

69

法鑿開特殊筒井井礦

蘇聯 恩·格·特魯巴克著

燃料工業出版社

252.21
5641
27

礦井井筒特殊開鑿法

蘇聯工學碩士 恩·格·特魯巴克著

郝乃毓 劉立達譯

蘇聯煤礦工業部教育司審定
作為中等採礦專業學校教學參考書

燃料工業出版社

內 容 提 要

本書闡述在比較困難的地質條件和複雜的水文地質條件下礦井井筒特殊開鑿法：板樁法——木板樁法和金屬板樁法；沉箱法；壓氣沉箱法；人工降低地下水位法；岩石化學凝結法；裂隙岩石的阻水法——水泥漿注入法，黃泥漿注入法和瀝青漿注入法；鑽井法以及岩石人工凍結法。

本書是中等採礦專業學校建井專業用教材，礦井建設的工程技術人員可用作參考書。

* * *

礦井井筒特殊開鑿法

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ПРОХОДКИ
ШАХТНЫХ СТВΟЛОВ

根據蘇聯國立煤礦技術書籍出版社(УГЛЕТЕХИЗДАТ)
1950年列寧格勒俄文第一版翻譯

蘇聯Н. Г. ТРУПАК 著

郝乃毓 劉立達譯

燃料工業出版社出版

地址：北京東長安街經銷工業部

凡購書出版即送書單可附出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編譯：張伯顏 白懋愷 校對：董文勤 趙迦南

書號390 * 煤146 * 850 × 1192 32開本 * 7 1/2印張 * 163千字 * 定價一元三角八分

一九五五年三月北京第一版第一次印刷(1—5,600冊)

目 錄

緒論	3
第一章 板樁法	17
第1節 木板樁法	17
垂直板樁法	17
斜板樁法	20
第2節 金屬板樁法	28
平板樁	28
管板樁	33
第二章 沉箱法	36
第1節 沉箱的組成元件	36
第2節 沉箱下沉工作的操作	46
第三章 使用壓縮空氣鑿井法	51
第1節 壓氣沉箱法	51
第2節 沉箱的下沉	65
第3節 固定井壁壓縮空氣鑿井法	70
第四章 人工降低地下水位法	72
第五章 岩石的化學及電氣化學凝結法	80
第1節 化學凝結法(矽化法)	80
第2節 黏土電氣化學凝結法	86
第六章 裂縫岩石的阻水法	87
第1節 水泥漿注入法	87
注水泥漿鑽孔的佈置與鑽進	89
止水墊	94
水泥及水泥漿	98
注漿設備	100
水泥漿注入工作	103

注漿工作質量的檢查及礦井井筒的閉鑿	109
第2節 黏土漿注入法	110
第3節 瀝青漿注入法	113
瀝青乳液加固透水土壤法	120
第七章 鑽井法	122
第1節 鬆軟含水岩層的鑽井法	122
旋轉式鑽井法	122
總論	122
泥漿	124
輪轉式鑽井法	127
第2節 堅硬岩層的鑽井法	141
1. 旋轉式鑽井法	141
輪轉式鑽井法	141
岩心式或鐵砂鑽井法	149
2. 衝擊式鑽井法	152
第八章 人工凍結岩石法	155
總論	155
第1節 鑽凍結孔及鑽孔的佈置	160
第2節 鹽水管路	170
第3節 凍結站	179
空氣壓縮機	179
冷凝器	182
氯化器	183
第4節 岩石凍結所需時間的確定	193
第5節 凍結進行程序及進行情況的檢查	203
第6節 在凍結帶內礦井井筒的閉鑿工作	208
第7節 凍結帶內礦井井筒的砌壁工作	211
第8節 凍結岩石的溶化及凍結管的回收	214
結語	217

緒 論

1946年2月9日，斯大林同志在莫斯科市斯大林選區選民大會上具有歷史意義的演說中，指出了蘇聯國民經濟的發展遠景：「我們必須使我國工業能每年出產生鐵達五千萬噸，鋼達六千萬噸，煤炭達五萬萬噸，石油達六千萬噸，只有作到這步時，我們才可以說，我們祖國已經有了免除一切意外的保障，這大概是需要三個新五年計劃的時間——也許還要多些——才可作到，而且也是我們所應當作到的。」

