

doi: 10.7690/bgzd.2025.11.004

某车载半自动炮输弹机卡滞分析与解决

陈 燕¹, 渠志刚², 李卫士¹, 张 军¹, 万 晨¹, 啜燕军¹, 陶俊瞳¹

(1. 驻太原地区某军事代表室, 太原 030051; 2. 山西北方机械制造有限公司科研所, 太原 030051)

摘要: 针对某车载炮校输弹机卡滞问题, 对卡滞原因进行分析并提出解决措施。通过故障树分析、分解复查相关零部件尺寸、尺寸链计算等多种手段, 精准定位输弹机安装间隙和弹链定位原因导致输弹过程左右摆动。当输弹机安装最大间隙为 2 mm 和安装限位板时, 输弹机卡滞问题得到解决。结果表明: 该方法促使工艺流程及技术文件的更改, 固化了技术状态, 产品质量提升显著, 并可推广到其他类似装备的输弹机上。

关键词: 输弹机卡滞; 故障树; 尺寸链计算; 输弹机安装最大间隙; 导向板

中图分类号: TJ38 **文献标志码:** A

Analysis and Solution of the Ammunition Conveyor Stuck with the Vehicle-mounted Howitzer

Chen Yan¹, Qu Zhigang², Li Weishi¹, Zhang Jun¹, Wan Chen¹, Chuo Yanjun¹, Tao Juntong¹

(1. Military Representative Office in Taiyuan Area, Taiyuan 030051, China;

2. Research Institute, Shanxi North Machine-Building Co., Ltd., Taiyuan 030051, China)

Abstract: Aiming at the stuck problem of a vehicle-mounted howitzer with conveying machine, we analyzed the causes of sticking and propose solutions. By analyzing the failure tree, decompressing and rechecking the size of the relevant parts, size-chain calculation and other means, the cause of the problem was accurately located, the reasons of conveyor installation clearance and positioning of the ammunition chain was swings from side to side during the ammunition loading process. When the conveyor was installed with the maximum clearance of 2 mm, and the limit plate was installed, the stuck problem of ammunition conveyor had been solved. The results show that it was aiming to make changes to process and technical documents, curing the technical state, it is also extended to other similarly equipped conveyors.

Keywords: ammunition conveyor stuck; failure tree; size-chain calculation; maximum clearance of conveyor installation; guide plate

0 引言

车载炮具有反应速度快、火力打击能力强等特点, 特别在高海拔地区有更好的机动性能, 能快速应对突发情况^[1-2]。

半自动装填输弹机为某车载榴弹炮的重要组成部分, 使用输弹机对弹丸部分的自动装填, 可有效地降低人工装填弹丸的体力消耗, 极大地提升在极端环境的适应性、可靠性和保障性, 是实现火炮火力持续输出的重要保证^[3]。笔者针对某车载炮校输弹机卡滞问题, 分析卡滞原因并提出解决措施。

1 故障情况

在工装上模拟输弹机输弹过程中, 如图 1 所示, 在射角 70°时易出现输弹机推弹动作完成后弹链不回收故障, 卡滞问题直接影响后续批量生产以及试验的顺利进行。



图 1 输弹机现场故障情况

2 输弹机结构及动作原理分析

该输弹机传动方式为电控液压驱动链条, 由箱体、拖弹板、输弹油缸、齿轮传动机构、弹链等组成, 其主要结构如图 2 所示^[4-5]。

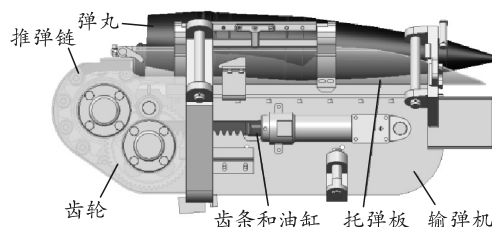


图 2 输弹机结构

收稿日期: 2024-10-10; 修回日期: 2024-11-12

第一作者: 陈 燕(1985—), 女, 山西人, 硕士。

通信作者: 渠志刚(1990—), 男, 山西人, 硕士。

输弹动作控制流程为：液压控制箱将弹链伸出指令传输到输弹液压比例阀，比例阀打开，液压系统输出动力到输弹油缸，输弹油缸带动输弹机传动机构，推动弹链完成输弹；当输弹油缸上碰块触发弹链末位行程开关时，“弹链末位”信号被反馈给液压控制箱，然后传输至综合控制箱，同时液压控制箱将弹链收回指令发给输弹液压比例阀，比例阀完成换向，输弹油缸带动输弹机传动机构将弹链收回，输弹油缸上碰块触发弹链初位行程开关时，将“弹链初位”信号传输给液压控制箱，判断输弹动作完成，反馈到综合控制箱，完成一个输弹动作，流程如图 3 所示。

