

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2019.01.006

# 粉状炸药塑膜自动装药机的研制<sup>\*</sup>

任卫东  张爱军  彭亚洲  盖建超  王  丹  
石家庄成功机电有限公司(河北石家庄,051513)

[摘  要]  新研制的装药机以塑膜作为包装材料,通过采用组合螺旋灌装、塑膜连续成型、常温胶带黏合、打卡封口等核心技术及配套机构实现了粉状炸药的塑膜自动包装。包装后的产品具有一定的防水及抗水性能,提高了粉状炸药产品的适用性。此外,装药机的设计采用多单元模块式组合结构,各单元产能叠加后可满足任何生产线能力需求,设备操作通过可编程控制器(PLC)、触摸屏及执行机构等系统控制,装药机各注药头既可独立运行,也可整机联动联控。单台设备配备1名操作员即可。

[关键词]  粉状炸药;塑膜包装;胶带黏合;打卡机;装药机

[分类号]  TQ055.9

## Development of a Plastic Film Automatic Loading Machine for Powder Explosives

REN Weidong, ZHANG Aijun, PENG Yazhou, GAI Jianchao, WANG Dan  
Shijiazhuang Succuss Machine Co., Ltd. (Hebei Shijiazhuang, 051513)

[ABSTRACT]  The newly developed charging machine uses plastic film as the packaging material, and the plastic film of powder explosives is automatically packaged by core technologies such as combined spiral filling, continuous molding of plastic film, adhesive tape at room temperature, and card sealing. After packaging, the product has certain waterproof and water-resistant properties, which improves the applicability of powder explosive products. In addition, the design of the loading machine adopts a multi-unit modular combination structure. Each unit production capacity is superimposed, and then it can meet any production line capacity requirements. The operation of the equipment is controlled by systems such as programmable controllers (PLC), touch screens, and actuators. Each injection head of the charging machine can be operated independently, or the whole machine can be linked and controlled. Single equipment only needs one operator.

[KEYWORDS]  powder explosives; plastic film packaging; adhesive tape binding; punching machine; loading machine

## 引言

随着民爆行业技术的不断发展,在过去的十余年间,国内粉状炸药(改性铵油、膨化硝铵、粉状乳化等炸药品种)生产线的制药工序经过技术改革,基本达到了无人(少人)化要求<sup>[1]</sup>。但包装型产品的装药技术相对滞后,仍停滞在手动或半自动纸筒灌装水平,设备效率低下,工序定员、定量超标,安全、环保问题突出,成为制约粉状炸药总体技术进步的瓶颈。根据行业管理规范及标准要求,装药技术及设备如果没有新的创新与突破,则粉状包装型产品可能面临淘汰。

基于上述背景,过去的十余年中,立项启动了粉

状炸药装药技术及设备的研发<sup>[2]</sup>,先后通过不同的技术途径,历经3代样机、3种包装模式的试验与总结,逐一解决了塑膜常温黏合、安全打卡、装药质量控制等一系列难题<sup>[3-5]</sup>,成功研制出了新一代的粉状炸药塑膜自动装药机。

## 1  药卷包装方式(包装材料)的研究与选择

### 1.1  纸筒包装方式试验

第一代试验样机机构及原理类似于国内目前使用的多头装药机,沿用纸筒包装模式,设备操作定员2~3人,效率1.0~1.5 t/h,设备故障频繁、稳定性

<sup>\*</sup> 收稿日期:2018-09-19  
第一作者:任卫东(1968-),男,高级工程师,主要从事工业炸药的研究。E-mail:289763907@qq.com

差,药卷外观形态差、散漏严重、破损率高。

- 分析原因:
- 1)纸筒在加工、储存、运输过程中造成大量的变形和破损,且装填、卸筒过程繁琐,是造成设备故障频繁、稳定性差及定员增加的重要原因;
  - 2)在纸筒质量不确定的条件下,只能通过更为复杂的设备机构或技术措施弥补,无形增大了设备研发难度及成本。

