

文章编号 1004-924X(2014)06-1584-06

基于轴向振动配粉技术的药物微量配粉

王小鹏*, 陈天宁, 李欣欣

(西安交通大学机械工程学院机械结构强度与振动国家重点实验室, 陕西西安710049)

摘要:针对轴向振动配粉技术在植入式可降解缓释给药系统微量配粉中的应用,搭建了轴向振动配粉实验台。采用毛细玻璃漏斗和圆锥状塑料吸头作为配粉管,研究两者稳定流动的振动幅值区间,讨论了振动频率对稳定出粉起始幅值、振动幅值对出粉流量及出粉流量稳定性的影响。结果表明:采用圆锥状塑料吸头作为配粉管的配粉过程更稳定,并且具有良好的抗堵性能;振动频率越大,实现配粉需要的起始激振幅度越小;在固定激振频率下,出粉流量随振幅先增大后减小,且管体中粉体处于充分流动状态;在激振频率为50 Hz, 150 Hz, 振幅为200~300 μm 和35~50 μm 时,可以得到最大且不随振幅改变的稳定出粉流量。实验论证了轴向振动配粉技术可以实现微量粉体的稳定、精确配给。

关键词:药物粉体;微量配粉;流量;振动频率

中图分类号:TQ460.6 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20142206.1584

Drug quantitative dispensing based on axial vibration microfeeding technology

WANG Xiao-peng*, CHEN Tian-ning, LI Xin-xin

(State Key Laboratory for Strength and Vibration of Mechanical Structures,
School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

* Corresponding author, E-mail: xpwang@mail.xjtu.edu.cn

Abstract: For application of the axial vibration micro feeding technology to the quantitative dispensing of an implant control releasing drug micro system, an experimental apparatus based on the axial vibration method was set up. By using a glass capillary hopper and a conical plastic-tip as the dispensing tubes, the vibration amplitude between both dispensing tubes was researched and the influences of quantitative dispensing control parameters on the starting vibration amplitude, powder flow rate and the powder flow stability were discussed. The results show that the conical plastic-tip is a better dispensing tube with stable dispensing and good resistance to plugging. The higher the frequency, the lower the starting vibration amplitude needed to achieve desired starting feeding. At a constant excitation frequency, the flowing powder in the tube increases with the flow rate first, and then decreases to a stable value, meanwhile being a full flow state. Under both conditions with the excitation frequencies of 50 Hz, 150 Hz and the amplitude between 200—300 μm and 35—50 μm , the maximum and stable powder flow rate can be obtained. It concludes that the axial vibration micro feeding technology

收稿日期:2013-12-11;修订日期:2014-02-03.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 50705074);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目

can achieve stable, accurate dispensing of the drug powder.

Key words: drug powder; quantitative dispensing; flow rate; vibration frequency

1 引言

植入式可降解缓释给药系统是一种新型缓释控释给药系统^[1-3],可有效弥补传统给药方式的不足,具有良好的应用前景。给药系统工作时,要将微量药物粉体定量填入给药载体约为 75 μl 的微小腔体中,因此需要相应的配粉技术以满足多种药物粉体的定量填充。目前还未见国内外针对微量药物粉体定量配粉技术的相应报道,现有的微量粉体配粉技术主要用于三维实体自由成型、功能梯度材料、微小零部件快速成型等,这些均是针对金属粉体进行配粉,不适用于非金属粉体的配粉^[4-5]。常见的金属配粉方法有静电配粉技术与静电沉积技术^[6]、毛细漏斗管的振动激励法^[7]、毛细漏斗管的超声行波法^[8-9]等。

