

# 2PL04 连续运煤机履带板铸造工艺优化

武玉平<sup>1</sup>, 陈志军<sup>1</sup>, 李爽<sup>1</sup>, 高占勇<sup>2</sup>, 王旭<sup>1</sup>, 宫伟祥<sup>1</sup>, 张磊<sup>1</sup>, 乔昱<sup>1</sup>

(1. 内蒙古第一机械集团有限公司, 内蒙古包头 014032; 2. 内蒙古科技大学, 内蒙古包头 014010)

**摘要:** 煤机履带板是连续运煤机的行走部件的重要零件, 内部不允许缩松、缩孔缺陷, 质量要求非常高。采用华铸Inter CAST CAE软件模拟了两种不同工艺下煤机履带板浇注凝固过程中温度场变化及产生的缩松、缩孔缺陷, 由模拟结果得出, 在传统工艺条件下, 煤机履带板方口外侧销耳根部由于热节分散, 补缩通道不畅而产生缩松、缩孔缺陷, 通过CAE软件模拟优化工艺后, 消除了这一缺陷。

**关键词:** 履带板; 计算机模拟; 铸造工艺; 缺陷

## 1 铸件简介

公司新试制了一款机型为PL04的煤矿井下连续运煤机的履带板, 该履带板作为运煤机行走部件的关重零件, 工作负荷大、工况条件变化大、受力复杂、工作环境恶劣, 容易产生疲劳脆性断裂。因此, 要求煤机履带板必须具有高的强度和耐冲击性, 要求内部组织致密, 不允许有任何铸造缺陷, 且销耳处要求100%进行磁粉探伤。

## 2 铸件结构工艺性及技术要求

该铸件为典型的履带板类结构, 轮廓尺寸为480 mm × 180 mm × 89.5 mm, 最大壁厚差40 mm, 毛重18.2 kg, 具体结构见图1。铸件材质为ZG32CrMoB, 化学成分见表1, 力学性能见表2。

该煤机履带板壁厚不均, 特别是两端销耳根部, 热节分散、补缩通道不畅, 加之ZG32CrMoB材质流动性差, 加剧了补缩难度, 很容易产生缩松、缩孔和裂纹缺陷<sup>[1-2]</sup>。该铸件的工艺难度较大。

## 3 初始铸造工艺方案及模拟计算

公司曾经生产过结构类似的煤机履带板, 但由于依赖传统铸造工艺生产的铸件, 一直在铸件两端销耳处产生 $\Phi 8\sim 10$  mm的缩孔, 以及销耳处的水纹及冷隔缺陷, 影响铸件的使用寿命, 为此对该煤机履带板的铸造工艺进行优化和改进。

作者简介:

武玉平(1963-), 男, 研究员级高工, 主要从事铸造技术和型砂工艺。电话: 15947525736, E-mail: wuyuping5639678@163.com

通讯作者:

陈志军, 男, 工程师, 硕士。电话: 13948736579, E-mail: 290265437@qq.com

中图分类号: TG244

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)12-1471-05

收稿日期:

2021-05-08 收到初稿,  
2021-10-12 收到修订稿。

表1 ZG32CrMoB化学成分  
Table 1 Chemical compositions of the ZG32CrMoB  $w_B/\%$

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	B
0.258~0.38	0.35~0.65	0.50~0.80	≤0.03	≤0.03	0.8~1.1	0.20~0.30	微量

表2 力学性能要求  
Table 2 Mechanical properties requirements

$R_m/\text{MPa}$	$R_{eL}/\text{MPa}$	$A/\%$	$Z/\%$	HBW	$A_{KV}/\text{J} (-40\text{ }^\circ\text{C})$
≥716	≥490	≥22	≥45	179~241	≥34

若在工艺设计时就能预测出产生缩孔的位置及大小,就可以优化改进设计工艺,做到防患于未然,生产出优质铸件,但靠经验是比较困难的,计算机仿真模拟技术在这方面有其特有的优势<sup>[3]</sup>。

