

④ 19-23, 8  
硅石加工设备的探讨<sup>①</sup>桂林工学院<sup>②</sup> 蒋述兴TD97  
TD45

**摘要** 对三种结构方式的轮碾机和自制回转圆筒干燥机进行了较为深入的讨论。下部传动的轮碾机较之上部传动的具有结构紧凑、运转平稳、噪音小的特点。将三档支承的自制回转圆筒干燥机改为两档支承亦是可行的。

**关键词** 石英砂 轮碾机 干燥机

硅石. 粉碎

## 1 引言

硅石加工成的石英砂在工业上的使用量与日剧增,许多乡镇企业正欲开发利用硅石。其加工过程中的一个重要工序就是粉碎(磨细或碾碎)。粉碎设备多种多样,由于硅石加工中应防止铁质污染,故碎磨设备的工作部件应尽可能为非铁金属材料,而采用特殊的粉碎设备,轮碾机是常用的一种。它的结构和安装方式又有好几种,各种湿式轮碾机的结构及其性能是本文要讨论的问题之一。另外,有的用户要求石英砂产品经过干燥,例如铸钢用树脂砂、感应电炉酸性炉衬耐火材料用石英砂等。对于乡镇企业要购买生产厂家现存的回转圆筒干燥机则价格太贵,自制转筒干燥机必然是减少投资的一条路子。国内某些石英砂厂采用的自制回转圆筒干燥机设计为三档支承,改用两档支承是否可行,这是本文要探讨的另一个问题。

## 2 湿式轮碾机的结构及其技术性能

湿式轮碾机适于将硅石加工成型砂(特别是用于将砂岩碾碎成石英砂,其圆形体比球磨机、锤式破碎机等加工而成的要好)、各种玻璃用砂(生产特种玻璃用的高纯石英

砂时一般只能用作粗碾碎)、喷砂、过滤砂、陶瓷(包括电瓷和搪瓷)和碳化硅以及水玻璃的生产用石英砂(粉)等。

## 2.1 湿式轮碾机的结构分析

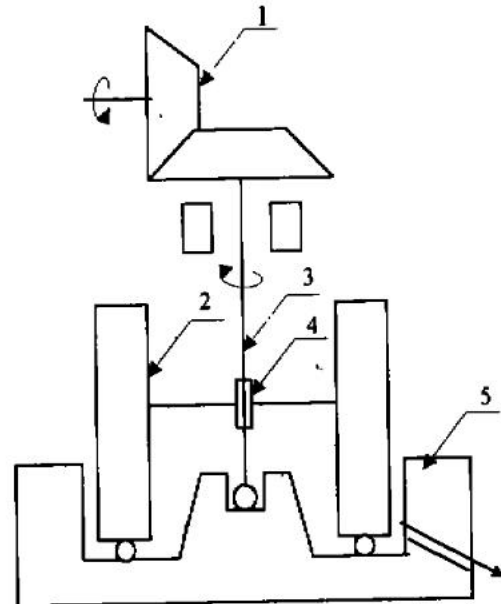


图1 上部传动,碾轮可向下平移式轮碾机示意

1—传动齿轮; 2—石碾; 3—立轴;  
4—方孔滑套; 5—花岗石基底

常用的湿式轮碾机主要由5大部分组成:①动力(电机);②变速装置;③石碾(通常用花岗岩加工而成);④机架;⑤底座。轮碾机立轴的转速一般是20~24r/min。碾

①:1996—09—18收稿

②:广西 桂林市 541002

轮的规格一般有：直径1600~1200mm，厚度450~400mm。给料粒度一般小于50mm，处理量：砂岩2000~3000kg/h，石英岩或脉石英1000~1500kg/h。湿式轮碾机一般可采用3种结构及安装方式：

(1) 上部传动，碾轮可向下平移式，其结构见图1。这是比较老式的轮碾机形式。

(2) 下部传动，碾轮可向下平移式，其结构示见图2。

(3) 下部传动，碾轮不可向下平移式，其结构示见图3。这种轮碾机是近年我国某石英砂厂新设计制造使用的结构方式。

前两种方式的轮碾机，由于立轴与轮子间的横杆采用上下可滑动连接，随着碾轮的被磨损，轮子直径变小，两个轮子往下平移。因此，轮子作用于矿块上的力始终是轮子的重量  $W_D$ ，即  $N' = W_D$  ( $N'$  是轮子作用于矿块上的力， $W_D$  是随磨损程度加

