

喂丝工艺在厚大压铸机模板铸件生产中的实践应用

陈鹏辉，廖志金

(1.龙南龙钇重稀土科技股份有限公司，江西 赣州 341000 ；

2.江西省重稀土冶金工业添加剂工程技术研究中心，江西 赣州 341000)

通讯作者：陈鹏辉，男，中级职称。E-mail: chenwei881771@163.com

摘 要：针对厚大件压铸机模板铸件（典型重量 15-20 吨，最大壁厚 350mm）生产中的球化衰退、镁吸收和残余镁不稳定等难题，提出喂丝球化站的球化孕育方式，通过构建熔炼成分精确管控以及生产过程工艺参数的严格控制，实现大吨位铸件附铸试块球化率 $\geq 85\%$ 、力学性能满足技术要求。生产实践表明：相较于传统冲入法，喂丝工艺综合成本较低，并依托喂丝工艺的自动化优势实现了工艺以及质量的稳定性提升，证明喂丝工艺为厚大压铸机模板铸件的生产提供了创新解决方案。

关键词：喂丝工艺；喂丝参数；压铸机模板铸件；成本

Practical application of wire feeding technology in the production of thick and large die-casting machine mold castings

Chen Penghui

(1.Longnan Longyi Heavy Rare Earth Technology Co., Ltd., Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 2. Jiangxi Engineering Technology Research Center of Heavy Rare Earth Metallurgy Industrial Additives, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

Abstract: In order to solve the problems of spheroidization decay, magnesium absorption, and unstable residual magnesium in the production of thick and large die-casting machine template castings (typical weight 15-20 tons, maximum wall thickness 350 mm), the spheroidization and pre-alloying method of the wire feeding spheroidization station is proposed. By constructing precise control of the melting composition and strict control of the process parameters of the production process, the spheroidization rate of the die-casting machine template castings with a large weight is achieved $\geq 85\%$, and the mechanical properties meet the technical requirements. Production practice shows that compared with the traditional plunging method, the wire feeding process has a lower comprehensive cost, and the automation advantage of the wire feeding process has realized the stability of the process and quality, proving that the wire feeding process provides an innovative solution for the production of thick and large die casting machine template castings.

Keywords: wire feeding process; wire feeding parameters; die-casting machine template castings; cost

厚大断面球墨铸铁件在生产中存在冷却速度缓慢的问题，容易造成铸件厚壁中心或热节石墨畸变，石墨球直径大，数量少，组织粗大和石墨飘浮等问题，因此导致铸件的机械性能显著下降，极大地影响厚大断面球铁的发展与应用。

球化处理中冲入法在大吨位铸件中球化降温相对较大、镁吸收率低、流程长，而且因为人为因素的影响而导致球化质量波动，而喂丝球化工艺

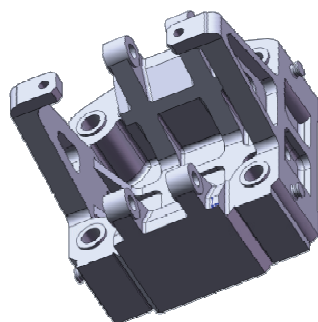
最大的优势就是可以采取低温球化孕育处理、低温浇注、自动化程度高、加入量精准、稳定性高，很大程度上弥补了冲入法球化的不足。

1 厚大件压铸机模板铸件的技术要求

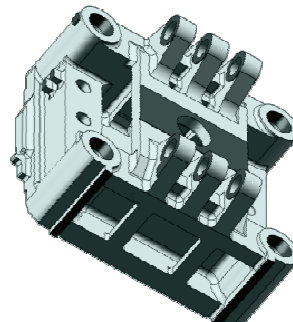
压铸机二板、尾板铸件典型重量 15-20 吨，最大壁厚 350mm，材质为 QT500-7，附铸试块抗拉强度大于 500MPa，延伸率大于 7%，码模面硬度要求

