

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.05.006

粉状铵油炸药现场混装车的设计与应用*

孙光 熊代余 龚兵 孙大为 臧怀壮 李国仲

北京矿冶研究总院(北京,100160)

[摘要] 为实现爆炸焊接用低爆速粉状铵油炸药的现场混装,研制出一种新型粉状铵油炸药车。该车采用旋转料仓设计,将原有的静态出料改为动态出料,解决了传统铵油车存在的料仓起拱问题。所生产的粉状铵油炸药爆速1800~2500 m/s,生产速度200~300kg/min,满足了爆炸焊接用药的使用要求。该车不仅能够生产粉状铵油炸药,而且可以生产多孔粒状铵油炸药。

[关键词] 铵油炸药 现场混装 爆炸焊接

[分类号] TD235.2⁺1 TJ510.5

引言

在现场混装炸药已成为国内外工业炸药发展和应用主流技术方向的大背景下,为实现金属爆炸加工行业、特别是金属板材爆炸焊接(复合)专用炸药的现场混装,2009年初,我院提出低爆速粉状铵油炸药现场混装技术及其配套混装车研究课题。

综合国内外相关文献资料,金属板材爆炸焊接(复合)专用炸药,广泛采用的是2[#]岩石铵梯炸药、粉状铵油炸药等硝铵类改性炸药^[1]。国内爆炸焊接专用炸药研制、应用文献众多,如孙业斌^[2]、余运辉^[3]、安立昌^[4]、田建胜^[5-6]、南京理工大学^[7]等,但均为低爆速粉状硝铵类成品炸药,未见爆炸焊接现场混装炸药技术报道。

本文在多孔粒状硝酸铵的现场混装技术的基础上,提出了将多孔粒状硝酸铵进行粉碎,加入密度、爆速调节剂来满足爆炸焊接用药使用要求的方法;并将该配方予以现场混装技术来实现,且设计制造了应用于此种配方的装备。

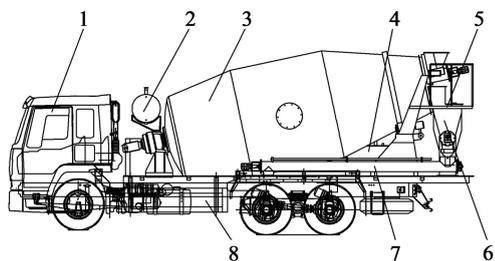
文章重点介绍课题配套的BCJX型粉状铵油炸药现场混装车的创新设计及其应用效果。

1 总成与主要分系统

1.1 整车结构

BCJX型铵油炸药现场混装车总成,如图1所示。整车结构以定型、成熟的商品混凝土搅拌车主体结构为基础,按照现场混装炸药专用车安全技术条件,围绕现场制备工艺要求,进行优化设计。整车由以下分系统组成。

1.2 硝铵料仓及输送计量系统



1 - 底盘;2 - 液压系统;3 - 硝酸铵料仓;4 - 柴油配料箱;5 - 平台;6 - 料斗;7 - 混合螺旋;8 - 控制箱

图1 BCJX 铵油炸药现场混装车总成

Fig. 1 Assembly of BCJX ANFO explosive on-site mixed loading truck

BCJX 粉状铵油炸药现场混装车研究设计了适应粉体硝酸铵特性的旋转料仓结构,摒弃传统多孔粒状铵油炸药现场混装车的固定料仓和底部螺旋出料结构,利用旋转料仓内部双螺旋叶片实现物料进料和出料。上料过程:硝酸铵通过进料斗进入旋转料仓,旋转料仓通过正转将物料送至料仓底部。装药流程是旋转料仓反转时将硝铵输送至出料仓中,通过出料仓螺旋将物料提升至混合螺旋,在混合螺旋中与柴油充分混合,实现粉状铵油炸药现场制备。

1.3 柴油箱及输送系统

柴油料箱及输送系统由柴油箱、过滤器、电动阀、流量计及输送泵等组成。工作时,柴油管路上的电动阀根据装药程序自行开启和关闭,控制系统自动监测柴油流量。

1.4 电气、自控系统

自动控制系统由位于装药车底部的控制箱以及

* 收稿日期:2013-06-01

作者简介:孙光(1980~),男,硕士,工程师,研究方向:工业炸药现场混装技术及装备的研究与设计。E-mail:sunguang123@126.com

位于驾驶室内的操作屏共同组成,实现旋转料仓、提升螺旋、混合螺旋、柴油泵、散热器的启动与停止。

自控系统能在线监测颗粒状或粉状物料料位、柴油流量、液压油温等。超出设定的正常范围,控制系统将发出声光报警并延时停车。

1.5 制药系统

BCJX 型铵油炸药现场混装车制药工艺:将多孔粒状硝酸铵粉碎之后,加入旋转料箱,制备铵油炸药过程与常规铵油车大致相同(图 2)。虚线框内为 BCJX 铵油车的工艺过程。

