

doi: 10.7690/bgzdh.2024.06.009

无座力炮动不平衡冲量测试方法研究

贾琪, 邱奖利, 支凯艳, 杨江, 郭浩, 董长宏
(中国兵器工业试验测试研究院, 陕西 渭南 714200)

摘要: 针对无座力炮动不平衡冲量的测试存在操作过程繁琐且不易满足测量精度要求的问题, 设计一种新的测试装置。通过低阻尼滑轨和高精度传感器测试出无座力炮发射时的速度、位移, 根据动量原理算出无座力炮的动不平衡冲量。试验验证结果表明: 该测试系统平均测试误差为 0.48%, 可成功应用于无座力炮动不平衡冲量测试。

关键词: 无座力炮; 动不平衡冲量; 低阻尼滑轨; 高精度传感器

中图分类号: TJ32 **文献标志码:** A

Research on Dynamic Unbalance Impulse Test Method of Recoilless Gun

Jia Qi, Qiu Jiangli, Zhi Kaiyan, Yang Jiang, Guo Hao, Dong Changhong

(Testing and Measuring Academy of China North Industries Group Corporation Limited, Weinan 714200, China)

Abstract: In order to solve the problem of complicated operation process and difficult to meet the measurement accuracy requirements in the dynamic imbalance impulse test of recoilless gun, a new test device was designed. The velocity and displacement of the recoilless gun were measured by the low-damping slide and high-precision sensor, and the dynamic unbalance impulse of the recoilless gun was calculated according to the momentum principle. The test results show that the average test error of the system is 0.48%, and the system can be successfully applied to the dynamic unbalance impulse test of recoilless gun.

Keywords: recoilless gun; dynamic unbalance impulse; low damping slide rail; high precision sensor

0 引言

无座力炮是指在发射时炮身不后座的火炮, 射击时, 在弹头向前飞行的同时会有部分火药燃气向后喷出, 产生一向前的动量。该动量平衡了火药气体推动弹丸向前运动产生的向后动量。由于无座力炮具有射击精度高、穿甲能力强、效费比高和使用轻便等优点, 使其成为一种重要的反坦克武器^[1-3]。

无座力炮的前冲、后座通常用动不平衡冲量来衡量, 其大小会对炮手操作和武器寿命产生极大影响, 是武器科研、生产、定型等阶段的主要考核指标。为研究动不平衡冲量, 文献[4]通过建立实体模型, 对某型平衡炮发射过程中的不平衡冲量进行了研究, 得到不平衡量趋于零时的参数。文献[5]分析了单兵反坦克火箭发射器在发射时产生动不平衡冲量的受力因素, 提出相应措施调整后座冲量大小。文献[6]通过分析传统弹道摆测试装置, 提出采用单片机技术设计出一种新式动不平衡冲量测试装置。文献[7]使用压力传感器研究了 78 式 82 无座力炮在轴线的不平衡力变化规律。文献[8]根据振动系统运动稳定性理论建立数学模型分析了无座力炮在火药燃气在后效期对发射器动不平衡冲量的影响。文献[9]通过建立计算模型, 分析弹丸挤进压力和堵片打

开压力、喷管面喉比等因素对动不平衡冲量的影响, 并通过参数的合理匹配, 为优化某新型无座力炮的平衡性能提供参考。

采用传统的弹道摆方案测量动不平衡冲量时, 须选择很长的摆杆, 或进行质量配重, 不符合火炮实际使用状态, 影响测试准确性; 由于火炮外形结构、质量均不相同, 试验时需要多次调节摆长和配重, 操作过程耗时耗力, 实施难度大, 试验周期长。笔者提出一种动不平衡冲量测试方法, 通过滑轨平台测试出火炮射击时的最大后座速度和位移, 进而计算出后座冲量。该方法操作简单, 试验测试精度高, 具有较好的应用价值和实际意义。

1 弹道测试摆方法

目前, 对于动不平衡冲量的测量主要依据《常规兵器定型试验方法无座力炮》GJB349.25—90 中的弹道测试摆方法^[10], 其组成及结构如图 1 所示。

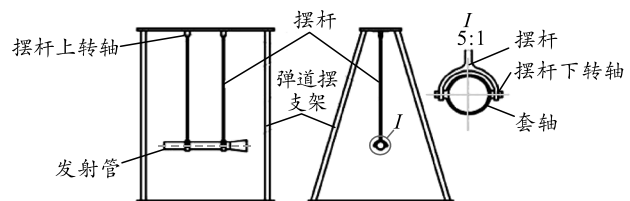


图 1 弹道测试摆结构

收稿日期: 2024-02-19; 修回日期: 2024-03-25

第一作者: 贾琪(1994—), 男, 山西人, 硕士。

该方法需通过火炮卡箍、上铰链、下铰链和摆杆将火炮悬挂在空中，根据所要测试的动不平衡冲量值，估算需要配重的重量和适当的摆杆摆长，根据测得的射击位移量，利用式(1)计算动不平衡冲量：

