



苏联煤的地下气化

苏联 普·維·斯卡法著
北京煤矿設計院专家工作室譯

煤炭工业出版社



內 容 提 要

本書是根據蘇聯煤的地下氣化的試驗工作的材料編寫的，書中不僅敘述了煤地下氣化的一般原理，而且还介紹了煤地下氣化的工藝過程及其技術經濟指標的分析。

本書是供煤炭工業部門廣大幹部閱讀的，對從事煤的地下氣化的技術人員更有重大參考價值。

П. В. Скафа

ПОДЗЕМНАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ
УГЛЕЙ В СССР

Углетехиздат Москва 1958

根據蘇聯國立煤礦技術書籍出版社1958年版譯

1069

蘇聯煤的地下氣化

北京煤礦設計院專家工作室譯

*

煤炭工業出版社出版(社址：北京東長安街煤炭工業部)

北京市書刊出版業營業許可證出字第084號

煤炭工業出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

開本787×1092公厘 $\frac{1}{32}$ 印張1 $\frac{7}{16}$ 字數28,000

1959年2月北京第1版 1959年2月北京第1次印刷

統一書號：15035-772 印數：0,001—3,000冊 定價：0.21元

前 言

煤炭地下气化是許多煤田开采方法中的一种。这种方法是使煤炭在煤层中，即在其埋藏地点进行气化。所以說，煤炭的地下气化包括两个通常分开进行的生产过程：煤的开采和煤在煤气厂或设备中的气化。

地下气化与其他煤田开采方法的不同地方，是前者对煤层实行化学作用，后者对煤层实行机械（物理）作用。因此，地下气化的主要产品不是煤炭，而是煤炭的化学加工产品——可燃气體。这种气体在一定的使用条件下在其質量上优越于燃料煤，同时还能做工艺生产上的头等原料。

煤炭地下气化能使煤层的开采不需要井巷工程，只是从地面打鑽孔进行。这就使不适合于露天开采的煤田，能够免于使用地下劳动加以采掘。

根据煤炭地下气化的現有技术条件可以預定，在許多不同的煤层埋藏地質条件下，煤气热能成本将低于用其他方法采掘的煤炭的热能成本。

煤炭地下气化的重要潜能之一，就是在采用这种煤田开采方法时可以使用目前尚不是可采的煤炭儲量。

煤炭地下气化与其他任何一种采煤方法比較起来，它是一种最容易采用自动化的生产过程。地下气化的主要产品是煤气，这对使用这种燃料的各个部門的自动化，提供了广闊的可能性。

今天，苏联是世界上第一个能編制出地下气化技术方案并在实际中开始应用的国家。

目 录

前言

問題的来由	3
煤炭气化的物理化学原理	5
煤炭地下气化的工艺过程	9
沟道中煤层的气化	11
地下煤气发生区的无井巷准备工作	16
煤炭地下气化的煤气发生区	24
开拓系統和燃燒工作	28
地下气化时对煤炭热能的利用	33
煤炭地下气化的煤气及其生产	37
煤炭地下气化的技术经济指标	42

問題的來由

煤炭地下氣化的概念，是偉大的俄國學者 Д.И.門德列耶夫於1888年最先提出的。他在他的5部著作中對煤炭地下氣化都曾做了闡述，並且也設法做過適當的試驗，但遺憾的是，沒有獲得成功。

在國外刊物中，關於煤炭地下氣化的第一篇通報，是在Д.И.門德列耶夫逝世五年以後的1912年發表的。

В.И.列寧對煤炭地下氣化這個問題非常重視，並指出這個問題的解決乃是工業中的巨大變革。因此，從蘇維埃政權初期，整個社會對煤炭地下氣化都表示很關心，並非是偶然的。

1931年，蘇聯黨的中央委員會通過了在煤层埋藏的自然條件下進行地下氣化試驗的決議。

在1932年至1935年期間，為了探討煤炭在煤层中的氣化方法，在莫斯科近郊煤田、頓巴斯和庫茲巴斯，建設了五個試驗性的地下煤炭氣化站。因此，這個問題在全世界上是首次得到了解決。

1940年，又有兩個地下氣化站，在頓巴斯和莫斯科近郊煤田投入了生產。它們的任務應該是探討在不大的工業規模內生產煤氣的可能，進一步研究煤炭地下氣化的技術，特別是無井巷煤炭地下氣化的方向。

