

文章编号: 1673-3363-(2012)02-0178-07

深部油页岩巷道变形破坏机理及稳定性控制研究

赵红超¹, 曹胜根¹, 张科学¹, 王君得²

(1. 中国矿业大学矿业工程学院, 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州 221116;

2. 窑街煤电集团海石湾煤矿, 甘肃 兰州 730000)

摘要 针对民和盆地窑街煤田侏罗世典型陆相油页岩巷道多次翻修仍然无法保证正常生产需要的现状, 结合油页岩沉积环境及其主要物理化学性质分析, 采用岩石强度衰减非线性蠕变模型, 通过数值模拟研究分析巷道围岩应力和围岩变形速率随时间的变化规律, 指出围岩组分中较高的黏土类矿物成分在风化和水理作用下易膨胀崩解, 时间效应对围岩强度的影响以及不合理的支护参数是巷道围岩变形失稳的根本原因。在此基础上提出了“高强预紧, 适度让压, 封闭裂隙, 切断水源”的围岩控制技术, 通过高强预应力让压锚杆、锚索配套碟形托盘、及时喷浆、注浆等方法实现深部油页岩巷道围岩稳定控制。在埋深 800~850 m 的集中运输下山应用该技术与以往的支护效果进行对比分析, 表明提出的围岩控制技术有效控制了巷道变形破坏, 保证了巷道的稳定性。

关键词 油页岩; 蠕变; 让压支护; 围岩控制

中图分类号 TD 84

文献标识码 A

Study on Deformation Mechanism and Stability Control of Surrounding Rock in Roadway for Deep Underground Mining of Oil Shale

ZHAO Hong-chao¹, CAO Sheng-gen¹, ZHANG Ke-xue¹, WANG Jun-de²

(1. School of Mines, State Key Laboratory of Coal Resources and Safet Mining, China University of Mining &

Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China; 2. Yao-Jie Coal Electricity Group Co., Ltd

Haishiwan Mine, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract According to the situation that the typical roadway of oil shale at the middle Jurassic period in Yaojie mine field, Minhe basin, could not meet the normal need of using. In this paper, we combined with the sedimentary environment and main physical and chemical properties of oil shale, used the nonlinear strength degradation creep model of surrounding rock, numerical simulation to analysis the rule of stress and deformation speed of surrounding with time, and pointed out that the massive clay mineral in oil shale with the influence of weathering and water physical easily swells and collapses. While time effect on the strength of surrounding rock and unreasonable support parameter plays an important role in the stability of surrounding rock. Based on the previous study, the appropriated rock

收稿日期: 2011-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(51174200, 50774078); 江苏省“青蓝工程”项目; 煤炭资源与安全开采国家重点实验室自主研究课题项目(SKLCRSM08X04); 江苏省高校优势学科建设工程项目

作者简介: 赵红超(1988-), 男, 陕西省眉县人, 研究生, 从事煤矿巷道围岩控制理论与支护技术方面的研究。

E-mail: cumtzhc@yahoo.cn

Tel: 13645210546

control technology of “high resistance and yield pattern, occlude crack, cut off the water” has been concluded. Through the use of high pressure yielding anchor bolt with butterfly pallet, guniting and grouting, the stability of surrounding rock has been implemented. Compared with former support technology, the result showed that control technology of surrounding rock proposed effectively, reduced the deformation of surrounding rock and guaranteed the stability in the field application in the concentration transportation roadway 800-850m in deep.

