

煤炭地下气化

学 术 论 文 选 集

——余力教授教学科研五十六周年纪念



二〇〇三年三月·北京

TD84-53
Y-479

煤炭地下气化学学术论文选集

——余力教授教学科研五十六周年纪念

江苏工业学院图书馆
藏书章

二〇〇三年三月
北 京



余力教授

余力教授简历

1923年生，江苏省扬州人。1947年毕业于上海交通大学土木系，1946年加入中国共产党，1956年在前苏联莫斯科矿业学院获博士学位。中国矿业大学教授、博士生导师、江苏省煤炭学会副理事长、第一、二、三、四届中国煤炭学会理事，是中国特殊凿井学科与煤炭地下气化学科的奠基人。长期从事矿山建设学科的教学与科研工作，曾参加指导多项冻结法和泥浆淹水沉井法凿井工程的审定。1981年在曲阜单家村煤矿首创泥浆淹水沉井深192.75米的世界纪录，获煤炭部科技进步一等奖。目前正进行煤炭地下气化高科技的研究。领导与创建了煤炭工业地下气化工程研究及煤炭地下气化中心与实验室，开发了国家科技部“S-863”项目及教育部“211工程”

学科建设项目的工作，建立了学术梯队。首创了以“长通道、大断面、两阶段、正反向鼓风、启动能源、压抽相结合”等为内容的煤炭地下气化新工艺理论与实践体系。目前已完成了半工业性与工业性试验，建成了唐山刘庄、新汶孙村、肥城曹庄、山西昔阳等地下气化站，并通过了省部级、计委组织的专家鉴定会，认定该工艺属世界先进水平。运用该技术将给煤炭工业带来一次深刻革命，将传统的物理采煤法改为化学采煤，彻底改

中国矿业大学煤炭地下氧化试验，
对煤炭资源的综合利用以及经济效
益来讲值得进一步研究。

江泽民
一九八四年二月十四日

江泽民主席为煤炭地下气化中心的题词

变煤炭生产与消费的模式，并促进煤化工、交通动力、氢能的应用以及煤气发电、城市煤气等行业的发展。余力教授因此获得国家“八五”科技攻关重大成果奖及先进个人证书与奖章，全国煤炭工业劳动模范。前后培养了硕士生17名、博士生10名。主要著作有《特殊凿井》和《沉井法凿井》等。主要论文有《煤炭地下气化的过去和未来》、《泥浆淹水沉井新工艺》、《特殊凿井法的发展》、《煤炭地下气化制氢的理论与实践》、《煤炭地下气化及其在我国的发展前景》、《开发与研究煤炭地下气化技术的思考》、《煤炭地下气化新工艺LLSTUCG可否实现商业化的思考》。科技理论创新必须从实践产生，这是余力教授一生的信仰。



江泽民主席与余力同志合影留念

序

一生从事“地下”工作

六十年前，祖国上空乌云密布，山河破碎，国难当头。在党的领导和革命前辈的指引下，我投身到反抗国民党反动派的学生地下运动中，受到国民党反动政府的通缉，由张公纬改名为余力。祖国解放，在国家建设的需要下，我为开掘地下的煤炭而学习、而教学，继而搞科研。岁月匆匆，当我六十三岁的时候，我看准了“煤炭地下气化”这一课题的社会效益和环境效益，毅然开始了新的科学研究和工程实践。

当今年我进入八十周岁，回顾我这二十年的历程，聊以自慰，自问在耕耘科研、现场实践中，尽了自己微薄之力。现在煤炭地下气化已经从实验阶段走向产业化，在河北、山东、山西等地建成了十三座煤炭地下气化炉。我认为取得的业绩，要归因于各部门领导的支持和资助，要归因于在现场共同战斗的同事和我的学生们的共同努力。

“但得夕阳无限好，何须惆怅近黄昏”，值此八十岁之际，将我们过去的部分煤炭地下气化论述整理成册。希望它能得到有关领导继续予以支持，希望得到同行们的指正，使煤炭地下气化更快地完善和发展，希望它能使煤炭地下气化的后来者了解这一领域的概貌和发展方向而愿意加入我们的队伍。如果煤炭地下气化能使我们祖国的煤炭资源充分地利用，能为国家创造财富，能使我国的环境污染得到改善，能为后代子孙造福，我此生心愿足矣。

江主席在十六大报告中指出“实践基础上的理论创新是社会发展和变革的先导。通过理论创新推动制度创新、科技创新、文化创新以及其他各方面的创新，不断在实践中探索前进，永不自满，永不懈怠，这是我们要长期坚持的治党治国之道”。我认为这也是治学之道，原与同行共勉。

余力

2003年3月28日于北京

目 录

1. 煤炭地下气化的过去与未来	余力(1)
2. 研究与开发煤炭地下气化技术	余力(9)
3. 煤炭地下气化制氢的理论与实践	梁杰 余力(13)
4. 反向两阶段煤炭地下气化方法的研究	梁杰 余力(17)
5. 煤炭地下气化制氢技术的研究	梁杰 余力(22)
6. 急倾斜煤层无井式地下气化的试验研究	梁杰 余力 秦志红(27)
7. 煤炭地下气化与氢能的发展	余力 鲍德佑(31)
8. 煤炭资源开发与利用新方法——煤炭地下气化技术	余力 梁杰 余学东(35)
9. 煤炭地下气化中 CO ₂ 反应特性及影响因素	刘淑琴 梁杰 余力(39)
10. 煤炭地下气化综合利用前景	刘淑琴 梁杰 余力(44)
11. 煤炭地下气化过程稳定控制方法的研究	梁杰 刘淑琴 余力(49)
12. 唯物辩证法在煤炭地下气化新工艺中的应用	余力(54)
13. 再论煤炭地下气化制氢	刘淑琴 梁杰 余力(58)
14. 培养煤炭地下气化学科人才的思考	余力(63)
15. 煤炭地下气化新工艺 LLTS-UCG 可否实现商业化的思考	余力 刘淑琴(64)
附件	(69)
三项专利	(69)
山东省计委报告	(70)
《煤矿现代化》文章	(73)
钱学森四封信	(76)
《人民日报》文章——“热望”	(80)
鉴定书	(82)
有关报纸报道	(85)