针对微量药物粉体定量配给,本研究小组提出了一种轴向激振配粉技术,并通过前期试验初步证明了该技术方案的可性。该技术在正弦振动激励下,配粉管中所有粉体颗粒在下降过程中伴随着微幅的振动,同时粉体呈现逐层顺次下落;微幅的振动使得管中粉体间摩擦力由静态时的静摩擦力变成了动摩擦力,粉体颗粒的微幅振动使粉拱很难形成,抗堵性能提高。该技术中影响微量粉体定量配粉的主要因素有配粉管的顶角及端口内径、振动频率、振动幅值、粉体特性、粉体粒径大小及分布等参数。为了确定该配粉技术的合理参数,本文搭建了轴向振动配粉技术实验台,对比研究了毛细玻璃漏斗和圆锥状塑料吸头作为配粉管的配粉效果,并对该配粉技术中定量配粉控制参数对配粉的影响及配粉稳定性进行了实验研究。

2 实验台及配粉步骤

2.1 轴向振动配粉实验台组成

轴向振动配粉实验台主要由激振器控制电源、激振器、配粉管、连接件、多普勒激光测振仪、电子分析天平等组成,多普勒激光测振仪可测试并采集

激振器的激振幅值,电子分析天平可用来称量微量粉体的质量,实验系统如图 1 所示。

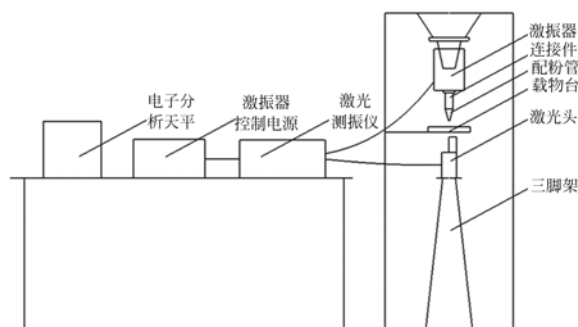


图 1 轴向振动配粉实验系统简图

Fig. 1 Experimental system diagram of axial vibration feeding

2.2 轴向振动配粉步骤

(1)对药物粉体进行碾磨和筛分,然后分类保存,对喷管进行干燥;

(2)打开激光测振仪的控制器进行预热,在激振器可动端贴上反射膜,调节激光头位置及焦距来获得较好的激光反射强度;

(3)向配粉管填装粉体,调节激振器驱动电源,进行参数调节,观察粉体喷管口粉体的流动状态,取相应状态的一段时间流出粉体;

(4)记录相关振动参数,采用电子分析天平测量微量粉体的质量;

(5)将激振器控制电源幅值调节到最小,关闭驱动电源,并对相关数据进行整理分析。

2.3 实验材料

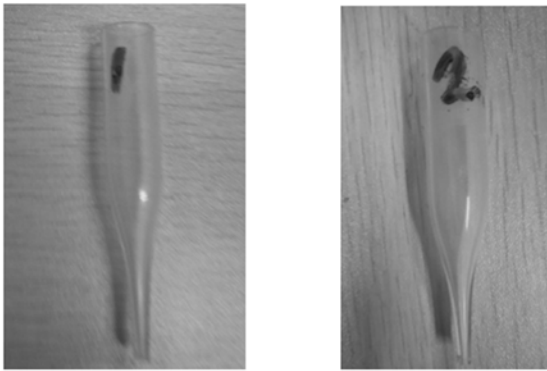
配粉管为市场上购买的拉制毛细玻璃漏斗和呈标准锥状的塑料吸头,药粉选用粒径为 50~75 μm 的五氟尿嘧啶。

3 配粉管对比分析

3.1 毛细玻璃漏斗配粉管

基于振动法的微量粉体定量配粉研究中多采用拉制的毛细玻璃漏斗作为配粉管^[10],本文采用两种拉制的玻璃漏斗,如图 2 所示。

表 1 所示为两种配粉管在粉体可以稳定出粉振动频率下测得的幅值区间。

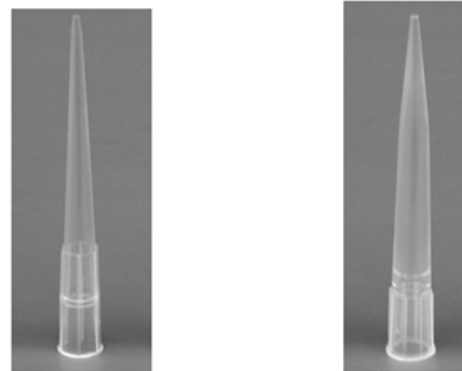


(a)管 1

(b)管 2

(a)Hopper 1

(b)Hopper 2

图 2 毛细玻璃吸头照片(出粉口径为 600 μm)Fig. 2 Glass capillary hopper photos(Diameter of 600 μm)

