

编者按 煤炭是 21 世纪的主要能源,煤炭地下气化技术被喻为煤炭工业的一场革命,是今后煤炭利用的主要方向。国外,如俄罗斯、西欧等国已积累了很多经验,但我国刚刚起步,因此,很有必要作宣传。煤炭地下气化涉及到很多钻探工作,是探矿工程的一个新的服务领域。

煤炭地下气化技术

张祖培

(长春科技大学 勘察工程系,吉林 长春 130026)

摘 要 介绍了煤炭地下气化的基本原理、应用地质条件、国内外发展概况以及与传统矿井开采煤炭相比的优越性。分析了实施煤炭地下气化所需解决的地下气化炉结构和气化工艺参数的选择、高温条件下煤和岩石物理化学性质的测试、物探测试和监控、大口径定向钻进等关键技术问题,提出了我国发展煤炭地下气化技术的对策。

关键词 煤炭 地下气化 地下气化站 大口径定向钻进

中图分类号 TD84 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3746(2000)01-0006-04

Underground Coal Gasification Technology/ZHANG Zu-pei (Changchun University of Science and Technology, Changchun, 130026, China)

Abstract: Fundamental principle, applicable geological condition, domestic and oversea development of underground gasification and its advantage compared with traditional underground coal mining are introduced. The key problems of structure of gasifier carrying out underground gasification, selection of gasification process and parameters, test on physical and chemical properties of coal and rock under high temperature, geophysical prospecting measuring and monitoring and controlling, large diameter directional drilling and so on are analyzed. Countermeasures on developing underground gasification in China are presented.

Key words: coal; underground gasification; underground gasification station; large diameter directional drilling technology

煤炭地下气化的概念,1888 年由伟大的化学家门捷列夫提出,1912 年在英国进行了首次试验。1936 年开始,苏联进入工业试验阶段,至 50 年代,煤炭地下气化的工艺技术基本过关并投入工业生产,使苏联的此项技术在上世界上处于领先地位。目前,受世界能源危机的影响,西欧各国(包括美国)也加强了对煤炭地下气化工艺技术的研究。

1 基本原理

煤炭地下气化的原理及过程与地面煤气厂生产煤气的原理及过程完全相同,产品也相同,只不过前者属于化学采煤方法,是将埋在深处的煤在地下点燃,燃烧转变为可燃气,直接输送到地面。

地下煤气发生系统原理如图 1 所示,从地面向煤层打钻孔 1 和 2,设法将两孔连通,在连通的空腔中将煤点燃,形成气化通道,空气从孔 1 压入,生成的煤气从孔 2 排出。

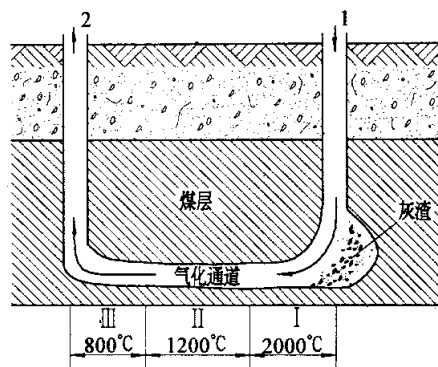


图 1 煤炭地下气化原理

1—进气孔 2—排气孔

I—氧化区;II—还原区;III—干燥干燥区

整个气化通道沿长度分成 3 个区:

氧化区(I) 这是气化通道初始一段长度,煤中的碳和氢与空气中的氧燃烧生成二氧化碳和水蒸气,产生大量的热,温度可达 2000℃,使煤层炽热与

收稿日期:1999-09-03

基金项目 正在申报国家 863 计划,已通过初审。

作者简介 张祖培(1934-),男(汉族),江苏无锡人,长春科技大学教授,博士生导师,校钻凿材料及机具研究所所长,勘查技术专业,硕士,吉林省长春市西安大路 6 号,(0431)8502451。

