

榆神矿区保水采煤工程地质条件分区研究

邓念东¹, 杨佩¹, 林平选², 李锋³, 雷少毅⁴, 马逢清¹, 周阳³, 袁喜东¹

(1. 西安科技大学地质与环境学院, 陕西西安 710054; 2. 陕西省地质调查院, 陕西西安 710065;
3. 陕西省地质调查中心, 陕西西安 710068; 4. 陕西省一八五煤田地质有限公司, 陕西榆林 719000)

摘要:为有效地解决榆神矿区日益凸显的煤炭资源开采与脆弱的生态环境之间的矛盾,以榆神矿区区域地质资料为依据,选取了平面上均匀分布的 500 多个钻孔,统计了每个钻孔的首采煤层及其上覆盖、隔水层组合类型,同时考虑区域保水采煤已有研究中研究较少的洛河组含水层,并将其作为保水对象,结合区域首采煤层及含、隔水层赋存特征,按照“区内相似,区际相异”、“为保水采煤服务”等原则进行了榆神矿区保水采煤工程地质条件分区,最终将榆神矿区保水采煤工程地质条件分为 5 个区:沙-土-洛-基型保水开采区、沙-土-基型保水开采区、沙-基型保水开采区、无水开采区、烧变岩型保水开采区,在此基础上,分析每个分区保水采煤的意义、可能性及难度,旨在促进保水采煤技术的发展,实现榆神矿区“煤-水”双资源型矿井的科学开采。

关键词:榆神矿区;保水采煤;工程地质条件分区;洛河组含水层

中图分类号:TD82

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2017)09-0167-08

Study on zone chart of engineering geological conditions of protected water resources during coal mining in Yushen Mining Area

DENG Niandong¹, YANG Pei¹, LIN Pingxuan², LI Feng³, LEI Shaoyi⁴, MA Fengqing¹, ZHOU Yang³, YUAN Xidong¹

(1. College of Geology & Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an 710065, China; 3. Shaanxi Center of Geological Survey, Xi'an 710068, China;
4. No.185 Exploration Team, Shaanxi Bureau of Coal Geological Exploration, Yulin 719000, China)

Abstract: In order to effectively solve the contradiction between the increasingly prominent coal resource exploitation and the fragile ecological environment, based on regional geological data of Yushen Mining Area, the paper selected more than 500 drills distributed on the whole mining area uniformly, counted every drill's first coal seam and combination of aquifer and aquifuge, meanwhile, it considered Luohe group that were considered seldomly on the existing results, and seen Luohe Group water as protected object, combined with occurrence characteristics of first coal seam, aquifers as well as aquifuge, and then, it adopted the principles of "similar within district and different out district" and "serve for protecting water resources during coal mining action" to zone the engineering geological conditions of protected water resources during coal mining action, finally, the Yushen Mining Area's engineering geological condition are divided into five types, sand-clay-luo-bedrock water mining area, sand-clay-bedrock water mining area, sand-bedrock water mining area, no water mining area and burnt rock area. On this basis, the authors discussed every type's possibility and difficulties for protected water resources during coal mining action. This paper aimed at promoting the development of protected water resources during coal mining action, realized the scientific exploitation of "coal-water" dual-resource mining in Yushen Mining Area.

Key words: Yushen Mining Area; coal mining under water-containing; zone chart of engineering geological condition; Luohe Group

收稿日期: 2017-02-10; 责任编辑: 杨正凯 DOI: 10.13199/j.cnki.est.2017.09.028

基金项目: 陕西省公益性地质调查资助项目(公益[2016]04-02号)

作者简介: 邓念东(1976—), 男, 湖南衡阳人, 副教授, 博士, 现任西安科技大学地质与环境学院地质工程系主任。通讯作者: 杨佩, Tel: 15249094970, E-mail: 1399438529@qq.com

引用格式: 邓念东, 杨佩, 林平选, 等. 榆神矿区保水采煤工程地质条件分区研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(9): 167-174, 200.

DENG Niandong, YANG Pei, LIN Pingxuan, et al. Study on zone chart of engineering geological conditions of protected water resources during coal mining in Yushen Mining Area[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(9): 167-174, 200.

0 引言

榆神矿区位于陕北侏罗纪煤田中部,该区地质条件简单,煤炭资源储量丰富,煤质优良,是国家确定重点建设的14个大型煤炭基地中陕北基地的重要组成部分。但是不容忽视的是,榆神矿区位于毛乌素沙漠的边缘地带,区内水资源较为贫乏,生态环境脆弱且区域内涉及较多环境敏感保护目标^[1]。榆神矿区地下水具有供水意义的含水层有砂层含水层、洛河组含水层及烧变岩地下水。煤炭开发是否会对地下水资源造成不利影响已经成为能否实现矿区大规模开发的焦点,因此,如何在煤炭开采的同时,最大限度地保护水资源、保护生态环境是关乎矿区经济可持续发展的关键,有必要在煤炭大规模开采前进行深入系统地研究,为矿区合理地开采规划和设计提供宏观决策依据。研究表明,要在开采煤炭资源的同时保护榆神矿区的水资源首先要查明矿区煤层的空间赋存特征及其与含(隔)水层的关系,再根据开采形成的导水裂隙带的发育规律与所采煤层上覆基岩的关系,规划开发区域、选择合理的采煤方法^[2-6]。目前已有的榆神矿区保水采煤的相关工程地质条件研究中,均未涉及洛河组含水层。但洛河组含水层富水性较好,应作为采煤过程中重点保护的含水层之一。笔者筛选出了平面上均匀分布的500多个钻孔数据,绘制首采煤层等厚线图、含(隔)水层等厚线等图件,最终将榆神矿区首采煤层上覆基岩组合类型分为4个大类,在此基础上论述每一种分区的保水意义及可能性,以期为区域性的煤炭开发规划及保水采煤方法研究提供依据。