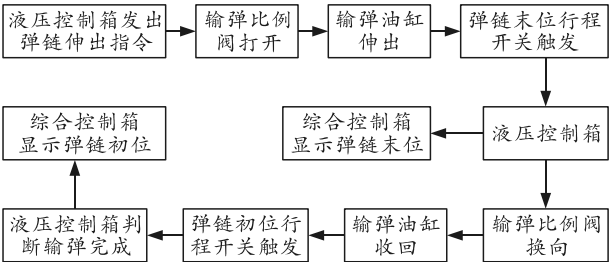


图 3 输弹动作流程

3 故障树分析

3.1 建立故障树

根据输弹机结构和原理，分析认为造成试验弹链不收回问题的因素主要涉及弹链、弹链油缸、弹

链末位行程开关、输弹比例阀等组件。建立故障树如图 4 所示， T 为顶事件， E 为中间事件， X 为底事件。底事件代表可能发生故障的原因。按照故障树中列出可能导致故障的 10 项因素，并对故障输弹机进行了排查^[6]。

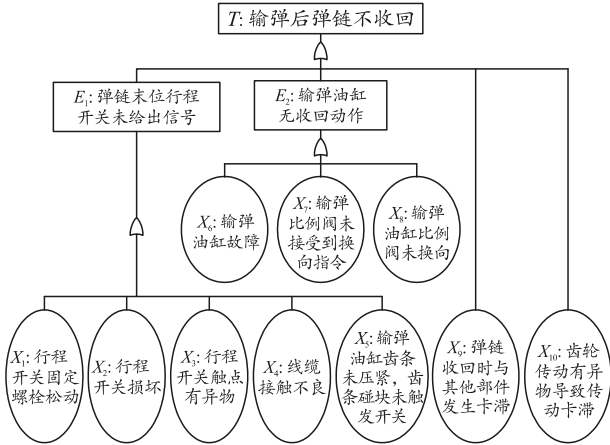


图 4 输弹机弹链不收回问题故障树

3.2 故障初步排除情况

最小割集最常用的方法主要有上行法和下行法。笔者用上行法求故障树的最小割集。故障树的 10 个最小割集，代表了系统发生故障的 10 种模式，由于最小割集均为一个基本事件组成的一阶割集，因此每个基本事件的发生都会导致顶事件的发生。故障排查情况如表 1 所示。

表 1 故障排查情况

事件代码	排查方式	排查结果	备注
X_1	行程开关固定螺栓松动	使用 7 mm 开口扳手对末位行程开关螺栓紧固检查，确定末位行程开关螺栓紧固状态	可排除
X_2	行程开关损坏	对故障炮弹链末位行程开关未发现损坏的痕迹	可排除
X_3	行程开关触点有异物	对故障炮行程开关触点未发现污迹及异物	可排除
X_4	线缆接触不良	手按行程开关触杆 50 次，炮长终端显示信号正常，无故障	可排除
X_5	输弹油缸齿条未压紧，齿条碰块未触发开关	进行输弹油缸动作 80 次，油缸伸出、收回动作时碰块均能正确触发行程开关，观察行程开关动作正常	可排除
X_6	输弹油缸故障	拆除输弹链条，进行输弹油缸单独动作 80 次，油缸伸出、收回工作正常，未发现油缸活塞杆卡滞现象	可排除
X_7	输弹比例阀未接收到换向指令	1) 调取故障发生时综合控制箱实时记录数据，根据火控代码和协议，说明控制系统收发信号正常 2) 使用万用表对输弹比例阀线缆进行排查，线缆通断正常 3) 电脑连接输弹比例阀，观察伸链、收链动作信号，随输弹油缸动作同时验证 80 次，伸链、收链信号正常	可排除
X_8	输弹油缸比例阀未换向	通过软件调取比例阀的动作记录，显示比例阀无故障记录	可排除
X_9	弹链收回时与其他部件发生卡滞	分解故障输弹机的部件，观察各个零部件外观，发现有磕碰痕迹	不可排除
X_{10}	齿轮传动有异物导致传动卡滞	对故障炮输弹机齿轮传动机构进行分解排查；对输弹机进行分解检查，齿轮、齿条、链轮等零件均无异物，动作流畅无卡滞	可排除

