

煤的地下气化

朱志尧



科学技术出版社

問題的提出

一块块黑色的骯脏的煤，平凡而又常見；但是为了把它从深深的地底下开采出来，人們却要付出艰辛的劳动和巨大的代价。

为了采煤，人們需要勘探煤田和建設矿井。建設一对大型矿井需要好几年時間；需要千百名工人和数百万元資金；需要建造各种各样的厂房；需要开鑿直徑等于五、六公尺的井筒；需要在井筒底里掘进很多很长的巷道……

为了采煤，人們需要跑到不見陽光和空气不新鮮的地底下去工作。打眼、放炮、支架、运料、装車……，地下作业都很繁重。由于采煤工人的劳动生产率很低，从事地下作业的人数就需要很多。而且，地底下有瓦斯和涌水，巷道里飞揚着煤灰和烟尘，頂板上有时落下破碎的岩石……，这一切都是威胁矿工生命安全的敌人。矿工們不得不同它們以及井下其他一切自然的自发破坏力量作斗争。

为了采煤，人們需要每天給矿井提供大量的材料和动力——坑木、炸藥、雷管、鉄管、鋼材、电纜、压縮空气、电力等等。每采一万吨煤，大約需要消耗一、二十立方公尺坑木，二、三百公斤炸藥，成千上万……在我国第一个五年計劃期間里，仅坑木的消耗就达一亿立方公尺以上！

为了采煤，人們还得制造許多笨重复杂的机器——联合采煤机、截煤机、电鑽、碎煤机、装岩机、运输机、电

機車、卷揚機等等。這些機器要完成礦井里許許多多複雜繁瑣的生產工序。

到過煤礦的人都知道，煤礦生產過程的特點是複雜多變。采煤、運輸、提升、掘進、通風、排水、供電、保安……，各有各的專業。僅僅在一個不大的采煤場子里，就需要同時完成截煤、落煤、裝煤、支架、管理頂板、回收坑木以及移置運輸機等一系列工序。一個地方的煤采完以後，需要轉移到另一個地方去采煤。從工作面里采出來的煤，還需要“乘”着運輸機、電機車、卷揚機等“走”完長長的地下旅程之後才能運上地面。如果煤里面含有雜質，那麼運到地面上來的煤，還需要先被送進選煤廠，在選煤廠里經過選洗以後才能裝車運走。

采煤技術如果不根本改革，那麼徹底改變礦工的勞動條件和迅速地提高勞動生產率以及礦井的煤產量是十分困難的。

在這方面，水力采煤已能算是得到了第一步的成功。但是我們要求的還不止是這些。生產過程的全部自動化才是我們最終的奮鬥目標。

當然，我們能夠而且也應該提出一些所謂“無人礦井”的理想。這就是說，利用一些最新的遠距離自動控制的技术，從地面上來操縱地下的一切采煤機械，而不需要人到地下去工作。但是在這方面遇到了很大的困難。巷道里支架的加固和修護，機器損壞零件的拆卸和更換等等，這類工序的自動化不要說是在現在，就是到自動化遙控技術已有高度發展水平的將來也很難實現。

那麼出路何在呢？怎樣才能徹底改變煤礦生產的面貌，怎樣才能把礦工從地下繁重危險的勞動中解放出來，怎樣才能急劇地提高礦工的勞動生產率，怎樣才能使得煤礦的生產過程變得更加簡化和更加易于實現全部自動化呢？

先 談 談 煤 氣

在沒有直接回答上面提出的那些問題以前，讓我們先來談一談另一樣與煤有直接關聯的東西——煤氣。

煤氣又叫做“瓦斯”，它可以燃燒，是一種很理想的工業和民用的氣體燃料。

許多人對煤氣都很熟悉，而且也都知道，煤氣是煤在空氣供給不足的條件下加熱燃燒生成的。由煤轉化成為煤氣的這一過程，一般都在地面上煤氣工廠里的煤氣發生爐中進行。我國上海、武漢、沈陽、大連、長春、哈爾濱等大城市里就有這種製造煤氣的大工廠。

