

# 煤制油加氢残渣的综合利用经济性研究

梁志程 郑雪萌 (神木富油能源科技有限公司, 陕西 神木 719319)

**摘要:** 现阶段煤炭依然在我国能源经济总体系中占据重要地位, 煤炭开采水平可直接影响到地区经济发展速率。当前煤炭生产环节会出现大量煤制油加氢残渣, 通过加强煤制油加氢残渣利用率, 能够进一步增强煤炭生产经济效益、生态效益, 在推动地区可持续发展等方面发挥出重要作用。本文就针对此, 以煤制技术应用现状与煤制油加氢残渣结构特征为切入点, 提出现有煤制油加氢残渣综合利用发展进程。分析不同煤制油加氢残渣综合利用方向, 以供参考。

**关键词:** 煤制油加氢; 残渣; 综合利用

随着社会逐渐趋向于现代化发展, 市场对清洁型能源的要求日渐提升。通过使用煤制油加氢残渣综合处理技术, 不仅能够增强煤炭资源利用率, 还能够实现石油资源自我供给目标, 最大限度减少对外依赖性。就目前来看, 我国煤制油技术主要分为煤直接液化技术、煤间接液化技术、甲醇制汽油技术、煤焦油加氢制油技术等多种类型。其中, 煤制油环节会获得液态的碳氢化合物以及烃类气体、液态残留物质等, 在整个进料中占据 5%~30% 的比例, 需要做好这些煤制油加氢残渣的综合利用工作, 最大限度保护煤炭生产经济效益。

## 1 煤制油技术发展现状

现阶段国内一次性能源逐步稀缺, 煤炭作为重要的主体能源, 需要适度发展煤制油、煤制天然气, 切实保障国家能源安全, 确保油气资源能够充分利用, 实现能源产业节能增效目标。随前期产业化示范及技术进步效果显著, 部分地区已经将煤制油技术作为现阶段产业发展重点。

煤制油技术可分为煤直接液化、煤间接液化、甲醇制汽油、煤焦油加氢制燃料 4 种方式。我国于 2001 年正式启动煤变油重大科技项目, 逐步实现了直接液化项目产业化运行目标。当前国内煤制油产业以发展出较大规模, 据统计, 2020 年我国煤制油产量已经达到了 5000 万 t, 直接年创收可达约 4500 亿元。

煤液化技术在实际应用过程中, 不仅会获得液态氮氢化合物, 还会生产出一系列烃类气体、氮氧化合物气体等。固液分离生产出来的液化残留物又被称之为煤制油加氢残渣。煤制油加氢残渣占煤液化生产期间总占料量的 5%~30%, 对保护生态环境, 从根本上提高煤制油技术应用水平意义重大。

煤液化残渣主要就是在实际生产过程中产生出

的没有被转化的液体或者气体燃料。在原料煤中没有转化的有机部分、无机矿物质以及液化反应时生成的新物质, 可以通过加入催化剂或者油分沟等方式形成液化残渣。

液化残渣内部包括许多混合物质, 其生产以及后续综合利用期间会受各类因素影响, 从根本上提升了后续研究难度<sup>[1]</sup>。当前液化残渣的应用依然仅停留在燃料燃烧方面, 还没有实现大规模的工业化应用。煤制油加氢残渣研究方案主要包括煤制油加氢残渣作为焦化或碳素材料、煤制油加氢残渣调和后生产道路沥青。

虽然现阶段煤液化技术发展进程日渐加快, 但煤制油加氢残渣的综合利用水平却始终处于有待提升阶段。为提升煤制油加氢残渣综合利用效果, 需要在未来发展过程中进一步增强煤制油加氢残渣应用期间的经济效益。从环保以及资源利用角度出发, 优化煤制油加氢残渣综合利用流程。

## 2 煤制油加氢残渣组成及性质

煤制油加氢残渣主要就是没在液化过程中没有充分转化后形成的物质。残渣内部化学组成成分与煤基本相同, 内部多为没有经过完全转化的有机物、无机物质、液化产物、催化剂等, 内部组成成分较为复杂, 需要在分析煤制油加氢残渣基本性质过程中充分考虑煤制油生产特征以及生产要求, 制定出更加科学可行的煤制油加氢参加生产技术方案。

### 2.1 煤制油加氢残渣结构

通过相关研究发现, 煤制油加氢残渣中几乎都没有水分, 说明煤制油加氢残渣具备良好的疏水性能。同时, 煤制油加氢残渣中的灰分含量较高, 说明在煤制油加氢生产期间, 灰分是残渣富集的基本形式。通过深入煤制油加氢残渣灰分中的结构, 发

现残渣内氧化亚铁的含量较多。由于在煤制油加氢生产期间，煤直接加氢液化以及煤油共炼加氢技术的应用均需要使用到含铁催化剂，这些催化剂在失去活性后的剩余物质就会残留在煤制油加氢残渣中。灰分中的二氧化硅、氧化铝与氢氧化钙多数来源于煤炭材料中的方解石。残渣中的氧元素以及硫元素主要来源于煤制油加氢生产期间所添加的硫化机物质，煤中含氧化合物会与硫化机发生反应，进一步增强了残渣处理难度。不仅如此，煤制油加氢残渣中还存在大量的重质油以及沥青稀，这两种物质也是煤制油加氢残渣在综合利用期间应当重点考虑的元素。

