

doi: 10.7690/bgzd.2014.07.026

## 水雷战斗部塑态装药技术及工艺应用

冯文武<sup>1</sup>, 常慧萍<sup>1</sup>, 李秀峰<sup>2</sup>, 胡艳华<sup>1</sup>

(1. 晋西集团江阳化工有限公司技术质量部, 太原 030041; 2. 晋西集团江阳化工有限公司质量检验中心, 太原 030041)

**摘要:** 通过对水雷战斗部装药技术及工艺应用进行研究, 分析水雷战斗部装药的结构特点和工艺特点, 给出传统水雷装药热塑态工艺路线图, 通过采用真空塑化振动装药、颗粒级配、精确称量加压成型及大真空室装药等技术, 提高水雷战斗部装药质量, 实现了塑态装药新工艺在水中兵器装药上的应用, 对其在其他大型战斗部装药产品中的应用也具有一定的意义。

**关键词:** 高能炸药; 真空塑化振动装药; 颗粒级配; 大型真空室装药  
**中图分类号:** TJ410.5<sup>+</sup>2 **文献标志码:** A

## Torpedo Warhead Plastic State Charge Technology and Its Process Applications

Feng Wenwu<sup>1</sup>, Chang Huiping<sup>1</sup>, Li Xiufeng<sup>2</sup>, Hu Yanhua<sup>1</sup>(1. Department of Technical Quality, Jiangyang Chemical Industry Co., Ltd., Jinxi Group, Taiyuan 030041, China;  
2. Quality Inspection Center, Jiangyang Chemical Industry Co., Ltd., Jinxi Group, Taiyuan 030041, China)

**Abstract:** Through study the charge technology and technology application of torpedo warhead, analyze torpedo warhead structural characteristics and process characteristics, give the traditional torpedo charge thermoplastic technology roadmap states. Through the use of a vacuum plastics vibration charge, particle size distribution, accurately weighed compression molding and large vacuum chamber charge and other technologies to improve the quality of torpedo warhead to achieve a plastic state charge of new technology in underwater weapons charge on the application, its the other large warhead products in the application also has a certain significance.

**Keywords:** high explosives; vacuum plasticizing vibration charge; particle size distribution; large vacuum chamber charge

## 0 引言

水雷是一种可长期布设在水中, 由引信、仪表、发火装置、装药雷体和其他装置组成, 用以破坏舰船并限制其行动的水中兵器, 具有隐蔽性好、布设简便、造价低廉等特点。在现代海战中, 水雷是不可缺少的武器。一枚所费无几的老式水雷就足以致一艘造价数千万乃至上亿美元的现代化军舰于死地。水雷可构成对敌较长时间的威胁, 有的甚至达几十年。除飞机、水面舰艇、潜艇外, 商船、渔轮等都可用来布放水雷。

常规水雷的划分方法通常有以下 3 种: 1) 按在水中所处的位置不同, 可分为漂雷、锚雷、沉底水雷<sup>[1]</sup>。漂雷是一种可漂浮在水面上或水面下方一定深度的水雷, 有水面漂雷和自动定漂漂雷之分; 锚雷可布设在较深的水中, 通过雷锚和雷索将装药雷体固定在设定水深上; 沉底水雷是一种布设在海底, 在较浅水域使用的水雷。2) 按照水雷的发火方式, 可分为触发水雷、非触发水雷和控制水雷。触发水雷大多属于锚雷和漂雷; 非触发水雷又可分为音响沉底雷、磁性沉底雷、水压沉底雷、音响锚雷、磁性锚雷、光和雷达作引信的漂雷, 以及各种联合引信的沉底雷等。3) 若按布雷工具不同, 可分为舰布水雷、空投水雷和潜布水雷。

自 20 世纪 70 年代以来又出现了新的雷种, 即特种水雷, 如美国以 MK46 轻型声自导鱼雷为战斗部的自导水雷、日本以固体燃料火箭发动机为推进动力的 80 式火箭上浮水雷、俄罗斯 PMK-1 定向攻击反潜水雷以及美俄两国用老式鱼雷改装的自航水雷等。

