

煤和瓦斯突出的防治

中国矿业学院瓦斯组编

煤炭工业出版社

U181.28
Z467

煤和瓦斯突出的防治

中国矿业学院瓦斯组编

煤炭工业出版社

365295

内 容 提 要

本书比较系统地介绍与分析了煤和瓦斯突出的基础理论与自然因素，发生和发展的一般规律，预测预报方法等；全面概括地总结了防治煤和瓦斯突出的各种技术措施及新技术新工艺；书末的附录还具体地介绍了矿井瓦斯、岩体应力与变形等主要参数的测定和计算方法。它可供煤矿现场的工人和技术人员以及院校师生参考。

煤和瓦斯突出的防治

中国矿业学院瓦斯组编

*

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 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 15 $^{1/2}$ 插页 1

字数 368 千字 印数1-11,160

1979年3月第1版 1979年3月第1次印刷

书号15035·2187 定价1.65元

前 言

煤和瓦斯突出是严重威胁煤矿安全生产的自然灾害之一。我国煤炭工业战线上的广大工人、干部和科技人员，在各级党委领导下，在三大革命运动中，经过长期同煤和瓦斯突出作斗争，积累了比较丰富的经验，初步掌握了这一灾害的规律和一系列行之有效的防治措施，大大减少了事故的发生，保证了安全生产。但是，现有的防治措施，由于受到条件的限制，有的还不够完善，有的理论和技术问题还没有得到很好解决。随着煤炭工业的迅速发展，生产矿井的增多，开采深度的加大，煤和瓦斯突出的危险性必将日益增加。为此，进一步研究与掌握防治煤和瓦斯突出的理论与技术，对于贯彻党的安全生产方针、高速地发展煤炭生产，具有十分重要的意义。

多年来，我们与南桐、天府、阳泉、六枝、焦作等煤矿的同志们一起，对防治煤和瓦斯突出问题进行了调查研究；同辽宁和重庆煤炭研究所协作，对一些防治技术措施进行了考察；对瓦斯流动等问题进行了实验与理论研究。在此基础上，我们又学习了北票、中梁山、红卫、鸡西等煤矿防治煤和瓦斯突出的经验，查阅了国内外有关报告和资料，于1975年写成了《煤和瓦斯突出的防治》初稿。以后，通过举办训练班的教学实践，对初稿又做了修改。

本书共有十六章。前六章对煤和瓦斯突出的基础理论和自然因素作了扼要的介绍与分析，阐述了煤和瓦斯突出的一般规律。后十章概括地总结了各种防治煤和瓦斯突出的措施。书末有七个附录，着重介绍了矿井瓦斯和岩体应力与应变的主要参数的测定与计算方法。

参加本书编写的有中国矿业学院采矿系汪葵葵、俞启香、周世宁和华安增四位同志。由于我们水平不高，书中难免有缺点和错误，恳切希望读者提出宝贵意见。

1975/3

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 煤和瓦斯突出概述	1
第二节 国内外防治煤和瓦斯突出的概况	2
第二章 煤的结构和特性	4
第一节 煤层的形成和结构特征	4
第二节 煤的结构	6
第三节 煤的吸附性	10
第四节 煤的渗透性	12
第五节 煤的力学性质	13
第三章 煤层瓦斯的赋存和流动	16
第一节 瓦斯的成因和性质	16
第二节 煤层的瓦斯含量	18
第三节 影响煤层瓦斯含量的因素	20
第四节 瓦斯在煤层和围岩中的流动	21
第五节 煤层瓦斯流动的基本参数	24
第六节 煤层瓦斯流动的状态	27
第四章 岩体应力与移动	30
第一节 原岩应力	30
第二节 采动岩体应力	36
第三节 应力叠加	41
第四节 应力异常	46
第五节 采动岩体的移动	48
第五章 煤和瓦斯突出的分类、特征和原因分析	50
第一节 煤和瓦斯突出的分类和特征	50
第二节 煤和瓦斯突出的原因	52
第三节 各类巷道突出的特点及分析	64
第四节 突出的一般规律	74
第六章 突出的预测和预报	76
第一节 突出预测	76
第二节 突出预报	81
第三节 突出警报	88
第七章 震动放炮和松动爆破	90
第一节 震动放炮概况	90
第二节 震动放炮的爆破效应	91
第三节 石门揭穿煤层的震动放炮	92
第四节 震动放炮应注意的问题	96
第五节 过煤门和过门坎	97

