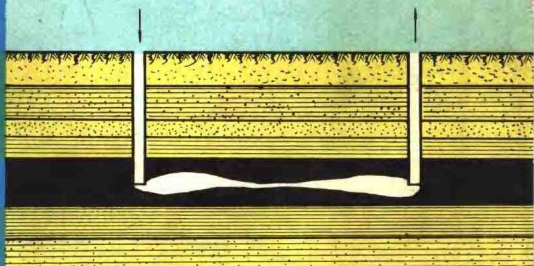


煤炭地下气化

李耀娟 田玉璋 于在乎



东北工学院

前 言

煤炭地下气化是当代煤炭开采技术革命发展的重要方向之一，是充分利用煤炭资源、改善矿工劳动条件，供应高级燃料和化工原料、缓和能源紧张局势的一项有希望的措施。正因为如此，理所当然地受到了世界上各工业发达国家的重视，特别是七十年代以来，各国的研究试验的规模加大了，单位增多了，煤炭地下气化的技术也有了迅速的进展。

1978年在太原召开的能源座谈会上，提出了在我国搞煤炭地下气化的问题。1979年国家科委决定将此课题列为国家重点科研项目、在辽宁和山西两地开展工作。我们在辽宁省科委的领导下，对国内外历史的和现在的有关煤炭地下气化方面的试验研究资料，进行了比较详细的调查研究。并在我们从事地下气化科研工作所取得的经验的总结基础上，将这些文献资料整理编写成这本书。我们希望它能够对于那些愿意了解或从事试验研究煤炭地下气化的科技人员、院校师生和领导干部有所帮助。

本书是由田玉璋、李耀娟、于在平共同编写最后由李耀娟审校定稿。

由于我们的水平有限，难免有这样和那样的缺点和错误，希望读者给予批评指正。

编 者

1981.3.



A 866589

目 录

第一章 国外煤炭地下气化的发展动态	
第一节	世界煤炭工业的概况..... 1
第二节	煤炭地下气化的重要意义..... 3
第三节	煤炭地下气化发展简史..... 7
第四节	煤炭地下气化的最近动态..... 13
第二章 煤炭地下气化在我国的发展前景	
第一节	我国试验研究概况..... 19
第二节	在我国研究煤炭地下气化的国民经济意义..... 22
第三章 地下气化煤田的勘探与疏干	
第一节	关于勘探问题..... 27
第二节	有关矿床疏干方面的问题..... 34
第四章 地下煤气发生炉的准备	
第一节	井式气化准备煤层的方法..... 43
第二节	无井式气化准备煤层的方法..... 46
第五章 气化通道的开拓方法	
第一节	概 论..... 70
第二节	煤的渗透性及其测定方法..... 71
第三节	无井式煤气发生炉的点火..... 78
第四节	空气火力渗透法..... 81
第五节	电力贯通法..... 94
第六节	水力压裂法..... 136
第七节	定向钻进法..... 155
第八节	新的贯通方法与爆破技术..... 159
第九节	贯通方法的评论..... 161
第六章 煤炭地下气化的基本理论	
第一节	概 论..... 165
第二节	煤的气化性质..... 166

第三节	气化反应带和析气过程	172
第四节	两种类型的气化反应通道	177
第五节	气化反应过程的条件分析	181
第六节	煤层气化的工艺方法	198
第七节	改进地下气化工艺过程的几项措施	204
第八节	气化通道内的火焰工作面	209
第九节	煤气发生炉的气化空间	216

第七章 气化过程的管理与控制

第一节	概 述	221
第二节	地下水的探测及其调节	223
第三节	管理气化过程的空气动力学方法	224
第四节	气化反应空间的管理	232
第五节	燃烧工作面的探测	236
第六节	气流潮湿度的量测与控制	238
第七节	地下气化过程的物料平衡与热平衡	241

第八章 地下气化的生产技术系统

第一节	适合用地下气化方法开采的煤层	254
第二节	气化区域的开发和气化方式的选择	256
第三节	煤炭地下气化站	258
第四节	地下煤气发生炉的结构	260
第五节	地下气化站的规模和设备	262
第六节	仪表监测和计算控制	266
第七节	鼓风量的自动调节	270
第八节	煤气及其净制	271
第九节	钻孔排气温度及钻孔的冷却	275

第九章 煤炭地下气化的评价

第一节	煤炭综合利用的合理结构形式	277
第二节	地下气化煤气的利用	278
第三节	煤炭地下气化的主要成就与存在的问题	283
第四节	地下气化的技术指标	284
第五节	地下气化煤气的经济指标	286

第一章 国外煤炭地下气化的发展动态

第一节 世界煤炭工业的概况

随着石油天然气资源的涸竭，煤作为世界主要燃料的时代又将到来。在工业革命以来的燃料史上，石油和天然气的利用的黄金时代将要过去。到下个世纪初，世界石油蕴藏的百分之八十七将被耗用掉，而煤只耗用掉其储量的百分之三。

煤不论作为动力资源或化工原料，与石油天然气相比，有明显的优越性：第一，煤的世界远景储量约有十五万亿吨，远比石油天然气储量丰富，按照目前世界煤年产量五十多亿吨计算，足可开采数百年；第二，煤炭资源分布普遍，在就地利用上，其经济价值远非石油天然气可比；第三，从长远观点来看，煤的利用前景是气化与液化，现代开采技术的发展与进步，有可能使煤不经开采就地气化成高热值的气体燃料，这样煤将与石油天然气一样具有利用管道输送的优越性。

