

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.03.006

工业粉状炸药的无人化生产技术*

李仕洪 李宏位 李国会 田 伟

贵州久联民爆器材发展股份有限公司思南生产分公司(贵州思南,565100)

[摘 要] 在分析国内工业粉状炸药生产线技术现状的基础上,以JWT改性铵油炸药生产线为例,阐述了粉状炸药生产线无人化生产安全技术的改造方案,同步设计了粉状炸药生产工房的在线存药量和防止传爆和殉爆的设施。该方案实现了粉状炸药生产线无人操作、少人值守的安全生产目标,且生产线在线人员和在线存药量的控制管理与生产系统实现连锁联动控制,提高了工业粉状炸药生产线的本质安全水平。

[关键词] 粉状炸药;连锁联动;无人化;技术改造

[分类号] TD235.2⁺1; TP277

Unmanned Production Technology of the Industrial Powder Explosive

LI Shihong, LI Hongwei, LI Guohui, TIAN Wei

Sinan Branch, Guizhou Jiulian Industrial Explosive Materials Development Co., Ltd. (Guizhou Sinan, 565100)

[ABSTRACT] Based on the analysis of current production technology of powder explosives in China, production line of JWT modified ammonium nitrate explosive was used as an example to demonstrate an unmanned production technology of the powder explosive. Devices were also designed to save online dosages and to prevent detonation and sympathetic detonation in powder explosive production. The program achieved the goals of safe production of unmanned operation and few people on duty. Control and management of online personnel and dosages on production line were linked with production systems to improve in trinsic safety of the industrial powder explosive production line.

[KEYWORDS] powder explosives; safe interlock; unmanned; technology programmed

引言

工信部2014年12月29日下发了《民爆安全生产少(无)人化专项工程实施方案》(工信厅装[2014]271号),鼓励民爆器材生产企业采用自动化、信息化技术,加快企业传统的生产方式和管理模式的改造,提高工艺、装备可靠性,促进现有生产工艺、装备和产品的升级换代;加强生产过程中的在线检测和质量控制,提高产品技术指标的精确性和可靠性;减少危险作业场所操作人员,降低危险品在线存量,减少危险因素,实现高危场所远程控制操作的本质安全。两年来,各民爆生产企业、科研单位及院校做了大量的工作并取得了较多的成果,主要技术更多地偏向于乳化炸药生产线,粉状炸药生产技术研究得相对较少。笔者在总结和分析国内粉状炸药生产线技术现状的基础上,以JWT改性铵油炸药生

产线为例,对工业粉状炸药生产线进行无人化生产技术改造,供同行参考。

1 粉状炸药生产线技术现状

“十一·五”期间,在全国科研单位和各炸药生产企业的共同努力下,以膨化硝铵炸药^[1]、粉状乳化炸药^[2]、改性铵油炸药等为代表的工业粉状炸药连续化、自动化生产技术得到了快速发展,制药、装药、包装基本实现了机械自动化生产,全面淘汰了含梯炸药产品。“十二·五”期间,随着行业产品结构调整步伐加快,鼓励发展品种(胶状乳化炸药)所占比例大幅度上升。但是,由于粉状硝铵炸药具有良好的综合爆炸性能,其产品威力要比胶状乳化炸药高15%~25%,加上良好的流散性及容易装药等特点,在无水环境中爆破时,大多数用户喜欢使用粉状炸药。到2015年,粉状炸药总产量为85.11万t,

* 收稿日期:2016-12-09

作者简介:李仕洪(1970-),男,高级工程师,主要从事工业炸药生产技术研究与管理。E-mail:lish3419@163.com

占炸药总产量的 23.07%。若完全以市场需求为导向,粉状炸药的市场发展前景良好。

由于缺乏国家政策支持和科研投入,工业粉状炸药生产线整体存在着装备智能化水平不高,特别是装药、包装工序采用的自动化设备质量可靠性差,严重影响工序间的物流流转;并且,有些设备在生产过程中产品不合格品率较高,导致生产线在线人员多,一条年产 12 000 t 的粉状炸药生产线,小药卷包装炸药生产,装药包装工序单班至少需要 15 人以上才能维持生产线正常运行。生产线难以实现全线连锁联动控制。