煤炭地下气化的过去与未来

余 力

煤炭地下气化是一种融多学科为一体的综合性能源生产新技术，属第二代采煤方法，其任务是将地下煤炭资源原地转化为可燃气体。它将建井、采煤、气化三大工艺合而为一，将物理采煤转变为化学采煤，即把高分子固体煤转变为低分子结构的可燃气体，抛弃了全部庞大而笨重的采煤设备与地面气化设备，并大幅度减小了建井规模，具有安全好、投资少、效率高、成本低、见效快、污染少等优点，已引起人们的普遍关注。

目前许多产煤国家对这项新技术都先后进行试验与试用，尤其是那些煤炭采深超千米的国家，为了合理开发深部煤层，对这项技术更为重视。

该项技术的发展状况，因各国政治、经济、资源和科技水平的差异而有所不同，现分别作如下介绍。

一、苏联

早在 1888 年著名化学家门捷列夫就曾预言：“随着时间的推移，这样的时代可能要实现，即煤不必从地下开采出来，而是在地下转化为可燃气体，再用管道输送至遥远的地方”。随后又提出在地面用钻孔工艺建立地下气化发生炉，并极力主张将地下气化站与电厂相结合，使电力输送到更遥远的用户。他的这些光辉论点，成为日后发展煤炭地下气化技术的指路明灯。

二十年后，英国化学家威廉·拉姆赛在都贺姆煤田进行地下气化获得成功，并用该煤气发了电。伟大导师列宁获悉这一消息后，在《真理报》上以“一个技术上的伟大胜利”为题，撰文赞扬了该技术对社会进步将产生的深远影响（见列宁全集 19 卷 41 页）。

在列宁的倡议下，1930 年苏共中央和苏联人民委员会作出了对煤炭地下气化进行试验的决议，1932 年终于在顿巴斯矿区建立了世界上第一座有井式地下气化站（见图 1）。

1934 年，顿尼茨煤化工学院马特维夫教授提出了气流式地下气化方案（见图 2），并取得试

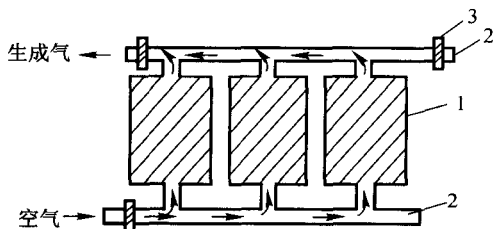


图 1 室式气化炉

1—室内煤层被炸碎；2—平巷；3—隔墙

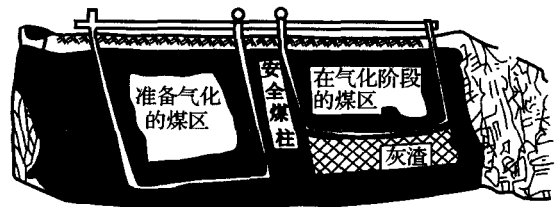


图 2 气流式气化炉

验成功。1938 年对气流式 U 型地下气化炉进行的工业性试验也获得成功。在此基础上，1942 年苏联在莫斯科近郊煤田又试验成功无井式地下气化炉，同时还发展了各种贯通技术，大大提高了煤炭地下气化技术的水平，从而在苏联和世界各国得到推广。

1946~1965 年是苏联煤炭地下气化高度发展时期，设立了地下气化管理总局，附属有研究院与设计院，出版了专业杂志。在总局领导下，全苏几个大矿区相继建成若干大型地下气化站，使煤气产量逐年大幅度上升，截至 1965 年已达 25 亿米³。

可是在本世纪六十年代，由于苏联大量开发石油与天然气，使煤炭地下气化站的发展停滞不前，遭到冷落。在此低潮期间，苏联地下气化专家总结国内外经验，围绕提高煤气热值，降低成本进行了大量研究，找到有效措施。加之，苏联许多矿井的采深都已接近千米，生产条件恶劣，生产成本上涨幅度较大，苏联能源管理部门又将希望寄托在地下气化技术上，宣布到 2005 年 2010 年，使每年煤炭地下气化产量按热值折算为商品煤，等于全苏矿井法采煤总量的 27%。计划用地下煤气每年发电 2000 亿度，生产化工原料 2500 万吨。

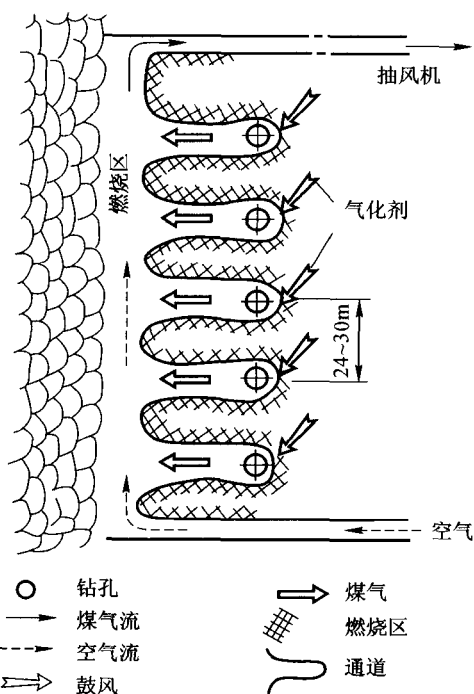


图 3 煤炭地下燃烧工艺

1982 年莫斯科矿业学院的教授们总结以往地下气化经验，提出用煤炭地下燃烧工艺，回收被以往采煤工艺所遗弃的资源——煤柱。目前正在顿巴斯、莫斯科近郊和库兹巴斯等煤田进行工业性试验，欲将煤的热值转化为热能（热水与蒸汽），以供民用或工业使用，使煤炭资源利用率提高到 90%，同时还可获得化学能（H₂、CO、CH₄）。所采用的煤炭地下燃烧工艺示于图 3。该工艺主要是采用抽风机造成负压，将燃烧产生的高温气体（300~600℃）通过热交换器变为蒸汽。