爲了實現蘇聯各民族領袖的這些偉大的指示，必須使煤礦工業，採礦工業及石油工業大量地擴大生產。欲使這些工業擴大生產，祇有在建設新的採礦企業並使這些企業投入生產的基礎上才有可能。

在這個短短的有歷史意義的時期中，必須建立起成千的新礦井，並使其投入生產。要建設這樣多的新礦井，就必須開鑿成萬公尺的垂直巷道與水平巷道及傾斜巷道。同時這些巷道不可避免地要在各種極端不同的地質條件與水文地質條件下開鑿，有時要在特別困難的及複雜的情況下開鑿。開鑿時最大的困難是地下水的處理問題。

在堅硬岩石中開鑿井筒，井筒的湧水量每分鐘約爲10—15公升時，是非常有利的，因爲這樣可以消除打眼和鑿岩時發生的岩粉。這時可將工作面的湧水與岩石一併裝入吊桶內。如岩石內根本沒有水時，尚須由地面用幾條專用的管子向井筒內送水。

井筒的湧水量每小時達到6—8立方公尺時，則應採用HIII-1型風動小型抽水水泵，安放於水窩內，在吊桶裝岩時，用其將水經軟管抽入吊桶。

井筒內的湧水量有時可能很大，蘇聯開鑿某些井筒時，其湧水量每小時曾達2500立方公尺。圖1是某一水平巷道湧水量每小



圖1 開鑿喀斯特石灰岩中的水平巷道湧水情況

時約為 500 立方公尺的情況，巷道是在喀斯特石灰岩中開鑿的。

井筒湧水量相當大時，必須同時使用兩台、三台、四台、甚至更多的水泵，但井筒內水泵太多將會大大的影響開鑿工作的進行。

在井筒開鑿的同時進行排水工作，將使井筒的開鑿速度大大地降低，其開鑿費用亦將顯著地增多。

蘇聯煤礦工業在堅硬岩石中開鑿井筒的多年經驗證明，湧水量與一般條件下的成井井筒每月開鑿速度之間的關係如下：

$$L_{\text{CK}} = 30 - 0.45(Q - 10),$$

式中 L_{CK} ——井筒每月平均開鑿速度；

Q ——井筒的湧水量，立方公尺/小時。

因此，湧水量每小時為 50 立方公尺時，井筒的開鑿速度每月約為 12 公尺，亦即和沒有湧水的井筒的開鑿速度相比，其開鑿速度降低了很多。

在含水岩層中的井筒開鑿費比在一般條件中的開鑿費高的多，因此「礦山巷道掘進規程」草案規定，井筒湧水量每小時超過 30 立方公尺時，須採用特殊開鑿法。

在鬆軟含水岩層中開鑿井筒時，困難是比較多的，尤其是在流砂層和含有硬岩碎片及硬卵石的沉積層中開鑿井筒更為困難。鬆軟含水岩層是否含有卵石這一因素是有很重要意義的，因為這一因素能決定採用某種開鑿方法的問題。

在鬆軟含水岩層內開鑿井筒並同時進行排水時，井壁的後面不可避免地要形成空洞，空洞的拱部將繼續塌陷。

開鑿井筒時形成空洞的原因如下：

1. 開鑿井筒時，由於開鑿了多餘的不應開鑿的岩石，此種情況如發生在含有壓力水的岩層中，則問題就更為嚴重。鬆軟含水岩層當開鑿時在某種程度內將漸次的發生移動。開鑿井筒掘出岩石時，岩石總是具有要把已開鑿空間填滿的趨勢。井筒與含水層之間隔絕不好時，此種現象可能會反覆的發生。

2. 由開鑿的井筒向外排水時，水將不斷地把岩石粉末帶出。水中含有1—3%的岩石粉末用肉眼是看不出的。由於鬆軟含水岩層中井筒開鑿的進度很慢，在長時期的排水過程中，可能帶出大量的岩石。假如井筒湧水量每小時為10立方公尺，排出的水中含有1%（體積比）的岩石粉末，則一個月的過程中就要隨水帶出將近70立方公尺的岩石，兩個月則為140立方公尺……。湧水量更大，或含有的岩石粉末更多時，隨水帶出的岩石量也將會更多。

