

• 生产技术 Production Technology •

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.08.011

机头铸件气孔缺陷分析及对策

黄建国¹, 吴承玲², 刘文彭¹, 李再参¹, 浦宏毅¹

(1. 云南省机械研究设计院 云南省机电一体化应用重点实验室 云南省先进制造技术研究中心, 云南 昆明 650031 2. 昆明理工大学 城市学院, 云南 昆明 650051)

摘要: 机床箱体铸件材质 HT300, 一箱两件, 单件毛重 104 kg, 浇冒口重 27 kg, 总重 235 kg。该铸件在生产时在主轴孔内壁、法兰孔内壁和机头上端面产生气孔。通过工艺分析, 运用铸造仿真成功解决了铸件缺陷, 提高了产品质量, 降低了生产成本。

关键词: 铸造工艺; 仿真分析; 气孔

中图分类号: TG245

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2019)08-0804-06

Analysis and Countermeasure to Gas Hole Defects in Pillar Castings

HUANG Jianguo¹, WU Chengling², LIU Wenpeng¹, LI Zaican¹, PU Hongyi¹

(1. Yunnan Machinery Research and Design Institute, Key Laboratory of Electromechanical Integration Application Technology of Yunnan, Advanced Manufacturing Technology Research Center of Yunnan, Kunming 650031, China; 2. City College, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: Machine tool pillar casting materials is HT300, a mould of two casting, a single casting gross weight, pouring and riser weight, the total weight are 104 kg, 27 kg and 235 kg, respectively. The casting produces air holes in the inner wall of the main shaft hole, the inner wall of the flange hole and the upper end face of the machine head. Through process analysis, casting defects are successfully solved, improve product quality and reduce production cost.

Key words: casting technology; FEA; gas hole

1 铸件工艺现状

铸件轮廓尺寸 620 mm×393(178) mm×427 mm, (砂箱轮廓尺寸 1 410 mm×1 040 mm×760 mm), 大部分壁厚 12 mm, 主要壁厚 25 mm($\phi 100$ 孔)和 30 mm (法兰)最厚处为底板四角约为 53 mm, 三维图形如图 1 所示。加工要求粗糙度 $\phi 100$ 孔和法兰面为。采用呋喃树脂砂造型制芯, 树脂加入量 0.8%~1.2%, 再生砂微粉含量小于 0.2%, 灼减量小于 1.2%。

该铸件砂芯图和组芯图如图 2 所示。其组芯造型有 5 个砂芯, 1#、2#、3# 芯为外部砂芯, 4#、5# 芯为内砂芯。1# 芯为底板外侧芯, 2#、3# 芯为左右两外侧芯, 4# 芯为箱体下半部只有顶面 8 个 $\phi 40$ mm 和 2 个 $\phi 30$ mm 通孔与 5# 芯相连, 左右侧各有一个

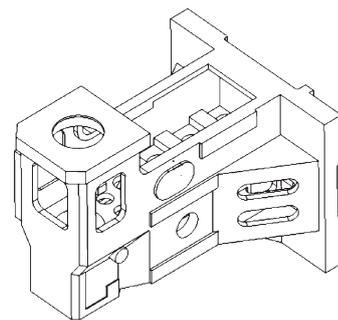


图 1 铸件三维图

Fig.1 3D drawing of casting

$\phi 30$ mm 通孔和尾端有两个 60 mm×60 mm 方孔与 2#、3# 芯相连, 因芯头承重面积不够, 排气通道靠 10 个孔窝通过 5# 芯向外排气。5# 芯为丁字形端头为顶面法兰孔 $\phi 110$ mm, 下部分 $\phi 100$ mm 孔要求, 中段为方孔, 5# 芯水平段下平面由 10 个孔支撑, 顶面为芯头大平面, 有利于排气。

两开箱方型面在法兰平面, 上箱高 160 mm, 横浇道在上箱, 内浇道为 $\phi 20$ mm 底注返上, 每个铸件两道, 浇道比为:(先开后封式)

