

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.03.010

硝酸钡特性对平面波发生器波形精度的影响

金大勇, 王亲会, 黄文斌, 王淑萍, 牛国涛, 王红星, 赵凯
(西安近代化学研究所, 西安 710065)

摘要: 针对常用平面波发生器爆轰波形难以达到高平面度的问题, 利用 $\Phi 100\text{ mm} \times 37^\circ$ 平面波发生器模具与炸药装药基础配方, 就硝酸钡特性对平面波发生器波形精度的影响进行研究。结果表明: 外形结构圆滑均匀的硝酸钡有利于在浇注产品中的堆积、沉降以及成分均匀性的提高; 硝酸钡粒度分布及级配影响其在低速层结构中的含量和内部质量, 合理调整粗、细品比例可制得波形差不超过 $0.08\ \mu\text{s}$ 的平面波发生器。

关键词: 平面波发生器; 硝酸钡; 精度; 粒度; 颗粒级配

中图分类号: TJ510.3 **文献标志码:** A

Effect of the $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ Characteristic on Wave Precision of Plane-Wave Generator

Jin Dayong, Wang Qinhui, Huang Wenbin, Wang Shuping, Niu Guotao, Wang Hongxing, Zhao Kai
(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: Aimed at the problem that it is difficult to reach up to exact plane for plane-wave generator (PwG). It is studied that the characteristics of $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ have an effect on the precision of PwG, which makes full use of the mold of $\Phi 100\text{ mm} \times 37^\circ$ PwG and the basic explosive formulation. The results show the round, smooth and uniform $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ in shape is beneficial to deposition sedimentation and improving the uniformity. The distribution and graduation of particle influence the content and internal quality in its low velocity layer structure. It can make the PwG's error in wavelength less than $0.08\ \mu\text{s}$ according to adjusting properly the proportion of thick and thin $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.

Keywords: plane-wave generator; $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$; precision; granularity; grain composition

0 引言

因为某些爆轰物理研究的需要, 常将炸药装药设计成理想的几何形状, 使爆轰波变成平面、锥形或圆柱等规则波形, 以产生极强的压力脉冲。在爆轰波的实际应用中, 平面波比较重要。该波形的产生通过平面波发生器(又称平面波透镜)来实现^[1]。

常用的平面波发生器根据光波传播的费马原理(Fermat)设计, 采用 2 层不同炸药(高爆速炸药和低爆速炸药)组合的装药结构, 它产生的理想爆轰波就是一维平面波^[2]。但实际制作与应用中, 平面波发生器的波形精度受到模具设计、关键原材料——硝酸钡($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$)的特性、配方配比和装药质量等复杂因素的影响, 其波形平面度一般为 $0.1 \sim 0.2\ \mu\text{s}$, 难以达到高平面度(最大波形差不大于 $0.08\ \mu\text{s}$)的要求。因此, 笔者利用 $\Phi 100\text{ mm} \times 37^\circ$ 平面波发生器模具与炸药装药基础配方, 利用硝酸钡特性对平面波发生器波形精度的影响进行分析与探讨。

1 实验部分

1.1 原材料及规格

硝酸钡($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$): 2003 批, 分析纯, 北京化

学试剂厂; 2009 批, 分析纯, 成都市科龙化工试剂厂。

炸药原材料: 梯恩梯(TNT), 片状, 一级军品, 凝固点不小于 $80.2\ ^\circ\text{C}$; 黑索金(RDX), 2 类, 粒度分布 $70 \sim 200\ \mu\text{m}$ 约占 50%以上, 其余 $70\ \mu\text{m}$ 以下。

1.2 实验步骤

1.2.1 硝酸钡的准备

低速层炸药配方中硝酸钡($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$)颗粒需要一定比例的级配。一般分为粗品硝酸钡($150 \sim 300\ \mu\text{m}$)和细品硝酸钡($30 \sim 60\ \mu\text{m}$)。用泰勒标准筛将硝酸钡进行筛分, 可直接得到部分粗品。大于 $300\ \mu\text{m}$ 的可以用振动磨粉碎, 再经过筛分获取细粉。

1.2.2 平面波发生器制备

首先按照同一低速层炸药配方($\text{TNT}25/\text{Ba}(\text{NO}_3)_275/\text{增强剂}0.0125$ (外加)), 分别称量梯恩梯、增强剂和不同批次与粒度级配比例的硝酸钡, 熔混均匀后使用同一模具和工艺浇注加工低速层炸药结构。然后再利用同一高速层炸药配方($\text{TNT}40/\text{RDX}60/\text{防裂剂}0.4$ (外加))和工艺浇注加工高速层炸药结构, 最终完成平面波发生器试样的