因此，美国在石油天然气储量日渐减少的情况下，从六十年代就开始预测各种能源的需要量，以及燃料如何接替问题。特别是在七十年代能源发生危机后，美国能源政策作了充分的考虑，确定以发展煤炭工业为主要方针。美国总统卡特在西弗吉尼亚州查尔斯顿的一次能源讨论会上曾说过：“我们的煤炭资源占总能源的 90%，但我们所利用的能源中只有 18% 来自煤炭。今后数年内一个重大转折是由利用石油和天然气转向煤炭”。

美国煤的总储量为三万六千亿吨，其中仅九千亿吨煤可用现代技术开采。

英国、西德等工业国的燃料资源丰富，但几乎全是煤。二次大战后能源不足，六十年代期间进口大量石油，波兰的煤炭质量好，品种全，是煤炭输出的国家，由于其他燃料资源缺乏，仍以煤炭为主要能源。

法国煤田地质储量仅 130 亿吨，煤田小而分散，有很多断层，煤质低劣，原煤含矸率高达 30% 到 40%，其他燃料资源也很少，能源自给率仅 61%。日本煤炭地质储量为 212 亿吨，质量很差，地质条件很坏，断层纵横，瓦斯特大，又基本上没有其他燃料资源，能源自给率仅 54%，故法国、日本的能源政策的基点，在于如何确保能源供应的长期稳定，寻求价格低廉的能源，因而法、日两国十分重视能源管理，积极发展煤炭综合利用，扩大煤炭的利用范围。

虽然煤炭作为能源是如此的重要，但是近年来煤炭在一次能源的平衡表中所占比重却逐年下降。1920 年为 87%，1950 年为 61%，1966 年为 40%，1970 年为 36%，1980 年又下降到 27%，这首先由于煤炭价格不断提高和天然气石油大量使用所致。以 1913 年煤的成本为 100，到 1958 年美国就增到 143，英国为 213，法国为 178，西德为 179。其次在于开采煤炭时地质条件的逐渐恶化。例如 1900 年到 1960 年间，西德鲁尔

煤田的平均开采深度，由410米增至725米；美国东部煤田小于1.2米厚度的薄煤层产量比重由20%增至40%。第三，由于煤矿技术的发展落后于加工工业部门，劳动生产率增长缓慢，这就不可避免地提高了建井投资和生产成本，而石油天然气的生产费用，由于开拓和生产技术的改进很快降低到煤炭以下。例如苏联在1925年，按标准燃料计算，石油成本比煤高13%，到1958年煤炭的生产成本却比石油高一倍半。

煤炭工业的技术发展和装备革新也远远落后于其他工业，因而不能和天然气石油工业竞争。美国煤炭工业发展很快，机械化程度最高，劳动生产率曾达16吨/工，这与煤田的地质条件得天独厚有关。虽然美国煤储量丰富，煤层埋藏较浅，厚度适中，水文地质条件不复杂，但在二次大战后，煤炭工业也呈衰退现象。表1-1列出各工业国劳动生产率和煤炭成本。（均以商品煤折算）

表 1-1

项 目	国 别	美 国	苏 联	西 德	法 国	英 国	日 本
	劳动效率	1961	12.11	2.28	2,063	1,814	1,815
吨/工	1967	7.71	2.83	3,18	1.89	2.23	2.98
煤炭成本		5.26 美元/吨	7.86 美元/吨	—	67 法朗/吨	88 先令5 便士/吨	4264 日元/吨
折合人民币 元/吨		10.32 元/吨	17.29	—	27.13	25.38	29.23

安全及矿工职业病在煤炭产生过程中，也是一个比较严重的问题。特别是机械化程度不高，保安措施不完善的矿井，矿工死亡率显著增大。表1-2列出世界主要产煤国家，采煤过程中死亡人数统计表。

主要产煤国 1961年死亡人数统计

表 1-2

项 目	国 别	美 国	英 国	法 国	日 本
死亡人数		292	235	116	642
百万吨死亡率		0.85	1.62	3.28	12.0

由于煤田开采条件的逐步恶化，不仅增加井下运输和采掘费用，还要增加通风排水设备以及相应的措施，工人生产劳动率随之降低，煤炭成本逐年增高，为了克服这些困难，降低煤炭生产成本，以满足能源需要量的要求，世界各先进工业国都在积极寻找解决的途径。

二十世纪的石油工业的特点是其生产过程的自动化和石油利用技术的进步，而煤炭工业则恰恰是由于煤层赋存条件带来的困难，使煤炭工业的采掘工艺程序和产品的利用技术远远落后于石油工业。为了解决这一问题必须积极创造条件，使煤炭生产的直接和