经综合分析,本项目放弃了纸筒包装模式。

1.2 塑筒包装方式研究

如图 1 所示,采用聚乙烯塑料预制塑筒及端部热合膜封口方式灌装炸药,其突出特点是预制的塑筒外形均一、稳定,有利于提高装药设备的稳定性及生产效率,包装后的产品外观整洁、美观。



图 1 塑筒包装药卷

Fig. 1 Plastic tube packaging explosive cartridge

该包装模式在内蒙古某企业进行了工业化试验:产能 3 t/h,设备固定操作 1 人,辅助操作 1 人。该模式下设备效率及定员虽然达到了预期目标,但塑筒预制投资大、成本高、工艺复杂,企业难以接受。因此,本成果鉴定后没有取得较好的推广与应用。

1.3 塑膜包装方式研究

近几年来,塑膜包装乳化炸药的技术及设备得到了大力推广及应用,新材料包装的炸药产品也逐渐得到了市场的肯定与认可。在新思路的启发下,借鉴本公司 CRDZY 型乳化炸药塑膜装药机配套的塑膜成型、塑膜热合及打卡封口技术,设计了一台简易的粉状炸药灌装试验样机。

模拟试验:包装材料选用乳化炸药包装通用的卷膜及 U 型卡,以玉米粉为模拟介质进行批量试验。塑膜包装药卷规格:Ø 32 mm、200 g 和 Ø 70 mm、1 600 g;药卷直径公差 ±0.5 mm;药卷长度公差 ±1 mm,外形整洁。储存检验时,自然存放 6 个月,药卷包装完整、无破损;浸水试验时,药卷浸泡在

0.5 m 深水槽中,2 h 渗水量 0 ~ 2 g。成型度满足使用要求。

试验样品外观质量、储存性能、防水性能均达到预期目标。试验所采用的卷膜及 U 型卡适合于连续化、自动化灌装作业,有利于提高设备装药效率及减少定员。

存在的问题:

- 1)必须解决高温热合及打卡冲击力对粉状炸药造成的安全隐患;
- 2)塑膜牵引机构改为定量阻尼结构,以此调节灌装密度;
- 3)需补充阻尼条件下不同密度灌装时的安全性试验。

