

doi: 10.7690/bgzd.2014.05.010

某型高炮仿真瞄准训练系统

杨岐子, 李兴山, 杨勇
(防空兵学院高炮系, 郑州 450052)

摘要: 针对某型高炮采用的陀螺式测速瞄准具使用寿命短、维修困难、造价高等问题, 运用计算机虚拟现实技术生成与实战近似的虚拟空中目标, 利用硅微机械陀螺实时采集火炮转动角速度开发的高炮仿真瞄准训练系统, 用于炮手对空中目标的跟踪瞄准训练, 有效地解决了高炮传统瞄准训练空中目标保障困难和仿真模拟度低的问题, 避免了以往训练中因需采集火炮运动参数而对武器装备机械结构的改动; 通过对瞄准具光环特性的仿真, 逼真地模拟了火炮跟踪瞄准过程, 保证了训练技能与实战技能的顺利过渡, 降低了训练成本, 提高了训练效率。

关键词: 高炮; 仿真; 瞄准训练

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Training System of Simulation Targeting for Certain Type Artillery Gun

Yang Qizi, Li Xingshan, Yang Yong
(Department of Artillery, Air Defense Forces Academy, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: To deal with the following problems from the top collimator for measuring speed: the short life span, maintenance difficulty and the high cost, we make use of the silicon mechanic top collecting angle velocity timely for developing a training system of emulated targeting for a certain artillery gun by means of the computer virtual realistic technique and virtual war target in the air. Using the training system, a gunner can track and search the target in the practical training. We can well ensure the air targets in the training and cope with the emulating low efficiency, and avoid the changing of weapon machine structure because of collecting artillery speed parameter in the former training. By really imitating the sight aureole characteristic, we emulate the artillery tracking and searching target process, and ensure the smooth transition of training technical ability and true war technical ability, and lower the training cost, and raise the training efficiency.

Keywords: artillery; simulation; training of targeting

0 引言

某型高炮目前已经成为我陆军防空兵的主战装备之一, 该型高炮的半自动跟踪方式是复杂电磁环境中, 高炮对空中目标抗击的重要工作方式, 在这种跟踪方式下, 射击精度很大程度上取决于炮手对空中目标的跟踪精度。该高炮采用陀螺式测速瞄准具, 在没有目标航路、速度信息输入的情况下, 能自动引入目标角速度, 只要预置射击距离就能自动构成火炮射击时所需的提前角和高角^[1], 具有装定的诸元参数少、操作简便等特点, 但其计算精度与瞄准手操作水平和火炮瞄准机构有密切关系, 而对空中目标精确跟踪的能力则需要通过大量的瞄准训练才能够获得。由于陀螺瞄准具使用寿命短、维修困难、造价高, 要求部队在平时训练时尽量减少陀螺瞄准具的使用次数, 从一定程度上影响了训练效果, 制约了部队训练水平的提高。以某种经济有效快速的训练方式替代或有效补充原有的训练方法成为炮兵训练教学改革的必由之路, 而构筑这一出路的基础就是系统仿真技术^[2]。近年来利用仿真技术, 装

甲兵工程学院开发了“间瞄火炮射击训练模拟系统”, 中国船舶重工集团研发了“光电型舰炮武器系统模拟训练仪”^[3], 实现了模拟目标与战场环境驱动武器系统逼真地进行操作训练。由于模拟训练不受天候场地和时间的限制, 既可大大节省训练经费又能保证训练质量, 有利于训练的规范化, 提高院校教学和部队训练的效果; 因此, 针对某型高炮采用的陀螺瞄准具训练需求, 设计了适用于某型高炮的仿真瞄准训练系统, 以取代现在该型高炮直接用瞄准具实装教学训练, 可提升高炮部队训练效率和战斗力。