辅助两种作业成为一个流程，尽可能减少中间环节和使煤炭生产和消费连接起来。这是改革煤炭工业生产的有效措施之一。

在煤炭生产技术发展方面，今后将会出现一个新的阶段。首先是采用集中性的连续流程的生产方法，实现综合机械化和自动化，这无论是在提高劳动效率和降低生产成本方面，都有很大的现实意义；特别是在机械化程度不高的国家，尤其感到迫切需要。所以世界各国都在大力提高煤炭采掘的机械化程度。但是实现全部生产过程的自动化，还有相当一段距离。英国仅在长壁工作面实现了在巷道遥控的全部机械化，劳动效率增加到6~8吨/工；美国机械化程度最高，劳动效率达到过14~16吨/工；但还没有实现全部生产过程的自动化。从国外的采煤经验证明，机械化效益的增长有一定的限度。例如美国在1946年前烟煤的平均价格平均每年上涨10%，1958年以后每年上涨就增加到26%，此后价格一直平稳，这主要是由于采煤的高度机械化，劳动效率的成倍增长造成的。但在美国来说，机械化效益已达极限。1969年以来，美国煤炭生产平均每年下降27%；1976年美国劳动效率就下降到7.7吨/工，煤的成本提高1.5美元/吨，预计今后将每年增加9%。其次是发展露天采煤，美国露天煤矿的生产量自1960年以来由煤炭总产量的31%，增加到目前的50%；苏联在六十年代的七年计划中，煤炭工业发展重点是露天开采，由原来露天矿产量占总产量的22%发展到最近的44%。但是露天开采的发展也受到客观条件的限制，超过一定的剥采比就不经济而且需要大型机械配套。露天开采还要破坏环境，虽然开采后要整修土地，但被破坏的土地是不能全部恢复的。第三在产品利用方面，今后发展趋势是由煤炭生产二次能源来代替煤炭的直接燃烧。煤炭直接燃烧因燃烧不完全，热效率低，而且其中大量宝贵的化工原料被烧掉，同时还污染环境造成公害。因此世界各工业国都在积极发展煤的综合利用，而主要是将煤气化或液化。如果在技术上能使煤大量气化以满足环境保护条例的要求，预计美国今后电厂用煤将激增到十亿吨。缺乏天然气石油的国家如西德、日本、法国，对于发展煤的综合利用，更是不遗余力，就地利用劣质煤建立坑口电站向外输送电力是其主要措施。法国坑口电站的发电量在1961年就达到总发电量的37%。在西德1973年已有一座17万瓩的气体涡轮发电机，采用煤气化合成的低热值煤气作燃料，而日本也将于近期内有这样的低热值合成煤气发电站投入运行。第四，煤炭工业发展的另一条不同的方向是采煤方法化学化，即用化学方法使煤就地转化成流体燃料。目前苏联、美国、英国、西德，比利时加拿大等国正在积极进行煤的地下气化法和地下液化法的试验研究工作；前者技术已日趋成熟；而后者则尚处于实验室阶段。预计在最近几年内煤的地下气化法在应用现代技术的基础上必将取得重大突破，而投入工业生产，它必将极大地改变煤炭工业的面貌。

第二节 煤炭地下气化的重要意义

地下煤层的形成，是一个十分复杂的地质力学生物化学的综合过程。成煤的原始条件，煤层的赋存地质条件及其变化规律，同样是十分复杂的，因而影响煤层的开采因素也就很多。从这一观点出发，为了充分合理开发利用煤炭资源，极大地提高煤炭生产

能力，煤层的开采方法，就不应是单一的，固定不变的，传统的，属于机械加工范畴的矿井式和露天式开采方法，而应采用各种最新的开采工艺，恰当的对煤层进行采掘，以达到高效率合理利用资源的目的。

现有的矿井法生产，就其生产工艺本身，其根本问题，在于：生产过程繁琐，需要人和机器在地下进行工作，作业条件差，劳动效率较低，回采率不高，煤炭成本逐年增高，矿工的安全问题还很严重。在产品运输加工和利用方面，也存在着很多困难，地下煤层是以固体形态赋存的，长期来局限于矿井和露天开采的机械加工，同天然气石油的流体形态相比，存在着许多不利条件：固体形态的煤炭，使开采运输装卸储藏极不方便；为了满足工业用煤的要求，需要洗选出煤中的灰分矸石和其他杂质，这就建立庞大的洗选厂；洗选出来的矸石堆积，占用大量农田。在用户利用方面，需要对煤炭装卸储藏，处理烧后的灰渣，以及烧煤时在空中形成的烟尘。

重新把煤作为主要燃料，以代替储量日益涸竭的天然气石油，必须将上述存在问题，适当解决。因此把固体煤炭，就地变成流体燃料，以使更容易地转变成低硫高热值的干净燃料，越来越引人注目。煤的气化是一种老的概念，而新的技术正在集中于以较低成本，生产一种热效率高的气体；而煤的液化，最吸引人之处，在于所生产的产品，可以直接输入现正应用的输油管道。

因此，在六十年代曾被采煤科技工作者忽视的煤炭地下气化和地下液化，在七十年代，又重新获得世界采煤工作者的注意和重视。

地下气化采煤技术的发展，已有近百年的历史。正式进行科学试验，始于三十年代苏联，到了五十年代，英、美、中、法、日、德、意、比、捷、波等国，相继进行试验研究，在苏联建成六座地下气化站。六十年代，由于天然气石油工业的崛起，煤在燃料工业中，退居次要的地位，因而在苏联地下气化的试验和生产的规模缩小，在美国的研究工作也只小规模进行。七十年代能源发生危机以来，地下气化又重新列入煤炭科学研究的重大项目中。

