

doi: 10.7690/bgzd.2022.02.010

惰性弹装填工艺设计控制

孙家利, 王秋雨, 卢凤生

(北方华安工业集团有限公司技术部, 黑龙江 齐齐哈尔 161046)

摘要: 针对传统惰性弹的装填物不能满足外弹道做地面精度试验的问题, 设计一种以水泥为主要原材料的新型惰性物质装填物。对装填物进行配方分析、工艺设计、工艺试验。试验结果表明: 新型惰性物的强度和密度均达到与炸药相当的效果, 其装填质量稳定、安全性高、无污染, 能够满足弹药鉴定和质量一致性相关试验需求。

关键词: 惰性弹装填; 配方研究; 工艺设计; 工艺试验

中图分类号: TJ410.3⁺4 **文献标志码:** A

Design and Control of Inert Ammunition Loading Process

Sun Jiali, Wang Qiuyu, Lu Fengsheng

(Technology Department, Huaan Industry Group Co., Ltd., Qiqihar 161046, China)

Abstract: In view of the problem that the traditional inert ammunition loading material can not meet the ground accuracy test of external trajectory, a new type of inert material loading with cement as the main raw material was designed. Carry out formula analysis, process design and process test for the filling. The test results show that the strength and density of the new inert material are equivalent to those of explosives, and its loading quality is stable, safe and pollution-free, which can meet the requirements of ammunition identification and quality consistency test.

Keywords: inert ammunition loading; formulation research; process design; process test

0 引言

惰性弹作为靶场炮射试验的主要参试品及部队训练使用, 对武器装备的靶场鉴定、定型和交验等试验质量起着举足轻重的作用^[1]。针对弹药的高安全性、高可靠性、高消耗性和低成本的要求^[2], 在靶场试验替代实弹完成各种射击任务和部队训练中, 为保证安全、提高效率、降低成本, 经常采用惰性弹替代实弹完成各种射击任务, 如武器装备流程试验或训练等。随着武器装备研制生产任务及部队训练使用的不断增加, 对惰性弹的需求量越来越多。传统的惰性弹也称砂弹, 装填物基本为沥青、河砂等混合物, 还有小部分装填硫磺、蜡等混合物。砂弹密度均匀性不好、重心不准, 在一定膛压下发射, 装填物被压缩、重心后移, 不能用作炮弹地面密集度试验; 不能装配成半爆弹, 无法用作引信部分试验。

随着技术进步, 迫切需要研制新型惰性物配方, 使其机械强度、密度、密度均匀性基本和炮弹所装填的炸药相当, 与炸药具有相容性^[1], 与弹体结合牢固、不易松动; 在弹体内分布均匀, 密度基本一致^[2]; 在高膛压下射击, 装填物不压缩、重心不变

化, 是配套研发弹药产品解决的关键^[3]; 同时, 可以装配成半爆弹, 爆炸后在弹着点处有一定大小的炸坑及声、烟效果。这种惰性弹可以代替实弹用作地面密集度和引信部分性能的试验。

1 国内外技术背景

惰性弹是弹体中装填物为惰性物质的炮弹, 用于部队训练演习或内弹道性能试验, 以及炮弹零部件强度、火炮强度及作用可靠性等靶场试验^[4]。我国的惰性弹长期沿用装填沥青、河砂等混合物技术。沥青砂适用于一般强度试验、内弹道试验, 但一直在炮弹地面精度试验上出现问题, 原因是炮弹在发射过程中, 沥青砂子混合物后坐使弹丸的重心及转动惯量均发生变化, 不能满足弹丸的设计要求。经过对性能试验剩余的惰性弹进行解剖发现, 在弹体口部有很多铁砂, 弹丸重心偏差比较大, 在弹体口部加铁砂配重是违章操作。这种装填方法不仅操作复杂, 而且造成弹丸质心、偏心不稳定, 严重影响靶场试验质量^[5]。从欧洲引进的石膏惰性弹, 其装填物仍然存在被压缩的问题, 性能达不到设计要求。随着新型智能化弹药的研制和武器装备水平的提高, 试验时对作为主要参试品的惰性弹要求越来越

收稿日期: 2021-10-27; 修回日期: 2021-11-26

作者简介: 孙家利(1966—), 男, 黑龙江人, 研究员级高级工程师, 从事弹药装药研究。E-mail: qyss0617@126.com。

严格。根据惰性弹的研制机理和使用效果，针对惰性弹新型装填材料强度不确定、装填精度低的问题，经过数十次试验，成功设计了一种以水泥为主要原材料的惰性弹装填物配方与工艺，其强度和密度都能达到与炸药相当的效果。

