

中国煤炭地下气化技术的发展

马 驰¹ 余 力² 梁 杰²

(中国科技促进发展研究中心¹ 北京 100038 中国矿业大学(北京校区)² 北京 100083)

【摘要】 本文综述了煤炭地下汽化技术的国内外发展现状,对我国“长通道、大断面”煤炭地下气化新工艺给予了技术经济评述,并提出了发展煤炭地下汽化技术的政策建议。

【关键词】 地下气化技术;发展;建议

【中图分类号】 TD841 **【文献标识码】** B **【文章编号】** 1003-2355(2003)02-0011-05

Abstract: On summarizing the current status of development on underground coal gasification both in China and foreign countries, the paper introduces the new technology of UCG via the technique of “Long Passage with Large Cross Section”. It is of high economic and environmental benefits. The paper proposes the policy suggestions on development of UCG giving the technology review.

Key Words: UCG; development; suggestions

1 引言

煤炭地下气化 (Underground Coal gasification, UCG) 是将处于地下的煤炭进行有控制的燃烧、通过对煤的热作用及化学作用产生可燃气、综合开发清洁能源与生产化工原料的新技术。其实质是仅仅提取煤中的含能组分,而将灰渣等污染物留在井下。UCG 技术集建井、采煤、转化等多种工艺为一体,大大提高了煤炭资源的利用效率和利用水平,深受世界各国的重视,被誉为新一代采煤方法。早在 1979 年联合国“世界煤炭远景会议”就曾明确指出,UCG 是从根本上解决传统煤炭开采和使用方法存在的一系列技术和环境问题的重要途径。

中国矿业大学自 1984 年开始,进行了煤炭地下气化技术的

研究与开发,提出了适用于我国矿井煤炭资源地下气化的“长通道、大断面”煤炭地下气化新工艺。在学习前苏联经验的基础上,通过大量实验室理论研究,先后完成了现场试验、半工业性试验和工业性试验,逐步走向了工业性应用,形成了具有我国自主知识产权的新的煤炭地下气化技术。

国家科技政策的宗旨是培育技术创新和促进它们进入市场。能源工业的技术创新对于繁荣经济,改善环境质量和保障国家能源安全十分重要。我国在向社会主义市场经济的过渡中,大多数企业和地方的技术创新能力还十分薄弱,尤其是面对具有技术难度大、资金投入大、创新周期长的能源工业技术创新特点,更需要

国家制订统一和稳定的科技发展战略与规划,以迎接 21 世纪的挑战。煤炭地下气化技术便是其中的一个重要组成部分。

2 煤炭地下气化技术概况

技术经济特性 采用“长通道、大断面、两阶段”煤炭地下气化技术,应用于矿井炭资源;

稳定日产地下水煤气(合成气) 5 万 m³, 热值稳定在 7~11MJ/m³(测试值);

稳定日产鼓风煤气 12 万 m³, 热值稳定在 3.5~5MJ/m³(测试值);

造气成本水煤气约 0.15 元/m³, 比原有的地面常规造气成本(1.05 元/m³) 大幅度降低, 鼓风煤气成本约 0.02~0.03 元/m³;

目前已为 1.5 万户居民和

6t/h×3 台蒸汽锅炉连续供应燃气,并完成了 400kW×3 台内燃机发电试验。

开发历史与技术比较 前苏联自 30 年代初开始地下煤气化技术试验,至 50 年代末达到工业化生产,所生产的煤气用于发电或工业燃料气。目前有关工作基本停顿。气化方法包括“有井式”和“无井式”(钻孔法)。

6 个欧共体成员国于 1988 年组成欧洲地下煤气化研究工作组,其长远目标在于通过现场试验和半商业运行,论证欧洲典型煤层商业应用地下煤气化的可行性。第一个西班牙现场联合试验自 1991 年 10 月开始至 1998 年 12 月结束,气化总共进行 301h。采用的主要技术是利用石油天然气工业的定向钻井技术。实验成功表明:欧洲煤可在 500m 深气化并生产高质量煤气;气化过程稳定并可控制。

