

99,22(5) 1-5

1999年9月

重庆大学学报 (自然科学版)

Vol 22

第22卷第5期

Journal of Chongqing University(Natural Science Edition)

Sep. 1999

文章编号:1000-582x(1999)05-0001-05

1-112

# 负压造型时芯砂充填密度分布及其影响因素

向群英<sup>1</sup>, 大中逸雄<sup>2</sup>

TG242.17

(1. 重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044; 2. 大阪大学大学院材料开发工学科, 日本 大阪 1210813)

**摘 要:** 通过直接观察圆筒内芯砂的充填过程, 测定空气压和粉体压的变化以及砂芯的充填密度分布, 考察了芯砂的充填机理, 指出砂芯的密度分布一定程度上可用砂粒接触时产生的粉体压理论说明。阐述了影响圆筒内砂芯密度分布的主要因素有高速运动砂粒急速停止时的冲击、流过多孔质砂层的气流阻抗以及壁面前摩擦。

**关键词:** 负压造型; 砂芯充填; 密度分布; 粉体压  
**中图分类号:** TG 24 **文献标识码:** A

铸造

近年来, 一种无环境污染、无噪音、成型快、产品强度高且表面光洁的负压造型<sup>[1]</sup>新工艺正为日本产业界所注目。随着气流的流出, 型内砂层被压缩形成高密度的砂芯。为得到形状健全、密度高且分布均一的砂芯, 理解砂粒充填机理, 定量预测砂芯的密度分布是制定工艺方案所必需的。但目前由于芯砂充填机理尚不明确, 现生产中仍凭经验摸索, 为此生产周期长、成本高、应用范围受限制。类似的砂粒充填工艺有冲击造型<sup>[2~4]</sup>、气流造型<sup>[5~8]</sup>、喷砂造型<sup>[9~10]</sup>等。从有关报道可知, 砂型的充填密度与充填过程中最大粉体压间存在一定关系<sup>[2~6, 10]</sup>。但对其最大粉体压力产生的机理尚不明确。为探明负压造型时芯砂的充填机理, 笔者通过直接观察各种复杂形状型腔内芯砂的充填过程、测定最终充填状态的密度分布, 考察了吸引时间、吸气口的设置对密度分布的影响<sup>[11]</sup>。指出负压造型的充填过程可分为两个阶段: 静止的芯砂从砂斗中被高速吸入型腔到表观上型腔完全被充满的第一阶段; 充满后砂层内砂粒继续低速移动直到最后充填完毕的第二阶段; 最终的密度分布分别取决于第一阶段的冲击效果和第二阶段的气流效果。低密度部位容易发生在最后充填或难以充填、空气分流、砂层滑移等部位。根据条件的不同, 有时局部密度会减少以致产生空孔缺陷。为了进一步明确决定砂芯密度分布的主要因素, 本研究通过直接观察圆筒型腔内芯砂充填时砂层的移动变形, 测定空气压和粉体压的变化以及砂芯的密度分布, 探讨各种影响砂芯密度分布的因素。

## 1 实验方法

### 1.1 实验装置

如图1所示, 实验装置由油旋转式真空泵、真空压力容器, 阀门, 透明有机玻璃圆筒, 软

• 收稿日期: 1999-03-02

作者简介: 向群英(1964-), 女, 重庆云阳人, 重庆大学客座教授, 博士。从事材料科学与工程领域研究工作。

管, 高速摄影机, 吸气口, 混碾装置, 应变式压力传感器, 半导体压力传感器, 数字记录仪等构成。

### 1.2 实验条件

使用 1:1 的 5 号混合硅砂, 平均直径  $1.92\ \mu\text{m}$ , 粒子形状系数 0.9, 干燥时最大密度  $1.55 \times 10^3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。一次混碾量 1 kg, 混碾时添加 3.0% 的粘结剂(质量%), 呋喃树脂: 硬化剂 = 7:3, 混碾时间 180 s, 混碾后 3 min 以内充填完毕。