通过上述 3 种包装方式的对比与分析,确定塑膜包装模式为最佳方案。

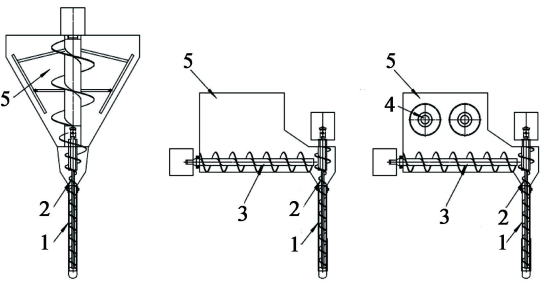
2 塑膜装药机灌装方式的研究

根据粉状炸药物理形态,最简单、适用的灌装方式为螺旋灌装,先后对 3 种螺旋组合结构进行了对比试验与总结。

第一种:单轴螺旋灌装,如图 2(a)所示,螺旋与料仓上下直连,结构简单,其灌装原理依赖介质自重及辅助刮板落入注药螺旋,经注药螺旋压实后从注药管推出。

第二种:二维螺旋组合灌装,如图 2(b)所示。料仓结构改进,且增加了水平主动喂料螺旋,大幅缩短了注药螺旋长度。

第三种:三维螺旋组合灌装,如图 2(c)所示。在二维螺旋组合基础上,料仓内垂直于喂料螺旋方向增设了一组循环分料螺旋,相对于每个注药头形成三维布料。



(a) 单轴 (b) 二维组合 (c) 三维组合

1 - 注药管;2 - 注药螺旋;3 - 水平喂料螺旋;  
4 - 分料螺旋;5 - 料仓。

图 2 螺旋灌装原理图

Fig. 2 Helical filling principle diagram

表 1 螺旋灌装试验  
Tab. 1 Helical filling test

螺旋类型	药卷直径/ mm	灌装速度/ ( $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$ )	计量精度/ %	注药头升温范围/ $^{\circ}\text{C}$	分 析
第一种	32	52	$\pm 5$	$> 10$	料仓死角多、难清理,螺旋轴长、摆动量大、与注药管摩擦风险高。
	70	320	$\pm 4.2$	6 ~ 8	
第二种	32	100	$\pm 2.5$	1 ~ 2	介质料仓入口堆积,远离端偶尔供料不足
	70	400	$\pm 1.6$	4 ~ 6	
第三种	32	100	$\pm 2.0$	1 ~ 2	试验效果达到预期要求
	70	400	$\pm 1.3$	4 ~ 6	

模拟试验:以玉米粉(堆积密度 $0.5\text{ g/cm}^3$ )为介质;小卷注药螺旋转速  $400\text{ r/min}$ ,大卷  $200\text{ r/min}$  以内;注药螺旋外径分别为 $\varnothing 25\text{ mm}$ (注药管内径 $\varnothing 27\text{ mm}$ ,灌装 $\varnothing 32\text{ mm}$ 药卷)、 $\varnothing 56\text{ mm}$ (注药管内径 $\varnothing 60\text{ mm}$ ,灌装 $\varnothing 70\text{ mm}$ 药卷)。

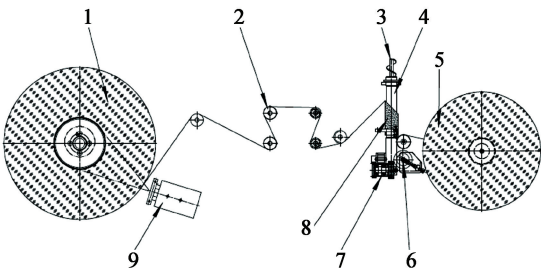
3 种螺旋结构灌装试验见表 1,表中数据均以系统稳定运行  $30\text{ min}$  后,每  $5\text{ min}$  取样或检测 1 次。

经对比试验,三维螺旋组合灌装方式灌装效率最高,计量更加精确,而且注药头升温最小,试验指标均达到立项预期目标,确定成品样机按三维组合原理设计。

3 塑膜成型及封合技术研究

3.1 塑膜成型及塑膜常温黏合研究

如图 3 所示,该机构由塑膜卷及塑膜检测、导膜机构、塑膜成型器、塑膜阻尼调节装置、胶带黏合装置、注药头等组成。塑膜成型技术跟乳化炸药塑膜包装基本类似,但塑膜轴向封合、塑膜阻尼调节及检测原理不同。



1 - 塑膜卷;2 - 导膜机构;3 - 注药螺旋;4 - 注药管;  
5 - 胶带卷;6 - 胶带压实装置;7 - 塑膜阻尼装置;  
8 - 塑膜成型器;9 - 塑膜检测。

图 3 塑膜成型及胶带黏合

Fig. 3 Plastic film forming and adhesive tape bonding

1) 塑膜轴向封合:乳化炸药塑膜包装通用的方式为热合封口或热熔胶黏合,同样的工艺如果应用

于粉状炸药,则带来重大的安全隐患,本结构则采用常温胶带黏合技术替代高温黏合方式,实现了封合本质安全。

2) 塑膜阻尼调节:注药头将炸药向下推进时带动封合后的塑膜连续下行,通过调节气缸气压的大小来控制塑膜下行的阻尼值,最终达到控制灌装密度的目的。

3) 塑膜、胶带检测装置:耗材用尽自动提示。

4) 导膜纠偏功能:纠正塑膜跑偏。

模拟试验:模拟介质同前,采用三维螺旋组合灌装。试制样品如图 4,样品外观质量及储存结果除  $2\text{ h}$  浸水试验渗漏量( $2 \sim 4\text{ g}$ )略高于热合方式外,其余同塑膜包装样品检验结果相同。塑膜阻尼调节安全性试验结果见表 2。



