

SHUITIXIA ANQUAN CAIMEI

〔苏〕Б. Я. 格维尔茨曼等

于振海 译 刘天泉 校

水体下安全采煤

323.83

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书介绍有关确定水体下安全和经济合理回采防水煤柱条件的成果。基于对水体下采煤经验的分析和采空区上方导水裂缝带尺寸的实测结果,提出了一些有关水体下安全开采深度和留设防水煤柱和隔离煤柱方面的建议。叙述了有关上覆岩层渗透性的研究方法和由此得出的一般规律。列举了水体下采煤时井下涌水量的预计方法。针对水体保护和水体下回采保安煤柱的经济效果评价方面的问题提出了一些建议。

本书适用于煤矿工程技术人员,煤炭工业设计和科研单位,亦可供矿业院校师生使用。

作者: 勃·亚·格维尔茨曼, 恩·恩·卡茨涅利松,
叶·弗·鲍舍尼亚托夫, 格·阿·涅斯捷罗夫,
弗·普·萨马林

Под общей редакцией Б.Я.Гвирчман
**БЕЗОПАСНАЯ ВЫЕМКА УГЛЯ ПОД
ВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

Москва Издательство «Недра» 1977

*

水 体 下 安 全 采 煤

于振海译 刘天泉校

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $4^{11/16}$

字数 100 千字 印数 1—2,720

1980年7月第1版 1980年7月第1次印刷

书号 15035·2327 定价 0.40元

译 者 的 话

我国在水体下（包括河流、水库、稻田、流砂含水层及石灰岩溶洞含水层下）积压了大量的煤炭资源，因此，解放水体下压煤，不断解决水下采煤的技术问题，是合理开发、充分利用国家煤炭资源、挖掘现有矿井生产潜力、延长矿井服务期限的重要措施。

建国以来，我们积极开展了水体下采煤生产试验和科研工作，据初步统计，在水体下共采过近千个工作面，积累了许多经验和资料，但是还有待于进一步提高，还必须大力开展水体下采煤的基础理论和计算、观测方法及手段、地表变形、覆岩移动规律、采煤方法和经济效果的分析比较等方面的研究工作。

本书在测试手段、研究方法以及计算导水裂缝带高度、安全开采深度和预计涌水量等方面可供我们借鉴，书中提出的模拟材料实验室试验采动覆岩渗透性能的方法，对我们的研究工作有一定的参考价值。

现将《水体下安全采煤》一书全文译出，希望能为煤炭工业的高速度发展做出贡献。

目 录

第一章 水体下采煤所产生的问题及其解决方法	1
第一节 采煤对水体的采动问题	1
第二节 采动覆岩的移动及其对水体下采煤条件的影响	6
第三节 水体下采煤的最佳条件及其确定方法	10
第二章 苏联水体下采煤经验	14
第一节 库兹涅茨煤田	14
第二节 顿涅茨煤田	23
第三节 卡拉干达煤田	28
第四节 基泽尔煤田	30
第五节 布拉纳什矿区	32
第六节 其它煤田及矿区	34
第七节 主要结论	38
第三章 采空区上方导水裂缝带尺寸的现场测定	40
第一节 地下水压头观测法	40
第二节 单位漏失量对比法	43
第三节 不同煤田导水裂缝带高度的现场测定结果	47
第四节 主要结论	59
第四章 水体下安全开采深度的计算	62
第一节 导水裂缝带高度与煤层开采厚度关系	62
第二节 导水裂缝带高度与采动覆岩性质的关系	65
第三节 开采单一煤层时水体下安全开采深度计算	69
第四节 开采煤层群时水体下安全开采深度计算	74
第五节 减少水体下安全开采深度的措施	82
第六节 主要结论	88
第五章 防水煤柱和隔离煤柱的留设	90
第一节 水体下防水煤柱留设	90