### 3.1 初始铸造工艺方案

#### 3.1.1 冒口设置

该煤机履带板销耳较多,且销耳长度较短(30~50 mm),加上销耳外侧有R10 mm的过度圆角,使得销耳长度的实际尺寸减小到20 mm左右,ZG32CrMoB的材质流动性较差,不易充型。经结构分析及计算<sup>[4]</sup>,在煤机履带板中央的平面部分设置一个80 mm×160 mm×120 mm的冒口,一方面可以对铸件整体起到补缩作用,消除铸件缩孔、缩松缺陷;另一方面增加钢液的热容量,进而延长钢液液态时间、销耳处钢液流动充型时间,这样可减轻或消除销耳处的水纹及冷隔缺陷。

#### 3.1.2 内浇道设置

由于该煤机履带板铸件较长,需多个内浇道进行快速充型,但销耳多且分散,不利于内浇道开设,增加了工艺难度,从图1中可以看出,最多开三道内浇道,且均需从型芯上方进入型腔,中间内浇道从冒口进入,其截面积(60 mm×20 mm)明显大于两侧的内浇道截面积(20 mm×30 mm),这样使绝大部分钢液从冒口进入型腔,有利于实现铸件的顺序凝固<sup>[2]</sup>,两侧内浇道的作用主要是减轻煤机履带板销耳冷隔的倾向。

#### 3.1.3 内冷铁设置

该煤机履带板两端销耳处热节分散补缩不畅,很

容易产生缩孔缺陷,根据铸钢凝固理论<sup>[2]</sup>,在两侧的内浇道下方,各设置一根 $\Phi 8$  mm×20 mm内冷铁。内冷铁的放置方式:一种是在内浇道处在垂直钢液充型方向上放置,这样便于操作,具体工艺方案见图2(方案I);另一种是与钢液充型平行方向的方式放置,但位置应尽量避免开内浇道,靠近方口芯一侧,具体工艺方案见图3(方案II)。

#### 3.1.4 其他工艺参数

每箱4件,每箱钢液重为165 kg,砂型为水玻璃砂,砂芯为桐油砂。浇注温度设定为1 570 ℃,浇注速度8~11 s。

### 3.2 模拟计算

模拟软件采用公司于2000年从华中科技大学引进的CAE模拟软件,三维造型采用PRO/E建模,然后通过STL文件作为数据转换接口,实现CAD子系统与CAE子系统的信息连接,将CAD子系统中工艺因素(铸型、铸件、冷铁、冒口等)三维几何信息提供给CAE系统,以便用来进行模拟分析。

