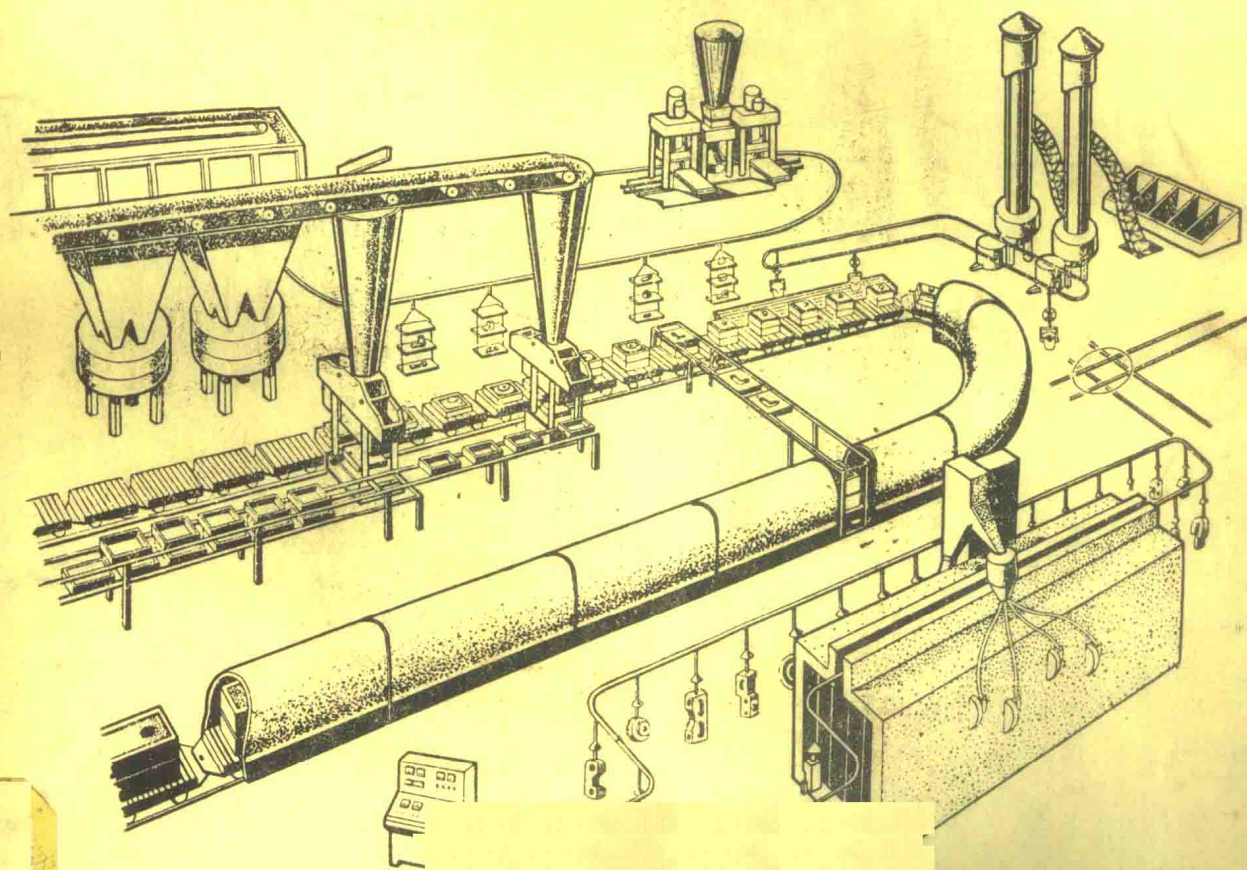


铸造车间机械化

抛砂机造型线

上海市机电设计院主编 第一机械工业部第六设计院编



机械工业出版社

铸造车间机械化

第三篇 第五章

抛砂机造型线

上海市机电设计院主编
第一机械工业部第六设计院编

机械工业出版社

本书内容主要包括：抛砂机、抛砂机造型线、辅机、模板等四部分。抛砂机部分简略叙述了抛砂原理、抛头参数、抛砂机各种结构形式，对 Z 6625 型抛砂机作了典型结构介绍，并以 Z 6312D 的改装为例，介绍了抛砂机随动和遥控原理。抛砂机造型线部分列举了十种抛砂机造型线的布置形式，并提出设计中需注意的问题及适合造型线的运输设备。辅机部分介绍了起模机、刮砂机、干燥炉等的结构及形式，并对 Z 7120A 起模机作了较详细的介绍。最后介绍了适用于抛砂机造型线的几种座标模板结构。

本册可供铸造车间技术改造或新厂设计时选用抛砂机及造型线之参考。

铸造车间机械化

第三篇 第五章

抛砂机造型线

上海市机电设计院主编

第一分厂 第六设计分厂编

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 5¹/₄·字数 125 千字

1980 年 7 月北京第一版·1980 年 7 月北京第一次印刷

印数 0,001—6,100·定价 0.46 元

*

统一书号：15033·4787

出 版 说 明

为了总结和推广我国铸造生产中行之有效的先进设备、先进经验，我们组织编写了《铸造车间机械化》一书，供工厂在技术改造和新建厂设计中作为选择方案、设计计算、选用设备等参考。

《铸造车间机械化》全书共分八篇四十二章。第一篇炉料准备和熔化，第二篇造型材料的制备和型砂处理，第三篇造型、制芯机械化，第四篇清理，第五篇特种铸造设备，第六篇运输设备，第七篇辅助设备，第八篇钢结构、除尘及土建资料。由于《铸造车间机械化》涉及的范围较广，内容较多，我们将陆续按篇、章先出版单行本。

本书由上海市机电设计院主编，参加本书编写的有一机部第四设计院、一机部第五设计院、一机部第六设计院、济南铸锻机械研究所、上海市机械制造工艺研究所、上海机器制造学校、上海机械学院、上海交通大学、浙江大学、重庆大学、河北机电学校、烟台机床附件厂、上海红光铸造厂、上海内燃机配件厂、上海江南造船厂、上海起重运输机械厂、唐山机车车辆厂、上海市机电设计院等单位。对于他们的大力支持，在此一并致谢，并欢迎读者对本书多提宝贵意见。