不可否认，煤炭地下气化和液化的成功，将会在煤炭工业中，实现技术上经济上最富有成效的革命。它彻底地改变了传统的矿井开采法生产的工艺过程，将矿井作业变为工厂作业，并且能比较容易的实现生产过程的全部自动化，将生产与消费结合在一起，为创办煤炭，电力，化工的联合企业，提供了方便条件。

伟大导师列宁，在获悉地下气化的发明时他立即著文，誉之为一个技术上的伟大胜利；他说：“这一发明在工业中，所起的变革将是巨大的”。“采用拉姆赛的这种方法，解放千百万矿工的劳动……使千百万工人摆脱了烟尘和肮脏，使肮脏黑暗的矿山，变成了清洁明亮和适宜人工作的工厂”。列宁把地下气化看作是煤炭工业中的一个“巨大的技术革命”。还看作是重要的国民经济问题。他认为煤炭地下气化开采，比矿井开采更经济更优越，并预言用地下气化法采煤，将使电力成本降低。

马克思曾经说过：“随着人类对化学方法和化学反应的进一步掌握，机械加工就会愈来愈让位于化学作用了”。马克思的这一科学论断，指出了化学方法和化学反应，在各个工业部门中，所起的重要作用。以化学方法，适当的代替各工业部门的某些“机械加

工”的生产方法，能进一步发挥本工业部门的生产潜力。在煤炭工业中，用化学开采方法，适当的代替机械加工的矿井开采方法，必然是采煤工业重要发展方向之一。1972年美国矿务局认为：“在美国地下气化的经济效果，将超过矿井开采的经济效果。并且使人确信，地下气化将代替地下煤矿的生产，在美国有效的代替范围平均为57%”。1965年第六次世界动力会议指出：“今后改变煤炭工业的日益衰落的现状，有待于水力采煤。露天开采和地下气化技术的发展”。1957年欧洲经济合作组织技术经济援助使团的调查报告中指出：“地下气化在技术上是完全可能的，能利用60~80%煤的潜热，在经济上还需要一段过程来证实，但相信将来，可以因此减少矿井开采，或者完全被地下气化所代替”。世界上不少采矿科技工作者认为：“煤的地下气化，省去了把固体煤运至地面的操作程序，因而较为经济。能部分或全部省去开采工作，使低品位煤和泥煤得到经济合理的利用，并且免除了对环境的污染，是解决能源危机的一种有力途径”。“利用水蒸汽和氧的混合气体，代替空气鼓风，煤的能量可以得到更好的利用”。

地下气化的经济意义可概括为以下几点：

1) 简化生产工艺流程

化学采煤法，是煤炭不经矿井开采，在地下煤层中，就加工成流体燃料的一种新型开采方法。与矿井法相比其生产工艺过程简单而且连续。

地下气化的生产过程是：从地面上往煤层打钻孔，由一个钻孔，向煤层注入高压空气，水或者电力，穿透煤层。使煤层疏松，然后点燃钻孔内的煤层，由一个钻孔向煤层鼓入空气，水蒸汽或富氧空气，另一个钻孔便输出热值为750~1550大卡/米³的动力用煤气。

表1—3列出矿井开采法与地下气化法，生产流程工序的比较，可知地下气化法的生产工序比矿井法简单得多。

2) 取消了地下作业

从工程程序的本身着眼，化学采煤法的最大优点，在于生产过程中不需要地下作业，这就为实现全部生产过程的机械化和自动化，创造了条件。由于不需要地下作业，就消除了对矿工的身体与健康与安全的危害。

3) 消除了对于环境的公害

用露天或矿井方法采煤，是取得煤中能量的一般手段，但是露天和矿井对环境的危害是严重的。

地下气化方法采煤的产品——煤气，能够很容易地加工处理和消除其中的硫。经过加工处理的煤气，相似天然气。在地下煤气炉里，燃烧过的渣滓和氧化硫，放射物留于地下滓堆里。而从矿井开采的洗煤过程中，排出的非碳物质，在地面上形成堆积如山的矸石堆，对环境有影响。

一般的露天和矿井开采，两者都是损害土地的，因为开采接近地表的煤层时，地表将会产生塌陷；用地下气化采煤，则会消除或减小这种危害。

4) 提高了煤的回收率

一个成功的地下气化方法，虽不能在煤层中回收煤中全部的能量，但回收率达到90%是可能的。苏联、英国、美国的生产 and 试验的结果证实，地下气化回收率高于地下

表 1—3

工 序	矿 井 开 采 法	地 下 气 化 法
地 质 勘 探	一般勘探	详细勘探时增加地质钻孔数25%
开 拓	开拓井筒巷道及工作面（使用凿岩机装岩机运输机风镐等多种机械）	在划分出来的盘区上打许多排钻孔在钻孔内下钢铁管道（使用钻机）
采 煤	用康拜因或截煤机割煤装煤机装煤运输机运煤	用爆破方法在煤层中建立气化通道然后鼓风气化（用压缩机和鼓风机）
井下运输方式	采用各种不同类型的运输机械进行运输	不需机械自动运输
提 升	使用绞车提升	自动提升
一次产品加工	原煤进行洗选脱去其中非炭物质排出矸石灰分	无
形 体 加 工	将煤块破碎或选取一定粒度大小的块煤	无
二 次 产 品 加 工	选取一定粒度大小的煤块装入气化炉中进行气化得到煤气热值约1000~1200大卡/米 ³ （建设气化炉和鼓风机）	由钻孔排出煤气热值 700~1000大卡/米 ³ 不需安装风机和气化炉
精 制	提取化学原料或再加工成高热值煤气	同左
利 用	低热值煤气供动力用中热值煤气供民用或其他用途但产量小	同左但产量比地上煤气炉大得多
辅 助 生 产	扇风排水及防爆等安全措施，但还不能保证安全生产	只须适当排除地下水保证安全生产煤气车间需要防爆
其 他	井下作业条件恶劣对矿工身体健康有危害	工厂化作业条件对工作人员的健康无损害

