

# 灰铁阀门毛坯生产中含硅量优化的实践与分析

刘文全

玫德集团有限公司 山东济南 250000

DOI: 10.12238/ems.v7i10.15746

**[摘要]** 在灰铁阀门毛坯生产中, 化学成分的精准控制对产品质量起着决定性作用, 硅作为灰铸铁中重要的合金元素, 不仅具有强烈的石墨化作用, 还能通过固溶强化影响铸铁的性能。本文聚焦灰铁阀门毛坯生产, 深入探讨含硅量优化问题。阐述硅元素在灰铸铁中的重要作用, 分析其对组织与性能的影响机制。通过生产实践, 研究不同含硅量对灰铁阀门毛坯质量的影响, 提出优化含硅量的措施与方法。实践表明, 合理控制含硅量能显著提升灰铁阀门毛坯质量与性能, 减少了铸造缺陷, 提高了生产效率, 为灰铁阀门的高质量生产提供了有力支撑。

**[关键词]** 灰铁阀门毛坯; 含硅量; 组织性能; 优化措施

## 1 引言

灰铸铁因具备良好的铸造性能、减震性、耐磨性及成本优势, 在工业领域广泛应用, 尤其在阀门制造行业, 是生产阀门阀体、阀盖等毛坯件的主流材料。在灰铁阀门生产链条中, 毛坯件的质量是连接铸造与加工环节的关键——若毛坯硬度过高, 会导致加工刀具磨损加剧、加工效率下降, 甚至因“加工不动”造成零件报废; 若仅为降低硬度而忽视成分控制, 又可能影响毛坯的力学性能(如强度、韧性), 埋下阀门使用安全隐患。硅作为灰铸铁中的关键元素, 对其组织与性能影响重大。合理控制含硅量可有效提升灰铁阀门毛坯质量与性能, 降低生产成本。然而, 实际生产中含硅量控制常存在波动, 影响毛坯质量稳定性。因此, 深入研究灰铁阀门毛坯生产中含硅量优化极具现实意义<sup>[1]</sup>。

## 2 硅在灰铸铁中的作用

### 2.1 促进石墨化

硅是强烈促进石墨化的元素。在铁液凝固过程中, 硅原子吸附在石墨晶核表面, 降低石墨化所需能量, 促使碳原子向石墨晶核扩散并结晶, 抑制渗碳体形成, 增加石墨数量与尺寸。研究表明, 当硅含量在 1.0% - 2.0% 范围增加时, 石墨化作用尤为显著。但硅含量过高, 会使石墨片变粗、数量增多, 降低铸铁强度与硬度。

### 2.2 影响基体组织

硅能改变灰铸铁基体组织中铁素体与珠光体比例。随着硅含量增加, 铁素体量增多, 珠光体量减少。适量硅可细化珠光体, 提高铸铁强度与硬度; 但硅含量过高, 铁素体过多,

会导致强度与硬度下降。例如, 某研究中, 灰铸铁含硅量从 1.5% 提升至 2.5%, 铁素体含量从 30% 增至 50%, 抗拉强度从 200MPa 降至 180MPa。

### 2.3 提升铸造性能

硅可提升铁液流动性, 降低其表面张力, 使铁液更好地填充铸型, 减少浇不足、冷隔等缺陷。此外, 硅在凝固过程中产生体积膨胀, 补偿铸件收缩, 降低缩孔、缩松倾向。有实验显示, 含硅量合适的铁液, 其流动性比低硅铁液提高 20% - 30%。

### 2.4 改善物理性能

硅能增强灰铸铁的减震性与耐磨性。石墨片在铸铁中起减震作用, 硅促进石墨化, 增加石墨数量, 提升减震性能。同时, 硅固溶于铁素体, 提高基体硬度与耐磨性。例如, 在机床床身等对减震性要求高的铸件中, 合适含硅量能有效减少振动与噪声<sup>[2-3]</sup>。

## 3 含硅量对灰铁阀门毛坯性能的影响

### 3.1 对力学性能的影响

#### 3.1.1 抗拉强度

灰铁阀门毛坯的抗拉强度与含硅量密切相关。在一定范围内, 随着含硅量增加, 抗拉强度先升后降。这是因为适量硅促进石墨化, 细化珠光体, 增强基体强度; 但硅含量过高, 石墨粗大, 珠光体减少, 导致强度下降。有研究表明, 当碳当量一定时, 含硅量在 1.8% - 2.2% 时, 灰铁阀门毛坯抗拉强度可达 250MPa - 300MPa; 含硅量超过 2.5%, 抗拉强度降至 200MPa 以下<sup>[4]</sup>。