随着爆破技术的发展,露天中深孔爆破技术全面推广,主要工业炸药^[3]产品规格均发生了重大变化,从 2015 年炸药包装规格情况看,膨化硝酸铵炸药、改性铵油炸药和粉状乳化炸药均以散装包装规格为主,散装包装均占本品种产量的 60% 左右,有的地区甚至达到了 80% 以上。民爆行业新的发展规划要求,以市场需求为导向,工业炸药要以包装型为主向散装型和现场混装炸药方向发展。这些发展和变化为粉状炸药生产技术的发展带来了新的机遇。

2 粉状炸药生产线无人化技术改造总体方案

根据 GB50089—2007 民用爆破器材工程设计安全规范^[4]的相关规定,取消半成品悬挂式轨道输送车^[5]系统转运环节,结合工房内、外部安全距离要求,对 JWT 改性铵油炸药生产线制药工房进行局部扩建改造,布置凉药、包装工艺设备。通过采用空心桨叶凉药、输送螺旋和散装炸药全自动包装线等工艺设备连接,在一个工房内实现制药、凉药、包装全过程全连续化生产,成品采用皮带传输方式,直接从包装工房输送到成品中转库装车平台;同时,改进炸药制药过程中的部分单元操作,使生产线实现安全连锁联动控制,从而实现无人操作、少人值守的无人化生产目标。

制药工房的改造主要根据生产线总体布置、工房现状及内、外部安全距离等条件来设计,确定凉药、包装间的位置;综合考虑凉药、包装设备的安装尺寸、产品输送及人员巡视检查通道等因素,确定凉药、包装间工房大约需要 9.0 m×5.0 m×6.5 m 的空间。

改性铵油炸药和膨化硝酸铵炸药制药工序出药的最高药温大约 75℃,根据空心桨叶凉药、输送螺旋

的凉药效果^[6],当冷却水温度≤25℃时,通常只需要总长约 36 m 的空心桨叶输送螺旋就可以把药温降到 50℃以下,从而满足装药温度的要求。落差条件具备的话,也可以采用空心桨叶凉药机进行凉药。同时,凉药设备还可以利用生产线原有凉药设备进行改造。凉药后需将炸药输送到 2.8 m 以上的平台,以便于自动包装机进料包装。

将生产线生产控制系统、智能化门禁定员监控系统和在线药量监控系统^[7]3 个独立的系统整合,利用智能化门禁定员监控系统和在线药量监控系统中超员、超量报警联动控制生产系统,加上生产控制系统中的设备故障连锁联动控制系统,形成更加完善的安全管理连锁联动控制系统。

3 粉状炸药生产线无人化改造措施

3.1 硝酸铵加料方式的改进

现有生产线上,硝酸铵的加料方式是先用人工将结晶状的硝酸铵粗碎,再投入破碎机粉碎,该过程至少需要 2 个人配合才能完成。

使用流散性较好的颗粒硝酸铵,并采用自动开袋投料技术,便可实现 JWT 改性铵油炸药生产过程硝酸铵投料自动化无人化。自动拆包机在化工、建材、食品、粮食等领域中的粉状或颗粒状物料自动拆袋卸料作业中已经广泛应用,只需将其电气部分改为防爆型,同时做好设备接地,即可在炸药生产线上使用。该类设备具有高效、环保、操作简单、维护方便等特点,与皮带输送设备配套使用,即可完成破袋卸料功能。

膨化硝酸铵炸药和粉状乳化炸药可采用硝酸铵水溶液为原料使用^[8-10],只需要在工房内增加配置硝酸铵水溶液储罐及输送系统,就可以实现生产过程自动给料。

3.2 改性剂加料方式的改进

现有生产线上,改性剂的加料是由人工在生产过程中,根据生产需要间断式地往改性剂定量螺旋料斗中添加。

改进为根据生产线设计产能,计算每天改性剂最大需求量,并结合其自然堆积密度,制作一个较大的改性剂料仓,通过螺旋输送至改性剂定量螺旋料斗中,该螺旋由定量螺旋料斗上的上、下料位计进行联动控制,从而实现生产过程连续自动给料。

