

## 基于ADAMS的航炮供弹箱改进设计

杨志远<sup>1</sup>, 王惠源<sup>1</sup>, 张鹏军<sup>1</sup>, 张成卿<sup>1</sup>, 牛碧凯<sup>2</sup>

(1. 中北大学, 太原 030051; 2. 中国兵器工业208所, 北京 102200)

**摘要:** **目的** 提出一种23 mm航炮无链供弹箱设计,使其空间利用率提高,降低供弹所需的能量,提高高射速武器供弹系统可靠性。**方法** 改变无链供弹输送单元的排列方式,根据现有供弹箱设计进行排列;计算关键弹箱的主要改变部分;利用动力学软件ADAMS对关键部分进行仿真验证。**结果** 供弹箱改进以后,空间利用率提高了50%,相同弹药的供弹功耗降低了54%,极大地提高了供弹系统的可靠性;关键处设计可以通过ADAMS仿真验证。**结论** 文中的设计改进能够在很大程度上提高现有供弹箱的性能,对未来高射速武器供弹系统设计有一定意义。

**关键词:** 线性无链供弹; 折叠排列; 动力学仿真

**中图分类号:** TJ391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)07-0080-05

## Design Improvement of Ammunition Box for Aerial Cannon Supplies Based on ADAMS

YANG Zhi-yuan<sup>1</sup>, WANG Hui-yuan<sup>1</sup>, ZHANG Peng-jun<sup>1</sup>, ZHANG Cheng-qing<sup>1</sup>, NIU Bi-kai<sup>2</sup>

(1. North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Institute of China Ordnance Industry 208, Beijing 102200, China)

**ABSTRACT:** This experiment proposed one kind of 23 mm chainless feed box design to improve its space utilization, reduce the energy required to feed and improve reliability of the high-speed weapon ammunition system. The arrangement of chainless feeding conveyor units was changed and rearranged according to the existing feeding box design. The key changed part of the essential ammunition box was calculated. The simulation confirmation was conducted using the dynamics software ADAMS for the essential part. After improvement, the space utilization was increased by 50%, the equal ammunition feeding power loss was reduced by 54%, which greatly improved the feed system reliability. The design of key parts passed the ADAMS simulation test. The design can improve the property of the feeding box to a large extent and had certain significance for the design of high-speed weapon ammunition system in the future.

**KEY WORDS:** liner chainless feeding; folding arrangement; dynamic simulation

现代社会的科学技术不断革新,几乎所有国家的兵器装备都进行了全面升级,各个国家都在着重发展空军装备。航炮作为一种重要的航空武器,其技术指标也在不断提高。射速、射击密集度是航空自动火炮的重要参数<sup>[1-3]</sup>。要想提高射速和射击密集度,必须研发出高效率的火炮供弹机构。无链供弹技术是群体

技术的集成,它涉及到机械、微电子、信息、自动控制、传感测量、接口及编程软件等群体技术。该技术具有机械性能高、质量高、精度高、可靠性高、能耗低等优点。而常规的无链供弹系统即普遍的直排无链弹箱,虽然较弹链供弹来说提高了射速,去掉了弹链供弹过程中包括除链、排链等动作,但仍然需要很大的供弹

收稿日期: 2015-04-28

作者简介: 杨志远(1990—),男,河北衡水人,中北大学硕士生,主攻武器结构设计及机械动力学。

通讯作者: 王惠源(1965—),男,河北清苑人,博士,中北大学教授、硕导,主要研究方向为高射速发射理论与技术和武器结构与仿真技术。

能源,这就急需一种新型弹箱来满足高射速武器的供弹能源低、空间利用率高的要求,进一步提升高射速武器系统的技战术性能<sup>[4-5]</sup>。

这里的设计就是为了满足这一要求,在现有供弹箱的基础上设计一种新型无链弹箱,改进当前使用的无链供弹箱功耗大、空间利用率低的缺点,提高空间利用率,降低空间占用,降低供弹的功耗,增加高射速武器供弹系统的可靠性。

