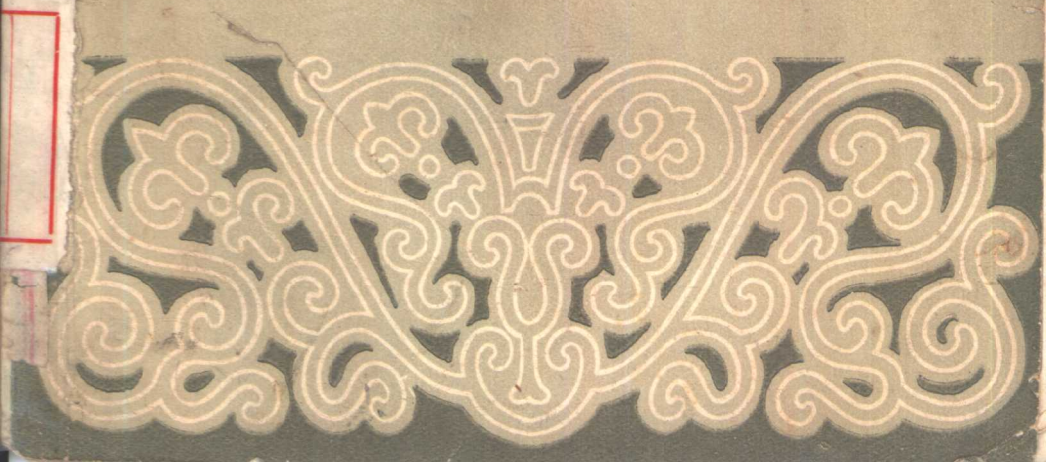




井巷特殊掘进法的技术改进

煤炭工业出版社



內 容 提 要

本書總結了苏联特殊建井公司用特殊方法开凿井巷的施工經驗，其中包括冻结法、注浆法、压气沉箱法和降低水位法。書中并列举了在一些复杂的水文地质条件下，用特殊方法掘进井底巷道、开拓井底車場以及恢复巷道的实例。

本書可供建井施工人員参考。

Г. И. Маньковский

ТЕХНИЧЕСКИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ
СПОСОБОВ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Углетехиздат Харьков 1955

根据苏联国立煤矿技术書籍出版社1955年版译

768

井巷特殊掘进法的技术改进

合肥矿业学院井巷教研室译



煤炭工业出版社出版(社址: 北京东长安街煤炭工业部)

北京市書刊出版業營業許可証出字第084号

煤炭工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

開本850×1168公厘 $\frac{1}{32}$ 印張5 $\frac{7}{16}$ 插圖6 字數124,000

1959年2月北京第1版 1959年2月北京第1次印刷

統一書号: 15035·495 印數: 0,001—3,000冊 定价: 0.92元

768

統一書号15035·495

定价0.92元

序 言

本書是特殊建井公司使用特殊方法掘进井巷的施工經驗总结。

由于这是实际的取材,所以探討問題的范围就有限制,而不能把所有的特殊开凿法一一包括进来,同理,也不能对每一种特殊方法的基本原理都加以闡明。

書中提供的,仅是特殊建井公司全体施工人員所得的实际經驗,和在許多有关特殊开凿法的書刊中所找不到的东西。

作者的主要意图是想把屬于在复杂的地質和水文地質条件下,进行矿井建設的一些綜合問題,作为特殊开凿法的任务。

在别的書籍中,每一种特殊法只是分別地討論,而沒有和其他的方法以及建井总任务联系起来。本書有所不同,其目的为:在各种开凿方法和降低水位工作彼此配合的情况下,闡明既能用于井筒,又能用于井底巷道的各种特殊凿井法的应用問題,以加速矿井建設。