#### 3.2.1 三维造型

采用PRO/E根据铸件图纸进行三维造型,由于

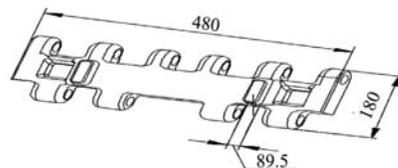


图1 煤机履带板结构简图

Fig. 1 A brief diagram of the structure of the track shoes of the coal machine

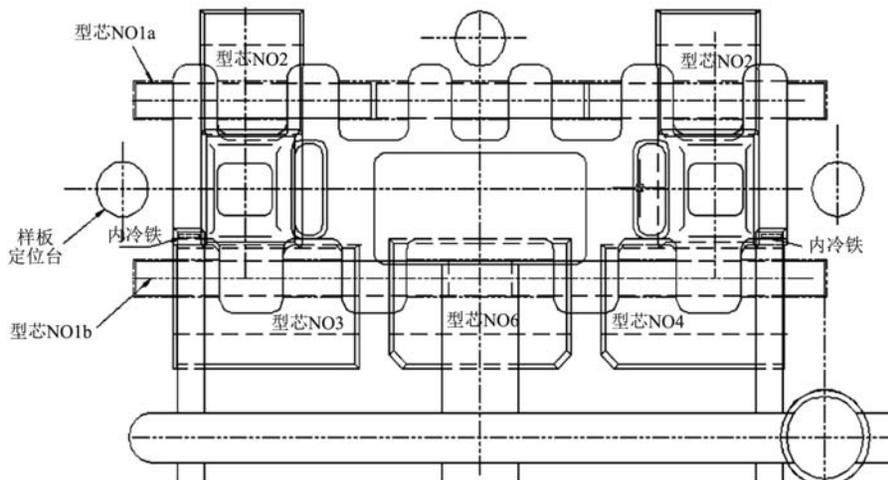


图2 煤机履带板方案I工艺布置简图

Fig. 2 A sketch of the process layout of the coal machine track plate scheme I

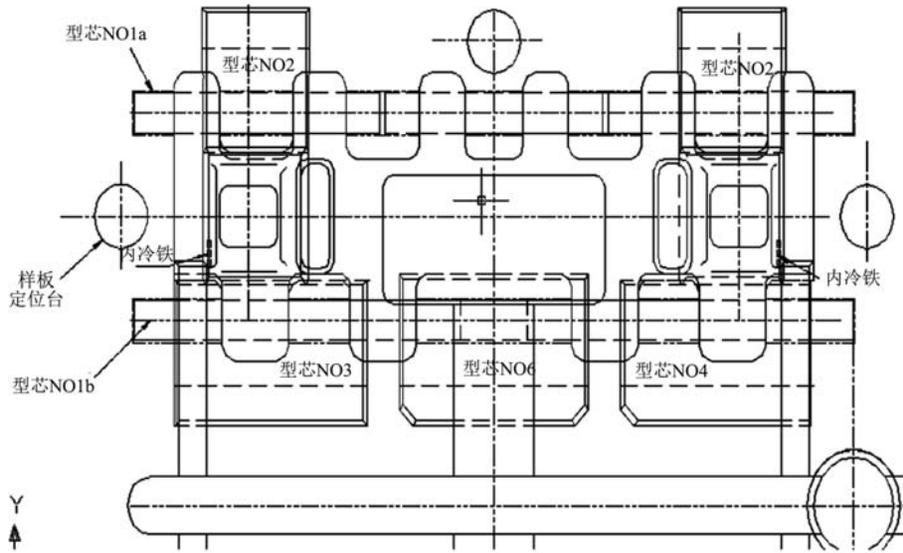


图3 煤机履带板方案 II 工艺布置简图

Fig. 3 A sketch of the process layout of the coal machine track board scheme II

PRO/E采用参数化造型，因此在造型过程中出现错误，只需要修改相关尺寸，软件会自动更新与之相关的尺寸，在得到煤机履带板铸件的三维实体后，使用PRO/E中的Info命令来检查造型尺寸，以保证铸件尺寸信息的准确。图4为该零件煤机履带板的三维CAD造型。

此后，根据改进工艺方案中各工艺组元的参数，利用PRO/E在已建好零件模型上将浇注系统、冒口、冷铁建模。图5为煤机履带板含浇注冒口系统等工艺组元的

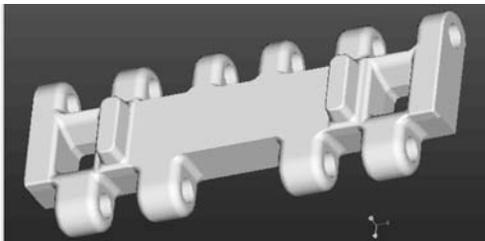


图4 煤机履带板三维CAD造型

Fig. 4 Three-dimensional CAD modeling of the coal machine track shoes

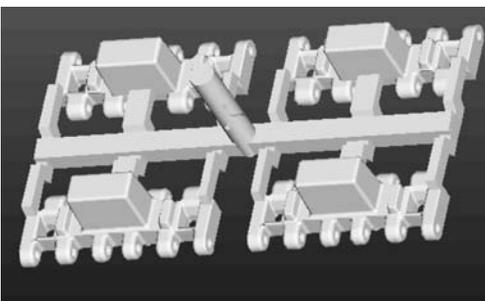


图5 煤机履带板含浇注冒口系统等工艺组元的CAD造型

Fig. 5 The CAD shape of the coal machine track plate containing process components such as the pouring port system

