

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 1640

QJ 20535—2016

月球探测器测控数传分系统设计要求

Design requirements for lunar probe TT&C and data transmission subsystem

2016—01—19 发布

2016—03—01 实施

国家国防科技工业局 发布

前 言

本标准由中国航天科技集团公司提出。

本标准由中国航天标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国航天科技集团公司第五研究院总体部、中国航天标准化研究所。

本标准主要起草人：徐宝碧、刘 适、黄晓峰、韩 宇、张 婷、康登榜。

月球探测器测控数传分系统设计要求

1 范围

本标准规定了月球探测器测控数传分系统设计的依据、一般要求、详细要求等。

本标准适用于月球探测器测控数传分系统的设计。其他深空探测器可以参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GJB 151B—2013 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量

GJB 421A—1997 卫星术语

GJB 727A—1998 航天测控系统术语与缩略语

GJB 1027A—2005 运载器、上面级和航天器试验要求

GJB 1198.5A—2004 航天器测控和数据管理 第5部分：射频和调制

GJB 1198.8A—2004 航天器测控和数据管理 第8部分：数据管理接口

GJB 2361—1995 星地测控回路试验方法

GJB/Z 35—1993 元器件降额准则

QJ 2322A—2006 航天器测控系统通用规范

QJ 20001—2011 月球探测工程术语

QJ 20067—2012 月球探测器与地面测控系统接口技术要求

QJ 20068—2012 月球探测器与地面应用系统接口技术要求

3 术语和定义

GJB 421A—1997、GJB 727A—1998、QJ 20001—2011 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

甚长基线干涉测量 very-long baseline interferometry (VLBI)

一种无线电天体测量技术，通过在相距甚远的两个射电天文望远镜同时记录来自人工或天然的无线电波源，并在中心处理装置对这些信号进行相关，来获得高的角度分辨率。

3.2

差分单向测距 differential one-way ranging (DOR)

利用两个地面站对一个探测器测量获得的无模糊时间延迟，测量探测器到地面站的距离。

4 设计依据

月球探测器测控数传分系统设计的文件依据主要有型号研制任务书以及型号总体部门提出的其他有关要求。

5 一般要求

5.1 功能

月球探测器测控数传分系统功能包括为探测器与测控站、地面应用站之间提供射频信道，并在月面工作的探测器之间建立射频信道。

5.2 寿命

月球探测器测控数传分系统寿命应满足型号具体要求。

5.3 电气设计

月球探测器测控数传分系统供电、功耗、接地和搭接、电缆和电连接器应满足型号具体要求。

5.4 可靠性设计

月球探测器测控数传分系统元器件降额设计应符合GJB/Z 35—1993与型号具体要求，电磁兼容性设计应满足GJB 151B—2013与型号具体要求，热设计、抗力学环境设计、抗辐射设计和防静电设计应符合相关标准及型号具体要求。

6 详细要求

6.1 测控要求

6.1.1 调制方式

月球探测器测控调制方式为：

- a) 对于飞行过程有测定轨要求的月球探测器，测控上行、下行采用残余载波调制方式；
- b) 对于飞行过程不需要进行测定轨的月球探测器等，上行采用残余载波调制方式，下行采用抑制载波调制方式。

6.1.2 测控天线

测控天线要求如下：

- a) 天线极化方式为圆极化，且极化旋向应与器地接口要求一致；
- b) 天线方向图、增益及轴比指标由型号技术文件规定。

6.1.3 系统品质因数（G/T 值）

根据任务实际情况，由型号技术文件规定。

6.1.4 上行频段

上行频段具体可分为两种：

- a) X频段：7190MHz~7235MHz；
- b) S频段：2025MHz~2110MHz。

6.1.5 接收机静态频率

接收机静态频率是指静态相位误差为零时的上行频率。在型号任务指定的温度、电源电压变化范围内，计入初始频率不准确及老化因素的影响，X频段接收机静态频率的变化范围应不超过±100kHz，S频段接收机静态频率的变化范围应不超过±35kHz。

6.1.6 载波捕获门限

月球探测器测控载波捕获门限要求如下：

- a) X频段接收机：当上行载波以15kHz/s的扫描速率在标称频率±460kHz范围内扫描时，应答机

应捕获上行载波，且当其捕获概率为99%时，接收机保持锁定的最小输入功率应不大于-125dBm；

- b) S频段接收机：当上行载波以15kHz/s的扫描速率在标称频率 $\pm 115\text{kHz}$ 范围内扫描时，应答机应捕获上行载波，且当其捕获概率为99%时，接收机保持锁定的最小输入功率应不大于-125dBm。