图 4 塑膜包装试制样品

Fig. 4 Plastic film packaging samples

采用塑膜常温黏合包装的药卷,质量均达到预期目标。塑膜阻尼装置可对应调节装药密度,随着阻尼增大,灌装密度同比增加,注药头温度也随之递增,相对于无阻尼灌装升温幅度较大,因此,注药头温度必须增加安全连锁保护。

3.2 打卡安全技术措施

3.2.1 空膜打卡设计

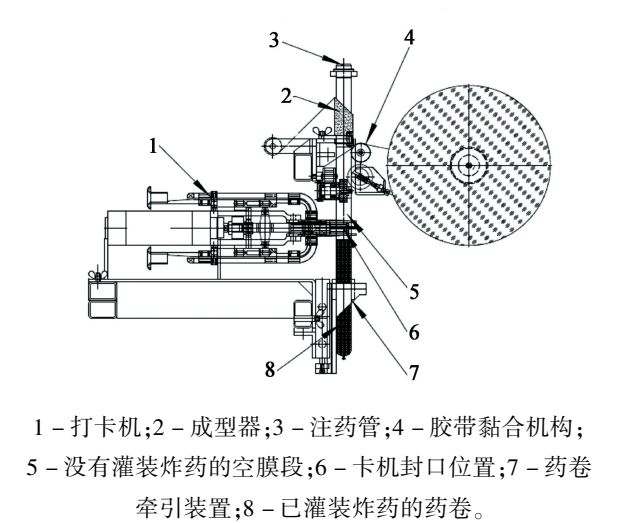
如图 5 所示,在打卡机下方设置一套药卷牵引装置(由气缸及夹具组成),每支药卷端部封口及切断之前,药卷牵引装置夹住药卷向下牵引一定距离,牵引时段注药螺旋停止运转,此时塑膜筒内即可形成一截空膜段,打卡机在空膜段封合、切断,由此消除打卡机对炸药的直接冲击。

模拟试验:牵引行程小直径 $100\text{ mm}$ (大直径



表 2 塑膜阻尼调节安全性试验  
Tab. 2 Safety test of plastic film damping regulation

阻尼调节钮	对应密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	注药头升温 (大直径)/ $^{\circ}\text{C}$	物料升温 (大直径)/ $^{\circ}\text{C}$	注药头升温 (小直径)/ $^{\circ}\text{C}$	物料温度 (小直径)/ $^{\circ}\text{C}$
1 挡	0.81 ~ 0.83	10.0	1	3	无变化
2 挡	0.84 ~ 0.86	10.5	1	3	无变化
3 挡	0.87 ~ 0.89	11.0	2	4	无变化
4 挡	0.90 ~ 0.93	12.0	2	4	无变化
5 挡	0.94 ~ 0.96	13.0	2	5	无变化



1 - 打卡机;2 - 成型器;3 - 注药管;4 - 胶带黏合机构;  
5 - 没有灌装炸药的空膜段;6 - 卡机封口位置;7 - 药卷  
牵引装置;8 - 已灌装炸药的药卷。  
图 5 空膜打卡示意图  
Fig. 5 Schematic diagram of empty film clocking

200 mm) 内可调,行程时间小于1 s,满足设计要求。

3.2.2 打卡机收拢限位措施

空膜打卡基础上,考虑到塑膜筒内壁粘连了炸药粉尘,打卡机冲击力也有一定的风险,因此对卡机收拢设置有限位,如图 6 所示,卡机收合到极限位时,封口处预留 5 mm 以上充填塑膜的限位孔,避免卡机收合时硬碰硬的撞击与摩擦。