(a)吸头 1

(b)吸头 2

(a)Hopper 1

(b)Hopper 2

图 3 圆锥状塑料吸头(出粉口径为 600 μm)Fig. 3 Conical plastic hopper photos(Diameter of 600 μm)

表 1 毛细玻璃漏斗粉体稳定流出幅值区间

Tab. 1 Steadily flow amplitudes ranges of glass hoppers

频率/Hz	粉体稳定流动的幅值区间/ μm	
	毛细玻璃漏斗 1	毛细玻璃漏斗 2
30	560~740	无
40	360~510	300~900
50	260~310	180~480
60	210~260	140~230
70	110~150	130~210
80	60~90	80~140

由表 1 可知,激振频率为 40~80 Hz 时,该配粉技术可实现微量粉体的定量配给,但不同毛细玻璃漏斗得到的流量不稳定,在同一频率下的流量变化也较大,给后期研究带来不便。造成这种情况的原因有两个:一是毛细玻璃漏斗的拉制工艺难以保证不同批次玻璃漏斗内部流道规格的统一,会造成不同毛细玻璃漏斗得到的流量不稳定;二是玻璃漏斗内部流道尺寸有变化,容易出现粉体的堵塞。

3.2 采用圆锥状塑料吸头作为配粉管

工程实际中常采用具有一定倾斜度的斜面或圆锥状结构来进行粉体输送^[10],塑料吸头呈规则的圆锥状,采用其作为配粉管,来验证圆锥形流道是否可用于粉体微量控制。实验使用的圆锥状塑料吸头如图 3 所示。

表 2 所示为采用两种出粉口径为 600 μm 圆锥状塑料吸头作为配粉管,在可以粉体稳定出粉振动频率下测得的幅值区间。

由表 2 中可知:在激振频率为 30~210 Hz

时,2 种圆锥状塑料吸头都可以实现配粉且出粉比较稳定;随振动频率增大,粉体稳定流动幅值区间逐渐缩小;相比于毛细玻璃漏斗,圆锥状塑料吸头作为配粉管的配粉频率更广,这就拓宽了振动源的选择范围,除了可选常规激振器作为振动源,也可应用小幅值的压电激振器或单个压电片作为激振源;实验发现圆锥状塑料吸头配粉过程不容

表 2 塑料吸头粉体稳定流出幅值区间

Tab. 2 Steadily flow amplitude ranges of plastic hoppers

频率/Hz	粉体稳定流动的幅值区间/ μm	
	吸头 1	吸头 2
30	510~750	580~1 000
40	270~450	290~460
50	170~360	180~360
60	105~190	150~240
70	85~170	120~180
80	70~150	80~120
90	60~150	70~110
100	50~100	65~100
110	45~80	55~90
120	38~70	60~80
130	30~65	55~75
140	28~58	50~70
150	26~50	50~60
160	26~56	45~60
170	24~48	35~50
180	22~50	30~40
190	21~42	35~50
200	20~37	25~45
210	20~35	20~40