出气冒口 2 个 30 mm×8 mm, 在法兰顶面, 暗冒口 2 个, 45 mm×2 mm。

排气比 $\sum A_{出} / \sum A_{内} = 4.8/12.57 = 0.38$ 。

收稿日期: 2019-04-23

基金项目: 云南省程耿东院士工作站经费资助项目

作者简介: 黄建国(1974-), 辽宁凤城人, 硕士, 高级工程师。研究方向: 有限元技术应用研究。电话: 0871-65162668, E-mail: aaron_hwang@qq.com

通讯作者: 吴承玲(1981-), 女, 重庆人, 硕士, 讲师。研究方向: 材料加工工艺。电话: 13708765400, E-mail: 156897690@qq.com

浇道比及各单元尺寸如表 1。

表1 浇道比及各单元尺寸
Tab.1 Gate Ratio and Unit Dimensions

单位	直	横	内
面积比	1	1.75	0.44
尺寸 /mm	φ60	45×55	φ20
面积 /cm ²	28.27	49.50	12.57
	单个	双面	4道

2 气孔等缺陷位置

法兰顶面是铸件浇注位置的最高处,形成比较集中的大气孔(φ10 mm 左右),有时也有分散的小气孔,均为侵入性气孔。另一缺陷位于反上内浇道出口 φ100 mm 孔内壁以及法兰孔内壁上,有集中的疏松状缺陷,如图 3 标记所示。

3 原因分析

3.1 浇注时间

先确定浇注时间 $t(s)$ 。经过分析筛选,以下两种

公式进行核算^[1]。

第一种, $t = \sqrt{G} + \sqrt[3]{G}$ $G=235 \text{ kg}$ 。

$$t = \sqrt{235} + \sqrt[3]{235} = 15.33 + 6.17 = 21.5(s)$$

第二种 $t = K\sqrt{G}$ $K=1\sim 1.2$, 取 $K=1.1$ 。

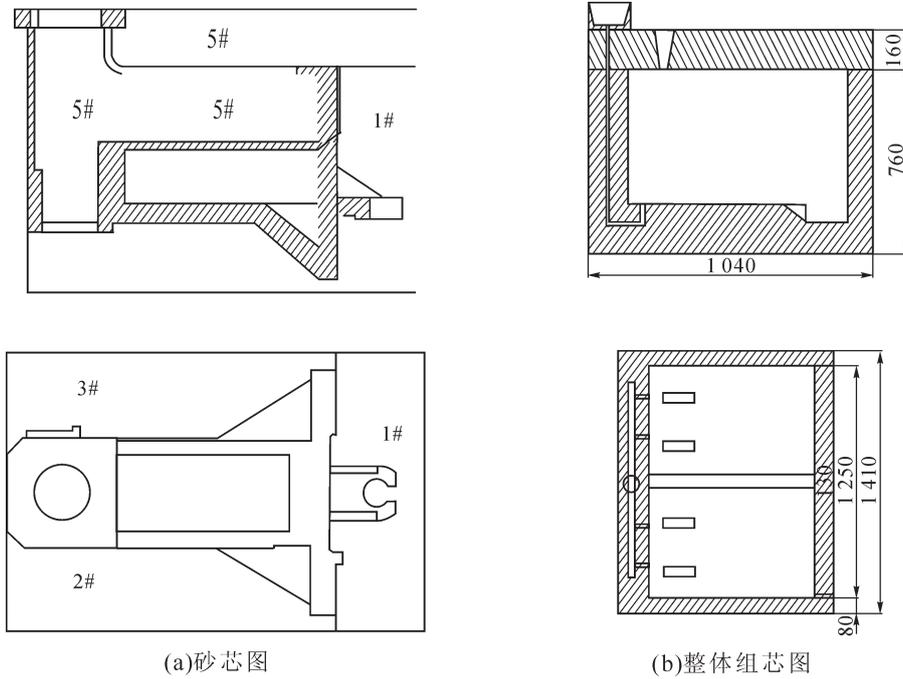
$$t = 1.1\sqrt{235} = 1.1 \times 15.33 = 16.86(s)$$