### 3.1.2 硬度

含硅量对灰铁阀门毛坯硬度影响显著。硅固溶于铁素体起固溶强化作用,提高硬度。随着含硅量增加,硬度上升。但含硅量过高,石墨粗大,硬度虽高但脆性增大,影响加工性能。生产实践中,含硅量在 1.5% - 2.0%时,毛坯硬度在 HB170 - HB220,加工性能良好;含硅量超过 2.5%,硬度超过 HB250,加工困难<sup>[51]</sup>。

### 3.1.3 冲击韧性

冲击韧性随含硅量增加而降低。硅促进石墨化,使石墨片增多、尺寸变大,割裂基体连续性,降低冲击韧性。在低温环境下,高硅含量导致脆性转变温度升高,冲击韧性下降更明显。例如,某低温阀门用灰铁毛坯,含硅量从 1.8%提高到 2.2%,常温冲击韧性从 10J/cm<sup>2</sup>降至 8J/cm<sup>2</sup>;在 -20℃时,冲击韧性从 6J/cm<sup>2</sup>降至 4J/cm<sup>2</sup>。

## 3.2 对铸造性能的影响

### 3.2.1 流动性

合适含硅量能显著提升铁液流动性。硅降低铁液表面张力,改善其充型能力。当含硅量在 1.2% - 2.0%时,铁液流动性良好,可顺利填充复杂铸型,减少铸造缺陷。含硅量低于 1.2%,流动性差,易出现浇不足、冷隔等缺陷;含硅量超过 2.0%,石墨粗大,虽流动性好,但易产生石墨漂浮等缺陷。

### 3.2.2 收缩性

硅在凝固过程中产生体积膨胀,可补偿铸件收缩。含硅量合适时,能有效降低缩孔、缩松倾向。但含硅量过高,膨胀过大,会导致铸件变形、开裂。研究表明,含硅量在 1.8% - 2.2%时,灰铁阀门毛坯收缩率控制在 0.8% - 1.0%,铸件质量良好;含硅量超过 2.5%,收缩率增大至 1.5%以上,铸件易出现缺陷。 3.3 对阀门使用性能的影响<sup>[6-7]</sup>。

### 3.3.1 密封性

灰铁阀门毛坯的密封性与组织致密性相关。合适含硅量保证组织致密,减少气孔、缩松等缺陷,提高密封性。含硅量不当,组织疏松,易导致阀门泄漏。例如,某阀门生产企业发现,含硅量在 1.8% - 2.0%时,阀门密封合格率达 98%;含硅量低于 1.6%或高于 2.2%,密封合格率降至 90%以下。

### 3.3.2 耐腐蚀性

硅能在铸件表面形成致密氧化膜,提高耐腐蚀性。适量硅增强灰铁阀门毛坯耐腐蚀性;但硅含量过高,石墨粗大,

基体连续性破坏,耐腐蚀性下降。在有腐蚀介质的工况下,含硅量在 1.5% - 1.8%的阀门毛坯,使用寿命比含硅量在 2.2% - 2.5%的长 20% - 30%。

## 4 灰铁阀门毛坯生产中含硅量的优化措施

### 4.1 原材料选择与控制

#### 4.1.1 炉料搭配

选择合适炉料是控制含硅量的基础。优先选用低硫、低磷、硅含量稳定的生铁、废钢和回炉料。合理搭配炉料比例,使铁液初始硅含量接近目标值。例如,生产 HT250 灰铁阀门毛坯,可采用生铁 30% - 40%、废钢 20% - 30%、回炉料 30% - 50%的搭配比例,根据炉料实际硅含量微调<sup>[8]</sup>。

#### 4.1.2 孕育剂选用

孕育剂对铁液最终含硅量与石墨化效果影响重大。选用优质孕育剂,如 75 硅铁孕育剂,粒度均匀、活性高。根据铸件结构、壁厚和性能要求,确定孕育剂加入量与加入方式。一般情况下,孕育剂加入量为铁液质量的 0.3% - 0.8%。对于薄壁复杂阀门毛坯,可采用随流孕育与瞬时孕育相结合的方式,提高孕育效果。

### 4.2 熔炼过程控制

#### 4.2.1 熔炼设备与工艺

选用高效节能熔炼设备,如中频感应电炉,精确控制熔炼温度与时间。严格执行熔炼工艺,控制升温速度、保温时间和出铁温度。例如,熔炼灰铁阀门毛坯时,升温速度控制在 5℃/min - 10℃/min,保温时间 30min - 60min,出铁温度 1450℃ - 1550℃,确保炉料充分熔化与成分均匀。

#### 4.2.2 成分检测与调整

熔炼过程中,定期取铁液样检测成分,根据检测结果及时调整含硅量。采用直读光谱仪等先进检测设备,快速准确分析成分。若硅含量低于目标值,可添加适量硅铁调整;若硅含量过高,可补加废钢稀释。调整时,计算好添加量,确保成分稳定。