1 研究区地质条件

榆神矿区地处中纬度地区的中温带,矿区水系自东向西分属黄河一级支流的窟野河、秃尾河及黄河二级支流的榆溪河流域,同时区内湖泊、海子、水库较多。矿区总地势西北高、按地貌单元的形态成因将榆神矿区划分为黄土丘陵梁峁区、沙漠滩地区、河谷区三大地貌类型。区内无岩浆活动,未发现大的断层,仅发现一些小规模断层。

2 煤层与含(隔)水层

2.1 煤层

榆神矿区含煤地层为延安组,首采 1^{-2} 、 2^{-2} 、 3^{-1} 、

4^{-2} 、 5^{-2} 煤层。 2^{-2} 煤层全区分布,是矿区最主要的可采煤层,目前的生产矿井均开采 2^{-2} 煤层。近年来随着产量和开采强度的不断增加,首采煤层的开发利用带来一系列地质环境问题,其中水资源的破坏问题最为明显,煤炭开采产生的垮落带、裂隙带如果发育到含水层底部则会导致地下水位大幅度下降甚至疏干地下水,因此首采煤层是保水采煤研究的重点,首采 2^{-2} 煤层分布及等厚线如图1所示。区内煤层埋深总体特征为东浅西深,首采煤层埋深为10~700 m。首采煤层底板标高整体呈现出东高西低的规律,变化梯度小且均匀,首采煤层底板标高为+500—+1 200 m。

2.2 含(隔)水层

榆神矿区内主要的供水含水层包括第四系全新统风积沙含水层以及第四系上更新统萨拉乌苏组含水层组、洛河组含水层以及烧变岩组;隔水层主要包括中更新统离石组黄土层及新近系上新统红土层,且二者共同组成黏土隔水层;首采煤层上覆基岩可视为相对隔水层。

2.2.1 含水层

榆神矿区内对保水采煤有意义的地下水主要赋存于萨拉乌苏组与上覆风积沙组成的砂层含水层、洛河组含水层以及烧变岩中。

萨拉乌苏组与上覆风积沙总厚度0~162 m不等,水位埋深多在10 m以内,砂层组厚度等值线如图2所示。总体来讲,从西南到东北,砂层组厚度逐渐变薄,岩性以粉、细、中砂为主,夹杂亚砂土,局部夹杂淤泥或者炭质层透镜体,属于一套冲湖相沉积层,分选性差、较疏松,孔隙度较高。萨拉乌苏组含水层的分布及沉积厚度、以及含水层结构严格受现代地形地貌、古地理环境的制约,受现代河流切割、侵蚀的影响,不同地段的赋水条件及富水性差异显著。

萨拉乌苏组含水层主要分布于古沟槽或者盆地中,地势低洼或平坦,主要接受大气降水的直接补给。在地形、地貌条件控制下,地下水天然流场由地形较高处向沟谷径流,而后流至河谷,流向与地形坡向一致并且具有多向性。以下降泉或者渗流形式排泄至沟谷和河流。

