

Doi:10.3969/j.issn.1671-4172.2022.01.020

# 重铵油炸药连续化生产线的研究与应用

龚兵<sup>1,2</sup>,孙永夺<sup>1,2</sup>,张阳<sup>1,2</sup>,杨文锁<sup>3</sup>,肖玉平<sup>1,2</sup>,宫长青<sup>3</sup>,  
王春峰<sup>3</sup>,王庆枝<sup>3</sup>

(1. 矿冶科技集团有限公司,北京 100160;

2. 北京北矿亿博科技有限责任公司,北京 100160;

3. 抚顺隆烨化工有限公司,辽宁 抚顺 113217)

**摘要:**重铵油炸药兼备乳化炸药和铵油炸药的共同优点,市场需求量大;重铵油炸药间断式生产线存在效率低、操作人员多等不足,不符合行业发展方向。通过对连续搅拌机、全自动装药包装机等关键设备研发,创新性实现了连续化和自动化生产,全线操作人员不超过5人,促进了生产线向少人方向发展。

**关键词:**重铵油炸药;连续化;自动化;生产线;少人方向

**中图分类号:**TD235

**文献标志码:**A

**文章编号:**1671-4172(2022)01-0134-05

## Research and application of continuous production line of HANFO explosive

GONG Bing<sup>1,2</sup>,SUN Yongduo<sup>1,2</sup>,ZHANG Yang<sup>1,2</sup>,YANG Wensuo<sup>3</sup>,XIAO Yuping<sup>1,2</sup>,  
GONG Changqing<sup>3</sup>,WANG Chunfeng<sup>3</sup>,WANG Qingzhi<sup>3</sup>

(1. BGRIMM Technology Group,Beijing 100160,China;

2. BGRIMM Explosive & Blasting Technology Co.,Ltd.,Beijing 100160,China;

3. Fushun Longye Chemical Industry Co.,Ltd.,Fushun Liaoning 113217,China)

**Abstract:** The HANFO explosive has a common advantage of emulsion explosive and ANFO explosive, and it has a large market demand. The intermittent production line of HANFO explosive has some shortcomings, such as low efficiency and many operators, which is not in line with the development direction of the industry. Through the research and development of key equipment such as continuous mixer and automatic charging and packaging machine in the paper, continuous and automatic production has been realized. And there are no more than 5 operators in the whole line, which can promote the development of the production line in the direction of fewer people.

**Key words:** HANFO; continuity; automation; production line; the direction of fewer people

重铵油炸药(即乳化粒状铵油炸药)兼备乳化炸药和多孔粒状铵油炸药的共同优点,具有较好的抗水性能、流散性能和优良的爆轰性能,广泛应用于露天和地下等各类矿山的爆破作业中,市场前景广阔。

重铵油炸药有现场混装和地面生产线两种生产方式,现场混装生产方式在爆破作业现场对多种物料进行现场混合,在炮孔内成为炸药,对于小型露天矿和地下矿爆破作业来说,难以体现现场混装的高效性和经济性;地面生产线生产的包装型重铵油炸

药仍有很大需求<sup>[1]</sup>。鉴于间断式重铵油炸药生产线存在的效率低、操作人员多、产品储存期有待提升等不足<sup>[2]</sup>,提出开发一条连续化和自动化生产线,实现全线操作人员不超过5人的目标,提升生产过程效率和安全性,符合民爆行业发展方向<sup>[3-4]</sup>。

### 1 重铵油炸药生产线工艺设计

研究表明,常规重铵油炸药由多孔粒状硝酸铵、柴油和乳化基质组成,存在储存期短、容易板结等不足,本项目从优化重铵油炸药工艺配方入手,形成了如表1所示的工艺配方,在保持多孔粒状硝酸铵、乳

