

宁东煤炭基地煤炭开采对地下水的影响预测

冯 洁^{1,2}, 侯恩科¹, 王苏健²

FENG Jie^{1,2}, HOU Enke¹, WANG Sujian²

1. 西安科技大学地质与环境学院, 陕西 西安 710054;

2. 陕西煤业化工技术研究院有限责任公司, 陕西 西安 710065

1. Department of Geology and Environment Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Shaanxi Coal and Chemical Technology Institute Co., Ltd., Xi'an 710065, Shaanxi, China

摘要: 宁东煤炭基地生态环境脆弱, 水资源匮乏, 煤炭开采过程中的水资源保护备受关注。采用公式法及现有 3 个工作面实测数据研究, 确定了首采煤层开采导水裂缝带发育的最大高度, 对比首采煤层至主要含水层之间的距离与导水裂缝带发育的高度差值, 预测首采煤层开采对含水层结构的影响程度。研究结果表明, 宁东煤炭基地首采煤层开采的导水裂缝带发育高度一般为 20~80m, 其中大于 180m 的区域面积约 5.9km², 集中于西北部灵武矿区; 石炭纪—二叠纪煤矿区横城矿区 7 个钻孔导水裂缝带突破石盒子组达主要含水层(新生界含水层)底部, 侏罗纪煤矿区灵武矿区 9 个钻孔的导水裂缝带已经沟通地表。将首采煤层开采影响含水层的程度划分为影响大、影响较大、影响一般、影响微弱 4 种类型, 各种类型所占比例分别为 14.7%、40.31%、18.65%、26.34%。

关键词: 煤炭开采; 地下水影响; 预测; 宁东煤炭基地

中图分类号: P618.11; P64

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2018)12-2184-08

Feng J, Hou E K, Wang S J. The prediction of the influence of coal mining on the groundwater in Eastern Ningxia coal production base. *Geological Bulletin of China*, 2018, 37(12):2184-2191

Abstract: The protection of water resources in mining has aroused much concern in Eastern Ningxia coal production base which is characterized by the fragile ecological environment and scarce water resources relatively. The authors calculated the maximum height of water flowing fractured zone in the first coal seam mining using the formula method and the three measured data. The difference value between the computations comprising the first coal seam, the main aquifer and the height of water flowing fractured zone could be used to predict influence of coal mining on the groundwater. According to the results obtained, the height of water flowing fractured zone is generally 20~80m, and the northwest Lingwu mining area of more than 180m possesses an area of about 5.9km²; in the Carboniferous - Permian coal mine area, the water flowing fractured zone has penetrated the Shihezi Formation and reached the main aquifer (Cenozoic aquifer) with 7 drill holes, such as 2808 and 2809; in the Jurassic coal mine area, the water flowing fractured zone has communicated the surface with 9 drill holes, such as 2702 and Yan1. The influence degree of the first coal seam mining for the aquifer has been divided into four types, i.e., large, larger, affected and weak, with the proportion being 14.7%, 40.31%, 18.65% and 26.34%, respectively.

Key words: coal mining; groundwater influence; prediction; eastern Ningxia coal production base

收稿日期: 2018-01-10; 修订日期: 2018-06-20

资助项目: 中国地质调查局项目《秦岭及宁东矿产资源集中开采区地质环境调查》(编号: DD20160336)、《青海矿业开发地质环境效应调查》(编号: 1212011220224)及自然资源部行业科研专项《矿集区地球化学环境累积效应及预警研究》(编号: 20111020)

作者简介: 冯洁(1986-), 女, 在读博士生, 工程师, 从事煤炭地质和矿井水害防治研究工作。E-mail: 372107956@qq.com

通讯作者: 侯恩科(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 从事煤炭地质、矿区地质灾害和矿井水害防治方面的教学与科研工作。