第六节	煤层掘进的震动放炮	98
第七节	煤层的松动爆破	99
第八章	专门支架	101
第一节	增加煤体稳定性的支架方法	101
第二节	抑制突出强度的专门支架	106
第九章	超前钻孔	108
第一节	超前钻孔的作用	108
第二节	钻孔有效半径的测定	110
第三节	钻孔的布置	112
第四节	超前钻孔措施的存在问题和解决途径	113
第十章	水力冲孔	115
第一节	水力冲孔的基本原理和预防突出的作用	115
第二节	南桐矿务局应用水力冲孔的情况	117
第三节	水力冲孔的适用条件	123
第十一章	开采解放层	125
第一节	解放作用	125
第二节	解放范围	127
第三节	开采解放层措施的应用	132
第十二章	解放层开采时钻孔抽放瓦斯	136
第一节	抽放瓦斯的重要性	136
第二节	抽放层的分类与选择	136
第三节	抽放卸压煤层瓦斯的概念	139
第四节	抽放钻孔的布置	142
第五节	钻孔参数的确定	146
第六节	抽放设施	150
第七节	抽放瓦斯效果	158
第十三章	预排煤层瓦斯	160
第一节	钻孔抽放煤层瓦斯	160
第二节	影响钻孔瓦斯流量的因素	163
第三节	水力割缝抽放瓦斯法	165
第四节	水力压裂煤层抽放瓦斯法	167
第五节	酸化处理煤层法	170
第十四章	煤层注水	172
第一节	水力破裂——煤层工作面的水力挤出	172
第二节	高压注水	173
第三节	中压长时注水	183
第十五章	预防措施的选择	191
第一节	各种预防措施的适用条件	191
第二节	选择合理措施预防突出的应用实例	192
第十六章	煤和瓦斯突出矿井的技术管理工作和科学实验	198
第一节	总述	198
第二节	几个技术管理问题	198

第三节 开展群众性科学实验活动	206
附录	207
一、煤层瓦斯压力的测定	207
二、瓦斯流量的测量和计算	209
三、煤层瓦斯含量系数的测定和计算	217
四、煤层透气系数的测定和计算	222
五、岩体变形测量	232
六、岩体应力测量	235
七、煤的坚固系数和瓦斯放散指数的测定	240

第一章 概 述

第一节 煤和瓦斯突出概述

煤和瓦斯突出是煤矿井下采煤过程中发生的一种煤和瓦斯的突然运动。这是一种极其复杂的动力现象，它是在很短的时间（几秒钟到几分钟）内，使采掘工作面的煤壁遭到破坏，并从煤层内部以极快的速度向巷道或采掘空间喷出大量的煤和瓦斯（沼气或二氧化碳或二者混合物），充塞巷道，在煤体中形成某种特殊形状的孔洞，喷出煤和瓦斯时伴随着强大的冲击力，能摧毁巷道设施，破坏通风系统，甚至使风流逆转，并可能造成瓦斯窒息、爆炸和煤流埋人等事故。因此，它对井下安全生产造成严重的威胁，是发展煤炭生产的重大障碍。

解放后，随着我国煤炭工业的迅速发展，开采矿井增多，采掘水平延深，有些矿井先后发生了煤和瓦斯突出现象。有文字记载的，我国第一次煤和瓦斯突出是1951年4月在辽宁省北票煤矿台吉一井发生的，同年12月22日四川省重庆天府煤矿也发生了突出。四川省南桐煤矿东林井和中梁山煤矿从1955年起，相继发生突出，随后在吉林、黑龙江、河南、湖南、贵州、江西等省的一些煤矿也都有突出发生。

在国外，有名的煤和瓦斯突出地区是法国的塞外纳、苏联的顿涅茨、波兰的下西利西亚、比利时的莫塞、匈牙利的列克司、日本的歌志内、英国的西威尔士等煤田。从现有文献看到，1834年法国鲁阿雷煤田伊萨克矿井发生的突出是世界上第一次煤和瓦斯突出。目前这种煤和瓦斯突出的现象，世界上几个主要产煤国家几乎都有，总突出次数估计有两万次，其中突出较多的是法国六千多次，苏联四千多次。突出强度超过一千万吨煤炭的已经有八个国家。国外主要产煤国家煤和瓦斯突出的情况见表1-1。

表 1-1 国外主要产煤国家煤和瓦斯突出情况

国 别	有记录的突出次数		最大强度 (吨)	瓦 斯 种 类	附 注
	起止年份	次数			
法 国	1834~1966	6278	5600	CO ₂ , CH ₄ 混合气体	突出次数系在塞外纳煤田发生的
苏 联	1906~1969	4109	14000	CH ₄	
波 兰	~1962	1096	5000	CO ₂	
日 本	1925~1964	1000	1000	CH ₄	
匈 牙 利	1894~1963	500	1400	CH ₄	突出次数系在西威尔士煤田发生的
比 利 时	1892~1963	257	1600	CH ₄	
英 国	1912~1962	200	1000	CH ₄	
保加利亚	~1964	93	320	CH ₄	
捷 克	~1964	77	110	混合气体	

