

河南省平顶山泓利煤焦有限公司

880000立方米/h煤炭地下气化发电及 合成天然气示范工程项目

李文军

中国科学院过程工程研究所 博士后

华北科技学院煤基清洁能源实验中心 主任

煤炭地下气化技术

- 前 言
- 国家支持政策
- 原理及其实现过程
- 技术发展历程及现状
- 技术经济评价
- 泓利煤焦—华北科技学院 “协同创新中心”
- 泓利煤焦煤炭地下气化项目

煤炭地下气化技术----前言

除了煤炭，别无选择！

中国，成为
世界第一能源
消费大国，
将势不可挡

2020年前后，
石油进口依存度
高达60%以上

初步
实现现代化，
中国电力供应
80%依靠煤炭

煤炭地下气化技术----前言

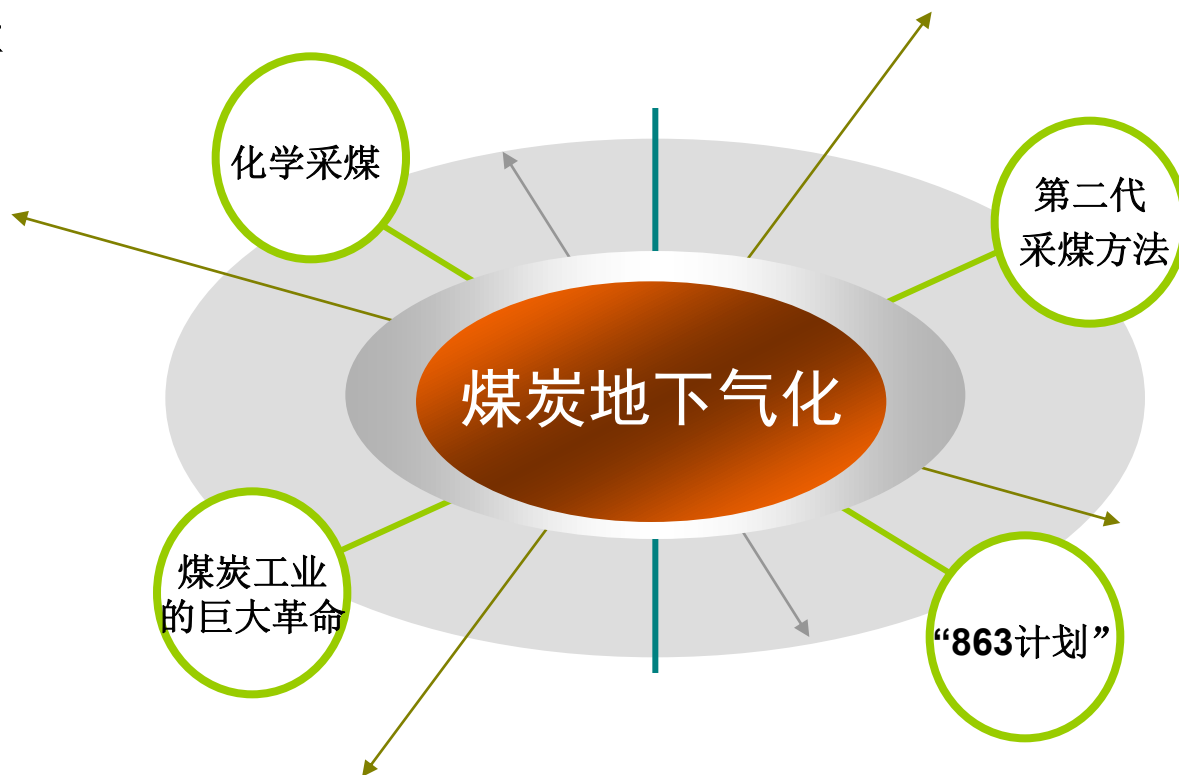
但是

中国社科院
《2007中国能源蓝皮书》

- 煤炭开采20年浪费280亿吨；
- 煤矿平均资源回收率30%，长此以往，到2020年，全国将有560亿吨煤炭资源被浪费，实际上相当于每年耗用50亿吨煤炭；
- 中国煤矿事故频繁，矿工死亡率是美国的百倍，已成不可承受之痛；
- 极薄煤层、极限井深、废弃煤柱、“三下”（建筑物下、水体下、铁路下）压煤、高硫高灰煤；
- 直接燃煤引起的环境问题；
-

煤炭地下气化技术----前言

选择



煤炭地下气化技术----国家支持政策

《国家能源科技“十二五”规划（2011-2015）》把煤炭地下气化做为“十二五”期间的重大研究技术，目标是“通过关键技术研究，促进示范工程建设，解决煤气质量、产气规模、环境保护等方面的问题，确定适合我国国情的煤炭地下气化发展路线。”

《煤炭工业发展“十二五”规划》指出，要“加强科技创新，开展地下气化采煤技术研发与示范工程建设。”

科技部《洁净煤技术科技发展“十二五”专项规划》指出：要“突破地下气化关键技术瓶颈，形成煤炭地下气化过程稳定控制技术和地下水环境监测技术，开发煤地下气化大型成套技术工艺软件包及适于现代化工业生产的大规模合成气净化技术以及污水处理技术，实现煤炭地下气化过程连续稳定生产和地下、地上环境友好。”

煤炭地下气化技术----国家支持政策

1965-1967年科学技术发展远景规划纲要（修正草案）

第19项：可燃矿物作为燃料及化工原料的综合利用

应用氧气、加热空气、加压和常压气化以及流动床沸腾床等气化法，在各国都在不断改进和发展。研究我国各种煤的气化机理和反应动力学，掌握先进的高效能气化设备的技术，是发展我国煤气工业的重要步骤。

对地下气化技术，也需要进行探索性的研究。天然气的加工技术，如制氢、制合成氨与气化热解制乙炔等在国外已工业化。通过反应机理和其它化学加工方法的研究，可确定我国天然气的工业用途

煤炭地下气化技术----国家支持政策

国民经济和社会发展第十个五年计划

“十五”能源发展重点专项规划

三、“十五”能源发展重点

(一) 煤炭

洁净煤技术开发 “十五”期间应对先进的洁净煤技术抓好典型示范，作好技术储备及商业化推广。根据项目前期工作进度和技术经济条件，“十五”时期初步考虑建设陕西神东、云南先锋和黑龙江依兰等煤炭液化工厂，**同时还要在辽宁抚顺、河南鹤壁、甘肃华亭和山东新汶等建设煤炭地下气化示范工程。**

煤炭地下气化技术----国家支持政策

国家计委、科技部关于印发当前优先发展的 高技术产业化重点领域指南（2001年度）的通知 计高技〔2001〕2392号

82、洁净煤技术

近期产业化的重点是：先进的煤炭洗选装置；大型水煤浆生产装置，水煤浆应用专用设备及高性能水煤浆添加剂；型煤加工与利用设备；大型煤炭气化及煤、化、电多联产装置；结合百万吨级煤炭液化示范工程的建设，加快对引进技术的消化吸收；**加强**增压循环流化床联合循环发电、**煤炭地下气化及整体煤气化联合循环发电等技术的产业化前期工作。**

