

文章编号: 1006-9941(2011)06-0730-05

膨化硝酸铵炸药生产专用碾混机安全性研究

罗海滔, 胡炳成, 吕春绪, 刘祖亮

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 为研究碾混机在混药过程中的安全性,通过分析碾混机结构,调节进料速度、刮板角度和碾混机转速来进行生产极限的试验,观察混药过程中堵料情况,测试混药后炸药爆速,分析和讨论碾混机混药过程的安全性。研究结果表明,当碾混机转速为 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,进料速度为 $4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,刮板角度为 24° 条件下,碾混机运行具有较高的安全性,混药后膨化硝酸铵炸药的爆速也有明显提高。

关键词: 物理化学; 膨化硝酸铵炸药; 碾混机; 安全性; 极限试验

中图分类号: TJ55; TQ564.4; O64

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.06.028

1 引言

膨化硝酸铵炸药属于粉状炸药,各组分的细度及混药后的均匀性影响着炸药的爆炸性能^[1-3]。为了提高炸药爆轰性能,并满足膨化硝酸铵炸药连续化生产需要,根据膨化硝酸铵的物化性能特点专门设计了连续式碾混机。目前,卧式连续式碾混机^[4]是膨化硝酸铵炸药混药工序中最常用的专用设备,混药过程中,混合的各组分已经具有一定的均匀性,属于半成品炸药;膨化硝酸铵炸药属于粉状炸药,在混药过程中还会产生大量的粉尘,与碾混机内空气充分接触;混药过程中物料的温度较高,膨化硝酸铵具有雷管感度,随着温度升高,雷管感度增加^[5];更重要的是碾混机属于强力运行设备,在混药过程中由于摩擦易引起物料的自然甚至爆炸。所以膨化硝酸铵炸药生产专用连续式碾混机是一个危险系数较高的设备。针对目前连续式碾混机存在的安全隐患,根据碾混机的结构和物料物化性质,进行碾混机结构安全分析和碾混机生产极限实验,通过调整多个参数考核极限:进料速度最高达 $6.0 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 、碾轮的最高转速为 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 或(和)刮板角度呈 $14^\circ \sim 30^\circ$ 条件下碾混机的运行情况,测试混药后炸

药爆速,分析和讨论碾混机混药过程的安全性,为膨化硝酸铵炸药碾混机的安全混药生产提供理论分析和实验指导。

2 实验部分

2.1 实验设备与原料

连续碾混机型号为 LHJ1200,电机型号为 YB2-200L1-6,减速机型号为 BWD16-43。油相温度 $90 \sim 100^\circ\text{C}$,水份 $\leq 0.1\%$;膨化硝酸铵温度 $65 \sim 80^\circ\text{C}$,水份 $\leq 0.10\%$;木粉细度 $\geq 70\%$ 过 40 目,水份 $\leq 2.0\%$ 。

2.2 实验方法

连续碾混机混药主要通过刮板的推进、混合和碾轮的碾压实现。膨化硝酸铵密度低,质地轻飘,刮板可以有效改善其跑料的情况,刮板与中轴线的角度同时决定了物料在碾混机内的前进速度;碾混机的转速决定了对物料的碾压次数,碾混机的转速越快,物料被碾压的次数越高,由于刮板与碾轮是同轴转动,高转速的碾轮碾压的同时,刮板对物料的推进也是越快,因此,碾混机的转速和刮板的角度对物料碾压混合的效果都是非常重要。

实验在膨化硝酸铵炸药制造线上进行生产极限实验。碾轮的最高转速为 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,;生产中碾混机转速为 $20.0 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,进料速度为 $4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,刮板的角度为 20° 左右。本文主要通过调节进料速度、刮板角度和碾混机的转速对物料的堵塞情况进行研究,并测试混药后炸药的爆速。

收稿日期: 2011-08-31; 修回日期: 2011-10-11

基金项目: 国家部级科研项目基金(B2620070012)

