

# 焦炭光学组织与焦炭质量关系的理论研究

周文艳

山西焦煤山西焦化股份有限公司 山西 临汾 041609

**摘要:** 焦炭作为高炉炼铁的重要原料,其质量直接影响到炼铁过程的效率和产品质量。焦炭的光学组织作为焦炭微观结构的重要表征,与焦炭的宏观质量指标如冷强度(M40%、M10%)、热性能(CRI%、CSR%)等存在密切关联。本文旨在深入探讨焦炭光学组织的形成机制及其与焦炭质量之间的关系,为焦炭质量的预测与控制提供理论依据。

**关键词:** 焦炭; 光学组织; 质量; 关系

## 引言

焦炭是由不同变质程度的煤经过高温干馏而成,其内部结构复杂多样。焦炭的光学组织,作为煤在热解过程中形成的微观结构特征,不仅反映了煤的变质程度,还直接决定了焦炭的物理化学性质。因此,研究焦炭光学组织与焦炭质量的关系,对于优化配煤方案、提高焦炭质量具有重要意义。

## 1 焦炭光学组织的形成机制

### 1.1 煤的变质程度与光学组织

煤的变质程度是影响焦炭光学组织的关键因素。煤在地质历史过程中,由于温度、压力和时间的作用,经历了不同程度的变质。随着煤变质程度的增加,煤中的显微组分,如镜质组、惰质组等,会发生一系列物理化学变化。这些显微组分在热解过程中会经历不同的反应路径,从而形成不同类型的焦炭光学组织。具体来说,低变质程度的烟煤,由于其显微组分中活性物质较多,热解时易形成各向同性组织较多的焦炭<sup>[1]</sup>。这种焦炭的光学组织主要由均一的、无明显方向性的结构组成。而高变质程度的无烟煤,其显微组分中稳定物质较多,热解时则易形成纤维状、片状结构较多的焦炭。这种焦炭的光学组织具有明显的方向性和纹理特征。

### 1.2 热解过程中的中间相形成

煤在热解过程中,活性组分(如镜质组)首先分解为气相和液相。这一分解过程是在高温下进行的,煤中的有机物质会发生热裂解,生成小分子气体和大分子液体。随后,这些液相物质在进一步热缩合过程中会形成中间相。中间相是一种介于液相和固相之间的过渡状态,具有特殊的物理化学性质。在热缩合过程中,液相中的大分子会逐渐聚合形成更大的分子团簇,这些分子团簇进一步排列组合形成中间相。中间相的数量和聚合程度决定了焦炭中各向异性结构的比例和强度。具体来

说,如果中间相的数量较多且聚合程度较高,那么形成的焦炭中各向异性结构就会较多且强度较高。这种焦炭具有优良的物理化学性质,如高强度、高耐磨性等。相反,如果中间相的数量较少或聚合程度较低,那么形成的焦炭中各向异性结构就会较少且强度较低,这种焦炭的性质也会相对较差。

## 2 焦炭光学组织与焦炭质量的关系

### 2.1 光学组织对冷强度的影响

#### 2.1.1 光学组织类型与冷强度的关系

##### (1) 粗粒镶嵌结构与中粒镶嵌结构

这些结构中的颗粒尺寸相对较大,且排列得十分紧密,颗粒之间的结合力也非常强。由于颗粒间结合得如此紧密,它们共同形成了一个稳定且坚固的整体结构。这种结构使得焦炭在受到外力冲击或挤压时,能够有效抵抗变形和破裂,从而显著提高了焦炭的冷强度。这种紧密排列的结构就像是一座坚固的堡垒,保护着焦炭不受外界力量的破坏。

##### (2) 纤维状结构与片状结构

纤维状结构细长且具有明显的方向性,而片状结构则呈薄片状排列,这两种结构中的颗粒间连接相对不够紧密,存在较多的空隙和弱点。由于这些结构中的颗粒间连接不够紧密,导致焦炭的内部结构相对松散。当受到外力作用时,颗粒间容易发生滑移和分离,使得焦炭易于破碎和粉化。这种破碎和粉化不仅会影响焦炭的运输和储存,还会降低其在大高炉炼铁过程中的使用效果,从而降低冷强度。

#### 2.1.2 光学组织比例对冷强度的影响

##### (1) 紧密排列结构比例增加

当焦炭中粗粒镶嵌结构和中粒镶嵌结构等紧密排列的光学组织比例增加时,焦炭的整体结构会变得更加坚固和稳定。这种紧密排列的结构就像是一座由众多坚固

的砖块堆砌而成的城墙，能够有效地抵抗外界力量的冲击和挤压。因此，随着紧密排列结构比例的增加，焦炭的冷强度也会得到显著提高。

## (2) 松散结构比例降低

相应地，当焦炭中纤维状、片状等松散结构的比例降低时，焦炭内部的弱点和空隙也会减少。这种减少就像是在城墙中填补了众多的漏洞和缝隙，使得城墙变得更加坚固和难以攻破。因此，随着松散结构比例的降低，焦炭的冷强度也会得到进一步增强。这种增强不仅提高了焦炭在运输和储存过程中的稳定性，还提高了其高炉炼铁过程中的耐用性。