煤炭地下气化技术----国家支持政策

关于发布《“十五”产业结构调整规划纲要》的通知 国经贸行业〔2001〕1125号

三、结构调整重点

3. 能源工业

以煤为基础，依托矿区其它资源，延伸煤炭产业链，大力发展坑口电站。发展洁净煤技术，推进洁净煤技术产业化。**加快建设煤炭液化、地下气化、煤层气开发与利用等示范项目。**加强矿区环境综合治理和安全生产建设。

煤炭地下气化技术----国家支持政策

国家计委关于印发国民经济和社会发展第十个五年计划科技教育发展专项规划（高技术产业发展规划）的通知

计规划〔2001〕712号

（二）重大工程和重点专项

1、十二大高技术工程

煤炭在今后相当长的时期内都将是我国能源的主体。“十五”期间，**要重点建设**大型循环流化床应用工程、水煤浆加压气化技术应用工程、整体煤气化燃气—蒸汽联合循环发电示范工程、增压流化床—蒸汽联合循环发电示范工程、水煤浆应用示范工程、**煤炭地下气化示范工程**、煤层气开发利用示范工程等。

煤炭地下气化技术----国家支持政策

国务院关于促进煤炭工业健康发展的若干意见

国发〔2005〕 18 号

五、加强综合利用与环境治理，构建煤炭循环经济体系

（十九）推进洁净煤技术产业化发展。发展改革委要制定规划，完善政策，组织建设示范工程，并给予一定资金支持，推动洁净煤技术和产业化发展。大力发展洗煤、配煤和型煤技术，提高煤炭洗选加工程度。积极开展液化、气化等用煤的资源评价，稳步实施煤炭液化、气化工程。**加快低品位、难采矿的地下气化等示范工程建设**，带动以煤炭为基础的新型能源化工产业发展。

煤炭地下气化技术----国家支持政策

中国资源综合利用技术政策大纲

2010年 第14号

中华人民共和国国家发展和改革委员会
中华人民共和国科学技术部
中华人民共和国工业和信息化部
中华人民共和国国土资源部
中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国商务部

公告

推进**煤炭地下气化**（UCG）技术的产业化，特别是加快具有井下无人、无设备，集建井、采煤、气化三大工艺于一体，适用于煤矿大量的煤柱，建筑物下压煤等呆滞煤量回收利用技术的研发和产业化。

陕西煤业化工集团有限责任公司 2014 年科研项目征集公告

一、煤炭领域

（四）煤地下气化

开展报废矿井或边角煤气化探索，研究**煤矿地下气化**在技术和经济上的可行性，为企业提供决策依据。

煤炭地下气化技术----国家支持政策

- ◆ 1979年联合国召开世界煤炭远景会议提出：“发展煤炭地下气化是世界煤炭开采的研究方向”。
- ◆ 1992年确定的我国科学技术发展纲要把“完成煤炭地下气化研究试验和建立商业性煤炭地下气化站”定为战略目标和关键技术。
- ◆ 江泽民主席于1994年亲自批示：“煤炭地下气化试验，从煤炭资源的充分利用以及经济效益来讲，值得进一步研究。”
- ◆ 钱学森认为：“等这项试验圆满成功之日，我们的资源概念也将革命了，是真正的新世纪了。”

煤炭地下气化技术----原理及其实现过程

UCG定义:

煤炭地下气化就是直接对处于地下的煤进行热作用和化学作用产生可燃气体的过程。

燃气:

燃气中的有效成分主要为一氧化碳（CO）、氢气（H₂）和甲烷（CH₄），煤气热值计算一般用如下公式：

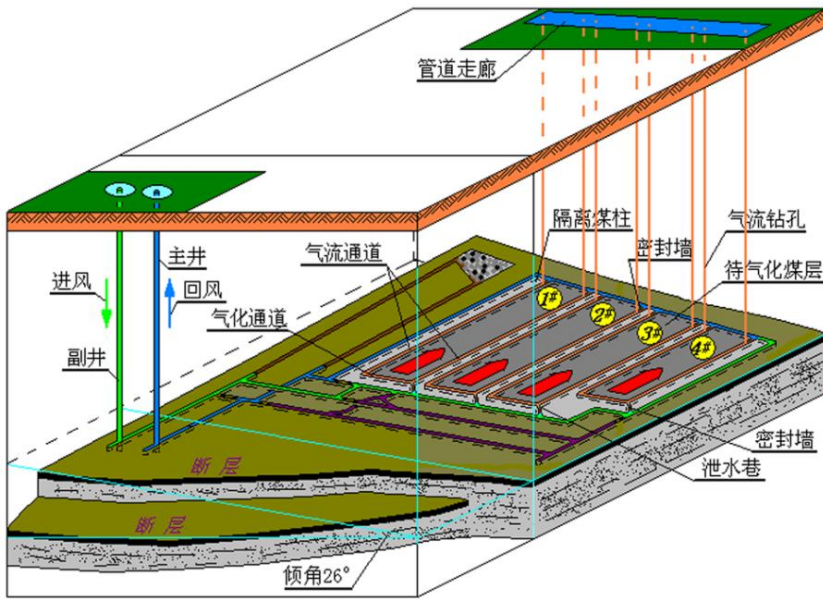
$$Q=3044*H_2\%+3018*CO\%+9510*CH_4\% \quad \text{千卡/标方}$$

气化剂:

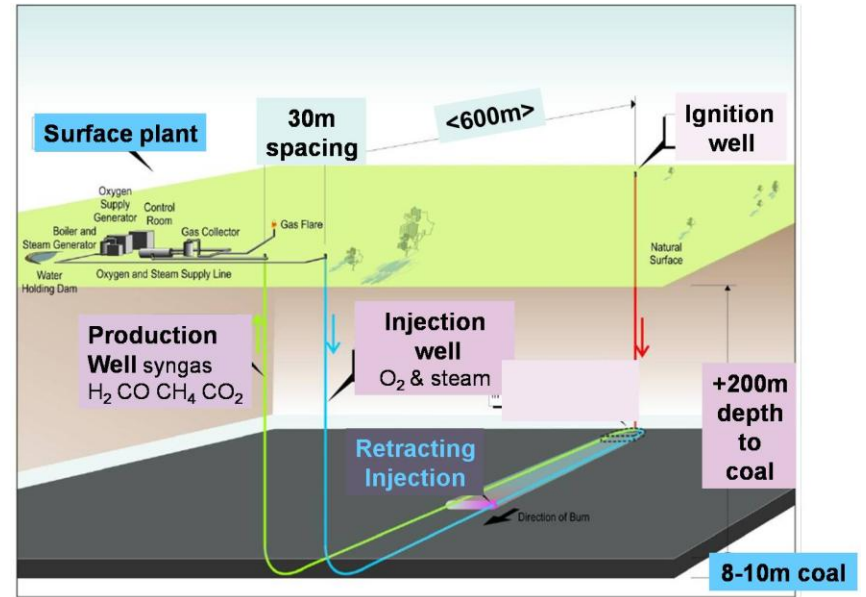
和地面气化一样，气化剂一般为：空气、空气-水蒸汽、富氧、富氧-水蒸汽；

煤炭地下气化技术----原理及其实现过程

- 有井式



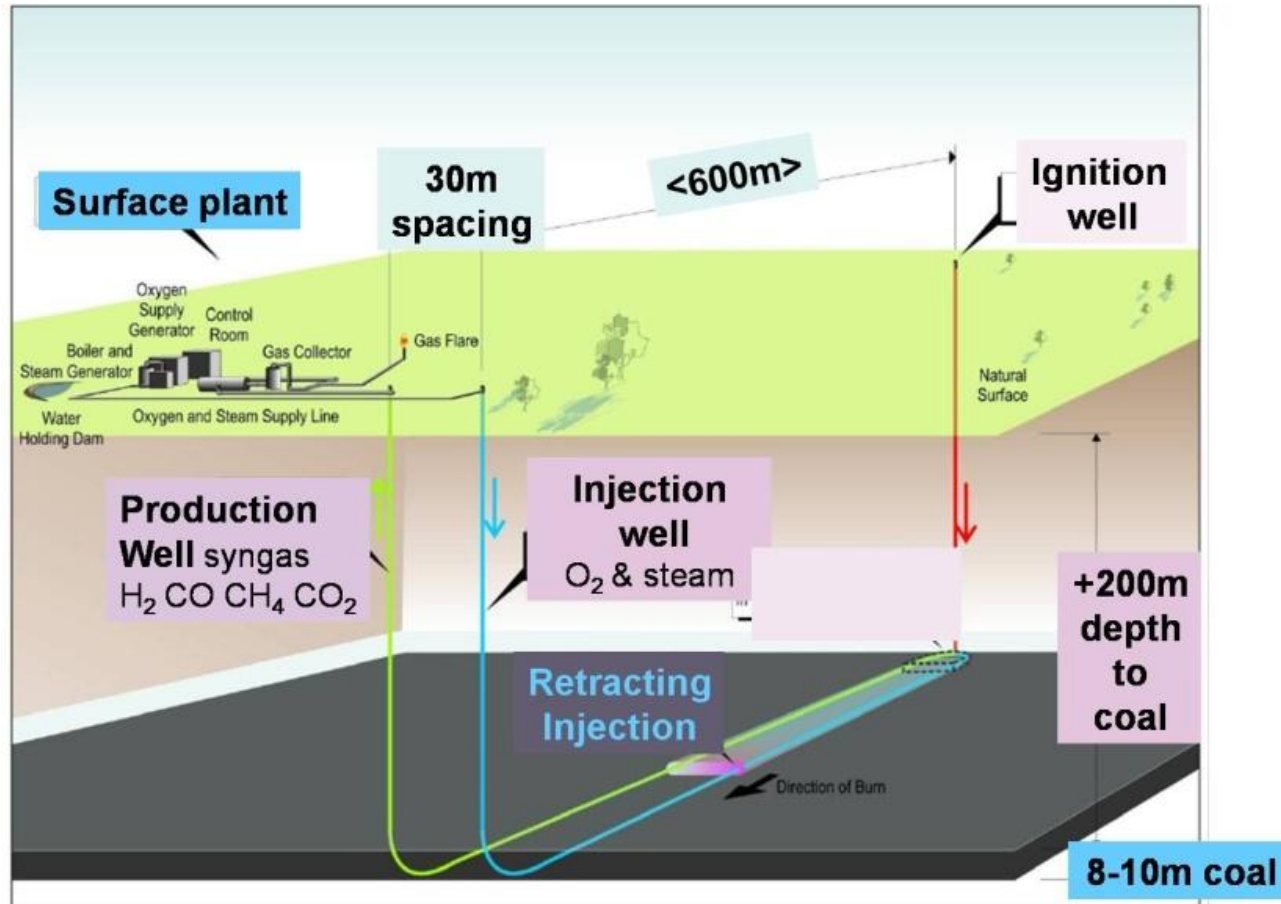
- 无井式



(图片由Peter Sallans提供)

