

# 大型床身的树脂砂生产实践

马鞍山钢铁股份有限公司重型机械设备制造公司 (安徽 243000) 张 进 边敦亨 陆 健 王 成

**【摘要】** 详细介绍了大型床身树脂砂生产的铸造工艺。通过合理选择化学成分,对铁液进行过热与孕育处理,提高导轨面的冷却速度,能够使床身获得HT300材质的性能要求。分析了床身导轨面产生气孔缺陷的原因,通过生产实践,验证了树脂砂发气量大是床身产生气孔的根源,只有严格控制树脂加入量 $\leq 1.2\%$ ,采取“高温快浇”的工艺措施,才能彻底消除气孔缺陷。

马鞍山钢铁股份有限公司重型机械设备制造公司对铸铁分厂原粘土砂系统进行树脂砂改造后,为提高产品档次,开拓外部市场,于2006年承接了齐齐哈尔二机床集团TK6920DA型镗铣机床身毛坯的制作任务。其轮廓尺寸 $4900\text{mm} \times 2070\text{mm} \times 600\text{mm}$ ,毛坯单重14.8t,主要壁厚35mm,导轨面厚度45mm。

## 一、技术要求与分析

床身是镗铣机床上保证加工精度的重要部件,其材质应具有良好的减震性、耐磨性、精度稳定性及较高的抗压强度。床身技术要求如下:

- (1) 材质为HT300,基体组织为分布良好、长度 $< 250\mu\text{m}$ 的A型石墨。
- (2) 导轨面硬度 $\geq 180\text{HBW}$ ,硬度差 $\leq 25\text{HBW}$ 。
- (3) 导轨面粗加工后,不允许存在气孔、夹渣和疏松等任何形式的铸造缺陷,其他部位不允许有裂纹、缩孔等影响强度的缺陷,非加工表面质量要求光洁、美观。

为获得高牌号HT300的力学性能,常采取的工艺措施有合理选择化学成分、改变炉料组成、铁液过热处理与孕育处理,以及控制厚大部位的冷却条件等。

增强市场竞争力等方面有着举足轻重的作用,要不断地提高全员质量意识,树立“质量第一、品质取胜”的观念,保证质量体系有效运行,并不断深化。

(3) 尽快制定符合当前技术发展要求的机床铸件新标准,特别是高档数控机床需要的机床铸件质量标准。如机床铸件的尺寸精度,重要铸件(导轨面)的平直度、表面粗糙度、导轨面表面硬度、金相组织、石墨形态和长度、基体组织中珠光体的含量和间距,以及碳化物数量等技术性能指标。

(4) 加强铸造专业人员的技能培训,培养造就一批高素质的骨干人才,不断提高铸造从业人员的思想、道德、业务和文化素质,这是铸造企业持续发展的不

竭之源和动力。重视人才的引进与培养尤为重要,通过厂、校联合建立人才培养基地,是当今培养人才的最佳途径。铸造企业没有高素质的骨干人才,提高机床铸件质量就无从谈起,最终也会影响机床产品质量水平的整体提升。

(5) 劳动保护和环境保护是我国铸造工业生产中薄弱环节,也是制约我国铸造业发展的主要因素,不但与国际水平相比差距很大,而且与国家提出的创建“和谐”社会、建立“绿色铸造”格格不入。因此,不断完善健全劳动保护,保障铸造从业人员的人身安全,形成良好的生产工作环境,可使铸造从业人员心情愉快,有效工作。MW (20080916)

采用树脂砂生产大型床身铸件，具有劳动强度低、生产效率高，以及能够较好地满足铸件表面质量要求的优势。然而树脂砂发气量大，在850℃时测得其发气量为14~16mL/g，是普通粘土砂的2~3倍，而且对铁液的温度与流动性十分敏感，极易使铸件产生气孔缺陷。有关类似的情况已多有报道，目前比较统一的认识是树脂砂发气量大是铸件产生气孔的根源，必须严格控制树脂砂中树脂的加入比例，根据原砂的情况，树脂加入量一般为0.8%~1.2%。此外，针对树脂砂的特性，常采取铁液延时凝固的工艺措施，使树脂砂型表面因受热所产生的气体能及时外排，防止铸件气孔的产生。