1 仿真瞄准训练系统组成与工作原理

仿真瞄准训练系统的大部组成分为训练控制台、仿真瞄准具和仿真单柄操控台 3 个部分。训练控制台包括主控计算机、主控计算机操作面板以及附属配件组成; 仿真瞄准具包括壳体、惯性传感器组件、视景显示器、功能开关和数据采集处理模块。仿真单柄操控台包括台体、瞄准具安装架和仿真单柄跟踪器。

仿真瞄准训练系统的简要工作原理如图 1。

收稿日期: 2013-12-07; 修回日期: 2014-01-27

作者简介: 杨岐子(1962—), 男, 天津人, 学士, 副教授, 从事高炮武器装备教学研究。

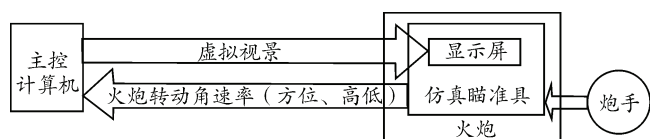


图1 瞄准训练器简要工作原理

仿真瞄准训练系统中的仿真瞄准具安装到火炮实装的瞄准具座上，主控计算机利用虚拟视景技术在仿真瞄准具的显示屏上生成空中目标的飞行姿态，炮手利用单柄操纵杆驱动火炮在方位和高低上跟踪空中目标，仿真瞄准具中的两组硅微机械陀螺实时地获取火炮在方位和高低上的转动角速率，然后利用该角速率驱动虚拟视景的视角产生变化，实现在虚拟视景中的对空中目标的跟踪。

2 仿真瞄准训练系统的操作模式

仿真瞄准训练系统在操作模式上分为瞄准具嵌入实装操作模式和操控台单体训练模式，即炮上操作模式和炮下操作模式。

在炮上操作模式下，仿真瞄准具安装在火炮上的瞄准具座上，通过主控箱设定相应的训练内容，生成习题航路，启动训练。在训练过程中，操作手通过单柄操纵杆转动火炮进行跟踪瞄准，仿真瞄准具通过内部配置的硅微机械陀螺实时采集火炮方位和高低2个方向转动的角速度，经处理后发送给主控计算机，主控计算机利用该数据对仿真瞄准具内虚拟视景进行实时控制，完成相应的操作训练。仿真瞄准具由火炮上的瞄准具电源电缆供电，此时信息采集主板采集仿真瞄准具上的陀螺组件产生的火炮转动角速度数据，仿真瞄准具与训控台之间的数据传输(包括各种传感器数据和视频数据)需要经过火炮回转装置，从而完成炮上转动部分与炮下固定的训控台之间的数据通讯，训控台中的主控计算机通过数据通讯完成传感器数据接收并将虚拟视景的视频数据传送给火炮上的仿真瞄准具。

在炮下操作模式下，采用操控台替换实装火炮上的操作空间。由于仿真瞄准具安装在固定的操控台上，因此系统电气结构相对简单，仿真瞄准具由操控台进行供电。此时信息采集主板采集的是操控台上仿真单柄产生的虚拟火炮转动角速度数据，仿真瞄准具与训控台之间的数据传输直接通过数传电缆完成，训控台中的主控计算机通过数据通讯完成传感器数据接收并将虚拟视景的视频数据传送给操控台上的仿真瞄准具。

3 火炮转动速率的获取

仿真瞄准训练系统使用的是由美国模拟器件公

司制造 ADXRS 系列陀螺仪。该陀螺仪采用集成微电子机械系统(MEMS)专利工艺和 BIMOS 工艺的角速度传感器，与同类功能的陀螺仪相比，ADXRS 系列陀螺仪具有尺寸小、功耗低、抗冲击和振动性好的优点。

