

# 乙炔尾气制甲醇的成本效益分析及前景预测

李刚（陕西延长石油（集团）有限责任公司油田气化工科技公司，陕西 延安 716000）

**摘要：**随着全球对清洁能源和化工原料需求的不断增长，甲醇作为一种重要的基础化学品和潜在的清洁能源载体，其生产工艺和原料来源备受关注。乙炔尾气制甲醇作为一种具有特色的甲醇生产路径，不仅实现了废弃物的资源化利用，还能带来一定的经济效益和环境效益。本文通过对乙炔尾气制甲醇的工艺原理、成本构成进行详细分析，结合市场数据评估其经济效益，并对该技术的未来发展前景进行预测，旨在为相关企业和投资者提供决策参考，推动该技术的进一步发展和应用。

**关键词：**乙炔尾气；甲醇；成本效益分析；前景预测

中图分类号：TQ223.12 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)022-0001-03

## Cost-Benefit Analysis and Prospect Prediction of Methanol Production from Acetylene Tail Gas

Li Gang (Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Oilfield Gas Chemical Technology Company, Yan'an Shaanxi 716000, China)

**Abstract:** With the continuous growth of the global demand for clean energy and chemical raw materials, methanol, as an important basic chemical and a potential carrier of clean energy, has drawn much attention to its production processes and raw material sources. The production of methanol from acetylene tail gas, as a distinctive methanol production route, not only realizes the resource utilization of waste but also brings certain economic and environmental benefits. This paper conducts a detailed analysis of the technological principle and cost composition of methanol production from acetylene tail gas, evaluates its economic benefits in combination with market data, and predicts the future development prospects of this technology. The aim is to provide decision-making references for relevant enterprises and investors and promote the further development and application of this technology.

**Keywords:** Acetylene tail gas; Methanol; Cost-benefit analysis; Prospect prediction

甲醇( $\text{CH}_3\text{OH}$ )是一种重要的有机化工原料，在化工、能源等领域有着广泛的应用。传统的甲醇生产原料主要为天然气和煤炭，然而，随着资源的日益紧张和环保要求的不断提高，寻找新的甲醇生产原料和工艺成为行业发展的关键。乙炔尾气作为一种工业废气，含有丰富的CO和H<sub>2</sub>等可用于甲醇合成的有效成分，将其回收利用制备甲醇，既可以减少废气排放对环境的污染，又能降低甲醇生产成本，具有显著的环境效益和经济效益。因此，研究乙炔尾气制甲醇的成本效益及前景具有重要的现实意义。

### 1 乙炔尾气制甲醇工艺原理

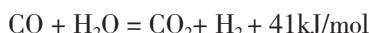
#### 1.1 乙炔尾气成分

乙炔生产过程中会产生大量尾气，其成分因生产工艺和原料的不同而有所差异，但主要包含一氧化碳(CO)、氢气(H<sub>2</sub>)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)以及少量的乙炔(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)、乙烯(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)等。以天然气为原料的乙炔生产装置尾气中，CO和H<sub>2</sub>的含量通常较高，是制备甲醇的主要有效成分，这些成分的存在为后续的甲醇合成反应提供了物质基础。

#### 1.2 甲醇合成反应机理

目前工业上几乎都是采用一氧化碳、二氧化碳加压

催化氢化法合成甲醇，在合成塔内主要发生以下反应：



两式合并后即可得出CO生成CH<sub>3</sub>OH的反应式：



这些反应是在高温、高压以及催化剂存在的条件下进行的，属于典型的复合气-固相催化反应过程。反应过程中，合适的催化剂能够降低反应的活化能，提高反应速率和甲醇的选择性。同时，反应条件如温度、压力、气体组成等对反应的平衡和速率有着重要影响，需要进行精确控制以实现高效的甲醇合成。

#### 1.3 乙炔尾气制甲醇的工艺流程

##### 1.3.1 原料气预处理

乙炔尾气主要来自于乙炔生产过程中的排放气，其中含有乙炔、氢气、一氧化碳、二氧化碳等多种成分。首先要进行除尘、除油等预处理操作，以去除气体中的固体杂质和油污，防止其对后续设备和催化剂造成损害。通常采用过滤、吸附等方法，使用高效的过滤器和吸附剂，确保原料气的洁净度。

##### 1.3.2 气体净化

原料气中的硫化物会使后续的甲醇合成催化剂中

毒，因此需要进行脱硫处理。一般采用湿法脱硫和干法脱硫相结合的方式，先通过湿法脱硫将大部分硫化物去除，再用干法脱硫进行精细脱硫，使气体中的硫含量降低到 ppm 级以下。

二氧化碳在甲醇合成过程中会参与副反应，影响甲醇的合成效率和质量，所以需要进行脱碳处理。常用的脱碳方法有化学吸收法和物理吸收法，如采用甲醇洗、碳酸丙烯酯法等，将二氧化碳含量控制在合适的范围内。