洛河组含水层主要分布在矿区的西部,厚度为0~316.35 m,一般47.03 m。洛河组的厚度变化较大,总体变化趋势为西部较厚,向东受到新生界剥蚀

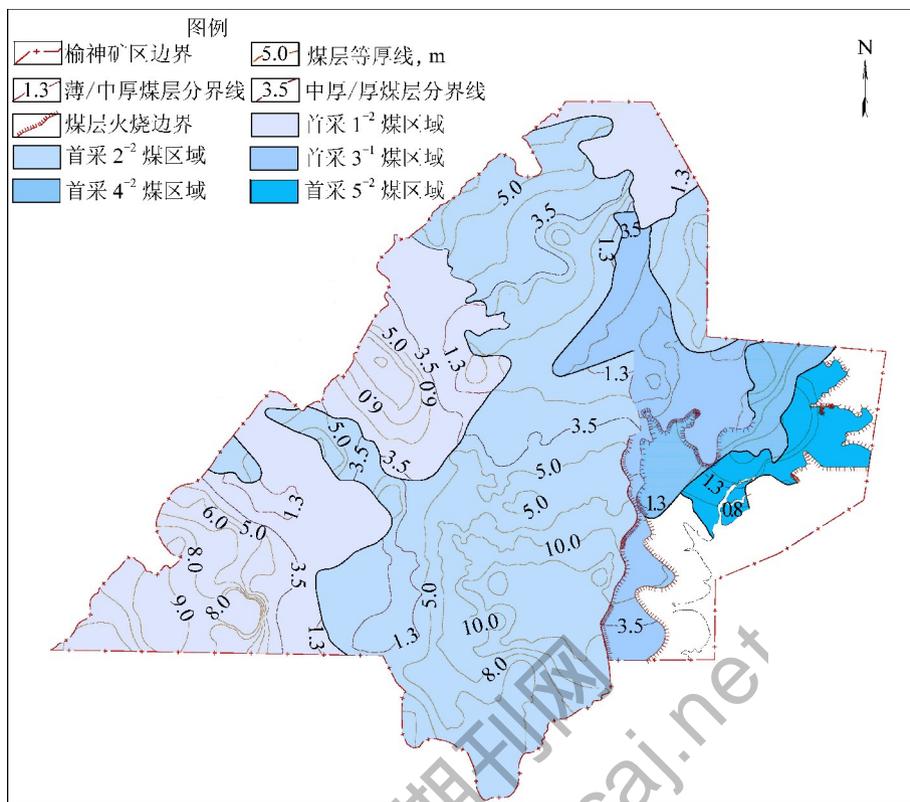


图1 首采煤层分布及等厚线

Fig. 1 Distribution and isogram of initial mining coal seam

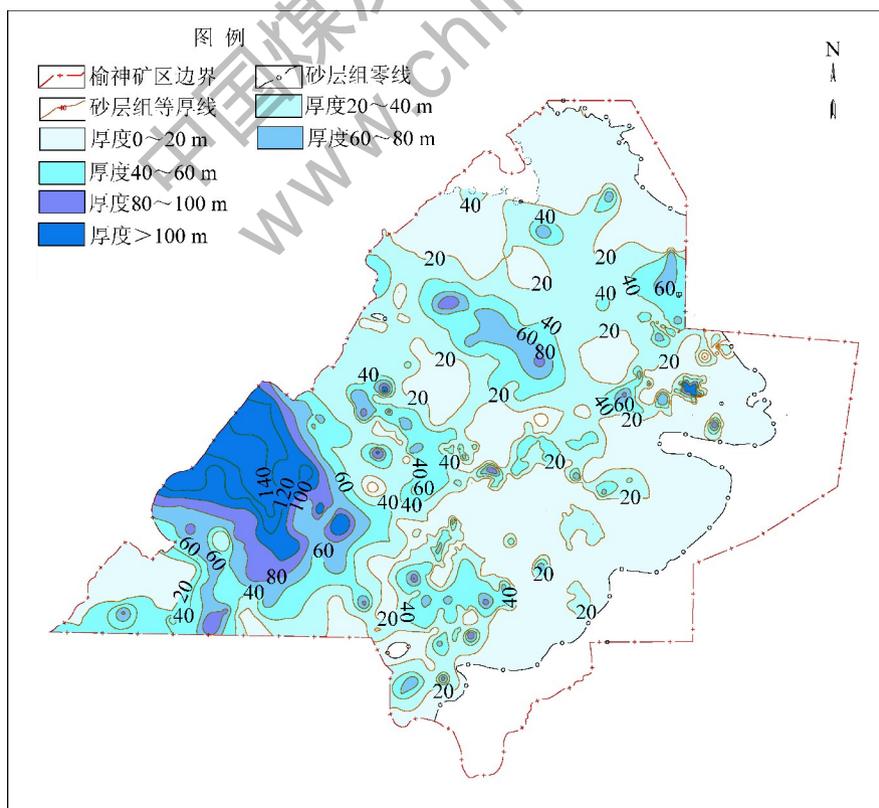


图2 砂层组等厚线

Fig. 2 Isogram of sand layer

变薄(图3)。洛河组岩性为一套紫红色、棕红色巨厚层状中粒、粗粒石英砂岩,分选好,磨圆度较差。地下水表现为潜水至承压水性质,在其露头区及厚度薄、埋藏浅的区域表现为潜水,厚度大,上覆盖层厚度大,埋藏深的地区则表现为承压水,富水性弱—中等。

烧变岩含水层主要分布于矿区南部沟谷两侧,呈条带状分布,主要是由 2^{-2} 、 3^{-1} 煤层自燃形成(图3)。烧变岩岩体为碎裂结构,烧变变质程度由自燃煤层向上递减,影响厚度30~50 m。烧变岩裂隙孔洞非常发育,具有较大且畅通的储水空间,属于富水性较强的含水层,主要接受砂层含水层补给,以下降泉的形式排泄。烧变岩地下水水质类型为 HCO_3^-

Ca型,矿化度小于0.5 g/L,泉口水温11~12℃,具有良好的供水意义及生态价值,因此烧变岩含水层也是保水采煤主要的保护对象之一^[7-8]。

榆神矿区含水层分布特点是砂层含水层基本全区分布,分布区域内,砂层分布连续且厚度较大;砂层越厚,富水性越强;洛河组含水层分布在矿区最西部,从东到西逐渐增厚;烧变岩带连续性较好,富水性强^[9-11]。