6.1.7 载波跟踪门限

月球探测器测控载波跟踪门限要求如下：

- a) X频段接收机：上行载波捕获后，上行载波以5kHz/s的扫描速率在标称频率 $\pm 360\text{kHz}$ 范围内扫描时，接收机能跟踪上行载波、保持锁定的最小输入功率应不大于-128dBm；
- b) S频段接收机：上行载波捕获后，上行载波以5kHz/s的扫描速率在标称频率 $\pm 80\text{kHz}$ 范围内扫描时，接收机能跟踪上行载波、保持锁定的最小输入功率应不大于-128dBm。

6.1.8 载波调相指数

载波调相指数应符合GJB 1198.5A—2004中6.4.3的要求。

6.1.9 副载波频率

遥控副载波频率取为8kHz。

确定遥测副载波频率时，原则上应避开所选的副载波频率和信道测距音形成的三阶之内的交调、组合干扰，落在有用信息的基带带宽之内。

6.1.10 比特速率

遥控比特速率应符合QJ 20067—2012中7.3的要求，遥测比特速率应符合QJ 20067—2012中8.3的要求。

6.1.11 接收机动态范围

接收机动态范围应不小于70dB。

6.1.12 通道接收选择性

通道接收选择性见图1。图1中横坐标表示上行信号频率与标称频率之差，纵坐标表示上行信号进入接收机后受到的功率抑制。当上行信号频率与标称频率之差的绝对值不大于8MHz时，上行信号进入接收机后不受功率抑制；当上行信号频率与标称频率之差的绝对值在8MHz与80MHz之间时，上行信号进入接收机后应受到不低于60dB的功率抑制；当上行信号频率与标称频率之差的绝对值不小于80MHz时，上行信号进入接收机后应受到不低于80dB的功率抑制。

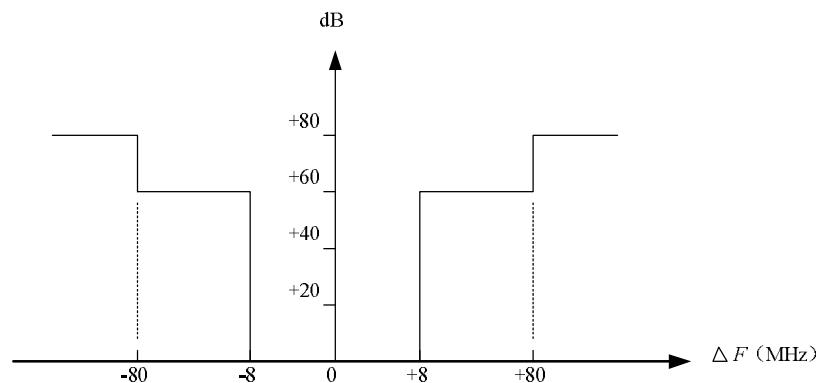


图1 通道接收选择性

6.1.13 遥控信道误码率

遥控信道误码率应符合QJ 20067—2012中7.9的要求。

6.1.14 最大不损坏功率

输入应答机且不致引起应答机损坏的最大信号功率：-25dBm。

6.1.15 等效全向辐射功率（EIRP 值）

根据任务实际情况，由型号技术文件规定。

6.1.16 下行频段

下行频段具体可分为两种：

- a) X频段：8450MHz~8500MHz；
- b) S频段：2200MHz~2290MHz。

6.1.17 杂散发射

相对未调载波，发射机在相干或非相干模式下，杂散发射电平应不高于-50dBc。

6.1.18 调制频谱

已调信号频谱对称性应优于1dB。

6.1.19 频率准确度

在非相干模式下，下行载频有以下要求：

- a) 初始设置的频率应在标称频率值的 $1 \times (1 \pm 5 \times 10^{-6})$ 范围内；
- b) 包括初始设置、老化、温度和电源影响在内，频率变化应在标称频率值的 $1 \times (1 \pm 1.5 \times 10^{-5})$ 范围内。

6.1.20 相位噪声

在10Hz~1MHz之间，累计相位噪声应不超过 5° （rms）。

6.1.21 相位调制

在6.1.8要求的载波调相指数范围内，调制线性度应优于3%。

6.1.22 残余调幅

线性已调信号的残余调幅应小于2%。

6.1.23 测距要求

6.1.23.1 测距音频率

测距音频率要求如下：

- a) X频段测距主音频率为500kHz，测距次音频率分别为100 kHz、20 kHz、16 kHz、16.8 kHz、16.16 kHz、16.032 kHz、16.008 kHz、16.002 kHz、16.0005 kHz；
- b) S频段测距主音频率为100kHz，测距次音频率分别为20 kHz、16 kHz、16.8 kHz、16.16 kHz、16.032 kHz、16.008 kHz、16.002 kHz、16.0005 kHz。

