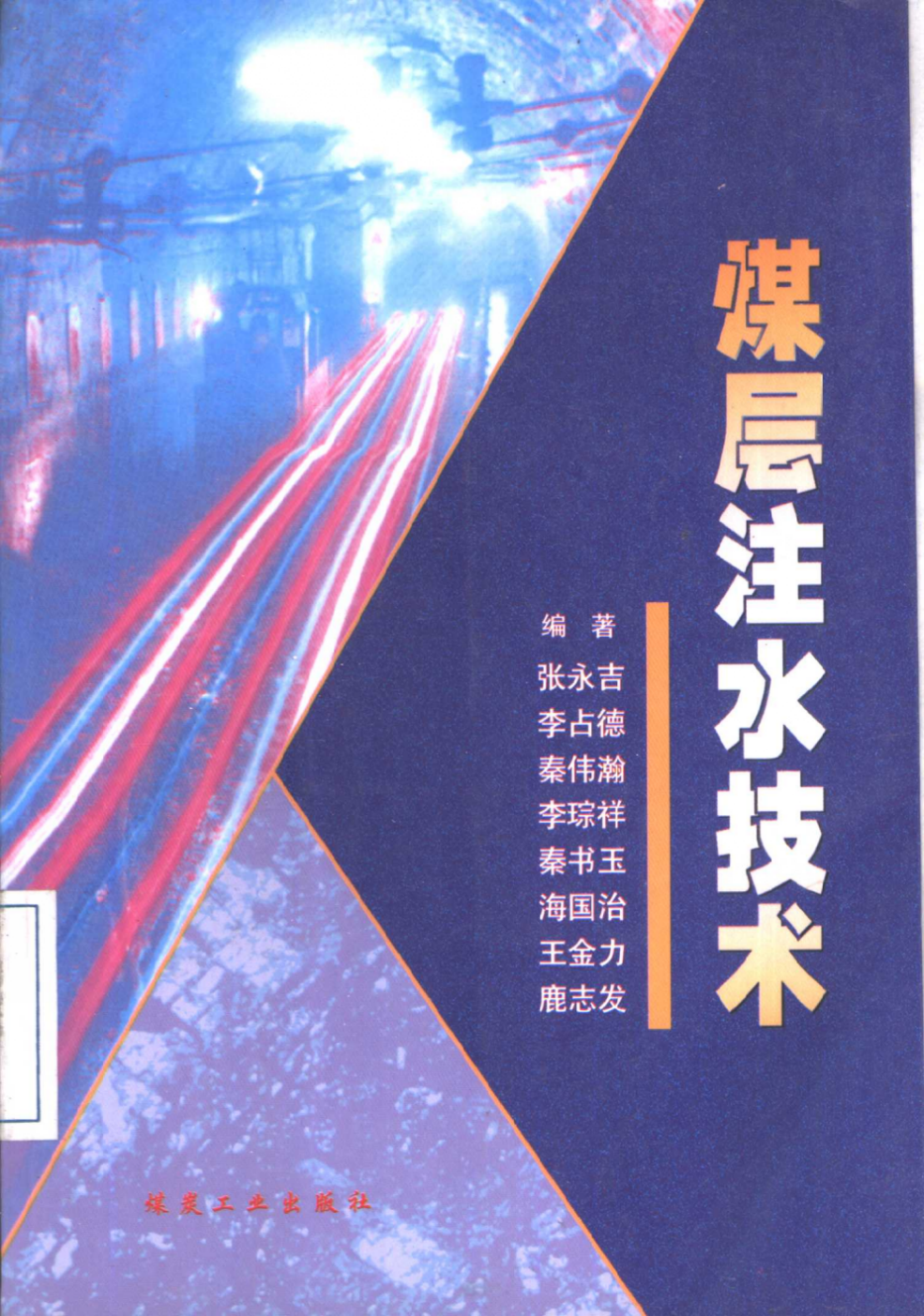




煤层注水技术

编 著
张永吉
李占德
秦伟瀚
李琮祥
秦书玉
海国治
王金力
鹿志发

煤炭工业出版社



数据加载失败，请稍后重试！

煤层注水技术

编著 张永吉 李占德 秦伟瀚 李琮祥
秦书玉 海国治 王金力 鹿志发

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

煤层注水技术/张永吉等编著. —北京:煤炭工业出版社,
2000

ISBN 7-5020-1953-7

I. 煤… II. 张… III. 煤层注水 IV. TD713.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 57107 号

煤 层 注 水 技 术

编著 张永吉 李占德 秦伟瀚 李琮祥
秦书玉 海国治 王金力 鹿志发
责任编辑:黄朝阳 顾建中

*

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

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 $787 \times 1092 \text{mm}^{1/32}$ 印张 5 $\frac{5}{8}$