目 录

第五章 抛砂机造型线

第一节	概述	3-5-1
第二节	抛砂机	3-5-3
一	抛头形式	3-5-3
二	抛头工作原理	3-5-5
三	砂团抛出时的运动分析	3-5-5
四	抛头参数的选择	3-5-9
五	抛头的功率计算	3-5-12
六	双转臂抛砂机作业范围	3-5-13
七	双转臂抛砂机悬臂振动	3-5-15
八	抛砂机结构简介	3-5-17
九	抛砂机的随动与遥控	3-5-28
十	抛砂机的布置与使用维护	3-5-33
十一	抛砂机的选择	3-5-35
第三节	抛砂机造型线	3-5-38
一	布置形式	3-5-38
二	设计中的几个问题	3-5-46
三	运输设备的选择与计算	3-5-48
第四节	辅机	3-5-55
一	起模机	3-5-55
二	刮砂机	3-5-70
三	表面干燥炉	3-5-71
四	振动器	3-5-75
第五节	模板	3-5-75
一	抛砂机造型线对模板的要求	3-5-75
二	单件、小批造型用的座标模板	3-5-76

第五章 抛砂机造型线

第一节 概 述

抛砂机自 1914 年问世迄今已有六十多年的历史。1940 年以后更是广泛地为世界各国铸造工作者所采用。

抛砂机在铸钢、铸铁、有色金属铸造中均有采用，主要用以紧实砂型和砂芯，也可用以紧实大型铁水包内衬，既适用于一般的砂箱造型，也适用于地坑造型。组芯造型时用以紧实背砂，也可紧实大型钢锭模一类深而窄的砂型。抛砂机还可以与刮板结合刮制砂芯。

抛砂机主要用来紧实粘土砂，可以抛面砂、背砂和单一砂。从生产效率观点来说，抛单一砂最为合理。对抛水玻璃砂、水玻璃自硬砂、水泥自硬砂等目前还缺乏生产实践经验，只有试验性的尝试。在生产中用自硬砂（包括树脂砂）做面砂时，抛砂机常用来抛粘土背砂。

抛砂机抛出的砂型表面硬度及紧实度都能满足工艺要求，可以不再需要用风动工具补充捣实。

抛砂机由于其自身的优越性，规格品种已发展到百种以上。

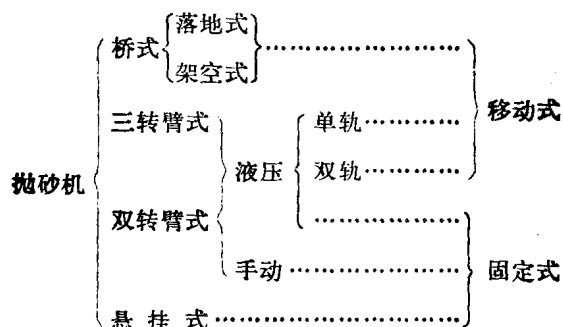
按抛头进砂方式可分为轴向、切向与径向三种。切向与径向比轴向的功率消耗少，叶片、弧板磨损均匀。

按抛头结构可分为一般（叶片宽度为 63~150 毫米）、宽头与多盘的（叶片宽度与砂箱宽度相同，达 800 毫米）。宽头与多盘抛砂机在砂箱上只作直线往复移动，每移动一次就抛一层砂。

按抛砂方向可分为一般的（抛砂方向垂直向下）、横向的（抛砂方向水平）和摇头的（抛砂方向可在铅垂线左右前后摆动 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 角）。横向抛砂机与刮板结合可抛制大型圆柱形砂芯，如印染机、造纸机上烘筒的砂芯。摇头抛砂机用以抛制深而陡峭的砂型和型壁上带有凹入部分的砂型。

按抛头中叶片数目可分为单叶片、双叶片和三叶片三种。

按抛砂机整体构造还可分为下列几种形式：



大量使用的是双转臂式抛砂机。

抛砂机的操纵有手动、手柄操纵、遥控、随动和程序控制。手柄操作位置可设在抛头上、大臂上或固定操作台上。前两种方式的操作者经常在震动下工作，容易疲劳甚至招致疾病，所以对于移动式抛砂机，最好采用遥控技术进行操作，对于固定抛砂机可采用固定操作台。

抛砂机的生产率最小为每小时3立方米，最大已达每小时70立方米。就双转臂抛砂机的臂长来说，大臂最短为1000毫米，最长达6800毫米；小臂最短为800毫米，最长达5500毫米；总臂长最短为1800毫米，最长为12000毫米。这样大的差距说明适用范围的广阔。目前的抛砂机品种适应的最小砂箱为 320×450 毫米（悬挂式抛砂机）或 600×600 毫米（双转臂式抛砂机）；最大砂箱可达 4300×8000 毫米（双转臂式抛砂机）。抛砂深度可达5~6米，但对砂型的紧实度与表面硬度的影响尚不大。

抛砂机的优点是：

1. 可用于模板造型，也可用于无模板造型；
2. 对砂箱大小适应性强，特别适合于中、大铸件的单件生产；
3. 从手工造型转为抛砂机造型时，车间原有的砂箱、模具等仍可继续使用。这一点，从经济与投产速度来说都极为重要，是采用任何其他造型机械所办不到的；
4. 紧实度高，一般可达 1.70克/厘米^3 以上。这样的紧实度，可以承受各种高度砂型的液态金属的静压力；
5. 沿砂型高度上的紧实度均匀，不需补充桩实；
6. 振动小，对基础要求低，对建筑物无影响；
7. 噪音比较小。

抛砂机的缺点有：

1. 操作困难，需要熟练的操作者才能保证获得紧实度高而均匀的砂型；
2. 弧板、叶片调整与更换频繁，耗费人力和时间、消耗材料多，降低了抛砂机的实际生产能力；
3. 散落砂多，视砂型大小、操作熟练与否而异，一般在15~20%左右，增加砂处理工部的工作量和回收散落砂的装置。
4. 作业区粉尘浓度较高。个别作业区粉尘浓度高达每立方米6.3毫克。