第二节	老塘积水区隔离煤柱尺寸计算	95
第三节	隔离煤柱下的安全开采条件	99
第六章	水体下采煤时矿井涌水量的计算	101
第一节	井下开采引起覆岩渗透性变化的一般概念	101
第二节	岩层渗透性的现场测定	104
第三节	利用相似材料模型研究采动覆岩渗透性变化的 基本原理	106
第四节	相似材料的选择及模拟实验方法	110
第五节	开采引起的岩层渗透性变化规律的研究	116
第六节	一类水体下采煤时涌水量的预计	122
第七节	二类水体下采煤时涌水量的预计	122
第八节	主要结论	127
第七章	水体保护及其采动后果的评价	129
第一节	水体保护	129
第二节	水体下开采后果的评价	130
第八章	水体下采煤的展望	133
第一节	水体下的煤炭资源及其回收的可能性	133
第二节	水体下煤炭资源回收经济效果的评价	136
第三节	今后的研究任务	142

第 一 章

水体下采煤 所产生的问题 及其解决方法

所谓水体是指地表水流和水池以及岩层中的水体（河床下的水流、含水砂砾松散层、含水岩层、老塘积水区）。

水体下采煤需要解决一系列的问题，其中比较重要的，一方面是预防矿井溃水或超限涌水，而另一方面，对有经济价值的水体要进行保护，以免遭受井下开采的不良影响。目前，解决第一方面的问题具有关键性的意义，因为水体是造成井下事故的主要根源。因此，鉴于此种情况，如果矿井生产的安全得以保障，则水体的完整性亦能保障。然而，近年来第二方面的问题也开始起着越来越独立的作用，特别是在顿涅茨煤田，其中就存在着这样的问题，在被采动的区域建造人工水库，其排水量限定在最低的范围之内。

第一节 采煤对水体的采动问题

水体下浅部煤层开采的最大危险是井下突然溃水，在大多数情况下，工作面不允许大量涌水，因为这会恶化采煤机械的工作条件，进而降低了它们的生产效率。在任何一种情况下，矿井涌水量的增加均导致排水费用的提高。防止井下大量涌水的根本措施是疏干采动区的水体，从蓄水池，老塘积水区和含水岩层将水排走。但是，这种方法在经济上往往不合理，且对于需要保护的水体来说也是根本行不通的。因此，多数情况是通过在水体下留设防水煤柱来解决所面临的任務，防水煤柱的下部边界就是安全深度的水平。

据苏联煤田现行保安规程，水体下安全开采深度 H_6 按下式计算：

$$H_6 = K_6 m \tag{1}$$

表 1

煤 田	建筑物保护条例批准年代	水 体	煤层倾角 (度)	粘土松散层厚度 (米)	安全系数 K_6
顿涅茨	1972	北顿涅茨河	≤ 45	未作规定	150
		大水库	> 45		200
		河流(北顿涅茨河除外)	≤ 45		100
			> 45		150
		终年流水山涧	≤ 45		50
			> 45		75
库兹涅茨	1968	河流(托米, 康多马和乌萨河除外)及其漫滩	≤ 45	≥ 5	70
		同上, 河水与煤系地层地下水无水力联系	≤ 45	≥ 5	50
		终年流水细谷	≤ 55	≤ 5	50
		同上, $m \leq 2.5$ 米, 采取辅助措施	≤ 55	> 5	20*
		同上, $m \leq 3.5$ 米	> 55	—	50**
齐良宾	1967	小河、池塘和排水沟	≤ 45	> 10	30
基泽尔	1967	河流(乌西瓦, 科西瓦和大基泽尔河除外)	≤ 45		50
			> 45	≥ 10	50
			> 45	< 10	75
苏 昌	1971	河流及其漫滩	—	—	60
伯绍拉	1967	同上	< 60	≥ 10	20*
			≥ 60	≥ 10	35
			< 60	< 10	40
			≥ 60	< 10	50

* 在这种情况下安全深度 H_6 不应少于30米。

** 在这种情况下安全深度 H_6 不应少于100米。

式中 K_0 ——安全系数；
 m ——煤层开采厚度。

K_0 值是根据各煤田水体下采煤结果的资料确定的，它取决于水体大小、煤层倾角，在某些情况下还取决于粘土松散层厚度。水体下用陷落法管理顶板初次开采条件下的 K_0 值列入表 1。这些数值不大一致，其原因是采矿地质条件各有差异，但主要原因却是安全深度的确定方法不同，水体下的采煤经验不足和初始资料的不可比性等因素。

