

# 静脉用药安全供送装置研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2024.04.002

曾台英 许增刚  
管朝元 蔡锦达

上海理工大学  
出版学院  
上海 200093

**摘要:** 基于静脉用药智慧药房的工作要求,设计了一套静脉用药安全供送装置,并以典型静脉用药安瓿瓶为研究对象,在安全供送要求和理论上进行分析,确定一种被动的输送带供送方式,并给出药剂安全供送判断的表征参数和安全供送装置机械结构设计。通过建立药剂连续供送的动力学模型,得到的研究表明:规格最大的药剂瓶在相互接触作用中形变量最大,安全系数最低;药剂瓶的径高比越大且越接近球形时,其形变量随着速度的增加其变化越小,安全系数下降越慢。因此,不同规格的药剂瓶可根据实际工作情况分层供送,所设计的供送装置在速度低于 5.5 m/min 时,相当最大规格药剂出药速度约为 250 瓶/min,可安全供送;且该装置可进一步应用在物料供送和分拣组合包装生产线中。

**关键词:** 静脉用药; 供送装置; 安全系数; 形变量

**中图分类号:** TB486; TP273

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2024)04-0007-09

**引文格式:** 曾台英,许增刚,管朝元,等. 静脉用药安全供送装置研究[J]. 包装学报, 2024, 16(4): 7-15.

## 1 研究背景

据统计,我国 80%~90% 的患者采用静脉输注的治疗方式,且患者的静脉药物占有所有药物的 70% 以上<sup>[1-2]</sup>。为减少医务人员在静脉用药分拣、调配时的工作量,在 20 世纪 80 年代,国内外就开始了自动化药房的研究<sup>[3]</sup>,并研发出了很多与我国医院药房相匹配的自动发药设备。

H. K. Ahtiainen 等<sup>[4]</sup>系统评价了医院自动化和半自动化药品配送系统在用药安全、用药时间和用药费用方面的有效性。E. Fox 等<sup>[5]</sup>调查研究了澳大利亚医院自动配药柜和库存机器人在药物分配中的影响,在机器人不停机的情况下,药物供应的总时间从

73.08 min 缩短到 68.59 min。M. F. M. Mazlan 等<sup>[6]</sup>基于文献报道的自动化配药机的性能评估,得出自动化配药机的实施对于社区医疗保健的高质量保证是必要的。M. H. Ellithy 等<sup>[7]</sup>利用失效模式与效应分析方法检测和纠正药房工作流程中的潜在问题。

刘相权等<sup>[8]</sup>设计了门诊药房的自动上药装置、自动取药装置与自动分拣装置控制系统。李志英等<sup>[9]</sup>通过对现有储药柜的现状与诉求的分析,进一步提出储药柜的功能分区、智能化和情感化设计优化策略。蔡晓倩等<sup>[10]</sup>通过整合新零售和“互联网+”系统设计的理念,进行了一款智能医用柜产品的运营模式、形态、人机交互、APP 界面及结构等方面的优化创新设计。陈嘉茂等<sup>[11]</sup>对自动化药房建设的需

收稿日期: 2024-01-18

基金项目: 高水平大学学科建设医工交叉创新项目(10-22-309-501)

作者简介: 曾台英(1978-),女,浙江台州人,上海理工大学讲师,博士,硕士生导师,主要从事包装设计和包装运输动力学研究, E-mail: zty3160@126.com

求进行分析,设计了一种发药及配送一体化的智慧药房配发系统。王志翔等<sup>[12]</sup>在分析了目前国内智慧药房自动化设备运行中存在的上药机械手对不同尺寸药盒适应范围小和对高就诊率的药盒补充需求不足等问题后,设计了一种带有限位机构的送药装置,并采用了双送药装置的自动化上药机械手系统。

以上文献特别是国内研究基本上是关于盒装药品自动化配送,而鲜有对瓶装静脉用药药品自动化配送的研究,其主要原因是瓶装药剂易破碎、材质质量不统一、规格尺寸种类较多。针对现有情况及应用需求,本文在分析静脉用药安全配送要求的基础上,设计了一套瓶装用药安全配送装置,可在静脉用药自动流水线上使用。

## 2 静脉用药安全配送理论分析

### 2.1 静脉用药智慧药房工作要求

门诊药房的组成主要是由上药系统、密集存储系统、自动出药系统、自动分拣系统和数据管理系统等组成,可实现自动上药、储药、出药功能,如图1所示<sup>[8]</sup>。

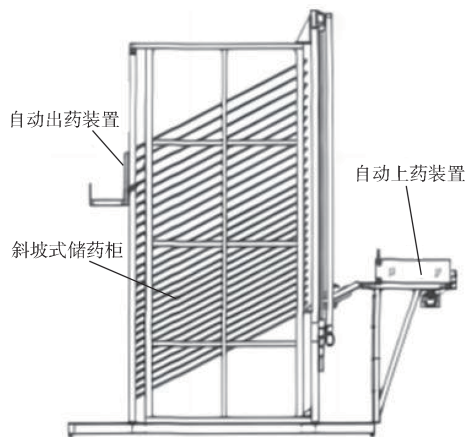


图1 门诊自动化药房示意图

Fig. 1 Schematic diagram of outpatient automated pharmacy

静脉用药智慧药房的组成与门诊药房基本一致,主要区别在于供药包装形式不同,从而在结构设计上提出不同的要求。区别于门诊药品以盒装药为主,静脉用药按支、瓶配置,常见形式为西林瓶和安瓿瓶。在静脉用药流水线中,一般是将药盒拆除,仅留下药剂放入规定药篮中,以方便工作人员在配药前取药。