E-mail: houek@xust.edu.cn

宁东煤炭基地已探明煤炭储量约 $273\times 10^8\text{t}$,占宁夏煤炭资源量的87%,远景预测资源量达 $1394\times 10^8\text{t}$ ^[1],已被列入国家规划建设的 $14\times 10^8\text{t}$ 级煤炭基地之一。该区地处毛乌素沙地的西南缘,境内土地沙化,水资源相对匮乏,生态脆弱^[2]。如何协调煤炭开采与水资源保护之间的关系成为制约该区可持续发展的关键问题,也是当前研究的热点。前人在煤层开采导水裂缝带发育规律、煤层开采对地下水场演化、地下水资源的影响等方面开展过大量研究^[3-15],煤炭开采对含水层结构破坏的相关研究较少^[15-18]。因此,本文以宁东煤炭基地7个矿区21个井田和1个独立井田为主要研究区,采用公式法预计601个钻孔首采煤层开采导水裂缝带的发育高度,结合现有3个工作面的实测数据确定首采煤层开采导水裂缝带的发育高度,将其与首采煤层至主要含水层之间的距离进行对比,判别煤层开采对含水层结构的影响,并为宁东煤炭基地煤炭开采与水资源保护提供技术支撑。

1 研究区地质概况

宁东煤炭基地位于陕、甘、宁、蒙毗邻地区,东西宽16~41km,南北长127km,总面积约3500km²,由横城矿区、韦州矿区、灵武矿区、鸳鸯湖矿区、马家滩矿区、积家井矿区、萌城矿区、石沟驿井田组成,包括7个矿区21个井田和1个独立井田。

该区包含石炭纪—二叠纪煤田和侏罗纪煤田,前者有横城矿区、韦州矿区,后者有灵武矿区、鸳鸯湖矿区、马家滩矿区、积家井矿区、萌城矿区和石沟驿井田。以中生代地层最发育,古生代地层被广泛发育的中、新生代地层掩盖,埋藏较深,仅在横城矿区和西南部的韦州矿区有零星出露。中生代地层由下至上分别为三叠系、侏罗系、白垩系。矿区典型钻孔柱状图见图1。

区内煤层层数多,总开采厚度大,延安组共含煤38层,煤层平均总厚度为27.79m,含煤系数为7.8%,可采及局部可采煤层共17层,平均总厚22.37m。研究区褶曲与断裂相伴生,构造较发育,规模较大。

2 水文地质条件

宁东煤炭基地为典型的半干旱半沙漠大陆性气候,年最大降水量为322.4mm(1992年),年最小

降水量仅116.9mm(1997年),年最大蒸发量高达1922.5mm(1999年),年最小蒸发量1601.1mm(1990年)。该区属黄河流域,发育苦水河、甜水河、西天河,其水量受季节降雨影响。

侏罗纪煤矿区含水层组可划分为松散岩类孔隙水含水层组、碎屑岩类孔隙裂隙水含水层组和烧变岩类裂隙水含水层组,包括新生界和中生界含水层。新生界含水层主要有第四系、古近系下部和白垩系含水层,中生界含水层主要有上侏罗统安定组、中侏罗统直罗组和延安组含水层,其中,对开采影响较大的含水层为直罗组下段砂岩含水层,以灰绿色、蓝灰色中—粗粒砂岩为主,渗透性好,单位涌水量为0.03~0.1274 L/s·m,富水性强。

隔水层主要有古近系上部粘土隔水层、直罗组下段砂岩含水层之上粉砂岩、泥岩隔水层,隔水性较好。延安组的含水层、隔水层交互出现。

3 导水裂缝带发育高度的确定

影响导水裂缝带发育高度的因素很多,如煤层开采厚度、开采面积、覆岩岩性、煤层倾角、断层、采煤方法、煤层顶板管理等^[16-19],因此较难推导出一个普遍适用的计算公式。本次分别用《矿区水文地质工程地质勘探规范》(GB12719—91)(以下简称《规范》)、《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》(以下简称《规程》)公式进行计算。

利用钻孔冲洗液漏失量观测和钻孔电视2种方法,对红柳煤矿1121工作面2号煤层导水裂缝带高度进行了探测。结果显示,导水裂缝带高度在59.1~64.8m之间,为开采厚度的11.15~12.23倍。

