

基于光学零件微动的坦克瞄准镜故障仿真

李强¹, 张旭帆¹, 闫兴鹏², 程高峰¹

1. 装甲兵工程学院控制工程系, 北京 100072
2. 装甲兵工程学院信息工程系, 北京 100072

摘要 针对部队新型装甲装备观瞄仪器结构复杂, 维修人员缺乏有效手段了解新装备的构造、原理, 由光学零件微动造成的故障更是难以发现, 导致维修人员不能对新装备进行有效、及时的技术保障这一问题。借助数学工具表达光学零件的成像规律, 研究了光学零件的微动理论, 并建立了复杂系统中的棱镜微动模型。利用计算机仿真技术, 将理论研究与实际问题相结合, 形成了一套有效的仿真软件, 直观地表现了光学零件微动对成像的影响。仿真结果表明, 光学零件的微动将直接影响射击精度, 从而影响战斗力。仿真研究为通用化和系列化的新装备观瞄仪器的维修训练、维修保障提供了技术手段。

关键词 光学零件; 微动理论; 故障仿真

中图分类号 E933.2, TP391.9

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.23.002

Simulation of Fault of Tank's Sighting System due to Fretting of Optical Parts

LI Qiang¹, ZHANG Xufan¹, YAN Xingpeng², CHENG Gaofeng¹

1. Department of Control Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China
2. Department of Information Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China

Abstract Because of the complex structure on the observation equipment, the maintenance staff are lack of understanding for new equipment. It is difficult to find the fault caused by optical parts fretting. So the staff can not offer the technical guarantee for new equipment. Aiming at this problem, mathematical tools are used to express optical parts imaging laws. We study the fretting theory and build the fretting model. With the computer simulation technology, combining with optical fretting theory and practical problems, we product a set of simulation software and show the influence of optical parts fretting. The results show that the fretting of optical parts influence the imaging effect and firing accuracy. For the maintenance training of universal and serialized sighting telescope, the simulation research provides technical means.

Keywords optical parts; fretting theory; fault simulation

0 引言

瞄准镜如同坦克装甲车辆的“眼睛”, 为射手提供观察、搜索和瞄准目标的通道^[1]。瞄准镜的稳定性直接影响了坦克装甲车辆战斗力的强弱。近年来, 由于新型观瞄仪器的科技含量提高, 观瞄系统也成为装甲装备发展最快、分支最多、成本最高的子系统。对观瞄仪器的维护保养和维修也提出了越来越高的要求。但是, 传统的观瞄仪器的保障教学模式未能进行有效改变, 缺乏相应的维修训练装置等因素, 导致维修人员保障能力跟不上, 不能及时发现观瞄仪器出现的问题并进行修理, 从而影响了日常的训练效果。因此, 为进一步加强部队的保障能力, 提高部队的战斗力, 针对由瞄准镜中光学零

件微动引起的故障进行仿真研究。

1 观瞄仪器中的光学零件

近年来, 随着观瞄装备的迅速发展, 在日常的使用与维护保养中, 也面临越来越多的问题。有些问题不容易在一般的检修中被发现, 制约了维修人员的保障能力, 观瞄仪器中光学零件微动所造成的故障就属于这类问题。

1.1 观瞄仪器的维护保养与维修

在观瞄仪器日常的使用中, 要定期进行维护保养。经常性的清洁保养, 是在不拆卸仪器的情况下对观瞄仪器的外露进行清洁。在室内工作台上还会对大、中修期间车辆上的观瞄

收稿日期: 2013-03-10; 修回日期: 2013-03-22

作者简介: 李强, 副教授, 研究方向为光电检测, 电子邮箱: 2854873506@qq.com

仪器进行二级清洁,并定期对采用氮气密封的观瞄仪器进行经常检查和定期充氮,充氮周期一般为3个月。最终还要对观瞄仪器的金属面进行涂油保护。

在制造和修理观瞄仪器中,由于光学零件擦拭不干净、金属零件清洗不干净、润滑脂和密封腊不纯洁、仪器密封不良等,会导致留在零件表面上的或由外界侵入仪器内部的微生物(孢子),在合适的温度(25~35℃)、湿度(相对湿度为80%~95%)条件下,快速生长,使光学零件表面生霉^[2]。

1.2 光学零件微动对瞄准镜的影响

机械振动对光学系统的成像质量、测量精度和目标跟踪瞄准精度的影响是不可回避的^[3]。在日常的训练中,会因为仪器的振动、保养和维修不当,瞄准镜中的光学零件会产生旋转微动和沿3个坐标轴的平移微动,也会因为瞄准镜在长期的贮存过程中,密封性越来越差等原因,出现发霉生雾和脱胶等现象^[4]。这都将影响光学系统的成像质量,造成物像共轭关系的变化,从而对瞄准镜的瞄准精度、视场、分辨率、视差等光学指标产生影响。