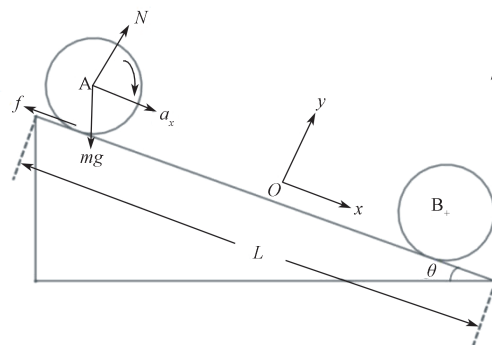
由于西林瓶和安瓿瓶一般为硼硅玻璃材质<sup>[13]</sup>,配送过程容易破损;同时玻璃为透明材质,其对药品

信息的读取、药剂的数量统计会造成一定困难。对于静脉用药智慧药房的设计,要着重解决药剂安全配送和可靠有效地计数问题。其中安全配送既包括配送过程药剂完好不破碎,又包括配送过程药剂姿态的保持。

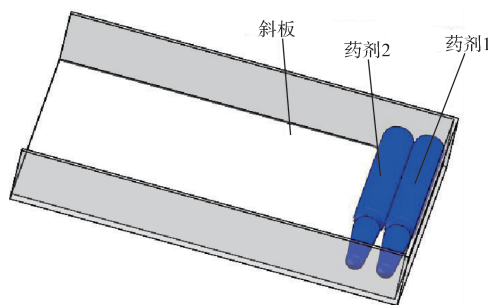
### 2.2 配送过程理论分析

静脉用药瓶装药剂主体一般为圆柱状,配送过程存在药剂瓶接触碰撞情况。因药剂瓶上下接触面不规则,相对来说圆柱面接触更加安全,基于此对药剂瓶按圆柱体的滚动配送进行运动分析。

根据理论力学,药剂瓶与输送装置表面之间存在摩擦,可以通过斜板装置分析药剂瓶的受力运动情况。现以典型静脉用药安瓿瓶作为分析对象,半径为 $r$ 的药剂静置在倾斜角为 $\theta$ 、长为 $L$ 的斜板上,由斜板一端下滚到另一端挡板处与前一支药剂接触。药剂斜板运动受力分析及三维模型见图2。



a) 力学分析图



b) 主动配送模型

图2 药剂斜板运动受力分析及三维模型

Fig. 2 Dynamic analysis and three-dimensional model of pharmaceutical slant plate

药剂在重力、支承力、摩擦力的作用下沿斜面发生滚动,药剂的运动方程<sup>[13-17]</sup>如下:

$$fr = J\beta, \quad (1)$$

$$a_x = \beta r, \quad (2)$$

$$mg \sin \theta - f = ma_x, \quad (3)$$



$$J = \frac{1}{2}mr^2。 \quad (4)$$

式(1)~(4)中:

$f$ 为斜板对药剂A的静摩擦力;

$J$ 为药剂A对几何轴的转动惯量;

$\beta$ 为药剂A的角加速度;

$m$ 为药剂A的质量;

$N$ 为斜面对药剂A的支承力, 且  $N=mg\cos\theta$ ;

$a_x$ 为药剂A质心在 $x$ 方向的加速度。

由式(1)~(4)解得

$$f = \frac{1}{3}mg\sin\theta。 \quad (5)$$

再由

$$f = \mu N = \mu mg\cos\theta \quad (6)$$

可解得

$$3\mu = \tan\theta, \quad (7)$$

$$a_x = \frac{2}{3}g\sin\theta。 \quad (8)$$

根据式(7)可知, 当  $\theta < \arctan 3\mu$  时药剂瓶可在斜板上作纯滚动。由文献[18]知摩擦系数  $\mu=0.86$ , 所以当斜板的倾斜角  $\theta$  小于  $68.8^\circ$  时, 药剂在斜板上作纯滚动。若设置斜板长度  $L=0.3\text{ m}$ , 根据公式(8)可推导出药剂A在斜板上滚动的的时间以及与药剂B碰撞前的速度。

如图2b所示, 药剂不需借助任何外动力, 仅通过传送结构依靠重力获得向前运动的状态, 这种输送的方式本文称为主动供送。在实际应用中, 常见于门诊的智能化药房。

采用主动供送的方式时, 由于斜板材质不同其摩擦系数不同, 需要通过调整斜板倾斜角  $\theta$ , 以获得合适的供送速度。在供送过程中, 由于药剂形状不规则, 且药剂滚落时随着药水波动其重心位置也会发生改变, 可能会导致其姿态改变, 而无法实现稳定的供送或影响后续功能的实现, 如图3所示。