考虑到该件大部分壁厚为 12 mm, 故以快浇为原则,取第二种公式计算结果浇注时间约为 16 s。

3.2 浇注系统

按原工艺浇道比 1:1.75:0.44, 分别采用大孔出流、小孔出流和经验公式,对内浇道总截面积进行核算(如表 2),计算结果如下:

原工艺设定浇注时间 10 s, $\Sigma A_{内}$ 偏小 (12.57 cm^2), 而按大孔出流计算的 $\Sigma A_{内}$ 反而偏大 (30 cm^2), 即在 G, μ_3 和 h_p 不变条件下, 浇注时间越短, $\Sigma A_{内}$ 就越大, 当充型流量大到 23.5 kg/s ($235 \text{ kg}/10 \text{ s}$), 是以缩短浇注时间来满足充型流量速度。按大孔出流计算采用浇注时间 16 s 时, 充型流量为 14.2 kg/s 是适当的, 这就较好地说明浇注时间



(a)砂芯图

(b)整体组芯图

图 2 铸件砂芯图和组芯图

Fig.2 Sand core diagram and integral core diagram of castings

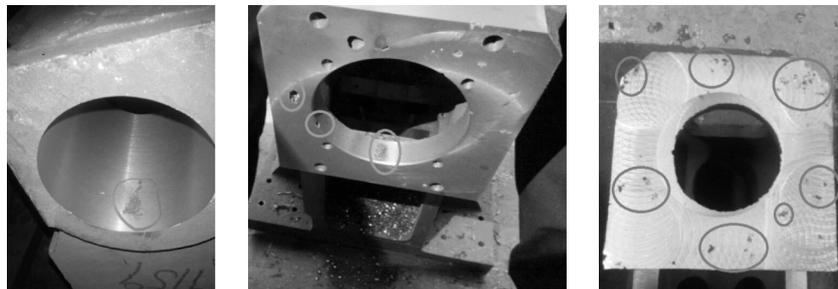


图 3 φ100 孔内壁、法兰孔内壁上的疏松及法兰端面上的气孔

Fig.3 Shrinkage on the inner wall of diameter with 100 hole and flange hole and air holes on the end face of flange

表 2 内浇道总截面积核算表
Tab.2 Total section area of inlet gate

	$\Sigma A_{内}(\text{cm}^2)$	
	$t=10\text{ s}^{①}$	$t=16\text{ s}$
大孔出流	30	19
小孔出流	21	13.6
经验公式	20	18.4
原工艺(设定)	12.57	—

注:① $t=10\text{ s}$ 计算过程略。

10 s 太短。

浇道比:直、横尺寸不变,直:内由 1:0.44 提升至 1:0.67,仍为先封后开式浇注系统, $\Sigma A_{内}$ 的比值最好大于 0.5~0.9。

3.3 排气

原设出气冒口 2 个,30 mm×8 mm,总截面积 $3 \times 0.8 \times 2 = 4.8\text{ cm}^2$; $\Sigma A_{出} / \Sigma A_{内} = 4.8 / 12.57 = 0.38$,太小。对砂芯结构不是很复杂的铸件出气比应大于 1.5 倍。暗冒口 2 个,因不直接通大气,不计入排气面积,可保留改为边缘冒口作排渣用。

3.4 流速

充型仿真观察到(图 4)浇注开始后(1 400 °C) 1.07 s 横浇道充满(1 370 °C),而内浇道在 0.8 s 即横浇道还未充满前即进铁液。1.16 s 时(1 360 °C)内浇道出口流速 3.7 m/s,此时瞬间(s)铁液垂直反上冲到顶部法兰平面。5.68 s 时(1 346 °C)铁液到达 4# 芯顶面,虽然流速已降到 0.53 m/s,但还是不平稳。至