许多规程中的安全系数偏高，是因为某些矿甚至在相当深的地段采煤时，亦存在井下涌水增加现象（库兹涅茨和利沃夫·沃伦等煤田）。在上述情况下，水完全有可能不是来自水体，而可能是来自直接靠近煤层的含水层，或是来自构造破坏带。

随着新的实际资料的积累，在颁发的保护规程中，减小安全系数的倾向，在顿涅茨煤田的实例中得到了充分的反映（表 2）。尽管 K_0 值降低了 67~75%，但目前这些数值仍然偏高。

表 2

水 体	保 护 规 程 批 准 年 代			
	1934	1939	1960	1972
	安 全 系 数 K_0			
北顿涅茨河，大水库	400	350~400	250~300	150~200
河流(北顿涅茨河除外)	400	150~200	100~150	100~150
终年流水山涧	200	100	50~75	50~75

安全系数偏高的总的原因，是在确定这一数值时，根据

的是条件最差的水体下采煤的经验，而未充分考虑到具体的采矿地质条件和水文地质条件。

当采用 K_0 最大值时，通常，井下涌水不会增加。然而，在很多情况下，在允许的条件范围内，通过增加涌水量来减少安全开采深度就更为合理。《煤矿和油母页岩矿保安规程》中，有关确定老塘积水下安全开采深度的要求，在某种程度上与这一原则是相符合的，按此要求，如果距老塘积水的法线距离不小于40倍所采煤层的厚度，那么，在上覆煤层老塘积水下就可以采煤。这种要求并非说涌水量一定不会增加。而事实上，在顿涅茨和库兹涅茨煤田老塘积水下的采煤经验表明，在这种安全深度中也曾出现过涌水量增加的现象，但未超过 $50 \text{ 米}^3/\text{小时}$ ，因此，尚构不成对矿井的危害。

关于水体下重复开采的条件，目前研究得还很不够。在大多数现行保安规程中，煤层群的安全开采深度均按下式计算：

$$H_0 = K_0 \Sigma m \quad (2)$$

式中 K_0 ——安全系数，与初次开采时的系数相同；

Σm ——本煤层与已采煤层的总厚度。

但是，按此公式计算安全深度时，不得不在煤柱中丢弃大量煤炭。如果不考虑过去在水体下已采的煤层，则在上部煤层工作面中就可能出现涌水。表3列出国外在水体下用垮落法采煤时，确定安全开采深度的现行规范条例。同苏联所采用的标准比较，可以看到他们的标准显然也是反映了最不利的条件，因此，除了捷克斯洛伐克外，防水煤柱大半定的偏大。

基于近十年来的研究成果，目前已有可能采用另外一种方法来确定水体下的安全采煤条件，这种方法是以矿井预计

涌水量与矿井允许涌水量进行比较为依据的。这里，回采上限就是安全深度，在此上限内，在该矿条件下，来自水体的涌水量就等于允许值。根据排水设备能力，排水系统和充水煤层顶底板岩层的稳定性和所采用的采煤设备等条件，由矿山企业来确定允许涌水量的大小。

根据大多数现行保安规程，在安全深度水平以上的水体下的防水煤柱边界是按移动角进行留设的。在这种情况下，鉴于所得出的煤柱尺寸偏大，在伯绍拉煤田和布拉纳什矿区的保安规程中，根据伊·弗·哈赫洛夫的建议，为了在地表水流和水体下留设防水煤柱，采用了所谓岩层渗透变化范围角，它比移动角大 $4\sim 10^{\circ}$ 。这样就可减少防水煤柱的损失。但是减少损失的主要潜力是通过制定适用于具体采矿地质条件的安全开采深度的计算方法来减少水体下的安全开采深度。

