

# 离心摩擦式旧砂再生过程的动力学分析及计算

张春香 郑英姿  
(郑州工业大学材料科学与工程系)

**摘要** 在分析离心摩擦式旧砂再生过程的基础上,对砂子的运动作了动力学计算,得出了以摩擦为主、撞击为辅的再生产方式的结论。

**关键词** 动态堆角;旧砂再生;动力学

**中图分类号** TG 242.6

## 0 引言

铸造生产中,旧砂再生具有十分重要的意义。将废弃的旧砂再生后重新利用,不仅节约新砂,降低铸件成本,而且大大减少了废砂对环境的污染。目前,国内外旧砂再生技术发展迅速,已有湿法再生、热法再生、机械再生和化学再生等十多种再生方法,各类再生设备也应运而生<sup>[1]</sup>。离心摩擦式再生属于机械再生的一种,本文对离心摩擦式再生设备的核心部件一再生盘和反击圈中砂子的再生运动过程进行了动力学分析及计算,为摩擦式再生旧砂技术的进一步研究与发展奠定了一定的理论基础。

## 1 再生盘中砂子动态堆角的形成及砂子再生运动过程<sup>[2,3]</sup>

如图1所示,再生盘作高速旋转,加入其中的砂子在运动过程中形成堆角 $\beta_0$ ,称之为动态堆角。动态堆角的形成主要取决于离心力场的作用。在其它条件一定时,再生盘内形成积砂的原因是砂子受到的爬坡力(离心力分力)还不足以克服其摩擦阻力,因此首批进入再生盘的砂子必然要堆积在其中,而且,由于再生盘周壁上部砂子受到离心力大于周壁下部砂子所受离心力,因此,上部砂子飞出再生盘的机会就多,从而形成自上而下的“砂坡”,下部堆积砂子多,越往上积砂越少。显然,“砂坡”的倾角 $\beta_0$ 小于再生盘倾角 $\beta$ ,使得后继砂子所受爬坡力 $P$ 大于其摩擦阻力 $F_f$ (如图1中 $S$ 点所示),并能沿“砂坡”甩出再生盘。

砂子甩出再生盘后,被抛向反击圈(呈圈状,固定不动如图1所示),受到反击圈的摩擦撞击后又回到再生盘。如此反复,当砂粒表面惰性膜被逐渐去除,密度增加,它就处于再生盘边缘部分运动,有机会从再生盘与反击圈之间的缝隙甩出,成为再生砂。

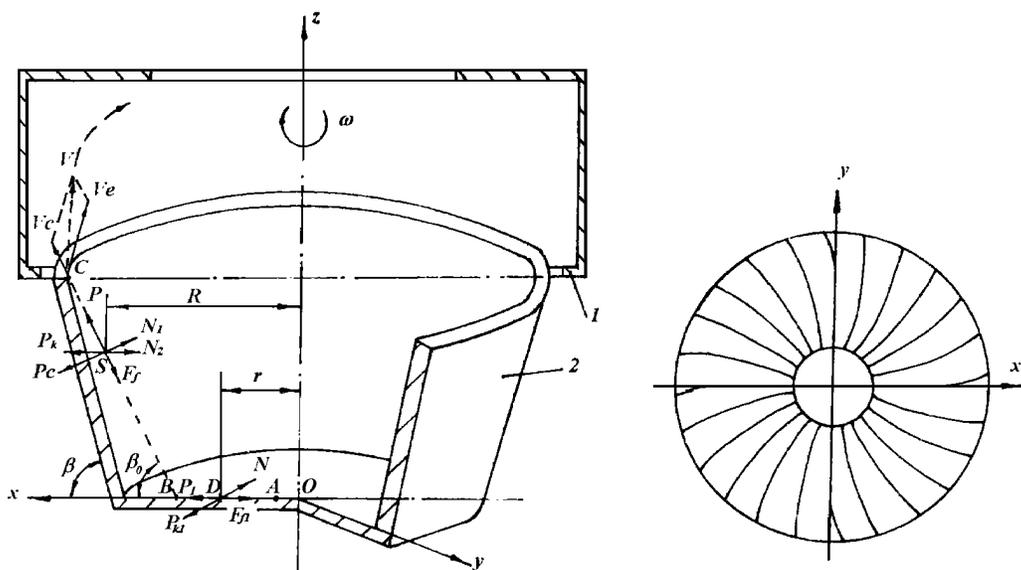
## 2 再生盘中砂子运动的动力学分析及计算

以CR-60型再生机为例,再生盘具有恒定转速,在稳定条件下,砂子由于惯性,在再生盘内相对运动轨迹呈图2所示的曲线状<sup>[4]</sup>。为简化计算,按径向直线计算砂子的相对运动速度。