Key words oil shale; creep; yielding support; surrounding rock control

油页岩是一种含有机矿物(亦称油母)的矿石,我国油页岩以陆相沉积为主,主要赋存于中生界。目前探明资源量主要集中在甘肃、青海、西藏、新疆及四川西部。以民和盆地、西宁盆地和准格尔盆地北缘为主要代表^[1-4]。油页岩中富含的大量稀土元素和微量元素使其除作为石油的替代品外还具有巨大的综合利用潜力。近年随着国际能源结构的调整,油页岩在非常规能源中的地位得到进一步的重视,其开采规模也正在逐渐扩大。油页岩作为典型的松散破碎岩体,具有明显的流变特性,蠕变变形量较大,表现为随时间在地下工程各个方向发生非线性挤出性变形,常造成巷道支护失稳和破坏^[5]。目前国内外专门针对油页岩井工开采条件下巷道围岩变形破坏特征及稳定性控制的研究几乎空白。如何保证巷道围岩稳定无疑是制约油页岩安全高效生产的关键因素。本文结合民和盆地窑街煤田侏罗世油页岩沉积环境,在分析油页岩成矿原因及特性基础上根据岩石强度衰减非线性蠕变模型进行数值模拟,提出了油页岩巷道围岩控制技术并应用于现场,取得良好的效果。

1 工程概况

1.1 试验巷道地质条件

试验选取的民和盆地海石湾矿煤₁层集中运输下山围岩属于典型的中侏罗统海石湾窑街地层油页岩,平均厚度 8.09 m,倾角 8°~12°,普氏硬度 3.46~5.03,水文地质条件简单,无瓦斯与二氧化碳突出危险,煤尘具有爆炸性,不易自燃,当地称该油页岩为煤₁层。试验巷道为煤₁层集中运输下山、埋深 800~850 m、沿顶掘进,宽×高为 4.5 m×3.5 m,煤₁层直接顶为泥灰岩,直接底为油页岩,节理层理较发育,易风化,遇水膨胀,离层后极易出现层理间的相对滑动。

1.2 变形破坏概况

煤₁层集中运输下山原有支护参数为:顶板两

帮均采用 $\phi 20 \text{ mm} \times L2\ 000 \text{ mm}$ 的普通螺纹钢锚杆,间排距 800 mm×800 mm、配合 120×120 mm×8 mm 的钢托盘。锚索 $\phi 17.8 \times L7\ 300 \text{ mm}$,排距 1 600 mm,五花布置。顶帮均铺设金属编织网,钢带采用 $\phi 16 \text{ mm}$ 钢筋梯子梁。巷道布置层位关系如图 1 所示。

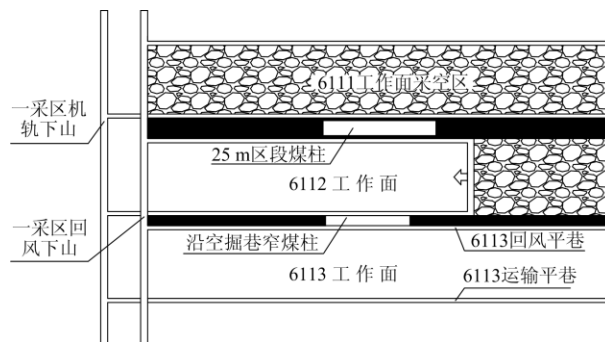


图 1 煤₁层集中运输下山层位布置图

Fig. 1 Layout of the concentration transportation roadway

采用原有支护参数,巷道掘进过程中,矿压显现明显,在短时间内出现巷道两帮较大范围收敛,出现明显的网兜以及锚杆托盘压翻的现象,围岩变形量一直处于持续增加的状态。在掘进半年后设置测站监测两帮移近量和顶板下沉量分别为 140, 260 mm,巷道变形持续不能稳定。结合煤₁层相同层位巷道变形情况,为防止顶板冒落,部分地段进行架棚支护。

2 巷道变形破坏机理分析

2.1 围岩组分测试分析

对窑街海石湾矿油页岩采用 X 射线衍射光谱和红外光谱测试,按照标准分析法进行对比分析。

分析结果表明:油页岩成岩矿物主体成分为高岭石、石英,伊利石和伊蒙混层矿物次之^[6]。高岭石干燥时有吸水性,遇潮后有可塑性^[7]。这些易软化、膨胀类黏土矿物的存在,遇水后产生的吸水膨胀变形随着时间变化一直持续,极大的弱化了油页岩的力学性质。