3. 由於水對岩石的冲刷，含水層下面的岩石中經常發生岩石被水冲壞的現象。如含水層與不透水層接觸不很密實，則水就會從含水層流向較低的地方——向井筒開鑿工作面流去。水在流動過程中逐漸將岩石冲壞，如係堅硬岩石，則被水冲壞的程度較小。非堅硬岩石被水冲壞的程度則決定於湧水性質及流動速度（圖2、3）。

緻密的岩石（黏土、砂質黏土）只有流速近於0.3公尺/秒的水才能將其冲壞。

在鬆軟含水岩層中開鑿井筒並排水時，還有一個嚴重的缺點。有些不透水岩層遇水後就被水泡軟，逐漸變成含水岩層，此類岩石有砂質黏土，砂質礫層，泥灰岩及淤泥等。在自然狀態下遇水時只有岩層的上部被泡軟，但在開鑿井筒時，此類岩層就逐漸被水泡軟

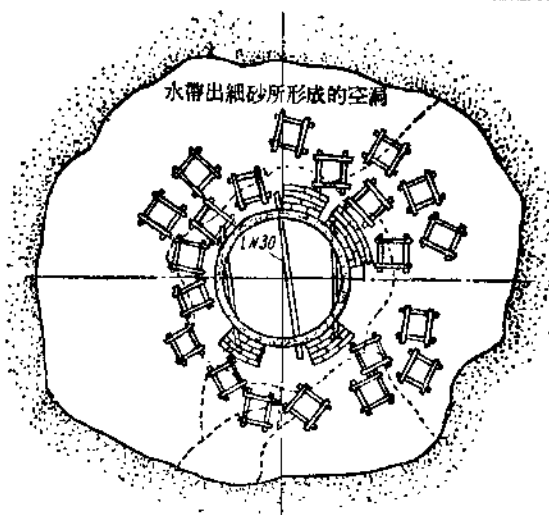


圖2 在井壁後形成的總體積600立方公尺的空洞(平面圖)

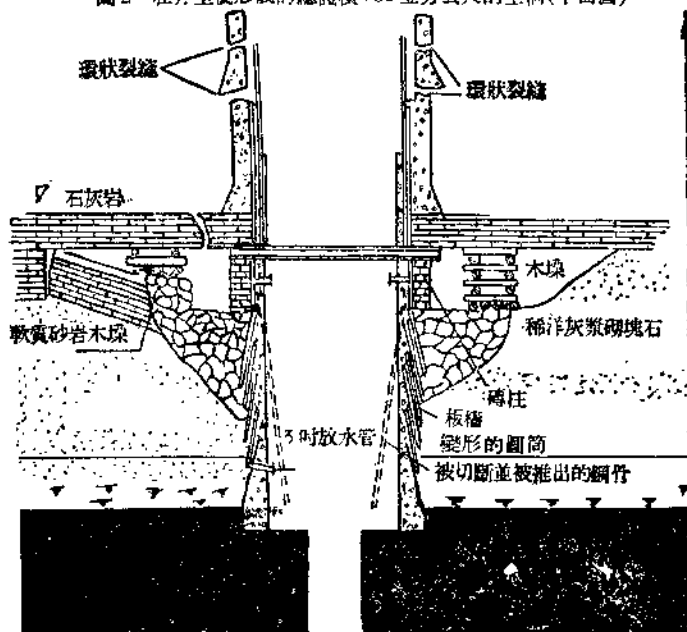


圖3 井壁後形成的空洞(縱斷面圖)

而形成含水岩層，換句話說：含水層好像在人為的加厚。

在含水岩層中開鑿井筒時，水泵時常被岩粉堵塞，並時常損壞以至不能使用。

根據上述情況得出一個基本結論：在含水岩層中開鑿井筒並同時排水，有時是不合理的。實際經驗證明，在堅硬岩層中開鑿井筒並同時排水，只有在湧水量每小時不超過 30—50 立方公尺時才是合理的。湧水量超過上述數字時，必須採用特殊方法開鑿井筒。

穿過鬆軟含水岩層開鑿井筒，在技術上有三種基本的發展方向。第一種方向為在鬆軟含水岩層內鑿井之前，將井筒與周圍的岩石用臨時的或永久的隔絕物隔開，換句話講，就是在開鑿鬆軟岩層之前，即先進行井筒的支架工作。已採用數百年的一種最古老的方法即是木板樁法。於 1901 年才開始採用金屬板樁。