常规水雷是一种被动的等待性武器, 而特种水雷除了被动等待以外, 又增加了主动攻击能力。为提高水雷战斗部装药质量, 笔者对水雷战斗部装药技术及工艺应用进行研究。

## 1 水雷战斗部装药的结构与特点

## 1.1 选用适合水中兵器用高能炸药

水中兵器是海军的一类重要作战武器, 对水下目标和水面目标具有很强的破坏能力。由于它具有与陆地和舰面武器不同的毁伤机理, 因而对炸药装药的要求也不同。随着现代舰船的不断发展, 其攻击能力和防护能力都在提高, 因而对水中兵器用炸药的威力和能力结构提出了更高的要求。水中兵器战斗部属于非接触型爆炸的大型爆破型战斗部, 一般是在较深水域爆炸的毁伤模式。衡量炸药水下爆炸威力的 2 个重要的能量参数就是冲击波能和气泡能。冲击波能是炸药爆炸时以冲击波的形式传出的

收稿日期: 2014-01-13; 修回日期: 2014-02-18

作者简介: 冯文武(1970—), 男, 山西人, 硕士, 高级工程师, 从事弹药装药技术研究。

能量，气泡能是存在于爆炸产物气泡中的能量。水下爆炸的总能量，在理论上应等于冲击波能和气泡能之和。但由于冲击波在传播过程中对所经之处的水产生冲击加热，致使一部分能量以热的形式损失在水中，称为热损失能。根据水下爆炸的过程和特点可知，水下炸药配方设计的任务就是提高水下爆炸的冲击波能和气泡能<sup>[2-3]</sup>。

由实验可知，高爆压和高爆速会导致冲击波的热损失能增加；因此，设计水下炸药时不应把高爆压和高爆速作为提高水下威力的途径，爆压和爆速只要适宜即可。选用适合水中兵器用的高爆热和高爆容高能炸药，如含铝炸药等提高爆热，是水中兵器用高能炸药的重要特点。

## 1.2 装药量大

由于水中兵器如水雷、鱼雷等主要用于攻击大中型水面舰船和水中潜艇，具有与陆地和舰面武器不同的毁伤机理。水中兵器战斗部属于非接触型爆炸的大型爆破型战斗部，一般采用在较深水域爆炸的毁伤模式，利用冲击波能和气泡能对目标进行毁伤，要求有足够大的水下爆炸总能量；因此，水中兵器装药在选用高爆热、高爆容的高能炸药基础上，要求装药量比较大，一般都在几百公斤以上。

## 1.3 结构较复杂

由于水中兵器壳体一般都采用铝件，为保证强度，一般在产品内部都焊有加强筋，产品内部又装有电池舱、引信室等，结构比较复杂。为保证毁伤效果，水中兵器装药使用的固相高能炸药比例都比较大，液相成份较少，炸药一般流动性都比较差；因此，对于加强筋部位等炸药不易充满的部位，容易出现疏松、气孔、密度偏低等装药疵病，导致战斗部装药质量低，无法满足现代高新技术产品对装药质量的要求。

## 1.4 对产品装药质量的要求越来越高

传统的水雷产品如锚雷等一般只考核产品的威力指标，只对产品的装药量、装药密度作出要求。但随着自航水雷、鱼水雷等新产品的开发，对产品质心、质偏及装药内部质量的要求也越来越高。

## 2 传统的水雷装药工艺

传统的水雷装药采用热塑态装药工艺。热塑态装药工艺是将 2 种以上的炸药配成遇热软化(呈塑态)，在常温下又变为固态的混合炸药。在热塑状态下装入弹体药室内，并趁热用成型工具，将多余的炸药挤压出去，同时形成引信室及口部药面形状的工艺方法。

热塑态装药所用的炸药必须具有 2 种组分，即低熔点物质和高熔点物质，才能具有可塑性，前者常用如梯恩梯及其二元、三元低共熔物，后者常用的如黑索今。在有的配方中，根据需要还加入钝感剂(如硬脂酸、石墨)，水中兵器常用炸药中有增加爆热的物质如铝粉等<sup>[4-5]</sup>。