2.2 围岩风化试验分析

海石湾矿油页岩岩层厚度较大且稳定, 矿层中常夹有薄层菱铁矿、菱铁矿结核、薄层鲕状菱铁矿和泥岩。片理结构发育, 风化后大多呈纸片状^[8], 如图 2 所示。风化作用下松散破碎岩体裂隙进一步恶化, 围岩松动范围扩大。根据海石湾矿围岩松动圈测试结果, 巷道开挖半年后围岩松动范围在 3.5~5.0 m, 已经超出正常的锚杆锚固范围。



图 2 油页岩风化后纸片状
Fig.2 The flake of oil shale with weathering

2.3 微观孔隙测试分析

油页岩作为一种多孔物质, 含有较高的水分, 对于多孔物质, 研究其内部结构对其围岩有效控制有重要意义。油页岩含有较发达的二次孔和中孔, 孔径基本分布在 0.4~40 nm 之间。同时微孔含量较多, 其表面积较大^[8-9], 大量的孔隙不利于阻止风化作用, 空气极易通过孔隙进入围岩内部, 出现表面完整的内部空洞, 直接产生深部离层, 致使巷道变形失稳。

3 油页岩非线性蠕变模型

3.1 油页岩非线性蠕变方程

巷道围岩流变数学力学模型的基础是岩石流变数学力学模型, 根据已有的实验结果, 岩石长期强度的衰减特征以负指数函数形式变化^[10]。

$$\sigma_{cr} = \sigma_{c0} \exp\left(\frac{-At}{t+B}\right) \quad (1)$$

式中: σ_{cr} 为经历 t 时的长期强度; σ_{c0} 为即时强度; 对于特定岩体 A, B 为常量。

通过式 (1) 可以知道, 岩石长期强度最终趋于某一个稳定的常数, 对于岩体本身而言, 由于巷道服务年限是确定的, 如何保证巷道使用期限内岩体具有足够的强度只能通过改变 σ_{c0} 。

根据围岩强度强化理论, 对于松散岩体可以通过锚杆支护和注浆增加岩体的峰值强度和残余强

度。合理确定支护时间、支护强度与围岩变形之间的关系, 是控制巷道围岩变形的关键。

岩石二分量幂函数蠕变模型标准形式为^[11-12]

$$\varepsilon_{cr} = A\sigma^n \quad (2)$$

式中: ε_{cr} 为蠕变速率; A, n 为材料的力学参数;

$\delta = (3/2)^{1/2} (\delta_{ij}^d \delta_{ij}^d)^{1/2}$, δ_{ij}^d 是 δ_{ij} 的偏量部分。

蠕变应变率张量为

$$\varepsilon_{ij}^c = (3/2) \varepsilon_{cr} (\sigma_{ij}^d / \sigma) \quad (3)$$

偏应力增量为

$$\delta_{ij}^d = 2G(\varepsilon_{ij}^d - \varepsilon_{ij}^c) \Delta t \quad (4)$$

式中: G 为剪切模量; δ_{ij}^d 为应力张量偏量部分。

假定体积应变是弹性的, 各向同性应力增量为

$$\Delta \sigma_{kk} = 3K \Delta \varepsilon_v \quad (5)$$

在 t 时刻假定应力偏量为 $\sigma_{ij}^{d(t)}$, 则 $t + \Delta t$ 时应力偏量 $\sigma_{ij}^{d(t+\Delta t)}$ 为

$$\sigma_{ij}^{d(t+\Delta t)} = \sigma_{ij}^{d(t)} + 2G(\varepsilon_{ij}^d - \varepsilon_{ij}^c) \Delta t \quad (6)$$