1941年，莫斯科近郊地下氣化站，從技術上第一次解決了無井巷煤炭地下氣化的問題。由於這個地下氣化站工

作得很好，使它变成了第一个不大的煤炭气化的工业企业，并且在这个气化站的工艺过程基础上，又开始建设两个新的、较大的褐煤层地下气化站：莫斯科近郊煤田的沙特气化站和中亚细亚安哥连煤田的安哥连气化站。

里锡昌地下气化站是气化薄烟煤层系的。它的工作经验，曾为建设工业性试验的库兹巴斯南阿宾地下气化站和顿巴斯气化贫煤的卡民地下气化站奠定了基础。库兹巴斯南阿宾地下气化站，是在1955年投入生产的。

南阿宾地下气化站工作得很好，这使它有可能在1957年在产量上开始扩大到小型工业企业的规模。

用地下气化方法生产煤气的规模虽然还不大，但其发展速度却是很快的。

全国所有地下气化站的总年产量，在1950年曾为3亿零5百万立方公尺，而到1960年将增加到23亿立方公尺。

现有地下气化站和在1960年以前将要竣工的地下气化站的设计能力，示于表1。

目前，所有地下气化站的煤炭气化的准备工作，都是采用无井巷方法，即在地下不开凿井巷进行的。

为了探讨大规模运用煤炭地下气化这种新技术的可能性，为了准备建设新的大型地下气化站，编制了适用于不同的煤层埋藏地质条件的设计文件。随着新建地下气化

表 1

地下气化站名称	年生产能力 (百万立方公尺)
里锡昌	200
莫斯科近郊	460
沙特	660
南阿宾	370
安哥连	2320
卡民	330

站的掌握，煤炭地下气化的今后发展道路，无疑地是建设新的大型地下气化站。

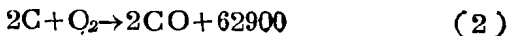
煤炭气化的物理化学原理

煤炭地下气化原理，与一般煤炭气化原理一样，是把煤炭的固体有机物变为可燃气。从地下采出的或者埋藏在地下的煤炭，是由于受热力和化学作用而变为可燃气体的。煤炭不加氧进行加热，能使煤炭有机物在 250—900° 温度下强烈地分解，并分解出挥发物——煤气和焦油蒸汽。因此，由于煤炭中含有挥发物和采用热处理方法，可能有 5—40% 的煤炭热能变为煤气和蒸汽两种产品。

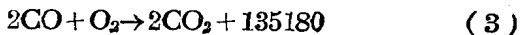
只将煤炭挥发物变为气体的气化方法，称做**部分气化法**。

挥发物从煤炭中脱出以后，就剩下了由碳和灰这两种主要成分所组成的焦渣。把焦渣的可燃体变为气体产品，可以采用氧和水蒸汽对焦渣在高温下进行化学处理的方法。

由于碳和氧的反应，产生下面两种气体：不燃烧的二氧化碳和燃烧的一氧化碳。

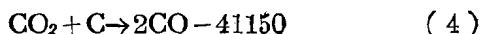


一氧化碳由于含有游离氧，能燃成二氧化碳。

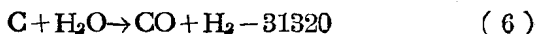
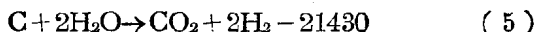


① 反应时的热效应，大卡/公斤——H₂O的低限克分子。

二氧化碳由于同烧紅的碳相接触，又能还原为一氧化碳。



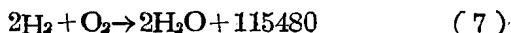
水蒸汽与碳在高温下起反应：



由于这种結果，同样能产生可燃气體：氢和一氧化碳。

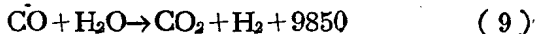
在放热反应（1、2、3）中产生的热能，能使气化过程維持所必需的温度，能抵偿吸热反应（4、5、6）、蒸发水分、加热煤层和脱出揮发物所消耗的热量，以及损失在周围介質中的热量。