這一方向的繼續發展就是沉箱法。此法到 1837 年才得到進一步的改進，因為當時第一次在鑿井的實際工作中使用了壓縮空氣。由於壓縮空氣的作用，岩石孔隙或裂縫中的水被壓到井筒範圍之外，使含水層變乾，從含水層壓出水及開鑿岩石的同時就將井壁沉到已開鑿的空間，這種利用壓縮空氣並使井壁下沉的方法稱為壓氣沉箱法。以後也常常使用壓縮空氣，但不是與此同時沉下井壁，而是隨岩石的開鑿將井壁用鋼筋混凝土或鑄鐵筒壁支架起來。

一百多年以前，在西伯利亞地方，為了在鬆軟含水岩層中開鑿井筒，曾使用過自然凍結法。1883 年採用過人工凍結法。此種方法就是在預定鑿井地點的周圍打一些專用的鑽孔，使冷氣體進入含水層中，在井筒四周形成一道不透水的凍結牆。此種凍結牆是一個臨時的保護外殼，保護井筒在開鑿與砌壁時不受湧水及鬆軟含水岩層的侵襲。在砌好永久井壁之後，凍結牆便失去意義，可用人工方法或自然地使其溶化。

1920—1922 年之間，在井筒開鑿的實際工作中提出並採用了化學凝結法或使含水岩層矽酸鹽化法。此種方法與凍結法相同，均須在鑿井之前，在井筒周圍打一些鑽孔，或者還要插入鐵管，然

後經鑽孔或鐵管注入化學(藥劑)溶液。最常用的溶液是水玻璃液及氯化鈣。溶液在岩石中由於起化學反應而凝固在一起，因此，被溶液所凝固的岩石也漸漸硬化，這樣就逐漸形成不透水的岩層。

前世紀末期，在鬆軟含水岩層中開鑿井筒的技術上又出現了一個新的發展方向，即採用全直徑鑽井法，可鑽至 400 公尺深。其他國家的一些文獻中，根本就沒有關於在鬆軟含水岩層中採用鑽井的技術、設備及工具等的記載，因此鑽井法所用的設備等全部工作，都是完全由蘇聯獨立創成的。1940 年，此種在鬆軟含水岩層中的鑽井法，又由蘇聯工程師格·依·曼柯夫斯基、維·德·索羅多夫尼柯夫及弗·德·米塞里亞克夫等重新研究並使其更加完備。

最後，在鬆軟含水岩層中開鑿井筒的技術上第三種發展方向開始於 1924 年：採用了人工降低地下水位法。此法係首先在井筒預定位置的周圍打好鑽眼，在鑽眼中安上濾過器，然後由這些鑽孔向外抽水。由於抽水的結果，使井筒預定位置及其周圍的岩石變乾，井筒的開鑿及砌壁就在沒有水的岩石中進行。在堅硬含水岩層中開鑿井筒的技術是向另一方向發展着。前世紀中葉，曾用過直徑 4 公尺，不須排水的衝擊式鑽井法，近年來，此種方法已被其它較完善的方法所代替。

1938 年蘇聯工程師克·恩·塞保基也夫及維·巴·依萬諾夫早於美國工程師五年就已提出，並在實際工作中應用了的一種新方法——旋轉鑽井法來開鑿通過堅硬含水岩層的小直徑井筒。

1885 年通過堅硬含水岩層開鑿井筒的技術上又出現了一個新的方向：利用岩石裂縫的阻水辦法來阻止地下水，使其不能流入鑿井地區，來代替一系列的排水措施。此法是向岩石裂縫中注入水泥漿。水泥漿凝固以後就能阻止地下水流入井筒。此種方法稱為岩石裂縫水泥漿注入法。

在喀斯特岩層中注入水泥漿的實際經驗證明，填塞此種岩層空隙所需的水泥量相當大。蘇聯的工程師們提出一種堵塞喀斯特岩層裂縫的新方法。此法與水泥漿注入法的區別，只在於大的裂縫及結晶岩石中不用水泥漿，而是使用黃泥和於水中的黃泥漿。

