

doi: 10.7690/bgzdh.2020.12.022

## 瞎火弹留膛安全问题研究

解维河, 白宁东, 孙东彦

(海军大连舰艇学院, 辽宁 大连 116018)

**摘要:** 为避免实际舰炮作战训练中瞎火弹影响使用安全, 对其留膛后安全性问题进行研究。分析瞎火弹产生机理, 研究影响留膛弹安全性的火炸药感度和炮膛温度传导变化, 利用 SolidWorks 软件对典型舰炮弹药留膛后温度变化过程进行仿真分析。结果表明: 随着时间的变化, 不会产生对炮弹炸膛或由于温度影响造成的发射药引燃, 通过历史经验等综合判断, 瞎火弹的排除等待时间选择 30 s 后相对安全。

**关键词:** 瞎火弹; 火药; 炮弹; 炸药

**中图分类号:** TN911.73; TJ55 **文献标志码:** A

## Safety Problems of Dud Left in the Bore

Xie Weihe, Bai Ningdong, Sun Dongyan

(PLA Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

**Abstract:** In order to avoid the safety problem caused by dud in the actual naval gun combat training, the security of dud left in the bore was studied. Analyzes the mechanism of dud left in the bore, studies the changes of explosive sensitivity and bore temperature conduction that affect the safety of bore ammunition, and makes a simulation analysis of the temperature change process of typical dud left in the bore with SolidWorks software. The results show that, with the change of time, chamber can't be exploded and the propellant can't be ignited, according to the comprehensive judgment of historical experience, the exclusion waiting time of the dud left in the bore is relatively safe after 30 s is selected.

**Keywords:** dud; gunpowder; shell; explosive

### 0 引言

瞎火弹是指在实施击发指令后未出炮膛的炮弹。实际舰炮作战训练中, 瞎火弹的出现对人员及舰艇安全造成极大威胁。瞎火弹包括迟发火和弹丸留膛安全隐患: 迟发火<sup>[1]</sup>是指炮弹击发后未立即发射, 延迟一段时间后发射, 一般由于底火受潮等因素影响, 发火后底火加长发火时间, 在排除瞎火弹时, 如果遇到迟发火, 容易对装备和人员造成极大的安全事故; 留膛安全隐患是指由于炮膛发射后温度很高, 炮弹如果在膛内长时间留存, 具有弹丸炸膛或者发射药引燃的危险性, 也可能造成发射药发火或者弹丸炸膛的隐患。由于迟发火受到各种不确定性因素影响较多, 通过经验可得到相关数据<sup>[2-3]</sup>, 使用人员也十分关注留膛后炮弹的安全性, 即留膛后的热量能否造成炮弹的发射药发火、能否造成弹丸炸膛等问题, 查阅相关国内外资料, 缺乏对该问题的研究; 因此, 笔者从瞎火弹留膛后的安全性角度进行理论分析, 从而为使用人员提供科学依据。

### 1 瞎火弹机理分析

瞎火弹产生的原因很多, 通常包括击发及控制机构和弹药。

#### 1.1 击发及控制机构

把能量传给底火使其点燃装药的机构称为击发机构。按照施加能量方式的不同, 击发机构分别为机械击发式和电击发式<sup>[4-5]</sup>。

机械击发指通过击针撞击形成的机械能作用在底火上, 使部分底火分子获得动能, 加速运动, 导致局部温度升高。首先底火发生爆炸, 并通过传火系统将能量传递给发射药, 进而导致发射药的全部爆炸。机械击发式的发火机出现了瞎火故障, 一般是击发控制机构和发火机等机械部分出现问题。

在电击发底火出现瞎火弹, 击发及控制机构的原因有: 击针与底火之间的电阻值是否在一定的范围内, 保证击发的可靠性; 在击发时, 是否保证底火在电路的回路之中, 电流能通过底火, 使能源以电能的形式进入底火, 达到引燃底火的效果。

收稿日期: 2020-07-26; 修回日期: 2020-09-17

作者简介: 解维河(1981—), 男, 辽宁人, 博士, 讲师, 从事舰炮武器作战使用研究。E-mail: 39745224@qq.com。

## 1.2 弹药原因

弹药的储存环境、保存状态等可能对弹药的瞎火造成一定的影响。控制不好温度和湿度，会严重影响弹药的性能。对于发射药而言，温度过高，热分解的速率会大大增加，会导致发射药本质发生改变，从而阻碍火焰和温度的传播，进而导致瞎火现象的发生。对于底火而言，最重要的部分是点火药。点火药主要有粒状黑火药和饼状黑火药。黑火药极易受潮，湿度很难控制，当其含水量达到 4% 以上时，便会出现燃速减慢甚至失去燃烧能力的现象，进而导致炮弹瞎火。底火安装位置不准确或者受损等情况也可以造成失效而瞎火。