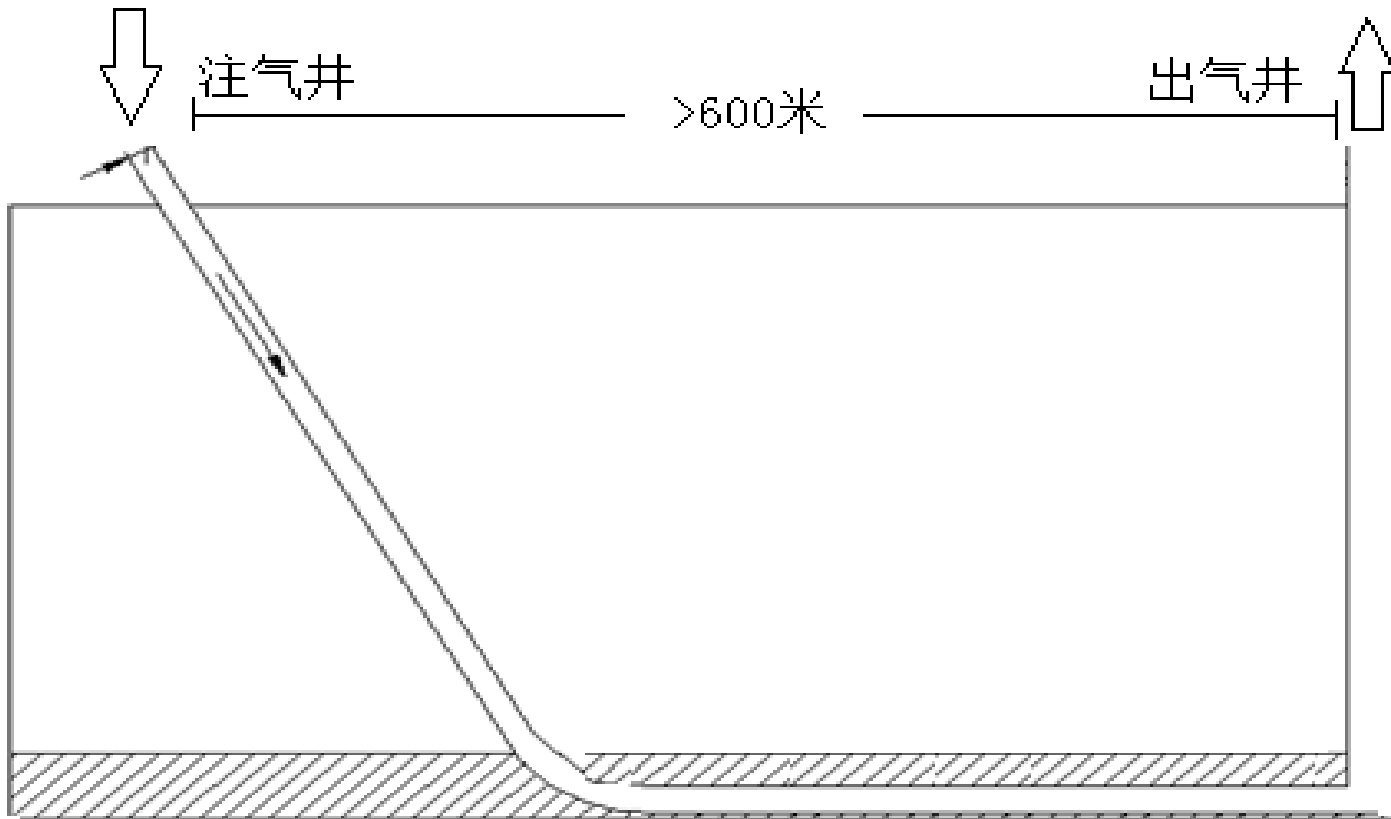
煤炭地下气化技术----原理及其实现过程

无井式煤炭地下气化的气化单元形式



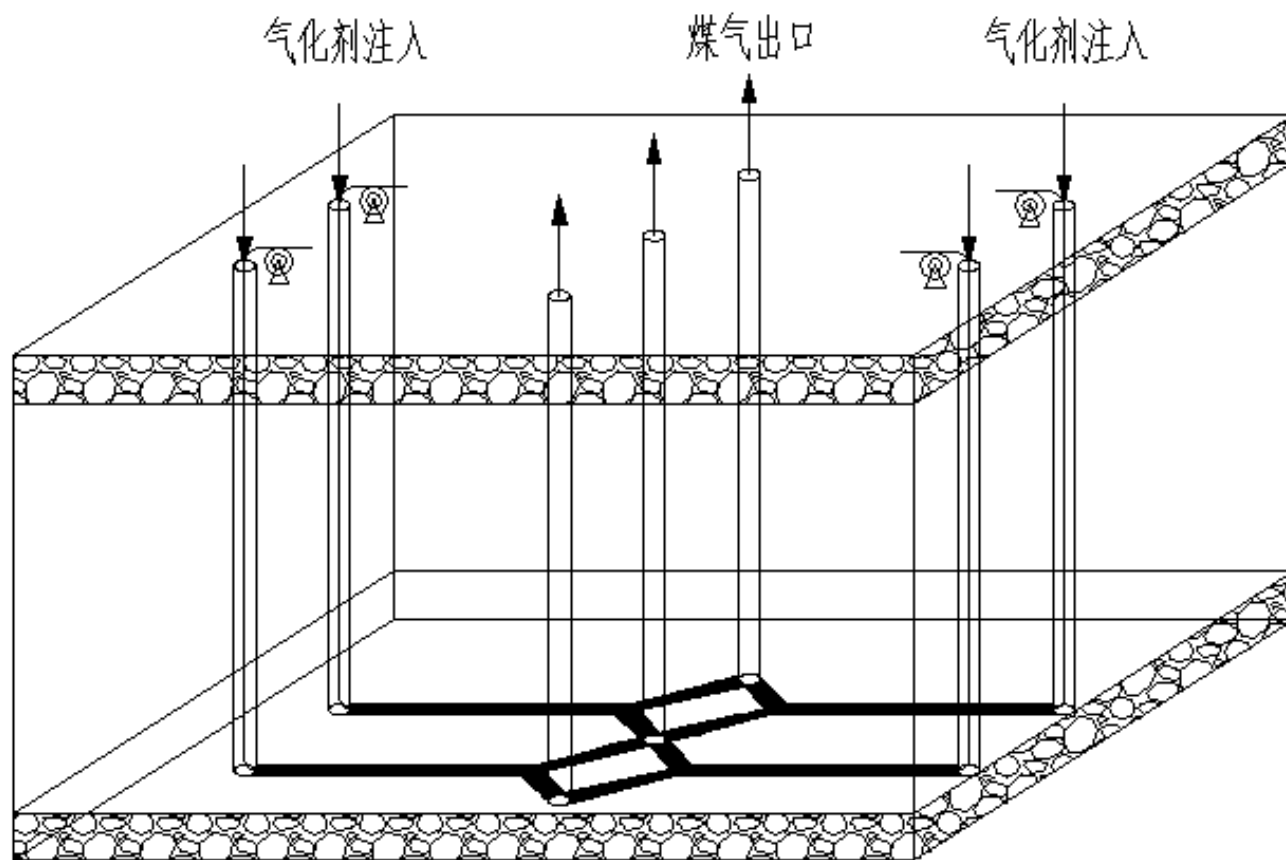
煤炭地下气化技术----原理及其实现过程

无井式煤炭地下气化的气化单元形式



煤炭地下气化技术----原理及其实现过程

无井式煤炭地下气化的气化单元形式



煤炭地下气化技术----原理及其实现过程

核心技术包括：

- ◆ 选址分析
- ◆ 气化通道的贯通
- ◆ 气化盘区的布置
- ◆ 气化控制工艺
- ◆ 地下环境的保护技术

◆ 选址分析

- 煤种
- 煤中的灰份
- 煤层厚度和深度
- 煤层倾角
- 断层区域
- 岩层性质
- 分枝和复合的矿床
- 地表及表土状态

煤炭地下气化技术----原理及其实现过程

◆ 气化通道的贯通

贯通方法	贯通速度 m/d	电耗量 Kw/m	鼓风耗量 m ³ /m	优点	存在问题
火力渗透	0.6~0.8	1500	1400	方法简单, 容易掌握, 设备不复杂	贯通速度慢, 电耗大, 不适用于烟煤层, 方向性较差
高压火力渗透	2.0~3.0	600~900	5000	贯通速度较快, 电耗较小	设备较复杂, 容易损耗围岩, 钻孔底部容易自燃, 方向性较差
电力贯通	2.0~5.0	800	----	贯通速度较快, 电耗较小, 由于电热作用, 丢煤量少	设备较复杂, 操作不够简单, 方向性差
水力压裂	4~10	500	----	贯通速度快, 电耗小	设备复杂, 操作不简单, 液流不易控制
定向钻进	10	83	----	贯通速度快, 电耗小, 通道面规整, 丢煤少, 方向性强	操作复杂, 成本高, 但有发展前景

◆ 气化盘区的布置

- 气化通道的长度
- 钻孔间距
- 钻孔的布置形式
- 辅助钻孔的设置

◆ 气化控制工艺

- 气化剂的选取
- 鼓风速率（随生产周期变化）
- 操作压力（与煤层所处的静水压力有关）
- 气化区动态数值模拟（温度场、燃空区的扩展）
- 点火技术
- 多注气点的可控后退技术

