

冲击测量设备在返回舱落地后运动状态确定中的应用

贾世锦

(中国空间技术研究院总体部)

摘要 介绍利用冲击测量设备确定返回舱落地后运动状态的基本原理,并结合着陆冲击的测量结果,对神舟六号返回舱着陆后的运动过程进行分析。

关键词 冲击 返回舱 运动

中图分类号 V555 **文献标识码** A **文章编号** 1674-5825 (2009) 02-0061-04

1 引言

载人航天飞行中航天员的安全至关重要,着陆过程中的安全性也是其中的一个重要环节。返回舱着陆过程中的运动特性会对航天员的安全性带来不可忽视的影响,需要在飞行试验中对其进行测量分析,为判断飞船在着陆过程中的工作状况提供依据。

返回舱着陆前与降落伞一起做圆锥摆运动,垂直速度约 8m/s,水平速度可达 10m/s 以上并与当地风速相关,姿态角可达 20°。在返回舱距离地面约 1m 高度时,着陆反推发动机点火降低舱体的垂直速度,但水平速度和姿态基本保持不变。返回舱接触地面瞬间,会产生约 40g 的冲击载荷,而后在降落伞和惯性力的共同作用下发生持续几秒钟的翻滚。综上,返回舱着陆过程中的运动特性主要是运动幅度大、时间短并伴有较强的冲击。

2 常规运动测量方法的局限性

目前测量物体运动状态的比较常规的方法有两种:利用惯性测量设备进行测量和利用图像处理技术进行测量。

惯性测量设备主要指陀螺仪,陀螺仪测量姿态具有测量范围广、精度高的特点。目前地面试验使用的压敏陀螺测量范围可达 $\pm 180^\circ$ 、测量精度优于 1° 。但该设备的缺点是在强冲击振动环境中信号会出现

紊乱,影响测量结果,不能用来测量物体撞击过程中的运动情况。飞船返回舱内安装了精度很高的速率陀螺测量舱体的角速度,为保证其工作性能在安装界面上采取了减震措施,但仍不能适应着陆过程中的冲击环境,因此在舱体落地前即断电。

图像测量技术是利用高速摄像拍摄被测目标,并利用分析处理软件提取目标的姿态、速度等运动参数。这种测量手段特别适用于高速运动目标的测量,但有以下特殊要求:

- (1)摄像机视野内需设立标尺或在被测目标上设置标记;
- (2)被测物体的运动平面与摄像机光轴垂直,或采用多台摄像机以一定夹角进行拍摄;
- (3)被测目标有足够的亮度,满足高速摄像的曝光要求。

由于返回舱着陆在野外、着陆地点不确定,地面搜索人员很难跟踪到返回舱的落地过程。此外,着陆反推发动机工作时掀起的巨大沙尘会笼罩住返回舱,即使在现场也拍摄不到返回舱。

综上,常规的运动测量方法都不适宜对返回舱着陆后的运动状态进行测量。

3 利用冲击测量设备确定舱体运动状态的原理

冲击测量设备指普通的冲击测量传感器,分为压阻式和压电式两种。这种设备具有测量精度高、操

作使用简单、环境适应性好的特点,广泛应用于冲击环境的测量。

冲击传感器测量的冲击波形中包含着方向性信息,它反映了在冲击在该敏感轴上的分量。对于着陆冲击这种低频成分很丰富的冲击波形,利用 3 个正交安装的冲击传感器,采用简单的矢量分析方法,即可大致确定冲击的方向。图 1 是返回舱着陆过程中

一种比较典型的冲击波形。

返回舱在落地后翻滚过程中会与地面发生一系列撞击,通过在舱体的质心位置安装一套三向冲击传感器记录着陆冲击载荷(见图 2),利用冲击传感器测量的冲击波形含有的方向性信息来确定舱体不同位置与地面撞击的先后顺序,在适当结合舱体结构的变形情况及其他特征,便可确定被测物体的运动状况。