另外，由于床身材质HT300具有熔点高、流动性差

的特点，用树脂砂生产床身的铸造工艺还必须遵循“高温快浇”的原则，并加强树脂砂型芯的排气。

## 二、铸造工艺方案

### 1. 造型工艺

(1) 浇注系统的设计原则 床身工艺浇注铁液量为16.5t，因受实际生产条件的限制，需同时准备两包铁液，分别从两套浇注系统引入型腔。为防止两包铁液成分的细微差异，造成床身导轨面上的硬度不均，在床身一端设置底注式浇口，从导轨处引入铁液；床身的另一端设置雨淋式浇口，从床身上部引入铁液。另外，直浇道与内浇道均采用成形陶瓷耐火砖管。铸造工艺见图1。

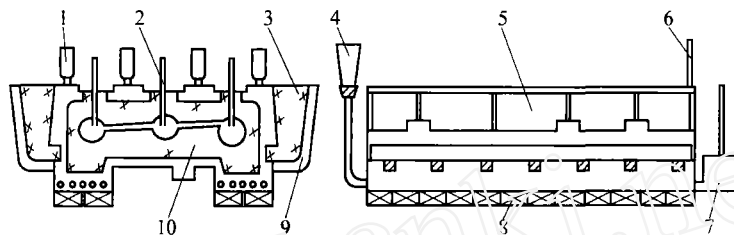


图1 造型工艺

1.冒口 2.砂芯排气 3.侧边砂芯 4.底注式浇口 5.床身 6.雨淋式浇口 7.冷液储存包 8.石墨冷铁 9.溢流槽 10.中心砂芯

依据对用树脂砂生产床身特性的理论分析，浇注系统的设计原则是：①浇道最小总截面积要足够大，且充型阻力要小，能保证铁液快速充型。②尽量避免铁液在流动过程中产生“涡流”或“死角”。③能够防止气体卷入且具有一定的挡渣能力。

(2) 浇注系统的计算 对重型铸铁件，浇注时间的通用计算公式：

$$t = S \sqrt{G} \quad (1)$$

式中  $t$ ——浇注时间，s；

$G$ ——型内金属液质量，取16 500kg；

$S$ ——系数，与铸件壁厚有关，查表取 $S=1.7$ 。

经计算，床身浇注时间应控制在218.4s内。

机床类铸件内浇道总面积的经验计算公式：

$$F_{\text{内}} = K \sqrt{G} \quad (2)$$

式中  $F_{\text{内}}$ ——内浇道总截面积， $\text{cm}^2$ ；

$K$ ——系数，一般取 $K=0.75\sim 0.8$ 。

由于通过底注式内浇道的铁液流程较长（ $L=4980\text{mm}$ ），并受到导轨底面石墨冷铁的激冷作用，降温较快，因此在内浇道计算时系数 $K$ 应适当的放大，取 $K=1.0$ 。底注式内浇道的总截面积为：

$$F_{\text{底内}} = 1.0 \times (16\ 500)^{1/2} \text{cm}^2 = 128.5 \text{cm}^2$$

对于雨淋式内浇道若无特殊要求，取系数 $K=0.75$ 即可，其内浇道总截面积为：

$$F_{\text{雨内}} = 0.75 \times (16\ 500)^{1/2} \text{cm}^2 = 96.44 \text{cm}^2$$

考虑到浇注系统要有一定的挡渣能力，又要防止铁液飞溅，受到石墨冷铁激冷形成“冷豆夹渣”，底注式与雨淋式浇注系统均采用半封闭式，其各组元比例设计为 $F_{\text{内}} : F_{\text{横}} : F_{\text{直}} = 1.0 : 1.4 : 1.2$ 。具体尺寸见表1。

表1 浇注系统尺寸

类 型	内浇道	横浇道	直浇道
底注式	尺寸与数量/mm	10— $\phi 40$	2— $80 \times 110$
	总面积/ $\text{cm}^2$	126	176
雨淋式	尺寸与数量/mm	14— $\phi 30$	2— $70 \times 100$
	总面积/ $\text{cm}^2$	96	140

(3) 冷铁的选用 导轨面一般属床身铸件上的厚大部位，又有较高的硬度要求，通常需提高其冷却速率，才能获得所需的材质硬度。石墨冷铁具有良好的导热性，与铸铁冷铁相比，激冷效果好，清砂容易，能够克服铸铁冷铁因锈蚀易产生气孔的倾向，且使用方便，成本也较低，按冷铁厚度与床身导轨厚度之比为1:1，