最後，在1947年於烏拉爾鐵礫土礦井穿過喀斯特含水石灰岩開鑿井筒時，曾經第一次在建井工程中使用瀝青堵塞岩石空隙的新方法——瀝青漿注入法。此種方法是將熔化的瀝青漿經井筒周圍的鑽孔注入岩石的空隙與裂縫中，並將其充滿，而瀝青在裂縫中逐漸凝固即可阻止水流入井筒內。

這三種堵塞岩石空隙與裂縫的辦法——水泥漿注入法、黃泥漿注入法、瀝青漿注入法——總稱之為阻水法。此種阻水法均係在含水岩層中開鑿井筒前使用，有時在開鑿井筒後及砌壁後亦利用此種方法鞏固含水層中已被破壞的防水壁。

隨着時間的前進，有些鑿井法在很多困難條件下逐步地發展起來，並日益得到改進，如人工凍結法，水泥漿注入法等。而另一些方法，如衝擊鑽井法則完全的或暫時地逐步被淘汰了。在通過鬆軟含水層時，使用旋轉鑽井法在蘇聯頗被廣泛應用。

一些古老的特殊鑿井法，如板樁法，沉箱法等的使用範圍正在日益縮小，而逐步地讓位給比較完善的方法。現在無論是誰，在開鑿較深的井筒時也不會考慮到使用這些方法。但在80—100年前，這些方法曾是唯一獨佔的方法。現在恐不會有人提出在穿過100公尺厚的含水層時採用沉箱法。但在100年前的條件下，此種方法曾被認為是唯一正確的方法。

現在，人工降低地下水位法，化學凝結法及瀝青漿注入法等尚處於逐步發展與改進的階段。

在莫斯科卡崗諾維奇地下鐵路建設工程中，人工凍結法曾被大規模地使用，且得到了基本的改進。開鑿地下巷道時，對此法的不斷改進，給予其他建設部門，如水利工程，橋樑建築及開鑿隧道等使用這種方法及繼續發展這種方法以良好的影響。因而，人工凍結法的使用範圍也就一年一年地擴大起來。建設莫斯科市及列寧格勒市地下鐵道時，穿過鬆軟含水岩層開鑿傾斜升降梯道工程，都是使用土壤人工凍結法進行的。最近幾年蘇聯以人工凍結法完成的工程量較之所有其他各國以此種方法完成工程量的總和大很多倍。

蘇聯在研究鑿井法中，已完成了很多巨大的科學研究工作，如人工凍結法、人工降低地下水位法及岩石化學凝結法。

在蘇聯，巷道特殊開鑿法的使用範圍正在逐年增大。蘇聯煤礦工業部在 1948 年，以特殊鑿井法開鑿的井筒佔全蘇井筒總深的 8%，1949 年則為 11.4%。

莫斯科近郊煤田，在使用特殊鑿井法方面佔全蘇第一位，而使用特殊鑿井法的比重又是年年在增加着：

年度	1945	1946	1947	1948	1949
特殊鑿井法 所佔比重 (%)	8.2	11.2	42.4	58.6	60

莫斯科近郊煤田，在 6 年的過程中用特殊鑿井法共開鑿了總深有 2110 公尺的井筒。

在使用特殊鑿井法方面，齊略賓斯克礦區佔全蘇的第二位：

年度	1945	1946	1947	1948	1949
特殊鑿井法 所佔比重 (%)	19.2	44	47.6	70	23.6

在 6 年過程中，齊略賓斯克礦區以特殊鑿井法共開鑿了 810 公尺的井筒。

頓巴斯礦區、列寧格勒、基洛夫、高爾基等礦區也在採用這些特殊鑿井法。

至 1948 年為止，在穿過鬆軟含水層鑿井時在蘇聯多使用旋轉鑿井法佔 47.8%，而沉箱法則佔 39.8%。根據 1950 年的煤礦工業計劃，預定採用各種特殊鑿井法的比例如下：

計劃開鑿.....	2180 公尺	100%
其中：		
凍結法.....	850 公尺	39.3%
沉箱法.....	648 公尺	29.0%
鑽井法.....	310 公尺	14.5%
水泥漿注入法.....	210 公尺	9.3%
降低水位法.....	177 公尺	7.9%