$$I = m\lambda/\sqrt{gl}。 \quad (1)$$

式中： I 为动不平衡冲量； m 为摆动部分总质量； λ 为后座位移； g 为重力加速度； l 为摆杆长度。

为保证测试精度，要求摆杆长度应保证发射后的摆角小于等于 3° ，由动不平衡冲量计算公式可得出摆角与摆长间的关系^[11]为：

$$l \geq \frac{(I/m)^2}{2g(1-\cos\varphi)}。 \quad (2)$$

取摆角 φ 最大值 3° 、重量 20 kg 、最大冲量 $14.7\text{ N}\cdot\text{s}$ 计算(一般无座力炮的冲量指标不超过 $14.7\text{ N}\cdot\text{s}$ ，火炮自身重量加上击发装置、卡箍、摆杆、测试装置后的摆动部分总重量约为 20 kg)，摆长应不小于 20.1 m ，将摆动部分配重至不同重量，则摆长计算结果为：1) 当配重至 30 kg 时，摆长应不小于 8.90 m ；2) 当配重至 40 kg 时，摆长应不小于 2.92 m ；3) 当配重至 50 kg 时，摆长应不小于 3.22 m 。

2 测试方案设计

2.1 测试原理

根据物理学中冲量定义，物体所受合外力的冲量是该物体的动量变化量，即 $I=Ft=mv_2-mv_1=m\Delta v$ ，无座力火炮各部分运动体质量 m 已知，可通过测得火炮后座时的速度变化量(即无座力炮从静止到最大速度的差值 Δv)，即可计算出后座冲量。

2.2 测试方案设计

依据上述原理，设计一种低阻尼直线运动滑轨平台，将火炮固定在滑轨平台上，射击后，火炮沿滑轨运动，利用传感器测试出的最大运动速度，即可计算出后座部分的动量变化量，从而得到后座冲量。

测试系统如图 2 所示，主要由台架、传感器、数据采集(记录)仪和计算机软件等组成。

1) 台架：为桁架结构，顶部加工有高精度平面，在平面上安装一个低阻尼高精度轨道，将轨道固定在平面上，通过卡箍和安装平板将火炮与轨道上的运动滑块固定连接，台架底部装有万向脚杯，可以调整轨道水平，在轨道的前后两端安装有挡块，防止因位移过大造成脱轨，试验时火炮发射后滑块与火炮及安装平板一起运动。

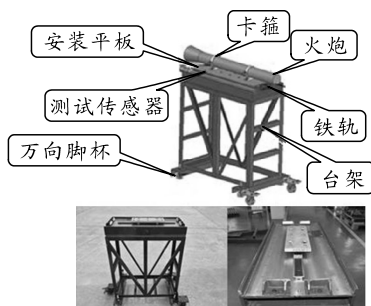


图 2 测试系统

2) 传感器：采用美国 MTS 公司的磁致伸缩线性位移/速度传感器，外形结构如图 3 所示。



图 3 磁致伸缩线性位移传感器结构

该传感器具有测量精度高，响应快等特点，能够同时输出位移和速度 2 路数据。

① 位移测量参数：

- a 测量范围： 750 mm ；
- b 分辨率： 16 位 D/A ， 0.0015% (最小 $1\text{ }\mu\text{m}$)；
- c 数据更新频率： 0.5 ms ；
- d 线性误差： $\pm 0.01\% \text{ F.S.}$ ；
- e 重复精度： $\pm 0.001\% \text{ F.S.}$ ；
- f 滞后： $< 4\text{ }\mu\text{s}$ 。

② 速度测量参数：

- a 测量范围： $0.025 \sim 10\text{ m/s}$ ；
- b 偏差： 0.5% ；
- c 分辨率： 0.1 mm/s ；
- d 数据更新时间： 5 ms 。

测量时，通过连接杆或推拉杆等配件直接与被测物体的移动部件相连接，带动磁性滑块在导轨上做往复运动，输出与导轨端头距离/磁性滑块运动速度成线性比例关系的电压信号，由数据采集仪记录，从而获得磁性滑块在导轨上的运动轨迹及速度变化曲线。