字数 114 千字 印数 1—400

2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月第 1 次印刷

社内编号 4724 定价 10.80 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

内 容 提 要

本书系统地介绍了我国煤矿井下煤层注水基本理论及其技术，重点阐述了煤层注水参数的优化、煤层注水效果分析及煤层注水工艺方法，为促进学术研究，同时介绍了有关有争议和应进一步探讨的问题。

本书可供煤矿工程技术人员和管理人员使用，也可供煤矿科研单位和设计部门的工程技术人员参考及作为煤炭系统大中专院校师生的教学参考书。

前 言

煤层注水是煤矿防治煤尘、煤与瓦斯突出及冲击地压等灾害的一项积极措施，在这方面我国广大工程技术人员及科研工作者在实践及理论方面做了大量工作，本书根据我国煤炭工业近30年来取得的科研成果和生产实践经验，系统地从理论和工艺两个方面论述了煤层注水参数的优化，煤层注水效果分析和注水工艺方法；以及我国近10余年来在理论研究方面取得的新成果，工程技术方面取得的新技术，生产实践中获得的新经验。为了展开学术讨论，本书作者将多年科研中遇到的问题及其他科研工作者遇到的有关理论与工艺难点进行了介绍，以便促进该领域研究探讨。

本书在撰写过程中，得到了双鸭山矿务局副局长赵书田、吉林煤炭工业局副局长王国军、辽宁工程技术大学孙宝铮教授的关怀和支持，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，我们殷切希望读者不吝赐教，批评指正。

作 者

2000年5月25日

目 录

第一章 煤层地质结构及其物理力学性质	1
第一节 煤层地质结构	1
第二节 煤层赋存状态	4
第三节 煤层的物理力学性质	5
第二章 煤层注水难易程度的分类	14
第一节 煤层注水难易程度的指标	14
第二节 影响煤层注水难易程度的因素	17
第三节 煤层注水难易程度的分类及其方法	29
第三章 煤层注水参数的优化	38
第一节 煤层注水参数及技术要求	38
第二节 煤层注水参数的正交试验优化方法	56
第三节 煤层注水参数的数量化理论正交设计 优化方法	62
第四节 煤层注水效果模糊控制方法	72
第四章 煤层注水方法与注水工艺	79
第一节 煤层注水方法及其特点	79
第二节 短孔煤层注水	83
第三节 长孔煤层注水	87

第四节 煤层注水设备	109
第五节 煤层注水施工管理	116
第五章 煤层注水效果分析	120
第一节 水在煤层中的运动规律	120
第二节 煤层注水湿润状态的数值模拟分析	124
第三节 多元回归分析方法	137
第四节 数量化理论分析方法	141
第六章 煤层注水“三防”原理及其效果	149
第一节 煤层注水防尘原理与效果	149
第二节 煤层注水防治煤与瓦斯突出的原理与效果	152
第三节 煤层注水防治冲击地压的原理与效果	156
第四节 提高煤层注水效果的措施	158
参考文献	162

第一章 煤层地质结构及其物理力学性质

第一节 煤层地质结构

煤体生成以后，在以百万年计的地质年代里，由于各种地质构造的发生，使煤体发生变形和破坏。因此，煤体在形成和地质构造发生和发展的过程中，煤体内形成无数的裂隙、孔隙。按其成因、存在状态和分布情况划分有以下几种：

一、层理

煤层的层理面是在成煤过程中形成的各种煤岩成分的分界面。层理虽然没有直接使煤体（或使煤体和围岩间）断裂开来，但使煤体沿层理方向产生一个弱面，注水后，水容易从其压入通过。所以，在研究煤层注水时，将层理纳入裂隙讨论。

层理由于形成环境不同，其形态各异，大致分成三类，即水平层理、波状层理和斜层理。水平层理层的形状为直线状，互相平行，并且平行层面；波状层理层面成对称或不对称，规则或不规则的波状曲状曲线，其总的方向平行于层面；斜层理是由一个或一个以上的斜层系所组成，其特征是层系中的细层均以一定的角度与层系界面相交。层理有连续性与非连续性之分。当煤层属均匀一致密的块状构造时（如某些暗淡