為什麼我們要把煤“氣化”成為煤氣使用呢？

因為使用煤氣有很多優點。

運輸煤炭要用火車、汽車或輪船，輸送煤氣却只需要簡單輕便的鋼管。敷設幾條鋼管管路，就能把煤氣輸送到幾十甚至幾百公里遠的地方去（目前世界上一條最長的煤氣管路有5,000多公里長）。這樣既節省了運煤的費用，也免除了裝煤、卸煤的手續。

燒煤的用戶需要有貯存煤的堆棧或倉庫，但使用煤氣的用戶，就用不到這種佔地面積很大的貯藏處。

燒煤的時候，會產生大量的惹人討厭的煤灰和煙塵，燃燒煤氣卻無煙無灰，既能保持環境衛生，又可省去除灰設備。

要從煤裡面除掉水分、灰分、硫分等有害雜質很困難，要從煤氣裡面清洗掉這些東西却很簡單。燃燒這種“淨化”了的煤

气，不仅火力集中，而且能够获得更高的燃烧温度和更“纯粹”的火焰。

调节煤气燃烧温度，也远比调节煤炭燃烧温度方便。用不到笨重劳累的操作或者特殊复杂的设备，只需要轻轻地拨动开关，增加或减少进口煤气的量，就能够马上达到调节（升高或者降低）煤气燃烧温度的目的。假使有特殊形式的燃烧器，那么这种煤气火焰还可以用来加热任何形状和大小的物体。

经验告诉我们，使用煤气作燃料，热效率要比使用煤作燃料高。制造烧煤气的锅炉要比制造烧煤的锅炉节省金属一半左右。最近我国科学院研究成功的一种将煤气热能直接转化为电能的电化学方法，热能的有效利用系数为70—75%，比现在一般火力发电站的热能有效利用系数高出一倍到一倍半。

很多人也许已经看见过用煤烧锅炉时司炉工人們的劳动，他们在加煤的时候，弯着腰，举起铁铲，汗流夹背地一铲一铲的把煤送进烈火熊熊的炉膛里。司炉工人們的劳动是繁重的。如果使用了煤气，那么这种繁重的操作就可以不要了，煤气代替了煤块，开关代替了铁铲，司炉工人的职业将会变得非常轻松简便！

还不仅仅如此。用煤气代替煤作燃料以后，不但解放出来了大量从事于运煤、貯煤，选煤、破碎、加煤以及除灰等等各项操作上的劳动力，而且还给那些使用煤气的各个经济部门提供了更广泛的自动化的可能性。

.....

門德列也夫的理想

煤既然可以气化成煤气，煤气又既然是一种理想的气体燃

料，聪明的人自然会很容易地联想到：煤是不是可以不必从地下开采出来，不必送到气化工厂里去，而直接就在地底下气化成为煤气，然后沿着某种通道自动地输送到地面上来呢？

其实，这种想法早在70年以前伟大的俄罗斯学者——元素周期表的创始者——門德列也夫提出来了。他在发现和研究了烏拉尔煤層的地下失火現象之后，就認為这种“地下火灾”可以加以利用，只要給予适当的控制和管理，就能够把地下自然状态的煤直接轉化为煤气，象在地面煤气发生爐里发生的过程一样。

1888年夏天，門德列也夫在一篇题为“埋藏在頓河两岸的未来的力量”的論文中写道：“看来这样一个时代也是会到来的，那时候我們不必把埋藏在地下深处的煤开采出来，而是在地下把它变成为可燃气体，然后沿着管子輸送到遙远的地方。”

門德列也夫当时还指出了解决煤的地下气化的基本技术方向：“……在煤層上打几个鑽孔，一些鑽孔是作为引进甚至鼓进空气用，另一些鑽孔则作为排出可燃煤气的出口（可以用噴射泵把地下煤气吸出来）。”他認為要做到这一点并没有什么根本的困难。他說，“如果煤的地下气化的理想得以实现，那么燃料的价格就能大大地降低，工人的劳动强度可以大大地減輕，并且还能使得許多用普通方法无法开采的薄煤層的能量也得到利用。”