为避免主动供送出现的种种问题, 将斜板调整至水平姿态, 采用外动力输送带实现药剂向前运动的方式, 这种输送的方式本文称为被动供送。

如图4所示为一种输送带式的被动供送方式。药剂2在放置的瞬间受滚动摩擦和滑动摩擦作用, 经过一段距离运动后与输送带速度保持一致; 在与药剂1碰撞前, 药剂1在拨片阻挡作用下保持旋转, 因此药

剂2与药剂1接触时速度与带速保持一致。

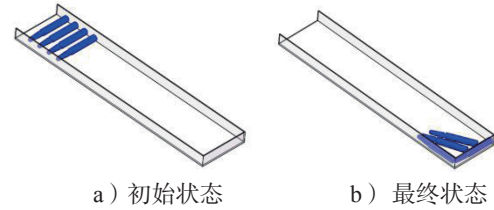
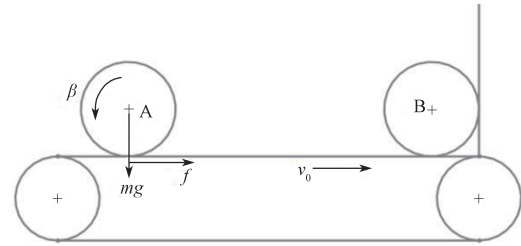
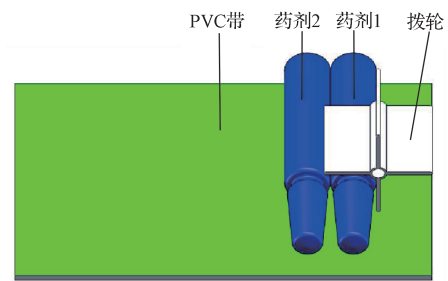


图3 主动供送药剂姿态改变情况

Fig. 3 Active delivery of agent attitude change



a) 力学分析图



b) 被动供送模型

图4 被动供送受力分析及三维模型

Fig. 4 Force analysis and three-dimensional model of passive supply

在供送分析时以输送带为参考对象, 假设碰撞时间  $t$  一致, 碰撞时同种药剂在不同位置相对输送带的速度不同。根据动量定理

$$Ft = mv \quad (9)$$

可知, 不同位置的药剂具有不同的安全系数和变形量。

### 2.3 安全供送表征参数

由于玻璃不同于塑性材料, 不能通过应力判断玻璃破碎情况, 应该从药剂的变形量和安全系数判断破碎情况<sup>[19]</sup>。当药剂受外力作用时会产生体积变化或者形状改变, 通过药剂型变的大小和方向可知药剂的受力情况。对于药剂瓶这种脆性材料, 其屈服点不像塑性材料容易定义, 因此脆性材料的安全系数极限基于极限应力。当选择不同的工况时, 得到的安全系数越大, 说明药剂越安全。一般脆性材料的安全系数取  $2.0 \sim 3.5$ <sup>[20]</sup>, 因此当安全系数低于  $3.5$  时, 药剂可能发生破碎现象。

### 3 安全供送装置结构设计及实现

#### 3.1 总体结构

根据上述运动分析,设计如图5所示的输送带式静脉用药供送装置的整体结构。整个装置由上药装置、储药及出药装置、输送装置组成,通过输送带到输送带的方式自动实现静脉用药的补充、存储、取药及输送的动作。

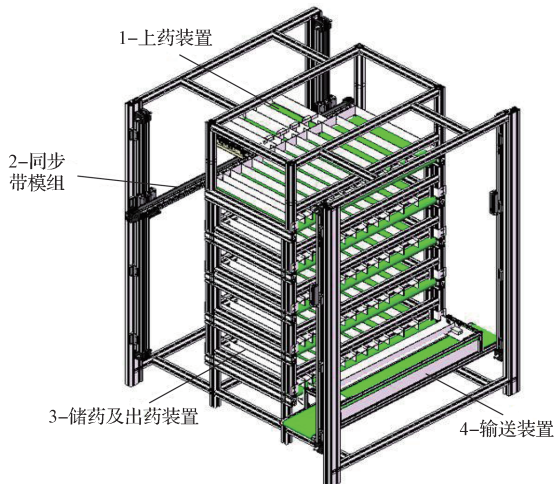


图5 静脉用药供送装置整体结构

Fig. 5 Overall structure of intravenous drug delivery device

#### 3.2 出药装置

在图5中,从上药装置1到储药装置3,再到输送装置4,都有一个关键的自动出药结构——出药装置。其中储药装置到输送装置的出药装置如图6所示,包括输送带、电磁铁、拨轮和弹片。取药时,电磁铁接受到取药的信息指令并产生动作,电磁铁通过推杆推动拨轮的拨片,使拨片越过弹片,然后药剂随着输送带运动使拨轮发生旋转,拨出一片药剂(图6b)。不取药时,弹片阻挡拨轮旋转。出药装置通过电磁铁动作及拨轮旋转记录取药,并反馈到后端库存信息系统,使其及时更新数据,实现可靠计数。

