

doi: 10.7690/bgzdh.2026.05.007

# 基于故障树分析法的自行火炮故障诊断研究

高俊然, 于复生, 李臣山, 王庆达

(山东建筑大学机电工程学院, 济南 250101)

**摘要:** 为提高自行火炮故障诊断效率, 提出一种基于故障树分析法的自行火炮故障诊断方法。根据自行火炮的结构与特点建立故障树模型, 同时结合多种传感器检测自行火炮的运行状态, 对自行火炮的操作进行实时监控, 以保证其可靠运行。结果表明: 该方法有利于整合自行火炮的故障知识体系, 使维修人员能快速找出故障, 及时可靠排除故障, 提高自行火炮使用安全性。

**关键词:** 自行火炮; 故障诊断; 传感器

**中图分类号:** TJ30; TP277 **文献标志码:** A

## Research on Fault Diagnosis of Self-propelled Gun Based on Fault Tree Analysis

Gao Junran, Yu Fusheng, Li Chenshan, Wang Qingda

(School of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China)

**Abstract:** In order to improve the efficiency of fault diagnosis of self-propelled gun, a fault diagnosis method of self-propelled gun based on fault tree analysis is proposed. According to the structure and characteristics of self-propelled gun, a fault tree model is established, and the operation status of self-propelled gun is detected by combining various sensors. The operation of the self-propelled gun is monitored in real time to ensure its reliable operation. The results show that this method is helpful to integrate the fault knowledge system of self-propelled artillery, so that maintenance personnel can quickly find out the fault, timely and reliably remove the fault, and improve the safety of self-propelled artillery.

**Keywords:** self-propelled gun; fault diagnosis; sensor

## 0 引言

随着世界高新技术的发展和战争形态的变化, 自行火炮的功能不断增强, 制造越来越精密, 设备日趋复杂化、集成化、自动化、信息化和智能化。

由于自行火炮操作环节多, 机械结构复杂, 操作过程中发生故障的概率较高。一旦出现故障, 判断、查找故障非常困难, 可能造成严重后果。目前, 对自行火炮的维修还停留在传统故障检测方法, 主要依靠维修人员经验来判断和分析, 不但要耗费大量的人力、物力, 而且无法快速、准确地判断故障位置, 严重地影响了装备的战斗力。如何快速、准确地找到火炮故障发生的部位与原因, 提高设备的可靠性和可用性, 是火炮试验技术人员亟需解决的技术难题<sup>[1]</sup>。

近年来, 将专家系统、神经网络、粗糙集、遗传算法、信息融合、故障树等技术相结合的混合智能故障诊断技术已成为国内外学者对大型复杂设备进行诊断的主流研究方向之一<sup>[2]</sup>。其中, 故障树分析法是通过分析系统可能发生的某种故障和导致该故障发生各种原因的逻辑关系, 确定系统可能发生

故障的原因<sup>[3]</sup>, 将系统复杂度大大降低, 从而更好地解决故障诊断问题。

笔者提出一种基于故障树分析法的自行火炮故障诊断方法, 结合多种传感器检测自行火炮的运动状态, 可以对自行火炮的故障及时诊断及预测, 以保证其可靠运行。

## 1 故障树分析法概述

故障树分析法是系统可靠性和安全分析的一种技术<sup>[4]</sup>, 用于确定系统的可靠性。从单个的潜在失效模式来识别所有的可能原因, 分析系统失误<sup>[5]</sup>, 通过图形化方式表示故障与其原因之间的逻辑联系, 从而一步步向下推导事件的根本原因。除了故障树结构和所有的逻辑关联, 通常故障树分析法还可以从定性和定量 2 个层面进行分析<sup>[3]</sup>, 将故障树简化为最小分割集, 分析失效可能性, 从而可以从零部件的可靠性来计算系统可靠性。

## 2 基于故障树分析法的故障诊断分析

笔者选取自行火炮的火力系统进行故障诊断分析, 建立故障树模型。自行火炮火力系统主要由炮

收稿日期: 2024-12-06; 修回日期: 2025-01-07

基金项目: 山东省重点研发计划科技项目(KJJMRH20200601)

第一作者: 高俊然(2000—), 女, 山东人, 硕士。

身、炮闩、半自动装填机构、摇架、反后坐装置、上架、平衡机、防盾、行军固定器、方向机、高低机、瞄准装置、弹药箱、挡筒装置和附件等组成。由于炮闩和反后坐装置是最常见的失效部位，炮闩和反后坐装置的研究尤为重要。

### 2.1 炮闩故障树模型建立

炮闩用来闭锁炮膛、击发底火和抽离药筒。半

自动立楔式炮闩由闭锁装置、发射装置、抽筒装置、保险装置和挡弹装置等组成<sup>[6]</sup>。炮闩故障树主要包括：1) 关门不到位故障树；2) 不能发火故障树；3) 不能抽筒故障树；4) 不能击发故障树；5) 不能自开闩故障树。由于整个故障树系统比较庞大，笔者仅针对其中关键机制进行分析，如不能关门、不能抽筒及不能开闩，建立炮闩故障树模型，如图 1 所示。