但是，門德列也夫的这个伟大的理想，在沙皇俄国的时代却得不到同情和支持，相反地还被某些唯利是圖的矿业資本家們譏之为“妄想”和“无稽之談。”

过了25年，1912年，英国一位有名的化学家威廉·雷姆賽也提出了同样的煤炭地下气化的建議。他作出了为实现这个理想所設計的建設性的草圖。据当时英国的报纸报导，雷姆賽已

經能够用他自己試制的裝置，从地底下把煤燃燒成为煤气取出来。

如同門德列也夫的遭遇一样，雷姆賽的建議也沒有引起英国資本家們的注意。他們对这个看来暂时还得不到利潤的建議表示冷淡。他們沒有給雷姆賽以任何实际的帮助和支持。于是雷姆賽的建議也終究只是一紙空文，一直被积压拖延了几十年。

只有偉大的列宁第一个給予煤炭地下气化的理想以极高的评价。列宁深切地关怀科学技术的发展，当他侨居国外期間看到了雷姆賽的建議以后，就在1913年4月21日的真理报上发表了一篇題为“技术上的偉大胜利之一”的文章。文章指出：“雷姆賽的方法就象是把煤矿变成为一个巨大的、用来制造煤气的干餾爐。”这样就“使得千百万工人摆脱了烟尘和骯脏，使骯脏的叫入討厭的工場，更快地变成为清潔、明亮和适宜人工作的實驗室。”

列宁把煤的地下气化看成是煤炭工业生产部門中的一个“巨大的技术革命。”由于这一革命的結果，“会使电力的价格降低到現在价格的1/5，甚至1/10。用来开采和运输煤炭的大量劳动力就可以节省下来。”因此列宁指出：“这一发明所引起的工业上的变革将是轟轟烈烈的。”

煤的地下气化意味着什么呢？

它意味着矿工們一向最害怕的敌人——火，現在将要变成矿工們最要好的朋友。过去一点火星往往会引起巨大的矿山灾变，現在熊熊的烈火却被利用来为人民服务。火代替了矿工和机器，把地下的煤層燃燒成为煤气“采”出来。

煤的地下气化的过程，基本上是一个复杂的化学变化的过程，因此煤的地下气化也叫做“煤的化学开采法”。这种方法的

广泛应用，意味着采煤工程的化学化。

采煤工程化学化的結果，人們就用不着再到地底下去从事繁重危險的操作了。它彻底地打破了我們过去关于从地下煤層中取得能量的傳統觀念，使煤矿的生产工厂化，使矿工的劳动生产率大大地提高。根据苏联的經驗，一座年产能力为70亿立方公尺的煤炭地下气化站，相当于一个年产能力为130万吨煤的矿井，两者相比，地下气化的劳动生产率要比普通矿井法采煤高出3—4倍，燃料的热能成本要低50—60%。

地下气化不需要花費大量的人力物力，也不需要一套复杂的用于地下作业的机械設備。它的生产过程比較簡單，这就給实现生产工序全部自动化的目标創造了有利条件。

作为重要的特点和优点之一，地下气化还能够用来“开采”不适于用普通方法开采（开采不經濟或者根本无法开采）的薄煤層、小块煤田和劣質煤等等，这样就扩大了可采煤層的數量，使得地下的煤矿資源得到更充分的利用。

理想逐步变成现实

門德列也夫关于煤的地下气化的理想，直到十月社会主义革命胜利以后，才在世界上第一个社会主义国家的苏联逐步变成现实。

在苏联，第一个发起致力于实现門德列也夫理想的是紅軍第七十八騎兵团的战士們。他們在讀过列宁的論文“技术上的偉大胜利之一”以后，于1930年在“新技术”杂志上发表了“提出問題，要求答复”的文章，向科学技术界提出了实现煤的地下气化的問題。

