

文章编号: 1000-7598-(2008)02-512-05

# 薄基岩浅埋煤层覆岩破坏移动演化规律研究

宣以琼

(安徽建筑工业学院 土木工程系, 合肥 230022)

**摘 要:** 以榆阳煤矿为研究基地, 进行了地下水动力学参数、覆岩力学组合结构特征与基岩风化带的阻隔水特性试验。结果表明, 风积沙层底部为强含水层; 主采煤层上覆覆岩泥岩强度高于砂岩; 砂岩孔隙率高, 含水率大, 抗压、抗拉强度比值高; 泥岩和砂岩的黏土矿物含量低、具有典型的脆性易裂、抗扰动能力差和再生隔水能力弱等新的破坏移动特性, 并通过多因素拟合, 确立了薄基岩浅埋煤层覆岩采动破坏“两带”高度的动态变化特征, 提出了长壁工作面开采防止突水溃砂的调控技术, 成功应用于榆阳煤矿并实现绿色保水开采, 为陕北榆神大煤田薄基岩浅埋煤层进一步推广高效开采技术和保护生态环境实现绿色保水开采奠定了基础。

**关键词:** 薄基岩浅埋煤层; 覆岩破坏; 绿色保水开采; 突水溃砂; 演化规律

**中图分类号:** TU 451

**文献标识码:** A

## Research on movement and evolution law of breaking of overlying strata in shallow coal seam with a thin bedrock

XUAN Yi-qiong

(Department of Civil Engineering, Anhui Architectural Industry Institute, Hefei 230022, China)

**Abstract:** Taking Yuyang coal mine as research base, this paper systematically has carried on experiments of the kinetic parameters of groundwater, the combined structure features of mechanics of overlying strata and the water-insulation character of weathered zone of bedrock. The result indicated: Water-bearing stratum at the bottom of eolian deposit sand strata is strong water-bearing stratum. The intensity of mudstone stronger than sandstone on the main production seam; the porosity, moisture content and tensile compression ratio of sandstone is great; the clay soil content of mudstone and sandstone is low. So it has new damage and excursion character of canonical brittleness, the feebleness capability of resist remolding and the feebleness revival capability of water-stop. It settled the character of dynamic vary of height in breaking of overlying strata in shallow coal seam with a thin bedrock as elements fitting based, and put forward long-wall mining to control blowing out Water and bursting sand. The technique apply in Yuyang colliery successful and put into green technical conservation water of mining. The paper settled foundation for further popularized apply high productive and high efficient mining and protect physical environment for putting into green technical conservation water of mining for shallow coal seam with a thin bedrock in Yushen coal field in Northern Shaanxi.

**Key words:** shallow coal seam with thin bedrock; breaking of overlying strata; green technical conservation water of mining; blowing out water and bursting sand; law of evolution

### 1 引 言

我国西北赋存有大量的浅埋煤层, 最典型的是榆林的中能煤田, 位于毛乌素沙漠边缘与黄土高原丘陵沟壑区的过渡地带, 属干旱、半干旱大陆气候区, 由于风大沙多, 植被覆盖率低, 水土流失严重, 生态环境十分脆弱。

矿区内首采的榆阳煤矿主采煤层 3 煤, 平均厚度为 3.6 m, 平均倾角为 3°, 为优质的工业用煤。

矿井设计年产 600 万吨。由于主采煤层上方覆盖 43 m 的厚含水风积沙层, 特别是其底部 8~25 m 较稳定的“萨拉乌苏组”砂砾石含水层, 直接覆盖在煤系地层之上, 对煤系地层直接进行渗透补给, 给浅埋煤层的安全开采和脆弱的毛乌素沙漠生态环境构成了极大威胁。

矿区附近相邻的上河等煤矿在采用短壁条带开采时, 曾多次发生了风积沙层底部含水层突水溃砂

收稿日期: 2006-07-05

基金项目: 安徽建筑工业学院博士基金会(2008)资助。

作者简介: 宣以琼, 女, 1965 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事岩土工程与矿井防治水方面的科研与教学工作。E-mail:xyqiong@tai.edu.cn

事故，致使区域性水位下降，地下水补、径、排条件改变，固沙植被枯死和脆弱的沙漠生态环境大面积遭到损害，引发矿村矛盾纠纷乃至国家“三北”防护林建设指挥部的高度重视。为确保矿井安全生产和脆弱的沙漠生态环境免遭破坏，陕西中能煤田有限公司榆阳煤矿自营试生产以来，一直采用房柱式开采，综合机械化程度不高，产量提升速度较慢，生产效率低下、资源浪费现象极为严重（回采率约 40%），且严重影响矿井可持续发展。因此，研究薄基岩浅埋煤层长壁工作面开采引发的水、土环境问题以及覆岩破坏移动演化规律，提出合理的对策和调控技术具有重要意义。