正确地解决这种配合問題,比用某种特殊掘进法完成所規定的工艺过程还需要更多的技术創造。

若井筒的地質剖面相同,則根据井筒数目及开掘順序、井底車場和准备巷道掘进的条件、进行疏干工作的特点,可能数种不同的施工方法都是合理的。

鑽井法开凿井筒也应屬于特殊方法,但是,有关鑽井设备的复杂結構,以及鑽井和井筒支护的工艺过程,都是很丰富的資料,倘編入本書,則恐占篇幅过多。

有几篇文章过去已出版过小册子,或在杂志上发表过。本書

对其内容加以修正、补充并系统的加以编排。

作者將非常感激讀者們对本書提出的一切意見,以便在今后
著作中加以注意和改正。

目 录

序言

一、簡史概述	1
二、使用特殊开凿法的地質条件	3
三、冻結法	13
1. 概述	13
2. 旋轉式鑽进冻結孔	14
3. 鑽孔弯曲的測量	31
4. 冻結站	32
5. 用冻結法掘进井筒时支架的种类	34
四、注漿法	42
1. 概述	42
2. 使用粘土水泥漿的理論	43
3. 施工的經驗	54
五、使用压缩空气开凿井筒	62
1. 概述	62
2. Н. И. 菲里波夫型气閘設備	67
3. Н. И. 克里洛夫型气閘設備	73
4. 特殊建井公司型的气閘設備	92
5. 压缩空气的生产	99
6. 掘进速度	99
六、人工降低地下水位法	101
1. 概述	101
2. 降低水位法与压气沉箱法的联合使用	106

七、井底車場巷道的掘进	114
1. 概述	114
2. 用冻结法掘进井底車場巷道	120
3. 在压缩空气下掘进井底車場巷道	135
4. 用降低水位法掘进井底車場巷道	138
八、使用掩护筒掘进水平巷道	142
九、恢复工作	155
1. 用冻结法恢复井巷	155
2. 用注浆法恢复井巷	161

一、簡史概述

在特別複雜的地質和水文地質的條件下掘進井巷時，也就是說，在穿過不穩定岩層（主要的是砂和粘土）或大量含水的穩定層，用直接排水法已顯得不合理的時候，凡能夠可靠地進行施工的方法，都叫做特殊開鑿法。

只是在偉大十月社會主義革命以後，在我國煤礦工業中才開始使用特殊開鑿法。在“頓涅茨煤田記事”一書中，只記載了用沉井及特殊管子通過流砂的兩個實例和用下沉鑄鐵支架掘進的兩個實例。

在偉大的十月社會主義革命以後，利用地下資源的狀況起了根本變化。地下資源國有化，國民經濟有計劃的發展，開發多種新的有價值的有益礦床——所有這些，在蘇聯礦井建設者的面前提出了一個任務，那就是要在任何地質和水文地質條件下，在各種岩層中掘進井巷。

為了開采索里卡姆斯克的鉀鹽礦、庫爾斯克磁力反常區的鐵礦、北烏拉爾的鐵矽土礦，以及許多其他礦床，都曾經使用過凍結法、注漿法等等。

掘進井巷的特殊方法曾被莫斯科地下鐵道建築公司廣泛地利用過，該建築公司的全體成員乃是近代隧道建築技術的創始人。

在煤炭工業中，也有用特殊方法開鑿井筒的必要了。頓巴斯的含水砂岩層、烏拉爾的喀斯特石灰岩層、莫斯科近郊煤田的流砂層，都使得我們不可能用普通方法開鑿礦井。1926年“紅星”№ 6礦井（頓巴斯）第一次採用了岩層水泥注漿法。在1928年“波普里柯夫”№ 8礦井（莫斯科近郊煤田）用板樁法通過了流砂層，以

后又使用了冻结法。用冻结法还曾经开凿了“希格洛夫”矿井井筒(庫茲巴斯),而后又开凿了“包甫列文”的 № 50 及 № 53 矿井(莫斯科煤田)。

1932 年为了开凿“包甫列文” № 49 矿井井筒,曾使用了压气沉箱法,在 1939 年又用此法开凿了“謝金” № 17 矿井井筒(莫斯科近郊煤田)和“何洛德-巴尔卡”矿井井筒(頓巴斯)。

