情况下切换至另一台设备。数据安全单元防火墙提供基于多出口链路的动/静态智能选路功能，根据管理员设置的链路带宽、权重、优先级或者自动探测到的链路质量动态地选择出接口，按照不同的选路方式转发流量到各条链路上，并根据各条链路的实时状态动态调整分配结果，以此提高链路资源的利用率和用户体验。通过部署防火墙设备，将数据交换隔离成多个安全级别不同区域，然后配置策略，只需要的数据流在区域之间通过，其他数据流一概被防火墙阻挡。

防病毒软件：部署一套防病毒软件，分别负责内网各服务器的安装、配置、病毒定义码和扫描引擎的升级、定时调度、警报管理、实时扫描、实时监控等工作；所有用户终端都需要安装防病毒客户端，统一接收防病毒管理中心的管理；主机防病毒系统与安全认证系统、桌面管理系统进行有机的整合，维护网络的安全，入侵防御、入侵检测和防病毒构成立体的防病毒系统。

入侵检测设备：入侵检测设备通过收集和分析网络行为、安全日志、审计数据、其他网络上可以获得的信息以及计算机系统中若干关键点的信息，检查网络或系统中是否存在违反安全策略的行为和被攻击的迹象。

2.2.5 供电系统设计

供电系统是整个监测站设备的能源核心，引入 2 路市电经 1 台具备双电源输入的 UPS 电源（包括主机与蓄电池）整流滤波处理后给系统供电，负责提供短期内备用电力供应，至少满足设备在断电情况下的正常运行要求。同时，基于网络电源实现对接收机和数据处理单元的远程供电管理。

2.2.5.1 组成与工作原理

供电系统由 UPS 电源、网络电源、PDU 等构成，并且支持电源。UPS 主要为设备提供稳定电源，电源监控单元主要目的是监控供电的质量，可监视供配电系统和设备的状态，在必要时可关闭电源。

表 9　供配电系统清单

序号	名称	数量	备注
1	UPS 电源及电池	1	包括 UPS 主机与电池，其中北京、哈尔滨、成都、乌鲁木齐配备 3KVA UPS，阿拉善配备 6KVA UPS。
2	网络电源	1	为两套数据处理单元、三台接收机提供供电。
3	PDU	2	2 套 PDU 安装于后面板，为交换机、防火墙、KVM 以及其它设备供电。

市电通过配电箱引入 UPS 主机。UPS 主机引入市电后经过滤波、整流、逆变、稳频和稳压处理后将 AC220V 电源输出给监测站供电，同时，内置充电器经过选择切换单元给电池组充电，在没有市电或市电指标超过 UPS 主机输入指标范围时无缝转换到电池供电，确保 UPS 主机不断电。

监测站主要设备包括数据处理单元、主交换机、防火墙等支持双电源供电，GNSS 监测接收机通过配置双电源切换器满足双电源供电要求。

通过 1 套网络电源分别为 2 套数据处理单元、3 套 GNSS 监测接收机供电。

通过 2 套 PDU 为主交换机、防火墙提供双电源供电，为 KVM 提供单电源供电。

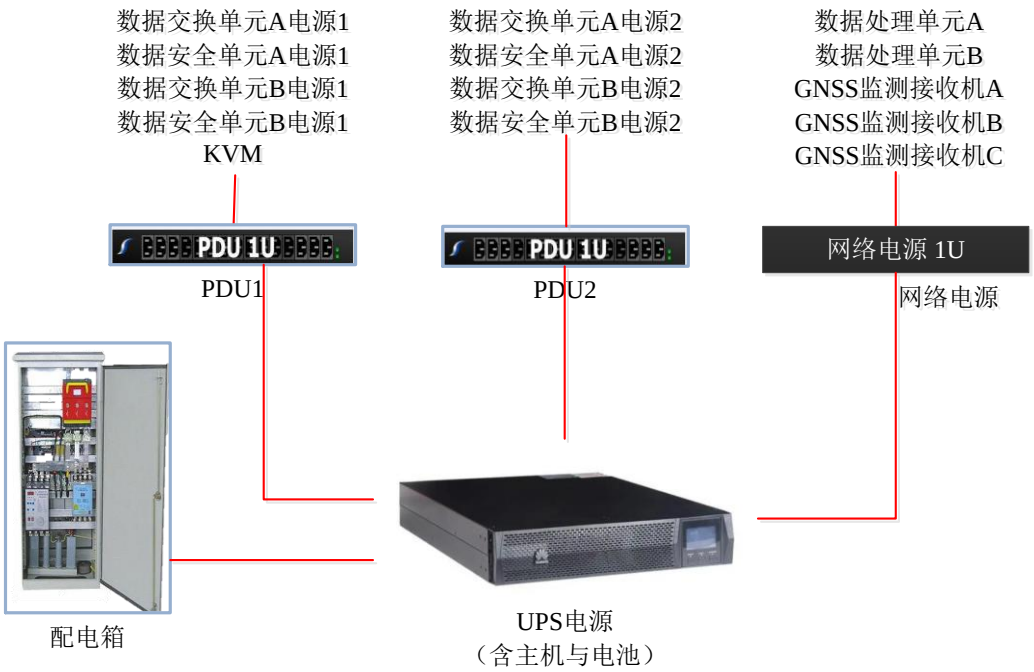


图 38 供电组成图

供电系统的另外一个主要功能是实现电源管理，实时监测分析各用电单元的用电情况，防止出现过流、过压、欠压、欠流问题，出现火灾、水灾等恶劣环境状况时自动、及时切断电源。基于 UPS 电源与网络电源，可实现由远程控制的电源管理，各关键设备的远程开关机等，是一个高可靠的远程智能供配电系统。

2.2.5.2 UPS 电源方案

采用华为 UPS2000-G 系列为监测站提供 UPS 解决方案，UPS2000-G 系列基于在线双变换技术，为小型场景的理想供电解决方案，可全面消除各类电网问题，支持机架安装，效率最高可达 95%，并以其优异的效率特性获得了英国政府颁发的 ECA 节能认证与全球首批“能源之星”认证。本项目监测站中，北京、哈尔滨、成都、乌鲁木齐四套监测站配备 3KVA 的 UPS2000-G-3KRTL，阿拉善监测站配备 6KVA 的 UPS2000-G-6KRTL。

（1）UPS 输入设计

UPS 支持主路输入和旁路的双路输入，具体如下。

主路输入	输入制式	L+N+PE
	额定输入电压	200/208/220/230/240Vac
	输入电压范围	110～300Vac
	输入频率范围	40～70Hz
	输入功率因数	0.99
旁路输入	额定输入电压	200/208/220/230/240Vac
	输入频率范围	50/60±3Hz

图 39 UPS 输入要求图

（2）UPS 防雷及其它可靠性设计

UPS 采用防雷设计，大幅降低雷击失效率；同时，关键部件失效提前预警，在故障发生之前提醒客户维护，变事后维护为事先保养；具有超宽电压输入范围，有效减少转电池模式次数，延长电池寿命。

（3）UPS 电源管理

支持 NetEco 网管系统轻松实现集中远程管理，可监控电源容量等状态。

（4）UPS 输出

UPS 输出连接至机柜内配置的网络电源和 PDU 等。

2.2.5.3 网络电源与 PDU 方案

监测站机柜配置 1 个网络电源和 2 个 PDU。其中网络电源为 3 台 GNSS 接收机和 2 个数据处理单元提供供电；PDU 为数据交换单元、数据安全单元、KVM 等其它设备供电。

网络电源支持实时监测电源使用情况的能力，可实时上传电压、电流、功率等上传至监测站站点监控维护软件。并且具备对接收机、数据处理单元的开关机、功率等的远程控制功能。

2.2.5.4 电源监控管理设计

供电系统各分机具有数据通信功能，监控分系统可以通过网络监控或控制分机状态。

UPS 系统上报系统正常工作方式/电池逆变/旁路供电、过载、蓄电池放电电压低、蓄电池充放电状态、市电故障、功率模块状态（正常/故障退出）、UPS 系统故障和运行状态记录。

网络电源上报温湿度、输出电压、各路输出电流。并支持上报本控/远控状态、输出导通/截止状态，可以远程控制输出端导通或截止。

2.2.5.5 供电安全保护设计

供电系统中 UPS 主机功能指标中有输出过流、短路保护功能；机柜上配备的网络电源和 PDU 带保险丝，在负载出现故障造成过流或短路时，保险丝会熔断起到保护作用。

3 . 主控中心

3.1 功能概述

主控中心接收监测站实时数据流，处理导航电文、增强电文和原始观测数据，提供监测告警与分析评估服务。主控中心同时具备时间基准统一、数据管理记录、运行管理和监控维护等功能。

3.2 总体设计

3.2.1 架构设计

主控中心采用 B/S 架构，服务器端提供业务服务、数据服务等操作数据，然后把结果返回中间层，结果显示在系统界面上。用户通过 Web 访问的方式在浏览器界面向服务器端提出请求，并对服务器端返回的结果进行处理并展示。

（1）逻辑架构

主控中心分为基础设施层、数据层、技术支持层、服务层、应用层和接入层共六层。基础设施层是主控中心提供的基础设施环境，数据层是系统各类数据存储的数据库，技术支撑层包括统一应用开发平台、统一权限认证等技术支撑平台，服务层包括基础服务、数据访问服务和业务场景服务，应用层包括平台提供的需求响应、监测告警、分析评估等各种微应用，接入层以民航通信网和互联网网站等为入口统一提供 web 访问服务。



图 40　主控中心逻辑架构

（2）物理架构

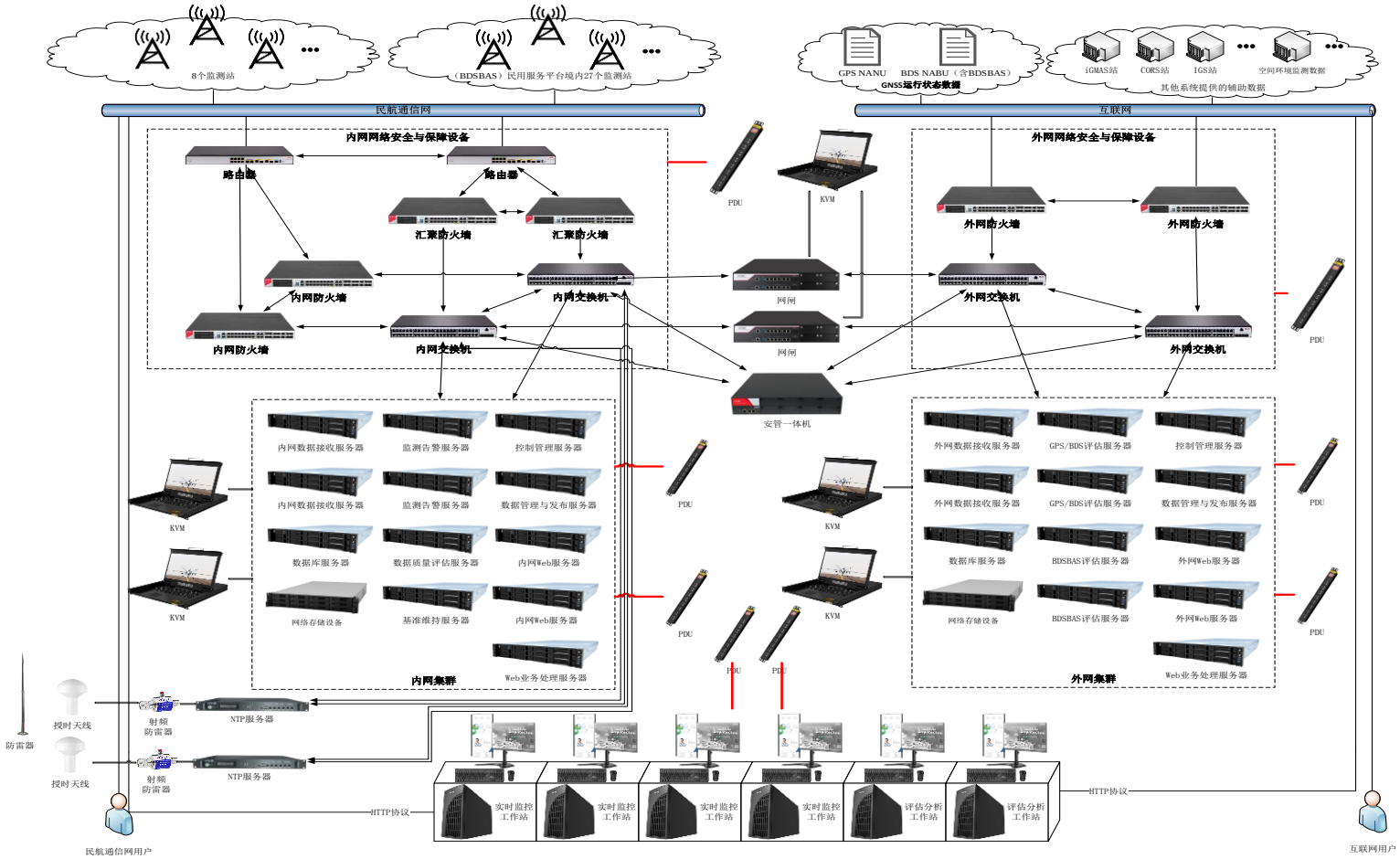


图 41　主控中心物理架构

3.2.2 主控中心组成

主控中心分为数据监控处理系统、数据评估处理系统、发布处理系统、管理与控制系统、数据存储与授时服务系统、网络与安全保障系统等六个分系统，包括服务器、存储设备、时间同步设备、网络通信与安全设备等硬件配套设备，以及数据接收与预处理、时间同步、信息服务产品生成、数据管理与记录、运行管理、监控维护等软件模块。

服务器采用分布式集群的搭建模式，搭建内网集群和外网集群，将多台服务器作为节点机通过快速通信链路连接起来，外来负载可通过负载均衡动态分配到节点机中，实现服务器的高性能和高可用。系统硬件和软件组成如下图所示。

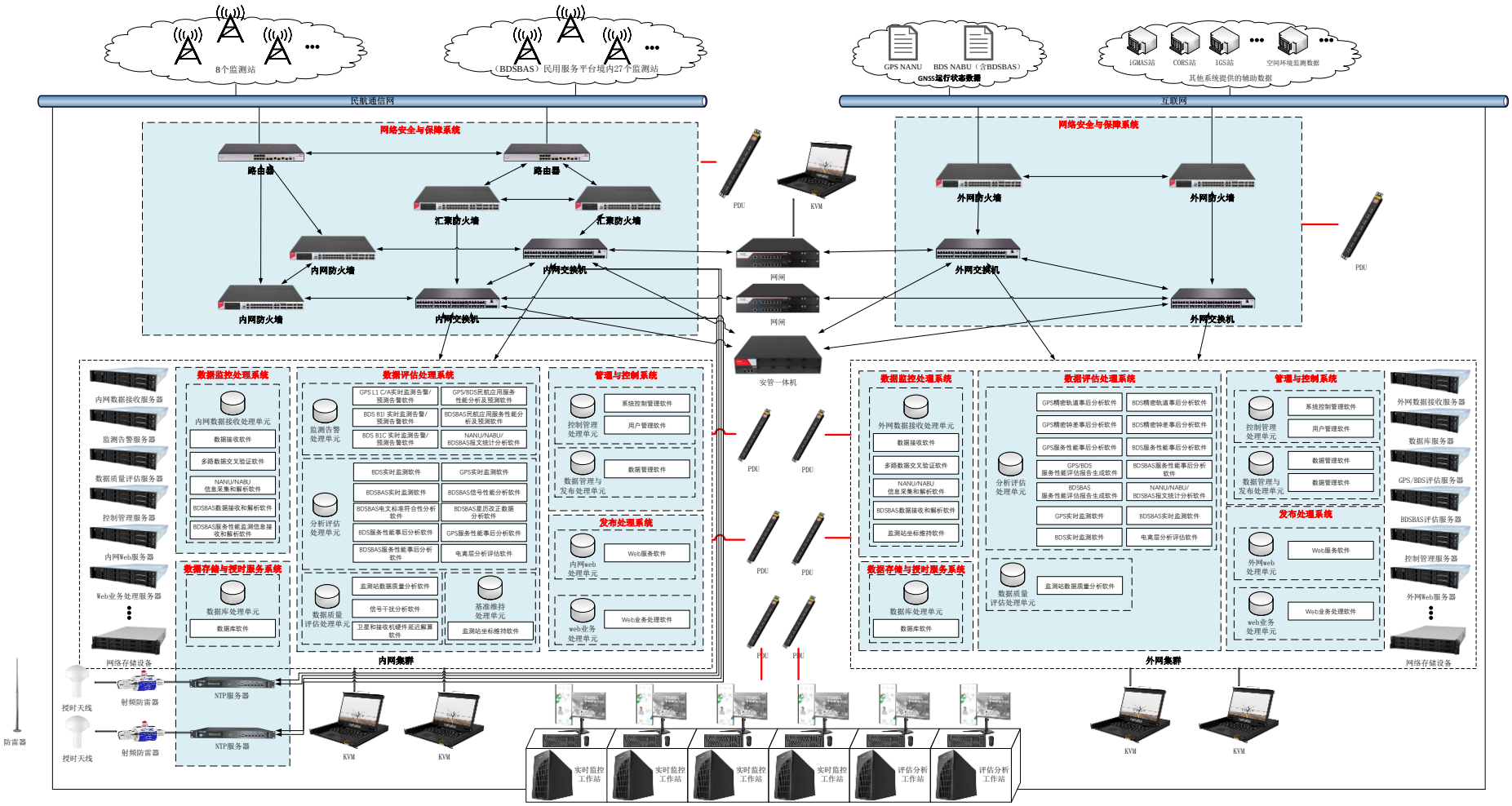

8个监测站
（BDSBAS）民用服务平台境内27个监测站
GPS NANU
BDS NABU（含BDSBAS）
GNSS运行状态数据
IGMAS站
CORS站
IGS站
空间环境监测数据
其他系统提供的辅助数据
民航通信网
互联网
网络安全与保障系统
路由器
汇聚防火墙
内网防火墙
内网交换机
外网防火墙
外网交换机
网闸
安管一体机
PDU
KVM
数据监控处理系统
内网数据接收处理单元
数据接收软件
多路数据交叉验证软件
NANU/NABU信息采集和解析软件
BDSBAS数据接收和解析软件
BDSBAS服务性能监测信息接收和解析软件
数据评估处理系统
监测告警处理单元
GPS L1 C/A实时监测告警/预测告警软件
GPS/BDS民航应用服务性能分析及预测软件
BDS B1I 实时监测告警/预测告警软件
BDSBAS民航应用服务性能分析及预测软件
BDS B1C 实时监测告警/预测告警软件
NANU/NABU/BDSBAS报文统计分析软件
分析评估处理单元
BDS实时监测软件
GPS实时监测软件
BDSBAS实时监测软件
BDSBAS信号性能分析软件
BDSBAS电文标准符合性分析软件
BDSBAS星历改正数据分析软件
BDS服务性能事后分析软件
GPS服务性能事后分析软件
BDSBAS服务性能事后分析软件
电离层分析评估软件
数据质量评估处理单元
监测站数据质量分析软件
信号干扰分析软件
卫星和接收机硬件延迟解算软件
基准维持处理单元
监测站坐标维持软件
管理与控制系统
控制管理处理单元
系统控制管理软件
用户管理软件
数据管理与发布处理单元
数据管理软件
发布处理系统
内网web处理单元
Web服务软件
web业务处理单元
Web业务处理软件
数据存储与授时服务系统
数据库处理单元
数据库软件
内网数据接收服务器
监测告警服务器
数据质量评估服务器
控制管理服务器
内网Web服务器
Web业务处理服务器
网络存储设备
授时天线
射频防雷器
NTP服务器
防雷器
内网集群
外网数据接收处理单元
外网web处理单元
外网数据接收服务器
数据库服务器
GPS/BDS评估服务器
BDSBAS评估服务器
外网Web服务器
实时监控工作站
评估分析工作站
外网集群

图 42 主控中心组成图

表 10 主控中心硬件设备选型表

序号	类型	产品名称	单位	数量
1	数据监控处理设备	内网数据接收处理服务器	台	2
2		外网数据接收处理服务器	台	2
3	数据评估处理设备	监测告警处理服务器	台	2
4		数据质量评估服务器	台	1
5		基准维持服务器	台	1
6		GPS/BDS 评估服务器	台	2
7		BDSBAS 评估服务器	台	2
8	管理与控制设备	实时监控工作站	台	4
9		分析评估工作站	台	2
10		控制管理服务器	台	2
11		数据管理与发布处理服务器	台	2
12	发布处理设备	内网 Web 服务器	台	2
13		外网 Web 服务器	台	2
14		业务处理服务器	台	2
15		数据库服务器	台	2
16	存储设备	网络存储设备	台	2
17	时间同步设备	NTP 服务器	台	2
18		GNSS 接收天线	副	2
19		天线馈电线缆	米	70
20	通信设备	民航通信网 IP 业务接入设备	台	2
21		内网交换机	台	2
22		外网交换机	台	2
23		内网防火墙	台	2
24		外网防火墙	台	2
25		汇聚防火墙	台	2
26		安管一体机	台	1
27		网闸	台	2
28	显示设备	KVM 切换器	台	5
29	工作台	工作台	套	6

注：设备机柜由甲方提供。

3.2.3 工作原理

主控中心的业务运行均采用容器化部署，根据业务类型将不同业务部署到不同的容器中，每个容器一个进程，每个进程可以支持多个线程形成“算法库”，支持所有功能模块并行运行。系统可以根据当前计算机硬件资源及单一线程处理数据的饱和程度，来动态调整容器的数量，优化系统资源，提高系统的运行效率。数据存储采用的存储方式采用列式数据库。同时，通过 nginx 反向代理，提高前端的高并发处理能力。工作原理如下图所示。

