光电技术及应用

DOI：10.16818/j.issn1001－5868.2021.04.024

空间望远镜大尺寸快门寿命试验研究

赵 波[1,2]，梁 伟[1*]，蒋仁奎[1]

（1. 中国科学院光电技术研究所，成都 610209；2. 中国科学院大学，北京 100049）

摘 要： 针对空间环境下的大面阵光学望远镜的大尺寸快门，设计了一种关于空间环境的高保真寿命试验方案。该方案以大口径真空罐为平台，充分考虑了大尺寸快门在空间运行时面临的复杂环境因素，为其提供了极为真实的在轨运行环境。针对该快门在轨开合100万次的寿命指标，设计了具体的试验方案，并搭建了高保真空间环境试验平台，利用加速寿命试验的原理使快门机构在真空罐中运行。结果表明该试验方案可为快门提供极为真实的空间在轨运行环境，能够支撑其完成100万次的开合动作。

关键词： 空间；大尺寸快门；寿命试验；高保真

中图分类号： TH122 **文章编号：** 1001－5868(2021)04－0574－05

Experimental Research on the Lifetime of Large Shutter of Space Telescope

ZHAO Bo[1,2], LIANG Wei[1], JIANG Renkui[1]

（1. Institute of Optics and Electronics of the Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, CHN;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, CHN）

Abstract: Aiming at the large-size shutter of the large-area-array optical telescope in the space environment, a high-fidelity life test program for the space environment is designed. A large-caliber vacuum tank is used as the platform, and the complex environmental factors of large shutter in space operation are fully considered, providing a very real on-orbit operating environment for it. Aiming at the life index of the shutter opening and closing 1 million times on orbit, a specific test plan was designed, and a high-fidelity space environment test platform was built, which used the principle of accelerated life test to make the shutter mechanism operate in a vacuum tank. The results show that the test program can provide a very real space on-orbit operation environment for the shutter, and can support it to complete 1 million opening and closing actions.

Key words: space; large size shutter; life test; high fidelity

0 引言

巡天相机作为某空间站光学舱后端的成像探测器，其焦面尺寸达到了600 mm×510 mm，这一尺寸在国内外都是前所未有的。为配合主焦面曝光，同时保护焦面，我们为巡天相机配备了大尺寸快门组件。考虑到快门组件的特点，采用了两侧对开式快门方案，快门叶片在0°～90°旋转，实现快门开闭的功能。巡天相机需在轨运行超过10年，在此期间，快门的开合次数将超过100万次。

受经费、技术和时间等条件的限制，如何确切验证航天器机构重要部件的寿命指标是困扰业界的一个难点。尤其对于一些超过10年工作寿命的航天器机构，如果采用正常工况对其进行寿命试验验证，所耗费的时间和费用难以估量。同时，航天产品多为小样本且研制成本高昂，不可能采用增大样本量以缩短试验时间的方式进行寿命试验。因此加速寿

收稿日期：2021－05－18.

基金项目：国家重点研发计划项目(2016YFB0500200).

* **通信作者：**梁 伟

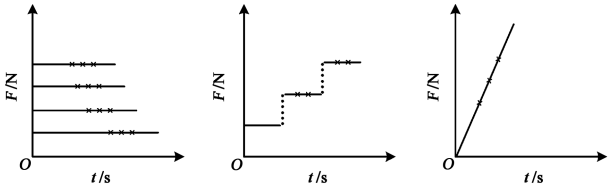
命试验在降低航天器机构寿命试验费用、缩减试验时间等方面的优势就体现出来了[1-8]。

美罗姆航展中心于 1967 年首次给出了加速寿命试验的统一定义[9]：加速寿命试验(Accelerated Life Test)是在进行合理工程及统计假设的基础上，利用与物理失效规律相关的统计模型对在超出正常应力水平的加速环境下获得的可靠性信息进行转换，得到试件在额定应力水平下可靠性特征可复现的数值估计的一种试验方法。加速寿命试验针对试件的某一应力进行加速(在不改变失效机理的情况下)，这使得试验的时间大为缩短，在提高试验效率的同时，大大降低了试验成本，这为评定高可靠长寿命产品的可靠性创造了条件。