3) 数据采集(记录)仪：采用四川天奥公司生产的 SC 系列数据采集系统。该系统集成多通道数据采集、激励和存储等功能，具有 4、8、16 和 32 通道等多种类型；可用于通用数据采集或类似冲击波、振动、位移等多种类型传感器的同步信号采集；最高采样率为 10 M ；具有丰富的触发功能，包括 GPS 同步触发、外触发、内触发、立即触发等；采用加固式设计，具有良好的环境适应性和抗环境干扰能力。

2.3 数据处理方法

通过对数据采集系统记录到的速度-时间曲线的判读, 获得运动过程中速度的最大变化量 Δv , 结合对所有运动体的称重结果 m , 运用公式:

$$I = Ft = m\Delta v. \quad (3)$$

式中: Δv 为速度变化量(无座力火炮从静止到最大运动速度的差值); m 为运动体质量(包括无座力火炮、滑块、底板、紧固螺钉、紧固螺栓等所有运动部分质量)。

根据采集的数据和冲量计算公式, 即可获得无座力火炮发射过程中的动不平衡冲量。

3 试验验证

3.1 测试系统标定

为保证装置测试结果的准确性, 对测试系统进行了标定, 原理和方法如下。

采用 7.62 mm 枪弹对固定有收弹装置的测试平台射击, 测量出弹丸速度 v_1 , 弹丸质量已知为 m_1 , 则弹丸的动量 $I_1 = m_1 v_1$; 通过传感器测出平台的最大运动速度 v_2 , 平台的质量已知为 m_2 , 则测试得平台动量 $I_2 = (m_1 + m_2) v_2$ 。根据动量守恒定理, I_1 与 I_2 应相等, 以 I_1 为基准, 比较 I_1 与 I_2 的差值。

试验场地布置如图 4 所示, 上部采用 $\Phi 108$ mm

的钢管, 钢管长度 1 m, 一端开口, 另一端用钢板封堵。将松木棒从开口端塞入管内, 端面与管口齐平, 在松木棒端面画上瞄准“十”字线。



图 4 试验场地布设

试验前称量运动部分的总重量, 包括滑块、平板、卡环、钢管、固定螺栓等, 按以下步骤进行试验:

- 1) 调整测试装置水平;
- 2) 安装加速度传感器和位移传感器, 调试数据采集系统;
- 3) 架设光幕靶测枪弹速度 v ;
- 4) 架设 7.62 mm 弹道枪, 枪口距松木棒端面距离 20~25 m, 调整火线高度, 以 0 射角射击 5 发;
- 5) 计算枪弹着靶时的动量: $I_1 = m_1 v_1$, m_1 取枪弹丸图定重量 8.0 g;
- 6) 测试装置测得平台的动量: $I_2 = (m_1 + m_2) v_2$;
- 7) 比较 I_1 与 I_2 的差值。

共射击 5 发枪弹, 测试结果见表 1, 测试装置平均误差为 0.48%(0.029 85 N·s)。

表 1 测试装置验证结果

序号	枪弹速度/(m/s)	枪弹动量 I_1 /(N·s)	平台最大运动速度/(m/s)	平台动量 I_2 /(N·s)	$I_2 - I_1$ /(N·s)	测试误差/%
1	767.80	6.142	0.328	6.045	-0.097	-1.58
2	764.80	6.118	0.334	6.161	0.043	0.69
3	760.50	6.084	0.331	6.108	0.024	0.39
4	754.70	6.038	0.314	5.799	-0.239	-0.48
5	754.70	6.038	0.333	6.158	0.120	1.99
均值	770.62	6.165	0.332	6.150	-0.015	-0.24

3.2 试验测试

应用该测试系统对某型无座力炮进行了动不平衡冲量测试, 测试步骤及方法如下:

1) 称量运动体质量: 运动体重量包括火炮、滑动滚轮及其连接板、火炮连接铝板、火炮卡箍和各连接部分的螺钉螺栓等运动部分的所有重量;

2) 测试台架调平: 将测试台架运放至发射阵地, 对准发射方向, 通过 4 个角位置安装的 4 个万向脚杯调整台架纵向和横向水平;

3) 火炮安装: 通过卡箍和安装平板将火炮与轨道上的运动滑块固定连接;

4) 测试系统连接: 通过固定螺丝将传感器主体固定到台架台面, 通过低噪声信号电缆将传感器与

数据采集设备对应的通道相连, 连接传感器端的信号电缆通过胶带、扎带或其他方式固定于发射架上, 避免发射过程中由于滑动部分的移动而对信号线缆的连接可靠性带来影响;

5) 采集参数设置: 采样率设置为 10 k, 采集长度不小于 15 s, 触发方式采用手动触发方式, 耦合方式为直流;