试验:以 $\varnothing 4$  mm 铁丝及塑膜模拟打卡,卡扣封

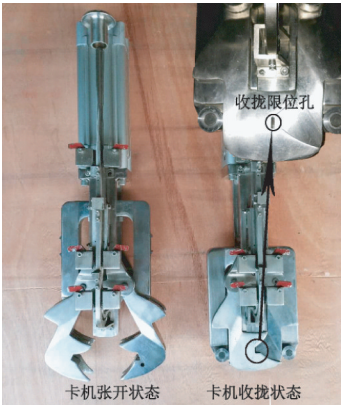


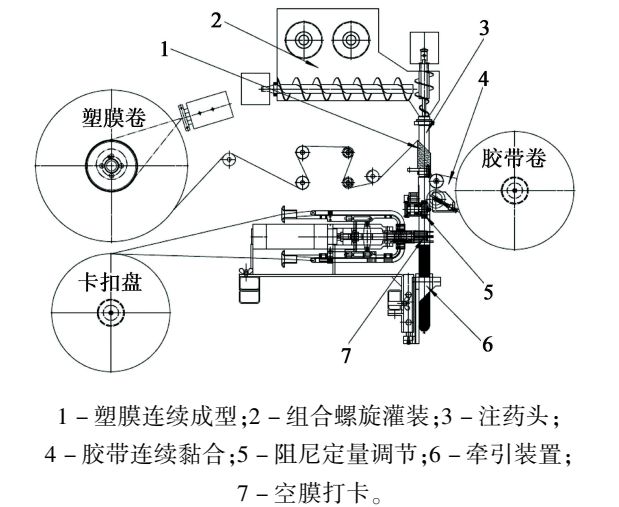
图 6 打卡机收拢限位  
Fig. 6 Clocking limit of punch

合完整,铁丝及塑膜均无损伤,一次打卡循环时间小于 1 s,满足设计要求。

4 塑膜装药机整体设计

4.1 单注药头系统设计及产能核算

注药头系统工作效率及操作强度决定装药机产能及定员。如图 7 所示,注药头系统由灌装机构(三维螺旋组合)、塑膜成型及黏合机构、打卡及牵引机构等组成。粉状介质进入料仓后,由组合螺旋均匀分布到每个注药头,注药螺旋将介质定量注入成型塑膜筒内,介质充填压力带动塑膜筒连续下行,当药柱达到一定长度后,注药螺旋暂停,牵引装置夹住药柱下行一定距离,打卡机在空膜段封口、切断后,完成一支药卷的装药循环。



1 - 塑膜连续成型;2 - 组合螺旋灌装;3 - 注药头;  
4 - 胶带连续黏合;5 - 阻尼定量调节;6 - 牵引装置;  
7 - 空膜打卡。  
图 7 注药头系统工作原理  
Fig. 7 Operational principle of injection head system

注药头完成一次装药循环耗时 = 灌装时间 + 牵引时间 + 打卡时间,根据前期模拟试验数据(组合灌装速度见表 1,牵引时间 1 s,打卡时间 1 s)进行测算。

$\varnothing 32$  mm、200 g 药卷:一个工作循环时间为 4 s,产能为 180.0 kg/h; $\varnothing 70$  mm、2 000 g 药卷:一个

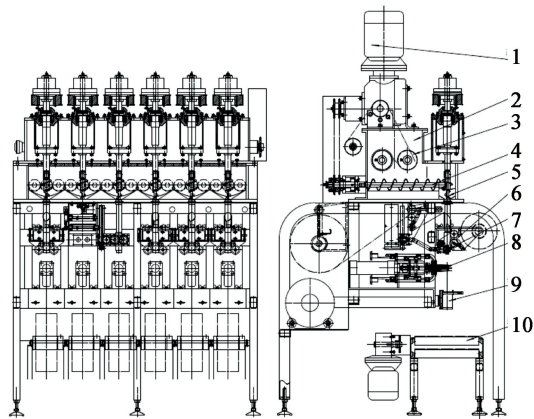
工作循环时间为 7 s, 产能为 1 028.6 kg/h。

## 4.2 装药机单元设计

为满足国内粉状炸药生产线对装药产能的不同需求, 装药机采用多单元拼装组合结构。

### 4.2.1 六头小药卷单元

如图 8 所示, 药卷规格  $\varnothing 27 \sim \varnothing 50$  mm, 药卷长度 200 ~ 600 mm; 由六套注药头系统并联组成, 各系统共用料仓(净容积 85 L)及驱动系统。单元按  $\varnothing 32$  mm、200 g 药卷核算, 产能为 1 080.0 kg/h。