## 2.2 煤制油加氢残渣结构

煤制油加氢残渣结构特征与原煤炭结构特征存在密切关联。现阶段研究部门借助 XRD 技术对石油工业装置处理期间的煤制油加氢残渣进行了充分分析。分析结果表明，在煤制油加氢残渣中包括油化催化剂等添加物质，也包括原煤灰分物质，说明原煤是煤制油加氢残渣的基本组成成分。由于煤制油加氢残渣的结构较为复杂，在煤制油加氢残渣表征分析过程中还会使用到极性溶剂萃取技术，将煤制油加氢残渣划分成 4 种成分。试验证明，在煤制油加氢残渣中 60% 以上是重质油以及沥青稀，需要作为残渣综合利用重点对象；40% 以下的物质为沥青稀以及焦炭，也应当在综合利用技术研发过程中拓宽此类物质的应用覆盖面。

从重质油角度分析，重质油内部重要组成成分为芳香环，外部会包裹着一部分的饱和环烷烃，还有部分少量的碳原子、氧杂原子共同组成了杂环。对应化合物的相对分子质量为 339。

从沥青烯角度分析，沥青烯与重质油基础成分基本类似，为芳香环。其外部也包含了部分的环烷烃、少量的碳原子、氧杂原子成为杂环。煤制油加氢残渣中还有部分的氧以醚键形式存在，沥青烯分子质量会远超过重质油，为 1387。由此可见，沥青烯的分子式中存在更多的氧元素以及碳元素。

## 3 煤制油加氢残渣综合应用方向

煤制油加氢残渣资源综合利用工作需要融合多种先进科技技术，如汽化技术、煤油共炼技术等。现阶段煤制油加氢残渣气化技术较为成熟，可以在具体应用时实现残渣经济循环目标，进一步提高煤制油加氢残渣中各类产物的综合利用效果。具体而言，现阶段煤制油加氢残渣综合利用技术主要体现在以下几个方面：

### 3.1 气化制取氢气

煤制油加氢残渣中的重质油以沥青烯为主要材料，且残渣中的碳元素以及氧元素含量更高。因此在煤制油加氢残渣气化过程中，不仅需要着重循环利用分离出的氢气，还需要采用合理手段增强氢气产出量。现阶段大部分企业在实际生产过程中均增加了煤制油加氢液化装置。煤制油加氢残渣气化方式线可分为两种：第一，事先将煤制油加氢残渣进行蒸馏处理，而后将残渣中的重质油分离出来进行气化，以进一步提高氢气的产出量。此种煤制油加氢残渣处理方式更加适用于残渣内含有大量重质油的原料；第二，将煤制油加氢残渣进行直接汽化处理。配合使用两级萃取方式，利用煤直接液化以及煤焦油洗油手段制取氢气。在该种气化处理工作开展时，可进一步提高水煤浆质量分数，进一步增强煤制油加氢残渣综合利用效率。由于煤制油加氢残渣内部矿物质能够充分发挥出催化作用，因此采用直接汽化处理方式的气化效率将更高。

### 3.2 热解作用综合利用技术

结合煤制油加氢残渣热解动力学原理，在热解后的残渣活化作用会随着增加而增长，但其活性依然无法比煤热解后的活化效果显著。在煤制油加氢残渣经过热解后，生成的气体主要包括二氧化碳、一氧化碳、甲烷等。二氧化碳主要来源于煤制油加氢生产期间的醚键官能团。如在残渣综合利用期间的热气温度高达 800℃，残渣内部分有机化合物也会被相继分解，进一步提高煤制油加氢残渣的熔融效果，使残渣中的气孔结构变得更加光滑。

当前煤制油加氢残渣综合利用的研究工作主要体现在残渣以及热供煤的反应上。相较于煤原料而言，煤制油加氢残渣的膨胀性更强、软化点较高，如果对其进行单独热解处理，实际难度将大幅度提升。而通过将煤制油加氢残渣与煤放置在同一反应体系内，则煤炭中的粉化效果将大幅度降低，增强熔融反应控制效果。不仅如此，煤制油加氢残渣热解过程中，残渣会提供一定的氢元素，而不会增加焦油产出量。油与残渣与煤的相互作用抑制了煤的有机质挥发，进一步延长了煤制油加氢残渣中有机质的停留时间。

### 3.3 加氢液化技术应用

加氢液化技术也是现阶段煤制油加氢残渣综合利用的重要手段之一。煤炭内部包括复杂成分，在对煤炭进行液化期间，也会生成更多的复合性物质，从而产生出大量的煤制油加氢残渣，最多可占