由于要开发很多水文地质条件复杂的新矿床,特殊开凿法在煤矿工业中获得了广泛的应用。现在正利用特殊开凿法开凿矿井井筒、井底巷道,并用以进行恢复工作。每年用特殊方法开凿煤矿井筒的工程量都以数千公尺计,达煤炭工业中开凿井筒总工程量的 10%。尤其是在几个新的矿床,例如:“德罗戈布日”所有井筒都用特殊方法开凿。显然,开发这些新矿床若不用特殊开凿法是不可想象的。

每个煤田有它的特殊条件,那种方法优先应用,根据这些条件来决定。对頓巴斯特别是伏罗希洛夫格勒区及罗斯托夫区来说,其特征为有含水砂岩层,因而需要预先注浆;对斯大林省的某些地区,例如对“紅軍”区来说,其特征为具有一层埋藏深度达 50~70 公尺的松软且含水的第四纪岩层。在这些条件下,视静水压头大小,可应用冻结法,也可用压气沉箱法来掘进。

莫斯科近郊煤田岩层的地质剖面的特征,是具有几个彼此隔离的流砂层,每层都有独立的静水压头。在这些流砂和粘土之间有几层含水很多的喀斯特石灰岩,此处开凿井筒就要优先应用冻结法和压气沉箱法。

在莫斯科近郊煤田矿床的西北翼,埋藏有不规则的和呈扁豆状的高压流砂层,故只能应用冻结法来开凿井筒。

起初,在煤炭工业中特殊方法的应用,是以相近的建筑领域的技术为基础的,而后,特殊开凿法在采矿方面的技术才逐渐地建立起来。本书也在于创立和改善这方面的技术。

二、使用特殊开凿法的地質条件

特殊法的基本任务在于創造一些条件，使在井巷掘进期間能阻止涌水进入其中。当用冻结法时，在井巷周圍，形成一个不透水的冻土圈以达到这个目的。当用注浆法时，把水泥或其他不透水的材料，充填到岩层的含水裂縫中去，以使井巷与地下水流隔絕。当用压气沉箱法开凿时，用压缩空气的阻力阻止水流入井巷中。

在自然条件下，很少遇到純淨状态的砂子和粘土，在大多数情况，它們是不同比例的砂子和粘土的混合物。

对砂-粘土层的分类，有很多見解。有企图按其矿物組成分类的；也有企图按物理机械特性分类的；最后还有企图按其适用于各种工业部門的技术性質来加以分类的。

在复杂的地質及水文地質条件下掘进井巷时，含水的砂层粘土层是不稳定的。岩层的稳定程度及其显示出的特性是多种多样的。工程地質的任务之一就是确定出掘进地下井巷时不稳定岩层的典型現象，根据岩相的、物理的、物理化学的，以及岩石的其他性質，用数字来表示这种不稳定的程度，并要建立分类法。

为了实用的目的，目前不得不把所有的砂-粘土岩层，截然地分为两类——砂和粘土，并假定以其塑性状态作为它們之間的分界。

掘进矿山井巷时，粘土和砂的特征是不同的。粘土的流动性为它的两个主要特性所决定：塑性及易膨脹性。岩石在外力作用下，改变自己的形状，而不改变体积的性質叫做塑性。土力学中通常認為塑性极限是一个常数，以在試件中能形成流动性的湿度百分比来表示。

粘土質岩層膨脹是吸收水分的結果，這時作用在岩層內部的液體動力（毛細管）壓力就要減少，因為這種壓力是決定岩層本身的粘結性的，所以，岩層就散開或分離了。蘇聯科學院 H. M. 格爾謝凡諾夫通訊院士認為：掘進礦山井巷時，岩層的膨脹可能是由於外部水分，亦可能是因在巷道外露面上壓力降低，因而岩層內部的含水朝巷道的方向移動所致^①。

粘土質岩層內地壓發展的一般過程，可以想像為下列情況：假設在開掘礦山巷道的初期，粘土層是乾燥的。由於外露的結果，就破壞了岩層的自然平衡，該種岩層的表面裂成或大或小的碎塊以致墜落和留下了相應的孔洞。由於它的塑性，相鄰的岩層就向這些孔洞擠壓，使靜力平衡及水動力平衡的破壞程度更為加劇；當具有水分時，岩層發生膨脹作用，並經過巷道未曾支護的地帶，被擠壓出來。巷道周圍岩層的破壞區域愈來愈擴大，所形成的裂縫及孔洞就變成集水的地方了，無論是含在岩層本身的水或是由鄰近含水層流來的水都聚集在這裡。