采用“长通道、大断面、两阶段”煤炭地下气化工工艺,1994 年完成徐州新二号井半工业性试验、1996 完成年唐山刘庄矿工业性试验、2000 年完成山东新汶矿孙村煤矿产业化示范工程,2001 年进行了山东新汶协庄煤矿、鄂庄煤矿、肥城曹庄煤矿和山西昔阳煤化公司的推广利用。

专利 发明专利为“矿井长通道大断面煤炭地下气化工工艺”(ZL 94111480.5)、“两阶段煤炭地下气化工工艺”(ZL 95103446.4)、“推进供风式煤炭地下气化炉”(ZL 95111055.1)。

应用领域 煤炭地下气化生产的煤气可广泛用于燃料气、发电、煤化工、提取纯氢和煤基清洁燃料等。集建井、采煤和煤

气化工工艺为一体的这一“化学采煤”方法可首先应用于矿井遗弃煤炭资源的开采。

技术开发阶段 矿井遗弃煤炭资源地下气化稳定生产工艺的应用基础研究、工业性试验和产业化示范(规模化生产)。

研究单位 中国矿业大学煤炭工业地下气化工工程研究中心,徐州矿业集团有限责任公司、唐山刘庄煤矿、新汶矿业集团有限责任公司、肥城矿业集团有限责任公司、山西昔阳煤化公司、济南煤炭设计研究院。

项目来源 国家“八五”攻关项目、国家 863 计划、企业自筹。

经费 研究总投资 2800 余万元,国家投入 480 万元,企业投入 2320 余万元。

3 煤炭地下气化技术评述

3.1 煤炭生产工艺的重大创新

煤炭地下气化技术将物理采煤转变为化学采煤,这是煤炭开采史上的一场革命。由于煤层地质的复杂和钻探开采技术的不断进步,关于这一煤炭生产工艺的重大创新此起彼伏地持续了近百年的历史。

前苏联是世界上进行地下煤气化现场试验最早和最多的国家,也是地下煤气化技术工业应用成功的第一个国家。世界上第一座有井式气化站于 1932 年在顿巴斯矿建立,前苏联早期利用竖井坑道进行地下气化,发展了“有井式”气化工工艺,以后通过钻孔方法开展“无井式”地下气化工技术的研究。气化剂主要采用空气,所产煤气热值不高,但生产成本相对较低。前苏联煤炭地

下气化技术已达到工业化生产水平,生产的煤气主要作为燃料气加以利用。

国外近期的最新进展要属英国政府贸工部作为清洁煤技术项目一部分加以支持的欧洲煤炭地下气化项目,项目总经费约 1400 万英镑,由合作参加国西班牙、比利时和英国共同提供,其中还有欧共体 THERMIE 项目的支持。项目持续时间自 1991 年 10 月至 1998 年 12 月。第一次试验点火是 1997 年 7 月,前后总计气化了 301h。现场试验选在西班牙,所选煤层远离已有的开采矿,从经济上看是传统技术不能开采的,生产工艺为无井式。成功的试验结果表明:欧洲煤可以在 500m 深气化并生产高质量煤气;气化过程稳定并可控制;大部分残余物留在地下,有利于环境问题的解决。由于气化炉未能运行到结束,因此无法获取所要求的经济数据。

我国自 1958 年到 1962 年,先后在新汶、鹤岗、大同、皖南、沈北等许多矿区进行过自然条件下的煤炭地下气化试验;1987 年中国矿业大学在徐州马庄煤矿报废矿井进行无井式气化,试验进行 3 个月,产气 16 万 m³,煤气平均热值 4.2MJ/m³。马庄试验表明,矿井遗弃煤炭地下气化是可行的,但所采用的无井式气化工工艺必须改进。