随着开采深度的增加，矿井突出危险性日趋严重。至今世界上最大的一次突出发生在苏联顿巴斯的加加林矿，该矿在1969年7月13日当石门揭开1.03米厚的煤层时，突出煤14000吨，喷出瓦斯25万立方米以上。

煤和瓦斯突出大部分发生在煤层掘进工作面,例如:南桐矿务局约有74%、红卫煤矿约有88%、北票煤矿约有97%、天府煤矿与六枝矿务局的几乎全部,以及日本约有89.8%的突出都是这样。我国阳泉煤矿以及其它国家采煤工作面的突出也有严重的。

我国和大多数国家突出的瓦斯主要是沼气,而法国和波兰的某些煤田就突出二氧化碳,也有同时突出沼气和二氧化碳的。

突出的固体物主要是煤炭,有时伴有岩石。二十世纪五十年代以来,不少矿井开采深度达到700米以上,岩石突出也开始发生。我国吉林省营城煤矿五井,距地表垂深只有439米的地方,在1975年6月13日曾发生一次岩石突出,突出岩石1005吨,涌出二氧化碳11000立方米。其他如苏、美、日、波等国岩石突出都很频繁,苏联仅顿巴斯矿区(1955~1970年)岩石突出就达2554次,最大一次突出岩石2372吨,其中主要为砂岩。

第二节 国内外防治煤和瓦斯突出的概况

目前世界各地煤和瓦斯突出的现象还没有得到完全的控制,特别是煤炭生产规模日益扩大,矿井开采水平不断延深,煤和瓦斯突出的次数和强度都在增加,这是由于人们对突出的原因和机理的概念,还不十分明确,预防措施不够完善。我国防治煤和瓦斯突出的工作,自解放以来,从无到有,发展很快,对煤和瓦斯突出的认识,逐步深入,已初步掌握了一些规律,采用与推广了开采解放层等一系列行之有效的技术措施,保证了安全生产。

我国在预防突出的措施方面,目前普遍采用的有开采解放层、超前钻孔、预排瓦斯和震动放炮。开采解放层是一种有效的区域性预防措施。其他国家如苏、法、波、比、捷、英、日、西德等国也在采用,由于各国的地质和开采条件不同,开采解放层的经验也不一样。随着开采深度加大,矿井通风复杂,解放层瓦斯大,甚至也有突出危险等原因,开采解放层这种办法需要进一步完善,但是在条件合适的地方都尽量采用;超前钻孔是一种较为有效的局部预防措施,各国普遍采用,但孔径不一,我国和苏联为250~300毫米,日本为100~340毫米,西欧国家为115~140毫米;预排瓦斯既是一种有效的区域性预防措施,也是一种局部预防措施,各国都在采用;震动放炮是一种诱导突出的办法,使用较早,特别在西欧,现在各国仍普遍采用。

上述各种措施由于使用条件的限制,或者不够完善,效果不稳定,还不能完全防止突出。近年来,我国在群众性的技术革新和技术革命运动推动下,正在研究试验新的预防措施,其中有水力冲孔、水力割缝、煤层注水和水力压裂,前两项已分别在南桐和鹤壁矿务局取得初步成效。其他国家也在进行类似的试验。看来用水处理煤层瓦斯已成为煤矿安全技术发展的一个重要方面。

在预测突出方面,我国加强了试验研究,其他国家也做了不少工作,一般包括区域预测、局部预测和突出警报等内容,除订出鉴别危险层和危险区的指标外,并相应创造一些测定工具和仪器,但实际效果还受到一定限制。突出警报尚处于摸索阶段,进展不大,应用不多。

关于突出机理问题,我国做了不少调查研究工作,通过现场观测、记录和搜集,积累了不少第一手材料,为进一步开展研究工作提供了科学依据。其他国家有的还进行了实验室模拟试验。这个问题目前还不能从各种因素的数量上得出发生突出的条件,还无法从突出理论上对防止突出措施参数进行工程计算。

为了更好地贯彻执行党的安全生产方针，我国煤矿的广大职工，认真总结经验，大搞群众性技术革新和技术革命，与煤和瓦斯突出展开了积极的斗争。同时，在抚顺、重庆等地先后设立了专门研究机构，有力地开展了煤和瓦斯突出的防治工作。

第二章 煤的结构和特性

第一节 煤层的形成和结构特征

煤是由植物遗体变成的。在地质历史上,植物遗体在沼泽中首先形成泥炭。由于地壳运动,泥炭生成后下沉,被泥沙等沉积物所覆盖,覆盖层逐渐加厚,泥炭逐渐被压紧,在以温度和压力为主的物理化学作用下,泥炭变成褐煤,褐煤又变成烟煤和无烟煤。于是泥炭层变成煤层。