剧，碾轮直径变小的轮子重量)。

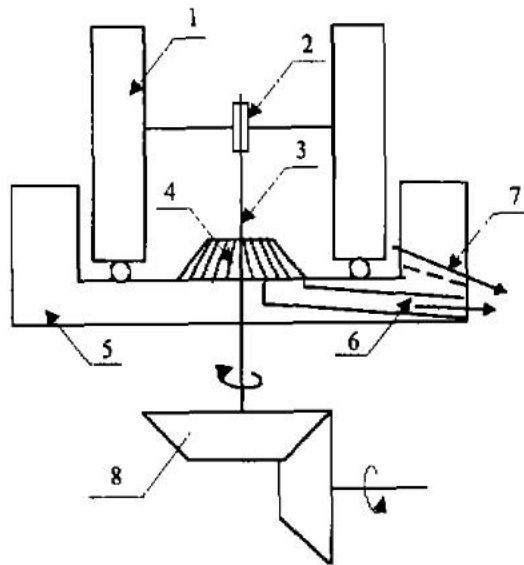


图2 下部传动，碾轮可向下平移式轮碾机示意

1—石碾；2—方孔滑套；3—立轴；4—圆台形条筛；5—花岗岩基底；6—排矿沟；7—排矿口（当不采用中心排矿形式的排矿沟6时）；8—传动齿轮

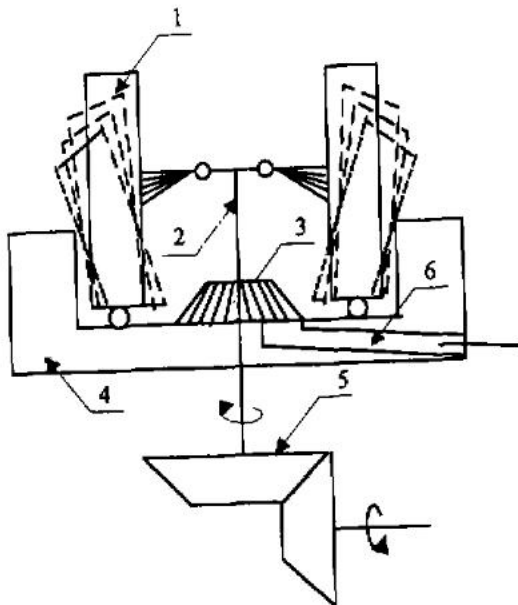


图3 轮碾机的结构及其碾轮磨损变形示意

1—石碾；2—立轴；3—圆台形固定条筛；  
4—花岗岩基底；5—传动齿轮；6—排矿沟

第3种安装方式轮碾机，因碾轮的拉杆与立轴上方的横杆为铰链连接，经过一段时间的运转之后，由于轮子被磨损而逐渐变

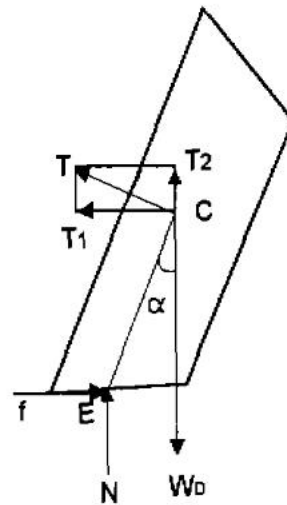


图4 碾轮受力分析

形，如图3所示，这时碾轮的受力分析如图4所示。

假定图中的  $W_D$  为轮子重量， $T$  为杆的拉力（可将其分解为  $T_1$  和  $T_2$ ）， $f$  为矿块对轮子的磨擦力， $N$  为矿块对轮子的支承反力，点  $C$  是碾轮的重心， $CE$ （在静力平衡

方程中用  $r$  表示) 是通过重心  $C$  点的轮子半径, 角  $\alpha$  为半径  $CE$  与轮子重心线的夹角。假定有一矿块位于  $E$  点, 根据静力平衡方程可列出:

$$\sum F_x = 0, -T \cos \alpha + f = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0, T \sin \alpha + N - W_D = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_c(F_i) = 0, -N r \sin \alpha + f r \cos \alpha = 0 \quad (3)$$