7.87 s(1 333 °C)铁液由法兰面下部回落流向远端底板,成一斜面往下流。9.18 s(1 320 °C)充满 5# 芯头平面,流速才稳在 0.4 m/s。9.37 s 时铸件的最高点法兰充满,而暗冒口在 9.4 s(1 320 °C)时才充满,明出气冒口在 9.45 s(1 260 °C)时充满,至此,不足 10 s 时间浇注完毕。

由充型的全过程,可得出以下观点:

- (1)底注反上内浇道总截面积偏小,并且过于集中,铁水不能水平平稳上升。
- (2)内浇道反上出口冲击力大,类似射流,裹气现象严重,促使型腔内气体与铁水混合形成氧化膜。
- (3)暗冒口起不到排气作用(可除渣),明出气冒口太小。
- (4)不排除组芯芯头排气不畅现象存在。

4 改进措施和仿真验证^[2]

4.1 适当增加内浇道总截面积

对原工艺分析结果是 $\Sigma A_{内}$ 偏小,现调整到浇道比直:横:内 = 1:1.75:0.7,直浇道、横浇道尺寸不变,按大孔出流计算,计算得:

$$\Sigma A_{内} = \frac{G}{0.31 \times \mu_s \times t \sqrt{h_p}} = 21.23\text{ cm}^2$$

现场使用陶管圆形内浇道,在保证截面积情况下,尽量少作大的改变。以下系统改进简称方案 1 和方案 2,如图 5。

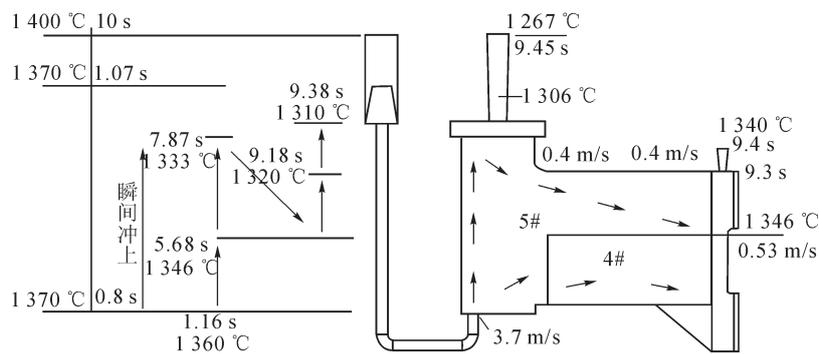
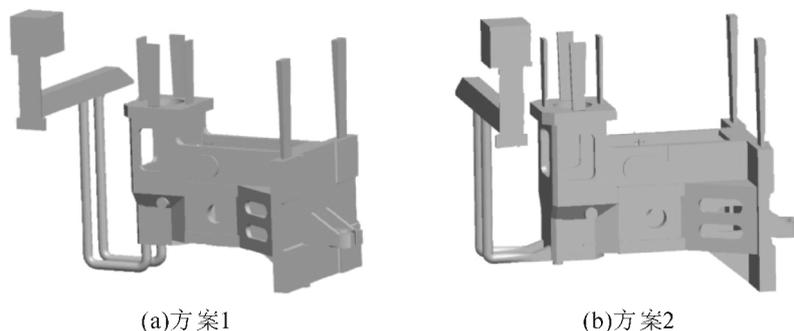


图 4 充型过程仿真分析示意图

Fig.4 Schematic diagram of filling process simulation



(a)方案1

(b)方案2

图 5 浇注系统结构设计

Fig.5 Structural design first of gating system

(1)方案 1,仍用圆形反上浇道,直径核算后取 $\phi 25\text{ mm}$,总截面积 $4.9\text{ cm}^2 \times 4 = 19.64\text{ cm}^2$ 。实际内/直 $= 19.64/28.27 = 0.69$ (接近原设定的 0.7)。