CAD造型。

### 3.2.2 模拟计算

模拟计算采用Inter CAST CAE在PC机上运行计算，为计算准确，剖分网格为250万，计算时间为400 s。模拟材料尽可能选用铸件原材质ZG32CrMoB，但该材质的热物理性能参数在该软件中尚未收集捕捉，只有公司与华中科技大学联合测试的ZG32CrMo材质的热物理性能参数，考虑到这两种材质的化学成分上区别不是很大，对模拟结果不会造成太大影响，所以此次模拟选用材质ZG32CrMo的热物理性能参数，见表3。铸件与冷铁、铸件与铸型、铸件与砂芯的传热系数从CAE软件数据库中选用，并假定煤机履带板在浇注过程中不同材质之间的传热系数为常数。最后，根据实际的工艺参数设定浇注的初始条件，即浇注温度为1 570 ℃。所有参数设置完毕，通过Inter CAST CAE软件的运行计算，便得到了该煤机履带板在不同冷却时间的温度场。

## 4 模拟结果分析及讨论

### 4.1 工艺方案 I

由于该煤机履带板自身的结构限制，冒口的补缩能力只对两方口之间的各热节起补缩作用，而两方口

表3 界面传热系数的选择

Table 3 The selection of heat exchange coefficients for the interface (cal·cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>·℃<sup>-1</sup>)

项目	铸件/砂型	铸件/砂芯	铸件/冷铁
传热系数	0.056	0.002	0.116

外侧的热节被阻断, 设计工艺方案I的目的是通过内冷铁的激冷作用来消除煤机履带板外侧两销耳根部的缩松、缩孔缺陷。从模拟过程看, 在15.14 s时, 煤机履带板方口外侧钢液就失去了补缩通道(图6), 形成了孤立区, 随后利用Inter CAST CAE软件后处理中的缺陷判断功能, 对孤立区进行搜索(图7)和孤立区的数据统计(图8)。从孤立区的数据统计上看出, 4个孤立区的体积比均在0.2%~0.26%之间。根据模拟经验, 孤立区体积比 $\geq 0.2\%$ , 铸件在该孤立区有可能产生缩松、缩孔缺陷。因此, 从方案I模拟结果看, 在该煤机履带板方口外侧两销耳根部有可能产生缩松、缩孔缺陷。

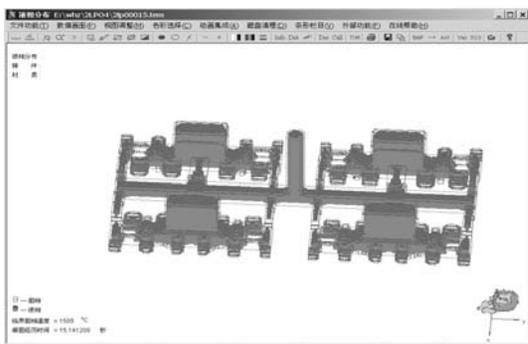


图6 方案I在15.14s时液相分布图  
Fig. 6 Liquid phase distribution at 15.14 s of the scheme I