在目前常采用的煤炭地下气化方法中，焦渣中的碳同送风氧（1）在頗大程度上不直接发生反应，而只在最初有部分送风氧同从煤层脱出的可燃揮发物起反应，例如：



因此，水蒸汽和二氧化碳跟煤层焦渣中的碳起氧化反应（反应4、5、6）。

此外，在煤炭地下气化中，一氧化碳的化学轉換反应是非常重要的。



气化过程的主要动力，是焦渣碳与送风氧之間的异相反应①——碳的燃烧。

① 异相反应——在不同相（固相与气相，固相与液相，等等）中的反应物質接触面上多相介質的化学反应。

碳、二氧化碳与水蒸汽之间的异相反应过程，在煤炭气化中是很重要的。

碳的燃烧速度包括下面两个过程的速度：氧扩散到碳表面上的物理过程和氧与碳起反应的化学过程。

在各种不同条件下，碳的燃烧速度或是受物理过程速度的限制，或是受化学过程速度的限制，或是同时受这两个过程的速度限制。

如果碳的燃烧速度或者其他的异相反应速度，受气体成分扩散速度的限制，那么可以说异相反应是在运动带进行的，因为此时化学反应速度大大地超过扩散速度。

如果异相反应速度不是受扩散速度限制，而是受化学反应速度限制，那么异相反应是在扩散带进行的。如果异相反应速度既与扩散速度有关，又与化学反应速度有关，那么异相反应是在中间带进行的，因此称做中间带异相反应。

根据气化过程是在扩散带、运动带或中间带进行的来采取适合的加强气化过程的措施。

煤炭在煤层中气化时，限制气化速度的因素，是氧经常往碳表面扩散。所以，气化过程最重要的任务之一，是保证送风与燃烧煤层在反应带一定长度内不断而急剧的接触。

但是在煤炭地下气化中，煤气的形成不仅是由于煤层燃烧部分的气化，而且还由于紧贴在煤层上的岩石燃烧部分的气化，以及异气体由煤层中的脱出。气化时自岩层中产生的气体的成分和数量，取决于顶底板岩石中的有机物

含量，岩石的矿物成分，以及岩层的加热程度。含有石灰岩的岩层，由于在煤层气化时加热，产生二氧化碳。岩层中含有的有机物是产生 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 H_2 和其他气体的源泉。这些气体是在煤层有机物气化时获得的。

从煤层中产生的异气体的成分和数量，由该气体的性质决定。褐煤主要是生产二氧化碳，烟煤生产沼气。

煤炭地下气化过程与地面气化过程的不同地方，是前者在地下，在种种不同的自然条件下进行；而后者则在专门的设备（煤气发生炉）中进行。为了正确地组织地下气化过程，必须对一些特殊的因素加以考虑，即煤层埋藏的水文地质条件、顶底板岩石的性质、煤层的构造和性质、其埋藏深度和特征等等。

煤炭在气化时，不是全部热能都变为煤气的化学热能。

气化时煤炭的部分热损失于周围介质，以及消耗于水分的蒸发和煤气的加热（煤气的物理热）。煤炭发热量变为煤气化学热量的程度，以气化化学效率表示。根据气化和煤炭的性质不同，该效率值为50—85%。在煤炭地下气化中，地质因素对化学效率值也产生极大的影响。

实际将煤炭的全部可燃体变为煤气（灰分留在残渣中）的气化方法，称为**完全气化法**。

目前，煤炭地下气化正在采用完全气化法的基础上发展着。煤炭在地下完全气化的过程，原则上分前后两段来完成。第一段是由煤中脱出挥发物，第二段是气化焦渣。

煤炭地下气化的工艺过程

煤炭地下气化的最新工艺过程，是根据对不同技术方法长期进行研究和试验的结果而编制成的，但还不能把它当做唯一成功的和最合理的工艺过程。

随着我们对煤层和围岩的知识的增长，随着有关科学技术部门的发展，将来发明和采用经济技术指标较高的其他煤炭地下气化法，是毫无疑问的。

目前，煤炭地下气化工业，正在大力采用煤层沟道气化法。这种气化方法叫做气流法（图1）。

煤层沟道气化法所达到的技术指标，还远远未达到该气化过程本身所具有的能力。因此，在煤炭地下气化发展的现阶段中，最重要的任务之一，是不断改进这种气化方法。

很明显，煤层仅利用其气孔在适合速度下进行气化，在物理化学和热工方面，是优越于沟道气化法的。所以，在煤炭地下气化的整个发展过程中，探讨合理的气化方法是不能够停息下来的。

可以认为，在一定地质条件下，煤层在被送风及煤气

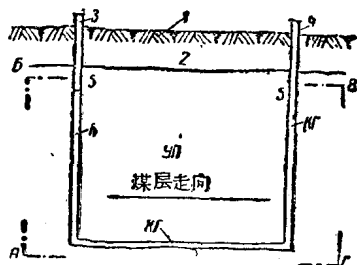


图1 采用气流法的煤炭地下气化系统
1—地面； 2—表土下煤层的露头线；
3、4—开拓钻孔； 5—开拓钻孔的套管底端； KΓ—气化沟道的最初状况；
ABΓ—等于煤气发生区储煤量的煤层气化区； YII—煤层。