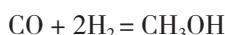
### 1.3.3 变换反应

根据甲醇合成的反应要求，需要将原料气中的一氧化碳和氢气的比例调整到合适的范围。通过变换反应，使一氧化碳与水蒸气在催化剂的作用下发生反应，生成氢气和二氧化碳，从而提高氢气的含量，优化氢碳比。变换反应通常在中温条件下进行，采用铁铬系或铜锌系等催化剂，控制合适的水汽比和空速，以保证反应的转化率和选择性。

### 1.3.4 甲醇合成

经过净化和变换后的原料气进入甲醇合成反应器，在合适的温度、压力和催化剂的作用下，一氧化碳、二氧化碳与氢气发生合成反应，生成甲醇。

反应式为：



常用的甲醇合成反应器有管壳式等温反应器和冷激式反应器等。管壳式反应器具有良好的温度控制性能，能够有效地移走反应热，维持反应温度的稳定，提高催化剂的使用寿命和甲醇的合成效率。甲醇合成反应一般在高压（5–10 MPa）、低温（200–300 °C）的条件下进行，采用铜基催化剂，以提高反应的活性和选择性。

### 1.3.5 甲醇分离与精制

从合成反应器出来的气体中含有甲醇、未反应的原料气以及少量的杂质和副产物。首先通过冷却、冷凝的方法，将甲醇从气体中分离出来，得到粗甲醇。粗甲醇中含有水、醚、醛、酮等多种杂质，需要进行精制处理才能得到符合要求的甲醇产品。精制过程通常采用精馏的方法，通过多个精馏塔的分离，分别除去轻组分和重组分杂质，最终得到高纯度的甲醇产品。

### 1.3.6 尾气处理

分离出甲醇后的尾气中仍含有一定量的未反应原料气，如氢气、一氧化碳等。将这部分尾气进行压缩、冷却等处理后，送回到甲醇合成系统进行循环利用，以提高原料的利用率，降低生产成本。对于经过循环利用后剩余的少量尾气，需要进行处理，使其达到环

保排放标准后再排放到大气中。尾气处理方法通常包括燃烧、吸附、催化转化等，将尾气中的有害物质转化为无害物质，减少对环境的污染。

通过以上工艺流程，能够有效地利用乙炔尾气中的有用成分，将其转化为高附加值的甲醇产品，实现资源的综合利用和节能减排的目标。

## 2 成本效益分析

### 2.1 成本构成

#### 2.1.1 原料成本

乙炔尾气作为主要原料，虽然是工业废气，但在回收和利用过程中仍存在一定成本，包括尾气的收集、运输和预处理费用。若尾气来源不稳定，还可能需要投入额外的储存设备和管理成本。此外，由于乙炔尾气中 H<sub>2</sub> 与 CO 等成分的比例可能不符合甲醇合成的最佳比例，往往需要补氢，氢气的制取和采购成本也是原料成本的重要组成部分。制取氢气的方法有多种，如水电解制氢、天然气重整制氢等，不同方法的成本差异较大。

#### 2.1.2 设备投资成本

建设乙炔尾气制甲醇装置需要大量的设备投资。主要设备包括压缩机、脱硫塔、加氢反应器、合成塔、精馏塔以及各类换热器、泵等。设备的材质、规格和技术水平会影响投资成本，例如，合成塔若采用先进的等温合成塔技术，虽然能提高反应效率和甲醇质量，但设备购置成本会相对较高。此外，还需考虑设备的安装、调试以及后期的维护、更新成本。

#### 2.1.3 运营成本

运营成本涵盖多个方面，首先是能源消耗成本，包括电力、蒸汽等，甲醇合成反应需要在一定温度和压力下进行，维持反应条件以及精馏等后续工序都需要消耗大量能源。其次是催化剂成本，甲醇合成催化剂的使用寿命有限，需要定期更换，且高性能催化剂价格昂贵。另外，人工成本也是运营成本的重要部分，包括生产操作人员、技术人员和管理人员的薪酬福利等。

## 2.2 效益分析

### 2.2.1 产品收益

甲醇作为一种重要的化工原料，市场需求广泛。其主要用于生产甲醛、醋酸、氯甲烷、甲氨等多种有机产品，也是农药、医药的重要原料之一。随着全球经济的发展和化工产业的壮大，甲醇的市场需求呈增长趋势。以当前甲醇市场价格为例，假设甲醇的市场售价为 2300 元 / 吨，某乙炔尾气制甲醇装置的年产量为 50 万吨，则产品收益为 11 亿 5 千万元。

#### 2.2.2 环境效益

从环境角度看，乙炔尾气制甲醇具有显著的环境

效益。减少了乙炔尾气直接排放对大气环境的污染，降低了废气中 CO、H<sub>2</sub> 等温室气体以及其他有害气体的排放，有助于缓解温室效应和改善空气质量。这种环境效益虽然难以直接用货币衡量，但对于企业树立良好的社会形象和满足日益严格的环保法规要求具有重要意义。