在总结国内外煤炭地下气化工工艺的基础上,结合我国矿井遗弃煤炭资源的赋存特点,中国矿业大学煤炭工业地下气化工工程研究中心研究提出了“长通道、大断面、两阶段”地下煤气化新工艺,进行了多次急倾斜煤层

地下气化模型试验和一系列的基础理论与测控技术开发。在此基础上,完成了国家“八五”科技攻关项目即徐州新河矿二号井煤炭地下气化半工业性试验和河北省科技攻关项目即唐山市刘庄矿煤炭地下气化工业性试验。前者,1994年3月点火,进行两阶段气化,共运行11个月;后者,1996年5月点火,进行两阶段气化并生产中热值水煤气试验,至今仍在运行。试验的主要结果有:空气煤气热值稳定在 $4\text{MJ}/\text{m}^3$ 左右,产量约 $8\text{万 m}^3/\text{d}$,基本实现了连续稳定生产;两阶段工艺可获得50%左右的含 H_2 量、热值在 $10\text{MJ}/\text{m}^3$ 以上的水煤气,但其生产尚不够稳定。

新汶孙村煤矿是“长通道、大断面、两阶段”气化技术在我国缓倾斜、2 m以下较薄煤层中的首次试验成功。该项目1999年9月启动,2000年3月点火,4月生产空气煤气,6月生产水煤气,7月开始连续稳定向1万户居民和蒸汽锅炉供燃气,2001发电试验成功。其气化区煤储量约17.2万t,两个气化炉的服务年限约为3年。这是我国地下煤气化工程建设速度快,测控全面、净化系统齐备、储运系统完善和应用广泛的产业化示范项目。

山东肥城矿业集团曹庄矿煤炭地下气化研究与应用工程,于2001年9月投入试验生产,气化高硫(平均4.01%)、薄煤层(平均1.78m),生产低热值民用煤气,日产量为 3.5万 m^3 。山西昔阳煤炭化学公司的无烟煤地下气化试验生产基地的一期工程于2001年10月投入试验生产,鼓风煤气产量平均为 $12\text{万 m}^3/\text{d}$,

水煤气产量达到 $5\text{万 m}^3/\text{d}$,水煤气用于补充地面合成氨厂气源。

3.2 煤炭地下气化技术的国际比较

考察煤炭地下气化技术的研究和发展历程,世界有关国家都是根据本国资源条件和煤层赋存特点发展各自的煤炭地下气化技术。英国等许多欧洲国家浅煤层大部分已开采完毕,而在1000m深度以下还有大量的煤炭资源,正是由于对走向深部煤层开采和利用的需要,因此欧洲主要发展无井式气化工艺。现在的定向钻井技术(由石油和天然气工业发展的)从原则上可以解决这一难题。尽管为了减少开发成本,早期的地下煤气化试验开发多在浅层煤中进行,然而这一技术的一个重要特点就是可以从不能采用传统方法开采的深煤层中获取能源产品。无井式气化工艺的关键是发展地下气化通道的贯通技术。此法的钻孔和运行的费用高,使得煤气成本高。而有井式气化工艺需要打井筒进入气化煤层,建炉工作在井下进行,宜于满足大规模生产的需要。欧洲国家的煤炭地下气化技术从总体上还处于应用基础研究和中试阶段,需要继续解决有关技术问题。

从开采利用矿井遗弃煤炭资源出发,中国矿业大学研究开发了“长通道、大断面、两阶段”煤炭地下气化新工艺。它具有将有井式和无井式气化工艺两者结合的特点,对原有矿井井筒和煤巷的

充分利用,既降低了建造地下气化炉的成本,也使建立气化通道等技术难度大幅度降低。我国这一地下煤气化方法不仅仅具有施工技术的创新,特别是,“长通道、大断面、两阶段”对煤炭地下气化过程的本质把握和气化规律的揭示,又使它成为有别于其他国家的稳定可控和经济生产高质量煤气的煤炭地下气化新工艺。唐山刘庄和新汶孙村煤矿地下气化的连续稳定生产运行充分证明了“长通道、大断面、两阶段”气化工艺创新的巨大成功。

