

探讨 BGL 气化炉运行方法

刘育军（中煤鄂尔多斯能源化工有限公司，内蒙古 鄂尔多斯 017317）

摘要：BGL 气化炉技术是在鲁奇固定床加压气化炉的基础上，将原有的固体排渣改为液体排渣的工艺技术。该技术将高温炉渣气化与加压固定床气化相结合，具有两者的优点。具有耗氧量低、气化温度高、热效率高、煤转化率高、分离生产能力大、煤气成本低、污染小等优点。这是一项高效、经济的技术。型煤气的高效能源转换和独立应用使其成为可靠的清洁能源来源。BGL 技术在中国的应用并不广泛。对于不同的煤种，在实际运行中仍存在各种问题。因此，总结和解决该炉运行中的核心问题，是保证其稳定运行，最大限度创造经济效益的关键。

关键词：BGL 气化炉；运行方法

1 引言

在我国，天然气资源十分丰富，但由于生产技术落后，导致了对石油和煤炭等能源的大量开采，造成了严重的环境污染。随着社会的发展以及人民需求的不断提高，对环保的要求也越来越高，因此气化技术的研究也就成为了一个重要的课题。而对于大型的工业设备，如炼钢、化工、石油等都需要进行气化，以减少废气的排放量，避免造成环境污染。

在这种背景下，很多工业企业开始向着技术化的方向转型，而气化技术正是这些工厂的首选之一。目前，BGL 气化炉在各个企业广泛运用，它具有高效率、节能环保、安全可靠等特点。而本文主要对 BGL 气化炉的运行方法进行了探讨，希望能为相关企业提供一些有效信息。

2 BGL 气化炉运行的基本原理

2.1 BGL 气化炉运行技术

BGL 气化技术是在原碎煤加压气化、固态排渣移动床 Lurgi 气化炉基础上发展而来。它克服了 Lurgi 炉水蒸气分解率低、工艺废水量大、气化温度低、固定碳利用率不高、装置能力低等诸多弊病。该技术气化剂为纯氧和水蒸气，随着炉内压力、温度增加，气化、干馏强度与装置能力加大。压力增加有助于提高产油率（尤其轻质油）和油品质量，煤气热值也随之增加（甲烷等轻烃物质增加）。

2.2 BGL 气化炉运行理论

6~50mm 的原料煤经皮带进入煤仓，每台气化炉设有两台煤锁，交替操作，间断地将原料煤加入炉内，通过炉内搅拌器将煤均匀的分布在气化炉的横截面上，由上至下依次经过干燥层、干馏层、气化层、燃烧层和熔渣层。在此过程中与蒸氧混合物进行一系列复杂的物理化学反应，反应后产生的液态渣储存在渣池内，通过下渣口间断排入激冷室和渣锁，渣锁间断的把激冷后的玻璃渣排入渣沟，通过水力作用冲入渣池。产生的粗煤气与炉内原料煤进行逆流接触降温至 $550 \pm 50^\circ\text{C}$ 左右，经洗涤冷却器、废热锅炉洗涤冷却后进入粗煤气总管，送至下游装置，煤气水送至煤气水分离装置，经预处理后送至酚氨回收。

2.3 BGL 气化炉运行的物理性质

2.3.1 炉内流体流动分析

在 BGL 炉中，原料煤自炉顶加入，在重力作用下沿炉向下流动，由于炉内底部温度较高，煤渣熔融并在炉底以液渣形式排出。BGL 炉下部设有斜向下的喷嘴，气化剂（ O_2 和水蒸气）通过喷嘴喷射入炉，在喷嘴以下区域，气化剂先与煤炭颗粒并行向下流动并参与反应，剩余的气化剂及生成的气体产物抵达熔渣界面后将向上折返流动与煤炭颗粒逆行；在喷嘴以上区域，气固两相保持逆流流动，喷嘴以下区域流体流动形态较为复杂，如下行气体与煤炭颗粒间的并流、折返气体与煤炭颗粒间的逆流以及下行气体与折返气体间的逆流等流动的复杂性使得该区域内的传质过程十分复杂由于该区域内煤炭与气化剂反应占主导且向下流动的气体将煤炭完全消耗，故可假设折返气体不与煤炭颗粒反应，即气固传质主要出现在下行气体与煤炭颗粒之间，因此将该区域内两相流动形态简化为气固两相向下并流流动，为此，依照流动特性可将炉体分为两部分：喷嘴至熔渣界面区域气固两相并流流动，即并流段；喷嘴至煤气出口区域气固两相逆流流动，即逆流段。