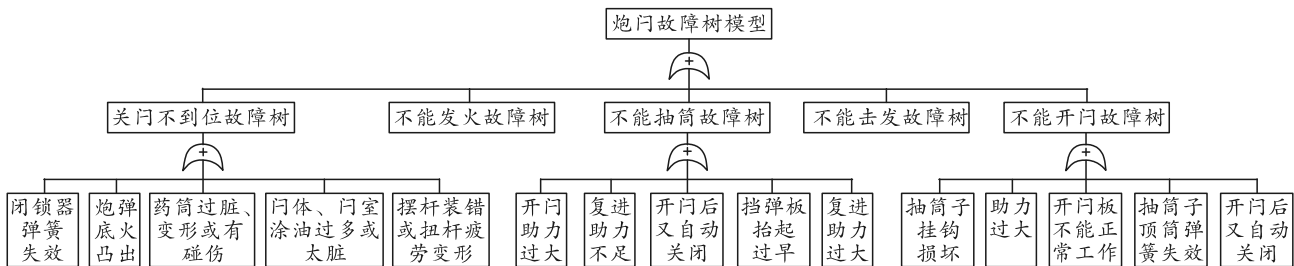


图 1 炮闩故障树模型

造成不能抽筒的原因有：开闩阻力过大，可能是药筒变形、相对运动部件阻力过大或波动子驻栓卡住等原因造成的；复进阻力不足，可能是注气不足或注液不足等原因造成的；开闩后又自动关闭，可能是压闩失效、扭簧失效或内外耳轴受损等原因造成的；挡弹板抬起过早，可能是扭簧失效或挡弹板相关部件磨损等原因造成的；复进阻力过大，可能是组件碰伤或活动组件之间摩擦力过大等原因造成的。

造成不能开闩原因有：抽筒子挂钩损坏；阻力过大，可能是药筒变形、相对运动部件阻力过大或波动子驻栓卡住等原因造成的；开闩板不能正常工作，可能是开闩板损伤、弹簧失效或开闩板与基座

之间过盈配合等原因造成的；抽筒子顶筒弹簧失效；开闩后又自动关闭，可能是扭簧失效、内外耳轴受损或压闩失效等原因造成的。

### 2.2 反后坐装置故障树模型建立

反后坐装置主要用于发射时，损耗和吸收部分后坐动能，减小了对炮架的冲击；后座终了时，使后坐部分平稳地复进到位，并且保证后坐部分在任何仰角不下滑。

反后坐装置故障树可分为：1) 后坐过长故障树；2) 后坐过短故障树；3) 复进不足故障树；4) 复进过猛故障树。建立反后坐装置故障树模型，如图 2 所示。

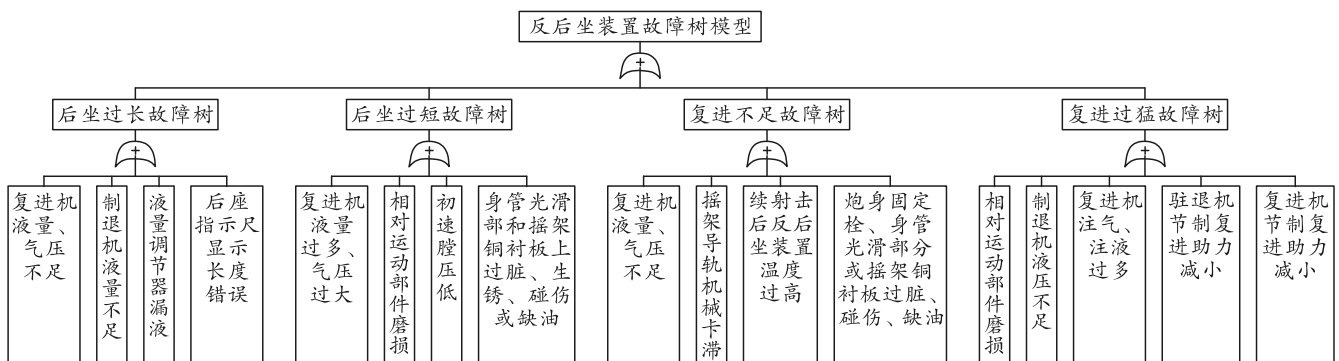


图 2 反后坐装置故障树模型

图 2 中，造成后坐过长的原因有：复进机液量、气压不足，可能是注汽不足或漏气等原因造成的；制退机液量不足，可能是注液不足或漏液等原因造成的；液量调节器漏液；后座指示尺显示长度错误，可能是后座指示尺松动或后坐指示尺变形等原因造