这个发起很快得到了响应。

1931年，苏共中央在听取了專家們的說明之后，通过了一项关于煤炭地下气化試驗方案的決議。与此同时，在煤炭管理总局的下面設立了一个專門的煤炭地下气化委员会。

1932年到1935年，在苏联的莫斯科近郊煤田、頓巴斯煤田和庫茲巴斯煤田先后建立了五个簡單形式的地下气化站。它們的生产能力很小，工作時間很短，总共不过气化了几千吨煤。建立这些气化站（試驗性的）的目的，是为了对煤炭地下气化的可能性和方法进行初步試驗。这种試驗在当时的世界實踐中还是創举。

从1936年起，苏联在地下气化方面的工作便由实验阶段进入半工业阶段。

1938年，苏联共产党18次代表大会曾經对煤炭地下气化問題进行了討論，并通过了关于发展煤炭地下气化問題的決議。

从这以后，20多年来，除了因偉大的衛国战争中断了两年以外，苏联在煤炭地下气化方面的試驗研究工作一直进行着，并且有越来越多的具有半工业企业性質的地下气化站投入了生产。

1940年11月，設計年产煤气量达4亿6千万立方公尺的莫斯科近郊气化站宣告誕生。过了几年，又在頓巴斯地区建成了另一座半工业性質的里西昌斯克气化站。庫茲巴斯的南阿宾气化站也于1952年正式开始工作。这些气化站的工作情况如表1所示。

苏联現有气化站的生产能力还不太大，但是发展速度惊人。1950年，苏联用地下气化法生产煤气的数量不过3亿多立方公尺，1957年就增加了一倍多，1960年将更增加到33亿立方公尺以上。

1957年12月，报載世界上第一座以地下气化所得煤气为燃

表 1

气化站名称	气化煤层	計算工作 年限(年)	計算工作年限 里的煤气总产量 (亿立方公尺)	煤气热值 千卡/立方公尺
莫斯科近郊	褐 煤	15年	>30	700—950
里西昌斯克	烟 煤	8年多	7	800—1,000
南阿宾	烟 煤	2年	1.8	900—1,400

料的发电站,在苏联莫斯科近郊煤田的圖拉城附近运轉成功。这是世界地下气化技术史上的一件大事。这座地下煤气发电站,每小时能够生产4万2千立方公尺煤气,这些煤气順着直径等于180公厘的管子送到燃烧室里燃烧,燃烧后产生温度高达 650°C 的气体,推动涡轮机的叶片,然后由涡轮机带动容量等于1万2千瓩的发电机发出电力。

在現有成就的基础上,苏联决定在大規模开展地下气化研究和試驗的同时,立即轉入大型地下气化站的建設。根据规划,地下气化生产的煤气将由1958年的7.63亿立方公尺剧增到1965年的125亿立方公尺,即增加15.4倍!

今后7年內将要建設7座工业性地下气化站,以保証工业企业和生活需用煤气的供应。这7座工业性气化站的总設計年生产能力达660亿立方公尺。其中以科尔摩戈罗夫气化站的生产能力最大,它每年生产210亿立方公尺煤气,相当于一个年产400万吨煤的“超巨型”矿井。

上述气化站都是由苏联国立地下气化站設計院設計的。这个設計院根据現有在气化方面积累的經驗和資料,已經能够設計在各种不同条件下的任何类型和太小的地下气化站。

苏联不仅仅是煤炭地下气化的誕生地,而且几十年来在气化技术方面也始終站在世界的最前列。到1957年为止,苏联已

5000000

經拥有27处在自然条件下的專供研究試驗用的“地下煤气发生器”。从1949年到1956年，共进行了554次研究和試驗。苏联的气化工作人員，工程师和技术專家們用他們自己辛勤的劳动解决了大量气化技术上的难题，积累了丰富的气化經驗。

随着地下气化技术的发展，苏联地下气化站的技术經濟指标也在不断地得到改善。以莫斯科近郊气化站为例，在过去的十年里，这个气化站的工人劳动生产率提高了5倍，1955年的煤气成本降低到只有1945年的1/5。