2.3.2 BGL 炉反应区域划分

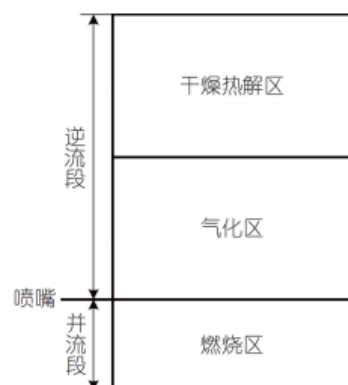


图 1

煤炭在炉内自上而下运动，与高温气体接触，依次经历干燥、热解、气化、燃烧 4 个阶段，最后形成液态灰渣从炉底排出，按煤炭在炉内的反应特性对炉体进行区域划分，从上到下可分为干燥热解区、气化区、燃烧区 3 个部分，喷嘴以下区域，即并流段区域，由于 O_2 含

量高主要表现为碳的燃烧反应，故并流段亦可称为燃烧区；逆流段则包括气化区和干燥热解区，图1为BGL炉反应区域划分示意图。

2.3.3 气化炉内主要反应

根据反应区域的划分以及是否有气化剂的参与，BGL炉内的反应体系主要分为两类：煤炭的干燥热解和煤炭的气化燃烧。煤炭的干燥热解，干燥热解区以煤炭的干燥热解为主，脱除煤炭中的水分与挥发分。煤炭的干燥热解反应式可表示为：



煤炭气化过程实质是燃料形态的转变过程，即从固态的煤通过一定的工艺方法转化为气态的煤气。这一转化过程伴随着能量的转化和转移，通常是首先燃烧部分煤提供热量（化学能转化为热能），然后在高温条件下，气化剂和炽热的煤进行气化反应，消耗了燃烧过程提供的能量。氧化过程中必然会有热量的散失、可燃气体的泄露等引起的损耗，也就是说，煤所能够提供的总能量并不能完全转移到煤气中，这种转化关系可以用气化效率来表示。所谓的气化效率是指所制得的煤气热值和所使用的燃料热值的比值，用公式表示为：

$$\eta = \frac{Q}{Q'} \times 100\%$$

式中： η 为气化效率，%； Q 为1kg煤所制得煤气的热值，kJ/kg； Q' 为1kg煤所提供的热值，kJ/kg。

此外，BGL气化炉内还存在氧化反应、还原反应。

所谓氧化反应，是空气由气化炉的底部进入，在经过灰渣层时被加热，加热后的气体进入气化炉底部的氧化区，在这里同炽热的炭发生燃烧反应，生成二氧化碳同时放出热量，由于是限氧燃烧，氧气的供给是不充分的，因而不完全燃烧反应同时发生，生成一氧化碳，同时也放热量。在氧化区，温度可达1000~1200℃，反应方程式为：



在氧化区进行的均为燃烧反应，并放出热量，也正是这部分反应热为还原区的还原反应、物料的裂解和干燥，提供了热源。在氧化区中生成的热气体（一氧化碳和二氧化碳）进入气化炉的还原区，灰则落入下部的灰室中。

而还原反应则是在还原区已没有氧气存在，在氧化反应中生成的二氧化碳在这里同炭及水蒸气发生还原反应，生成一氧化碳（CO）和氢气（H₂）。由于还原反应是吸热反应，还原区的温度也相应降低，约为700~900℃。还原区的主要产物为一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO₂）和氢气（H₂），这些热气体同在氧化区生成的部分热气体进入上部的裂解区，而没有反应完的炭则落入氧化区。

3 气化炉运行分析

在实际的生产生活中，BGL气化炉的应用越来越广

泛，对气化炉的要求也越来越高，因为一旦气化炉出现问题，很可能会导致整个工艺系统的损坏和故障。如果该装置的设计不合理，或者是操作不当，就很容易造成安全事故。因此为了保证该气化炉的正常运转，必须要对它的运行进行严格的监控和管理，确保它的安全性以及可靠性。本文主要针对该装置的运行状况展开讨论，并对其中的关键部分进行分析，以达到降低BGL的运行风险的目的，同时，还可以通过对相关的参数设置来提高气化炉的效率；最后，还需要考虑到其他的因素来进一步完善这个装置的性能指标。