选用石墨冷铁尺寸为240mm×120mm×60mm，每件床身共需140块。

(4) 砂芯出气与冒口 床身内腔由14个长条砂芯构成，为了便于树脂砂的发气能顺利排出，防止铸件产生气憋或气孔缺陷，每个砂芯均设有气道，通过盖箱引出（见图1）。在床身的4条地脚板上设置24个缩颈冒口，尺寸为 $\phi 100\text{ mm}\times 300\text{ mm}$ 至 $\phi 50\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 。

(5) 溢流槽与冷液储存包 在床身导轨外侧上部设置溢流槽，便于导轨死角处的气体能够顺利排出；在床身导轨底注式浇口的另一端设置两个冷液储存包（见图1），尺寸为500 mm×250mm×150mm，目的是收集因流程较长、石墨激冷而造成过冷的前端充型铁液，防止其滞留在导轨处，凝固过快，使侵入气体来不及排出。

2. 树脂砂的制备

发气量大是树脂砂的基本特性，对于高牌号的铸铁件生产，其不利影响尤为严重。若铸件品质要求较高，极易产生气孔废品。因此，树脂砂的制备应在保证铸型强度的基础上，尽量减少树脂的加入量。同时还要严格控制原砂品质及树脂与固化剂的N含量。在树脂砂制备过程中，所选用原材料技术参数见表2~4。

表2 原砂技术指标

角形系数	成分(质量分数, %)			酸耗值/mL	灼减量/g
	SiO <sub>2</sub>	含泥量	含水量		
<1.4	>90	<0.2	<0.2	<5.0	<0.5

表3 呋喃树脂技术指标

粘度 (20℃) /MPa·s <sup>-1</sup>	密度 (20℃) /g·cm <sup>-3</sup>	w <sub>N</sub> (%)	游离甲醛 (%)
≤20	1.15~1.18	≤3.0	≤0.3

表4 固化剂技术指标

型号	技术指标				砂温 /℃
	密度 (20℃) /g·cm <sup>-3</sup>	总酸含量 (%)	游离醛 (%)	粘度 (20℃) /MPa·s <sup>-1</sup>	
GC09	1.2~1.4	24.5~27.5	2.5~4.5	60~80	5~15
GC03	1.2~1.3	24.0~26.0	7~10	10~30	15~25
GC04	1.2~1.3	18.0~20.0	0~1.5	10~30	25~35

树脂砂混制工艺流程：石英砂+对甲苯磺酸  
搅拌30s → +呋喃树脂 搅拌30s → 出砂。采用连续式混砂机，气动送砂，螺旋搅拌给料，先加入固化剂，后加入

树脂，连续出砂（PLC）。具体型砂配比见表5。

表5 树脂砂配比

原材料名称	型号	加入量 (%)
再生砂	—	100
呋喃树脂	—	0.8~1.2
固化剂	GC09	30~50 (占树脂含量)
	GC03	
	GC04	

3. 化学成分的选择

碳与硅都是强烈促进石墨化的元素。由于石墨的强度与硬度极低，加之片状石墨对铸铁的割裂作用，同时涉及片状石墨的形态，故灰铸铁中碳当量越高，其强度和硬度就越低。然而较低的碳当量，会使铁液的流动性变差，易产生白口、气孔与收缩缺陷。HT300的碳当量一般为CE=3.4%~3.8%。

锰和硫都是稳定碳化物，阻碍石墨化的元素，提高锰含量能增加并细化珠光体，提高基体强度。由于Mn与S两者共存时，会形成MnS，成为灰铸铁中不宜多也不宜少的异质相。若w<sub>S</sub><0.06%时，会使灰铸铁孕育效果极差。因此，适当放宽对含S量的控制并无害处。

磷可显著提高铁液的流动性，固溶的P还能强烈提高铸铁的硬度，但由于P在铁素体中的溶解度极低，易形成严重偏析，加剧厚大部位的疏松，一般以w<sub>P</sub>=0.05%~0.07%为宜。

综上所述，床身的化学成分设计见表6。

表6 床身的化学成分（质量分数） (%)

项目	C	Si	Mn	P	S
铸件	2.7~3.1	1.4~1.7	1.0~1.3	<0.1	<0.1
原铁液	2.8~3.2	1.0~1.2	1.0~1.3	<0.1	<0.1

4. 熔炼与浇注

(1) 熔炼设备 经工艺计算，浇注床身要一次性提供16.5t左右的铁液，需同时开启铸铁分厂所有熔炼设备（5t与1.5t工频炉各一台，7t/h冲天炉一座）才能满足要求。铁液分配是两台工频炉负责提供7t铁液，冲天炉负责提供9.5t铁液。