式中: K 为体积模量。

在 FLAC 中, 速度和应变率都在中间步计算, 因此式 (6) 中的应力偏量可以作为平均值计算

$$\sigma_{ij}^{d(t+\Delta t/2)} = 1/2 (\sigma_{ij}^{d(t)} + \sigma_{ij}^{d(t+\Delta t)}) \quad (7)$$

通过式 (3), (7) 之间使用迭代方法可以获得更精确的解。

3.2 非线性蠕变数值模拟

3.2.1 数值模拟参数

本次模拟采用 FLAC^{3D} 数值计算软件进行模拟分析, FLAC^{3D} 的最大特点是计算分析岩土工程中的物理不稳定问题, 因而特别适用于采矿工程、岩土工程中几何和物理高度非线性问题的稳定性分析^[13], 如深部巷道的大变形问题、蠕变问题等。通过现场提供的测试数据, 考虑岩体的不连续性和不均匀性对模拟特征值进行修正, 确定模型中的力学参数: $n=3$, 体积模量 $K=1.50$ GPa, 剪切模量 $G=4.50$ GPa, 密度为 $3\ 500$ kg/m³, 从而确定模型长、宽、高分别为 90 m, 60 m, 47.5 m, 左右方向水平位移控制, 底部垂直方向位移控制, 初始水平应力为 35 MPa, 垂直应力 29 MPa。

3.2.2 数值模拟结果分析

图3、4分别为矿上原有支护设计参数条件下围岩变形速度和巷道周边应力随时间变化曲线。

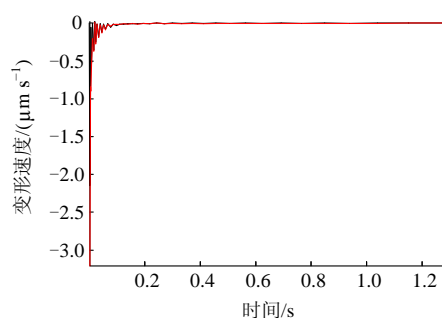


图3 围岩变形速度随时间变化曲线

Fig.3 Changing curves of deformation speed of surrounding rocks around roadway with time

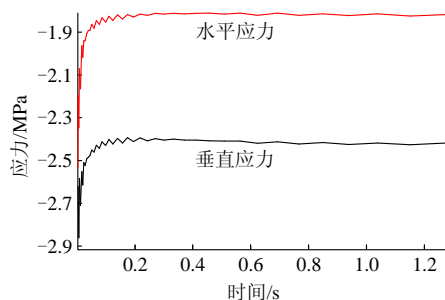


图4 巷道周边应力随时间变化曲线

Fig.4 Changing curves of stress of surrounding rocks around roadway with time

从图3可以看出,巷道开挖初期围岩变形剧烈,水平变形和垂直变形均较大,随着巷道开挖完成,围岩变形速度以渐进式逐步减缓并最终趋于相对稳定,垂直方向的位移波动持续时间大于水平位移方向,这与现场实际观测到的垂直方向位移变形量持续不能稳定是相吻合的,说明在偏应力作用下油页岩已经出现流动。此时尽管围岩强度和弹模没有改变,但变形将持续增加到偏应力小于极限值之后停止。

巷道两帮及顶板的垂直应力和水平应力也随着时间推移逐步趋于稳定。同时,在持续一定时间之后巷道周边应力和围岩变形速度均趋于一个稳定的数值,说明围岩应力与变形速度稳定的时间也是基本一致的。

通过实验室试验、现场实测、理论分析和数值计算等方法,研究分析认为导致煤₁层集中运输下山严重变形失稳的机理在于:

1) 油页岩巷道围岩层理结构发育,整体力学性质差,在风化和水理作用下容易崩解破坏。油页岩矿物成分定量分析结果表明其含有较高的黏土类矿物具有较高的吸水膨胀性。在风化作用下很快崩解成纸片状松散块体结构。