矿井开采，例如在美国已达到 60% 以上，苏联也达到 65% 而矿井开采的回收率不超过 60%。

5) 产品煤气便于输送和使用

煤气可以用管道输送到任何地方去，而固体煤炭的输送，则需要耗用大量的劳力和设备。煤气的利用，则是给用户带来了极为方便的条件，且燃烧效率高，没有灰渣排出，

而燃烧固体煤炭，需要对煤炭形态加工，装卸和储藏，需要排渣，这就造成大量的人力物力的浪费。

6) 消除了对大气的污染

煤是一种肮脏的燃料，所含元素达 36 种之多，将煤直接燃烧后，这些元素部分逸至大气中，成为污染物，而其中危害最大的是硫，而脱除煤中的硫是困难的。但是地下气化煤气，是一种干净的燃料，净化处理很容易，在燃烧时不污染大气。

7) 便于综合利用

煤单一地作为燃料，实质上是一种浪费，而作为化工原料，则将充分利用煤中所含多种元素的化学价值。因此煤作为能源而燃烧的比重将逐渐降低，作为化工原料的比重，将逐渐上升，煤炭地下气化，能直接提供水煤气或中热值煤气，作为化工原料。固体煤则需要经过矿井开采，和地面上的特殊装置，才能转化成煤气。

第三节 煤炭地下气化发展简史

煤炭地下气化，在国际上多年来所进行的大量试验研究工作证明，在技术上是可行的，在大规模生产的基础上，能解决其所存在的经济问题。以下就苏、美、英、日、德、波、捷的试验研究的历史概况，予以概略介绍。

1. 苏 联

俄罗斯著名化学家 Д.И. 门得列夫，在十九世纪八十年代初期，即萌芽了地下气化的理想。1888年他研究了顿巴斯煤炭资源后，在彼得堡出版的北方通讯杂志上发表的“蕴藏在顿尼茨河两岸的未来力量”一文中写道：“随着时间的推移，这样的时代可能到来的，即煤不必从地下开采出来，而是在地下把煤变成可燃气体，再用管子把它们输送分配到遥远的地方去”。1879年在工厂工业原理一书中，他继续发展了煤炭地下气化的理想，写道：“我认为在将来煤炭燃料的价格，是有可能大大降低的，但是只能在地下尽可能把煤变成发生炉煤气，然后用管路来分送的条件下实现。这在我看来是没有任何严重困难的，届时现在所有的采掘工作都要失去意义。”此后二年他提出了利用钻孔地下气化的初步方案。在 1900 年出版的论工业一书中，他认为应将煤炭地下气化和电厂结合起来：“在地下气化矿井附近发电，并把它输送到莫斯科。”

这样在 19 世纪 80—90 年代，门得列夫首先在世界上提出了煤炭地下气化的原理，并且指出了实现地下气化的工业途径，为后来煤炭地下气化的科学研究和实践工作打下了基础。

在门得列夫提出地下气化原理 25 年之后，1912 年 3 月 26 日和 6 月 7 日，英国泰晤士报上，刊载了英国化学家威廉拉姆赛，对地下气化方案的文章；从地面向煤层打钻孔，由钻孔送风来维持煤层燃烧，所生产的煤气用以发电。1913 年列宁获悉拉姆赛这一发明时，曾著文给予高度的评价。誉之为“一个技术上的伟大胜利”。

1930 年 78 骑兵团士兵和指挥员们，看到列宁同志所写的“一个技术上的伟大胜利”

一文后，就通过报纸发表了一封公开信，要求在苏联实现煤炭地下气化的理想。1930年12月苏联人民委员会所属的国民经济化学委员会建议：进行地下气化的实验性工作。1931年苏共中央委员会，通过了“在煤层埋藏的自然条件下进行气化试验”的决议。为了领导试验工作，在煤炭总局设立煤炭地下气化专门委员会。

1932年2月在顿巴斯建立第一座利西昌斯克地下气化试验站。

1932年至1960年间，为探讨气化方法，苏联相继建设了5座地下气化站。

1938年11月，苏联重工业部召开了第一届全苏地下气化科学技术会议，总结了过去所进行的工作，指出进一步发展途径。会议决议认为：“科学工作者和发明家，要集中主要精力，研究最先进的简单的便宜的无井式地下气化法。虽然第一批工业性试验地下气化站，是按矿井法建设的，仅有一座按无井法建设，但是只有无井式地下气化法，方能解决地下气化的各项问题”。