#### 3.3 工作过程

本研究所设计的供送装置主要有两个运动过程:上药和取药。上药时,由工作人员将待补药剂放入上药装置1的药槽中,再由同步带模组2移动到储药装置3对应的药槽,此时该药槽前端挡板打开,并将药剂转运到储药装置的药槽中,完成补药。取药时,输送装置4通过同步带模组2移动到指定药层,出药装置将该药槽的药剂取出,并转运到输送装置4中;然后输送装置重复此过程,直至取完药单的药剂;

最后移动至底层,并由输送带将药剂转运到药篮中,完成取药。为了保证供药过程的连续性,系统设置通道药剂剩5瓶时,警示补充药剂。

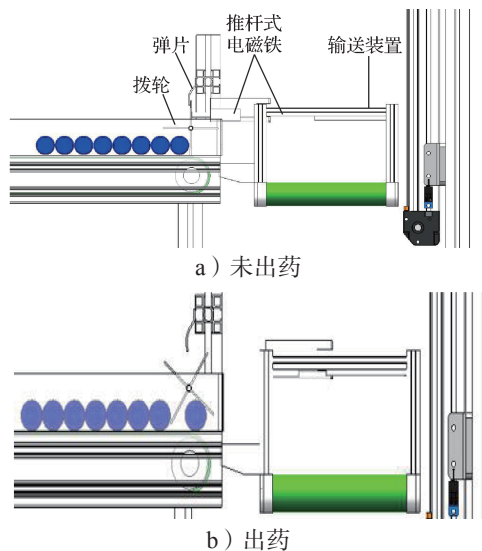


图6 自动出药装置

Fig. 6 Automatic dispensing device

### 4 安全供送仿真分析

针对上述被动输送带式的供送进行药剂瓶碰撞分析,通过药剂瓶供送时产生的形变量和安全系数,确定其供送的安全速度。根据实际工作情况,同一药槽中放置同种规格药剂,当药槽中剩余5支药剂时,提示补药,其排序如图7所示,分析不同规格药剂安全供送的速度范围。

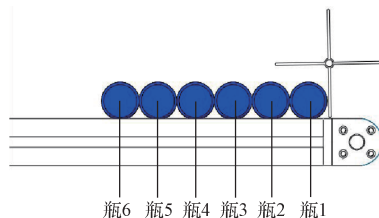


图7 药剂排序

Fig. 7 Sorting of potions

利用SolidWorks建立药剂供送时的三维模型,如图8所示。根据药剂的运动情况选择Ansys Workbench的Transient Structural模块进行仿真分析:将模型导入;设置材料参数如表1<sup>[19, 21-22]</sup>所示;设置药剂瓶与PVC输送带之间以及药剂与药剂之间的动摩擦系数,分别为0.86和0.70<sup>[23]</sup>。设置PVC输送带为固定,瓶6速度为0~20 m/min,沿x轴正向;设置Step End Time为0.000 01 s, Initial Time Step为0.000 02 s, Minimum Time Step为0.00002s, Maximum Time Step

为 0.000 1 s。设置 Stress Limit 为 61.74 MPa<sup>[21, 24]</sup>，其中仿真系统的安全系数最大值为 15<sup>[22]</sup>。输送带的速度取 0~20 m/min，药剂规格分别取 1, 2, 5, 10, 20 mL，其对应的尺寸标准如表 2 所示。

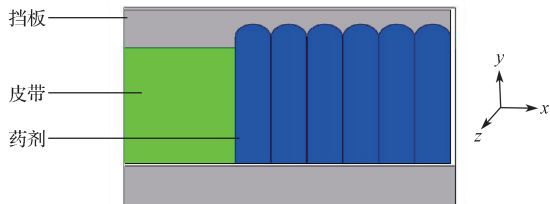


图 8 药剂供送时的三维模型

Fig. 8 3D model of the delivery of the drug

表 1 材料参数

Table 1 Material parameters

| 材 质     | 密度 /<br>(kg·m <sup>-3</sup> ) | 弹性模量 /<br>Pa            | 泊松比  | 机械强度 /<br>Pa           |
|---------|-------------------------------|-------------------------|------|------------------------|
| 玻璃（药剂）  | 2500                          | 6.17 × 10 <sup>10</sup> | 0.20 | 6.17 × 10 <sup>7</sup> |
| PVC（皮带） | 1350                          | 3.14 × 10 <sup>9</sup>  | 0.38 | 6.00 × 10 <sup>7</sup> |
| 结构钢（挡板） | 7850                          | 2.00 × 10 <sup>11</sup> | 0.30 | 2.50 × 10 <sup>8</sup> |

表 3 瓶 5 形变量与安全系数

Table 3 Bottle 5-gauge and factor of safety

| 速度 /(m·min <sup>-1</sup> ) | 形变量 /mm 与安全系数 |              |              |              |              |
|----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                            | 1 mL          | 2 mL         | 5 mL         | 10 mL        | 20 mL        |
| 0                          | 0.0000/15.00  | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 |
| 1                          | 0.0000/15.00  | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0006/15.00 |
| ⋮                          |               |              | ⋮            |              |              |
| 11                         | 0.0128/6.91   | 0.0150/5.08  | 0.0140/2.78  | 0.0145/2.28  | 0.0156/2.47  |
| ⋮                          |               |              | ⋮            |              |              |
| 19                         | 0.0258/4.16   | 0.0275/2.68  | 0.0263/1.30  | 0.0276/1.25  | 0.0290/1.06  |
| 20                         | 0.0274/4.02   | 0.0290/2.53  | 0.0279/1.23  | 0.0292/1.11  | 0.0307/0.98  |