收稿日期: 2011-09-15; 修回日期: 2011-10-24

作者简介: 金大勇(1980—), 男, 河南人, 大学本科, 助理研究员, 从事混合炸药及装药技术研究。

制备。

1.2.3 性能测试

波形测试实验：使用转镜式高速扫描摄影机，型号：SJZ-15 型气动扫描摄影机。采用狭缝扫描技术，设定转速 12×10^4 r/min，获得平面波发生器波形照片，通过对波形照片进行测量计算，获得平面波发生器波形平面度最大公差值，从而检验其精度。

2 结果与讨论

2.1 性能测试结果

按照 TNT25/Ba(NO₃)₂75/增强剂 0.0125 (外加) 的低速层配方和表 1 参数制作的 5#、6#、22#、24# 和 25# 平面波发生器，其波形图见图 1~图 5。

表 1 硝酸钡调整表

样品编号	硝酸钡粗品/%	硝酸钡细品/%	批次
5#	30	45	2009
6#	30	45	2003
22#	45	30	2003
24#	37.5	37.5	2003
25#	37.5	37.5	2003

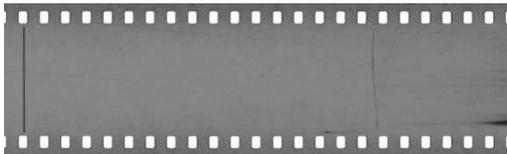


图 1 5#平面波发生器波形图

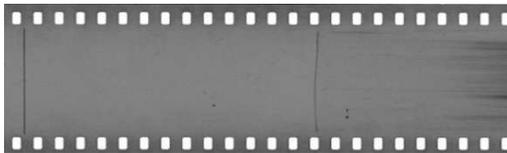


图 2 6#平面波发生器波形图



图 3 22#平面波发生器波形图



图 4 24#平面波发生器波形图

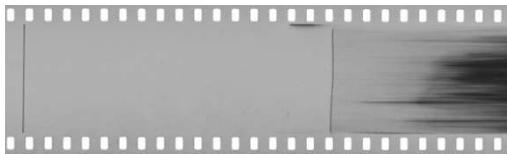


图 5 25#平面波发生器波形图

波形测试结果见图 6，测试结果对比见表 2。

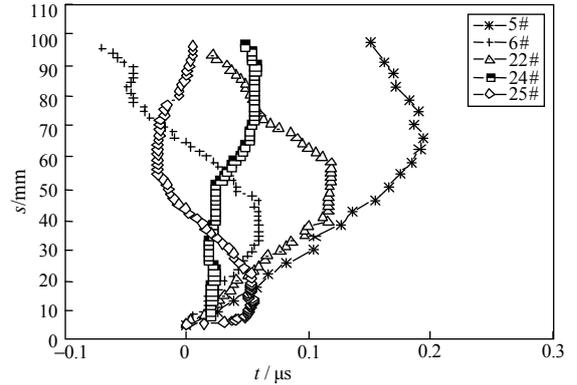


图 6 平面波发生器波形测试结果

表 2 波形测试结果

样品编号	Φ60 mm 波形	Φ80 mm 波形	Φ100 mm 波形差
	差 Δt/μs	差 Δt/μs	Δt/μs
5#	0.116	0.151	0.195
6#	0.104	0.112	0.129
22#	-0.069	-0.089	-0.119
24#	0.037	0.038	0.038
25#	0.068	0.077	0.078

2.2 讨论

平面波发生器的低速层制作非常关键。在配方已定的情况下，低速层炸药组成中固相组分(硝酸钡)的均匀性对平面波发生器的性能会产生重要影响。其中由硝酸钡结晶形貌、粒度分布及颗粒级配是引起组分均匀性变化的最重要原因之一。低速层配方中的硝酸钡密度为 3.24 g/cm^3 ，梯恩梯为 1.654 g/cm^3 ，熔化时则降至 1.48 g/cm^3 ，与硝酸钡密度相差 2 倍以上^[3]，两者互不相溶，其混合药浆在浇注时极易产生沉降，从而导致产品成分的不均匀，最终影响平面波发生器的波形精度。图 7 为平面波发生器低速层横切图，图 8 为平面波发生器低速层纵切图。

由图 7 和图 8 可以看出，平面波发生器的低速层结构中的径向和轴向均易出现成分分布的不均匀，这也是平面波发生器产生波形差的根本原因。



图 7 低速层横切图



图8 低速层纵切图

2.2.1 硝酸钡结晶形貌影响

由表1可以看出, 5#与6#平面波发生器配方相同, 但硝酸钡为不同批次。不同批次有不同的结晶形貌和堆积密度。从表2的波形测试结果可以看出, 5#的波形差大于6#, 即5#中部爆轰波比6#超前, 这说明5#中部的硝酸钡沉降少于6#, 导致爆速更高。且在不同直径范围内5#的波形差为0.079 μs, 而6#仅为0.025 μs, 这说明6#的低速层中硝酸钡分布均匀性优于5#。