总体来看,除了矿区最东部没有含水层赋存的区域外,榆神矿区其他区域均有保水意义,矿区最西部既有砂层含水层又有洛河组含水层存在的区域保水意义最大。

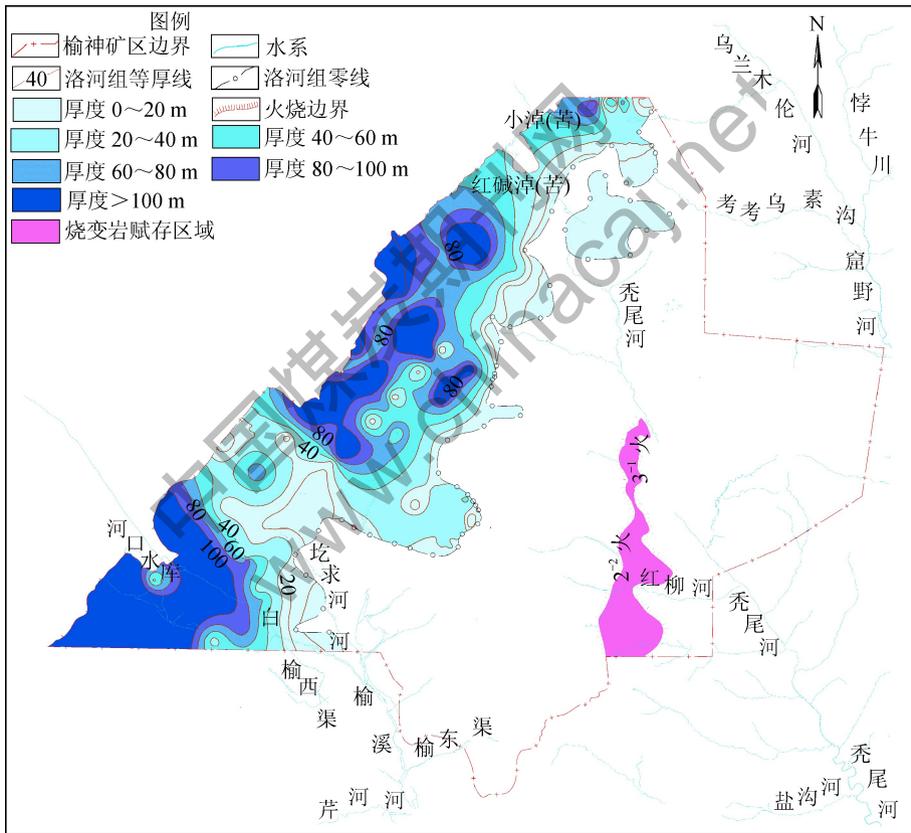


图3 榆神矿区洛河组等厚线及烧变岩

Fig. 3 Isopach and burnt rock of Luohe Group of Yushen Mining Area

2.2.2 隔水层

榆神矿区的隔水层主要是由离石组的黄土和三趾马红土共同组成的黏土隔水层,是砂层含水层的直接隔水底板。离石组黄土在矿区内分布不连续,主要分布在矿区的中东部,岩性主要为浅棕色、褐色亚黏土及亚砂土,夹多层薄层古土壤及钙质结核层,属于弱—较强隔水层;保德组红土主要分布在矿区

的中部,岩性主要为浅红色、棕红色黏土以及亚黏土,颗粒细小致密,多处于可塑—硬塑,具有较强的隔水性。

离石组黄土与三趾马红土共同组成的区内的隔水黏土层是砂层含水层的直接隔水底板,隔水黏土层的连续性、厚度、天然及采动后的渗透系数变化等性质对实现保护砂层含水层意义很大。黏土隔水层

等厚线图如图4所示。从以往试验成果可以得出如下结论:榆神矿区的离石组黄土和保德组红土组成的黏土隔水层在天然条件下是良好的隔水层,煤层

开采对其渗透系数没有明显的影响,采后亦可起到良好的隔水作用^[12-13]。

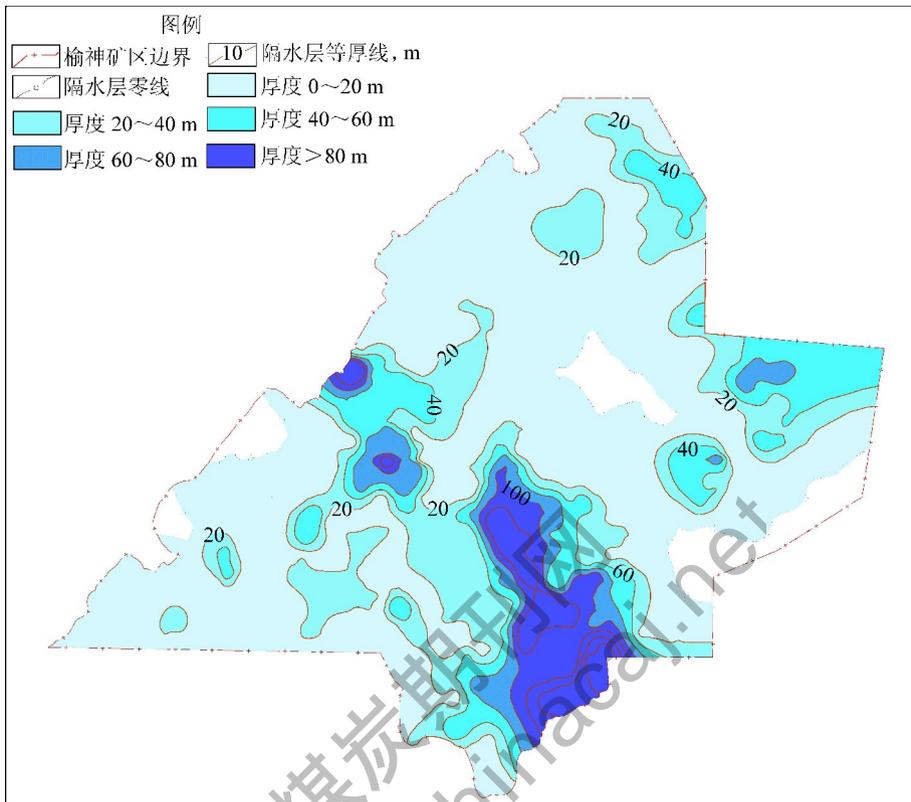


图4 黏土隔水层等厚线

Fig. 4 Isogram of clay aquiclude thickness

2.3 首采煤层上覆基岩赋存特征

首采煤层上覆基岩主要由安定组(J_2^1)和直罗组(J_2^2)组成。榆神矿区首采煤层上覆基岩等厚线图如图5所示,基岩厚度总体变化趋势为由东向西逐渐变厚,在矿区东南部秃尾河以东地区最薄。基岩顶面形态为一古剥蚀面,且基岩顶面形态控制了萨拉乌苏组的沉积厚度,形成了基岩厚度变薄区与富水区相重叠的特点。