1939年苏共的第十八次代表大会，对发展地下气化作出了重要的决议：“广泛开展各种燃料的气化，和煤炭地下气化工作，在第三个五年计划期间，要将地下气化事业，形成独立的工业部门”。“在顿巴斯莫斯科近郊煤田，和苏联东部地区，建设一批工业性地下气化站投入生产，把取得的煤气供给动力化学工业和公用事业使用”。

1936年至1941年间，苏联在顿巴斯和莫斯科近郊煤田，建成几个半工业性和工业性地下气化站，并且投入生产。还设计了几座大型新式地下气化站，同时莫斯科近郊气化站，在1941年，从技术上第一次解决了无井式地下气化的技术问题。

苏联地下气化七年计划煤气产量100万M³单位 表 1—4

项 目 气化站名称	1965年产量	达到设计量	煤 气 用 途
莫斯科近郊气化站	410	410	工艺原料气用，动力燃料用
利西昌斯克气化站	200	200	工艺原料气用，动力燃料用
南阿宾斯克气化站	2000	2000	动力燃料用
沙特气化站	1000	1000	燃气轮机发电4.8万Kw及动力燃料用
安格连气化站	2300	8700	蒸汽轮机发电 10万Kw及动力燃料用
斯大林斯克气化站	3000	7700	蒸汽轮机发电、冶金用燃料(40万Kw)
哥洛摩哥洛夫气化站	3600	21000	蒸汽轮机发电120万Kw
南库兹巴斯克气化站	—	8000	发电用
卡拉干达气化站	—	2000	发电用
卡依那明斯克气化站	—	9300	发电用
德山尼斯巴依气化站	—	9300	发电用
卡明斯克气化站	360	300	动力燃料用
总 计	12830	76910	
备 注	由于七年计划未执行 65 年未达到计划产量		

战后，苏联仍继续进行地下气化的试验研究和生产工作。在第五个五年计划末期，莫斯科近郊试验站所生产的煤气，不间断地供给土拉热电站，许多工业单位和公共福利企业。顿巴斯利西昌斯克站，战后一直沿着管道供给顿巴斯矿山蒸汽锅炉房。库兹巴斯谢列夫煤田的南阿宾斯克气化站也投入生产，同时还有在土拉市附近的沙特气化站和在乌兹别斯坦的安格连气化站也都建成，投入生产。

苏联在七年计划中（1959—1965年）还要建设七座大型气化站。要求地下气化煤气总产量达到769亿米³。（见表1—4）65年以前的实际产量列于表1—5中。

苏联地下气化实际煤气产量

表 1—5

年 别 产量 10 ⁸ m ³	年 别							
	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957
实际产量	304.4	248.2	311.9	598.5	441.4	541.8	582.5	626.1
计划产量								
年 别 产量 10 ⁸ m ³	年 别							
	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965
实际产量	763.0	828.5	664	833	934.1	1392.2	1840.0	2508.0
计划产量	763.0	1210	1880	2710	4010	5080	6290	12890

为了领导地下气化的研究试验生产和设计工作，苏联于1936年设立地下气化总局，下设全苏地下气化研究所及斯大林诺设计院，1957年苏联机构改组，划归造气工程总局领导。研究所有300余人，设计院有150人，包括气化站工作人员在内，共有三千多人，从事地下气化的试验研究生产和设计工作。

2. 英 国

英国早在1914年曾在英格兰东北部进行小规模试验，后于1946年又重新开始在这两个煤矿进行，至1959年止，共进行了62次试验，耗资160万英镑。

试验最初是在纽曼斯平尼露天矿进行，1951年为了扩大试验，又在波士顿煤矿进行试验。从这时起，气化试验工作，就在这两个矿上同时进行。前者气化煤层总厚度是3米，其中有2米是夹石层，没有开采价值。煤层倾角8~10°，挥发份约40%。

首先进行了无井式试验，采用电力法，高压空气渗透法来贯通煤层，建立气化通道。英国认为无井式地下气化不够经济，乃转向有井式地下气化的试验，创造了盲孔气化技术，并在纽曼斯平尼的试验中获得成功，长期取得稳定的煤气，煤气的热值800大卡/米³。57年建成一座小规模地下气化发电站，能力为5000瓩，58年底开始试验，于59年9月结束。

试验的结果，令人十分满意，不仅在技术上取得成功，而且在经济上十分合算。在

此次试验成功后，原计划建立工业性地下气化 6 万千瓦发电站。但是由于英国在 58 年积累了 5 千多万吨煤，销售不出去，关闭了 36 座矿井，工人大批失业。在这样的情况下，从美国进口了不少的煤，煤炭工业出现危机。因此英国矿务局于 59 年一月，就宣布停止地下气化试验。

1964 年英国矿务局出版了“煤炭地下气化”一书，总结了英国在纽曼斯平尼所进行的试验工作，及其经济效果。

从 1976 年以来又进行过大量的调查研究。并由煤炭局向内阁提出“煤炭地下气化重新评价”的报告。综述了世界各国的试验研究及目前所取得的成就，为了充分利用英国的煤炭资源，建议于近期内重新进行煤炭地下气化的试验研究工作。