由(1)式得

$$f = T \cos \alpha \quad (4)$$

将(4)式代入(3)式得  $-N r \sin \alpha + T \cos^2 \alpha = 0$ , 解得

$$N = \frac{T \cos^2 \alpha}{\sin \alpha} \quad (5)$$

将(5)式代入(2)式得  $T \sin \alpha$

$$+ \frac{T \cos^2 \alpha}{\sin \alpha} = W_D, \text{ 解之得}$$

$$T = W_D \sin \alpha \quad (6)$$

并将(6)式代入(5)式得

$$N = W_D \cos^2 \alpha \quad (7)$$

由(7)式可见, 随着轮子被磨损的程度加剧, 角  $\alpha$  增大, 轮子作用于矿块上的压力  $N'$  (图中未画出) 是愈来愈小。当  $\alpha = 15^\circ$ ,  $N = 0.93W_D$ ;  $\alpha = 25^\circ$ ,  $N = 0.82W_D$ ;  $\alpha = 30^\circ$ ,  $N = 0.75W_D$ 。当  $\alpha = 30^\circ$  时, 碾轮已最大限度被磨损, 此时应更换新的碾轮。

## 2.2 湿式轮碾机的技术性能

现假定图3中的碾轮与图1或图2中的碾轮在经过一段时间磨损之后, 它们的重量相等。显然, 作用于矿块上的力是不等的, 图1或图2中的碾轮比图3中的碾轮对矿块的作用力要大, 因而易于将矿石压碎。但是, 采用图3形式的轮碾机, 当碾轮被磨损时, 碾轮变形。由图4可见, 由于矿块给碾轮一个摩擦力  $f$ , 则碾轮给矿块一个反方向的摩擦力  $f'$  (图中未画出), 这个摩擦力  $f'$  促使矿块向中心移动, 因而加快了排矿

速度, 相对处理能力较大, 但产品粒度较粗, 可达10mm左右。这种粗粒产品经过圆台形条筛后从排矿沟6排出, 再经筛分分级后用作熔炼石英的原料是较好的, 因为经过碾磨擦洗, 其含  $Fe$ 、 $Al$  等杂质较低。若要生产2mm以下的石英砂产品, 建议应采用图1或图2的轮碾机结构方式。这两种结构的轮碾机因排矿速度较慢, 故生产率小些, 但产品却较细。

## 3 自制回转圆筒干燥机的支承形式

湿法生产出的石英砂, 含水量因存放时间不同而异, 一般含水量达3%~10%, 根据用户要求有时需要干燥, 特别是用于铸型用砂(树脂砂)、感应电炉的酸性炉衬材料用砂等。可购置现存的转筒干燥机或自行设计制造的转筒干燥机, 但购置转筒干燥机的价格较高, 一般每台需10多万元, 对减少投资不利。现将我国某石英砂厂的自制转筒干燥机简要作一介绍:

### 3.1 自制转筒干燥机的结构

由两个转筒和一套传动机构以及支承机座等构成。主体部分见图5。转筒用6~8mm厚的钢板卷成圆筒后焊接而成, 筒体内部用30cm宽弧形钢板焊成螺旋状导砂板, 还焊有30cm高的升举式抄板。着火段圆筒可用法兰和螺栓连接, 以便更换。由于采用间接加热方式, 因此对产品无污染。安装示意图6。

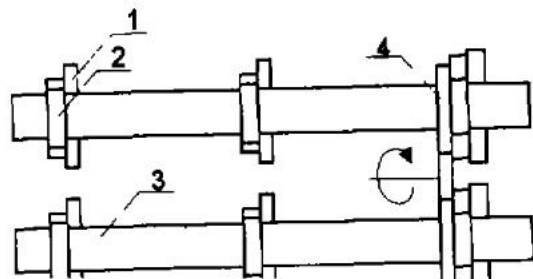


图5 自制转筒干燥机主体部分示意

1-托轮; 2-液圈; 3-转筒; 4-传动齿轮

例计算分析如下:

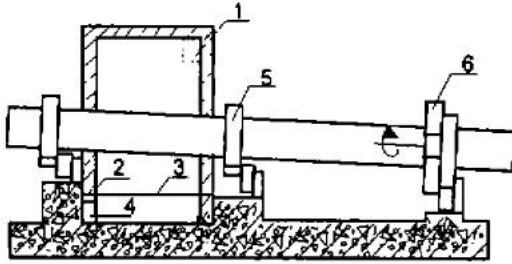


图6 自制转筒干燥机安装示意

1—烟气排出口; 2—炉门; 3—炉条; 4—炉渣口; 5—滚圈; 6—传动齿轮

### 3.2 主要技术参数

- (1) 筒体尺寸: 直径为 0.8m、长 12m;
- (2) 筒体转速:  $4\sim 5r/min$ ;
- (3) 筒体倾斜度: 5%;
- (4) 传动电机功率: 7.5kW;
- (5) 引风机功率: 1.5kW;
- (6) 处理量:  $2\ 000\sim 3\ 000\text{kg/h}$ ;
- (7) 产品含水:  $<0.5\%\sim 1\%$ ;
- (8) 耗煤:  $62.5\text{kg/h}$ ;