易发生堵塞,因此该类吸头更适合作为轴向振动配粉技术的配粉管。

4 轴向振动配粉参数分析

4.1 振动频率对稳定出粉起始幅值的影响

为了研究轴向振动配粉技术中振动频率对稳定出粉起始幅值的影响,以毛细玻璃漏斗和圆锥状塑料吸头作为配粉管,研究振动频率对稳定出粉起始幅值的变化规律。图 4、5 分别为两种配粉管稳定出粉的起始幅值-频率曲线,从图中可以看出,粉体出粉难易程度与振动频率呈反比。随着频率增大,稳定出粉的起始幅值逐渐降低,说明振动频率越大,实现配粉需要的激振幅度越小。对比图 4 与图 5,毛细玻璃漏斗稳定出粉的起始幅值对频率变化基本为线性关系,而圆锥状塑料吸头稳定出粉的起始幅值对频率变化呈非线性,

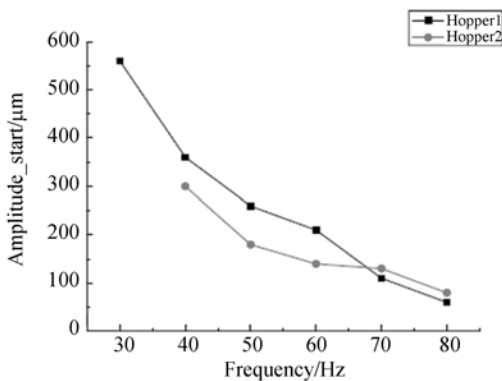


图 4 毛细玻璃漏斗稳定出粉的起始幅值-频率曲线
Fig. 4 Stable feeding initial amplitude-frequency curves of glass hopper

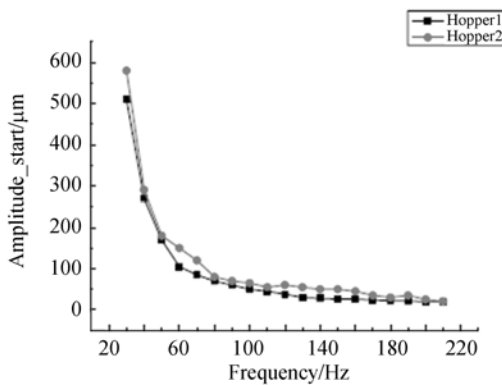
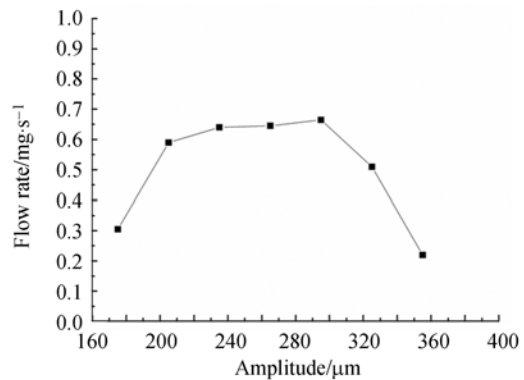


图 5 塑料吸头稳定出粉的起始幅值-频率曲线
Fig. 5 Stable feeding initial amplitude-frequency curves of plastic hopper

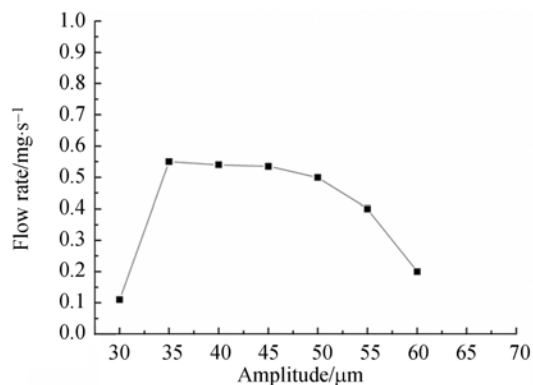
在振动频率 60 Hz 之前稳定出粉的起始幅值随频率增加而快速下降,60 Hz 之后随频率增加而变化不大。