泥炭层的堆积,主要取决于泥炭沼泽基底的下沉和植物遗体的供给,煤层的形成过程就是这对矛盾对立统一的发展过程。如果沼泽基底的下沉速度与植物遗体的堆积速度大体一致,最有利于泥炭层的堆积,相对均衡的时间长,便形成厚煤层。如果沼泽基底的下沉速度大于植物遗体堆积速度,水体加深,泥炭层被泥沙等沉积物所代替,形成煤层顶板或夹石层。或者相反,沼泽基底的下沉速度小于植物遗体堆积速度,泥炭沼泽状态结束,已形成的泥炭层也会遭到风化、剥蚀。如果上述情况交替出现,在含煤地层的形成过程中,就堆积了许多层煤。因此,一个煤田中煤层的厚度、层数都是由成煤时地壳运动及植物遗体堆积的状况所决定的。

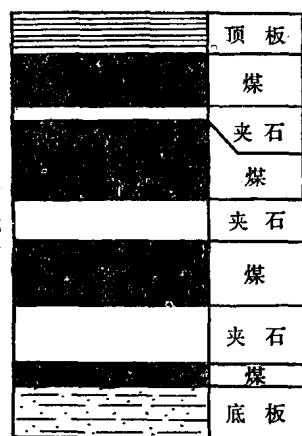


图 2-1 煤层结构示意图

煤层是含煤地层的主要组成部分,它是在顶底板岩层之间形成的有机生因和无机生因的沉积岩层,包括若干煤分层和夹石层。根据煤层中有无夹石层,可将煤层分为简单煤层和复杂煤层两种。简单煤层没有夹石层,一般多为薄煤层;复杂煤层一般会有一到数层夹石层,有的厚或特厚煤层中夹石层可达数层到数百层。如图2-1。

煤层的主要特征是煤层厚度,煤层厚度变化很大。归纳起来,可分为原生变化和后生变化两大类。原生变化是指泥炭层堆积过程中,在形成煤层顶板岩层的沉积物覆盖以前,由于各种地质作用的影响,引起煤层形态和厚度的变化。后生变化是指泥炭层被新的沉积物覆盖以后或含煤地层形成以后,由于地壳不断地运动,产生构造变动、岩浆侵入、河流剥蚀等地质作用,引起煤层形态和厚度的变化(表2-1)。其中构造变动引起的煤层变化对煤和瓦斯突出有重大影响。

地质构造变动,不仅改变了煤层的原始产状,而且引起了煤层厚度的变化。由于煤层本身比较松软,在构造应力的影响下,容易发生塑性流动,产生煤层的局部加厚、变薄、尖灭等现象。

褶曲作用引起的煤层变化,一般在褶曲的轴部增厚,褶曲的翼部变薄、乃至尖灭。煤层由于褶曲而发生流动,破坏了煤层的原生结构,常呈鳞片状、粉末状,并出现滑面和擦痕。较大规模的褶曲引起的煤层加厚和变薄,具有一定的方向性:垂直压应力方向,沿褶

表 2-1 煤层形态和厚度变化

类别	煤层变化原因		主要特征
原生变化	地壳不均衡下降		煤层分岔、变薄、尖灭等
	沉积环境和古地形		煤层变薄、尖灭和煤层不规则变化
	同生冲蚀		冲蚀的沉积物与煤层有共同顶板
后生变化	后生剥蚀	建造内剥蚀	煤层与顶板都受到流水剥蚀, 煤厚变薄与缺失
		建造外剥蚀	煤层与含煤地层遭受河流冰川等剥蚀, 与上覆岩系呈假整合或不整合
	构造变动		褶曲和断裂作用引起煤层加厚或变薄、尖灭
	岩浆侵入		吞食煤层或引起煤层不规则变化
	岩溶作用		煤层中出现无煤

曲走向呈带状延伸, 煤层加厚带与变薄带相伴出现。

有些煤田, 伴随褶曲构造变动, 小型波状褶曲十分发育。煤层顶底板起伏不平, 使煤层局部压薄或增厚。波状褶曲发育的地区, 由于层间滑动的扭力作用, 使煤层呈现串珠状或断续透镜体。

断裂构造对煤层的厚度, 一般说影响不大。但在断层面附近, 由于牵引作用, 使煤层局部增厚或变薄。一般压性断层, 常与强烈褶曲变形共生, 使煤层局部加厚, 影响范围较大; 张性断层, 常使煤层拉长变薄, 一般影响范围较小。断层牵引作用造成的煤层局部变化, 沿断层走向呈窄条带延伸。