或液体破坏的人造气孔和裂缝中顺流进行气化是可能的。在这种情况下，在煤层的有关气化区内，一部分煤可以用过滤法①气化，而另一部分煤则可以用沟道气化法——气流法进行气化。

在所有煤炭地下气化方法中，用电能预先对煤层加热的气化方法，具有特殊的地位。

用电能加热时，起初由于煤炭中挥发物脱出，能获得高热值煤气，而后再用一定的方法使煤炭的焦渣气化。但是采用这种方法进行气化，蒸发地下水和围岩的加热，都需要消耗大量的电。

因此，起初最好是只采用电能使煤层加热来掘进气化沟道（电力贯通），然后在取得一定成绩和排地下水技术有了发展的基础上，再将这种方法推广于电力气化。

用气体导热体——可燃气体对煤层加热的方法，与电能加热方法，在一定程度上是相似的。这种煤炭地下气化方法，既可以用来脱出煤炭中的挥发物，此后又可以用来气化焦渣。这在掌握即使是象顺向贯通和在煤层气孔中顺流气化这样比较简便的过程之后，就有可能实现。此时，煤炭挥发物能变为煤气，同时又是特殊的导热体。

上述煤炭地下气化工艺系统的工作方向是主要的，但在其他煤炭地下气化工艺系统的方向也具有工作的合理性。

① 过滤法是借助送风和煤气沿煤层裂缝及气孔运动而进行的一种煤炭地下气化法。

溝道中煤层的气化

为了保証块煤或者煤粉在地面煤气发生爐中进行气化，在某种程度上要經常遵守这种原則，就是在煤气发生爐的反应容积內造成最大值的单位反应面及送风和煤气流动的空气动力条件，以便在这种条件下利用这个反应面很好地进行异相反应和热交换。

利用沟道气化法进行气化时，煤在沟道中不是进行等速运动，而是燃烧工作面在不断地移动。因此，气化过程所需条件要由这两項措施来造成：燃烧工作面沿沟道移动；用及时将新气化沟道投入工作的办法在一定范围内維持所需单位反应面。为送风和煤气流动創造适合的空气动力条件及調整地下水的流量，对于正常的气化过程同样是非常重要的。

煤炭在沟道中的气化过程，与其在密层中的气化过程一样，同样具有带的性質。但是，由于煤炭在沟道中气化时单位反应面比較小，气体流动条件比較差，所以煤炭在沟道中气化过程的各带长度，超过煤炭在密层中气化的各带长度。

煤炭在气化沟道中的点燃示意图、送风的方向(Ⅰ)，以及沟道气化过程中各主要带的位置(Ⅱ和Ⅲ)，示于图2。

为了講解簡短起見，仅在气化沟道中划分出三个带或者是三个在煤炭气化过程中具有决定性意义的区域：氧化

带 (ABSBA各点)、还原带 (BBB'A各点) 和煤炭热分解带 (BEE'B'各点)。

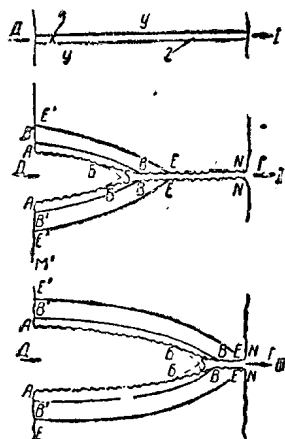


图 2 煤炭在沟道中气化过程的进展

I—点燃示意图；II和III—在各阶段的气化过程中各带位置示意图； l —在沟道中的点燃地点； 2 —气化沟道的最初状态； y —煤炭； A —送风； I —煤气。

随着沟道周围煤炭的气化，各带后边界沿送风和煤气的流动方向，朝着沟道末端即 N 点移动。由于这种原因，煤炭热分解带的后边界 (E) 开始向气化沟道的末端逐渐移动。从这时起，煤炭热分解带的长度随着煤炭的气化而缩小，煤气的热值由于进入气化沟道的挥发物减少而开始降低 (见图 2, III)。最后在沟道工作中，煤炭热分解带的前边界 (B 点) 终于到达了沟道的末端。此时，还原带的后边界 (也是 B 点) 正接近于沟道的末端 (N 点)，所以在整个沟道中只存在两个带：氧化带和还原带。