ADXRS 系列陀螺仪的外围尺寸为 $7\text{ mm} \times 7\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ ，采用 BGA-32 封装技术，有 ADXRS150 和 ADXRS300 2 种型号，它们的功能电路完全相同，唯一不同在于前者的量程为 $\pm 150\text{ (}^\circ\text{/s)}$ ，后者的量程为 $\pm 300\text{ (}^\circ\text{/s)}$ 。考虑到某型高炮方位最大跟踪瞄准速度为 $120\text{ (}^\circ\text{/s)}$ ，高低最大跟踪瞄准速度为 $60\text{ (}^\circ\text{/s)}$ ，最小瞄准速度为 $0.04\text{ (}^\circ\text{/s)}$ ，方位最大角加速度为 $180\text{ (}^\circ\text{/s}^2)$ ，高低最大角加速度为 $120\text{ (}^\circ\text{/s}^2)$ 。为了能够使测量数据能够真实反映该型高炮转动的运动特性，系统中选用了 ADXRS150 陀螺仪芯片作为研发芯片，该陀螺仪具有零偏稳定性高和温度漂移小等特点，能够适应不同场合的要求，并且其技术性能指标能够满足系统需求。

仿真瞄准具中在方位和高低2个方向上配置了2组 ADXRS150 陀螺仪芯片，分别敏感火炮在方位上和高低上的实时转动角速率，并将该转动速率以电压信号的方式输出。

经过模数转换后，对得到的数据值进行滤波处理，方法如下：将得到的数据值按照时间序列以每10个值为一组求取均值，设组内数据序列为 $f(x_i)$ ($i=1,2,\dots,10$)。其均值 m 可由式(1)求出：

$$m = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} E(f_i(x_i)) \quad (1)$$

对于数据序列 $f(x_i)$ ($i=1,2,\dots,10$)，通过序列中各单点和均值 m 进行求差处理后，获取误差序列 $e(i)$ ，对 $e(i)$ 进行分析确定相应的阈值。

$$e(i) = f(i) - m \quad (2)$$

通过对差值序列进行分析，判断该序列是否包含野值，在对野值滤除以后的序列 $f(x_i)$ ($i=1,2,n$)，其中 n 通常不小于8，经过再次求取均值，即可认为是有效均值滤波后的可用数据点值。

4 机械陀螺工作特性仿真

陀螺瞄准具解命中的实质是根据目标的角速度向量和距离向量(考虑其随时间的改变量)来确定火炮射击时所需的提前量。为求得提前角，只要确定相应的目标角速度并乘以弹丸的飞行时间即可，目标的角速度向量由安装在陀螺瞄准具内的二自由度或三自由度陀螺仪来测定。为了简化陀螺瞄准具结构，在角速度解命中问题时通常将距离提前量略去，

而取与发射瞬间相应的弹丸飞行时间 t 和高角 α 。

而根据陀螺瞄准具解决命中问题原理和相应假定，火炮射击诸元中的侧向提前角 $\Delta\beta_H$ 和高低提前角 $\Delta\varepsilon$ 计算公式为：

$$\begin{aligned} \Delta\beta_H &= \omega_\beta^0 t \cos \varepsilon_q \\ \Delta\varepsilon &= \omega_\varepsilon^0 t \end{aligned} \quad (3)$$

式中： ω_β^0 、 ω_ε^0 分别为火炮在方位上和高低上的瞄准角速度； t 为射弹飞行时间。

t 和 α 根据射表，利用 SPSS13.0 曲线拟合软件，拟合结果如图 2 所示，计算公式如下：

$$t = -0.027 + 0.001D + 4.2 \times 10^{-9} D^2 + 3.36 \times 10^{-11} D^3 \quad (4)$$

$$\alpha = -0.330 + 0.005D - 4.7 \times 10^{-7} D^2 + 3.07 \times 10^{-10} D^3 \quad (5)$$