混碾砂的内部摩擦系数约 0.7, 通过砂筛(网目尺寸 2 mm)装入初始砂(密度  $1.06 \times 10^3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), 每隔 50 mm 装入 5 mm 厚的着色砂, 圆筒内砂粒因摩擦及粘结与自重保持平衡, 型腔内初始空气压为大气压, 壁面内贴 0~5 号砂纸的方法改变摩擦系数。

### 1.3 实验步骤

把装有初始砂的圆筒作为砂斗静置于负压吸引台的空圆筒型腔上(无初始砂时), 或直接将圆筒型腔静置于负压吸引台上(有低密度初始砂时), 将真空压力容器中的空气压力抽到约  $6.70 \times 10^3\ \text{Pa}$ , 关闭阀 2, 先打开压力测定用数字记录仪, 再打开阀 1(开放时间 4 s)开始充填。10 min 后, 取出硬化完毕的砂芯, 取样( $10\ \text{mm} \times 10\ \text{mm} \times 10\ \text{mm}$ )测定密度分布。

### 1.4 压力与密度测定

用应变式压力传感器测定圆筒底部的全压力(砂与空气)变化, 用半导体压力传感器测定真空侧吸气口附近的空气压力变化及圆筒内空气压力分布, 用数字记录仪记录压力传感器的输出值, 并直接转换成压力数据输入到计算机存盘, 充填密度用浮力法测定。

## 2 实验结果与考察

### 2.1 直接观察结果

型腔内有低密度初始砂时, 充填中砂的移动从吸气口附近开始, 静止芯砂被加速, 从着色砂的移动算出芯砂的最大速度为 1 m/s 左右。充填后, 大气侧表面附近产生均匀的针孔。

型腔内无初始砂时, 砂流前沿的移动速度最大约为 5 m/s, 宏观上芯砂充满型腔的表现充填时间约为 0.1 s。壁面摩擦大的情况下, 充填后在大气侧砂层表面呈中低的凹形, 壁面附近发现剪断变形痕迹, 可认为是移动受到妨害的壁面附近芯砂与心部间产生较大速度差的结果。在距表面 10 mm 以下的断面处, 壁面附近的剪断层宽约 5 mm, 剪断层密度低, 空气优先流过, 剪断层厚度小于 20 mm, 对下部影响不大。

### 2.2 压力测定结果

#### 2.2.1 圆筒内空气压力的变化

型腔内存在低密度初始砂时, 吸引开始后, 各测定点的空气压几乎同时开始下降, 一定时间后, 都达到几乎为一定值的定常状态。圆筒内空气压力的分布与气流造型法<sup>[6]</sup>相同, 距底部吸气口越近值越低, 圆筒内砂层越高, 底部空气压力越低(参见图 2(a))。此倾向与初始砂的有无关系不大。在砂层上部表面盖上一层薄膜时, 因为通过砂层进入真空容器内的空气量减少空气压力最低。

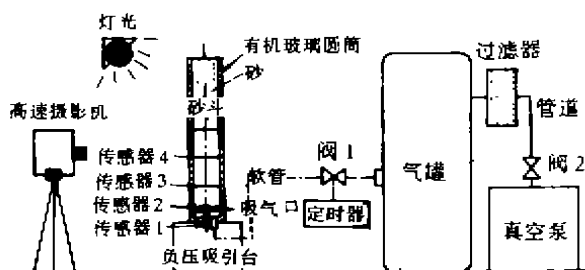


图 1 实验装置

### 2.2.2 圆筒底部的全压力

型腔内有低密度初始砂存在时,型腔底部的全压力变化(全压力  $P_1 = \text{粉体压} + \text{空气压}$ ,  $P_2(\text{动压} + \text{静压})$ ),如图2(b)所示,阀1打开,型腔内空气压便从大气压开始下降到最小值,一定时间后,达到定常状态。