(2)方案 2,内浇道由圆形过渡到矩形(圆变方)立浇道,水平引入型腔,内浇道结构尺寸如图 6 所示。

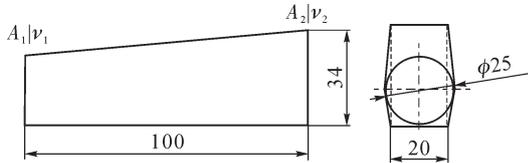


图 6 立式内浇口结构尺寸

Fig.6 Structure dimensions of vertical inlet gate

扩散式立浇道出口面积扩大约 40% ($6.8/4.9 = 1.39$),按连续流动定律 $A_1\nu_1 = A_2\nu_2$,已知 $\mu = 0.45$, $h = 24.6\text{ cm}$,理论计算得

$$\begin{aligned} \nu_1 &= \mu\sqrt{2gh} \\ &= 0.45\sqrt{2 \times 981 \times 24.6} \\ &= 98.86\text{ cm} \\ &\approx 0.989\text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\nu_2 = A_1\nu_1 = A_2 = 4.9 \times 98.9 / 6.8 = 71.2(\text{cm/s}) \approx 0.712\text{ m/s}$$

与模拟方案 2 结果水平内浇道出口流速 0.9 m/s 接近。

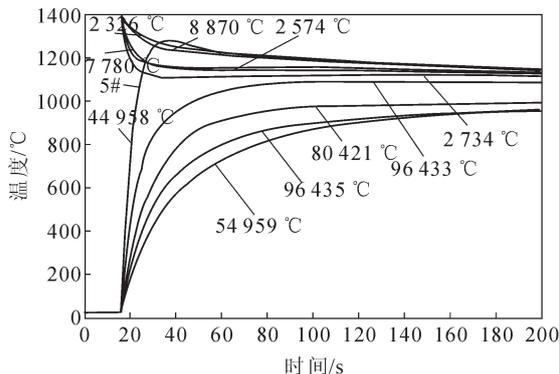
4.2 增加出气比

原工艺出气比 0.38 太小,一般应为 1.0~1.5。现采用扁出气冒口 6 个, 40×10 , $\Sigma A_{\text{出}} = 24\text{ cm}^2$, $\Sigma A_{\text{内}} = 19.68\text{ cm}^2$ 。 $\Sigma A_{\text{出}} / \Sigma A_{\text{内}} = 24/19.68 = 1.22$,可满足要求。4 个设在法兰上,2 个置于原暗冒口处,见图 5。

4.3 改善工艺操作

铸型与砂芯严格按工序生产,当日浇注,流涂型腔和砂芯,芯头部位严格控制不刷涂料,芯头导气通道铸型连通并引至砂箱外,砂箱墙板设置出气通孔等措施可以显著改善气孔的产生。

浇注包在浇注前进行热包,浇注盆保持充满状态,严格控制浇注时间,严格控制批量浇注时的温



度差等也可改善铸件产生气孔。

5 温度场(冷却曲线)及凝固模拟验证分析

法兰顶面处在铸件浇注位置的最高位,此处出现大量气孔符合热气流排放的自然规律。选择铸件及砂芯上的测点共 67 个,其中顶部(法兰)57 个和下部($\phi 100$ 加工孔)10 个,附方案 2 有代表性的冷却曲线图 2 幅,如图 7。

5.1 共存区宽产生气孔可能性大

由图 7 砂型和铸件冷却曲线图上看到,方案 2 (内浇道水平进入型腔)的“危险区”(即砂芯发气和铸件凝固共存区,由液相线温度 $1238\text{ }^\circ\text{C}$,到固相线温度 $1100\text{ }^\circ\text{C}$ 的凝固时间段)仅 9 s,而方案 1($\phi 25$ 底注反上内浇道)为 27 s,见图 8。危险区时间段如表 3 共存区的时间段越长越有利于气体进入该区,而产生铸件气孔的危险性愈大。所以方案 1 产生气孔的危险性大于方案 2。

表 3 危险区(共存区)时间段

Tab.3 Caution area (coexistence zone) time period

内浇道	砂芯开始发气时间/s	共存区时间段/s
方案 2	1#线 29	1#线 9(29~38)
方案 1	5#线 16	1#线 27(16~43)