### 1 设计原理

高射速武器无链供弹系统主要包括弹箱、弹链软导引以及武器接口组成,见图1。

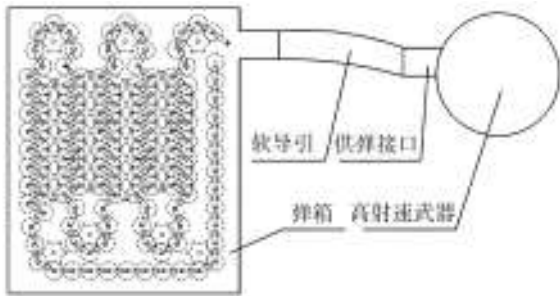


图1 供弹系统  
Fig.1 Feeding system

折叠状态排列弹药相比于直线排列弹药,可以在相同弹药量要求下很大程度地节省弹箱需求空间,弹药折叠排列见图2。

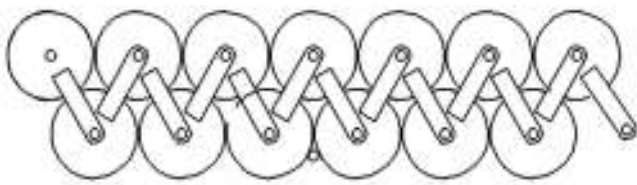


图2 弹链折叠排列  
Fig.2 Chain folding sketch

### 2 理论分析计算

降低弹箱的供弹功耗对提高武器性能有重要意义<sup>[6]</sup>,尤其对高射速武器意义重大,射速越高其供弹功耗越大,对供弹系统零件的强度要求越高,降低其功耗可以减小强度压力,降低高射速武器故障率。

#### 2.1 空间分析

空间分析的前提条件为两种供弹箱所占最大外

部空间相同,这种折叠排列方式相较于直排方式更能提高空间利用率,弹链折叠排列与直线排列对比见图3。



图3 弹链折叠排列与直线排列对比  
Fig.3 Comparison of fold arrangement and line arrangement of the ammunition belt

如图3所示,相同空间内折叠排列弹药数为43发,直排为28发,去掉换向处的12发弹药,折叠弹药占有所有储存弹药的比例为 $\varphi = 72\%$ ,其空间相对利用率为 $\delta = 1.5$ ,由此可知相对空间利用率提高了50%,即相同的空间内可以多放50%左右的弹药。这样将极大提高航空武器的载弹量,有利于提高航空武器性能,对相同空间提高载弹量以及相同载弹量减小占用空间有着重要意义<sup>[7]</sup>。

#### 2.2 能量分析

能量分析的前提条件为两种弹箱设计输送相同数量的弹药。通过弹链运动规律可知,折叠处弹药的输送速度为正常发射供弹速度的一半,即 $v/2$ 。此次无链输弹弹箱设计节距 $P=38.75$  mm,设弹链链节和弹药的质量为 $m$ ,武器发射速度为 $S_{PM}=6000$  r/min。

直排弹箱的供弹速度为:

$$v_1 = \frac{S_{PM}P}{60 \text{ s/min}} = 3.875 \text{ m/s}$$

折叠弹箱折叠部分的供弹速度:

$$v_2 = \frac{1}{2}v_1 = 1.937 \text{ m/s}$$

由空间分析可知折叠弹药所占比例为 $\varphi = 72\%$ ,

直排弹链的输弹功率 $E_1 = \sum_1^n \frac{1}{2}mv_i^2$ , $i$ 为弹链总数,

能量降低 $\Delta E$ 为 $\Delta E = \varphi \sum_1^n \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2) = \frac{3}{4}\varphi E_1$ ,能量

降低率为 $\varphi_E = \frac{\Delta E}{E_1} = 54\%$ 。

由以上计算分析可知,折叠排列方式相对于直排弹链弹箱有较大的提高,其中空间利用率提高约

50%,供弹能耗降低约54%。这样极大地降低了自动武器供弹系统空间的占用和供弹能量耗损,对提高高射速武器的供弹可靠性能有较大的意义。

### 2.3 凸轮导轨连接段的设计计算

折叠弹链在通过拐角时,必须严格依次展开与折叠,这就要求折叠时并列的两列弹链在自己的导轨内运动,见图4。

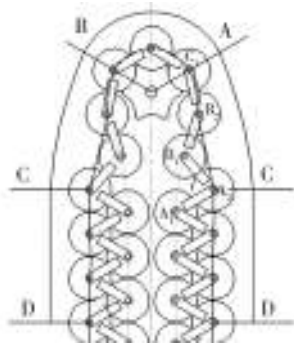


图4 导轨分段图

Fig.4 The sectional drawing of guide rail

根据设计目标可以把导轨中心轨迹分为3段:圆弧AB段;曲线AC和BC段;直线CD段。由于这段导轨左右对称,故计算其一半(右侧)即可。通过图4可知当弹链离开C—C线时弹链运动轨迹开始发生偏转,两列并行弹链开始依次展开并拢。