2) 岩体力学性质软化。巷道开挖后较长时间暴露在空气中,随着围岩裂隙向深部扩展,引起油页岩含水率上升,在水的作用下油页岩强度发生变化,原有支护条件下围岩的力学性能出现弱化。

3) 支护参数及时间不合理。锚杆支护强度和刚度不够,无法形成整体的支护系统,导致岩层产生过大的应力扩容。同时支护时间明显滞后,致使巷道较长时间处于无支护条件下,在巷道掘进初期已经产生明显的松动变形,随着围岩破坏向深部发展,就会出现已破碎岩体支护难度加大的现象。

4) 非线性蠕变影响。油页岩作为典型的软岩,时间因素的影响作用在围岩强度变化过程中显得更为明显。随着蠕变的持续发生,岩石内部损伤程度也在不断的加深。非线性蠕变现象的存在使得围岩控制难度明显增加。

4 围岩稳定原理及控制技术

4.1 油页岩围岩稳定控制原理

针对煤₁层集中运输下山顶板抗风化能力差、遇水易膨胀、易崩解等特点,为了对该类巷道围岩进行有效控制,提出“高强预紧、适度让压、封闭裂隙、切断水源”的围岩控制思想。

1) 高强高预紧力锚杆支护

油页岩巷道围岩主应力差大,使得围岩易于发生类似单轴压缩情况下的剪切破坏。高支护系统刚度和强度可以有效控制围岩裂隙发展发育,对于松散软弱岩体的控制效果更加明显。同时,巷道开挖后,围压降低,应通过高预紧力主动支护及时改善围岩应力状态,避免围岩力学性质恶化,并通过锚杆的锚固作用,提高其峰值强度和残余强度^[13]。

2) 柔性支护适度让压

油页岩作为典型的松散破碎岩体,提高预紧力可以在一定程度上改变其力学性能,但是无法从根本上控制其长期蠕变特性。一般认为围岩变形包括一部分不可控变形,所以支护系统必须有一定的可控让压变形能力,允许围岩在一定时间范围内缓慢持续的释放压力,通过适度可控让压可以降低围岩应力、减少锚杆载荷,防止锚杆破断,即保证岩石

一定的自变形能力,改善巷道维护状况。可允许适度变形的柔性支护结构对高强高预紧力锚杆支护作用的发挥起到配合加强作用。

3) 注浆喷浆及时封闭裂隙

油页岩受风化作用影响明显,长期暴露在空气中力学性能会显著降低并最终崩解成纸片状,失去原有承载能力,造成支护结构失稳并最终破坏。加之受工程扰动影响,一旦巷道变形破坏出现翻修,裂隙向深部扩展,将无法完全控制。通过喷浆可以将岩体与空气隔绝,避免风化作用向深部扩展。注浆可以封闭岩体内部裂隙及人为裂隙,阻止深部岩石受风化作用影响,而在支护范围以外产生裂隙扩展,导致支护结构失效。

4) 切断水源防止遇水膨胀

油页岩含有大量的高岭土,在遇水后极易膨胀,膨胀后原有应力状态将产生破坏,此外地下水、施工水不仅使膨胀性岩石发生膨胀,而且会在岩石中产生渗透压力。油页岩与砂岩储集层不同,砂岩属于孔隙型储集层,注水后,水可以沿连通性好的孔隙进入。而油页岩呈层状,较致密,渗透性差,水很难进入,如果进水,水主要是沿裂缝进入^[14]。由于受其他巷道影响及人为工程扰动造成的裂隙发育,如果有水系进入原生及人为裂隙,引起的膨胀变形对支护结构会产生较大程度的冲击破坏。所以必须保证巷道附近原有水系及矿井排水充分,避免水体渗流或进入原岩裂隙。锚杆锚索的钻孔成为上覆岩层和油页岩之间的水流通通道,同时也使得空气通过孔隙进入岩体深部导致裂隙进一步发育,所以及时安装锚杆锚索保证平行作业对围岩封闭裂隙有重要作用。

