

BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 440031-2021

射频信号远程传输系统通用要求

General requirements for radio frequency signal remote transmission system



2021-05-25 发布

2021-06-01 实施

中国卫星导航系统管理办公室 批准

目 次

1	范围	1
2	规范性引用文件	1
3	术语和定义	1
4	系统应用	3
5	系统组成	4
6	系统原理	5
7	系统功能和性能指标要求	5
8	一般要求	6
9	系统分解指标要求	6
9.1	射频信号的采集和恢复要求	6
9.2	1PPS 信号的采集和恢复要求	7
9.3	时频同步要求	7
9.4	光纤线路要求	7
9.5	运行状态监控要求	8
10	测试方法	8
10.1	测试方法概述	8
10.2	功能测试	8
10.3	指标测试	8

前 言

本标准按照 BD 130002-2017 和 BD 130003-2017 给出的规则起草。

本标准由中国卫星导航系统管理办公室提出。

本标准由全国北斗卫星导航标准化技术委员会（SAC/TC 544）归口。

本标准起草单位：中国卫星导航工程中心、中国航天时代电子有限公司、电子科技大学、航科集团五院、中科院微小卫星创新研究院、中国航天标准化研究所。

本标准主要起草人：郭树人、高为广、卢 鋈、王 威、刘思慧、宿晨庚、刘 成、卢满宏、牛靖逸、鱼 渊、姚 雷、柴 强、张国义、白 羽、赵晓琨、王 倩、林开钦、陈子昂、邵士海、陈 聪、张 猛、杨聪伟、冯文婧、王学良、李绍前、周玉霞、王维嘉。

射频信号远程传输系统通用要求

1 范围

本标准规定了射频信号远程传输系统的系统组成、功能与指标要求、测试方法等内容。

本标准适用于卫星导航射频信号远距离传输系统研制、生产、验收及鉴定等。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是标注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 39267 北斗卫星导航术语

3 术语和定义

GB/T 39267界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地面试验验证系统 grounded test and validation bed

是一个卫星导航系统级的仿真试验平台，服务于北斗全球系统的研发、建设、运行和发展。组成包括空间段验证分系统、运行控制验证验证分系统、工程测控验证分系统、用户终端验证分系统、环境段模拟分系统、控制与综合保障分系统、射频信号远程传输分系统、复杂电磁环境模拟分系统、信息系统管理软件、全球系统仿真软件和性能评估软件。

3.2

射频信号远程传输分系统 RF signal remote transmission subsystem

是地面试验验证系统的组成部分，将待卫星厂房的待测卫星、运控机房的专用对接设备与地面试验验证系统进行射频信号层互连，待测卫星在地面试验验证系统中可等效为1套空间段卫星模拟器，且与空间段其它卫星模拟器具有互换性，从而开展待测卫星与地面试验验证系统综合对接试验。

3.3

射频信号采集通道 RF signal sampling channel

负责将环境段或卫星送入射频信号远程传输分系统的射频信号变频至基带，并将模拟信号数字化，组帧后通过光纤传输，包括信号采集板卡、下变频模块、组帧模块等。

3.4

射频信号恢复通道 RF signal recovery channel

负责从通过光纤传来的数据包中提取出各射频通道的数字基带信号，通过数模转换板卡转换为模拟信号，最后经上变频后恢复为射频信号输出，包括光纤数据包接收模块、解帧模块、数模转换板卡、上变频模块等。

3.5

组帧 framing

为使数字化后的射频信号可通过数字光纤或运营商专网传输，需将采样后的数字信号封装为数据帧。将数字信号按一定格式封装，并添加帧头和UDP/IP报文头部的操作称为组帧。

3.6

解帧 deframing

指将接收到的数字光纤和运营商专网传输来的数据包拆封，判断是否为本射频信号恢复通道的数据，并从中提取出数字化射频信号的操作。

3.7

插值 interpolation

由数字信号恢复为射频信号时，为保证恢复信号的质量，需在两个采样点之间插入一个或多个零，并通过滤波器平滑，该操作称为插值。

3.8

滤波 filtering

将信号通过模拟或数字滤波器以滤除特定频段信号的操作，用于防止采样或抽取时信号混叠，或平滑插值后的信号。

3.9

抽取 decimation

受限于数字光纤或运营商网络的传输带宽，需降低数字化射频信号数据流的速率。将数字化后的射频信号经滤波器滤波后，再等间隔地取采样点组成新的数字化射频信号的操作称为抽取。