## 3 三维模型的设计组装

### 3.1 总体结构

根据现有的无链弹箱排列方式,结合弹链的折叠储存方式以及供弹系统总体图,可进行总体结构设计。利用三维设计软件进行结构的三维建模设计,见图5,其主要结构为弹链系统、弹链驱动系统、拐角支撑以及弹链导轨设计等重要部分。

### 3.2 弹链驱动系统

由图5可知弹链驱动系统包括圆弧处的链轮和中间的链式传动杆,其中折叠部分弹体的驱动来源为链式传动杆<sup>[8-10]</sup>,其结构见图6。

根据结构可知链式输送杆两杆之间的节距为39 mm,由理论计算可知当航炮射速为6000 r/min时,折叠弹箱折叠部分的供弹速度。由于空间以及机构强度限制,因此这里的输送链不采用标准件,其链节参

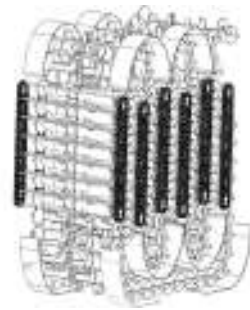


图5 弹箱内部结构

Fig.5 The overall internal structure diagram of the ammunition box



图6 链式传动杆

Fig.6 Chain drive rod

数为:齿数 $Z=8$ ,节圆半径 $R=12\text{mm}$ ,节距 $P=12\text{mm}$ ,链接数 $n=52$ ,中心距 $L=232.5\text{mm}$ 。

其链轮节圆半径 $r_0=12\text{mm}$ 。由此可知其驱动转速为:

$$\omega_0 = \frac{v_l}{r_0} = 25 \text{ r/s}$$

由链轮带动连杆完成弹药折叠部分的平移输送。

### 3.3 凸轮导轨结构设计

当弹链通过圆弧拐角部分时,必须严格依次展开与折叠。这部分是弹箱设计的关键。

## 4 凸轮导轨的仿真验证

回转时能否按照设计规律进行展开与折叠,是设计的关键所在,因此除了数据计算,还必须利用ADAMS进行验证仿真<sup>[11-14]</sup>。将相邻链节依次放入并列导轨,导入ADAMS中进行仿真。

对这一弹链组通过凸轮导轨时各支脚中心轨迹以及两弹链夹角进行测试,其仿真结果如下。

- 1) 内外链节Y\_X相图见图7。
- 2) 内外链节夹角(A角)通过凸轮导槽变化,见图8。
- 3) 射速分别为3000发/min,4000发/min,5000发/

