水煤浆浓度变化对煤气化工艺的能耗与经济性影响

原　铎（中国神华哈尔乌素露天煤矿循环经济产业孵化基地，内蒙古自治区　鄂尔多斯　010300）

摘　要：本文主要探索了水煤浆浓度变化对煤气化工艺的能耗与经济性影响。首先在介绍了煤气化工艺和水煤浆之后，重点分析了水煤浆浓度的变化对其气化反应，气化炉运行参数及能耗的影响并提出应对措施，通过优化制备工艺、合理控制水煤浆浓度、调整气化炉操作参数，以及采用先进的气化技术，从而有助于有效降低能耗，提高煤气化过程的效率和经济性。

关键词：水煤浆；浓度变化；煤气化工艺；能耗影响；经济性

0 引言

水煤浆气化技术是煤炭清洁转化利用方向的核心技术之一，是大力发展煤基化工、煤基液体燃料等能源化工工业的基础。水煤浆气化技术是一种成熟先进的煤炭清洁高效利用技术，其具有运行经验丰富、单系统产能大、效率高、煤种适应性广泛等优点，自 70 年代引入国内以来得到大规模工业化推广应用。近些年来，全国各地相继建设投产了多套大型水煤浆加压气化装置，其下游主要用户包括合成氨、甲醇、醋酸、烯烃等。水煤浆作为煤气化过程中重要的原料，其浓度变化对整个工艺的能效和经济性具有重要影响。

1 水煤浆浓度

水煤浆是由 65%–70% 左右的煤、30%–35% 的水和少量添加剂组成，外观类似重油的煤基液态燃料。它既保留了煤的燃烧特性，又具备了类似重油的液态应有的特点。用它代替重油燃烧，是一种制备相对简单、便于运输储存、安全可靠的新型清洁燃料。我国是一个煤炭资源丰富而石油资源相对短缺的国家，煤炭消耗占我国能源总消耗的 75%，发展水煤浆技术是我国能源安全和可持续发展的需要。水煤浆浓度是指在制备过程中，煤粉与水的比例，或者煤粉在浆料中的质量分数。浓度的选择，影响着水煤浆的流动性、燃烧性能和经济性。水煤浆浓度可以按煤粉与水的质量比例来计算，也可以按煤粉的质量分数来计算，同时要注意计算时要考虑煤的内水，确保计算精度。

煤气化，是一种将固体煤转化为可燃气体（主要是一氧化碳和氢气）的化学过程。基本原理是在高温和缺氧或控制氧气供应的条件下，通过煤的热解和气化反应，将固态煤转化为气态产品。煤气化工艺，通常包括干燥预处理、煤的热解、气化反应和气体处理几个主要步骤，涉及对产生的合成气进行净化、调节和必要处理，满足不同用途的要求 [1]。

2 水煤浆浓度变化对煤气化工艺的能耗影响分析

2.1 水煤浆浓度对气化反应的影响

水煤浆浓度对煤气化反应具有显著影响，主要表现在气化效率、气化产物组成和能耗等方面。具体而言：其一，水煤浆中的水分，会直接参与到气化反应中，产生更多的水蒸气和其他轻烃类气体，从而改变合成气的成分。高水分的水煤浆，通常会产生合成气中一氧化碳和氢气的比例变化，从而影响后续合成气的利用或处理工艺；其二，水煤浆的浓度越低，其水份含量越高，通常需要更高能量来加热气化及热解水分，从而增加气化反应器的能耗。特别是在气化过程中，水分加入会增加反应器内气相和固相的传热阻力，导致更高的热损失和能耗，降低整体能量利用效率。因此，需要选择合适的水煤浆浓度，这可以优化气化反应的效率和产物质量，提高系统的经济性和环境友好性 [2]。

2.2 水煤浆浓度对能耗的直接影响

水煤浆浓度是影响汽化炉运行能耗的关键因素之一。水煤浆浓度的变化，直接影响煤炭的比煤耗、比氧耗和有效气产气率，从而对汽化过程的能效产生显著影响。具体而言：其一，水煤浆浓度的变化对比煤耗有直接影响。高浓度水煤浆含水量较低，煤炭成分相对较多，在汽化过程中，单位质量的煤浆能产生更多的有效气体，降低了单位气体产量所需的煤炭消耗量。因此，高浓度水煤浆通常表现出较低的比煤耗。然而，如果浓度过高，水煤浆的流动性会变差，导致输送和喷嘴堵塞问题，反而可能增加煤耗；其二，水煤浆浓度的改变也会影响比氧耗。水煤浆中的水分在汽化过程中需要吸收大量的热量进行蒸发，这会消耗部分氧气用于产生蒸汽。而高浓度水煤浆含水量较低，蒸发所需的热量和氧气相对减少，从而降低了比氧耗。然而，同样需要注意的是，浓度过高可能会导致不完