3.10

LVC MOS33

供电电压为3.3V的低电压CMOS接口电平信号。

3.11

LVDS

低电压差分信号，使用幅度较低的信号通过差分电缆进行信号传输的接口标准。

3.12

单模光纤 single mode Fiber

只能传输一种模式光信号的光纤线缆。

3.13

光交换网络 optical switching network

使用光纤进行设备间数据交换的分组交换网络。

3.14

SFP+光电转换模块 SFP+ photoelectric conversion module

小型可拔插光电转换模块，使用LC接口与光纤连接，并支持10Gbps的传输速率。

3.15

数据专线 dedicated data line

用户端设备通过光纤就近接入运营商网络的数据交换中心，直接通过主干网设备进行数据交换，并与远端设备组成一个局域网的网络。

3.16

相位抖动 phase jitter

被测信号相对于一个参考信号边沿的时间偏差。

3.17

卫星共视 satellite common view

指位于不同地点的卫星导航信号接收机，同时接收同一颗或几颗卫星的数据，获得卫星时钟与地面时钟的时差，再通过交换并差分两个接收机的观测数据，抵消中间源及其共有误差的影响，实现高精度时间比对的方法。

3.18

量化位数 quantization digit

模拟信号数字化时，对模拟信号幅度进行数字化的数据位宽称为量化位数。如数据位宽为N，则将模拟信号分为 2^N 个阶梯进行量化。

3.19

缓冲区状态 buffer status

指射频信号远程传输分系统进行数据传输时，接收端数据缓冲区中剩余数据的余量。

3.20

专网光纤 dedicated optical network

指电信运营商提供的用于传输信息的数据专线，中间经过光交换网络。

4 系统应用

射频信号远程传输系统可以实现射频信号高保真、低时延、实时可靠的远距离传输，其典型应用场景是通过该系统将分布在多个地点的设备互联，并统一时频基准，构成突破地域限制的实时分布式远程对接系统。

在北斗工程建设中，通过分别建立北京卫星厂房——地面试验验证系统机房（10km）、上海卫星厂房——地面试验验证系统机房（1200km）、北京运控机房——地面试验验证系统机房（10km）三套射频信号远程传输系统，实现北京卫星厂房待测卫星、上海卫星厂房待测卫星、北京运控机房地面设备、地面试验验证系统四个节点之间多路 L/S/Ka 频段射频信号远距离传输，并统一各个节点的时间频率基准，构成北斗实时分布式地面综合对接试验系统，让位于不同地点的两家卫星、运控设备并行接入地面试验验证系统开展试验，作为卫星出厂的重要验收依据。