投稿日期:2021-07-07

作者简介:龚兵(1974—),男,正高级工程师,化学工程专业。

化基质不变,通过优选可燃剂、改性剂和稳定剂等,提高产品储存期;其中,可燃剂可以是柴油、其他矿物油或者二者的混合物;改性剂为增黏剂,主要用于

增加重铵油炸药的黏性;稳定剂为硅质干燥剂,具有一定的吸湿防板结作用。上述配方经工业化生产和用户使用验证表明,产品储存期达到了 50 天。

表 1 乳化铵油炸药工艺配方

Table 1 The formula of emulsified ANFO explosive

物料名称	多孔粒状硝酸铵	柴油/其他矿物油	乳化基质	改性剂	稳定剂
含量/%	60.0~94.0	4.5~6.0	0~30.0	0~2.0	0~2.0

在实际生产过程中,根据用户的需求不同,工艺配方可选取表 1 范围内的不同数值。针对露天矿干孔,可不加入增黏剂和稳定剂,甚至可不加入乳化基质,直接使用多孔粒状铵油炸药即可;针对露天潮湿炮孔,则需重铵油炸药具有一定的防水能力,防水能力要求越高,需加入的乳化基质和改性剂比例就越高;针对地下矿上向炮孔,现场湿度大、且用量小,一次配送的重铵油炸药,需较长时间才能用完,因此需提高储存期和稳定性,配方中除加入增黏剂外,还需加入一定比例的稳定剂,才能满足地下矿上向炮孔机械化装药的需要,该类重铵油炸药是组分最多、工艺流程最长的产品,其生产工艺流程如图 1 所示。

先进性决定整条生产线技术水平。

研究表明,图 2 所示的双螺旋锥形混合机<sup>[5]</sup>能够将颗粒状物料、液体物料和粉状物料进行高效、均匀混合,但难以实现连续化作业。犁刀混合机、无重力混合机等设备能够实现连续化高效混合上述三种物料。图 3 所示犁刀混合机<sup>[6]</sup>因犁刀与设备器壁间隙小,对颗粒物料破坏较大,不是理想设备。图 4 所示卧式无重力混合机的指状浆叶结构在混合时对颗粒破坏小,能够满足项目需求。

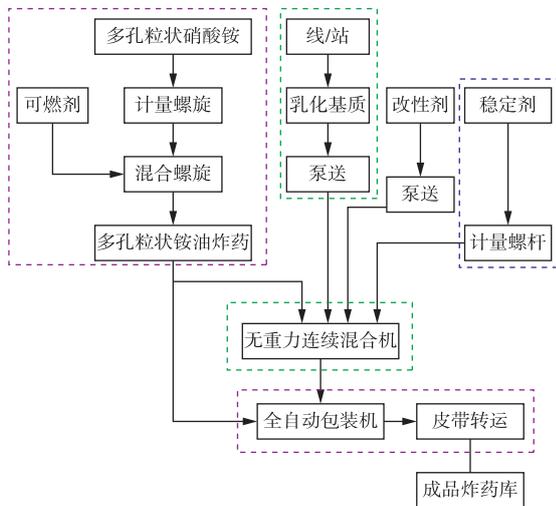


图 1 乳化铵油炸药生产工艺流程

Fig. 1 The production process of emulsified ANFO explosive

## 2 生产线关键装备

重铵油炸药组分多,且各组分的性质差异大,其中硝酸铵是颗粒状物料,流散性非常好。可燃剂和增黏剂为液体物料,而稳定剂为粉状物料,三种形状和流态差异巨大的原料,需按比例、高效、均匀混合,才能成为合格的产品。从图 1 所示的工艺流程可以看出,重铵油炸药生产过程中,混合机和包装机是影响整条生产线产品质量和生产效率的关键设备,其



图 2 双螺旋锥形混合机

Fig. 2 The double screw cone mixer



图 3 犁刀式混合机

Fig. 3 The plough mixer



图4 无重力混合机

Fig. 4 The agravic mixer

### 2.1 无重力连续混合机

卧式无重力混合机通过电机驱动设备内两个轴相向旋转,每个轴上设计多个指状桨叶,桨叶平面与旋转轴的角度设计为 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。混合过程中的物料运动<sup>[7-8]</sup>可以分为四种:对流、围流、扩散和剪切。这四种运动相互作用,使得进入无重力混合机内的多孔粒状铵油炸药和乳化基质在两轴之间形成相应的小循环与大循环,如图5所示。工作时首先将多孔粒状铵油炸药从两侧向中间上空抛起,与后续次序进入混合机的乳化基质、增黏剂、改性剂等相互碰撞分散,充分混合形成合格产品。