5.2 界面上砂芯(型)发气速度愈快愈危险

在同一测点位置,方案 1“危险区”时间段较长的同时,就是在此测点界面上的砂芯温度快速上升(如图 9),超过了铁液的液相线温度,也就是发气点升温快,大量气体进入发气凝固共存区,比方案 2 产生气孔缺陷危险性更大。

5.3 充型不平稳裹气严重

原工艺充型初期出口速度很快(3.76 m/s),压力也很高。并且铁液是垂直向上冲到顶上的法兰,始终都是成斜面上升(近高远低),已造成充型不平稳裹气现象,参见本文 3.4 节。

改进后的工艺方案,无论是方案 1 还是方案 2

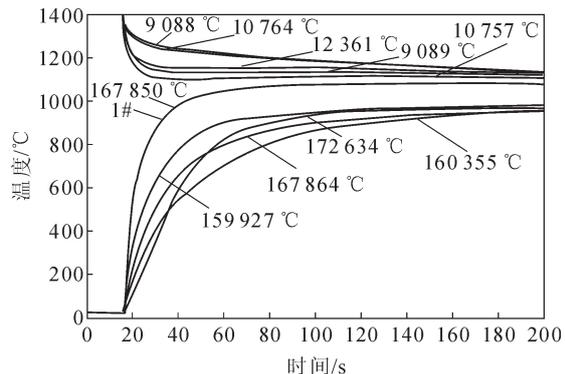


图 7 砂型和铸件冷却曲线

Fig.7 Cooling curve of sand mold and casting

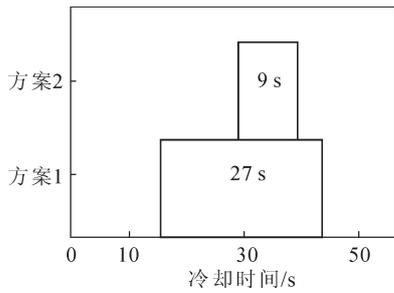


图 8 危险区(共存区)时间段

Fig.8 Caution area (coexistence zone) time period

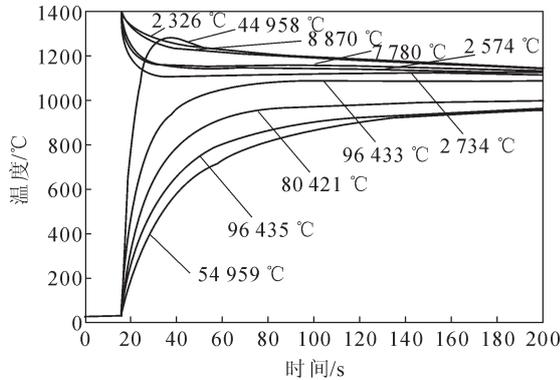


图 9 砂型和铸件冷却曲线

Fig.9 Cooling curve of sand mold and casting

在充型流态基本上是水平上升,没有产生较大的涡流现象,这些都有利于减少吸气现象的产生,有利于气孔的减少。改进工艺充型仿真过程见图 10。

5.4 铸件下部 $\phi 100$ mm 加工孔缩松分析

(1)缩松位置。通过仿真分析,可以得到原始工

艺、改进工艺方案 1 和方案 2 的缩松分布位置,见图 11。

(2)HT300 碳当量低,凝固范围宽,缩松位置紧靠近内浇道出口处,凝固过程中冷却较缓慢(见冷却曲线图 12),从铸件结构上看,缩松位置的铸件上段为薄壁筒体(12 mm),下面接近内浇道温度较高,因此在凝固过程中,枝晶充分发育形成较密集的固相骨架,由于上面是薄壁,得不到重力作用的铁液补充,下是高温凝固熔体的倒抽缩,而形成缩松。

(3)灰铸铁断面敏感性最大,缩松所处部位无法补缩。这是由于金属液在凝固过程中,形成网状骨架时,达到临界固相开始表现出固态性质,不能有流动以弥补收缩的孔隙体积,但此时凝固金属中仍有约 20%~40%的熔体存在,即固相率约 80%~60%。