加速寿命试验自 20 世纪 70 年代初进入我国起，就引起了工程界的关注。到目前为止，已经在很多领域得到了广泛应用[10-18]。

1　试验原理

对试件进行加速寿命试验时，试验应力有不同的加载方式。根据加载方式的不同，加速寿命试验被分为三类：恒定应力试验、步进应力试验和序进应力试验，如图 1 所示。把所有样品分成若干组，每组样品的加速应力恒定且有所不同。当试验进行到规定的时间(亦称截尾时间)或规定的时效数(亦称截尾数)时结束，此为恒定应力试验；把全部样品置于某加速应力水平下，当试验进行到某截尾时间或某截尾数时，把加速应力提升到另一更高水平，如此往复，直到试验进行到总的截尾时间或总的截尾数时结束，此为步进应力试验；若步进应力试验中的加速应力随着时间是连续上升的，则此时的步进应力试验叫做序进应力试验。



(a)　恒定应力　　(b)　步进应力　　(c)　序进应力

图 1　三类加速寿命试验

快门的在轨运行寿命预计在 10 年以上，在此期间，快门叶片的开合次数将达到 100 万次。对此，我们在对快门进行加速寿命试验时，选择叶片开合速度为加速应力，同时省略快门叶片不工作时的时间，即：使快门叶片不间断地进行开合运动，看其能否达成 100 万次的寿命目标。同时，针对快门的工作环境中诸如真空、温度交变等环境，利用大口径真空罐作为试验平台，为快门提供高保真试验环境。

2　寿命试验

2.1　试验目的

根据第 1 节中的试验原理，为快门组件搭建高保真试验平台，验证其能否达到开合 100 万次(打开与关闭一个循环为 1 次)的寿命要求。

2.2　系统描述

试验系统由真空罐、快门组件、控制器及显示器组成。外部接口有：电源接口、控制命令接口、图像数据接口，如图 2 所示。

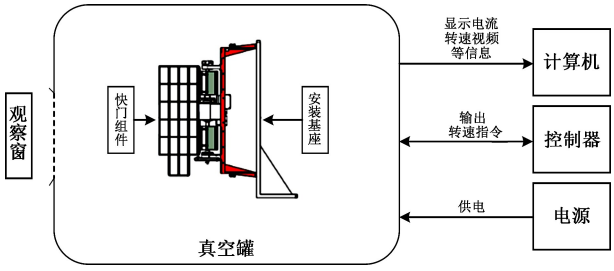


图 2　试验系统组成框图

2.3　参试设备

参试设备如表 1 所示。

表 1　参试设备

设备	数量	备注
快门组件	1	成品，试验对象；试验件及工装组合尺寸：1 100 mm×860 mm×400 mm；重量：40 kg(含工装)；主要材料：铝合金、钛合金
真空罐	1	
控制计算机	1	设置快门转速，观察电流、转速、力矩等信息。
其他	1	穿舱接插件芯数：120 芯；电源线、数据线、快门组件工装等。电源：100 V DC，150 W

2.4　试验环境和状态

结合快门实际工作时面临的轨道环境，进行了温控设计和真空设计等工作。

(1)工作温度：(7±5) ℃；

(2)工作真空度：低于 1.3×10^{-3} Pa；

(3)快门工作状态：转轴处于竖直状态；

(4)数据线引出孔：电源线，指令数据线，视频数据线，状态信息数据线。

2.5　试验准备与设备连接

对快门组件进行固定安装。为避免重力对快门运行产生额外的影响，试验时将快门组件按其转动轴线竖直放置，如图 3 所示。

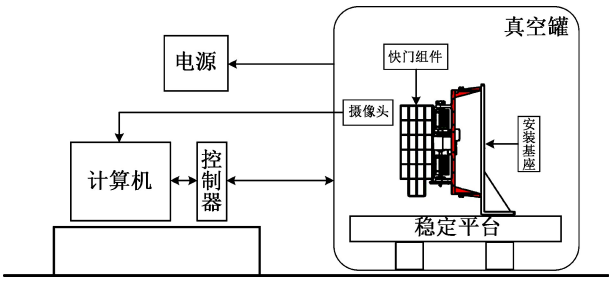


图 3 试验设备连接框图

温度采集:在驱动电机外壳上安装 1 个温度传感器,在叶片上下位置各安放 1 个温度传感器;在轴系上 3 处轴承位置各安放 1 个温度传感器,共计 6 个温度传感器对快门的温度情况进行采集监测。

