

# 中继卫星系统在载人航天应急救援中的应用探讨

刘保国 吕斌涛

(北京跟踪与通信技术研究所)

**摘要** 分析了中继卫星系统在载人航天应急救援中应用的可行性,着重探讨了应急救援中话音通信及辅助定位两种应用模式。

**关键词** 中继卫星 载人航天 应急救援 通信与定位

**分类号** V553.1\*8 **文献标识码** A **文章编号** 1674-5825 (2010) 01-0009-04

## 1 引言

载人航天是一项异常庞大复杂并带有很大风险性的航天活动,载人航天器是人类在太空从事各种探测、试验、研究和生产等活动所使用的太空飞行载体,包括载人飞船、空间站和航天飞机等。自 1961 年 4 月人类进入太空,到 2003 年 5 月,载人航天器在试验、发射、飞行和返回各个阶段发生的故障约 354 例,在飞行过程中有 18 位航天员遇难。因此,最大限度保障航天员安全是载人航天工程的核心任务之一。在影响航天员安全的各个环节中,载人航天器返回着陆后航天员的搜索救援,是整个载人航天飞行任务的最后关键一环。

在载人飞船预设的主着陆场区,通常设置有完整的组织指挥机构和多层次救援力量,配备有较完备的搜索救援作业平台、信息支持系统及搜索救援设备。但在应急返回条件下,载人飞船返回舱可能返回至分布于不同国家或区域的应急着陆区,在每个应急着陆区内,着陆范围可达数百公里,地域分布大。该条件下,如何及时、准确确定载人飞船返回舱着陆位置,尽快获取航天员的生理信息并与航天员通信,继而确保航天员乘员组的生命安全,一直是大家关注与研究的重点。

中继卫星系统主要用于航天器运行段的数据中继和轨道确定。本文主要探讨如何利用中继卫

星系统高覆盖、高增益的特点,进一步提升载人航天任务的飞船返回舱搜索、航天员救援能力。

## 2 中继卫星系统简介

中继卫星系统是二十世纪八十年代发展起来的特殊卫星系统,主要为中低轨航天器提供跟踪测轨和大容量数据传输服务。为适应航天器平台的特点,中继卫星上均安装有大大口径、高增益的跟踪天线,用于和航天器建立点对点的数据链路并通过中继卫星的通信转发器完成航天器与地面的单向或双向数据传输。

中继卫星系统的主要功能包括:

- (1)星间单址天线扫描、搜索并跟踪航天器。
- (2)通过星间 S/Ka 频段与航天器进行前返向数据传输。
- (3)使用星间 S/Ka 频段测量航天器与中继卫星的径向距离。

中继卫星系统的主要特点为:

- (1)覆盖率高。位于同步轨道的单颗中继卫星可覆盖约 1/3 地球表面。
- (2)通信能力强。相对于一般的通信卫星,中继卫星的星间高增益星间天线具有更强的通信能力。
- (3)扫描搜索能力强。通过星间窄波束天线的扫描功能,可以快速发现目标,并可结合对目标的角度、距离数据,实现对目标的定位。

来稿日期:2009-12-27;修回日期:2010-02-10。

作者简介:刘保国(1969.02-),男,硕士,高级工程师,主要从事航天测控系统总体工作。

### 3 中继卫星系统在应急救生中的通信应用模式

#### 3.1 模式构建

为使地面任务指挥控制中心及时了解航天员信息,并与返回舱中的航天员进行通信,须在载人飞船返回舱上安装中继卫星终端设备,与中继卫星系统、地面任务指挥控制中心形成双向链路,完成返回舱内航天员与地面任务指挥控制中心间的语音通信及关键生理数据传输任务。

系统组成框图如图 1 所示。

定义由地面任务指挥控制中心经中继卫星系统到返回舱的链路称为前向链路,由返回舱经中继卫星系统到地面任务指挥控制中心的链路称为返回链路。

返回舱应急着陆后,可按以下模式与地面任务指挥控制中心建立通信链路:中继终端着陆后即通过中继终端向中继卫星发送返回链路信号,同时卫星天线指向预定区域并向中继终端发送前向链路信号。返回链路建立后,即将解调后的航天员关键生理参数传输至位于控制中心的航天员医学专家组。前向链路建立后,地面任务指挥控制中心可按需通过前向链路呼叫航天员,航天员也可根据中继终端前向链路锁定指示,主动呼叫地面任务指挥控制中心。

#### 3.2 链路设计要素

##### 3.2.1 星间链路频率选取

星间频率有 S 频段和 Ka 频段可供使用。考虑以下因素,应优选 S 频段作为星间频率通信频段:

(1)星间 S 频段天线波束比 Ka 频段更容易实现对返回舱的覆盖。S 频段天线的半功率波束宽度在地面的覆盖区域半径可达 2000km 左右,而 Ka 频段的星间天线波束宽度约为 200km,选用 Ka 频段很容易因天线指向偏差造成天线难以覆盖返回舱。