凍結法的使用比重在急劇上昇，1950 年達到 39.3%。

但任何時候也不應忘記，穿過含水層時使用特殊開鑿法是件成本很高的工作，因此在一些個別情況下，均應隨時設法盡可能的

不利用特殊鑿井法。如在生產礦井開鑿井筒，而井筒必須穿過含水岩層時，或在正在建設的礦井井筒延深時，就可以在井下向開鑿井筒方向開一巷道，在井筒範圍內打排水鑽孔，並裝以過濾管。這些排水鑽孔可部分地將含水岩層的水排乾，因此可改善開鑿井筒的條件。在堅硬岩層中還可以通過排水鑽孔下放岩石，這樣又可

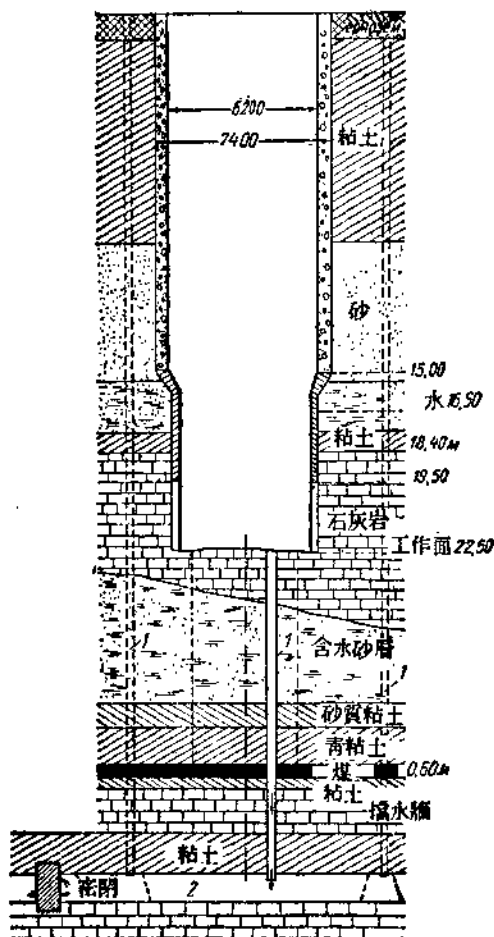


圖4 經排水鑽孔排出含水層的水
1—排水鑽孔； 2—井下巷道。

顯著地提高鑿井進度。

此種排水方法曾在莫斯科近郊煤田使用過，由某一通風井筒向提昇井筒掘進一巷道（圖 4），在提昇井筒及其周圍打了一些排水鑽孔，水經過這些鑽孔流入巷道，再流入水倉，然後再由水倉以水泵排到地面。

在井筒中打排水鑽孔雖不可能將井筒開鑿工作面的水完全排乾，但能減低地下水的壓力（流砂）。

莫斯科近郊煤田的某些井田，有一烏平紀與泥盆紀石灰岩位於基本含煤系的底部，此石灰岩具有吸水能力。在含水層中開鑿垂直巷道或水平巷道時，同樣也能够利用此種石灰岩的特性，在一定距離內，由巷道開鑿一些小井，或打幾個鑽孔，一直打到泥盆紀石灰岩。進入巷道的水經探井或鑽孔滲到石灰岩中。某礦的泥盆紀石灰岩吸水能力很大，甚至完全取消了井下的排水設備。

在一對井筒同時開鑿時，要使其中的一個比另一個井筒提前一些開鑿，這樣，鑿井的條件就可能好些。此時排水的重點將在先行開鑿的井筒中，第二個井筒的開鑿工作將在較好的條件下進行。

有一些礦層埋藏於喀斯特含水石灰岩層中，開拓此種礦體是很困難的。為了避免或減少在此種條件下開鑿井筒的困難，可不開鑿豎井而沿礦體開鑿斜井，如此，開拓礦體時就可以避免井筒與喀斯特石灰岩接觸。在用兩個或三個井筒開拓礦體時，這些井筒可同時開鑿，亦可使其中的一個井筒先行開鑿，這樣可使含水層的湧水大致相等地流入各井筒內。例如總湧水量每小時 1000 立方公尺，則每個井筒的湧水量每小時將為 250—400 立方公尺。當然此種礦體的開拓方式只是在根據技術經濟計算所確定的一定深度才是合理的。