2.6 试验步骤

2.6.1 初始测试

将快门组件置于常温常压环境下,使快门叶片按照每 1.0 s 打开或关闭的速度进行旋转运动,时长 100 s 以上。

在运行过程中,记录快门开合次数,按照 500 Hz 的频率记录 1 组及 1 组以上快门位置环曲线和电流环曲线。

2.6.2 真空环境下运行与检测

1)将单侧快门组件置于真空环境中,在电机驱动下,使快门叶片按照每 1.0 s 打开或关闭的速度进行旋转运动,如此连续不断,直到快门失效或快门开合 34.1 万次(34.1 万次耗时 189.4 h)后关闭真空试验罐,待恢复常温常压后进行开罐测试。在常温常压环境条件下,使快门叶片按照每 1.0 s 打开或关闭的速度进行旋转运动,时长 100 s 以上。快门运行性能如满足合格判据,继续进行寿命试验。

2)恢复试验条件,在电机驱动下,使快门叶片按照每 1.0 s 打开或关闭的速度进行旋转运动,如此连续不断,直到快门失效或快门开合 33 万次(33 万次耗时 183.4 h,累计运行 67.1 万次)后关闭真空试验灌,待恢复常温常压后进行开罐测试。在常温常压环境下,使快门叶片按照每 1.0 s 打开或关闭的速度进行旋转运动,时长 100 s 以上。快门运行性能如满足合格判据,继续进行寿命试验。

3)恢复试验条件,在电机驱动下,使快门叶片按照每 1.0 s 打开或关闭的速度进行旋转运动,如此连续不断,直到快门失效或快门开合 33 万次(累计运行 100.1 万次)后关闭真空试验灌,待恢复常温常压后进行开罐测试。在常温常压环境条件下,使快门叶片按照每 1.0 s 打开或关闭的速度进行旋转运动,时长 100 s 以上。快门运行性能如满足合格判据,继续进行寿命试验。

4)恢复试验条件,在电机驱动下,使快门叶片按照每 1.0 s 打开或关闭的速度进行旋转运动,如此连续不断,直到快门失效或快门开合 33 万次(累计运行 133.1 万次)后关闭真空试验灌,待恢复常温常压后进行开罐测试。在常温常压环境条件下,使快门叶片按照每 1.0 s 打开或关闭的速度进行旋转运动,时长 100 s 以上。快门运行性能如满足合格判据,继续进行寿命试验。

5)恢复试验条件,在电机驱动下,使快门叶片按照每 1.0 s 打开或关闭的速度进行旋转运动,如此连续不断,直到快门失效或快门开合 33 万次(累计运行 166.1 万次)后关闭真空试验灌,停止真空寿命试验。

在每次快门测试或试验运行过程中,记录快门开合次数,按照 500 Hz 的频率记录位置环曲线和电流环曲线。

不同运行次数所需的试验时间如表 2 所示。

表 2 不同运行次数耗时

运行次数/万次	34.1	33	67.1
耗时/h	189.4	183.4	372.8
运行次数/万次	100.1	133.1	166.1
耗时/h	556.2	739.6	923

2.6.3 最后检测

运行结束后,将快门组件置于常温常压环境下,使快门叶片按照每 1.0 s 打开或关闭的速度进行旋转运动,时长 100 s 以上。

在运行过程中,记录快门开合次数,按照 500 Hz 的频率记录位置环曲线和电流环曲线。

2.7 数据处理

试验过程中不间断地对快门运行情况进行实时观测与监测,由控制程序自动记录快门开合次数,按照 500 Hz 的频率记录快门位置环和电流环数据。

按照固定间隔时间,读取该间隔时间内快门运动过程中记录的位置环和电流环数据,截取每个数据文件中 10 000 行连续数据(保证相位一致)并进行分析处理,得到快门的角位移、角速度、角加速度、电流、电机力矩、惯性力矩和摩擦力矩曲线,并将其储存。计算每组(10 000 行连续数据)角位移数据与基准数据的相关系数和电机力矩均方值,并将其储存。在数据处理中,保证波形不失真的情况下,采用平滑程序对数据进行平滑,避免粗大误差对合格评