图1中,设砂子落于盘中 $A$ 点,由 $A$ 运动到“砂坡”最低处 $B$ 点,再由 $B$ 运动到盘边缘

收稿日期:1998-05-11

第一作者 女 1966年2月生 硕士学位 讲师



1—反击圈； 2—再生盘

图1 再生盘与反击圈(反击圈为正剖视图) 图2 再生盘中砂子相对运动轨迹(俯视图)

C点,由C点抛向反击圈。

先算AB段,砂子受力分析如图1中D点所示(忽略重力)<sup>[2,4,5]</sup>;

离心力  $P_1 = mr\omega^2$ ;

砂子对砂子的支持力大小  $N = P_{k1} = 2m\omega \left( \frac{dr}{dt} \right)$  (柯氏力);

因而摩擦力  $F_{f1} = fN = 2mf\omega \left( \frac{dr}{dt} \right)$ 。

其中: $m$ 为砂粒质量(kg); $r$ 为回转半径(m); $\omega$ 为角速度=208(rad); $f$ 为砂子对砂子的摩擦系数(=0.7)。

AB段动力学方程:

$$\frac{d^2r}{dt^2} + 2f\omega \frac{dr}{dt} - \omega^2 r = 0$$

其通解为:

$$r = C_1 e^{\omega(\sqrt{1+f^2}-f)t} + C_2 e^{-\omega(\sqrt{1+f^2}+f)t} \quad (1)$$

相对速度:

$$\frac{dr}{dt} = C_1 \omega(\sqrt{1+f^2}-f) e^{\omega(\sqrt{1+f^2}-f)t} - C_2 \omega(\sqrt{1+f^2}+f) e^{-\omega(\sqrt{1+f^2}+f)t} \quad (2)$$

式(1),(2)结合初始条件

$$\begin{cases} t = 0 \text{ 时, } r = r_A = 0.06 \text{ m} \\ t = 0 \text{ 时, } \frac{dr}{dt} \text{ 为筒} \end{cases}$$

可以得到:

$$r = 0.038e^{108t} - 0.022e^{-399t} \quad (3)$$

$$\frac{dr}{dt} = 4e^{108t} + 8.8e^{-399t} \quad (4)$$

因式(3)为超越函数,为此采用如下程序1,用尝试的办法求出  $r = r_B = 0.11$  m 时的  $t$  值。

程序 1

```

10 REM This program is used for get t when R is known
20 REM whitin R=0.038 * EXP(108 * T)-0.022 * EXP(-399 * T)
30 PRINT“(0)·Display the processing”;
40 INPUT“(1)·No Display the processing”:PT
50 IF PT<>0 THEN PRINT“Wait for ...”
60 R=0.11
70 EPS=0.0001
80 STT=0.000001
90 FOR T=0 TO 0.05 STEP STT
100 RT=0.038 * EXP(108 * T)-0.022 * EXP(-399 * T)
110 IF PT=0 THEN PRINT“T=”;T,“R=”;RT
120 IF ABS(RT-R)<=EPS GOTO 160
130 NEXT T
140 PRINT“Error is too small or step is too large”
150 GOTO 170
160 PRINT;PRINT“When T=”;T,“R=”;R
170 END

```

RUN

When T=9.869642E-03, R=0.11

将  $T=0.009869642$  代入式(4),得  $B$  点相对速度  $V_B = \frac{dr}{dt} = 11.786$  (m/s)。

因此对  $BC$  段,相对初速度  $V_B' = V_B \cos \beta_0 \approx 5.53$  (m/s)。

对  $BC$  段进行计算:

任取  $S$  点,其受力分析如图 1 所示:

离心力分力  $P = MR\omega^2 \cos \beta_0$

支持力  $N_2 = P_k = 2m\omega \frac{dR}{dt}$  (柯氏力)

$$N_1 = MR\omega^2 \sin \beta_0$$

为简化计算,取总的支持力近似为  $N' = N_1 + \frac{1}{2} N_2$

其中,  $R$ —回转半径(m);  $\beta_0$ —动态堆角( $=63^\circ$ )。

动力学方程:

$$m \frac{d^2 R}{dt^2} = P - F_f$$

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + 145.5 \frac{dR}{dt} + 7342 R = 0$$

其通解为

$$R = e^{72.8t} (C_1 \cos 45t + C_2 \sin 45t) \quad (5)$$

相对速度

$$\frac{dR}{dt} = e^{72.8t} (72.8 C_1 \cos(45t) + 72.8 C_2 \sin(45t) - 45 C_1 \sin(45t) + 45 C_2 \cos(45t)) \quad (6)$$

$$\text{式(5), (6)结合初始条件} \begin{cases} t=0, R=0.11 \\ t=0, \frac{dR}{dt} = V_B' = 5.35 \end{cases}$$