## 2 薄基岩浅埋煤层地层结构特征及采动效应分析

表 1 为榆阳煤矿科研孔所揭露的地质信息，通过试验室试验建立的模型的参数及特征情况，它包括各主要工程类型的物理力学性质；结构面特征主要含、隔水层的水文地质特征和原岩应力场。开采方法为综采液压支架，全部垮落法管理顶板。

水文地质结构是预测模型的一个重要组成部分。建模时应重点分析与开采有关的底部含水层及其上下隔水层、风化带、顶板砂岩含水层的特征以及它们之间的水力联系及其渗流特征。

通过 05-1 科研孔抽水试验、覆岩水理力学以及上覆岩层的微观结构分析，榆阳煤矿主采煤层覆岩结构具有如下特征：

(1) 工作面顶板覆岩具有明显的沉积特征，即不同沉积期含、隔水岩层所占比例不同，如中侏罗系直罗组大部分为砂岩类岩层、富水性也较好。

(2) 覆岩呈明显的软硬交互结构特征，3 煤顶板为泥岩、细砂岩和中砂岩；砂岩的含水率较高、孔隙率较大，岩石力学试验表明其强度明显地小于泥岩，抗压抗拉强度比值高，属于典型脆性易裂地层，见图 1 和图 2。基本顶为泥岩和砂质泥岩互层，具有砂岩类岩层单层厚度相对较大、泥岩类岩层单层厚度相对较小的特点。

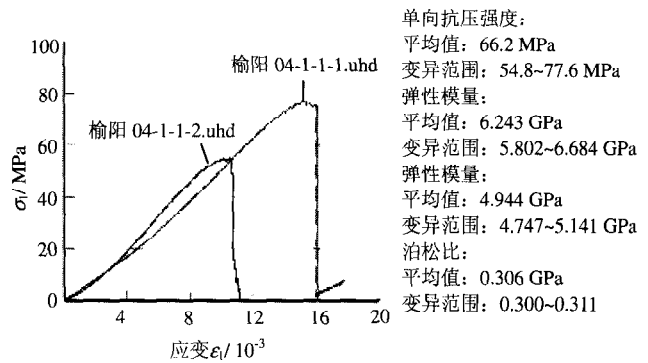


图 1 3 煤层顶板泥岩力学参数特征曲线

Fig.1 The roof mechanic parameters and feature curves of mudstone of coal-bed No.3

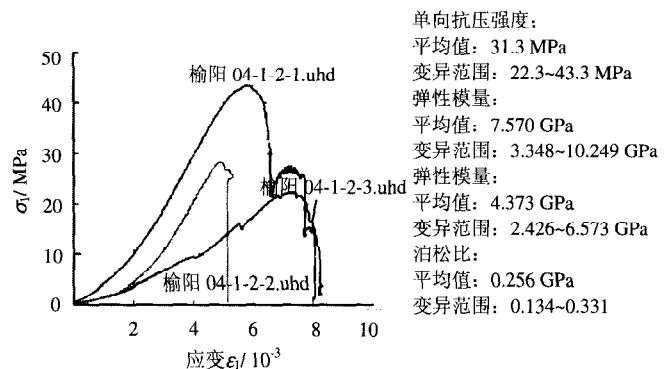


图 2 3 煤层顶板砂岩力学参数特征曲线

Fig.2 The roof mechanic parameters and feature curves of sandstone of coal-bed No.3

表 1 模型中工程地质类型的主要特征和参数

Table 1 The main features and parameters of engineering geological types in model

