

# Analysis of Causes for Excessive Dimension of Ductile Iron Pipe Socket and Discussion on Control Method

Xisen Sun

Xuzhou Golden Yazu, Xuzhou, Zhejiang, 221000, China

## Abstract

At present, there are often unqualified socket sizes in the production of ductile iron pipes, the size of the sockets fluctuates from small to large, resulting in a large number of secondary pipes and excessively large socket sizes, this not only increases the production cost, but also causes a lot of waste of manpower and material resources. Combining the practical experience of ductile iron pipes production, this paper discusses the influence of the production process of horizontal water-cooled centrifugal cast pipe on the socket size of ductile iron pipes, explore the process influencing factors in the production process. Combination of nodular cast iron solidification theory, phase transformation theory, puts forward the theory of competing models, pointed out the direction of the socket size problem for the cast pipe production, and under the guidance of the competing theory model, the further combining with production practice, explore the hot metal silicon content, agent metal-stream content changes impact on the cast pipe socket size after annealing of experience.

## Keywords

ductile iron pipes; centrifugal casting; spigot

# 球墨铸管插口尺寸超标原因分析及控制方法探讨

孙西森

徐州金色雅筑, 中国·浙江 徐州 221000

## 摘要

目前球墨铸管生产常有插口尺寸不合格现象, 插口尺寸忽小忽大, 造成大量的二退管, 插口尺寸超大废管, 不但增加了生产成本, 还造成大量的人力、物力浪费。论文结合球墨铸管生产实践经验, 探讨卧式水冷离心铸管生产工艺对球墨铸管插口尺寸的影响, 探寻出生产工艺过程中的工艺影响因素。结合球墨铸铁凝固理论、相变理论, 提出了大小球理论模型, 为铸管生产面对插口尺寸问题指明了方向, 并且在大小球理论模型的指引下, 进一步结合生产实际, 探索出了铁水硅含量变化、随流孕育剂含量变化对退火后铸管插口尺寸影响的经验值。

## 关键词

球墨铸管; 离心铸造; 插口

## 1 引言

球墨铸铁因其石墨呈球状而得名, 简称球铁。石墨在铸铁中呈球状, 减小了尖端应力集中效应, 从而提高了铸铁的强度, 其综合性能接近于钢, 用于铸造一些受力复杂、强度、韧性、耐磨性要求较高的零件, 所以球铁已在机床、交通、石油、农机、冶金等行业得到了广泛应用。

论文目的是结合生产球墨铸管的实践经验, 探讨生产工艺对球墨铸铁管插口尺寸的影响, 提出生产工艺过程中的工艺控制要点及相应的调整措施, 以期能对提高离心铸造球铁

管的质量, 减少生产能源消耗有所裨益。

## 2 插口尺寸问题

目前, 球墨铸管生产常有插口尺寸不合格现象, 插口尺寸的控制不稳定, 忽小忽大, 造成大量的二退管, 甚至产生大量插口尺寸超大废品, 不但增加了生产成本, 而且造成了大量的人力、物力浪费。

### 2.1 生产现状

以下是某公司执行标准:

(1) 插口大: 插口尺寸(插口线)超出标准要求, 将直接导致管子承插口安装不上, 一旦在生产中发现直接判废。

(2) 插口小: 插口尺寸(插口线)小于标准要求, 将

【作者简介】孙西森(1985-), 男, 中国黑龙江黑鹤岗人, 研究生学历, 中级工程师, 从事铸造研究。

直接导致管子安装密封不严，生产中如有出现，按照要求进行二次退火，符合标准要求予以通过。

上述两种情况在实际生产中时常出现批量不合格品，甚至出现同班次同管模生产中，前期生产插口尺寸大，后期生产插口尺寸小的现象，这类批量不合格品一直困扰着铸管生产，造成大量二次退火和插口大废品。

