

浅析煤质对鲁奇气化炉经济运行的影响

杜佳城（山西潞安煤基合成油有限公司，山西 长治 046000）

摘要：煤质问题直接影响鲁奇气化炉运行的经济性。本文首先分析鲁奇气化炉的基本原理及其经济性受煤质影响的各个方面，其次基于煤质优化，提出了优化煤种选择，预处理与洗选等措施，提升了鲁奇气化炉经济性，以此为相关人员提供实践参考。

关键词：煤质；鲁奇气化炉；挥发分；灰分；水分；经济运行

0 引言

鲁奇气化炉，煤和气化剂逆流接触的一种加压移动床煤气化装置，主要用于将固体燃料转化为合成气。分为“固态排渣鲁奇气化炉（dry-ash-removal Lurgi gasifier）”和“液态排渣鲁奇气化炉（slagging Lurgi gasifier）”两种。鲁奇气化炉作为重要的煤炭气化技术，其经济运行受到多种因素的影响。而煤质直接关系到气化过程的效率、产品质量及经济效益。随着全球能源结构的转型和环保要求的提高，如何充分利用煤炭资源，提高鲁奇气化炉的经济性，成为了亟待解决的问题。

不同类型的煤在挥发分、灰分、水分及有害元素含量等方面存在显著差异，这些差异不仅影响气化反应的热效率，还会导致设备磨损、排放超标等一系列问题。因此，从煤质出发进行系统分析，探索优化措施，对于提升鲁奇气化炉的整体运行性能具有重要意义。本文旨在探讨煤质对鲁奇气化炉经济运行的影响，并提出相应的优化措施，以达到提高鲁奇气化炉运行经济性的目的。

1 鲁奇气化炉的基本原理

鲁奇气化炉的基本原理是将固态煤在高温、缺氧或低氧环境中转化为可燃气体。气体主要成分包括氢气、一氧化碳和甲烷等。整体过程分为干燥、挥发分释放、炭化和气化等阶段。

高温条件下，煤中的水分首先蒸发，降低煤的水分含量。随着温度的进一步升高，煤中的挥发性成分开始释放，此部分挥发性物质主要是轻烃和其他有机物质。这一过程中，煤的结构从固态向气态开始转变，为后续的气化反应奠定基础。剩余的固态炭与产生的一氧化碳、二氧化碳以及水蒸气发生反应，其中炭与水蒸气反应生成一氧化碳（Boudouard 反应）及氢气。同时，一部分一氧化碳与水蒸气进行反应（瓦特反应），生成氢气和二氧化碳，使固态燃料最终转变为可用于

能源生产的合成气。

同时，鲁奇气化炉的炉内设计能够实现更为均匀的热量传递和物料流动。炉内采用多级进料方式，控制不同层次的温度与压力能够实现对不同类型煤炭资源的有效利用。

2 煤质对鲁奇气化炉经济运行的影响

2.1 挥发分含量

煤的挥发分含量指煤样在加热时释放出的可挥发物质的比例。高挥发分含量的煤意味着其更易于转化为可燃气体。由于高挥发分煤在气化过程中能够迅速释放出大量可燃气体，能够促进合成气生成，因此其整体热效率也比较高，能够在一定程度上降低单位能源成本，使整个系统更加经济。

相反低挥发分含量的煤则会导致气化效率降低。鲁奇气化炉内的固态炭需经过较长时间才能释放出足够的一氧化碳和氢气，这便大幅降低了合成气的产出。而且由于需要更高温度驱动反应过程，低挥发分煤还会导致额外的能源消耗，加重生产成本。因此原料的挥发分含量是鲁奇气化炉运行经济性的关键影响因素之一。

2.2 灰分和矿物质含量

灰分和矿物质含量是评估煤质的重要指标。高灰分和矿物质含量会导致炉内出现结渣现象，提高设备磨损及降低热传导效率，干扰正常操作流程。当灰分过多时，无机物在高温环境中容易形成熔融状态，沉积在炉壁或其他部件上，这便直接增加了维护频率与费用。而且非燃烧材料不参与能量转换过程，所以高灰分还会降低燃料的有效热值。随着灰分比例增高，实际用于产生合成气的有效能源减少，这便需投入更多能源以维持所需温度和压力，推高了运营成本。

从长期来看，如果不能有效管理灰分和矿物质含量，会导致频繁停机检修、设备寿命缩短以及能耗增加等问题。不仅会影响到日常生产进度，也将使得企

业面临更大的经济压力。

2.3 水分含量

水分含量是影响鲁奇气化炉经济运行的重要因素。较高水分含量会显著降低煤的有效热值，使得在进行气化反应时，需要消耗额外能量蒸发水分。不仅增加了总体能源需求，也抬升了运营成本。而且高水分还会使锅炉内部环境处于不稳定情况下，反应条件难以控制。当蒸汽与固态碳之间反应不足时，部分碳将无法完全转变为可燃性产品，进一步减少合成气产出。同时高水分也可能引起液相与固相之间的不良互动，加剧设备磨损，并提升故障率，从而间接增加维护及检修费用。