型煤或腐泥煤)，层理则不明显。当煤层注水时，层理面常可成为一个连续通道，使水到达整个煤层的待湿润范围。

二、内生裂隙

煤体的内生裂隙是煤层在成煤和变质过程中，受上覆岩层压力和湿度作用，使煤炭中凝胶化物质的分子结构压紧并重新排列，体积收缩产生内张力，而形成的裂隙。它的形成与地质构造运动和采动影响等外界动力无关，因此称为内生裂隙。在各种煤岩成分中，以镜煤和亮煤中的内生裂隙最为发育。它通常垂直于层理面，裂隙面平坦而光滑，往往呈两组互相垂直的裂隙组，其中裂隙密度较大的一组称为主裂隙组，另一组称为次裂隙组（图 1—1）。内生裂隙的发育程度，是用煤体某一断面上沿层理方向每5cm长度内肉眼观察的

裂隙数目来表示的。它和煤的变质程度紧密相关（详见第二章第二节），常常用以判别煤的变质程度，同时也是影响煤层注水难易的一个因素。

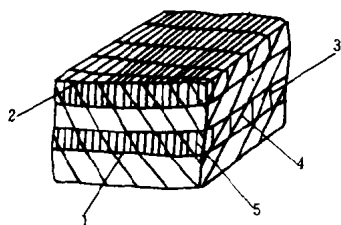


图 1—1 内生与外生裂隙

- 1—层理面；2—主内生裂隙组；
3—次内生裂隙组；4—外生裂隙；
5—镜煤或亮煤

三、外生裂隙

煤层形成后，受地质构造运动的剪切作用，按受力方向和强烈程度不同，产生了与层理面斜交的外生裂隙。它能产生于各种煤岩成分或各种煤岩类型的煤体中（图 1—1）。外生裂隙与层理面斜交成不同的交角，可分为几组，常见的有 45° 的斜交外生裂隙。裂隙

面上由于在挤压过程中产生剪切滑动,常呈擦痕而凸凹不平。主要的外生裂隙组方向常与附近的断层方向一致。外生裂隙内常有次生矿物或破碎的煤粉(原生煤尘)充填。外生、内生裂隙和层理面相互交错,使煤体沿这些裂隙破裂时,构成一定的几何形状,这就是常称的“节理”。常见的节理有板状、立方体、平行六面体等。节理发育则有利于注水工程。

四、次生裂隙

煤体在采落之前,受本层或上邻近层开采的超前支承压力的作用,或受邻近分层爆破作业的影响所形成的裂隙称为次生裂隙。它是由于人的开采活动造成的煤体裂隙,因此,与次生裂隙相对应,内生及外生裂隙是在煤体未受开采影响之前形成的,可统称为原生裂隙。次生裂隙内也伴生着原生煤尘。

五、煤体内的细微孔隙

在煤层的生成及其后的变质过程中,由于挥发物质、瓦斯和水分的不断泄出,煤体中自然形成了各类细微孔隙。这些细微孔隙大多是互相连通的,只有个别的孔隙系统处于封闭状态。煤体中孔隙的直径有的小于液体分子直径,但大于瓦斯分子直径。

煤层在透水性质上可以看成是具有两类孔隙的介质。一类是裂隙系统,它具有使水通过并储存一些水的作用;另一类是被这些裂隙所分割的煤块孔隙。显然,裂隙系统起了一种渠道作用,水由它进入各种煤块孔隙。按照煤体中各类孔隙的直径大小可以将孔隙分为五类,即

大微孔隙	直径	$>10^{-4}\text{m}$
微孔隙	直径	$10^{-4}\sim 10^{-6}\text{m}$
半微孔隙	直径	$10^{-6}\sim 10^{-7}\text{m}$
中微孔隙	直径	$10^{-7}\sim 10^{-8}\text{m}$
细微孔隙	直径	$10^{-8}\sim 10^{-9}\text{m}$

煤体中各类裂隙都属于可见的大微孔隙。孔径小于 10^{-9}m 的超细微孔，因水分子难以进入而不应包括在煤层注水的讨论范围之内（水分子直径 $d=2.6\times 10^{-10}\text{m}$ ）。在使用液体法测定煤的比重时，液体分子不能进入这些超细微孔隙，因此测得的比重和孔隙率只反映了那些水分子能够进入的孔隙的存在。