在热塑态装药中，低熔点炸药也有相变，但因含量较少且呈分散状态，不会产生大的缩孔。而热塑态炸药装药时，低熔点炸药处于熔化状态，冷却时不像注装法那样有熔态炸药补充，形成许多分散的微观缩孔，因此装药密度不高，例如 RS211 炸药热塑装药密度为  $1.62 \text{ g/cm}^3$ ，仅能达到理论密度的 91%。如果工艺条件控制不当，热塑态装药也可能出现气孔、结块、硬皮和炸药颗粒团、裂缝与裂纹、弹底缝隙及径向收缩、密度偏低、表面质量差等疵病。采用热塑态装药法可装填各种口径的钢质榴弹、钢质迫弹、半穿甲弹、穿甲弹、火箭弹、航弹等。

传统的热塑态装药工艺方法，工艺路线如图 1。

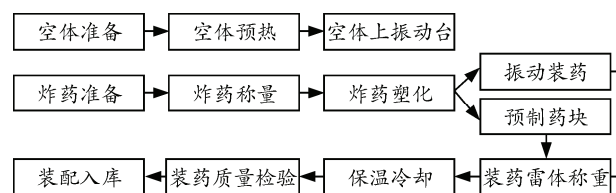


图 1 工艺路线

## 3 水中兵器装药新工艺的应用

×型新型水雷，装药量 200 kg，装药密度不小于  $1.83 \text{ g/cm}^3$ ，采用传统水雷装药技术难以满足产品技术条件要求。笔者在传统水雷装药技术的基础上，结合新产品试制、试验，实现了几种塑态装药新工艺在水中兵器装药上的应用。

### 3.1 真空塑化振动装药技术

提高战斗部装药威力和发射安全性是水中兵器研究的重点，其解决途径一是提高混合炸药中固相高能炸药的百分含量，二是提高装药密度。但由于固相高能炸药的百分含量提高使得炸药粘度增大，炸药可浇性差或无法浇注。尤其对于大中型弹药水中兵器如水雷和鱼雷，用普通方法装药不可避免地会出现气孔、缩孔等装药疵病，导致装药密度降低。应用振动装药，可以解决上述问题。

振动装药可以降低混合炸药内的内摩擦力，减少装药疵病。当振动时，混合物中的固体颗粒产生振动，获得加速度和惯性力。由于各颗粒的质量不同，获得相等的加速度所产生的惯性力也不同，此惯性力的差值如果超过了颗粒间和内聚力和摩擦力，则粘性膜破坏，颗粒在惯性力和重力的作用下

发生位移，并力图向平衡位置移动而重新排列。因而颗粒互相靠近，挤出之间的液体和气泡，可获得较大的流动性，有利于充满药室，有利于补缩孔。

振动还有利于气泡的逸出。在振动条件下小气泡互相碰撞，变成较大气泡使浮力加大，容易逸出。

振动还会使枝晶破碎、熔断，提高液相线平均温度，增加过冷度，从而使得晶核数增加，有利于获得细结晶。

振动作用的效果决定于振幅  $A$  和频率  $n$  平方的乘积。振幅和频率的大小与炸药颗粒大小、粘度、配比等一系列因素有关，对于某一种弹药来说，其振动装药条件应合理地确定振动工艺，才能保证质量和安全。经研究振动加速度与粘度有关系，当振动加速度达到一定值时，药液粘度下降趋势加大。此时振动获得最大效果。

### 3.2 颗粒级配技术

在某产品试制中，通过理化分析，选择 RDX 粒度，通过颗粒级配技术，解决高能炸药成分增多，流动性下降的问题。这种方法的优点是：

- 1) 大颗粒的 RDX 比表面小，需要将颗粒包覆起来的液相 TNT 也较少，自由流动的液相量增加，所以粘度降低，流动性增加；
- 2) 同一尺寸的大颗粒之间，由于间隙存在易出现搭桥现象，加入小尺寸的 RDX 后，填入空隙中，提高装填密度，同时也降低了大颗粒 RDX 的沉降，保证产品的质心要求。黑索今过筛分级后所测定的不同颗粒尺寸的假比重如表 1。