(2) 炉料情况 焦炭：山西铸造焦，块度80~150mm；生铁：普通Z14生铁；废钢：公司内部角钢边角料与社会回收废钢。

(3) 冶炼工艺 采取工频炉与冲天炉双联熔炼方式，冲天炉炉后配料主要通过加入大量废钢，来降低碳

当量,视生铁化学成分,一般加入量为40%~60%,另添加少量锰铁合金与硅铁合金,使铁液达到设计成分要求。先期熔炼的冲天炉铁液倒入工频炉中并提温至1480~1500℃,进行过热处理,净化铁液,细化石墨,提高铸件强度。同时检测炉前铁液成分,必要时进行调整。此间,冲天炉继续熔炼,当工频炉与冲天炉熔炼的铁液总量达到要求后,同时出铁进行孕育处理。

孕育处理时,工频炉出铁温度控制在1450~1470℃,冲天炉铁液温度为1400~1420℃。选用BaSiFe长效孕育剂,加入量为出铁量的0.4%~0.6%,目的是减少铁液过冷,促进A型石墨的生长,改善基体。

(4) 浇注工艺 孕育处理后,对工频炉与冲天炉铁液进行充分搅拌、扒渣,同时调运至床身两端准备浇注。为确保床身下部导轨面的力学性能,工频炉优质铁液通过底注式浇注系统先浇,待铁液浇至剩余0.5t左右时,冲天炉铁液通过床身另一端上部雨淋浇口再行浇注。通过对床身树脂砂造型工艺的分析,要求铁液快速浇注,并应在工艺规定的时间内浇完,防止床身导轨面出现气孔缺陷。

### 三、生产实践

自床身试制后投入批量生产以来,对每件床身的材质都进行了内在性能检测,不仅单铸试样抗拉强度及导轨面硬度都符合床身技术要求(实际检测中抽取3件,结果如表7所示),而且基体组织良好,为珠光体+A型石墨,石长<250μm,金相照片见图2。

经粗加工检验,床身的几何尺寸与加工余量均达到图样要求。然而由于在床身生产初期对树脂砂发气量大,机床类铸件易出现导轨面气孔缺陷的认识不够,生产过程未能及时监控型砂中的树脂含量,以及原砂加入量不稳定等因素,造成树脂实际加入量高达3.0%以



图2 床身的金相组织(珠光体+A型石墨) ×100

上。另外,对于高牌号灰铸铁流动性差的特性,未能严格执行“高温快浇”的工艺方案,一度因导轨面出现密集性气孔而造成床身大量报废。初步统计,粗加工后废品与待处理不良品率高达50%。

后来根据对树脂砂生产床身,导轨面产生气孔原因的分析,改进了工艺。

(1) 扩大浇注系统最小总截面积,浇注时间由原来的5~7min,缩短至2~4min。尤其是对第一包底注式充填床身导轨处铁液浇注时间的控制,工艺计算其浇注时间为 $7/16.5 \times 218s = 93s$ ,实际浇注时间为1~1.5min。

(2) 真正实现铁液延时凝固,便于侵入气体的排出。

(3) 采取冷液储存包与砂芯出气等工艺辅助措施。

(4) 加强生产过程的质量控制,定时对树脂砂的配比进行监控,保证树脂加入量控制在0.8%~1.2%之间,从根本上减少了树脂砂发气量对铸件的危害。

经粗加工后对床身进行检测,导轨面气孔得到彻底消除,铸件合格率达95%以上。

### 四、结语

(1) 合理选择化学成分,对铁液进行过热与孕育处理,提高导轨面的冷却速度,是保证产品获得HT300材质所要求力学性能与导轨面硬度的主要途径。

(2) 树脂砂发气量大是铸件产生气孔的根源,因此在生产机床类铸铁件时,必须严格控制型砂配比中树脂的加入量不超过1.2%。

(3) 针对高牌号灰铸铁熔点高、流动性差的特点,要正确设计浇注系统,采取高温快浇、铁液延时凝固等工艺措施,使侵入铁液的气体及时排出,并加强型芯的排气,才能彻底消除用树脂砂生产机床铸件产生的气孔缺陷。MW (20080820)

表7 床身的力学性能

床身编号与导轨		硬度分布HBW				抗拉强度/MPa
		前部	中部	后部	最大差值	
07-002	轨1	184	195	201	22	311
	轨2	189	206	197		
07-010	轨1	192	201	185	25	320
	轨2	186	210	207		
07-019	轨1	203	206	196	24	306
	轨2	195	207	183		