蓄热。

还原区(Ⅱ):气流继续向前流动,二氧化碳与水蒸气在灼热的煤层表面分别还原成一氧化碳和氢。其反应速度取决于还原区的温度,还原区的温度大约为 1200 ℃。

干馏干燥区(Ⅲ):当无氧的高温气流进入干馏干燥区时,热作用使煤中的挥发物析出,形成焦炉煤气。干馏干燥区的温度大约为 800 ℃。

经过上述 3 个反应区后,就生成了主要组分是 CO 、 H_2 、 CH_4 的可燃气体,其温度为 300 ~ 500 ℃。从排气孔输出的气体,经地表冷却、洗涤和脱硫等,变成可燃的气体直接经管道供煤气用户使用,所得动力气体可供涡轮机发电用,所得合成气体经化工厂再处理获得氢、甲醇、硫代硫酸钠等化工原料。

2 应用地质条件

地下气化的效益很大程度取决于地区地质构造的研究程度,但是至今没有统一的勘探方法。总的要求是要确切搞清地下气化地区的地质构造、煤层赋存状况、产状、厚度、煤质情况以及水文地质情况,即矿床的勘探程度要达到建竖井所需的详细勘探要求,勘探网距一般不小于露天开采时的要求,有时还要加密。假如煤田具有复杂的褶皱构造和破碎带,岩层又不稳定,则不宜进行地下气化。俄罗斯采用无井式气化方案:进、排气孔之间的距离一般为 15 ~ 20 m,钻孔直径一般为 300 mm。被气化的煤层深度一般在 300 m 以内,超过 500 m 时难度就大些。被气化煤层厚度 0.7 ~ 22 m,煤层倾角从 0°至陡倾斜;煤的种类从褐煤到烟煤,以透气性高的煤为好。从水文地质条件看,被气化的区段内不应有含水层,气化煤层中的顶板中最好有一层能隔水防漏气的泥质保护层。一个地下气化站要工作 10 余年以上,因此对煤的储量要求,除详勘时 A2 + B 级储量要超过 50% 外,具体数量则根据所设计的气化炉生产能力而定。计算时采用的经验系数为:1 kg 煤能气化成 1.5 ~ 5.5 m^3 的气体。气体的热值取决于气化剂种类:当采用空气时,理论计算气体热值 $\geq 4.4 \text{ MJ/m}^3$ (1050 大卡/ m^3);当采用富氧(含 65% 氧)时,气体热值可提高至 6.7 MJ/m^3 (1600 大卡/ m^3)。所以地下气化时所得的是低热值气体。

3 国内外发展概况

前苏联是世界上进行地下气化现场试验最早的国家,也是地下气化工业应用成功的唯一国家。1932 年在顿巴斯建立了世界上第一座有井式气化

站,至 1967 年,相继建立了 5 座地下气化站,到 60 年代末已建站 12 座。统计到 1994 年,共烧掉 1600 万 t 煤,生产 500 亿 m^3 低热值煤气,其中,南阿宾斯克站连续工作 40 年,安格林站连续工作 38 年,所生产的煤气主要用于发电或工业锅炉燃烧。1949 ~ 1964 年,苏联从事地下气化的研究单位有全苏地下气化研究所和地下气化设计院等 18 个单位,从事开发和生产的工程技术人员达 3000 余人。目前俄罗斯正在筹建 8 ~ 10 座日产 100 万 m^3 以上的气化站。

美国地下气化试验始于 1946 年,首先在亚拉马州的浅部煤层进行试验,利用有井式施工,采用空气、水蒸气、富氧空气等不同气化剂进行试验,煤气热值为 0.9 ~ 5.4 MJ/m^3 ,后因煤气漏失严重告终。70 年代,因能源危机,美国组织了 29 所大学和研究机构,在怀俄明州进行大规模有计划的试验,获得了工业性气体,用于发电和制氨。1987 ~ 1988 年,洛基山 - 1 号试验获得了加大炉型、提高生产能力、降低成本、提高煤气热值等方面的成果,为煤炭地下气化技术走向工业化道路创造了条件。美国能源部宣称,一旦发生能源危机,美国将广泛使用该技术生产中热值煤气,以解决国家之急需。

