

# 高端数控车床斜导轨床身铸造工艺设计及改进

范江

(沈阳机床银丰铸造有限公司, 辽宁 沈阳 110078)

**摘要:** 从浇注位置、分型面、机械加工余量及分型负数等工艺参数确定, 到砂芯设计、浇注系统设计、排气冒口设计、型芯砂配比、熔炼方案等方面, 详细介绍了某高端数控车床斜导轨床身铸件的铸造工艺设计方案。针对铸件出现的气孔缺陷, 从气孔形成机理、工艺设计方案、现场操作、浇注过程表现状态等方面进行了具体分析。经生产验证, 通过改进砂芯设计, 合理设置排气通道, 规范实际操作等方法有效解决了铸件的气孔问题。

**关键词:** 斜导轨床身; 工艺设计; 砂芯设计; 气孔

高端数控斜导轨车床床身的导轨一般采用 $45^\circ$ 或 $30^\circ$ 斜式布局, 采用此种设计方式有以下几点优势: 一是床身导轨不用承受全部的力量且斜导轨数控车床床身的截面积要比同规格平床身的大, 其抗弯曲和抗扭能力更强; 二是导轨不容易残留铁屑, 高速移动时导轨不会被铁屑刮伤, 而且受力面有角度, 这样就保证了在同等材料和受力情况下机床的稳定; 三是斜导轨床身一般都是整体铸造, 坚韧性相对较高。因此, 斜导轨数控车床能高精度、高效率地完成零部件的粗、精加工, 在工业企业中应用越来越广泛。作为斜导轨数控车床重要组成部分之一的斜导轨床身, 其需求量也在日益增加, 同时对其质量要求也在日益提高。

铸造企业能够占有斜导轨床身制造份额尤为重要。斜导轨床身是笔者公司生产的重要铸件之一。设计优质的铸造工艺方案、简便易行的造型方法和制订规范的操作规程, 是生产出满足客户要求的高质量斜导轨床身铸件的有效途径。下面以笔者单位生产的一种斜导轨床身为例, 对其铸造工艺设计过程进行介绍。

## 1 斜导轨床身的简介

斜导轨床身作为高端数控车床的关键零件之一, 保证其铸件质量是非常重要的。图1为斜导轨床身立体图, 其材质为HT300, 要求铸态组织A型石墨 80%以上、珠光体 90%以上, 铸件本体硬度HB 180~220, 铸件毛重1 600 kg, 外轮廓尺寸1 880 mm (长)×965 mm (宽)×1 020 mm (高), 铸件主要壁厚20 mm, 筋板壁厚15 mm, 铸件结构复杂, 内腔由上、下两个空腔构成, 不能由一块砂芯形成(也不利于内腔砂芯的排气), 四周凸台较多不易起型。导轨与水平面之间呈 $30^\circ$ 角, 导轨面是整个机床的主要滑动面和受力面, 需要保证其尺寸精度和质量要求。铸件导轨处易出现气孔、夹渣等铸造缺陷, 工艺设计需考虑使浇注系统发挥最大的挡渣排气作用, 同时也须考虑高温铁液能够分散、快速地进入型腔, 使铸件充型及凝固过程温度场均匀, 铸件的基体组织要求一致性高, 从而得到高品质的铸件, 因此设计合理的铸造工艺是成功生产该铸件的关键。

## 2 斜导轨床身的铸造工艺设计

浇注位置的确定<sup>[1]</sup>。依据铸件的重要加工表面、主要工作表面和受力表面应尽可能放在铸型下部或侧面; 尽可能使砂芯数量最少, 有利于砂芯的定位、固定和排气

作者简介:

范江(1984-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向为铸造工艺设计及铸造设备。电话: 15909824658, E-mail: fanjiang@gt.com

中图分类号: TG146.2

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2022)

04-0467-05

收稿日期:

2021-12-08 收到初稿,

2022-02-17 收到修订稿。

的原则,选择床身的底面向上、导轨在侧面的浇注位置,如图2所示,以保证导轨的质量,防止导轨产生砂眼、气孔、夹渣等缺陷。

分型面的确定。确保铸件的全部或主要部分置于同一箱内,以减少因错箱造成的尺寸偏差;尽量将加工定位面和主要加工面放在同一箱内,以减少加工定位的尺寸偏差;为了便于起模,分型面最好取在铸件的最大截面处;为便于合箱和检验砂芯,应尽量使砂芯位于下铸型,因此取如图3所示的床身底面为分型面,铸件的主要部分放在下铸型,导轨在侧面,只有几处凸台放在上铸型。

工艺参数的确定。铸造收缩率:此件为树脂砂铸造的灰铸铁,根据生产中长期积累的经验确定铸造收

缩率为1%。机械加工余量:依据铸件的基本尺寸,并按照客户要求的KS或JIS铸件尺寸公差等级CT11,确定机械加工余量等级按F级执行,设置加工余量为9 mm,起模面加工余量为8~10 mm。分型负数:按照所选择的砂箱长度尺寸取分型负数为2 mm。

砂芯的设计。砂芯设计应遵循以下原则<sup>[2]</sup>:砂芯的填砂面尽量大,便于制芯时填砂舂砂,便于放置芯骨和采取排气措施;避免填砂面上设置活块,便于砂芯制作;砂芯设计要考虑便于砂芯装配及固定,并保证铸件精度等。根据床身铸件的结构特点,铸件长度、宽度方向外侧有很多分散凸台,无法起模,因此将铸件四周设计由砂芯形成,为侧立面砂芯;导轨部分外型无法直接起模,依然设计由砂芯形成,为底排导轨芯;铸件内腔分为上、下层,无法连接成一块砂芯,因此设计成上下两层砂芯,砂芯之间通过芯头芯座固定。通过图3斜导轨床身工艺方案截面简图可以看出,砂芯基本上纵向分为三层,横向分为三部分,砂芯全部位于下铸型,内腔芯与导轨芯之间用芯撑固定。

浇注系统的设计。图4所示为斜导轨床身浇注系统简图。浇注系统设计采用半封闭式浇注系统<sup>[2]</sup>,此种浇注系统内浇道为最小控制面积,横浇道面积最大,浇注过程中,浇注系统能够充满,但较封闭式晚,流速慢,又称缓流式浇注系统,具有一定的挡渣能力,充型平稳。为使浇注系统挡渣能力更强,在最小控制面积之后,增设陶瓷过滤器,进一步净化铁液的同时,又起到平稳液流的作用,从而降低铁液进入型腔时对型芯的冲刷力,保证铸件不出现夹渣、砂眼等缺陷;为使铸件充型及凝固过程温度场均匀,铸件基体组织一致性高,内浇道采用分散底注式。

浇注系统截面积比例为: $\Sigma F_{内} : \Sigma F_{横} : \Sigma F_{直} = 1 : 1.3 : 1.15$ ,浇注系统内浇道的最小控流截面积由奥赞公式 $\Sigma F_{最小} = G / (\rho \mu \sqrt{2gH_p})$ 进行计算<sup>[3]</sup>,其中 $\Sigma F_{最小}$ 为浇注系统最小总截面积,单位 $cm^2$ ;G为铸件浇