判的影响。

2.8　快门合格判据

当快门试验件在试验运行过程中，由快门卡滞、快门润滑膜脱落、轴承磨损严重、驱动电流急速增加、运行噪声突然增大等（不含快门驱动、控制等情况导致快门出现故障、失效的情况）情况导致快门机构不能正常运行或其他失效情况时，快门失效。

1）若在试验过程中快门失效，则认为快门寿命不满足要求。

2）试验过程中，在快门没有失效的情况下，每组位置数据与基准数据的相关系数分析低于 0.99，则认为快门寿命不满足要求。

3）试验过程中，在快门没有失效的情况下，每组电机力矩均方值超过基准数据 15%，则认为快门寿命不满足要求。

4）试验过程中，在快门没有失效的情况下，快门叶片打开或关闭时间大于 1.5 s，则认为快门寿命不满足要求。

5）除上述情况外，判定快门寿命满足寿命要求。

图 4 是判断快门是否满足寿命要求的逻辑框图。

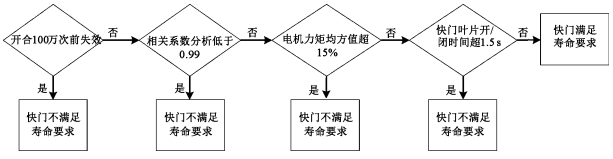


图 4　快门失效逻辑框图

2.9　小结

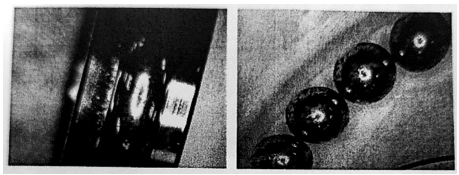
最终，按照 2.6 节中的步骤，快门总共完成了超过 135 万次有效运行，对这期间产生的所有数据都进行了分析，试验过程正常无故障，各项性能指标满足合格判据要求，快门试验件能够满足 100 万次的寿命需求。

3　轴承状态分析

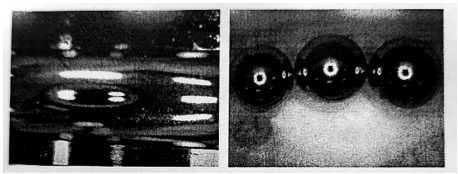
快门试验件中的轴承是磨损消耗最为严重的部分，试验结束后对快门试验件所用轴承进行了全面检测，包括外观形貌检查、摩擦力矩测试、分解后显微分析以及分解后扫描电镜测试及 EDS 分析。

各轴承旋转略有滞涩，但钢球、内外套圈及保持架仍完好；试验返回轴承清洗前摩擦力值矩明显大于交付时摩擦力矩值，清洗后力矩值明显变小，与交付时力矩值基本一致。

通过高倍显微镜对所有轴承的套圈沟道进行观察，发现在显微镜下观察，轴承内外圈沟道和钢球表面均分布有黑色附着物，图 5(a)为轴承 61904-2Z/HVP4 清洗前。用无水乙醇擦拭后可将黑色颗粒状附着物去除，内、外圈沟道表面可见运转过程造成的磨损、磨痕，如图 5(b)所示。从照片中可以看到，轴承套圈沟道有磨损痕迹，润滑膜层完好，沟道未见明显损伤；另外，通过对保持架及滚珠的观察，均未见损伤。