表 3

国 别	水 体	煤层开 采厚度 m (米)	辅 助 条 件	安全开采 深度 H_{σ} (米)	注
英 国	海 洋	≤ 1.2	—	111	—
		> 1.2	—	247	
加拿大	同 上	—	—	100m	—
日 本	同 上	≈ 1.0	第三纪地层上 无沉积岩层沉积岩层 厚度不少于30米	100 50	吨煤开采的 最大允许涌水 量为10~15米 ³
西 德	莱茵河 及其漫滩	—	—	138am	a —地表最大 下沉量与煤层 采厚之比
捷克斯 洛伐克	含水岩层 (岩屑和 海滩沙)	—	—	40+10 ($m-1$)	m 以米计算

在所采煤层中的老塘积水是增加危险性的根源。鉴于从积水区排水需要耗费大量的资材，况且并非任何时候都能确保安全，因此，在大多数情况下，最经济而又能保障安全开采的措施是在老塘积水边界留设防水煤柱。为了确定各种条件下的这种合理的煤柱尺寸，《弗尼米》*进行了专门的试验研究，这些试验研究成果就成了保安规程中有关这方面问题的规范条例基础。

第二节 采动覆岩的移动及其对 水体下采煤条件的影响

只有了解采动覆岩移动过程的规律，才能确定水体下采煤的合理条件。在一系列专门的文章中介绍了这一过程的总的特征。本书仅适当介绍一些为说明和解决当前的任务所必备的知识。

岩层移动起始于回采工作面的顶板岩层。当岩层失去支撑后，在自重作用下开始弯曲沉降，而当达到承载极限时，则开始垮落。初次垮落后，上覆岩层相继垮落，直至形成悬顶，或在原垮落的岩体上找到支点。从这一层开始，虽然变形极为严重，但岩层结构仍保持着原有的层次，随着远离回采工作面顶板，岩层变形渐弱。

在开采缓倾斜和倾斜煤层时，直接在采空区上方形成的不规则冒落带高度不超过二倍的煤层开采厚度。仅在采深不大和直接顶为松散沉积层时，这种冒落带的高度方能增加到十至十五倍的煤层厚度，甚至波及地表而形成塌陷。如在阿

* 《弗尼米》(ВНИМИ)，全苏矿山地质力学和测量科学研究院的简称，下同，——译者注。

尔捷莫夫矿区（沿海边区）就有类似情况发生。

不规则冒落带的岩体渗透性实际上是无限的，因此，在能够形成塌陷坑的水体下采煤就会造成井下溃水并发生淹井事故。

在不规则冒落带以上，采空区上方的岩层移动主要形式是各岩层或岩层组发生弯曲沉降。在岩层弯曲作用的影响下产生拉伸和压缩变形。在单一岩层内，变形从其中线向上下两侧发展并具有相反的符号。由于煤系地层岩层的抗拉强度通常略小于抗压强度，故中线靠近岩层的压缩面。

岩层弯曲变形产生裂缝，由于弯曲曲率，共同弯曲的岩层组的厚度和岩石的物理力学性质不同，裂缝或是连通性的，或是非连通性的，在某些变形范围内也可能不产生裂缝。

穿过共同弯曲岩层整个厚度，且作为导水通道的连通裂缝，产生于限制裂缝发展的邻近岩层组基本上相互脱开之地。随着弯曲加剧，岩层接触面移动力开始增加，同时弯曲的岩层组分离成单一岩层，或厚度较小的分层，这也有利于连通裂缝的形成。随着远离采空区，岩层弯曲程度与其下面的岩层比较，渐趋变缓。每个岩层拉伸范围内裂缝深度和开裂度亦相应减小。但由于在其压应力范围内的岩层产生局部断裂，所以在这部分岩层中亦能形成连通的导水通道。