表 1 双组份 RDX 颗粒振动的假比重

粒径/ $\mu\text{m}$	静止假比重/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	振动时间/min	振动假比重/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$
1 500~3 000	0.99	2	1.061
550	1.079	3	1.086
395	1.101	3	1.112
290	1.101	3	1.127
230	1.077	3	1.115
85	0.875	5	1.085
60	0.595	3	0.833
8~10	0.525	—	—

振动假比重是将测定容器放在振动台上的测定值，其数值均比静止时的假比重大，由表 1 可以看出，比重与颗粒大小有一定的关系。如果在紧密排列的圆球中再填入尺寸较小的颗粒，则假比重还会增加，如图 2。如果小球半径正好放入大球的孔隙中，并能自由地通过间隙，经过计算和几何作图，大小球的直径比为 6.4。更小粒子充填到小球间隙中，则会进一步提高假比重。

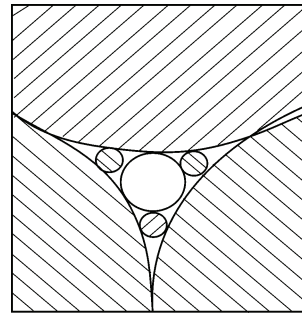


图 2 颗粒级配原理示意图

如果改变颗粒尺寸比例和重量比例，振动条件下测定的假比重如表 2。

表 2 双组份 RDX 颗粒振动的假比重

大粒/小粒=粒径	小粒重量比/%	振动频率/ $(\text{次}\cdot\text{min}^{-1})$	振动时间/min	振动假比重/ $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$
2 000/395=5.07	22	1 200	2.5	1.215
	28	1 500	2	1.294
	34	1 500	2	1.311
	37	1 500	2	1.305
	46	1 500	2	1.282
2 000/230=8.7	22	1 500	0.75	1.270
	28	1 500	2.25	1.371
	32	1 500	2	1.351
	37	1 500	2	1.329
	41.5	1 500	2	1.315
550/60=9.2	8.4	1 800	3	1.126
	13	1 800	3	1.139
	18	1 800	3	1.137
	23	1 800	3	1.132

由表 2 的数据可知，采用颗粒级配的方法，可有效提高高能固相含量，增加炸药的流动性，提高装药密度。

### 3.3 采用精确称量加压成型技术提高装药质量

在某产品的试制中，采用精确称量加压成型技术，提高了装药密度。

按照原塑态振动装药工艺，装药密度可以达到  $1.80\sim 1.81 \text{ g/cm}^3$ ，不能满足产品技术条件要求。装

药内部质量差，存在缩孔、疏松等疵病。为进一步提高装药密度，减少疵病，新工艺采用了精确称量、加压成型法，将装药密度提高  $0.03\sim 0.04 \text{ g/cm}^3$ ，满足了产品技术条件要求。

装药后雷体、成型冲及炸药位置如图 3。

如采用原工艺装药，装药时必须预留出成型冲位置，计算结果如下：

成型冲体积  $V=3\ 080 \text{ cm}^3$ ；装药口部直径  $D=340 \text{ mm}$ ；预留成型冲位置后药面距口部高度  $H=$

$V/(\pi R^2) \approx 34 \text{ mm}$ 。

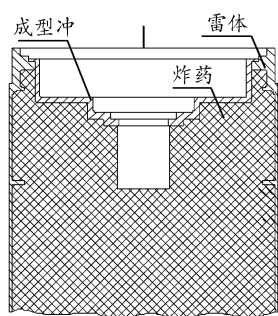


图3 装药后雷体、成型冲及炸药位置

原工艺装药成型前炸药位置如图4。

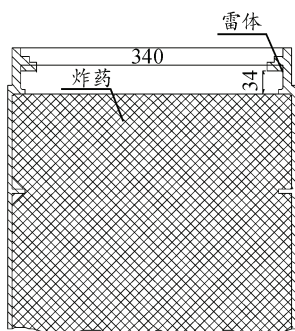


图4 原工艺装药成型前炸药位置

采用精确称量、加压成型法装药，适当增加装药量，加压成型。实际装药可预留药面高度 5~10 mm，多装药 24~29 mm，通过压力装药可提高装药量约 4 kg，装药密度提高 0.03~0.04 g/cm<sup>3</sup>。加压成型法压装前炸药位置如图5。计算公式为：