序号	岩性	厚度 / m	重度 / kN·m <sup>-3</sup>	抗压 / MPa	抗拉 / MPa	弹性模量 / GPa	凝聚力 / MPa	内摩擦角 / (°)	泊松比 u	RQD / %	结构面特征
1	风积沙层	43.0	23.00	3.2	0.4	0.3	0.5	20			固结性差
2	风化泥岩	3.9	23.60	5.4	0.8	0.6	0.8	23	0.30	68	波状层理，裂隙发育
3	风化砂岩	15.6	23.00	10.6	1.2	1.0	1.0	25	0.32	76	水平层理，风化裂隙
4	绿色泥岩	10.4	26.80	19.8	0.9	6.6	12.7	32	0.26	79	水平层理，风化裂隙
5	砂岩	8.8	23.20	26.6	1.3	6.1	2.6	30	0.36	86	水平层理，裂隙发育
6	砂泥岩互层	6.2	27.20	43.8	1.8	6.5	12.7	32	0.28	90	水平层理，少量裂隙
7	中砂岩	8.1	26.38	30.8	0.7	9.0	2.1	30	0.24	95	水平层理，裂隙发育
8	泥岩	7.3	27.20	42.7	1.1	5.3	0.8	30	0.34	95	水平层理，少量裂隙
9	砂岩	10.0	25.50	31.3	1.2	7.6	2.1	30	0.26	95	水平层理，裂隙发育
10	泥岩	1.7	27.30	66.7	1.8	6.2	3.1	33	0.31	95	水平层理，少量裂隙
11	3 煤层	3.6	14.20	27.0	0.4	0.4	0.8	20	0.35	80	岩芯完整，裂隙少量
12	砂质泥岩	10.3	26.10	35.3	2.8	1.2	2.1	30	0.32	95	岩芯完整，裂隙少量

(3) 砂岩类岩层所占比例相对较大。根据表 1 统计, 3 煤覆岩砂岩类岩层占其总厚度的比例约为 66%, 泥岩类岩层所占比例为 34% 左右, 表明上覆岩层中含水岩层较多; 阻隔水性能较差; 抗变形能力差, 抗扰动能力差和再生隔水能力弱等采动效应特点。

(4) 覆岩岩石力学强度较高。由表 1 可知, 3 煤覆岩岩石力学强度相对较高, 其中顶板 50 m 范围内覆岩力学强度相对较大, 但其岩石抗压强度均小于 70 MPa; 50 m 以上覆岩力学强度相对较低, 岩石抗压强度一般小于 20 MPa, 最小仅为 5.4 MPa。可见 3 煤覆岩岩石力学强度结构为上弱下强, 有利

于导水裂隙带的发育。

(5) 岩体的微观结构分析(表 2)表明, 上覆覆岩中无论是泥岩, 还是砂岩, 其碎屑矿物含量较高, 黏土矿物含量较低, 具有典型的脆性材料特征, 对抑制覆岩破坏高度发育和降低基岩含水层涌水量较为不利, 也是薄基岩浅埋煤层工作面矿压显现和覆岩破坏较为剧烈的主要原因之一。

(6) 风积沙层底部含水层经抽水试验得出其单位涌水量  $q = 1.375 \sim 2.596$  L/s.m, 渗透系数  $k = 14.234 \sim 27.463$  m/d, 属中等~偏强含水层, 当煤层顶板基岩厚度较薄, 冒落带或严重裂隙带发展到此含水层时会产生矿井突水溃砂, 影响固沙植被生长。

表 2 岩石矿物组分与微组构特征

Table 2 The components of rock minerals and the features of misorstructure and nappe structure

编号	岩石类型距风积沙层底部距离 / m	碎屑矿物		黏土矿物	
		矿物种类	含量/ %	矿物种类	含量/ %
1	泥岩为 2.0	石英、钾长石等	92	高岭石	8.0
2	中砂岩为 11.6	石英、钾长石等	94.3	高岭石	5.7
3	泥岩为 15.5	石英、钾长石等	88.2	高岭石	11.8
4	中砂岩为 26.0	石英、钾长石等	93	高岭石	7.0
5	粉砂岩为 33.2	石英、钾长石等	85.3	高岭石	14.7
6	中砂岩为 45.4	石英、钾长石等	92.6	高岭石	7.4
7	泥岩为 55.6	石英、钾长石等	75.4	高岭石	24.6

### 3 浅埋煤层开采顶板破坏移动演化规律分析

#### 3.1 煤层顶板形变破坏规律

榆阳矿区地层赋存总的特征: 煤层埋藏浅、顶板基岩薄、煤系地层上方为厚风积沙层覆盖层、地质构造简单、厚风积沙层下浅埋煤层采动形成的顶板结构和来压特征与普通非薄基岩浅埋煤层存在明显的区别, 顶板难以形成稳定的结构, 表现出明显地动压和台阶下沉特性, 形成了薄基岩浅埋煤层的顶板“台阶岩梁”结构。

