

肖黎明编

水体下采煤

煤炭工业出版社

23.83

水 体 下 采 煤

肖黎明编

(只限国内发行)

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

燃料化学工业出版社印刷二厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$

印张 $4 \frac{1}{2}$

字数 97 千字

印数 1—7,900

1975年7月第1版

1975年7月第1次印刷

书号15035·2011 定价 0.33 元

序 言

水体下采煤是一个复杂的技术问题。过去，由于缺乏经验，在解决这个问题时曾走过一些弯路，如把河下及流砂层和建筑物同样看待，不加区别地套用涌水量计算公式，忽视具体地质条件特点，普遍排除开采区域上方的地表积水等，因此造成开采上限过低，资源损失较多，预计的矿井涌水量偏离实际很大，地面防排水工程浩大，使正常的开采工作受到阻碍。另一方面也有时对水体下开采注意不够，采用不合理的采煤方法或多采了上方保护煤柱，导致发生突水砂事故。为此，寻求在水体下开采的有效措施，不仅是解决当前安全生产的重要问题之一，而且对充分利用地下资源，挖掘现有矿井潜力，缓和矿区和矿井的接续具有重要意义。

随着煤矿生产技术的蓬勃发展，广大煤矿职工在水体下开采也进行了大量工作，并积累了丰富经验，为了总结交流这些经验，根据华东几个矿区的实践，参阅其它矿区资料，编写此书，供有关工程技术人员参考，期望有助于普及有关水体下采煤的基本知识和进一步开展水体下的开采实际工作。

目前经常提到的水体下采煤，是指在河流、湖泊、沼泽、洼地、采空区地表移动盆地积水区、老空积水区、流砂层以及基岩含水层等下的采煤工作。本书着重分析在河下和流砂层下的开采问题，因为这两者有代表性，也是当前煤矿中常遇到的实际问题。

影响水体下开采的因素很多，涉及采矿、岩层移动、地

下水动力学、工程地质学等方面。毛主席教导我们说：“研究任何过程，如果是存在着两个以上矛盾的复杂过程的话，就要用全力找出它的主要矛盾。”水体下开采要解决的问题，是防止开采后产生的岩层导水裂隙及地表塌陷，导致各种水体的水及泥砂溃入矿井，其中采矿技术因素起着主要作用。因此，书中主要叙述岩层受采动影响后形成“三带”（冒落带，裂隙带，弯曲沉降带）的现象，分析河下及流砂层下开采的实质和预防措施，选择合理的开采方法和确定安全开采上限。为便于初次接触水体下开采问题的同志阅读，书中还介绍了流砂层的特性，水体下开采和建筑物下开采的区别，河下及流砂层下采煤时几种常用的观测、研究方法，含水层附近采掘时突然出水的预防和防水煤柱的计算以及矿井涌水量的预测方法等。

本书介绍的经验，都是广大煤矿职工在三大革命斗争中取得的成果，在编写此书时又参阅了不少矿区的资料和有关结论，还有一些同志参加讨论和修改，因此，本书实际上是集体经验的反映。但由于水体下采煤牵涉的问题很多，情况也复杂，不少问题尚待进一步研究解决，加之笔者囿于见闻，思想水平和业务水平都很低，书中难免有不妥错误之处，亲切期待得到批评指正。

目 录

序言

第一章 概述.....	1
第一节 流砂层下开采的一般概念.....	1
第二节 河下开采与流砂层下开采的区别.....	4
第三节 河下及流砂层下开采与建筑物下开采的区别.....	6
第四节 河下及流砂层下开采时试验采区的选择和开采范围...	9
第五节 地表移动与水体下开采的关系.....	11
第二章 采动后的岩层移动特征及其对水体下开 采的影响.....	16
第一节 开采缓倾斜煤层时岩层的移动特征.....	16
第二节 开采倾斜及急倾斜煤层时岩层的移动特征.....	35
第三节 地表裂缝及其对水体下开采的影响.....	44
第三章 影响水体下采煤的因素及安全开采深度的计 算	47
第一节 影响水体下采煤的因素.....	47
第二节 安全开采深度的计算.....	55
第四章 水体下通常采用的几种开采方法及实例.....	63
第一节 水体下通常采用的几种开采方法.....	63
第二节 厚煤层分层开采间隔时间及浅部煤层开采技术措施...	66
第三节 河下及流砂层下试验开采期间的开采 措施及观测系统实例.....	71
第五章 含水层或积水区附近采掘时突然出水的预防 ...	83
第一节 在含水石灰岩附近开采.....	84
第二节 开拓过程中石门穿过含水石灰岩.....	87

