

doi: 10.7690/bgzd.2021.12.008

破甲弹靶试异常作用的形式分析

杨青山¹, 胡艳华², 吴育智³, 赵成文², 张克勤²

(1. 驻太原地区第三军事代表室, 太原 030008; 2. 晋西工业集团有限公司江阳公司技术部, 太原 030041;
3. 晋西工业集团有限公司江阳公司装备保障部, 太原 030041)

摘要: 针对某型破甲弹试验过程中出现的异常作用情况, 对其战斗部异常作用的表现形式及原因进行分析。根据破甲弹作用原理, 对比其战斗部正常作用和异常作用后各自在靶板上留下的印痕, 并进行机理和原因分析。该分析可为试验过程中异常弹的剔除提供依据, 并为解决异常问题提供了工艺控制措施, 提高 LE 产品质量。

关键词: 破甲弹; 异常作用; 表现形式; 原因分析

中图分类号: TJ413+.2 **文献标志码:** A

Analysis on Abnormal Effectiveness Manifestation Pattern of HEAT Firing

Yang Qingshan¹, Hu Yanhua², Wu Yuzhi³, Zhao Chengwen², Zhang Keqin²

(1. No. 3 Military Representative Office in Taiyuan District, Taiyuan 030008, China;
2. Technology Department of Jiangyang Company, Jinxi Industries Group Co., Ltd., Taiyuan 030041, China;
3. Equipment Support Department of Jiangyang Company, Jinxi Industries Group Co., Ltd., Taiyuan 030041, China)

Abstract: Aiming at the situation of abnormal effectiveness of the certain type HEAT during experiment, analyzed the manifestation and the reason of the abnormal effectiveness of the HEAT. Based on operation theory of the HEAT, we contrasted the marks on the steel target after both normal effectiveness and abnormal effectiveness of its warhead, and carry out analysis of mechanism and reason. This analysis could provide basis for abnormal HEAT elimination and technology regulatory measures for abnormal problems, and improve the quality of LE products.

Keywords: HEAT; abnormal effectiveness; manifestation pattern; reason analysis

0 引言

破甲弹主要用于毁伤坦克、装甲车等装甲目标和工事, 配用于坦克炮、反坦克炮、无坐力炮、反坦克导弹、单兵火箭以及航空集束炸弹和大口径火箭炮的反装甲子炸弹等。以聚能装药爆炸后形成的金属射流穿透装甲后, 高温金属射流、装甲破片和爆轰产物毁伤人员和设备^[1]。

随着科技的发展, 坦克的防护技术也在逐渐提高。20世纪60年代已出现了披挂反应装甲的坦克, 用于对付破甲弹作用。为应对披挂反应装甲的武器系统, 破甲弹也开发研制了串联式战斗部。即在普通破甲弹的基础上加装1个前置装药。前置装药首先爆炸, 引爆反应装甲内的炸药, 从而摧毁反应装甲, 使坦克的基装甲裸露在破甲弹的主装药下, 随后主装药爆炸, 摧毁基装甲^[2]。由于串联式战斗部破甲弹结构复杂, 实际使用中会出现异常作用现象, 笔者结合某型破甲弹试验过程中出现的异常作用情况进行分析, 提出在主要零部件加工和装配中应采取的工艺控制措施, 以达到提高破甲威力的目标。