4.2 振动幅值对出粉流量的影响

轴向振动配粉技术中振动幅值对粉体出粉的影响也较大。本文对口径为 600 μm 圆锥状塑料吸头在 50 和 150 Hz 下粉体稳定出粉流量随振动幅值的变化规律进行研究。如图 6 所示,两种固定频率下振动幅值对出粉流量影响的规律相似:稳定出粉的起始振动幅值具有较小的稳定出粉流量;当振幅继续增大时,出粉流量增大并达到一个较稳定的流量值,此时管中粉体处于充分流动状态;随着振幅继续增大,出粉流量逐渐减小。由实验可知,此时管中粉体的振动相对于充分流动状



(a) 50 Hz 振动频率下幅值-流量图
(a) Powder flow rate curve with vibration amplitude at 50 Hz



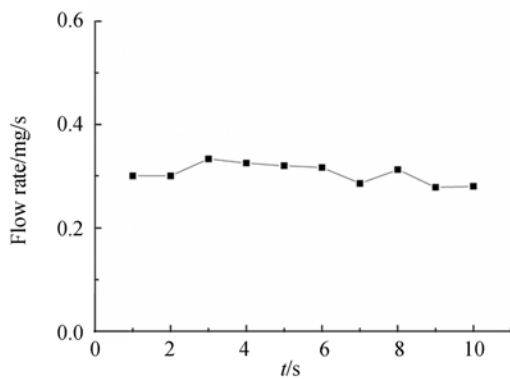
(b) 150 Hz 振动频率下幅值-流量图
(b) Powder flow rate curve with vibration amplitude at 150 Hz

图 6 粉体出粉流量随振动幅值的变化曲线
Fig. 6 Powder flow rate curves with the vibration amplitudes

态更加剧烈,剧烈振动使得粉体下落明显延迟,粉体流量随振幅进一步增大而减小。在激振频率为 50 Hz 时,振幅在 200~300 μm 可以得到最大出粉流量,且在此幅值区间出粉流量不随振幅变化而改变;在激振频率为 150 Hz 时,振幅在 35~50 μm 可以得到最大且不随振幅改变的出粉流量。

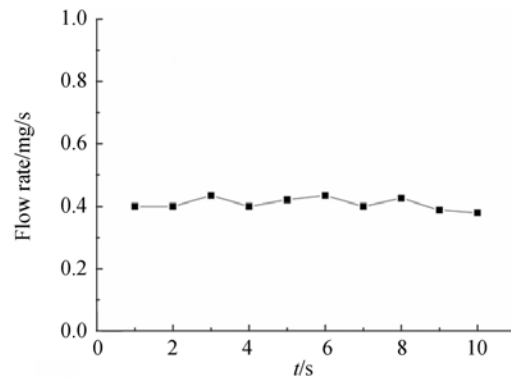
4.3 出粉流量的稳定性

在确定了振动参数及配粉管形状尺寸后,配粉管的出粉流量稳定性对微量粉体定量配给起到决定性作用。对口径为 600 μm 圆锥状塑料吸头在振动频率为 50 Hz、振动幅值为 200 μm 时,振动频率为 150 Hz、振动幅值为 50 μm 时的出粉流量的稳定性进行了研究。分别取其 1~10 s 内的 10 个出粉总量数据,通过计算求得相应的流量数据,得出粉体平均流量受时长的影响,如图 7 所示。可以看出粉体平均流量虽有小幅波动,但几乎不受时长影响,因此轴向振动配粉技术能够获得稳定的配粉流量。



(a) 振动频率 50 Hz、振动幅值 200 μm

(a) 50 Hz, 200 μm vibration amplitude



(b) 振动频率 150 Hz、振动幅值 50 μm

(b) 150 Hz, 50 μm vibration amplitude

图 7 粉体平均流量随时间变化曲线

Fig. 7 Powder average flow versus time

5 结 论

本文搭建了轴向振动配粉技术研究的实验台,分别采用手工拉制的玻璃漏斗和圆锥状塑料吸头作为配粉管,对影响粉体出粉流量的定量控制参数振动频率和振动幅值对粉体出粉的影响及配粉稳定性进行实验研究,得出以下结论:

(1)圆锥状塑料吸头因其抗堵性能好、配粉稳定更适合作为轴向振动配粉技术的配粉管;

(2)粉体出粉难易程度与振动频率成反比,振动频率越大,实现配粉需要的起始激振幅度越小;

(3)在固定激振频率下,稳定出粉的起始振动幅值具有较小的稳定出粉流量;

(4)在激振频率为 50 Hz 时,振幅在 200~300 μm 可以得到最大且不随振幅改变的稳定出粉流量;在激振频率为 150 Hz 时,振幅在 35~50 μm 也可以得到最大且不随振幅改变的稳定出粉流量。

本文的研究表明轴向振动配粉技术可以实现微量粉体稳定、精确的配给,研究结果为该配粉技术的应用奠定了基础。

参考文献:

- [1] WANG X P, CHEN T N, YANG Z X. Study on structural optimum design of implantable drug delivery micro-system [J]. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2007, 15(1): 47-56.
- [2] 王小鹏, 陈天宁, 杨战孝, 等. 植入式 PLGA 给药系

统释药仿真模型研究[J]. *系统仿真学报*, 2007, 19(12): 2816-2822.

WANG X P, CHEN T N, YANG ZH X, et al.. Modeling and simulation of drug release from implantable PLGA drug delivery system [J]. *Journal of System Simulation*, 2007, 19(12): 2816-2822. (in Chinese)

- [3] 王小鹏,刘志华,陈天宁.透明材料微小器件键合质量检测系统设计[J].光学精密工程,2013,21(1):69-76.
WANG X P, LIU ZH H, CHEN T N. Design of bonding quality testing system of micro device made by transparent material[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(1):69-76. (in Chinese)
- [4] YANG S, EVANS J. Metering and dispensing of powder; the quest for new solid freeforming techniques [J]. *Powder Technology*, 2007, 178 (1): 56-72.
- [5] 侯丽雅,王振琪,章维一,等.金属微粉体脉冲输送的微特性实验[J].光学精密工程,2011,19(5):1030-1038.
HOU L Y, WANG ZH Q, ZHANG W Y, *et al.*. Experiments of micro characteristics of pulse-transfer for micro metallic powders [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(1):69-76. (in Chinese)
- [6] KUMAR AV, ZHANG H. Electro photographic powder deposition for freeform fabrication [J]. *Solid Freeform Fabrication Proceedings, Austin, Texas*, 1999: 647-653.
- [7] LU X, YANG S, EVANS J R. Microfeeding with different ultrasonic nozzle designs [J]. *Ultrasonics*, 2009, 49 (6): 514-521.
- [8] GENG X, HOU L Y, ZHANG W Y. Implementation of the powder dispensing of digitization[C]. *IEEE*, 2010: 1169-1175.
- [9] 张贵林,郭浩,赵淳生.超声波粉体输送装置输送能力的实验研究[J].压电与声光,2002,(6):489-491,505.
ZHANG G L, GUO H, ZHAO CH SH. Experimental study on the feeding ability of ultrasonic powder-feeding device [J]. *Piezoelectric & Acoustooptics*, 2002, (6): 489-491, 505. (in Chinese)
- [11] YANG Y, LI X. Experimental and analytical study of ultrasonic micro powder feeding [J]. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2003, 36 (11): 1349.
- [10] 盖国胜.粉体工程[M].北京:清华大学出版社,2009.
GAI G S. *Powder Engineering* [M]. Beijing: Qinghua University Press, 2009. (in Chinese)

作者简介:



王小鹏(1972—),男,山东单县人,博士,副教授,硕士生导师,1996年于西安交通大学获得学士学位,主要从事生物微纳器件设计与制备,结构动力学研究。Email: xpwang@mail.xjtu.edu.cn



陈天宁(1956—),男,浙江宁波人,教授,博士生导师,1982年于西安交通大学获得学士学位,主要从事振动与噪声控制和机械动力学方面的研究。E-mail: tnchen@mail.xjtu.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)