含煤地层在经受构造变动时, 由于煤、岩层岩石力学性质的不同, 在同一应力场中, 往往出现不同的变形: 煤层顶底板产生脆性断裂, 而煤层则发生柔性流动。常常见到一系列小断层延伸到煤层中, 渐行消失, 而以小褶曲代替, 造成煤层局部压薄,

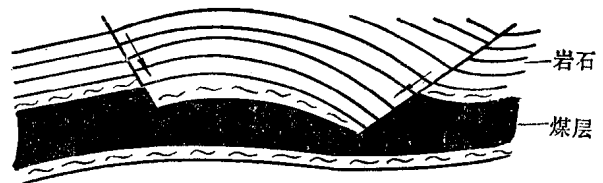


图 2-2 “顶压”示意图

这种现象发生在煤层顶板者俗称“顶压”（图2-2）。有时煤层受到强烈挤压, 沿裂隙贯入顶底板岩层中, 煤层呈现极不规则的形态。

构造变动引起的煤层变化, 具有下列特点: 煤层原始结构破坏, 煤层增厚带和变薄带互相伴生, 并呈狭条带沿构造线方向伸展; 煤、岩层常发生不协调变形, 出现煤层局部不规则变化。

煤层原始结构的破坏, 随着地质变动的程度而变化。煤层结构的变化往往是突出危险煤层的突出预兆。

在地质构造力的作用下, 煤层受到挤压和搓揉, 煤层层面发生错动, 煤层结构发生变化。组成煤层的煤分层和夹石层经搓揉而破碎, 出现不同程度的煤结构的破坏。这种破坏的煤结构往往与煤和瓦斯突出的发生有密切关系。

国内外有不少人用煤结构的破坏程度预报煤和瓦斯突出的危险性, 苏联有人把煤结构的破坏程度分为五类, 即 I、II、III、IV、V 类。我们为了简单明了, 便于掌握, 从突出的难

易,把煤结构的破坏程度分为甲、乙、丙三类。与旧分类相比,甲类相当于Ⅰ、Ⅱ类,是难突出煤;乙类相当于Ⅲ类,是可能突出煤;丙类相当于Ⅳ、Ⅴ类,是易突出煤。在目前矿井开采深度(700米以内)的情况下,煤和瓦斯突出的统计表明:甲类难突出煤属无突出危险煤,乙类可能突出煤属突出危险煤,丙类易突出煤属严重突出危险煤。各类煤的特征和鉴定指标见表2-2。

表 2-2 煤结构破坏的分类和特征

破坏类型	甲 (难突出煤)	乙 (可能突出煤)	丙 (易突出煤)
层理	层理清楚,可看到条带	层理不够清楚,时断时续	看不到层理
节理	板状、柱状,间有菱形和锥形	细梳状、菱形或透镜状	无法看清
节理面	平整	有擦痕	失去节理面
断口	参差状、贝状	参差状、粒状	粉粒状
光泽	亮与半亮	半亮与半暗	暗淡
小分层结构	层状、块状条带明显	透镜状、鳞片状、条带较乱	粒状、土状失去条带
手试强度	捏不动或成厘米级碎块	捻成毫米级粉末	易捻成粉尘
坚固系数(f)	>0.8	$0.8\sim0.3$	<0.3
瓦斯放散速度(ΔP)	<10	$15\sim20$	>25
裂隙平均间距(毫米)	>0.5	$0.15\pm$	<0.1

我们认为,煤层形成初期的积聚瓦斯的条件,以及后期的构造运动,特别是严重破坏煤分层或煤层结构的地质构造过程,对煤和瓦斯突出有重大影响。在这些破坏了煤分层或煤层中产生了孔隙和裂隙,坚固性降低,当外界瓦斯压力降低时,煤体内部的高压瓦斯迅速扩张放散。这是发生煤和瓦斯突出的主要因素之一。

第二节 煤 的 结 构

一、煤的岩石组成

从岩石学观点来说,煤是一种可燃有机岩,其组成比较复杂。肉眼观察时,可以分出不同的宏观煤岩成分和宏观煤岩类型。不同的煤层由于聚积条件不同,组成煤层的煤岩成分和煤岩类型也不一样。在变质过程中,各种煤岩成分又进一步发生了深刻的变化。

煤一般都不是均质的,是由各种煤岩成分交替而成的带状结构。这些煤岩成分可用肉眼区分为:镜煤、亮煤、暗煤和丝炭。其中镜煤和丝炭是简单的煤岩成分,亮煤和暗煤是复杂的煤岩成分。

1) 镜煤 煤中光泽最强的成分,均一如玻璃,常呈条带状或透镜状分布,内生裂隙较多,易破碎成细小立方体,具有贝壳状或眼球状断口。

2) 亮煤 煤中次亮的成分,光泽仅次于镜煤,均一程度较镜煤差,内部隐约可见微细层理,有时可见少量细碎的丝炭或矿物包体等,常呈条带状分布,较脆,易碎,内生裂隙较发育。是最常见的煤岩成分。