(2)S 频段相对于 Ka 频段具有较小的大气衰减因子。飞船返回舱着陆后的姿态的不确定性,决定了中继终端天线的准全向、低增益特性,在此条件下,中继终端的发射功率是制约通信质量的主要因素。S 频段的大气衰减值约在 0.5dB 左右,而 Ka 频段的大气衰减值在恶劣天气下可达 10dB 以上,选用 S 频段有利于节省返回舱的电源功率,延长返回舱与指挥控制中心之间的通信时间。

(3)选用 S 频段可以和返回舱上其它 S 频段天线统一设计。通常情况下,飞船返回舱上都安装有近全向的 S 频段测控天线,中继终端选用 S 频段,可以将中继终端天线和 S 频段测控天线进行一体化设计,减小飞船的结构布局难度。

##### 3.2.2 中继终端通信参数选择

为保证载人飞船返回舱应急着陆后通信链路的

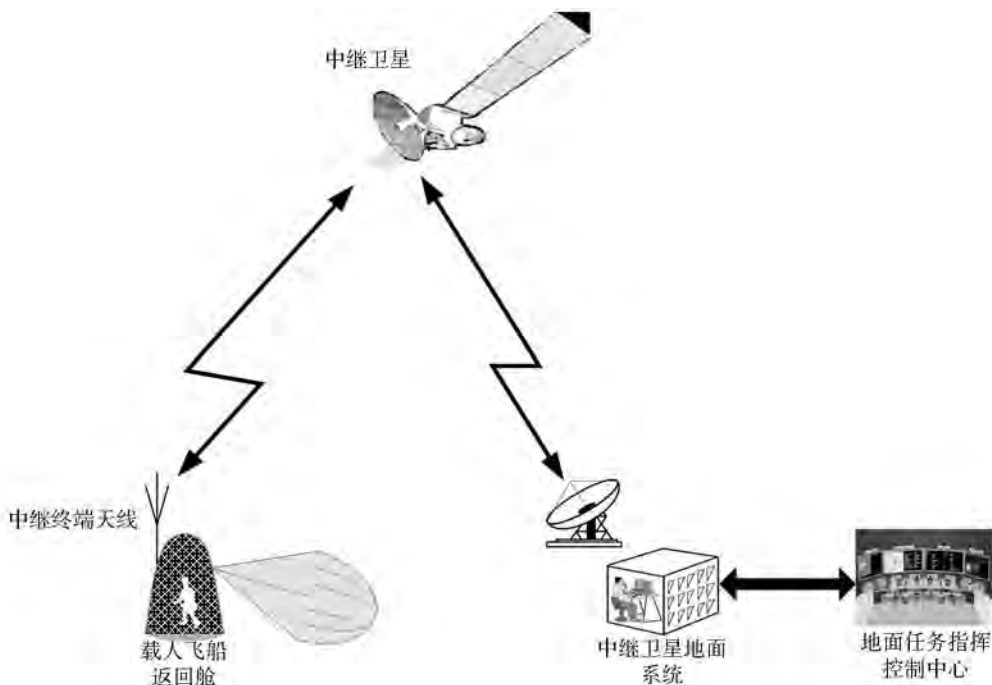


图 1 载人飞船返回舱使用中继卫星通信链路组成示意图

可靠建立,终端通信参数初步考虑如下:

#### (1)关键生理遥测及双向话音速率选择

为降低舱载终端天线及发射功率方面的设计难度,应尽可能降低话音数据速率。根据工程经验,可选择双向 2.4kbps 的话音数据速率作为基本的通话速率,航天员关键生理遥测参数选用 1.8kbps 的数据速率。

#### (2)话音时延

若以帧为单位进行传输,必然引入话音通信的组包时延,特别在低速率条件下,数据帧的长短的选取要同时兼顾传输效率和话音传输时延两个因素。经初步计算,选取由两字节帧同步字、1 字节状态字、15 字节话音数据组成的数据帧,在帧传输效率为 83% 的条件下,可以保证空间及各设备的单向时延控制在 500ms 以内,保证控制中心与航天员的双向话音交流效果。

#### (3)中继终端天线

由于飞船返回舱着陆后姿态具有不确定性,中继终端天线需设计为准全向天线,可以和飞船上的 S 频段测控天线综合设计,也可以采用返回舱根据着陆姿态,选择性弹出中继终端天线的工作方式,以保证实现对中继卫星方向优于  $-3\text{dBi}$  的天馈线增益。

#### (4)发射功率

为减小降低载人飞船返回舱的中继终端功耗,

应采用高效率的信道编码技术以提高数据传输质量。初步估算,中继终端发射 5~10W 功率,即可实现双向话音通信及关键生理遥测数据的传输。

#### (5)前向通信接收能力

在天馈线增益  $-3\text{dBi}$ 、接收噪声约 500K 的条件下,可以在有较大电平余量的条件下,满足中继终端信号捕获和通信质量要求。

## 4 中继卫星系统在应急救援中的定位应用模式

### 4.1 中继星定位原理

利用中继卫星系统对目标的测距功能,可以提高对飞船返回舱的预报落点精度。其基本原理是:在一颗中继卫星的条件下,利用中继卫星对返回舱的距离测量数据,结合返回舱着陆区的粗略海拔高度,可以在地球表面确定出一条位置曲线,因存在测量误差该曲线为一定宽度的封闭条带。该条带与由返回弹道预报的着陆区域相交,可以缩小预报区域,提高返回舱的着陆预报精度。单颗中继卫星对返回舱的定位原理示意图如图 2 所示。