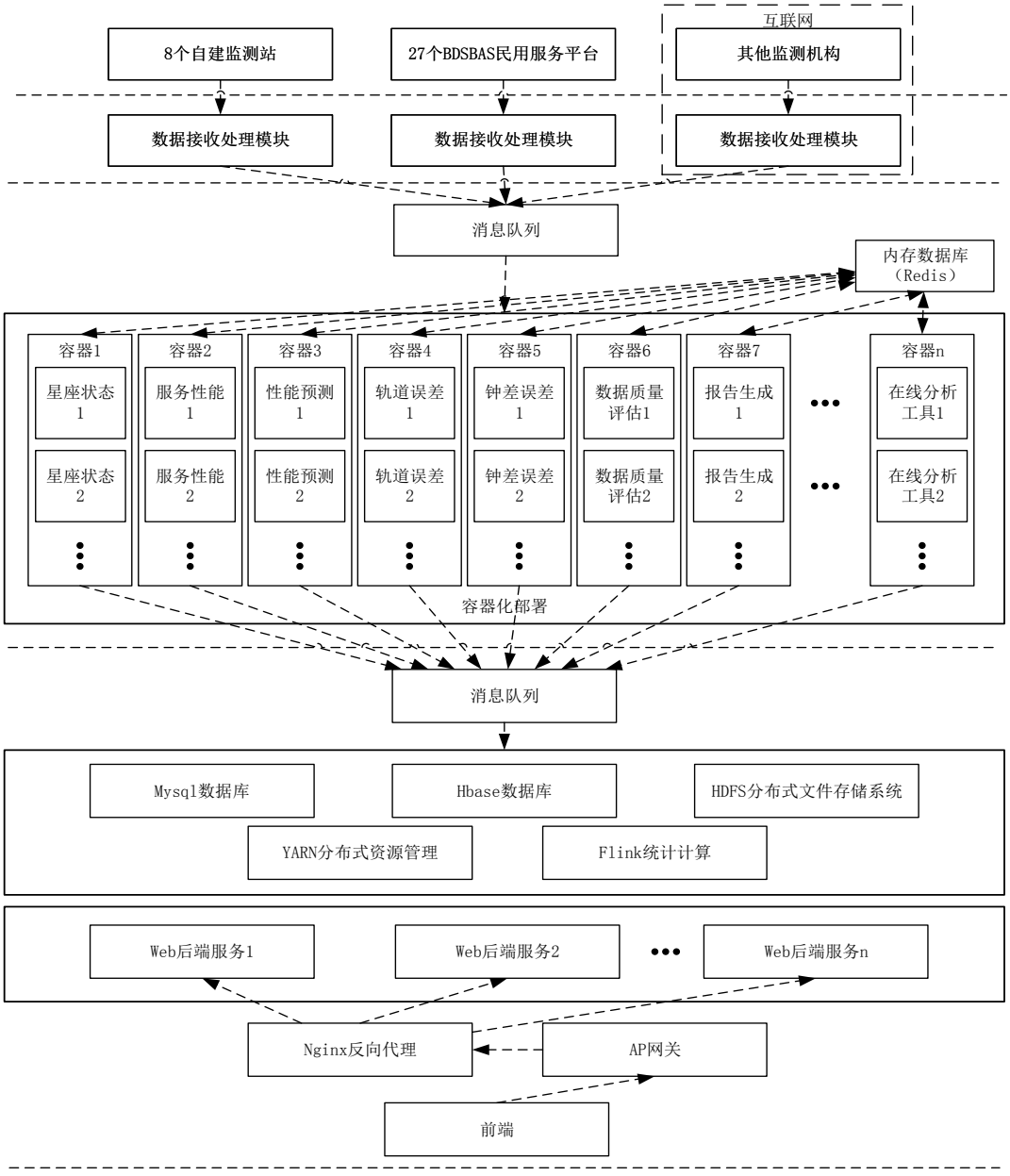


图 43　主控中心工作原理

3.3 主控中心分系统设计

依据招标文件中对主控中心的技术要求，将主控中心分为数据监测处理系统、数据评估处理系统、发布处理系统、管理与控制系统、数据存储与授时服务系统、网络与安全保障系统等 6 个分系统，各分系统之间的关系如下图所示。

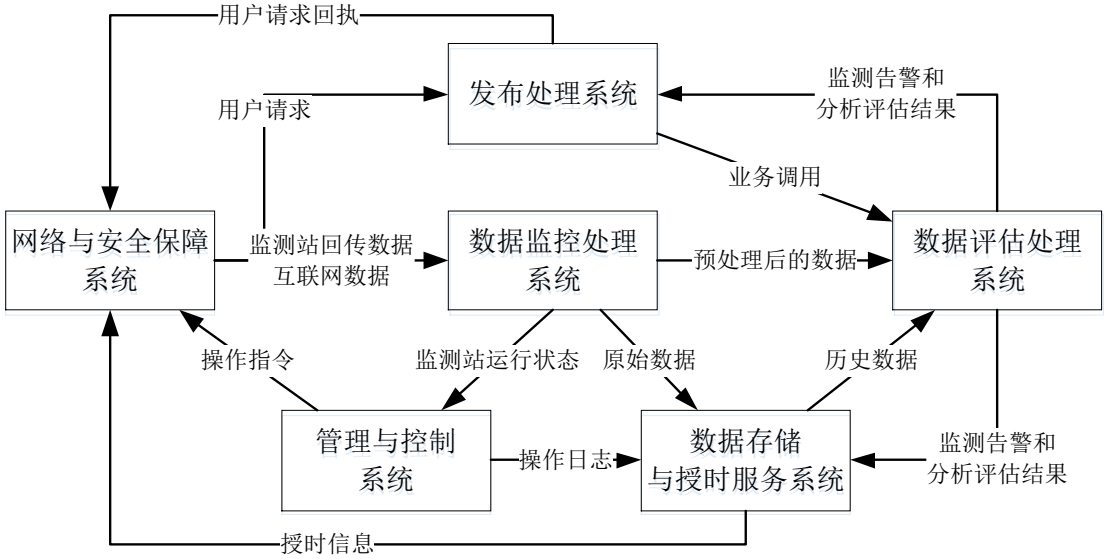


图 44 主控中心的分系统关系组成图

3.3.1 数据监控处理系统

数据监控处理系统负责接收 8 个新建监测站以及 BDSBAS 民用服务平台境内 27 个监测站的原始数据，包括 GPS、BDS、Galileo 和 GLONASS 核心星座的观测数据、星历数据、SBAS 电文数据、监测站处理结果、电离层监测信息监测站接收机设备相关状态信息等，并进行数据解析和多路数据交叉核验、卫星多路数据进行比对处理、星历核验、SBAS 电文核验以及格式转换，保证后续使用数据的一致性和完好性，并进行数据编目、整理和压缩，然后采取多容器并行处理的工作方式，最后将预处理后的数据发送至数据评估处理系统、管理与控制系统和数据存储与授时服务系统等。

3.3.1.1 数据监控处理系统工作原理及流程

数据监控处理系统的数据接收模块接收到监测站传输的各类数据后，将其中的核心星座数据、BDSBAS 数据、NANU/NABU 维护报文传递给数据预处理模块，经过数据解析交叉验证和格式转换等数据预处理，然后再通过数据发送模块发送至相应业务处理模块。此外，数据接收模块收到监测站运行参数以及监测站监测结果数据，经过数据解析后，通过数据发送模块发送至数据存储和管理与控制系统等相应业务处理模块。其工作原理及流程如下图所示。

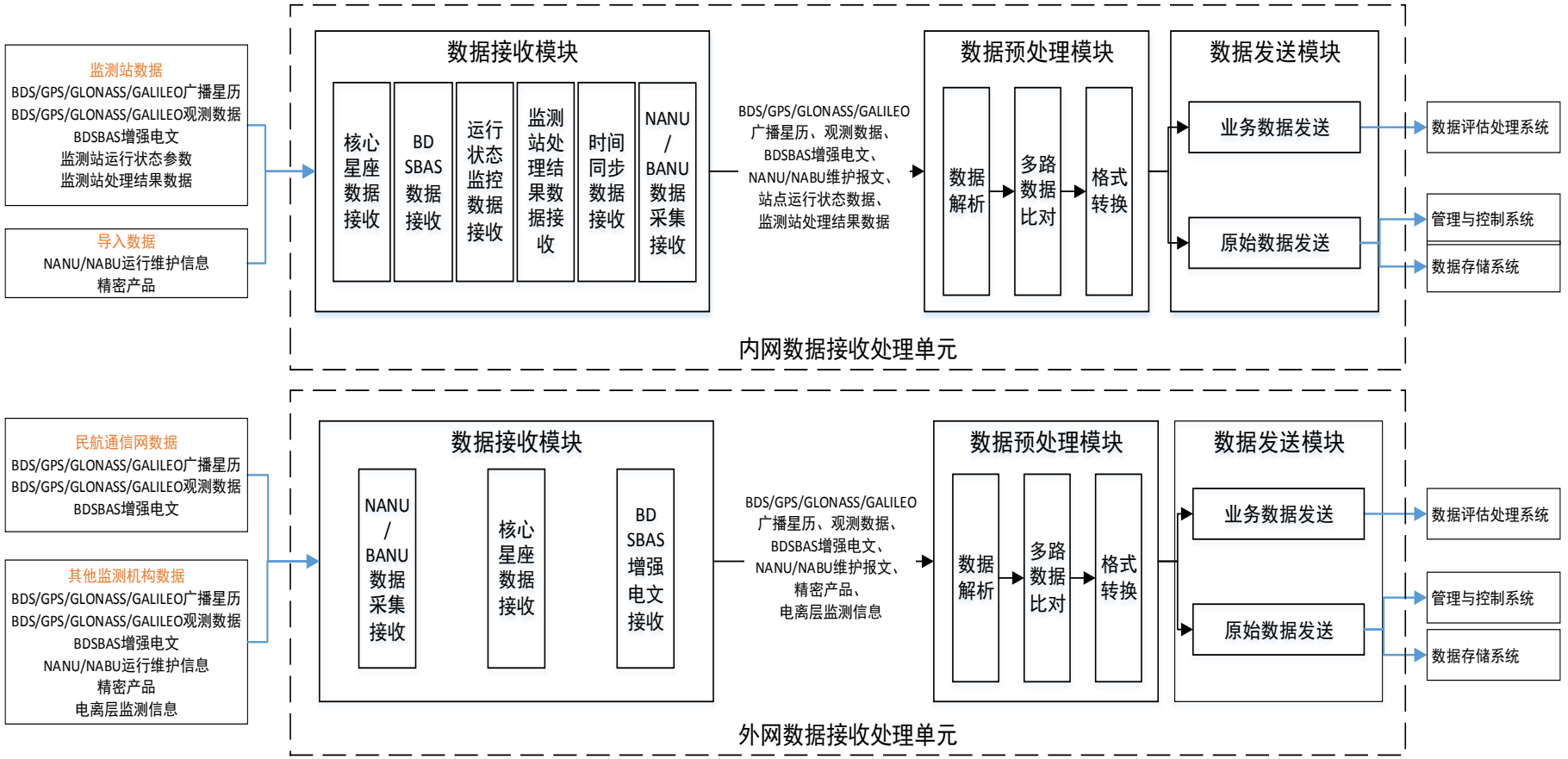


图 45 数据监控处理系统工作原理及流程图

3.3.1.2 数据监控处理系统内部接口

数据监控处理系统的内部接口主要包括数据接收模块、数据预处理模块和数据发送模块之间的接口，其中 BDS/GPS 广播星历、观测数据、BDSBAS 增强电文、监测站运行状态信息、监测站监测结果均为实时数据流，由 Kafka 消息队列进行传输。NANU/NABU 维护报文信息和精密产品为数据文件。

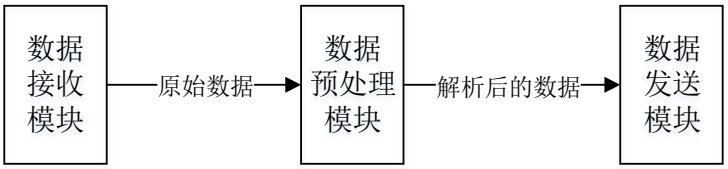


图 46 数据监控处理系统内部接口图

表 11 数据监控处理系统内部接口统计表

数据发送方	数据接收方	数据内容	数据格式
数据接收模块	数据预处理模块	BDS、GPS 广播星历	RTCM 实时流
		BDS、GPS 观测数据	RTCM 实时流
		BDSBAS 增强电文	RTCM 实时流
		监测站运行状态参数	RTCM 实时流
		监测站监测结果	RTCM 实时流
		电离层监测数据	自定义
		NANU/NABU 维护报文信息	自定义
		BDS、GPS 精密星历	自定义
数据预处理模块	数据发送模块	预处理后的 BDS、GPS 广播星历	RTCM 实时流
		预处理后的 BDS、GPS 观测数据	RTCM 实时流
		预处理后的 BDSBAS 增强电文	RTCM 实时流

3.3.2 数据评估处理系统

数据评估处理系统负责对监测站数据实时处理，分别对监测对象状态进行监测，对监测站坐标进行定期解算，维持监测评估系统空间基准，开展对监测对象的服务性能监测与评估，并生成信息服务产品。民航通信网用户通过民航通信网访问监测告警 web 界面和分析评估 web 界面实现界面交互，互联网用户通过互联网可访问分析评估 web 界面进行交互。

3.3.2.1 数据评估处理系统工作原理及流程

数据评估处理系统的工作原理及流程如下图所示。



图 47 数据评估处理工作原理及流程图

3.3.2.2 数据评估处理系统分机方案

监测告警服务

监测告警服务界面主要负责三大功能，如下图所示。具体包括负责实时监测中国民航飞行情报区域内不同飞行阶段的导航服务性能，并实现在不满足相应导航规范情况下的告警服务，以及提供未来 30 分钟的导航服务性能预测。此外，监测告警服务界面还提供了 GPS NANU、BDS NABU（含 BDSBAS）等运行维护信息的发布功能，方便相关人员及时掌握 GPS 、BDS 当前运行维护状况。

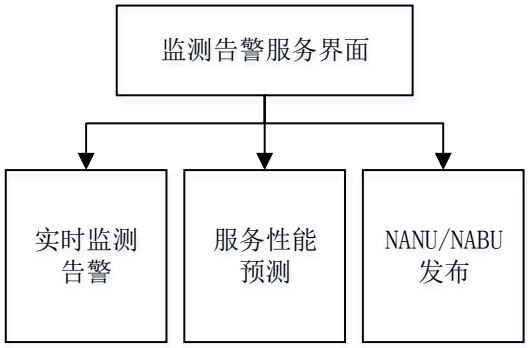


图 48 监测告警服务三大功能

实时监测告警

实时监测告警负责完成中国飞行情报区域内，GPS L1 C/A，BDS B1I、B1C 信号服务性能的监测告警。基于 GNSS 的完好性是确保民用飞机在不同航段的飞行安全的重要途径，也是实现监测告警的基本方法。GNSS 完好性基于航空导航系统定位方法和信号误差的故障模型，通过接收机自主完好性 RAIM 算法，计算得到用以确保计算位置的误差不会超过当前操作所允许的最大值。

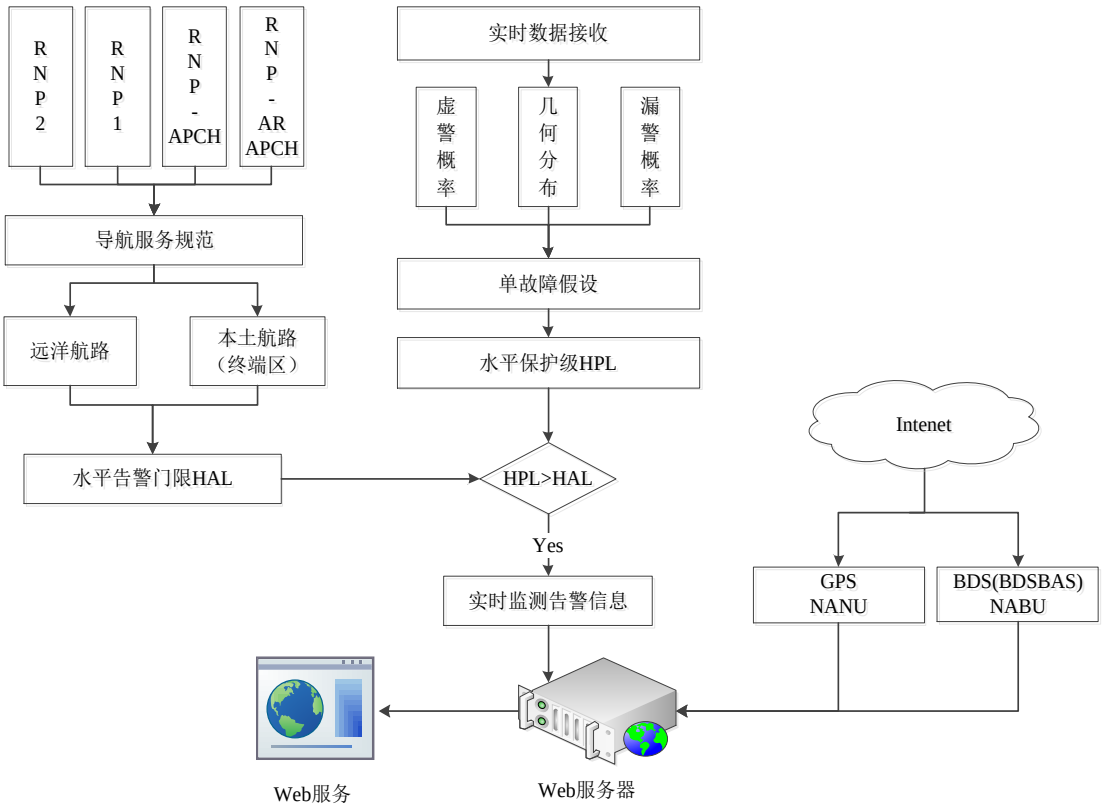


图 49 实时监测告警工作流程示意图

实时监测告警工作流程如上图所示。首先依据 RNP2、RPN1 等导航服务规范确定远洋航路和本土航路（终端区）的水平告警门限 HAL。在单故障假设下，根据虚警概率、漏警概率和导航卫星几何分布计算水平保护级 HPL。判断 HPL 是否

大于 HAL，如果 HPL 大于 HAL 则向 Web 服务器发布实时监测告警信息。同时，Web 服务器通过 Internet 网络获取 GPS NANU 和 BDS(BDSBAS)NABU 信息，结合民航空管管制用户使用习惯，提供 Web 访问服务，并支持用户对显示区域、监测信号和导航规范等进行设置。

实时监测告警的核心关键问题是卫星导航用于民航航空的完好性。完好性涉及的指标包括危险性误导信息 HMI，完好性风险 IR，告警时间 TTA、保护水平 PL 和告警门限 AL。其中危险性误导信息是对完好性风险概率的要求，完好性风险指的是未检测到的故障导致的定位结果超出预期，且在告警时间 TTA 内未告警的概率。保护水平 PL 是指当完好性风险等于 HMI 时，定位结果的误差限值。PL 应小于告警门限 AL，否则 RAIM 算法将发出 RAIM 算法不可用告警。综上，实时监测告警是指卫星导航系统不能满足民用航空导航服务规范时，及时向用户发出告警。2018 年第 7 版《国际民用航空公约》附件 10《航空电信》第 I 卷《无线电导航设备》中对 GNSS 用于民航不同飞行阶段的完好性要求如下表所示。

表 12 ICAO 对于民航在不同飞行阶段的 GNSS 完好性要求

飞行阶段	水平告警门限	垂直告警门限	完好性风险	告警时间
远洋航路	2.0nmi	N/A	1×10^{-7}/h	5min
本土航路（终端区）	1.0nmi	N/A	1×10^{-7}/h	15s
NPA	0.3nim	N/A	1×10^{-7}/h	10s
APV-I	40m	50m	2×10^{-7}/app	10s
APV-II	40m	20m	2×10^{-7}/app	6s
CAT-I	40m	10-15m	2×10^{-7}/app	6s
CAT-II/III	<17m	5.3m	2×10^{-7}/app	<2s

实时监测告警的核心问题是基于北斗、GPS 等卫星导航系统，根据 RAIM 算法计算用户定位保护水平，并与民用航空服务规范中的限制进行比较。RNP 导航规范的标识为“RNP X”，其中 X 指相应精度要求，表示在其运行空域或者航路上，至少的总飞行时间内，横向总系统误差和沿航迹误差均不能超过±X 海里。对于包括航路、终端区在内的飞行情报区域，RNP 导航规范分别为 RNP2.0 和 RNP1.0，即通过判断 HPL 与 RNP2.0 和 RNP1.0 的水平告警门限（分别是 2.0nmi 和 1.0nmi）来决定是否触发告警，不考虑垂直保护水平 VPL 和垂直告警门限。

基于卫星导航系统的 HPL 计算方法包括：最大精度因子变化量（$\delta H_{\max}$）法、近似径向误差保护（ARP）法和水平保护值（HPL）法。这三种预测算法的基本原理相通，都是根据统计检测量 χ^2 分布特性和系统要求的漏检概率指标来进行可用性判断。$\delta H_{\max}$ 法和 ARP 法是等效的，存在如下关系：

$$ARP=\sqrt{n-4}\times T_D\times\delta H_{\max}$$

HPL 方法是直接以水平保护值（HPL）作为统计检测量，通过与对应航段的水平告警门限值（HAL）相比较来判断可用性。

以上三种预测算法被证明相互等效。然而在算法实现过程中，$\delta H_{\max}$ 法在求取总体值和各个子集值时，会涉及大量的矩阵运算，运算量较大。而 ARP 法和 HPL 法，在运行时会部分借用算法中的运算数据，所以实际的运算量会小很多。另外，HPL 法直接将完好性告警门限作为故障检测门限，计算结果更加直观清晰。因此目前 RAIM 预测系统的核心算法通常采用 HPL 法。

假设未来某时刻，接收机观测到 N 颗可见卫星，即有 N 个伪距测量值参与定位计算，如果其中第i个伪距测量值出现错误，导致相应的伪距存在偏差b_i，那么由此引起的水平定位误差为：

$$E_i = b_i\sqrt{A_{1i}^2 + A_{2i}^2}$$

其中A_{1i}和A_{2i}分别是矩阵 A 第 1 行第 i 列、第 2 行第 i 列数值。矩阵 A 是观测矩阵 G 的 Moore-PenKeepalived 伪逆：

$$A = (G^T G)^{-1} G^T$$

相应的，不考虑观测噪声的统计检测量为：

$$r_i = b_i\sqrt{S_{ii}/(N-4)}$$

其中S_{ii}为投影矩阵 S 的第 i 行第 i 列数值。定义第 i 颗可见卫星的特征斜率为水平定位误差和无噪声的统计检测量之间的比值，表示为：

$$K_i = E_i / r_i = \sqrt{(A_{1i}^2 + A_{2i}^2)(N-4)/S_{ii}}$$

对于接收机而言，每颗可见卫星都有唯一一个对应的特征斜率。在同样的水平定位误差条件下，特征斜率最大的卫星具有最小的统计检测量，因此最容易发生漏检。如果最大特征斜率的可见卫星发生故障被正确检测到，不出现漏检，那么其他卫星发生故障同样不会出现漏检。HPL 定义如下：

$$HPL = K_{\max} \times T_D^{'}$$

综上，HPL 表达式为：

$$HPL = \max_i \sqrt{(A_{1i}^2 + A_{2i}^2)/S_{ii}} \times \sigma \times \sqrt{\lambda}$$

式中，λ是满足漏检概率要求的非中心分布$\chi^2(N-4,\lambda)$中的非中心参量。

服务性能预测

航路及终端区的 RAIM 预测是通过预测卫星位置和飞机位置，构建未来某时段某区域内机载接收机观测几何分布，结合虚警概率和漏警概率，计算水平保护级 HPL，与导航服务规范要求的水平告警门限 HAL 进行比较，从而完成 RAIM 预测，其工作流程如下图所示。

