

一种火工分离系统反馈装置设计

赵晓雨, 杨安民, 夏冬星, 贺爱锋

(陕西应用物理化学研究所, 陕西 西安, 710061)

摘 要: 针对由多个爆炸螺栓组成的分离系统的分离故障定位问题, 设计了一种基于激光反射的分离反馈装置, 根据检测反射光强度判断各个爆炸螺栓是否分离。通过将反馈装置与爆炸螺栓上反射膜错位或重合, 来模拟爆炸螺栓的分离或发生故障, 并对反馈装置功能进行试验验证。结果表明: 错位时反馈光强低于 100nW, 重合时反馈光强大于 100nW, 从而可对分离故障位置进行准确定位。

关键词: 分离系统; 反馈装置; 故障定位; 激光反射

中图分类号: TJ450.6 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1003-1480.2021.03.002

Design on the Feedback Device for Initiating Explosive Separation System

ZHAO Xiao-yu, YANG An-min, XIA Dong-xing, HE Ai-feng

(Shaanxi Applied Physics and Chemistry Research Institute, Xi'an, 710061)

Abstract: Aiming at the separation fault location problem of the separation system composed of multiple explosive bolts, a separation feedback device based on laser reflection was designed, and each explosive bolt was separated or not can be judged by detecting the intensity of reflected light. The feedback device and the reflective film on the explosive bolt were staggered or overlapped, to simulate the separation or failure of the explosive bolt, and the function of the feedback device was tested and verified. The results show that when the two positions are staggered, the feedback light intensity is less than 100nW, when the two positions are overlapped, the feedback light is stronger than 100nW, so that the separation fault can be accurately located.

Key words: Separation system; Feedback device; Fault location; Laser reflection

爆炸螺栓是火工系统的重要功能部件, 通过螺栓与螺母的配合实现被连接两级的固连与分离^[1]。许多国家都发生过因分离故障而导致的导弹飞行失败, 例如, 北极星 AX 潜地导弹因二级分离故障而导致飞行试验失败; 潘兴 I 两次飞行试验分别因级间分离故障、头体分离故障导致飞行试验失败等^[2]。为提高火工分离系统的可靠性, 分离系统常常采用冗余设计, 例如冗余的起爆、传爆装置^[3], 然而, 一旦发生分离故障, 目前仍无法直接确认失效的爆炸螺栓。因此, 研究多爆炸螺栓分离系统的分离故障定位方法非常有必要。

基于激光反射原理的光路通断检测技术是常用的光路故障定位方法, 其因较强的抗电磁干扰能力而被应用于激光火工系统的自检技术^[4-5]。本文设计了一种基于激光发射的爆炸螺栓分离反馈装置, 用于多爆炸螺栓组成的分离系统故障定位。通过在各爆炸螺栓特定位置镀反射膜, 并将反馈装置固定在反射膜对应位置上, 检测其反馈光信号的强弱来逐一判断爆炸螺栓是否分离。本设计可有效判断故障类型, 准确定位故障位置, 为分离任务失败时故障归零和改进设计提供重要信息。

收稿日期: 2021-03-10

作者简介: 赵晓雨 (1993-), 男, 在读硕士研究生, 从事火工分离系统技术研究。

1 反馈装置设计

1.1 结构设计

反馈装置结构如图1所示,装置主体为空心圆柱及光学透镜,空心圆柱内径及外径可根据使用的爆炸螺栓而具体设计。

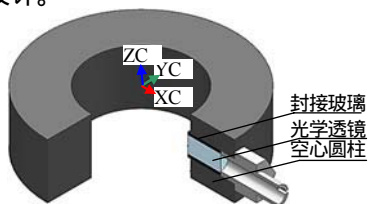


图1 反馈装置结构

Fig.1 Feedback device structure

光学透镜封接在空心圆柱中,为 $\Phi 1.8\text{ mm}$ 自聚焦透镜,节距为 $0.5P$ 。光学透镜一端靠近螺栓体,正对透镜的螺栓体表面涂覆反射膜,透镜另一端通过光缆与光检测器相连。由于反馈装置需要实时反馈爆炸螺栓体是否确切分开,因此安装位置应尽量靠近爆炸螺栓体的分离面,同时不影响爆炸螺栓的装配,其安装位置如图2所示。