### 3.3 投资比较

整机制造及安装费用 2.8~3.5 万元, 比购买现存的转筒干燥机节约 7.5 万元左右 (当烘干产量相当时的投资比较)。

### 3.4 对自制转筒干燥机支承形式的探讨

图 6 所示自制转筒干燥机由于采用 3 档支承, 因加工和安装精度的问题, 难以保证 12m 长转筒轴线的直线性。另外, 3 档支承的托轮也难以保证在一个半圆柱面上。因此, 不能与转筒紧密相接触, 出现托轮“吃”不着转筒的情况。若采用两档支承而转筒的刚度和强度又足够的话, 这种情况就会改善。改两档支承后, 物料的干燥效果不变。物料在转筒内的后半段, 一边被干燥一边冷却, 从转筒尾部卸出后即可入袋包装。其安装示意图见图 7。实际上, 经过计算分析, 采用两档支承也是可行的。现以转筒的外径为 0.8m, 长度为 12m, 用 6mm 厚钢板制造为

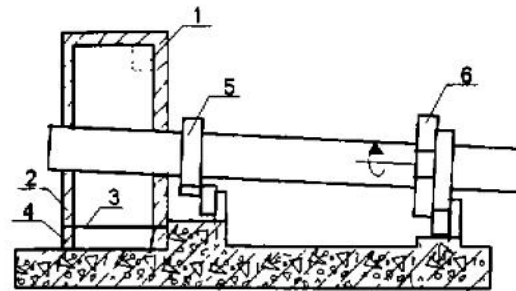


图7 两档支承回转圆筒干燥机安装示意

1—烟气排出口; 2—炉门; 3—炉条; 4—炉渣口; 5—滚圈; 6—传动齿轮

根据结构上的需要, 采用两档支承, 尽可能满足等反力等弯矩原则, 两端悬伸长度  $Z_h$  或  $Z_t$  及转筒跨距 (中腰长度) 分别为 3.5m 和 5m, 视转筒为圆环截面水平连续梁, 经计算 (考虑到转筒自重、物料重和筒内导砂板及抄板重量后) 得均布载荷  $q$  为  $1\ 480\text{N/m}$ 。受力分析见图 8。

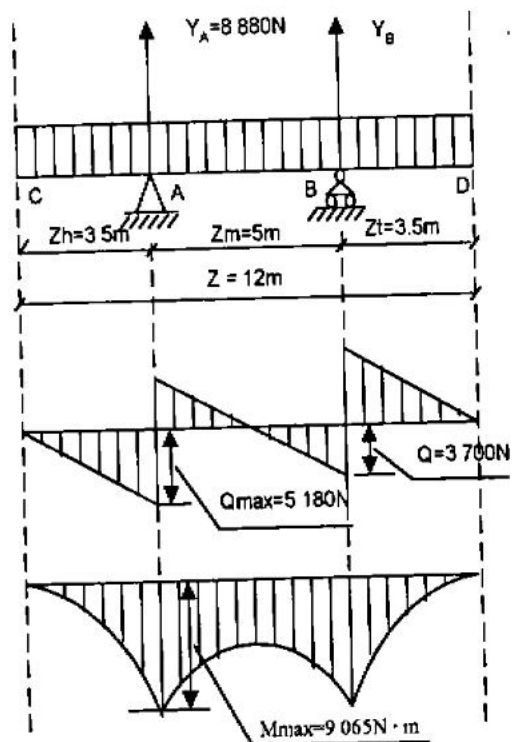


图8 回转圆筒受力分析

(1) 作剪力图和弯矩图。经过对支座反

力、梁截面上的剪力和弯矩的计算后, 所得结果示于图 8。由图 8 可见, 因为载荷分布对称于梁的支座。所以, 在两个支座上的反作用力均为  $Y_A = Y_B = 8\ 880\text{N}$ 。由剪力图可知, 具有最大剪力的截面位于支座 A、B 处且剪力的绝对值相等, 为  $5\ 180\text{N}$ 。从弯矩图可看出, 具有最大弯矩的截面亦位于 A、B 支座处, 其弯矩的绝对值均为  $9\ 065\text{N} \cdot \text{m}$ 。