在某些情況下，為了井筒開鑿的方便和合理，可考慮改變井筒的位置。例如某礦體的頂板及底板均是含水的石灰岩，在石灰岩最厚的地方開鑿井筒時，一定要遇到很多開鑿上的困難。在此種情況下，開鑿了一號井筒（圖 5 之 1），此井筒位於河邊，因此遇到大量的含水喀斯特岩石。為了避免大量湧水並減少排水的困難，

將二號井井筒設於圖中的 II 處 (圖 5) 的含煤層中。開鑿此井筒時湧水量不大, 但若將井筒放於 II 處時, 石門過長。此缺點可將井筒佈置於圖中的 III 處來彌補, 即使井筒 III 位於 I 和 II 之間, 此種情況下, 井筒位於無水的喀斯特岩石中, 並在地下水位處進入含煤層中。這樣石門的長度及運輸線路的長度均隨之縮短。

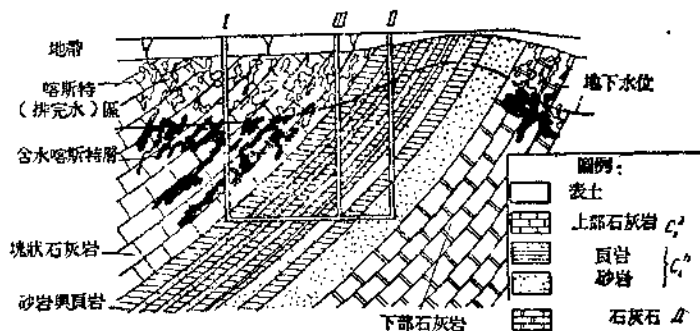


圖 5 煤田開發系統圖

莫斯科近郊煤田必須特別注意井筒位置的選擇問題, 此煤田的地質條件變化複雜, 有時將井筒位置移動幾十公尺, 鑿井條件就可能有很大的變化, 新改變的井筒區域含水岩層可能比舊井筒區域薄得很多, 有時也可能遇不到含水層。流砂層經常形成範圍不大的扁豆狀體埋藏於地下, 因此探鑽時可能只發現流砂層最薄的部分。

應避免在岩石褶皺地帶開鑿巷道, 因為巷道將位於特別褶皺和破碎的岩石中, 則巷道的掘進將特別困難。

〔礦井井筒特殊開鑿法〕要研究的對象為下列各種開鑿井筒的方法:

I. 板樁法:

1. 木板樁法;
2. 金屬板樁法。

II. 沉箱法,

III. 壓氣沉箱法,

IV. 人工降低地下水位法,

V. 岩石化學凝結法，

VI. 堅硬岩石裂縫阻水法：

1. 水泥漿注入法；
2. 黃泥漿注入法；
3. 瀝青漿注入法。

VII. 鑿井法，

VIII. 人工凍結法。

在困難的條件下，開鑿井筒之前必需進行專門的工程地質及水文地質鑽探與研究工作，此種工作必須與礦井初步設計同時進行。

專門勘查工作之所以必要，是因為在進行總的地質勘查時，人們有時根本不重視或很少重視工程地質問題。

除去確定地質斷面之外，工程地質勘查可能發現很多的勘查井田時未曾發現的不適於鑿井的地點。此外，工程地質勘查可使我們找到含水層少的適於鑿井的地點，如此就會減少鑿井的困難，同時也能節省很多的時間與物資。問題十分明顯，如果鑿井地點變動，則整個礦體的開發問題均須變動。

確定鑿井條件的工程地質勘查工作量是藉助打檢查鑽孔進行的。在鑽井地區必須打三個或至少打一個檢查鑽孔。打三個鑽孔時，鑽孔須位於圍繞井筒的等邊三角形的各角上。

打一個鑽孔時，鑽孔須距井筒周邊3—4公尺。應避免在鑿井地點打檢查鑽孔，因為這樣的鑽孔如未作好阻水工作一旦發生壓力水時，則鑽孔將成為由井筒下部水不向上部水平引水的導管。

打檢查鑽孔時，必須使鑽孔穿過全部含水層，並應鑽入含水層下部的不透水岩層中10—15公尺。

打檢查鑽孔時，須取出並保存鑽孔的岩心，並確定其溫度、比重、體積重及岩石的孔隙率。

在表土中鑽進時不可用水，以免破壞土壤的自然特性。

工程地質勘查要為特殊鑿井法探明下列全部問題：

1. 各岩層的厚度，並作出準確的地質斷面圖。