(a)　清洗前



(b)　清洗后

图 5　轴承 61904-2Z/HVP4 清洗前后对比

采用扫描电镜和 EDS 对轴承内圈形貌和滚动体进行了观察，并进行了成分分析，如图 6～7 所示。发现，轴承滚动体上黑色附着物中含有 S，Mo 及 Si

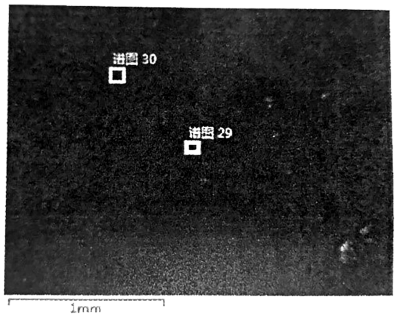


图 6　61904-2Z/HVP4 轴承滚动体扫描电镜形貌

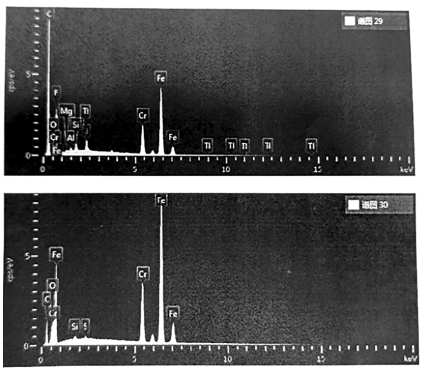


图 7　61904-2Z/HVP4 轴承滚动体扫描电镜成分

等元素，说明轴承运行过程中已经形成良好的转移膜，清洗前沟道磨损带上有部分黑色附着物，EDS分析发现磨损带上有 Mo，S 及 Ti 等元素，说明轴承滚道磨损带上依然存在润滑膜。

轴承的状态分析表明，在完成了超过 100 万次运行的寿命要求之后，轴承钢球上仍然保有转移润滑膜，轴承摩擦力矩略有增大，轴承沟道状态良好且仍然保有一定厚度润滑膜。

4 结束语

本文为某空间环境下的大面阵光学望远镜的大尺寸快门，设计了一种关于空间环境的高保真寿命试验方案。该方案以大口径真空罐为平台，充分考虑了大尺寸快门在空间运行时面临的复杂环境因素，为其提供了极为真实的在轨运行环境。为验证该试验方案的有效性，根据该方案搭建了试验平台，试验结果表明该试验方案很好地完成了寿命试验，为类似需求提供了参考思路。

参考文献：

[1] 侯希久，张 虹. 俄罗斯加速贮存与加速运输试验技术概述[R]. 出国考察技术报告，1997：109-113.
Hou Xijiu, Zhang Hong. Overview of Russia's accelerated storage and accelerated transportation test technology[R]. Technical Report on Overseas Investigation, 1997: 109-113.

[2] 杨之昌，马秀芳. 长寿命 He-Ne 激光器的加速寿命试验[J]. 中国激光，1989，16(7)：410-412.
Yang Zhichang, Ma Xiufang. Accelerated life test of long-life He－Ne laser[J]. China Laser, 1989, 16(7): 410-412.

[3] 杨之昌，马秀芳，等. 气体激光器的可靠性和可靠性试验[J]. 激光技术，1998，22(3)：179-184.
Yang Zhichang, Ma Xiufang, et al. Reliability and reliability test of gas laser[J]. Laser Technol., 1998, 22(3): 179-184.

[4] 王喜山，孙振东. 用威布尔函数研究氦-氖激光器的寿命特征[J]. 中国激光，1987，14(4)：213-215.
Wang Xishan, Sun Zhendong. Using Weibull function to study the life characteristics of helium-neon lasers[J]. Chinese J. of Lasers, 1987, 14(4): 213-215.

[5] 张有忱，绳以健. 手摇鼓风机传动系统加速寿命试验研究[J]. 北京化工大学学报，1999，26(3)：46-49.
Zhang Youchen, Sheng Yijian. Research on accelerated life test of hand-operated blower drive system[J]. J. of Beijing University of Chemical Technol., 1999, 26(3): 46-49.

[6] 王坚永，庄中华，吴秀鸾，等. 滚动轴承可靠性加速寿命试验研究[J]. 轴承，1996(3)：23-28.
Wang Jianyong, Zhuang Zhonghua, Wu Xiuluan, et al. Research on the reliability of rolling bearing accelerated life test[J]. Bearings, 1996(3): 23-28.

[7] 马海训，秘自强，张和平. 黑白电视机的温度步进加速寿命试验[J]. 应用概率统计，1994，10(4)：442-445.
Ma Haixun, Mi Ziqiang, Zhang Heping. Temperature step accelerated life test of black and white TVs[J]. Appl. Probability and Statistics, 1994, 10(4): 442-445.