## 2 瞎火弹留膛安全性及影响因素分析

### 2.1 瞎火弹安全性分析

瞎火弹出现后的关键是要保证安全，影响瞎火弹排除的安全主要包括：1) 在瞎火弹排除前，瞎火弹具有发火的可能性，此时若将炮闩半打开，炮膛由关闭闭锁状态变为开锁开闩状态，发射药有可能因为炮膛环境的变化而加速燃烧，从而造成严重安全事故；2) 在瞎火弹排除过程中，由于火炮发射后，炮膛内膛温度很高，而弹药中的火药等具有热敏感性，在瞎火弹出现后，要保证排除故障过程中，温度低于火药的热敏感温度，而炮膛的温度传导到火药是有一定规律，与身管材质、是否冷却、药筒材质等因素有关；因此，瞎火弹处置的留膛时间会影响安全。

### 2.2 留膛安全性影响因素分析

影响瞎火弹留膛的因素包括弹药热敏感度、炮膛内壁温度变化规律等方面<sup>[6-8]</sup>。

#### 2.2.1 火炸药的感度分析

##### 1) 感度的特性。

火炸药对热、机械作用的反应存在选择性，即对某种作用反应敏感，对另一种作用反应不敏感，有选择地接受某一种作用。造成感度有选择性的原因在于引起火炸药爆炸变化的机理复杂，而不同初始冲能引起火炸药爆炸变化的机理不同；另一方面，火炸药感度也有其相对性，即火炸药感度表示火炸药危险性的相对程度。因为对于火炸药而言，爆炸的机理复杂，导致了其所处条件对爆炸的影响也很复杂，对于热作用来说，在同样的温度下，尺寸小于临界值的火炸药包或药柱是安全的，而尺寸超过

临界值的火炸药包可能导致爆炸。

##### 2) 火炸药的热感度。

热感度是指在热作用的条件下，发生燃烧或爆炸的难易程度。热引起的自催化反应或自由基链式反应均能加速发射药的分解而导致燃烧或爆炸。热感度则可以由爆发点和火焰感度来表示。爆发点是指发射药在一定实验条件下及一定延滞期(从开始加热到发生爆炸的时间，一般定为 5 s)下发生燃烧或爆炸的温度。火焰感度则以发射药受到导火索或黑火药柱燃烧发生的火焰或火星作用，试样以 50% 发火距离、100% 发火的最大距离和 100% 发火的最小距离表示。

常见的几种火炸药相关性质<sup>[9]</sup>如表 1、表 2 所示。

表 1 猛炸药相关性质

性质	TNT	黑索金	太安	特屈儿	奥克托金
爆发点/°C	475	260	225	253	337
爆热/(MJ/kg)	4 514.5	5 434	5 789.3	4 631.6	5 668.08

表 2 火药相关性质

性质	硝化棉火药	硝化甘油火药
燃烧温度/°C	2 200~2 500	2 800~3 300
爆热/(MJ/kg)	3.416~3.843	4.691~5.124

##### 3) 热爆炸模型。

对于火炸药而言，当温度达到临界引发温度时，就会自行爆炸。这种能使其发生自行爆炸的最低温度称为热爆炸临界温度。苏联学者 Semenov 用数学方法定量研究了热爆炸理论，建立了热爆炸的临界方程，简称 F-K 方程<sup>[10]</sup>。其与气体常数、药柱的结构形式、装填密度、自加热反应中的反应能和热传导率等因素有关。

#### 2.2.2 炮膛温度变化分析

瞎火弹的处理关键是炮膛存留能否对弹药(发射药和炸药)构成引爆危险。通过建立炮膛温度变化的模型相关研究<sup>[11-12]</sup>发现，与身管的材质、膛壁材料的热扩散系数、比热容及密度等有关，通过对炮膛模型进行假定，膛壁温度沿炮膛轴向变化较小，可近似认为燃气对炮膛的传热只沿炮膛径向发生，可计算各瞬时膛壁各点处的温度。