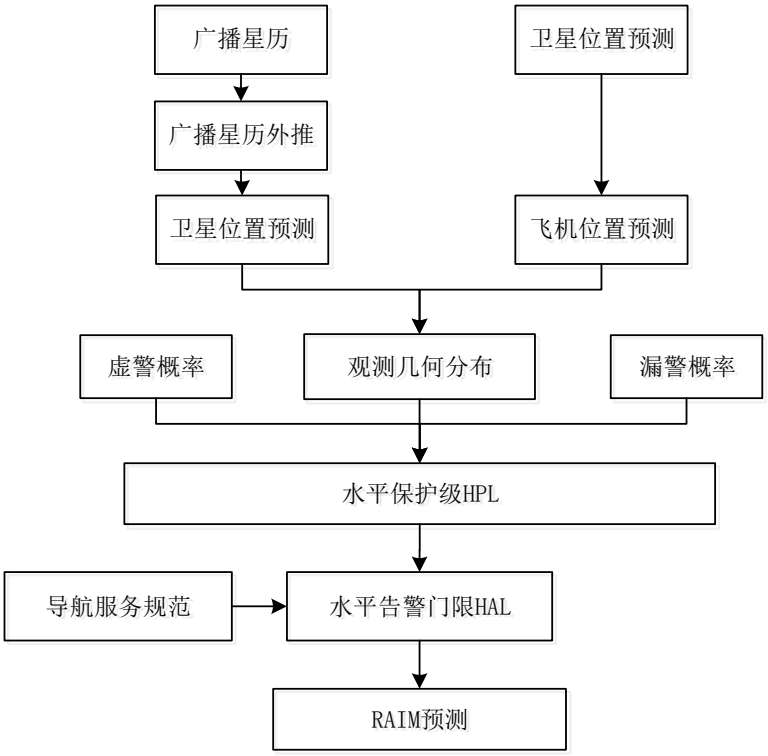


图 50 RAIM 预测工作流程示意图

由上图可知，RAIM 预测与实时监测告警的主要区别在于卫星位置和飞机位置。在实时监测告警中，卫星位置和飞机位置是确定的。而 RAIM 预测则需要对卫星位置和飞机位置进行预测。从 HPL 的表达式中可以看出，RAIM 预测的关键是预测未来某个时刻星座相对于接收机的几何布局，从而确定可见卫星数目和观测矩阵。因此，RAIM 预测的关键在于：（1）确定未来某时刻导航卫星空间星座几何分布，即卫星位置预测；（2）确定未来某时刻机载接收机所处位置，即飞机位置预测。

（1）卫星位置预测

GNSS 用户接收机通过接收到的卫星信号进行载波解调、伪码解扩以及编译，得到导航电文。导航电文含有该卫星的星历数据以及所有在轨工作卫星的历书数据。星历参数和历书参数都是用来描述卫星运行轨道的，不同的是，星历数据不仅包含历书数据所有参数，还包含有个卫星轨道摄动校正量，利用这些参数可以更精确的计算出某一时刻的卫星位置和速度，并且在两小时内预测精度无明显变化，与事后精密星历的差别在 0.5m 以内。而且，广播星历中包含了卫星健康状态标识，可用于判断实际观测时卫星是否可见，能够更准确地表示用户计算 HPL 的观测条件。因此，在 RAIM 预测中采用广播星历预测卫星位置。

以 BDS B1C 频点广播星历为例，说明由广播星历预测卫星位置的过程。卫星星历由 18 个准开普勒轨道参数和 1 个卫星轨道类型参数构成，分别是：t_{oe}，星

历参考时刻；SatType，卫星轨道类型；ΔA，参考时刻长半轴相对于参考值的偏差；$\dot{A}$，长半轴变化率；Δn_0，参考时刻卫星平均角速度与计算值之差的变化率；M_0，参考时刻的平近点角；e，偏心率；ω，近地点幅角；Ω_0，周历元零时刻计算的升交点经度；i_0，参考时刻的轨道倾角；$\dot{\Omega}$，升交点赤经变化率；i_0，轨道倾角变化率；C_{is}，轨道倾角的正弦调和改正项的振幅；C_{ic}，轨道倾角的余弦调和改正项的振幅；C_{rs}，轨道半径的正弦调和改正项的振幅；C_{rc}，轨道半径的余弦调和改正项的振幅；C_{us}，纬度幅角的正弦调和改正项的振幅；C_{uc}，纬度幅角的余弦调和改正项的振幅。根据上述广播星历参数，计算导航卫星在地心地固系下的位置，过程如下表所示。

表 13　导航卫星在地心地固系下的位置计算方法

步骤	公式	说明
1	$t_k = t - t_{oe}$	计算与参考时刻的时间差
2	$A_0 = A_{ref} + \Delta A$	计算参考时刻的长半轴
3	$A_k = A_0 + (\dot{A})t_k$	计算长半轴
4	$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{A_0^3}}$	计算参考时刻的卫星平均角速度
5	$\Delta n_A = \Delta n_0 + 1/2\Delta \dot{n}_0 t_k$	计算卫星平均角速度的偏差
6	$n_A = n_0 + \Delta n_A$	计算改正后的卫星平均角速度
7	$M_k = M_0 + n_A t_k$	计算平近点角
8	$M_k = E_k - esnE_k$	迭代计算偏近点角
9	$\begin{cases} sin v_k = \frac{\sqrt{1-e^2}sinE_k}{1-ecos E_k} \\ cos v_k = \frac{cos E_k - e}{1-ecos E_k} \end{cases}$	计算真近点角
10	$\phi_k = v_k + \omega$	计算纬度幅角

步骤	公式	说明
11	$\begin{cases}\delta u_k = C_{us}\sin(2\phi_k) + C_{uc}\cos(2\phi_k)\\ \delta r_k = C_{rs}\sin(2\phi_k) + C_{rc}\cos(2\phi_k)\\ \delta i_k = C_{is}\sin(2\phi_k) + C_{ic}\cos(2\phi_k)\end{cases}$	计算纬度幅角改正项 计算径向距离改正项 计算轨道倾角改正项
12	$u_k = \phi_k + \delta u_k$	计算改正后的纬度幅角
13	$r_k = A_k(1 - e\cos E_k) + \delta r_k$	计算改正后的径向距离
14	$i_k = i_0 + i_0 \cdot t_k + \delta i_k$	计算改正后的轨道倾角
15	$\begin{cases}x_k = r_k\cos u_k\\ y_k = r_k\sin u_k\end{cases}$	计算卫星在轨道平面内的坐标
16	$\Omega_k = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \dot{\Omega}_e)t_k - \dot{\Omega}_e t_{oe}$	计算改正后的升交点经度
17	$\begin{cases}X_k = x_k\cos\Omega_k - y_k\cos i_k\sin\Omega_k\\ Y_k = x_k\sin\Omega_k + y_k\cos i_k\cos\Omega_k\\ Z_k = y_k\sin i_k\end{cases}$	计算 MEO/IGSO 卫星在地心地固坐标系中的坐标
$u = 3.986004418\times 10^{14} m^3/s^2$，$\dot{\Omega}_e = 7.2921150\times 10^{-5} rad/s$，$\pi = 3.1415926535898$， 对于 MEO 卫星，$A_{ref} = 27906100m$，对于 IGSO 和 GEO 卫星，$A_{ref} = 42162200m$。		

（2）飞机位置预测

根据飞行计划制定的飞行路径以及飞机在各个飞行阶段的地速和预计到达时刻等信息，推测各个阶段飞机运行的维航迹，即三维位置坐标和对应的一维时间矢量，从而实现飞机位置预测，依次分为三个步骤：构建航线模型、大椭圆航线距离计算、大椭圆航线坐标内插。

- 构建 PBN 航线模型

PBN 运行摒弃了传统的台到台飞行模式，采用点到点飞行，即从一个航路点飞往另一个航路点，航路点严格基于坐标系定义。因此航线模型不是传统的等角航线或者大圆航线，而是基于基准椭球体的大椭圆航线。大椭圆航线为航路起点和航路终点以及地心构成的空间平面与地球基准椭球面相交而形成的大椭圆上的一段劣弧。

建立如下图所示的直角坐标系，坐标原点为椭球模型中心，平面为赤道平面，其中轴指向 0° 经度，轴指向东经 90° ，轴指向地理北极极点。A 点和 B 点分别为航路上的两个航路点，它们之间在基准椭球面上的最短连线所在的曲线模型 C，即为大椭圆航线。E 点为大椭圆航线和赤道平面的一个交点。

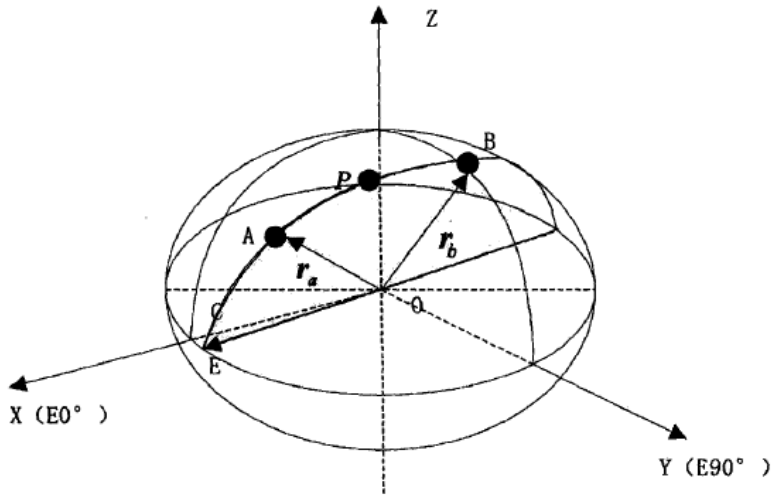


图 51 基于参考椭球的大椭圆航线模型

A 点的空间直角坐标记为（x_A, y_A, z_A）点的空间直角坐标记为（x_B, y_B, z_B）。基于 WGS-84 坐标系的直角坐标（x, y, z）和大地坐标（φ, λ）的转换公式如下：

$$\begin{cases} x = N\cos(\varphi)\cos(\lambda) \\ y = N\cos(\varphi)\sin(\lambda) \\ z = N(1-e^2)\sin(\varphi) \end{cases}$$

式中，N 是卯酉圆曲率半径，e 为椭球偏心率。

A 点和 B 点以及地心 O 构成一个空间平面，该平面与 WGS-84 基准捕球面的交线就是飞机待飞的大椭圆航线。该平面方程可表示如下：

$$px + qy + \xi z = 0$$

椭球面方程可表示为：

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

可知，由航路点 A、B 所构建的航路模型为：

$$\begin{cases} px + qy + \xi z = 0 \\ \dfrac{x^2}{a^2} + \dfrac{y^2}{a^2} + \dfrac{z^2}{b^2} = 1 \end{cases}$$

- 大椭圆航线距离计算

由大椭圆航线方程可知，大椭圆的长半轴即为赤道半径 a，短半轴 b' 为:

$$b' = \sqrt{b^2 + \frac{\xi^2(a^2 - b^2)}{p^2 + q^2 + \xi^2}}$$

大椭圆和赤道平面的一个交点 E 的直角坐标为:

$$x_E = \frac{\pm qa}{\sqrt{p^2 + q^2}}, y_E = \frac{\mathrm{m}pa}{\sqrt{p^2 + q^2}}, z_E = 0$$

用向量夹角公式，可求得矢径$\vec{OE}$和$\vec{OA}$的夹角a_1,矢径$\vec{OE}$和$\vec{OW}$的夹角为a_2。通过椭圆圆弧积分即可得到大椭圆上的劣弧 AB 的长度 S：

$$S=\int_{a_1}^{a_2}\sqrt{a^2+(b'^2-a^2)\sin^2\theta}d\theta$$

- 大椭圆航线坐标内插

位置点 P 处于大椭圆航线 C 上，距离起航路点 A 的距离为S_0。假设 P 点大地坐标为（φ_p,λ_p），由于 P 点位于大椭圆 C 上，那么点 P、A、B、O 共面，即点 P 满足平面方程。根据坐标转换公式，将大地坐标转换成直角坐标，代入平面方程，得到该大椭圆航线上的位置点经纬度关系：

$$\tan(\varphi)=\pm\frac{a^2}{b^2\xi}[p\cos(\lambda)+q\sin(\lambda)]$$

联合大椭圆航线距离公式，两组非线性方程解算两个未知数，进行迭代运算，求得内插点坐标,具体算法流程如下图所示。

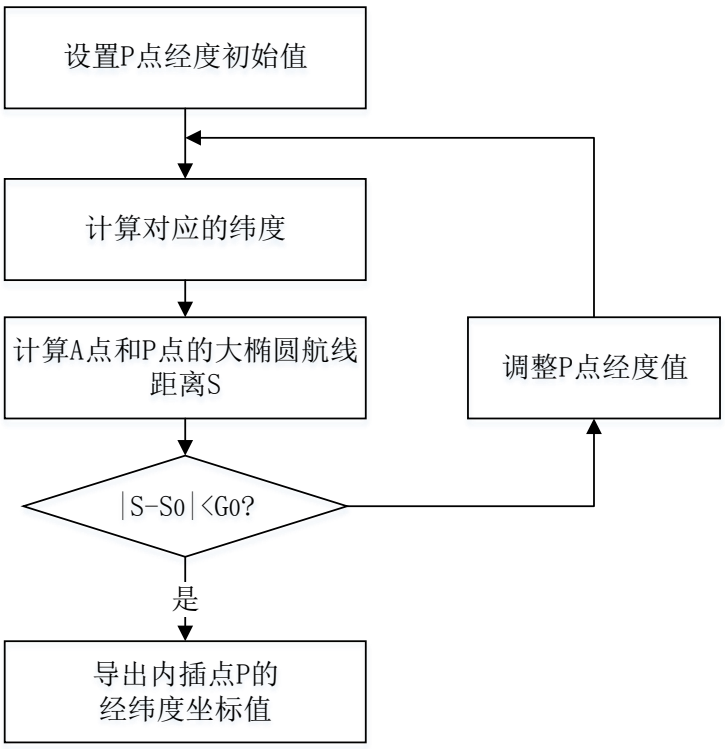


图 52 大椭圆航线坐标内插计算流程图

利用计算内插点坐标的核心思想是不停地进行迭代运算，直至符合要求达到收敛。其中，门限值 G_0 根据需要的精度要求设定，在机载导航数据库中，位置点的经纬度坐标通常精确到 0.01 秒，计算得到的距离最小分辨率约为 0.3 米，因此设定的判决门限 G_0 不能低于 0.3 米。另外，在设置内插点 P 的初始经度时，为了减少迭代运算量，可以采用差值法赋予初始经度值。

运行维护信息处理模块

运行维护信息处理模块主要负责将导入的 NANU、NABU 和 BDSBAS 报文进行统计分析，提取航行通告中的关键信息，包括通告类型、故障类型、故障卫星、开始时间、结束时间等。同时，运行维护信息处理模块支持用户对历史关键信息的检索。

表 14　航行通告类型

序号	通告类型	中断原因	备注
1	计划操作	轨道机动	对卫星的轨道参数和姿态等进行调整等
2		升级维护	对在轨卫星开展的软件升级操作
3		在轨维护	对在轨卫星开展的软硬件维护工作
4	非计划中断	--	系统服务由于计划外原因导致性能不满足指标要求
5	其他通告	卫星入网	一颗新的卫星经过测试满足要求后正式入网提供服务
6		卫星退役	某颗卫星达到寿命或其他原因退出服务

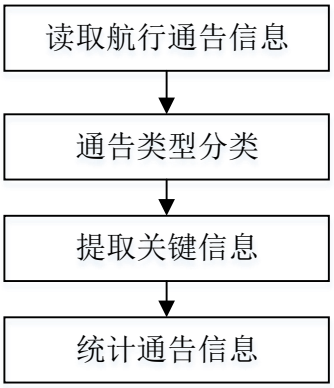


图 53 维护报文统计流程

分析评估服务方案

分析评估服务主要针对 BDS B1I、B1C、B2a 信号和 GPS L1 C/A、L2P 信号以及 BDSBAS B1C 信号的实时状态以及服务性能进行分析评估及历史检索，并依据性能分析报告模板生成相应的季度和年度服务性能分析报告，经系统管理人员下载修订后，上传并发布最终版服务性能分析报告，用户可在分析评估界面下载历史服务性能分析报告。

此外，分析评估服务界面还提供了特定用户下载监测站原始数据的功能，支持用户下载所需数据开展分析处理，并提供了可以涵盖服务性能分析报告的各类监测评估辅助分析工具等，支持用户选取所需数据及时间段的监测评估分析处理、干扰分析处理、电离层分析处理等。

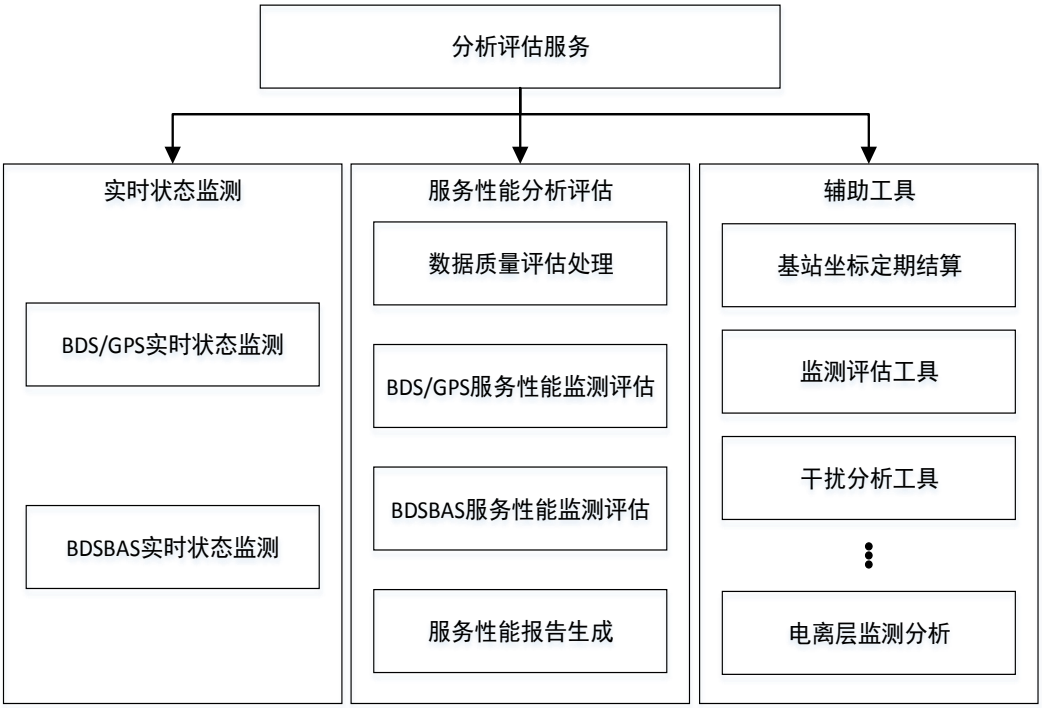


图 54 分析评估服务组成

BDS/GPS 实时状态监测

BDS/GPS 实时状态监测主要负责实时监测 BDS、GPS 核心星座的实时工作状态和部分性能指标，包括星座状态、运行轨迹、健康状态、可见卫星、DOP 值、用户定位精度等。

（1）星座状态

星座状态主要监测卫星参数中的偏心率。参考自《Global Positioning System Civil Monitoring Performance Specification》。

具体计算流程如下图所示。

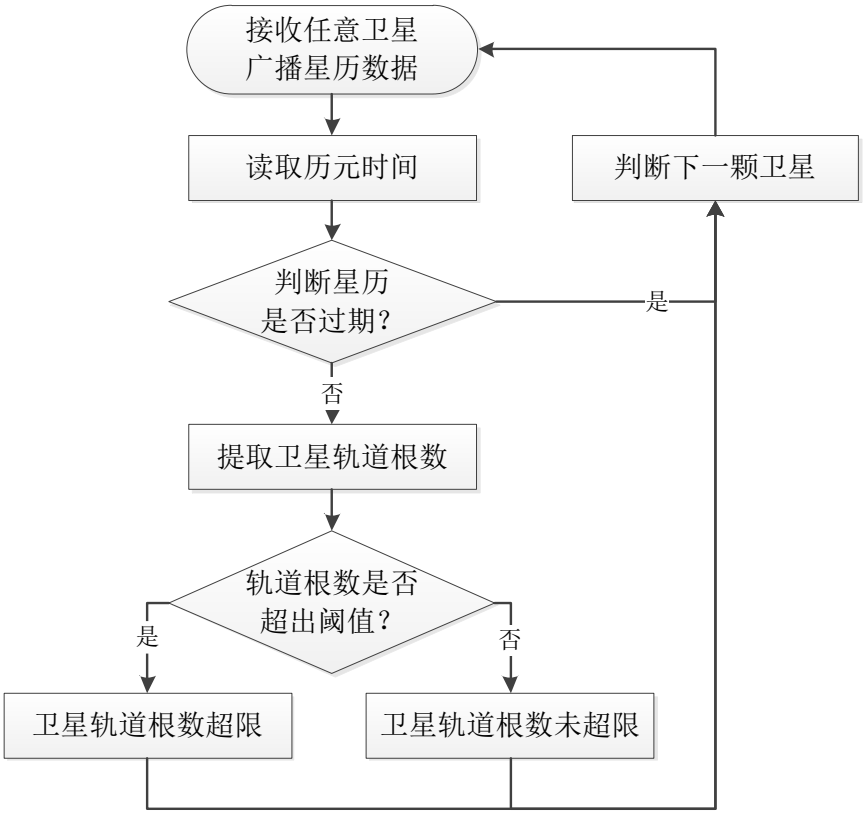


图 55 星座状态监测流程图

（2）运行轨迹

利用卫星广播星历数据，计算卫星位置。

（3）健康状态

卫星健康状态为导航电文星历和历书中用于指示卫星工作状态是否正常的信息。参考自《北斗卫星导航术语》。

通过读取导航电文中描述卫星当前健康状态的标识符，不同健康状态值代表不同健康状态。具体如下表所示。

表 15　卫星健康状态标识定义统计表

系统	健康状态值	定义
BDS	0	卫星健康
	1	卫星不健康或在测试中
	2	预留
	3	预留
GPS	0	健康
	60	非健康
	63	--

健康状态监测流程如下图所示。

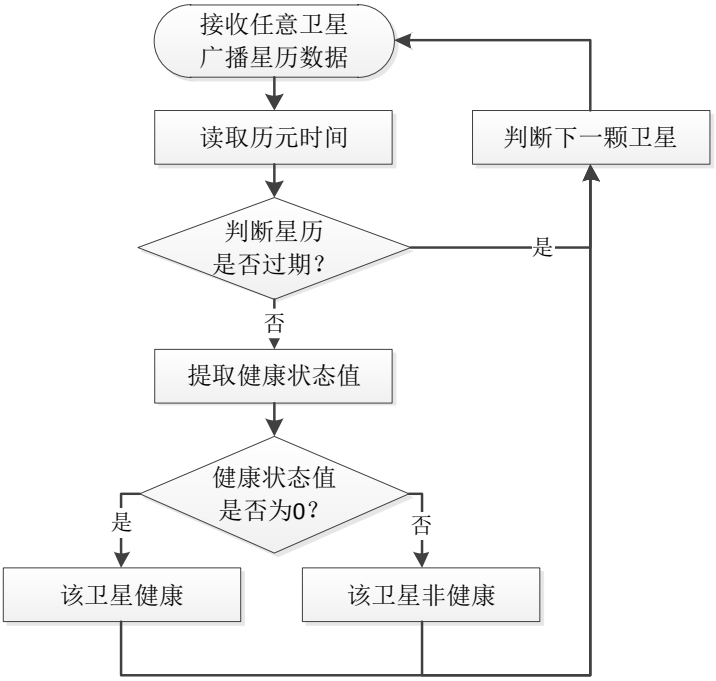


图 56 健康状态评估流程图

（4）可见卫星

可见卫星为监测站可以观测到的卫星。

通过计算卫星位置和观测站位置，从而计算卫星仰角和方位角，若卫星方位角大于监测站截止高度角，则该卫星则为可见卫星。

（5）DOP 值

精度因子 DOP：导航星座的几何分布特征导致用户位置坐标、时间精度降级的因子。参考自《北斗卫星导航术语》。

具体流程如下图所示。



图 57 DOP 值计算流程图

（6）定位精度

定位精度是指用户使用公开服务信号确定的位置与其真实位置之差的统计值，包括水平定位精度和垂直定位精度。参考自《北斗卫星导航系统公开服务性能规范（3.0 版）》。

定位精度的计算流程如下图所示。

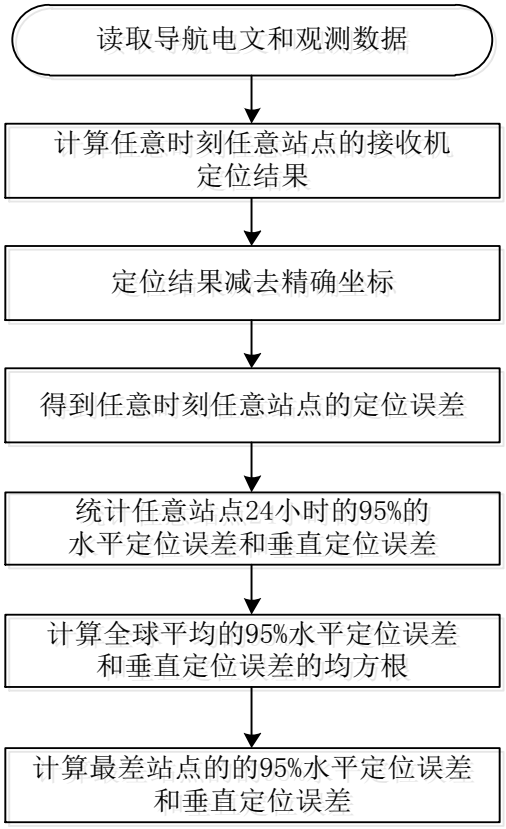


图 58 定位精度算法流程图

BDSBAS 星座实时状态监测

BDSBAS 实时状态监测主要负责 BDSBAS 实时状态监测以及部分指标的历史检索功能。其中，实时状态监测指标包括 GEO 卫星状态、电离层网格状态、垂直导航和水平导航性能等；部分指标历史检索包括垂直导航和水平导航性能等。