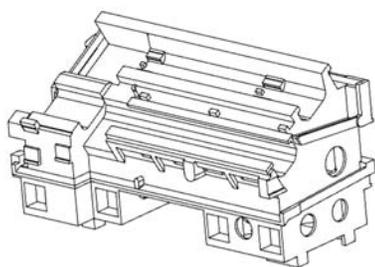


图1 斜导轨床身立体图

Fig. 1 3D model of the oblique guide lathe bed

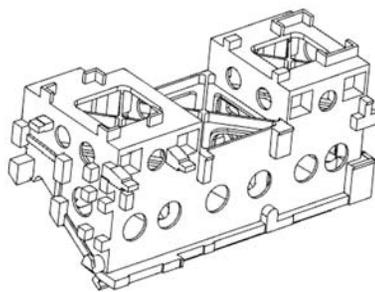


图2 斜导轨床身浇注位置

Fig. 2 Pouring position of the oblique guide lathe bed

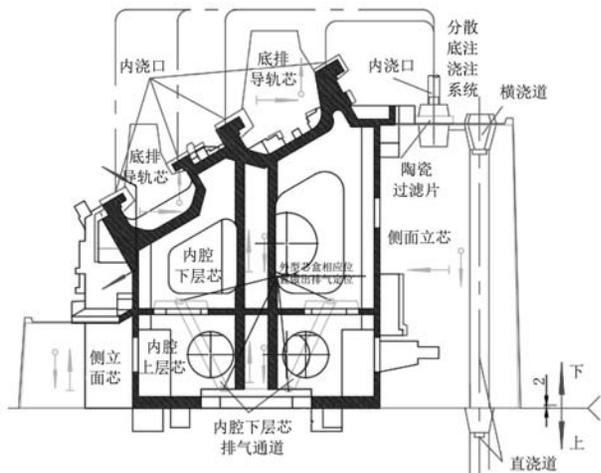


图3 斜导轨床身工艺方案截面简图

Fig. 3 Section diagram of process program of the oblique guide bed

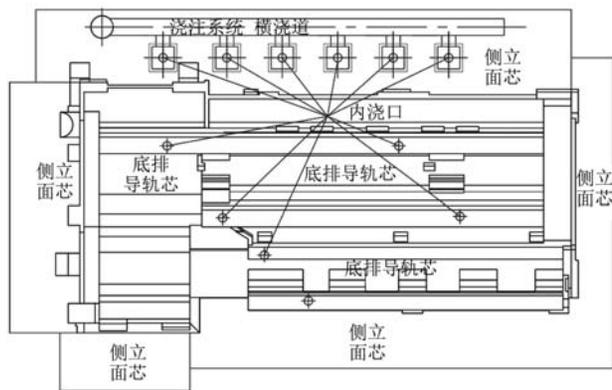


图4 斜导轨床身浇注系统简图

Fig. 4 Pouring system of the oblique guide bed

注重量, 单位kg;  $t$ 为金属液充填型腔的总时间, 单位s;  $\mu$ 为充填全部型腔时, 浇注系统阻流截面的流量系数,  $H_p$ 为充填型腔时的平均计算压头, 单位为cm。经计算得 $\Sigma F_{\text{最小}}=23.1 \text{ cm}^2$ 。充型时间 $t$ 为55~60 s。验算金属液面的上升速度 $V=C/t=17\text{--}18.5 \text{ mm/s}$ , 其中 $C$ 为铸件浇注位置高度, 单位mm;  $t$ 为计算所得的浇注时间, 单位s;  $V$ 为型腔内金属液面平均上升速度, 其值大于最小液面上升速度, 因此浇注时间合理。

排气冒口的设计。由于此床身是灰铸铁件, 且壁厚较大的导轨位于浇注位置底部, 其余位置铸件壁厚在20 mm左右, 铸件产生缩孔缩松缺陷倾向较小, 无需考虑设计补缩冒口, 所以设置冒口主要用于排气、集渣以及可以直观判定浇注铁液时是否充满型腔。冒口设在铸件的最高点, 为便于铸件清理, 冒口截面采用长方形, 宽度10 mm, 在实际生产中考虑到铸件的工艺出品率, 设计时使各出气冒口截面积之和大于内浇道截面积之和即可。

型、芯砂配比及性能。采用树脂砂造型方法<sup>[4]</sup>, 其型砂配比为: 新砂5%~10%, 再生砂90%~95%, 树脂占总砂量的0.9%~1.1%, 固化剂是树脂的40%~60%。型砂性能为: 1 h强度在0.3~0.5 MPa, 24 h强度在0.8~1.2 MPa。其芯砂配比为: 新砂5%~10%, 再生砂90%~95%, 树脂占总砂量的1%~1.2%, 固化剂是树脂的40%~60%。芯砂性能为: 1 h强度在0.3~0.5 MPa, 24 h强度在0.9~1.3 MPa。型、芯砂24 h发气量均应小于等于22 mL/g, 透气性大于等于400。