2.4 有害元素含量

有害元素指的是硫、氮等元素。高硫、高氮含量的煤质会在燃烧或气化过程中产生二氧化硫(SO_2)、氮氧化物(NO_x)等污染物，不仅对环境造成严重危害，还会增加企业运营风险与财务负担。根据相关规范要求，有害排放物需要采取后续治理措施，如脱硫、脱氮技术等，而这些技术往往涉及复杂且昂贵的处理设施及工艺。如果未能妥善管理这些污染源，企业极有可能面临罚款及公众舆论压力。此外，有害元素还会在一定程度上干扰催化剂性能以及其他重要工艺参数，使得整个系统工作处于不稳定状态下。

3 基于煤质提高鲁奇气化炉运行经济性的措施

3.1 优化煤种选择，提高可燃气体生成率

高挥发分煤在气化过程中转化为可燃气体更多，能够直接提升合成气的生成率。其挥发分含量每增加1%，可燃气体的生成率通常可以提升2%至3%。

煤种选择前应结合实际对不同煤种分析，确定其挥发分、灰分、水分及有害元素等指标。例如，某地区高挥发分煤样的挥发分含量可达35%至45%，而低挥发分煤样则仅有10%至20%。将这两类煤分别投入鲁奇气化炉，结果显示高挥发分煤的合成气产出量达到了每吨煤 600m^3 ，而低挥发分煤则仅为 350m^3 。差异表明，高挥发分含量直接影响了可燃气体的生成效率。

实际应用则从不同矿区采集10个不同类型的煤样，使用标准实验方法测定其挥发分，每个样本进行三次重复试验。如果某个样本显示出35%的挥发分，而另一个仅有20%，则应优先考虑前者作为气化原料。采购阶段应与供应商沟通明确要求，确保所购煤种符合指定标准。每批次供货中的平均挥发分不得低

于35%，并设定质量检验机制，抽检到货煤炭，保证其质量稳定。如果每天需要100t煤，则从供应商处获取的每批次500t中，应随机抽取5t进行检测，验证其挥发分是否达到标准。

并采用混合配伍的方式，将高挥发分含量的动力煤与其他低成本、低挥发分的辅助材料按比例混合。例如，将50t高挥发分动力煤与50t低价位褐煤混合使用，在降低整体原料成本的同时，保持良好的产气效果。即使使用部分价格较低但不具备理想特性的低质原料，也不会影响最终生成可燃气体的效率。同时对原料中的各项指标进行实时跟踪，如果发现某批次材料的质量波动，立即采取措施调整配比或替换原料，确保生产稳定性与经济性。

3.2 预处理与洗选，减少设备磨损和维护成本

洗选原料煤或预处理的目的是去除煤中的灰分和杂质，提高入炉煤的纯度，降低设备磨损和维护成本。

灰分和杂质不仅会影响气化效率，还会导致炉内结渣、堵塞以及设备故障，增加维修频率和费用。以某矿区出产的煤样为例，原始灰分含量为30%，经过重介质洗选后，灰分能够降低至8%。洗选使用重介质分离器将煤样与重介质(如磁铁矿粉)混合，离心力作用下，将低比重的优质煤与高比重的杂质进行有效分离。

根据实验数据，洗选工艺处理后的入炉煤，其热值从4200 kcal/kg提升至5000 kcal/kg，直接提升了可燃气体生成率。但洗选应控制水分含量，尽可能保证产品干燥。烘干处理经过初步洗选后的煤，使其水分从12%降低至5%，降低因水分快速蒸发造成的能耗。减少设备磨损则应当从实时监控入料粒径与浓度方面入手。当工作人员发现粒径过大(如超过50mm)时，使用筛网将其剔除，以降低磨损。

3.3 加强干燥处理，减少能量消耗

水分含量过高不仅会降低煤的热值，还会在气化过程中消耗额外的能量，对整体效率造成影响。

如果某矿区出产的原料煤初始水分含量为12%，目标是将水分降低至5%。那么使用热风干燥机，设置进料温度为150℃，出料温度控制在60℃去除水分。每吨煤所需的能量消耗为200 kWh，在此干燥条件下，总能耗约为4000 kWh($20\text{t} \times 200 \text{ kWh/t}$)。将原料煤的热值从4200 kcal/kg提升至5000 kcal/kg。根据实验数据，每千克高热值煤在气化过程中产生的可燃气体量增加了15%。因此，对于每批次20t经过干燥处

理后的入炉煤，其潜在可燃气体生成量可以由 84000 kcal (4200 kcal/kg × 20,000 kg) 提升至 100000 kcal (5000 kcal/kg × 20,000 kg)。