为了更充分利用地下煤炭资源，苏联今后的煤炭开发方向是将预抽瓦斯、采煤、气化三大工艺结合起来进行设计与生产。

二、美国

美国地下气化试验始于 1946 年。首先在亚拉巴马州高加斯城附近的浅部煤层中进行试验，利用有井式施工，采用空气、水蒸气、富氧空气等不同气化剂作了试验，煤气热值为 0.9~5.4 光焦耳/米³，但因煤气漏失严重而告终。1953 年试验成功电力贯通无井法地下气化工艺。1968 年海湾研究与开发公司在美国东部

与西部各选一处，作了地下气化经济技术对比性试验，最后结论建议首先开发西部煤田。所以在七十年代石油禁运危机期间，美国能源部组织若干大学与科研机构，在美国西部怀俄明州进行了大规模有计划的科学试验。开发出四路不同类型的地下气化炉（见图 4）。与此同时，各私人企业也在该领域进行了开发，如得克萨斯公共事业公司于 1974 年向苏联购买专利，雇用苏联专家，并吸收得克萨斯州工业大学和另外八家公司共同进行了煤炭地下气化的开发。

美国在取得上述成功试验基础上，为了用气化法开采其 1000 余亿吨急倾斜煤层资源，于 1981 年曾投资 2 亿余美元进行了以富氧水蒸气为气化剂的试验，获得了管道煤气和天然气，并

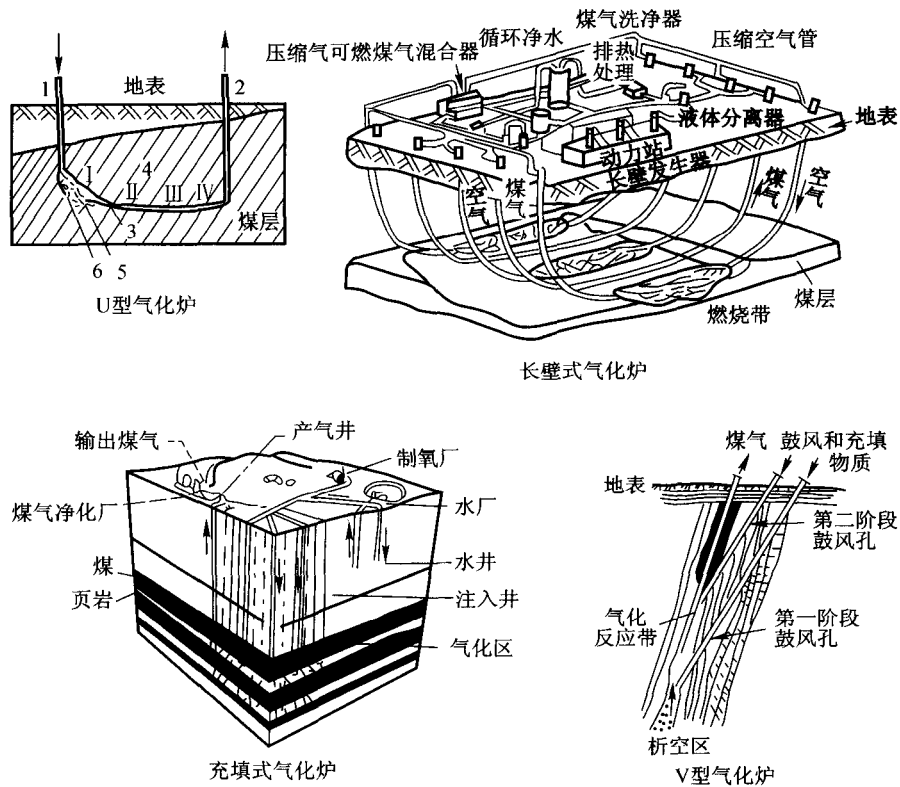


图4 美国不同类型地下气化炉

用于发电和制氨。

在此期间，最引人注目的成就是1987年11月至1988年2月在怀俄明州汉纳试验基地，就深110米、厚7米的煤层进行的代号为洛基山-1号的试验，为煤炭地下气化技术走上商品化道路创造了条件，因为该项试验解决了加大炉型、提高生产能力、降低成本、提高煤气热值的问题。

总之，由于美国在过去二十余年投入了巨额资金，进行了大量试验，获得了丰富的经验，使煤炭地下气化技术已日臻完善，美国能源部才得已宣称，一旦再发生能源危机，将广泛使用该技术生产高热值（已达11兆焦耳/米³）地下煤气，以解决国家之急需。

三、英国

1912年英国化学家威廉·拉姆赛在都贺姆煤田进行了世界上首次现场试验，并取得了成功。1914年他去世后，较长一段时期没有进行过试验。1949年又开始恢复试验。截止1956年，先后共进行过60次试验，燃烧了5千万吨煤。煤层厚度一般为1米左右，深度从4米到50米。最初是在牛曼·斯平尼露天煤矿进行，后又在巴通煤田进行。曾进行了U型炉火力、电力和定向钻孔等贯通试验。对不同气化剂也进行了燃烧试验，还进行了单孔炉、盲孔炉、多角形（四角、六角）炉的试验。积累了丰富的资料。英国认为，无井式不经济，仍转向有井式地下气化试验。曾在巴通煤田沿煤层走向开凿了2个井筒，相距19米，在深25米处遇着煤层，并沿其倾斜方向在二个井底部开凿了互相平行的煤巷，并在煤巷中每隔9米开凿一个钻场，在各钻场利用钻机沿煤