作者简介: 罗海滔(1988-),男,硕士,从事工业炸药安全性研究。

e-mail: 569457514@qq.com

通讯联系人: 胡炳成(1969-),男,教授,主要从事民爆产品研究。

e-mail: hubc@mail.njust.edu.cn

3 实验结果及分析

3.1 连续碾混机的结构安全性分析

连续碾混机结构简图和侧面截图分别见图 1 和图 2。连续碾混机有两个混药室,中间由法兰隔开,每个混药室中装有 9 组 18 个碾轮。碾轮总成由碾轮、碾轮轴及其中的弹簧件组成,主要依靠自身重力和弹簧压力对物料进行挤压、搓研^[6]。每一组两个碾轮呈轴对称;每相邻两组碾轮正交。在水平方向上,每相邻两碾

轮具有少部分重叠,使得碾轮碾压物料的过程中无遗漏,对所有物料进行碾压破碎混合。

每个混药室中装有 11 片刮板,每一片刮板通过不锈钢管与连续碾混机中轴相连接并固定,碾混机工作过程中刮板起着翻起物料并推动其进入下一碾轮进行粉碎和碾压。刮板之间轴向上相邻两刮板支架正交,并与碾轮成 45°,这样的设计使得有足够的空间来方便检修和维护。

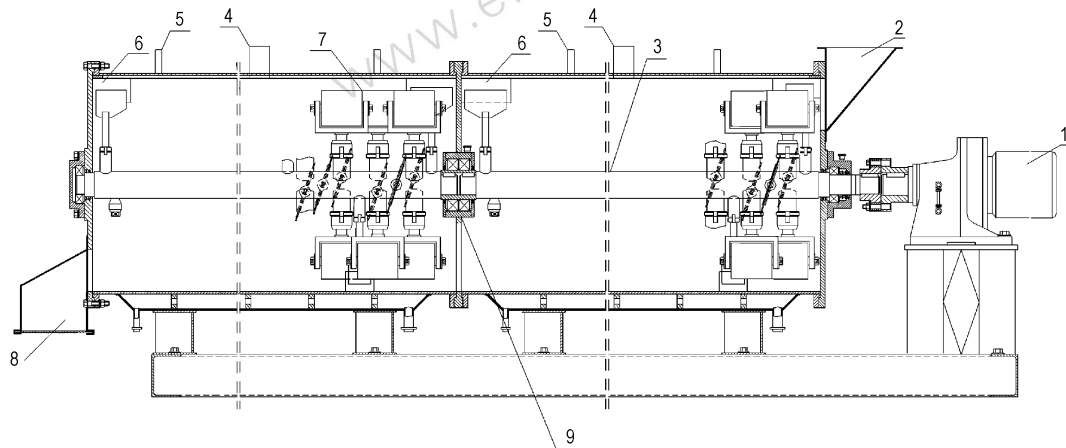


图 1 连续碾混机简图

1—防爆电机, 2—进料口, 3—主轴, 4—通气管道, 5—雨淋系统, 6—刮板, 7—碾轮, 8—出料口, 9—法兰

Fig. 1 Continuous grinding and mixing machine diagram

1—explosion-proof electric motor, 2—feeding port, 3—spindle, 4—ventilation pipe, 5—rain system, 6—scraper, 7—grinding wheel, 8—discharging port, 9—flange

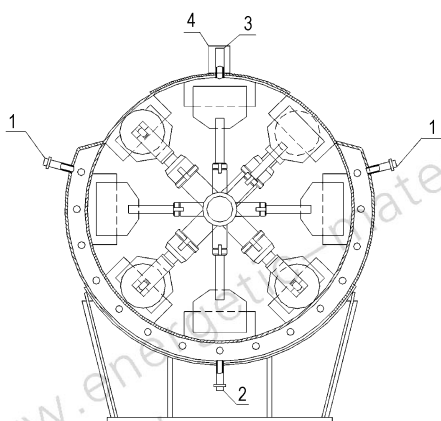


图 2 连续碾混机侧面截图

1—蒸汽进口, 2—蒸汽出口, 3—雨淋系统, 4—通气管道

Fig. 2 Continuous grinding and mixing machine side screenshots diagram

1—steam import, 2—steam export, 3—rain system, 4—ventilation pipe

碾混机通过中间法兰分为两个混药室,两个混药室中两根中轴利用联轴器相连接,每根中轴上固定有 18 个碾轮,碾轮安装的过程中完全依靠中轴固定,未与混药室内表面相接触;在碾药混药过程中,会有大量的物料粘附在碾轮、碾轮支架和中轴上,大大增加了中轴的负担。如果连续碾混机两个混药室为同一根中轴,则该中轴将会由于受力过大而发生形变,影响转动过程中的动平衡,使得碾轮与机壁产生摩擦。连续碾混机中间法兰主要起着承重的作用,减少中轴因受力而发生的形变,并保持碾药混药过程中的动平衡。