3.3 复合油相加料方式的改进

现有粉状炸药生产线上使用的油相材料,多数

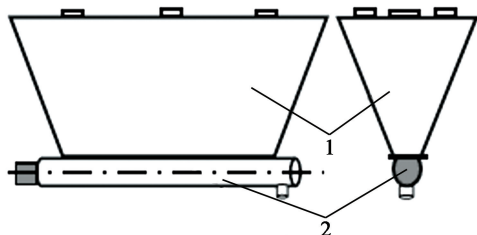
是采用人工方式将固态油相材料加入熔蜡槽中熔化,配制好以后,放入保温储罐中备用。

改进为采用液态油相,增加大的油相储罐,通过生产线原有小油相储罐的液位计联动控制大油相储罐的油相输送泵,从而达到自动给料的目的。

3.4 木粉加料方式的改进

现有生产线上,木粉的加料是由人工将工房备好的袋装木粉按需要投入木粉料斗中使用。

改进为根据炸药配比,计算出每天生产所需的木粉量;结合木粉的自然堆积密度(约为 0.25 g/cm^3),在制药工房木粉存放间制作一个容量约 12 m^3 的木粉料仓;料仓下部设计成“V”字型,并在“V”字底部安装物料自动输送螺旋,与生产线上原有的木粉料斗进行料位联动控制,达到连续自动给料的目的。同时,还可以将木粉加工工序的木粉粉碎料仓设计成与制药工房一样的移动式料仓,与制药工序的木粉料仓交替使用,从而减少木粉加工工序的木粉分装和制药工序的木粉加料过程,降低员工劳动强度,节约劳动力成本。



1 - 料仓; 2 - 送料螺旋。

图1 木粉料仓设计示意图

Fig. 1 Design schematic of wood flour silo

其他如炸药密度调节剂、消焰剂的加料方式与木粉加料方式相同。

3.5 包装过程的改进

现有生产线袋装产品自动包装机只具有自动装药、自动计量、自动折边和缝包等功能,需要人工进行套袋。

针对现有散装炸药包装机存在的不足,借鉴化工、建材、食品等行业袋装产品的全自动包装线,在现有粉状炸药包装机的基础上增加自动上袋机系统。自动上袋机主要是替代人工套袋,节省人工成本,可适用纸、聚乙烯(PE)、带有 PE 内衬、聚丙烯等材质的包装袋自动包装,自动上袋机与自动缝包机、自动移袋、自动称重检测配合使用,实现包装全过程无人化整体解决方案。

3.6 中转装车过程的改进

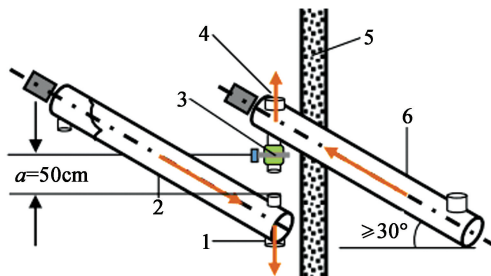
现有生产线产品装车过程大多数都是人工进

行,在采用伸缩皮带传输情况下,人工装车至少需要 2 人才能满足生产运行要求。

可改进为采用码垛机器人将炸药产品码在托盘上,再用防爆叉车将炸药产品装入转运车箱内,运到总库区入库。如此的话,则可减少人员操作,实现自动化作业。

4 粉状炸药生产线隔爆装置的设计

根据 GB50089—2007 民用爆破器材工程设计安全规范标准要求,在一个厂房内联建时,制药工序与后续工序之间必须设置有可靠的防止传爆和殉爆的安全防范措施。为此,笔者设计了一种粉状炸药工序间防止传爆和殉爆的方案,如图 2 所示,其隔爆机理主要有:泄爆效应、隔板作用、爆轰波传播拐角效应及最小不殉爆距离原理等。