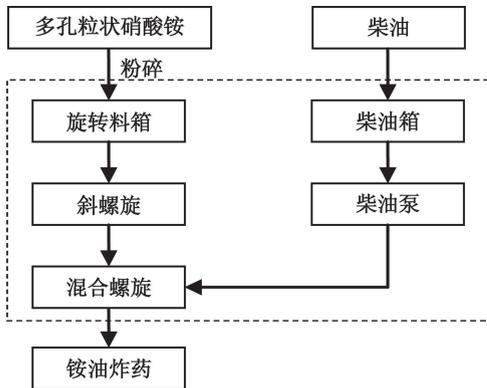


图 2 BCJX 型铵油炸药混装车工艺

Fig. 2 Process of BCJX ANFO explosive on-site mixed loading truck

粉状硝酸铵料仓与进出料机构,解决了固定料仓中粉状物料的起拱、蓬料问题。

实现了粉状铵油炸药现场混装,制药工艺简单有效,配比准确,现制现用,无库存。

2 研究设计

BCJX 粉状铵油炸药现场混装车的设计,以现场混装炸药配方研究和一系列粉状硝酸铵原料输送特性试验成果为基础。

2.1 粉状硝酸铵原料相关物理特性

料仓中硝酸铵原料自然堆积角,是料仓设计的重要技术参数。根据 Molerus 对粉体的分类,粉碎后的多孔粒状硝酸铵归类为 Molerus II 类粉体^[8]。粉状硝酸铵原料粒度越小,堆积角越大,加之粉状硝酸铵原料具有较强的吸湿性,吸湿后粉状硝酸铵更易结团、蓬料。为了接近实际出料效果,堆积角测量方法采用排出法测定^[9],实际测得堆积角为 90°。

表 1 所示为原料堆积角试验结果,每种原料取 3 个试样(1#, 2#, 3#)。由表 1 可见,多孔粒状硝酸铵堆积角较小,一旦破碎成为粉状后,其堆积角显著增大,吸湿后其堆积角更是成倍增大。

图 3 所示为不同目数粉碎硝酸铵堆积角变化的试验结果。随着硝酸铵原料粒度的减小,其堆积角

表 1 粉碎后硝酸铵静堆积角

Tab. 1 Static repose angle of comminuted ammonium nitrate

原料	多孔粒状硝酸铵	粉状硝酸铵(40 目筛)	吸湿后粉状硝酸铵(40 目筛)
1#	26	40	80
2#	25	42	81
3#	27	44	82

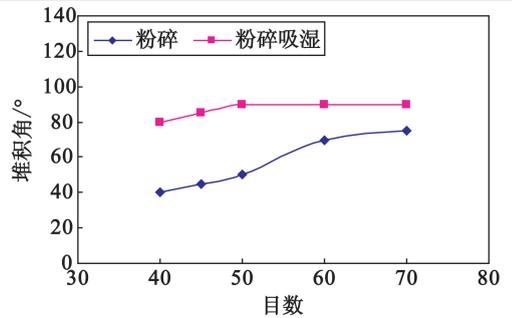


图 3 粉状硝酸铵堆积角曲线

Fig. 3 Repose angle curve of powdery ammonium nitrate

呈显著增大趋势,粉状硝酸铵原料的最大静态堆积角已接近 90°。试验表明,采用传统多孔粒状铵油炸药现场混装车的料仓结构,已不能满足粉状低爆速铵油炸药的原料自流下料技术要求。

图 4 照片为金属板材爆炸焊接(复合)用粉状硝酸铵原料在传统多孔粒状铵油炸药现场混装车料仓中的堆积情况。与图 3 所示堆积角试验结果吻合,物料不能自然下落到料仓底螺旋。