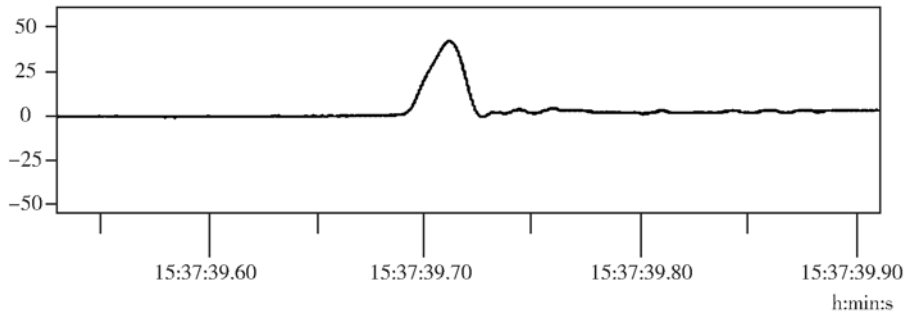


图 1 舱体着陆瞬间的冲击波形

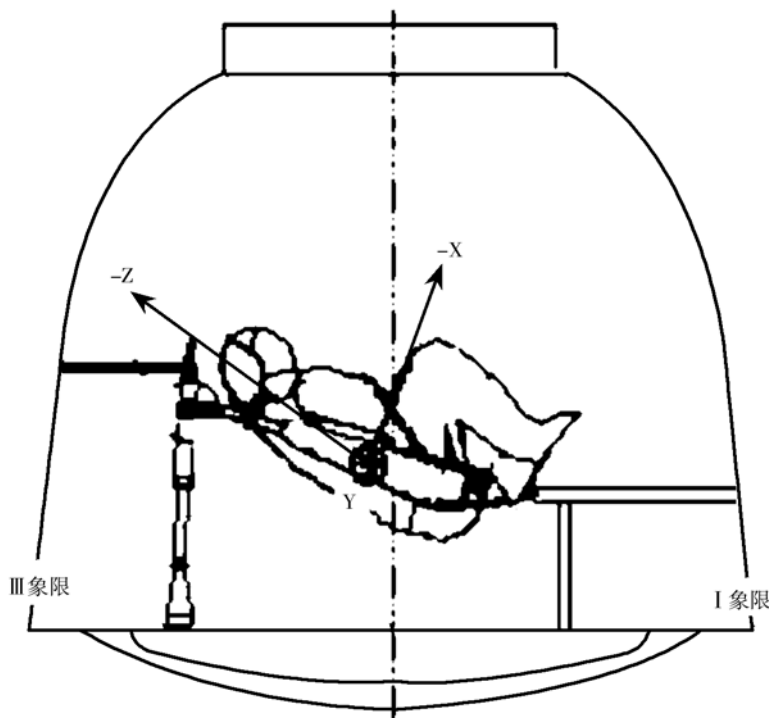


图 2 冲击传感器在返回舱内安装示意图

4 神舟六号返回舱落地后运动状态确定

神舟六号返回舱内两个乘员座椅上各安装了一套个人冲击测量仪,测量并记录了返回舱着陆过程中的冲击情况。利用第 3 章阐述的原理,并结合着陆现场的有关痕迹,确定了舱体的着陆运动过程。

4.1 返回舱着陆现场的有关情况

根据返回现场的观察结果,现场共有以下几个痕迹。其主要特征描述如下:

- (1)痕迹 1:此处是反推发动机的点火点,此次试验发动机在地上喷出的痕迹较浅,只有约 90mm;
- (2)痕迹 2:此处是一个直径约 500mm 的圆坑,其中散布着脱落的防热层颗粒;
- (3)痕迹 3:此处是一个月牙形痕迹,可以看出是