第三节	在含水断层附近进行采掘工程·····	89
第四节	在老空或老洞附近采掘·····	93
第五节	防水闸门及防水密闭墙·····	94
第六章	水体下开采时几项主要研究内容及具体方法·····	101
第一节	用井测法观测采空区顶板岩层破坏状况·····	101
第二节	深部测点及巷道观测法观测采空区围岩破坏状况·····	110
第三节	井上下水文地质观测·····	112
第七章	含水层下开采时矿井涌水量的预测·····	121
第一节	概况·····	121
第二节	松软岩层性质与矿井充水的关系·····	122
第三节	含水层下开采时矿井涌水量的预测·····	128
第四节	涌水量预测举例·····	135

第一章 概 述

在煤矿开采过程中，采后顶板陷落波及地面水体、含水岩层或第四纪冲积层，往往造成流砂及水溃入矿井，威胁安全生产，因此，研究解决河流及流砂层等水体下采煤问题，对解放被压煤量，保证矿井安全生产，具有十分重要的意义。

第一节 流砂层下开采的一般概念

一、流砂层的概念

通常对细砂部分（粒径由0.25~0.05毫米）的含量大于70%，粘土部分（粒径小于0.005毫米）的含量大于5~6%，且具有流动特性的细砂或松散未胶结的细颗粒岩层，称为流砂层。

在煤矿生产中，通常遇到的流砂层都含水，并且粒径变化也较大，一般称为含水砂层，其赋存状态往往和砾石层或粗砂层等互层。目前在生产中，对含水砂层及流砂层一般并不加以严格区别，统称为流砂层。

二、流砂层的特性及其影响因素

影响流砂层性质的因素较多，主要有以下几个方面：

1. 颗粒组成的影响。随着颗粒组成的改变，流砂层的性质也随之改变。如果砂层颗粒组成中大部分为粒径较大的砂（粒径大于0.25毫米）或砾石（粒径大于2毫米），则流砂层的流动性能会减弱，甚至不会流动。这时，对矿井的

主要威胁就由流砂变成砂层或砂砾层中的水。而砂及砂砾只有在很大的裂隙与采空区直接连通的情况下，才能溃入井下。

如果流砂层的颗粒组成中，粒径较细的粉土（粒径 $0.05\sim0.005$ 毫米）和粘土（粒径小于 0.005 毫米）的比重加大，则它们之间的粘结力加强，当其含量占有较大比重时，就变成砂质粘土层或粘土层（小于 0.01 毫米粒径的含量大于 50% ），这时它们起到隔水作用，而不再是矿井的危害。如据几个矿区的粘土层的部分土样试验结果，其粒径小于 0.01 毫米的含量均在 50% 以上，渗透系数 K 值都很小，仅 $2.29\sim6.34\times10^{-4}$ 米/昼夜，透水性极弱，成为矿区内的良好隔水层。

2. 含水性的影响。流砂层在水压作用下，其特性表现得更明显。如果流砂层中的水量愈多、水压愈大，则其流动性也愈大。当这种饱含水的、颗粒细小的砂层为巷道揭露或受采动破坏时，即显得极不稳定，有可能和水一起溃入矿井。特别是当顶板有承压水时，砂层流动性质更为剧烈，在较小的溃决处也可能溃入大量的流砂和水。如果流砂层中的含水量降低，其流动性也减弱，当含水量少于 15% 时，砂子就不会流动，也就减少了对矿井的威胁。

流砂层的渗透性能对安全开采也有很大影响，如果渗透系数大，在同样条件下流入的水量也愈大。当其与地面水体有联系，一旦和采空区相通，就有可能溃入大量水砂。

流砂层中的含水量取决于砂子颗粒间自由空间的大小。因此，在分析流砂层的特性时，除了解砂层颗粒的大小外，尚需知道其空隙率。空隙率的大小与砂层性质有关，一般小于 45% ，由于水只能存在于砂层颗粒间的空隙内，因此，流