根据钻探、物探资料揭露,区内基岩顶部普遍存在厚度为20 m左右的风化带,风化后的基岩矿物成分发生了改变,黏土矿物含量增加,化学风化溶解了岩石中的可溶物质,使岩石矿物发生了分解破坏,生成高岭石、蒙脱石、伊利石等次生矿物,改变了岩石的物理性质和水理性质,黏土矿物含量增加。一方面由于风化残余物的充填和黏土化,使得风化带的裂隙通道阻塞;另一方面,根据区内抽水资料,风化带的渗透系数较小,导水系数小于1 m/d;基岩风化带富水性极差,渗透能力微弱,具有良好的隔水性

能。综上,将区内基岩层视为相对隔水层。

由于洛河组含水层直接赋存于基岩之上,黏土隔水层之下,黏土隔水层起不到保护洛河组含水层的作用,因此,在矿区西部有洛河组赋存的区域,采煤是否会破坏洛河组地下水,直接取决于采煤产生的导水裂隙带高度与首采煤层上覆基岩厚度的关系。

3 保水采煤工程地质条件分区

选取全区均匀分布的500多个钻孔,统计每一个钻孔的 2^{-2} 煤层及其覆岩组合形式,组成榆神矿区 2^{-2} 煤层覆岩的含、隔水层:①砂层含水层:包括萨拉乌苏组及风积沙;②土层隔水层:主要包括离石组黄土及保德组红土;③基岩:主要包括侏罗系中统安定组、直罗组及延安组地层,本次分区将基岩组按照相对隔水层对待;④烧变岩:由于煤层自燃使得上覆围岩受到烘烤、火烧形成的一类特殊岩石。区内煤层与含(隔)水层总体组合特征表现为:煤水共生,水在上,煤在下,厚基岩,薄砂土^[14-18]。

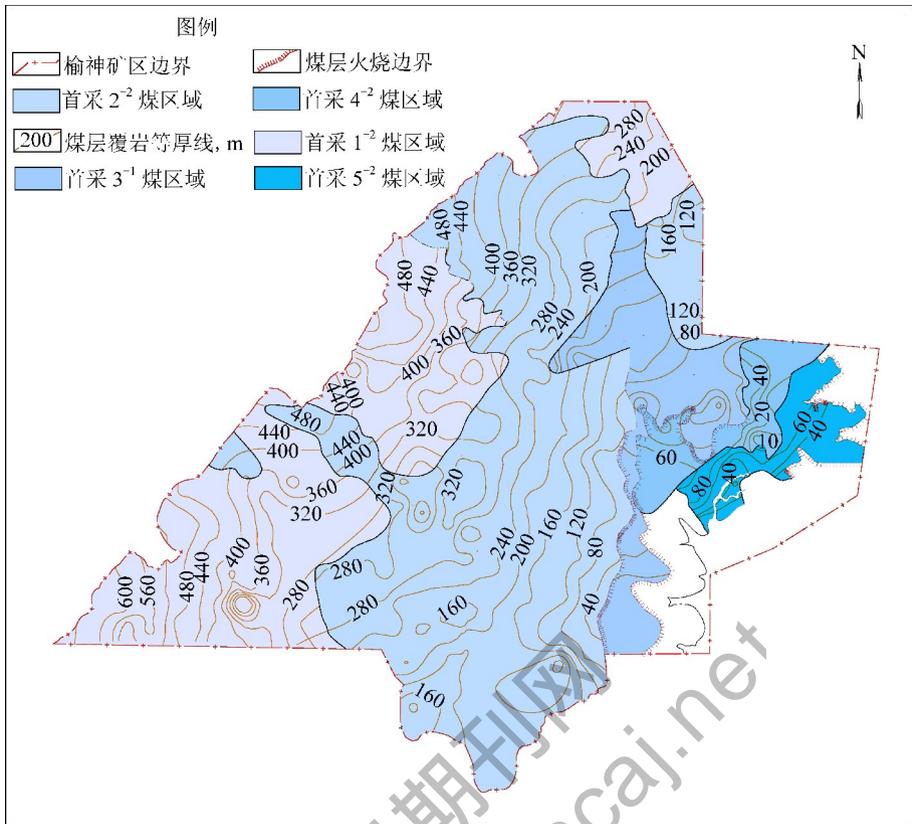


图5 首采煤层上覆基岩等厚线图

Fig. 5 Isopach initial mining coal seam overlying rock thickness

榆神矿区地下水主要赋存于首采煤层上部的萨拉乌苏组与上覆风积沙组成的同一含水层、洛河组含水层以及烧变岩中。含水层均位于煤层之上,隔水层分布不连续,且厚度变化大,煤层与含水层之间的基岩厚度变化大,岩性变化小,且以砂岩、粉砂岩及少量泥岩互层为主,基岩相对隔水层与土层隔水层一起组成了复合隔水岩组,煤层开采对水资源的影响程度主要受煤层与含水层之间的隔水岩土层及基岩的厚度、工程地质特征等的影响^[6,16-18]。

本着“区内相似,区际相异”及为“保水采煤”服务的原则,将榆神矿区保水采煤工程地质条件分为5个区(图6),各个分区及其保水意义及实现保水开采的可能性分述如下:

1)沙-土-洛-基型保水开采区(I):同时有洛河组含水层、砂层含水层、烧变岩含水层以及黏土隔水层分布的区域,I类主要分布在榆神矿区的中西部。这种情况是区内保水意义最大,但有一定保水难度。砂层含水层直接赋存于黏土隔水层之上,采煤对黏土隔水层的隔水性能影响微弱,实现保护砂层含水层比较容易且可行;洛河组含水层则赋存于基岩之上,黏土隔水层之下,黏土隔水层对洛河组

含水层起不到保护作用,如果首采煤层上覆基岩厚度比较大,采煤产生的导水裂隙带发育不到洛河组含水层,则可达到保护洛河组含水层的目的,反之则会沟通洛河组含水层,破坏洛河组地下水。综上,I类区域比较容易实现保护砂层含水层,实现保护洛河组含水层则比较困难。

2)沙-土-基型保水开采区(II):含水层只有砂层含水层,且同时存在黏土隔水层的区域,II类主要分布在榆神矿区的中部。虽然II类区域中对保水有意义的只有砂层含水层,但由于其砂层含水层直接赋存于黏土隔水层之上,因此II类区域保水采煤是可行且比较容易的。

3)沙-基型保水开采区(III):只有砂层含水层没有黏土隔水层或者洛河组含水层的情况,III类区域主要分布在矿区的西南角及中部区域。这种情况下,虽然III类区域与II类区域具有保水意义的含水层都只有一层,但是由于含水层直接赋存于基岩之上,因此实现保水具有一定的难度,如果采煤产生的导水裂隙带高度比较大,则会导通基岩上覆砂层或者洛河组含水层,可能发生突水溃沙灾害^[19-20],对保护含水层特别不利。

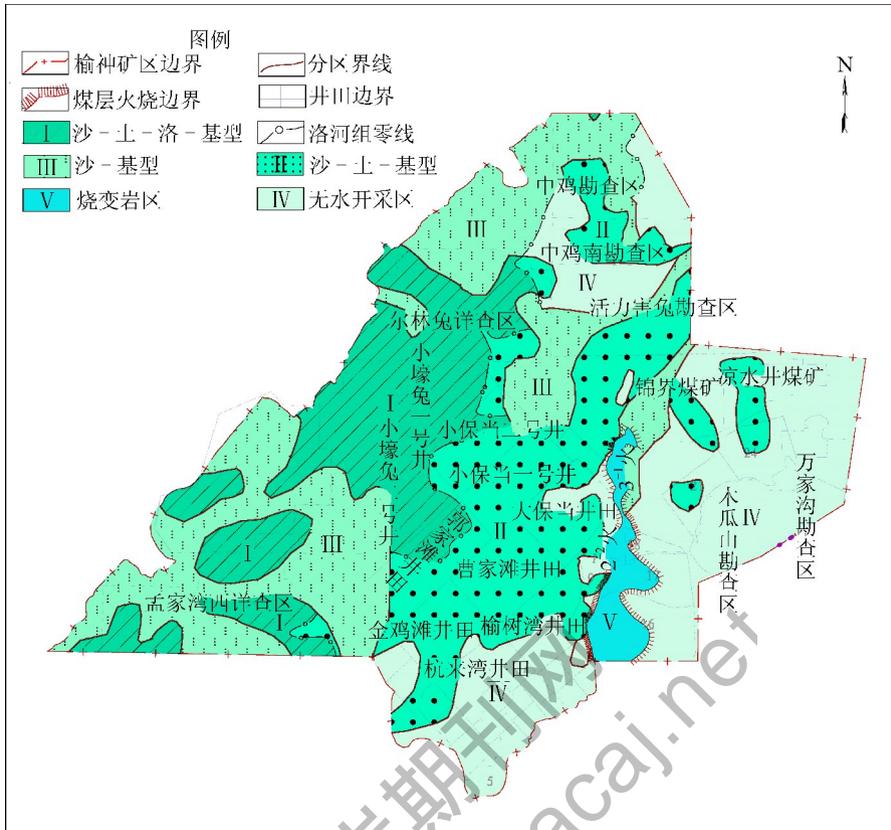


图6 榆神矿区保水采煤工程地质条件分区

Fig. 6 Zone chart of Yushen mining area's engineering geological conditions of protected water resources during coal mining action

4) 无水开采区(IV):没有含水层存在也就没有保水意义的区域,属于无水采煤区,主要分布在矿区的东部,对于IV类区域,虽然采煤对地下水资源的影响比较小,但是应该在考虑矿区实际情况的基础上,因地制宜,合理地进行开发规划,实现煤炭的科学、绿色开采^[21-22]。

5) 烧变岩型保水开采区(V):烧变岩区由2⁻²、3⁻¹煤层自然形成,主要分布在矿区南部沟谷两侧,烧变岩含水层赋存区域黏土隔水层厚度都比较大,因此保护烧变岩地下水相对也比较容易。

综上所述,沙-土-洛-基型保水开采区砂层含水层直接赋存于黏土隔水层之上,保护砂层含水层相对比较容易,但洛河组含水层直接赋存于基岩之上,区内基岩虽为相对隔水层,隔水性能远不如黏土隔水层,因此保护洛河组含水层相对较难;沙-土-基型保水开采区能够比较容易地实现保护区内唯一的砂层含水层;沙-基型保水开采区对保护砂层含水层不利;烧变岩型保水开采区中烧变岩含水层赋存于较厚的黏土层之上,对保护烧变岩含水层极为有利。由此可知,在保水采煤意义方面: I > III > II > V