层走向分别钻 4 个水平孔，又在各水平孔两端各打 1 个垂直孔，共 8 个孔作为进排气孔与水平孔相通。最后将水平孔与煤巷相通处用混凝土密封，这就建成了四条直线式复合炉（见图 5），取得了较为满意的成果。在此基础上又建了一所用盲孔炉组成的复合炉，盲孔炉在斜巷二侧布置，炉长 90 米，沿煤层走向钻盲孔，盲孔之间距为 9 米，整个地下气化炉所占面积为 61720 米²，气化煤 20 万吨，产出煤气已直接用于一个 5000kW 电厂发电。

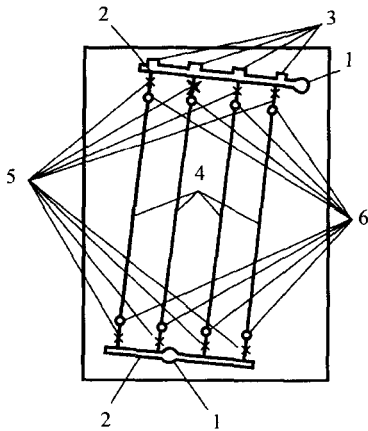


图 5 直线式复合炉

1—竖井；2—煤巷；3—钻场；
4—长通道；5—密封墙；6—进排气孔

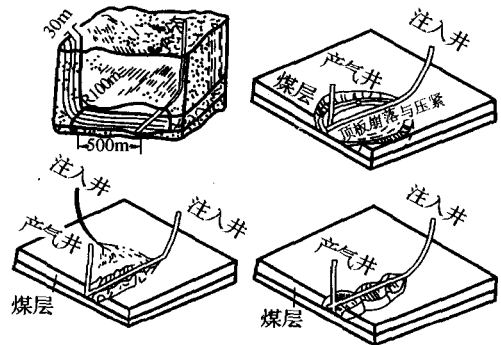


图 6 欧共体地下气化炉型式

由于英国现有煤矿的采深大多已超千米，工作条件恶劣，已开始向煤炭地下气化转变。另外，由于北海与本国沿海附近蕴藏有极为丰富的煤炭资源，且水深仅 25 米左右，已计划利用海上采油技术进行海上煤炭地下气化开发，为缓解其能源不足找到新路。

四、法国、西德和比利时

自七十年代石油危机开始，法国、比利时、西德、西班牙和东欧国家也开始重视煤炭地下气化技术的研究与开发。

法国于 1976 年由煤炭部、气化公司、石油研究所、地质矿山研究局共同组成煤炭地下气化研究组织，并于 1979~1980 年在法国北部的布津阿特瓦进行了首次深度为 1170 米的气化试验。1981 年又在福尔克芒进行了 1300 米深的地下气化试验，并在南部的勒舒也进行了试验。

西德与比利时于 1976 年 10 月，签定了关于共同开发煤炭地下气化技术协定。对西德和比利时来说，大于 1000 米的深部都埋藏着大量煤炭。初步估计，西德煤炭埋深按 2000 米计算（煤层厚度 1.0 米以上），其储量可达 2870 亿吨。5000 米深处为 5000 亿吨。这样深度的煤层，不可能沿用现行开采方法，而只能采用地下气化方式开采。因此，西德阿赫恩工业大学与比利时林堡大学，从 1979 年起在比法两国交界处的图林进行了深部煤层地下气化试验。

图林试验是成功的，探索了进行深部煤层地下气化的途径，取得不少宝贵的经验与教训，但距实现工业性生产，尚有许多问题需要解决。因此，1989 年在荷兰集尔夫特市由英、法、西德、比利时、意大利、西班牙和荷兰等国组成欧州煤炭地下气化研究协会，并制定了日后计划。所选用的地下气化炉的型式见图 6。

这些国家其所以要联合研究开发深部煤层地下气化技术，是因为它们的浅部煤层已开发殆

尽，只能转向千米以外深度的煤层，这就遇到了不少难以克服的困难，如地温高、地压大等，而采用地下气化法开采是最适宜、最经济、最有发展前途的路径。

五、波兰

波兰没有石油与天然气资源，唯一的能源资源是煤炭，虽无其他能源与其竞争，但为了更合理、更经济地开发煤炭资源，对作为第二代采煤方法的煤炭地下气化是十分重视的。

早在 1949 年，波兰就与比利时、法国在比利时索柯德矿共同进行过地下气化试验。1951 年设立地下气化研究所，并成立了地下气化学会。1955 年在卡拉维辛城郊建立了第一座试验站，气化煤层埋深超过 100 米，煤热值 16~20 兆焦耳/公斤，煤层中水含量达 46%。

从 1955 年开始进行有井式地下气化试验，与此同时，对电力法贯通煤层也进行了研究。实践证明，后者的经济效果尚不理想。用有井式气化工艺，以富氧鼓风，可稳定得到高达 8.3 兆焦耳/米³ 热值的煤气，化学利用系数达 70%，气化过程连续不断，而该气化煤层的厚度仅 1.1 米左右，氧气送入量为 200 米³/小时。

波兰的有井式煤气发生炉，有其独特之处，其费用比英国有井式煤气发生炉还低。因此，波兰对有井式气化法给予很高评价。此后，波兰的试验大多采用有井式煤气发生炉。

波兰还对烟煤与褐煤的气化进行了对比试验。发现每公斤褐煤能回收 16 兆焦耳的热量，而烟煤为 38.4 兆焦耳，并且认为用富氧鼓风，不仅在技术上可行，而且在经济上也是合算的，已列为今后波兰地下气化试验的方向之一。