◆ 地下环境的保护技术

- 选址阶段的水文地质评价
- 气化过程中地下水的分析检测
- 气化后地下水的持续监测
- 污染物在煤层、岩层中的迁移模拟

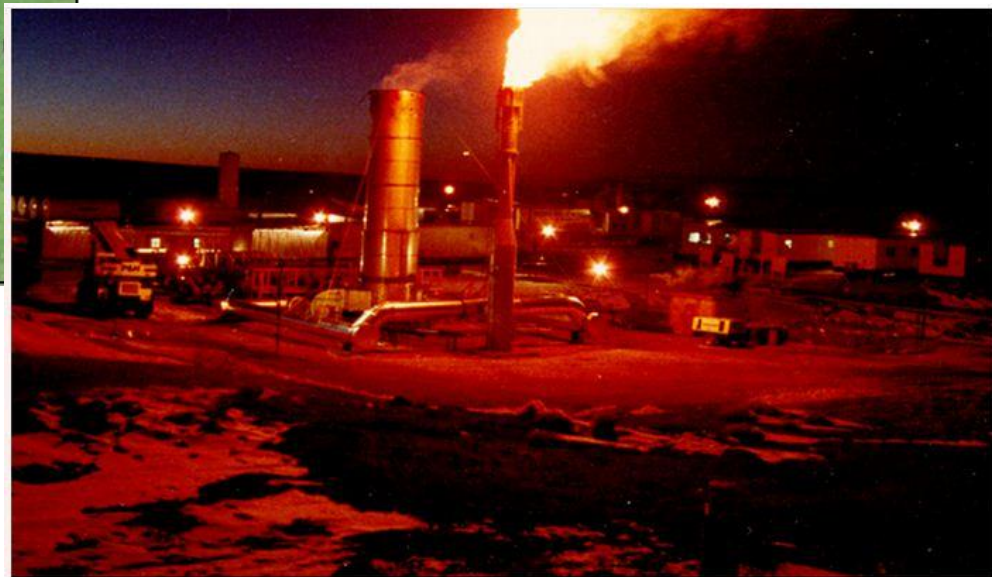
煤炭地下气化技术----技术发展历程及现状

- **1868年**德国科学家威廉•西蒙斯首先提出了煤炭地下气化的概念；
- **1888年**俄国化学家门捷列夫提出煤炭地下气化的设想；
- **1912年**英国化学家威廉•拉姆斯提出煤炭地下气化方案,并进行了世界上第一次试验；
- **1932年**前苏联建立世界上第一座地下气化站；
- **1951年**美国开始煤炭地下气化试验；
- ▣ **1958~1962年**，我国进行了一些煤炭地下气化试验；
- ▣ **1978~1986年**，比利时和德国联合在比利时的图林进行了煤炭地下气化试验；
- ▣ **1988年** 6个欧盟成员国组织成立欧洲煤炭地下气化工作组 进行深部煤层地下气化可行性的商业规模示范；
- ▣ **1999年**澳大利亚三家能源公司，在昆士兰州建立现场试验项目；
- ▣ **2006年**新奥集团在内蒙古进行煤炭地下气化项目建设。

煤炭地下气化技术----技术发展历程及现状



煤炭地下气化技术----技术发展历程及现状



Rocky Mountain Field Test of UCG near Hanna, Wyoming (1987-1988)

煤炭地下气化技术----技术发展历程及现状



煤炭地下气化技术----技术经济评价

组分	干燃气组成（体积%）	
	空气气化	富氧气化
CO+H ₂	20.3	45.2
CO ₂	23.3	39.0
CH ₄	4.9	11.3
N ₂	50.3	2.5
低位热值 (MJ/Nm ³)	4.1	9.5

褐煤，500米深，煤层厚度10米

煤炭地下气化技术----技术经济评价

燃气组成（体积%）	煤层（1300米深）	去除CO ₂
CO+H ₂	19.2	35.7
CO ₂	46.3	<1.0
CH ₄	33.3	62.0
N ₂	1.2	2.2
低位热值（MJ/Nm ³ ）	14.4	26.8

煤炭地下气化技术----技术经济评价

参 数	地面气化	地下气化	单 位
合成气 (CO+H ₂)	78	45~50	vol%
低位热值	2200	2270	kcal/Nm ³
合成气成本	0.46	0.13~0.19	RMB/Nm ³
	0.22	0.06~0.08	RMB/1000kcal

褐煤，500米深，煤层厚度10米

煤炭地下气化技术----技术经济评价

以气化**100**亿吨煤的规模计：

合成天然气

可合成天然气**3.15**万亿Nm³；（中俄签署天然气协议，每年供气**380**亿方，30年合约，总计**1.14**万亿方）

合成燃料油

可合成燃料油**29.41**亿吨；（中国第一大油田大庆油田**2013**年原油总产量**4000**万吨）

清洁发电

发电总量**10.56**万亿kwh，降低CO₂排放量**44.5**亿吨；（三峡电站**2012**年全年共发电**981.07**亿千瓦时）

煤炭地下气化技术----技术经济评价

合成天然气

- 1、 UGC规模100万Nm³/天(2200kcal/Nm³)； (原料气60.28万Nm³)
- 2、 合成天然气规模13.26万Nm³/天（约92吨 LNG）；
- 3、 总耗煤量： 421.37吨/天； （100万吨储量的煤炭资源，可气化年限约7年）
- 4、 耗水（补充水）： 约730吨/天； (约为地面制气耗水的80%)
- 5、 耗电： 初步估计4.0万度/天；
- 6、 项目总投资： 约1.72亿元；
- 7、 每立方米天然气的成本约： 0.57元。

煤炭地下气化技术----技术经济评价

联合发电

煤炭地下气化 (UCG) 部分

煤发热量 (kcal/kg)	煤气热值 (kcal/Nm ³)	煤气产量 (万 Nm ³ /天)	吨煤产气量 (Nm ³)	年气化煤炭 (万吨)
4300	780	100	3750	8.9

联合循环发电(CCPP)部分

燃气轮发电机组 (MW)	余热锅炉 (吨)	蒸汽轮发电机组 (MW)	年发电量 (亿度)	发电成本 (元/kwh)
7.9	22.58	3.9	0.94	0.19

降低CO₂排放量3.96万吨/年，总投资约1.6亿元，发电效率可达50%以上。

煤炭地下气化技术----技术经济评价

制取氢气

组分	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	Σ
煤气 v%	42.18	0.1	0.76	3.65	24.06	29.25	100