## 2.2 工艺流程调查

针对这个问题，利用 QA 矩阵流程调查工具，将影响插口尺寸的工艺环节列出，详见表 1。

表 1 影响球墨铸管插口尺寸的因素

影响因素	某公司要求标准范围	备注
铁水终硅含量 (w%)	2.0%~2.2%	
随流孕育剂添加量 (%)	铸件重量的 0.8 ~ 1.5‰	
管模粉的停止位置	5980	管道长 6m
铸管插口壁厚	> 9.6mm	DN800 为例
管模插口尺寸	841mm~842.5mm	DN800 为例
浇注温度	1340℃ -1360℃	
退火温度	910℃ -950℃	
退火炉炉链链速	0.83m-0.9m/min	

通过工艺流程发现，从熔化到退火出炉，几乎每个环节均影响到铸管的插口尺寸，分析后，发现这是一个影响因素较多的问题，首先抓出重点影响因素，先利用现有材料成型理论分析铸管插口尺寸变化的原因。

## 3 离心铸造工艺的特点

目前，世界上离心铸管生产的主流是卧式水冷离心铸管，工艺特点是扇形包中的铁水经过流槽浇注到管模中迅速凝固，温度从 1360 度左右迅速降低到 800 度左右，凝固成型的铸管随后被拔管钳拔出，由运管系统运送到退火炉，这里很多公司采用运管小车加固定管架的模式，在这个过程中铸管温度进一步降低，从铁水浇注到铸管成型拔出，仅需数分钟（小口径铸管甚至不到 1 分钟），由于铸造过程中降温迅速，因此水冷工艺生产的铸管在未退火前基体组织以渗碳体和石墨为主。

### 3.1 退火对球墨铸铁管尺寸的影响

由上节分析，生产出的球墨铸管基体组织以渗碳体和石墨为主，但渗碳体脆性很大，强度和塑性很差，无法满足使

用需求，因此铸管需要经过高温退火，使渗碳体分解，基体组织转变为铁素体和石墨，才能满足使用要求。

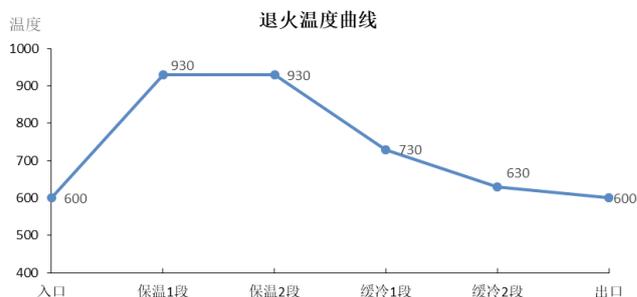


图 1 某铸管公司水冷铸管工艺退火温度曲线 (°C)

在高温退火过程中，渗碳体分解为铁素体和石墨，石墨充分析出，使基体中的石墨球进一步长大，铸管尺寸在这一过程中也随之发生变化，由图 1 分析可以看出，球墨铸管尺寸的变化来源于基体组织的变化，即在退火过程中渗碳体的分解与石墨球的长大。

如果退火炉链速过快，渗碳体没有充分分解，石墨球没有成分长大，铸件体积膨胀偏小，那么铸管的尺寸也会偏小。

### 3.2 随流孕育对球墨铸铁管尺寸的影响

铁水经球化处理，易出现白口，难以产生石墨核心，因此在铸造时，必须进行随流孕育。孕育处理可以促进石墨化，改善球化效果，使石墨球变小，数量增多且分布均匀，球径更圆整，显著地改善了球铁的性能。因此孕育处理是提高球墨铸铁质量的重要手段，一般要求孕育剂加入量为铸件重量的 0.8~1.5‰。

孕育处理与温度的关系：铁水温度越高，孕育效果越差，当孕育处理温度从 1499° 降到 1204° 时，石墨球从 10 个 /mm<sup>2</sup> 迅速增加到 120 个 /mm<sup>2</sup> [1]。