表 4 瓶 4 形变量与安全系数

Table 4 Bottle 4-gauge and factor of safety

| 速度 /(m·min <sup>-1</sup> ) | 形变量 /mm 与安全系数 |              |              |              |              |
|----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                            | 1 mL          | 2 mL         | 5 mL         | 10 mL        | 20 mL        |
| 0                          | 0.0000/15.00  | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 |
| 1                          | 0.0000/15.00  | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 |
| ⋮                          |               |              | ⋮            |              |              |
| 11                         | 0.0075/15.00  | 0.0100/6.30  | 0.0073/3.63  | 0.0145/3.82  | 0.0087/3.40  |
| ⋮                          |               |              | ⋮            |              |              |
| 19                         | 0.0176/4.32   | 0.0275/2.77  | 0.0158/1.54  | 0.0276/2.02  | 0.0163/1.83  |
| 20                         | 0.0191/4.13   | 0.0290/2.57  | 0.0169/1.45  | 0.0292/1.76  | 0.0173/1.73  |

表 2 安瓿瓶尺寸标准

Table 2 Ampoule size standard

| 规格 /mL | 瓶身直径 /mm    | 药剂高度 /mm | 径高比 /% |
|--------|-------------|----------|--------|
| 1      | 10.0 ± 0.26 | 60       | 16.67  |
| 2      | 11.5 ± 0.26 | 70       | 16.43  |
| 5      | 16.0 ± 0.30 | 87       | 18.39  |
| 10     | 18.4 ± 0.35 | 102      | 18.04  |
| 20     | 22.0 ± 0.35 | 126      | 17.46  |

仿真求解瓶 5 至瓶 1 在不同规格药剂不同速度时，x 轴方向的形变量及安全系数数据见表 3~7 和图 9。由表 3~7 可知：随着带速的升高，同种规格的药剂其形变量增大，安全系数则减小。处于瓶 5 位置的药剂形变量最大，安全系数最小，而瓶 4、瓶 3、瓶 2、瓶 1 位置的药剂安全系数依次增大。这是由于经前面位置药剂的碰撞后传递给下一位置药剂能量衰减，所以药瓶的形变量也相应减小，安全系数更高。

表 5 瓶 3 形变量与安全系数  
Table 5 Bottle 3-gauge and factor of safety

| 速度 / (m·min <sup>-1</sup> ) | 形变量 /mm 与安全系数 |              |              |              |              |
|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                             | 1 mL          | 2 mL         | 5 mL         | 10 mL        | 20 mL        |
| 0                           | 0.0000/15.00  | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 |
| 1                           | 0.0000/15.00  | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 |
| ⋮                           |               |              | ⋮            |              |              |
| 11                          | 0.0013/15.00  | 0.0063/8.24  | 0.0014/5.20  | 0.0036/9.09  | 0.0037/6.67  |
| ⋮                           |               |              | ⋮            |              |              |
| 19                          | 0.0120/5.50   | 0.0138/3.22  | 0.0066/2.19  | 0.0075/3.92  | 0.0084/3.01  |
| 20                          | 0.0132/4.95   | 0.0148/2.92  | 0.0073/2.07  | 0.0080/3.60  | 0.0089/2.84  |

表 6 瓶 2 形变量与安全系数  
Table 6 Bottle 2-gauge and factor of safety

| 速度 / (m·min <sup>-1</sup> ) | 形变量 /mm 与安全系数 |              |              |              |              |
|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                             | 1 mL          | 2 mL         | 5 mL         | 10 mL        | 20 mL        |
| 0                           | 0.0000/15.00  | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 |
| 1                           | 0.0000/15.00  | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 |
| ⋮                           |               |              | ⋮            |              |              |
| 11                          | 0.0000/15.00  | 0.0024/10.72 | 0.0000/15.00 | 0.0006/15.00 | 0.0014/10.88 |
| ⋮                           |               |              | ⋮            |              |              |
| 19                          | 0.0042/8.01   | 0.0087/4.93  | 0.0007/11.34 | 0.0028/7.66  | 0.0036/5.39  |
| 20                          | 0.0052/7.24   | 0.0095/4.76  | 0.0009/7.96  | 0.0030/7.12  | 0.0039/5.06  |

表 7 瓶 1 形变量与安全系数  
Table 7 Bottle 1-gauge and factor of safety

| 速度 / (m·min <sup>-1</sup> ) | 形变量 /mm 与安全系数 |              |              |              |              |
|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                             | 1 mL          | 2 mL         | 5 mL         | 10 mL        | 20 mL        |
| 0                           | 0.0000/15.00  | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 |
| 1                           | 0.0000/15.00  | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 |
| ⋮                           |               |              | ⋮            |              |              |
| 11                          | 0.0000/15.00  | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 | 0.0000/15.00 |
| ⋮                           |               |              | ⋮            |              |              |
| 19                          | 0.0000/15.00  | 0.0038/6.71  | 0.0000/15.00 | 0.0002/15.00 | 0.0008/12.85 |
| 20                          | 0.0000/15.00  | 0.0045/6.52  | 0.0000/15.00 | 0.0003/15.00 | 0.0009/11.36 |