V,在保水采煤难度方面: III > II > I > V, IV区域没有保水采煤意义。

4 结 论

1) 榆神矿区内目前主采煤层有1⁻²、2⁻²、3⁻¹、4⁻²、5⁻²煤层;砂层含水层基本全区分布,分布区域内,砂层分布连续且厚度较大,洛河组含水层分布在矿区最西部,从东到西逐渐增厚,烧变岩带连续性较好,富水性强;离石组黄土层和保德组红土层组成的黏土隔水层无论是天然状态还是采动后都是其上覆盖含水层的良好隔水层,对保水采煤具有重要的意义。

2) 根据煤层上覆砂层含水层、黏土隔水层、洛河组含水层、烧变岩含水层及基岩层的空间分布及组合形态,综合考虑采煤的同时保护水资源水的意义及难度,最终将榆神矿区保水采煤工程地质条件分为五个区:沙-土-洛-基型保水开采区(I)、沙-土-基型保水开采区(II)、沙-基型保水开采区(III)、无水开采区(IV)、烧变岩型保水开采区(V)。在保水采煤意义方面: I > III > II > V,在保水采煤难度方面: III > II > I > V, IV区域没有保水采煤

意义。

3) 研究区垂向上煤炭-生态-水资源的特点为:煤在下,生态环境在上,水在中间,研究区首采 1^{-2} 、 2^{-2} 煤层区域上覆含水层主要有萨拉乌苏组及洛河组含水层,首采 3^{-1} 、 4^{-2} 煤层区域上覆含水层只有萨拉乌苏组含水层,因此开采不同的煤层难度不同,应该针对性地采取不同的保水措施。

参考文献(References):

- [1] 王双明,黄庆享,范立民.生态脆弱区煤炭开发与生态水位保护[M].北京:科学出版社,2010.
- [2] 范立民,仵拨云,向茂西,等.我国西部保水采煤区受保护烧变岩含水层研究[J].煤炭科学技术,2016,44(8):1-6.
FAN Limin, WU Boyun, XIANG Maoxi, *et al.* Study on protective burnt rock aquifer in water preserved coal mining area of western China[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(8): 1-6.
- [3] 范立民.论保水采煤问题[J].煤田地质与勘探,2005,33(5):50-53.
FAN Limin. Discussing on coal mining under water-containing condition[J]. Coal Geology & Exploration, 2005, 33(5): 50-53.
- [4] 范立民,马德雄,冀瑞君.西部生态脆弱区保水采煤研究与实践进展[J].煤炭学报,2015,40(8):1711-1717.
Fan Limin, Ma Xiongde, Ji Ruijun. Progress in engineering practice of water-preserved coal mining in western eco-environment fragile area[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(8): 1711-1717.
- [5] 李文平,叶贵钧.陕北榆神府矿区保水采煤工程地质条件研究[J].煤炭学报,2000,25(5):449-454.
LI Wenping, YE Guijun. Study on the engineering geological conditions of protected water resources during coal mining action in Yu-Shen-Fu Mine Area in the North Shaanxi Province[J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(5): 449-454.
- [6] 范立民,蒋泽泉.榆神矿区保水采煤的工程地质背景[J].煤田地质与勘探,2004,32(5):32-35.
FAN Limin, JIANG Zequan. Engineering geologic background of coal mining under water-containing condition in Yushen coal mining area[J]. Coal Geology & Exploration, 2004, 32(5): 32-35.
- [7] 范立民.陕北地区采煤造成的地下水渗漏及其防治对策分析[J].矿业安全与环保,2007,34(5):62-64.
FAN Limin. Underground Water Seepage Caused by Coal Mining and Its Prevention and Control Measures in North Shaanxi Region[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2007, 34(5): 62-64.
- [8] 范立民,蒋泽泉.烧变岩地下水的形成及保水采煤新思路[J].煤炭工程,2006(4):40-41.
FAN Limin, JIANG Zequan. Groundwater formation and new ideas for water coal mining of burnt rocks[J]. Coal Engineering, 2006(4): 40-41.
- [9] 王 佟,蒋泽泉.榆神矿区矿井水文地质条件分类研究[J].中国煤炭地质,2011,23(1):21-24.