抛砂机作为紧实砂型的设备具有一系列的优点，但它也仅仅解决了填砂与型砂紧实的机械化问题；其它，如刮去砂箱上面多余的型砂、翻箱、起模等造型工序仍然是手工操作，劳动强度大，效率低，起模质量差。于是，从五十年代末开始出现按模具流动程序进行布置的抛砂机造型线，配以刮砂机、起模机及运输设备，使整个抛砂造型实现机械化和半自动化。

抛砂机造型线与其它形式的造型线相比，优点是：

1. 比震实台造型线噪音小。
2. 比高压造型线的投资少，砂箱造价低。
3. 对于原来就采用加工砂箱、模板造型的车间只需增加少量专用垫板就可以使造型线投产，而不必做大量的工艺装备。
4. 对各种大小的砂型适用性强。

第二节 抛 砂 机

一、抛 头 形 式

抛砂机是利用高速旋转的叶片将型砂以每秒 30~60 米的速度抛入砂箱，在填砂的同时进行紧实的机械。抛砂机的主要部件是装有高速旋转叶片的抛头。抛头形式常见的有两种：轴向进砂抛头与切向进砂抛头。另有一种径向进砂抛头，目前尚不多见。

图 3-5-1 是轴向进砂抛头（以下简称轴向抛头）示意图。

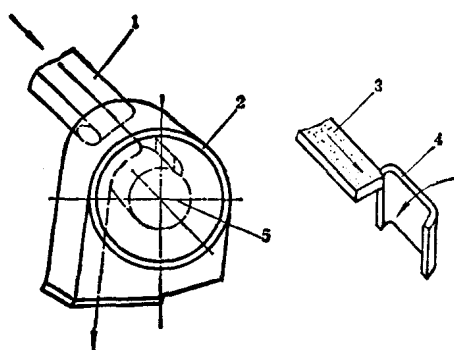


图 3-5-1 轴向进砂抛头示意图

1—小臂带式输送机 2—抛头
3—砂流 4—叶片 5—转子

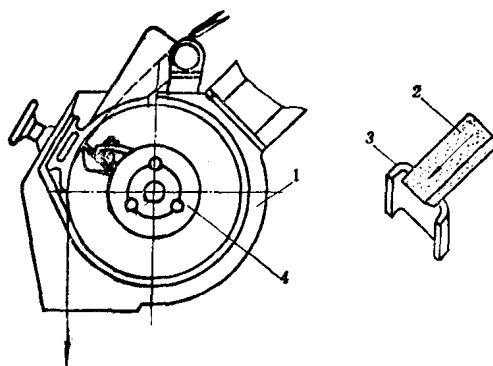


图 3-5-2 切向进砂抛头示意图

1—抛头 2—砂流 3—叶片 4—转子

型砂由小臂带式输送机 1 以平行于叶片 4 的旋转轴线方向送入抛头 2。也即型砂送入方向与叶片的中线轨迹所形成的平面相垂直。安装叶片的转子由电动机通过长轴直接传动，因此叶片转速即为所选电动机之转速。

图 3-5-2 是切向进砂抛头（以下简称切向抛头）示意图。

型砂自抛头 1 顶部沿叶片 3 端部回转圆的近似切线方向进入抛头。型砂带式输送机的中心线在叶片中线的轨迹平面内。安装叶片的转子由电动机通过三角皮带传动。

使用经验表明，切向抛头与轴向抛头相比，具有如下优缺点。

优点是：

1) 叶片及弧板寿命长。轴向抛头内的型砂是由叶片侧面进入。型砂在送入速度的作用下，沿叶片宽度方向滑移，且偏在叶片的一侧，因而导致叶片、弧板磨损大且不均匀，减短了它们的使用时间。切向抛头内的型砂是由叶片端部进入的。型砂沿叶片径向滑移，在其宽度方向无滑移且分布均匀。因而叶片、弧板的磨损小且均匀，使用寿命较长。试验资料表明，切向抛头与轴向抛头相比，其叶片磨损少四倍，弧板磨损少两倍半。

2) 电能消耗少。砂团与弧板的摩擦是抛头功率消耗的主要部分，约占抛头总功率的 50% 左右。轴向抛头的砂团沿弧板滑移 90° 中心角，切向抛头的砂团沿弧板仅滑移 $30^\circ \sim 45^\circ$ 中心角，所以其电能消耗少。

3) 生产率高。在叶片外径相同的条件下,切向抛头的生产率比轴向抛头的大。其原因是:轴向抛头内型砂总是偏在叶片的一边,叶片宽度未被全部利用。而切向抛头则能充分利用叶片宽度,所以生产率高。同时由于切向抛头的叶片、弧板磨损小而均匀,调整和更换的次数减少,抛砂机的利用率也相应提高。

4) 砂型质量高。由于切向抛头的叶片、弧板磨损均匀且磨损量小,延缓了叶片、弧板间隙的增大,使紧砂质量稳定。

5) 切向抛头采用三角皮带传动,转速易于变更、设备维修方便。轴向抛头由电动机直接带动叶片旋转,因此转速不能任意变更、维修也不方便。

切向抛头的缺点:

1) 三角皮带用久了容易打滑,使抛头叶片转速不稳定。

2) 进砂口容易堵塞,是切向抛头存在的严重问题。这是由于型砂从切线方向送入,当叶片切割砂流时,在叶片的撞击及惯性离心力的作用下,有部分型砂飞出(称为“离心飞砂”)。据有关部门研究指出:飞离的型砂可达63.5%。飞出的型砂碰撞在导向罩上造成积砂,阻碍砂流继续进入,形成堵塞。

堵塞问题影响了切向抛砂机的使用。国内外对此问题有较多的研究,并提出了如下几种解决办法:

1. 合理选择下列抛头参数,而达到利用离心飞砂的动能,使离心飞砂和重力作用下的自动翻落砂造成相对的动态平衡,保持最小的积砂区,以保证砂流畅通。

(1) 小臂供砂带式输送机速度, $V_s \approx 10 \text{米/秒}$;

(2) 小臂供砂带式输送机与水平线夹角, $\alpha \approx 40^\circ$;