### 2.2 光学组织对热性能的影响

#### 2.2.1 各向异性结构对焦炭热稳定性的影响

各向异性结构由高度有序和紧密排列的碳原子构成，这种结构特性使得焦炭在高温环境下表现出卓越的热稳定性。高度有序的碳原子排列使得焦炭在高温下不易发生结构变化和破坏，从而保持了其整体的稳定性。这种稳定性确保了焦炭在高温环境中能够持续发挥其应有的功能，而不会因为结构变化而失效<sup>[2]</sup>。同时，各向异性结构还能有效地抵抗碱性物质的侵蚀。在碱性环境中，这种紧密排列的结构能够减少碱性物质与焦炭内部结构的接触面积，从而降低侵蚀速率。这意味着焦炭在接触碱性炉渣时，能够保持其完整性和强度，不易被侵蚀和破坏。

#### 2.2.2 各向异性结构对焦炭反应性指数（CRI）的影响

反应性指数（CRI）是衡量焦炭在高温下与二氧化碳反应能力的指标。富含各向异性结构的焦炭通常表现出较低的反应性指数（CRI）。这是因为各向异性结构中的碳原子排列紧密，减少了与二氧化碳等气体的接触面积和反应活性位点，从而降低了反应速率。较低的反应性指数意味着焦炭在高温下与二氧化碳的反应较慢，这有助于减少焦炭的消耗。因此，从经济效益的角度来看，较低的反应性指数意味着焦炭在高温下消耗较慢，这有助于减少高炉中的焦炭用量，进而降低生产成本，提高经济效益。

#### 2.2.3 各向异性结构对焦炭反应后强度（CSR）的影响

反应后强度（CSR）是指在反应后焦炭的剩余强度，它反映了焦炭在经历化学反应后保持完整性的能力。富含各向异性结构的焦炭在反应后通常表现出较高的剩余强度（CSR）。这是因为各向异性结构在高温和化学反应过程中能够保持较好的稳定性，不易发生碎裂和粉化。即使经历了化学反应，焦炭仍然能够保持其整体结构和强度。较高的CSR意味着焦炭在高炉炼铁过程中能够保持较好的耐用性，这意味着焦炭能够在高炉中持续发挥其

作用，而不会因为碎裂和粉化而失效。这有助于维持高炉的稳定运行，减少因焦炭质量问题而导致的生产故障和停机时间。同时，耐用的焦炭还能够减少高炉中的焦炭更换频率，降低生产成本并提高生产效率。

### 2.3 光学组织对气体反应活性的影响

焦炭的气体反应活性，即其与气体（特别是CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>）在高温下发生化学反应的能力，是评价焦炭质量的重要指标之一。这一特性不仅影响焦炭在高炉中的消耗速率，还直接关系到高炉炼铁过程的稳定性和效率。焦炭的光学组织，特别是各向同性组织和各向异性结构的比例，对焦炭的气体反应活性有着显著的影响。

#### 2.3.1 各向同性组织对焦炭气体反应活性的影响

各向同性组织较多的焦炭，其内部孔隙结构相对发达，形成了较多的微孔和中孔。这些孔隙不仅增加了焦炭的比表面积，还为气体分子提供了更多的接触和反应机会。发达的孔隙结构意味着焦炭表面和内部存在更多的反应活性位点。这些位点易于吸附气体分子，并促进它们与焦炭中的碳原子发生化学反应。由于以上两点原因，各向同性组织较多的焦炭通常表现出较高的气体反应活性。在高炉炼铁过程中，这种焦炭更容易与炉气中的CO<sub>2</sub>等气体发生反应，导致焦炭消耗加快。

#### 2.3.2 各向异性结构对焦炭气体反应活性的影响

各向异性结构较多的焦炭，其碳层片排列紧密且有序，形成了较为致密的结构。这种结构使得焦炭内部的孔隙相对较少，比表面积也较小。由于结构紧密有序，焦炭表面和内部的反应活性位点相对较少<sup>[3]</sup>。这限制了气体分子与焦炭的接触和反应机会。因此，各向异性结构较多的焦炭通常表现出较低的气体反应活性。在高炉炼铁过程中，这种焦炭能够更稳定地存在，不易与炉气发生反应，有助于保持炉况的稳定。