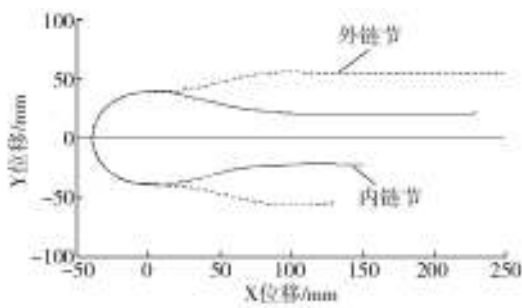


图7 内外链节Y\_X相图

Fig.7 The Y\_X phase diagram of inner and link

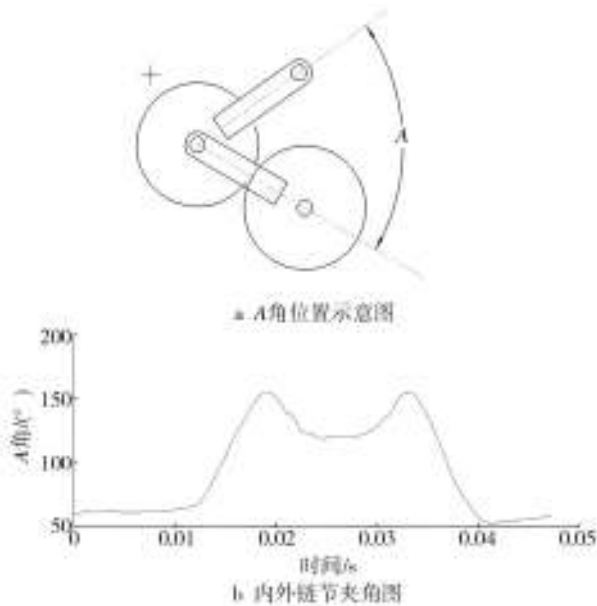


图8 相邻链节夹角变化

Fig.8 The adjacent link angle changes

min,6000发/min时,链节的速度—时间见图9。

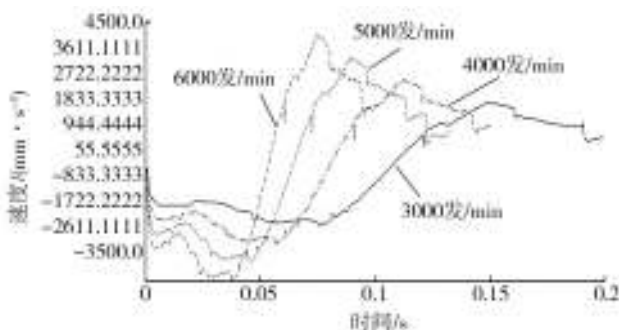


图9 链节的速度—时间图

Fig.9 Diagram of velocity-time of link section

通过模拟射速运动仿真,由仿真结果可知,圆弧处的凸轮导轨可以满足弹链的依次展开与折叠,X方向速度展开后为折叠速度的2倍,说明这种弹链的排列方式可以极大地减小供弹所需能量耗损,对提高高

射速武器供弹可靠性有一定的意义。

## 5 结语

这里提出了一种新型高射速武器供弹系统局部设计,有效地提高了高射速武器武器供弹系统的工作性能:相同条件下,其空间利用率提高了50%,输送能量降低了54%。极大地降低了供弹弹箱的占用空间以及供弹功耗,对各种高射速武器的供弹系统设计研究有一定的意义,具有先进性。

## 参考文献:

- [1] 《步兵自动武器及弹药设计手册》编写组. 步兵自动武器及弹药设计手册[M]. 北京:国防工业出版社,1977.  
Redactors of Infantry Automatic Weapons and Ammunition Design Manual. Infantry Automatic Weapons and Ammunition Design Manual[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1977.
- [2] GOLDEN D M, CESA C. Drum-Type Ammunition Magazine: US,4457208[P]. 1984.
- [3] 徐健,薄玉成,常学芳. 超高射速转管炮新型低功耗凸轮曲线设计[J]. 弹道学报,2009,21(2):70—73.  
XU Jian, BO Yu-cheng, CHANG Xue-fang. New Type of Low Power Consumption Cam Curve Designed for Sir PeHigh Fire Ratio Gatling Gun[J]. Jorunal of Ballistics, 2009, 21(2):70—73.
- [4] 王裕安,徐万和,薄玉成. 自动武器构造[M]. 南京:南京理工大学,2005.  
WANG Yu-an, XU Wan-he, BO Yu-cheng. Automatic Weapon Conformation[M]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2005.
- [5] 郑建荣. ADAMS虚拟样机技术入门与提高[M]. 北京:机械工业出版社,2002.  
ZHENG Jian-rong. ADAMS-Primary and Advance of Virtual Prototype[M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [6] 席晓燕. 基于ADAMS的含间隙酒瓶装箱机构优化设计[J]. 包装工程,2013,34(1):69—74.  
XI Xiao-yan. Optimal Design of Wine Bottle Packaging Machine with Clearance Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1):69—74.
- [7] HE Yu-peng, ZHAO Sheng-dun. Study of Utilizing Differential Gear Train to Achieve Hybrid Mechanism of Mechanical Press[J]. Science in China Series E-technological Sciences, 2007(1):69—80.
- [8] 侯友夫,黄民,张永忠. 带式输送机动态特性及控制技术[M]. 北京:煤炭工业出版社,2004(5):53—66.  
HOU You-fu, HUANG Min, ZHANG Yong-zhong. Dynamic