2 装填物性能要求

2.1 装填物的压溃强度大、抗压强度可调

装填物的设计原则是选用的惰性材料与接触的弹体及零部件具有相容性，装填后应具有一定的强度和稳定性，满足使用和贮存要求；装填物应均匀，装填后保证惰性弹的重量、质心位置等与实弹一致。弹丸在飞行过程中，在加速段承受极大的加速度，内部装填物受到巨大的压溃应力^[6]。这就要求惰性弹的内部装填物具有很高的压溃强度，防止装填物破碎，造成弹丸结构特征数发生变化，影响弹丸的内外弹道性能。装填物配方应以设计要求为前提进行考虑，使其与实弹的参数相似或一致，内部结构紧凑不松动，那么装填物应能够自行凝固。目前压溃强度最小的是注装 TNT 的配方，压溃强度为 9.6 Mp^[6]。采用水泥作为装填物的主要原材料，优点是装填在弹体中可以增加弹体强度，其抗压强度可以在 10 Mp 以上调整。将水泥填料调整到略低于模拟炸药的强度，做弹体强度试验可行。用沥青砂弹和水泥惰性弹在某产品上做强度对比试验，通过分析弹体残余变形测量结果表明，水泥惰性弹完全满足弹体强度试验要求，可推广应用于多个产品。从应用情况看，水泥惰性弹可以代替沥青砂弹，但沥青砂弹无法代替水泥惰性弹。

2.2 装填物装填后密度均匀

原沥青砂弹装填技术落后，质量一致性差，在高膛压发射后装填物下沉量很大，不能用于弹丸地面密集度试验。水泥填料装填的惰性弹，装填物上中下密度差小于 0.07 g/cm³，在高膛压下发射，装填物不压缩，质心与装填炸药的实弹相同，可替代实弹用于地面密集度试验与验收。

3 装填物配方研究及工艺过程控制

3.1 装填物配方设计

通过对惰性弹应用现状进行调研，全面掌握弹药行业生产和使用过程中对惰性弹的实际需求，分析装填惰性弹用作地面密集度试验、强度试验、引信、发射药、火炮各项试验的不同目的。根据不同

弹药装填物或装填方式的不同，确定最合理的装填物及其配方^[7]。为寻找符合强度要求的装填物配方组成成分，以硅酸盐水泥等混合物为主要装填材料，模拟单质炸药和混合炸药的装药，分析其各组分的配比如表 1 所示，进行惰性弹装填工艺设计。

表 1 装填物配方

序号	重量配比			装填密度/(g/cm ³)
	水泥	膨胀珍珠岩	水	
1	100	10	40	1.60
2	100	9	39	1.65
3	100	15	41	1.50
4	100	6	38	1.70

3.2 工艺过程控制

工艺流程：填料的配制→搅拌→装填→养生。
配方中的水泥为硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，强度等级应不小于 42.5 或 42.5 R，并符合 GB175 通用硅酸盐水泥的规定；当惰性弹用于强度试验或温、稳炮时允许用强度等级为 32.5 或 32.5 R 的水泥代替。

1) 填料的配制。惰性弹采用水泥、膨胀珍珠岩、水等成分配比。由于珍珠岩的干湿程度很难一致，比较潮湿的要多加一些，反之要少加一些。水的质量也要做相应的变化。

2) 搅拌。人工和机械搅拌均可，最好用机械搅拌，机械搅拌效率高，混合均匀。搅拌分多步进行。

3) 装填。水泥、珍珠岩混合均匀后进行装填，需特别注意要严格控制加水量。水多，填料的黏度小、流动性好，容易装填，但是珍珠岩上浮，口部疏松，上下密度不均，中心不准；水少，填料的黏度大，难以装填，填料在弹体内搭桥，有大的气孔和缩孔，其机械强度大幅下降，无法保证射击后重心不变化。

4) 养生。水泥、膨胀珍珠岩混合物装入弹体后，在室温下养生 28 d 以上，或在高温中养生 48 h。

4 工艺试验

在常温下对模拟 B 炸药的水泥填料的凝固时间和抗拉强度关系进行了试验，结果如表 2 所示。模拟 TNT 炸药水泥填料的抗拉强度比模拟 B 炸药相对低些。在高温中养生 48 h 填料的抗拉强度相当于室温养生 28 d。

表 2 水泥填料的凝固时间和抗拉强度关系

凝固时间/d	1	2	3	5	7	28	31
抗拉强度/Mp	10	13	16	17	20	30	30

将水泥与珍珠岩的混合惰性物，模拟 TNT 炸

药、B 炸药等进行装填，弹丸头部引信、传爆药柱不变，发射时具有实弹的声响、烟雾效果，等同于实弹射击训练。通过使用水泥半爆弹进行地面密集度试验、底排药柱性能试验、点火具试验以及引信瞎火试验，试验数量超过千余发，取得了良好效果。水泥半爆弹和实弹的试验结果极为接近，所以使用水泥装填作为训练用弹，安全可靠，完全能达到战术训练目的。