(2) 筒体弯曲应力计算。筒体横截面上的弯曲应力按:

$$\sigma = \frac{M}{K_s K_T W} \leq [\sigma], \text{ 计算得:}$$

$$\sigma = 7\ 109.8\text{kPa} < 10\ 000 \sim 15\ 000\text{kPa}.$$

计算依据是:  $M$  为最大弯矩, 图 8 知  $M_{\max} = 9\ 065\text{N} \cdot \text{m}$ ;  $K_s$  为筒体焊缝系数, 取 0.9;  $k_T$  为温度系数, 按筒体表面温度  $450^\circ\text{C}$  时取 0.47;  $W$  为筒体断面模数, 对筒体壁厚较小的跨中筒体, 按公式  $W \approx \frac{\pi D_2^3 \delta}{4}$  计算得出  $3.0144 \times 10^{-3}\text{m}^3$ ;  $D$  为转筒外径,  $0.8\text{m}$ ;  $[\sigma]$  为允许弯曲应力, 对于无衬里筒体,  $[\sigma] = 10\ 000 \sim 15\ 000\text{kPa}$ 。

(3) 筒体变形计算  
轴线挠度变形计算按:

$$y_{\max} = qZ^4 m / 384EI \times (5 - 24\lambda^2)$$

得:

$$y_{\max} = -0.0734, \text{ 而}$$

$$\left| \frac{y_{\max}}{Z_m} \right| = \left| \frac{-0.0734}{5} \right| = 0.015\text{mm/m}$$

$< [\frac{y}{Z_m}] = 0.3\text{mm/m}$ 。计算依据是:  $E$  为材料弹性模数, 跨腰段的筒体表面温度按  $300^\circ\text{C}$ , 取  $E = 1.88 \times 10^{11}\text{Pa}$ ;  $I$  为筒体惯性矩,  $I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = 1.1784 \times 10^{-3}\text{m}^4$  ( $D$  为筒体外径:  $0.8\text{m}$ ,  $d$  为筒

体内径:  $0.788\text{m}$ );  $\lambda$  为悬伸长度与跨腰段的比值,  $\lambda = \frac{Z_h}{Z_m} = 0.7$ ;  $[\frac{y}{Z_m}]$  为允许筒体轴线挠度。

从上述轴线挠度计算结果看, 筒体是安全的。

悬伸端挠度计算按

$$y_{C,D} = \frac{qZ_h Z_m^3}{24EI} (-1 + 6\lambda^2 + 3\lambda^3)$$

得:  $y_{C,D} = 0.459\text{mm}$

在计算中, 考虑有一悬伸段为着火段, 筒体表面温度按  $500^\circ\text{C}$  时取钢的弹性模量  $E$  为  $1.48 \times 10^{11}\text{Pa}$ 。悬伸端挠度校核如下:

$$\frac{y_{C,D}}{Z_h} = 0.131\text{mm/m} < [\frac{y}{Z_h}]$$

$= 0.3\text{mm/m}$ , 可见, 悬伸段挠度均在允许范围内。

(4) 截面变形的简单计算。滚圈变形的椭圆度 (最大直径与最小直径之差)。

$$\text{按 } W = 0.0814 \frac{QR_c^3}{EI_r} \leq [W] = 0.002D.$$

依据是:  $Q$  为托轮处支点反力的最大值,  $8\ 880\text{N}$ ;

$R_c$  为滚圈平均半径, 取  $R_c = 0.145\text{m}$ ;

$E$  为材料弹性模数, 筒体表面温度按  $300^\circ\text{C}$  时, 取  $E = 1.88 \times 10^{11}\text{Pa}$ ,  $I_r$  为截

面惯性矩,  $I_r = \frac{B_r h^3}{12} = 2.7 \times 10^{-7}\text{m}^4$ ,  $B_r$

为滚圈宽度, 取  $0.12\text{m}$ ,  $h$  为滚圈截面高度, 取  $0.03\text{m}$ ;  $[W]$  为允许滚圈变形的椭圆度;  $D$  为转筒直径,  $800\text{mm}$ ; 据公式算得  $W = 1.02\text{mm}$ 。

$W = 1.02\text{mm/m} < [W] = 0.002D = 1.6\text{mm}$ , 滚圈变形的椭圆度亦小于允许数值。

(下转第 8 页)