砂层中的含水量不会超过45%。流砂层中的水包括结合水、毛细管水和活性水（重力水）等，其中后者能引起溃决，直接威胁井下安全生产。活性水的含量，一般占20%左右，其余为结合水与毛细管水。

3. 埋藏位置的影响。含水砂层一般在第四纪冲积层中，与粘土层、砾石层等夹层交错存在，或直接出露地表而呈大片状态。流砂层埋藏愈深、受压愈大，层内水的比重也愈大，因此，在深处的流砂层内含水量虽少，但水柱静压力高，在溃决时水的流速也大。

三、 流砂层下开采的实质

流砂层下开采，就是要防止流砂及其中所含的水溃入井巷，在安全的情况下进行开采工作。流砂溃入矿井的主要条件，是必须具有溃入的通道及砂层内含有一定量的水。如果流砂层离煤层很远；或流砂层下有较厚的、稳定的隔水层；或在煤层开采后顶板冒落时，岩层破坏裂隙不致波及到流砂层；或用充填法管理顶板，流砂层不致遭受破坏等情况，就有可能避免水砂溃入矿井。此外，如果降低流砂层中的含水量及水压，使流砂变成普通的湿砂子，也将会降低或消除其流动性能，改善开采条件。在上述情况下，流砂层对矿井基本上就无甚危害，也就不需要采取特殊的安全措施。

消除流砂层含水量和静水压力的危害影响，可以采用疏干方法，将流砂层中能够溃决的活性水排除，使其水位降低。但是，当流砂层中的粘土部分大于10~15%，则疏干或降低水位都不容易。在煤矿生产中，经常遇到面积大、水量丰富，或颗粒很细，只能通过很少水量的流砂层，采用疏干方法收效不大，这时就要采取其它的对策。我们通常所指的流砂层下开采，就是指在这种条件下，不采取疏水措施，而采

用合理的开采方法，安全的进行开采工作。

流砂除泄水困难外，其安息角随湿度变化而变化。因此，在流砂中开凿井筒或施工工程基础时，应采取能够制止流砂移动的冻结法。

第二节 河下开采与流砂层下开采的区别

一、河下开采与流砂层下开采的区别

河下开采与流砂层下开采，都是防止地面水或含水层水和泥砂流入井下，但其对矿井的危害程度不同。主要表现在：流砂层水流入井下有一个渗透过程（其速度快慢决定于砂层的渗透系数），特别是有泥砂溃入时，一般都有一段较长的时间，容易预防。如有些矿区发生淤泥和水砂溃入巷道事故，在事故发生的前几天即有少量泥砂溃入巷道，事故发生前几小时发现工作面压力增大，折梁断柱等预兆。此外，流砂及淤泥溃入巷道的速度也较慢，从事故发生到泥砂稳定，往往经历几个小时。而河水或地面积水流入井下，一般来势较猛、速度快，流量集中，时间短暂。如某矿区一掘进迎头遇老空区突然出水，短时间内水量达 $7\sim 8\text{米}^3/\text{分}$ ，数十分钟后即近干涸。所以在河下或积水区下开采时，要特别注意作好预防突然出水的安全措施。

在河下开采时，由于河流范围一般较小，因此需要预防的范围也较小。如果是季节性河流，可选择在枯雨季节开采，甚至在雨季河流水量增大时，可暂时停采。而在流砂层下开采时，流砂层面积都很大，在开采方法以及岩层透水性等条件相同的情况下，需要采取预防措施的范围广，预防的时间也较长。

二、河下及流砂层下开采时对矿井充水的形式

实际生产中，除单纯的在河下开采或在流砂层下开采的情况外，往往遇到河流的底部有砂砾层，或在流砂层下开采缓倾斜厚煤层下部几个分层时，地面已形成积水区，这时就变成既在河下(或积水区下)又在流砂层下开采。在这种情况下，河流及流砂层对矿井的充水影响，除主要取决于煤系上覆岩层的透水性能外，还取决于河流的性质和流砂层的渗透性能。根据河流和流砂层的相互关系，大体可分以下两种情况。