由含水層來的湧水促使着粘土進一步的膨脹，使得圍岩動力狀態得到相應的發展，而加劇了地壓。

要从粘土顆粒內分離水分是很困難的，因而飽含水分的粘土具有粘性液體的性質，這些粘土都以程度不同的濃稠狀態，按照水力學的定律流入巷道。這種粘土層移動現象的發展，並不是任何時候都可以看見的，有時，當岩層保持着乾燥狀態，這種移動仅仅限於岩層的隆起。在另一些情況下，與此相反，當在粘土層中開拓礦山巷道時，岩層立即顯出流動的性質。

掘進礦山巷道時，粘土層的乾燥也可能是使其獲得流動狀態的根本原因。大家知道，當粘土乾燥時，包含在其中的分子水的負壓力達到很高的數值，由於這個緣故，粘土發生龜裂，其裂縫就變

^① H. M. 格爾謝凡諾夫，Д. Е. 波里申，“土力學的理論及其實際應用”，國立建築書籍出版社，莫斯科，1948，第122頁。

成上部岩层水的通路。这样一来获得丰富的水源之后，粘土就开始膨胀。

如果把饱含水的粘土视为均质浓稠的液体，则砂层中的水由固体颗粒中分离出来，只有当砂层中的固体颗粒成为这样的独立系统，即当它和水的相互作用象和外部解质作用一样时，对于含在砂层中的水才能应用水动力学定律。

水文地质学研究砂层中水的运动时，是把砂层看作单一解质，且用一些平均值来判定地下水流的特性，其中包括用平均速度，当其他条件皆相同时，该速度取决于平均渗透系数。所有这些情况都符合于砂层中的天然地下水流。但是一当水流的自然状态在某处由于掘进矿山巷道而遭到破坏时，情况就更本改变了。

由于静水压头的落差很大，便产生了冲刷速度，而渗透的概念在这里就完全具有了另外的物理意义。由于冲刷速度的结果，代替整个水流横断面上分布得相当均匀的无数个有平均有限流速的细流，而在砂层中出现了一些沟缝，这些沟缝开始并不大，后来愈来愈扩展。这些沟缝是整个砂层的泄水通路，水就开始沿着它们流动，好象开口水流一样，合乎露天河床水力学的规律。

随着矿山巷道排水，沟缝网就产生分支并向某些方向发展，这些方向与颗粒的组成及个别层段的其他性质有关。

流向巷道的水开始以泉水的形式涌出，继而以比较小的，但很清晰明显的水流在砂层中冲刷着自己的道路。最后以旺盛的小河形式沿着被冲毁的砂层洞穴底部流动。

随着井巷的延深，例如延深矿井井筒，人为侵蚀的基准面降低了，洞穴扩大了，整个砂层就被水流的“冲毁”。在沟缝里水位以上的岩层部分是干的，因此这些沟缝具有相对的稳定性。以后这些沟缝和洞穴破坏，而使周围岩层发生动力状态，并将几个单独含水层彼此联通。

可以举很多实例，证实上述冲垮砂层的特性。

穿过砂层开凿的井筒，在井壁后面经常能够发生大小不同的洞穴，而且它们有很奇特的形状。当从井内排水时，这些洞穴处在干燥的区域，有明显的形状并具有足够的稳定性，便能观察它们和对它们进行有计划的充填。

但是，如果水位升起时，由于水的浸润，洞穴的内壁和拱顶就有了移动性以致破坏，从而引起或多或少的围岩物质的运动，其多少的程度取决于地质条件。当砂层上面具有足够坚硬的岩层时，由于冲刷沟缝的破坏，会直接在这层坚硬的顶板下面形成孔洞。