1 破甲试验原理概述

以图1所示的某破甲弹产品为例, 其战斗部为二级串联式, 主要由前置战斗部、探杆风帽、主战斗部、延期传爆装置、引信室及引信等组成。

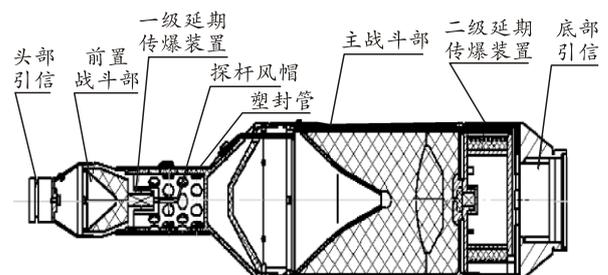


图1 战斗部结构

破甲试验是产品性能考核的主要项目之一。在试验现场设置一定角度的靶架, 将一定厚度的靶板固定在靶架上, 将反应装甲(主要由盖板、药室、底板组成)通过支架固定在靶板上, 以此模拟披挂反应装甲的坦克。破甲弹发射后在推力作用下飞出炮口, 当战斗部与目标撞击时, 头部引信受压产生电荷, 使底部引信作用, 起爆延期传爆装置, 一级延期传

收稿日期: 2021-09-20; 修回日期: 2021-10-24

作者简介: 杨青山(1973—), 男, 山西人, 高级工程师, 从事弹药和战斗部结构特点的设计、分析与质量监督研究。

E-mail: 1097625084@qq.com。

爆装置起爆前置战斗部后引爆反应装甲，为主战斗部扫清射流通道；二级延期传爆装置经过一定的延时后起爆主战斗部，爆轰形成射流击穿靶板。试验布置如图 2 所示。

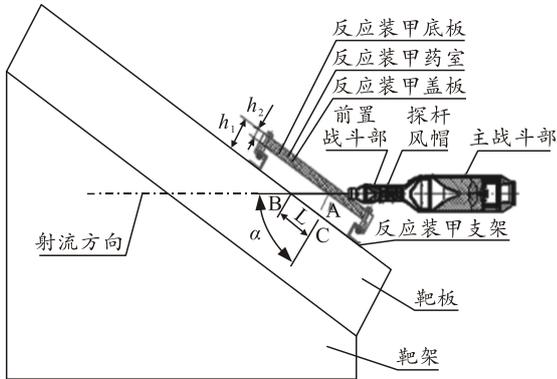


图 2 破甲试验布置

2 战斗部试验现象与机理分析

2.1 战斗部试验现象

如图 3 所示，战斗部正常作用情况下，射流在靶板上留下穿透靶板的入射孔，目测孔型为椭圆锥状，上大下小、孔壁光滑、外沿干净，距离入孔一定位置处留有 1 处小凸起^[3]。

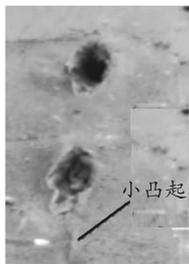


图 3 正常作用破甲孔

战斗部异常作用情况分 2 种：1) 一级战斗部未作用，表现为穿深不足、杵体堵塞，目测孔型较为细长、孔壁粗糙、外观有喷铜或黑色反射射流痕迹，入口下方有较大的反应装甲底板拍击留下的印痕，如图 4 所示；2) 一级战斗部和二级战斗部均未作用，表现为靶板上应该形成破甲孔的位置无孔状痕迹，未形成有效穿孔，如图 5 所示。

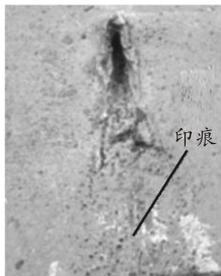


图 4 一级战斗部未作用破甲孔

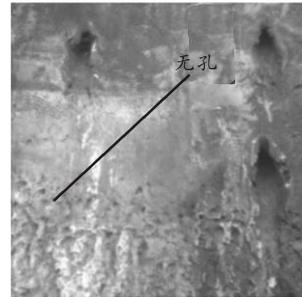


图 5 二级战斗部均未正常作用破甲孔

2.2 战斗部试验结果的机理分析

战斗部正常作用情况下，引信作用后一级延期起爆装置先起爆前置战斗部，前置战斗部作用形成的前置射流起爆反应装甲，药室内炸药作用形成的爆轰使得反应装甲盖板和战斗部的探杆风帽向四周快速飞散，为主战斗部扫清通道^[4]。同时，在反应装甲底板上以 A 点为中心将底板撕裂开 1 处较细小的长孔，反应装甲底板垂直于靶板方向拍击在靶板上，反应装甲底板撕裂处对应位置在靶板上形成 1 个细小的凸起。反应装甲底板上的 A 点对应于靶板上的 C 点。随后二级延期起爆装置作用引爆主战斗部，形成的主射流作用在靶板 B 点，开坑并形成入孔后穿透靶板。因为前置战斗部已经扫清射流通道，主战斗部作用后形成的高速金属射流开坑较大，后续射流逐渐降低，碰击点压力也逐渐减小，故孔径逐渐变小，直至穿透靶板。