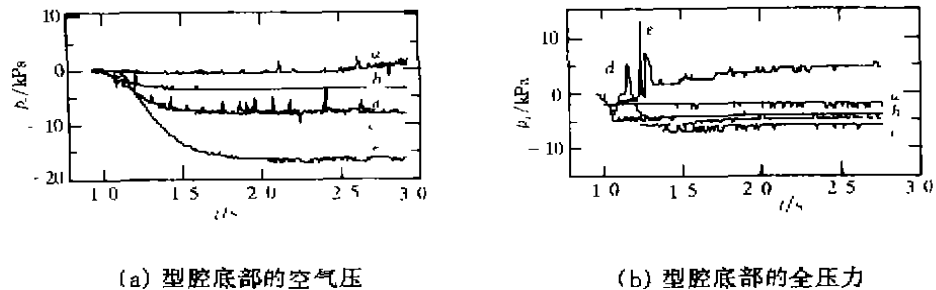


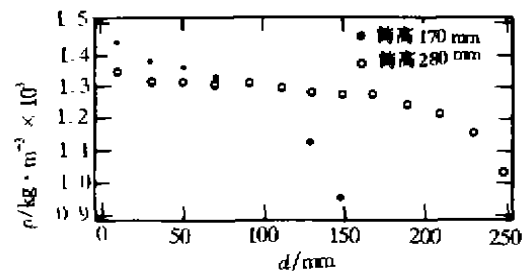
图2 圆筒内压力变化

a——初始砂高 50 mm; b——初始砂高 100 mm; c——初始砂高 280 mm;  
d——无初始砂型腔高 280 mm; e——无初始砂型腔高 280 mm 且在砂表面覆盖薄膜

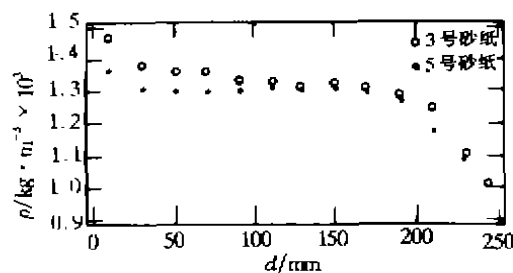
型腔内无初始砂时,最初全压力下降,之后急速上升,经过峰值后,回到一定值。该峰值出现的时间与直接观察到砂子冲击底部的时间一致,圆筒越高,或者空气压力下降越大,峰值越大,砂上表面覆盖塑料薄膜时为最大。

### 2.3 圆筒中心轴线上密度分布的测定结果

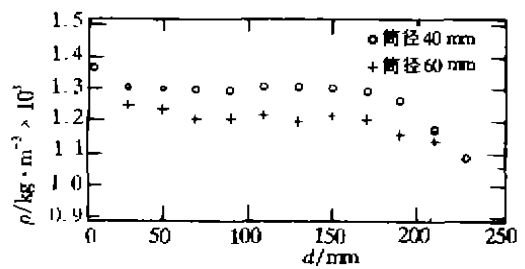
如图3所示,圆筒砂芯轴线上的密度分布倾向为中部密度均一;与大气邻接的上部密度急剧降低,下部吸气口附近密度增大。



(a) 初始砂高的影响



(b) 壁面摩擦的影响



(c) 圆筒内径的影响

图3 圆筒砂芯轴线上的密度分布

(No. 3, No. 5 分别表示砂纸号)

#### 2.3.1 圆筒内初始砂高的影响

有初始砂存在时,如图3(a)所示,砂层越高密度分布越均匀;砂层越低,吸气口附近密度上升,入口附近密度降低。因为砂层降低,空气流速增大。上部表面附近,因形成针孔,密度降低。下部吸气口附近,砂层所受的流本阻力增大,密度上升。