表2是苏联两个不同煤田里大型地下气化站和一般采煤矿井的設計技术經濟指标的比較：

表 2

指 标 名 称	单 位	莫斯科近郊煤田		庫茲巴斯煤田	
		矿井	地下气化站	矿井	地下气化站
折合年产每吨煤的基建投資費	卢布	234	178	190	215
按燃料計算的工人月劳动生产率	吨	53	181	37.4	117
折合每吨煤的热能成本	卢布	62.1	32.5	73.1	35.5

这就是說，根据現有的技术水平，在莫斯科近郊煤田的条件下，建設大型地下气化站和建設一般矿井相比，可以大大减少基本建設的投資，工人的月劳动生产率可以提高两倍多，燃料的热能成本約能降低一半。

有井式地下气化法

从理想到现实，地下气化試驗成功的过程并不是一帆风顺的。

一提到煤的地下气化，人們的思想最初都不由自主地想到

气化工厂里的煤气发生爐上去。这也难怪，因为用煤气发生爐来气化煤的工作早在十九世紀初叶就已經完全成功了。

煤气发生爐气化煤的时候，需先将煤选择破碎，然后成块成層地装到爐子里，把煤点着，在爐子下面鼓风，煤气就从爐子上部的出口排出来。

要是能把地面煤气发生爐的方法搬到地下去，就是說，要是在地下預先把煤層破碎震松，然后使它象在地面煤气发生爐一样进行鼓风气化，那該多好啊！——很多人最初就是这么想的。

根据上述想法所拟定的气化方案也被提出来了。基里欽科提出的“預先弄松煤层的地下气化法”方案就是其中之一。这一方案曾被应用于苏联頓巴斯煤田的里西昌斯克气化站。气化煤層的厚度0.75公

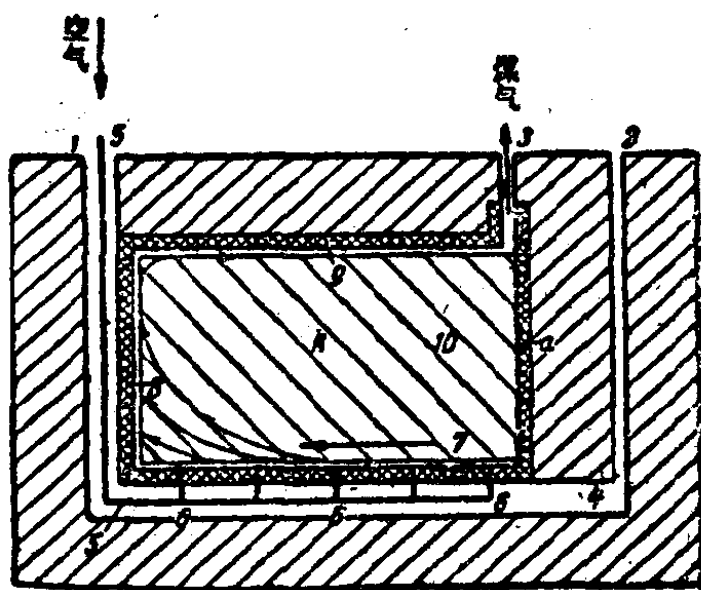


图1 基里欽科地下煤气发生爐能图

尺，傾角 38° 。圖1就是这种气化方案的簡圖。

为了气化，要先用巷道把一大块煤A划分出来。这一大块煤叫做“盘区”。盘区的周圍砌上厚大的石墙，以把它和其他相邻的部分隔开。气化地区开有三个井筒，提升井1，通风井2和出煤气井3。提升井和通风井的井底用一条水平的巷道4相連。