（1）GEO 卫星状态

参照 BDS/GPS 核心星座卫星健康状态监测方法，为导航电文星历和历书中用于指示卫星工作状态是否正常的信息。

（2）电离层网格状态

电离层网格状态表征电离层网格点（IGP）带掩码对应的电离层校正参数的状态。参考自：国际民航组织发布的《国际民用航空公约》附件 10《航空电信》第 I 卷《无线电导航设备》关于星基增强系统(SBAS)的标准和建议措施(SARPs)；

世界范围内的电离层格网点被分配到 11 个电离层格网带中，其中 0-8 带是墨卡托投影下的竖直带，9-10 是水平带，共计 2192 个格网点，这些网点的经纬度信息需要预先存储到用户接收机中。格网带中对应电离层格网点的掩码为 1，表明该格网点有效，其对应的电离层延迟信息将在电文 26 中播发；如果电离层格网点掩码为 0，表明该格网点不可用。用户接收机仅使用掩码为 1 的电离层格网点参与运算。

表 16　电离层格网带 0-8（竖直带）

纬度（°）	纬度差（°）	经度差（°）
N85	10	90
N75 至 N65	10	10
S55 至 N55	5	5
S75 至 S65	10	10
S85	10	90

表 17 电离层格网带 9-10（水平带）

纬度（°）	纬度差（°）	经度差（°）
N85	10	30
N75 至 N65	5	10
S55 至 N55	5	5
S75 至 S65	5	10
S85	10	30

如下图所示，在 0-7 带，格网点号从 1 到 201，在第 8 带格网点号从 1 到 200，在 9 和 10 带，格网点号从 1 到 192。在 0 到 8 带格网点的排列是从

西南角开始按照从南到北，从西到东的顺序，在 9 和 10 带，格网的顺序为从西到东，按行到极点。

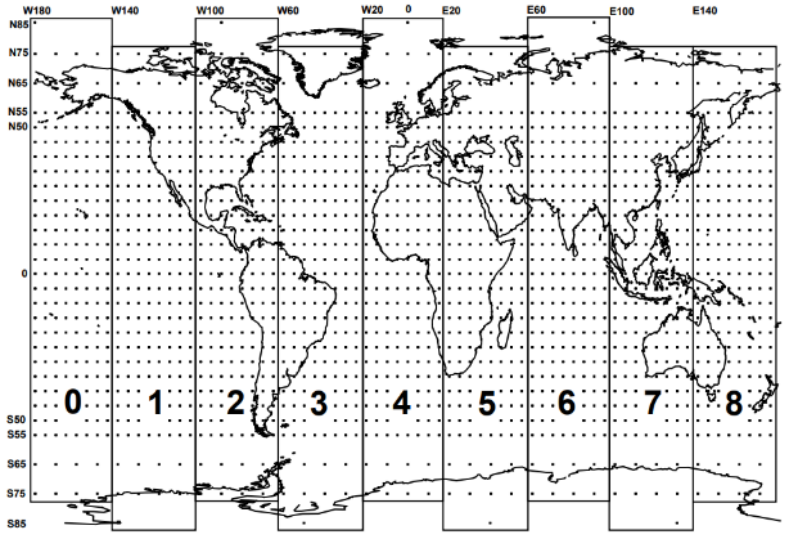


图 59 电离层格网带

电离层格网状态监测的流程如下：

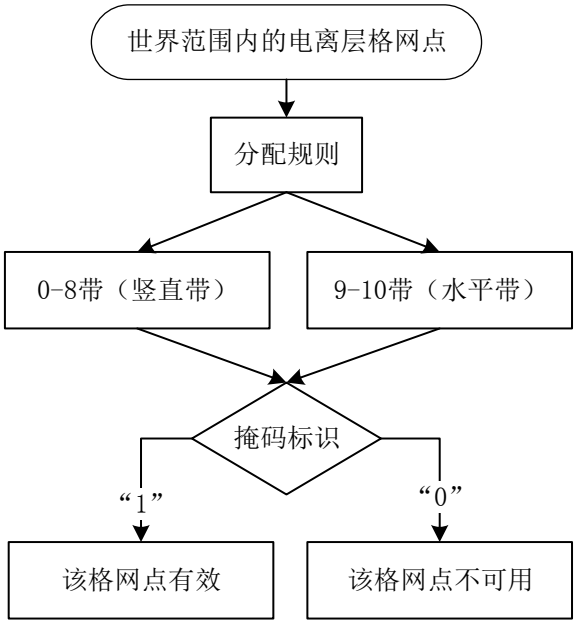


图 60 基于电离层格网状态监测流程图

（3）垂直导航和水平导航性能

垂直导航和水平导航性能即水平保护级和垂直保护级。

水平保护级（HPL）：由卫星导航系统空间信号完好性状态信息，按相应的误警率和漏警率要求，计算得到的用户水平位置误差最大值。

垂直保护级（VPL）：由卫星导航系统空间信号完好性状态信息，按相应的误警率和漏警率要求，计算得到的用户高程误差最大值。

BDS/GPS 服务性能监测评估

BDS/GPS 服务性能监测评估主要提供事后 BDS、GPS 核心星座服务性能的监测评估统计分析。分析指标包括：空间信号覆盖性、可用性、连续性、定位精度、轨道误差、钟差误差、空间信号测距精度、服务可用性

（1）覆盖性

覆盖性为空间信号达到规定的精度水平的区域面积或体积。空间信号覆盖范围是地面服务量。

《北斗卫星导航术语》中定义，覆盖范围为卫星导航系统播发的满足一定性能要求的空间信号所覆盖的地球表面及近地区域。

覆盖性的计算流程如下：

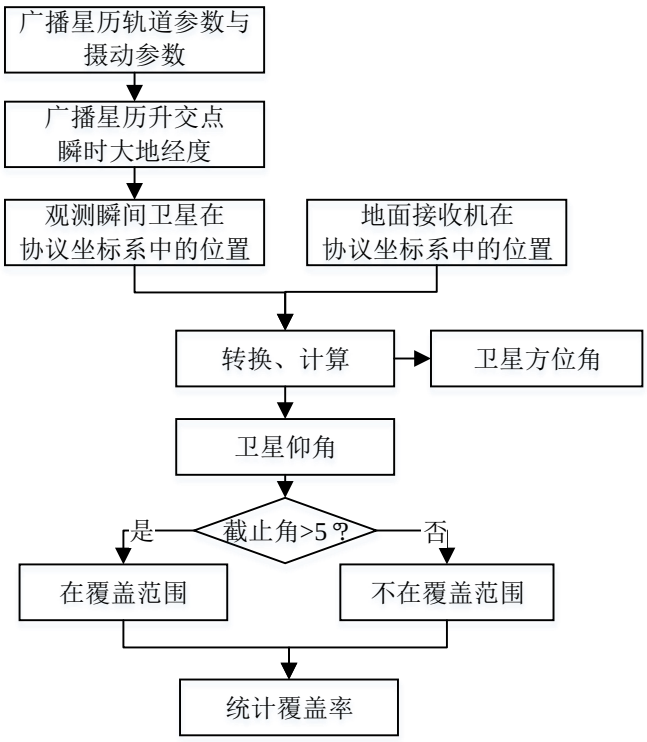


图 61 覆盖性计算流程图

（2）轨道精度

《北斗卫星导航系统 RNSS 公开服务性能评估方法》中定义，空间信号广播轨道精度：表征利用广播星历轨道参数计算得到的卫星位置精度。

轨道误差计算流程如下图所示。

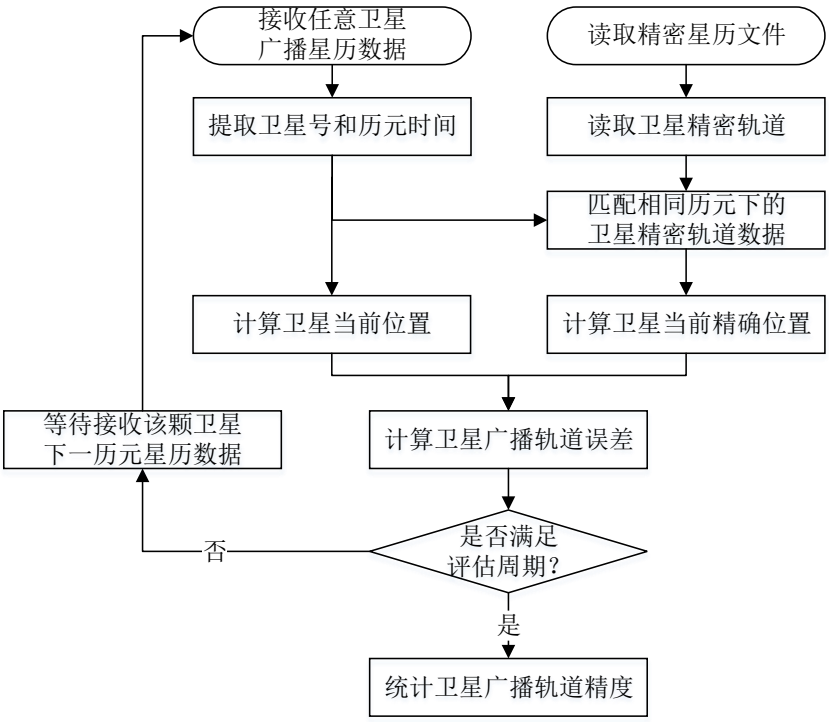


图 62 轨道误差计算流程图

（3）钟差误差

广播钟差精度：表征利用广播星历钟差参数计算得到的卫星钟差精度。卫星钟差的计算流程如下图所示。

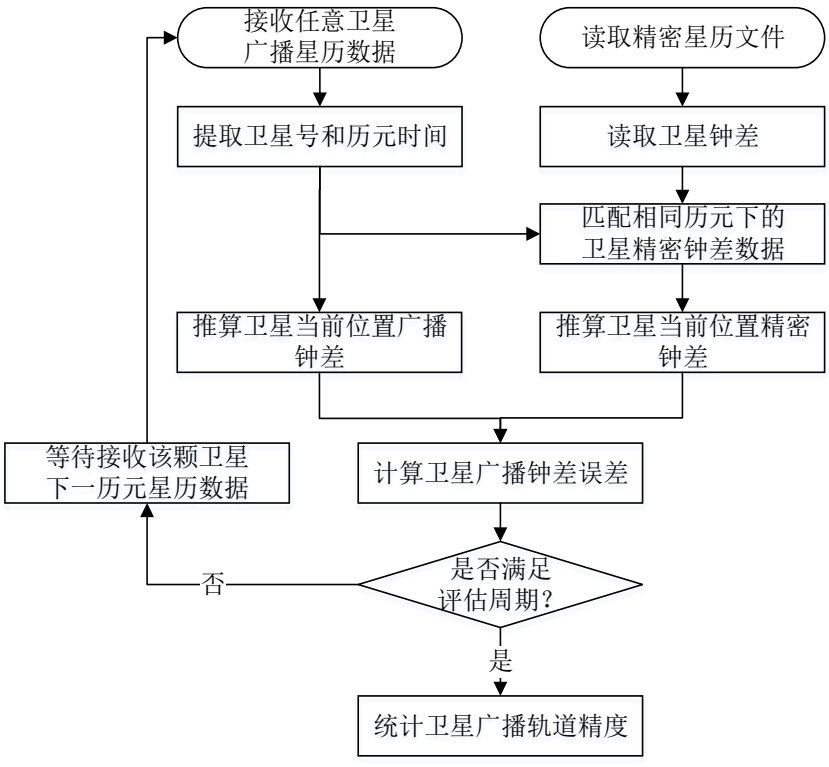


图 63 卫星钟差误差计算流程图

（4）空间信号测距精度

空间信号测距误差（SISRE）：由导航卫星轨道、钟差等引起的误差在卫星至用户视线上的投影。

空间信号测距精度的计算流程如下图所示。

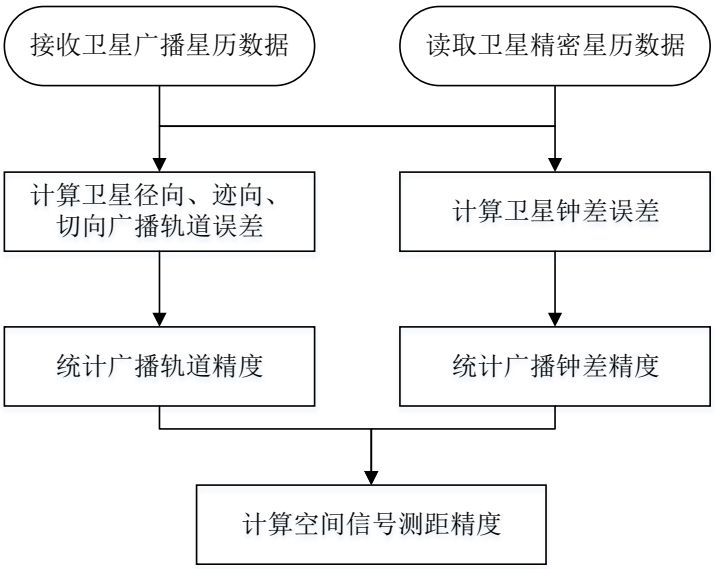


图 64 空间信号测距精度计算方法

（5）完好性

完好性是指当导航系统的误差超过所允许的限值而不能胜任规定的导航工作时，系统及时报警，通知用户的能力。

来源：《ICAO Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation》、《基于北斗的机载终端完好性算法仿真研究》

信息处理流程如下图所示。

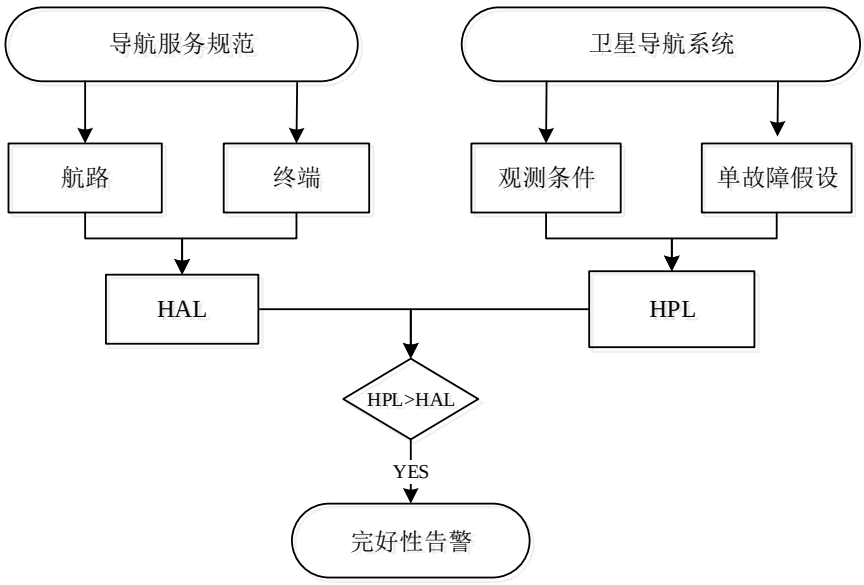


图 65 完好性信息处理流程

（6）空间信号连续性

空间信号连续性是指一个“健康”状态的公开服务空间信号能在规定时间段内不发生非计划中断而持续工作的概率。

空间信号连续性计算流程如下图所示。

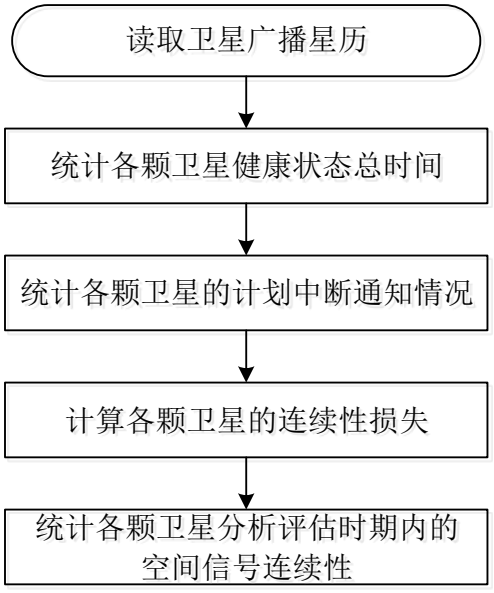


图 66 空间信号连续性算法流程图

（7）空间信号可用性

空间信号可用性分为空间信号单星可用性和空间信号星座可用性。

1）空间信号单星可用性

《北斗卫星导航系统公开服务性能规范（3.0 版）》中定义，单星可用性是指北斗三号标称空间星座中某一个规定轨道的卫星提供“健康”状态的空间信

号的概率。

《Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard》中定义，单星可用性为GPS星座中单个轨位上的卫星传输可跟踪和健康的标准定位服务空间信号占用的时间。

算法流程如下图所示。

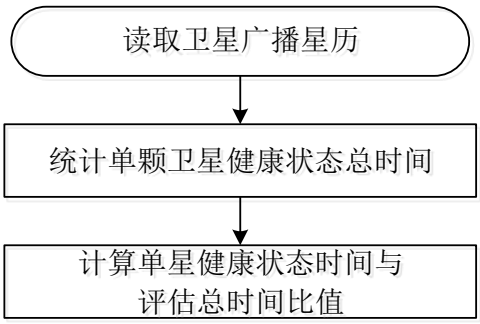


图 67 空间信号单星可用性算法流程框图

2）空间信号星座可用性

《北斗卫星导航系统公开服务性能规范（3.0 版)》中定义，星座可用性是指在北斗三号标称空间星座中规定轨道，规定数量的卫星提供“健康”状态空间信号的概率。

《Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard》中定义，单星可用性为GPS星座中特定数量轨位上的卫星传输可跟踪和健康的标准定位服务空间信号占用的时间。

空间信号星座可用性计算流程如下图所示。

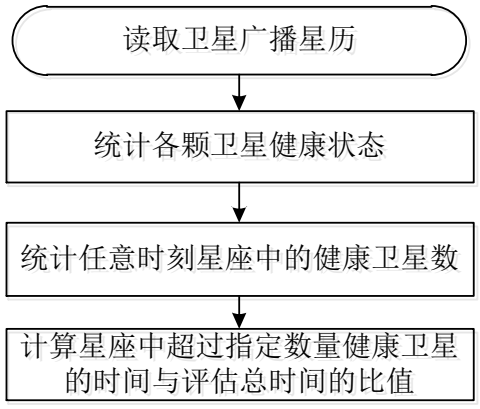


图 68 空间信号星座可用性算法流程框图

（8）服务可用性

1）PDOP可用性

PDOP可用性：规定时间内、规定条件下，PDOP值满足PDOP限值要求的时间百分比。PDOP可用性计算流程如下图所示。

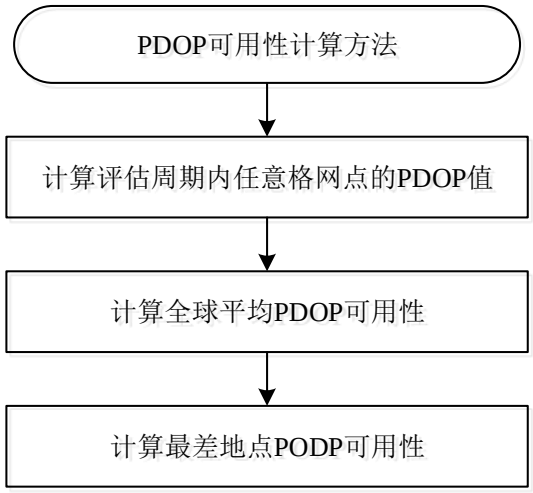


图 69 PDOP 可用性算法流程框图

2）定位服务可用性

GPS:任何 24 小时间隔内，对于覆盖区域内的任何点，95%定位误差（由于空间段和控制端误差的）小于阈值的时间百分比。

BDS:任何 168 小时间隔内，对于覆盖区域内的任何点，95%定位误差（由于空间段和控制端误差的）小于阈值的时间百分比。

定位服务可用性算法流程如下图所示。

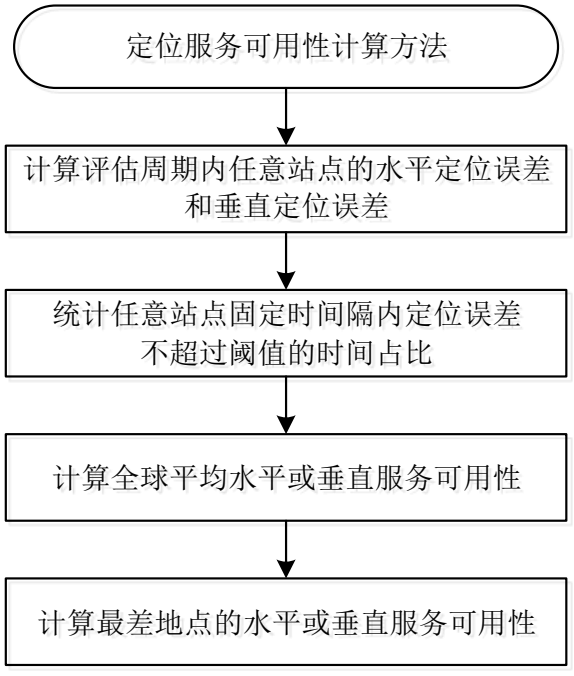


图 70 定位服务可用性算法流程框图

BDSBAS 服务性能监测评估

BDSBAS 服务性能监测评估主要负责是否 BDSBAS 提供服务的性能分析。分析指标包括定位精度、服务可用性、机场服务可用性、服务中断次数、覆盖范围、

HMI 事件分析评估、广播告警信息评估、增强信息可用性评估、卫星测距误差评估、电离层误差评估、监测点 CNMP 分析、监测站点位置评估等。

（1）定位精度

定位精度是指通过 GNSS 等方法确定的用户坐标与真实坐标之间的差异，通常用标准差或者均方根误差来表示。参考自《ICAO Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation》。

