

燃气化工副产品资源化利用技术与城市燃气企业盈利模式创新研究

钟作霖 (深圳能源燃气投资控股有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 在“双碳”目标的背景之下, 城市燃气企业遭遇了气价差收窄管网饱和之类的挑战, 本文梳理天然气净化输配环节副产LPG轻烃硫磺CO₂富氢尾气等资源化技术, 提出以化工副产品高值利用为引擎, 构建“燃气+产品”“碳服务”“氢能”“综合能源”“循环经济园区”五大盈利模式, 打造清洁能源供应商与循环经济服务商。该路径可提升企业收益与抗风险能力, 实现经济-环境双赢这是模型显示的结果。

关键词: 城市燃气企业; 化工副产品; 资源化利用; 盈利模式; 循环经济; 碳中和

中图分类号: F426.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 036-0016-03

Research on Resource Utilization Technology of Gas Chemical by-products and Innovative Profit Models of Urban Gas Enterprises

Zhong Zuolin (Shenzhen Energy Gas Investment Holding Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518000, China)

Abstract: Against the backdrop of the “dual carbon” goal, urban gas companies are facing challenges such as narrowing gas price differences and saturated pipeline networks. This article summarizes resource utilization technologies for by-products such as LPG, light hydrocarbons, sulfur, CO₂, and hydrogen rich tail gas in the natural gas purification and distribution process. It proposes to use high-value utilization of chemical by-products as an engine to build five profit models: “gas+products”, “carbon services”, “hydrogen energy”, “comprehensive energy”, and “circular economy parks”, in order to create clean energy suppliers and circular economy service providers. This path can enhance the profitability and risk resistance of enterprises, achieving a win-win situation for both the economy and the environment, as demonstrated by the model.

Keywords: urban gas companies; Chemical by-products; Resource utilization; Profit model; Circular economy; carbon neutrality

城市燃气企业长期以来作为城市能源基础设施的重要运营主体, 其核心盈利模式依赖于天然气的购销价差和管道输配服务, 然而, 近年来这一传统模式面临严峻挑战: ①市场化改革在天然气上游气源方面不断深化推进, 门站价格的波动幅度逐渐增大, 稳定的价差难以继续得以维持, ②城市的管道已然变得日益饱和, 接驳方面的收入其增长空间已然收窄; ③终端燃气消费受到能源消费电气化趋势, 以及分布式能源发展的潜在替代影响, ④环保法规日趋严厉, 企业需承担更多减排责任, 在此背景之下探寻新的利润增长点, 以及发展路径变成了行业的共同认知。

天然气需经净化液化管输调压等多个环节, 才能从气田开采到终端用户使用, 在此过程中除了主要成分甲烷外还会分离或产生一系列有价值的副产品, 例如在脱硫脱碳过程中产生的二氧化碳和硫磺, 在深冷处理中回收的液化石油气(LPG)和天然气凝液(NGL), 在管网置换或工艺放空产生的富氢尾气等。传统上部分副产品(如硫磺、LPG)已作为商品销售但整体利用程度粗放, 价值挖掘不深, 大量低浓度或难以处理的组分(如低浓度CO₂、微量稀有气体)往往被直

接排放或焚烧, 既造成资源浪费又增加环境负荷。

因此把先进的化工分离、转化与利用技术运用到这些副产品的精细化高值化处理上, 并深度融入城市燃气企业的战略与运营里不但能积极响应“无废城市”和循环经济理念, 而且还是企业开拓“第二增长曲线”重新塑造盈利模式的重要契机, 本文旨在梳理相关技术探索与商业模式创新的结合点。

1 燃气化工副产品的主要种类与资源化潜力

城市燃气产业链各环节所产生的副产品种类颇为繁杂, 其资源化潜力的大小取决于组成情况数量多少, 收集的经济性以及终端市场的状况。

1.1 主要副产品类型

①烃类副产品: 主要涵盖乙烷丙烷丁烷(后两者时常以LPG形式予以呈现), 以及更为沉重的C₅₊轻烃, 它们主要来源于天然气处理厂脱烃环节, 以及部分门站的闪蒸气回收, ②硫化物: 主要以硫磺的形式从天然气脱硫, 如克劳斯工艺中回收, 高纯度硫磺是化工行业的重要原料, 二氧化碳(CO₂)在天然气净化(脱碳)过程中被大量分离出来, 传统上多数直接排放。碳中和背景之下对于其捕集以及利用(CCU)

来讲,价值十分巨大,③富氢尾气:源于加氢脱硫工艺的排气管网置换气或化工副产气,氢气作为清洁的二次能源以及工业原料,其价值与日俱增,④其他:包括氦气等稀有气体(于某些气源内),废水(含醇胺等化学物质)以及过程余热。