采用钻孔冲洗液漏失量观测和声波测井对羊场湾煤矿2号煤层开采的导水裂缝带高度进行了实测。结果显示,导水裂缝带最大高度82.4m,裂采比16.99。

在灵新矿采用钻孔冲洗液漏失量观测与彩色钻孔电视系统探测14煤导水裂缝带发育高度。结果显示,导水裂缝带高度为41.42(D2)~56.03m(D1),裂采比为18.9~20.8。

将公式计算结果与现有3个工作面的实测数据对比可知,煤层厚度大于3m时导水裂缝带高度公式计算值偏小,应采用实测的冒(裂)采比值进行导水裂缝带高度预计;煤层厚度小于3m时,可采用公式法计算最大值预计导水裂缝带高度,预计结果如表1所示。

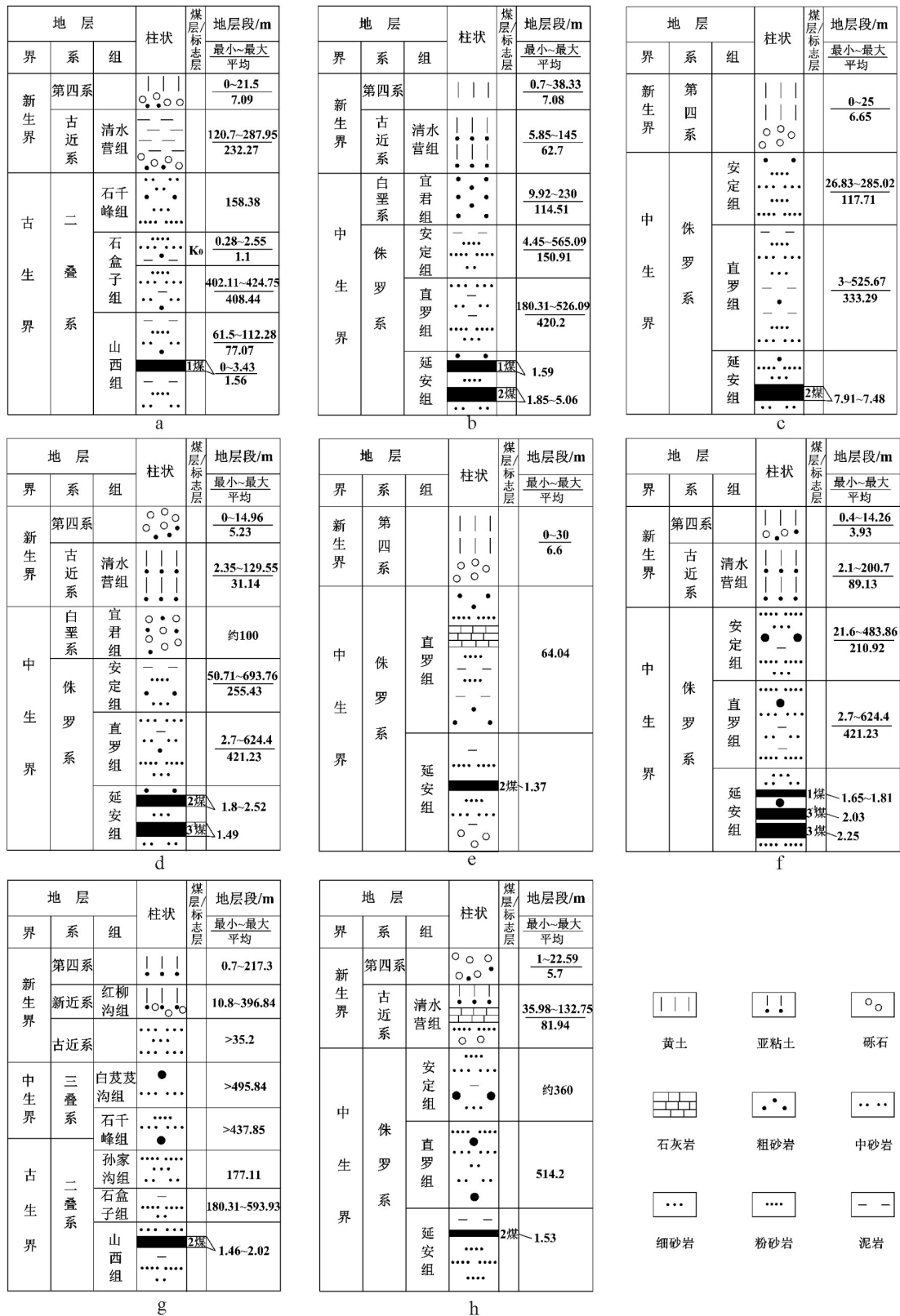


图1 矿区典型钻孔柱状图

Fig. 1 A typical drill column of the mining area

a—横城矿区; b—鸳鸯湖矿区; c—灵武矿区; d—马家滩矿区; e—石沟驿井田; f—积家井矿区; g—萌城矿区; h—韦州矿区

4 煤炭开采对含水层结构的影响预测

煤层开采后,顶板形成导水裂缝带,在一些回采面积大、煤层厚度大、上覆岩层薄的极端条件区域,导水裂缝沟通上覆主要含水层或地表,使其结构发生改变,使地下水在不同含水层之间,或与地表水体间发生水力联系,富水性、渗透性等变小或变大,打破原有的平衡状态,为上覆砂岩裂隙水及第四系松散层潜水的下渗提供了通道,在雨季更易导致地表水涌入矿坑。