1 - 泄爆口; 2 - 凉药输送螺旋; 3 - 旋转阀;
4 - 泄爆口; 5 - 钢砵隔墙; 6 - 出料螺旋。

图2 粉状炸药工序间隔爆设计示意图

Fig. 2 Design of blast resistant in powder explosive production

4.1 隔爆装置设计原理

如图3所示,旋转阀阀芯旋转到任何一个角度,旋转阀进料口与出料口始终处于一个相对封闭状态,旋转阀的叶片和转轴都会对爆轰波传播起到一定的阻隔作用。若制药工序发生事故,爆轰波沿出药螺旋轴线方向传播,当到达螺旋出料口时,由于螺旋端头和出料口旋转阀的阻隔,爆轰波传播受到阻挡。根据波的传播反射原理,部分爆轰压力则从出料螺旋泄爆口释放。同时,出料螺旋出口方向与爆轰波传播方向成 120° 角,由于炸药爆炸冲击波传播的拐角效应,在爆轰波轴向传播过程中,当拐角 $\geq 120^{\circ}$ 时,在拐角处爆速明显衰减,拐角后端甚至会出现死区^[11-13],而泄爆口方向拐角为 60° ,爆轰压力可以顺利地由此释放。越过旋转阀的爆轰波传播方向与凉药输送螺旋泄爆口方向一致,且防尘布袋软连接也形成一个泄爆面,爆轰波将会被再次削弱。经

过隔板作用、拐角效应和爆轰波压力的削弱,最终达到熄爆隔爆的目的。

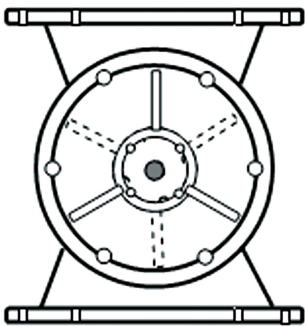


图 3 粉状炸药隔爆旋转阀阀芯结构示意图
Fig.3 Structure of spool in blast-resistant rotary valve of powder explosives

反之,当装药包装工序发生事故时,其隔爆原理也是一样的,只是爆轰波传播的方向相反而已。

4.2 安全间距 a 的确定与产生

通常,粉状炸药生产线产能为 3.6 t/h,螺旋输送速度为 1 kg/s,旋转阀的转速设计为 15 r/min,则每次出药量约 1.33 kg,用时约 1.33 s。

有试验测得散装 TNT 的殉爆距离^[14],当主发装药药量 1.6 kg,被发装药药量 1.0 kg,装药密度约为 1.0 g/cm³ 时,其殉爆距离为 40 cm,不殉爆距离 52 cm。笔者曾用散装改性铵油炸药进行试验,主爆药包质量为 1.5 kg,从爆药包质量 0.5 kg,采取水平和垂直两种方式进行殉爆试验,药包间距 40 cm,分别 3 次平行试验均未发生殉爆。故设定旋转阀轴距凉药输送螺旋进料口的距离 a 为 50 cm。

根据自由落体位移公式:

$$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2。$$
 (1)

推导出一定高度下的自由落体所需的时间

$$t = (\frac{2h}{g})^{\frac{1}{2}}。$$
 (2)

式中:h 为自由落体高度,m;g 为重力加速度,m/s²; t 为自由落体所需时间,s。

由此计算得出,0.5 m 高度物料自由落体的用时约为 0.32 s,而旋转阀每次出药用时约 1.33 s,间隔时间约为 1.01 s,大于 0.32 s,满足炸药输送物料的安全间距 a 所需的时间间隙。

5 讨论

5.1 改造后炸药生产工房存药量的确定

由于装药和包装均在原制药工房进行,工房药

量将会发生较大变化。图 4 所示为某改性铵油炸药生产线的布置情况。102 工房是原制药工房,改造后为改性铵油炸药生产工房,理论上该工房允许存药量为 2 500 kg。由此,与原西北方向 103 原装药包装工房设计存药量一致,不产生影响;与北边 104 返工品处理工房为双有土堤防护,理论间距为 32.4 m,实际距离远远大于理论间距;南边 101 硝酸铵仓库为单有土堤防护,理论间距为 54 m,实际距离为 51.4 m,不符合 GB50089—2007 民用爆破器材工程设计安全规范标准要求;和西侧 107、108、109 等非危险工(库)房的距离均为 90 多米,不产生影响。因此,该工房的存药量应以 101 库房实际距离为计算依据,结果为 2 200 kg。

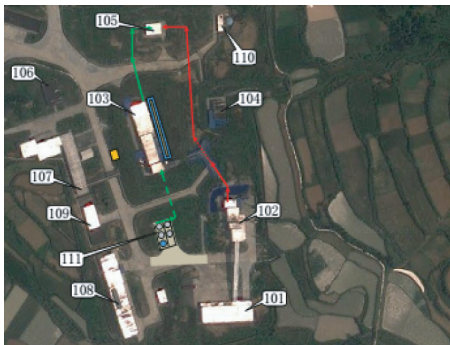


图 4 某改性铵油炸药生产线卫星地图
Fig.4 Satellite map of production line of a modified ammonium nitrate explosive