1.2 资源化潜力分析

这些副产品的资源化其本质在于把“废物”或者“低价值流”,转变为“产品”或者“高价值流”,其潜力大小由技术可行性和市场价值共同决定,例如燃料或者化工裂解原料,可由LPG直接作为,硫磺可销售给硫酸厂或化肥厂,CO₂可用于食品级焊接保护气碳酸饮料,更前沿的包括用于驱油(EOR),合成燃料或化学品;氢气能够提纯之后被应用于燃料电池汽车精细化工领域,或者注入到天然气管网(掺氢)当中,余热则可用于区域供热或制冷。

2 燃气化工副产品资源化利用关键技术路径

对于各异的副产品来讲,务必要运用有差异的技术路径来达成其最优价值。

2.1 烃类副产品的精细化分离与高值转化技术

①深度分离技术:通过使用高效精馏吸附分离(例如分子筛)或者膜分离技术,把混合轻烃分离成单一的乙烷丙烷丁烷等高纯度的产品,乙烷作为优质的乙烯裂解原料,其价值远远高于混合烃;②转化技术:丙烷丁烷通过脱氢工艺(PDH、BDH)转化为需求旺盛的丙烯丁烯,或进一步加工成高附加值聚合物。

2.2 硫磺的回收与高纯化技术

①超级克劳斯、超优克劳斯工艺:将传统克劳斯法的硫回收率提高到99.5%以上,降低排放,②硫磺提纯技术:通过过滤蒸馏熔融等方法生产高纯硫(99.95%以上),满足高端半导体医药等行业需求。

2.3 二氧化碳的捕集与资源化利用(CCU)技术

高效低能耗捕集技术:改进型胺法吸收膜分离低

温分馏等,降低从净化尾气中捕集二氧化碳的成本。

资源化利用技术:①物理利用:食品添加剂、焊接保护气、消防灭火剂等,②化学利用:与氢气进行催化合成甲醇甲烷(即甲烷化),合成油(也就是费托合成)等等,③生物利用:用于微藻养殖,生产生物燃料或饲料。④地质利用:用强化石油天然气开采(EOR/EGR)驱替煤层气(ECBM),或深部咸水层封存,在靠近油田或具备地质条件的情况下,燃气企业选择此路径不仅能带来环境效益,还具有潜在收益。

2.4 富氢尾气的提纯与利用技术

①变压吸附(PSA):成熟可靠能将氢气纯度提至99.9%以上,膜分离技术:设备紧密操作简单适合中小规模和特定场景;②利用途径:提纯后的氢气或可定向销售给周边电子冶金化工企业或作为加氢站的氢源,亦可探索一定比例(如<20%)回掺天然气管网,以提升管网输送的低碳化水平。

2.5 能量协同与系统集成技术

①余热回收技术:利用热泵换热器等技术对化工转化液化以及压缩等过程产生的余热加以回收,以此为办公楼供暖供应热水,或者驱动吸收式制冷;②智慧能源管理系统:通过数字化平台对副产品生产储存转化与能源供需的实时匹配进行优化,以达成厂站能源效率的最大化。

3 基于副产品资源化的城市燃气企业盈利模式创新

将上述技术路径嵌入企业运营,可催生以下多元化盈利模式:

3.1 “燃气+”产品多元化销售模式

①内容:企业不光是天然气的供应商,而且变为LPG、高纯烃类、硫磺、食品级CO₂、氢气等多种产品的生产商与供应商,通过延长产品链,获取加工增值收益;②实施:在旁建设集约化的副产品精深加

表1 典型燃气化工副产品资源化技术路径与价值提升分析

副产品类型	主要来源	关键技术路径	目标产品/用途	价值提升特点
混合轻烃	天然气处理厂、门站回收	精密精馏、吸附分离	高纯度乙烷、丙烷、丁烷	从燃料价值提升为优质化工原料价值
LPG	天然气处理厂、门站回收	脱氢(PDH/BDH)	丙烯、丁烯	从大宗燃料转变为紧缺的聚合单体
硫磺	脱硫装置	超级克劳斯工艺、熔融提纯	高纯硫磺(>99.95%)	从普通工业原料升级为电子级高端材料
二氧化碳	脱碳装置	胺法/膜法捕集+催化合成/地质利用	食品级CO ₂ 、甲醇、EOR服务、封存碳信用	将排放负担转化为产品或服务收入,创造碳资产
富氢尾气	加氢脱硫、工艺放空	PSA提纯、膜分离	燃料电池用高纯氢、工业氢、掺氢天然气	将低热值尾气转化为高价值能源载体
过程余热	压缩机、化工反应器	换热器、余热锅炉、吸收式热泵	蒸汽、热水、冷量(用于办公或区域供能)	降低外购能源成本,提升全厂能源效率