(3) 在叶片和砂流上层最初接触点处,作该点轨迹的切线,使与铅垂线夹角 $\beta < 30^\circ$;

(4) 进砂斗正面挡板与水平线夹角, $\Omega = 55^\circ \sim 70^\circ$;

(5) 叶片与砂流上层轨迹最初接触点到弧板上端点的距离, $a' > 90 \text{毫米}$;

(6) 叶片与砂流下层轨迹最初接触点到进砂斗后挡板下端点的距离, $a'' > 5 \text{毫米}$;

(7) 小臂带式输送机上的砂层厚度, $h < 30 \text{毫米}$ 。

其中影响最大的参数是 α 。

2. 采用电加热板作导向罩。

3. 采用附装滚轮的切向抛头。据国内某研究单位的试验,在切向抛头上装一转动滚轮,可基本上消除进砂口的堵塞现象,因而可提高生产率约63%。其结构示意图如图3-5-3所示。

图中滚轮2由电动机1带动,以每分钟1400转的转速作顺时针旋转。滚轮上的粘砂由铲砂机构3铲除。

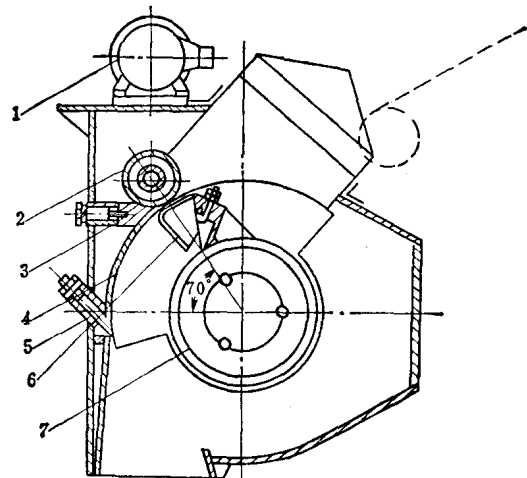


图3-5-3 附装滚轮的切向抛头

1—电动机 2—滚轮 3—铲砂机构 4—弧板
5—调节螺钉 6—叶片 7—转子

由于切向抛头具有上述的一些优点，因而目前国内制造与使用的大都为切向抛砂机。

二、抛头工作原理

型砂在抛砂过程中的形态，经高速摄影证实：型砂在抛头中被叶片和弧板挤压成曲面三角柱似的团状，且基本上以此团块并带有少许松散砂抛入砂箱。其过程如图 3-5-4 所示。

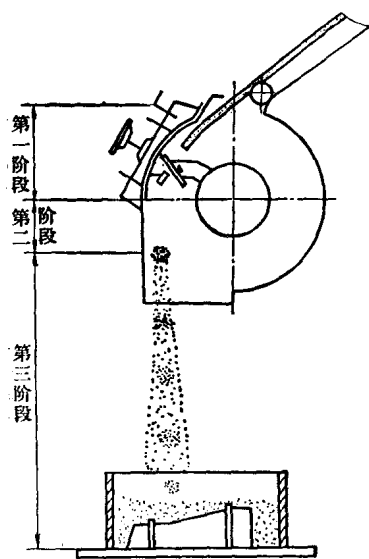


图 3-5-4 砂团运动过程示意图

图 3-5-4 中，第一阶段为型砂在抛头内形成砂团的过程。带式输送机送入抛头的型砂，在旋转叶片背后形成一片抛物线状的砂流层，这片砂流层等旋转叶片下一次转过进砂口时逐渐被捕集到叶片里。随同叶片一起旋转，并在惯性离心力的作用下，沿叶片滑向弧板，挤压成团并被紧实。

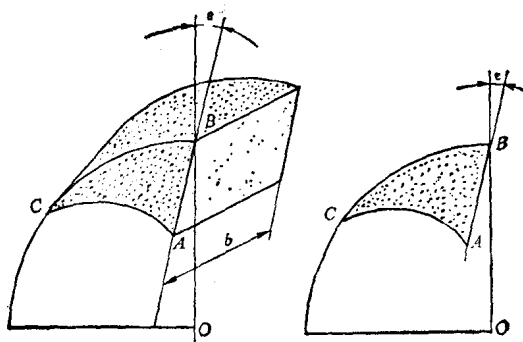


图 3-5-5 抛头内砂团形状示意图

砂团形状如图 3-5-5 所示。是由 AB 、 BC 、 CA 三个面围成的等截面柱体。 AB 是砂团与叶片的接触面，一般为平面； BC 是砂团与弧板的接触面，应为圆弧面； CA 是在惯性离心力与型砂内摩擦力作用下形成的自由曲面，根据数学推导，其母线为对数螺旋曲线。砂团柱高 b 为叶片的宽度。

第二阶段为砂团从抛头中下落的过程。这过程开始于砂团之 C 点转到弧板末端的时候，（此时砂团开始脱离弧板的阻挡而沿叶片向外滑移并随同叶片一起继续旋转）到砂团全部滑离叶片的一瞬间为止。

第三阶段为砂团落入砂箱并冲击箱内的砂层，使型砂得到补充紧实。

三、砂团抛出时的运动分析

砂团抛出属于前述抛砂过程的第二阶段。砂团抛出的过程一般认为是：当砂团的最前端（如图 3-5-5 的 C 点）到达弧板末端时即有部分型砂被抛出，这就是高速摄影所摄到的一部分松散砂。接着是大部分型砂成团地被抛出。最后是砂团的最里面部分，如图 3-5-5 的 B 点与 A 点又以松散砂状态被抛出。所以松散砂是成一个扇形面陆续被抛下的。这扇形面的中心角，即为通常所说的散射角。因为弧板末端总是设在水平直径上，上述 C 点与 B 点的型砂抛出速度，即为叶片端部的圆周速度，其方向为铅垂向下。因此散射角也就是 A 点型砂抛出的速度方向与铅垂线的夹角。

因为型砂基本上是呈团状抛出, 所以, 在分析砂团抛出的运动参数时, 一般把砂团的运动近似地看作其重心的质点运动。

型砂在第一阶段形成的砂团形状如前所述为一曲面三角柱体, 求其重心位置比较复杂。为了简化计算, 一般都把曲面三角柱假设成与弧板接触的截面为一底, 沿转子半径为高的等腰三角形的柱状体, 如图 3-5-6 所示。