值得注意的是在斯扎煤矿，对开采后遗留煤柱进行了气化试验。该项工作始于 1960 年，煤层埋深为 40~110 米。用无井式法准备煤层，进行了火力渗透及电力贯通试验，获得热值 9.6~12.8 兆焦耳/米³ 的煤气。研究结果还发现，应用钻 60 时，可使煤气热值提高 0.15~0.4 兆焦耳/米³。

六、捷克

煤炭地下气化的试验于 1955 年开始，先在捷克北部布什兹诺褐煤层进行。该煤层厚 1.4 米，储量 100 万吨，煤的平均发热量为 11.5 兆焦耳/公斤，湿度 40%，灰分 18%，顶板为 4~8 米厚的玄武岩及粘土质细砂岩层。采用无井式火力渗透法准备煤层。试验完成后解剖了地下煤发气生炉，发现如下情况：

- (1) 煤层垂直厚度全部被烧空；
- (2) 煤层燃烧后留下的空间被部分矿渣及从顶板陷落的岩石所充填；
- (3) 当气化钻孔直线排列时，燃烧煤宽达 10 米，有时可达 13~14 米；
- (4) 顶板变形；
- (5) 钻孔发生显著变形，说明不能用加深钻孔方法同时气化多个煤层；
- (6) 煤层顶板可钻性起了变化，原来的粘土顶板的可钻性属 3 级，气化后变为 9 级；
- (7) 气化结束 6 个月后，发生炉的温度没有完全降下来。

试验于 1959 年结束，其结果符合预期要求。1960~1962 年先后在魁塔和维尔撒赤地区进行了二次试验，随后建立了半工业性试验站。被试煤的热值为 11~11.6 兆焦耳/公斤，取得煤气热值为 3~4.3 兆焦耳/米³，平均为 3.5 兆焦耳/米³。气化炉每排 6 个孔，共 24 排，采用侧面排气的气化方式，因为矿床被水淹没，必须进行疏干。生产的煤气供二台锅炉用，蒸汽带动一台 1500 千瓦的发电机。此外，还在布拉第斯利与南马拉维煤田的含水率较高的煤层中，用 6~7 大

气压空气阻止地下水流入气化区，获得成功并取得专利。

七、日本

日本由于煤的储量少，而且地质条件又极其恶劣，难以用传统工艺开采，因此对煤炭地下气化也十分重视。

1953年先在实验室进行基础研究。1961年又在自然条件下进行气化试验，在赤平住友矿进行了三次规模较大的现场试验。煤层倾角 52° 埋深13米用电力法在煤层中建立气化通道，以形成煤气发生炉。1962年第一次气化200小时，试验基本成本 1.0 第二次试验，气化126小时，气化煤135吨，得到 67 万 米^3 煤气，其热值为 $2.6\sim 4$ 兆焦耳/ 米^3 。

1959年5月14日成立煤炭地下气化委员会，由日本著名煤化学家马场有政任委员长。整个研究工作由资源试验所、东京大学、九州大学等共同承担。1963年日本政府制定十年规划，把煤炭地下气化列为煤炭工业三大发展方向之一。1969年设立地下气化调查委员会，对外国地下气化技术进行了调查，开展了地下气化基础研究与现场试验站的选址工作。

1969年决定建立两座地下气化试验站。一在北海道的奈井江地区（初期投资9.5亿日元，年产5000万 米^3 煤气）。一在九州市高松地区（初期投资4.0亿日元）。

日本进行地下气化试验的目的，在于开发采掘条件恶劣的煤炭资源，以补充能源之不足。因此，日本地下气化开发的重点是已报废的矿区，以及遗留的煤柱。整个地下气化的发展目标是建立气化电站联合企业。

综上所述，煤炭地下气化技术在浅部煤层中的应用，苏联已积累有四十余年的经验。若采用加大的长通道炉型，则可达到既增加产气量，又降低成本的目的，从而可望大范围推广。由此可见，苏联欲将地下气化所产出的煤气作为国家能源结构中的一部分是可以实现的。煤炭地下气化技术在深部煤层中的推广应用，目前在欧州已具备良好条件，建立了机构，科研经费在近七年内已增加到39.9百万欧州货币单位。可以预言，到2005或2010年将会全面实现伟大化学家门捷列夫的理想。

八、我国的现状与对策

我国是产煤大国，但受目前采煤工艺水平所限，资源回收率只有50%，尚有50%被遗弃在地下。据不完全统计，全国约有200亿吨以上的煤炭资源被遗弃在井下，不能加以利用，被遗弃的煤炭资源日后还会增多，所以我们主张利用煤炭地下气化技术回收这些被遗弃的资源（包括废矿井或废水平中的一切煤柱，以及薄煤层、急倾斜煤层、低热值煤和三下煤等，还有超千米深的煤层）。

1985年我们曾在徐州马庄矿进行了长达3个月的验证性试验，产气16万 米^3 ，煤气热值为4兆焦耳/ 米^3 ，这表明在生产矿进行气化是可行的，当时因经费所限，未能将产生之煤气应用在工业上。今年，在新河矿将进行1~3个月的地下气化试验，预计日产煤气20万 米^3 ，热值为 $3.2\sim 5.6$ 兆焦耳/ 米^3 ，可直接供附近焦化厂使用。新河矿试验所设计的气化炉示于图7，其进排气孔之间的距离为300米左右，也就是通道的长度为300米，这在世界上是首创，也是最合理的设计，是总结近年来国外经验所得。只有长通道才能满足气化过程中氧化、还原和干燥干馏区长度不断变化的要求，又可按气化过程变化需要调整进排气孔位置。目前，国外主张工人不下井，一切工作都在地上进行。这样，通道长度往往受贯通技术的限制（一般为30~40米）。美国现已认识到长度的重要性，利用定向钻井技术使通道可达百米左右。我们主张利用井下原巷道进行施