煤体的各类裂隙的发育程度，一般用单位长度或单位面积内所存在的裂隙条数来表示，而煤的孔隙发育程度（包括全裂隙的体积在内）则以孔隙率表示。

第二节 煤层赋存状态

煤层厚度是煤层赋存状态的重要特征，其差异很大，有的煤层厚度只有几厘米，而有的厚度可达几十米，甚至百米。根据开采技术的特点，煤层按厚度可划分为三类：

厚煤层	煤层厚度 3.5m 以上
中厚煤层	煤层厚度 1.3m 至 3.5m
薄煤层	煤层厚度从最小可采厚度至 1.3m

根据煤层中是否有较稳定的夹石层，煤层可分为两类，即简单结构煤层和复杂结构煤层。煤层中没有呈层状出现的比较稳定的夹石层，但仍可能夹一些矿物质透镜体或结核，称为简单结构煤层，如图 1—2 所示。常含有较稳定的夹石层的

煤层称为复杂结构煤层，如图 1—3 所示。

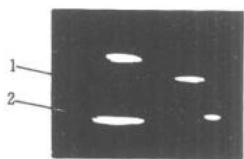


图 1—2 简单结构煤层

1—煤层；2—透镜体矿物质

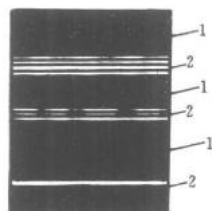


图 1—3 复杂结构煤层

1—分煤层；2—夹石层

煤层一般成群埋藏，各煤田的含煤层数多少不一。有的煤田只有几层煤，而有的多至数十层。当煤层成群埋藏时，相邻煤层间的法线距离称为煤层的层间距。当相邻煤层的间距很小或为复杂结构的煤层时，在开采中往往可以把相邻煤层视为一层，煤层间的薄层岩石即成为夹石层。反之，原来为复杂结构的煤层，由于夹石厚度增大，可能分离为若干独立的分煤层。这种煤层结构的变化，在实际生产中是经常可见的。

煤层中如果含有较多的矿物质结核或煤层结构很复杂，含有较多的夹石，这会影响煤层的注水效果。

第三节 煤层的物理力学性质

煤的强度、硬度及煤的内在水分和外在水分等物理力学性质对煤层注水难易程度有一定的影响，现分别进行介绍。

一、煤的强度

煤的力学强度是指煤受外力作用时抵抗破坏的能力，是煤的一种力学特性。当外力增加时，煤的内应力也相应地增大，直至煤破坏。此时煤内的应力称为煤的强度。由于煤受外部载荷的性质不同，如单向受力或多向受力、拉伸或压缩，以及外部载荷作用时间的长短不同，煤岩的强度也各不相同。从煤的受力状态来区分煤的强度，可有以下几种类型。

（一）单向抗压强度

煤在一个方向受压而破坏时的应力称为煤的单向抗压强度。单向抗压强度在煤矿中常用普氏坚固系数(f)作为表示煤岩破碎难易程度的综合性指标。煤的坚固性系数一般在1~2之间。普氏坚固系数(f)即为单向抗压强度被100除。它由于层理、节理、孔隙的多少及其分布情况的不均匀性，在煤层各个方向上存在着较大的差异。表1-1是辽宁省几个煤矿煤的普氏系数。

（二）单向抗拉强度

煤属于所谓脆性材料。它与金属材料不同，普通煤的单向抗压强度要比抗拉强度大几倍、十几倍，甚至几十倍。由于煤的抗拉强度很小，一般为每平方厘米几公斤到几十公斤。

表1-1 辽宁省几个煤矿煤的普氏系数

序 号	矿 名	普 氏 系 数
1	本溪暖河子矿	7 [#] 煤层, 0.2~1.19
		12 [#] 煤层, 0.6~1.78
2	朝阳煤矿	1.8~2.0
3	沈阳林盛矿	平均 0.7

（三）抗剪断强度

抗剪断强度是煤在双向或三向应力状态作用下的破坏强度。由不同应力状态下煤的抗剪断强度的试验结果，可以求出煤或某一指定弱面的两个重要力学指标，即

煤的粘结力 C ，它表示统计的分子之间的凝聚力，以 kg/cm^2 表示。

煤的内摩擦角 ϕ ，它表示煤颗粒之间的摩擦特征，以度表示。

（四）体积变形

各种煤的内部，总是存在一些微小的裂隙和孔隙。在煤受单向或多向压缩应力作用时，煤的体积就会缩小一些，这种变形称为体积变形。在很大的全向压应力作用之下，煤的矿物结晶可能重新排列，也导致体积变形的发生。