在两个混药室顶端都装有通气管道。连续碾混机工作过程中,会产生大量粉尘,随着物料的加入,粉尘密度逐渐增大,粉尘在明火的作用下将产生爆燃,在有限的空间内压强急剧变大甚至发生爆炸,具有很大的安全隐患。通气管道一方面可以及时排空,减少连续碾混机内粉尘;另一方面粉尘遇到明火后可以快速缓解碾混机

内压强的变化,减少设备安全隐患。在混药室顶端还装有雨淋系统,当碾混机内物料发生燃烧时,因温度较高操作人员无法靠近时,可以及时有效地扑灭险情。

混药过程中,碾轮发挥着至关重要的作用。为了保持碾轮对物料合理的压力,在每一个碾轮的支架中装有弹簧,在碾药过程中,碾轮弹簧可以根据物料的厚度应力伸缩,保持对物料合理的压力。在碾轮的内部还装有轴承,使得碾药过程中碾轮受摩擦作用转动,可以更好地碾压混合物料,否则将会推着物料滑动,增加了碾轮的扭力,对设备造成很大的负担。

连续碾混机内物料已经属于成品硝铵炸药,碾药混药过程中,物料可能进入碾轮内部或者是碾轮轴可伸缩部分。因此,在碾轮转动轴承和支架伸缩部分都添加密封件,这些密封件材质都是耐高温、耐摩擦和不易老化。

由于碾轮的特殊结构,使其对碾混机进口端、出口端和中间法兰处的物料无法起到碾压粉碎混药作用。在混药过程中,随着物料的持续加入,位于进口端、出口端和中间法兰处的物料将会受到后续物料的挤压堆积,对物料的粉碎效果造成一定影响,因而在设计过程中于上述几处地方分别装有特殊形状的刮板,对物料进行及时清理,使物料进入碾轮碾压段进行混药或推进其进入下一混药室或出料。

刮板材质的选用是至关重要的。刮板在转动过程中是与连续碾混机内壁有着强力的摩擦,并始终与物料保持接触,如果刮板材质选用不当,极有可能受热变形不能发挥翻料的作用,甚至与内壁摩擦产生火花引起物料爆燃。目前,大部分生产线全是采用不发火的材料聚四氟乙烯,当刮板进行翻料时,与连续碾混机的内壁摩擦时不会生成火花,降低了混药过程的危险性。

3.2 进料速度的影响

生产中刮板的角度在 20° 左右,此角度下物料在碾混机内停留时间 1.5 min。在碾混机转速和刮板角度固定条件下,碾混机进料速度越高,单位时间内创造的经济效益越高,但是,物料混合的均匀性将降低,对爆速等性能有影响,并且较高的进料速度将有可能导致堵料从而引发安全事故等情况发生。本试验将针对碾混机进料速度进行极限实验。

碾混机最高产能为 $6 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,正常生产中常用的生产参数是 $2.5 \sim 4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,试验中通过进料螺旋调节碾混机进料速度分别取值 2.5, 3.0, 3.5, $6.0 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,刮板角度为 20° ,碾混机的转速为 $20.0 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。试验中分别取各运行参数下三组样品测量爆速,取平均值,测试结果见表 1。

表 1 不同进料速度对炸药爆速的影响

Table 1 Effect of different feeding speed on detonation velocity of explosive

feeding speed/ $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
detonation velocity/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	3651	3614	3570	3522	3498	3457	3411	-

试验过程中,进料速度为 $6.0 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 条件下,在碾混机进料口处发生堵料,并且在中间法兰处也有大量堆积,表明刮板角度为 20° ,碾混机转速为 $20.0 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下,碾混机进料速度不能超过 $5.5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

由表 1 可知,随着进料速度增加,装药后炸药的爆速降低,这是由于进料速度增大造成各组分混合的均匀性降低,爆炸过程中组分无法完全燃烧。

由上述试验和结果可得,在碾混机进料速度为 2.5, 3.0, 3.5, $5.5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,刮板角度为 20° ,碾混机的转速为 $20.0 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下,碾混机运行稳定,具有足够的安全性。