### 2.2.3 案例分析

某厂甲醇车间内现有的甲醇装置共 3 套，其中一甲装置（设计产能 14 万 t/a）、三甲装置（设计产能 10.5 万 t/a）以乙炔尾气制甲醇。通过对该厂的成本效益数据进行分析，在原料成本方面，由于该厂与乙炔生产装置距离较近，尾气收集和运输成本相对较低，但补氢成本较高，占原料成本的 30% 左右。设备投资成本方面，一甲装置在改造时投入了大量资金用于更新设备，采用了先进的脱硫和合成技术，设备投资成本为 50000 万元。运营成本中，能源消耗成本占比最大，约为运营成本的 40%，主要用于维持反应温度和压力以及精馏工序。

在效益方面，该厂生产的甲醇产品销售顺畅，按照当前市场价格，一甲装置年产品收益为 25000 万元。同时，由于减少了乙炔尾气排放，企业避免了高额的环保罚款，并获得了一定的政府环保补贴，环境效益间接转化为经济效益。通过成本效益核算，该厂一甲装置在运行 4 年后实现了盈利，投资回收期相对较短，具有良好的经济效益。

## 3 市场现状与前景预测

### 3.1 甲醇市场现状

目前，全球甲醇产能逐年增加，主要集中在亚洲地区，尤其是中国，中国是全球最大的甲醇生产国，占据了全球甲醇产能的近一半。甲醇行业的发展受到多方面因素的影响。在市场需求方面，甲醇作为一种重要的有机化工产品，应用领域广泛。随着环保意识的增强和新能源汽车的发展，甲醇汽油等清洁能源产品的需求也在不断增加。在产能方面，全球甲醇生产能力在不断扩大，市场竞争也在加剧。

### 3.2 乙炔尾气制甲醇的市场竞争力

与传统的天然气制甲醇和煤制甲醇工艺相比，乙炔尾气制甲醇在成本和环保方面具有独特优势。在成本方面，若乙炔尾气来源稳定且价格低廉，加上合理的补氢策略，其原料成本可能低于传统工艺。在环保方面，实现了废气的资源化利用，减少了污染物排放，更符合可持续发展的要求。然而，该工艺也面临一些挑战，如乙炔尾气的成分和流量不稳定可能影响生产的连续性和稳定性，技术门槛相对较高，需要专业的技术团队和管理经验。

### 3.3 前景预测

随着全球对清洁能源和可持续发展的关注度不断提高，乙炔尾气制甲醇技术具有广阔的发展前景。一方面，随着技术的不断进步，有望进一步降低生产成本，提高生产效率和产品质量。例如，开发更高效的催化剂，提高甲醇合成反应的选择性和转化率；优化工艺流程，降低能源消耗和设备投资。另一方面，随着环保法规的日益严格，对工业废气排放的限制将促使更多企业寻求乙炔尾气等工业废气的资源化利用途径，为该技术的推广应用提供了机遇。预计在未来几年，乙炔尾气制甲醇的产能和市场份额将逐步增加，成为甲醇生产领域的重要发展方向之一。

## 4 结论

乙炔尾气制甲醇技术在成本效益和环境效益方面具有显著优势，通过合理的工艺设计和成本控制，能够实现良好的经济效益和环境效益。虽然目前该技术在应用过程中面临一些挑战，但其市场前景广阔，随着技术的进步和市场的发展，有望在甲醇生产领域发挥更大的作用。

企业若计划采用乙炔尾气制甲醇技术，首先应确保乙炔尾气来源的稳定性和可靠性，建立长期稳定的合作关系，降低原料供应风险。其次，要加大技术研发投入，不断优化工艺和设备，提高生产效率和产品质量，降低生产成本。例如，研发更高效的脱硫、加氢和合成技术，提高催化剂的性能和使用寿命。此外，企业还应加强人才培养和引进，组建专业的技术团队和管理团队，提高企业的技术水平和管理水平。

政府部门应出台相关的扶持政策，鼓励企业采用乙炔尾气制甲醇等环保型生产技术，如给予税收优惠、财政补贴等。同时，加强环保监管，严格控制工业废气排放，推动工业废气的资源化利用，促进产业的可持续发展。

### 参考文献：

- [1] 李必文. 乙炔加氢催化剂在甲醇装置上的长周期应用 [J]. 工业催化, 2022, 30(5):56-59.
- [2] 冯勇, 么涵蔚, 赵积龙, 等. 乙炔尾气法生产甲醇中间控制过程对产品质量的影响 [J]. 中国科技纵横, 2019(20):169-170.
- [3] 王广选, 雷生珍. 乙炔尾气制甲醇在工业生产中的应用及研究 [J]. 化工管理, 2017(36):207.
- [4] 王涛, 周芳, 王时川, 等. 天然气法乙炔尾气制备合成氨 / 甲醇新技术 [Z]. 中国成达工程有限公司. 2020.
- [5] 陈仕萍. 乙炔尾气制甲醇和天然气制甲醇的比较 [J]. 天然气化工, 2006, 31(1):51-54.