定位精度的处理流程如下图所示。

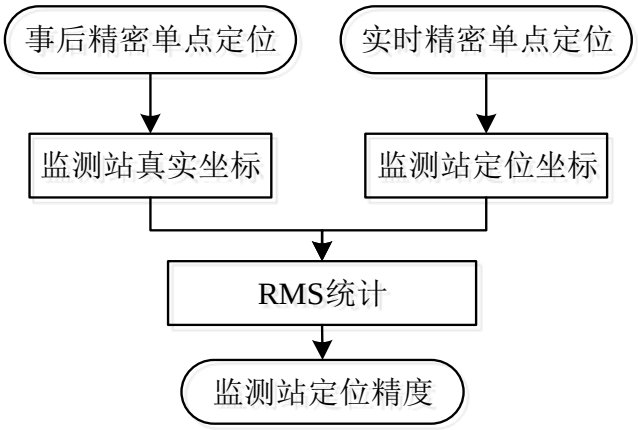


图 71 定位精度处理流程图

（2）系统可用性

系统可用性是指导航系统在满足完好性、精度和连续性的情况下，可以稳定运行的能力。参考自《ICAO Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation》。

系统可用性处理流程如下图所示。

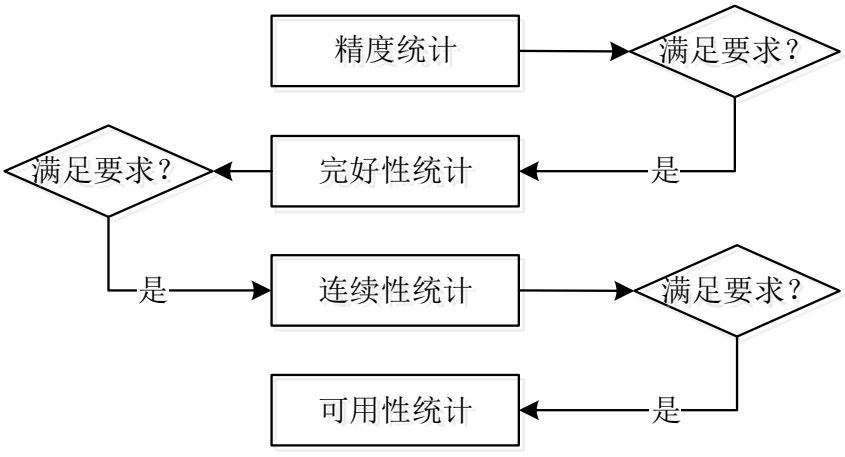


图 72 系统可用性处理流程图

（3）机场服务可用性

机场服务可用性：依据机场 PA/NPA 服务的导航规范性能要求，计算评估周

期内机场满足该服务规范要求可提供服务时间的百分比。

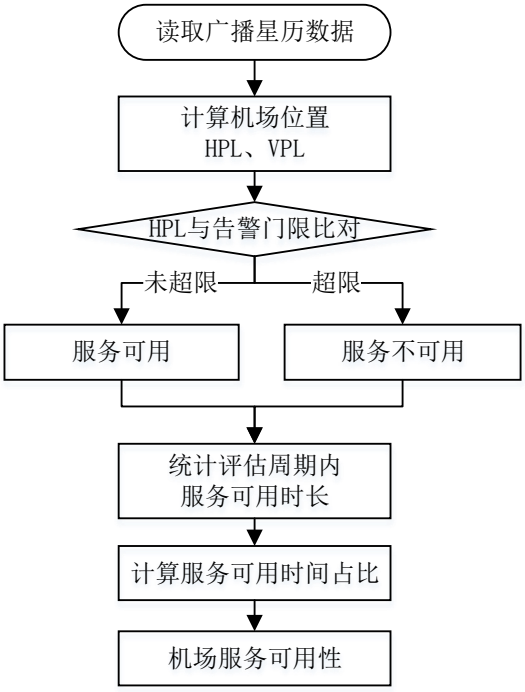


图 73 机场可用性计算流程图

（4）服务中断次数

服务终端次数：依据机场 PA/NPA 服务的导航规范性能要求，计算评估周期内机场满足该服务规范要求可提供服务的次数统计。

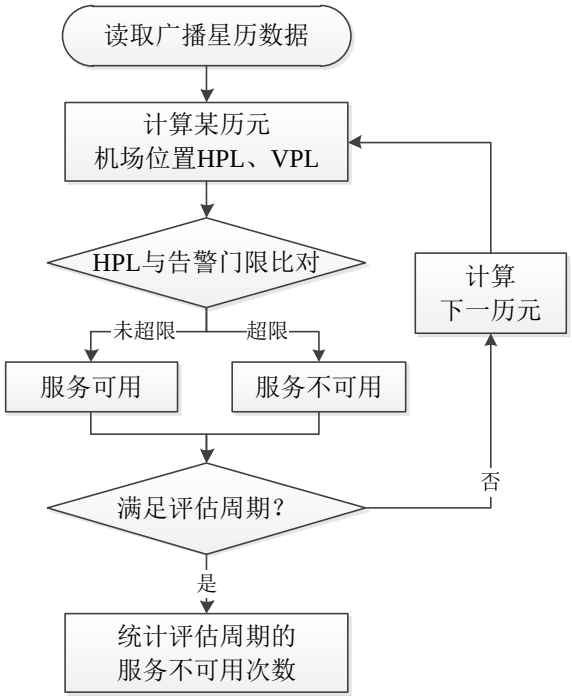


图 74 机场服务中断次数计算流程图

（5）HMI 事件分析评估

《全球定位系统广域增强系统（WAAS）性能标准》中定义，当定位误差大于保护级的时间超过告警时间而未通知飞行员，则认为发生了 HMI 事件。

（6）增强信息可用性评估

增强信息可用性是指 SBAS 播发的增强信息和完好性信息可用时间段与运行时间段之比。参考自《ICAO Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation》、《北斗卫星导航系统 空间信号接口控制文件 星基增强服务信号 BDSBAS-B1C》。

增强信息可用性处理流程如下图所示。

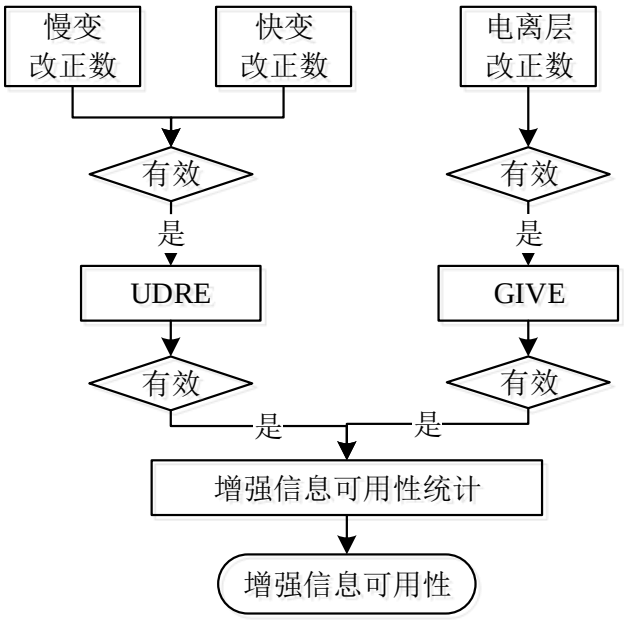


图 75 增强可用性处理流程图

（7）卫星测距误差评估

卫星测距误差是指伪距观测值扣除其中包含的有用信息后剩余的部分即伪距残差。参考和依据国际民航组织发布的《国际民用航空公约》附件 10《航空电信》第 I 卷关于星基增强系统（SBAS）的标准和建议措施（SARPs）。

GNSS 伪距测量误差计算的流程如下：

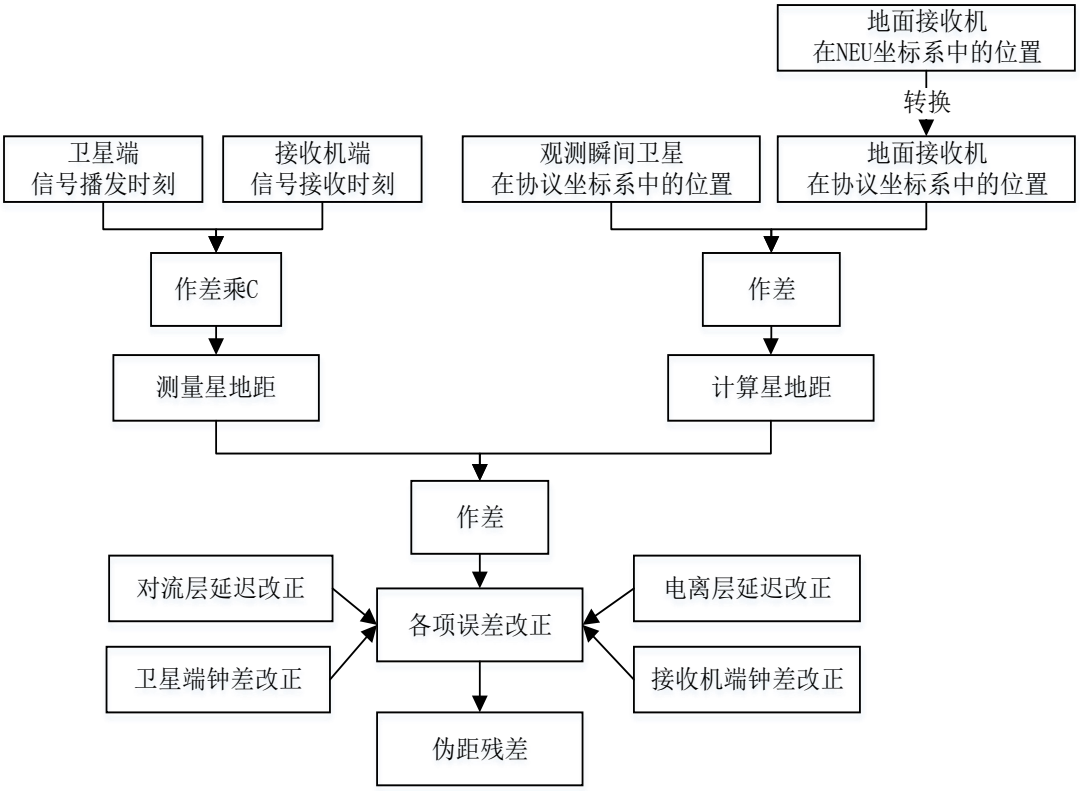


图 76 GNSS 伪距残差计算的流程图

（8）电离层误差评估

电离层误差评估：表征导航卫星广播电离层模型参数计算得到的电离层天顶延迟的改正率和精度。参考和依据国际民航组织发布的《国际民用航空公约》附件 10《航空电信》第 I 卷关于星基增强系统（SBAS）的标准和建议措施（SARPs）。

电离层误差评估流程如下：

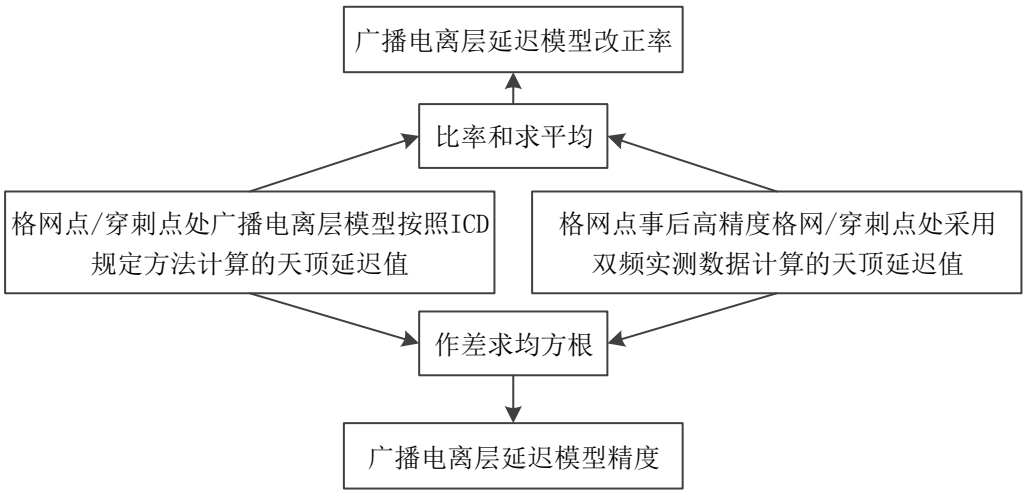


图 77 电离层误差评估流程图

（9）监测点 CNMP 分析

多路径误差 CNMP：由非直达导航信号引入的测距误差。

多路径误差计算流程如下图所示。

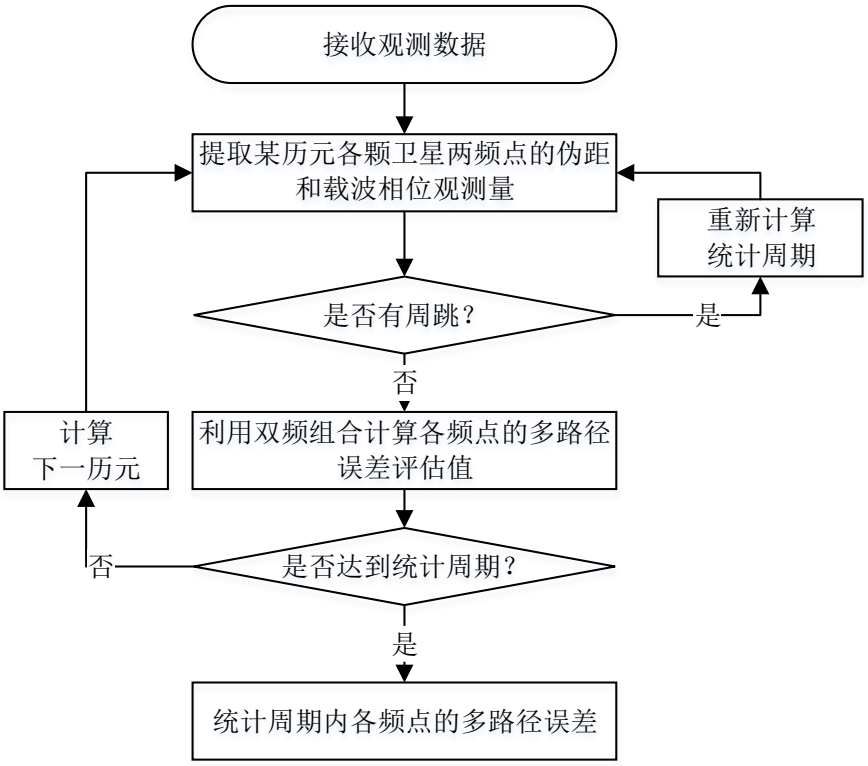


图 78 多路径误差算法流程图

（10）监测站点位置精度

监测站位置精度是指对卫星导航系统标准单点定位（SPP）方法或者 SBAS 定位方法获得的监测站坐标进行精度评估，确定监测站位置精度。参考自《北斗卫星导航系统 空间信号接口控制文件 星基增强服务信号 BDSBAS-B1C》。

监测站位置精度评估处理流程如下图所示。

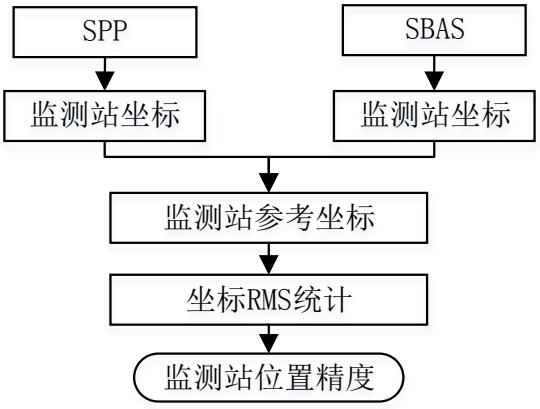


图 79 监测站位置精度处理流程图

数据质量评估处理

数据质量评估处理主要负责各监测站回传数据的质量分析和评估，评估指标包括信噪比、完整率、周跳比、CNMP、伪距噪声、载波相位噪声等。

（1）载噪比

载噪比：载波信号功率与噪声功率谱密度之比，单位为 dBHz。

（2）观测数据完整率

观测数据完整率：接收机观测到卫星的实际历元数据量与理论历元数据量的比值。观测数据完整率分为单频点观测数据完整率和单系统观测数据完整率。

观测数据完整率的计算流程如下图所示。

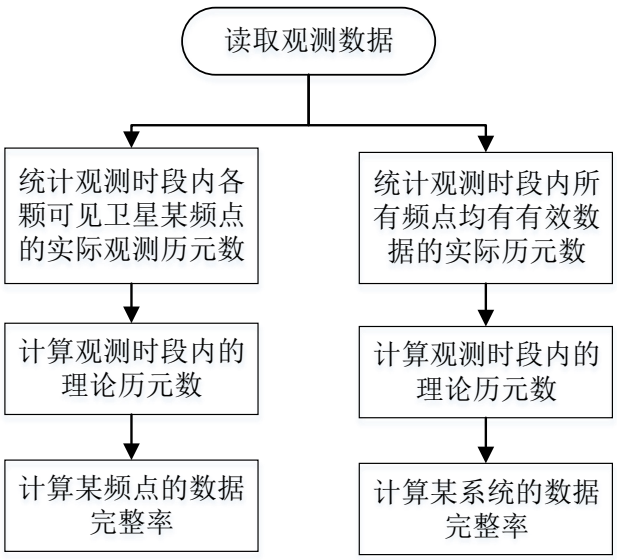


图 80 观测数据完整率计算流程图

（3）周跳比

周跳比：在某时间段内，接收机观测数据的实际历元数据量与发生周跳历元数据量的比值，反映了周跳发生的平均观测历元数。

（4）伪距噪声

伪距噪声：伪距测量随机误差，泛指导航信号产生端、传播路径、接收端产生或引入的各种随机误差对伪距测量的综合影响值。

（5）载波相位噪声

载波相位噪声：载波相位测量随机误差，泛指导航信号产生端、传播路径、接收端产生或引入的各种随机误差对载波相位测量的综合影响值。

服务性能报告生成

服务性能报告生成子模块主要负责基于 BDS、GPS 核心星座以及 BDSBAS 的服务性能分析报告模板，生成相应服务性能分析报告初稿，经过特定用户下载修改后，上传、发布至该系统，为其他用户提供下载服务。

服务性能报告生成的具体流程图如图所示。

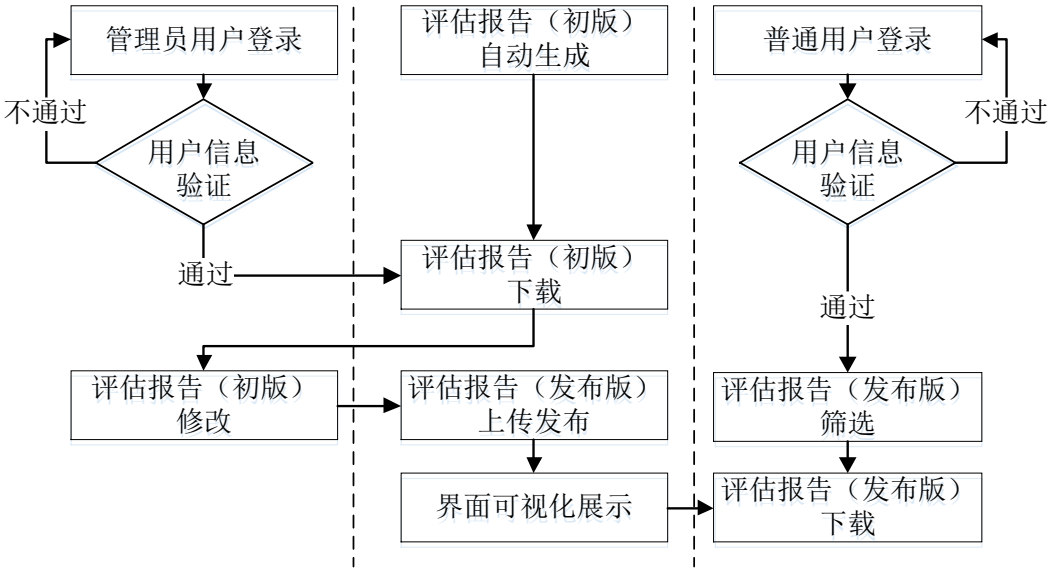


图 81 服务性能报告生成流程图

本系统提供的服务性能分析报告共分为 3 类，具体情况如下表所示。

表 18　服务性能评估报告分类及更新频率

序号	报告类型	更新频度
1	BDS 服务性能分析报告	季度、年度
2	GPS 服务性能分析报告	季度、年度
3	BDSBAS 服务性能分析报告	季度、年度

本系统提供服务性能分析报告模块可经用户修改。

基站坐标定期解算工具

基站坐标定位解算子模块主要用于维持监测评估系统的空间基准，为监测评估提供精确的评估基准。

（1）算法原理

PPP 数学模型包括函数模型和随机模型，函数模型描述了观测量与待估参数之间的函数关系，即观测方程。在使用卡尔曼滤波算法进行参数估计时，函数模型包括状态方程。随机模型反应了观测量的精度以及相关性，即方差阵。采用卡尔曼滤波算法处理 PPP 函数模型和随机模型，可获得高精度的接收机坐标。

（2）函数模型

PPP 函数模型采用双频组合消除电离层延迟一阶项，无电离层组合观测方程：

$$P_{c,j}^{k} = \rho_{j}^{k} + cdt_{j} - cdt^{k} + M_{j}^{k} \cdot VT_{j} + \varepsilon_{P_c}$$

$$L_{c,j}^{k} = \rho_{j}^{k} + cdt_{j} - cdt^{k} + M_{j}^{k} \cdot VT_{j} + N_{c,j}^{k} + \varepsilon_{L_c}$$

式中，$P_{c,j}^{k}$、$L_{c,j}^{k}$ 分别为无电离层伪距和载波相位，ρ_{j}^{k} 为从接收机 j 到卫星 k 的

几何距离，cdt_j、cdt^k 分别为接收机钟差和卫星钟差，M_j^k 为对流层湿分量投影函数，VT_j 为天顶对流层湿分量延迟，两者之乘积为斜向对流层湿分量延迟。

卫星到接收机之间的几何距离 ρ_j^k 是坐标向量的二范数，可以通过一阶泰勒公式线性展开为：

$$\rho_j^k = \rho_{0,j}^k + dx \cdot \Delta x + dy \cdot \Delta y + dz \cdot \Delta z$$

$$dx = \frac{X_{0,j} - X^k}{\rho_{0,j}^k}, \quad dy = \frac{Y_{0,j} - Y^k}{\rho_{0,j}^k}, \quad dz = \frac{Z_{0,j} - Z^k}{\rho_{0,j}^k}$$