熔炼工艺方案。床身采用“合成铸铁”生产<sup>[5]</sup>, 即在炉料配比上加入高比例的废钢, 通过增碳剂增碳, 使基体组织细化, 提高床身性能, 床身的炉料配比见表1。

为了稳定地满足床身组织性能要求, 添加Sn来提高珠光体含量<sup>[6]</sup>, 进而提高床身导轨的硬度, 其化学成分控制见表2。

浇注温度为1 360~1 390 ℃。浇注引流后需要快速将浇口杯充满, 铁液注入浇口杯4/5后开始拔堵。浇注过程中, 使浇口杯始终保持充满状态, 并不得引起铁液飞溅和产生漩涡。浇口杯液面保持高度平稳, 不得

表1 炉料配比  
Table 1 Furnace charge proportion  $w_B/\%$

生铁	废钢	回炉料
0~10	60~70	20~40

表2 床身化学成分控制  
Table 2 Chemical compositions of the oblique guide bed  $w_B/\%$

C	Si	Mn	P	S	Sn
3.0~3.1	1.6~1.8	0.8~1.0	<0.10	<0.10	0.03~0.05

忽上忽下, 也不得使铁液溢出至水口杯外。根据工艺要求浇注铁液重量, 不得收流过早或者断流。铁液进入型腔内一半时进行点火引气。

床身铸件经分析检测, 金相组织良好, 以A型石墨为主, 长度4级, 珠光体含量95%以上, 无明显的磷共晶和碳化物, 抗拉强度300 MPa以上, 本体硬度HB 180~190。

### 3 铸件气孔及原因分析

该产品经过小批量生产试制后, 发现如下的质量问题: 50%的铸件在图5所示位置有缺陷, 缺陷种类比较单一, 状态一致, 并且位置固定, 全部在铸件上表面的地脚位置。依据缺陷的外观(图6)判定缺陷为气孔, 有的件气孔缺陷很大, 甚至整个地脚凸台全部是空的。

#### 3.1 气孔产生机理

尽管产生气孔的原因很复杂, 但通常情况下将其归纳为二类<sup>[7]</sup>: 一类是金属液在冷却过程中, 金属液自身析出的气体造成的气孔, 称为“析出性气孔”; 另一类是由铁液外部侵入的气体(主要来自砂型、砂芯等)形成的气孔, 称之为“侵入性气孔”。

析出性气孔的形成机理: 金属由固体变成液体时, 吸收和溶解气体的能力急剧地增加, 金属液温度越高, 气体溶解度越大。金属液过热度越高, 熔化时间越长, 金属吸收气体的量就越多(特别用电炉熔



图5 铸件气孔缺陷照片

Fig. 5 Photo of blowhole defects of the casting



图6 铸件气孔缺陷放大照片

Fig. 6 The magnified photo of blowhole defects of the casting

炼操作不当时)，含气量大的金属液浇注到砂型中以后，金属液在冷却凝固过程中气体就会重新析出，析出的气泡如果能从金属液中浮出液面散去，铸件就不会产生气孔。当气体溶解过多，特别是氧化严重的金属液，而又没有采取脱氧措施时，气体就来不及浮出散掉，当金属液凝固后，铸件就会出现气孔。金属液在冷却凝固时，靠近型腔的金属液首先凝固，而壁厚较大地方的金属液冷却相对较慢，当处于液态铁液中的气泡上浮时，铸件外表面已形成外壳，这样气泡就存留在液体和固体结合部位之间，所以常常在铸件上表面外壳下，产生的气孔最多。析出性气孔严重的时候有一个特点，就是整个铸件的任何断面上都布满着大小不一的孔洞，特别是铸件最后凝固部位会形成蜂窝状气孔，而且是同一炉次铁液浇注的铸件大都有这种缺陷。