1. 河流不与煤系地层直接接触，下部为第四纪含水砂层，河水通过含水砂层补给矿井，见图1-1。在这种情况下，含水砂层的渗透系数 K_1 具有很大的作用。根据实践，对矿井的充水影响，往往具有涌水的延续时间长、比较稳定和受季节影响的变化幅度不大等特点。

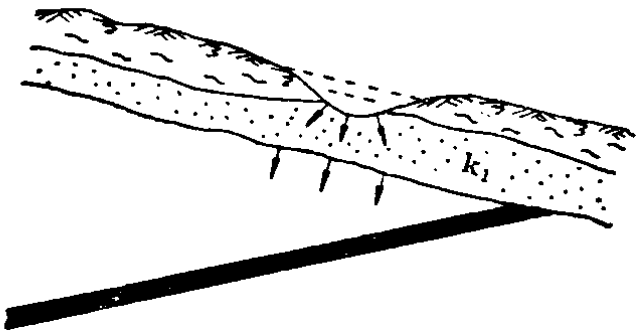


图 1-1 河流不与煤系地层直接接触时水力补给关系

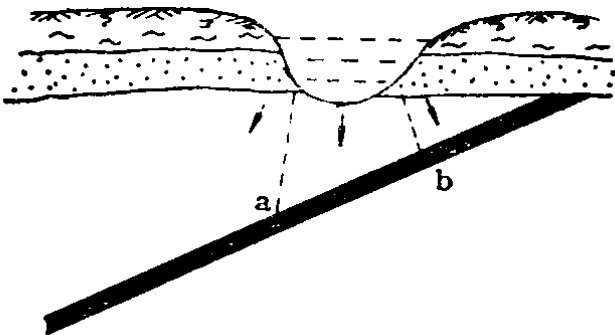


图 1-2 河流与煤系地层直接接触时水力补给关系

2. 河流及含水砂层都直接与煤系地层相接触,而含水砂层与河流又相互沟通,见图1-2。在这种情况下,矿井涌水量与河流的性质有关。如为季节性河流,则一般随季节的变化有较明显的波动。在开采a、b范围内的煤层时,需要特别注意。

第三节 河下及流砂层下开采与建筑物下开采的区别

过去有的矿区在河下或流砂层下开采时,由于缺乏经验,常把水体和建筑物同等看待,套用在建筑物下开采时所要求的一些临界变形值和安全设施,来衡量水体下开采的安全程度,因此开采上限定的很低,资源丢失严重,使水体下采煤工作增加了障碍。通过实践,认识到在河下或流砂层下开采与在建筑物下开采,在保护对象及具体要求等方面是不同的,两者有本质上的区别,必须严格分开。

一、保护的对象不同

河下及流砂层下开采是防止地面水或含水层水通过裂隙流入井下,避免井巷遭受破坏,保证安全开采。建筑物下开采则是防止因井下开采影响,引起地表变形而造成建筑物的结构破坏。它们的共同点都受岩层性质的影响。但在水体下开采时,岩层性质起更大的作用。如有粘土层存在的条件下,即使地面发生变形而导致建筑物破坏,但不一定向井下漏水。

二、被保护物受开采破坏的因素不同

水体下开采时,只有当开采后出现的岩层导水裂隙与地表裂缝沟通,或直接破坏到河流或含水层时,才可能产生漏水现象;而在建筑物下开采时,建筑物是否遭受破坏,主要取决于开采后地表产生的倾斜、曲率和水平变形的临界值(指建筑物所能承受的最大的安全变形值)。如我国一些矿区,结合本矿区的条件,通过地表移动观测和收集建筑物的破坏情况,以及修缮使用的可能性等资料,提出了本矿区的建筑

物等级与临界变形值的关系，如表1-1所示。

表 1-1 我国几个矿区建筑物保护等级与
临界变形值的关系

临界变形值		下沉 (毫米)			倾斜 (毫米/米)			倾斜差 (毫米/米)			水平变形 (毫米/米)		
建筑物等级		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
淮南	南	20	50	100	4	6	8	2	4	6	2	4	6
峰	峰	—	—	—	4	8	12	2	4	6	1~2	3	6
阳泉	泉	—	—	—	4	6	8	2	4	8	2	4	6
焦西	西	20	50	100	4	6	8	2	4	6	2	4	6