图 4 粉状硝酸铵在传统料仓中的堆积情况

Fig. 4 Accumulation of powdery ammonium nitrate in traditional silo

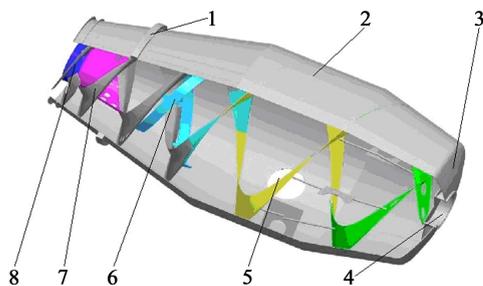
2.2 新型旋转料仓设计

综合考虑粉状硝酸铵原料流散特性与粉状铵油炸药现场混装工艺技术要求,金属板材爆炸焊接(复合)用粉状低爆速铵油炸药现场混装车研制的一个关键,在于粉状硝酸铵料仓设计。

基于商品混凝土搅拌车料仓结构^[10-11],充分研究其进出料原理,结合现场混装炸药车安全技术条

件,提出了粉状铵油炸药现场混装车旋转料仓的设计理念。

运用数值模拟,通过实验室模型试验,设计了粉状铵油炸药现场混装车旋转料仓,如图5所示。已获发明^[12]和外观设计专利^[13]。



1 - 滚道; 2 - 壳体; 3 - 封头; 4 - 连接法兰;
5 - 检修孔; 6 - 搅拌叶片; 7 - 螺带; 8 - 进料管

图5 BCJX 铵油炸药现场混装车旋转料仓

Fig. 5 Rotatable bunker of BCJX ANFO explosive on-site mixed loading truck

粉状铵油炸药现场混装车旋转料仓内的搅拌叶片设计,不但要考虑硝酸铵的堆积角,还需要考虑物料搅拌功能。为解决粉状硝酸铵原料在料仓中的吸湿部分结团问题,在螺旋片之间,加装辅助机构,使部分结团硝酸铵原料在自身旋转进、出料过程中实现解团。

旋转料仓的叶片螺旋角,将决定物料在料仓内沿轴向和周向运动的强度。旋转料仓的前锥、中锥、后锥部分,各段螺旋叶片的螺旋角因功能不同而各不相同。同时,螺旋角的确定,还受物料的性质和料仓的斜置角度等因素制约。旋转料仓各段叶片所要求搅拌和卸料功能的不同,分段设计了各段叶片的螺旋角。

表2为BCJX粉状铵油炸药现场混装车与同型商品混凝土搅拌车的主要设计参数对比。

表2 混凝土车与铵油车搅拌叶片参数对比

Tab. 2 Parameters comparison of spiral blade between concrete mixing truck and BCJX truck

区段	螺旋角 $\beta/^\circ$		工作点 $\Phi/^\circ$	
	普通水泥车	铵油车	普通水泥车	铵油车
后锥	73 ~ 78	83	46 ~ 48	43
	59 ~ 64	68	54 ~ 56	51
中锥	59 ~ 64	69	57 ~ 59	54
前锥	58 ~ 63	68	59 ~ 61	56
	66 ~ 71	76	51 ~ 53	48

3 工业应用

BCJX型铵油混装车研制成功后,首先应用于四

川某金属爆炸加工公司爆炸焊接(复合)现场混装作业。制备的低爆速专用炸药的爆速实测结果,如表3所示,完全符合该公司爆炸焊接工艺要求。

表3 混装炸药爆速测定

Tab. 3 Detonation velocity of mixed explosive

样品编号	爆速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	装药条件
1 [#]	2294	Ø50mm PVC
2 [#]	2561	Ø50mm PVC
3 [#]	1841	Ø32mm 纸筒
4 [#]	2033	Ø32mm 纸筒
5 [#]	2214	Ø32mm 纸筒

图6为BCJX型粉状铵油炸药现场混装车现场作业照片。作业中,爆炸焊接基板为 $6\text{m} \times 2\text{m} \times 15\text{mm}$ 碳钢板,复板为 $6\text{m} \times 2\text{m} \times 5\text{mm}$ 不锈钢板。图7为炸药起爆后,爆炸焊接效果优良的复合钢板。



图6 BCJX 铵油车在现场装药

Fig. 6 BCJX truck is working



图7 爆炸焊接钢板

Fig. 7 Explosion welding steel plate

工程应用实践表明:开发设计的BCJX型粉状铵油炸药现场混装车,实现了预期目标。

BCJX铵油炸药现场混装车,除应用于金属板材爆炸焊接行业外,还在矿山开采爆破作业中获得推广应用。表4为该型装药车现场制备两种铵油炸药产品的实测性能指标。分别达到多孔粒状铵油炸药国家标准《GB17583—1998》和低密度低爆速粉状铵油炸药企业标准《Q/XC XYL 001—2009》。

表 4 BCJX 型铵油炸药现场混装车的产品性能

Tab. 4 Product performance of BCJX ANFO explosive on-site mixed loading truck

项目	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	爆速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	猛度/ mm	殉爆距离/ mm	装药速度/ ($\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$)
多孔粒状铵油炸药	—	≥ 2800	≥ 15	—	400 ~ 600
粉状铵油炸药	0.50 ~ 0.70	1800 ~ 2500	8 ~ 10	≥ 2	200 ~ 300

