doi: 10.7690/bgzdh.2026.09.001

基于 TRIZ 的炮弹设计与分析

黄巍岭，李臣山，于复生，王日君
（山东建筑大学机电工程学院，济南 250101）

摘要：为增加爱国教育基地的模拟真实感，采用发明问题解决理论（theory of inventive problem solving，TRIZ），研发一种喷气式模拟炮弹。该炮弹的弹丸和弹壳可以快速分离结合，弹丸在气压作用下弹射出一定距离。击发时，安装在弹壳底部的切刀沿滑动筒向弹丸方向移动，将紧固弹丸底部压力罐塞子的紧固带切断，压力罐内的高压气体喷出，气体的反作用力将弹丸顶出，脱离弹壳，完成炮弹的发射。结果表明：该方法可有效找到解决模拟炮弹发射破坏性大及发射距离短的方案，减少模拟发射的损耗量。

关键词：模拟炮弹；喷气；技术矛盾；物理矛盾；物场分析
中图分类号：TJ413　**文献标志码：**A

Design and Analysis of Projectile Based on TRIZ

Huang Weiling, Li Chenshan, Yu Fusheng, Wang Rijun
(*School of Mechanical and Electrical Engineering*, *Shandong Jianzhu University of Technology*, *Ji'nan* 250101, *China*)

Abstract: Based on the theory of inventive problem solving (TRIZ), a simulated jet projectile was developed to enhance the simulation realism of the patriotic education base. The projectile and the cartridge case of the projectile can be quickly separated and combined, and the projectile is ejected at a certain distance under the action of air pressure. During firing, the cutter installed at the bottom of the cartridge case moves towards the direction of the projectile along the sliding cylinder to cut off the fastening band fastening the pressure tank plug at the bottom of the projectile, the high-pressure gas in the pressure tank is ejected, and the reaction force of the gas ejects the projectile out of the cartridge case to complete the firing of the projectile. The results show that this method can effectively solve the problem of large destructive and short launching distance of the simulated projectile, and reduce the loss of the simulated projectile.

Keywords: simulated projectile; jet; technical contradiction; physical contradiction; material field analysis

0　引言

随着科技的发展和爱国教育的深入，旨在展示新型武器和模拟操作的爱国教育基地如雨后春笋般建立起来，但普遍存在模拟程度不高、场景固定、演练成本高、考核难度大、存在安全隐患等问题。为了增加模拟真实感，研究炮弹弹丸和弹壳的自动分离，呈现出炮弹击发后的场景，利用发明问题解决理论（TRIZ）设计一系列不同结构的炮弹。

TRIZ 是一种创造性思维和问题分析的方法。技术矛盾及发明原理、物理矛盾及分离原理、物场分析及其标准解法作为 TRIZ 的重要组成内容，对于创新设计过程中分析问题、解决问题具有重要作用，已被广泛应用于生产生活中的各个领域[1]；因此，将此三者应用于炮弹的设计中，尤其是模拟炮弹的概念设计阶段，对于提高创新性、缩短设计时间、解决模拟发射问题具有突出的作用。

1　物场分析在炮弹设计中的应用

物场分析是 TRIZ 体系的重要组成工具之一，主要是将语言化的问题转化成了图形化符号语言，能够减低问题描述的歧义性精确描述问题，减少工作人员的专业背景对问题分析的限制。物场分析方法认为完整的技术系统功能可以看成是 2 个物质（工件 S_1、工具 S_2）和 1 个场 F 的相互组合。如果执行技术系统功能的 3 个元素有缺失，或 2 个物质之间产生了不足、有害或是过度等破坏完整功能的作用，那么技术系统功能不能有效地完成。对于根据物场分析得出的问题，可以利用相对应的 76 个标准解去对应解决[2]。

结合工程实际，在炮弹发射时，击针撞击底火体，使击发剂发火点燃发射装药将会产生巨大的能量[3]，造成极大的伤害，且弹体不可恢复，根据物场分析的方法，炮弹和底火之间产生了有害的相互

收稿日期：2025-01-02；**修回日期：**2025-02-02
基金项目：山东省重点研发计划（2020JMRH0601）
第一作者：黄巍岭（1978—），女，山东人，博士。