由凝固模拟图像看到,缩松部位的缩松度在 26%~46%范围,通过缩松度、固相率与铸铁密度的关联性曲线,能大致得出 $\phi 100$ mm 加工孔处模拟出现的缩松相对应的铸铁密度(图 13)。

我国国家标准 GB/T9439-2010 附录中,提供以 $\phi 30$ 试棒得出各牌号铸铁密度(如表 4)。

机头铸件牌号为 HT300,正常情况下的密度是 7.25 g/cm^3 ,相当于固相率近 80%(缩松度 20%),模拟结果缩松区大部 $7.21 \text{ (g/cm}^3)$,固相率 70%(缩松度 26%~30%) 少量为固相率 50%(缩松度 16%~50%),密度为 7.1 g/cm^3 ,比牌号密度约小 2%。如果缩松部

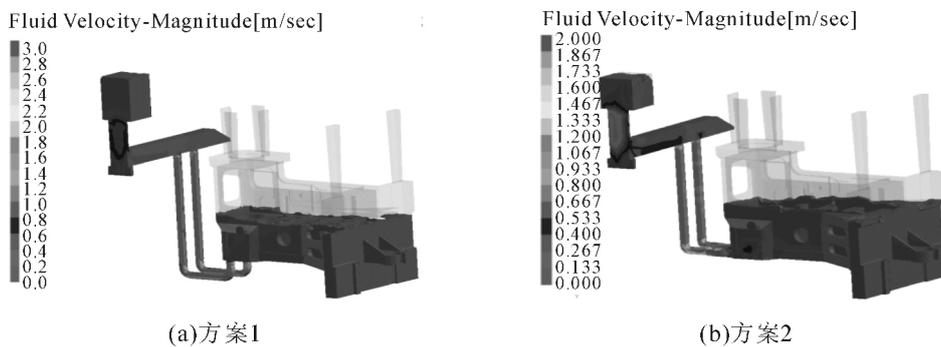


图 10 不同方案的充型过程

Fig.10 Filling process of different design program

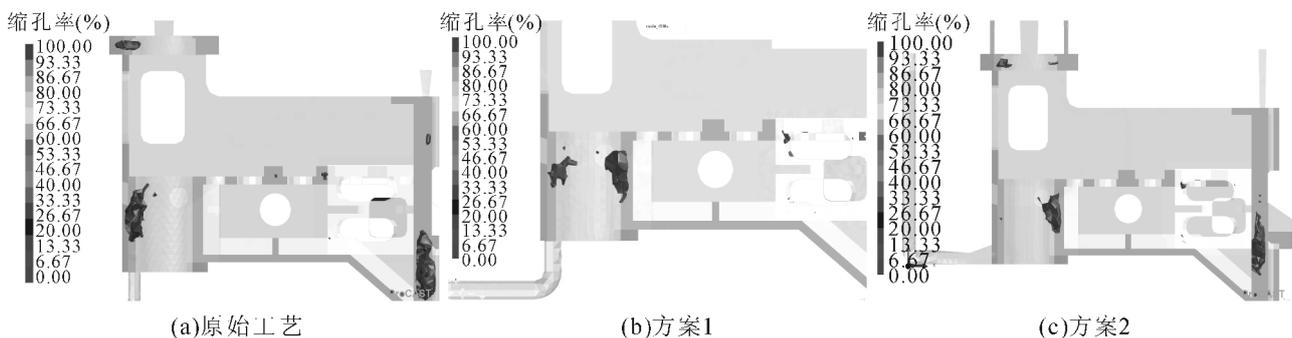


图 11 缩松分布位置模拟结果

Fig.11 Simulation results of shrinkage distribution position

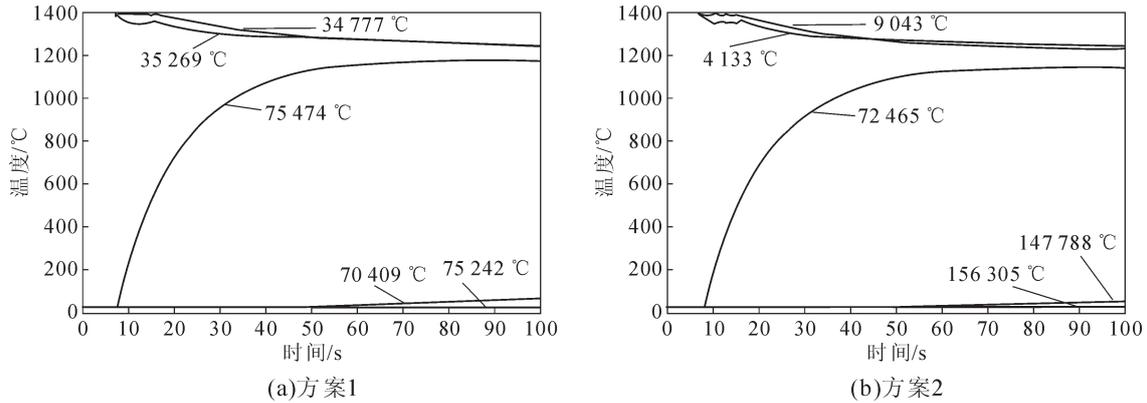


图 12 砂型和铸件冷却曲线
Fig.12 Cooling curves of sand mould and casting

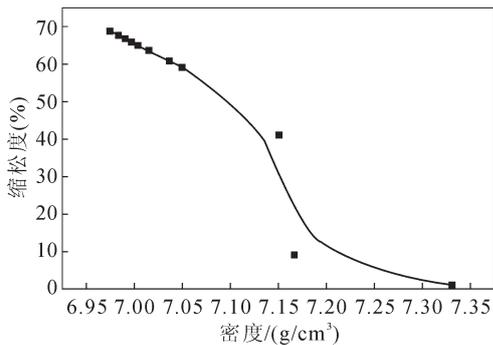


图 13 缩松度与密度关系曲线
Fig.13 Curve of relationship between porosity and density

表4 各牌号灰铸铁密度