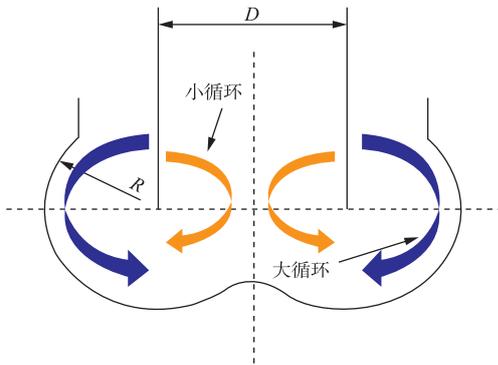


图5 无重力混合机几何参数及物料混合示意图

Fig. 5 Geometric parameters and material mixing diagram of agravic mixer

混合过程的工作效率 $I$ 与叶片紧密度 $C$ 、轴向半径 $R$ 、轴间距离 $D$ 之间的关系如下所示:

$$I = \frac{V_{\text{work}}}{V} C = \frac{R}{D} \quad (1)$$

式中, $V$ 为单位长度混合的总体积, $\text{m}^3$ ; $V_{\text{work}}$ 为单位长度混合器两轴同时加工的体积, $\text{m}^3$ 。

当生产量一定时,工作效率 $I$ 随着叶片紧密度 $C$ 的增加而增加。而生产量的控制主要通过螺杆给

料器进行调控,其装置构造如图6所示,输送量可依据式(2)进行计算。

$$Q = 47 D^2 S n \varphi \lambda \epsilon \quad (2)$$

式中, $Q$ 为物料的输送量, $\text{t/h}$ ; $D$ 为螺旋叶片直径, $\text{m}$ ; $S$ 为螺旋叶片螺距, $\text{m}$ ; $n$ 为螺旋转速, $\text{r/min}$ ; $\varphi$ 为物料在输送机内的填充系数; $\epsilon$ 为螺旋的倾斜系数; $\lambda$ 为物料的堆积密度, $\text{t/m}^3$ 。

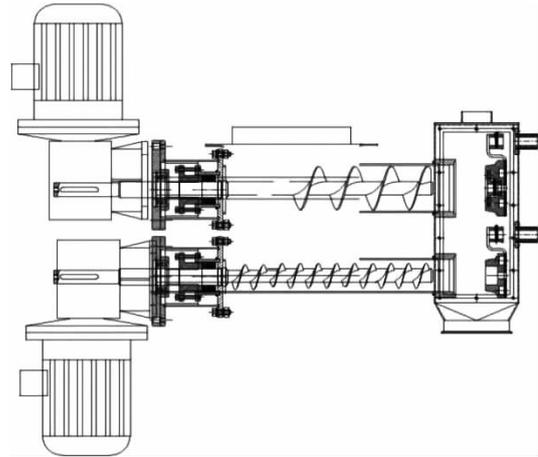


图6 螺杆给料器构造图

Fig. 6 Screw feeder structure diagram

通过调节主轴速度、桨叶角度、生产量<sup>[9]</sup>可以满足不同产能和配方下重铵油炸药的生产,本生产线的最大产量可达 $12 \text{ t/h}$ 。主要参数如下。

- 1) 设备外形尺寸: $4\ 200 \text{ mm} \times 900 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$
- 2) 主轴转速: $65 \text{ r/min}$
- 3) 设备功率: $\leq 30 \text{ kW}$
- 4) 物料停留时间: $4\sim 7 \text{ min}$
- 5) 叶片与筒体间隙: $\geq 5 \text{ mm}$

### 2.2 全自动装药包装机

装药包装工序是包装型重铵油炸药生产线的关键工序,也是人员相对集中工序,只有实现连续供袋,自动装药、封包和转运才能减少作业人员;同时研究黏性物料高效进料与精确计量技术,才能提高生产线的整体效率。

连续供袋装置由吸袋、夹袋、撑袋和抱袋输送等机构组成,按照设定的包装速度通过负压将包装袋吸附在吸盘上,通过夹袋装置输送至装药机出料口,由撑袋装置打开袋口完成装药,然后由抱袋装置输送至封包机构。