由图 9 可知, 在相同位置, 同规格药剂的形变量随带速增加而变大。这与式 (9) 中质量  $m$  和撞击时间  $t$  一定的情况下, 撞击力  $F$  随撞击速度  $v$  的增加而变大的结论一致。在相同位置, 随带速的增加, 2 mL 规格药剂形变量变化最大, 而 5, 10 mL 的形变最小, 20 mL 的药剂次之。这与式 (9) 中在  $t$  和  $v$  一定时,  $F$  随  $m$  的变大而变大的推论相违背, 是因为径高比大的药剂其自身机械性能较好, 故随速度升高产生的形变量增长较为缓慢。综上, 虽然药瓶的径高比影响供送过程中发生的形变量, 但整体趋势随速度升高而形变量变大的结论仍与式 (9) 的推论一致。

经上述分析, 处在瓶 5 位置的药剂安全条件最差。因此安全供送药剂时, 要着重考虑其安全供药的速度。图 10 为安全系数与药剂供送速度的关系。由图可知, 20, 10, 5, 2, 1 mL 规格药剂在安全线处的速度分别为 5.5, 8.9, 9.7, 15.1, 23.7 m/min。基于此, 在储药装置设计时, 根据不同规格药剂分层设计供药速度, 从而实现安全高效供药。

通过分析不同规格药剂在不同速度下的安全系数, 给出最危险药剂 (如图 11 所示) 的安全供送控制图, 用户可根据实际工作情况, 设置相应参数, 以确保安全供送。



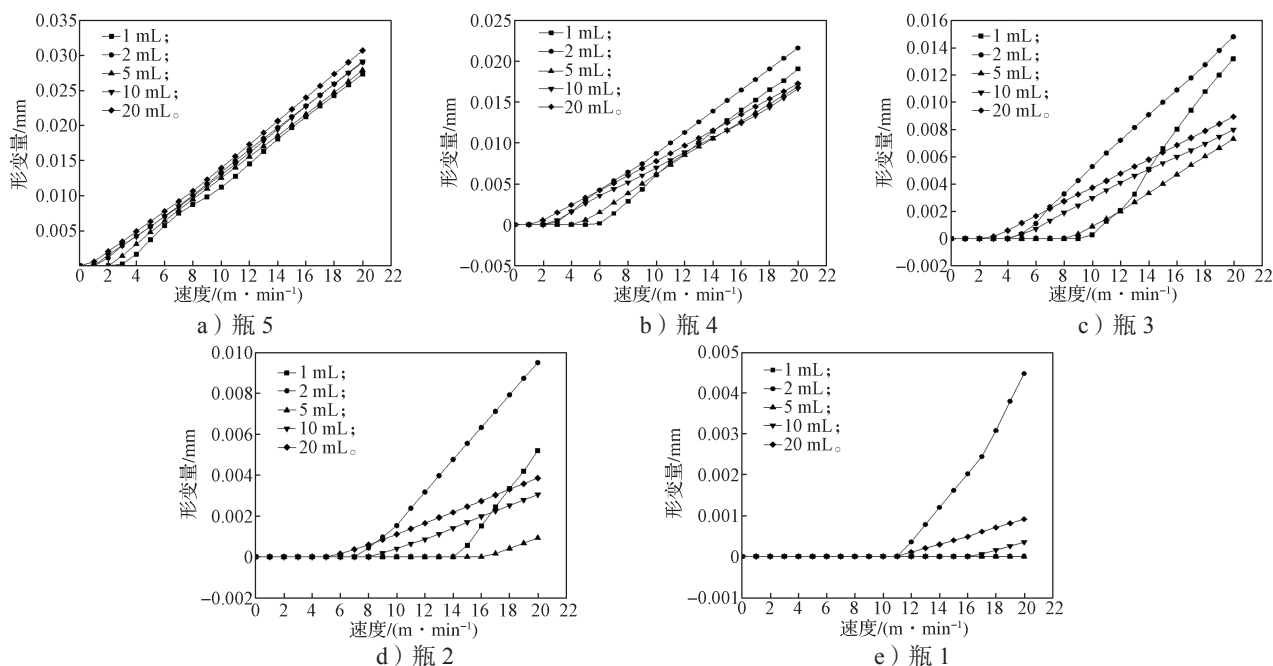


图9 不同位置不同规格药剂形变量与供送速度关系

Fig. 9 The relationship between the shape variables of different sizes of the different position and the speed of delivery