### 2.3.2 壁面摩擦的影响

为了探讨摩擦的影响,圆筒内壁贴上不同摩擦系数的砂纸。如图3(b)所示,3号砂纸与5号砂纸相比较,摩擦系数大的5号砂纸的情况下平均充填密度小,可认为是壁面的摩擦力妨害了芯砂移动的结果。根据以往的研究报导<sup>[8,10]</sup>,在均一充填有静止芯砂的圆筒内,其轴线方向的粉体压分布可通过砂层的受力平衡导出以下理论计算公式。

$$p = DG/(4\mu k) \{1 - \exp[-(4\mu kh)/D]\} + P_0 \exp[-(4\mu kh)/D] \quad (1)$$

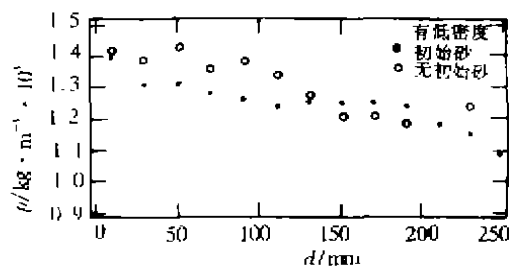
式中:  $G$ ——作用在砂上的体积力(重力或者气流阻力);  $D$ ——圆筒内径;  $\mu$ ——壁面摩擦阻抗;  $P_0$ ——上表面边界砂层所受的表面压力;  $h$ ——砂层高;  $k$ ——砂层侧压系数。

若设表面压力  $P_0$  为0,与气流阻力相比砂粒的自重小得可以忽略时,增加粉体压的主要因素便为气流阻力  $G$ 。如果  $G$ ,  $K$ ,  $\mu$  一定,  $p$  与  $h$  呈指数关系。壁面摩擦  $\mu$  增大时,砂的移动受阻,粉体压降低,密度也降低与实验结果一致。由此可见,砂的充填密度及粉体压受壁面摩擦的影响大。且砂子的充填密度分布与粉体压分布呈同一倾向。

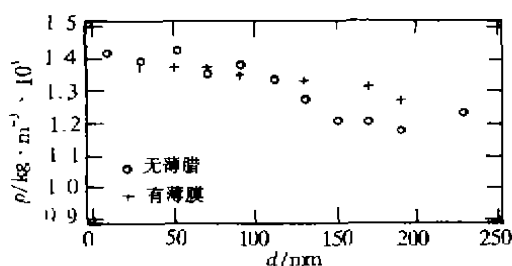
砂层高  $h$  越高粉体压越高,平均密度也会越高。但是,实验结果却相反。原因之一可认为,砂层高度增高,气流阻力增大,平均空气流速下降,  $G$  也下降。

### 2.3.3 圆筒内径的影响

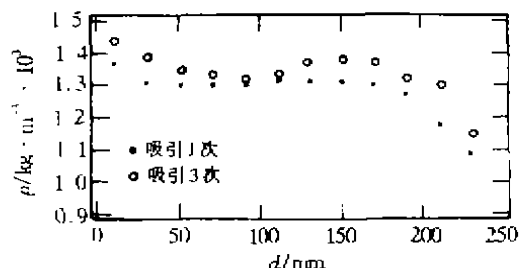
直径增加时,与圆筒体积增加相比,壁面面积的增加相对较小,壁面摩擦的影响小,平均密度增大,图3(c)的实验结果却反而降低。因为吸气面积未变,只增大了内径的缘故,即吸气口的面积率相对减小,圆筒内平均空气流速降低,平均密度变小。



(a) 初始状态的影响



(b) 上部砂表面覆盖薄膜的影响



(c) 反复吸引的影响

图4 圆筒砂芯轴线上的密度分布

### 2.3.4 吸气口透过率的影响

吸气口透过率减小时,圆筒内平均密度从  $1.30 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  减小到  $1.23 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。这是由于吸气口的阻抗使气流的平均流速降低的缘故。

### 2.3.5 冲击效果的影响

为了探明冲击效果的影响,分别测定了型腔内无初始砂时,和有低密度初始砂时的密度分布。如图4(a)所示,型腔内无初始砂时,圆筒下部的密度高,而且平均密度大,可认为是以大5倍的砂速充填时的冲击效果。说明冲击产生的粉体压大大影响砂芯的充填密度。