[8] 张苹苹. 航空产品加速寿命试验研究及应用[J]. 北京航空航天大学学报，1995，21(4)：124-129.
Zhang Pingping. Research and application of accelerated life test of aviation products[J]. J. of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1995, 21(4): 124-129.

[9] Yurkow S W, Schafter R E, Finkelstein J M. Accelerated testing technology[R]. Technical Report No. RADC-TR-67-420, 1967: 1-2.

[10] 马邦安，欧阳怡. 电子设备温度加速试验的等效原理和技术研究[R]. 中国科学院力学研究所研究报告，1995.
Ma Bang'an, Ouyang Yi. Research on the equivalent principle and technology of the temperature accelerated test of electronic equipment[R]. Research Report from the Institute of Mechanics of CAS, 1995.

[11] 杨士特，杨惠敏，茆诗松，等. 低压电机快速试验的统计分析[J]. 应用概率统计，1990，6(1)：108-112.
Yang Shite, Yang Huimin, Mao Shisong, et al. Statistical analysis of the rapid test of low voltage motors[J]. Appl. Probability and Statistics, 1990, 6(1): 108-112.

[12] 赵和明，张 亚，董少峰. 无线电引信电子头部件长贮加速寿命试验数据处理方法探讨[J]. 探测与控制学报，1999，21(4)：33-36.
Zhao Heming, Zhang Ya, Dong Shaofeng. Discussion on data processing method of long storage accelerated life test of electronic head parts of radio fuze[J]. J. of Detection and Control, 1999, 21(4): 33-36.

[13] 卢秋红，董少峰，张 亚. 弹药步进应力加速寿命试验数据处理方法探讨[J]. 探测与控制学报，2000，22(1)：47-50.
Lu Qiuhong, Dong Shaofeng, Zhang Ya. Discussion on data processing method of step-stress accelerated life test of ammunition[J]. J. of Detection and Control, 2000, 22(1): 47-50.

[14] 胡恩平，罗兴柏，艾志利. 三参数威布尔分布条件下的无线电引信步进应力加速寿命试验与数据处理[J]. 探测与控制学报，2000，22(2)：37-40.
Hu Enping, Luo Xingbo, Ai Zhili. Step stress accelerated life test and data processing of radio fuze under the condition of three-parameter Weibull distribution[J]. J. of Detection and Control, 2000, 22(2): 37-40.

[15] 李道清，王德元. 某无线电引信加速寿命试验研究[J]. 探测与控制学报，2000，22(4)：57-60.
Li Daoqing, Wang Deyuan. Research on accelerated life test of a radio fuze[J]. J. of Detection and Control, 2000, 22(4): 57-60.

（下转第 584 页）

[2] Song Zhang. High-speed 3D shape measurement with structured light methods: A review[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2018, 106: 119-131.

[3] Dalibor Martišek. Fast shape-from-focus method for 3D object reconstruction[J]. Optik, 2018, 169: 16-26.

[4] Yuan X, Han S. Single-pixel neutron imaging with artificial intelligence: breaking the barrier in multi-parameter imaging, sensitivity and spatial resolution[J]. The Innovation, 2021, 2(2): 100100.

[5] 孙兴龙，韩广良，郭立红，等. 采用轮廓特征匹配的红外-可见光视频自动配准[J]. 光学精密工程，2020，28(5)：149-160.
Sun Xinglong, Han Guangliang, Guo Lihong, et al. Infrared-visible video automatic registration based on contour feature matching[J]. Optics and Precision Engin., 2020, 28(5): 149-160.

[6] 樊晶晶，马骊群，孙安斌，等. 模式向量法提取点云数据线轮廓点[J]. 光学精密工程，2019，27(7)：1640-1648.
Fan Jingjing, Ma Liqun, Sun Anbin, et al. Extraction of contour points of point cloud data line by mode vector method [J]. Optics and Precision Engineering, 2019, 27(7): 1640-1648.