如果一级战斗部未作用，则主战斗部作用形成的主射流先打击在反应装甲上，受其干扰消耗大约 60%~70% 的能量，之后作用反应在装甲底板上以 A 点为中心将底板撕开形成不规则的较大开孔，反应装甲底板垂直于靶板方向拍击在靶板上，反应装甲底板撕裂处对应位置在靶板上形成 1 个较大的突起部位。反应装甲底板上的 A 点对应于靶板上的 C 点。射流速度迅速衰减，剩余 20%~30% 的能量用于击穿靶板，作用在靶板上 B 点，开坑并形成较浅的入孔后能量消失，造成入孔堵塞、周围反喷射流残渣、入口下方反应装甲底板拍击留下较大痕迹现象。

如果二级战斗部均未正常作用，首先一级战斗部不能起爆反应装甲，无法为主战斗部作用扫清射流通道；其次主战斗部异常作用未产生能量或只有少量能量，达不到在靶板上开坑所需的能量，导致靶板上应形成破甲孔的位置无开孔痕迹。

3 战斗部异常作用原因分析

影响战斗部作用的主要因素有全弹各零部件加

工精度、装药量和全弹装配精度。提高破甲威力的关键在于提高爆轰波对药型罩作用载荷的径向对称性和轴向连续性，使药型罩形成的金属射流同轴性和连续性好，延缓其断裂时间，使射流在给定的炸高下延伸并保持轴向准直性，即使射流发生断裂或不连续，仍能沿轴线累积侵彻。结合某产品结构特点，从主要零部件加工及装配精度对破甲稳定性的影响进行分析。

3.1 零部件加工精度的影响

3.1.1 药柱

如图 6 所示，药柱几何尺寸的对称性和密度的均匀性直接影响到爆轰压力的稳定及破甲性能。某产品的主装药包含调整器、副药柱和主药柱 3 种药柱。调整器作为主装药的能量输入功能件，起到中心起爆的作用，起爆能量大小直接关系到副药柱爆轰的形成过程和形态；副药柱实质上是 1 个爆轰波形成器，其爆轰波形经过隔板的传递，可以控制主药柱中爆轰方向和爆轰波到达药型罩的时间，以调整和提高作用于药型罩各微元的爆轰载荷，增加射流质量、提高射流速度和破甲威力；主药柱是射流产生的主要能源，直接影响主装药破甲的威力水平。

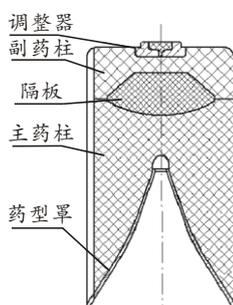


图 6 主装药结构

3.1.2 药型罩

药型罩是聚能装药的核心部件，其作用是将炸药的爆轰能量转换成金属射流的动能，侵彻装甲。其形状、锥角、壁厚差、材质均匀性、晶粒度等都对破甲性能具有显著影响。药型罩除了结构上优化设计外，还要考虑其成型方法及工艺，包括如何满足其外在的质量要求(几何尺寸、精度及表面质量)，内在性能参数(如晶粒尺寸及取向、结构等)。

3.1.3 隔板

隔板的作用是通过延迟副药柱轴向爆轰传播，来调整起始爆轰波阵面形状，进而控制爆轰方向和

爆轰波到达药型罩的时间，同时还起着提高爆炸载荷的作用，以达到提高破甲深度的目的。从制造角度考虑，隔板的内部质量、尺寸、密度均匀性等都对破甲深度和破甲稳定性有影响。