2 光学零件微动理论

光学零件微动理论^[5],就是指系统内光学零件微动时,物像共轭关系会发生变化。对于不同的光学零件和不同的光路,物像共轭关系的变化也不相同。

2.1 棱镜在平行光路中的微动

由棱镜微动所造成的物像转动和像点位移,在光学系统中所产生的影响,与该棱镜是位于平行光路中还是位于会聚光路中有关。棱镜位于平行光路中,物像实际位置在无穷远处,所以像点的小位移量已不再具有实际意义,只需研究物像的微量转动影响。

在平行光路中,物像绕单位矢量的微量转动,可以看做是物像分别绕 x' 、 y' 、 z' 轴转动的合成。在像空间坐标系中,物像微量转动的各分量等于棱镜的微量转动分别在物空间和像空间坐标轴上投影之和或差(取决于反射面总数的奇偶)。这一规律称为物像转动的棱镜调整定理。

2.2 棱镜在会聚光路中的微动

会聚光路中,物像旋转与像点位移对成像的影响与平行光路不同。这里物像由于会聚作用成像在仪器内部的某个像面上。在望远系统中物像应与物镜的焦点重合。这里物像绕光轴 x' 方向的旋转 $d\phi'_x$ 仍然引起物像的倾斜,但绕 y' 、 z' 轴方向的旋转 $d\phi'_y$ 、 $d\phi'_z$ 已不再能说明光轴的变动,而只能代表像面绕 y' 、 z' 轴方向转动形成像面偏。会聚光路中光轴的变动量取决于焦点的横向位移量 $d\phi'_y$ 、 $d\phi'_z$ 以及目镜焦距的大小。

会聚光路中棱镜微动所造成的像点 O' 的光学位移量 ds' 在 O' 系的投影值,等于 O' 点及其共轭点 O 随同棱镜一起运动所得到的机械位移 $d\phi$ 、 dr 分别在像、物空间坐标上投影之差。这一结论称为像点微动的棱镜调整定理。

这一定理指出,棱镜微量转动造成像点的复杂的光学位

移,与一对共轭点的机械位移之间存在着极其简单的关系。这样就吧一个复杂的光学位移的求解问题,转化为简单的机械位移的求解问题。在棱镜调整中,通常都是在棱镜支撑点部位加垫或锉削,也就是直接给出的正是棱镜在该点处的小位移。因此,常常可以根据简单的比例关系直接找到 O' 、 O 点的小位移;此定理并不限定棱镜微动的形式,无论是棱镜的平动,还是绕定轴的转动,都包括在这个定理之中。

2.3 透镜在光学系统中的微动

在一个复杂的共轴系统中,任意一个透镜的小位移必然引起像点位移,同时产生放大率的改变。

透镜轴向位移时,系统内对物像无放大作用的透镜,其轴向小位移不会引起像面移动($|\beta_t|=1$),这种情况发生在入射光线通过透镜主点或两倍焦距处。凡是对物像有放大、缩小作用的透镜,其轴向小位移必然引起像面移动:物像被放大时($|\beta_t|>1$),像面移动的方向与透镜移动的方向相反;反之,物像被缩小时($|\beta_t|<1$),像面移动方向与透镜移动方向相同。

透镜横向位移时,系统内使光线产生偏转角愈大的透镜,其横向移动对像点横移的影响也愈大。当光线穿过透镜方向不产生偏转时,该透镜不会引起像点横移,这种情况只有当光线穿过透镜主点时才发生。

3 光学系统中的微动模型

在实际所遇到的问题中,都是在一个复杂系统中讨论其中某棱镜单独微动对系统成像影响,针对这一问题,建立了棱镜在光学系统中的微动模型,如图1所示。

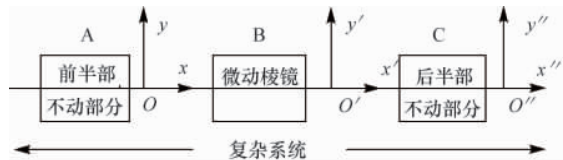
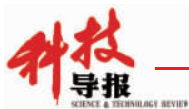


图1 棱镜在光学系统中的微动模型

Fig. 1 Fretting model of prism in optical system

当对棱镜B进行微调时,系统前半部不动部分光学零件的作用仅仅决定进入被调棱镜的光束是平行光束还是会聚光束,由此决定采用平行光路的调整公式,还是采用会聚光路的调整公式。