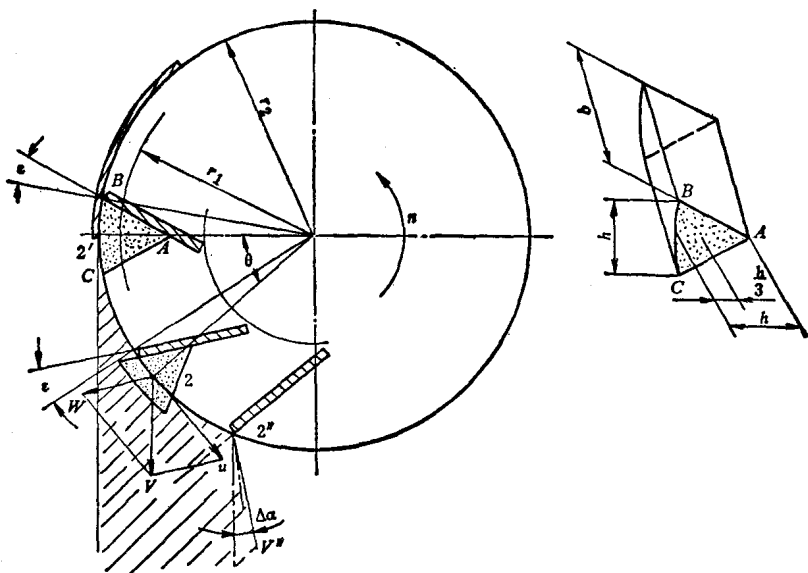


图3-5-6 砂团运动分析图

砂团在到达图 3-5-6 所示的 2' 位置之前, 它受到弧板的阻挡, 与叶片处于相对静止状态, 重心的相对速度为零。当砂团到达 2' 位置时, 砂团重心在惯性离心力的作用下开始沿叶片向外滑动。当重心滑到叶片末端, 即 2 点位置时, 以相对速度 W (即滑动速度)、牵连速度 u (即叶片末端的圆周速度) 的合成速度 V (即绝对速度) 向下抛掷。B 点和 C 点的部分型砂在 2' 位置被抛出。A 点的部分型砂在 2'' 位置被抛出。2'' 处的型砂绝对速度 V'' 与铅垂方向的夹角 ($\Delta\alpha$) 即为散射角。

为了使抛制的砂型达到工艺要求的硬度, 除绝对速度的大小要符合要求外, 其方向则要求接近铅垂线。为此, 叶片总是做成带一定的后倾角, 如图 3-5-6 中的 ϵ 角。

以下主要讨论质点抛出时速度大小, 速度方向及抛出位置。

(一) 质点抛出速度的大小

质点抛出时的绝对速度 V , 是相对速度 W 与牵连速度 u 的矢量和, 即

$$\vec{V} = \vec{W} + \vec{u} \quad (3-5-1)$$

1. 牵连速度 u : 牵连速度 u 为抛出时的圆周速度, 其值为:

$$u = \omega r_2 = \frac{2n\pi}{60} r_2 \quad (3-5-2)$$

式中 ω ——叶片的角速度 (弧度/秒);

n ——叶片的转速 (转/分);

r_2 ——叶片的半径 (指叶片外缘至旋转中心的距离) (米)。

2. 相对速度 W : 相对速度为质点沿后倾角为 ε 的倾斜叶片滑移到叶片半径 r_2 处的速度。如 3-5-7 所示。

质点在运动过程中受下列力的作用:

(1) 惯性离心力 P_1

$$P_1 = m\omega^2 r \quad (3-5-3)$$

式中 m ——砂团质量;

ω ——叶片的角速度;

r ——砂团重心的变动半径。

(2) 由哥氏加速度产生的回转惯性力 P_K

$$P_K = 2m\omega \frac{dx}{dt} \quad (3-5-4)$$

式中 $\frac{dx}{dt}$ ——质点沿叶片移动的相对速度。

(3) 摩擦力 P_2

$$P_2 = f(P_K - P_1 \sin \gamma) \quad (3-5-5)$$

式中 f ——砂团对叶片摩擦系数;

γ ——质点位置半径 r 与叶片间夹角。

(4) 砂团所受重力

它与所受惯性离心力比较, 可忽略不计。

这样, 由图 3-5-7 看出, 质点的运动方程可写成:

$$P_1 \cos \gamma - f(P_K - P_1 \sin \gamma) = m \frac{dw}{dt} \quad (3-5-6)$$

暂时忽略摩擦力对质点运动的影响, 则公式 (3-5-6) 可写成:

$$P_1 \cos \gamma = m \frac{dw}{dt} \quad (3-5-7)$$

由于 $P_1 = m\omega^2 r$, $r = \frac{r_k}{\sin \gamma}$, 代入上式得

$$\frac{dw}{dt} = \omega^2 r_k \operatorname{ctg} \gamma \quad (3-5-8)$$

又因 $\operatorname{ctg} \gamma = \frac{x + x_0}{r_k}$, 其中 x 为质点的运动行程。

则得:

$$\frac{dw}{dt} = \omega^2 (x + x_0) \quad (3-5-9)$$

将 $dt = \frac{dx}{W}$ 代入得

$$W dw = \omega^2 (x + x_0) dx \quad (3-5-10)$$

积分得

$$\int_{W_0}^W W dw = \omega^2 \int_0^x (x + x_0) dx \quad (3-5-11)$$

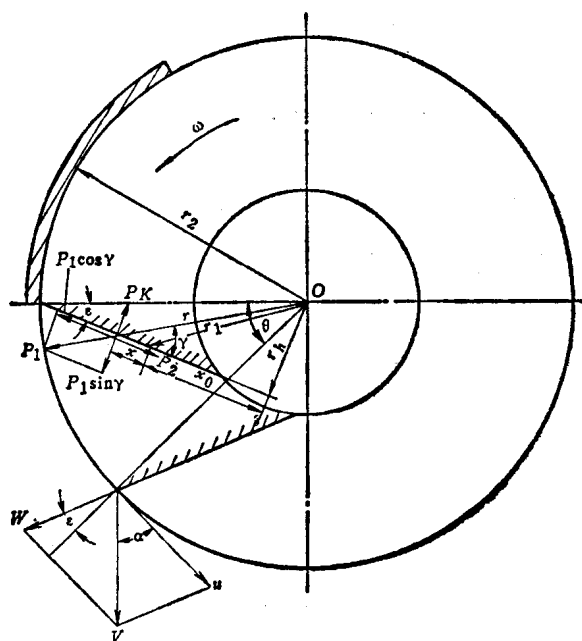


图3-5-7 型砂质点运动分析示意图

由于 $W_0 = 0$ (砂团重心质点的初相对速度), 故

$$W^2 = \omega^2 x^2 + 2\omega^2 x_0 x \quad \text{或} \\ W = \omega \sqrt{x(x + 2x_0)} \quad (3-5-12)$$

当质点移到抛砂出口处时, $x = r_2 \cos \varepsilon - x_0$

$$\text{得} \quad W = \omega \sqrt{(r_2 \cos \varepsilon - x_0)(r_2 \cos \varepsilon + x_0)} = \omega \sqrt{r_2^2 \cos^2 \varepsilon - x_0^2} \quad (3-5-13)$$

这时 $x_0^2 = r_1^2 - r_2^2 \sin^2 \varepsilon$, 代入上式得

$$W = \omega \sqrt{r_2^2 - r_1^2} \quad (3-5-14)$$

式中 r_1 ——质点开始滑移时的半径。

由此式可知, 抛砂出口处的质点相对速度与叶片后倾角大小无关。

3. 绝对速度 V

由图 3-5-7 可知:

$$V = \sqrt{W^2 + u^2 - 2Wu \cos(90^\circ - \varepsilon)} = \sqrt{W^2 + u^2 - 2Wu \sin \varepsilon} \\ = \omega \sqrt{2r_2^2 - r_1^2 - 2r_2 \sqrt{r_2^2 - r_1^2} \sin \varepsilon} \quad (3-5-15)$$

(二) 质点抛出速度的方向

抛出速度方向以 V 与 u 间夹角 α 表示 (见图 3-5-7)

$$\alpha = \arctg \frac{W \cos \varepsilon}{u - W \sin \varepsilon} = \arctg \frac{\sqrt{r_2^2 - r_1^2} \cos \varepsilon}{r_2 - \sqrt{r_2^2 - r_1^2} \sin \varepsilon} \quad (3-5-16)$$

(三) 质点抛出的位置

质点抛出位置以抛出点的半径与水平半径之间的夹角 θ 表示 (见图 3-5-7)

$$\theta = 57.3 \text{ Arch} \frac{r_2 \cos \varepsilon}{\sqrt{r_1^2 - r_2^2 \sin^2 \varepsilon}} \quad (\text{度}) \\ = \ln \frac{r_2 \cos \varepsilon + \sqrt{r_2^2 - r_1^2}}{\sqrt{r_1^2 - r_2^2 \sin^2 \varepsilon}} \quad (\text{弧度}) \quad (3-5-17)$$

(四) 质点抛出前沿叶片滑移的时间 t

$$t = \frac{1}{\omega} \text{ Arch} \frac{r_2 \cos \varepsilon}{\sqrt{r_1^2 - r_2^2 \sin^2 \varepsilon}} \quad (3-5-18)$$

(五) 对绝对速度 V 的探讨

上述分析表明, 在叶片半径 r_2 与后倾角 ε 已确定的情况下, 圆周速度 u 为常数, 相对速度与圆周速度的夹角为定值 $(90^\circ + \varepsilon)$, 相对速度 W 随 r_1 变动而变动。当相对速度由零逐步增大时, 绝对速度则先逐渐减小而后又逐渐增大, 如图 3-5-8 所示。这就是说, 当 r_1 变化时, 绝对速度有一个极小值。此极小值求法如下:

由式 (3-5-15) $V = \omega \sqrt{2r_2^2 - r_1^2 - 2r_2 \sqrt{r_2^2 - r_1^2} \sin \varepsilon}$ 取 V 对 r_1 的导数

$$\frac{dV}{dr_1} = \frac{\omega}{2} \frac{-2r_1 - \frac{2r_2(-2r_1)}{2\sqrt{r_2^2 - r_1^2}} \sin \varepsilon}{\sqrt{2r_2^2 - r_1^2 - 2r_2 \sqrt{r_2^2 - r_1^2} \sin \varepsilon}}$$

$$\text{令 } \frac{dV}{dr_1} = 0$$

$$\text{则 } -2r_1 - \frac{2r_2(-2r_1)\sin \varepsilon}{2\sqrt{r_2^2 - r_1^2}} = 0, \quad \frac{-4r_1\sqrt{r_2^2 - r_1^2} + 4r_2r_1\sin \varepsilon}{2\sqrt{r_2^2 - r_1^2}} = 0$$

$$-\sqrt{r_2^2 - r_1^2} = -r_2 \sin \varepsilon \quad \text{求得}$$

$$r_1 = r_2 \cos \varepsilon \quad (3-5-19)$$

将式 (3-5-19) 代入式 (3-5-15) 得到绝对速度 V 的极小值。

$$V = \omega r_2 \cos \varepsilon = u \cos \varepsilon \quad (3-5-20)$$

将式 (3-5-19) 代入式 (3-5-16) 得

$$\alpha = \arctg \varepsilon = \varepsilon \quad (3-5-21)$$

将式 (3-5-19) 代入式 (3-5-17) 得

$$\theta = \ln \frac{r_2 \cos \varepsilon + r_2 \sqrt{1 - \cos^2 \varepsilon}}{r_2 \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \sin^2 \varepsilon}}$$

$$= \ln \sqrt{\frac{\cos \varepsilon + \sin \varepsilon}{\cos \varepsilon - \sin \varepsilon}}$$

$$e^{2\theta} = \frac{\cos \varepsilon + \sin \varepsilon}{\cos \varepsilon - \sin \varepsilon} = \frac{1 + \operatorname{tg} \varepsilon}{1 - \operatorname{tg} \varepsilon}$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{e^{2\theta} - 1}{e^{2\theta} + 1} = \operatorname{th} \theta$$