1 - 驱动电机; 2 - 料仓; 3 - 分料螺旋; 4 - 喂料螺旋;  
5 - 注药螺旋; 6 - 黏合机构; 7 - 阻尼机构; 8 - 打卡机;  
9 - 牵引机构; 10 - 转运带。

图 8 六头小药卷装药单元

Fig. 8 Charge unit of six-head small cartridge

### 4.2.2 两头大直径单元

药卷规格为  $\varnothing 60$  mm ~  $\varnothing 130$  mm, 长度 300 ~ 600 mm; 由两套注药头系统组成, 结构原理同小药卷。单元按  $\varnothing 70$  mm、2 000 g 药卷核算, 产能为 2 057.2 kg/h。

企业配置装药机时, 视自身的产能及定员要求, 灵活选择 1 个或多个单元拼装、联控, 4 单元以下组合配备一名操作员即可。

## 5 装药机控制系统研究

### 5.1 系统组成及控制原理

装药机不论是 1 个单元还是多单元组合, 均配备一套完整的控制系统, 如图 9 所示。系统由可编程控制器(PLC)、触摸屏、各种传感器、变频器、气动回路及执行机构等硬件组成, 实现对各注药头系统实时监控与管理<sup>[6]</sup>。

### 5.2 控制功能与设计

1) 开机自检。开机自动对 PLC 等硬件系统自检, 各参数检测信号出现异常时报警提示。

2) 复合控制功能。各注药头手动控制系统与整机联控系统相结合。整机既可一键联动启停、连锁运行, 也可以独立启停各注药头, 当某个注药头出

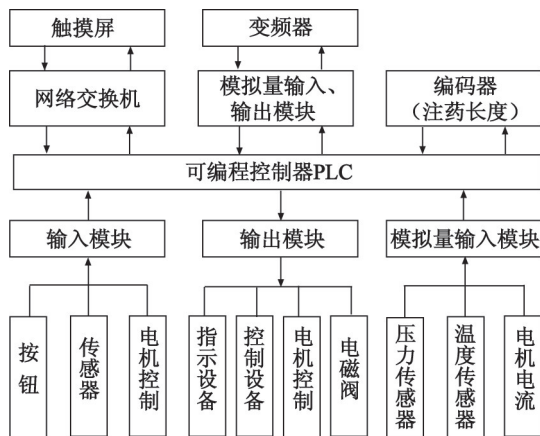


图 9 控制原理图

Fig. 9 Control principle schematic

现故障和操作提示时, 该注药头自动停机, 而其他注药头保持工作状态, 当故障或提示信号处理完成后, 点击手动启动按钮, 该注药头便自动并入整机联控系统。

3) 安全连锁及操作提醒设计。注药头启动后自动执行三级连锁保护程序, 第一级为安全保护, 任何一个注药头安全参数超标, 如料仓温度、注药头温度等, 整机自动停机并开启消防雨淋降温; 二级为故障诊断, 任何一个控制点出现电流、电压、气压、膜跑偏等故障信号时, 自动报警、诊断故障原因及故障点, 故障工位自动停机; 三级为操作提醒, 任何注药头出现缺膜、缺卡、无胶带时, 该注药头自动停机, 并提示操作者。

4) 信息化管理功能。实时工艺参数按报警级别自动分类存储, 并具备统计、报表、查阅、输出等信息化管理功能。

## 6 工业试验

本项目工业化试验及科技成果鉴定在 12 000 t/a 膨化硝酸炸药生产线完成, 制药技术为二代膨化生产工艺, 炸药堆积密度 0.38 ~ 0.42 g/cm<sup>3</sup>。

试验在装药工序增设了一台 CFMSZY 型双单元(12 头)小直径装药机和一台 CFMSZY 型独立单元(2 头)大直径装药机, 分别生产  $\varnothing 32$  mm、200 g 和  $\varnothing 70$  mm、1 600 g 规格的产品。