4.2 油页岩巷道围岩控制工程实践

4.2.1 设计支护参数

巷道顶帮均采用直径 $\phi 22 \text{ mm} \times L 2\ 400 \text{ mm}$ 的 HRB335 预应力让压锚杆,顶板锚杆间排距为 $700 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$,帮锚杆间排距为 $750 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$,配合 $150 \times 150 \times 10 \text{ mm}$ 的碟形锰板托盘和高强螺母。采用 $\phi 18.9 \text{ mm} \times L 8\ 300 \text{ mm}$ 的小孔径预应力锚索补强支护,预紧力 $120 \sim 140 \text{ kN}$,间排距为 $2\ 000 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$ 。顶板和两帮均铺设 $\phi 6.5 \text{ mm}$ 钢筋焊接网,网孔尺寸为 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$,搭接长度 100 mm 、逐扣连接。钢带选用 $\phi 14 \text{ mm}$ 钢筋焊接梯子梁。设计巷道支护参数断面如图 5 所示。

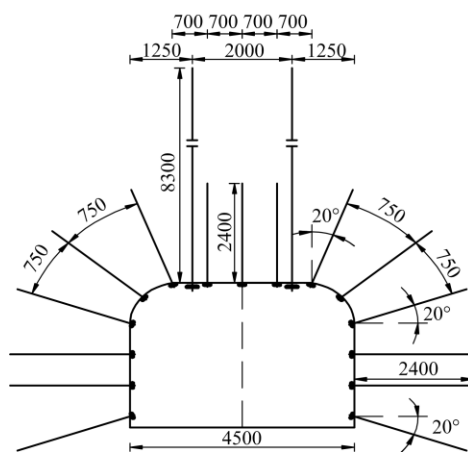


图 5 巷道支护参数 (mm)

Fig.5 Arrangement of anchor(cable) in concentration roadway

4.2.2 高强预应力让压锚杆

高强预应力让压锚杆支护是根据巷道围岩在弹性区内变形的原理实现有控让压。设计要求顶板锚杆预紧力矩不低于 $300 \text{ N} \cdot \text{m}$,两帮锚杆不低于 $200 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。让压锚杆可以实现“高强预紧、适度让压”的围岩控制技术要求。

根据对让压锚杆的让压载荷和让压距离的实时观测发现:顶板让压管的变形数量和变形程度明显大于两帮;顶板中部 3 个让压管的变形量较大,最中间的让压锚杆基本在巷道掘出的 $3 \sim 5 \text{ d}$ 内达到最大让压距离 40 mm ,让压管基本失效;两帮让压管变形量相对较小,但底板以上第 3 个让压管的变形量较大,基本在 $20 \sim 30 \text{ mm}$ 之间。由此可认为让压锚杆的让压效果比较显著,让压变形释放了围岩部分过高的变形能,较好的控制围岩松动圈、塑性圈向深部扩展,有利于围岩的稳定。

4.2.3 喷浆、注浆及时护表

喷浆、注浆可以实现“封闭裂隙,切断水源”的围岩控制技术要求。科学合理的选择封闭岩石表面的作业时机对防止油页岩长期暴露在空气中受风化、水理作用破坏,改善作业环境有积极意义。确定煤层集中运输下山喷浆厚度 100 mm ,根据需要在围岩地质条件复杂及破碎段采用高水速凝材料注浆加固。同时及时排水,防止顶板受水理作用影响。

为及时获取巷道围岩变形情况,在整个施工过程中紧随掘进头,设置均匀分布于整个集中运输下山的巷道表面位移观测站 8 处,对整条集中运输下山不同位置的巷道变形进行连续观测。选取代表性