点火在点火平巷7中进行。火点着以后，空气从地面沿着敷設在提升井里的管道5送进平巷4，然后通过噴嘴6分配到盘区下边的点火平巷里。在点火平巷里生成的煤气，将穿过暗

井8和出煤气平巷9，最后从出煤气井3流出地面。

在气化煤層盘区的对角綫方向鑽有傾斜的鑽孔10。鑽孔里放着爆炸物。随着煤層的燃燒气化，爆炸物就发生爆炸，把盘区里面的煤層炸松。

这一方案的設計者显然是力圖在地下气化系統中，創造和地面煤气发生爐中相似的气化条件。

但是这种方法並沒有获得成功。因为用炸藥炸碎煤層很不均匀，有大块煤和中块煤，也有小块煤和細煤屑。通进去的空气不能够和这些煤块保持均匀的接触。同时用这种方法还不能保証气化工作所必須的密閉性。有一部分空气不經過气化燃燒中心就跑掉了：它們或者造成浪費；或者混进煤气里使煤气的質量降低。所有这一切都使得这种气化方案不能够保証长期获得質量优良的煤气。

即使这种方案的使用結果良好，它也得不到实际广泛的应用。因为这种方案的准备工作太繁瑣和太昂貴了。

以后虽然經過了很多的改进，比如改用机械的力量来弄松煤層，以及用打平行鑽孔網的办法来压松煤層等等，但都沒有获得預期的效果。

这一阶段的試驗虽然沒有成功，但是却給人們提供了很好的教訓。这就是說，煤的地下气化不能够生硬地搬用地上煤气发生爐的一套工作方法。条件变了，方法也应该跟着改变。

多次試驗的結果証明，煤在地下气化其实并不一定要先把煤層破碎或弄松。不管煤块是大是小，气化的反应終是在煤块的表面进行的，因此地下沒有經過破碎的煤，也完全可以和地上煤气发生爐里已經破碎的煤一样地被气化。問題在于我們能不能向煤層不断地鼓风，以保証空气和煤層的表面有良好的接触，并造成为发生气化反应所必需的高温。

于是从1935年开始，苏联改用了一种不预先弄松或破碎煤层的地下气化法。这种方法是由馬特維也夫和斯卡法等人提出来的。他們因此而获得了斯大林奖金。

新的地下气化方法被称为“气流法”。

气流法的第一次試驗是在頓巴斯的戈尔洛夫卡气化站进行的。气化的煤层是烟煤，厚度0.5—1.9公尺，傾角 75° — 85° ，平均含水量5%。

圖2是这种方法的簡圖，

A、B是两个竖井，这是煤层通向地面的出口。竖井底里开掘两条气化通道AB和BГ，通道的底部用一条平巷BГ相連。被这些巷道所包围的大块煤体就是气化的“盘区”。

点火在水平巷道(又叫点火巷道)BГ里进行(从B点开始)。燃烧和气化所需的空气由竖井A经过气化通道AB进入气化区。燃烧生成的煤气经过气化通道BГ，从竖井B排出地面。

煤层发生燃烧气化的地点叫做“燃烧面”或“火焰工作面”。点火巷道BГ就构成了这个气化盘区的第一个火焰工作面。

随着气化的进行，火焰工作面不断地由下向上地燃烧推进，已气化的空间不断地被烧过以后留下来的煤灰和頂板(煤层上面的岩石叫做頂板，下面的岩石叫做底板)上垮落下来的岩石所充填，这样就在靠近火焰工作面的地方形成了一个不大不小的空间。当空气流过这个空间并和熾热的煤的表面接触的时候，火焰工作面里就发生了生成煤气的反应。

頂板岩石的垮落情况，在沿着整个火焰工作面的全长上是不均匀的。垮落的石块有大有小，有多有少，加上火焰工作面的表面又是高低不平，这样就使得火焰工作面附近的空間具有曲折的不規則的形状和大小不同的截面。气流流过这里的时候，就发生强烈的骚扰，并和熾热的煤面保持更好的接触。