$\varnothing 32$  mm、200 g 规格的装药机累计生产 90 t,  $\varnothing 70$  mm、1 600 g 规格的装药机累计生产 465 t, 共

表 3 试验记录统计表  
Tab.3 Test record statistical tables

检验项目	小药卷塑膜包装型	大直径塑膜包装型
装药设备	CFSMZY 型双单元(12 头)	CFSMZY 型独立单元(2 头)
包装材料	卷膜,铝合金 U 型卡及普通胶带	卷膜,铝合金 U 型卡及普通胶带
外观质量	美观、整洁	美观、整洁
合格率/%	99.5	99.8
装药密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.85±0.02	0.83±0.02
计量精度/g	±5(∅32 mm,200 g)	±20(∅70 mm,1 600 g)
注药管升温/℃	2~3	10~13
设备产能/(t·h <sup>-1</sup> )	1.8~2.0	1.8~2.0
生产环保	微量粉尘,噪音达标	微量粉尘,噪音达标
操作定员	1 人操作	1 人巡视
设备存药量/kg	68	60
性能检测	殉爆 5 cm;猛度 >14 mm;爆速 3 400~3 500 m/s	

计 555 t,试验记录统计见表 3。

灌装炸药堆积密度及流散性均低于前期模拟试验介质,因此装药机产能略低于模拟核算水平,但包装质量、炸药性能、安全环保、定员、定量等指标均达到了设计预期目标,满足粉状炸药生产线装药工序升级改造相关规范、标准要求。

7 结论

1) CFSMZY 型装药机开创了塑膜包装粉状炸药的新模式,并通过塑膜常温胶带黏合、空膜打卡及卡机收拢限位等多项技术创新,消除了粉状炸药塑膜包装的安全隐患。

2) CFSMZY 型装药机采用多单元组合设计,具有较好的适用性和灵活性,用户可选择到更加满足自身需求的装药设备。

3) CFSMZY 型装药机工业试验证明,对于堆积密度偏小、流散性较差的炸药品种,六头小药卷单元及两头大直径单元装药能力达到 0.9 t/h 及 1.8 t/h 以上,产品质量符合相关规范及标准要求。

4) 有效解决了粉状炸药包装型产品装药工序定员、定量及环保问题,为民爆企业生产线升级改造提供了可选技术及设备。

致谢:怀化南岭民用爆破服务有限公司提供工业试验条件及试验数据的统计。

参 考 文 献

[1] 白文忠,任卫东,刘静,等. 粉状炸药大产能自动装药机研究[J]. 煤矿爆破,2014(3):7-13.  
BAI W Z,REN W D,LIU J, et al. Analysis on automatic charging machine of plastic tube powdery explosive of large capacity[J]. Coal Mine Blasting, 2014(3):7-13.

[2] 石家庄成功机电有限公司. 一种新型粉状炸药塑膜装药机;207106954U[P]. 2018-03-16.

[3] 倪欧琪. 粉状乳化炸药安全性能研究[J]. 爆破器材, 1997,26(6):16-18.  
NI O Q. Study of safety or powder emulsion explosives [J]. Explosive Materials,1997,26(6):16-18.

[4] 刘连生,吴春平,汪旭光,等. 粉状改性硝酸铵敏感度特征试验研究[J]. 爆破器材,2008,37(4):6-8.  
LIU L S, WU C P, WANG X G, et al. Research on the sensitivity characteristics of powdery modified ammonium nitrate [J]. Explosive Materials,2008,37(4):6-8.

[5] 李智锋. 多卡位全自动高速装药机的研究与应用[J]. 煤矿爆破,2012(4):7-12.  
LI Z F. Development and application of multiple station fully automatic high speed charging machine [J]. Coal Mine Blasting,2012(4):7-12.

[6] 李勇,周晓红. 粉状乳化炸药装药机的 PLC 控制系统[J]. 煤矿爆破,2005(2):15-17.  
LI Y,ZHOU X H. PLC controlled system of powder emulsion explosive charge machine [J]. Coal Mine Blasting, 2005(2):15-17.