170-230HB；珠光体数量在 45%-55%，铸件本体和附铸试块的球化级别不低于 3 级，不允许存在裂纹、

气孔、不允许缩松。图 1 分别是压铸机尾板和二板铸件。



a 压铸机尾板铸件



b 压铸机二板铸件

图 1 压铸机尾板和二板结构示意图

2 厚大件压铸机模板冲入法生产工艺及其存在的问题

以往，这类压铸机铸件都是采用冲入法的球化方式。球化剂加入量 1.35%；孕育工艺采用多次孕育+瞬时孕育，在包底加入 0.4%-0.5%（一次孕育），出水过程加入 0.2%-0.3%（二次孕育），在浇注过程中使用漏斗加入粒度为 0.2mm—0.7mm 的氧硫孕育剂 0.1%—0.15%（三次孕育）。生产结果：在很长的一段时间内生产的模板铸件光谱的残余镁含量在 0.03%-0.06%，附铸试块金相球化级别 2 级-4 级，波动都不小，导致铸件质量不稳定，统计冲入法生产压铸机铸件残余镁和球化率的情况如表 1 所示。图 2 铁水包中球化剂、孕育剂和覆盖剂的放置示意图。

表 1 冲入法生产压铸机铸件残余镁和球化率的情况

残余镁%	附铸试块球化率%
0.052	91
0.048	87
0.042	84
0.045	88
0.023	80
0.055	89
0.035	78
0.041	86
0.033	82
0.029	82

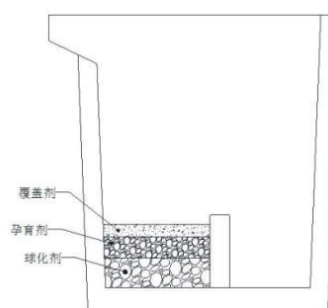


图 2 铁水包中球化剂、孕育剂和覆盖剂的放置示意图

通过分析发现：在冲入法球化工艺的流程中存在很多工艺管控节点未能管控到位，罗列如下：

现场操作工人，在称取球化剂和孕育剂等合金的过程中有出现错误的现象，甚至在备取球化剂中少一包球化剂的问题。

球化剂、孕育剂在球化包内加入覆盖剂时，加入的量不够，覆盖的不严实，在铁水冲入时球化剂起爆早。

出水过程中，行吊操作人员和倾炉出水人员配合不到位，导致铁水直冲球化室，造成球化剂烧损严重，镁吸收低。

倾炉出水操作人员出铁水操作不熟练或球化前期出水太慢，造成球化时铁水液面低，镁吸收低。

球化剂球化时要求一定的温度，温度低影响球化效果，而厚大件要求的浇注温度却不高，相对高的球化温度和相对低的浇注温度显然矛盾的，导致球化后等待降温的时间长或增加其他的降温工艺措施，造成球化、孕育衰退和生产成本的增加。

综上所述其实不难看出，基本上大多是人员操作问题导致的问题，如何规避此类问题和寻求一种

新的球化工艺成了当务之急，而喂丝球化工艺是很不错的选择。

3 喂丝球化站结构及选用

喂线球化站主要由包芯线、球化包、喂线平台、喂线机、进线笼及出线导管、安全门及其提升机、

包盖及其提升机构、除尘管道、控制系统、球化辊道组成。厚大压铸机模板重量在 20 吨以上，根据大吨位铸件喂丝时间和喂丝加入量确定喂丝球化站为 6 通道，球化线 4 通道，3 条同时喂线 1 条备用；孕育线 2 通道，1 条喂线 1 条备用，喂丝站结构示意图如图 3 所示。

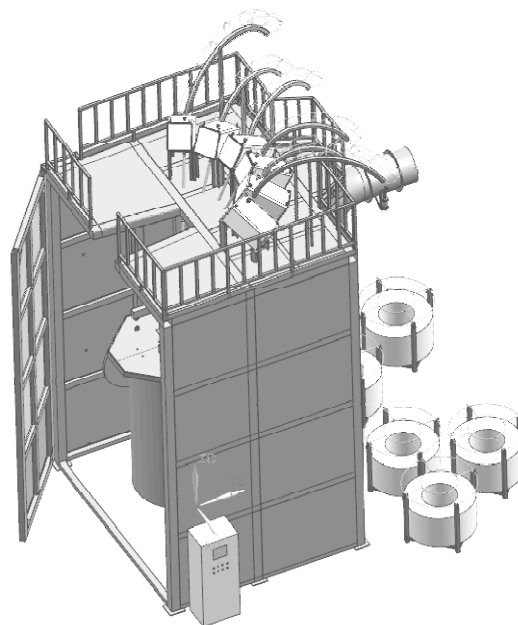
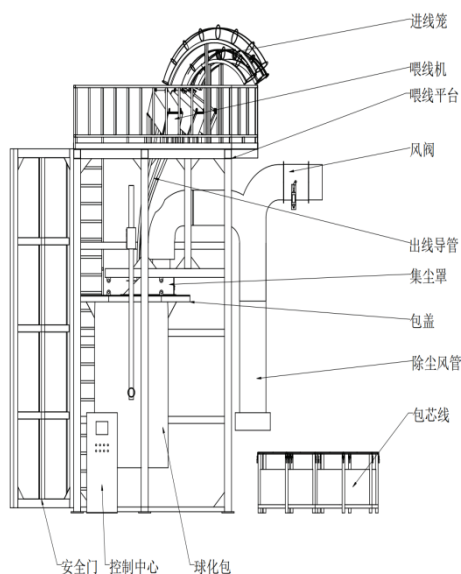