6) 数据采集: 射击准备完毕, 在火炮发射前 3 s 点击“启动设备”, 数据采集系统开始记录, 将火炮的运动参数记录并存储。

火炮射击过程中测试装置强度和稳定性均满足射击要求, 火炮后座运动平稳, 测试系统工作正常, 测试结果见表 2 所示。

表 2 动不平衡冲量试验测试结果

序号	运动部分 总重/kg	最大位移 量/mm	最大后座 速度/(m/s)	后座冲量 /(N·s)
1	18.43	121.27	0.28	5.16
2	16.44	175.57	0.84	13.81

4 结论

综上所述,笔者基于无座力炮动不平衡冲量测试的现状,提出一种测试方法,并对测试装置进行试验验证,试验测试误差低于 0.01 N·s。与传统测试方法相比,该方法在保证测试精度的同时操作更加简便,解决了靶场无座力炮动不平衡冲量的测试难题。该套测试装置的成功应用可为无座力炮、单兵火箭发射筒等武器的动不平衡冲量测试试验提供方法参考。

参考文献:

- [1] 肖剑. 仿瑞典古斯塔夫无后坐炮若干关键技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2020.
- [2] 涂炳灿. 轻量化 82 mm 无后坐力炮关键技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2019.

(上接第 14 页)

从上图中可明显看出,补偿后的效果更加合理,可以说明矢量三角精度补偿法是一种比较合理的补偿方式。

5 结论

笔者分析了火炮检测机器人测量数据补偿方法,通过对管道内部结构与检测机器人旋转运动过程分析,发现火炮内膛轴线与机器人旋转中心不重合产生的误差,分析测量误差产生的几何机理并提出矢量三角法补偿方法,推导基于矢量三角法的误差补偿计算公式,通过多次检测之后的数据对比,以及所拟合的 155 mm 口径炮管截面图对比分析。结果表明:矢量三角补偿法在数据检测中起到了数据补偿的作用,确保了测量数据结果的精度,解决了火炮内膛轴线与机器人旋转中心不重合产生误差的问题,使测量数据的准确性得到保证。

参考文献:

- [1] 崔永俊,张强. 基于激光三角法的火炮身管内径测量系统设计[J]. 电子测量技术, 2021, 44(9): 26-30.
- [2] 张强. 基于激光三角法的火炮身管内径自动测量系统

- [3] 秦延景. 中国仿美无后坐力炮—52 式 57mm、56 式 75mm 无后坐力炮(下)[J]. 轻兵器, 2007(14): 15-19.
- [4] 章勇,杨臻,吴臣. 平衡炮内弹道不平衡冲量技术研究[J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(2): 102-107.
- [5] 陈志坚,林辉,张海凌. 单兵武器发射器动不平衡冲量分析与计算[J]. 弹箭与制导学报, 2008, 28(6): 164-165.
- [6] 张爱军. 便携式武器不平衡冲量测量装置的改进设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2005.
- [7] 杨则尼,吴承鉴,崔玉江. 无坐力炮不平衡力的实验研究[J]. 弹道学报, 1990(1): 77-80.
- [8] 庞春桥,陶钢,李召. 轻型无后坐力炮的动不平衡冲量特性[J]. 兵工学报, 2020, 41(12): 2424-2431.
- [9] 薛举元,陶钢,王鹏. 基于平衡算法的无坐力炮不平衡冲量研究[J]. 兵器装备工程学报, 2022, 43(4): 1-6.
- [10] 国防科学技术工业委员会. 常规兵器定型试验方法无座力炮: GJB349.25-90[S]. 北京: 国防科工委军标出版社, 1990: 1-50.
- [11] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [12] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [13] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [14] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [15] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [16] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [17] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [18] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [19] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [20] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [21] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [22] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [23] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [24] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [25] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [26] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [27] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [28] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [29] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [30] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [31] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [32] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [33] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [34] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [35] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [36] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [37] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [38] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [39] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [40] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [41] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [42] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [43] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [44] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [45] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [46] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [47] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [48] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [49] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [50] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [51] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [52] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [53] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [54] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [55] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [56] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [57] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [58] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [59] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [60] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [61] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [62] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [63] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [64] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [65] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [66] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [67] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [68] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [69] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [70] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [71] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [72] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [73] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [74] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [75] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [76] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [77] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [78] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [79] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [80] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [81] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [82] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [83] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [84] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [85] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [86] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [87] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [88] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [89] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [90] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [91] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [92] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [93] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [94] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [95] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [96] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [97] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [98] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [99] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.
- [100] 杨则尼. 无后座炮设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983: 47-50.