德国拥有大量的煤炭储量,但其特点是埋藏深,且处于海底。其深层煤的储量高达 1 万亿 t,延伸至北海的广大煤田深度 > 5000 m,用现行的采煤方法无法开采。因此,德国特别重视煤炭地下气化技术的研究,成立了第二代采煤技术研究学会。1979 年,德国与比利时在图林联合搞了一次试验,试验深度达 860 m,煤层厚 6 m,试验获得了良好效果。

英国、法国、捷克和西班牙等国也先后结合本国煤层赋存特点,对煤炭地下气化技术进行了研究。1988 年,6 个欧盟成员国就煤炭地下气化组织了一个工作小组,并于 1991 年 10 月至 1998 年 12 月,持续 7 年多在西班牙 Terul 地区的 Ohiete-Arino 煤矿搞了一次野外试验,耗资 1200 万英镑,试验在中等深度(500 ~ 700 m)煤层中进行。该试验成功地采用了钻孔后退式供风调控方案,气化总时间达 301 h。该试验解决了许多技术问题,同时证实了欧洲中等深度煤层实施地下气化技术的可行性。

我国于 50 年代曾在大同胡家湾矿、蛟河煤矿、鹤岗兴山矿等 10 余处开展过煤层地下气化技术的试验。直至 1984 年,中国矿业大学又重新开始研究,并于同年在徐州马庄矿完成了煤炭地下气化现场试验;1994 年在徐州新河二号井完成了半工业性试验;1996 年在唐山刘庄煤矿完成了工业性试验,采用了有我国特色的“长通道、大断面、两阶段煤炭地下气化新工艺”,大大提高了煤气的热值,所建的

地下煤气站已连续工作 2 年多,所产煤气用于烧锅炉和供煤气公司使用。目前,山西、山东、吉林、黑龙江、河南、甘肃等省有关矿务局和煤矿都筹备开发这

项新技术。
各国煤炭地下气化技术实施情况见表 1。

表 1 各国煤炭地下气化技术实施情况

国家	地点	煤的类型	深度/m	倾角/(°)	煤层厚度/m	工作年限	气化剂
前苏联	莫斯科近郊	褐煤	50		4	1947 ~ 1962	空气
	里希查	长烟煤		30 ~ 40	0.4 ~ 1.5	1948 ~ 1962	空气、氧气
	南阿宾斯克	次长烟煤		60 ~ 70	2 ~ 9	1955 ~ 1995	空气
	安格林	褐煤	120 ~ 250		3 ~ 20	1961 ~ 1999	空气
	沙特斯	褐煤	40		2	1965 ~ 1974	空气
美国	Hannd	次长烟煤	85		3	1973 ~ 1979	空气
	Hoe Creek	次长烟煤	85		9	1976 ~ 1979	空气、氧、水蒸气
	Pricetown	长烟煤	270		2	1979	空气
	Rawlins	次长烟煤		60	7	1979 ~ 1981	空气、氧、水蒸气
	Centralia	次长烟煤	75		11	1981 ~ 1983	空气、氧、水蒸气
	Rocky Mountain	次长烟煤	110		7	1987 ~ 1988	氧、水蒸气
法国	Djerada (Morocco)	无烟煤		70	1	1950 ~ 1955	空气
	Bruay-en-Artois	无烟煤	1200		1.2	1981	空气
	Haute-Deule	无烟煤	880		2	1985 ~ 1986	空气
比利时	Bois-la-Dame	无烟煤		87	1	1948	空气
德国、比利时	Thulin (比利时)	无烟煤	860		6	1979 ~ 1987	空气、氧、水蒸气
西班牙		褐煤	500 ~ 700		2	1991 ~ 1998	空气、氧
中国	徐州新河煤矿	烟煤		极倾斜		1994	空气
	唐山刘庄煤矿	烟煤		55 ~ 60		1996 ~ 1999	空气、富氧、水蒸气