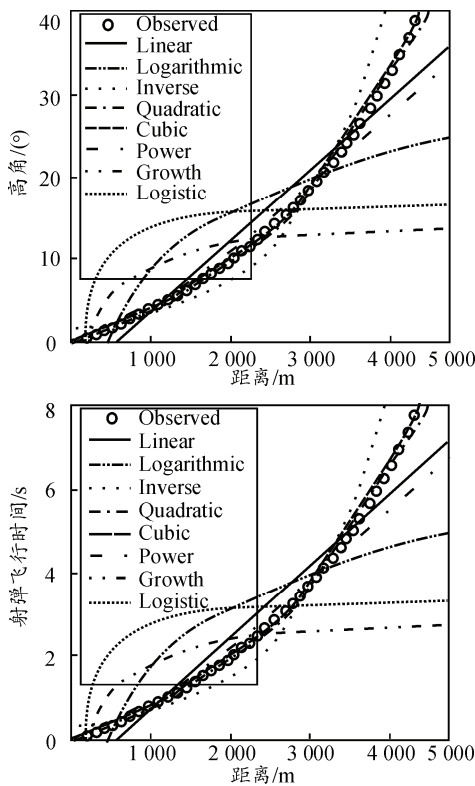


图 2 射弹飞行时间和高角的拟合曲线

由此可知：只要实时获得火炮瞄准的角速度和目标的距离，就可以不断地解算出射击诸元，而这个射击诸元反映到陀螺瞄准具的视景中，即为对空瞄准光环运动到偏离中心点的某处，其偏移量即为火炮射击诸元。

同时，为了改善瞄准具的操控性，陀螺瞄准具在对空光环的运动过程中加入了阻尼，其计算公式

$$\Delta\omega_{环} = \frac{K}{1+K} \Delta\omega_1 \quad (6)$$

式中： $\Delta\omega_{环}$ 为对空光环运动速度的变化量； $\Delta\omega_1$ 为火炮运动速度变化量。在本系统中，为使炮手的跟

踪瞄准感觉尽量接近实装，在仿真瞄准具虚拟视场中的对空光环运动中也加入了相应的运动阻尼。

5 系统虚拟视景的构建

虚拟视景提供了炮手的观察景象，在跟踪瞄准训练中起着重要的作用。仿真瞄准训练系统采用 Virtools 三维引擎来进行虚拟视景的设计与实现^[4]。虚拟视景的开发流程按照图 3 进行。

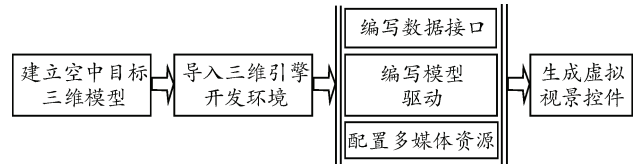


图 3 虚拟视景构建流程

Virtools 开发的虚拟视景是以 OCX 控件的形式嵌入 Windows 窗体应用程序中的，该控件提供了 SendMessage()、GetAttribute()、SetAttribute() 等接口函数，通过这些接口函数即可实现编程环境与虚拟视景之间的数据通讯与传输。

最终实现的虚拟视景效果如图 4。



图 4 虚拟视景截屏

6 结论

对依照本设计制造的仿真瞄准训练系统样机进行了静态功能性检测、8 h 连续循环工作和高低温环境试验，与火炮实装进行了联机调试，并进行了使用试验。试验结果表明：仿真瞄准训练系统样机各项性能指标均能满足要求；使用部队认为该仿真瞄准训练系统样机训练模式新颖灵活，操作简便，易于安装，性能稳定，明显提高了训练效率。

参考文献：

[1] 张永腾, 薛德庆. 35 mm 牵引高炮结构原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 123.

[2] 郑长伟, 卜成兵, 薛青, 等. 间瞄火炮射击训练模拟系统的设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2005(9): 2127-2129.

[3] 郭慧然, 黄华, 顾锐. 光电型舰炮武器系统模拟训练仪的设计[J]. 指挥控制与仿真, 2006(5): 107-110.

[4] 谢宽, 吴杰长, 陈国钧, 等. 基于 CompactRIO 平台的舰船实船训练系统[J]. 机电工程, 2013, 30(4): 505-508.