随流孕育对铸管尺寸的影响，从理论上分析，浇注温度过高，溶解了孕育剂，是异质核心减少，不利于石墨球形核，从而减少了石墨球的个数，而石墨球个数将影响在后续退火中球墨铸铁管的膨胀情况，如果石墨球数量多且小，那么在析出同等石墨量的情况下，整体石墨球的长大量会变小，铸件的膨胀量也会变小。由此浇注温度、随流孕育剂加入量综合作用将对铸管插口尺寸产生影响。

具体影响是如果铸管石墨球数量多且小，那么经过退火后，铸管膨化量较小；如果铸管石墨球数量少且大，那么经过退火后，铸管膨化量则较大。

### 3.3 冷却速度对球墨铸铁管尺寸的影响

卧式水冷离心铸管，生产效率高，从浇注到成形仅需要数分钟时间，DN100 的管道生产从浇注到成形更是不到 1 分钟时间，如此快的冷却速度，铸件过冷度很大，形核增多，增加石墨球数量，由此离心主机的冷却速度关乎铸管尺寸的变化。

离心主机的循环水的进水温度与水质的硬度，均会对冷却速度造成影响，在离心铸造时，铁水的降温凝固主要通过管模散热，连续生产时管模的内表面温度接近 300℃，出水温度高的时候会达到 70℃，接近管模外表面的水温度会更高，这时如果离心机循环水的水质偏硬，则在管模的表面极易形成水垢，影响铸管的冷却，从而影响过冷度，改变铁水凝固时的形核情况。

由上述分析，在铸管生产时，要定期检测水质硬度，如使用硬度偏高的地下水，要添加软水剂降低水质硬度，改善冷却效果，进而改善铸管质量，提高制造效率。

### 3.4 硅含量高低对球墨铸铁管尺寸的影响

碳和硅元素直接影响石墨的析出量，石墨析出量则对球墨铸铁凝固过程中的体积变化产生重要影响。因石墨密度不到铸铁的 1/3，一样重量的石墨所占体积比铁液大得多。

球墨铸铁凝固过程中体积收缩一直存在，并且全过程最后的净变化是收缩。日本学者张博<sup>[1]</sup> 试验时发现，浇注温度相同时，碳当量值增大时收缩量会减小。橘忠堂也得到类似结果。总结可知，球铁凝固时的体积变化与 CE 值有关，见表 2。

表 2 某铸管公司水冷铸管工艺化学成分 (%)

元素	最小值	推荐最小值	推荐最大值	最大值
C	3.65	3.70	3.90	3.95
Si	1.90	2.00	2.20	2.40
Mn			0.30	0.35
P			0.06	0.08
S			0.02	0.02
Mg	0.028	0.035	0.055	0.060

而在离心工艺生产球墨铸管中，通过实际检验发现碳含量维持稳定，硅含量增加时反而退火后铸管尺寸膨胀量变小，也就是收缩量变大，看似这与上面两位学者得出的，浇注温度相同时，碳当量值增大时收缩量会减小相违背。

通过分析发现，这是因为离心铸造的特殊工艺导致的，在离心铸造中巨大的离心力使铸件不会产生缩松缩孔，甚至晶粒都被拉成了狭长型（未退火前），虽然 CE 值增大了，但巨大的离心力导致的铸件膨胀被大大的削弱了，而硅对石墨化的促进却没有改变，尤其是对铸件早期石墨化的影响，硅量过高时会导致石墨析出较早，使石墨球数增加，而石墨球数量的多寡、大小均会影响球墨铸管的尺寸，影响的原因与随流孕育剂对石墨球产生的影响是一样的。