二（五）煤的硬度

煤的硬度是指抵抗外力侵入的能力，用摩氏硬度系数表示。它是用标准矿物（摩氏硬度计）刻划煤样测得的相对硬度。煤的摩氏硬度一般在 1~2 之间。

三（六）煤的水分

煤中水分，按其在煤中的存在状态，可分为两类：一类是游离水，一类是结晶水。

1. 游离水

游离水是煤的内部小毛细管和煤的外表面的大毛细管所吸附的水。当温度大于 100°C ，煤中游离水就会逸出。

（1）外在水分（ W_{wz} ）。它是指煤炭表面和大毛细管里的水分。它在常温下不断蒸发于周围空气中，但是只能蒸发到它的表面水蒸气压和它所在的空气中的相对湿度平衡时为止。外在水分是随空气温度的变化而变化，它与水文地质条

件和开采以及洗选等因素均密切相关。煤层注水后的水分增加的部分多属于这类水分。

(2) 内在水分 (W_{N2})。内在水分是吸附和凝聚在煤体内部的毛细管吸附的水分。这部分水的蒸发气压较同温度的纯水蒸发气压略小, 因而内在水分的失去较外在水分难, 只有加热高于纯水沸点, 内在水分才能全部逸出。煤的表面积愈大, 毛细管愈多, 内在水分吸附的量也愈高。内在水分与煤质有关, 煤的变质程度愈高, 内在水分愈低。褐煤的内在水分为 10%~30%, 从褐煤、长焰煤、气煤到肥煤、焦煤, 内在水分依次显著降低, 但到贫煤, 无烟煤内在水分又略有增加。当煤的内部毛细管吸附水分达到饱和状态, 这时的内在水分叫做最高内在水分。

(3) 煤的全水分。煤体的内在水分和外在水分之和称为煤的全水分。注水后外在水分和内在水分增量之和称为注水后的水分增值。

2. 结晶水

煤中的结晶水是煤中无机矿物质所含的结晶水, 如 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。这种水在 110℃ 下是不会逸出的, 只有当温度高于 200℃, 结晶水才能逸出。

(七) 煤的比重

煤的比重是指一定体积的煤和同体积的水的质量之比。煤是多孔物质, 它的体积有两种表示方式。一种是包括煤的内部孔隙在内的煤之体积。这种体积叫做表观体积或视体积; 另一种是除去孔隙后煤的体积, 这种体积叫做煤的真体积。由煤的视体积测得的比重, 叫做煤的视比重。由煤的真体积测得的比重, 叫做煤的真比重。显然, 煤的真比重比煤的视比重略大一些。

1. 煤的真比重

煤的真比重是在 20°C 时，一定体积的煤（不包括煤的孔隙）对同温度、同体积水的重量之比。用 d_{20}^{20} 来表示。右下角的 20 是水的温度为 20°C ，右上角的数字 20 是煤的温度为 20°C 。

煤的真比重在我国目前是用比重瓶来测定，这个方法是用一定体积的比重瓶，加水，称出其重量 G_1 ，然后倾去水，在瓶里放入准确称量的干燥煤样，加水，在水浴上煮沸，冷却至 20°C 后，称重 G_2 ，这样煤的真比重为

$$(d_{20}^{20})^g = \frac{G}{G_1 - (G_2 - G)} \quad (1-1)$$

式中 G ——干燥基煤样的重量。

在用比重瓶测定煤的真比重时，首先假定：

- (1) 煤用水煮沸后，全部孔隙都充满水；
- (2) 煤和水不会因为混合后的表面作用产生任何效应。

但是，实际并不如此，因为煤中有些微孔是封闭的，有些微孔直径小于水分子，所以水无法进入。这样测定的真比重也只是近似的。在科学研究上常用氮作为介质来测定煤的真比重。因为氮原子直径小，再加上氮不与煤发生表面作用，测定的结果就较精确些。

煤的真比重用来研究煤的性质。煤的真比重又是煤层平均重量的计算时的重要数据。

2. 煤的视比重

煤的视比重是 20°C 时，一定体积的煤（包括煤的孔隙在内的体积）和同体积水之重量比。

因为煤的体积包括煤的孔隙，所以在测定时，要把这些孔隙“保护”起来使水不能进入。为此，可以用蜡把煤块包