在锐角范围内上式表示:

$$\varepsilon = \theta \quad (3-5-22)$$

由式 (3-5-21) 和式 (3-5-22) 得

$$\alpha = \theta \quad (3-5-23)$$

由图 3-5-7 的几何关系可知, 当 α 与 θ 相等时, V 铅垂向下。也就是说, 如果能使砂团重心滑移前的回转半径符合式 (3-5-19), 则砂团的抛出方向就是铅垂向下, 以达到工艺要求。

上述推导是把砂团看作质点进行的, 其结果与抛砂机中砂团运动的实际情形是有误差的。

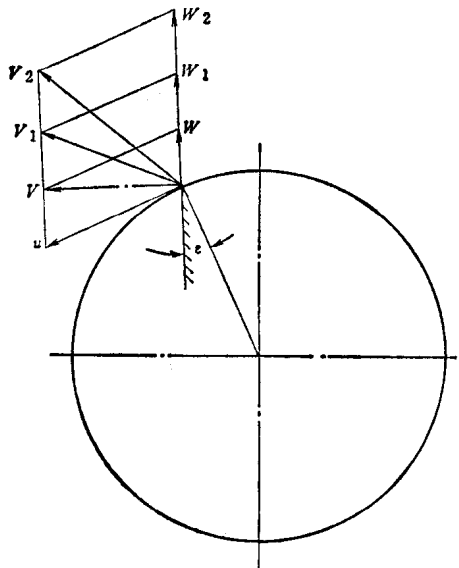


图3-5-8 绝对速度变化示意图

四、抛头参数的选择

抛头参数主要指: 抛头的生产率、砂团抛出速度、叶片的后倾角、叶片的外径、叶片的转速、叶片的宽度、进砂速度等, 参数选择正确与否, 直接影响到抛头的性能。

(一) 生产率 Q

抛砂机是一种通用设备, 其生产率应按系列确定, 以满足不同生产规模的需要。目前, 切向抛砂机的系列产品还少, 规格不很完备。而轴向抛砂机生产率最小为每小时三立方米, 最大已达每小时七十立方米, 大体上形成一个从每小时五立方米开始, 以五立方米为公差排成系列。

生产率一般以每小时所抛出紧实砂的体积计算。

(二) 砂团抛出的绝对速度 V

砂团抛出的绝对速度大小, 直接影响砂型的紧实度与表面硬度。根据抛砂机的用途, 确

定砂型应承受的最大金属液静压力，再根据相应的图表查出砂型应有的紧实度与表面硬度，最后由图 3-5-9 查出所需的绝对速度 V 。

(三) 叶片的后倾角 ε

叶片的后倾角在平底叶片时指叶片方向的延长线与通过叶片末端的半径间的夹角。如图 3-5-10 所示。

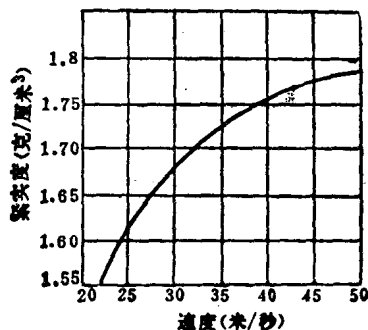


图3-5-9 砂团抛出的绝对速度与砂型紧实度关系图

一般推荐此角为 $20^\circ \sim 30^\circ$ 。有的认为 $\varepsilon = 26^\circ$ 最能满足工艺要求。

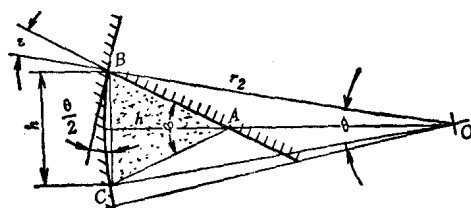


图3-5-10 叶片后倾角与砂团底角关系图

由图 3-5-10 可知， $\varepsilon = 90^\circ - \angle ABC - \frac{\theta}{2}$ ，根据砂团以横截面为底而底与高相等的等腰三角形假设，可以算出 $\angle ABC \approx 63^\circ$ ， $\theta \approx 12^\circ$ ，则 $\varepsilon \approx 20^\circ \sim 21^\circ$ ，与上述推荐值相符。

(四) 砂团抛出时的圆周速度 u

根据前面选择的 V 与 ε ，由公式 (3-5-20) 得

$$u = \frac{V}{\cos \varepsilon} \quad (3-5-24)$$

(五) 叶片的半径 r_2 与转速 n

由公式 (3-5-2) 可得

$$r_2 = \frac{u60}{2\pi n} = \frac{30}{n\pi} u \quad (3-5-25)$$

$$n = \frac{30}{\pi r_2} u = \frac{30}{\pi r_2 \cos \varepsilon} V = 9.55 \frac{V}{r_2 \cos \varepsilon} \quad (3-5-26)$$

叶片半径 r_2 的大小不仅决定于上式，更主要的是决定于抛头结构的紧凑、进砂口布置的可能以及抛头设计的通用性等因素。由轴向抛头的资料表明，抛头的生产率虽然分级很细，但抛头叶片直径的通用化程度却很高。例如，有的制造厂生产十种生产率的抛头，其叶片直径只采用 630 毫米及 765 毫米两种。并且直径的大小，主要还不是为了得到不同的生产率，而是为了得到不同的圆周速度。例如，直径为 630 毫米的抛头，其生产率自每小时十五立方米到每小时四十五立方米，共有七种，圆周速度都是每秒五十米；而直径为 765 毫米的抛头，其小时生产率自二十立方米到六十立方米，达七种，圆周速度为每秒六十米。两种抛头的生产率重叠的达六种之多。有的国家把抛头直径标准订为 480、620、800 毫米三级，以适应每小时三立方米到每小时六十立方米的五种生产率，也说明了叶片半径的通用化趋势。