装药系统是包装机的核心,与多孔粒状铵油炸药相比,重铵油炸药流散性差,具有一定黏性,计量系统进料快易过冲,进料慢则效率低,如何克

服快速进料与精确计量之间的矛盾是关键。通过研究重铵油炸药的堆积角、安息角等物性参数,研究设计多级螺旋进料圆满解决了上述难题,通过一级螺旋快速给料、二级螺旋控制精度相结合的模式,如果用户需要进一步提升产能,还可设计为

如图 7 所示的双计量系统交替作业。此外,该装药机实现了包装规格从 20~50 kg/袋快速调整(如表 2 所示),只需在控制系统置入所需包装规格,称量、封包、皮带转运等机构均可自动快速调整,满足不同用户需要。

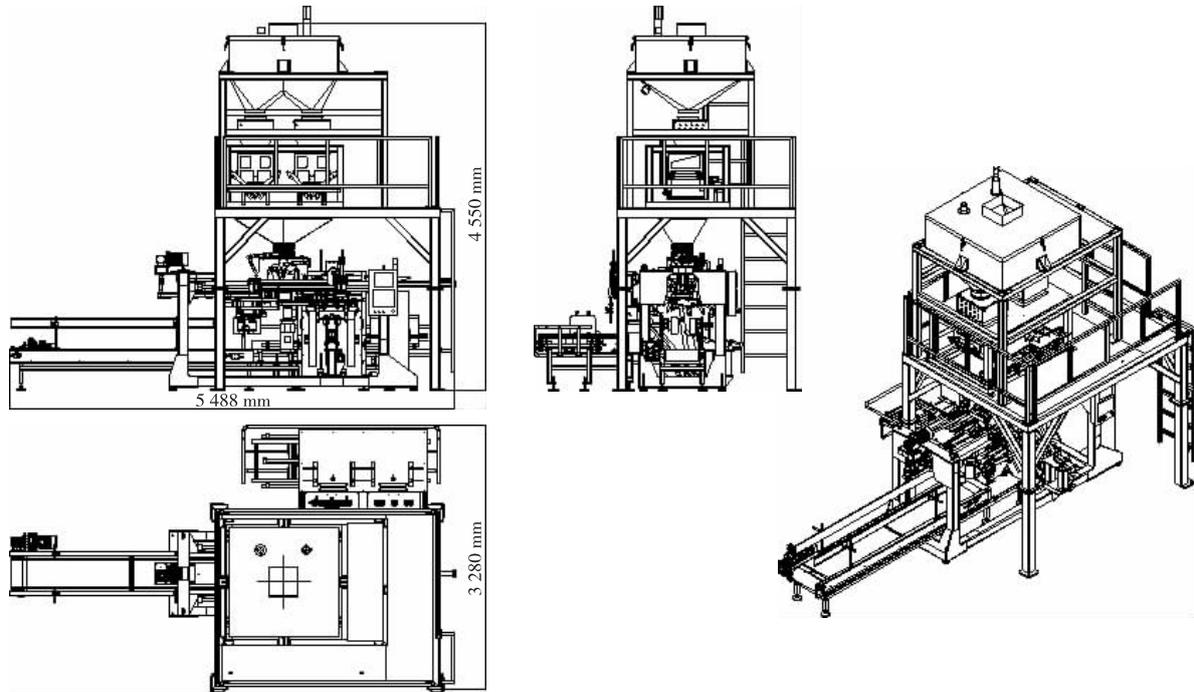


图 7 全自动装药包装机

Fig. 7 The automatic charging and packaging machine

表 2 包装机技术参数

Table 2 The technical parameters of packaging machine

炸药名称	规格(kg·袋 <sup>-1</sup> )	包装速度(袋·h <sup>-1</sup> )	计量误差/%	耗气量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
乳化粒状铵油炸药	20~50	≤240	≤±0.3	5
多孔粒状铵油炸药	20~50	≤450	≤±0.3	5

### 2.3 安全联锁与自动控制

民爆行业是高危行业,一旦发生事故对公共安全危害大,国家和行业主管部门一直高度重视其安全生产。相对来说,重铵油炸药是钝感炸药,本质安全性高,生产线控制系统除完成设备启停操作外,还根据需要设计安装了流量、速度、压力传感器,实时监测生产状态参数,控制系统自动采集生产数据并与专家数据库进行对比,发现物料断流或超压、电机电流异常等情况,立即发出声光报警提示操作人员,并自动延时停机,一方面确保各物料配比准确,产品质量稳定,少出或不出废品,另一方面确保生产过程安全。