式中，X^k，Y^k，Z^k 卫星位置，从星历数据中获取；$X_{0,j}$，$Y_{0,j}$，$Z_{0,j}$ 接收机近似位置，由先验值或者迭代计算得到；$\rho_{0,j}^k$ 为卫星到接收机之间的近似几何距离，Δx，Δy，Δz 为接收机坐标增量，即未知坐标参数。

在无电离层组合观测方程中，$\delta_{P_c,j}^k$ 和 $\delta_{L_c,j}^k$ 分别为伪距和载波相位方程的系统误差改正项，包括对流层延迟干分量、接收机端和卫星端的 PCO 和 PCV 改正、相对论改正、相位缠绕误差改正、地球自转改正、固体潮改正、海潮改正和极潮改正等。ε_{P_c} 和 ε_{L_c} 为伪距和载波相位的观测误差。

若某一时刻有 m 个观测卫星，未知参数 X 的表达形式为下式：

$$X = [\Delta x, \Delta y, \Delta z, c\Delta t_r, VT_j, \overline{Amb}_{c,j}^1, \overline{Amb}_{c,j}^2 \text{ L } \overline{Amb}_{c,j}^m]^T$$

其对应的系数矩阵 A 为下式。观测量 L 是扣除近似距离和系统误差改正数的无电离层伪距和载波相位，也称为 O-C（Observed-Computed）序列。

$$A = \begin{bmatrix} dx_1 & dy_1 & dz_1 & 1 & M^1 & 0 & 0 & \text{L} & 0 \\ dx_2 & dy_2 & dz_2 & 1 & M^2 & 0 & 0 & \text{L} & 0 \\ \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ dx_m & dy_m & dz_m & 1 & M^m & 0 & 0 & \text{L} & 0 \\ dx_1 & dy_1 & dz_1 & 1 & M^1 & 1 & 0 & \text{L} & 0 \\ dx_2 & dy_2 & dz_z & 1 & M^2 & 0 & 1 & \text{L} & 0 \\ \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{M} & \text{O} & \text{M} \\ dx_m & dy_m & dz_m & 1 & M^m & 0 & 0 & \text{L} & 1 \end{bmatrix}$$

（3）随机模型

由于伪距和载波相位观测值之间不相关，PPP 的随机模型，即方差阵为对角阵，其元素为无电离层伪距组合和载波相位组合的先验方差。根据卫星高度角 E，确定每个观测卫星的先验方差 σ_j^2。

$$\sigma_j^2 = \begin{cases} \sigma_0^2 & E \geq 30^\circ \\ \sigma_0^2 / (2\sin E) & E < 30^\circ \end{cases}$$

式中，σ_0^2为天顶方向上观测值的先验方差。以 BDS 为例，天顶方向载波相位观测值先验精度约为 0.3cm，伪距精度约为 0.3m。根据无电离层组合的表达式和误差传播定律，天顶方向相位无电离层组合先验精度约为 1cm，伪距无电离层组合先验精度约为 1m。可知，斜向观测值精度与高度角有关。高度角越小先验误差越大，对应的权重也就越小。

（4）参数估计

GNSS 精密单点定位观测方程中包含坐标、钟差、对流层延迟、电离层延迟、模糊度等未知项，将观测方程中的未知项设为参数，并对其进行求解的方法称为参数估计。在卫星导航定位算法中，观测方程可表示为：

$$V_m = A_{m\times n}\cdot X_n - L_m,\quad \mathrm{D}_{m\times m}=\delta_0^2 P_{m\times m}^{-1}$$

式中，L_m为 m 个观测量，V_m为观测量改正数，X_n为 n 个参数量，$A_{m\times n}$为系数矩阵；$D_{m\times n}$为观测量先验方差阵，δ_0^2为先验单位权方差，$P_{m\times n}$为先验单位权阵。在卫星导航定位观测方程中，观测量个数通常大于未知参数个数，即$m>n$，属于超定问题。在解决这类问题时，常用的参数估计方法为卡尔曼滤波算法。

卡尔曼滤波是一种最优化的自回归参数估计算法，基于一组观测序列以及动力学模型信息，采用递归算法求解状态向量的最优估值。卡尔曼滤波算法的数学模型包含状态方程和观测方程如下式所示：

$$X_i = \Phi_{i,i-1}\hat{X}_{i-1} + W_{i,i-1},\quad D_{\hat{X}_{i-1}}$$

$$V_i = A_i X_i - L_i,\quad D_{L_i}$$

状态方程中，X_i为 i 时刻的状态向量，$\hat{X}_{i-1}$为 i-1 时刻的状态向量估值，$\Phi_{i,i-1}$为从 i-1 时刻到 i 时刻的状态转移矩阵，$W_{i,i-1}$为系统噪声向量，$D_{\hat{X}_{i-1}}$为状态向量估值$\hat{X}_{i-1}$的方差阵。观测方程中L_i为 i 时刻的观测向量，A_i为系数矩阵，V_i为残差向量，D_{L_i}为观测方程的方差阵。

卡尔曼滤波算法分为两步：时间预报和观测更新。第一步，时间预报是根据状态方程，基于 i-1 时刻的状态向量$\hat{X}_{i-1}$和方差阵$D_{\hat{X}_{i-1}}$对 i 时刻的状态向量进行预测，分别计算 i 时刻状态向量预测值$\overline{X}_i$及其方差阵$D_{\overline{X}_i}$。

$$\begin{cases} \overline{X}_i = \Phi_{i,i-1}\hat{X}_{i-1} + W_{i,i-1} \\ D_{\overline{X}_i} = \Phi_{i,i-1} D_{\hat{X}_{i-1}} \Phi_{i,i-1}^T + D_{W_{i,i-1}} \end{cases}$$

第二步，观测更新是利用观测方程对状态向量预测值$\overline{X}_i$进行滤波。将状态向量预测值及其方差作为虚拟观测方程，与观测方程一起进行最小二乘运算，得到 i 时刻状态向量估值$\hat{X}_i$及其方差阵$D_{\hat{X}_i}$。

$$\begin{cases} \hat{X}_i = \overline{X}_i + K_{i-1,i}(L_i - A_i\overline{X}_i) \\ D_{\hat{X}_i} = (I - K_{i-1,i}A_i)D_{\overline{X}_i} \\ K_{i-1,i} = D_{\overline{X}_i}A_i^T(D_{L_i} + A_iD_{\overline{X}_i}A_i^T)^{-1} \end{cases}$$

卡尔曼滤波算法将时间更新和观测更新依次迭代运行，就能够得到所有历元当前时刻的参数估值，是一种局部最优解。卡尔曼滤波算法不需要存储所有观测时刻的数据，仅在当前历元进行状态预测和参数估计，未知参数相对较少，很大程度上节省了计算机内存并提高计算效率。另外，状态方程能够基于之前历元的参数估值预测下个历元的参数值，适用于未知参数随时间变化的观测方程。

5）算法流程

精密单点定位算法采用事后精密星历，以文件形式获取星历和观测数据，对所有观测数据进行预处理。在此基础上进行参数估计，获取接收机坐标、接收机钟差和天顶对流层延迟等参数估值。PPP 数据处理流程主要包括数据准备、数据预处理和参数估计，如下图所示。

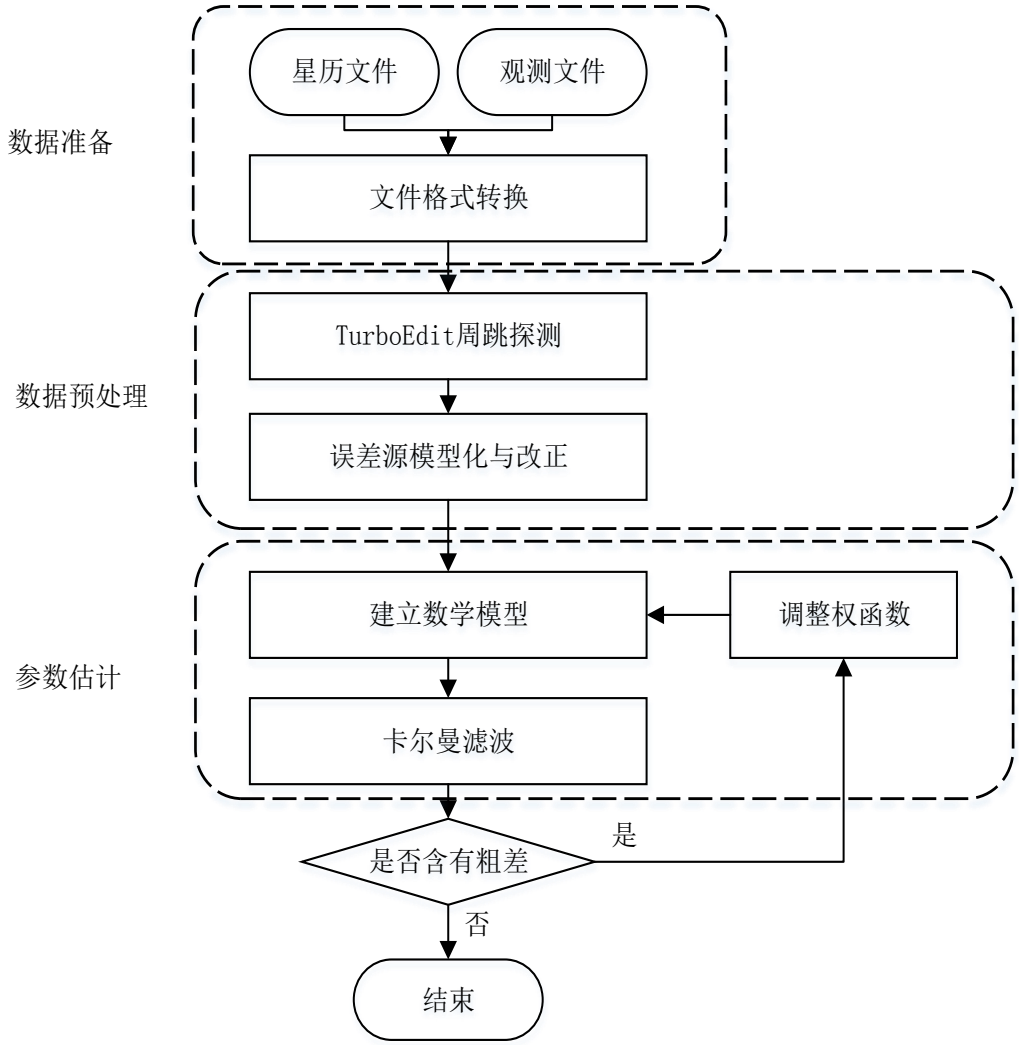


图 82 精密单点定位管数据处理流程图

首先，准备数据文件包括精密星历文件和观测文件，其中精密星历文件可以通过 FTP 协议从 IGS 网站获取。将星历数据文件转换为 SP3 标准格式，观测数据文件转换为 RINEX 标准格式，完成数据准备工作。数据预处理主要包括周跳探测、粗差处理和误差源模型化改正。采用 TurboEdit 方法对周跳进行探测，不修复周跳大小，通过调整观测量权函数对粗差进行处理，模型化卫星天线和接收机天线 PCO 和 PCV、相对论效应、相位缠绕误差、地球自转、固体潮、海潮、极潮等系统误差源，并对卫星坐标、接收机坐标或者观测值进行改正。参数估计部分包括建立函数模型和随机模型，并采用卡尔曼滤波算法依次对每个历元的观测值进行参数估计。卡尔曼滤波与权函数调整迭代运行，直到处理完成为止。

监测评估工具

监测评估工具主要用于用户离线数据的监测评估，用户可根据自身需求上传符合系统数据格式要求的离线数据，通过选取评估指标、评估周期、采样间隔等相关参数，可生成相应的监测评估结果，供用户下载。

监测评估工具涵盖了分析评估报告中的所需的所有指标分析软件，并支持数据源和时间段的选择，

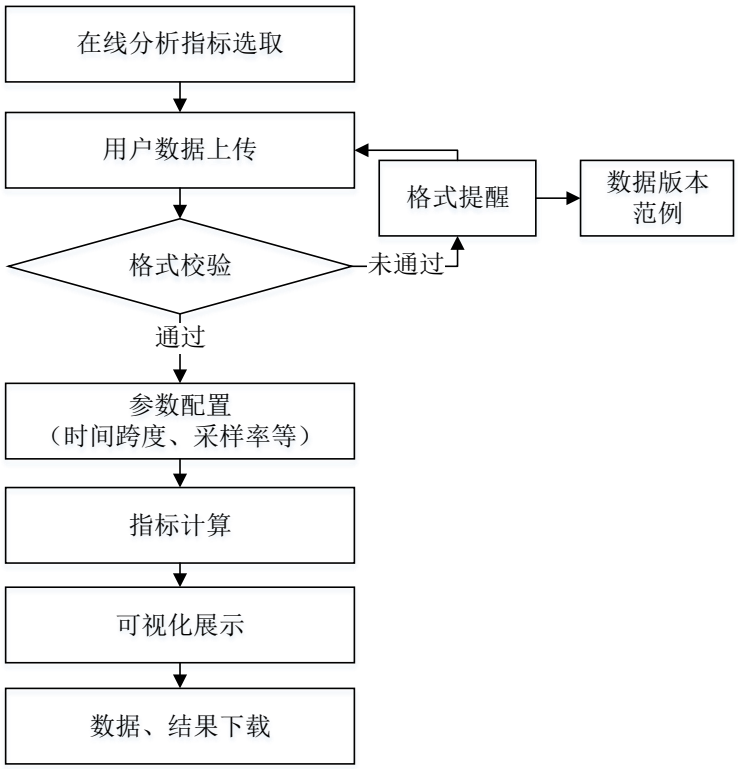


图 83 分析评估软件工作流程

表 19　离线数据格式要求

序号	数据类型	格式要求
1	广播星历	Rinex 3.04
2	观测数据	Rinex 3.04
3	精密星历	SP3
4	电离层监测数据	自定义

电离层监测评估

电离层监测评估模块利用监测站回传的电离层监测信息以及空间环境监测数据辅助开展电离层分析，包括电离层网格点及其 TEC、闪烁强度、S4 指数、Phi 指数、Kp、Dst、SSN、F10.7、太阳耀斑等。

监测站回传数据包括电离层闪烁指数 S4 指数、Phi 指数等数据。电离层闪烁是由于电离层中的自由电子与同样带电的离子发生碰撞而产生的光亮现象。这些光子在传播过程中会受到电离层中的等离子体密度分布的影响，因此可以利用电离层闪烁来测量电离层等离子体密度分布，进而计算出电离层格网点 TEC 值。

通过接收机接收电离层闪烁光子信号，并记录下信号的强度和到达时间。通过对这些数据进行处理，可以得到电离层中的等离子体密度分布图像，从而计算

出相应的 TEC 值。常见的处理方法包括交叉谱分析法、自相关谱分析法、多普勒谱分析法等。

交叉谱分析法是一种常用于电离层数据处理的方法，用于估计电离层的总电子含量（Total Electron Content，TEC）。TEC 是指在一个垂直于地球表面的某个方向上通过单位面积的路径上所包含的电子数目。下面是使用交叉谱分析法实现电离层格网点 TEC 的一般步骤：

1) 数据收集：首先需要收集到足够数量和质量的 GPS 接收机观测数据。这些观测数据应包括多个接收机在不同位置接收到的卫星信号强度和相位差等信息。
2) 数据预处理：对收集到的 GPS 观测数据进行预处理，包括去除钟差、电离层延迟和大气延迟等误差。这可以通过使用电离层模型和其他校正方法来完成。
3) 交叉谱计算：对预处理后的数据进行交叉谱计算。交叉谱是指将两个或多个接收机之间的信号进行频谱分析，并计算它们之间的互相关函数。这可以通过使用功率谱密度估计方法（如傅里叶变换）来实现。
4) TEC 估计：利用交叉谱计算得到的互相关函数，可以通过求解一个反演问题来估计电离层格网点的 TEC。这个反演问题通常可以通过最小二乘法或其他数值方法来解决。
5) TEC 插值：使用所估计的电离层格网点 TEC 值，可以进行插值操作，以得到整个区域内的电离层 TEC 分布图。插值方法可以是简单的线性插值或更复杂的插值算法，如克里金插值等。

需要注意的是，电离层闪烁法测量的是垂直方向上的总电子含量（Total Electron Content，TEC），因此需要对其进行垂直穿刺修正，以消除不同高度上的 TEC 贡献的影响，得到水平方向上的 TEC 值。

此外，电离层闪烁法还受到太阳活动、地磁活动等多种因素的影响，需要进行相应的修正和校准。通过互联网可下载空间环境监测数据，包括 Kp、Dst、SSN、F10.7、太阳耀斑等。其中，德国地球科学研究中心(GFZ)可获取 Kp、SSN、F10.7 等文件，Dst 文件从 Geomagnetic Data Service 获取。

干扰分析工具

干扰分析工具主要用于用户离线数据的干扰分析，用户可根据自身需求上传符合系统数据格式要求的离线数据，通过选取评估指标、评估周期、采样间隔等相关参数，可生成相应的干扰分析结果，供用户下载。

干扰分析工具主要包括归干扰时段载噪比查询、干扰时段定位偏差查询、干

扰时间查询。

（1）载噪比干扰检测

干扰时段载噪比分析主要用于监测站接收机三个接收机数据比对，若三台接收机同时出现全部卫星载噪比下降或数据中断，则认为该站点受到干扰。

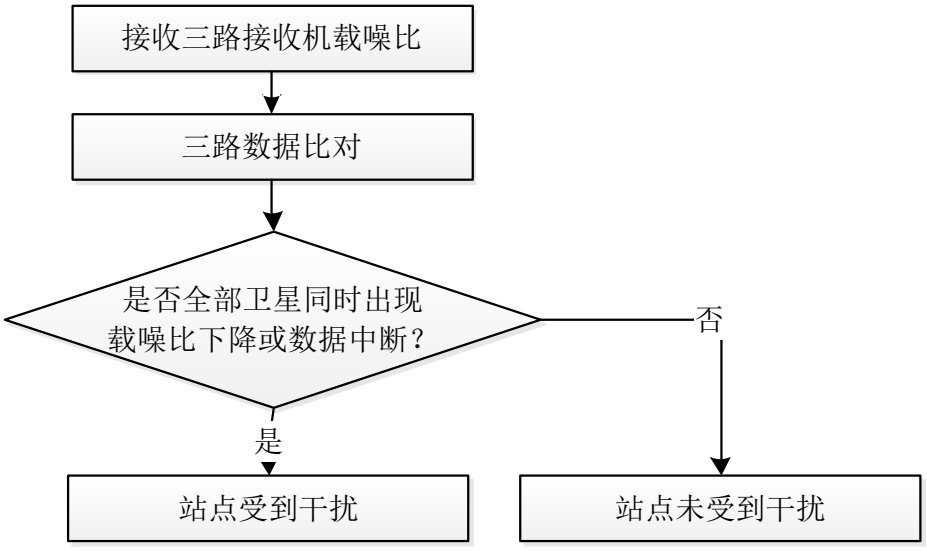


图 84 载噪比干扰监测

（2）定位精度干扰检测

定位精度干扰检测主要利用监测站三个接收机的定位精度进行数据比对，若三台接收机同时出现定位精度大幅度偏差或数据中断，则认为该站点受到干扰。

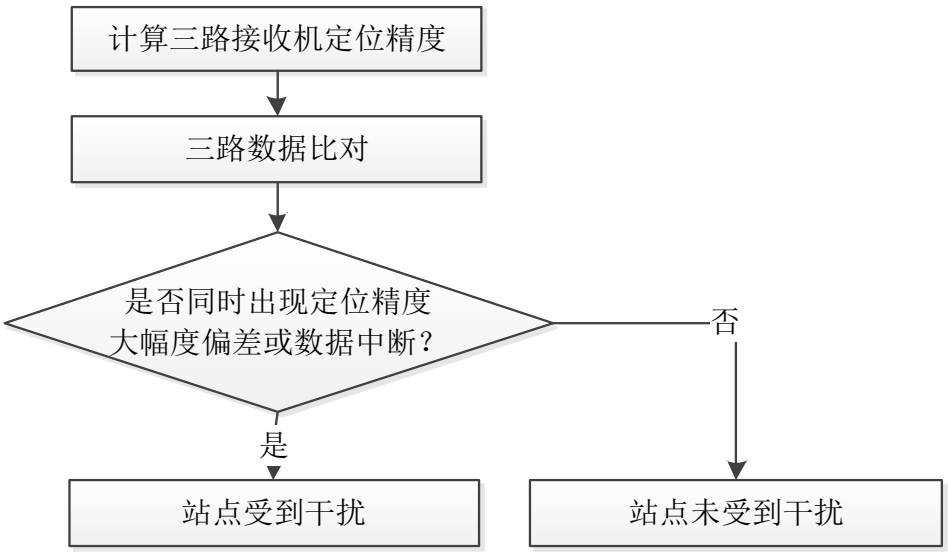


图 85 定位精度干扰检测

（3）干扰时间查询

本系统还支持站点数据的干扰时段查询。

3.3.3 发布处理系统

发布处理系统负责民航通信网用户和互联网用户的接入和访问，接收用户的访问请求，并同时向用户反馈处理结果。

发布处理系统主要由接入层和业务层组成。其中，接入层包括内网 web 服务单元和外网 web 服务单元，业务层包括内网 web 业务处理单元和外网 web 业务处理单元，保障各项业务安全稳定运行。