为进一步优化干燥效果，将排出的废气用于预热进入烘干机的新鲜空气。如果排放废气温度为 120℃，而新鲜空气温度仅为 25℃，则通过换热器将部分废气余热转移给新鲜空气，使其升温至 80℃，再送入烘干机。

如果原料煤颗粒较大，则使用压榨设备对湿煤进行处理，可将水分含量从 12% 降至 8%。例如使用液压压榨机，每小时可处理 10t 湿煤，且所需电力约为 50 kWh。对于每批 10t 湿煤而言，总能耗仅需 500 kWh，相比于传统热风干燥，大幅度降低了能源消耗。同时监测原料入炉前后的水分变化。例如，在连续操作期间，对样品进行每小时取样分析，如果发现水分仍然超过目标水平，即可调整烘干时间或温度。此外，根据历史数据建立相关模型，由管理人员结合生产实际不断优化各项参数，例如使用实时监控系统记录进料和出料状态，并基于这些数据动态调整输入参数。当检测到湿度偏高时自动调节加热功率或延长烘干时间，保持最佳操作条件。

3.4 添加脱硫剂与氨法治理，降低治理费用

添加脱硫剂并结合氨法治理是降低后续废气治理费用的重要措施。气化过程中产生的有害成分，会直接导致因排放超标而产生罚款和额外成本。

常用的脱硫剂有石灰石、氢氧化钙和活性炭等。以某项目为例，脱硫剂选择使用石灰石，投加量为每吨煤 15kg。气化炉每日处理煤量为 100t，则每天所需的石灰石量为 1500kg (100t × 15kg/t)。将石灰石粉末通过输送装置均匀地添加到气化炉内。反应温度约为 800℃ 至 900℃ 时石灰石与生成的 SO₂ 发生反应，生成无害的碳酸钙。工作人员每隔一定时间需要取样分析气体中的 SO₂ 浓度，以评估脱硫效果，并根据结果调整投加量。

后续治理结合氨法，在出炉气中加入氨水溶液形成氨基酸盐，捕获残余的二氧化硫及其他酸性物质。工作人员在具体作业的过程中，结合生产实际设置一个氨水喷雾装置，在出炉气流中喷入浓度为 10% 的氨水溶液，喷雾流量控制在每小时 200L。如果每日处理 100t 煤，则预计每小时生成约 4000m³ 的废气，其中含有未完全去除的 SO₂ 成分。并将喷雾系统与进入烟道前端相结合，使得进入烟道中的废气经过湿式洗涤

环节。根据实际经验，湿式洗涤后能够减少 50% 以上的二氧化硫排放。正常情况下每千克煤燃烧会释放出约 1.5g SO₂，100t 煤总释放量为 150kg。如果采用上述方法，经过脱硫和氨法处理后，仅排放 75kg SO₂，能够直接避免因超过排放标准而产生罚款的问题。

此外，为了优化经济效益，管理人员应建立在线监测系统，定期评估治理系统运行情况。对进出口处 SO₂ 浓度进行实时监控。当发现出口处浓度高于设定值时，可及时增加氨水流量或调整脱硫剂投加比率，从而确保治理效果始终维持在最佳水平，以提升设备使用寿命。

4 结束语

综上所述，本文系统性分析了煤质对鲁奇气化炉经济运行的影响，并针对煤质挥发分、灰分、水分及有害元素等方面提出了相应的优化措施。所提出的技术与管理手段在实际应用中能够取得良好的效果，有助于提高气化过程中的能效与产出，并降低运营成本，对今后同类条件下鲁奇气化炉的改进与升级，具有一定参考价值。未来，相关人员应积极探索更为高效和环保的新型处理技术，以实现可持续发展目标。

参考文献：

- [1] 陈爱军. 浅析鲁奇气化炉带粉原因及优化措施 [J]. 氮肥技术, 2024, 45(03):22-25.
- [2] 王利. 煤质变化对鲁奇炉平稳运行的影响研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023, (03):20-22.
- [3] 张明, 张福亭. 鲁奇碎煤加压气化工艺在煤制天然气项目中的应用分析 [J]. 中氮肥, 2022, (06):5-8.
- [4] 王洪坤, 黄浩, 崔立国, 王国平. 提高鲁奇炉煤气化副产重芳烃收率和质量的技术途径 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2022, (03):65-68.
- [5] 张永江. 鲁奇炉内夹套腐蚀的修复施工技术 [J]. 化工管理, 2022(02):163-165.
- [6] 郭慧冬. 原煤质量对鲁奇气化炉经济运行的影响 [J]. 化工管理, 2023(4):133-135.
- [7] 杨学民. 煤质对鲁奇气化炉经济运行的影响分析 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2022(7):23-25.
- [8] 沈志强, 曹峰, 李建峰. 影响鲁奇气化炉连续运行的原因分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023(13):81-83.
- [9] 李旦. 影响鲁奇气化炉连续运行的原因分析及处理措施探讨 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(11):110-112.