### 2.3.6 砂表面覆盖薄膜的影响

上部砂表面覆盖有能自由变形的薄膜时,瞬间充填完毕。底部附近的密度变化不大,但

上部表面附近的密度大大增加(图4(b)),是因为型腔内的真空与薄膜上的大气压间所形成的压差作为粉体压直接作用于表面砂层、表面附近未形成针孔的缘故。而圆筒型腔上部用刚体盖密封后吸引时,未观察到圆筒内芯砂的移动,可认为是圆筒内未产生能引起空气流动的压力差之故。

### 2.3.7 反复吸收的效果

图4(c)为3次反复吸引时密度的变化。通过反复吸引,整体密度上升,但是各部分上升的大小不同,最终形成波浪状。

## 3 结论

以形状简单的圆筒型腔为对象,考察了负压造型时芯砂的移动、压力变化、砂高、壁面摩擦系数、吸气口面积、冲击效果等对充填密度分布的影响,得出以下结论:

1) 圆筒砂芯轴线上的密度分布为距离下部吸气口越近密度越高,中部密度分布均匀,与大气邻接的上部密度急剧降低(此倾向一定程度上可用考虑了壁面摩擦效果的粉体压力分布来说明);2) 芯砂的密度分布受冲击、气流阻抗、壁面剪断摩擦的影响。

## 参 考 文 献

- [1] 原田久, 杉本和男, 负压造型法[J], 铸物讲演概要集, 1994, (115): 30~25.
- [2] 片岛三朗, 松浦诚, 冲击造型时型内压力分布[J], 铸物, 1977, 49(10): 591~596.
- [3] 片岛三朗, 松浦诚, 铸型砂的剪断特性及压力传达率[J], 铸物, 1977, 49(11): 665~669.
- [4] 松浦诚, 片岛三朗, 型砂性质及造型条件对铸型内压力分布的影响[J], 铸物, 1980, 52(5): 269~274.
- [5] 松浦诚, 片岛三朗, 冲击造型时型砂的充填[J], 铸物, 1981, 53(12): 701~709.
- [6] 大昭信, 外田久, 坛上和美, 粉体的充填特性[J], 粉体工学研究会志, 1970, 7(3): 36~40.
- [7] 松浦诚, 片岛三朗, 流气加压造型时型砂的充填[J], 铸物, 1984, 56(3): 163~169.
- [8] 松浦诚, 片岛三朗, 流气加压造型时气流速度对型砂充填的影响[J], 铸物, 1985, 57(3): 174~179.
- [9] PELCZARSKI S M, FRANKO J S. Phenomena occurring during the filling of the core-box on core blowers and shooters [J], The British Foundryman January, 1971; 2~12.
- [10] 前田安郭, 粉体喷射造型工艺最佳化研究[D], [学位论文], 日本丰桥: 丰桥科学技术大学, 1992.
- [11] 向群英, 大中逸雄, 大道敏太郎, 负压造型时芯砂的充填[J], 铸物, 1997, 69(2): 113~118.

## Density Distribution of Sand Packing in Vacuum Suction Molding Process and its Influential Factors

XIANG Qun-yin<sup>1</sup>, Ohnaka Itsuo<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Department of Adaptive Machine Systems Graduates School of Engineering, Osaka University 1210813, Osaka, Japan)

**ABSTRACT:** By means are measured of the direct observation of the packing behavior of sand in the vacuum suction molding process. The air and powder pressure, density distribution of sand core. The packing mechanisms are studied based on these experimental results. It found that the density distribution of sand core is elucidated by powder pressure theory, and the density distribution is decided by air flowing, sand chocking and shearing.

**KEYWORDS:** vacuum suction molding; sand packing process; density distribution; powder pressure

(责任编辑 钟学恒)