如果在砂层的上面没有足够稳定的岩层，由于沟缝破坏产生的移动，可以波及地表而出现漏斗状的沉陷。破坏漏斗并非永远紧靠排水的地方产生，大家知道有这样一些情况，即在距排水的巷道相当远的地方见到地表沉陷，同时，沉陷现象相继或者紧随着巷道被水浸润而显出，或者经过相当长的时间，有时可达几个月，沉陷才出现，这须视岩层的塑性及其他许多原因而定。

秋雨的渗透能促使冲刷沟缝破坏，尤其是春雨的渗透，因此时上部地层由于解冻稳定性降低了。

穿过含水砂层井筒的变形，几乎都不是在排水时间内发生的，而是发生在意外淹没井筒的时候。或是直接在流砂突出以后，或是接近春雪融化的时候，地表就出现了沉陷漏斗。

在压缩空气下（使用沉箱）开凿井筒，井壁的变形现象是很有意思的。

莫斯科近郊煤田的一些矿井里（“格蘭科夫”№ 3，“斯摩罗金”№ 43 等），当用压气沉箱法开凿井筒时，至最后撤除压力以前井筒没有任何破坏。压气压力撤除之后，井筒就被淹没了。当后来排水时，井筒支架出现了裂缝，而井底水窝也充满了砂子，这些砂子是经过裂缝带进来的。

发生这些现象的原因是：在开凿井筒过程中，突然停电，沉箱工作室的压气压力逐渐降低，与此相应的就要有或多或少的流砂

涌入井中。当使沉箱工作室恢复必须的压气压力时，水就要由井筒中被挤出，于是在井壁后面，由于带走了一些流砂而造成的孔洞是干燥的，而其内壁和拱顶是足够稳定的。

在开凿完毕时，接着井筒内的水位升高，孔洞就破坏了，同时支架也就变形了。

在“洛明采夫”№ 20 矿井的井田上，曾钻了一个№ 44 降低水位钻孔到煤层上面的砂层上。此砂层的渗透系数为 1.5 公尺/晝夜，和它相应的钻孔计算流量为 8 立方公尺/小时。

在钻孔排水的初期，它的流量大约为 10 立方公尺/小时，同时见到有大量砂子带出。继而钻孔流量开始增加，迅速达 72 立方公尺/小时，这个不均称的高的钻孔流量与自然埋藏下砂层的渗透性质不符合，这可能是由于过滤器结构不完善，当钻孔从砂层内排水时，形成了一些冲刷沟缝，沿着它们水以连续急流的形式涌入了钻孔。

水由作为整个煤系岩层水源的乌平灰岩层渗入煤上砂层。石灰岩具有不规则的裂缝——在布置№ 44 钻孔的井筒区域内，几乎完全没有裂缝，但在距井筒若干距离处，裂缝却很发达。在裂缝发展的方向上，石灰岩的顶板升高了。因此从离钻孔远的乌平石灰岩

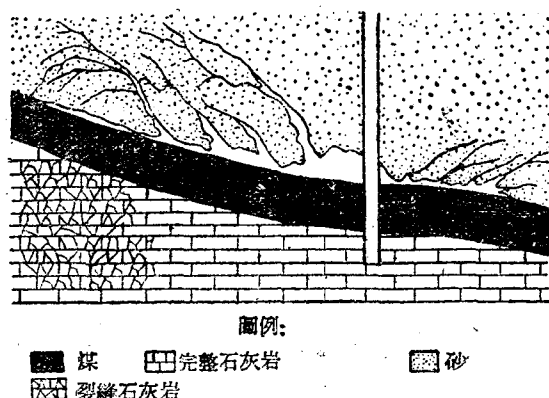


图 1 “洛明采夫” № 20 矿井乌平石灰岩的水向煤上砂层渗透概图

破碎帶出来的水，穿过煤层而上升到煤上砂层中，在那里冲刷出溝縫網，并沿着它以开口水流形式涌入鑽孔。这种現象表示在图1中。

“包甫列文”№53 矿井在含水砂层的下面掘进主要平巷，对砂层用棒式过滤器有计划地进行了疏干工作。随着工作面推进，及时安了过滤器，它工作得也令人滿意，只是帶出少量砂子。