3) 暗煤 煤中暗淡的条带,有时具油脂光泽,硬度大,脆度小,不易碎。为均匀状或粒状结构,裂隙不发育。煤层中暗煤较普遍,有时易与炭质页岩相混。

4) 丝炭 未矿化的丝炭,与木炭很相似,常呈透镜状分布。具丝绸光泽,纤维状结构。极易碎,易污手。被黄铁矿矿化的丝炭较坚硬,不易碎。

不同煤岩成分的组合,形成不同类型的煤。煤岩类型相当多,最基本的是光亮型、半亮型、半暗型和暗淡型。

1) 光亮型煤 主要由镜煤和亮煤组成,光泽强,条带不清楚,内生裂隙发育,较脆,易碎。

2) 半亮型煤 常以亮煤为主,有时由镜煤、亮煤和暗煤组成,光泽较光亮型煤稍弱,条带结构明显。

3) 半暗型煤 由暗煤和亮煤组成,常以暗煤为主,光泽较暗淡,有粒状结构。

4) 暗淡型煤 主要由暗煤组成,光泽暗淡,常呈块状构造,层理不显,煤质坚硬,内生裂隙不发育。

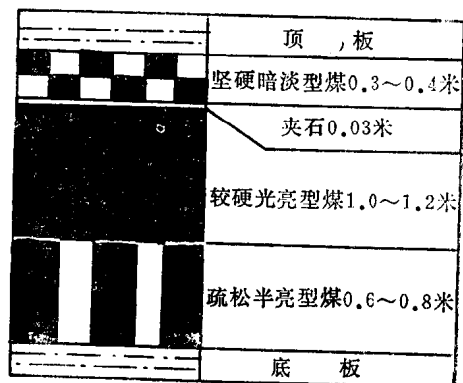


图 2-3 阳泉 3 号煤层结构

图 2-3 为阳泉 3 号煤层结构。

煤的结构是指煤岩成分的形态、大小所表现的特征,最常见的煤的宏观结构有以下几种:

1) 条带状结构 细条带状(宽1~3毫米);中条带状(宽3~5毫米);宽条带状(大于5毫米)。条带状结构在烟煤中明显,无烟煤中不明显。

2) 线理状结构 镜煤、丝炭等常以厚度小于1毫米的线理断续分布在煤层各部分,呈现线理状结构。

3) 透镜状结构 镜煤、丝炭等常现透镜状结构。

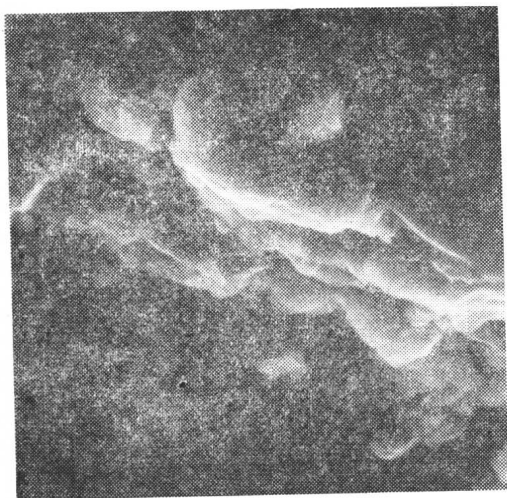
4) 均一状结构 组成较单纯、均匀。镜煤的均一状结构较典型。

二、煤的孔隙结构

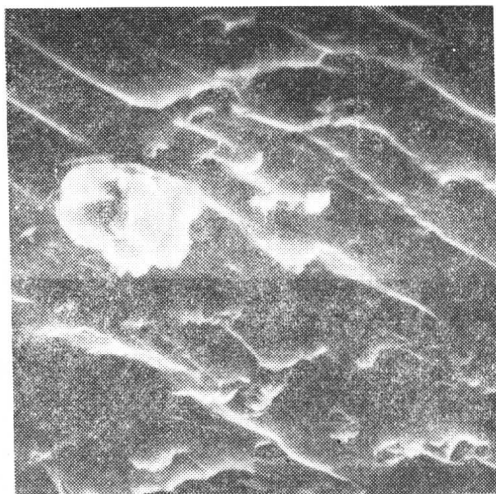
从化学观点来说,煤是复杂的各种高分子物质的混合物,这些高分子物质中,只有镜煤具有对液体有亲和力的胶体性质,泥炭阶段的镜煤是植物各化学组分的初级转化物,经聚合、缩合后,形成水溶胶。在溶胶中,胶粒结合得比较疏松,后来在压力和温度的影响下,溶胶老化脱水,变成凝胶。在凝胶中,胶粒呈细小网状结合在一起,胶粒之间的结合变得很紧密,凝胶的体积缩小,网的细孔收缩,并且把水从中挤出,发生与结晶相似的固化过程。在凝胶发展的每个不同阶段,水的失去,使在胶粒之间形成无数微小空洞,一般称为孔隙,形成孔隙结构。由于胶粒之间压紧的程度不同,产生的孔隙大小也不同,特别小的称微孔。煤由于这种多孔性胶体结构,因而具有高度的内部表面积,是进行吸附过程的区域。对沼气和二氧化碳的吸附能力很高。并且由于多孔,提供了贮藏游离瓦斯的场所,所以煤的多孔性是决定煤的瓦斯含量的主要因素之一。