氢气：31.44万Nm³/d（1.31万Nm³/h），纯度>99%；

变压吸附制氢装置投资约3600万元；变压吸附系统的主要公用工程消耗为：电600kwh/h，水42吨/h。

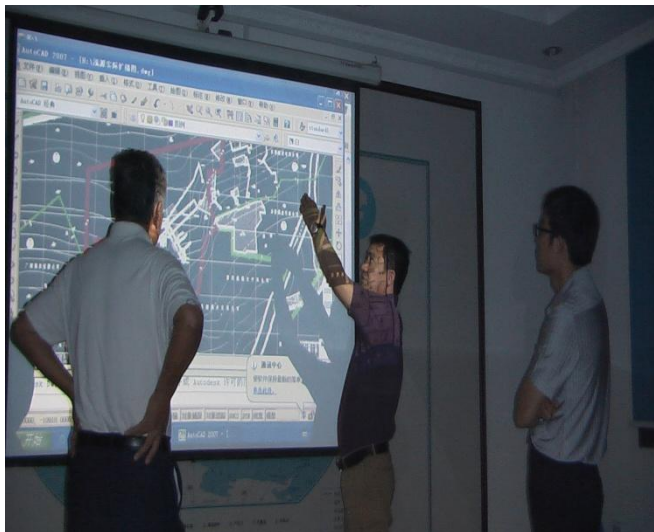
总投资约1.3亿元，氢气成本约0.62元/Nm³（6.9元/kg）。

煤炭地下气化技术----协同创新中心

华北科技学院隶属国家安全生产监督管理总局，其前身是原国家煤炭工业部 1984 年投资兴建的北京煤炭管理干部学院；
国家安监总局党校、中国煤矿安全培训中心

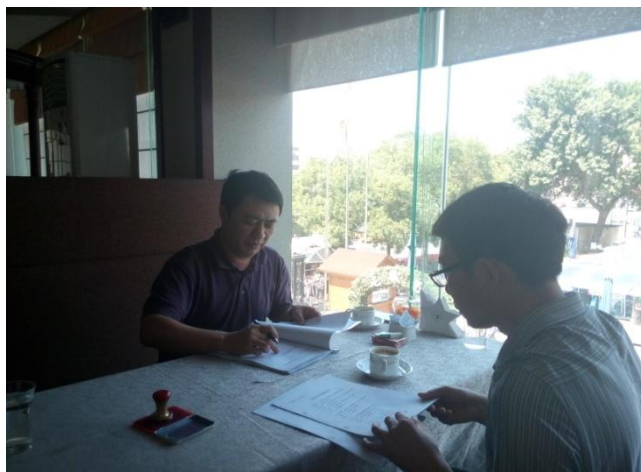
河南省平顶山泓利煤焦有限公司

煤炭地下气化技术-- 中国科学院、华北科技学院与泓利煤焦战略合作



董事长吕建华先生陪同李文军博士考察河南省平顶山泓利煤焦有限公司，共商合作事宜

董事长吕建华先生和李文军博士签订战略合作协议



煤炭地下气化技术-- 中国科学院、华北科技学院与泓利煤焦战略合作



中国工信部军民司司长调研、慰问中国炼焦和煤化学工业股份有限公司“煤炭地下气化技术产业化”研发团队



煤炭地下气化技术----泓利煤焦协同创新中心



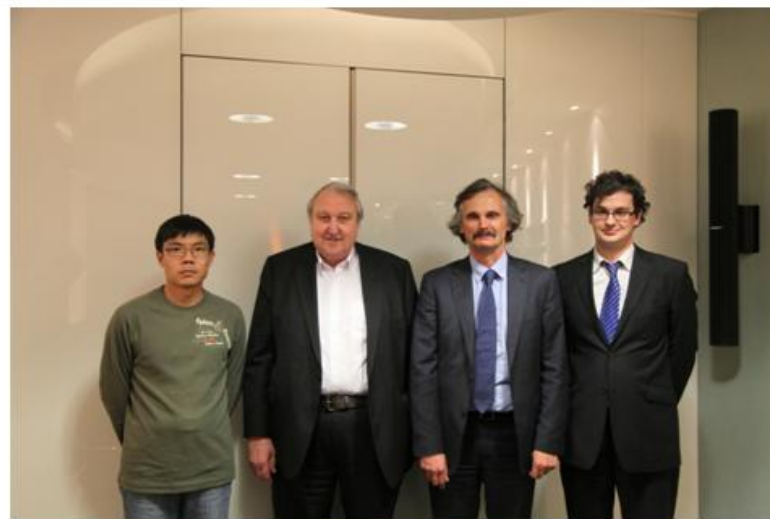
煤炭地下气化技术----协同创新中心



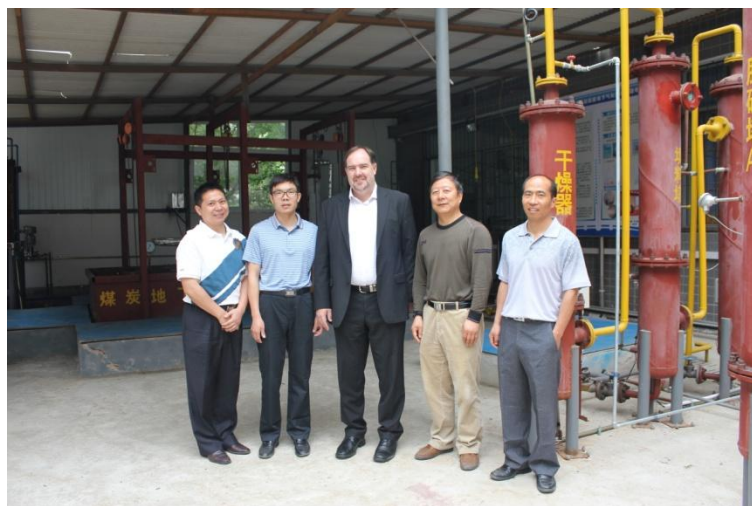
煤炭地下气化技术---协同创新中心



煤炭地下气化技术----协同创新中心



煤炭地下气化技术---协同创新中心

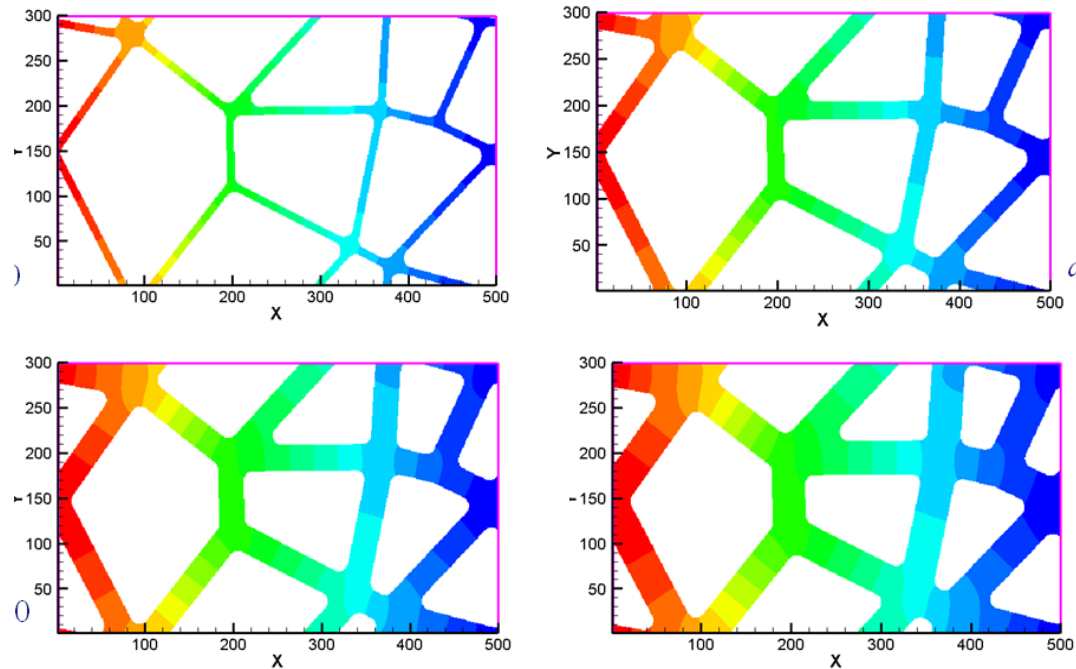


煤炭地下气化技术----协同创新中心

李文军博士与（中国科学院 过程所）、泓利煤焦

“煤炭地下气化过程中地下水污染物迁移模拟”