煤制油加氢生产总进料体系中的 30%<sup>[2]</sup>。为进一步提高煤制油加氢残渣综合利用期间的经济效益,相关研究部门进一步增大了关于煤制油加氢残渣开发利用的物资、人力资源投入力度,致力于研究煤直接液化残渣的萃取技术以及能够有效开展煤制油加氢残渣固液分离的回收溶剂。不仅如此,当前煤制油加氢残渣还可直接液化并制备沥青,实际利用期间的综合经济效益更加显著。

国外也致力于研究煤制油加氢残渣加氢液化技术,通过分析煤直接液化残渣的加氢活性,发现残渣中沥青烯、前沥青烯的物质反应活性较为显著。因此在残渣加氢综合利用环节,可以将煤制油加氢液化作为综合利用的重要技术基础,配合使用铁系催化剂以及溶剂油等成分,对残渣进行加强处理。将煤制油加氢残渣中的重质油、沥青烯要作为混合体,使用固定床进行加氢处理。现有研究学者将废旧轮胎作为研究对象,发现轮胎中的芳香类化合物能够充当煤制油加氢残渣加氢液化中的供氢溶剂,可进一步提高残渣中加氢裂化反应速率,进一步增强煤制油加氢残渣综合利用期间的经济效益。

### 3.4 沥青焦应用

煤制油加氢技术应用过程中也会产出煤焦油。煤焦油是一种多组分混合物,中低温的煤焦油内部含有较多的含氧化合物以及链状烃。煤焦油中的酚以及衍生物含量能够达到 10%~30%,烷状烃的含量为 20%。焦油沥青含量较少,可通过使用加氢技术生产出燃料油以及其他化学品。

煤焦油加氢在生产发动机用燃料油时,也会产出大量的加氢残渣。现有国内主要采用全蒸馏分加氢技术、宽馏分加氢技术、延迟焦化与焦油加氢技术等形式,不同生产技术下产生出的煤制油加氢残渣性质以及应用功能存在较大差异。

现阶段煤焦油加氢工艺主要采用延迟焦化以及焦油加氢技术,基于技术应用要求,加氢处理后的煤制油加氢残渣会产生 50% 左右的沥青焦,以及 50%~60% 左右的半焦。对于半焦材料而言,现阶段已有企业利用其成功制作成碳素材料添加剂。

### 3.5 改性沥青

改性沥青主要包括高分子聚合物、天然沥青两种类型,在实际应用过程中后期改善各级道路工程路面性能等重要职责,对推动地区交通网络建设进程意义重大。在煤制油加氢残渣利用过程中,改性沥青的使用与煤制油加氢残渣性质关联密切。通过分析煤制油加氢残渣制造沥青改性剂有各项

流程,发现煤制油加氢残渣与天然沥青中的化学组成成分存在较多相同之处。不仅如此,煤制油加氢残渣中含有的沥青质能够与原沥青烯发生化学反应,从而使石油沥青以及煤制油加氢残渣之间形成更加稳固的结构,以从根本上改善沥青材料使用性能,进一步增强改性沥青中的稳定性以及粘稠度,确保改性沥青能够在修补道路工程路面结构裂缝、延长道路工程路面结构,全寿命运营周期中发挥出重要作用。借助煤制油加氢残渣生产道路改性沥青是现阶段煤制油加氢残渣综合利用的重要方向,在设计综合利用流程过程中,相关工作人员需要细致研究路面各项性能要求,采用合理方式提升残渣及石油胶体结构的融合水平,确保生产出的改性沥青材料质量及性质与道路工程具体建设要求相符。

## 4 煤共炼加氢残渣利用手段

在煤油共炼技术中,需要结合煤液化生产要求,对重质油、低阶煤进行加工处理。相较于其他利用技术而言,煤油共炼生产技术更有利于控制实际生产能耗,从根本上提高轻质油的产出率。煤油共炼环节可以提升煤与重质油的协同作用,增强实际反应效率。通过在煤液化期间提供对应溶剂,能够进一步控制氢气的消耗量。相较于煤直接液化生产技术而言,煤油供电技术在实际操作期间的成本消耗量更少,实施期间的能耗低、污染物排放少,使能源转化效率与实际生产要求相符。

## 5 总结

总而言之,现阶段煤制油加氢残渣综合应用覆盖面积日渐广阔,煤制油加氢残渣不仅可以应用在配备清洁液体燃料中,还可以用其制作各类化工原料以及化学品。通过做好煤制油加氢残渣综合利用管控工作,不断优化煤制油加氢残渣利用手段,能够进一步增强煤炭行业生产经营建设环节的综合效益。随着我国煤制油技术日渐完善,新的煤制油工艺副产品以及煤制油加氢残渣也会相继出现,需要积极引进先进的煤制油加氢残渣利用理念及利用技术,推动煤制油加氢残渣综合利用工作产业化发展。

### 参考文献:

- [1] 贾众杰,阿格茹.探讨煤制油加氢残渣的综合利用[J].云南化工,2020,47(10):25-26+29.
- [2] 李贞,王俊章,等.煤制油工艺及煤制油残渣综合利用综述[J].环境工程,2021,39(05):135-141+149.