3.2 装配质量的影响

装配中由于零部件差异或装配不细致，造成零部件之间接触不紧密、产生间隙、不同轴等现象，都会对破甲造成影响。

3.2.1 药型罩与主药柱空穴不紧密对破甲的影响

当药型罩与主药柱空穴表面接触不紧密而出现间隙时，炸药爆轰波的高压力和爆炸冲量将不直接作用于药型罩，由于间隙的不均匀性，爆炸载荷会多次发生折射、反射，导致金属射流不能正常形成，射流的速度梯度不稳定、连续性差，影响破甲穿深。

3.2.2 隔板与药柱装配间隙的影响

隔板要和主药柱、副药柱结合，如果形状控制不严，或者装配时未对正，就会产生间隙，导致爆轰波绕过隔板传递时产生不对称波形，造成药型罩压垮不对称，影响到形成射流的连续性与稳定性，降低主装药威力水平。

3.2.3 不同轴的影响

主装药装配中药型罩与主药柱、副药柱、隔板之间都应以药型罩轴线为基准保证同轴。如果由于制造误差或装配控制不严，不能完全保证零件之间的同轴(轴对称性)，会产生如图 7 所示的装配轴线偏移、倾斜或 2 种状态叠加，使得药柱爆炸后爆轰波对药型罩的压迫不对称，接近装药轴线一边的压力高，金属射流发生偏移，影响破甲效果。

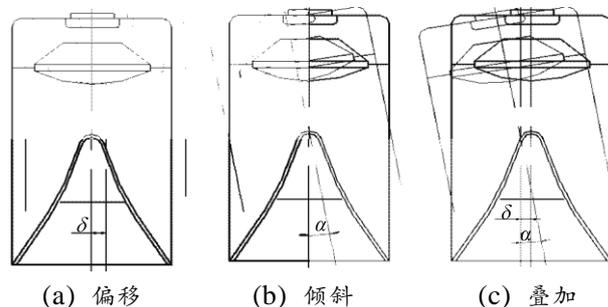


图 7 主装药装配出现的不同轴

4 解决战斗部异常作用工艺控制措施

为充分发挥破甲弹威力，排除战斗部异常作用情况，需采取精密破甲弹制造工艺。精密破甲弹制造不只是单个零部件或单一过程的精确制造和精确

控制, 而是制造全过程的精密控制, 所以在生产工艺控制过程中应加强破甲战斗部的精密加工和装配工艺研究, 注重细节控制^[5]。

4.1 控制调整器药量及密度, 解决起爆不对称

调整器外壳是惰性铝合金材料, 内装炸药, 起爆时由引信从壳体中央小孔(孔中有炸药)把下面的装药起爆, 实现中心起爆。由于调整器药量少, 中心孔直径小, 常规的一次压药方法会导致中心小孔内装药密度过低, 中心起爆能量不足。

为提高密度均匀性, 选用二次装药方法进行调整器装药。第一次装药采用专用压药模具给调整器小孔装药, 第二次将炸药全部装入调整器整体压药模具中完成压药。通过采用小孔压制专用模具有效地控制调整器密度的均匀性。

为保证装药量, 避免由于压药飞边较大、装药时洒药等操作过程造成调整器实际药量的差异。选用精度较高的电子秤, 采用对装前药量和壳体称量、装后整体称量的方法 100%检测装药量, 使调整器装药质量 100%达到要求, 预防了主装药中心起爆不对称问题。

4.2 改进主药柱压制工艺, 提高药柱密度均匀性

药柱密度的不均匀性会造成破甲时药型罩微元偏离中心, 影响主装药的破甲性能。在对主药柱压制工艺的分析中, 发现常规的主药柱定位式压制工艺方法在药柱保压时, 压力被定位柱分担一部分, 起不到保压效果, 为此, 改进了工艺方法并调整了工艺参数。主药柱压制由定位柱法改为定压法, 并延长了保压时间; 同时, 根据环境条件增加炸药加热要求, 通过控制药柱压制成型过程的受力状态, 改善炸药颗粒的流动及蠕变性能, 使内应力趋于平衡, 得到均匀而致密的药柱。