图 2-4 是天府、焦作、红卫等煤矿突出煤和非突出煤的电子显微镜照片,从中可以看到煤是多孔物质,煤面上呈现多个气泡,非突出煤结构致密,而突出煤则结构疏松,呈土状结构。

为了衡量煤的多孔程度,一般采用孔隙率 k 来表示。煤的孔隙率就是孔隙的总体积与煤的总体积的比。其计算公式为:



焦作演马庄矿大煤突出煤粉的颗粒，
呈鳞片状结构， $\times 1600$



焦作演马庄矿大煤非突出煤分层结构致密，
 $\times 1600$



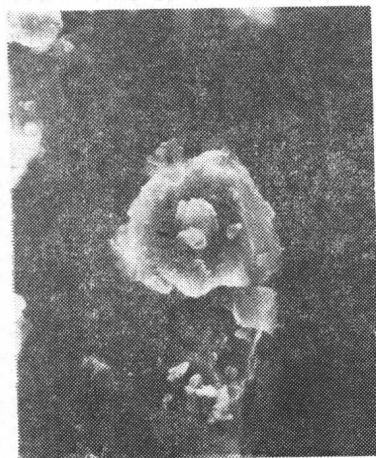
天府矿南井7号层非突出煤节
理清晰， $\times 2000$



天府矿南井9号层槽口炭土状
结构， $\times 2000$



红卫矿坦家冲井突出煤，
 $\times 2000$



华蓥山三汇一井大突出的粉煤细粒
 $\times 2000$



华蓥山三汇一井大突出的粉煤细
粒， $\times 10000$

图 2-4 煤样的电子显微镜照片

$$k(\%) = \frac{V_s - V_d}{V_s} \times 100 = \left(1 - \frac{V_d}{V_s}\right) \times 100 \quad (2-1)$$

式中 V_s ——煤的总体积，包括其中孔隙体积，毫升；
 V_d ——煤的实在体积，不包括其中孔隙体积，毫升；
 $V_s - V_d$ ——煤中孔隙的总体积，毫升。

$$V_d = \frac{M}{d} \quad (2-2)$$

$$V_s = \frac{M}{\gamma} \quad (2-3)$$

式中 M ——煤的重量，克；
 d ——煤的真比重，克/毫升；
 γ ——煤的容重，克/毫升。

以 (2-2)、(2-3) 代入 (2-1)

$$k(\%) = \left(1 - \frac{M}{d} \cdot \frac{\gamma}{M}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{\gamma}{d}\right) \times 100 \quad (2-4)$$

煤的真比重和容重可在实验室内测得，然后代入 (2-4) 式，煤的孔隙率就可算出。可以看出，真比重与容重的差越大，煤的孔隙率也越大。

孔隙率是决定煤的吸附、渗透和强度性能的重要因素。通过孔隙率和瓦斯压力的测定，可以计算煤层中游离瓦斯量。孔隙率的大小与煤中瓦斯流动情况也有密切关系。当研究煤的吸附、渗透和强度性能时，首先要研究煤在各种孔隙大小范围内的孔隙率。

大小可与气体分子相比的最小孔隙，直径小于 100 埃^① 的微孔，形成煤的主要吸附面积，因此，它们主要是标志孔隙体的吸附性质。

大小为 10^{-6} 到 10^{-1} 厘米的孔隙，构成了煤的复杂的渗透容积系统，吸附过程在这里不起重要作用。裂缝状孔隙（即裂隙）是有着 10^{-3} 厘米或更宽的裂距，在这一区域，层流渗透过渡为紊流渗透。

煤的孔隙的结构和大小，以及孔隙按大小的分布，关系到煤的吸附性和渗透性。煤的超细结构单元形成的孔隙结构，对于煤吸附瓦斯这个特性，起着重要作用。

根据辽宁煤炭研究所对抚顺煤田煤的孔隙率的研究，中等炭化程度的煤的孔隙率较小，炭化程度较高和较低的煤，孔隙率都较大。当煤的挥发分大于 32% 时，孔隙率随挥发分增加而增加，小于 32% 时，孔隙率随挥发分减少而增加。