在系统中,如果微动棱镜后面还有其他棱镜,那么在会聚光路中这些棱镜将对像点的位置产生影响,棱镜的第2个作用是将物像 $O'-x'y'z'$ 的微动转换成 $O''-x''y''z''$ 的微动。由于棱镜微动,物像 $O'-x'y'z'$ 产生了微量转动 dA' ,像点产生了微量移动 ds' ,它们在 $O'-x'y'z'$ 系中的投影值分别表示为 $d\phi'_x$ 、 $d\phi'_y$ 、 $d\phi'_z$ 和 ds'_x 、 ds'_y 、 ds'_z 。相应的物像 $O''-x''y''z''$ 也产生了微量转动 dA'' ,像点产生了微量移动 ds'' ,它们在 $O''-x''y''z''$ 系中投影值分别表示为 $d\phi''_x$ 、 $d\phi''_y$ 、 $d\phi''_z$ 和 ds''_x 、 ds''_y 、 ds''_z 。然后注意到微量转动是一个轴矢量,微量移动是一个极矢量,它们的投影值应分别满足以下关系:



$$\begin{bmatrix} ds''_x \\ ds''_y \\ ds''_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ds'_x \\ ds'_y \\ ds'_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\phi''_x \\ d\phi''_y \\ d\phi''_z \end{bmatrix} = (-1)^n \begin{bmatrix} d\phi'_x \\ d\phi'_y \\ d\phi'_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

棱镜调整理论在系统中的应用可归纳为两步:首先对微动棱镜单独进行研究,得到物像 $O'-x'y'z'$ 的微动量;然后将这种微动量按照换算公式,变换为最终物像 $O''-x''y''z''$ 的微动量。后一步可按下述步骤进行:

(1) 确定 $O'-x'y'z'$ 系统的共轭坐标系 $O''-x''y''z''$ 。

首先考虑不动部分所含棱镜的作用,根据棱镜的共轭坐标系作图法则找出相应的坐标系,然后考虑不动部分透镜的作用。透镜(或镜组)每形成一次实像,物像坐标系 $O''-x''y''z''$ 应上下、左右颠倒一次。根据这一性质最终定出物像坐标。

(2) 根据转换公式写出最终物像 $O''-x''y''z''$ 的微动量。

将棱镜、透镜的转换作用合并在一起。注意到棱镜作用,应在角量变角量的传递中引入 $(-1)^n$ 因子,有

平行光路之间的转换式

$$\begin{bmatrix} d\phi''_x \\ d\phi''_y \\ d\phi''_z \end{bmatrix} = (-1)^n \begin{bmatrix} d\phi'_x \\ \gamma |d\phi'_y \\ \gamma |d\phi'_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

会聚光路之间转换式

$$\begin{bmatrix} ds''_x \\ ds''_y \\ ds''_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta^2 ds'_x \\ \beta |ds'_y \\ \beta |ds'_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} d\phi''_x \\ d\phi''_y \\ d\phi''_z \end{bmatrix} = (-1)^n \begin{bmatrix} d\phi'_x \\ \beta |d\phi'_y \\ \beta |d\phi'_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

平行光路与会聚光路之间转换式

$$\begin{bmatrix} ds''_x \\ ds''_y \\ ds''_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-1)^n d\phi'_x \\ \pm f'' d\phi'_x \\ \pm f'' d\phi'_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中, n 为不动部分光学系统含反射面总数, $|\beta|$ 为不动部分光学系统横向放大率, $|\gamma|$ 为不动部分光学系统角放大率。

4 仿真实验

为了阐明微动理论算法的有效性,以某型坦克的瞄准镜^[6]为例,通过软件仿真来观察零件微动对瞄准镜像方的影响。

4.1 仿真过程

在仿真过程中,针对坦克瞄准镜系统中的组成特点,作者分别对棱镜和透镜的微动进行仿真,将微动量分为沿3轴的平移微动量($d_{i(i=x,y,z)}$)和旋转微动量($d\phi_{i(i=x,y,z)}$),并将两种微动量都限定在两个很小的范围内。

在某型坦克的瞄准镜中,系统内的光学部分为透镜组、棱镜和分划3个部分。透镜组包括2倍望远镜物镜、2倍望远镜目镜、3倍望远镜物镜和3倍望远镜目镜;棱镜包括:五角棱镜、直角棱镜和120°等腰棱镜;分划包括2倍望远镜分划和3倍望远镜分划^[7]。

4.2 仿真结果及分析

分别对2倍望远镜目镜的平移微动量、120°等腰棱镜的旋转微动量和3倍望远镜分划的平移和旋转微动量所造成的像方微动进行仿真,仿真结果见图2、图3和图4。



图2 2倍望远镜目镜的平移微动量仿真

Fig. 2 Simulation of translational fretting of a 2x telescope



图3 120°等腰棱镜的旋转微动仿真

Fig. 3 Simulation of rotary fretting from 120° isosceles prism



图4 3倍望远镜分划的平移和旋转微动量仿真

Fig. 4 Simulation of translational and rotary fretting from reticle of a 3x telescope