由表 1 可见：只有 X_9 项弹链收回时与其他部件发生卡滞的故障不能排除，其余故障均可排除。

对故障输弹机的部件进行拆卸、检查后发现：输弹机的弹链伸出方向 1 320 mm 处有明显划痕，

且在输弹过程中采用高速相机拍摄发现弹链外链板与链轮卡滞如图 5 所示；输弹机弹链链头炮口方向左侧有磕碰痕迹，再返回复查弹尾一侧也有异常碰撞痕迹如图 6 所示。

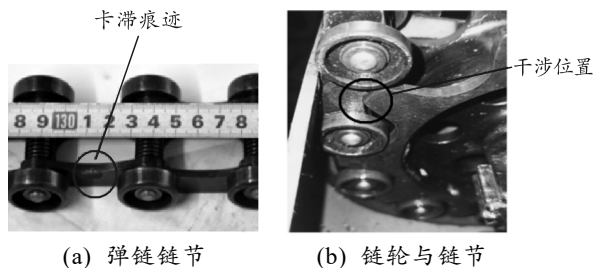


图 5 弹链链节上卡滞痕迹和链轮与链节干涉位置



图 6 弹链链头和弹尾一侧痕迹

4 问题分析

4.1 输弹机安装间隙问题分析

当弹丸推送入膛时，弹丸和弹链在左右方向的角度由安装输弹机是否与炮膛中心线对齐来确定。弹盘会随着输弹机安装间隙大小不同而导致左右摆动，进而带动弹丸和弹链左右摆动，如图 7 所示。