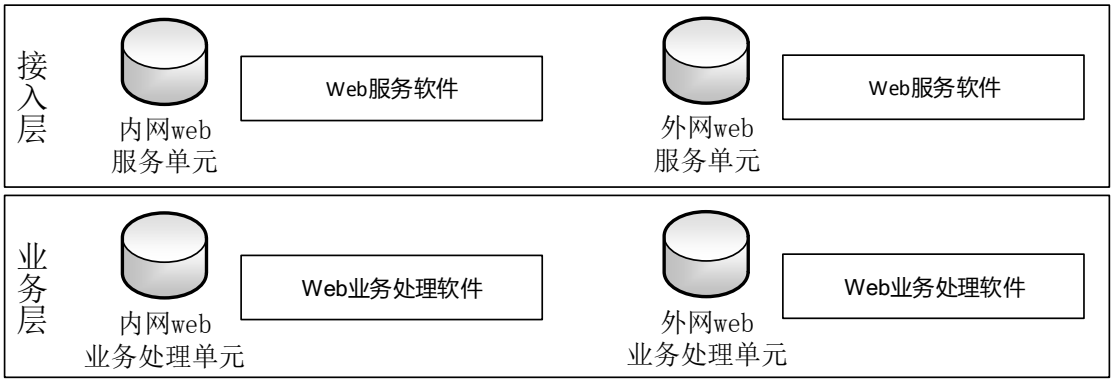


图 86 发布处理系统组成

3.3.3.1 发布处理系统工作原理及流程

发布处理系统工作原理及流程如下图所示。

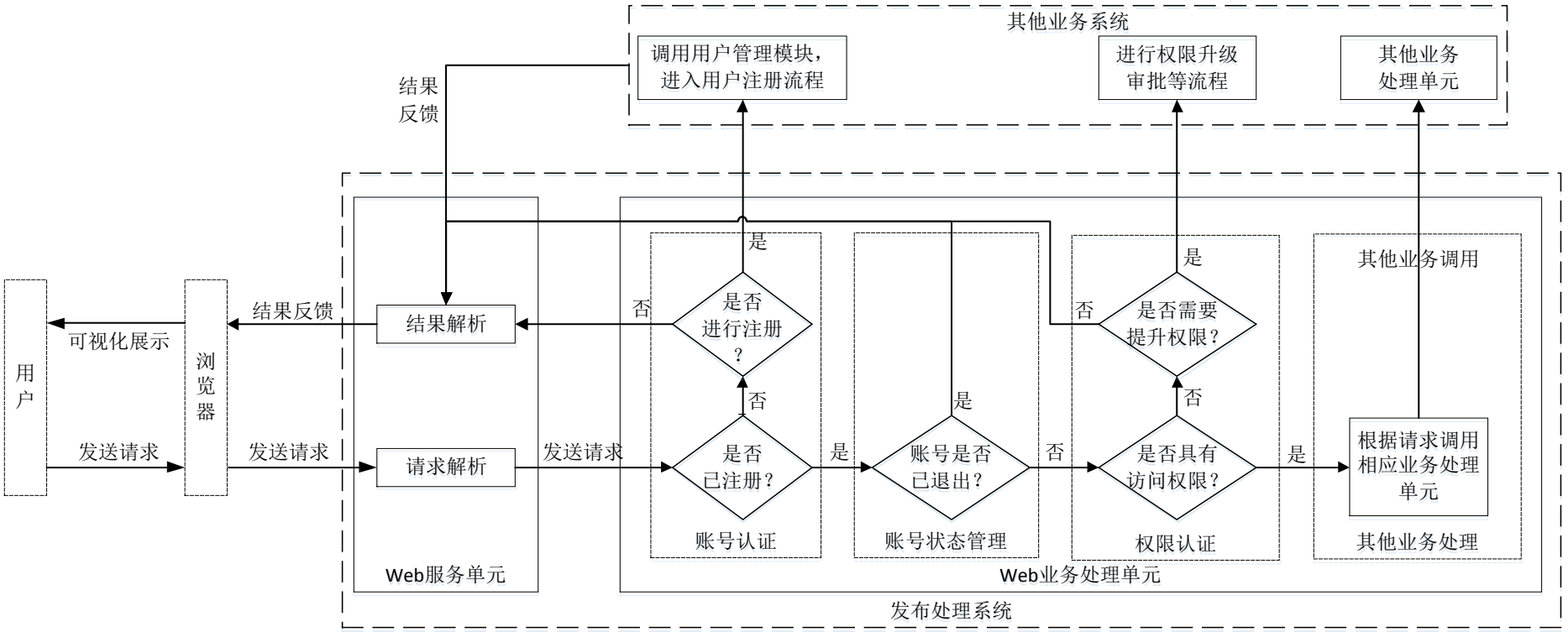


图 87 发布处理系统工作原理及流程图

3.3.3.2 发布处理系统分机方案

内外网 Web 服务模块主要用于民航用户 web 接入和访问，主要负责解析用户的操作请求和反馈操作结果。

内外网 web 业务处理模块主要用于对用户的访问请求进行处理，同时向用户反馈处理结果，采取双机并行工作方式。

web 业务处理模块处于数据访问层与表示层中间，起到了数据交换中承上启下的作用。由于层是一种弱耦合结构，层与层之间的依赖是向下的。业务逻辑层的设计对于一个支持可扩展的架构尤为关键，因为它扮演了两个不同的角色。对于数据访问层而言，它是调用者；对于表示层而言，它却是被调用者。

3.3.3.3 发布处理系统内部接口

发布处理系统的内部接口主要为 Web 服务模块与 web 业务处理模块接口。

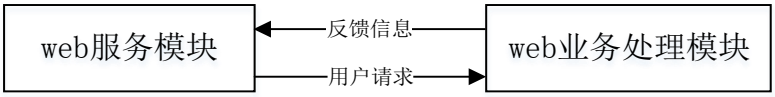


图 88 发布处理系统内部接口图

表 20　发布处理系统内部接口统计表

发送发	接收方	接口协议	消息内容
Web 处理模块	业务处理模块	HTTP 协议	用户请求信息
业务处理模块	Web 处理模块	HTTP 协议	请求反馈信息

3.3.4 管理与控制系统

管理与控制系统负责实时监控监测站、主控中心软件、硬件工作状态，对实时数据处理状态进行显示、对业务进程进行控制、对数据产品进行查询检索，并管理监测站与主控中心的通信链路、用户与主控中心的通信链路、日常信息和运行日志等。

3.3.4.1 管理与控制系统组成

管理与控制系统由控制管理单元、实时监测单元、评估分析单元组成。其中控制管理单元负责实时监控监测站、主控中心软件、硬件工作状态，以及运行日志管理、系统故障管理和用户管理等，完成整个系统的控制管理；实时监控单元主要由四台实时监控工作站组成，分别用于用户进行监测告警、GPS/BDS 监测、BDSBAS 监测和系统控制管理等操作；评估分析单元由两台分析评估工作站组成，分别用于对 GPS/BDS、BDSBAS 事后分析评估结果进行显示、查询、加工等，方便用户分析查看 GPS/BDS 服务评估结果与 BDSBAS 服务评估结果。

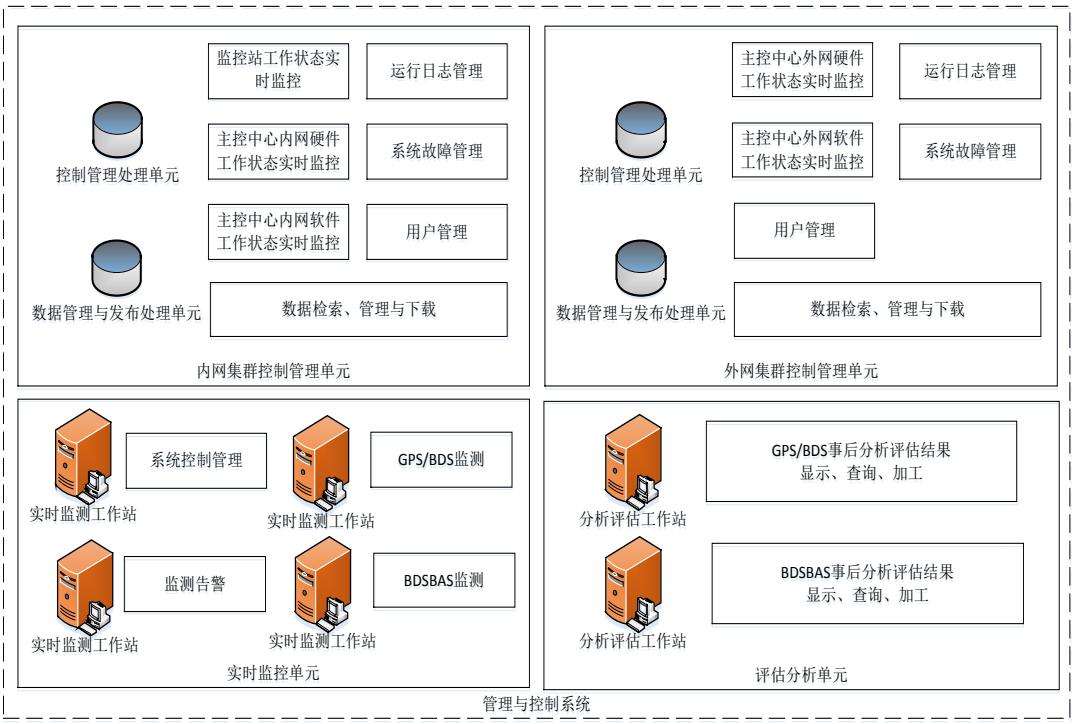


图 89 管理与控制系统组成图

3.3.4.2 管理与控制系统工作原理及流程

管理与控制系统的工作原理及流程如下图所示。

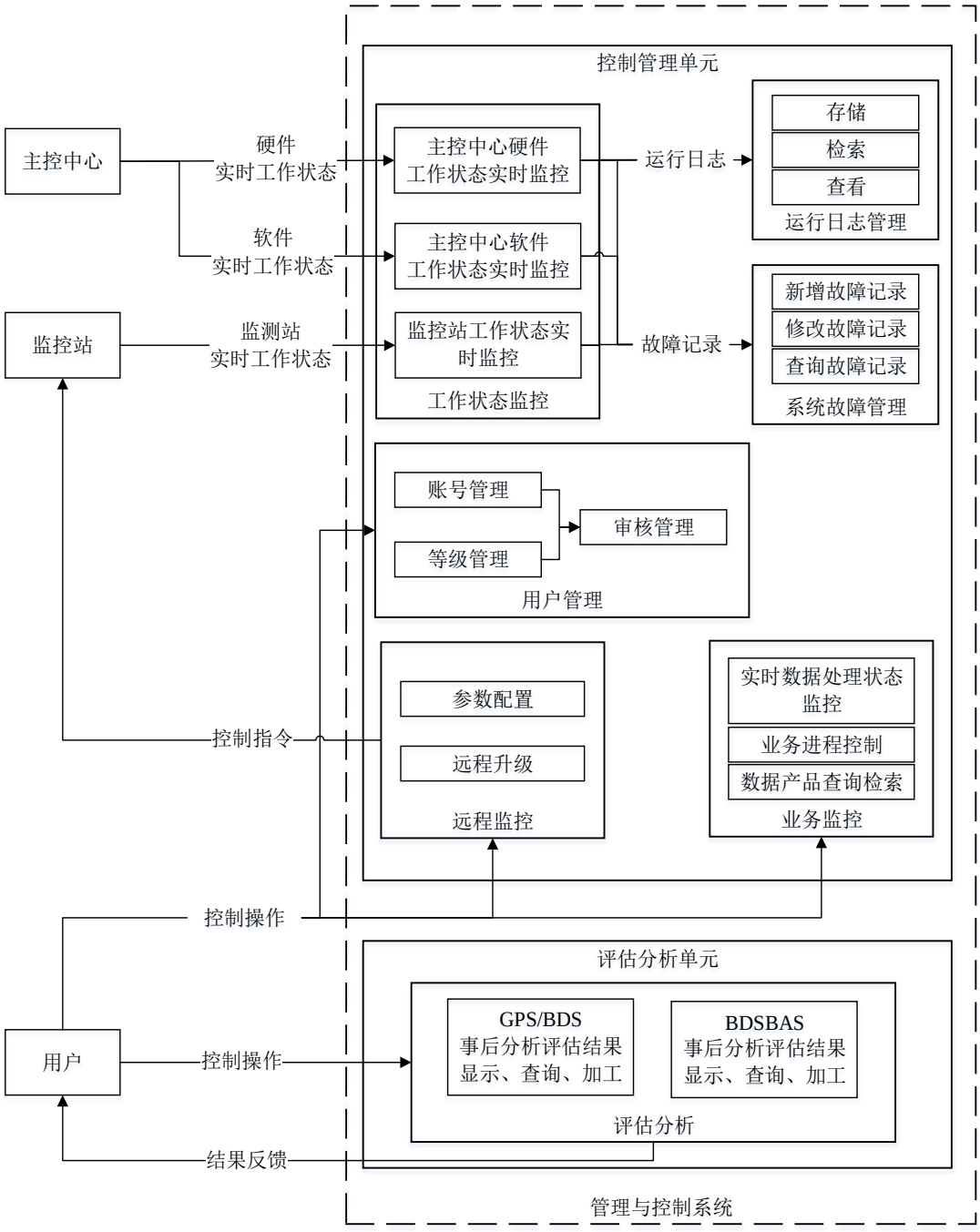


图 90 管理与控制系统工作原理及流程图

3.3.4.3 管理与控制系统分机方案

工作状态监控模块分为监测站工作状态监测、主控中心硬件工作状态监控和主控中心业务工作状态监控。

其中，监测站工作状态监控主要负责监测站运行情况的监控，监控指标包括接收机工作状态、服务器 CPU 占用情况、内存占用情况、硬盘占用情况等；

表 21　系统工作状态统计表

序号	监控指标	状态
1	接收机工作状态	启动、待机、关闭
2	CPU 占用情况	数值/百分比
3	内存占用情况	数值/百分比
4	硬盘占用情况	数值/百分比
5	网络通信状态	正常/异常

主控中心硬件工作状态监控主要负责主控中心各硬件设备的运行情况的监控，监控指标包括设备运行状态、CPU 占用情况、内存占用情况、硬盘占用情况、设备工作温度等；

表 22 设备工作状态统计表

序号	设备名称	监控指标	状态
1	服务器	设备工作状态	启动、待机、关闭
2		设备工作温度	数值（低、中、高、过高）
3		CPU 占用情况	数值/百分比
4		内存占用情况	数值/百分比
5		硬盘占用情况	数值/百分比
6		网络通信状态	正常/异常
7	数据存储设备	设备工作状态	启动、待机、关闭
8		剩余存储容量	数值/百分比
9	网闸	设备工作状态	启动、待机、关闭
10		数据传输速率	数值
11	交换机	设备工作状态	启动、待机、关闭
12		设备工作温度	数值（低、中、高、过高）
13		各网口连接状态	已连接/未连接
14	路由器	设备工作状态	启动、待机、关闭
15	防火墙	设备工作状态	启动、待机、关闭
16	安管一体机	设备工作状态	启动、待机、关闭

业务软件工作状态监控主要负责各业务软件运行情况的监控，监控指标包括各软件工作状态、CPU 占用情况、内存占用情况、硬盘占用情况等。

表 23 业务工作状态统计表

序号	软件分类	监控指标	状态
1	数据接收处理软件	软件工作状态	启动、待机、关闭
2		CPU 占用情况	数值/百分比
3		内存占用情况	数值/百分比

序号	软件分类	监控指标	状态
4		硬盘占用情况	数值/百分比
5	数据评估处理软件	软件工作状态	启动、待机、关闭
6		CPU 占用情况	数值/百分比
7		内存占用情况	数值/百分比
8		硬盘占用情况	数值/百分比
---	---	----	---

监测站远程管理模块主要负责监测站各设备、软件的远程管理，方便用户进行远程参数配置、维护和升级等操作。

系统特定用户可通过远程控制界面查看监测站设备的当前工作状态，系统特定用户还通过远程控制界面对监测站的部分设备关键参数进行远程控制，包括设备关机/重启、设备参数配置。

系统特定用户通过远程控制界面可以对监测站软件进行远程升级和维护，同时还可以通过远程控制界面查看当前升级进度。

内外网用户管理模块主要用于用户账号及权限管理，以及用户操作管理，包括用户注册、审批、等级划分、访问权限控制以及账号信息管理等。

(1) 用户注册

内网用户可通过管理员批量生成账号和密码。首次登录后需修改和确认密码。密码要求长度不少于 10 位，且必须包含大小写英文字母、数字和特殊字符。用户忘记密码后可向管理员申请重新设置密码。

外网用户可通过手机号或邮箱进行账号注册，账号注册时需填写部分关键信息，包括姓名，身份证号，职业，地区等。账号注册时需要设置和确认密码，密码要求长度不少于 10 位，且必须包含大小写英文字母、数字和特殊字符。

(2) 审批

内网用户若要提升账号等级，需在系统内提交账号等级提升申请，待上级领导审批后和系统管理员配置完成后，方可实现账号等级提升。

外网用户在注册后会进行自动审核，审核通过后账号为普通账号。若要提升账号等级，需在系统内提交账号等级申请。

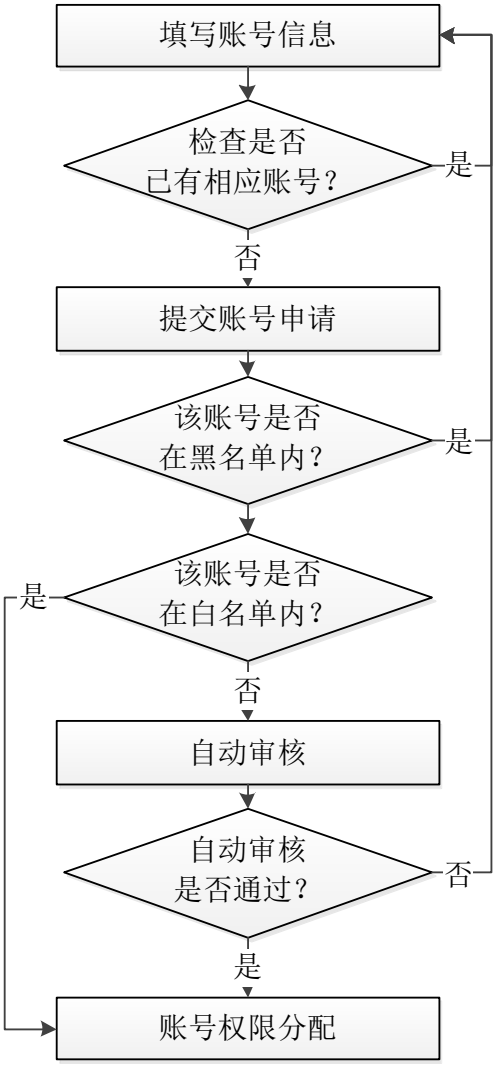


图 91 外网账号申请审批流程

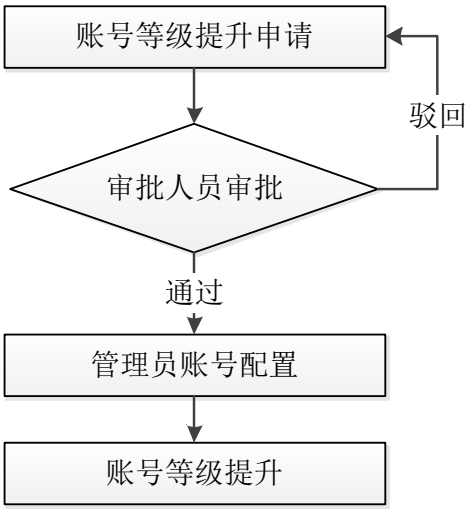


图 92 账号等级提升审批流程

(3) 账号等级划分

内外网用户账号等级划分为普通账号、一般账号、特殊账号、管理员账号等。

外网用户账号初始等级均为普通账号。

内网用户账号初始等级由管理员确定。

(4) 访问权限控制

用户访问权限由用户账号等级决定。

内网账号及访问权限如下表所示。

表 24　内网账号访问权限统计表

账号等级 / 访问权限	普通账号	一般账号	特殊账号	管理员账号
监测告警界面	√	√	√	√
监测评估界面	√	√	√	√
数据下载	×	√	√	√
监测站远程管理	×	×	√	√
用户账号管理	×	×	×	√

外网用户访问权限如下表所示。

表 25 外网账号访问权限统计表

账号等级 / 访问权限	普通账号	一般账号	特殊账号	管理员账号
监测评估界面	√	√	√	√
数据下载	×	√ （部分数下载）	√	√
用户账号管理	×	×	×	√

(5) 账号信息管理

内外网用户在登录后，可对账号信息进行修改，包括用户名、密码、非关键身份信息（不包含身份关键信息）修改以及注销账号。

内外网管理员账号可管理内外网用户的全部信息。

运行管理日志模块主要负责管理监测站和主控中心设备和软件运行状态的运行日志，包括系统运行日志、操作日志、业务日志、调试日志等。

其中，系统运行日志用于存储系统运行过程中各设备的运行状态信息。操作日志用于存储用户的操作记录。业务日志用于存储各业务软件运行信息和错误信息。调试日志用于存储业务软件调试过程中生成的调试信息。

3.3.5 数据存储与授时服务系统

数据存储与授时服务系统负责长时间记录 8+27 个监测站回传的数据，以及主控中心处理后的监测信号服务性能数据、系统配置参数、运行日志等数据，并支持历史原始数据和历史服务性能查询、检索、显示和批量下载；同时，该系统负责维持监测站和主控中心的时间同步。此外，该系统支持管理引接的其他 GNSS 监测机构数据。

3.3.5.1 数据存储与授时服务系统组成

数据存储与授时服务系统由 2 台存储设备、2 台 NTP 服务器和 2 副授时天线组成，其中 1 台存储设备用于存储内网数据，1 台存储设备用于存储外网设备。2 台 NTP 服务器实现授时服务的双机热备。数据存储与授时服务系统由数据存储模块和时间同步模块组成，其中数据存储模块主要包括文件存储模块和数据库存储模块。时间同步模块包括授时模块和守时模块。

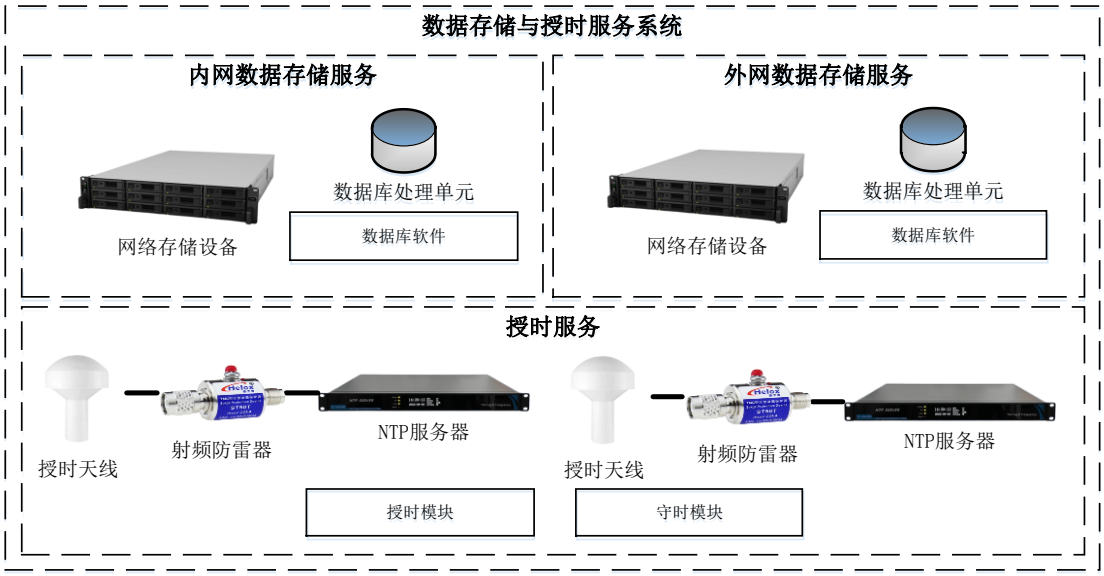


图 93 数据存储与授时服务系统组成图

3.3.5.2 数据存储与授时服务系统工作原理

数据存储模块在接收到监测站实时流数据后，直接存入时序数据库的同时进行实时监测和分析评估，其中实时监测和分析评估中间计算量存入 Redis 缓存，以便后续其他业务算法进行二次计算。业务处理结果实时存入时序数据库。