檢查頂板表明砂层干燥的相当好，也具有必要的稳定性。

有一天在距工作面不太远的一条巷道的干燥地区中，經過复盖在煤上面的粘土层开始滲水，繼而出現了水滴，紧接着有大量的水涌出，最后大量飽含水砂子涌进了巷道。在流砂①涌入之前，水的冲入是由于冲刷所造成的某些孔洞中蓄积水的緣故，起先圍繞个别的过滤器形成了分支狀的冲刷溝縫，同时煤上砂层得到了疏干。随着排水的进展冲刷溝縫網就扩大了，并在煤上粘土层頂板起伏最低的地方形成一个相当大的孔洞。在它的粘土层底部聚集了水，到一定时刻煤上粘土层被破坏了，水就冲入巷道里，并且帶走了流砂(图2)。

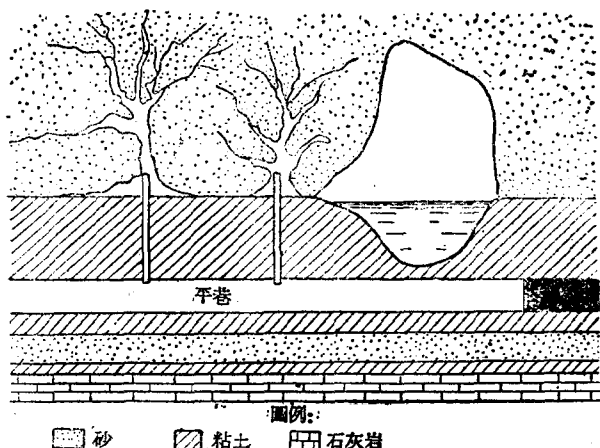


图2 “包甫列文”№53 矿井巷道里，由于水的冲刷在煤上岩层中溝縫和孔洞的形成图

① 我們把所有具有高度流动性的飽含水砂-粘土叫做流砂，它由于有流动性，故有流入矿山巷道的傾向。

在“德罗戈布日”№3 矿井,用水平鑽孔冻结法开凿了风井的井底車場。在距井筒4公尺处,当开凿南面联接部的拱頂部分时,巷道頂板冻结粘土层的压力显示出来了。尽管进行临时支架的加固,经过一晝夜,粘土仍开始破裂,通过它有清水流出,以每分鐘50公升的流量繼續了几分鐘。以后砂层崩裂了,淹沒的范围不只是开凿的联接部分,还包括25公尺井筒。崩裂以后,经过三晝夜,在离井筒25公尺处的地面上,形成了直徑为7.5公尺和深为2.9公尺的沉陷漏斗。漏斗中心正是在降低水位鑽孔沒有作用到也未进行阻塞的地点。

已經查明,当用冲击方法打这个鑽孔时,曾帶出了很多砂子。显然,这种冲刷的結果,使鑽孔变成了貯水孔,冻结粘土层破裂以后,水即由此冲入巷道并帶入許多砂子。

鑽孔冲刷的情况表示在图3中。

降低水位鑽孔和矿山巷道之間的水力联系,在“德罗戈布日”另外一个矿井中用水染色的方法得到証实。

在“德罗戈布日”№4 矿井当建造水泵房时,从巷道頂板处曾經发生了水的涌出,后来随着气体的冲击,流砂也涌进巷道。这个冲击是由于砂层中許多大的孔洞破坏所造成的,这些孔洞原先是由于砂层被冲刷而形成的,在其下部充滿了水而其余部分全部充滿气体。

在流砂帶入之前,清水的涌入是上述情况的重要特征。

因此,可作出下列結論:

1. 不能在直接排水的砂层中掘进巷道。必須采取措施,用过

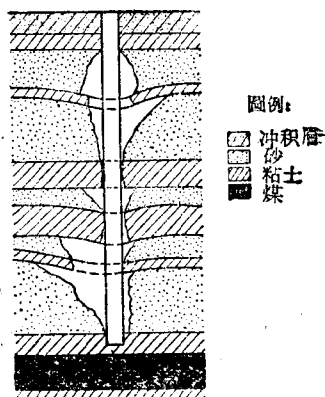


图3 “德罗戈布日”№3通风井筒的鑽孔冲刷图

濾器將岩层預先疏干。

2. 過濾器應有这样的結構，即決不容許把岩层冲毀。

3. 鑽孔仅能从規定的水平排水。無論如何也不容許各个水平之間自由溝通。

4. 为了勘探或技術的目的，在井田內打的所有鑽孔，当其任务結束以后，應該仔細地填塞起来。

5. 对所有砂层冲毀或突出的場合，都必須仔細地用注漿材料將孔洞充填起来。

常有人用以下見解来反对这个措施，即認為砂层不能接受水泥注漿，同时在砂层中不可能有孔洞。对砂层注漿确实是不行，然而在砂层中不可能有孔洞的說法都已証实是不正确的。

6. 必須对所有鑽孔进行弯曲測量，并把測量的結果，按和冻结鑽孔同样的精确度，标在矿山測量平面图上。这就使得当矿山井巷靠近鑽孔时，有可能及时的采取預防措施。

上述砂层的冲毀現象，仅是在掘进巷道时砂-粘土含水岩层破坏的局部情况。这些情况是多种多样的，它完全随矿山岩石的性質而异。

砂层和粘土层的冲毀特性，應該成为特別重要的科学觀察和研究的課題。

按照該种岩层平均滲透系数的理論計算資料所繪制出的曲綫，使得有可能大致地估計出該地区地下水位降低的概貌，但它还不能反映出大多数情况下的真实的現象。

砂层的組織是非均質的，所以降水漏斗面也有很复杂的形狀，在不同方向上，曲率也不相同。此外，当具有透水性不大的夾层时，可看到曲率的急剧的变化及中断。

由于現象很复杂，所以研究的最初阶段，主要的應該是觀察和实验，而不是抽象的理論計算。

除了不稳定的砂-粘土层以外，在含有大量涌水的稳定岩层中

掘进巷道时,也必须采用特殊的方法。

这种岩层可分两类: 包含有普通裂缝的含水岩层和喀斯特岩层。

裂缝岩层中水的活动状况符合水文地质学的规则。这就给出了选用特殊开凿法的基础。最坏的情况,是喀斯特岩层,当选用特殊开凿法时,其中水的活动状况,在目前还不能精确地确定。

为了矿井建筑的实用目的,可把所有的喀斯特岩层分为三类:

1. 彼此間直接有水力联系, 或通过开裂式裂缝系统而达到联系的喀斯特岩层; 喀斯特水是一个统一的含水层, 这个含水层也适用对普通裂缝岩层中的水所规定的一些规律。

2. 喀斯特溶洞与裂缝是属于各种彼此互不联系的系统, 并且具有单独自由的水位或是有压力的水位。在个别情况下, 这些系统可能各有其独立的水源。

在喀斯特溶洞是闭塞的情况下, 从某一处排水并不能改变相邻地段水的状况。沿着疏干了的岩层开凿若干长度的巷道, 也不能说明这条巷道继续开凿时不会遇到巨大的蓄水洞穴。

3. 喀斯特溶洞之間沒有水力联系。貯存在各溶洞中的水之間的联系, 被具有不同程度透水性的松散物質的二次沉积破坏了。这些沉积物, 把孔洞和裂缝的统一系统分开成为许多个在水文地质方面的单独部分。

这类岩层的特征是: 因采矿工程进行的结果, 隔离孔洞和裂缝的充填物可能被冲毁, 于是水就在矿山巷道中得到一个通路, 而过去水和这些矿山巷道是互相隔绝的。由于巷道所开出的空间与其他孔洞和裂缝之間水力联系的扩展, 涌水量可以急剧地增加。

对于这类岩层, 水的涌入具有以下特性: 开始在巷道中出现不多的混浊水流, 它逐渐地加大。最后带有岩石颗粒的水大量涌入。过一个时期, 水中岩石颗粒的含量就降低了, 而清水流量则保持不变。