4.3 选用先进加工、检测技术, 保证药型罩质量

国内兵器行业的药型罩制造通常采用车削、旋压、热冲、冷挤、热锻等常规的成型方法, 但是从 20 世纪 90 年代以来, 随着高性能精密战斗部的发展, 常规的成型制造技术已不能满足产品设计要求。为保证药型罩结构形状和性能指标, 选用电铸、数控加工、三坐标检测等先进的加工检测技术。

药型罩精密电铸技术是一种先进的制造技术, 采用电沉积的方法来制造药型罩毛坯, 能在药型罩成型的同时, 通过特定的工艺配方和参数获得高纯度材料和理想的超细晶粒形态, 及分布均匀、轴对

称性良好的内部微观组织。

数控技术的发展和广泛应用为电铸药型罩的加工提供了方便, 容易实现药型罩所要求的几何精度、尺寸精度和表面光洁度; 因此电铸完成药型罩毛坯后, 选用主轴精度高的数控车床。在精车前对所有的药型罩内形进行测量分组, 芯轴应根据分组结果在设备上配车角度, 以保证药型罩内形和芯轴完全贴合, 精车后除使用专用量具检测壁厚差、高度等尺寸外, 还应使用三坐标对锥角进行检测, 保证全部尺寸符合图纸要求。

4.4 细化工艺控制, 保证隔板结构和质量

隔板作为主装药重要零部件, 主要功能是调整爆轰波传递, 改变作用于药型罩上的爆轰波阵面与药型罩母线间的夹角, 使得作用于药型罩上的爆压增大, 从而形成高速射流的作用。隔板原材料为酚醛玻璃纤维模塑料, 工艺方法是压塑加工成型, 该方法是一个较为系统的工艺控制体系, 人、机、料、法、环各个环节必须紧密联系、全面控制。

隔板内部组织不均匀或出现裂纹等毛病会导致爆轰波传递出现紊乱, 影响主装药威力; 因此需采用四等分割切法检测内部质量, 保证内部无裂纹、未熔透、组织不均匀、气孔、夹杂生纤维丝等现象。对剖切的每一份样本进行密度检测, 保证密度均匀性符合产品要求。

4.5 采用精密装配技术, 提高主装药质量

精密装配是实现零部件精密制造价值的重要工序, 主要通过各类工装保证各精密部件的装配轴对称性, 通过一系列精密装药工艺保证措施, 设计合理的工装, 达到产品要求。采取检测与装配相结合的方法, 按照零件的实际偏差值和方向性进行控制, 确保主装药装配精度符合要求。通过在主装药各零件粘接时, 控制虫胶漆涂抹量和流动性, 解决了主装药在固化过程中的偏移问题, 确保粘接固化后的药柱同轴度与选配调整时一致。

5 结束语

通过对比某型破甲弹战斗部正常作用和异常作用后在靶板上留下的印痕, 分析得出战斗部异常作用的表现形式及原因。在实践中可为试验过程异常弹的剔除提供依据, 并为进一步提高产品质量、解决战斗部异常作用问题提出了对应的工艺控制措施, 具有一定的推广应用价值。

参考文献：

- [1] 方向, 张卫平, 高振儒, 等. 武器弹药系统工程与设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 12-13.
- [2] 王志军, 尹建平. 弹药学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005: 195-196.
- [3] 智小琦. 弹箭炸药装药技术[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2012: 98-99.
- [4] 李斌, 苟瑞君, 陈亚红, 等. 破-破型串联战斗部前级爆炸对后级的影响研究[J]. 工程爆破, 2013(1): 28-31.
- [5] 胡焕性. 破甲战斗部精密装药基础及实验研究[J]. 火炸药学报, 1999, 22(1): 1-5.