## 3 瞎火弹留膛安全性仿真

### 3.1 仿真流程

利用 SolidWorks<sup>[10]</sup>软件对瞎火弹留膛问题进行仿真建模过程如下：

##### 1) 进行热传导模拟仿真时，首先利用草图的轮

廓、尺寸的标注和约束的添加进行草图的创建；

2) 利用特征的命令完成 3D 模型的创建，通过给模型附材质，也就是实际零件的材料；

3) 对所选材料零件进行网格化，网格化就是离散化的过程，网格化级别越高，网格越精细，分析需要的时间越长；

4) 在 Simulation 的热学模型中运行计算，求解完成后，可以采用动画、iso 裁剪等方法对运行结果进行观察。

### 3.2 仿真条件分析

以某型舰炮和弹药瞎火弹发生后留膛弹的实际条件进行分析。

#### 3.2.1 条件分析

瞎火弹留膛安全性分析最关键的是如何对影响瞎火弹的条件进行符合实际条件的设定。在文中的仿真模型中对实际情况进行以下简化：

1) 由于在炮管中，冷却水是循环流动的，在此次仿真中，将炮管外的水进行了简化处理，没有使用循环水，而是采用大量水模拟实际的水量方法对其进行简化处理。

2) 实际环境中，空气温度不断变化，炮膛壁以及水都会向空气进行热传导，仿真中，在水和炮管外面设计了空气，并将空气的温度设为固定温度 15 °C。

3) 炮弹温度恒定，仿真中，将炮弹的相关结构例如药筒和弹壳的初始温度设置为 15 °C。

4) 炮管的实际温度也一直变化，而且在射击时由于热的传导，其径向的各个温度也不一样，在此次仿真中将炮管体的初始温度设定为 15 °C，经查阅相关资料，发现炮膛内壁的温度最大可达到 800 °C，但会迅速降低，故将炮膛内壁的温度设定为初始温度 500 °C。该初始温度已经考虑了实际射击中连续射击和冷却水对炮管热传导的部分影响。

5) 舰炮和弹药相关材料参数如发射药、火药、雷管采用热传导率相近的材料进行模拟。

6) 此次仿真中，炮管并没有采用实际长度，而是进行了截取，将对炮膛热传导影响较大的重要部分进行分析。

7) 由于 Simulation 插件的局限性，会将未定义的部位温度默认为一个较低的温度，为了更贴近实际，将空气覆盖了所有零件。

#### 3.2.2 标准确定

经查阅相关资料，当火炸药表面位于 230 °C 并持续 5 s 时，会引发燃烧甚至爆炸，故在此次模拟时将安全温度设置为 220 °C，即当零件部位温度低于 220 °C 时认为是安全的。