成的。造成后坐过短的原因有：复进机液量过多、气压过大，可能是温度过高或储存桶变形等原因造成的；相对运动部件磨损；初速膛压低，可能是火药成分问题、形状尺寸不合理或药量不足等原因造成



## 4 故障诊断方法

根据自行火炮故障诊断系统由知识库、综合数据库、人机接口和诊断流程组成。通过知识库不断积累故障诊断知识，可以对自行火炮的故障进行及时诊断与预测，从而保证自行火炮的正常运行。

### 4.1 知识获取

根据自行火炮控制系统的各种检测信号，对自行火炮火力系统常见的故障问题进行分析，将其格式化录入计算机中，形成自行火炮知识库。在日常使用时，当处于故障状态便可以进一步根据其他信息确定故障部位和故障类型，便于快速排除故障<sup>[7]</sup>。

### 4.2 综合数据库

综合数据库用来储存自行火炮火力系统运行过程中所需的原始数据及推理过程中所产生的各种数据，其中包括传感器检测数据及自行火炮运行的历史数据。通过提取综合数据库，可以分析自行火炮火力部分的运行状态，以便进行下一步分析与使用。

### 4.3 知识库建立

自行火炮火力系统的知识库建立是对故障树进行分析，在利用规制进行描述，其主要功能是存储和管理专家系统中的经验知识<sup>[8]</sup>。其规制描述为：

1) 若光电对炮身失灵或输出信号与当前操作不符，则判定相应部位故障。2) 若霍尔传感器失灵或输出信号与当前操作不符，则判定相应部位故障。3) 若行程开关失灵或输出信号与当前操作不符，则判定相应部位故障。4) 若拉绳电阻传感器失灵或输出信号与当前操作不符，则判定相应部位故障。5) 若陀螺仪失灵或输出信号与当前操作不符，则判定相应部位故障。知识库的建立可以提高匹配效率，有利于自行火炮故障诊断。

### 4.4 人机接口及诊断流程

人机接口采用 C# 开发，是故障诊断系统和用户实现交互的界面，用户可利用窗口、图形、菜单等手段，在系统中进行故障诊断推理<sup>[9]</sup>。

自行火炮故障诊断流程为：操作人员在控制软件中选择故障部位，系统从故障树库中匹配出相同的故障部位，并提示检测要求，用户进行决策并选择相应故障。系统判断当前分支是否有多个故障源，若当前分支有多个故障源时，会提示检测要求，用户进行决策并选择故障源，随后系统会提示故障部

位及维修措施；若当前分支只有一个故障源时，系统会提示故障部位及维修措施。自行火炮故障诊断流程如图 4 所示。

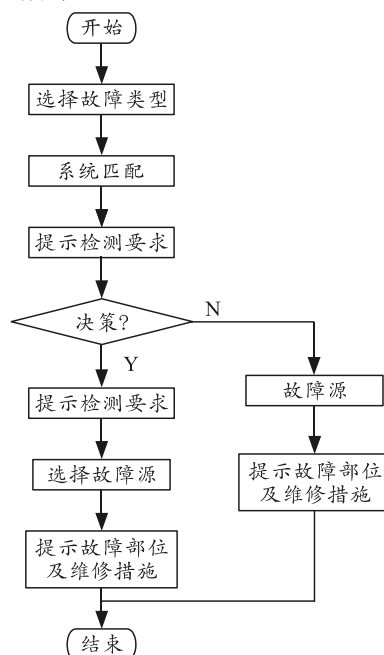


图 4 自行火炮故障诊断流程

通过传感器的检测，故障诊断系统控制软件会显示闩体、保险子、抽筒及挡板状态，帮助用户进行故障分析。

## 5 结束语

基于故障树分析法的自行火炮故障诊断有利于整合自行火炮的故障知识体系，并为将来添加新的故障内容提供方便。使维修人员能快速找出故障、及时可靠排除故障，提高自行火炮使用安全性。在故障树模型的基础上结合多种传感器检测，可以对自行火炮的操作进行实时监控，以保证其可靠运行。

### 参考文献：

- [1] 张泽峰, 傅建平, 苗建松, 等. 基于 RBF 神经网络的火炮修后水弹试验故障诊断技术研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2017, 38(1): 95-100.
- [2] 江山青, 李英顺, 张银图. 基于故障树和规则的火控系统故障诊断专家系统[J]. 兵工自动化, 2019, 38(4): 40-44.
- [3] 胡际万, 朱磊, 王永杰, 等. 基于故障树理论的特种车辆三防系统故障诊断[J]. 兵工自动化, 2020, 39(12): 76-79.
- [4] 朱云鹏. 基于故障树分析法的软件测试技术研究[J]. 计算机工程与设计, 2008(13): 3387-3390.