## 3 基于光学组织的焦炭质量预测与控制

### 3.1 焦炭光学组织的检测方法

焦炭光学组织的检测是评估其质量的关键环节，目前主要依赖于偏光显微镜观察。这一方法利用偏振光与焦炭样品相互作用产生的光学效应，来揭示其内部的微观结构特征。在检测过程中，首先需对焦炭样品进行制备，包括切割、打磨和抛光，以获得光滑且平整的观察面。随后，将制备好的样品置于偏光显微镜下，通过调节光线方向和强度，观察并记录不同光学组织的形态、分布和含量。具体来说，偏光显微镜能够区分出焦炭中的各向同性组织和各向异性组织。各向同性组织在显微镜下呈现出均匀的光学特性，而各向异性组织则因碳原子的有序排列而显示出特定的光学纹理。通过统计这两

种组织的含量,可以全面反映焦炭的微观结构特征,进而评估其质量。此外,现代偏光显微镜还配备了高分辨率成像系统和数字图像处理技术,能够更精确地捕捉和分析焦炭的光学组织特征。这些先进技术不仅提高了检测的准确性和效率,还为焦炭质量的预测与控制提供了有力的数据支持。在实际应用中,这种方法已广泛应用于焦炭生产、科研和质量控制等领域,为优化焦炭生产工艺、提高焦炭质量做出了积极贡献。随着技术的不断进步和创新,相信焦炭光学组织的检测方法将会更加完善和精确。

### 3.2 焦炭质量预测模型

焦炭质量预测模型的构建是一个高度专业化的过程,它融合了材料科学、统计学与计算机科学等多个领域的知识。首先,需要收集并整理大量的焦炭样品及其对应的光学组织数据,这些数据包括但不限于各向异性组织的比例、光学纹理的复杂程度等。同时,还需获取这些样品在实验室条件下测得的冷强度(如M40、M10指标)、热性能(如CRI、CSR)等关键质量指标。随后,利用统计学方法对数据进行预处理,包括数据清洗、归一化等步骤,以确保模型的准确性和稳定性。接着,选择适合的机器学习算法(如随机森林、支持向量机、神经网络等)作为模型基础。这些算法能够自动从数据中学习并识别出光学组织与质量指标之间的复杂关系。在模型训练阶段,通过交叉验证等技术手段调整模型参数,以优化预测性能。训练完成后,使用独立的测试集对模型进行验证,确保其在未知数据上的泛化能力。最终,构建的焦炭质量预测模型能够接收焦炭的光学组织数据作为输入,快速输出其冷强度、热性能等关键质量指标的预测值。这一模型不仅提高了焦炭质量评估的效率,还为生产过程中的质量控制提供了有力支持,有助于实现焦炭质量的精准预测与优化控制。

### 3.3 生产工艺优化

在明确焦炭光学组织与其质量之间紧密关联的基础上,生产工艺的优化成为提升焦炭品质的重要途径。具体而言,这一过程涉及对配煤方案和生产流程的精细调整。首先,针对焦炭中不同光学组织的形成机理,科学

调整配煤方案。通过深入研究各煤种在焦化过程中的行为特性,合理搭配不同变质程度的煤种,以控制焦炭中光学组织的类型和比例<sup>[4]</sup>。例如,增加高变质程度煤的比例,有助于促进各向异性组织的生成,从而提升焦炭的热稳定性和反应后强度。其次,优化焦化工艺参数,如温度、时间、压力等,以进一步调控焦炭的光学组织结构。通过精确控制这些参数,可以在保证焦炭基本性能的同时,最大化地发挥其微观结构优势。例如,采用分段加热技术,使焦炭在不同温度区间内经历不同的物理化学变化,从而优化其光学组织分布。此外,加强生产过程中的在线监测与反馈控制,也是实现工艺优化的关键环节。通过安装先进的检测仪器和传感器,实时监测焦炭生产过程中的关键参数和指标,及时发现并纠正生产过程中的偏差,确保焦炭质量的一致性和稳定性。通过科学调整配煤方案、优化焦化工艺参数以及加强在线监测与反馈控制,可以针对性地优化生产工艺,从而有效提升焦炭的光学组织质量和整体性能。这一策略不仅有助于提高焦炭的市场竞争力,还为焦化行业的可持续发展奠定了坚实基础。

### 结语

焦炭的光学组织作为焦炭微观结构的重要表征,与焦炭的冷强度、热性能等质量指标存在密切关联。通过深入研究焦炭光学组织的形成机制及其与焦炭质量的关系,可以为焦炭质量的预测与控制提供有力支持。未来,随着检测技术的不断进步和理论的深入发展,基于光学组织的焦炭质量控制方法将具有更加广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1]张凯元.焦炭光学组织对焦炭质量的影响[J].山西化工,2022,42(02):113-114+124.
- [2]张文成.煤岩及焦炭光学组织评价焦炭宏观性能[C]//中国金属学会.第十四届中国钢铁年会论文集—2.焦化及节能环保.宝钢研究院梅钢技术中心,2023:10.
- [3]郭政斌.焦炭光学组织特征研究[J].化学工程与装备,2021,(08):9-13.
- [4]边春杨,徐秀丽,胥玉玲.光学组织对焦炭性能影响的研究进展[J].燃料与化工,2021,52(04):7-10.