工，通道长度就可达 500~1000 米。一旦这次试验成功，就可在全国推广，而且无需国家投资，各大矿务局可自筹资金进行开发。因为报废的矿井或水平都已具备煤炭地下气化的必备条件（如煤炭资源勘探、地下水疏干、供水、供电、交通运输、办公楼与住房等的投资都可省去）。按照这条路线搞地下气化、其利润是很高的。初步估算，每立方米煤气成本 2 分钱，按市价出售每立方米煤气可获利 2~3 分钱。若每天出煤气为 24 万米³，则每天可获利 4800 元左右。我们这次气化试验可燃烧 220 天，估计能获纯利 100 万元左右。与国外由国家拨巨款进行试验相比，我们的路子是最经济的，而且对国家来说也没有任何困难。

目前苏联等国家虽然能源不紧张，但对煤炭地下气化的发展都制定了规划，使其为国民经济服务，更何况我国能源是紧张的，尤其是沿海一带，能源更加紧张。因此，我们建议政府有关部门应对煤炭地下气化技术的发展给予关心，制定规划，加强领导，使其为我国能源建设做出贡献。

在我国推广应用煤炭地下气化技术的意义重大，我国的煤炭产量与用量在世界上居首位，估计在未来的二十年内，仍不会有根本性的改变。因此，始终面临着如何提高开采率、利用率和防污染问题。

这三大问题也是有史以来强烈地引导各国从事煤炭事业的人们不断发展煤炭科学技术的原动力。例如，露天采煤工艺比重增大，矿井开采由人工到机械化，使开采率不断提高。煤炭的燃烧由火床燃烧改进为悬浮与沸腾燃烧及水煤浆燃烧等都是为了提高其利用率；燃烧净化技术也有很大提高与发展，在燃烧前、中、后期，分别采取脱硫、去氮、除尘等措施以求改善与防止对环境的污染与公害。

我国在这三方面的情况，目前是非常严峻的。例如，北京的年烟雾日已从过去的不到 50 天，增加到现在的 200 天，不但危害人民健康，而且影响市容。在我国南方，由于二氧化硫和氮氧化物的增加，常形成酸雨雪等现象。最严重的贵阳与重庆地区，雨水中 pH 值已超过 3.1，使大桥、汽车及地面上一切金属设备受到严重腐蚀，使设备的寿命大大缩短，还严重影响农作物生长，使大面积农田减产，破坏了生态平衡。今年 3 月 4 日，江苏省西部南北长 160 余公里的地区下了一场罕见的黑雨。经化验，雨中成分为细小煤灰、粉末、纤维状物质、有机杂质、细砂等，氮的含量也较高。目前世界人们普遍关心的温室效应，臭氧层破坏与酸雨雪等等环境问题，都与煤炭燃烧直接有关。我国每年将有十亿吨煤在燃烧，不能不引起严重关注。

我国燃烧技术相当落后，煤炭的利用率很低、全国平均约为 30%。若能提高到 45%，则每年可为国家节约 1.5 亿吨煤。目前，我国的用煤大多数靠矿井法开采，露天开采率虽较高，但只占总产量的 4%~5%，今后可能提高到 10%。因而，我国煤炭的开采率大约为 50%，被遗弃的煤炭也为 50%，采得多遗弃得也多。

苏联四十余年地下气化生产的经历，充分说明煤炭地下气化的开采方法，在上述三个方面的优势是非常突出的。它的开采率与利用率均可达 90% 左右，而且不存在对环境的污染，所以在我国推广应用煤炭地下气化技术有着深远的现实意义。

我国是产煤燃煤大国，煤炭地下气化技术的应用领域相当广泛，但归纳起来，今后应着手从以下四个方面进行开发：

(1) 回收被传统采煤工艺所遗弃的煤炭资源，如工业广场、护巷、防水等各种煤柱、薄煤

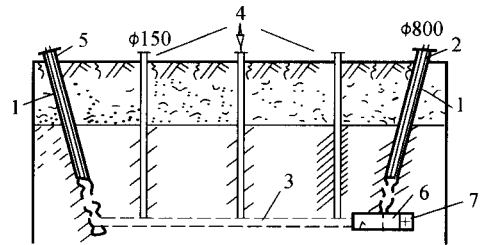


图 7 新河矿地下气化炉

1—换热器；2—进气孔；3—气化通道；
4—观察孔；5—排气孔；6—钻场；7—石门

层、急倾斜煤层等；

(2) 开发城市、江河、交通线下的煤炭资源（初步统计约有 160 亿吨）；

(3) 开发油页岩（全国已探明储量为 311.7 亿吨）；

(4) 开发千米以上的深部煤炭资源。

当前开发的重点，首先应放在江浙、福建、两广等沿海省份的煤炭基地上，其原因有四：

(1) 这些沿海省份是我国工农业最发达地区，而这里能源供应十分短缺，严重影响其经济的发展；

(2) 这些省份的煤层构造很不理想，断层交错，大多为急倾斜煤层，不适于用传统方法开采；

(3) 这些省份原有的矿井，其开采深度大多已超过 400 米，不仅开采成本大幅度上升，而且地温高、压力大、瓦斯多，使工作条件严重恶化，急需转用地下气化技术进行开采，而且这些矿井之上的浅部煤层资源也可用气化方法予以回收，还可节省为建设地下气化站所必需的地质勘探、地下水疏干和地面的一切基本建设投资，将老矿区改建为既能出煤，又能出气，还可发电、出售化工原料的大型综合企业。