3.3 煤炭地下气化技术经济与环境效益评价

合理利用地下气化煤气是进一步提高煤炭地下气化经济效益的重要途径。根据煤气成分和应用条件,地下气化煤气可用于联合循环发电、提取纯 H_2 以及用作化工原料气、工业燃料气和城市民用煤气等。

前苏联的实际工作有力地证明了UCG具有基本建设投资省、生产系统简单且安全等优点。“安格林”地下气化站的实际运行经济技术指标对比见表1。“安格林”地下气化站的产气量为 $700\text{万 m}^3/\text{d}$,热值为 $4.18\text{MJ}/\text{m}^3$,相当于开采安格林褐煤 $1900\text{t}/\text{d}$ 。

美国专家指出,UCG与地面气化生产相同的下游产品相比成本可下降:生产合成气为43%、生产天然气代用品为10~18%、发电为27%。前苏联列宁格勒火力发电设计院公布的资料表明,

表1 “安格林”煤地下气化与条件规模基本相同的地下采煤的技术经济指标比较

项目	基建投资	吨煤投资	建设时间	生产成本	生产效率	资源回收率
升降(%)	降78	降78	降30~50	降61~63	升300	升10以上

注:根据1956年Средазуголь企业统计资料

地下气化热电厂与燃煤电厂相比：厂房空间可减少 50%、锅炉金属耗量可降低 30%、运行人数可减少 37%。

采用“长通道、大断面”新工艺可以大大节省建炉的初期投资和运行费用，煤气成本更低。唐山刘庄煤矿地下气化工程总投资约 860 万元，表 2 是刘庄矿气站运行的财务评价指标。

目前新汶矿业集团已有三座气化站投入运营，总投资约 2100 万元，日产中热值煤气约 10 万 m^3 ，生产成本约 0.15 元/ m^3 ，售价 0.35 元/ m^3 ，年创利税约 730 万元。

UCG 技术具有较好的环境效益：灰渣留在井下，并采用充填技术，减少或避免了地表环境破坏，无固体废弃物排放，这是其它洁净煤技术无法比拟的；煤气能集中净化，实现洁净燃烧，避免大气污染；可将 CO_2 分离出来贮存或作其他用途，或充填到气化空间，实现温室气体的减排；可提取洁净能源氢气。

4 中国煤炭地下气化产业化前景广阔

地下煤气化技术的发展在西方国家进展缓慢的主要原因是缺乏市场需求。工业化国家早已建立起来的石油、天然气能源系统依旧运转自如。欧洲，尤其是英国有开发深部煤层的愿望，是考虑

油气资源的限制，煤炭地下气化技术有可能成为一种替代选择。考虑到已掌握的开采石油和天然气钻井技术的进步和对富煤的发展中国家技术输出的潜力，欧洲联合开展了无井式地下煤气化技术的现场试验和研发工作。但是采用这种工艺生产具有较低成本的高质量地下煤气（热值高、产量大）还有很长的路要走。

与此相对照的，正是针对解决中国矿井遗弃煤炭资源问题的“长通道、大断面、两阶段”煤炭地下气化工艺获得了巨大的市场机会，取得了明显的成功。

地下气化为老矿井遗弃煤炭资源的开发利用开辟了新路。煤炭是我国能源工业和国民经济发展的基础。但受传统井工开采技术的限制，随着开采强度的逐渐增大，有大量的矿井逐步报废。据统计，1953~1989 年报废矿井 297 处，我国东北、华北地区的许多老矿井即将报废，每年平均遗弃煤炭 148 万 t，到目前为止，遗弃资源贮量已达 300 亿 t 以上。如唐山刘庄煤矿，现有 650 多万 t 过去开采丢弃的煤炭，属遗弃资源，其中可以气化的资源量占 51% 左右。在新汶矿区的 3.78 亿 t 可采贮量中，建筑物下压煤量约占 73.2%。1993 年，全国经勘探证实的煤炭贮量为 10018.7 亿 t，可采储量为 1145 亿 t，仅占煤炭