3.3 刮板角度的影响

碾混机混合过程中,刮板主要对物料进行推进和混合,刮板在绕轴转动过程中,一定角度的刮板将翻起物料并推动物料前进。刮板的角度决定了每次推进的距离,从而决定了物料在碾混机内的停留时间,停留时间越长,受碾轮碾压次数越多,受刮板的翻起次数越多,混合更为均匀,但是,停留时间太长将发生堵料,因此,对刮板的角度展开极限实验。

试验中刮板角度分别为 14° , 16° , 18° , 20° , 30° ,进料速度为 $4.0 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,碾混机转速为 $20.0 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。试验后爆速测试结果见表 2。

表 2 不同刮板角度对炸药爆速的影响

Table 2 Effect of different scraper angle on detonation velocity of explosive

scraper angle / $(^\circ)$	14	16	18	20	22	24	26	28	30
detonation velocity / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	-	3465	3490	3517	3562	3583	-	-	-

由表 2 数据可得,随着刮板角度的增加,膨化硝铵炸药的爆速逐渐增加,这是由于刮板角度增加时,物料在碾混机内的停留时间变长,被碾压和翻起的次数增加,各组分混合的更为均匀,所以刮板角度增加是有利于爆炸性能的提高。

试验中当进料速度为 $4.0 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,碾混机的转速

为 $20.0 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下,刮板角度大于 26° 时进料口处发生堵料;当刮板角度为 14° 时,在中间法兰处发生了堵料。上述情况表明刮板在中轴线上角度应位于 $16^\circ \sim 24^\circ$ 范围内。

由上述试验和结果表明,在碾混机刮板与中轴线角度为 16° 至 24° ,进料速度为 $4.0 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,碾混机的转速为 $20.0 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下,碾混机运行稳定,未见任何异常情况发生,表明在上述的运行参数下碾混机具有足够的安全性。

3.4 碾混机转速的影响

碾混机的转速越高,单位时间内对物料的碾压、搓研效果越好,炸药混合的越均匀。由于碾轮和刮板是同轴转动,两者转速相同,在刮板角度固定的情况下,转速越高,则物料在粉碎机内的停留时间越短,则各组分混合的均匀性越差。因此,对碾混机转速运行参数展开生产极限实验。

试验中碾混机转速分别取值 $16.0, 18.0, 20.0, 22, 22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,进料速度为 $4.0 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,刮板角度为 20° ,试验后爆速测试结果见表 3。

表 3 不同碾混机转速对炸药爆速的影响

Table 3 Effect of different grinding and mixing machine speed on detonation velocity of explosive

grinding and mixing machine speed / $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$	16.0	18.0	20.0	22.0	22.8
detonation velocity / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	3460	3491	3532	3571	3580

表 3 的数据说明随着碾混机转速的增加,混合后膨化硝酸铵炸药的爆速逐渐增加,表明碾混机转速增加,可以提高膨化硝酸铵炸药中各组分的均匀性。

上述实验结果和数据表明,在碾混机刮板与中轴线角度为 20° ,进料速度为 $4.0 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,碾混机的转速为 $16.0, 18.0, 20.0, 22, 22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下,碾混机运行稳定,未发生堵料等情况,表明在上述的运行参数下碾混机具有足够的安全性。

3.5 多个参数运行条件的影响

从上述三个试验的结果可以看出,碾混机进料速度不宜超过 $5.5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,碾混机的转速最大可为碾轮的最高转速 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,刮板与中轴线的角度应位于 $16^\circ \sim 24^\circ$ 范围内。为了更充分地研究进料速度、碾混机转速和刮板角度对碾混机安全性的影响,进而研究了进料速度、碾混机转速和刮板角度三个参数在极限条件下对碾混机安全性的影响。

由上述实验可知,碾轮高转速有利于膨化硝酸铵炸药爆速的提高,并且转速在 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时碾混机运行稳定,设备具有足够的安全性,因此,试验中碾混机的转速固定在 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

由于膨化硝酸铵炸药生产线是由众多设备组成,目前膨化硝酸铵炸药生产线产能多为 $4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,因此,试验从生产线的实际情况出发,将进料速度固定为 $4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

在碾混机转速为 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,进料速度为 $4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 条件下,试验刮板的角度分别为 $16^\circ, 18^\circ, 20^\circ, 22^\circ$ 和 24° ,试验后爆速测试结果见表 4。

