

doi: 10.7690/bgzdh.2013.01.020

双螺杆挤出机连续混合加工浇注 PBX 的安全性分析

陈新民¹, 高丰²

(1. 晋西集团江阳化工有限公司工艺研究中心, 太原 030041; 2. 西南自动化研究所弹药中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对双螺杆挤出机的特点及浇注 PBX 的特性, 对浇注 PBX 双螺杆连续装药工艺技术的安全性进行研究。分析国内外含能材料双螺杆连续装药工艺技术发展现状, 从双螺杆挤出机摩擦升温、物料流动和静电因素等方面对其进行探讨, 并提出相应的安全预防措施。结果表明, 该措施能增加双螺杆挤出机连续加工浇注 PBX 的安全生产程度, 可为相关研究提供参考。

关键词: 安全; 双螺杆挤出机; 浇注 PBX; 连续混合

中图分类号: TJ410.5⁺2 **文献标志码:** A

Safety Analysis on Continuous Mixing Processing for PBX by Twin-Screw Extruder

Chen Xinmin¹, Gao Feng²

(1. Technology Research Center, Jiangyang Chemical Industry Co., Ltd. of Jinxi Group, Taiyuan 030041, China;

2. Ammunition Center, Southwest Automation Research Institute, Mianyang 621000, China)

Abstract: Through the analysis of twin-screw extruder feature and characteristics of casting PBX, research studies security risks continuous mixing process of casting PBX by twin-screw extruder. Analyze domestic and foreign technology development status of the twin screw extruder continuous charging. Discuss twin-screw extrude friction heating up, the flow of the materials and electrostatic factors. Safely precautions were put forwards. The results show that measures can increase the level of safety in production of continuous processing the casting PBX by twin-screw extruder. It can provide a reference for related research.

Key words: safety; twin-screw extruder; casting PBX; continuous mixing

0 引言

目前国内浇注型高聚物粘接炸药 (casting polymer bonded explosive, 浇注 PBX) 的装药工艺主要采用立式捏合机混合、真空浇注成型的间断式生产工艺。采用双螺杆挤出机进行连续捏合挤注, 不仅可以提高浇注 PBX 装药的生产能力, 而且产品质量均匀, 生产过程安全。要开展我国浇注 PBX 炸药双螺杆连续捏合挤出装药工艺技术研究, 首先必须解决此类工艺方法的安全性评价; 因此, 笔者针对浇注 PBX 双螺杆连续装药工艺技术的安全性进行分析。

1 含能材料用双螺杆连续装药工艺现状

由于具有混炼效果好、适用范围宽, 以及生产效率高等突出的优点, 塑料工业普遍使用的双螺杆挤出机已逐渐被应用到含能材料的制造业中。

在发射药成型加工中, 我国已成功引入了双螺杆加工技术。目前, 双螺杆挤出机能够适合单基、双基、三基发射药以及其他品种发射药的塑化成型,

其产品质量的均匀性、密度及弹道性能符合标准甚至优于标准。通过螺杆结构的调整及工艺条件的变化完成多种产品的生产, 已成为发射药成型加工工艺研究的一个重要发展方向。

双螺杆挤出技术改变了发射药生产中传统的生产模式, 适应了“多品种、中小批量”军品任务的需求, 降低了物耗, 提高了劳动生产率和发射药生产的本质安全程度^[1]。

在推进剂加工成型过程中, 双螺杆连续混合工艺技术是世界各技术先进国家推进剂工艺技术研究的热点。

国内在推进剂双螺杆连续加工方面采用双螺杆挤压工艺生产双基推进剂, 已经取得了一定的成效。国内的研究者也对双螺杆挤出机的机筒温度、螺杆转速, 螺杆混合元件及其组合结构与产品混合优度 (描述混合均匀性的指标) 的关系进行了研究^[2]。

此外, 先进的电子计算机技术在含能材料的理论研究、配方设计、生产工艺和分析测试等方面的应用也越来越广泛, 大大促进了含能材料的生产由

收稿日期: 2012-09-13; 修回日期: 2012-11-13

作者简介: 陈新民(1952—), 男, 河南人, 高级工程师, 从事弹药装药研究。

间断工艺向连续化、自动化的方向发展。

2 浇注 PBX 双螺杆连续装药工艺安全分析

浇注 PBX 双螺杆连续装药工艺技术的核心设备是双螺杆挤出机, 该设备是否能够应用于浇注 PBX 炸药装药, 装药过程中的安全性究竟如何, 笔者分析如下。

含能材料的感度根据不同能量激发形式可分为热感度、机械感度、冲击波感度和静电感度等。浇注 PBX 采用双螺杆挤出技术影响安全的主要因素有热感度、机械感度和静电感度, 体现在 3 个方面:

1) 炸药采用双螺杆设备在混合加工过程中的各类摩擦强度是否超过炸药的最小摩擦感度所需的强度, 引起事故发生。对于双螺杆混合加工过程中发生的摩擦是挤出机的螺杆与螺杆, 螺杆与机筒之间的摩擦以及螺杆、机筒与炸药之间的摩擦, 这些摩擦产生的能量会不会产生超过炸药燃烧或爆轰的临界摩擦感度和热感度所需的强度, 是需要论证的因素。表征为双螺杆连续混合加工过程中, 由各种摩擦综合产生的螺杆和物料的温升或摩擦热点是否会引起炸药燃烧或爆轰。

2) 双螺杆挤出机运行过程中的炸药药浆承受的压力是否触发炸药爆轰, 发生事故。

3) 加工过程中产生的静电能是否引起炸药的燃烧或爆轰。

2.1 双螺杆挤出机摩擦升温的安全性分析

北京理工大学的何吉宇等在推进剂代料双螺杆挤出工艺试验中, 通过提高螺杆转速, 检测了双螺杆挤出机加工摩擦升温的结果。试验证明, 提高螺杆转速, 可增加挤出产量, 但同时也会提升挤出压力和药浆温度^[3]。即双螺杆挤出机在螺杆转速有较大变化的情况下, 挤出压力和药温都有所提高, 但是变化的幅度不大。如螺杆转速由 30 r/min 提高到 110 r/min, 机头压力只增加 1 MPa, 药浆温度只在 3 °C 内变化。出口药温与第一段机筒温度之差(ΔT)基本上在 5 °C 左右, 在螺杆转速为 110 r/min 时, ΔT 为 7 °C。根据以上试验结果, 在饥饿喂料条件下, 螺杆转速达 110 r/min 的情况下, 药温升高未超过 7 °C。这也进一步说明, 啮合型同向旋转双螺杆挤出机在较高转速条件下, 摩擦和剪切热较小, 摩擦拖曳输送所占比重较小, 正位移输送所占比重很大, 说明正常情况下双螺杆挤出机在加工火炸药过程中, 由于螺杆之间、螺杆与机筒之间、螺杆和机筒与炸药之间摩擦生热发生安全事故的可能性极小。

国内某工厂进行了浇注型 PBX 模拟料双螺杆挤出机混合试验, 试验中机筒温度保持在 50 °C 的条件下, 当模拟料在螺杆转速为 50 r/min 时, 实测温度 50 °C, 当转速提升到 150 r/min 时, 温度为 50.2 °C, 温升较少。

试验结果表明: 试验用模拟料在双螺杆挤出机混合过程中, 产生的摩擦热生成较少。间接反映双螺杆挤出机在加工该种物料过程中, 物料与螺杆、机筒的摩擦较小。

2.2 双螺杆挤出机加工过程物料流动和压力分析

同向平行双螺杆机的整个圆周压力基本一致, 不存在使两螺杆分离的力, 尤其适合加工对摩擦和压力比较敏感的火炸药。在浇注 PBX 连续捏合挤出加工工艺中, 美国和法国都选择的是同向旋转全啮合双螺杆混合挤出机。

由于同向旋转全啮合双螺杆混合挤出机在加工过程中螺杆内部压力受出口压力的影响, 出口压力越大, 内部压力也相应较大, 但最大内压力不会大于出口压力。在采用同向旋转全捏合双螺杆机加工发射药生产中, 螺杆出口成型压力为 20 MPa 左右(比传统工艺的成型压力 32 MPa 要小 1/3 左右), 有利于发射药的安全生产^[1]。浇注 PBX 装药工艺中, 对双螺杆挤出机出口压力要求非常低, 仅需要 0.1 MPa 左右(甚至更低), 因此双螺杆挤出加工过程中, PBX 药浆流的压力不会大于 0.1 MPa。同发射药和推进剂采用双螺杆加工相比, 压力因素对安全性影响微乎其微。

2.3 双螺杆混合挤出装药过程中静电因素影响

对于同浇注 PBX 组分相似的复合固体推进剂, 在加工和使用中常常由于静电的作用而造成重大事故。复合固体推进剂在加料、脱模过程中, 由于摩擦而产生静电, 引燃物料发生燃烧或爆轰的事故是存在的; 因此, 对于浇注 PBX 双螺杆加工中的静电消除, 建立防护措施, 可以参照推进剂防静电措施和降感技术消除隐患。浇注 PBX 采用双螺杆挤出机连续捏合混炼加工过程中, 在加料时和螺杆对固体料混合时易产生静电, 在此工序或部位应加强静电防护, 采取相应的安全措施。

从以上分析可以得出结论:

1) 采用同向旋转啮合双螺杆挤出机加工浇注 PBX, 如果在设备的设计和选型中, 螺杆元件的选择和组合合理, 螺杆与螺杆, 螺杆与机筒之间间隙

设计合理,其摩擦和剪切热较小,药浆温升变化较小,不可能使炸药药浆温度失控而形成安全隐患。至于运行过程中由于药浆中的异物形成的热点问题,则需要在给料工艺中给予严格控制,当然这也是所有含能材料加工工艺中必须严格控制的事项。