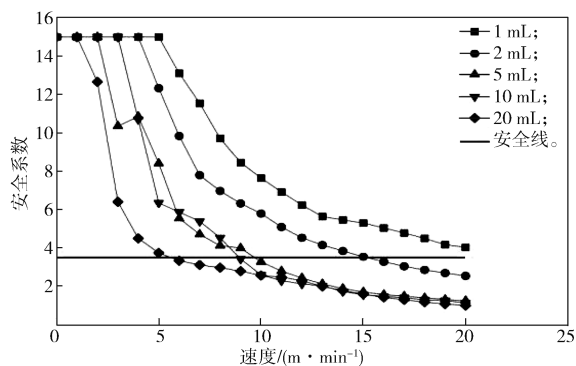


图10 药剂安全系数与供送速度的关系

Fig. 10 The relationship between drug safety factor and delivery speed

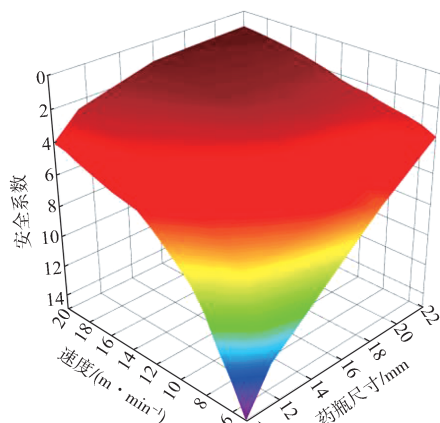


图11 药剂安全供送控制图

Fig. 11 Control chart for safe supply of chemicals

## 5 结语

本文设计了一套以输送带方式进行安全供送的装置。以易碎的安瓿瓶为研究对象,通过被动供送方式,对不同规格的药瓶在不同速度下的供送进行理论和仿真分析,可得如下结论:

1) 当储存药剂的数量和供送速度一定时,规格较大的安瓿瓶更易破碎。

2) 沿供送方向依次至内部位置的药剂,其形变量的变化趋势受药剂瓶径高比的影响。当径高比越大,随着速度增加形变量变化越小,安全系数下降越慢。

3) 当一层药柜中同时存储多种规格药剂时,供应速度应控制在 5.5 m/min 以下,这样既可以安全稳定供送,又可同时进行分拣。按药剂量最大的尺寸计算,此时每个药槽可按 250 瓶/min 的速度出药。当每层药槽仅有一种药剂时,可根据该规格药剂安全系数调节供送速度。

## 参考文献:

- [1] 乔乐天. 建立静脉药物调配中心提升临床医疗服务质量 [D]. 郑州: 郑州大学, 2017.  
QIAO Letian. Construction of Pharmacy Intravenous Admixture Service to Enhance Clinical Medical

- Services[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2017.
- [2] 吕红梅, 吴永佩. 我国静脉用药集中调配模式的创建与现状[J]. 中国药房, 2021, 32(6): 641-646.  
LÜ Hongmei, WU Yongpei. Construction and Situation of Centralized Intravenous Drug Dispensing Mode in China[J]. China Pharmacy, 2021, 32(6): 641-646.
- [3] 娄芳庭. 自动发药机结构设计及性能分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2022.  
LOU Fangting. Automatic Dispenser Structure Design and Performance Analysis[D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2022.
- [4] AHTIAINEN H K, KALLIO M M, AIRAKSINEN M, et al. Safety, Time and Cost Evaluation of Automated and Semi-Automated Drug Distribution Systems in Hospitals: a Systematic Review[J]. European Journal of Hospital Pharmacy, 2020, 27(5): 253-262.
- [5] FOX E, MISKO J, CHEAIB A, et al. An Evaluation of Automated Dispensing Cabinets and Inventory Robots for Centralised Distribution of Medication in an Australian Hospital[J]. Australian Health Review, 2021, 45: 597-600.
- [6] MAZLAN M F M, SALLEH S Z, KARIM M S, et al. Design and Development of Automated Dispensing Machine as Medical Device-Based Application: A Review[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2022, 236(18): 10033-10050.
- [7] ELLITHY M H, ALSAMANI O, SALAH H, et al. Challenges Experienced During Pharmacy Automation and Robotics Implementation in JCI Accredited Hospital in the Arabian Gulf Area: FMEA Analysis-Qualitative Approach[J]. Saudi Pharmaceutical Journal, 2023, 31(9): 101725.
- [8] 刘相权, 负超, 赵雪峰, 等. 药房自动化装置的设计与应用[J]. 机械设计, 2009, 26(7): 65-68.  
LIU Xiangquan, YUN Chao, ZHAO Xuefeng, et al. Design and Application on Automatization Device of Pharmacy[J]. Journal of Machine Design, 2009, 26(7): 65-68.
- [9] 李志英, 华慧娟. 以用户行为为中心的实验室储药柜设计探析[J]. 包装工程, 2017, 38(4): 227-230.  
LI Zhiying, HUA Huijuan. Research on Lab Medical Cabinet Design Action Based on User Behavior[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(4): 227-230.
- [10] 綦晓倩, 张倩, 薛水晶, 等. 新零售创新模式下智能医用柜设计[J]. 包装工程, 2019, 40(4): 52-58.  
QI Xiaolian, ZHANG Qian, XUE Shuijing, et al. Design of Intelligent Medical Cabinet Under the New Retail Innovation Mode[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(4): 52-58.
- [11] 陈嘉茂, 张敏, 叶承龙, 等. 基于单片机的“智慧药房”自动配发系统的研发[J]. 机电技术, 2021, 44(4): 20-23.  
CHEN Jiamao, ZHANG Min, YE Chenglong, et al. Research and Development of Automatic Dispensing System of “Smart Pharmacy” Based on Single Chip Microcomputer[J]. Mechanical & Electrical Technology, 2021, 44(4): 20-23.
- [12] 王志翔, 方素平, 蒋海涛. 智慧药房上药机械手系统送药装置的设计与研究[J]. 现代制造工程, 2020(2): 71-75.  
WANG Zhixiang, FANG Suping, JIANG Haitao. Research on Drug Delivery Device of Medical Manipulator in Intelligent Pharmacy[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2020(2): 71-75.
- [13] 郝桐生. 理论力学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2017: 91-93.  
HAO Tongsheng. Theoretical Mechanics[M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2017: 91-93.
- [14] 刘声富, 刘应开. 圆柱体的滚动摩擦系数的测量研究[J]. 大学物理实验, 2017, 30(2): 58-61.  
LIU Shengfu, LIU Yingkai. Measurement of the Rolling Friction Coefficient of the Cylinder[J]. Physical Experiment of College, 2017, 30(2): 58-61.
- [15] 解志杰, 张传伟, 薛其河, 等. 行星滚柱丝杠动态摩擦力矩和传动效率分析[J]. 摩擦学学报, 2019, 39(4): 489-496.  
XIE Zhijie, ZHANG Chuanwei, XUE Qihe, et al. Analysis of Dynamic Friction Torque and Transmission Efficiency of Planetary Roller Screw[J]. Tribology, 2019, 39(4): 489-496.
- [16] 濮建荣. 行星滚柱丝杠副接触、摩擦与工作特性的理论与试验研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2015.  
PU Jianrong. Theoretical and Experimental Study on Contact, Friction and Working Characteristics of Planetary Roller Screw Pair[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2015.
- [17] 黄绪宏, 闫维明, 许维炳, 等. 滚动碰撞式调制质量阻尼器力学模型及参数分析[J]. 振动与冲击, 2021, 40(8): 179-186.  
HUANG Xuhong, YAN Weiming, XU Weibing, et al. A Mechanical Model and Parameter Analysis of a Pounding Tuned Rotary Mass Damper[J]. Journal of Vibration and Shock, 2021, 40(8): 179-186.
- [18] 汪文杰. 防滑橡胶复合材料的制备与性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.