(4) 减少北煤南运给国家运输干线造成的压力和对环境的污染

以上对策仅结合我国实际情况阐述了发展煤炭地下气化的重大意义，提出了我国煤炭地下气化的开发范围和开发重点，更具体的对策有待进一步调查研究后再提出。

（载于《矿业译丛》1990.4 期）

研究与开发煤炭地下气化技术

R&D of Coal Under ground Pneumatolysis

余 力

一、煤炭地下气化的原理

煤炭地下气化是将高分子煤在地下原地用高温转变为低分子的燃气，并输送到地面的化学采煤方法，将建井、采煤、气化三大工艺合而为一。它涉及到地质、采煤、岩石力学、热工、煤化工等多门学科。煤炭地下气化技术可用以开采深部煤炭资源，提高资源利用率，减轻工人的劳动强度，减少环境破坏和大气污染。随着地下气化工艺的革新，经济效益也将不断提高。所以，地下气化越来越受到世界各产煤国的重视，被誉为第二代采煤方法。

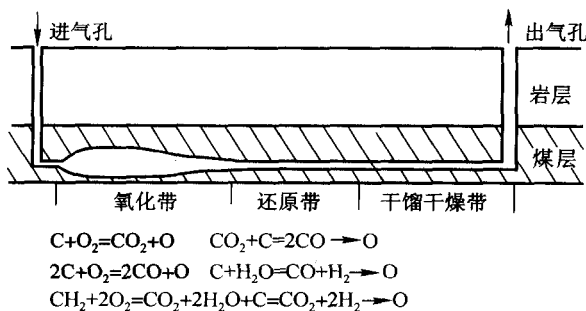


图1 地下气化原理图

地下气化与地面气化的原理相同，产品也相同，但工艺形态不同。地面气化在煤堆中进行，而地下气化在煤层通道中进行，如图1所示。将地下气化煤层点燃后，从进气孔鼓入气化剂，使煤层燃烧、气化，由出气孔排出煤气。根据煤层通道中主要化学反应和煤气成分的不同，可将气化过程沿气化通道大致分为三个带，即氧化带、还原带、干馏干燥带。这些过程都将沿着气流方向向出气孔流动，产生的可燃气体主要为CO、H₂、CH₄等，其成分比例随不同的气化剂与鼓风方案而变化。

二、煤炭地下气化的优点

我国能源储量是以煤炭为主，占70%左右，估计在近期内不会有太大的变化。我国煤炭开采的方法是以回采率较低的井巷法为主，约为96%以上，因此被遗弃的煤炭资源的数量是非常惊人的，约为300亿吨以上。而目前我国煤矿的开采深度已突破千米，成本高、难度大。建国初期我国新建的矿井，都将要报废。因此，应极力采用煤炭地下气化，与气体分离技术相结合，以回收大量报废矿井中被遗弃的与不易开采的深部煤炭资源，煤炭地下气化具有如下的优点：

(1) 报废的矿井地面的各种设施，如土地、道路、电网、通讯网、机电维修车间、工厂、办公楼、家属宿舍等，全部可以复用，从而大大节省地下气化的基本建设投资。

(2) 经数十年的开采过程，已将报废矿井煤层的构造调查清楚，其精确度比地面勘探工程要高得多，地下气化站的地质勘探投资，也将节省下来。

(3) 经数十年的井下排水工程，已将报废矿井的地下水疏干，这笔投资也可省去。

(4) 地下气化炉的通道建设，可以利用老矿井的井下设施，除了可节约建炉费外，还可生产出“工程煤”，补助投资。

(5) 地下气化站可以安置一部分待转业的职工。

(6) 地下气化站的煤气经分离后，按不同的气体成份，分别贮存。按不同的需要，可供发电、燃烧、作化工原料，促进一碳化学工业与以氢为主的新能源的发展与利用。可将老矿井单一产品，改造为多种产品的联合大企业，经济效益可成倍提高。

现将一碳化学工业与以氢为主的新能源体系作一简单介绍：

①以氢为主的新能源体系的目的是以水电解产氢法、液体氢化技术、氢吸留合金技术、氢运输技术和氢利用技术（氢飞机、氢汽车、氢火箭、氢热泵等）为基础，以电力为副（原子能、风力、水力、太阳能等发电），使全球获得洁净能源。如图 2 所示。

②一碳化学（C₁-chemistry）是日本首先提出的。它的研究对象是以煤制成的合成气和甲醇为主要原料，生产有机化工产品和合成燃料的新一代煤化工。由于地下煤气成本低于地面煤气，因此它对煤化工的发展创造了有利的条件。