在远离采空区的岩层中，如岩层弯曲未超过一定的极限值，则裂缝或不会在整个岩层厚度中扩展，或根本不会产生裂缝。在这一部分岩层中不能形成与采空区沟通的导水通道。

从上述移动特征得知，从确定水体下安全开采条件的角度来看，层面法线方向上的覆岩可划分为两个带。

第一带，以下称之为导水裂缝带，直接从煤层的顶板开始并包括不规则冒落带和与采空区沟通的法线连通裂缝带。该

带的主要特征是岩层渗透性高于自然渗透性。在不规则冒落带中，沿层面法线方向上的渗透性趋于无限大，但在法线连通裂缝顶点降低到零。

第二带，仅在有足够的采深时才能形成，它包括从导水裂缝带顶点到地表的全部覆岩。在此范围内可能产生岩层间的离层裂隙，而在每一个岩层中的法线裂缝，正如指出的那样，或扩展不到相应岩层的整个厚度，或根本不会出现。因此层面法线方向上的岩层渗透性基本上仍然与采动前一样，即等于自然渗透性。因此，确定水体下采煤可能性的条件是，当有足够的采深时，与采空区连通的裂缝不是出现在整个覆岩之中，而只是存在于其中的某一部分，该部分称之为导水裂缝带。在解决所要研究的问题的过程中，这种裂缝带的大小，其中包括它的高度，则是我们所需要测定的基本数据。

导水裂缝带的高度取决于整个一系列采矿地质因素。

主要因素之一是煤层的开采厚度，因为厚度增加了就会扩大岩层的变形，进而增加了导水裂缝带的高度。近来，有人认为，导水裂缝带高度与采厚成正比关系。按此观点，在现行的规程中是按照所谓倍数*来确定水体下的安全开采深度的。

在以岩层连续弯曲沉降形式出现的覆岩移动未产生之前，煤层倾角对于导水裂缝带的大小影响不大。但是在开采急倾斜煤层时，就出现了由于煤岩沿倾斜方向位移而造成的新的移动形式。这种移动是由于导水裂缝带由采空区向上扩展而造成的。就是开采深度很大时，在煤层露头处常常产生

* 所谓倍数是指采深与采厚之比，即安全系数。

塌陷坑。防止在水体下形成塌陷坑是确保急倾斜煤层安全开采所必不可少的条件。

在不同的条件下，岩层的构成及其物理力学性能对于导水裂缝带的高度会产生不同的影响。因此，如果顶板以坚硬的砂岩或石灰岩为主，并且有与充分采动相应的足够大的采空区，其导水裂缝带的高度要大于在以泥质岩和粉砂岩之类为主的软弱泥岩中的高度。反之，如果采空区不大且能形成坚硬岩层悬顶，在这种岩层中导水裂缝带高度可能大大小于软弱岩层中的高度。在采动覆岩中，如果有软弱的塑性粘土，通常可减小导水裂缝带的高度。

上述情况也说明了采空区的大小所起的作用。工作面尺寸的扩大导致导水裂缝带高度的增加。但是，仅在未达到充分采动时，这种因素对导水裂缝带顶点才起作用。

顶板管理方法对于导水裂缝带大小所产生的影响是再明显不过的了。当其它条件相同时，如采用全部垮落法采煤时，导水裂缝带就会达到最大高度，而采用密实充填，则高度最小。

在某些条件下，重复开采会增加已采煤层采空区上方岩层的变形，进而导致导水裂缝带高度的增加。然而，并不是在所有的情况下都会有这种可能。必须注意到，进行单一煤层开采时，导水裂缝带并非在采空区上方的整个区段均能达到最大高度，而仅是局限在采空区的边缘部分，此处岩层变形最大。在不同煤层中，如果回采工作面按照一定的相互位置进行布置，则累计变形就不会超过单一煤层开采时的数值。回采工作面的这种布置方式也正是水体下采煤的合理布置方式，因为这样不会导致导水裂缝带高度的增加。