首采煤层与主要含水层的间距是研究导水裂缝带能否导通上覆主要含水层的基础。如果此间距为零,即首采煤层直接上覆含水层,煤层开采后必然会影响到该含水层,使其结构发生改变,有可能沟通上覆其他含水层,从而改变含水层之间的水力联系;如果间距较大,则对含水层的破坏有限。

根据钻孔资料对比(图 2、图 3),横城和韦州矿区绝大多数钻孔导水裂缝带位于石盒子组内,仅横

城矿区 2808、2809、2807、2811、3108、136、3105 七个钻孔导水裂缝带突破石盒子组达主要含水层底部,突破高度为 3.72~30.53m,使主要含水层中的水补给石盒子组含水层,2 个含水层合并为一个含水层,含水层结构发生变化。

灵武矿区的枣泉井田导水裂缝带高度均突破直罗组下段砂岩含水层 100m 左右(表 2),钻孔 2702、验 1、2718、2015、补 502 突破基岩 18.75~70.22m,除补 502 外,其余 4 个钻孔导水裂缝发育到地表;羊场湾井田导水裂缝带已突破直罗组下段砂岩含水层,钻孔 1403、101、204、1902、1704 的导水裂缝发育到地表,可能使直罗组下段砂岩含水层中的水通过其顶板的隔水层与直罗组上部含水层发生水力联系,富水性发生改变,或者沟通地表水,使地表水、第四系含水层中的水补给下部含水层,富水性发生改变。在灵武矿区导水裂缝带沟通地表的钻孔附近调查,发现地表裂缝宽度大、落差大,表明导水裂缝带已发育至地表(图 4)。

表 1 首采煤层导水裂缝带高度

Table 1 Statistics of the height of water flowing fractured zone in the first coal seam mining