Tab.4 Density of gray cast iron of various grades

牌号	HT150	HT200	HT225	HT250	HT275	HT300	HT350
密度(g/cm³)	7.10	7.15	7.15	7.20	7.20	7.25	7.30

位远离加工表面,保证有足够的加工余量,不影响铸件使用性能,否则应在工艺上采用冷铁激冷或改变内浇道位置,避免局部热现象。

6 结论

通过对机头铸件工艺仿真及分析可以发现,原

工艺内浇道面积较小,浇注时间较快,造成内浇道出口流速大,易出现紊流。同时,出气面积也相对比较小,树脂砂发气后不能快速排出,易造成气孔。

就以上问题进行了工艺改进:

- (1)增加内浇道面积。
- (2)降低浇注速度。
- (3)增加出气面积,即增加冒口数量。
- (4)改变内浇道引入位置。

排除不利于畅通铸型 / 砂芯排气通道的因素,合理设计浇注系统,增加出气比($\sum A_{出} > \sum A_{内}$),控制浇注温度,内浇口铁液宜水平进入型腔,控制流速平稳充型等措施都有利于减少气孔的产生。

参考文献:

[1] 魏兵. 铸件充填补缩工艺定量设计理论与实例 [J]. 铸造技术, 2007, 28(12): 1654.
[2] 黄建国, 刘文彭. CAE 在平旋盘铸件无石墨冷铁优化工艺设计中的应用[J]. 铸造, 2012, 61(7): 742-746.

技术资料邮购

《铸造实用生产技术集锦》

《铸造实用生产技术集锦》本书由李德臣教授级高工编著。共七章: 1、重大铸件生产技术; 2、耐热耐磨产品生产技术; 3、耐蚀耐磨产品生产技术; 4、耐磨产品生产技术; 5、铸造工艺设计; 6、铸造用辅助产品生产技术; 7、铸造与哲学。特快专递邮购价: 97元。

邮购咨询: 李巧凤 电话/传真: 029-83222071