6.1.23.2 主测距音时延稳定性

在规定的输入频率、输入电平和温度范围内，主测距音时延稳定性应优于 $\pm 70\text{ns}$ 。利用遥测数据修正器上主测距音时延的稳定性应在 $\pm 10\text{ns}$ 以内。

6.1.23.3 相位频率关系

以相位表达的测距音时延和测距音频率之间存在线性关系，偏离该线性关系的相位偏离值应小于

±5°。

6.1.23.4 极性

上行信号的正向相移应引起下行信号的正向相移。

6.1.23.5 测距信道带宽

测距信道带宽为：

- a) X频段测距带宽：3.6kHz~1.1MHz；
- b) S频段测距带宽：3.6kHz~250kHz。

6.2 甚长基线干涉测量（VLBI）要求

6.2.1 抑制载波信标

6.2.1.1 等效全向辐射功率（EIRP 值）

根据任务实际情况，由型号技术文件规定。

6.2.1.2 发射频段

月球探测器甚长基线干涉测量信标的发射频段为8450MHz~8500MHz。

6.2.1.3 甚长基线干涉测量天线

甚长基线干涉测量天线要求如下：

- a) 天线极化方式为圆极化，且极化旋向应与器地接口要求一致；
- b) 天线方向图、增益及轴比指标由型号技术文件规定。

6.2.1.4 调制方式

VLBI通道信号的调制方式为BPSK。

6.2.1.5 通道数目

VLBI测量采用异频双通道。

6.2.1.6 比特率

VLBI码钟频率为500kHz，码长 $2^{10}-1$ bit。

6.2.1.7 总相移

单个VLBI通道在主瓣带宽范围内，相对于载波信号的总相移应小于30°。

6.2.1.8 BPSK 调制特性

BPSK调制特性为：

- a) 调制二相相位不平衡：优于±3°；
- b) 调制二相幅度不平衡：不大于0.5dB。

6.2.1.9 频率准确度

发射频率应在标称频率值的 $1 \times (1 \pm 5 \times 10^{-6})$ 范围内。

6.2.1.10 RF 幅频特性

在输出带宽范围内RF幅度随频率的响应变化应不大于1dB。

6.2.1.11 谐波/杂波

谐波输出应不大于-40dBc，杂波输出应不大于-50dBc。

6.2.1.12 下行频率稳定度

下行频率稳定度要求为：

- a) 长期稳定度应优于 1×10^{-8} /天;
- b) 短期稳定度应优于 1×10^{-10} /s (阿伦 (Allan) 方差)。

6.2.1.13 相位噪声

在10Hz~1MHz之间, 累计相位噪声应不超过 5° (rms)。

6.2.2 残余载波信标

6.2.2.1 调制方式

差分单向测距 (DOR) 音对测控下行载波进行相位调制。

6.2.2.2 DOR 音数目

DOR音数目要求如下:

- a) 对于X频段测控体制, 采用2对DOR音;
- b) 对于S频段测控体制, 采用1对DOR音。

6.2.2.3 DOR 音频率

DOR音频率要求如下:

- a) X频段测控: DOR侧音频率与下行载波相干, 频率分别为 $4 \times (1 \pm 10\%)$ MHz及 $20 \times (1 \pm 10\%)$ MHz;
- b) S频段测控: DOR侧音频率与下行载波相干, 频率为 $4 \times (1 \pm 10\%)$ MHz。

6.2.2.4 调制频谱

已调信号频谱对称性应优于1dB。

6.3 数传要求

6.3.1 等效全向辐射功率 (EIRP 值)

根据任务实际情况, 由型号技术文件规定。

6.3.2 发射频段

发射频段为:

- a) X频段: 8450MHz~8500MHz;
- b) S频段: 2200MHz~2290MHz。

6.3.3 数传天线

数传天线要求如下:

- a) 天线极化方式为圆极化, 且极化旋向应与器地接口要求一致;
- b) 天线方向图、增益及轴比指标由型号技术文件规定。

6.3.4 调制方式

数传通道信号的调制方式为BPSK, 码型NRZ-L。

6.3.5 误码率

数传信道误码率应符合QJ 20068—2012中5.6的要求。

6.3.6 总相移

数传通道在主瓣带宽范围内, 相对于载波信号的总相移应小于 30° 。

6.3.7 BPSK 调制特性

BPSK调制特性为:

- a) 调制二相相位不平衡：优于 $\pm 3^\circ$ ；
- b) 调制二相幅度不平衡：不大于0.5dB；
- c) 钟分量抑制：不大于-15dBc。

6.3.8 频率准确度

发射频率应在标称频率值的 $1 \times (1 \pm 5 \times 10^{-6})$ 范围内。

6.3.9 RF 幅频特性

在输出带宽范围内RF幅度随频率的响应变化不大于1dB。

6.3.10 谐波/杂波

数传输出信号，谐波输出应不大于-40dBc，杂波输出应不大于-50dBc。

6.3.11 下行频率稳定度

下行频率稳定度要求为：

- a) 长期稳定度应优于 1×10^{-5} /月；
- b) 短期稳定度应优于 1×10^{-9} /0.1s（阿伦（Allan）方差）。

6.3.12 相位噪声

在10Hz~1MHz之间，累计相位噪声应不超过 5° （rms）。

6.4 月面通信要求

6.4.1 适用范围

适用于两个或多月球探测器在月球表面进行通信的情况。

6.4.2 系统品质因数（G/T 值）

根据任务实际情况，由型号技术文件规定。

6.4.3 通信频段

月面通信频段为UHF频段：410MHz~420MHz。

6.4.4 月面通信天线

月面通信天线要求如下：

- a) 天线极化方式为垂直线极化，器间通信双方天线极化方式应匹配一致；
- b) 天线方向图与增益指标由型号技术文件规定。

6.4.5 调制方式

月面通信信号的调制方式为BPSK，码型NRZ-L。

6.4.6 接收机静态频率

接收机静态频率（静态相位误差为零时的上行频率），在型号任务指定的温度、电源电压变化范围内，计入初始频率不准确及老化因素的影响，其变化范围应不超过 ± 10 kHz。

6.4.7 捕获范围

当接收信号以10Hz/s的扫描速率在标称频率 ± 20 kHz范围内扫描时，接收机应捕获该信号。当其捕获概率为99%时，接收机保持锁定的最小输入功率电平应不大于-125dBm。

6.4.8 接收机动态范围

接收机动态范围应不小于90dB。

6.4.9 捕获时间

接收机应自动捕获带内信号，捕获时间应不大于10s。

6.4.10 BPSK 调制特性

BPSK调制特性要求如下：

- a) 调制二相相位不平衡：优于 $\pm 3^\circ$ ；
- b) 调制二相幅度不平衡：不大于0.5dB；
- c) 钟分量抑制：不大于-15dBc。

6.4.11 误码率

月面通信信道误码率应优于 1×10^{-6} 。

6.4.12 等效全向辐射功率（EIRP 值）

根据任务实际情况，由型号技术文件规定。

6.4.13 频率准确度

发射频率应在标称频率值的 $1 \times (1 \pm 5 \times 10^{-6})$ 范围内。

6.4.14 RF 幅频特性

在输出带宽范围内RF幅度随频率的响应变化不大于1dB。

6.4.15 谐波/杂波

月面通信信号，谐波输出应不大于-40dBc，杂波输出应不大于-50dBc。

6.4.16 发射频率稳定度

发射频率稳定度要求为：

- a) 长期稳定度应优于 1×10^{-5} /月；
- b) 短期稳定度应优于 1×10^{-9} /0.1s（阿伦（Allan）方差）。

6.4.17 相位噪声

在10Hz~1MHz之间，累计相位噪声不超过 5° （rms）。

6.5 接口要求

6.5.1 与地面测控系统接口要求

月球探测器与地面测控系统测控体制、射频与调制、遥控、遥测、测距、测速等接口应符合QJ 20067—2012的要求。

6.5.2 与地面应用系统接口要求

月球探测器与地面应用系统数据传输等接口应符合QJ 20068—2012的要求。

6.5.3 月面通信接口要求

探测器间月面通信接口应符合6.4的规定。

6.5.4 与数据管理系统接口要求

月球探测器测控数传分系统与数据管理系统接口应满足QJ 2322A—2006中3.7.2、GJB 1198.8A—2004的要求。

6.6 验证要求

6.6.1 月球探测器测控数传分系统应对其设计正确性、合理性进行验证，应满足 5.1~5.4、6.1~6.5 及型号具体要求。

6.6.2 月球探测器测控数传分系统随整器参加环境试验，环境试验项目及条件应符合 GJB 1027A—

2005 与型号具体要求;月球探测器与地面测控系统对接试验应符合 GJB 2361—1995 与型号具体要求,与地面应用系统对接应符合型号具体要求。

中华人民共和国航天行业标准

月球探测器测控数传分系统
设计要求

QJ 20535—2016

*

中国航天标准化研究所出版
北京市丰台区小屯路 89 号

邮政编码：100071

中国航天标准化研究所
印务发行部印刷、发行

版权专有 不得翻印

*

2016 年 2 月出版

定价：24 元