矿区名称	井田名称	首采煤层编号	煤厚/m	覆岩岩性	公式最大值	导水裂缝带高度/m		
						实测值	裂采比	
横城	红石湾(12)	1号	1.78(<3m)	中硬	36.09 规程二	82.4(灵新41.42~56.03)	20.28	
	马莲台(33)	1号	2.46(<3m)	中硬	40.87 规程二		16.61	
	丁家梁(10)	1号	1.75(<3m)	中硬	36.11 规程二		20.63	
灵武	枣泉(18)	2号	7.91(>3m)	软弱	81.9 规范		21	
	羊场湾(13)	2号	7.48(>3m)	中硬	110.41 规范		21	
鸳鸯湖	清水营(56)	2号	4.88(>3m)	中硬	73.8 规范		62.5	11.8
	梅花井(84)	2 ¹ /2号	2.1(<3m)	中硬	38.1 规程二			18.14
	石槽村(15)	2 ¹ 号	1.85(<3m)	中硬	36.87 规程二			19.93
	红柳(88)	2号	5.06(>3m)	软弱	54.24 规范			11.8
	麦垛山(59)	1号	1.59(<3m)	软弱	22.39 规程二			14.08
马家滩	金凤(51)	2号	2.52(<3m)	中硬	40.57 规范	82.4(灵新41.42~56.03)	16.1	
	金家渠(53)	2号	1.8(<3m)	中硬	36.35 规程二		20.19	
	双马(26)	3 ¹ 号	1.49(<3m)	软弱	21.86(规程二)		14.67	
石沟驿	(10)	2号	1.37(<3m)	中硬	33.12 规程二		24.18	
积家井	银星二号(10)	1号	1.81(<3m)	中硬	36.69 规程二		20.27	
	宋新庄(7)	1号	1.65(<3m)	中硬	35.21 规程二		21.34	
	新乔(15)	3号	2.25(<3m)	软弱	19.13 规程二		8.5	
	李家坝(5)	3 ¹ 号	2.03(<3m)	中硬	26.98 规范		13.29	
萌城	洪涝池(18)	2号	1.53(<3m)	中硬	34.43 规程二	82.4(灵新41.42~56.03)	22.5	
韦州	小泉(4)	2号	2.02(<3m)	中硬	39 规程二		19.31	
	韦二(5)	2号	1.68(<3m)	中硬	35.61 规程二		21.2	
	韦一(12)	2号	1.46(<3m)	软弱	21.82 规程二		14.95	

注:红石湾(12)表示统计 12 个钻孔数据

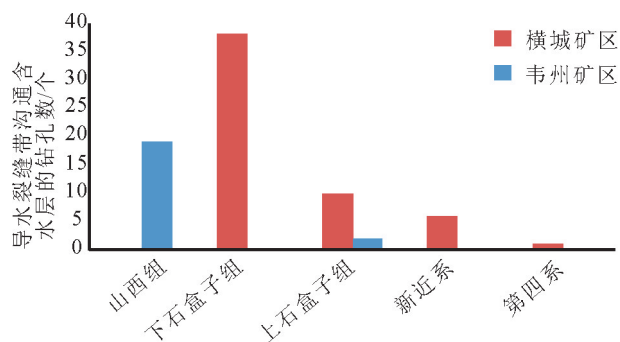


图2 石炭纪—二叠纪煤矿区导水裂缝带影响的含水层统计图

Fig. 2 The statistics of aquifer influenced by the water flowing fractures in Carboniferous-Permian coal mine area

鸳鸯湖矿区和马家滩矿区各井田首采煤层顶板至直罗组下段砂岩含水层底的距离较小,一般小于20m,且勘探资料显示部分钻孔首采煤层直接上覆含水层,因此,导水裂缝带基本均进入直罗组下段砂岩含水层,因直罗组沉积较厚,一般为100~400m,导水裂缝带大部分仍位于直罗组内,直罗组上段含水层中的水补给直罗组下段砂岩含水层,富水性发生改变。

石沟驿井田首采煤层顶板至直罗组下段砂岩含水层底界的距离大于导水裂缝带的发育高度,因此,一般情况下,不会影响到上覆含水层。



图4 羊场湾井田地表裂缝

Fig. 4 Surface cracks in the Yangchangwan coal mine

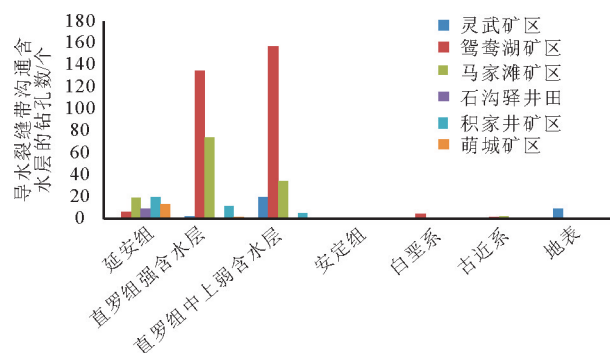


图3 侏罗纪煤矿区导水裂缝带影响的含水层统计图

Fig. 3 The statistics of aquifer influenced by the water flowing fractures in Jurassic coal mine area