第三节 水体下采煤的最佳条件 及其确定方法

水体下采煤的最佳条件是，丢煤最少而又能安全、经济合理地回收煤炭资源，必要时，还能保障水体不受破坏。为了确定这种最佳条件，需要解决下述几个主要问题：

- 1) 确定水体下既安全又经济合理的开采深度；
- 2) 当水体下煤层埋藏深度小于上述安全深度时，要确定防水煤柱所必须的尺寸。

所谓安全和经济合理的开采深度(以下简称安全深度)，我们指的是，在这种深度上能够防止矿井溃水以及那种破坏正常回采工艺和大大降低其经济指标的涌水。

确定安全开采深度所必不可少的主要参数之一是采空区上方的导水裂缝带高度，因为裂缝带如扩展到水体就会显著地增加矿井的涌水量，在某些情况下则会造成突然溃水和淹井事故。此外，为了预测井下涌水量，应当搞清楚未采动岩层的渗透性，这种渗透性通常是在勘探时确定的，亦应弄清导水裂缝带范围内岩层的透水性能。鉴于对导水裂缝带岩层渗透性研究得还很不够，目前尚不能预测出需要在小于导水裂缝带高度的深度上进行采煤的所有情况下的涌水量。因此，为了工作方便，有意取在采空区上方所形成的导水裂缝带不会扩展到水体底部边界的深度为水体下的安全开采深度。这样一来，会使一些贮量变成了未知数，但是，当按照采动岩层渗透性求出的井下涌水量不超过允许值时，并不排除开采浅部煤层的可能性。

在大多数现行规程中，不同水体下的安全开采深度是根据水体大小和水的资源而确定的。我们认为这种做法缺少足

够的根据。在大河和流量不超过 $1\sim 2$ 米³/秒水流下的开采条件基本上没有差别，因为后者足以淹没任何一个矿井，工作面的涌水量将主要取决于导水裂缝带的大小及其渗透性。

按导水裂缝带高度确定安全深度时，不应以水体的大小，也不应以水体中的水量作为划分水体类型的基础，而是要看水体与基岩地下水之间有无水力联系。按照这种情况，水体可划分为两类。

第一类——在隔水基底上的水体：

全部由粘土松散层（粘土和砂质粘土）同基岩隔开的地表水流和水池，在没有粘土松散层的情况下，在基岩的物理力学性能近似于粘土松散层（西顿巴斯的泥质岩等）的矿区中或矿区某些地段上的水流和水池；

产状与开采层一致并由隔水岩层同其隔开的含水岩层；

含砂、砂子或卵石、砾石的沉积层，其基底全为粘土的含水洼地；

老塘积水*。

第二类——在导水基底上的水体：

河床，有水漫滩和河谷含水砂砾石冲积层，在其下面全部或局部（按面积）没有粘土沉积（粘土和砂质粘土）或物理力学性能与其相类似的岩层；

基岩表面的水流和水池；

产状与所采煤层不一致的含水岩层和裂隙带（例如含水风化带，洼地及其它）。

一、二类水体下的采煤条件有着本质上的差别。在一类水体下开采时，在导水裂缝带不会发展到水体底部边界的安

* 老塘积水拟定为一类水体，因为在层理法线方向上煤系地层渗透性微乎其微。

全深度中，不仅能防止矿井溃水和淹没，且能防止涌水量的增加。

二类水体下开采时，在同样的深度，虽然能够防止矿井突然溃水和淹没，但水体下含水岩层具有渗透性，在露头处接受补给，所以还不能排除涌水量增加的可能性。在某些情况下，随着采掘工作的发展，涌水量可能增加到相当大的数值。因此，应采用不同的方法来确定这两种类型水体下的安全开采条件。

当水体下煤层的埋藏深度小于安全深度和预计的涌水量将超过允许值时，则在上述水体下必须留设防水煤柱。在大多数现行规程中，水体下的防水煤柱是按移动角，即按建筑物和构筑物用类比方法留设的，没有考虑到在这种条件下所出现的特殊情况，其结果是防水煤柱尺寸过大。在确定能够防止井下涌水量超限的煤柱最小尺寸时，应当像安全深度一样，以水体不会处于导水裂缝带为原则。在这种情况下，为了满足这一要求，除了导水裂缝带高度外，应当弄清与走向正交和走向剖面上的导水裂缝带边界位置。

所列举的这些观点有助于说明为确定水体下安全开采深度和防水煤柱尺寸而应当解决的下面几个主要问题：

- 1) 采空区上方导水裂缝带尺寸的测定；
- 2) 导水裂缝带范围内采动覆岩渗透性的测定。

到目前为止，取得导水裂缝带高度资料的基本方法是总结地表水流和水池以及老塘积水下的开采经验。导水裂缝带高度与煤层开采厚度关系的经验关系式是由不同的研究人员提出的。这种关系通常是一种线性方程式，它在曲线图上将所研究的采动情况分为两个部分，其中一部分包括井下涌水量增加的所有实例，而另一部分则包括了涌水量没有变化的