利用射频信号远程传输系统开展远程对接试验模式将大大降低航天器研发、试验费用成本，可推广至其他航天任务，对航天器研发和航天任务组织模式产生革命性影响。

5 系统组成

射频信号远程传输系统组成如图 1 所示。

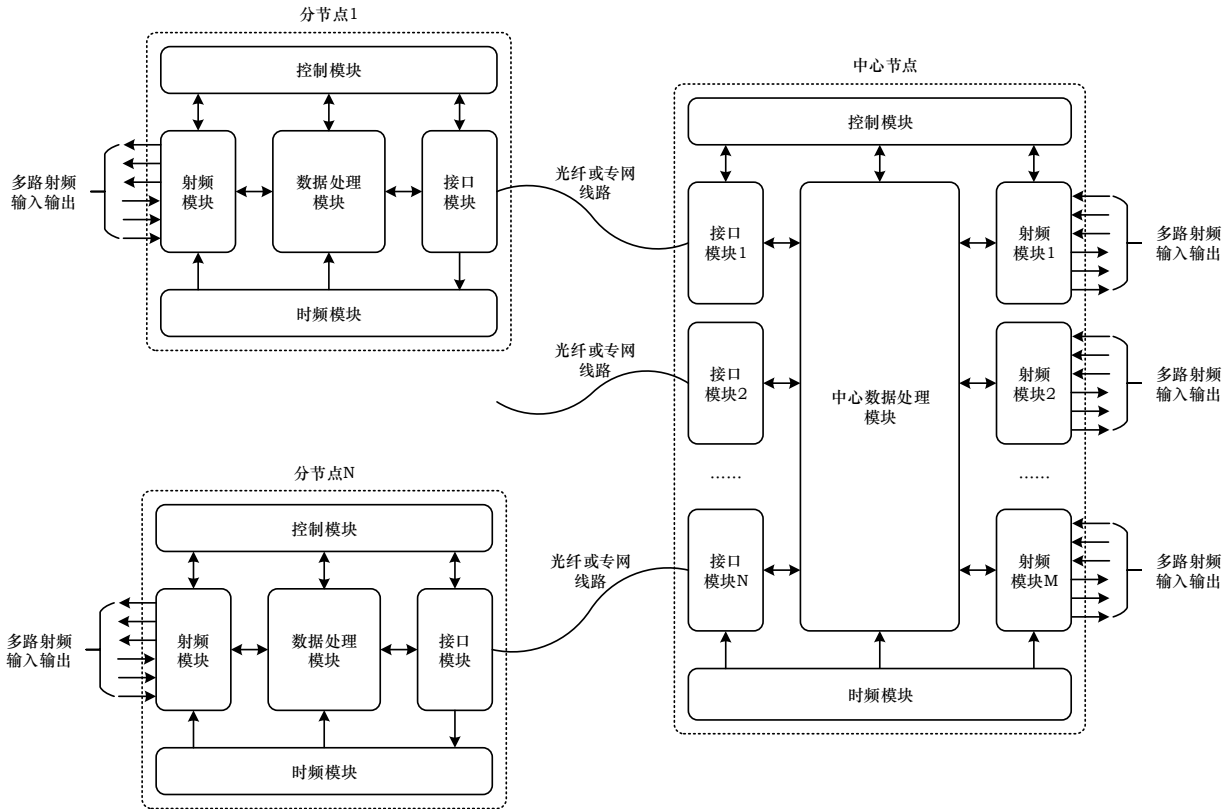


图 1 射频信号远程传输系统组成框图

射频信号远程传输系统由射频信号远程传输设备、光纤线路两部分组成。

射频信号远程传输设备由射频模块、数据处理模块、光电转换模块、时频模块、操作维护模块组成。其中射频模块负责射频信号的采集和恢复，数据处理模块负责射频信号的数字信号信号处理及组帧和解帧操作，光电转换模块负责提供匹配所用线路的光电接口，操作维护模块负责维护各个节点的工作状态，时频模块负责提供时频基准信号。射频模块具备扩展性，可根据实际的传输需求配备多路 L/S/Ka 频段的射频通道，中心节点的接口模块可根据连接分节点的数目灵活扩展。

射频信号远程传输设备的主监控软件部署地点为中心节点，其他射频信号远程传输设备部署地为分节点（分节点数量可以为 1）。分节点和中心节点间通过光纤或专网线路完成信号的传递，每个分节点和中心节点间均可传输多路射频信号，所有分节点的时频通过光纤或专网线路同步至中心节点（中心节点或任意分节点都可以作为系统的时频基准，其他所有节点时频同步到该节点）。

光纤线路有两种实现形式：一种是单模光纤，需要单独敷设光纤线路，该线路不经过数据交换网络，只适用于距离不太远（100km）以内的场景；另一种是专网光纤，通常租用电信运营商的长途数据专线实现，该线路经过数据交换网络，可以用于长距离（100km）的场景。

6 系统原理

射频信号远程传输系统原理如图 2 所示。射频信号远程传输设备两台为一对配合使用，分别放置在光纤线路两端，每台设备包括多通道的射频信号采集和恢复通道，实现射频信号转化为数字信号在光纤线路上传输；时频同步模块实现光纤线路两端的 10MHz 频率信号和 1PPS 时间信号的同步；光纤线路实现两台设备之间数据传输。

同城（100km 以内）建议使用单模光纤（未经过数据交换网络）作为光纤线路，采用光纤传输时频信号模块作为时频同步模块；异地（100km 以上）一般使用专网光纤（经过数据交换网络）作为光纤线路，采用卫星共视设备作为时频同步模块。