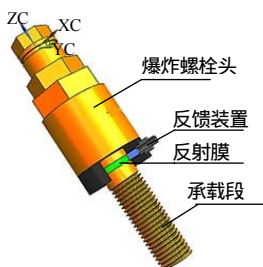


图2 反馈装置安装位置

Fig.2 Installation location of feedback device

安装时,爆炸螺栓从空心圆柱中穿过,必要时可以将空心圆柱与爆炸螺栓头下表面焊死。激光通过光学透镜辐照在爆炸螺栓体表面,螺栓体表面涂覆一层反射膜,螺栓体分离时承载段被推出,则反射膜随承载段部分相应下移,如图3所示。

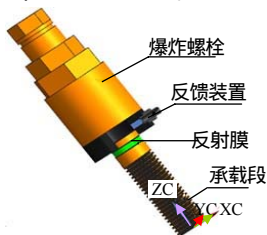


图3 反射膜与反馈装置错位

Fig.3 Reflective film and feedback device misaligned

由于反馈装置与爆炸螺栓头部固连,反射膜与光学透镜错位无法反射激光,通过试验可确定当反射光路的功率降至 100 nW 以下时表明光路由通变为断,反馈装置产生螺栓体成功分离的反馈信号。

1.2 功能原理

本设计的反馈光路基于激光反射技术,采用低功率激光器作为反馈光源,通过分束器将一束激光分为多束,连接多个反馈装置。

反馈光源发出低功率的激光,经过光缆传输及光学透镜辐照在爆炸螺栓体表面上,螺栓体表面上涂覆一层反射膜,激光被反射膜反射,通过环形器将光输入信号采集判断模块中。信号采集判断模块由光电池和单片机组成,光电池将光信号转换为电信号,进而由单片机进行逻辑判断。

以4发爆炸螺栓组成的分离系统为例,反馈功能的实现如图4所示。图4中激光器常开,爆炸螺栓作用前光路为通,有光信号;爆炸螺栓作用分离后光路为断,无光信号。

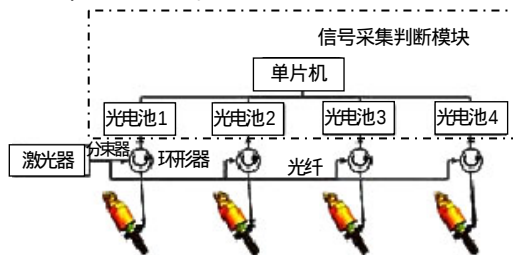


图4 反馈功能实现示意图

Fig.4 Schematic diagram of feedback function realization

光电池通过检测光信号的有无向单片机发送螺栓体是否分离的反馈信号,信号采集判断模块判断分离面是否分开的逻辑为:在 t 时间(可根据需求设定)内,根据收到的反馈信号数判断分离面是否成功分开,通过单片机中的记录数据判断是哪一发爆炸螺栓失效所导致的分离失败。

2 试验与结果分析

2.1 反馈装置光路通断阈值确定试验

为验证反馈功能的可行性,并确定反馈装置光路通断阈值,进行了单个反馈装置基础验证试验,布置如图5所示,分为反馈装置与反射膜正对及与反射膜错位两种位置,开展对照试验。激光器采用 $1\ 310\text{ nm}$

激光二极管,反射膜的发射波段为 1 250~1 450nm,1 310nm 激光的透过率小于 0.3%。在常温状态,测试激光器不同输出功率下,两种位置的反馈装置的反射功率,测试结果见表 1。