当地表变形超过允许的临界变形值，对建筑物的影响就很大了。但对河下及含水砂层下开采，地表即使有较大的倾斜和水平变形，甚致产生张力裂缝时，裂缝也有可能形成V形封闭，其延深深度一般不大、不一定会导致河水或含水层水流入矿井。

三、要求保护的範圍不同

当开采深度超过采厚很大时（如达200~300倍），煤层上覆岩层的移动仍然可能波及地表，也有可能引起地表发生危险变形。因此，一些重要建筑物，如井筒、铁路干线等的安全煤柱的留设，仍需考虑其开采影响，甚至考虑到全部采深。如表 1-2 为我国几个矿区对 I、II、III 类建筑物所规定的安全开采系数(为安全开采深度H与采厚m的比值)。由表1-2可见，各矿区对 I 级建筑物要求的安全开采系数大多为300倍左右。如果把河流或流砂层等水体也视为 I 级建筑物，要求在采厚的 300 倍以下才能开采，则这个深度就太大了。特别是河流或流砂层压煤往往是大片的，如果采用这个倍数，大片煤层就将成为呆滞煤量。实际上在水体下开采时，由于导水

裂隙在采空区上方的发展高度一般不大（开采单一煤层时仅为采厚的15倍左右，见第二章），有时裂隙即使发展到冲积层内，如果冲积层内含有较厚的粘土层，因粘土层具有粘性及容易膨胀的性能，裂缝也容易密合堵塞，含水层水不一定会漏入井下。在这种情况下进行开采通常是安全的。

表 1-2 我国几个矿区对各级建筑物
规定的安全开采系数

建 筑 物 等 级		I	II	III
淮 南	$\alpha < 66^\circ$	400	300	200
	$\alpha > 66^\circ$	435	320	218
徐 州		200	100	66
峰 峰		400	200	125
阳 泉		300	200	150
焦 西		250	170	125
林 西		300	150	100

四、计算综合作用厚度的方法和目的不同

在建筑物及水体下开采煤层群或厚煤层的各个分层时，当上一煤层（或分层）开采后引起的岩层移动尚未稳定就继续开采以下煤层时，需要计算其综合作用厚度（即重复采动影响）。建筑物下开采时综合作用厚度的计算，一般主要考虑煤层厚度的影响，其计算目的是用来预测煤层群开采后所产生的地表综合变形是否超过建筑物的容许变形值，以衡量建筑物是否会遭受破坏。而在河下或流砂层下开采时，重复采动影响除考虑煤层厚度外，尚需考虑采煤方法，巷道布置以及断层构造等因素，其计算目的是用来预计导水裂隙的发展高度，正确确定开采上限和安全措施，以免水砂溃入井下。

由上可见，建筑物下开采要求的安全深度比水体下开采

要求的安全深度要大得多，如果套用建筑物下开采时要求的安全系数，来确定河下或流砂层下开采的开采上限，是偏大的，不合适的。实践证明，采动后地表已经产生裂缝或使建筑物遭受破坏，而井下涌水量往往并无显著增加。但是，这并不是指在任何情况下，在河下或流砂层下开采时，比建筑物下开采都更为安全。在某些条件下，水体下开采的危险性可能更大些，因为建筑物破坏了尚可修缮恢复，而水体破坏了，就威胁整个矿井的生产和人身安全。

第四节 河下及流砂层下开采时试验采区 的选择和开采范围

一、试验采区的选择

在没有水体下开采经验的矿区，通常要求选择一个合适的地点进行试验性开采，取得经验后再进行大规模开采。为使试验结果能够适用于一般情况，试验采区要选择在对整个煤田来说具有代表性的地点。同时试验采区的地质构造也不宜过于复杂，断层不宜过多，特别是大于10~15米的较大断层。在水文地质条件方面，最好选择一个独立的水文单元，水力补给关系比较简单，这样可以减少综合影响，便于得出比较正确的试验结果。

二、对试验采区开采范围的要求

在开采缓倾斜煤层时，为了获得较长时间的开采实践，并使岩层移动充分，使地表形成具有平底의盘形移动盆地，全面反映岩层移动特征，通常要求试验采区有一定的范围。

试验采区范围的大小，根据我国有关矿区的实际观测资料，采空区面积只要达到 $1.2H^2$ （ H 为试验采区平均采深），地表即能达到充分下沉。如果试验采区面积小于 $1.2H^2$ ，则