锐形硬物在地上铲出的痕迹，旁边有从其中铲出的土块；

(4)痕迹 4:此处是一个长条形截面为 V 字形的痕迹；

(5)痕迹 5:返回舱的最终落点,返回舱旁边有后端框压出的圆弧形痕迹。

几处痕迹的相互位置关系如图 3。返回舱点火点与返回舱最终位置距离约 8m、与痕迹 2 距离约 4m；痕迹 2 与痕迹 3 距离约 1m；痕迹 3 与痕迹 4 距离约

冲击来自人体背部；

3)第 3 个冲击的正负向基本量级一致,判断冲击方向应垂直于 X 向；

4)第 4 个冲击为正向冲击,峰值约 3g,判断其来自人体胸部,即返回舱前端方向。

然后分析 Z 向传感器的测量波形,也是 4 个明显的冲击峰,且出现的时间点与 X 向冲击峰相对应：

1)第 1 个是持续时间 160ms 的正向方波,峰值约 2g,冲击来自人体臀部,由着陆反推发动机工作产生；

2)第 2、3 个冲击均为负向冲击,峰值约 7.5g,冲击来自人体头部方向；

3)第 4 个冲击为正向冲击,峰值约 5g,冲击来自人体臀部。

综合两个方向的波形,再考虑到不同方向大小关系。可以得到以下结论：

(1)第 1 个冲击是反推发动机点火的冲击,来自大底方向,在人体背部方向的分量大于臀部方向；

(2)第 2 个冲击方向为人的背部和头部,冲击来自舱体的 III 象限方向；

(3)第 3 个冲击明显是人体头部方向,冲击应来自返回舱前端；

(4)第 4 个冲击方向是人的胸背和臀部,冲击应来自 I 象限方向。

为进一步确定舱体的运动状态,还需结合现场的痕迹来分析着陆时的冲击波形。

(1)首先,痕迹 2 的特征符合侧壁撞击的特点,且其中有脱落的防热层颗粒,返回舱在具有一定水平速度的情况下是可能落地后倾倒的,且从大底残留的土壤痕迹可以判断舱体落地的水平速度朝向 III