### 4.3 浇注与凝固控制

#### 4.3.1 浇注温度与速度

合适的浇注温度与速度影响铁液充型能力与凝固过程,进而影响含硅量分布与组织性能。根据阀门毛坯结构与尺寸,确定浇注温度与速度。一般浇注温度为 1380℃ - 1450℃,薄壁件取上限,厚壁件取下限。浇注速度要均匀,避免铁液

紊流。例如,对于小型阀门毛坯,浇注时间控制在 5s - 10s;大型阀门毛坯,浇注时间控制在 30s - 60s。

4.3.2 凝固方式与冷却速度 控制凝固方式与冷却速度,优化铸件组织。采用合适的铸型材料与工艺,如砂型铸造时,选择导热性适中的型砂,控制型砂紧实度。对于厚壁阀门毛坯,可采用冷铁、冒口等工艺措施,加快凝固速度,细化组织。薄壁阀门毛坯,适当降低冷却速度,防止产生白口组织<sup>[9]</sup>。

## 5 生产实践案例分析

某企业在灰铁阀门毛坯生产中,曾长期执行“含硅量≤2.1%”的内控标准,实际生产中多将含硅量控制在 1.9% (中线值)左右。然而,这一控制策略逐渐暴露出问题:部分批次毛坯件硬度偏高(布氏硬度常超 230HBW),导致加工工序中刀具频繁更换,不仅增加了生产成本,还因加工效率低影响了生产交付周期。在此背景下,本文作者主导开展了含硅量优化试验,通过将含硅量合理提升至 2.1% - 2.2% 区间,有效解决了“毛坯硬加工不动”的问题,且未对毛坯质量造成负面影响,成为生产管理中的典型优化案例。

灰铁阀门毛坯生产中,含硅量的控制并非“越低越安全”,而是需结合“加工性能”与“力学性能”需求寻找最优区间。以上实践案例证实:将含硅量从 1.9% (原中线)调整至 2.1% - 2.2%,可通过增强石墨化程度、优化组织形态,在保证毛坯抗拉强度达标的前提下,将硬度稳定控制在易加工区间,从而解决“毛坯硬加工不动”的问题,实现加工效率提升与成本降低的双重目标。

这一实践带来的启示在于:铸造企业的质量管理与参数优化需立足生产实际,打破“经验化”的参数控制思维——对于灰铁等依赖成分调控性能的材料,应结合工艺条件与下游需求,通过“小批量试验”“数据验证”的方式动态优化参数;同时,需建立“铸造 - 加工”跨环节的沟通机制,从“全生产链效率”的角度制定质量标准,才能真正实现“质量与效率”的协同提升<sup>[10-11]</sup>。

## 6 结论

硅元素在灰铁阀门毛坯生产中对组织与性能影响关键。合适含硅量能提高力学性能、铸造性能和使用性能,降低生

产成本。通过合理选择原材料、精确控制熔炼过程、优化浇注与凝固工艺,可有效优化含硅量,提升毛坯质量。生产实践证明,含硅量优化能显著降低废品率,提高企业经济效益。未来,需进一步研究含硅量与其他元素交互作用及先进检测与控制技术,为灰铁阀门毛坯生产提供更精准高效的含硅量优化方法,推动阀门制造行业发展。

## [参考文献]

- [1]李传斌.灰铁铁的组织 and 几种合金元素的影响 [C]//铸造技术专家论文集.2024.
- [2]一种生产高精度液压阀铸件的方法.陆建林;吴兴荣.中国专利:CN105033190A,2015-11-11
- [2]一种大型装载机液压阀门铸件的铸造模具.苏良磁.中国专利:CN212121589U,2020-12-11
- [3]一种液压阀门的铸造模具.巩洪宝.中国专利:CN217192439U,2022-08-16
- [4]铸造工程师之家.提高灰铸铁性能的途径[EB/OL].(2024)[2025-08-21].
- [5]韩晓.基于U-NET的砂型铸件凝固过程温度场预测方法的研究[D].北京交通大学,2022.
- [6]李爱宗.LCC低温阀门钢的成分控制及热处理工艺研究[J].特种铸造及有色合金,2024,44(07):1007-1008.
- [7]林洋.陈绍春.柯才杰.卢月美.李树江.林小瑛.合金元素对D型石墨灰铸铁抗氧化性的研究[J].福州大学学报(自然科学版)2014.42(06)
- [8]一种高精度液压电磁阀铸件及其铸造工艺设计.董克华.中国专利:CN115491579A,2022-12-20
- [9]铸钢件V法铸造工艺设计创新实践.张海勋.中国机械工程学会铸造分会第十届消失模与V法铸造学术年会,2011
- [10]铸造工艺模拟CASTsoft CAD/CAE技术在铸造工艺设计及优化中应用.宋彬.中国机械工程学会铸造分会质量控制及检测技术委员会第十届学术年会,2012
- [11]AnyDESIGN-三维铸造工艺设计.游寿松.第十六届中国铸造协会年会暨第五届全国铸造行业创新发展论坛,2020