巷道围岩变形状况分析,如图6所示。

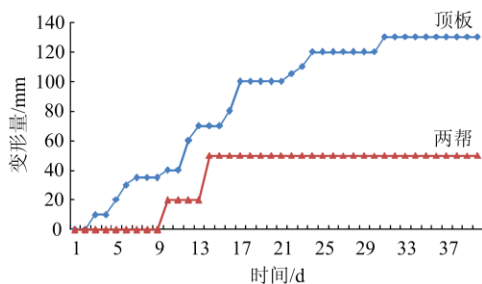


图6 煤1层集中运输下山巷道围岩变形图

Fig.6 Changing curves of deformation of surrounding rocks around roadway

由图6可知,巷道的变形得到了有效的控制,尤其对两帮变形控制作用更为显著。经过15 d,两帮移近量基本控制在50 mm以下,且不再发生明显变化并趋于稳定;巷道顶板下沉量较小,经过30 d,顶板下沉量最终稳定在130 mm以内。对巷道顶板的有效控制明显改观了整个巷道的围岩稳定性。

通过在接替工作面6113运输平巷1350 m支护实践也表明采取的围岩控制技术对油页岩巷道的稳定性控制起到了积极的作用,两帮变形量控制在40~50 mm,顶板下沉控制在100~120 mm之间。

5 结论

1) 油页岩巷道变形破坏机理在于:大量的黏土类矿物组成导致受水理、风化作用影响明显。受时间作用影响原本松散破碎的岩体在应力作用下呈现长时间的流变特性。不合理的围岩控制参数及相对滞后的支护时机选择是油页岩巷道变形失稳的直接因素。

2) 提出了油页岩巷道“高强预紧,适度让压,及时封闭,切断水源”的围岩控制思想,通过使用高强度让压锚杆配合喷浆、注浆实现,减缓了岩石流变速度,保证了巷道围岩稳定。

3) 与普通巷道支护形式下油页岩巷道出现严重变形破坏相比,本文提出的围岩控制技术具有明显的效果。现场实测表明,巷道两帮变形控制在40~50 mm,顶板下沉控制在120 mm以下,对该地层范围内陆相油页岩巷道支护提供有效途径。

参考文献:

[1] 辛存林,孙柏年,韦利杰,等.甘肃窑街中侏罗世孢粉组合及其古环境意义[J].兰州大学学报,2006(3): 8-12.

XIN Cun-lin, SUN Bai-nian, WEI Li-jie, et al. Sporopollen assemblage of the middle Jurassic period from Yaojie, Gansu and its paleoenvironmental significance [J]. Journal of Lanzhou University, 2006(3): 8-12.

[2] 宋玉勤,郭巍,刘招君,等.民和盆地窑街煤田油页岩沉积环境分析及开发前景预测[J].世界地质,2006,25(1): 44-48.

SONG Yu-qin, GUO Wei, LIU Zhao-jun, et al. Sedimentary environmental analysis and exploration perspective forecasting of oil shale in Yaojie coal field, Minhe basin [J]. Global Geology, 2006, 25(1): 44-48.

[3] 蔡春芳,彭德堂,高振中.民和盆地中下侏罗统沉积相分析[J].青海地质,1997,31(2): 14-21.

CAI Chun-fang, PENG De-tang, GAO Zheng-zhong. Analysis of sedimentary facies of middle lower Jurassic system in Minhe basin [J]. Qinghai Geology, 1997, 31(2): 14-21.

[4] 陈启林,李相博,汤桦.民和盆地侏罗系沉积演化特征及勘探潜力[J].甘肃地质学报,2005,14(1): 65-70.

CHEN Qi-lin, LI Xiang-bo, TANG Hua. Sedimentary evolution and prospecting potential of Jurassic in Minhe basin, west China[J]. Acta Geologica Gansu, 2005, 14(1): 65-70.

[5] 王俊光,梁冰.油页岩地下开采巷道围岩的流变特性及工程应用[J].防灾减灾工程学报,2010,30(6): 685-690.

WANG Jun-guang, LIANG Bing. Rheological properties of surrounding rock of tunnel for underground mining of oil shale and their engineering application [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2010, 30(6): 685-690.