- WANG Tong, JIANG Zequan. Yulin-Shenmu-Fugu Mining Area Mine Hydrogeological Condition Categorizing[J]. Coal Geology of China, 2011, 23(1): 21-24.
- [10] 范立民,蒋泽泉.榆神矿区资源赋存特征及保水采煤问题探讨[J].西部探矿工程,2003,15(1):73-74.
FAN Limin, JIANG Zequan. Study on Hosting Pattern of Resources and coal mining method with water protection for Yushen coal mine area[J]. West-China Exploration Engineering, 2003, 15(1): 73-74.
- [11] 范立民,蒋泽泉,许开仓.榆神矿区强松散含水层下采煤隔水岩组特性的研究[J].中国煤田地质,2003,15(4):25-26,30.
FAN Limin, JIANG Zequan, XU Kaicang. Research on coal mining under competent loose aquifer and properties of aquiclude in Yushen mining area[J]. Coal Geology of China, 2003, 15(4): 25-26, 30.
- [12] 韩树青,范立民,杨保国.开发陕北侏罗纪煤田几个水文地质工程地质问题分析[J].中国煤田地质,1992,4(1):49-52.
HAN Shuqing, FAN Limin, YANG Baoguo. Some hydrogeological and engineering geological problems concerning development of North Shaanxi Jurassic Coalfield[J]. Coal Geology of China, 1992, 4(1): 49-52.
- [13] 范立民.生态脆弱区保水采煤研究新进展[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2011,30(5):668-671.
FAN Limin. Development of coal mining method with water protection in fragile ecological region[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2011, 30(5): 668-671.
- [14] 王 力,卫三平,王全九.榆神府煤田开采对地下水和植被的影响[J].煤炭学报,2008,33(12):1408-1414.
WANG Li, WEI Sanping, WANG Quanjiu. Effect of coal exploitation on groundwater and vegetation in the Yushenfu Coal Mine[J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33(12): 1408-1414.
- [15] 师本强,侯志杰.陕北榆神府矿区保水采煤方法研究[J].煤炭工程,2006(1):63-65.
SHI Benqiang, HOU Zhongjie. Research on coal mining method with water conservation in Yushenfu Mining Area[J]. Coal Engineering, 2006(1): 63-65.
- [16] 王双明,黄庆享,范立民,等.西生态脆弱矿区(隔)水层特征及保水开采分区研究[J].煤炭学报,2010,35(1):7-14.
WANG Shuangming, HUANG Qingxiang, FAN Limin, *et al.* Study on overburden aquiclude and water protection mining regionalization in the ecological fragile mining area[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(1): 7-14.
- [17] 叶贵钧,张 莱,李文平,等.陕北榆神府矿区煤炭资源开发主要水工环问题及防治对策[J].工程地质学报,2000,8(4):446-455.
YE Guijun, ZHANG Lai, LI Wenping, *et al.* The main hydro-engineering-environmental-geological problems arose from the exploitation of coal resource in Yu-Shen-Fu Mine Area of Northern Shaanxi and their prevention measures[J]. Journal of Engineering (下转第200页)

- Evaluation and Development, 2012, 2(5): 78-82.
- [12] 陈振宏, 王一兵, 杨焦生, 等. 影响煤层气产量的关键因素分析: 以沁水盆地南部樊庄区块为例[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 409-412.
CHEN Zhenhong, WANG Yibing, YANG Jiaosheng. Influencing factors on coalbed methane production of single well; a case of Fanzhuang Block in the south part of Qinshui Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(3): 409-412.
- [13] 李五忠, 田文广, 陈刚, 等. 不同煤阶煤层气选区评价参数的研究与应用[J]. 天然气工业, 2010, 30(6): 45-48.
LI Wuzhong, TIAN Wenguang, CHEN Gang. Research and application of appraisal variables for the prioritizing of coalbed methane areas featured by different coal ranks[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(6): 45-48.
- [14] 张宝生, 彭贤强, 罗东坤. 中国煤层气目标区综合评价与优选研究[J]. 资源科学, 2009, 31(4): 681-686.
ZHANG Baosheng, PENG Xianqiang, LUO Dongkun. Research on comprehensive evaluation and ranking of China's coalbed methane perspectives[J]. Resources Science, 2009, 31(4): 681-686.
- [15] 李贵红. 鄂尔多斯盆地东缘煤层气有利区块优选[J]. 煤田地质与勘探, 2015, 43(2): 28-32.
LI Guihong. Selection of the favorable coalbed methane blocks in eastern Ordos Basin[J]. Coal Geology & Exploration, 2015, 43(2): 28-32.
- [16] 罗金辉, 杨永国, 秦勇, 等. 基于组合权重的煤层气有利区块模糊优选[J]. 煤炭学报, 2012, 37(2): 242-246.
LUO Jinhui, YANG Yongguo, QIN Yong. Fuzzy optimization for CBM favorable targets based on combined weights[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(2): 242-246.
- [17] 吕玉民, 汤达祯, 许浩, 等. 沁南盆地樊庄煤层气田早期生产特征及主控因素[J]. 煤炭学报, 2012, 37(2): 401-406.
LYU Yumin, TANG Dazhen, XU Hao. Initial production characteristic and its controls in Fanzhuang coalbed methane field, Southern Qinshui Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(2): 401-406.
- (上接第174页)
- Geology, 2000, 8(4): 446-455.
- [18] 苗霖田. 榆神矿区主采煤层赋存规律及煤炭开采对水资源影响分析[D]. 西安: 西安科技大学, 2008.
- [19] 王双明, 范立民, 黄庆享, 等. 榆神矿区煤水地质条件及保水开采[J]. 西安科技大学学报, 2010, 30(1): 1-6.
WANG Shuangming, FAN Limin, HUANG Qingxiang, et al. Coal water geological conditions and water conserving mining for Yushen coal mine area[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2010, 30(1): 1-6.
- [20] 范立民, 马雄德, 蒋辉, 等. 西部生态脆弱矿区矿井突水溃沙危险性分区[J]. 煤炭学报, 2016, 41(3): 531-536.
FAN Limin, MA Xiongde, JIANG Hui, et al. Risk evaluation on water inrush and sand inrush in ecologically fragile coal mine[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(3): 531-536.
- [21] 范立民, 马雄德. 浅埋煤层矿井突水溃沙灾害研究进展[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(1): 8-12.
FANG Limin, MA Xiongde. Research progress of water inrush hazard in shallow buried coal seam mine[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 8-12.
- [22] 顾大钊, 张勇, 曹志国. 我国煤炭开采水资源保护利用技术研究进展[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(1): 1-7.
GU Dazhao, ZHANG Yong, CAO Zhiguo. Technical progress of water resource protection and utilization by coal mining in China[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 1-7.
- [23] 钱鸣高. 煤炭的科学开采[J]. 煤炭学报, 2010, 35(4): 529-534.
QIAN Minggao. On sustainable coal mining in China[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(4): 529-534.