工中心，形成小型能源化工综合体。

3.2 提供碳管理与环境服务模式

①内容：通过运用 CO₂ 捕集与利用技术，来给企业给予碳减排的解决办法，②包括：销售 CO₂ 用于 EOR 获取服务费，将封存的二氧化碳转化为国家核证自愿减排量 (CCER) 等碳资产，予以交易，为工业客户提供碳捕集托管服务，③实施：与油田化工厂食品企业等构建区域性 CO₂ 捕集 - 运输 - 利用网络，并建立合作。

3.3 氢能产业链参与模式

①内容：借由副产氢资源进行氢能“制储加用”环节的布局，通过运营加氢站销售氢气，参与氢燃料电池热电联供项目等方式切入新兴的氢能市场，②实施：在副产氢丰富的母站附近，建设示范加氢站，与公交物流企业及地方政府展开合作，大力推广氢燃料电池车。

3.4 综合能源服务集成模式

①内容：整合来自副产品资源化过程的能源产品 (氢气、LPG) 以及冷热电 (源自余热利用)，并与光伏、储能等相结合为工业园区、商业综合体供应定制化的综合能源，涵盖能源供应、节能改造、运维托管等方面，②实施：成立综合能源服务公司实现从“卖产品”到“卖服务”的转变，签订长期能源管理合同以获取稳定的服务收益。

3.5 循环经济园区协同模式

①内容：在园区里以燃气企业当作核心要点，跟化工材料食品等类型的企业一起搭建起产业共生的体系架构，燃气企业为园区企业供应原料 (如氢气、CO₂、蒸汽)，与此同时将园区企业的废弃物或副产物当作补充原料或能源进行消纳，②实施：主导或深度参与地方循环经济产业园区的规划与建设，成为园区的能源枢纽以及物料循环核心节点。

4 实施路径与政策建议

4.1 企业实施路径

①评估与规划：全面审计各场站副产品的产生量品质以及分布情况，并对不同资源化技术的经济性展开评估，制与企战略相匹的副产物资源化中长期规划，②试点示范：选取条件成熟的场站 (例如大型门站、LNG 工厂) 推进一项或两项关键技术 (比如 CO₂ 捕集制甲醇、副产氢提纯) 的试点项目，积攒技术和运营经验。③合资合作：积极与化工技术公司设备制造商科研院所以及下游用户，像化工厂食品厂氢能车企构建战略合作填补技术缺陷锁定产品销售途径，④数字化赋能：建设能源与资源智慧管理平台，达成副产品产生加工储存销售的全流程数字化监控及优化调度，

⑤组织与人才转型：调整组织架构，构建新材料 / 新能源事业部引入并培育化工工艺碳管理氢能技术等综合型人才。

4.2 政策建议

①完善标准与规范：政府需加快制定副产氢等领域的国家标准与安全规范，并明确市场准入条件，②加大财税支持：对燃气企业投资建设的副产品资源化碳减排项目，给予固定资产投资补贴税收减免绿色信贷贴息等激励，③培育市场环境：建立健全碳交易以及用能权交易市场，并探索氢气“制储加用”一体化示范项目的支持政策。将资源循环利用绩效纳入城市绿色发展考核，④推动产业协同：政府牵头对区域循环经济产业园予以规划，为燃气企业以及上下游企业搭建起合作的平台推动产业链的耦合。

5 结论

在能源革命以及产业升级的大潮当中，城市燃气企业的转型已然势在必行，燃气化工副产品不再是需要处理的“负担”，而是蕴藏巨大价值的“城市矿山”，通过集成应用先进的分离转化与利用技术，城市燃气企业能够深度挖掘这些副产品的资源化潜力从而突破传统盈利模式的窠臼，构建起以“清洁能源供应”为基础以“高值化工产品”和“低碳环境服务”为两翼的多元化盈利新格局。这种创新不但能够径直提升企业的经济效益与核心竞争力，还能令其深度融入城市循环经济体系在确保能源安全推动绿色低碳发展方面扮演更为重要的角色，达成商业价值与社会价值的统一，未来成功的企业将是那些有能力把能源服务材料生产，和环境解决方案有机结合的综合性能服务商。

参考文献：

- [1] 于欢. 基于多相流化工理论的燃气管道内腐蚀机理与控制 [J]. 石化技术, 2025, 32(09): 404-405.
- [2] 纪夫健. 燃气化工企业技术管理的优化策略研究 [J]. 化工管理, 2025, (15): 9-11.
- [3] 谢焕群. 石油化工大型燃气轮机设备施工项目管理方法研究 [J]. 现代工程科技, 2025, 4(04): 165-168.
- [4] 渠敬河, 刘新刚, 赵洪峰, 等. 基于燃气轮机富氧辅助供能的风电耦合化工系统容量优化配置 [J]. 科学技术与工程, 2023, 23(01): 213-219.
- [5] 黄超君. 燃气化工厂的选址及技术问题研究 [J]. 化工管理, 2020, (01): 157-158.

作者简介：

钟作霖 (1991-) 男，汉族，广东廉江人，研究生，助理工程师，研究方向：城市燃气企业经营、经济运行分析。