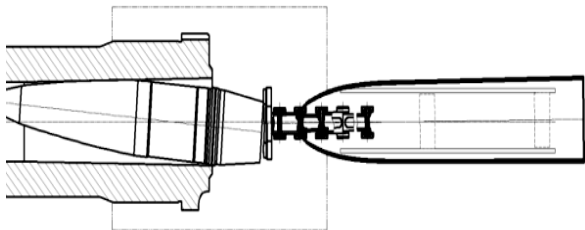


图 7 弹链左右摆动

在对故障输弹机未拆卸时进行间隙检查，发现输弹机中心线与炮膛中心线最大间隙为 2.7 mm，此时与炮膛中心线间的最大角度为：

$$\alpha = \arcsin(2.7 / (385 - 115 + 35)) = 0.5072^\circ \quad (1)$$

在输弹链链头入膛时，其中心偏离炮膛中心的距离为：

$$L = E_1 \times \sin \alpha + E_2 = 12.73 \quad (2)$$

式中： E_1 为输弹机安装在两座块两端的距离为 874 mm， E_2 为输弹链链头初始位置到弹丸尾端圆的距离 5 mm。

此时，链头与弹丸尾端圆的相对偏差位置关系如图 8 所示，其最小距离为 -0.4 mm，链头与弹丸存在干涉部位，推弹入膛时会发生异常碰撞，导致链头折回。

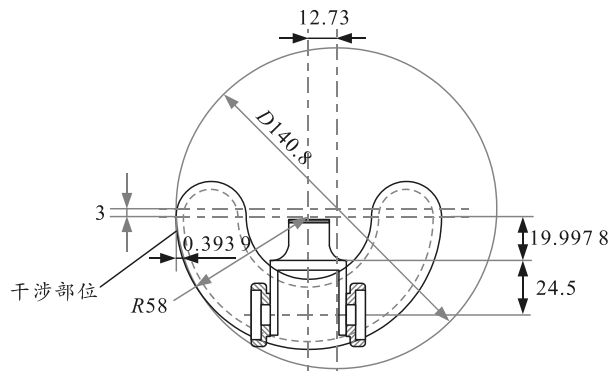


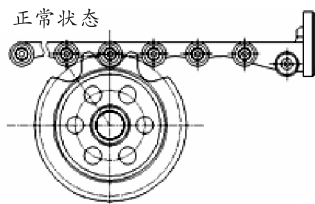
图 8 链头与弹丸尾端圆的相对偏差位置

此时输弹机中心线与炮膛中心线之间的夹角为 0.51° 时，链头与弹丸尾端圆最小距离为 -0.4 mm，计算结果与试验输弹机零部件痕迹部位一致。

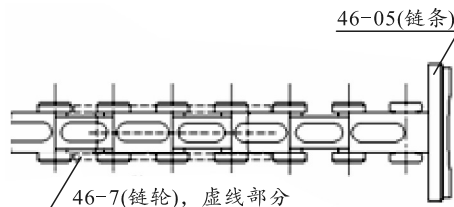
4.2 弹链左右摆动分析

本输弹机采取开放式的链式传动，输弹时链轮和链节相对运动不平稳。收链时，伸出的弹链由直线运动转为绕链轮的圆周运动，链节处的扭簧力会使链节有向上的趋势，而射角越高，抵抗扭簧力的重力分量会越小，所以高射角输弹时弹链易发生上跳，最终导致弹链脱离链轮并发生左右摆动现象^[7]。

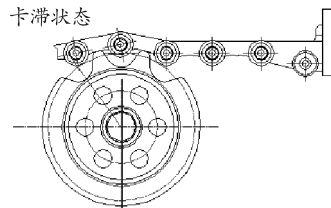
输弹机箱体在弹链绕链轮直线运动转曲线运动区域缺乏对弹链左右约束。当输弹过程中弹链上跳或拱起时，同时存在弹链左右摆动，即造成弹链链节与链轮齿顶卡滞，是导致弹链无法收回的主要原因，如图 9 所示。



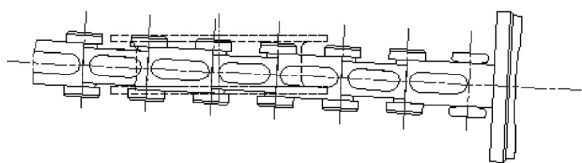
(a) 正常状态正视图



(b) 正常状态俯视图



(c) 卡滞状态正视图



(d) 卡滞状态俯视图

图 9 链条与链轮正常与卡滞状态视图

5 解决方法

5.1 输弹机安装最大间隙计算

为确保托弹盘平稳地将弹丸推进炮膛,需计算出安装输弹机中心线与炮膛中心线最大间隙。本次试验所用弹药为某中口径弹药,重心位置距弹底距离为 262 mm 位置,如图 10 所示。当重心后端最大直径部位进入炮膛内时,弹丸后续部位均可顺利推进,故需以重心前后端最大直径处为边界条件,利用 CAD 画图法计算此时的弹丸与中心线之间的距离 10.801 4 mm。

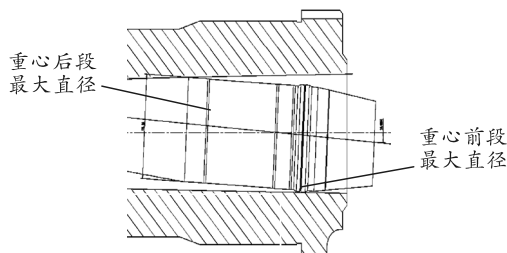


图 10 弹丸重心前后最大直径边界条件

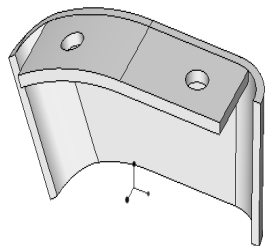
按照前期公式反算出,输弹机中心线与炮膛中心线最大间隙为:

$$d = \{(10.801\ 4 - E_2)/E_1\} \times (385 - 115 + 35) = 2.03\ \text{mm}。(3)$$

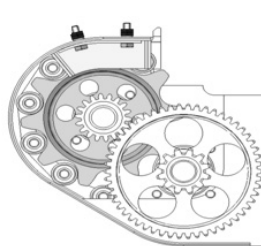
当输弹机中心线与炮膛中心线最大间隙不大于 2 mm 时,输弹机可将弹丸顺利推进炮膛。