研究过程中, 分别对2003批及2009批2种硝酸钡经相同工艺筛分处理后的粗品堆积密度进行测量, 结果为1.724 g/cm³和1.639 g/cm³, 两批次的堆积密度存在较大差异。另外又分别对2种硝酸钡粗品取样, 通过扫描电镜观察其晶体形貌。图9和图10分别为2批硝酸钡粗品的微观形貌。

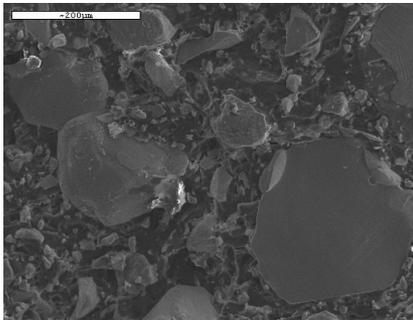


图9 2003批硝酸钡(200×)

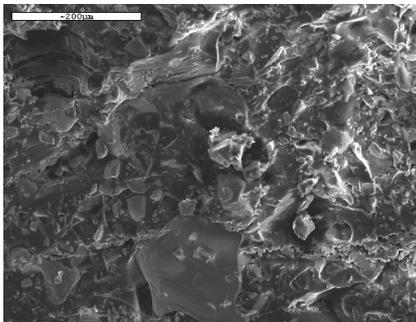


图10 2009批硝酸钡(200×)

由图9和图10可以直观地看出, 2003批的硝酸钡比2009批的硝酸钡结晶更为致密, 外形结构相对更为圆滑均匀, 因此其堆积密度相对较大, 在液相载体中相对更容易形成合理的堆积与沉降^[3]。这

使低速层药浆在配方、配比及工艺均相同的情况下浇注出来的产品在密度、成分及其均匀性上产生差异, 从而影响爆轰波的传递, 最终影响到平面波发生器输出波形的精度。

分别采用2003批和2009批硝酸钡原材料制作的8#和9#低速层结构, 按照图11位置进行分割, 制作成为密度测试样块。

按照GJB772A-1997方法401.2对样块密度进行测试, 并计算对应样块的硝酸钡含量结果见表3。

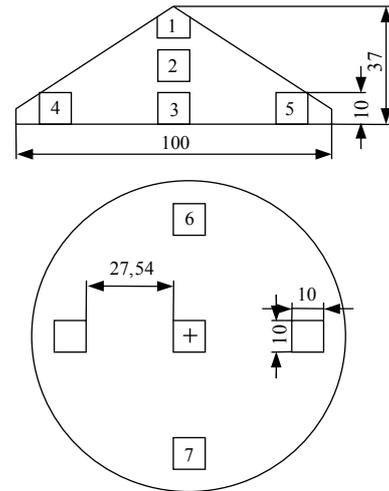


图11 低速层密度取样示意图

表3 低速层结构样块密度及对应硝酸钡含量计算结果

编号	8#密度/ g·cm ⁻³	9#密度/ g·cm ⁻³	8#硝酸钡含 量/%	9#硝酸钡 含量/%	硝酸钡含量 差/%
1	2.612	2.577	74.92	73.17	1.75
2	2.617	2.606	75.17	74.63	0.54
3	2.628	2.601	75.57	74.38	1.19
4	2.618	2.591	75.22	73.88	1.34
5	2.618	2.587	75.22	73.68	1.54
6	2.617	2.589	75.17	73.78	1.39
7	2.622	2.592	75.42	73.93	1.49

表3中的密度测试结果表明, 8#低速层结构中的硝酸钡含量整体大于9#, 可见硝酸钡形貌结构和堆积密度对其含量的影响程度。

硝酸钡含量对比见图12。

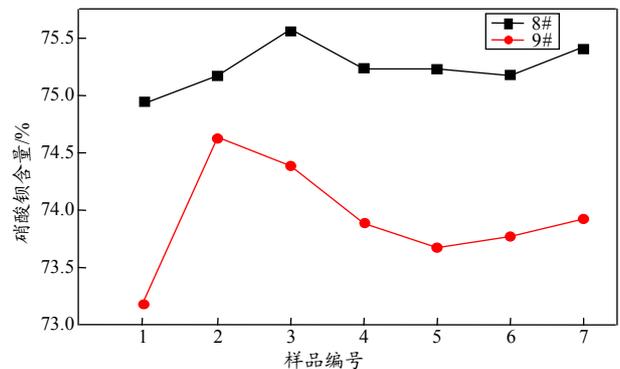


图12 8#与9#低速层结构硝酸钡含量对比

由表 3 可知,8#低速层硝酸钡整体含量大于 9#,最多可超出 1.75%。根据计算可知,硝酸钡含量每提高 1%,则低爆速炸药的爆速降低约 65 m/s。由此可见,硝酸钡含量的不同,会对波形精度产生较大影响。另外,装药结构中成分分布的不均匀会引起爆轰波形的畸变。从图 12 可以看出,2 个样品中硝酸钡分布的均匀性亦存在差异,8#低速层中硝酸钡分布均匀性优于 9#样品,这说明使用外形圆滑均匀的硝酸钡制作出的低速层其内部质量会更好。