根据榆阳煤矿 1307 工作面开采实践和采后观测资料表明, 该区域煤层开采顶板岩层冒落和移动遵循一定的规律, 在剖面上可分为以下两带: 第一带为冒落带: 形成在煤层顶板之上, 下部为不规则冒落段, 上部为规则冒落段。由于覆岩中碎屑矿物石英含量较高, 岩石的冒落块度极大, 碎胀系数小, 且联通性较好, 渗透系数比冒落前增大 20 倍以上(图 3), 当它波及到上覆含水层时, 会引起矿井突水溃砂。

第二带为导水裂隙带: 在冒落带之上, 根据类型情况可分为严重断裂段、一般开裂段和微小开裂

段。此带如波及到上覆风积沙层底部含水源, 则会增大矿井涌水量, 甚至引起矿井突水, 造成上覆水源补径排条件改变, 影响地面植被的生长。

#### 3.2 导水裂隙带高度的多因素拟合分析

榆阳煤矿煤层顶板覆岩主要为侏罗系砂岩、泥岩, 由表 1 可知, 其抗压强度在 5.4~66.7 MPa 之间, 属于中硬岩层。区内构造简单, 断裂稀少, 地层平缓, 岩层倾角一般为 1~3°。根据榆阳煤矿相似材料模拟试验和计算机数值计算、导水裂隙带高度的实测以及覆岩的阻隔水特性等多因素的 GIS 拟合, 其导水裂隙带发育动态变化特征见表 3 和图 4。



图 3 榆阳煤矿 3 煤上覆岩层冒落特征图  
Fig.3 The features of fall of overlying strata in No.3 Yuyang coal mine

表3 榆阳煤矿不同推进步距时冒落带和  
导水裂隙带发育高度

Table 3 The heights of caved zone and fractured water  
conducting zone on different space in Yuyang coal mine

参数	推进步距/m							
	24	48	72	96	120	144	168	192
垮落角/(°)	63	45	53	69	54	57	53	67
来压步距/m			54	18	16	16	16	15.2
冒落带高度/m	0	11.7	15.1	17.7	14.5	12.9	9.3	9.4
裂隙带高度/m	12.0	23.3	39.6	45.8	61.5	65.1	68.6	62.8

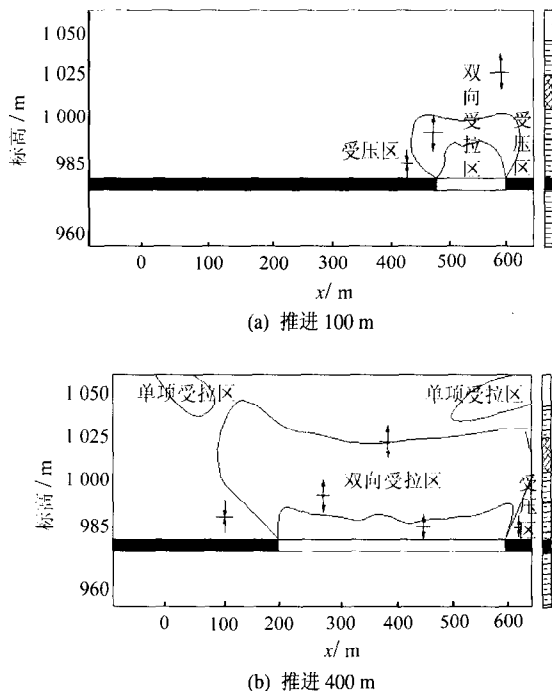


图4 1307工作面推进400m时的覆岩主应力分区图  
Fig.4 The distribution of main stress of overburden strata  
when the No.1307

### 3.3 覆岩破坏高度与采厚的关系及其演化特征

计算机数值分析和相似材料模拟试验表明,在覆岩结构、性质等条件类同情况下,薄基岩浅埋煤层受沉积环境的影响,开采工作面的垮高和裂高与顶板岩层相近的工作面比较,分别增加了53%~84%和163%~212%;同时垮落裂缝的发育程度和连通、导水性随之增强,垮落裂缝发育的速度较慢,采后被压密,弥合也较慢,透水、透沙、透泥能力较强。

## 4 防止突水溃砂的调控措施与技术

采取必要的技术保障措施,切实防止顶板岩层非均衡破坏、切断风积沙层底部含水层和基岩含水层联合向薄基岩浅埋煤层采场大量泄水是非常必要的。

### (1) 采空区滞后控水

在设计试采工作面时,先采煤岩柱较厚的工作

面,后采煤岩柱薄的工作面(即实行上行式开采)。利用开采沉陷影响范围,疏放主采煤层覆岩中砂岩含水层内的水,采用采空区滞后控水,控水开采期间各工作面采空区涌水变化特征为:煤岩柱高度为78.6m时,涌水量为54.7m<sup>3</sup>/h。而煤岩柱高度为64.8m时,涌水量却为35.2m<sup>3</sup>/h,表明采用采空区滞后控水取得了满意的效果。