全燃烧，增加氧气需求，进而提高比氧耗；其三，水煤浆浓度对有效气产气率也有显著影响。高浓度水煤浆中煤炭含量高，能够在汽化过程中产生更多的可燃气体，提高有效气产气率。这意味着在相同的煤浆供应量下，高浓度水煤浆能够产出更多的有效气体，提高汽化炉的整体效率和产气能力。

2.3 水煤浆浓度对气化炉运行参数的影响

水煤浆浓度对气化炉运行参数有着重要影响，包括温度、压力、气体组成和操作稳定性等方面的参数。具体而言：

①水煤浆浓度的变化，会直接影响气化炉内部的温度分布和稳定性。较高浓度的水煤浆，导致燃料在反应器内部的不均匀分布，特别是在气化过程中，煤粉和水分子的混合状态，会影响燃料颗粒的加热速率和热解特性。因此，根据水煤浆浓度，气化炉需要调整加热区域的温度分布，确保燃料充分加热和高效气化；

②水煤浆浓度的增加，通常需要调整气化炉的操作压力。高浓度的水煤浆，在气化过程中会产生更多的气体，包括水蒸气和一氧化碳等，这会影响气化炉内部的压力控制和稳定性。操作人员需要调整气化炉的压力控制系统，确保在不同浓度条件下的安全稳定运行；

③水煤浆浓度的变化，还会影响气化炉产生的合成气体组成。高浓度的水煤浆，通常会使合成气中水蒸气和轻烃类气体含量的增加，这会影响到后续的气体处理和利用过程。因此，操作人员需要根据具体的水煤浆浓度，调整气化炉的气体处理系统，从而满足不同合成气用途的要求；

④水煤浆浓度的增加，会对气化炉的操作稳定性和寿命产生影响。高浓度的水煤浆，增加了气化炉内部的操作复杂性，例如加热和传热过程的管理，对设备的稳定性和使用寿命造成挑战。为了确保气化炉的长期稳定运行，应结合水煤浆浓度的变化，调整操作参数，并采取适当的维护和管理措施，以延长设备使用寿命，提高运行效率。总之，在实际操作中要综合考虑和调整气化炉运行参数，从而优化气化过程的效率和经济性。

3 应对措施

3.1 优化水煤浆制备工艺

优化水煤浆制备工艺，这是提高煤气化效率和降低能耗的关键步骤，能够提高水煤浆的质量和稳定性，还能降低煤气化过程中的能耗和环境影响。高浓度水煤浆的制备工艺，需要在现有煤质的基础上，通过调整和优化制浆工艺，以及合理选择和优化添加剂，提升水煤浆的浓度，从而提高其经济性和使用性能。具体包括：其一，优化制浆工艺是提高水煤浆浓度的关键步骤之一。在制浆过程中，通过控制粉碎粒度、调整煤浆配比和提高搅拌效率，可以有效提高煤颗粒的均匀分布，从而提升水煤浆的浓度。具体而言，采用超细粉碎技术，可以将煤粒粉碎至更小的颗粒尺寸，增加比表面积，提高煤与水的结合程度。还要优化搅拌设备和搅拌工艺，通过提高搅拌速度和时间，确保煤浆混合更加均匀，有助于提高浓度；其二，添加剂的选择优化是提高水煤浆浓度的重要手段。添加剂可以改善水煤浆的流动性和稳定性，使高浓度水煤浆在制备和输送过程中保持良好的流动性能。常用的添加剂包括分散剂、增稠剂和稳定剂等。分散剂可以有效降低煤颗粒之间的相互作用力，防止颗粒聚集，从而提高煤浆的浓度和稳定性。增稠剂则能够增加水煤浆的黏度，提高其悬浮稳定性，防止沉降。通过实验优化不同类型添加剂的配比和用量，可以找到最佳组合，进一步提高水煤浆的浓度；其三，煤质的选择和预处理也对高浓度水煤浆的制备具有重要影响。优质煤种具有较低的灰分和硫分，容易制备出高浓度水煤浆。在煤浆制备前进行预处理，比如煤的脱灰和脱硫处理，可以提高煤浆的品质，增强其制浆性能。还要控制煤浆的含水量，通过干燥或脱水处理，进一步提高煤浆浓度。

3.2 调整气化炉的操作参数

通过调整气化炉的操作参数，有助于优化煤气化过程、提高反应效率和减少能耗。

3.2.1 控制气化炉温度和压力

气化炉的温度和压力，直接影响气化反应的进行和产物的质量。合理的温度和压力控制，可以提高气化效率和产物的合成气质量，也减少能耗和设备磨损。较高的温度可以加快煤粉的热解速率和气化速率，提高合成气产量和质量，但也增加了能耗和设备耐久性的要求。因此，要根据煤种和气化反应的具体需求，精确控制气化炉的温度，避免过高或过低温度对反应的不利影响。气化炉的操作压力，影响气化反应中气相和固相之间的传质与传热过程，直接影响气体的分布和合成气组成。通过合理调节气化炉的压力，可以优化气相和固相的相互作用，提高合成气的一氧化碳和氢气产率，降低能耗和反应器内部的机械应力。