2.2.2 硝酸钡粒度分布及颗粒级配影响

浇注低速层结构时,如果硝酸钡原材料不经粉碎处理,粒度过大极易在梯恩梯中造成沉降,从而造成低速层炸药成分分布不均匀;如果粒度太小,药浆粘度太大,则无法浇注或者浇注形成为有缺陷的产品,最好的办法就是将合适粒度的硝酸钡进行级配,从而混制出适合粘度的药浆以利浇注^[4]。

2.2.2.1 粒度分布研究

对硝酸钡原材料进行筛分和粉碎预处理后取样,采用泰勒标准实验筛进行筛分,结果见表 4。

表 4 硝酸钡(Ba(NO₃)₂) 粒度分布(质量比)检测结果

硝酸钡(Ba(NO ₃) ₂) 批次		2003 批	2009 批
粗品粒度分 布/%	(60~80)目	66.4	56.8
	(80~100)目	33.6	43.2
细品粒度分 布/%	(100~200)目	11	3
	(200~250)目	10	6
	(250~300)目	17	9
	(300~)目	62	82

由表 5 可以看出,经相同工艺筛分和粉碎预处理后,硝酸钡粒度分布存在差异。2003 批硝酸钡粗、细品粒度均比 2009 批偏大。粒度偏大的硝酸钡在梯恩梯悬浮液中更易产生沉降,装药固相含量会大一些,这进一步说明了 6#平面波发生器中部爆轰波比 5#滞后的原因,也说明了表 3 中低速层密度和硝酸钡含量存在差异的原因。

2.2.2.2 颗粒级配研究

在原材料和低速层基础配方已定的情况下,确定硝酸钡合适的粗、细品级配比例是成功制作平面波发生器的关键所在。

由表 2 可以看出,在使用相同基础配方和原材

料的情况下,5#硝酸钡粗品含量最低,22#最高,24#和 25#含量相等且介于前两者之间。由表 3 中波形测试结果可以看出,5#波形中部严重超前,最大波形差达到 0.195 μs,22#波形中部严重滞后,最大波形差亦达到-0.119 μs。这是因为硝酸钡粗细比例的不同导致平面波发生器低速层中硝酸钡沉降情况不同,其含量也不相同,低速层爆速或高或低,从而出现波形的偏差。

出现波形超前或滞后的情况,在基础配方和装药工艺相同的情况下,必须提高低速层中硝酸钡的含量,即增大或减小低速层中部的爆速。要实现这一目的,就需要调整硝酸钡的级配比例,增加或减小粗品在级配中的比例,从而增加或减少硝酸钡的沉降。

由表 2 可知,24#和 25#硝酸钡粗品比例介于 5#和 22#之间,从表 3 的测试结果可以看出,两者的波形差均大幅减小,最小波形差仅为 0.037 μs,最大也不过 0.078 μs,并且两者波形整体平行性良好,24#不同直径范围内波形相差仅 0.001 μs,25#也仅为 0.01 μs。以上实验结果说明,硝酸钡的颗粒级配对平面波发生器的波形精度具有重要影响。

3 结论

- 1) 外形结构圆滑均匀的硝酸钡更易在药浆中产生堆积沉降,同时浇注出的产品其内部成分也更加均匀良好,这有利于提高平面波发生器的精度;
- 2) 硝酸钡粒度分布及级配影响低速层药浆的粘度和流变性,从而影响硝酸钡在低速层结构中的含量以及低速层结构的内部质量。合理调整硝酸钡粗、细品级配比例,可以制作出高精度的平面波发生器,其波形差一般不超过 0.08 μs。

参考文献:

[1] 刘文翰. 爆轰波聚焦元件设计原理[M]. 绵阳: 中国工程物理研究院科技丛书, 1994.
 [2] Φ100 mm平面爆轰波的设计与制作研究[Z]. 北京: 北京工业学院, 1980.
 [3] 孙业斌, 等. 军用混合炸药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995.
 [4] 弹药装药工艺学[M]. 北京: 北京工业学院831教研室, 1980.