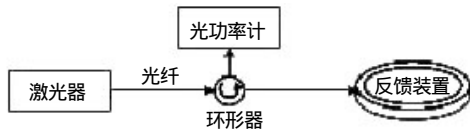


图 5 反馈功能验证试验布置

Fig.5 Verification test layout diagram of feedback function

表 1 单个反馈装置测试结果

激光器输出 功率/ μW	反射功率/nW	
	装置与膜正对	装置与膜错位
254.21	126.53×10^3	22.62
308.03	152.16×10^3	24.51
352.06	174.04×10^3	23.36
406.13	201.46×10^3	22.06
453.18	225.39×10^3	21.95
501.35	248.12×10^3	22.28

由表 1 中可以看出,反馈装置与反射膜正对时,反射功率与激光二极管输出功率存在线性关系;反馈装置与反射膜错位时,激光二极管的输出功率对反射功率几乎没有影响,且保持在 20nW 左右,反馈装置与反射膜正对和反馈装置与反射膜错开两种位置对应的反射功率存在 10^3 数量级的差异。考虑使用环境差异和判断裕度,当反射功率低于 100nW 时,即可认为反馈装置与反射膜错位,判定爆炸螺栓成功分离。

2.2 故障定位准确性验证试验

为验证故障定位的准确性,进行了多个反馈装置联用基础验证试验,布置如图 6 所示。

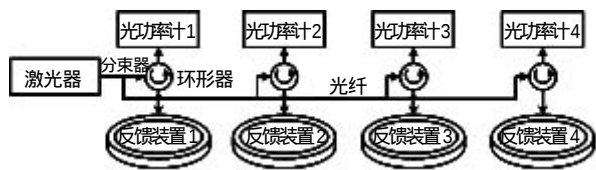


图 6 多个反馈装置验证试验布置

Fig.6 Verification test arrangement of multiple feedback devices

图 6 中 4 个反馈装置组成分离判断网络,若有 1 个或多个反馈装置反射功率大于 100nW,则表明分离面未成功分离,同时系统可定位故障位置。

图 6 中采用光功率计判断光路的通断,当反射功

率低于 100nW 即可判断光路断开。测试 1 发及多发爆炸螺栓失效工况下,系统定位故障位置的准确性,测试结果如表 2 所示。

表 2 故障定位测试

Tab.2 Fault location test

失效数	激光器输出功 率/ μW	光功率 计 1 读 数/nW	光功率 计 2 读 数/nW	光功率 计 3 读 数/nW	光功率 计 4 读 数/nW	故障位置
1	503.15	50 132.54	22.32	50 122.94	50 094.34	反馈装置 1,3,4
2	499.98	49 871.12	49 764.22	23.82	22.91	反馈装置 1,2
3	501.36	22.53	22.64	50 054.71	22.63	反馈装置 3

从表 2 中可以看出,当反馈装置对应的光功率计读数大于 100nW 时表明爆炸螺栓未作用,发生故障,通过光功率计读数可判断故障位置。

3 结语

本文针对分离任务失败时无法确认是否为爆炸螺栓失效导致和无法准确定位故障的问题,设计了一种火工分离系统的反馈装置,利用光路的通断来判断某个爆炸螺栓是否分离。通过基础验证试验,得到反馈装置与反射膜正对和错开两种位置对应的反射功率存在 10^3 数量级的差异,可有效表明爆炸螺栓的状态,且当爆炸螺栓失效时可准确判断故障位置,为故障归零及改进设计提供信息。

参考文献:

- [1] 王凯民.军用火工品设计技术[M].北京:国防工业出版社,2006.
- [2] 郭凤美,余梦伦.导弹分离设计技术研究[J].导弹与航天运载技术,2014(1):5-10.
- [3] 马吉亭,李运来.新型的固体导弹分离火工系统[J].火工品,2002(1):8-11.
- [4] 祝明水,邢宗仁,蒋明,蒋小华.激光火工品单光纤光路检测技术[J].含能材料,2014,22(04):525-528.
- [5] 尹国福,鲁建存,刘彦义,贺爱峰,曹楠强.激光起爆系统光路完整性检测技术研究[J].激光技术,2011,35(04):554-558.