5 结束语

我国在高效毁伤等领域的关键技术已有新突破，形成了核心技术^[8]。和沥青砂弹相比，水泥惰性弹不用烧砂和熔化沥青，不但能节省大量焦碳和砂炕板，而且更重要的是使环境免受污染，工人免受沥青毒气之苦；另外，装填沥青砂弹易引起火灾，存在安全隐患。水泥惰性弹具有安全性高、无污染、低成本等显著优点，可广泛应用于部队训练演习或内弹道性能测验，以及炮弹强度、火炮强度及作用

(上接第 31 页)

4 结束语

笔者基于实时数据采集和专家知识规则，开发了基于集成学习的某高速试验设备流场性能分析系统，解决了历史数据利用率低、传感器数据可信度自动化校验等问题，提高了试验设备实时性能分析能力、该设备的智能管理水平和对试验过程性能进行检测的能力。通过 4 个月的系统联调和试运行，应用系统总体稳定，在对算法有效性验证的同时，验证了该系统在试验现场的可靠性。

性能检测系统通过集成学习算法将高速试验设备的海量数据进行筛选与分析，实现了设备实时性能分析的作用。下一步，笔者将继续对该高速试验设备采集到的数据进行分析，结合机器学习算法和决策分析，实现试验数据和车间管理决策关联分析，进一步提高智能化试验管理水平。

参考文献：

[1] 周济. 智能制造——“中国制造 2025”的主攻方向[J]. 中国机械工程, 2015, 26(17): 2273-2284.
 [2] 王友发, 周献中. 国内外智能制造研究热点与发展趋势[J]. 中国科技论坛, 2016(4): 154-160.
 [3] OPITZ D, MACLIN R. Popular Ensemble Methods: An Empirical Study[J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 1999, 11: 169-198.

可靠性等靶场试验。

参考文献：

[1] 韩冲, 赵晓利, 仲伟君, 等. 惰性弹新型填料比重控制研究[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(3): 780-782.
 [2] 孙其会, 张平昌. 砂弹改装中填砂密度控制方法研究[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(26): 7826-7828.
 [3] 陈福海. 弹丸设计原理[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1990: 4-9.
 [4] 熊武一, 周家法. 军事大辞海(下)[M]. 北京: 长城出版社, 2000: 2962.
 [5] 崔雪峰, 郭敏, 喻长春, 等. 新型砂弹填料装填质量控制方法研究[J]. 军械工程学院学报, 2007, 19(6): 49-52.
 [6] 韩冲, 赵晓利, 仲伟君, 等. 新型砂弹填料配方研究[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(19): 780-782.
 [7] 陈国光, 董素荣. 弹药制造工艺学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2010: 304-306.
 [8] 马云富. 加强工艺与装备创新 推进弹药技术的发展[J]. 兵工自动化, 2012, 31(12): 18-20.
 [4] 徐继伟, 杨云. 集成学习方法: 研究综述[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2018, 40(6): 1082-1092.
 [5] ROKACH L. Ensemble-based classifiers[J]. Artificial Intelligence Review, 2010, 33(1-2): 1-39.
 [6] 史佳琪, 张建华. 基于多模型融合 Stacking 集成学习方式的负荷预测方法[J]. 中国电机工程学报, 2019, 39(14): 4032-4042.
 [7] 李凯, 崔丽娟. 集成学习算法的差异性及性能比较[J]. 计算机工程, 2008(6): 35-37.
 [8] 方敏. 集成学习的多分类器动态融合方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2006(11): 1759-1761, 1769.
 [9] 高伟, 王中卿, 李寿山. 基于集成学习的半监督情感分类方法研究[J]. 中文信息学报, 2013, 27(3): 120-126.
 [10] 廖明生, 江利明, 林琚. 基于 CART 集成学习的城市不透水层百分比遥感估算[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007(12): 1099-1102, 1106.
 [11] 张晓宏. 大型旋挖钻机设备性能分析及应用探讨[J]. 中国煤田地质, 2004(2): 52-54.
 [12] 颜湘武, 李艳艳, 张合川, 等. 基于变权分析方法的电动汽车充电设备性能综合评价[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2014(5): 86-93.
 [13] 王继奎, 李少波. 基于可信度模型的重复主数据检测算法[J]. 计算机工程, 2014, 40(5): 31-35, 40.
 [14] 刘海亮. 数据可信度驱动的 MCS 多任务分配策略研究[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2020.
 [15] 孙勇, 景博. 基于支持度的多传感器一致可靠性融合[J]. 传感技术学报, 2005(3): 537-539.