辽宁煤炭研究所用压汞法对我国某些突出危险煤层的孔隙分布进行了测定，如图 2-5。

压汞法的基本原理是利用不同孔径的孔隙对压入汞的阻力不同，因而可以根据压入汞的重量和压力，计算出煤中孔隙体积和孔隙半径。

$$r = \frac{2\sigma \cos \theta}{p} \quad (2-5)$$

式中 r ——微孔的有效半径，埃；
 p ——压汞所加的压力，大气压；
 σ ——汞的表面张力，480 达因；

● 1 埃 = 10^{-8} 厘米，记作 Å。

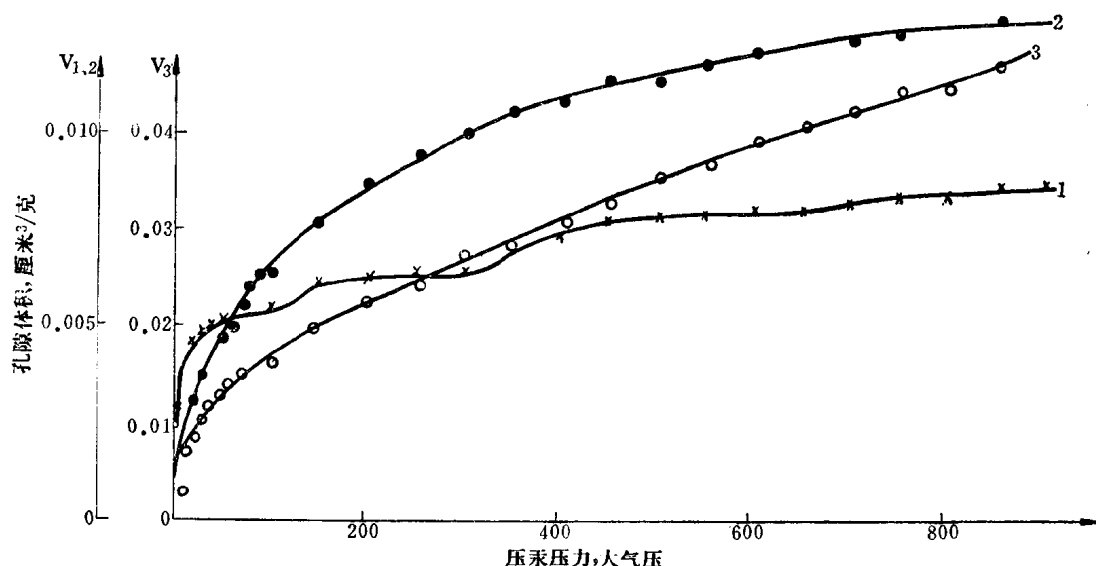


图 2-5 突出危险煤层的孔隙分布曲线

1—阳泉—矿北头嘴井 3 号煤层；2—北票三宝一井 10 号煤层；3—里王庙井 4 号煤层 5 分层
 注：图中 $V_{1,2}$ 代表 1、2 曲线孔隙体积， V_3 代表 3 曲线孔隙体积。

θ ——汞对煤的湿润边角， 140° 。

则

$$r = \frac{75000}{p} \quad (2-6)$$

根据公式 (2-6) 和图 (2-5) 可算出各种孔隙半径在煤体孔隙中所占的比例。见表 2-3。

表 2-3 不同孔隙半径在总孔隙体积中所占的比例

孔 隙 半 径 (埃)	里王庙 4 号煤层 5 分层	里王庙 4 号煤层
75000~3750	2.39%	12.78%
3750~1500	38.88%	12.10%
1500~300	37.24%	28.85%
300~150	10.16%	23.51%
150~94	11.33%	22.76%

从表中可以看出，孔隙半径在 4000 埃以下的微孔占总孔隙体积的 90% 左右，所以煤体的内部表面积是相当大的。

原地下岩石或煤受地压作用而被压缩，孔隙减小，因而地面测得试样孔隙率偏大。有人做过试验，中等炭化程度的煤受静压 400 公斤/厘米² 的作用后，煤的体积减少 2%，这可能是煤内部孔隙受到压缩的缘故。

第三节 煤 的 吸 附 性

不少人研究指出，煤对瓦斯的吸附能力很大。这种吸附过程，一般分为表面的吸附和体积的吸附两种。表面吸附是指瓦斯的吸着过程，体积吸附是指瓦斯的吸收过程。煤吸附瓦斯是在一定的瓦斯压力下进行的。随着煤变质程度的增高，吸收过程在瓦斯吸附中的作