### 3 工业化应用

重铵油炸药生产线和关键设备研制成功以后,在辽宁抚顺某公司建成了单班年产 1.2 万 t 连续化自动化生产线,全线操作人员 3~5 人。生产的重铵油炸药得到了规模应用。表 3 所示为某地下矿上向孔爆破设计参数,每次装填 4 排炮孔,单排炮孔需装填炸药 270 kg,一次爆破需使用重铵油炸药约 1 100 kg;采用压气装药器实现了耦合装药,爆破效果好,爆破岩石块度均匀、大块少、残孔少,爆破进尺率高,得到用户认可。

表3 孔网参数设计  
Table 3 The blasting-holes parameter design

孔号	孔深/m	角度/(°)	装药		
			长度/m	填塞/m	药量/kg
1	4.0	L44.7	3.1	0.9	15.5
2	10.5	L60.2	8.0	2.5	40.3
3	9.5	L70.9	8.3	1.2	41.8
4	9.0	L82.3	4.9	4.1	24.4
5	9.1	L86.4	7.9	1.2	39.7
6	9.6	L75.0	5.3	4.3	26.5
7	9.2	L65.3	8.2	1.0	41.4
8	4.7	L49.8	3.7	1.0	18.2
9	2.7	L24.7	1.6	1.1	8.3
10	2.4	L2.3	1.4	1.0	7.4
11	2.7	L23.7	1.7	1.0	8.6
合计					272.1

## 4 结论

本项目的研究实现了重铵油炸药的连续化高效生产,自动化信息化程度高,全线3人即可,促进了工业炸药生产技术向少人或无人方向发展,生产的重铵油炸药为钝感散装炸药,符合民爆行业发展方向。

### 参 考 文 献

- [1] 李永. 乳化粒状铵油炸药生产线工艺技术及装备研究[J]. 现代矿业, 2017(6): 171-173.  
LI Yong. Study on technology and equipment of emulsion granular ANFO explosive production line[J]. Modern Mining, 2017(6): 171-173.
- [2] 龚兵, 孙永夺, 肖玉平, 等. 一种包装型重铵油炸药的生产系统: CN213232055U[P]. 2021-05-18.  
GONG Bing, SUN Yongduo, XIAO Yuping, et al. A production system of packaged heavy ANFO explosive: CN213232055U[P]. 2021-05-18.
- [3] 潘先锋. 工业炸药智能包装生产工艺及其安全设计探讨[J]. 现代制造技术与装备, 2019(8): 160-163.  
PAN Xianfeng. Discussion on intelligent packaging technology and safety design of industrial explosives [J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2019(8): 160-163.
- [4] 李仕洪, 李宏位, 李国会, 等. 工业粉状炸药的无人化生产技术[J]. 爆破器材, 2017, 46(3): 30-35.  
LI Shihong, LI Hongwei, LI Guohui, et al. Unmanned production technology of the industrial powder explosive[J]. Explosive Materials, 2017, 46(3): 30-35.
- [5] 刘洋. 膨化硝铵炸药生产的连续混药技术研究[J]. 中国高新技术企业, 2016(21): 17-18.  
LIU Yang. Study on continuous mixing technology of expanded ammonium nitrate explosive production[J]. China High-Tech Enterprises, 2016(21): 17-18.
- [6] JONES J R, PARKER D J, BRIDGWATER J. Axial mixing in a ploughshare mixer [J]. Powder Technology, 2007, 178: 73-86.
- [7] 王秀丽. 双卧轴强制式混凝土搅拌机主机参数优化设计[D]. 济南: 山东大学, 2012.  
WANG Xiuli. Optimized parameter design of double horizontal shaft concrete forced mixer [D]. Jinan: Shandong University, 2012.
- [8] 应武权. 双卧轴混凝土搅拌机叶片搅拌特性研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2019.  
YING Wuquan. Study on blade stirring characteristics of double horizontal shaft concrete mixer[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2019.
- [9] RATHOD M L, KOKINI J L. Effect of mixer geometry and operating conditions on mixing efficiency of a non-Newtonian fluid in a twin screw mixer[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 118(3): 256-265.

(编辑: 周叶)