侵入性气孔的形成机理：当金属液进入型腔后，金属液对砂型（芯子）产生剧烈的热作用，使型腔表面的砂层迅速加热到几乎接近金属液的温度，型（芯）砂中的水分骤然蒸发，形成大量的气体，加上型（芯）砂中其他有机物的燃烧和挥发也产生大量的气体，随着气体膨胀、气体量的增加和气体温度的升高，形成很大的气体压力，部分气体可以通过型（芯）排气孔排逸到型外，型腔内剩余气体压力有所降低，但是由于气体来不及全部穿过砂型逸出，一部分气体就有可能侵入金属液中。在这个阶段中，型腔内还存在着型腔壁、气体空间、金属液表面阻力三个相互作用的关系。随着金属液的注入，型腔空间逐渐减少，气体存在空间的压力逐渐增大，这时气体对型腔壁及金属液面同时有一个作用力，在这个作用力下，如果型砂透气性能好，排气孔较多，冒口位置设计正确，气体就会在金属液的推挤下顺利排出。反之，如果剩余气体压力大于金属液表面的阻力，气体就会从某个点进入金属液，从而形成气孔缺陷。

针对该铸件的缺陷，下面从气孔的产生机理、工艺设计、现场操作、浇注过程表现的状态等方面进行具体分析。

### 3.2 工艺设计

从工艺上看，铸件的内腔全部由砂芯形成，高度方向三层砂芯，导轨底部砂芯，通过芯头向下排气；内腔上、下两层砂芯之间通过芯头固定，下层砂芯通过芯头将排气绳引入上层芯，上层芯再通过与上铸型的透孔将气体引入上型，再排出砂型外部，如图3所示。可见此种设计，砂芯排气通道不够通畅，不利于砂芯的排气。

### 3.3 现场操作

导轨与铸件内腔之间无透孔，装配中间芯与底排导轨芯时，它们之间用芯撑支撑，当芯撑固定不牢固时，内腔砂芯受金属液作用发生移动或不稳固，砂芯与砂芯间，砂芯与铸型间产生间隙，金属液便会进入间隙而堵塞出气道，导致气体排出型腔不畅，易产生气孔，严重时产生呛火现象，导致铸件产生大面积气孔。

### 3.4 浇注过程状态

浇注过程中经常发现火花飞溅剧烈，浇注到后期，从气眼针孔或冒口中排出带有火苗的气体，气体外窜时发出呼呼的声音。

综上所述，判定此气孔缺陷为树脂砂芯产生，砂芯的发气量大，排气通道不畅，砂芯排气受阻，使砂芯内气体无法快速排出，导致铸件产生侵入性气孔。

## 4 工艺改进措施及生产验证

分析可知，解决铸件产生气孔的主要措施就是保证砂芯出气顺畅<sup>[8]</sup>，减少气体的产生，并使其尽快排出型腔，故采取以下措施。

### 4.1 改进工艺设计

从工艺设计上进行改进，将侧立面芯分成上下两层，中间留出排气通道，并与外型的排气道相对应；将排气不畅的内腔下层芯从床身侧立面的圆孔引出芯头，排气绳由芯头引入侧立面上下层砂芯的排气通道，并通过外型上的排气通道直接引出至型腔外部。图7为工艺改进后的砂芯设计情况截面简图，图8为工艺改进后的砂芯设计排气通道简图。