图 3 喂线球化站结构示意图

4 喂丝工艺生产厚大件压铸机模板的试验

4.1 试验条件

采用 30 吨中频电炉熔化，优质废钢增碳的工艺，增碳剂随废钢分批加入，选择专用球化喂丝包，铁水包需要预留 400~500mm 安全高度，高径比大于 1.5；采用多通道新型数字化喂线球化站。

4.2 厚大件压铸机模板试验过程及过程控制

4.2.1 熔炼工艺

4.2.1.1 厚大件压铸机模板铸件成分要求

根据之前的生产经验、厚大件压铸机板的结构特性及技术要求，确定碳含量在 3.6%-3.8%；硅控制在 2.2%-2.5%；锰控制在 0.5%-0.6%；铜控制在 0.3%-0.4%；锡 0.02%-0.06%；残余镁控制在 0.04%-0.06%；厚大件压铸机模板铸件详细的化学成分如表 3 所示。

表 2 厚大件压铸机模板主要元素的化学成分 (%)

项目	C%	Si%	Mn%	Cu%	Sn%	Sb%	P%	S%	Mg%	RE%
原铁水	3.6-3.8	1.3-1.5	0.5-0.6				<0.05	<0.02		
终铁水	3.4-3.7	2.2-2.5	0.5-0.6	0.3-0.4	0.02-0.06	0.004	<0.05	<0.01	0.04-0.06	0.005-0.015

4.2.1.2 厚大件压铸机模板铸件喂丝球化工艺参数设置

a、球化包芯线和孕育线的选用及其加入量

厚大件压铸机模板铸件选用钇基重稀土球化包芯线，采用线径规格 $\phi 13+0.5\text{mm}$ ，24%-26% 的镁，3.5%-4.5% 的钙，并且保证选择的 Mg 和 RE 波动范围要小，粒度分布均匀，同时控制球化包芯线芯料

中 MgO 的含量小于或等于总镁量的 5%。厚大压铸机铸件包芯线具体的成分和具体参数如表 2 所示。

球化包芯线加入量跟球化温度、铁水包液面深度、原铁水硫含量及其他微量元素的含量等相关，通过以往的经验公式初步计算，球化线加入量定为 24m/T。

厚大压铸机模板铸件选用高钡的孕育包线，为了提高厚大断面球铁的抗衰老能力

我们采用 Ba 含量 8%-10% 和重稀土钪含量较高的孕育线；为了解决了孕育线搅拌原动力弱的问题，同时在孕育线中加入了 2 %—3 % 的镁；芯孕育包芯线成分和具体的参数如表 2 所示。

根据孕育线加入量确定喂丝孕育工艺，具体孕

育工艺如下：采用三次孕育处理：一次孕育在球化包低加入 0.5-0.6% 粒度 3-8mm 的 YFY-8B 孕育剂；二次孕育采用龙钼 BXX-Y0 孕育线，孕育线喂线加入量 20m/T；三次孕育在浇注机浇注过程将粒度 0.2~0.8mm 的硅钡钙 YFY-1B 通过装置喷粉加入，加入量 0.1~0.15%。

表 3 厚大压铸机铸件包芯线和孕育线成分表

产品名称	牌号	线径 (mm)	芯料化学成份 (%)					
			REO	Si	Mg	Ba	Ca	Fe
重稀土球化线	BXX-Q1	13	4-5	48-51	24-26	2-3	3.5-4.5	余量
孕育线	BXX-Y0	φ 13	1-2	65-70	2-4	8-10	1.83	余量
产品名称	牌号	每卷线长 (m)	每米线重 (g/m)	每米芯粉重 (g/m)	芯线比		线径 mm	
重稀土球化线	BXX-Q1	3632	401	232	0.57: 1		Ø13	
孕育线	BXX-Y0	3636	438	271	0.62: 1		Ø13	

b、球化线、孕育线喂丝速度的选择

喂丝球化工艺中喂丝速度决定决定着包芯线中镁的吸收率，合适的喂丝速度要保证球化丝伸入到离液面底部 100~200 mm 时刚起爆，根据包芯线熔化机理、铁水的深度、温度及生产实际经验暂定喂丝速度 55m/min，孕育线喂丝速度 65m/min。