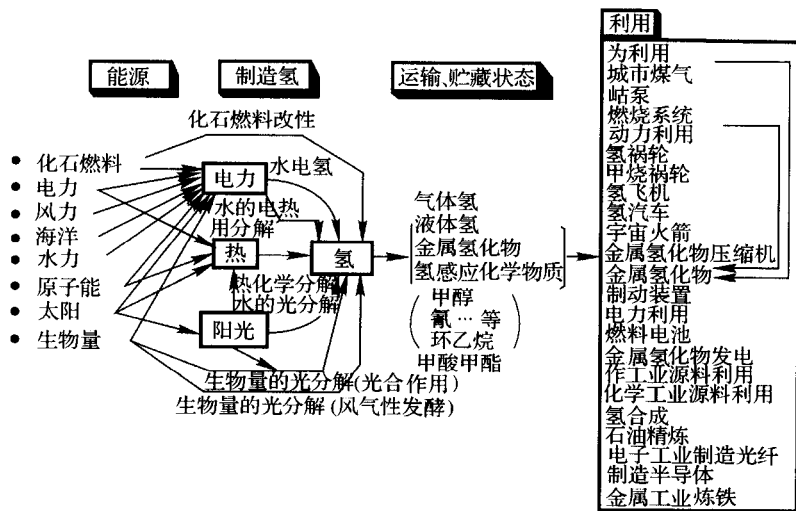


图 2 氢能体系

(7) 可减轻煤炭燃烧时对环境的污染。

(8) 大大改善工人在井下的劳动条件与减少伤亡事故。

根据以上的论点，1984 年我国在徐州马庄矿进行了煤炭地下气化现场试验。事实证明，当生产矿井采取了有效的安全措施后，安全是有保证的。中国矿业大学与徐州矿务局全作从 1991 年开始在徐州新河二号井进行了煤炭地下气化半工业性试验。经过三年的准备与施工，完成室内试验、培养人才、方案制定后，在 1994 年 3 月 23 日现场点火成功。目前已燃烧了 150 余天，在正常条件下煤气热值波动在 1 200 大卡/立方米上下，流量为 2 000~4 000 立方米/小时。实践证明，在提高煤气热值与降低成本方面，所采取的以下措施是有效的，如长通道、大断面、二阶段、供风点移动、辅助通道、正反向鼓风、返流燃烧等，并在工艺理论上有所突破。在今年 7 月

上旬由煤炭部科教司组织了采矿、煤化工、气化等专家在本校进行了考查与参数测试，一致认为已具备了召开鉴定会的条件。

三、煤炭地下气化的科学理论主要是以煤化学与有机化学为基础

煤的结构是以碳原子为核心，与若干不同的官能团相结合的高分子化合物。它在高温条件下分子键被断裂、而形成了若干低分子结构的气体，如 H_2 、 CO 、 CO_2 、 CH_4 等。在进行基础研究工作时，必须掌握诸如测定化合能、反应速度等基本理论。此外，煤气中各种元素分离后，按不同产品的要求将 CO 与 H_2 合成种类繁多的有机化合物时更需要掌握物质分子结构的理论，制定出不同的化工工艺流程，从而获到许多化工产品，使煤深加工后升值。

四、地下气化是多学科的联合体，建炉的方案分为无井式与有井式

无井式就是地下一切工程都在地面上进行，工人不下井。这样进出气孔之间的贯通技术可采用火力法、电力法、定向钻孔法，其中定向钻孔最有发展前途。目前我国正在研制无钻杆多功能智能型的定向钻机，并希望在钻进过程中即时将钻头的运动参数及钻头位置的标定参数，反映在地面荧光屏面上，加以记录并能反馈控制操作。

有井式是采用无人驾驶全自动煤巷掘进机来完成进出气孔间的通道，其断面可介于 2.5 平方米左右，比定向钻孔可大百倍，产气量大，耗电少，并允许在通道中设置煤堆、催化剂等措施来提高煤气的质量。因此，必须掌握煤田地质、地下水疏干、采煤方法、高温岩石力学、空气动力学、矿山机械（压、通、排）、有机化学等系统知识，来处理建炉与气化过程中一切技术问题。

五、煤炭地下气化工理论的研究

它的目标是如何提高煤气的质量、数量与降低成本，满足市场的要求并具有竞争力。具体地说，就是采用什么样的工艺，在指定的煤层条件下，选择合理的炉型、尺寸、设备与气化剂，使气化剂有效地参与煤层燃烧、所产出的热能全部满足 CO_2 与 H_2O 还原产气与煤的干馏作用的需要，并能控制全过程最终达到稳定产气的目的。长通道、大断面工艺在新河二号井已证明是合理的。关键问题是如何根据井下燃烧状况适时地将供风点移动，防止因冒顶严重导致供风系统中断。为此，要建立地下气化燃烧的数学模型，能在电脑上即时反映也地下气化炉的动态变化，如温度的高低、通风量的大小、堵与通等，并能自动反馈控制地下气化的全过程。

六、地下气化煤气的利用

地下煤气可用于联合循环发电、工业燃烧、城市民用及制造化工原料和冶金工业还原气等，详见图 3。

地下气化煤气净化可得到相当数量的煤焦油，从煤焦油中得到 200 多种产品。地下气化煤气用燃气—蒸汽联合发电是常规法，也可用煤气机直接发电，并能随地下气化炉址移动而转移，并可供气化站所需的电力。当地下气化煤气中 $(CO+H_2)/N_2 > 3.1$ 时，可作为合成氨的原料；当地下气化煤气中 $(H_2-CO_2)/(CO+CO_2) > 2.1$ 时，可作为生产甲醇的原料。而甲醇又可衍生出许多化工产品，如醋酸、醋酐等，对我国一碳化学工业与以氢为主新能源应用都将产生促进的作用。地下煤气成本比地面煤气低，因此煤化工又可得以发展。同时又可将我国煤矿企业改造成生产多种产品的联合企业，以提高煤矿企业的经济效益，改变煤矿企业长期亏损的局面。这是一举两得的好事，对煤矿、对国家都有利。如仅仅将地下气化煤气简单地用于工业燃烧与民用，

往往难以充分发挥其经济效益。

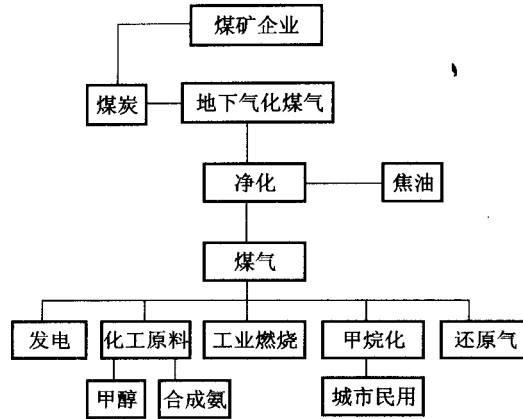


图3 综合利用地下气化煤气示意图

总之，煤炭地下气化在技术上可行、经济上合理、客观上需要，并能以高利润的特征向外延伸、拓宽，建立多种产品的联合企业，为巩固一碳化学事业的发展与以氢为主的新能源体系的开发作出贡献。

(载于《科技导报》1995.2期)