目前煤炭联合公司和 *N*、*S*、*W* 电力公司联合在新南威尔地区建立了地下气化动力站，目的是利用地下气化的煤气发电。

3. 美 国

美国的地下气化试验研究工作，始于 1946 年，由美国矿务局和阿拿巴马公司共同进行的。主要的试验工作是在巴拿马州高尔加斯城附近进行的。煤层厚 1 米，灰分含量 6~14%，挥发份含量 37%，埋藏深度 50 米。与此同时，碳化物和碳化学公司，又在却尔顿斯城附近进行了地下气化试验。这些试验都采用井式。由于地下煤气发生炉密闭性差，所有试验都未取得预期的效果，煤气的热值很低，不超过 400~500 大卡/米³。

从 1951 年起，美国采用无井式钻孔气化法，用渗透法和电力法，在煤层中建立气化通道，而构成煤气发生炉。在电力焦化期间曾获得高达 4000~6500 大卡/米³热值的煤气，其中 CH₄ 占 40%；在整个气化过程中，煤气热值为 900 大卡/米³；在电源送入煤层的同时，鼓风机气化，取得与水煤气热值相近的煤气。

此外美国矿务局于 1963 年，应用水力爆破法，在煤层中建立气化通道，取得了热值为 1130 大卡/米³的煤气，破裂半径为 60~80 米。但在当时的条件下，仍不经济。

美国对多通道，与采用富氧空气和水蒸汽鼓风机气化的方法，进行了试验，以提高煤气热值；用水蒸汽循环鼓风机，得到热值高达 3500 大卡/米³的煤气。实验室用 *V* 及 *W* 形通道的模型，每次装煤量为 1—3 吨，通道长度 2.7~4.1 米，煤层厚度为 35~60 厘米，试验煤样 *C*—62%，*V*—25%，*W*—1%，*Q*—7500 大卡/公斤，获得煤气热值为 900—1140 大卡/标米³；

1963 年美国出版的煤炭地下气化报告集中指出：“试验结果证实，在美国目前的条件下还没有证明地下气化的经济优越性，但是在技术上可以肯定的说，煤炭地下气化，可与矿井开采竞争。”

在六十年代，由于所进行的地下气化试验都未取得经济上预期的效果，因此所有的试验都在较小的规模上进行，到了七十年代才有了大规模发展。

4. 日 本

在日本由于其动力资源不足，煤储量少，而且地质条件恶劣，每年依靠国外进口煤

炭和石油，在这种情况下，日本动力界对煤炭地下气化极为重视。

日本对地下气化的研究，始于1953年，先在实验室内进行基础研究。61年在自然条件下，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，试验基本成功。62年进行第二次试验，气化126小时，气化煤135吨，得到 67万米^3 煤气，第一次煤气热值 660大卡/米^3 ，第二次为 770大卡/米^3 ，第三次得到 1000大卡/米^3 的煤气。

日本对地下气化的研究程序是：基础研究→实验室试验→中间试验→现场试验→企业化试验→企业化。

在1959年5月14日，举行的能量技术对策会议上，决定成立以动力委员会为中心的煤炭地下气化专门委员会，由日本著名的煤化学家马场有政担任委员长。

煤炭地下气化的研究工作，是由资源试验所、东京大学、九州大学等领导进行的。在1963年日本政府制订的十年科学规划中，把煤炭地下气化列为发展煤炭工业的三大方向之一。1967年设立了地下气化调查委员会，对外国地下气化实情进行调查，以及地下气化的基础研究，和现场试验站的选定与订制研究计划。

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。第一阶段投资9.5亿日元，年产5000万 米^3 煤气。一在九州市高松地区，第一阶段投资4.0亿日元。

日本进行地下气化试验的目的，就是要把采掘条件恶劣的煤炭资源，充分利用，以补救能源的不足。因此在日本地下气化开发的对象是以报废的矿区，煤质极劣的矿区，以及残留煤柱。其最终结果，是建立地下气化电站联合企业。

5. 波 兰

波兰没有石油与天然气，所以动力只有依靠煤炭。

1949年，波兰与比利时，法国在比利时索柯得矿共同进行地下气化的试验。同时中央采矿学会中，成立煤炭地下气化分会，1951年设立地下气化研究所，地下气化科学学会也相继成立。1955年在卡拉维辛城郊建立了第一座试验站；煤层埋深超过100米，煤热值 $4000\sim 5000\text{大卡/公斤}$ ，煤层中水分含量高达46%。

从1955年开始，进行有井式试验，与此同时，对电力法贯通煤层也进行了研究，虽然取得了一定的成就，但是该方法的经济效果不够理想。

1955年，在钻孔煤气发生区内进行的井式气化试验，取得热值较高的煤气。用富氧鼓风时，稳定地取得高达 2000大卡/标米^3 热值的煤气，化学利用系数达到70%，气化过程连续不断，而该气化煤层的厚度仅 $1\sim 1.2$ 米，氧气送入量为 $200\text{米}^3/\text{时}$ 。

波兰的井式煤气发生炉，有其独特之点，其费用比英国井式煤气发生炉还低。因此波兰对有井式气化法，给予很高的评价。此后波兰的试验，大多采用井式煤气发生炉。

波兰还对烟煤产地进行了气化试验。比较褐煤与烟煤试验的结果：每标米 3 氧，在褐煤能回收4000大卡的热量，而烟煤则是9600大卡，因此认为在烟煤层富氧鼓风，不仅在技术上可行，而且在经济上也是合算的，并列为今后波兰地下气化试验的工作方向