本系统还提供原始数据文件存储功能，在接收到监测站实时数据流时，会经过数据格式转换将实时数据流以 Rinex 格式将实时数据流以文件格式进行存储。

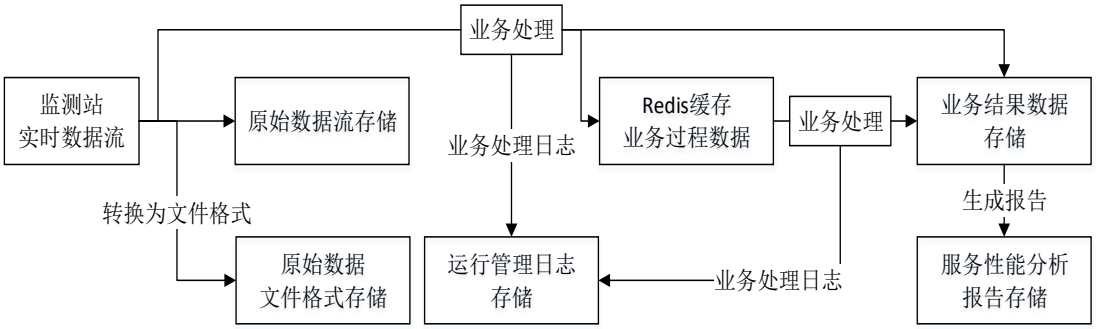


图 94 数据存储模块工作原理

时间同步模块由 NTP 服务器通过授时天线接收 GPS/BDS 卫星，实现卫星授时，然后通过交换机为其他设备提供授时服务，如下图所示。此外，NTP 服务器通过民航通信网，为 8 个监测站上的服务器提供时间同步服务。

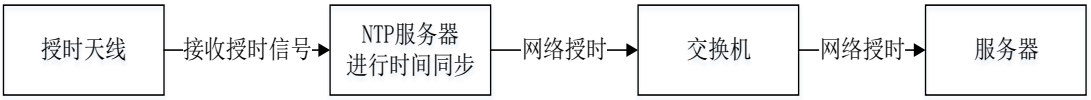


图 95 时间同步模块工作原理

3.3.5.3 数据存储与授时服务分机方案

数据存储模块由文件存储子模块和数据库存储子模块组成。其中文件存储子模块负责各类文件存储，数据库由多种类型数据库组成，用于满足不同类型的数据需求，并支持历史原始数据和历史服务性能分析数据的查询、检索、显示与批量下载。

主控中心存储数据主要包括以下几种：

1）观测数据：主要包括 8+27 个监测站的四大 GNSS 系统（BDS、GPS、GLONASS、Galileo）以及 BDSBAS 的观测数据（包括：伪距、相位、多普勒、载噪比等），电离层监测结果；

2）导航电文：四大 GNSS 系统（BDS、GPS、GLONASS、Galileo）基本导航电文，BDSBAS 增强电文；

3）接收机状态数据：8 个新建监测站的接收机状态数据，BDSBAS 民用服务平台 27 个监测站的运行状态根据其提供的支持数据情况而定；

4）数据产品和评估报告：发布的各类服务性能评估报告以及服务性能分析报告有关指标包括 BDS/GPS 轨道、钟差、服务性能评估数据和日志信息等；

5）数据库信息：主要用于存储系统控制指令、用户信息、软件配置参数信息、告警信息、操作信息等；

6）公共数据：主要包括业务软件运行需要共同使用的一些数据和表文件等。

7）其他 GNSS 监测机构数据：其他机构提供的监测站观测数据；

（1）文件存储内容

文件存储的主要内容是监测站回传的观测数据、广播导航星历和 BDSBAS 增强电文数据以 Rinex 格式存储的文件，BDS、GPS 核心星座服务性能分析报告，BDSBAS 服务性能分析报告，运行管理日志等。

（2）文件存储结构

文件存储目录如下图所示。

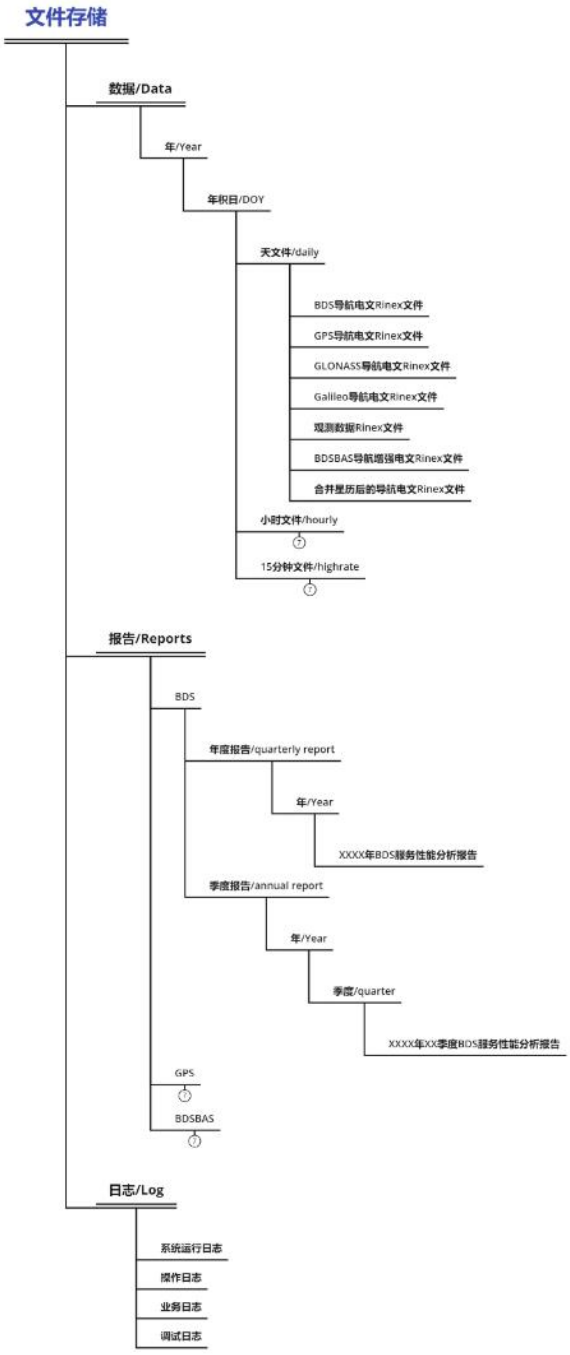


图 96 文件存储目录设计

（1）数据库存储结构

本系统数据采用多种数据库来满足不同数据的需求。数据库架构如下所示。



图 97 数据库架构

本方案依据不同数据库各自特征优势进行分工，发挥数据存储最大效能。

表 26 各类数据库的分工和优势

序号	数据库类型	分工	优势
1	Mysql 数据库	存储用户信息	简单、易维护、服务稳定
2	Influxdb 时序数据库	存储实时监测数据和分析评估结果	支持海量数据高并发
3	Redis	存储业务处理缓存数据	支持分布式缓存
4	HDFS	存储文件信息	分布式文件系统，可扩展，高容错

（2）数据库存储内容

数据库存储的主要内容是监测站回传的实时数据流、接收机工作状态参数，以及 BDS/GPS 以及 BDSBAS 实时和事后的监测评估结果。

表 27 数据库存储结构

序号	数据类型	数据字段	存储格式
1	GNSS 原始广播电文	--	HEX
2	原始观测数据	--	HEX
3	BDSBAS 增强电文	--	HEX
4	监测站状态参数	时间、站点名称、站点编号、接收机状态等	json
5	监测评估分析结果	时间、系统、卫星号、频点、指标值等	json

时间同步模块负责为各监测站卫星数据提供基准统一处理能力，并保持统一的时间基准，提供标准时间服务，与 UTC 时间进行同步。

目前国际上比较通用的时间接口包括 1PPS+ToD、DCLS、IRIG-B、NTP、PTP、串行

口 ASCII 字符串等几种方法，下面将就这几种方法作简单介绍。

1）1PPS＋ToD

秒脉冲信号，不包含时刻信息，但其上升沿标记了准确的每秒的开始，通常用于本地测试，也可用于局域网内时间分配，精度达到 100ns 量级。ToD 接口通常采用 RS232/RS422 串行通讯口，将时间信息进行编码。但由于 ToD 接口没有统一的标准，不同厂家设备间无法实现互通，故该方法应用范围较小。

2）DCLS

DCLS 是 IRIG-B 码的另一种传输码形，用直流电位来携带码元信息，等效于 IRIG-B 调制码的包络。IRIG-DCLS 技术通过租用专线传输。

3）IRIG-B

IRIG 编码源于为磁带记录时间信息，带有明显的模拟技术色彩。从上世纪 50 年代起就作为时间传递标准而获得广泛应用。

IRIG-B 采用 1KHz 的正弦波作为载频进行幅度调制，对最近的 1 秒进行编码。IRIG-B 的帧内包括的内容有：天、时、分、秒及控制信息等。其占用最大通道带宽为 3KHz。所以 可以用普通的双绞线在楼内传输，也可在模拟电话网上进行远距离传输。到了上世纪九十年代，为了适应世纪交替对年份表示的需要，IEEE 1344-1995 规定了 IRIG-B 时间码的新格式，要求编码中还包括年份，其它方面没变。

4）NTP

在计算机网络中用于时间同步的协议主要的有三种：时间协议(Time Protocol)、日时协议(Daytime Protocol)和网络时间协议 NTP(Network Time Protocol)。另外还有一个简单网络时 间协议 SNTP(Simple Network Time Protocol)。SNTP 是 NTP 协议的简化版本，所实现的功能较简单。

在上述几种网络时间协议中，NTP 协议（RFC 1305）最为复杂，所能实现的时间准确度较高。也是目前应用最为广泛的时间协议。

5）PTP（IEEE 1588）

NTP 协议（即网络时间协议）是由软件来实现的，而 PTP 协议既使用软件又结合硬件，两者互相配合从而达到更精确的时间同步。

与 NTP 协议类似，从钟向主钟发送携带时间戳的报文，主钟接收并且回应，同时将接收到的本地时间和发送时刻的本地时间记录到回应报文中；从钟根据四个时间戳，计算出本地与对端的来双向总延迟；假设来回延迟是相等的，从钟就能计算出本地时刻与远端时刻的差，从而调整本地时刻，直到与对端时刻同步。

6）串行口 ASCII 字符串

通过 RS232/RS422 串行通讯口，将时间信息以 ASCII 码字符串方式进行编码，波特率一般为 9600bps，精度不高，通常还需同时利用 1PPS 信号。

主控中心、监测站与 UTC 授时同步功能主要通过主控中心的 NTP 服务器网络时间同步功能实现。NTP 服务器利用卫星天线接收 GPS/BDS 卫星时间信息，通过同轴线缆传输给 NTP 服务器，NTP 服务器通过内部接收机接收卫星信号对本机进行时间同步，然后通过 NTP 网络协议传输给其他网络设备，使终端设备与 NTP 服务器实现时间同步。

NTP 最典型的授时方式是 Client/Server 方式。如下图所示，客户机首先向服务器发送一个 NTP 包，其中包含了该包离开客户机的时间戳 T1，当服务器接收到该包时，依次填入包到达的时间戳 T2、包离开的时间戳 T3，然后立即把包返回给客户机。客户机在接收到响应包时，记录包返回的时间戳 T4。客户机用上述 4 个时间参数就能够计算出 2 个关键参数：NTP 包的往返延迟 d 和客户机与服务器之间的时钟偏差 t。客户机使用时钟偏差来调整本地时钟，以使其时间与服务器时间一致。

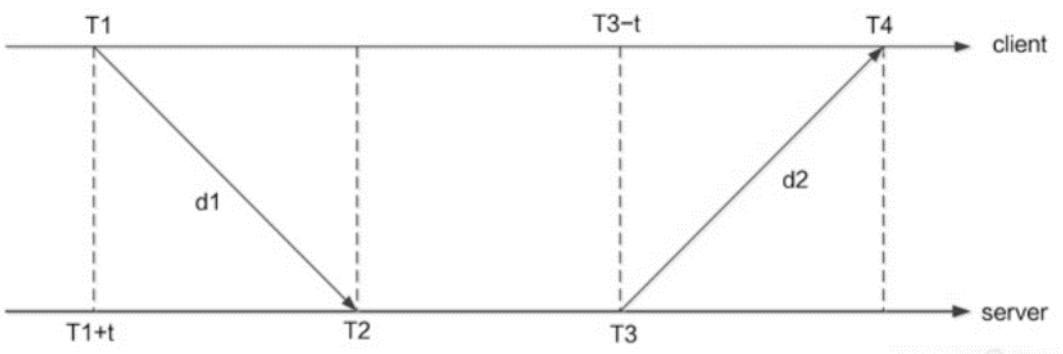


图 98 Client/Server 方式下 NTP 授时原理

上图中，T1 为客户机发送 NTP 请求时间戳（以客户时间为参照）；T2 为服务器收到 NTP 请求时间戳（以服务器时间为参照）；T3 为服务器回复 NTP 请求时间戳（以服务器时间为参照）；T4 为客户机收到 NTP 回复包时间戳（以客户机时间为参照）；d1 为 NTP 请求包传送延时，d2 为 NTP 回复包传送延时；t 为服务器和客户端之间的时间偏差，d 为 NTP 包的往返时间。

现已经 T1、T2、T3、T4，希望求得 t 以调整客户方时钟

$$\begin{cases} T2 = T1 + t + d1 \\ T4 = T3 - t + d2 \\ d = d1 + d2 \end{cases}$$

假设 NTP 请求和回复包传送延时相等，即$d1 = d2$，则可得到

$$\begin{cases} t = \dfrac{(T2 - T1) - (T4 - T3)}{2} \\ d = (T2 - T1) + (T4 - T3) \end{cases}$$

根据公式（1），t 可以表示为：

$$t = (T2 - T1) + d1 = (T2 - T1) + d/2$$

可看出，t、d 只与 T2、T1 差值及 T3、T4 差值相关，而与 T2、T3 差值无关，即最终的结果与服务器处理请求所需的时间无关。因此，客户端即可通过 T1、T2、T3、T4 计算出时差 t 去调整本地时钟。

当 NTP 服务器失去卫星信号时，无法保证时间准确性，因此需要 NTP 服务器具备守时功能。NTP 服务器内置高精度温补晶振，在卫星失锁的情况下，可以利用自身晶振实现守时，再通过网络时间同步为其他终端设备提供授时服务。

3.3.6 网络与安全保障系统

网络与安全保障系统负责监测站、其他 GNSS 监测系统数据和主控中心的安全数据通信，具备防火墙和入侵监测等安全保护能力。

3.3.6.1 网络与安全保障系统组成

网络与安全保障系统由安管一体机、防火墙、路由器、交换机、网闸等设备提供网络安全保障。

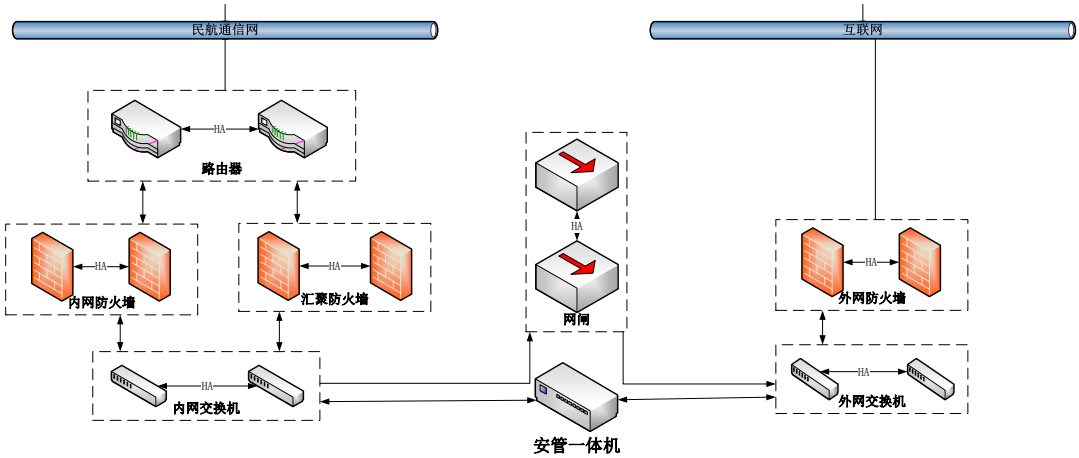


图 99 网络与安全保障系统组成图

3.3.6.2 网络与安全保障系统分机方案

为保障本系统设备安全、可靠、稳定运行，本方案采用分布式集群化部署方案，对各个应用服务系统采用分布化部署，集中化管理，从而实现对各监测站和各应用服务系统的集中监控管理。

本次项目采用下一代防火墙和安管一体机的组网方式，设计思想就是“控制转发与管理审计分离”，按照“一个中心三重防护”的理念，具体设计如下：

（1）安全通信网络：遵循“分区分域”的划分原则，NGFW 集成控制转发类安全能力，按需开启 SSL VPN、LLB 授权；

（2）安全区域边界：外网（互联网）防火墙、汇聚防火墙、内网防火墙、网闸以 NGFW 安全能力集成，必须开启 IPS、AV 授权，按需开启 ACG 授权。

（3）安全计算环境：安管一体机的安全组件能力及 NGFW 的网络安全防护能力全面满足计算环境单元防护控制管理审计能力；提供 WEB 应用防护，终端杀毒模块对 Linux 和 windows 终端进行安全检查，确保终端符合安全规范，对不合规终端进行隔离修复，对系统自身安全问题及终端安检问题进行报警统计。

（4）安全管理中心：构建安全管理区，以安管一体构建全网安全管理中心。

主控中心网络设立两个网络安全域，分别为内网安全区和外网（互联网）安全区。其中，外网安全区内部署了外网防火墙、外网交换机以及外网服务器；内网安全区部署了内网防火墙、内网交换机以及内网服务器，外网安全区与内网安全区通过网闸进行隔离。

跨区域流量分析：

1）联网用户访问数据流向：互联网 web 访问流量通过外网防火墙，WEB 防火墙，接入外网交换机，终结在外网服务器。

2）外网单向导入数据，通过固定 IP 的数据源，经外网防火墙、WEB 防火墙、网闸单向流入内网交换机。

3）用户访问数据流向：内网用户通过内网防火墙接入内网交换机访问内网服务器；

4）内网服务器数据可通过网闸单向同步至外网 web 数据库，与单向流入网闸的外网数据经过网闸不同的通路，达到物理隔离的效果。

5）站点数据交互：站点数据接入监测站交换机，通过内网防火墙从而上传监测数据。

审计数据流量：安管一体机则可以通过交换机对内外网服务器终端进行杀毒，全面满足网络安全等级保护技术要求中的安全管理审计需求，同时安管一体机集中整合归纳网络系统中的组成元素，形成多态化的安全管理中心，满足系统管理、审计管理、安全管理、集中管控的要求。

3.3.6.3 网络与安全保障系统内部接口

网络与安全保障系统的内部接口如下表所示。

表 28　网络与安全保障系统内部接口统计表

序号	发送方	接收方	接口内容
1	路由器	防火墙	---
2	防火墙	交换机	---
3	交换机	网闸	---

序号	发送方	接收方	接口内容
4	交换机	安管一体机	运行日志、操作日志、用户请求等

附件 6 保密协议

甲方：中国民用航空局空中交通管理局

乙方：中国电子科技集团公司第五十四研究所

鉴于甲、乙双方就 GNSS 性能监测与评估系统采购项目 已达成协议，双方在未来项目合作过程中，会涉及到双方的非公开信息，为切实保障在项目工作过程中涉及信息的保密，根据中华人民共和国有关法律、法规的规定，双方同意订立如下保密协议。

第一条 保密信息

本协议中的“保密信息”指双方在合作过程中所涉及的双方各类形式的非公开信息和资料，包括但不限于建设设计方案(或其他项目建设设计文档)、合同(协议)、方案、数据、图表、信函、会议记录、电话记录、口头交谈以及所有涉及工程信息的各种文件。

第二条 保密义务

1.双方应采取适当措施对合作中所涉及到的有关保密信息予以严格保密，任何一方及其工作人员对在合作过程中所获得或接触到关于对方的任何项目所有信息负有保密义务。未经对方书面授权，另一方不得使用该项目所有信息，也不得将该项目所有信息以任何方式向任何第三方泄露，或以任何形式公开披露，包括但不限于刊登广告、接受媒体采访及其他任何未经对方允许的对外披露等。

2.任何一方如发现保密信息发生遗失或泄露的情况，应立即通知对方并采取措施及时处理，以减少损失。如果经努力，但依然造成较大的损失，根据损失程度要求对方给予赔偿或追究法律责任。

3.双方保证，协议一方向另一方所提供的全部资料及信息均没有侵犯任何第三方的知识产权及其它权益。如一方因采用另一方所提供的信息资料及信息而引起第三方提起有关侵权之指控、争议或索赔，均由提供信息方承担由此产生的全部法律责任，负责解决相应问题及后果，并且应采取必要措施维护信息使用方的利益不受损害。

4. 对属于甲方的客户个人信息数据应进行特别保护，乙方除需承担协议其它条款规定的保密义务外，还应当遵守本款约定：乙方在项目过程中不直接接触任何属于甲方的

客户个人信息数据，如乙方必须使用数据时，需由甲方对其数据中的敏感部分进行遮盖或加密的技术处理，并进行书面批准，然后提供给乙方。

5. 乙方已经获知，工程所涉及信息包括国家秘密，因工作需要知悉国家秘密的，应当经过甲方单位负责人批准，不经甲方允许，乙方对上述信息不得进行复制，不得向任何第三方透露。

6.乙方应严格将涉密信息控制在本项目组成员内部，并有义务对项目组成员进行保密教育，确保其能够掌握国家法律法规要求的保密标准和保密技术。

7.乙方不得在以后的宣传和投标中使用本工程作为其宣传和投标的案例。

8.由于乙方原因出现的泄密，乙方将被按照法律追究相关责任，并应赔偿因此对甲方造成的所有损失（包括但不限于诉讼费、律师费、公证费、鉴定费等实际损失及可得利益损失）。

9.乙方参加本项目人员应受本协议约束，承担本协议规定的保密义务；乙方对本单位参加本项目人员负有连带管理责任。

第三条 法律程序

如果法律规定或任何监管机构要求一方必须对保密信息或由保密信息得出的任何结果进行披露时，该方应当将该类要求立即通知另一方，确保另一方对该信息披露情况知晓。

第四条 返还保密信息

在一方发出要求返还保密信息的书面通知之日起 10 日内，另一方必须立即交还对方提供的属于保密信息的全部文件或其他资料。

第五条 继续责任

甲、乙双方确认，乙方的保密义务自本协议签订时开始，到甲方关于该项目的相应秘密公开时止。乙方是否继续参与甲方关于该项目的工作，不影响保密义务的承担。

第六条 不得放弃

任何一方未行使或延迟行使本协议规定的任何权利均不构成对该权利的放弃，任何对该权利的单独或部分行使均不妨碍其他权利的行使或继续行使其权利。

第七条 全部协议

本协议构成双方就本项目有关的保密信息达成的全部协议，取代此前任何有关保密的口头或书面协议。本协议的修改须经过双方签署书面协议方可生效。

第八条 争议解决

任何因本协议产生的或与本协议有关的争议应通过双方友好协商解决。协商不成的，甲乙双方任何一方均可向 北京市朝阳区 人民法院诉讼解决。

第九条 法律规定

本协议适用中国法律。

第十条 协议文本

本协议作为 GNSS 性能监测与评估系统采购项目 的附件，与原合同及协议具有同等法律效力。

甲方：

中国民用航空局空中交通管理局

（盖章）

甲方代表（签字）：

签订地点：北京

日期：2024年 4月30日

乙方：

中国电子科技集团公司第五十四研究所

（盖章）

乙方代表（签字）：蔡红

签订地点：北京

日期：2024年 4月30日