射频信号经过变频和 A/D 采样后，转换为数字信号，后经信号处理和组帧操作，通过光纤接口传输至另一端的设备。另一端设备通过光纤接口接收到数据帧后，解帧并进行相应的信号处理，然后通过 D/A 和变频恢复为模拟信号。

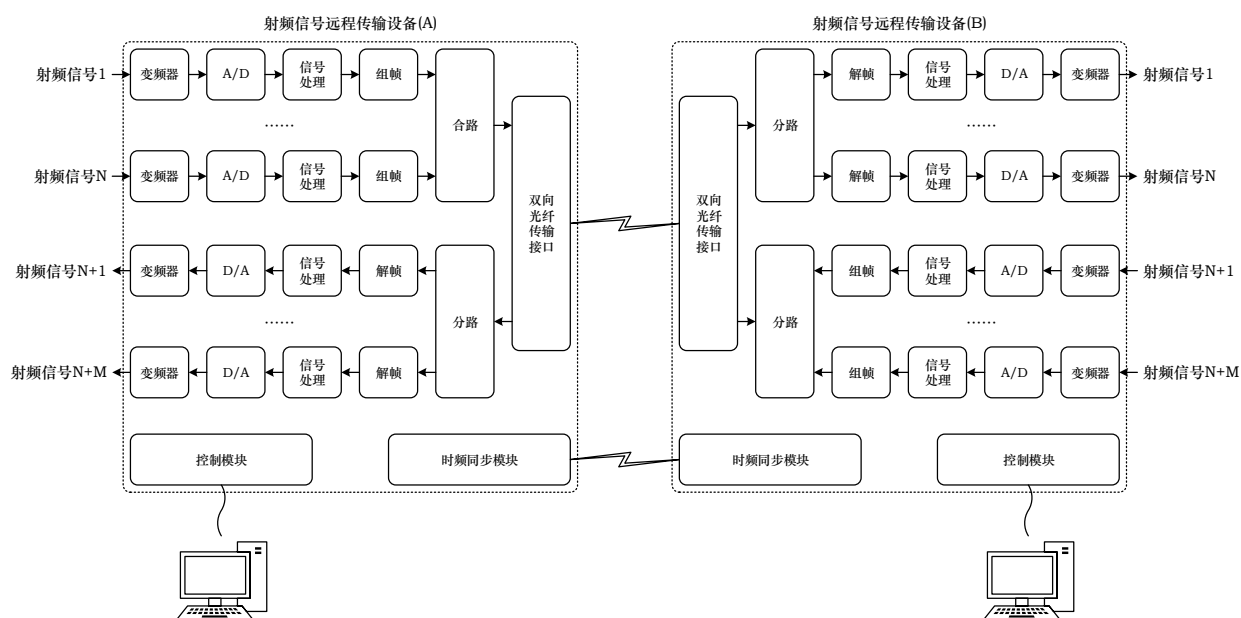


图 2 射频远程传输系统原理框图

7 系统功能和性能指标要求

射频信号远程传输系统的功能包括：

- 传输 L/S/Ka 频段射频信号；
- 传输 10MHz 信号和 1PPS 信号；
- 传输射频信号中心频点、信号带宽、采样率、量化位数灵活可配置；
- 具备实时监测显示设备工况信息的能力；
- 系统具备异地时间频率同步能力；
- 单模光纤传输情况下，总传输时延 \leq 光纤线路传输时延+1ms；
- 专网光纤传输情况下，总传输时延 \leq 光纤线路传输时延+5ms；

- h) 单模光纤传输情况下, 传输时延抖动 $\leq 1\text{ns}$;
- i) 专网光纤传输情况下, 传输时延抖动 $\leq 10\text{ns}$;
- j) 单模光纤传输情况下, 附加载噪比损失 $\leq 3\text{dB}$;
- k) 专网光纤传输情况下, 附加载噪比损失 $\leq 6\text{dB}$;
- l) 杂散抑制: $\geq 40\text{dB}$;
- m) 光纤线路的传输速率应满足同时传输射频信号路数、带宽、信号传输质量要求。

8 一般要求

射频信号远程传输系统的一般要求如下:

- a) 方案设计阶段应明确对外接口关系, 应满足射频信号输入输出电平要求;
- b) 在方案设计阶段应确认光纤线路性能, 线路是否经过数据交换网络, 以确定异地时频同步方案;
- c) 系统具备良好的可配置性, 便于更改满足不同射频信号传输需求;
- d) 系统设计尽量采用技术成熟、工艺先进稳定的定型通用设备;
- e) 系统设计必须模块化, 便于功能的组合扩充和更新, 设备零部件具有良好的互换性;
- f) 信号以数字化的方式在两台设备间进行传输, 并可根据传输线路情况灵活配置传输速率;
- g) 射频信号远程传输系统与常规射频微波设备相互之间不造成干扰;
- h) 射频信号远程传输系统具有运行状态监控功能;
- i) 系统平均故障间隔时间 (MTBF) $> 1000\text{h}$;
- j) 一般故障维修时间 $< 3\text{h}$ (更换损坏模块)。

9 系统分解指标要求

9.1 射频信号的采集和恢复要求

射频信号远程传输系统的信号采集要求如下:

- a) 支持 L/S/Ka 频段信号并灵活可配置 (70MHz~6GHz 灵活可配置, 可通过附加变频器扩展到 6GHz 以上频率);
- b) 最大采集信号带宽 $\geq 100\text{MHz}$;
- c) 采集信号的量化位数 1~12bit 灵活可配置;
- d) 采集信号的中心频点可配置, 步进 $\leq 1\text{kHz}$;
- e) 采集信号的带宽可配置, 步进 $\leq 1\text{MHz}$;
- f) 采集信号的输入功率范围为-100~-10dBm;
- g) 信号的接收增益可调, 可调范围 $\geq 60\text{dB}$, 步进 $\leq 1\text{dB}$;
- h) 能根据实际需要对采集信号进行滤波、抽取等处理。

射频信号远程传输系统的信号恢复要求如下:

- a) 支持 L/S/Ka 频段信号并灵活可配置 (70MHz~6GHz 灵活可配置, 可通过附加变频器扩展到 6GHz 以上频率);

- b) 最大恢复信号带宽 $\geq 100\text{MHz}$;
- c) 恢复信号的量化位数 1~12bit 灵活可配置;
- d) 恢复信号的中心频点可配置, 步进 $\leq 1\text{kHz}$;
- e) 恢复信号的带宽可配置, 步进 $\leq 1\text{MHz}$;
- f) 恢复信号的输出功率范围为 $-60\sim 0\text{dBm}$;
- g) 信号的发射增益可调, 可调范围 $\geq 60\text{dB}$, 步进 $\leq 1\text{dB}$;
- h) 能根据实际需要对恢复信号进行插值、滤波等处理;
- i) 杂散抑制: $\geq 40\text{dB}$;
- j) 信号远程传输载噪比损失 $\leq 6\text{dB}$ 。

9.2 1PPS 信号的采集和恢复要求

射频信号远程传输系统传输的 1PPS 信号的采集与恢复要求如下:

- a) 支持 LVCMOS33 和 LVDS 两种 1PPS 信号的采集;
- b) 恢复信号为单端输出;
- c) 恢复信号峰峰值 $\geq 2\text{V}$, 上升时间 $< 1\text{ns}$, 脉冲宽度 $> 1\mu\text{s}$ 。

9.3 时频同步要求

单模光纤传输时频同步要求:

- a) 使用光纤恢复的方法来同步两端设备的时频;
- b) 设备分为主从两端, 主端设备可使用外部原子钟提供的 10MHz 工作, 从端使用恢复 10MHz 工作;
- c) 每次上电后, 从端恢复 10MHz 的相位抖动 $\leq 1\text{ns}$, 恢复 1PPS 的相位抖动 $\leq 1\text{ns}$ 。

专网光纤传输时频同步要求:

- a) 使用卫星共视的方法来同步两端设备的时频;
- b) 卫星共视设备可使用外部原子钟提供的外频标 (包括 10MHz 信号和 1PPS 信号);
- c) 两端卫星共视设备输出的 10MHz 相位抖动 $\leq 10\text{ns}$, 1PPS 相位抖动 $\leq 10\text{ns}$ 。