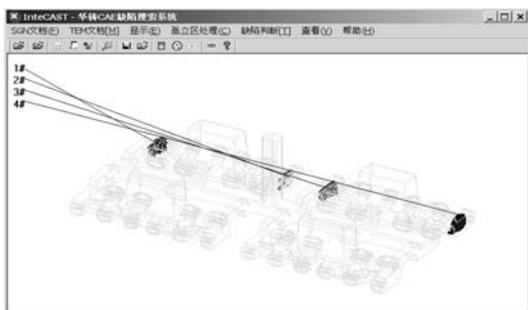


图7 方案I在15.14s时两侧内浇口处孤立区  
Fig. 7 Isolated areas at the ingates on both sides at 15.14 s of the scheme I

各孤立区数据统计报表				
时间(s):14.38414_Etwhz2LP042lp0001单元尺寸(mm):6.119 X 6.119 X 6.119				
孤立区	网格数	体积(cm <sup>3</sup> )	总网格数	总体积(cm <sup>3</sup> )
1#	249	57.04804	97840	22415.98
2#	202	46.27993	97840	22415.98
3#	202	46.27993	97840	22415.98
4#	249	57.04804	97840	22415.98

图8 方案I在15.14s时两侧内浇口处孤立区数据统计  
Fig. 8 The statistics of isolated areas at the ingates on both sides at 15.14 s of the scheme I

#### 4.2 工艺方案II

工艺方案II与工艺方案I的区别在于插冷铁的方向与位置上有所不同, 其他条件一致。从模拟结果看出, 煤机履带板方口两侧的钢液失去补缩通道的时间为16.65 s(图9), 要晚于工艺方案I。同样对孤立区进行搜索(图10), 并进行孤立区数据统计(图11)后, 发现4个孤立区的体积比在0.12%~0.20%之间, 明显小于工艺方案I, 根据经验, 该煤机履带板方口外侧两销耳根部产生缩松、缩孔缺陷的倾向要小。

#### 4.3 缺陷原因分析

两种工艺方案产生了不同的模拟结果, 其主要原因是工艺方案I中的冷铁没有完全发挥冷铁作用, 从

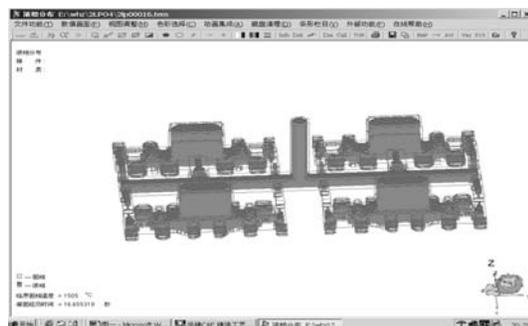


图9 方案II在16.65s时液相分布图  
Fig. 9 Liquid phase distribution at 16.65 s of the scheme II

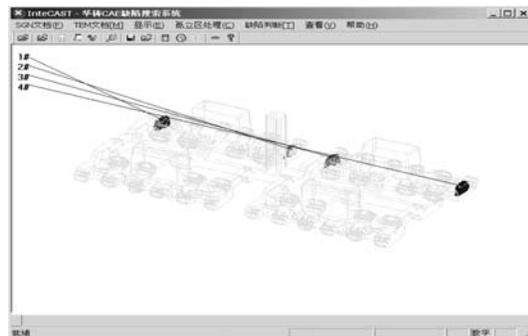


图10 方案II在16.65s时两侧内浇口处孤立区  
Fig. 10 Isolated areas at the ingates on both sides at 16.65 s of the scheme II

各孤立区数据统计报表				
时间(s):19.68356_Etwhz2LP042lp0001单元尺寸(mm):6.119 X 6.119 X 6.119				
孤立区	网格数	体积(cm <sup>3</sup> )	总网格数	总体积(cm <sup>3</sup> )
1#	188	43.07241	97840	22415.98
2#	127	29.09679	97840	22415.98
3#	127	29.09679	97840	22415.98
4#	188	43.07241	97840	22415.98

图11 方案II在16.65s时两侧内浇口处孤立区数据统计  
Fig. 11 The statistics of isolated areas at the ingates on both sides at 16.65 s of the scheme II