（基于格子Boltzmann方法研究多孔介质孔隙特性及污染物的运移规律）



煤炭地下气化技术----协同创新中心

- 1、技术发明专利16项；
- 2、发表核心学术论文7篇，其中EI检索2篇；
- 3、三年来“协同创新中心”共培养大学生16名；
- 4、获得国家财政资助总计538万元。

煤炭地下气化技术----泓利煤焦煤炭地下气化项目

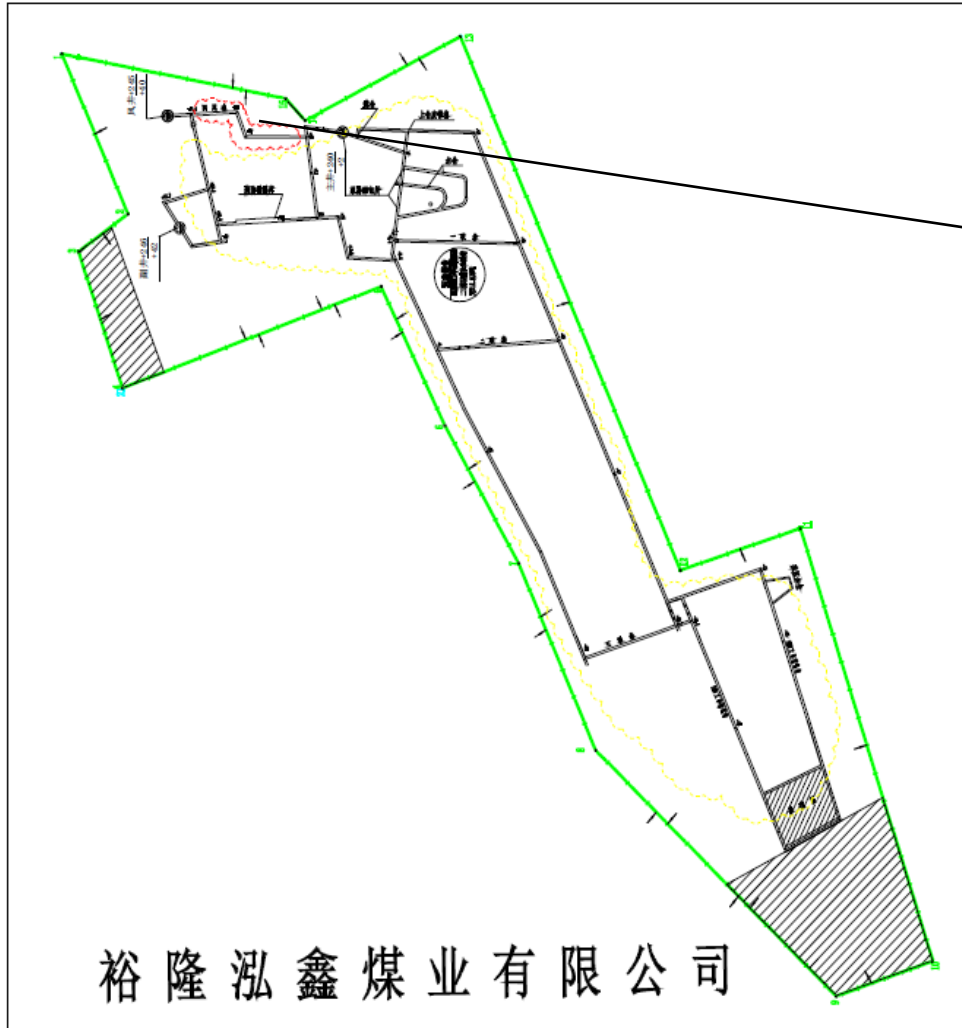
先导性工业试验项目

- ◆ 泓畅煤业裕隆泓鑫矿业（急倾斜煤柱混合式地下气化）
- ◆ 泓利宝焦（无井式煤炭地下气化）

产业化项目

- ◆ 泓畅煤业裕隆泓鑫矿业（呆滞煤层的混合式地下气化）
- ◆ 兴盛煤业裕隆泓源矿业（呆滞煤层的混合式地下气化）
- ◆ 泓利宝焦（无井式煤炭地下气化）

煤炭地下气化技术----泓利煤焦煤炭地下气化项目



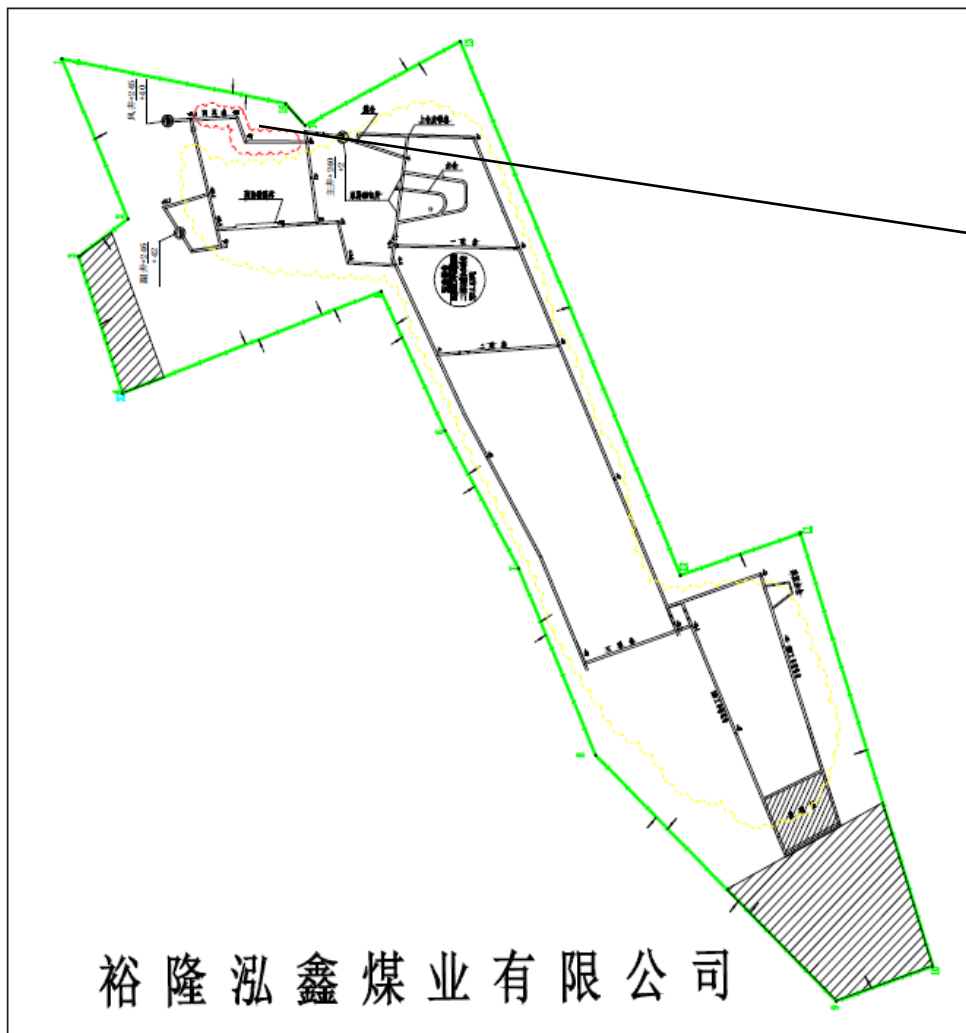
先导性工业试验项目

◆ 泓畅裕隆泓鑫矿业

(急倾斜煤柱混合式地下气化)

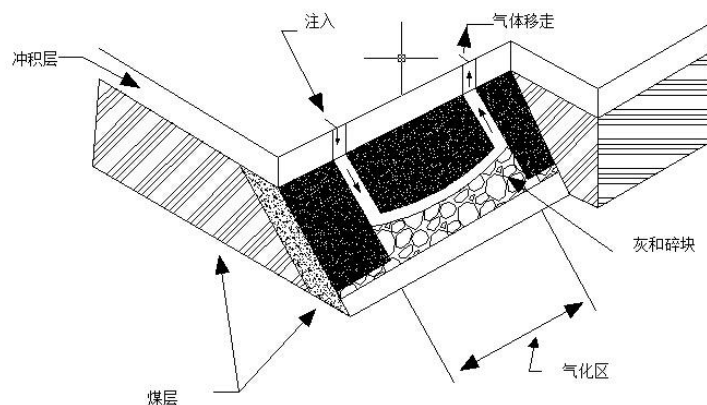
- 1、倾角大于 70° ；
- 2、煤柱高约70米，最宽处约6米，最窄约2米，走向约220米；可气化煤资源量约8.6万吨；
- 3、日产气规模为 30万Nm^3 ，试验周期约18个月；煤气热值约 2400kcal/Nm^3 ；煤气用于现有机组发电。