4.2.2 厚大压铸机模板铸件喂丝球化处理过程

炉料熔化结束后，铁水温度上升至 1400~1450℃ 时取光谱试样和炉前铁水分析仪检测化学成分，根据光谱和分析仪结果数据调整化学成分符合表 1 要求，烫包扒渣回炉，待铁水温度达到工艺温度 1360~1400℃ 出水，球化包行车吊运至喂丝站。将喂丝球化线孕育线加入量、加入速度输入喂丝系统，喂线系统根据铁水质量动态监测系统的的结果，此类模板铸件耗水量大，为了控制球化时间和球化温度，球化线 4 条，3 条同时喂线 1 条备用；孕育线 2 条，1 条喂线 1 条备用，按启动按钮，喂丝开始，喂线时机的选择：先喂球化线，在球化线喂入一定量后，再喂孕育线，通过 PLC 自动计算速度、喂线量，最终使孕育线与球化线同时喂线结束，当

自动喂线完成后，包芯线自行退回到导管口处，球化后的铁水扒完渣取光谱试样，分析铁水成分，最后将铁水吊运至浇注区进行浇注。

4.3 检测方法

附铸试块，将其加工成 GB/T228-2002 标准中规定的尺寸要求，检查力学性能和金相组织，并对光谱试块进行分析，使用德国 OBLF 直读光谱仪；铁水热分析仪进行炉前分析和炉后分析；力学性能采用 WA-600KD 型电液式万能试验机测试；试棒金相 Φ20mm×15mm 在 XJG-05 大型显微镜检查组织；用 TH110 里氏硬度计测量试块硬度。

4.4 试验结果

通过多件喂丝球化生产的厚大压铸机模板铸件的生产，试验采用直读光谱仪进行成分测定为了更好的考察喂线工艺所生产的产品质量稳定性，我们在试验现场共取了 5 件压铸机模板铸件光谱试样进行化学成分分析，本次试验的每一压铸机模板铸件化学成分如表 4 所示，5 件模板铸件的附铸试块力学性能如表 5 所示；金相如图 4 所示。

表 4 厚大件压铸机模板球化后光谱分析结果

炉次	C	Si	Mn	P	S	Cr	Sb	Sn	Cu	Mg
1	3.61	2.15	0.52	0.0166	0.013	0.08	0.004	0.042	0.31	0.045
2	3.65	2.18	0.56	0.0138	0.01	0.1	0.004	0.055	0.42	0.042
3	3.65	2.2	0.52	0.014	0.011	0.072	0.004	0.057	0.35	0.044
4	3.59	2.17	0.62	0.0156	0.012	0.066	0.004	0.043	0.33	0.051
5	3.63	2.21	0.58	0.0152	0.013	0.09	0.004	0.045	0.44	0.046

通过表 4 我们可以清晰的看到喂线法生产的球铁件化学成分非常稳定，试验结果完全按照试验前所设定的成分含量，残余镁波动很小。由于成分稳

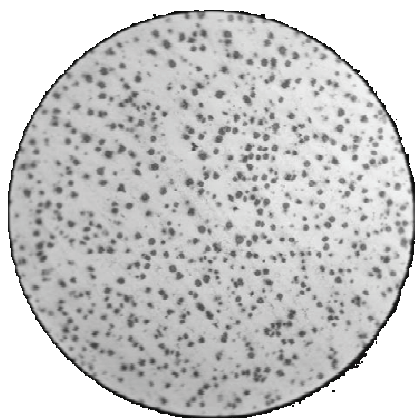
定那么就能保证所生产的铸件不会出现严重的球化孕育衰退情况。

表 5 厚大压铸机模板铸件附铸试块力学性能

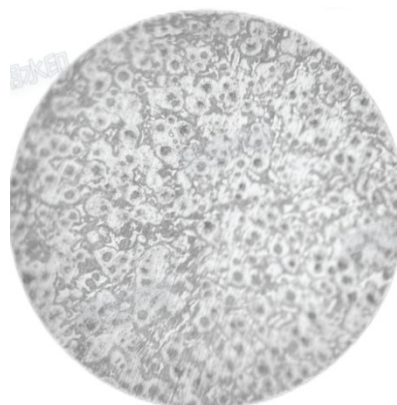
附铸试块编号	Rm (Mpa)	Rp0.2 (Mpa)	A (%)	硬度试验 HBW
1	490	290	7.2	179
2	485	285	8	181
3	502	302	8.5	188
4	518	312	9	186
5	488	289	10	176