地下气化为高硫煤的开发利用开辟了新路。如山东汶矿区的 高硫煤贮量约近 2 亿 t；山西太原东山煤矿现有储量 2.2 亿 t，可采储量仅为 9.7 万 t，在可采储量中又有 90% 左右为高硫煤。我国西部许多矿区如贵州六枝、四川芙蓉、重庆松藻、中梁山等大部分煤矿为高硫、高瓦斯煤层。随着西部大开发对环境质量要求的提高，高硫煤资源将限采或停采，这必会影响到西部大开发的能源供应和煤炭企业的发展。当前在我国东部地区停产关闭高硫煤矿井并不是解决环境问题的办法。通过地下气化可以充分利用高硫煤炭资源，综合解决问题。

地下气化为劣质煤的开发利用开辟了新路。我国褐煤资源储量丰富，仅内蒙古自治区东部就有近 1000 亿 t 的褐煤资源，由于褐煤水分高、灰分高、热值低，井工开采经济性较差，这给以褐煤资源为主的煤矿企业的生存和发展都带来了严重的困难，但褐煤反应活性高、透气性好，利用地下气化技术开采是非常有利的。

另外，地下气化还可以开采深部煤炭资源、“三下”（村庄下、河流下、铁路下）压煤等，因此，煤炭地下气化技术可以大大提高我国不可再生的煤炭资源的利用率和利用水平，有着极其广泛的推广应用前景。

我国煤炭企业对 UCG 技术表现出极浓厚的兴趣，并积极参与研究开发工作，正在进行工程规划设计或施工的还有多项。山西晋中义堂煤矿一期工程已施工，气化高硫煤（4% 以上）量 737 万 t，提取纯氢，生产精细化工产品；贵州六枝工矿集团煤炭地下

表 2 刘庄矿现场试验生产初步经济分析

项 目	指 标	
	所得税前	所得税后
财务内部收益率(全部投资)(%)	27.9	18.72
净现值($i_c = 10\%$)(万元)	653.6	303.03
投资回收期(年)	4.6	5.6
投资利润率(%)		22.8
资本金利润率(%)		37.9

贮量的 11.43% 左右，大量煤炭资源将无法开采到地面上来，但是采用煤炭地下气化技术，这些不可再生的资源将会得到重新利用。

气化工业性试验已进入设计阶段, 气化高硫(平均 5.04%)、高瓦斯煤层; 进行可行性论证的还有内蒙古大雁煤业集团、平庄煤业集团、甘肃省华亭煤矿、陕西彬县火石嘴煤矿、四川芙蓉矿务局、重庆松藻矿务局、中梁山矿务局、山西阳曲能源公司、太原东山煤矿、辽宁阜新矿业集团、河南鹤壁矿业集团、义马矿业集团和黑龙江鹤岗矿业集团等。由此可见, 中国煤炭地下气化新工艺已开始在更广泛的煤层赋存条件下探索和推广。

5 积极支持发展煤炭地下气化技术

我们有充足的理由支持发展煤炭地下气化技术:

其一, 煤炭工业是重要的基础产业, 然而煤炭开采成本随着开采强度的加大而不断提高, 东部煤炭后备资源随之也愈发严重不足。煤炭地下气化技术是一项从根本上改造传统的煤炭生产与利用工艺的高新技术, 它可以首先应用于矿井遗弃煤炭资源的开发, 获得生产成本较低的中等热值煤气。进而还可以开采井工难以开采的深部煤层, 包括劣质煤、薄煤层和“三下”煤层等。因此从国家产业政策和技术政策的角度来看, 应该支持煤炭地下气化工艺的发展。