作用，因而，建立炮弹发射过程中的问题模型，如图 1 所示。

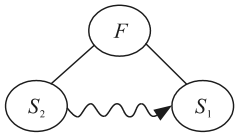


图 1 模拟炮弹物场分析

按照问题分类查找、筛选相关标准解法，可引入一个机械场，结合炮弹设计的专业领域知识，运用电控撞针将标准解转化为炮弹设计的具体解。模拟发射炮弹时，撞针撞击弹壳底部，使弹丸从弹壳中射出。如图 2 所示，新设计的模拟炮弹由弹头、弹壳、撞针 3 部分组成。

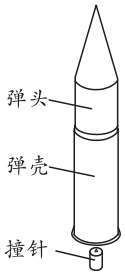


图 2 模拟炮弹整体结构

2 矛盾在炮弹设计中的应用

2.1 技术矛盾在炮弹设计中的应用

工程实践中，常出现参数之间的矛盾。技术矛盾是根据优化参数导致另一参数被恶化的情形，将产生的矛盾划分为优化参数和恶化参数，并提供矛盾矩阵和相应的 40 个发明原理，引导设计人员在设计过程中达到优化系统设计的同时，消除恶化参数的目的[4]。对于模拟炮弹而言，基于 TRIZ 发明原理的设计流程及主要内容如表 1 所示。

表 1 TRIZ 发明原理设计流程

序号	流程	主要内容
1	技术矛盾的确定	将炮弹系统设计中，拟改进的参数和改进后会出现的恶化因素，构成技术矛盾
2	通用工程参数的转换	将该系统拟改进的参数以及恶化因素按照 39 个通用工程参数进行转换
3	技术矛盾矩阵的建立	根据转换的通用工程参数结合 39×39 矛盾矩阵，构建模拟炮弹的矛盾矩阵
4	设计方案的获得	根据矛盾矩阵推荐的发明原理，结合模拟炮弹的特点，对各原理逐一分析，获得能够解决技术矛盾的设计方案
5	设计方案的实现	将 TRIZ 推荐的设计方案，完成系统的参数设计实验论证等环节

实际应用中，弹丸和炮弹的分离主要依靠火药爆炸，发射过程中，产生高温、高压，能量损失巨大，产生巨大的破坏力，同时对弹丸产生不可逆的后果。

炮弹的技术矛盾矩阵建立的基本步骤为：1) 确定模拟炮弹设计中的矛盾。根据图 1 中的分析，为了减少炮弹发射过程中高温高压等的有害作用，减少了模拟发射的能量，减少能量损失将导致恶化的参数包括炮弹的速度、可观察程度等。2) 利用通用工程参数描述问题。炮弹的改进参数和恶化参数具有自身的特征，需要根据 39 个通用工程参数进行转换[5]。表 1 中为了能够在模拟中再现炮弹发射，需减少能量损失，这不可避免地减少了炮弹发射时的光照度。

利用工程参数描述问题，即：改善的参数 22 能量损失对比恶化的参数 18 光照度，根据 39×39 矛盾矩阵，查得发明原理：分割、反向、改变颜色、动态化。

从上述的技术矛盾矩阵可知：每种技术矛盾有多项措施，如何确定最合理的措施，需要结合模拟炮弹自身的特点，对各发明原理进行分析。

根据分割原理和动态性，满足弹丸和弹壳在发射前是一体安装，发射后将弹丸和炮弹分离，做成 2 个相互独立的部分。新设计的炮弹做成尾椎状，安装时尾椎恰好和弹壳的内凹接触；击发时炮弹射出后，随着位移，弹丸和弹壳分离。

继而根据反向原理，将弹丸和弹壳的形状互换，弹壳做成锥形，弹丸呈内凹状。既有利于炮弹安装的稳定性，又减少了弹丸的重量，从而使弹丸飞行的距离加长。

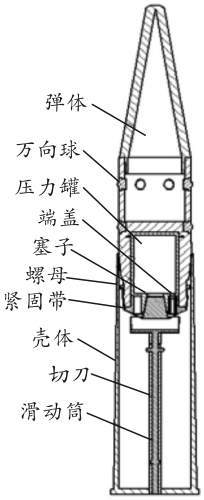
2.2 物理矛盾在炮弹设计中的应用

利用技术矛盾解决了弹丸和弹壳的分离问题，但炮弹飞行距离减小又成为了模拟炮弹发射中的主要问题。

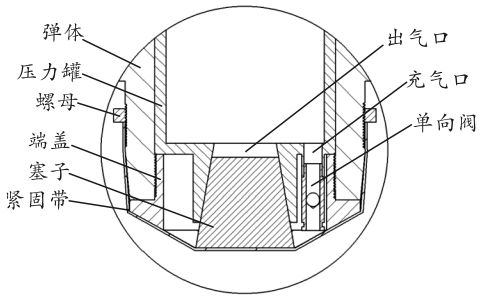
为了让模拟炮弹顺利发射且飞行距离更远，需较大能量；而为保证安全，需要较小能量。能量大小根据不同的需求，形成一对物理矛盾[6]。