[6] 游君君,叶松青,刘招君,等.油页岩的综合开发与利用[J].世界地质,2004,23(3): 261-265.

YOU Jun-jun, YE Song-qing, LIU Zhao-jun, et al. Comprehensive development and utilization of oil shale [J]. Global Geology, 2004, 23(3): 261-265.

[7] 姚强岭,李学华,瞿群迪,等.泥岩顶板巷道遇水冒顶机理与支护对策分析[J].采矿与安全工程学报,2011,28(1): 28-33.

YAO Qiang-ling, LI Xue-hua, QU Qun-di, et al. Supporting countermeasures and roof falling mechanism reacting with water in mudstone roof roadway [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28(1): 28-33.

[8] 赵隆业,陈基娘,王天顺.关于中国油页岩的工业成因分类 [J].煤田地质与勘探,1991,19(5): 2-5.

ZHAO Long-ye, CHEN Ji-niang, WANG Tian-shun.

- Industrial-genetic-types about China oil shale [J]. Coal Geology & Exploration, 1991, 19(5): 2-5.
- [9] 何红梅, 徐德平, 张香兰. 油页岩的开发与利用[J]. 洁净煤技术, 2002, 8(2): 44-47.
HE Hong-mei, XU De-ping, ZHANG Xiang-lan. Development and utilization of oil shale[J]. The Techniques of Coal Cleaning, 2002, 8(2): 44-47.
- [10] 万志军, 周楚良, 马文顶, 等. 巷道/隧道围岩非线性流变数学力学模型及其初步应用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24 (6): 761-767.
WAN Zhi-jun, ZHOU Chu-liang, MA Wen-ding, et al. Nonlinear rheological mathematical-mechanical model of surrounding rock deformation of roadways of tunnels and its preliminary application[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(6): 761-767.
- [11] 刘波, 韩延辉. Flac 原理、实例与应用指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [12] 柏建彪, 王襄禹, 姚喆. 高应力软岩巷道耦合支护研究[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(4): 421-425.
BAI Jian-biao, WANG Xiang-yu, YAO Zhe. Study of coupling support in soft rock roadway under high stress [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 36(4): 421-425.
- [13] 张科学. 深部煤层群沿空掘巷护巷煤柱合理宽度的确定[J]. 煤炭学报, 2011, 36(增刊): 28-35.
ZHANG Ke-xue. Determining the reasonable width of chain pillar of deep coal seams roadway driving along next goaf [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(Supp): 28-35.
- [14] 陈明东, 史宇亮, 董良杰. 油页岩热裂解产物页岩油的相关性质分析[J]. 矿产综合利用, 2006, 31(2): 31-33.
CHEN Min-dong, SHI Yu-liang, DONG Liang-jie. The analysis of the correlative properties of shale oil produced during instant pyrolysis of the oil shale[J]. Multi-purpose Utilization of Mineral Resource, 2006, 31(2): 31-33.

《采矿与安全工程学报》入编 2011 版《中文核心期刊要目总览》

日前, 本刊编辑部收到北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览》2011 年版编委会的入编通知, “依据文献计量学的原理和方法, 经研究人员对相关文献的检索、统计和分析, 贵刊《采矿与安全工程学报》入编《中文核心期刊要目总览》2011 年版(即第六版)之矿业工程类核心期刊”。

《采矿与安全工程学报》是由中国矿业大学和中国煤炭工业劳动保护科学技术学会联合主办的一级学术期刊, 原名《矿山压力与顶板管理》。本刊为江苏省一级期刊, 《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊, 《中国科技论文在线》优秀期刊, 中国高校优秀科技期刊, 美国《工程索引》(Ei Compendex) 收录期刊, 中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊), 中国学术期刊综合评价数据库来源期刊, 被中国期刊网, 中国学术期刊《光盘版》, Ulrich, 矿业文摘, 中国学术期刊文摘等国内外多家数据库或文摘收录。