4 煤炭地下气化技术的优越性

煤炭地下气化获得能源要比传统的井工开采有很多优越性。

4.1 可充分利用和节约煤炭资源,提高其利用率

受煤矿回采技术的限制,我国回采率只有 50% 左右,小煤窑只有 10% ~ 30%,浪费十分严重。另据不完全统计,被遗留在地下的呆滞资源(作支撑用的矿柱)在 300 亿 t 以上,已报废的矿井约 297 处,2000 年还将有 300 处以上,平均年报废 148 万 t。煤炭地下气化能把地下的煤大部分气化(即回采率达 60% 以上)能把报废矿井中遗留的煤 50% 以及边缘不可采的煤气化;能气化薄煤层、深部煤层和“三下”的压煤,大大提高了煤炭资源的利用率。

4.2 降低生产成本,提高劳动生产率

据俄罗斯统计,煤炭地下气化与露天开采平均生产成本大致相当,其中,生产规模比较大的位于乌兹别克斯坦的安格林站,连续生产达 30 多年,产量最高达 10 亿 m³/年,其单位生产成本比同一矿区竖井开采低 50%。我国采用有井法进行地下气化(即可利用原有坑道),减少了钻探施工投资,所以生产成本进一步降低,据初步统计,煤炭地下气化的成本(0.2 ~ 0.25 元/m³)比地面气化成本(0.4 ~ 0.5 元/m³)降低 50%。假如从煤炭地下气化工艺中提氢,氢的成本为 0.5 元/m³,而利用一般方法制氢则为 1.5 ~ 3.0 元/m³。

俄罗斯几个地下气化站统计的资料:在同一矿

区,相同的生产能力,参加地下气化的职工人数为 1000 人,而参加竖井生产的人数则为 3500 人,劳动生产率提高了 3.5 倍。

4.3 能提供丰富的洁净能源和化工原料

煤炭地下气化时能生成很洁净的气体,而把一切杂质和灰尘留在地下。此外,还能提供很多副产品,如氢、氫、碳酸、氨水、煤焦油、硫等,特别是提氢和制甲醇,有很好的开发前景和市场。

4.4 节约基建投资,缩短建设周期

地下气化站的厂房和设施比竖井生产简单得多,因此基建投资少。在同一矿区相同规模条件下,建地下气化站的基建投资约为建竖井的 1/3。假如利用报废矿井,原来矿区的所有基础设施均可加以利用,可节省很多基建投资;另外,利用报废矿井,对地下的地质结构比较清楚,还可节省大量勘探费用。

建一个地下气化炉仅需 1 ~ 2 年,而建一个竖井要 3 ~ 5 年甚至更长,缩短了建设周期。

4.5 可减少地表环境破坏和环境污染

据统计,截至 1990 年,全国因煤炭开采造成约 3000 km²(30 万公顷)土地的塌陷,且每年新增坍塌地 133 ~ 200 km²(1.33 万 ~ 2.0 万公顷)矸石积存达 30 亿 t,占地 120 km²(1.2 万公顷),矸石自然排出大量烟尘及 SO₂、CO₂、H₂S 等有害气体,严重污染大气环境。而煤炭在地下气化,则消除了这些弊病。

4.6 避免了矿工繁重的体力劳动;生产安全,便于实现自动化和机械化

煤炭地下气化工作的操作和管理,全部集中在地表,不存在煤炭的采掘、堆放和运输,避免了井下矿工繁重的体力劳动,人身和机械事故大为减少。整个地下气化过程由仪表和微机自动控制和管理。

5 实施煤炭地下气化的几项关键技术

煤炭地下气化技术虽然已经过了五六十年的研究和实践,积累了很丰富的经验,已经到了能应用和规模化工业生产的水平,但其存在的主要问题是:如何保持地下气化炉能长期连续地稳定生产。影响连续稳定生产的因素很多,其中,某些关键技术目前还没有完全解决是一个主要原因。

5.1 地下气化炉结构和气化工艺参数的选择

应根据不同煤层赋存条件确定气化炉的结构和气化工艺参数。气化炉主要有无井式和有井式 2 类,各有利弊。前者主要利用钻孔进行气化,完全免除了地下作业,气化过程比较稳定,容易控制,建炉周期短,可用于气化薄煤层、深部煤层、水下和建筑物下煤层、小煤矿边缘丢失的煤;其缺点是出气量小,钻孔多了影响生产成本。前苏联及欧洲用得多。有井法即利用坑道进行气化,其优点是出气量大,还可利用原有坑道,节约了投资。但是密封井巷内工作比较困难,鼓风和煤气的漏损量大;气化区要远离开采区,还需地下作业等。我国目前常用此法。