对于切向抛头，式 (3-5-26) 主要用来计算转速。对于轴向抛头，转速 n 决定于所选的电动机。

(六) 叶片宽度 b

叶片宽度过去一般是按经验选取的。但根据上面的分析，如果砂团成底与高相等的等腰

三角形的假定接近实际, 那末, ε 应当为定值, r_2 在一定条件下选定后也为定值。所以, 必须创造条件, 使

$$r_1 = r_2 \cos \varepsilon$$

设三角形的底与高都等于 h , 则

$$h = \sqrt{\frac{2Q10^3 \alpha}{60 n b i}} \quad (\text{毫米}) \quad (3-5-27)$$

式中 Q ——抛头的生产率 ($\text{米}^3/\text{小时}$);

i ——叶片数, 切向抛砂机叶片数目前都为 1;

α ——砂型紧实度与砂团预紧实度之比, 取 1.1;

n ——叶片转数 (转/分);

b ——叶片宽度 (毫米)。

砂团重心距离底边为 $\frac{h}{3}$, 故

$$r_1 = r_2 - \frac{h}{3} = r_2 - \frac{1}{3} \sqrt{\frac{2Q10^3 \times 1.1}{60 n b}}$$

将式 (3-5-19) 代入得

$$\begin{aligned} r_2 \cos \varepsilon &= r_2 - \frac{1}{3} \sqrt{\frac{2Q10^3 \times 1.1}{60 n b}} \\ b &\approx \frac{4 \times 10^3 Q}{n r_2^2 (1 - \cos \varepsilon)^2} \quad (\text{毫米}) \end{aligned} \quad (3-5-28)$$

(七) 叶片数量 i

由式 (3-5-27) 可知在 Q 、 α 、 h 、 n 一定时, 增大 i 可以减小 b ; 在 h 、 α 、 n 、 b 一定时, 增大 i 可以增大 Q , 即可以提高产量。轴向抛头有 1、2、3、4 个叶片的, 但切向抛头至今还都是采用单叶片的。根据试验, 双叶片的切向抛头进砂口堵塞严重不能保证正常生产。

一般认为多叶片的抛头有利于转子的平衡, 但进一步分析, 多叶片有时甚至给转子平衡带来更不利的因素。因为, 如果叶片允许的重量误差是 $\pm \delta$ 的话, 则双叶片可能产生的最大误差为 $\pm 2\delta$ 。不过 δ 值终究是不会太大的, 如果切向抛头的堵塞问题解决了, 采用多叶片也是提高生产率的一个途径。

(八) 叶片形状

叶片底面形状, 有弧形底面、阶梯形底面、平底面等。弧形底面制造复杂, 理论分析与试验结果指出其效果并不显著, 实际很少采用。目前采用多的还是带一定后倾角的平底叶片, 因为它制造容易, 抛砂效果也好。

(九) 进砂速度 V_s

进砂速度对防止进砂口堵塞与抛砂紧实度都有关系, 从防止进砂口堵塞来说, 进砂速度推荐 $3 \sim 12 \text{米}/\text{秒}$ 。从抛砂紧实度来说, 应为

$$V_s = (0.02 \sim 0.025) n r_2 \quad (\text{米}/\text{秒}) \quad (3-5-29)$$

系数 $0.02 \sim 0.025$ 的选择与砂型紧实度有关, 要求紧实度高的取低值, 反之取高值。

上式推导时, 假设进砂口挡砂板的倾角为 45° , 挡砂板与外壳接触处的座标为 $\frac{r}{3}$ (以转

轴中心为原点)。不符合此条件的,应用作图法求出砂流轨迹,使型砂全部或至少有85%以上被叶片所捕集来另行推导,即砂流导前系数取 <0.15 。

五、抛头的功率计算

抛头工作时功率消耗于:砂团获得的动能、叶片旋转时克服空气阻力、克服砂团与弧板间的摩擦损失。

(一) 砂团获得动能所消耗的功率

$$N_1 = \frac{Q C_1 V^2}{2 \times 3600 \times 102 g} \approx \frac{Q V^2}{4000} \quad (\text{千瓦}) \quad (3-5-30)$$

(二) 叶片旋转时克服空气阻力所消耗的功率

$$N_2 = \frac{2b C_2 \pi^3 n^3 r_2^2 (r_2^2 - r_0^2)}{60^3 \times 102 g} \approx \frac{b n^3 r_2^2 (r_2^2 - r_0^2)}{574} \quad (\text{千瓦}) \quad (3-5-31)$$

(三) 克服砂团与弧板间摩擦所消耗的功率

此项功率用下式近似计算:

$$N_3 = \frac{\beta m r_2^2 b n}{97500} \quad (\text{千瓦}) \quad (3-5-32)$$

(四) 总的功率消耗

$$N_4 = \sqrt{\frac{(N_1 + N_2 + N_3)^2 t_1 + (N_1 + N_2)^2 t + N_3^2 t_2}{T}} \quad (3-5-33)$$

(五) 电动机功率

$$N = \frac{N_4}{0.95} \quad (\text{千瓦}) \quad (3-5-34)$$

(六) 验算电机过载系数

$$\frac{N_1 + N_2 + N_3}{N} \leq \text{允许的过载系数} \quad (3-5-35)$$

上述各式中 Q ——抛头生产率 ($\text{米}^3/\text{小时}$);

C_1 ——紧实砂容重, 取 $C_1 = 1800 \text{ 公斤}/\text{米}^3$;

C_2 ——空气比重, 取 $C_2 = 1.22 \text{ 公斤}/\text{米}^3$;

V ——砂团重心脱离叶片时的绝对速度 ($\text{米}/\text{秒}$);

g ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ 米}/\text{秒}^2$;

r_2 ——叶片外径 (米);

r_0 ——叶片内径 (米) (叶片内缘至旋转中心距离);

b ——叶片宽度 (米);

n ——叶片的转速 (转/分);

T ——叶片回转周期 (秒);

$$T = \frac{60}{n_i} = t + t_1 + t_2 \quad (3-5-36)$$

t ——砂团自弧板末端到离开叶片的时间 (秒), 按式 (3-5-18) 求得;

t_2 ——叶片空转时间 (秒) 由式 (3-5-36) 求得;

β ——系数, 取 $0.6 \sim 0.7$;