解决物理矛盾主要采用 4 大分离原理，结合模拟炮弹的实际工况，条件分离更适用于此设计系统。根据条件分离+空间分离，条件分离可以改变模拟炮弹系统的压力、温度等条件，空间分离可以利用模拟炮弹系统的上下、内外等空间满足不同的需求。因此，采用增加压力的条件满足发射时对内(空间)能量需求大对外(空间)能量需求小的要求。

结合上述技术矛盾与物理矛盾的解决，模拟炮弹可恢复分离和发射距离小的问题基本得到解决，最终改进方案如图 3 所示。



(a) 模拟炮弹内部结构



(b) 模拟炮弹局部结构放大

图 3　模拟炮弹结构

3　方案的确定

经过改进的模拟炮弹由弹丸、弹壳和撞针组成。其中，弹丸包括弹体、万向球、压力罐、端盖、塞子、螺母和紧固带，多圈万向球安装在弹体直径最大处，端盖旋在弹体底端的孔内，压力罐被端盖固定在弹体底部的孔内，塞子被紧固带压紧塞在压力罐上，紧固带通过螺母紧固在螺母和弹体中间，螺母旋在弹体下部的螺纹上；弹壳含有壳体、切刀和滑动筒，切刀被定位珠套装在滑动筒内，且能在其内部滑动，而滑动筒下端利用螺纹安装在壳体底端。

模拟发射时，撞针从弹壳的底部，撞击切刀连接轴的底部，切刀沿滑动筒向弹丸方向移动，切刀上的圆形刀片将紧固带切断，塞子被压力罐内的压力顶开，高压气体喷出，气体的反作用力将弹丸顶出脱离弹壳，炮弹的发射完成。

喷气式模拟炮弹的创新设计较为真实地还原了炮弹的结构和发射步骤，具有较强的真实性；炮弹采用喷气式发射，操作简单，使用过程无污染，可循环使用，压力罐释放压力时可将弹头射出一定距离；弹头上安装万向球，减小了弹头发射时与炮筒间的摩擦力；弹头内部中空，质量轻，能够将弹头弹射更远；压力罐设有充气口，方便给压力罐进行充气，循环使用；滑动轴上有止动销，滑动筒上有定位珠，能够在击发前将切刀固定，击发后防止切刀脱离弹壳。

4　结束语

笔者采用 TRIZ 理论中的部分工具对模拟炮弹进行了研究，运用物场分析、技术矛盾、物理矛盾的相应解决方法，可以快速、有效地找到解决模拟炮弹发射破坏性大且发射距离短的实际方案，取得了创新性成果。

模拟炮弹的推广应用，将会减少模拟发射的损耗量，优化结构设计与装备方案，提升模拟发射的真实性，带来显著的经济效益。

参考文献：

[1] 郭宇洋, 王旭. 基于 TRIZ 发明原理的智能消毒门垫设计[J]. 机电技术, 2023(4): 20-22.

[2] 田川, 董欢欢. 物场分析方法在柔性夹具设计中的应用研究[J]. 煤矿机械, 2023, 44(6): 105-107.

[3] 常康乐, 龚泽运, 闫青春, 等. 弹药销毁中底火水下激发柔性技术研究[J]. 兵工自动化, 2023, 42(9): 20-23.

[4] 张明勤, 范寸礼, 王日君, 等. TRIZ 入门 100 问—TRIZ 创新工具导引[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015: 17.

[5] 蒋良兹, 刘濛, 王逸鸣. 创新设计在机械结构设计中的应用研究[J]. 兵工自动化, 2019, 38(3): 41-42.

[6] 于复生, 沈孝芹, 师彦斌. TRIZ 工程题解与专利撰写及创造性争辩[M]. 北京: 知识产权出版社, 2016: 6.