### (2) 煤水分流

根据榆林矿区煤层倾角较缓、瓦斯含量低和水往低处流的特点,改革巷道布置方式,将机巷布置在上,风巷布置在下,实行煤水分流,加快工作面的推进速度。

### (3) 降低风机巷附近的开采高度

由图5可知,导水裂隙带发育形态为近似的“马鞍形”,导水裂隙带高度在风机巷处发育高度最高,产生突水溃砂的危险性最高,为此应控制风机巷处的开采高度。

### (4) 物探预测地质弱面和富水区域预先加固疏放

在工作面形成以后,采用无线电坑透仪和瞬变电磁进行CT透视扫描,发现地质弱面和富水的部位,采用预先注浆加固、提前疏放,或预先备足加固抢险材料,防止局部冒顶,发生突水溃砂事故。

## 5 结论

(1) 风积沙层底部的“萨拉乌苏组”为强含水层,当煤层顶板基岩厚度薄,冒落带或严重裂隙带发展到此含水层时,容易产生矿井突水溃砂事故,影响固沙植被的生长。

(2) 受沉积环境的影响,浅埋煤层顶板岩层微观结构特征为石英含量较高,黏土矿物含量较低,具有典型脆性材料的特点,表现为易裂、抗扰动能力差和再生隔水能力弱等破坏移动演化特征。

(3) 浅埋煤层工作面开采后,其导水裂隙带发育高度经岩性组合、微观成份等多因素GIS拟合具有数值较大、联通性好、导水溃砂能力强、且裂缝不易闭合等特点。

(4) 实践表明,采用采空区滞后控水、煤水分流、控制风机巷附近采高;物探预测地质弱面和富水区域预先加固疏放,是浅埋煤层防止突水溃砂行之有效的调控保障技术措施。

## 参考文献

[1] 石平五. 西部煤矿岩层控制泛述[J]. 矿山压力与顶板管理, 2002, 19(1): 6-8.

SHI Ping-wu. The generalization of rock stratum control

- in west colliery [J]. **Ground Pressure And Strata Control**, 2002, 19(1): 6-8.
- [2] 张嘉凡, 石平五. 浅埋煤层长壁留煤柱开采方法的有限元分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(15): 2 539-2 542.
- ZHANG Jia-fan, SHI Ping-wu. Finite element analysis of coal pillars in longwall mining of shallow coal seam[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2004, 23(15): 2 539-2 542.
- [3] 黄庆亨. 浅埋煤层长壁开采顶板结构及岩层控制研究[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2000.
- [4] 安徽理工大学. 榆阳煤矿覆岩破坏移动规律研究总结报告[R]. 淮南: 安徽理工大学, 2004.
- [5] 武强. 神府东胜矿区水土环境问题及其调控技术[J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33(3): 54-58.
- WU Qiang. Water soil environment issues and its controlling technology in Shendong Mining Field[J]. **Coal Geology & Exploration**, 2005, 33(3):54-58.
- [6] 侯忠杰. 浅埋煤层关键层研究[J]. 煤炭学报, 1999, 24 (4): 359-363.
- HOU Zhong-jie. Study on key stratum in shallow seam [J]. **Journal of China Coal Society**, 1999, 24(4): 359-363
- [7] 侯忠杰. 浅埋煤层采场矿压及覆岩破断规律[J]. 矿山压力与顶板管理, 1998, 15(3): 9-11.
- HOU Zhong-jie. The law of strata damage and ground pressure in shallow seam[J]. **Ground Pressure and Strata Control**, 1998, 15(3): 9-11.
- [8] 黄庆亨, 钱鸣高, 石平五. 浅埋煤层顶板周期来压结构分析[J]. 煤炭学报, 1999, 24(6): 581-585.
- HUANG Qingxiang, QIAN Ming-gao , SHI Ping-wu. Structural analysis of main roof stability during- periodic weighting in longwall face [J]. **Journal of China Coal Society**, 1999, 24(6): 581-585.
- [9] 黄庆亨. 神府浅埋煤层的矿压特征与浅埋煤层定义[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(8): 1 174-1 177.
- HUANG Qing-xiang. Ground pressure behavior and definition of shallow seams [J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2002, 21(8): 1 174-1 177.