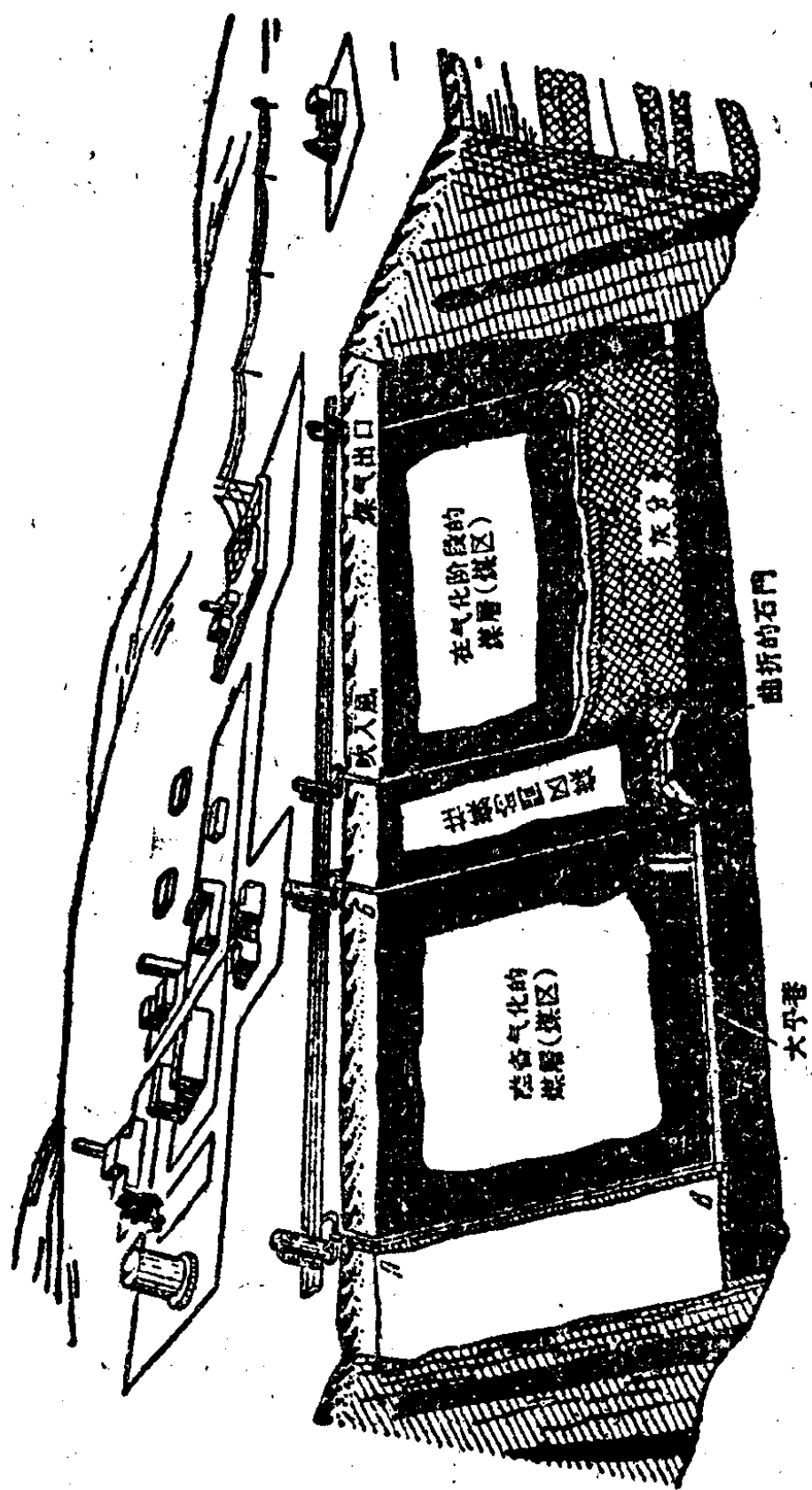


图2 气流法地下煤气发生炉简图

煤層在高温的影响下发生干裂，形成很多的裂隙，这对煤的地下气化也很有利。

地下气化盘区内煤的埋藏量，决定于盘区面积的大小和煤層的厚薄。盘区的长度要根据鼓风机的生产能力和鼓风压力，煤的性質以及頂板岩石的稳定性等来决定。通常变化于100—300公尺之間。