气化工艺参数包括:气化剂种类,气体温度、流量和压力,吹气口的位置及调整等。其中,最后一项是至关重要的,因为它是影响稳定生产的关键,要通过地表实验室内模拟试验和生产过程中的实际测量而确定。美国及欧洲采用的后退式供风系统及钻孔过滤式供风值得研究。

5.2 高温条件下煤和岩石物理化学性质的测试技术

煤炭地下气化能产生 2000℃ 的高温,它对煤和围岩的成分和性质如强度、渗透率、导电性、磁性等有很大的影响,必须通过实验研究,掌握其变化特点和规律,然后根据物探工作所提供的温度场分布特征,建立模型,进行光弹性实验,以获得燃空区应力场分布特征和燃空区的扩展规律,为地下气化工程的决策(例如气化炉的自动监控,进、出气钻孔的保护等)提供依据。

5.3 物探测试和监控技术

煤炭地下气化过程的动态监控技术中,比较难测试的是燃烧区内的温度和燃空区、燃烧区的界面。因此,一方面要加强对燃烧区界面电磁、声波特性的研究;另一方面要开发研制高分辨率监测仪器。受地下条件影响,采用热电偶测量地下温度时,电偶容

易损坏,且只能测出 2 m 以内的温度情况,最好使用其它遥测手段。目前使用的主要有地面电位测量和高频电磁波测量。至于燃烧区界面的测试,目前用得较多的是放射性测氦法,高分辨率的跨孔地震成像技术正在研究中。

5.4 大口径定向钻进(含贯通)及钻孔保护技术

无论是有井式还是无井式气化方案,都存在一系列钻孔问题。煤系地层一般比较松软,有时还比较复杂;气化深度一般 200~300 m,但有时很深,甚至超过 1000 m;钻孔直径比较大,一般在 150 mm 以上,经常为 300~500 mm。在这种条件下进行大口径定向斜孔钻进,有一定难度,也缺乏相应的定向钻进机具以及随钻测量系统。地下气化时,钻孔在地下要对接贯通,以往常用的贯通方法有水力法、火力和电力法,这些方法耗时多、成本高,因此必须研制先进的定向贯通法。另外,地下气化时产生 300~500℃ 的高温气体,而且含酸,这些气体要通过出气钻孔,出气钻孔的服务期限又比较长,一般 3~5 年甚至更长,因此,地下气化时存在着钻孔保护问题。要研究耐酸、耐高温的套管,套管活动接头的结构以及高温气体的冷却和余热的回收等问题。

6 我国发展煤炭地下气化技术的对策

煤炭地下气化技术已被喻为煤炭工业的一次革命,其优越性已无可置疑。虽然有些关键技术还没有完全解决,但俄罗斯(包括前苏联)近 50 年的研究和实践,已把这项技术提高到能推广应用的阶段。早在 1979 年联合国“世界煤炭远景会议”上就明确指出,发展煤炭地下气化是世界煤炭开采的研究方向之一。1992 年,国家科委制定的我国科学技术中长期发展纲要“白皮书”中明确指出:“到 2020 年的战略目标和关键技术是完成煤炭地下气化试验研究”并“建立商业性煤炭地下气化站”。

面临世界能源危机,如何节约煤炭资源以及如何提高其利用水平,就显得特别重要。为此:(1)应该迅速组织科研力量,加强对煤炭地下气化技术的研究。完美解决上述关键技术,使煤炭地下气化技术提高到一个新的水平。(2)在我国唐山刘庄煤矿工业性试验基础上,可优先选择 1~2 个关闭的煤矿(最好当地缺管道煤气和天然气),气化边缘残留的储量,以满足中小城镇燃烧煤气的需要。

煤炭地下气化将给钻探工业提供一个新的服务领域,随着其关键技术的解决,将会加速我国煤炭地下气化工业的发展。在造福子孙后代的伟大事业中,钻探工作者将做出新的贡献。