- Characteristics and Control Technology of Belt Conveyor[M]. Beijing: Coal Industry Press, 2004(5): 53—66.
- [9] 李杨, 李光. 基于 SolidWorks 的托盘结构有限元分析及优化设计[J]. 包装工程, 2011, 32(19): 1—4.  
LI Yang, LI Guang. Structural Finite Element Analysis and Optimum Design of Pallet Via SolidWorks[J]. Packing Engineering, 2011, 32(19): 1—4.
- [10] 方子帆, 舒刚, 何孔德, 等. 齿轮传动多体接触动力学模型[J]. 机械传动, 2009(1): 15—18.  
FANG Zi-fan, SHU Gang, HE Kong-de, et al. Gear Transmission Dynamics of Multi-body Contact Model[J]. Mechanical Transmission, 2009(1): 15—18.
- [11] HUANG Xiao-guang, WEI Chen-guan. Stability of Oil Film and Output Speed of Hydro-Viscous Drive Affected by the Pressure of Control Oil[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2005, 3(3): 185—187.
- [12] 王晓雪. 非合作目标对接捕获机构的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.  
WANG Xiao-xue. Research on the Docking and Capturing Mechanism for the Uncooperative Target Satellites[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2009.
- [13] 丁晓红, 李国杰. 箱型支撑结构加筋板布局设计方法研究[J]. 中国机械工程, 2012, 23(4): 449—453.  
DING Xiao-hong, LI Guo-jie. Layout Design Optimization of Stiffener Plates Inside Housing Structures[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2012, 23(4): 449—453.
- [14] 魏衍侠. 基于 ADAMS 手抛式机器人碰撞动力学分析[J]. 机械工程与自动化, 2011(2): 82—85.  
WEI Yan-xia. Analysis the Impact Dynamics of Throwing Type Robot Based on ADAMS[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2011(2): 82—85.

(上接第 16 页)

- 林大学, 2006.  
SU Jiang. Inertial Vibration Type Feeder Design and Experimental Research[D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [6] 贺欣乔. Z 型弹簧片压电振动送料器的设计与实验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.  
HE Xin-qiao. Z Spring Leaf Piezoelectric Vibratory Feeder Design and Experimental Research[D]. Changchun: Jilin University, 2008.
- [7] 乔忠智. 横推式压电振动给料器的设计与试验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.  
QIAO Zhong-zhi. The Design of Horizontal Pushing Type Piezoelectric Vibration Feeder and Experimental Research [D]. Changchun: Jilin University, 2007.
- [8] 赵立冬. 压电双晶片水平布置式送料器的设计与实验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.  
ZHAO Li-dong. Double Piezoelectric Wafer Level Arrangement Type Feeder Design and Experimental Research[D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [9] 刘品宽, 孙立宁, 祝宇虹, 等. 双压电复合薄圆板驱动器的理论分析[J]. 压电与声光, 2002, 24(2): 111—115.  
LIU Pin-kuan, SUN Li-ning, ZHU Yu-hong, et al. Double Piezoelectric Composite Thin Circular Plate Theory Analysis of the Drive[J]. Piezoelectric and Acousto-optic, 2002, 24(2): 111—115.
- [10] 曾伶俐. CPBA 圆形压电双晶驱动器的性能研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.  
ZENG Ling-li. The Performance of Circular Piezoelectric CPBA Twin Drives Research[D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2013.
- [11] 张宏壮, 曾平, 华顺明, 等. 压电双晶片型惯性冲击式旋转精密驱动器研究[J]. 光学精密工程, 2005, 13(3): 298—304.  
ZHANG Hong-zhuang, ZENG Ping, HUA Shun-ming, et al. Double Piezoelectric Wafer Rotating Precision of Inertial Impact Type Drive Research[J]. Optical Precision Engineering, 2005, 13(3): 298—304.
- [12] 吴丽萍, 程光明, 杨志刚, 等. 双作用压电泵绝缘压电振子[J]. 光学精密工程, 2008, 16(1): 103—107.  
WU Li-ping, CHENG Guang-ming, YANG Zhi-gang, et al. Double-acting Piezoelectric Pump Insulation of Piezoelectric Vibrator[J]. Optical Precision Engineering, 2008, 16(1): 103—107.
- [13] 李知远. 悬臂梁式压电俘能器理论和实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.  
LI Zhi-yuan. Ere Piezoelectric Cantilever Beam Type Energy Absorber Theoretical and Experimental Research[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008.
- [14] 阮志林. 新型多层悬臂梁压电发电装置的发电性能研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.  
RUAN Zhi-lin. New Multi-level Cantilever Piezoelectric Power Generation Device of Power Performance Study[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2013.
- [15] 王鹏. 基于全量理论的金属体积成形有限元模拟研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.  
WANG Peng. Based on the Theory of the Full Amount of Metal Bulk Forming Finite Element Simulation Research[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2009.