若有两颗中继卫星可以同时利用,则可将单星在地面上确定的误差条带,缩小为两个误差条带交汇的误差区域,提高返回舱的落点定位精度。

### 4.2 单颗中继卫星的返回舱定位精度

单颗中继卫星在地球表面确定的条带宽度,直



图 2 单颗中继卫星对载人飞船返回舱的定位原理示意图

接决定其提高落点预报精度的有效性。由于在测距精度一定的条件下，条带宽度与中继卫星的定点位置、返回舱的地理位置密切相关，下面简要分析其相互关系。

设中继卫星的定点东经为  $77^\circ$ ，其距地心的距离为  $a$ ；地球的半径为  $R_1$ ；测量得到的中继卫星距返回舱的距离为  $R_2$ ，则其经、纬度为  $L、B$  处，存在如下关系：

$$R_2^2 = R_1^2 + a^2 - 2aR_1 \cos B \cos(L-77) \quad (1)$$

(1)式分别对经度、纬度求导，得：

$$2R_2 dR_2 = 2aR_1 \sin B \cos(L-77) dB \quad (2)$$

$$2R_2 dR_2 = 2aR_1 \cos B \sin(L-77) dL \quad (3)$$

将由(1)式变形得到的  $R_2 = (R_1^2 + a^2 - 2aR_1 \cos B \cos(L-77))^{1/2}$  分别代入(2)、(3)式，得：

$$(R_1^2 + a^2 - 2aR_1 \cos B \cos(L-77))^{1/2} dR_2 = aR_1 \sin B \cos(L-77) dB \quad (4)$$

$$(R_1^2 + a^2 - 2aR_1 \cos B \cos(L-77))^{1/2} dR_2 = aR_1 \cos B \sin(L-77) dL \quad (5)$$

取测距误差  $dR_2$  为 3m， $a$  为 42164km，在不同的经度、纬度条件下，求出不同地面经度、纬度处的地面定位误差(换算成地面经度、纬度方向上的距离并取绝对值)如表 1 所示。

表 1  $77^\circ E$  中继卫星的地面定位误差估算结果

北纬( $^\circ$ )	东经( $^\circ$ )					
	60	70	80	90	100	110
20	dB=7.9km dL=8.9km	dB=7.6km dL=21.2km	dB=7.6km dL=49.3km	dB=7.8km dL=11.5km	dB=8.3km dL=6.7km	dB=9.3km dL=4.9km
25	dB=6.5km dL=9.0km	dB=6.2km dL=21.3km	dB=6.2km dL=49.6km	dB=6.3km dL=11.6km	dB=6.8km dL=6.7km	dB=7.5km dL=4.9km
30	dB=5.5km dL=9.0km	dB=5.3km dL=21.5km	dB=5.2km dL=50.1km	dB=5.4km dL=11.7km	dB=5.8km dL=6.8km	dB=6.4km dL=4.9km
35	dB=4.8km dL=9.1km	dB=4.6km dL=21.7km	dB=4.6km dL=50.5km	dB=4.7km dL=11.8km	dB=5.1km dL=6.8km	dB=5.1km dL=6.8km
40	dB=4.4km dL=9.2km	dB=4.2km dL=21.9km	dB=4.2km dL=51.0km	dB=4.3km dL=11.9km	dB=4.6km dL=6.9km	dB=5.1km dL=5.0km
45	dB=4.0km dL=9.3km	dB=3.8km dL=22.2km	dB=3.8km dL=51.6km	dB=3.9km dL=12.0km	dB=4.2km dL=7.0km	dB=4.6km dL=5.1km

注：在与北半球相对称的南半球，精度相同。

由上表可知，除在经度上与中继卫星相距较近的区域，受测量体制限制，在经度方向的误差较大外，在经度上与中继卫星定点位置相差 13 度左右(经度大于 90 度)时，对返向舱的地面定位误差可达 12km 以内；且随着在经度上与中继卫星定点位置相差越远，地面定位精度越高。

上述定位值作为信息源之一，在卫星导航系统异常的条件下，可以结合中继卫星的数据传输，快速准确地提供载人飞船返回舱的落点位置。

### 5 小结

目前，返回舱着陆后与地面任务指挥控制中心

的通信手段及对其定位手段已有多种，但各种手段均有不同的优势和劣势。若能使用中继卫星系统完成航天员着陆后航天员关键生理数据传输、导航数据传输及航天员与地面任务指挥控制中心间的通信任务，利用中继卫星系统提高对返回舱的落点预报精度，可以有效地提高任务的可靠性，特别在应急着陆区时，上述应用将更有意义。

### 参 考 文 献

[1] 沈作军.载人航天故障统计分析及其安全性要求体系研究,中国航天.1997.11  
 [2] 黄捷.电波大气折射误差修正,国防工业出版社,1999.6

(下转第 25 页)