102 工房原在线设备存药量约为 900 kg,改造后 36 m 凉药、输送螺旋及一台散装炸药自动包装线总的存药量大约为 600 kg,还有 700 kg 的冗余量,当炸药成品通过皮带输送机适时输送到中转平台 105,工房内不会产生超量存放的问题。因此,凉药、包装设备合并进 102 制药工房是可行的。

5.2 投资效益分析

5.2.1 改造投资费用估算

改性铵油炸药生产线的改造投资估算见表 1。

5.2.2 改造后产生的效益

改造后,粉状炸药生产线上单班将减少制药工序 4 人、装药包装工序 15 人、卷纸管工序 9 人、中转装车 1 人;双班则减少 58 人。人工工资按照 6 万元/(人·年)计算,每年节约人工工资 348 万元,折算节约人工成本 290 元/吨。

材料成本节约:石蜡、卷纸、中包塑料薄膜、纸箱、打包带共计大约 615 元/吨,新增纺织袋材料成本 50 元/吨,材料成本净节约 565 元/吨。

节省悬挂式轨道输送车投资费用 80 万元,节约

表 1 改性铵油炸药生产线改造投资估算
Tab. 1 Investment estimation of production line
of the modified ammonium nitrate explosive

序号	项目	投资费用/万元	占比/%
1	土建工程	32.0	8.0
1.1	102 工房改造	20.0	5.0
1.2	成品输送廊道	12.0	3.0
2	设备	278.0	69.7
2.1	自动拆袋机	8.0	2.0
2.2	木粉料仓	5.0	1.3
2.3	凉药设备	40.0	10.0
2.4	全自动包装机	100.0	25.1
2.5	成品皮带输送机	60.0	15.0
2.6	成品码垛机器人	60.0	15.0
2.7	电气/消防/水暖	5.0	1.3
3	安装辅材	12.0	3.0
4	智能门禁系统改造	2.0	0.5
5	控制系统改造	5.0	1.3
6	安评、设计、验收	50.0	12.5
7	不可预见费用	20.0	5.0
合计		399.0	

原生产线卷纸管设备、包装设备及悬挂式轨道输送车的运行、维护及修理费用成本约 40 元/吨。

改造后,一条年产 12 000 t 粉状炸药生产线由于不再受原装药、包装设备生产能力的制约,根据原制药设备和新的包装设备的生产能力评价,生产线年产能可达 15 000 t。

5.2.3 财务分析

通常炸药散装产品销售价格要比小药卷包装产品低大约 500 元/吨。因此,扣除销售价差因素,改造后炸药净利润每吨增加大约 395 元,按照年产 12 000 t 炸药计算,则

投资利润率 = $\frac{\text{年新增利润总额}}{\text{新增投资总额}} \times 100\% = \frac{395 \times 12\,000}{3\,990\,000} \times 100\% = 118.80\%$;

投资回收期(不含建设期) = $\frac{\text{新增投资总额}}{\text{年新增利润总额}} = \frac{3\,990\,000}{395 \times 12\,000} = 0.84\text{ a}$ 。

算上改造建设期两个月,投资当年即可全部收回投资费用。

如果按照年产 15 000 t 炸药计算,则投资效益更佳,投资回收期更短。

5.3 安全性分析

生产线改造后,由于实现了智能化门禁定员监

控系统和在线药量监控系统中超员、超量报警与原生产线控制系统联动控制,将有效控制生产线超员超量现象,结合生产控制系统中的安全连锁装置和设备故障连锁联动控制,一旦有不安全的因素存在,可以即时采取相应的措施,从而有效避免重大生产安全事故的发生。另外,由于在一个工房内完成炸药制药、凉药、包装生产全过程,减少了炸药生产线上的一级危险点,便于生产线的管理和控制。

6 结 论

改造后的生产线,能够实现无人操作、少人值守的无人化安全生产目标,能够实现全线连锁联动控制,提高了生产线本质安全水平。因为去掉了粉状炸药半成品转运环节,节省了悬挂式轨道输送车系统设备投资费用和运行维护费用,彻底消除了悬挂式轨道输送车卸料产生的大量粉尘^[15]。