可以得到:

$$R = e^{72.8t} (0.11 \cos(45t) - 0.059 \sin(45t)) \quad (7)$$

$$\frac{dR}{dt} = e^{72.8t} (5.35 \cos(45t) - 9.25 \sin(45t)) \quad (8)$$

式(7)为超越函数,采用如下程序 2 求  $R = R_c = 0.3 \text{ m}$  时,  $t$  值为多少。

程序 2

```

10 REM This program is used for get T when R is knowed
20 REM Whitin R=exp(72.8 * T) * (0.11 * COS(45 * t) - 0.059 * SIN(45 * t))
30 PRINT "(0). Display the proccessing";
40 INPUT "(1). No Display the proccessing";PT
50 IF PT <> 0 THEN PRINT "wait for ..."
60 R=0.3
70 EPS=0.0001
80 STT=0.00001
90 FOR T=0.01 TO 0.015 STEP STT
100 TT=T * 3.141593 / 4
110 RT=EXP(72.8 * T) * (0.11 * COS(TT) - 0.059 * SIN(TT))
120 IF PT=0 THEN PRINT "T=";T,"R=";RT
130 IF ABS (RT - R) <= EPS GOTO 170
140 NEXT T
150 PRINT "Error is too small or step is too large. "
160 GOTO 180
170 PRINT ;PRINT "when T=";T,"R=";RT,"RO=";R
180 END

```

RUN

when T=1.385985E-02, R=0.299934 RO=0.3

将  $t=0.01385985$  代入(8)式,得  $C$  点相对速度  $V_c \approx 15 \text{ (m/s)}$ ,  $C$  点牵连速度  $V_e = R_c \omega = 62.4 \text{ (m/s)}$ 。

所以,  $C$  点绝对速度  $V = \sqrt{V_c^2 + V_e^2} = 64 \text{ (m/s)}$ , 即砂子在再生盘出口速度约为  $64$

根据文献[5]得知,要使砂粒表面的惰性膜被去除,则石英砂的最小极限速度为  $16 \text{ m/s}$ ;石英砂撞击金属表面而导致砂粒破碎的极限速度  $23 \text{ m/s}$ 。本设计中砂子速度满足惰性膜剥离的极限速度,但却大于石英砂撞碎的极限速度。而在生产实际中,砂子并没有被击碎,这是因为:砂子离开再生盘时,其牵连速度  $V_c$  不对反击圈产生正面撞击,只有相对速度  $V_c$  的水平分速度  $V_c \cos \beta_0$  ( $6.8 \text{ m/s}$ )对反击圈产生正面撞击,如图1。此速度远小于砂子撞碎的极限速度。

砂子离开再生盘进入反击圈的方向与牵连速度  $V_c$  的夹角:

$$\alpha = \arctg(V_c / V_e) = 13^\circ$$

$\alpha$  较小,即砂子基本上是沿再生盘边缘的切线方向进入反击圈。因此,可以推知砂子在反击圈中的运动轨迹为一螺旋线。即砂子进入反击圈后主要发生砂子与砂子之间、砂子与反击圈之间的搓擦作用,以彻底去除惰性膜,同时保护砂子不被击碎。这从旧砂再生实验中砂子颗粒组成基本不变甚至粒度变粗,可以得到验证。

### 3 结论

通过以上分析计算,可知:

(1)由于再生盘中砂子动态堆角的形成,而造成砂子与砂子间的摩擦运动,这不仅增大了摩擦系数,而且使再生盘不致磨损。

(2)由于砂子在反击圈中呈螺旋线上升,并且以摩擦为主,撞击为辅,有利于去除砂粒表面惰性膜,提高再生效果。

### 参考文献

- 1 曹善堂,郭景纯. 铸造车间旧砂再生技术. 北京:机械工业出版社,1987
- 2 孙启才,金鼎五. 离心机结构原理及设计计算. 北京:机械工业出版社,1983
- 3 郭景纯. 国内外湿型砂再生工艺及设备. 铸造,1991(1):18~21
- 4 董超. 铸造设备设计. 北京:机械工业出版社,1980
- 5 郝桐生. 理论力学. 北京:高等教育出版社,1982

## Dynamic Analysis and Calculation of the Process of Sand Reclamation by Way of Centrifugal Friction

Zhang Chunxiang Zheng Yingzi  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** Based on the analysis of the process of sand reclamation by way of centrifugal friction, the dynamic calculation on sand movement is made, and the system of sand reclamation by friction with the help of striking is presented.

**Keywords** tendency angle; sand reclamation; dynamic calculation