3.2.2 优化氧气和蒸汽的比例

控制适当的氧气供给，可以提高气化反应中一氧

化碳和氢气的生成率，同时减少不完全燃烧产物（比如二氧化碳和一氧化碳）的生成，从而提高合成气的能量效率。蒸汽在气化反应中起到温度调节和煤粉热解的辅助作用，适量的蒸汽可以提高反应的热效率和气化速率，但过多的蒸汽会增加水分含量，影响到合成气的燃烧和利用过程。因此，优化氧气和蒸汽的比例，可以确保合成气的产出符合要求，并在减少能耗的同时提高生产效率。

3.3.3 调整进料速度和停留时间

控制适当的进料速度，可以确保气化反应器内部煤粉与氧气、蒸汽充分混合和反应，避免过快进料速度导致反应器内部温度过高，或气相流动不稳定的问题。适当的进料速度，可以平衡反应器内部的能量分布，提高气化效率和产物的稳定性。煤粉在气化反应器内的停留时间，直接影响到反应的彻底性和产物的质量。控制良好的停留时间，可以确保煤粉充分热解和气化，避免未反应的煤粉被排出反应器而导致能源浪费。在实际操作中，通过调整进料速度和反应器的设计参数，以及监控反应器内部的流动状态，能够优化停留时间。

3.3 采用先进的气化技术

3.3.1 新型气化炉的应用

新型气化炉通常采用优化的内部结构和传热设计，最大化煤粉与气体之间的传热和传质效率。这种设计能够提高气化反应的速率和均匀性，减少反应中的能量损失。先进的气化炉，配备精确的自动化控制系统，可以实时监测和调整温度、压力、气体流量等关键参数，确保反应的稳定性和一致性，既提高了操作的安全性和精度，还能减少人为操作误差带来的影响。新型气化炉通常设计为多功能的气体处理系统，能够有效处理多种气体组分，包括二氧化碳和硫化氢等有害成分的去除，从而减少气体净化成本和环境污染。一些新型气化炉设计为模块化结构，具有良好的可扩展性和适应性，可以根据生产需求灵活调整和扩展生产能力，降低投资风险和运营成本。

3.3.2 流化床气化技术

主要特点是在气化过程中，利用流化床的物理性质，将固体煤粉悬浮在高速气流中，从而实现高效的热解和气化反应。流化床气化技术通过气固两相之间的良好接触，提高了煤粉的热解速率和气化效率。气体在流化床内部形成的湍流状态，可以有效地传递热量和反应物质，促进了气化反应的均匀性和彻底性。流化床气化技术适应性强，能够处理各种煤种和不同的气化条件，比如高灰分煤和低品位煤，并且操作稳定性高，能在较宽的操作范围内保持反应的稳定性和一致性。通过优化气体循环和废气处理系统，可有效控制二氧化碳和硫化物的排放，减少环境污染和对气候变化的影响。

4 水煤浆浓度对煤气化工艺的经济性影响

水煤浆浓度在煤气化工艺中具有重要经济影响，合理控制水煤浆的浓度，不仅能够优化煤气化工艺的操作条件和能源利用效率，降低成本，提高产量和质量，还能够减少设备投资和运行维护成本，保障安全生产。主要体现在几方面：

①合理控制水煤浆的浓度，可以优化煤气化反应器的操作条件和能源利用效率。通过调节水煤浆的浓度，有效降低反应器内部的阻力和压力损失，减少能源消耗，这种优化能够显著降低煤气化过程中的操作成本，提升工艺的经济性；

②控制水煤浆的浓度，能够影响煤气化反应的效率和产物分布。适当的浓度调整，可以提高反应器内反应物质的利用率，增加气化产物的产量和质量，从而降低单位产品的成本，这对于提升整体工艺的经济竞争力具有重要意义；

③降低配套设备的投资和运行维护成本。不同浓度水煤浆需要相应不同的输送系统、混合设备和反应器设计，控制浓度能够减少不必要的设备投资和能耗，降低后续运营维护费用，有效节约企业成本；

④通过控制水煤浆的浓度，还能够提高工艺的稳定性和可靠性，减少操作风险和生产事故的发生，保障生产效率和安全生产，进一步促进企业长期可持续发展。

5 结语

总之，水煤浆浓度对煤气化工艺的影响，是一个复杂而关键的问题，需要综合考虑多方面因素的能耗影响，包括影响气化反应、直接能耗和气化炉运行参数，并且还要考虑经济方面作用。随着科技进步和工艺优化的不断推进，煤气化工艺技术在未来会更加高效、经济地满足能源需求，并为环境保护做出积极贡献。

参考文献：

[1] 徐明磊 . 分级研磨工艺对水煤浆成浆浓度的影响 [J]. 科技创新与应用 ,2022(12):30-31.

[2] 万伟,代正华 . 煤浆浓度变化对煤气化性能的影响 [J]. 科学与生活 ,2021(08):65-66.