表 4 最大碾混机转速条件下刮板角度对炸药爆速的影响

Table 4 Effect of different scraper angle on detonation velocity of explosive at condition of highest grinding and mixing machine speed

scraper angle / $(^\circ)$	16	18	20	22	24
detonation velocity / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	-	3531	3567	3604	3642

试验中,当碾混机转速为 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,进料速度为 $4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,刮板角度为 16° 时,中间法兰处发生物料堆积,表明此时刮板对物料的推进速度过大。

由表 4 可知,在碾混机转速为 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,进料速度为 $4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,刮板角度为 24° 条件下膨化硝酸铵炸药的爆速达到了 $3642 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,比原运行参数下膨化硝酸铵炸药的爆速提高了近 $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

综合试验设备参数:碾混机转速为 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,进料速度为 $4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,刮板角度为 24° 不仅可以确保碾混机运行的安全性,还可以增加膨化硝酸铵炸药中各组分混合的均匀性,较大提高膨化硝酸铵炸药的爆速,可见上述运行参数对膨化硝酸铵炸药的生产非常有利。

4 结 论

(1) 膨化硝酸铵炸药生产专用碾混机的结构具有足够的安全性。

(2) 碾混机进料速度不宜超过 $5.5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,碾混机的转速最大可为碾轮的最高转速 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,刮板与中轴线的角度应位于 $16^\circ \sim 24^\circ$ 范围内。

(3) 当碾混机转速为 $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,进料速度为 $4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$,刮板角度为 24° 条件下,碾混机运行具有足够的安全性,混药后膨化硝酸铵炸药中各组分混合的均匀性得到增加,膨化硝酸铵炸药的爆速也有明显提高。

参考文献:

- [1] 吕春绪. 膨化硝酸铵炸药[M]. 第一版. 北京: 兵器工业出版社, 2001: 79-111.
- [2] 胡炳成, 刘祖亮, 吕春绪, 等. 影响膨化硝酸铵性能的因素[J]. 爆破器材, 2000, 29(2): 16-18.
HU Bing-cheng, LIU Zu-liang, Lü Chun-xu, et al. Factors which influencing the expanded ammonium nitrate[J]. *Journal of Blasting Equipments*, 2000, 29(2): 16-18.
- [3] 吕春绪. 工业炸药理论[M]. 第二版. 北京: 兵器工业出版社, 2007: 227-278.
- [4] 刘祖亮, 吴善泽. 膨化硝酸铵炸药连续碾混系统的设计和应用[J]. 爆破器材, 2006, 35(5): 20-21.
LIU Zu-liang, WU San-ze. Design and application of continuous grinding and mixing system for expanded ammonium nitrate explosive[J]. *Journal of Blasting Equipments*, 2006, 35(5): 20-21.
- [5] 叶志文, 吕春绪, 周新利. 膨化硝酸铵的感度特征研究[J]. 火炸药学报, 2002, 25(3): 4-6.
YE Zhi-wen, Lü Chun-xu, ZHOU Xin-li. Research on sensitivity characteristics of expanded ammonium nitrate[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2002, 25(3): 4-6.
- [6] 王彤, 刘蓓琳. HN150型混碾机结构改进[J]. 化工机械, 2009, 36(5): 507-508.
WANG Tong, LIU Bei-lin. Structure improvement of HN150 mixed grinding machine[J]. *Chemical Engineering & Machinery*, 2009, 36(5): 507-508.

Safety of Continuous Grinding and Mixing Machine Used Specially for Expanded Ammonium Nitrate Explosive

LUO Hai-tao, HU Bing-cheng, Lü Chun-xu, LIU Zu-liang

(School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The structure of grinding and mixing machine was studied for the security perspective. The production limit experiment was carried out. Plugging material conditions and the detonation velocity of explosive were observed via adjusting operation parameters: feeding speed, scraper angle, grinding and mixing machine speed. The safety of the grinding and mixing machine was analyzed and discussed. Results show that when the speed of the grinding and mixing machine is $22.8 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, the feeding speed $4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$, the scraper angle 24° .

Key words: physical chemistry; expanded ammonium nitrate explosive; grinding and mixing machine; safety; limit experiment

CLC number: TJ55; TQ564.4; O64

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.06.028