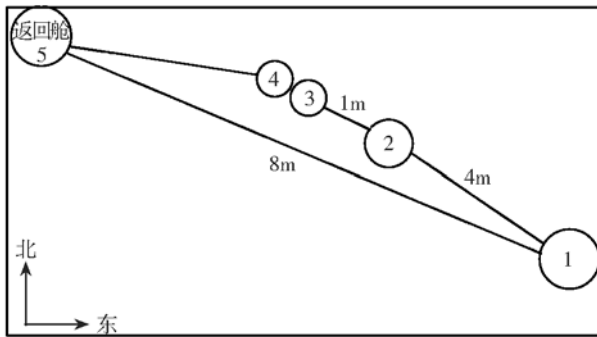


图 3 现场痕迹位置关系示意图

200mm。

4.2 返回舱着陆运动状态分析

返回舱内乘员座椅上个人冲击测量仪测得着陆过程中座椅上的冲击波形如图 4、图 5。

首先分析 X 向传感器的测量波形,共有 4 个明显的冲击峰：

(1)第 1 个是持续时间 160ms 的负向方波,峰值约 3.5g,冲击来自人体背部,判断其为由着陆反推发动机工作产生(反推发动机工作时间约 160ms)；

(2)第 2 个冲击同样是负向冲击,峰值约 13G,

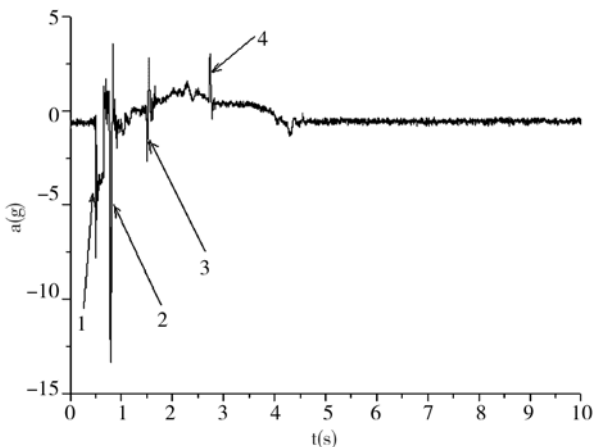


图 4 中间座椅 X 向冲击

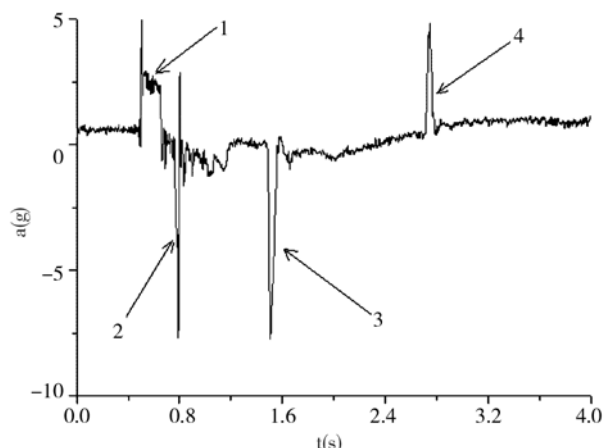


图 5 中间座椅 Z 向冲击

象限方向。这样侧壁与地面发生撞击,且冲击方向与记录到的第 2 个冲击结果相符;

(2)痕迹 3 的特征与伞舱盖耳片的外形相近,且备份伞舱耳片后面的撑板发生变形,显然耳片曾受到外力作用;

(3)痕迹 4 的特征与钛框在地上压出的特征相似。钛框与地面接触产生的冲击来自返回舱前端,与冲击测量仪记录到的第 3 个冲击结果相符。但从痕迹 4 的特征说明返回舱没有完全倒立,而是倾斜状态的倒立;

(4)返回舱旁边的圆弧痕迹 5 在返回舱的 I 象限方向,说明舱体后端框 I 象限位置曾经与地面接触,这时产生的冲击方向与记录到的第 4 个冲击结果相符。显然这是返回舱以倒立姿态倒下时后端框 I 象限附近与地面接触,由于返回舱的重心偏向大底方向,舱体又恢复到正立姿态。

根据以上分析,着陆现场的撞击痕迹与记录到的冲击波形是相对应的,最终确定返回舱落地后的运动情况如下:返回舱直立状态点火;落地后向 III 象限方向倾倒,侧壁与地面接触,造成侧壁防热层脱落;舱体在惯性作用下继续翻滚,伞舱盖和前段钛框

撞击地面,大底翘起呈接近倒立姿态;随后舱体继续翻滚,并最终恢复为直立状态。

5 结论与说明

(1)冲击测量设备作为一种普通的测量手段,能够克服返回舱着陆现场的各种不利环境因素对舱体的运动状态进行测量。

(2)该测量方法仅能对舱体的运动状况进行定性的测量,不能获得准确的角度和角速度信息。

(3)利用该测量系统的测量结果分析舱体运动特性时,如果能够结合着陆现场的具体情况进行分析则准确度更高。

(4)利用冲击测量设备进行被测物体的运动状态测量分析具有重要的实用意义,在实际工程中可进行运动的辅助分析。◇

参 考 文 献

- [1] 张福学.压电晶体陀螺.北京:国防工业出版社,1981
- [2] 张三喜,姚敏,孙卫平.高速摄像及其应用技术.北京:国防工业出版社,2006

The Use of Impact Sensor in the Movement Analysis of the Return Module After Landing

JIA Shijin

(Beijing Institute of Spacecraft Systems Engineering)

Abstract: This paper introduce the theory of the movement analysis by using impact sensor. Through the easurement of the impact sensor,the movement of the Shenzhou-6 spaceship return module after landing is found.

Keywords: Subject Term; Impact; Return module; Movement