5.2 链条左右摆动改进方案

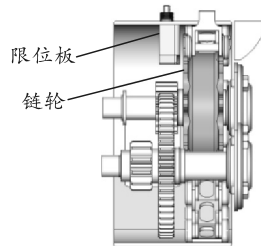
为了防止当输弹过程中弹链上跳或拱起时,同时存在弹链左右摆动,即造成弹链链节与链轮齿顶卡滞的情况,需在箱体链条出入口端右侧增加限位板如图 11 所示,限制弹链在运动过程中的左右摆动,防止链条卡滞。



(a) 限位板



(b) 限位板安装正视图



(c) 限位板安装俯视图

图 11 限位板及安装视图

安装限位板后,需对限位板与链轮间隙进行尺寸链计算,防止影响输弹动作,如图 12 所示。

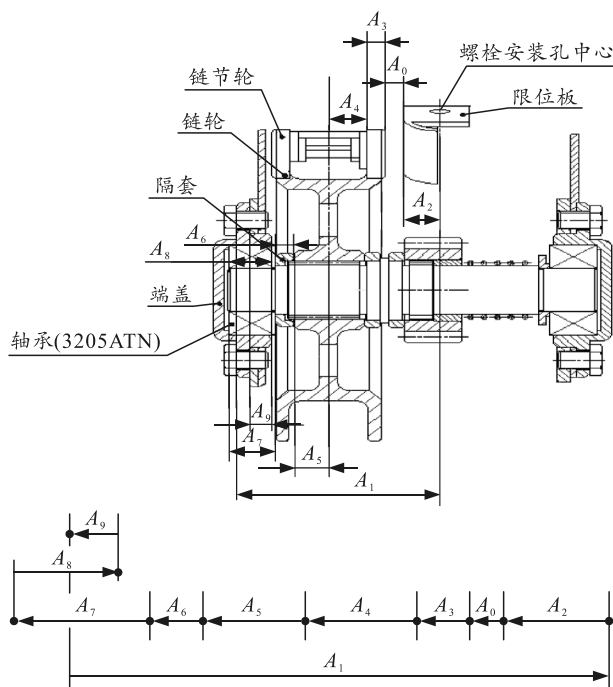


图 12 尺寸链

尺寸链计算关系为:

$$\begin{aligned} A_0 &= A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_6 - A_7 + A_8 - \\ A_9 &= 77.5_{-0.2}^{+0.2} - 16_{-0.2}^{+0.2} - 8_{-0.1}^0 - 17_{-0.027}^0 - 15.5_{-0.11}^0 - \\ &8_0^{+0.2} - 20.6 + 19.1_0^{+0.084} - 10_0^{+0.15} = 1.5_{-0.75}^{+0.721} \end{aligned} \quad (4)$$

限位板与链轮间隙为 $1.5_{-0.75}^{+0.721}\ \text{mm}$ 。

6 试验验证

在调整输弹机间隙和安装限位板后,在工装上利用模拟弹采用“一键输弹”开展了输弹动作验证。由于在大射角 70° 情况下更容易出现卡滞现象,进行了 150 次装填验证,在小射角 0°、17° 和 30° 下分别进行了 100 次装填验证,均未出现卡滞现象。

7 结论

1) 输弹机安装后,需确保在水平方向上输弹机中心线与炮膛中心线偏差不大于 2 mm,方可保证

输弹机顺利推弹到炮膛。

2) 为防止弹链在运动过程中左右摆动, 需在弹链出入口端右侧增加限位板, 既满足限位功能, 又能满足输弹动作。

3) 考虑到其他火炮也采用类似结构输弹机, 并可推广到其他类似装备的输弹机上。

4) 该研究推动了科研成果快速与生产单位的深度融合, 为后续批量生产做好了充分的人员准备、技术准备和工艺准备, 可加快实现从样机研制到工业化批量生产的无缝连接。

参考文献:

[1] 谈乐斌, 张相炎, 潘孝斌, 等. 火炮概论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014: 177-185.