3.1 炉温场计算

利用以上数学模型，可以计算出气化炉在不同结构参数、不同炉衬材料和不同炉温条件下，炉体的温度分布。下面给出应用该模型对某种结构气化炉炉体的温度场分布计算实例，计算条件为：外炉壳材料：普通碳钢，厚度为96mm拱顶大法兰材料：BGL气化炉炉内壁温度：1300℃~1500℃气化炉周围空气温度：20℃。气化炉内壁最高温度变化对炉中部外壁温度的影响见图2，环境温度变化对炉外壁的温度影响见图3。从图2和图3中可以看出：随着气化炉炉内壁温度的升高，外壁温度直线上升；环境温度变化会对气化炉炉体温度造成影响，环境温度低，则气化炉表面温度低；环境温度高，则气化炉表面温度也高，实际操作中的确是这样的，理论计算与实际生产数据基本符合。

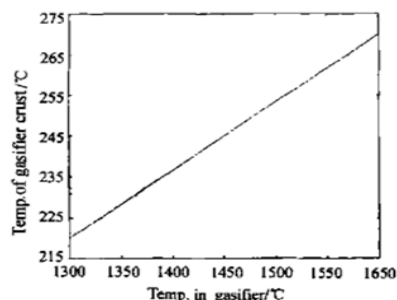


图2

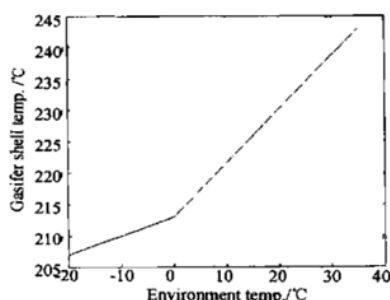


图3

3.2 气化炉压力分布

BGL气化炉根据下游产品方案可以实现不同压力的气化方式，常见的气化压力为25baur(G)，40baur(G)，在4.0的压力下的处理量见表1。

表1

压力 bar (G)	40
直径 4.0m 气化炉	~1740t/d (新疆某项目)

气化原料	褐煤型煤、长焰煤
------	----------

在英国西田 (Westiela) 进行了 25~70bar 的高压测试, 在大型煤气化项目 (如 SNG 项目) 中拟采用 60bar 的气化压力来设计气化方案以减少气化炉数量从而降低项目投资, 经测算, 在 60bar 的压力下 BGL 气化炉的处理量比 40bar 要提高 22%。

3.3 热效率

热效率是评价整个煤炭气化过程的经济技术指标。气化效率偏重于评价能量的转移程度, 即煤中的能量有多少转移到煤气中; 而热效率则侧重于反映能量的利用程度。热效率计算公式如下:

$$\eta = \frac{\sum Q_{\text{入}} - \sum Q_{\text{热损失}}}{\sum Q_{\text{入}}}$$

$$\sum Q_{\text{入}} = Q_{\text{煤气}} + \sum Q_{\text{热损失}}$$

进入气化炉的热量有燃料带入热、水蒸气和空气等的显热。气化过程的热损失主要有通过炉壁散失到大气中的热量、高温煤气的热损失、灰渣热损失、煤气泄露热损失等。

3.4 BGL 气化炉的高温腐蚀

高温是指温度在 300℃ 以上, 在这个范围内, BGL 气化炉出现高温腐蚀的现象, 可能是因为 BGL 气化炉控制的汽、氧比较鲁奇炉低, 运行中 BGL 气化炉炉下部气相中氧分压高于鲁奇炉, 加上 BGL 气化炉的气化温度和强度明显大于鲁奇炉, 炉内耐火部位处在氧化环境中, 出现高温腐蚀现象; 此外, BGL 气化炉鼓风口伸入气化炉内 350mm, 由于气化剂喷射到原料煤后有一部分气化剂无规律的返回鼓风口及后面的耐火材料上造成回火, 出现高温腐蚀现象。