9.4 光纤线路要求

单模光纤传输线路要求:

- a) 光纤单向传输带宽: 10Gbps ;
- b) 光纤传输丢包率: 0;
- c) 光纤单向传输时延稳定性: $\leq 0.1\text{ns}$
- d) 光纤线路传输效率 $\geq 70\%$;

专网光纤传输线路要求:

- a) 光纤单向传输带宽不小于同时传输射频信号路数、带宽对应的数字信号速率需求;

- b) 光纤传输丢包率 $\leq 10e-5$;
- c) 光纤单向传输时延稳定性: $\leq 4ns$
- d) 光纤线路传输效率 $\geq 70\%$;

当光纤线路带宽充足, 建议采用 12bit 量化位数, 保障最优射频信号传输质量; 当光纤线路带宽有限 (线路成本和带宽成正比), 可以采用低量化位数, 以损失部分射频信号传输质量为代价保障在有限带宽内传输所需时频信号。

9.5 运行状态监控要求

监控设备可自行完成设备工作状态的监控、显示和存储, 具体要求如下:

- a) 用户可在开始传输前, 从监控界面进行各通道中心频点、信号带宽、采样率、量化位数、接收增益、发射衰减、传输时延等参数配置操作。(写每个参数可配置范围)
- b) 监控设备需显示的状态参数至少包括: 实际传输时延、缓冲区状态、接收功率、发射功率、丢包计数、丢包率统计。
- c) 监控设备需实时保存监控数据, 频度不大于 1s, 以方便试验后的数据处理及分析。
- d) 监控软件具备远程控制能力, 并支持二次开发接口。

10 测试方法

10.1 概述

射频信号远程传输系统的测试包括功能测试和指标测试两方面, 研制方应与任务提出方共同协商制定相应的验证计划。

10.2 功能测试

射频信号远程传输系统的功能测试方法如下:

- a) 工况信息功能测试: 系统运行后, 采用目视法观察监控界面的显示内容, 是否具备缓冲区数据显示、传输时延显示、发射功率显示、接收功率显示、线路丢包计数统计能力, 观察到上述信息能够实时正确显示, 则判定为合格。
- b) 参数配置功能测试: 在监控界面修改传输射频信号中心频点、带宽、采样率、量化位数、接收增益、发射衰减、传输时延等参数, 系统运行后, 采用目视法观察监控界面修改的配置参数是否被执行, 观察到配置项生效, 则判定为合格。

10.3 指标测试

射频信号远程传输系统的指标测试方法如下:

- a) 输入、输出信号电平测试: 使用信号源向射频信号远程传输系统的各射频入口送入单音信号, 并将射频出口处连接到频谱仪, 调整信号源输出功率, 查看输入和输出信号电平是否符合技术指标要求。

- b) 输出信号杂散抑制测试：使用信号源向射频信号远程传输系统的各射频入口送入单音信号，并将射频出口处连接到频谱仪，在频谱仪上查看输出信号的杂散是否符合技术指标要求。
 - c) 载噪比损失测试：使用信号源产生符合射频通道带宽的 QPSK 宽带调制信号，首先将该信号直接连接至频谱仪，使用频谱仪的 QPSK 解调功能查看该信号的 SNR。随后将信号源的信号通过射频信号远程传输系统传输，将传输后的信号接到频谱仪上，再次使用频谱仪的 QPSK 解调功能查看传输后信号的 SNR，两次 SNR 之差即为载噪比损失。查看该载噪比损失值是否符合技术指标要求。
 - d) 传输时延绝对值测试：使用信号源产生调制脉冲信号，功分两路后，一路送至示波器，另一路送至射频信号远程传输系统传输，传输后的信号连接至示波器，在示波器上比较传输后的信号相对未系统传输的信号延迟，即为传输时延绝对值。查看该传输时延绝对值是否符合技术指标要求。
 - e) 传输时延稳定度测试：使用信号源产生单音信号，功分两路后，一路送至示波器，另一路送至射频信号远程传输系统传输，传输后的信号连接至示波器，在示波器上比较传输后的信号相对未系统传输的信号在一段时间内的相位抖动情况，即为传输时延稳定度。查看该传输时延稳定度是否符合技术指标要求。
-