其二, 由煤矿地下生产的煤气可广泛应用于燃料气、发电、煤化工和提取氢等清洁燃料高附加值的生产领域(当然还有许多研究开发工作要做), 由此大大提高煤炭工业的经济效益, 促进煤炭工业技术和产品结构升级。煤炭地下气化的发展有可能成为煤炭工业新的经济增长点, 应引起高度重视。这一新的经济增长是伴随着煤

炭资源的合理、综合和有效利用而来, 我国已有的关于资源综合利用的优惠政策也应该向这一新技术的开发与应用倾斜。

其三, 从原则上说, 地下煤气化技术是比常规地面煤气化清洁煤技术还要清洁的一项清洁煤技术。由于煤炭地下气化燃烧后的灰渣等残余物留在地下, 由此大大减少采煤地表的塌陷量, 并减少因固体废弃物排放所造成的地表环境破坏; 采用石油化工工业常规方法集中净化煤气中的焦油、硫等夹杂物, 有利于解决煤炭燃料所带来的 SO_2 排放和酸雨形成等区域性环境问题; 它也有利于去除 CO_2 , 煤炭地下气化技术提供了减少温室气体排放的新方案, 这有可能对解决全球气候变化问题做出贡献。因此可以说, 煤炭地下气化技术是一项从煤炭开采利用源头预防和治理污染的清洁生产(CP)技术, 亦即环境无害化技术(EST)。这是《中国 21 世纪议程》工业领域鼓励 and 发展的技术。从可持续发展的战略考虑出发, 应该积极扶持地下煤气化技术。

其四, “长通道、大断面、两阶段”地下煤气化工艺是我国科学家针对解决我国矿井遗弃煤炭资源开采利用而发明创造的先进技术。在煤炭地下气化领域有着广阔的发展前景。唐山刘庄煤矿自 1996 年稳定生产空气煤气, 新汶孙村煤矿自 2000 年稳定生产中热值水煤气, 这两项工业性试验和产业化示范工程表明, 我国已走在了地下煤气化技术这支大军的前列。

“八五”期间, 国家先后拨款 280 万元支持了“长通道、大断面、两阶段”新工艺在徐州新河煤

矿二号井的首次试验。2002 年 1 月, 国家高技术研究发展计划(863 计划)课题煤炭地下气化稳定控制技术研究已正式启动, 课题经费 200 万元。目前, 中国矿业大学(北京校区)煤炭工业地下气化工程研究中心已建成了具有世界先进水平的煤炭地下气化实验室, 并在山东新汶建设了试验示范基地, 开展了煤炭地下气化过程基本规律和稳定控制技术的研究。2001 年 5 月, 由国家外贸部经济技术交流中心和英国贸易工业部牵头, 由中国矿业大学(北京校区)、中国劳动保护协会承担的国际合作项目中国煤炭地下气化生产清洁能源也已启动, 目前已完成了中国煤炭地下气化技术、经济、环境评价, 并探讨了双方在煤炭地下气化技术、清洁能源生产等方面进一步合作的可行性。

但是, 煤炭地下气化工程试验复杂, 随煤炭资源赋存条件的不同而多变, 因此, 与各地方广泛进展的工程试验和生产实践同时, 应集中力量研究地下气化施工和煤气稳定生产与控制的工艺方法中的共性技术问题, 也包括所产煤气的应用技术。对煤炭地下气化技术开发与工程建设中共性技术研究的支持, 将会极大地减少地下煤气化工程发展中的盲目性和技术风险。建议在今后科技计划中加大对煤炭地下气化共性技术研发的支持力度, 对开展煤炭地下气化技术研发和利用的企业给予适当的扶持和优惠政策, 以及寻求更广泛的国际合作。当然, 更持久和根本的支持是来自建设煤炭地下气化工程的有关企业。

参考文献略