这种气化方法省去了預先弄松煤層的工作，这是它的优点。但是它也有缺点。和預先弄松或破碎煤層的方法一样、作为一种有井式的地下气化法，它的根本缺点就是仍旧需要开鑿井筒和巷道，仍旧免不了地下作业；准备工作繁瑣，成本高；而且气化过程很不稳定，控制工作复杂；巷道不容易密閉，鼓风和煤气的漏失情况严重。这一切都大大地降低了这一气化方法的技术經濟指标。

这样一来就在当时的地下气化工作人員們的面前提出了一項任务：为了繼續发展煤的地下气化，必須創造出一种新的、完全不需要用人工来开鑿井筒和巷道的地下气化法，亦即所謂“无井式”的地下气化法。

鑽孔代替井筒

這項任务也很快被苏联一些杰出的技术革新家們完成了。18年以前，无井式的地下气化法就首次在莫斯科近郊煤田的地下气化站里出現。

前面已經說过，在用有井式气化法气化煤層的时候，至少需要开鑿两个井筒：一个用来排出煤气；一个用来鼓风。为了讓气化风流在煤層中通过，两个井筒之間还要用一条巷道联通。

在用无井式气化法气化煤層的时候，我們要作些什么准备

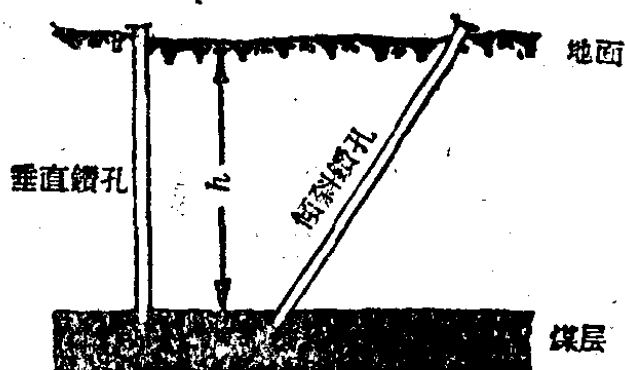


图3 用鑽孔代替井筒

鑽孔的直徑与煤气的产量有关系，一般等于200—400公厘。鑽孔与鑽孔之間的距离目前多是10—40公尺。

因为气化煤層的地質条件不同，所以采用的鑽孔形式也各异。原則上应该尽可能用最少的基建投資来气化更多的煤。

一般常用的鑽孔是垂直鑽孔。它适于在气化薄及中厚煤層的时候作長時間的使用。

地下的煤層气化以后，煤層上面的岩石会破碎垮落，为了避免把鑽孔布置在岩石的破坏帶里，有时候垂直鑽孔无法应用，只好用傾斜的鑽孔来代替。

还有一种形式的鑽孔是曲綫鑽孔(圖4)，它是在特殊的情况下——比如在煤層里沿着走向(煤層延伸的方向叫走向)鑽进水平通道的时候才使用。

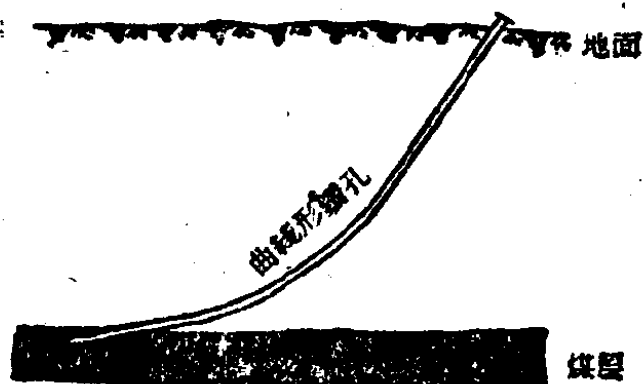


图4 曲綫形鑽孔

为了防止鑽孔的塌陷堵塞，鑽孔里要下套管以保护孔壁。套管高出地面1—1.5公尺，装有两个閥門，分別与空气管路和煤气管路相連。这样每个鑽孔就都能起到两种作用：既能排出煤气，又能向里鼓风。

鑽孔的鑽进費用，在地下煤气的成本中占有很大的比重