地表不能形成盘形盆地，呈现不充分下沉。西德和英美等国认为开采面积大于 $2\pi R$ 时（ $R=H\tg 35^\circ$ ， H 为平均采深），地表即已得到充分下沉；苏联是以采动系数 $n_1=0.9\frac{D_1}{H}$ 和 $n_2=0.9\frac{D_2}{H}$ 表示（其中 D_1 和 D_2 分别为采空区沿倾斜方向和沿走向方向的长度， H 为平均开采深度），当 n_1 和 n_2 值均大于1时，即表示地表已达到充分下沉。波兰认为，当 $L\geq (2\sim 3)r$ ，即 $L\geq (2\sim 3)\frac{H}{\tg\beta}$ 时，地表即能达到充分下沉，见图1-3。式中 L —为试验采区沿走向及倾斜的开采宽度； H —为试验采区平均深度； r —为达到充分下沉时的影响半径，即最大曲率点到移动边界的距离， $r=\frac{H}{\tg\beta}$ 。

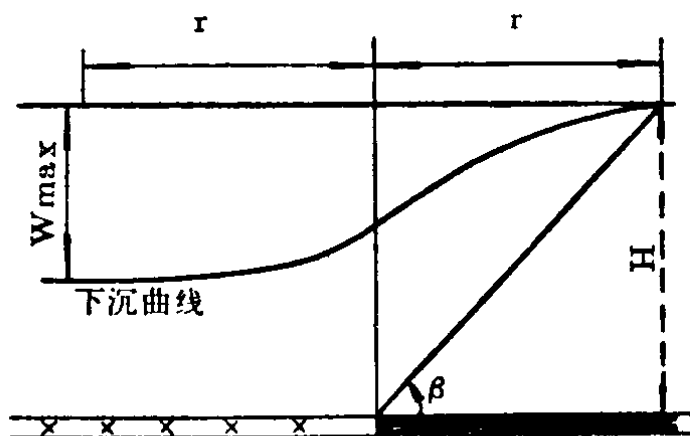


图 1-3 下沉曲线

实际工作中，采用 $1.2H^2$ 的经验数据计算，比较直接简便，也能基本符合试验开采工作的要求。表1-3为几个矿区水体下开采的试验采区范围实例，其开采面积大多接近和超过了用 $1.2H^2$ 计算所要求的值，开采结果地表都形成盘形盆地。

上列公式中的 H 值，是指试验采区到地表的平均垂深，当冲积层较薄时用以计算是适宜的。当冲积层很厚，达100~200

表 1-3 水体下开采试验采区范围实例

水 体 性 质	倾 角	开 采 范 围			距 地 表 深 (m)	
		平均走向 长 (米)	倾斜长 (米)	面 积 (米 ²)	回风巷	运输巷
河下及含水砂层下	15°	500	270	135000	120	245
河下及含水砂层下	14°	450	200	90000	70	140
含水冲积层下	5~12°	300	120	36000	113	148
流砂层下	56°	340	136	46240	110	220
流砂层下	10~12°	270	190~210	54000	95	130

米时,用上式计算的开采面积就可能偏大。如条件许可,最好选择一个走向长300~400米,倾斜宽100~150米左右的范围作为试验采区较为合适,这样既满足试验开采要求,便于尽早得出具有一般意义的结论,也有利于生产安排和采区划分。

第五节 地表移动与水体下开采的关系

煤层开采后引起的地表移动规律,已有许多矿区进行了大量的工作,积累了不少经验。下面根据几个矿区的实践资料,对地表移动与水体下开采的关系作一简单的分析。

一、下沉系数及其影响因素

下沉系数 η ,是地表充分下沉后的最大下沉值 W_{max} 与采出煤层厚度 m 之比值,即 $\eta = \frac{W_{max}}{m}$,是分析地表移动的一个重要参数。在水体下开采时,可用以配合采空区钻探结果分析深部岩层移动情况。

地表达达到充分下沉的特征是:在水平及缓倾斜煤层条件下,地表呈现盘形盆地,其伸张及压缩值都集中在开采边界,并在移动停止以后,伸张和压缩两种变形值近于相等;