- WANG Wenjie. Studies on Preparation and Properties of Non-Slip Rubber Composites[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.
- [19] 田英良, 孙诗兵. 新编玻璃工艺学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 86-88, 109-112.
- TIAN Yingliang, SUN Shibing. Newly Edited Glass Technology[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009: 86-88, 109-112.
- [20] 刘鸿文, 吕荣坤. 材料力学实验 [M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2017: 33-34.
- LIU Hongwen, LÜ Rongkun. Material Mechanics Experiment[M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2017: 33-34.
- [21] 西北轻工业学院. 玻璃工艺学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 88-95.
- Shaanxi University of Science and Technology. Glass Technology[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 88-95.
- [22] 田英良. 医药玻璃 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2015: 80-81.
- TIAN Yingliang. Pharmaceutical Glass[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2015: 80-81.
- [23] 顾钰华, 费国平, 张红, 等. 玻璃地面摩擦系数的测试分析 [J]. 玻璃, 2018, 45(3): 11-17.
- GU Yuhua, FEI Guoping, ZHANG Hong, et al. Test and Analysis of Friction Coefficient on Glass Floor[J]. Glass, 2018, 45(3): 11-17.
- [24] 周炬, 苏金英. ANSYS Workbench 有限元分析实例详解 (动力学) [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2019: 339-344.
- ZHOU Ju, SU Jinying. Detailed Explanation of ANSYS Workbench Finite Element Analysis Example (Dynamics) [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2019: 339-344.
- (责任编辑: 邓光辉)

## Study on Safe Intravenous Drug Delivery Device

ZENG Taiying, XU Zenggang, ZAN Chaoyuan, CAI Jinda

(College of Publishing, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Based on the working requirements of intelligent pharmacy for intravenous drugs, a set of safe delivery device for intravenous drugs was designed. With typical ampoules for intravenous drugs as the research object, a passive conveyor belt delivery mode was determined based on the analysis of safe delivery requirements and theories, and the characterization parameters of safe delivery judgment and the mechanical structure design of safe delivery device were given. The results showed that the shape variable was the largest and the safety factor was the lowest when the drug with the largest size was in contact with each other. When the ratio of diameter to height of the drug was larger and more spherical, the shape variable changed less with the increase of speed, and the safety factor decreased more slowly. Therefore, the medicine bottles of different specifications can be delivered in layers according to the actual working conditions. When the speed of the designed medicine delivery device was lower than 5.5 m/min, the maximum drug delivery speed was about 250 bottles/min, which can be safely delivered. And the device can be further applied in the material supply and sorting combined packaging production line.

**Keywords:** intravenous medication; supply-delivering device; safety factor; deformation