改造后的生产线每年可节约人工成本、材料成本以及相关设备的运行维修成本等 1000 多万元,经济效益和社会效益非常显著。

改造后的生产线占地面积小,只要在 102 工房西侧与非危险工房之间的空地上按照双有防护标准新建一个水、油相制备工房(111),再利用原有的 103、104 工房即可在该生产区域再建设一条乳化炸药生产线,提高了土地资源的利用率,在土地资源匮乏的情况下,具有良好的社会效益。

参 考 文 献

[1] 吕春绪. 膨化硝铵炸药[M]. 北京:兵器工业出版社, 2001.

[2] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 2 版. 北京:冶金工业出版社, 2008.

WANG X G. Emulsion explosives[M]. 2nd ed. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2008.

[3] 吕春绪. 工业炸药理论[M]. 北京:兵器工业出版社, 2003.

[4] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 民用爆破器材工程设计安全规范: GB50089—2007[S]. 北京:中国标准出版社, 2007.

Ministry of Construction of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Safety code for design of engineering of civil explosives materials: GB50089—2007[S]. Beijing: China Standard Press, 2007.

- [5] 陈中亿. 工业炸药悬挂式轨道输送车系统的安全性研究[J]. 爆破器材, 2010, 39(5): 34-37.
CHEN Z Y. Study the safety of hanging orbital transport vehicle system for industrial explosives [J]. Explosive Materials, 2010, 39(5): 34-37.
- [6] 陆亮英. NL 型粉状炸药螺旋凉药输送机[J]. 广西轻工业, 2008(4): 16-17, 52.
- [7] 李仕洪, 李建设, 肖师宇. 工业炸药生产线在线药量监控系统的构架设计[J]. 爆破器材, 2015, 44(4): 33-36.
LI S H, LI J S, XIAO S Y. Architecture design of a monitoring system for online charge of industrial explosive in production line [J]. Explosive Materials, 2015, 44(4): 33-36.
- [8] 徐德安. 液体硝酸铵直接应用于工业炸药生产的效益分析[J]. 爆破器材, 2011, 40(1): 32-34.
XU D A. Benefit analysis on the application of ammonium nitrate solution directly in the industry explosive production[J]. Explosive Materials, 2011, 40(1): 32-34.
- [9] 连清滨. 液体硝酸铵直接在膨化硝酸铵炸药生产中的应用[J]. 爆破器材, 2010, 39(2): 20-22.
LIAN Q B. Application of ammonium nitrate solution directly in the production of expanded ammonium nitrate explosive [J]. Explosive Materials, 2010, 39(2): 20-22.
- [10] 陆明, 张汉平, 甘德淮, 等. 液混式膨化硝酸铵炸药生产技术研究[J]. 爆破器材, 2009, 38(6): 14-16.
LU M, ZHANG H P, GAN D H, et al. Study on the productive technology of expanded ammonia nitrate explosive with liquid mixing[J]. Explosive Materials, 2009, 38(6): 14-16.
- [11] 刘举鹏, 陈福梅. 炸药中爆轰波拐角绕射现象研究[J]. 爆炸与冲击, 1993, 13(2): 105-109.
LIU J P, CHEN F M. Studies on the detonation wave turning around a corner [J]. Explosion and Shock Waves, 1993, 13(2): 105-109.
- [12] 李生才, 冯长根, 赵同虎. 拐角角度对爆轰波拐角效应的影响[J]. 爆炸与冲击, 1999, 19(4): 289-294.
- [13] 李吉光. 乳化基质和乳化炸药熄爆研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
LI J G. Investigation on detonation failure of emulsion matrix and emulsion explosive [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2009.
- [14] 李铮, 项续章, 郭梓熙. 各种炸药的殉爆安全距离[J]. 爆炸与冲击, 1994, 14(3): 231-240.
- [15] 马丽玲. 膨化炸药悬挂式轨道输送车卸料除尘装置设计应用[J]. 当代化工, 2012, 41(7): 742-744.
MA L L. Design and application of the dust collector in unloading process of extruded explosives suspending track-car [J]. Contemporary Chemical Industry, 2012, 41(7): 742-744.