之一。

波兰在褐煤地下气化试验中，未能取得长期稳定的可燃煤气。

值得注意的是：在斯尔扎煤矿，对开采后剩留在地下的煤柱，进行了气化试验，这项工作是从1960年开始的，煤层埋藏深度40~110米，用无井式法准备煤层。此后在该矿继续进行火力渗透法及电力气化的试验。在电力气化中获得热值为2400~3200大卡/标米³的煤气。研究结果还发现，在应用钻60时，煤气热值提高38~100大卡/标米³。

在波兰对地下气化试验的结论是：在波兰的具体条件下，地下气化应该是在使用氧及水蒸汽（利用煤层中的水含量）鼓风，最适宜的气化方法是井式煤层钻孔法。

6. 捷 克

煤炭地下气化的试验于1956年开始，先在捷克北部布里兹诺褐煤层进行。该煤层厚1.4米，储量100万吨，煤的平均发热量为2880大卡/公斤，湿度40%，灰分18%，顶底板为4~8米厚的玄武岩碎石及粘土质细砂岩层。采用无井式火力渗透法准备煤层，设备用二台七个大气压，风量为300~560米³/时的压风机，一台1.2~2大气压，风量为2190米³/时的鼓风机。试验结果列于下，主要过程是在57、58年进行的。

贯通速度	米/昼夜	0.89 (57年)	1.44 (58年)
煤气热值	大卡/标米 ³	756~873	
电耗	度/米	580~1076	
热化学效率	%	63.4~66.95	
煤气产率	米 ³ /公斤	2.36	
气化煤总量	吨	1866.7~3103	

试验完成后解剖了地下煤气发生炉，发现

- 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) 当采用钻孔直线排列气化时，燃烧煤层宽10米，有时可达13~14米
- 4) 顶板变形；
- 5) 钻孔发生显著的变形，因此不能加深钻孔来气化几层煤；
- 6) 煤层顶板的可钻性起了变化，原来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平息。

试验于1959年结束，试验结果符合预期计划。

1960年至1961年在魁塔进行第二次试验。

1961年开始又在维尔撒赤地区进行第三次试验，并在此地区建立半工业性试验站。试验煤的热值 $Q = 2750 \sim 2900$ 大卡/公斤，取得煤气的热值为832~1082大卡/标米³，平均为877大卡/标米³。其规模为每排6个钻孔，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，蒸汽代动一台1500瓩的

透平发电机，整个装置完全自动化及机械化。1962年生产正常，年产1.6亿立方米热值为800~900大卡/标米³的煤气，煤气产率为1.6标米³/公斤煤，煤耗量13万吨/年，损失13%，成本为53捷克朗/1000米³，这个成本是较高的。该站工人80人，但在大规模生产情况下，煤气成本可降到30克朗/千米³。试验于1961年结束，根据这次试验结果，曾计划建立10万千瓦的煤气发电联合企业。

除上述试验外，还在布拉梯斯利夫煤田进行了试验。煤层是含水量高达80%的褐煤。这项试验获得成功并取得捷克专利K_p 26 a 9. no 105896专利权。

在南马拉维煤田的东部对含水煤层进行了同样的试验，用6~7大气压空气阻止水流向气化区，获得煤气热值最大为750大卡/标米³。

第四节 煤炭地下气化的最近动态

世界动力的消耗量迄至七十年初的近百年内增加了二十倍，预计在八十年代初期又将增加一倍，而到二千年将又增加四倍。一次能源的消耗量将从1966年的58亿吨标准燃料，增加到1980年的109亿吨，二千年增加到245亿吨。能量消耗如此巨大，使世界各工业国不得不考虑燃料动力政策和科技发展规划，特别是在七十年代能源发生危机以后。

各工业国的燃料动力科研规划方向，主要方面在于：

1. 如何确保现有矿物资源的开发和有效利用；
2. 迅速发展其他能源的开发和研究；
3. 如何减少现有燃料能源对环境的污染。

今后几十年内动力能源的主要来源仍然是煤和石油，而煤占主要地位。

煤的使用前景是气化和液化；因为煤的气化能生产相当于无硫天然气的煤气，不释放烟尘。因此将煤就地加工成无污染性的煤气，成为世界主要工业国在能源供应方面最感兴趣的问题之一。随着电力需要的增长，未来数十年内煤层地下气化技术，很可能成为许多工业发达国家发电的主要手段。

因此苏联、美国、西德等主要工业发达国家在七十年代期间，对煤炭地下气化给予了新的估价，并进行了大量的科学研究工作。

七十年代开始，美国重新加强了煤炭地下气化的试验研究工作。根据美国能源部报告指出：煤在美国已调查清楚的燃料储备中约占90%，天然气约占4%，石油和核燃料约各占3%。然而所耗能源中煤只占19%。在现认为可采的最大深度1800米以上的美国煤矿蕴藏量为3.36万亿吨，其中大约4300亿吨可用常规方法开采，地下气化可开采另外的1.8万亿吨。

一个地下气化工厂能把煤对环境的所有影响集中在一个地点，这样能有效地控制污染。使用地下转化技术也会比采煤后在地面工厂气化煤的办法省钱，并能生产出干净的气体 and 液体燃料。

1974年美国叙拉古大学研究中心已研究成功一种破碎采煤的化学方法，获得了专利