4 BGL 气化炉的设计

4.1 BGL 气化炉的参数确定

根据设备上的焊接接头形式及容器特点, 编制焊接工艺指导书。在生产制造过程中严格按照工艺文件执行。严格控制锥体压制过程中的减薄量。制造中保证焊接质量, 最后设备成品完全满足图纸设计的要求, 参数确定如下: ①工作压力: 4.0MPa (壳体), 0.1MPa (夹套); ②设计压 h: 4.6MPa (壳体), 0.25MPa (夹套); ③工作温度: 252℃ (壳体), 275℃ (夹套); ④设计温度: 260℃ (壳体), 310℃ (夹套); ⑤液压试验: 575MPa (壳体), 0.46MPa (夹套); ⑥腐蚀裕度: 3mm (壳体), 2mm (夹套); ⑦焊接接头系数: 1.0 (壳体), 1.0 (夹套); ⑧主体材质: 钢板 Q245R、13MnNiMoR; 锻件 20MnMo; ⑨设备总重: 184652kg。

4.2 BGL 气化炉的结构

从 BGL 气化炉结构中, 可以看出 BGL 气化炉由煤锁、过渡仓、炉体、短节、激冷室、渣锁六个部件所组成。

BGL 气化炉取消了机械转动炉篦, 仅向气化炉通入适量的水蒸气, 控制炉温在灰熔点以上, 使灰渣呈熔融状态自炉内排入激冷室进行冷却, 经渣锁排出。消除了防止气化炉内结渣对炉温的限制, 可以使炉体内的气化

层温度有较大提高, 从而大大加快了气化反应速率, 提高了设备的生产能力, 产物粗煤气中需要处理的冷凝液体量较少, 灰渣中基本无残碳, 几乎所有的碳都得到了利用。气化炉的生产能力提高 3~4 倍, 煤气中的 CO+H₂ 组分提高 25% 左右, 煤气的热值也相应提高, 同时降低了煤耗, 并改善了环境污染。整个气化炉炉体内从上而下, 分为干燥区、干馏区、气化区、燃烧区、熔融态渣五个区域, 燃烧区温度最高可达 2000℃ 左右。

4.3 BGL 气化炉控制系统

系统的逻辑功能是实现机组安全生产的重要组成部分。BGL 气化装置的程序逻辑主要包括: 冗余 AI 程序 (冗余 AI 过程)、冗余 Di 程序 (冗余 Di 过程)、冗余 do 程序 (冗余 do 过程)、逻辑程序 (逻辑)、事件顺序记录 (SOE)、时钟同步 (时间同步) 和通信配置。冗余 AI 程序主要用于处理来自现场的信号、设置工程范围、检测回路故障、设置报警值等。时钟同步是为了及时与其他系统保持一致, 以便同时查明设备跳闸的事故原因。SOE 的时间分辨率不得大于 10ms, 以确保触发装置停机原因的第一时间事件记录的准确定位。SOE 记录的数据总数超过 100000。是 BGL 气化装置系统配置的核心, 也是程序设计的关键。

4.4 冷态循环

冷热循环是指从高温到低温的过程中, 99.5% 以上的碳转化为气体后, 煤中剩余的矿物质在高温下熔化, 经循环水激冷形成无渗滤性的玻璃质固体碎渣粒由炉底部排出。主要由煤中矿物质组成的熔渣可作为无污染副产品在建筑和筑路中使用, 或安全地深埋。随粗气从气化炉上部出来的还有其他气体和液体成份。经过冷凝, 脱焦和油后, 分离出一定量的废水。废水主要来自气化过程中干燥和干馏两个阶段投料煤中所含的少量水份, 使废水处理量大幅度减少。

5 结语

综上所述, 本文主要探讨了 BGL 气化炉的一系列情况。首先对 BGL 气化炉运行的基本原理进行了分析, 然后尝试从 BGL 气化炉的参数、结构、控制系统以及冷态循环四个部分进行分析, 希望能提高该系统的可靠性和稳定性, 为相关企业提供更加有效的信息。

参考文献:

- [1] 张雪峰, 刘长胜, 刘辉. 煤分级分质阶梯利用技术—BGL 气化 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2017(2):5.
- [2] 台波. 气化炉炉壳超温与改造探析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018(4):2.
- [3] 朱广权. BGL 气化炉制造的检验检测的质量控制 [J]. 无损探伤, 2019(1):4.
- [4] 李雪. 使用 BGL 气化炉煤气化的环保效益 [J]. 国外炼焦化学, 1996, 15(3):11.
- [5] 傅敏燕, 王正予. BGL 气化技术简介 [C]// 中国金属学会非高炉炼铁学术年会暨钒钛磁铁矿综合利用技术研讨会, 中国金属学会, 2010.