### 3.3 仿真过程及结果

根据上述条件，仿真了不同时间后的结果如图 1—4 所示。

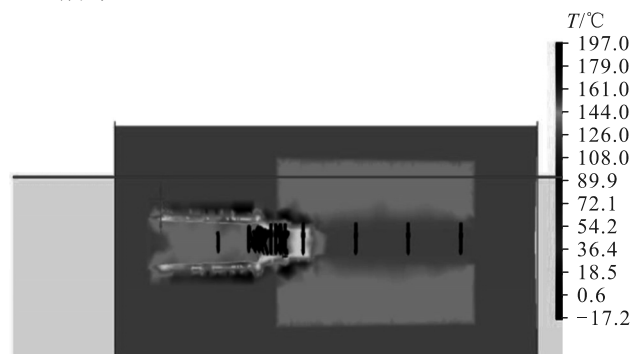


图 1 仿真 5 s 结果

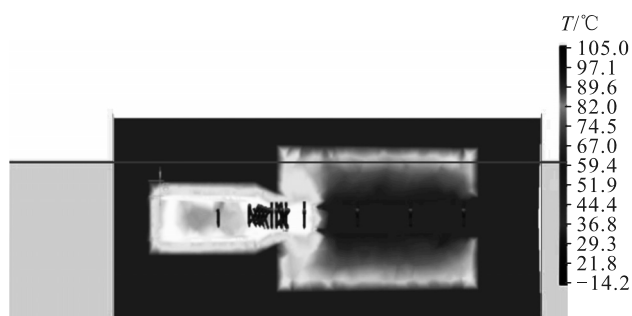


图 2 仿真 20 s 结果

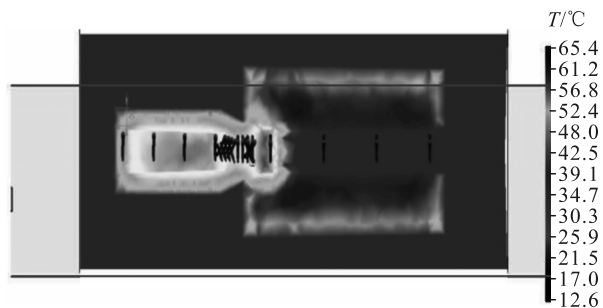


图 3 仿真 60 s 结果

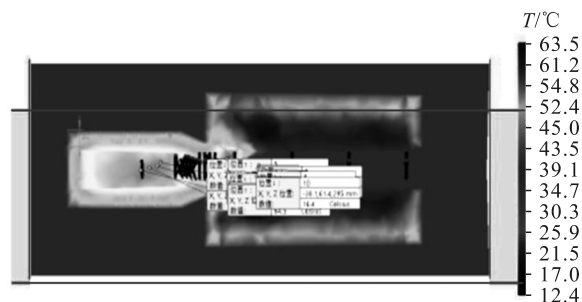


图 4 仿真 60 s 探针结果

### 3.4 仿真结果分析

1) 分别以 2, 3, 4, 5 s 的时间对仿真模型进行深入分析, 通过结果发现: 发射药和炸药的温度依次降低, 由此可以推测出, 发射药和炸药的温度在 2 s 后逐渐降低。另外, 当仿真时间为 4 s 时, 虽然药筒温度依旧位于 220 °C 以上, 但发射药和炸药的温度已经降至安全温度以下。当仿真时间为 5 s 时, 所有零件的温度均降至 220 °C 以下, 表明此时可以进行排故处理。

仿真时间延长至 20, 30, 40, 50 s 时可以发现: 此时所有零件温度都处于安全温度以下且这 4 个仿真时间中的零件最高温度为 105 °C, 说明在排除瞎火弹故障时, 热炮膛热传导具有一定的影响。

2) 从炮弹留膛时间分析, 在 5 s 后温度就降到发射药和炸药的爆点以下, 不具备炮弹在膛内炸膛的可能性。

3) 当仿真时间为 60 s 时发现, 最高温度为 67.8 °C, 并随机选取了 10 个探测点的温度, 其中 4 个探测点位于发射药, 4 个探测点位于炸药中, 其温度均远远低于 220 °C。通过图可以发现: 雷管的温度远远低于 220 °C, 说明此时零件的温度均低于 220 °C 的安全温度, 尤其是对安全产生影响的发射药、炸药、雷管均处于远低于安全温度, 此时进行排故是安全的。

## 4 结论

通过对瞎火弹的留膛安全性进行研究, 以典型舰炮弹药的条件进行分析, 随着时间的变化, 不会产生对炮弹炸膛或者由于温度影响造成的发射药引燃。从安全性角度分析, 炮弹瞎火后留膛等待时间越长, 越不会对该型舰炮的安全性造成影响, 但是

由于火炮作战使用时的时效性, 不能一直将炮弹留膛放置, 在可能造成迟发火的时间后进行排除即可。历史经验表明: 弹药迟发火的时间为 30 s 后就相对安全, 因此, 选择瞎火弹的排除等待时间为 30 s 后较好。文中迟发火的时间确定是根据经验得到数据, 同时炮弹迟发火的影响因素非常复杂, 下一步将对问题进行理论分析, 以便得到更科学的结论, 为部队的实践提供有力技术支撑依据。

### 参考文献:

- [1] 石晨光. 舰炮武器原理[M]. 大连: 海军大连舰艇学院, 2009: 132-138.
- [2] 欧育湘. 炸药学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014: 45-53.
- [3] 尹建平, 王志平. 弹药学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014: 45-52.
- [4] 张锦斌. 火炮初速测量方法浅析[J]. 无线电通信技术, 1993, 19(4): 23-30.
- [5] 王泽山, 何卫东, 徐复铭. 火炮发射装药设计原理与技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014: 78-83.
- [6] 安振涛, 秦翔宇. 弹药储存安全风险评估理论与方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 67-70.
- [7] 邓汗成. 火药制造原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2013: 89-92.
- [8] 王泽山, 何卫东, 徐复铭. 火药装药设计原理与技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006: 56-62.
- [9] 劳允亮, 盛涤伦. 火工药剂学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2011: 145-156.
- [10] 胡双启, 赵海霞, 肖良忠. 火炸药安全技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2014: 56-62.
- [11] 张喜发, 卢兴华. 火炮烧蚀内弹道学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [12] 金志明, 翁春生. 火炮装药设计安全学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001: 67-73.