## 4 大小球模型

在经过上述 4 个环节的分析，可以简单的建立一个理论分析模型，即大小球模型，通过这个模型可以很好地解释上述 4 个环节铸管尺寸的变化情况。

在铸管退火过程中，渗碳体分解，析出的石墨会运动到附近的石墨球上，使石墨球进一步长大，如果石墨球数量多且小，那么在析出同等石墨量的情况下，石墨球数量多且小的铸管膨胀量小，而石墨球数量少且大的铸管膨胀量大。这就像在同等的容积中堆放球体一样，这些球体就是分布在铸件中的石墨球，数量少且大的球，在充分的石墨化过程中，疯狂长大，导致铸管尺寸随之变大；而数量多且小的球，在充分的石墨化过程中，虽然也在疯狂长大，但是由于数量众多，均摊到每个球中，增大量就会变得很小，详见图 2。



图 2 大小球模型图

结合大小球模型，我们就可以预测如果在卧式水冷离心铸管生产中发现铸管插口尺寸超标，那么我们就可以通过改变石墨球的多寡与大小（球化率）来改变铸管插口尺寸，具体方法如下。

### 4.1 退火

如果插口尺寸偏大，则提高，这样铸管内渗碳体不会充分分解，析出石墨量减小，石墨球不会充分长大，铸管膨胀量减小，但这一做法可能会导致渗碳体超标，金相不合格，力学性能不达标，不建议使用。插口尺寸偏小，则适当降低退火炉链速。

## 4.2 孕育剂

如果插口尺寸偏大，在浇注过程中增大孕育剂使用量，适当降低浇注温度，使铁水中异质核心增多，在铸管凝固的过程中形成了大量石墨球，依据大小球模型，在退火过程中势必会有较小的膨胀量，从而实现减小插口尺寸的目标。反之，则减小孕育剂使用量，适当增大浇注温度。

## 4.3 硅含量

在实际生产中，在管模使用的后期，管模尺寸偏标准的上限，在生产时如果不加以控制，铸管极易因尺寸超大判废，由此在使用后期管模生产时，会适当提高硅含量，硅含量控制在推荐最大值附近，以减小铸管的后期膨胀，这一举措在实际生产中取得了良好的效果，尺寸超大现象几乎杜绝，极大节约了生产能耗，降低生产成本，这与我们在实际生产中发现的规律是一致的，这一现象也吻合实际生产的测量。

## 5 大小球模型的应用

通过实际检验发现，大小球模型可以很好地解释铸管生产中铸管尺寸的变化情况。表3是某铸管公司在铸管生产中插口尺寸控制方法。

表3 某铸管公司插口尺寸控制方法

项目	某公司操作方法	备注
插口尺寸偏大	增大随流孕育剂使用量	保证浇注温度稳定
插口尺寸偏小	减小随流孕育剂使用量	保证浇注温度稳定

在大小球模型的指导下，进一步结合生产实际，总结出以下经验值。

(1) 铸管经过退火后，随流孕育剂每增大或减小0.7‰，大约影响插口尺寸5~6mm左右。

(2) 铁水Si含量每升高0.1%，大约影响插口尺寸5~8mm左右（浇流槽时除外）；插口壁厚越厚，经退火炉膨胀越大，结合厚壁管的生产经验，如壁厚等级K10和K12，在生产时要适当提高硅含量。

## 6 结语

论文分析了各工艺环节对铸管插口尺寸的影响，发现多种因素均会影响插口尺寸，由此工艺的稳定性很重要，生产控制中不要出现多种不稳定的工艺变量，一旦出现3种以上，插口尺寸将无法得到有效控制。

(1) 在铸管生产中，如果发现插口尺寸偏大，则增大随流孕育剂用量，反之，则减小随流孕育剂用量，随流孕育剂每增大或减小0.7‰，在退火后大约影响铸管插口尺寸5~6mm左右。

(2) 管模使用后期，插口偏上限，可适当提高硅含量，以减小铸管的后期膨，使插口尺寸满足标准要求，铁水硅含量每升高或降低0.1%，大约影响插口尺寸5~8mm左右（浇流槽时除外）

## 参考文献

[1] 张博. 球墨铸铁 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.