### 4.2 改进操作

一是造型时，将原每箱各扎气眼3个增加至5个；

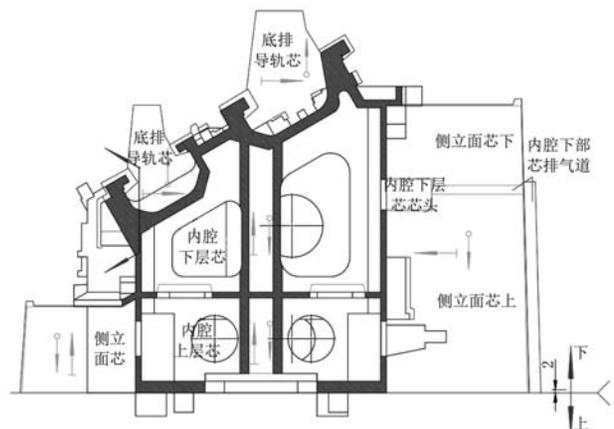


图7 工艺改进后的砂芯设计情况截面简图

Fig. 7 Section diagram of the sand core design after process improved

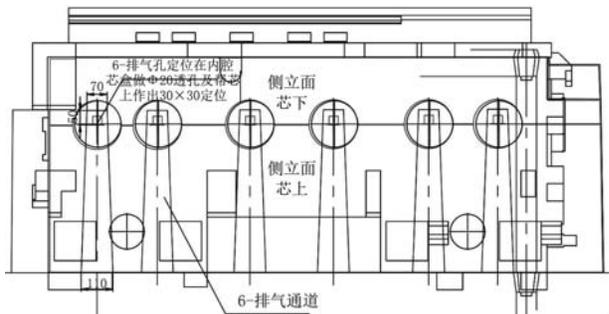


图8 工艺改进后的砂芯设计排气通道简图

Fig. 8 Schematic diagram of exhaust passage of the sand core design after improved process

二是制作砂芯时，在砂芯中放入排气绳做为通气道，装配时确保排气绳引入排气通道，保证排气通道畅通；三是底部导轨芯与中间芯之间用钉将芯撑固定牢固，避免铁液进入芯撑松动，导致砂芯移位；四是在上层内腔芯透孔与外型接触处放上石棉绳，避免砂芯稳定性不够好，铁液将出气道堵死，从而保证砂芯的正常排气；五是浇注时严格按照作业指导规程操作，采用“先快后慢”的浇注方法，合理控制浇注速度，不能断流，确保铁液平稳顺畅地流入型腔，避免产生

涡流而卷入气体。铁液进入型腔内一半时进行点火引气，保证气体有足够的时间排出且不致产生过多的气体。

采用上述措施后，该斜导轨床身铸件的排气问题得到了有效解决，批量生产，铸件均无气孔缺陷。

## 5 结束语

树脂砂生产中，砂芯设计不仅要考虑是否易于装配，易于固定，更重要的是要易于排气，每个砂芯设计特别是大的砂芯，必须设计专用排气通道，通过排气道直接将砂芯中的气体引至砂型外部，避免通过芯与芯连接进行串通排气。在造型操作过程中，要扎足够的排气孔，合理设置排气冒口。合箱浇注前，应尽可能仔细检查通排气道是否畅通无阻。砂芯装配，要保证砂芯间稳固支撑，避免铁液冲入时砂芯产生位移，堵塞排气通道。在铸造生产过程中引气是很重要的一个工序，特别是在浇注中大型铸件时，更应及时把从冒口、气眼针孔、分箱面、芯头排气道以及其他排气通道中排出的烟气点燃，促使型腔内的气体迅速排出。

### 参考文献:

- [1] 李弘英. 铸造工艺设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册第5卷: 铸造工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [3] 铸造工程师手册编写组. 铸造工程师手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [4] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册第4卷: 造型材料 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [5] 王顺安, 邹荣剑. 合成铸铁的生产及应用 [J]. 中国铸造装备与技术, 2010 (4): 30-33.
- [6] 王敏毅, 黄颖, 林有希. 微量Sn对灰铸铁组织和性能的影响 [J]. 铸造, 2012 (1): 17-24.
- [7] 陈国桢, 肖柯则. 铸件缺陷和对策 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [8] 陈琦, 彭兆弟. 铸造技术问题对策 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

## Design and Improvement of Casting Process of Oblique-Guide Bed of High-End CNC Lathe

FAN Jiang

(Shenyang Machine Tool Yinfeng Foundry Co., Ltd., Shenyang 110078, Liaoning, China)

### Abstract:

This study introduced that the casting process design plan of a high-end CNC lathe obliqued-guide bed casting from the determination of process parameters such as pouring position, parting surface, machining allowance and parting negative number, to core design, pouring system design, exhaust riser design, core sand ratio, smelting plan, etc. Aiming at the blowhole defects of the castings, specific analysis was carried out from the porosity formation mechanism, process design scheme, on-site operation, performance status of the pouring process and so on. After production verification, the blowholes problem of the castings has been effectively solved by improving the design of the sand core, setting the exhaust channel reasonably, and standardizing the actual operation.

### Key words:

oblique-guide bed; process design; sand core design; blowhole