煤炭地下气化技术----泓利煤焦煤炭地下气化项目



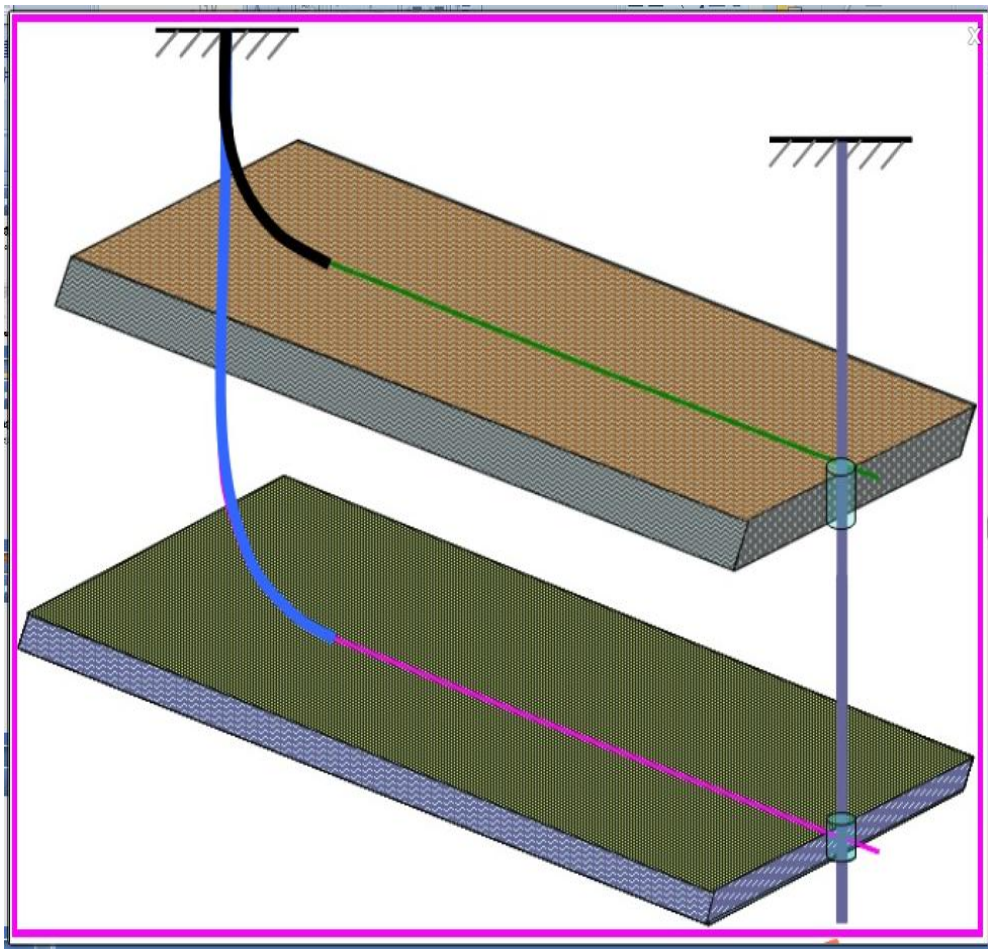
先导性工业试验项目

◆ 兴盛 裕隆泓鑫矿业
(急倾斜煤柱混合式地下气化)



急倾斜煤柱气化炉型

煤炭地下气化技术----泓利煤焦煤炭地下气化项目



无井式煤炭地下气化炉型

先导性工业试验项目

◆ 泓利宝焦（无井式煤炭地下气化）

- 1、气化煤层：泓利焦化厂及电厂附近煤层，无井式气化单元的进出气钻孔均布设在厂区范围内，煤气直接用于现有机组发电；
- 2、两层煤同时气化；日产气规模约50万Nm³，煤气热值约2400 kcal/Nm³，试验周期约2年。

煤炭地下气化技术----泓利煤焦煤炭地下气化项目

产业化项目

- ◆ 泓畅裕隆泓鑫矿业（呆滞煤层的混合式地下气化）
- ◆ 兴裕隆泓源矿业（呆滞煤层的混合式地下气化）
- ◆ 泓利宝焦（无井式煤炭地下气化）

-
- 1、产业化项目总规模为2100万Nm³/天，分三期建设，每期工程规模为700万Nm³/天，全部煤气用于天然气合成，年合成天然气15亿Nm³（年耗煤约210万吨）；
 - 2、产业化项目在上述3个矿区开展，生产周期15年以上；
 - 3、气化工艺含无井式和混合式，富氧-水蒸汽气化，煤气中有效合成气比例达到45%以上。

谢谢大家!

李文军 13811116907@163.com