仿真结果表明,光学零件的微动对瞄准精度和成像质量都有明显的影响。透镜的平移微动会造成观察到的目标在水平和垂直方向的移动;棱镜的旋转微动会造成观察到的目标在空间进行拉伸、压缩、变形等变化,观察人员会有目标失真的感觉;分划的微动会直接影响瞄准镜的校正效果。

5 结论

瞄准镜的稳定性直接影响着坦克的战斗力的,本文中对光学系统内零件微动所造成像方的变化进行了研究,并进行仿真。通过理论分析和软件仿真,清晰地观察到零件微动对像方的影响。仿真结果表明,光学零件微动直接影响射击精度,从而影响战斗力。该仿真研究为通用化和系列化的新装备观瞄仪器的维修训练、维修保障提供了技术手段。对装甲装备观瞄系统的维修训练提供了指导性的思路,也为提高新装备观瞄系统的保障能力打下了坚实的基础。

参考文献 (References)

[1] 秦叔敏,曹晖. 坦克装甲车辆火控观瞄系统发展趋势分析 [J]. 火力与指挥控制, 2009(9): 6-9.

Qin Shumin, Cao Hu. Fire Control and Command Control, 2009(9): 6-9.

[2] 韩兆福. 九六坦克观瞄系统原理与使用[M]. 北京: 中国人民解放军装甲兵工程学院, 2003: 311-312.

Han Zhaofu, Using and principle of 96 tank aiming system [M]. Beijing: Academy of Armored Force Engineering, 2003: 311-312.

[3] 范国滨, 贾建援, 陈贵敏, 等. 机械振动对光学系统指向精度的影响[J]. 中国机械工程, 2005, 16(2): 104-106.

Fan Guobin, Jia Jianyuan, Chen Guimin. et al. China Mechanical Engineering, 2005, 16(2): 104-106.

[4] 吕振刚, 郝毅. 光学零件的使用维护[J]. 中国计量, 2010(11): 114-115.

Lü Zhengang, Hao Yi. China Metrology, 2010(11): 114-115.

[5] 程守澄. 光学仪器检校[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1992: 40-69.

Cheng Shoucheng. Optical equipment checking[M]. Beijing: Weapon Industry Press, 1992: 40-69.

[6] 韩兆福. 车载观瞄系统[M]. 北京: 中国人民解放军装甲兵工程学院, 2006: 205-207.

Han Zhaofu. Tanko ptical system[M]. Beijing: Academy of Armored Force Engineering 2006: 205-207.

[7] 陈昕, 张七一, 赵富全. 下反稳像式坦克瞄准镜稳像原理的证明[J]. 火炮发射与控制学报, 2003(S1):112-115.

Chen Xin, Zhang Qiyi, Zhao Fuquan. Gun Launch & Control Journal, 2003(S1): 112-115.

(责任编辑 赵业玲)

·学术动态·



中国科协 2012 年度事业发展统计公报: 学术交流活动

2012年,各级科协及两级学会共举办学术交流活动 29586 次。其中,高端前沿学术会议 7531 次,综合交叉学术会议 10765 次,学术服务会议 11290 次,所占比例分别为 26%、36%和 38%;交流学术论文近 100 万篇。其中,高端前沿学术类论文 30 多万篇,综合交叉类论文 37 万多篇,学术服务类论文近 32 万篇;参加学术交流活动人数 442 万人次。其中,企业科技工作者 86 万多人,占 19.5%。举办国内学术会议 27157 次。其中,高端前沿学术会议 6349 次,综合交叉学术会议 9953 次,学术服务会议 10855 次,分别占国内学术会议总数的 23%、37%、40%;参加人数 396 万人次。其中,企业科技工作者 75.6 万人次,占 19%。交流论文 87 万篇。

举办境内国际学术会议 2026 次。其中,高端前沿学术会议 1026 次,综合交叉学术会议 665 次,学术服务会议 335 次,分别占境内国际学术会议总数的 51%、33%、16%;参加人数 40.6 万人次。其中,企业科技工作者 10 万人次,占总人数的 25%;境外专家学者 3.9 万人次,占 10%。交流论文 11 万余篇。

举办港澳台地区学术会议 403 次,其中,高端前沿学术会议 156 次,综合交叉学术会议 147 次,学术服务会议 100 次,分别占港澳台地区学术会议总数的 39%、36%、25%;参加人数 4.5 万人次。其中,企业科技工作者 0.7 万人次,占总人数的 16%。交流论文 1.1 万篇。

中国科协机关、省级科协 2012 年举办学术年会 118 次;全国学会举办学术年会 923 次。
 详情见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35096/n10225918/14908615.html>。