$$M = \rho \pi r^2 h$$

其中： $r$  为药柱半径 170 mm； $h$  为多装药的药柱高度 24 mm； $\rho$  为炸药密度约为 1.80 g/cm<sup>3</sup>； $M$  为通过压力装药增加的装药量。经计算可得， $M=3.9 \text{ kg}$ 。

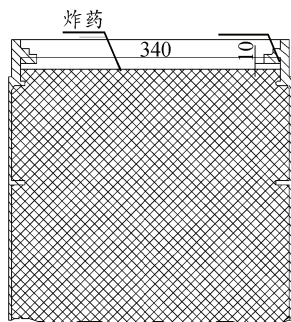


图5 分步压装法压装前炸药位置

装药雷体容积 100 L，则通过精确称量、加压成型法装药密度可增加  $\rho' \approx 0.03 \sim 0.04 \text{ g/cm}^3$ 。

### 3.4 大型真空室装药技术

现国内外大中型武器战斗部炸药注装、塑态装药工艺中，普遍存在装填后炸药相对密度与理论密度相差大的问题，装药中，特别是在空体壁上易形

成气孔、疏松、缩孔、脱壳等疵病，难以保证装药后准确的质心、质偏、转动惯量等参数，影响战斗部的爆炸威力，甚至影响到武器系统的发射安全性、命中准确性。

大型真空室装药技术采用一种大型真空室装药系统，包括真空室体、液压开启真空室门、真空抽气系统、真空室供气系统、提升振动装药机构、液压振动台、液压夹紧机构和远程自动控制系统等。

使用时，带加热系统的装药漏斗进入真空室，与提升振动装药机构对接并提升至高定的位置，产品由带加热系统的运弹小车送入真空室内的液压振动台上，液压夹紧机构锁紧产品及运弹小车，同时装药漏斗、运弹小车分别接通加热管路，对炸药、产品壳体进行保温，打开装药漏斗手动控制阀，关闭真空室门，远程控制抽真空，真空度达到要求时，液压振动台开始振动，装药漏斗电磁阀开启，提升振动装药机构带动装药漏斗振动装填物料，当物料装填达到工艺要求时，自动关闭阀门，停止振动台振动，风机向真空室内供风，开启真空室门。

这种装药工艺方法实现了在真空状态下的振动装药，真空度高且可调，突破了传统真空罐、局部抽真空利用负压装药吸入产品内的工艺方法，激振出料系统能自动控制出料流量、速度，有利于粘稠状态炸药中气泡的消除，同时在真空振动装药过程中继续保持对壳体、炸药加热状态，避免装药过程中温度下降，装药后能精确控制冷却温度与速度，克服气候、环境的影响，从而最大限度提高装药密度，消除产品装药中的裂纹、气孔、疏松、脱壳、口部收缩缺陷，提高产品威力，使装药水平得到了很大的提升。

## 4 结束语

该研究对提高水雷战斗部装药质量，保证产品的各项技术指标有一定的现实意义。同时，研究水雷战斗部装药对推动工厂在大型战斗部装药技术方面的研究与发展，确保工厂在战斗部装药领域的领先地位，也具有一定的意义。

### 参考文献：

- [1] 韩鹏, 李玉才. 水中兵器概论[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2007: 1-2.
- [2] 陈熙蓉. 炸药性能与工艺[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988: 188-201.
- [3] 谢建湘. 高威力、高分子粘结炸药与双锥金属药型罩药柱压制成型技术[J]. 兵工自动化, 2012, 31(1): 14-15.
- [4] 刘德润. 弹药装药工艺学[M]. 北京: 北京工业学院, 1988: 159-161.
- [5] 孙家利, 王秋雨, 夏克祥, 等. 高效毁伤注装药工艺技术[J]. 兵工自动化, 2012, 31(1): 16-17.