表 5 中可以很清晰的看到所有试样的检测结果种抗拉强度都大于 480Mpa，延伸率大于 7%，硬度

大于 170HB，完全符合 QT500-7 的力学性能指标



球化级别 2 级，石墨大小 6 级



珠光体含量 50%

图 4 厚大压铸机模板铸件附铸试块金相组织

图 4 就是用喂线技术处理第一包铁水所铸成的铸件金相图片，通过检测可以得知附铸试样球化等级小于 3 级，石墨大小等级均为 6 级，珠光体含量 50%左右。

5 结果分析讨论

厚大压铸机模板铸件使用的球化线和孕育线都加入了重稀土元素钇，重稀土比轻稀土脱硫能力强，生产厚大件的能有效中和有害元素，提高球化率、抗衰退能力强，同时在大断面球铁中加入一定量的 Sb 并辅以适量的稀土，可有效地消除碎块状石墨，改善石墨形态，提高力学性能。

喂丝球化工艺是通过喂线机将球化包芯线和孕育包芯线自动、精确地添加到特定温度的铁水中，根据原材料、铸件结构等实际情况设定球化线和孕育线的加入量，加之包芯线中添加的元素在加入过程中被氧化的机会很少，喂线处理时也有包盖，避

免了铁水中的镁和空气中的氧发生反应，同时厚大压铸机板铸件喂丝球化温度相对低，镁蒸气蒸发减少；铁水的镁吸收率比冲入法的高、稳定性更好，而且喂丝球化的自动化程度高极大的避免了人为因素带来的操作误差，提高了球化的稳定性。从表 1、表 4 对比显示喂线法处理铁水的镁吸收率比冲入法的高，残余镁稳定性更好。

从经济效益上看，球化线的价格虽然比球化剂的价格要高，但加入量比冲入法球化剂的加入量少，孕育线和孕育剂的价格相当，核算可知喂丝球化每吨铁水的成本比冲入法的成本低 41 元，厚大压铸机板铸件每件相当于成本可降低 800 元左右，由以上对比可知，利用喂线工艺处理球铁铁水，不仅在技术上优于原来的冲入法，而且在经济上也有很大的优势。



表 6 喂丝法和冲入法经济效益对比

球化方式	球化线	
	加入量%	每吨铁水成本元/吨
冲入法球化工艺	1.4	140
喂丝球化工艺	0.9	99

6 结论

通过喂丝工艺生产厚大压铸机模板球铁件的工业试验，采用直读光谱、力学性能测试、经济效果对比，可以得出如下结论：

用喂线工艺进行球化与孕育处理铁水，极大避免了人为因素的操作干扰，使被处理铁水的残余镁含量保持在很小波动范围。

喂线工艺生产厚大压铸机模板铸件，采用了重稀土球化线以及高钒、含重稀土的孕育线，使铸件的抗球化及孕育衰退能力得到了很大的提高。

喂丝工艺生产厚大压铸机板铸件每吨铁水的成本比冲入法低 41 元，每件成本降低 800 元左右。

参考文献：

- [1] 廖志金,李仕林,朱福生,等.数字化喂线球化站的设计[J].铸造,2023,72(10):1369-1372.
- [2] 魏伟,张磊磊,沈闯,等.球墨铸铁在矿山机械厚大零部件中的应用[J].现代铸铁,2022,42(05):1-4+9.
- [3] 张铁军,刘亮,王明光,等.喂线球化的主要影响因素与评价[J].铸造技术,2014,35(06):1246-1250.
- [4] 朱达平.喂线技术生产 FCD700 球墨铸铁凸轮轴的研究[D].哈尔滨理工大学,2007.
- [5] 刘睦坤.喂线技术生产薄壁球铁件的工艺控制[D].哈尔滨理工大学,2006.
- [6] 赵永启,石巨鹏 Sb、Bi 在厚大断面球铁件中的应用现代铸造 2004.3 (2):43-45.