冷铁位置看,正好置于内浇道下方,因为其方向与钢液充型方向垂直,无法避开钢液的冲刷,导致进入型腔的钢液温度迅速下降,而冷铁的温度迅速上升,这样对该煤机履带板凝固后期起不到激冷作用。同时,在该煤机履带板两侧内浇道处的钢液快速降温,凝固期提前,较早地卡断了补缩通道。而工艺方案Ⅱ中的内冷铁放置方向与钢液充型方向相同,而且置于方口型芯下方,这样,冷铁受到了保护,钢液充型瞬间接触不到冷铁,从而使得冷铁在凝固后期充分发挥了冷铁作用。并且该煤机履带板两侧内浇道处的钢液降温时间要晚于工艺方案Ⅰ,使得补缩效果好,因此,工艺方案Ⅱ在煤机履带板方口外侧两销耳根部产生缩松、缩孔缺陷的倾向要小。

## 5 生产验证

为了进一步验证两种工艺可靠性,同时对两种工艺方案进行了单件小批量试浇,试浇结果为:工艺方案Ⅰ浇注的煤机履带板铸件在两侧内浇道下方有严重的缩松缺陷,工艺方案Ⅱ浇注的煤机履带板铸件在该

位置组织致密,没有任何铸造缺陷,与CAE模拟结果完全吻合。因此,在后续的2PL04连续运煤机履带板批量生产中采用了铸造工艺优化后的工艺方案进行生产,2PL04连续运煤机履带板实际生产了480件,合格了450件,合格率为93.75%,较工艺优化前的铸件合格率提高17.2%,经济技术效益十分明显。

## 6 结论

(1) 2PL04连续运煤机履带板由于结构复杂、热节分散,所以在铸造工艺设计时,要兼顾钢液的充型速度及冒口的补缩。

(2) 传统铸造工艺设计造成2PL04连续运煤机履带板产生工艺热节,易产生缩松、缩孔缺陷。通过CAE模拟,能够准确判断出工艺是否合理。2PL04连续运煤机履带板采用工艺方案Ⅱ,消除了缩松、缩孔缺陷,生产出合格铸件。

(3) 利用计算机模拟优化铸造工艺,不但可以铸件缩短试制周期,而且可以节约试制费用。

### 参考文献:

- [1] 平向红. 履带板铸件产生缩裂缺陷的原因及对策[J]. 铸造, 2001, 50(3), 156-158.
- [2] 李庆春. 铸件形成理论基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.
- [3] 柳百成, 荆涛. 铸造工程的模拟仿真与质量控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [4] 李魁盛. 铸造工艺设计基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1985.

---

# Optimization of Casting Process for Track Shoe of 2PL04 Continuous Coal Conveyor

WU Yu-ping<sup>1</sup>, CHEN Zhi-jun<sup>1</sup>, LI Shuang<sup>1</sup>, GAO Zhan-yong<sup>2</sup>, WANG Xu<sup>1</sup>, GONG Wei-xiang<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>, QIAO Yu<sup>1</sup>

(1. Tenth Company of Inner Mongolia First Machinery Group Co., Ltd., Baotou 014032, Inner Mongolia, China; 2. Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014032, Inner Mongolia, China)

### Abstract:

The track shoe is a key component of the moving part of continuous coal conveyor. High quality requirements including no shrinkage cavity or porosity in the casting, leading to the difficulty of casting process design. In this paper, the initial process design scheme was simulated and analyzed using Inter HuaZhu CAST CAE software. It was found that the unreasonable location design of the cold iron resulted in the shrinkage cavity or porosity at the pin ears of both ends of the casting. Through the optimization of the location and direction of the cold iron, the shrinkage cavity or porosity at the pin ears of both ends of the track shoe was successfully solved, avoiding the problems of high trial cost and long trial period caused by the traditional trial and error method.

### Key words:

track shoe; analogue simulation; casting process; casting defect