4 结 论

传统多孔粒状铵油炸药现场混装车,均采用固定料仓和底部螺旋输送形式。料仓中多孔粒状硝酸铵由静态堆积缓慢失衡进入底螺旋,实现输送、计量,料仓内多孔粒状硝酸铵易起拱、蓬料,直接导致现场混装配比与计量误差,甚至因蓬料导致车载螺旋断料空转,出现安全隐患。

BCJX 铵油炸药现场混装车旋转料仓创新设计,很好地解决了粉状硝酸铵的上述问题,其旋转过程中同时对硝酸铵进行混合搅拌,使物料处于运动状态,改善了物料流散性,保障车载输送系统的物料输送顺畅,进而保证现场混装炸药产品性能。

参 考 文 献

- [1] 王勇,张越举,赵恩军,等. 金属爆炸焊接用低爆速膨化铵油炸药实验研究[J]. 含能材料,2009,17(3):326-329.
Wang Yong, Zhang Yueju, Zhao Enjun, et al. Experimental study on low detonation velocity expanding ANFO explosive used in metal explosive welding [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2009, 17(3): 326-329.
- [2] 孙业斌,张守中. 爆炸焊接用炸药的研究[J]. 爆破器材,1990(6):10-13,24.
Sun Yebin, Zhang Shouzhong. An experimental study on the explosives used in explosive bonding [J]. Explosive Materials, 1990(6): 10-13, 24.
- [3] 余运辉. 低爆速炸药研制[J]. 材料开发与应用,1994,9(6):20-23.
- [4] 安立昌. 低爆速爆炸焊接炸药的配方设计[J]. 火炸药学报,2003,26(3):68-69.
An Lichang. A New type of low detonation velocity explo-

sives for explosive welding [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2003, 26(3): 68-69.

- [5] 田建胜,陈青术. 爆炸焊接专用炸药实验研究[J]. 工程爆破,2008,14(3):59-62.
Tian Jiansheng, Chen Qingshu. Experimental research on specialized detonator for explosive welding [J]. Engineering Blasting, 2008, 14(3): 59-62.
- [6] 田建胜,陈青术. 铜-A₃ 钢爆炸焊接 SE 型专用炸药实验研究[J]. 爆破器材,2008,37(5):9-12.
Tian Jiansheng, Chen Qingshu. Experimental research on SE explosive used for welding of copper-A₃ steel [J]. Explosive Materials, 2008, 37(5): 9-12.
- [7] 周新利,胡炳成,刘祖亮,等. 耐冻膨化硝酸铵炸药的制备[J]. 含能材料,2005,13(1):49-51.
Zhou Xinli, Hu Bingcheng, Liu Zuliang, et al. Preparation freeze resistant expanded ammonium nitrate explosives [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2005, 13(1): 49-51.
- [8] Molerus O, Principles of Flow In Disperse Systems[M]. London: Chapman & Hall, 1993.
- [9] 三轮茂雄,日高重助. 粉体工程实验手册[M]. 杨伦,谢淑娴译. 北京: 中国建筑工业出版社,1987:133-134.
- [10] 杨纪明. 混凝土搅拌运输车搅拌筒螺旋叶片的设计(上)[J]. 建筑机械化,1984(2):8-15.
- [11] 杨纪明. 混凝土搅拌运输车搅拌筒螺旋叶片的设计(下)[J]. 建筑机械化,1984(3):19-24.
- [12] 熊代余,龚兵,李国仲,等. 现场混装铵油炸药:中国, ZL201020633036.0[P]. 2011-08-24.
- [13] 熊代余,马平,龚兵,等. 铵油炸药及其制造方法:中国, ZL200910083930.7[P]. 2012-01-25.

Design and Application of Powdery Ammonium Nitrate Fuel Oil Explosive on Site Mixed Loading Truck

SUN Guang, XIONG Daiyu, GONG Bing, SUN Dawei, ZANG Huaizhuang, LI Guozhong
Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy (Beijing, 100160)

[ABSTRACT] For the sake of realization of on-site mixing powdery low detonation velocity ammonium nitrate fuel oil (ANFO) explosive used for explosion welding, a new type of powdery ANFO site-mixing truck was developed. It adopted rotating bin design, changed the original static discharge to dynamic discharge, and has solved the arching problem of traditional ANFO mixing-loading truck material. The detonation velocity of the powder ANFO explosive is 1800-2500 m/s and the production speed is 200-300 kg/min, which meet the use requirement of explosion welding. The truck is able to produce not only powdered but also porous granular ANFO explosives.

[KEY WORDS] ammonium nitrate fuel oil (ANFO) explosive, on site mixing, explosion welding