[7] 侯 飞，韩丰泽，李国栋，等. 基于飞行时间的三维成像研究进展和发展趋势[J]. 导航与控制，2018，17(5)：4-10，51.
Hou Fei, Han Fengze, Li Guodong, et al. Research progress and development trend of time-of-flight 3D imaging [J]. Navigation and Control, 2018, 17(5): 4-10, 51.

[8] Yerokhin A, Semenets V, Nechyporenko A, et al. *F*-transform 3D point cloud filtering algorithm[C]// Proc. of 2018 IEEE Second Inter. Conf. on Data Stream Mining Processing (DSMP), 2018: 524-527.

[9] Liu K, Wang W, Tharmarasa R, et al. Ground surface filtering of 3D point clouds based on hybrid regression technique[J]. IEEE Access, 2019, 7: 23270-23284.

[10] 韩丰泽. ToF 点云位置与强度相关的复杂物体提取算法研究[D]. 北京：中国科学院大学，2020.
Han Fengze. Research on complex object extraction algorithm based on position and intensity of ToF point cloud[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2020.

[11] Cheng L, Song C, Liu X, et al. Registration of laser scanning point clouds: A review[J]. Sensors, 2018, 18(5): 1641.

[12] 陶 谦，熊风光，刘 涛，等. 多幅点云数据与纹理序列间的自动配准方法[J]. 计算机工程，2020，46(10)：259-265，274.
Tao Qian, Xiong Fengguang, Liu Tao, et al. Automatic registration method between multiple point cloud data and texture sequences[J]. Computer Engineering, 2020, 46(10): 259-265, 274.

[13] Wan T, Du S, Cui W, et al. Robust RGB-D Data Registration Based on Correntropy and Bi-directional Distance [M]. Berlin: Springer, 2020: 316-326.

[14] 王 硕，王亚飞，李学华. 基于多分辨率的快速迭代最近点配准算法[J]. 计算机应用与软件，2020，37(4)：260-265，272.
Wang Shuo, Wang Yafei, Li Xuehua. Fast iterative nearest point registration algorithm based on multi-resolution [J]. Computer Application and Software, 2020, 37(4): 260-265, 272.

[15] Rusu R B, Blodow N, Beetz M. Fast point feature histograms (FPFH) for 3D registration[C]// IEEE Inter. Conf. on Robotics & Automation, 2009.

[16] Rusu R B, Blodow N, Marton Z C, et al. Aligning point cloud views using persistent feature histograms[C]// IEEE/RSJ Inter. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2008.

[17] Besl P J, Mckay H D. A method for registration of 3-D shapes[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1992, 14(2): 239-256.

[18] Low K. Linear least-squares optimization for point-to-plane ICP surface registration[R]. Singapore: National University of Singapore, 2004: TR04-004.

作者简介：

韩一菲(1996－)，男，山东人，硕士研究生，研究方向为 TOF 点云处理与应用；

孙志斌(1978－)，男，山西人，博士，研究员，博士生导师，研究方向为空间光子学、光子信息学、空间材料学和物理电子学。

(上接第 578 页)

[16] 胡恩平，罗兴柏，孙 福. 采用线性累计模型分析电缆绝缘寿命试验数据[J]. 电子技术应用，2000，26(7)：33-34.
Hu Enping, Luo Xingbo, Sun Fu. Using linear cumulative model to analyze cable insulation life test data[J]. Application of Electronic Technol., 2000, 26(7): 33-34.

[17] 任立明，何国伟，周海京. 可靠性工程师必备知识手册[M]. 北京：中国标准出版社，2009：278-290.
Ren Liming, He Guowei, Zhou Haijing. Essential Knowledge Handbook for Reliability Engineers [M]. Beijing: China Standard Press, 2009: 278-290.

[18] 《可靠性设计大全》编撰委员会. 可靠性设计大全[M]. 北京：中国标准出版社，2008：369-375.
Compilation Committee of Reliability Design Encyclopedia. Reliability Design Encyclopedia[M]. Beijing: China Standard Press, 2008: 369-375.

作者简介：

赵 波(1990－)，男，四川人，博士生，主要研究方向为空间大尺寸快门；

梁 伟(1978－)，男，四川人，硕士，副研究员，主要从事航空航天精密仪器和光学成像等方面的研究工作。