2) 由于同向旋转啮合双螺杆混合挤出机中,炸药药浆加工处于开放状态,挤出过程中螺杆内部压力受出口压力的影响,由于浇注 PBX 出口压力要求不高,因此螺杆内部炸药药浆的压力也比较小,同时由于双螺杆挤出机的具有真空排气性能,不可能产生炸药爆轰的压力条件。

3) 浇注 PBX 混合成型加工中的静电隐患,无论是采用双螺杆加工工艺或采用其他何种工艺,均存在相同的问题,必须通过各种措施,降低静电能量或消除静电,才能消除事故隐患。

3 双螺杆连续装药工艺应采取的安全措施

浇注 PBX 组分中有 RDX、HMX、AP 等多种含能材料,这些材料具有易燃、易爆等特点。采用双螺杆挤出机进行连续混合是浇注型复合 PBX 装药过程中的关键环节,是装药工艺中最危险的环节。

用双螺杆挤出机对浇注型复合 PBX 进行连续混合而造成安全隐患的原因:1) 加工的材料具有易燃、易爆的特性;2) 挤出设备存在导致含能材料发生安全事故的可能性。根据含能材料的特性,在设计阶段对双螺杆挤出设备进行针对性设计和采取相应措施是提高混合过程安全性的重要前提和基础。

根据工艺分析引起双螺杆挤出机加工含能材料燃爆危险的主要因素有过度摩擦、静电火花、多余物等。针对这些问题应采取下列技术消除安全隐患:

1) 选择适合含能材料加工的螺杆元件组合。

螺杆组合是双螺杆挤出设备选择和工艺制定的关键,不同的螺杆元件组合对物料的作用区别很大。螺杆组合要考虑到主辅料性能与形状、加料顺序与位置、添加组分的特性,物料输送、混合特征,排气口位置、机筒温度设置以及加工要求等。对每一个特定的混料过程都有合理进行螺杆组合的问题。

对浇注 PBX 加工而言,螺杆元件应避免产生强烈的剪切摩擦和混合热点,应选用具有适宜的分散混合功能和较强的分配混合功能的螺杆组件。

2) 消除致热性摩擦的设计。

① 采用液压系统做动力。

混合过程必须输入一定动力,为消除致热性摩擦,双螺杆挤出机设计时选用液压马达作为动力装

置。这是因为液压马达的负载特性刚度比电机传动系统小。在螺杆混合挤出过程中,当物料出现异常时,可能使挤出机产生停转现象。此时,如果使用电机传动系统,电机系统的能量输出是主动的,能量会在极短的时间内传递至物料,引起剧烈挤压产生强致热性摩擦造成安全隐患。而液压系统的能量输出是被动的柔性过程,当螺杆摩擦过大时,液压传动系统的能量输出不会增大,避免导致安全隐患。

② 挤出机选择适当的螺杆间隙。

双螺杆挤出机螺杆间隙是指螺杆和机筒、螺杆和螺杆之间的距离。间隙的大小对炸药混合性能有较大的影响,同时对安全性有较大的影响。双螺杆挤出机间隙值应通过试验确定。

③ 采用快速打开机构。

双螺杆挤出机的筒体采用剖分式,并设计快速打开机构。当机筒内压力、温度异常时,可以自动停机并打开机筒,以消除安全隐患。

④ 建立扭矩控制系统。

扭矩既是双螺杆挤出机设备的性能指标,也是混合过程安全度量特征指标。混合过程中,如果扭矩在此时变化较大,有 2 种可能性。一种是物料分布极端不均匀带来扭矩的变化。当这种变化达到一定程度时,就会使螺杆元件可能产生对物料的剧烈挤压引起致热性摩擦,由此产生安全隐患。另一种可能性是设备本身产生一定故障造成扭矩的波动。这 2 种可能性对混合操作都是有害的,必须采取措施。设计扭矩测量、显示、监控系统。当扭矩达到设定值时,设备会自动停止混合作业,同时发出声光报警信号,提醒作业人员进行检查、排除故障。

⑤ 螺杆速度采用闭环控制。

混合过程中,螺杆速度是安全的重要特征度量值,工艺对速度是有严格规定和要求的。如果物料产生过度摩擦造就会发生停转现象,也不利于安全生产。设计速度闭环控制系统,当检测的转速与工艺要求的转速有异常时,通过适时检测、显示和控制以调节螺杆的转速,使转速输出在极小的范围内变化,不至于引起混合的非正常停顿和安全隐患。

3) 杜绝异物进入双螺杆机筒内。

① 物料筛分。

进入双螺杆挤出机的所有物料必须经过筛分工序,并做标记。未经筛分的粉状物料严禁进入给料系统。