(上接第 5 页)

[8] 王世英. 浇注 PBX-XX 装填半穿甲战斗部的抗高过载试验研究[C]//2005 年弹药战斗部学术交流会. 北京: 北京理工大学, 2005

[9] 屈可朋, 沈飞, 王世英, 等. RDX 基 PBX 炸药在不同应力率下的撞击安全性[J]. 火炸药学报, 2014(6): 40-43.

[10] 王世英, 胡焕性. 炸药装药工艺对发射安全性的影响[J]. 火炸药学报, 2003, 26(1): 20-22.

[11] 张涛, 肖扬, 郭晓红, 等. 不同装药工艺对装药安定性的影响[J]. 弹箭与制导学报, 2011, 31(2): 86-88.

[12] 高立龙, 牛余雷, 王浩, 等. 典型炸药柱的 400kg 落锤撞击感度特性分析[J]. 含能材料, 2011, 19(4): 428-431.

[13] 王世英. 炸药装药在落锤撞击下的应力测试方法研究[J]. 计测技术, 2013, 33(s1): 49-52.

[14] 许志峰, 屈可朋. 装药发射安全性模拟加载试验方法研究[J]. 火工品, 2015(6): 51-53.

[15] DAI X, HUANG Q, HUANG F, et al. The Development of a Confined Impact Test for Evaluating the Safety of Polymer-Bonded Explosives During Warhead Penetration[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2015, 40(5): 665-673.

[16] 代晓淦, 向永, 申春迎, 等. 大药片落锤撞击感度研究[J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(4): 381-384.

[17] LECUME S, BRUNET P, CHABIN P, et al. Survival of high explosives during penetration[J]. ASME-PUBLICATIONS-PVP, 1999, 394: 161-166.

[2] 薛军楼, 陈友龙. 我军快反部队的新利器 PCL-171 型 122 毫米车载榴弹炮[J]. 坦克装甲车辆, 2022, 35(3): 15-21.

[3] 侯保林, 樵军谋, 刘琮敏. 火炮自动装填[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2010: 69-77.

[4] 王登, 高跃飞, 刘洋, 等. 一种长行程大负载链式输弹机设计[J]. 机械传动, 2019, 43(7): 161-167.

[5] 郝驰宇, 冯广斌, 闫鹏程, 等. 基于 MFBD 的输弹机刚柔耦合动力学建模及仿真分析[J]. 振动与冲击, 2016, 35(15): 161-167.

[6] 张振山, 黄晶晶, 邓威, 基于故障树的旋转输弹机故障诊断专家系统[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(7): 1913-1914.

[7] 张振山, 黄晶晶, 邓威. 大口径火炮协调输弹机机构动作可靠性分析与优化[D]. 南京: 南京理工大学, 2023.

[18] LECUME S, LEFRANCOIS A, CHABIN P. Structural and chemical changes in PBX induced by rapid shear followed by compression[C]//12th Detonation Symposium. San Diego: Naval Surface Weapon Center, 2002.

[19] CHABIN P, BRUNET P, LÉCUME S. A Combined Experimental/Numerical Methodology to Assess the Sensitivity of PBX's[C]//12th International Symposium on Detonation. San Diego: Naval Surface Weapon Center, 2002.

[20] 李东伟. 侵彻环境下炸药装药安定性评估方法[D]. 北京: 北京理工大学, 2018.

[21] DOROUGH G D, GREEN L G, GRAY D T. The Susan Test for Evaluating the Impact Safety of Explosive Materials[R]. California Univ, Livermore. Lawrence Radiation Lab, 1965.

[22] 阮庆云, 陈启珍. 评价炸药安全性能的苏珊试验[J]. 爆炸与冲击, 1989(1): 68-72.

[23] 高大元. 炸药的感度与安全性评价方法研究[C]//2002 全国爆炸与安全技术学术交流会. 中国兵工学会, 2002.

[24] 李玉斌. HMX 颗粒特性对压装 PBX 苏珊感度的影响[J]. 火炸药学报, 2012, 35(4): 19-22.

[25] 罗观, 黄辉, 张明, 等. 可浇注固化 PBX 类含铝炸药低易损性研究[J]. 含能材料, 2004, 12(1): 20-22.

[26] 李涛, 胡海波, 向永. 带壳炸药撞击感度评定中的释能速率研究[C]//第六届全国爆轰学术会议. 中国力学学会爆炸力学专业委员会爆轰学组, 2003.