但是，氧化带的后边界，在沟道焦渣壁 (B 点) 上和在和煤气体积 (S 点) 中，随着煤炭的气化，沿送风和煤气的流动方向继续移动，从而减小了还原带的长度。在这种情况下，煤气的热值将不断地下降。

当氧化带的边界到达沟道的末端时，自沟道中排出的基本上全是煤炭的完全燃烧物，这就是说煤气热值将接近

于零。

如此在其他相同条件下，在还原带未到达沟道末端之前，煤气热值随着沟道周围煤炭的气化大约是不变的。

虽然在天然条件下有一系列的极其重要的影响煤炭气化过程的一般规律的因素，但对煤炭在沟道中气化进行观察，是能够确定出上述气化过程进行得好坏的。

气化沟道的工作可以分为三个阶段：第一阶段是形成燃烧工作面和气化过程；第二阶段是气化过程，此时，煤气热值的指标比较稳定；第三阶段是气化过程逐渐转向沟道燃烧过程，煤气热值渐渐降低。

同其他气化方法不同的，是采用沟道气化法可以逆向地气化粘結煤和不粘結煤。在一定条件下，逆向气化可以成为提高气化沟道工作效率和加强气化的一种方法。

在沟道中进行地下气化时，沟道单位长度所气化的煤量，即气化沟道的平均气化能力（以气化煤炭的吨数或煤气单位热量表示），具有重大的实际意义。

气化沟道的气化能力，由一系列的地質和生产上的因素，以及煤炭的性质来决定。

地質因素主要有煤层厚度、煤层埋藏条件、煤层周围岩石的性质、含水量等。

生产上的主要因素有：气化沟道在煤层中的布置、沟道在数量、組成和送风压力方面的工作制度、燃烧和其他工作的方法。

气化沟道根据煤层走向、傾斜和傾斜角等具体条件，布置在煤层中。

气化沟道按照其最初形状，可以分为直线和曲线两种。

气化很厚的煤层时，布置在煤层底板附近的气化沟道，比布置在顶板附近的沟道具有大至数倍的气化能力。

除了气化沟道的气化能力而外，还需要弄清沟道的产量——在单位时间内所生产的热量或煤气量。在实际工作中，气化沟道的产量经常由送入本沟道的送风量来决定，而这个送风量又根据地下气化站所采用的压力、钻孔直径和气化沟道的长度而定。气化沟道的工作，还可以用沟道单位长度所气化的煤层面积——沟道单位工作效率的平均值来表示。

在比较气化沟道的工作效率和气化能力时，还必须根据化学效率和煤气热值的指标考虑气化过程进行的程度。

说明气化沟道在各种条件下工作的部分实际资料，载于表2。

改进煤层在沟道中气化过程的最主要的问题，是在最高煤气热值的条件下提高沟道工作效率指标。

在解决这个问题时，应该考虑到沟道中进行气化时煤气的扩散问题，比成层气化具有更重大的决定性意义。

主要在人工充填燃空区、改进沟道中送风和煤气的流动性能的措施，以及利用煤气的物理热对煤炭和送风加热等方面，应该进行研究工作。

地下气化只有在下面情况下才采用充填：没有充填不能气化有关的煤层气化区时，或者充填能产生良好的经济效益时。

表 2

气 化 站 名 称	气化沟道的工作效率 (平方公尺/公尺)
莫斯科近郊	
1955年工业性煤气发生区的平均值	17.5
全苏地下气化科学研究所的試驗性煤气发生区	25.0
里 錫 昌	
II $\frac{1}{8}$ 煤层的10号煤气发生区	
由沿煤层傾斜打的鑽孔組成的气化沟道:	
中等的	25.5
最好的	44.0
由煤层組成的中等气化沟道	37.0
由沿煤层走向打的鑽孔組成的气化沟道	48.0
II ₆ 煤层的14号煤气发生区	
由順煤层傾斜打的鑽孔組成的气化沟道	
中等的	35.0
最好的	60.0
II $\frac{1}{8}$ 煤层的“E” 煤气发生区	
由平巷組成的气化沟道	26.0

在这方面，全苏煤炭地下气化科学研究所，已經在該院的一个試驗性煤气发生区内获得了很大成績：在保証較高的煤气热值的条件下，超过了莫斯科近郊地下气化站的工业性煤气发生区工作效率的30—35%。

在全苏煤炭地下气化科学研究所的試驗性煤气发生区内，有一个气化沟道的气化能力(厚度为1公尺煤层的)，比在工业性煤气发生区内所达到的气化能力增大了一倍，即为502百万大卡(煤气低热值为895大卡/立方公尺)。