积家井矿区银星二号和宋新庄井田首采煤层顶板至直罗组下段砂岩含水层底界的距离较小,绝大多数钻孔突破直罗组下段砂岩含水层到达其下部的直罗组含水层,使直罗组上部含水层中的水补给直罗组下段砂岩含水层,富水性发生改变。新乔和李家坝井田除JX2205钻孔(缺失直罗组)外,均未突破直罗组下段砂岩含水层,其中冒落带未突破直罗组底界的钻孔有25个,约占整个矿区统计数的64.4%,进入直罗组下段砂岩含水层的钻孔有10个,约占统计数的27.8%,导水裂缝带未突破直罗组底界的钻孔有20个,约占55.6%,进入直罗组下段砂岩含水层的钻孔有11个,约占30.6%。

萌城矿区洪涝池勘查区导水裂缝带均未突破直罗组下段砂岩含水层,位于延安组,对直罗组下段砂岩含水层影响不大。

综上,石炭纪—二叠纪煤矿区各井田首采煤层至主要含水层的间距较侏罗纪煤矿区各井田首采煤层至主要含水层的间距大,因此,前者首采煤层开采对主要含水层基本无影响,仅横城矿区2808、2809等7个钻孔导水裂缝带突破石盒子组达主要含水层底部,使主要含水层中的水补给石盒子组含水层,2个含水层合并为一个含水层,含水层结构发生变化;后者灵武矿区、鸳鸯湖矿区、积家井矿区的银星二号和宋新庄井田的导水裂缝带高度突破直罗组下段

表 2 灵武矿区导水裂缝带突破主要含水层钻孔
Table 2 Statistics of drill holes breaking through the main aquifer
by water flowing fractured zone in Lingwu mining area

井田名称	孔号	煤厚/m	导水裂缝带 最大高度/m	煤层顶板至主要含水 层底界高度/m	导水理裂隙带突破主要 含水层底界高度/m	导水裂缝带突破 地表高度/m
枣泉井田	2702	8.02	168.42	45	123.42	13.42
	验 1	7.82	164.22	44	120.22	67.22
	2718	4.75	99.75	44	55.75	21.75
	2015	6.00	126.00	30	96.00	16
羊场湾 井田	1403	3.04	63.84	8	55.84	2.84
	101	9.17	192.57	6	186.57	33.57
	204	10.36	217.56	6	211.56	28.56
	1902	8.32	174.72	20	154.72	19.72
	1704	6.16	129.36	15	114.36	54.64

砂岩含水层,进入上部的含水层,使2个含水层的富水性发生改变,其余各井田的导水裂缝带高度未沟通首采煤层上覆主要含水层,影响不大,但灵武矿区局部导水裂缝带已经沟通地表,这些区域的含水层可能因煤层开采受到严重影响,可能使地表水、第四系含水层中的水补给下部含水层,富水性发生变化。

导水裂缝带发育高度与首采煤层至主要含水层间距的差值能够反映煤层开采影响的含水层,本次称为“保护层厚度”。将保护层厚度按照表3进行划分,并预测煤层开采对上覆含水层结构的影响,分区预测结果见图5。

由图5可知,横城矿区的红石湾和丁家梁井田、韦州矿区、积家井矿区的新乔和李家坝井田、萌城矿区的洪涝池勘查区为影响轻微区,横城矿区马莲台井田大部区域、灵武矿区西部及北部区域、鸳鸯

湖矿区梅花井和红柳井田南部、积家井矿区银星二号和宋新庄井田的局部区域为影响一般区,横城矿区马莲台井田西南部、鸳鸯湖矿区的大部分区域、马家滩矿区金凤和金家渠井田的大部分区域、积家井矿区的银星二号和宋新庄井田的大部分区域影响较大,且清水营和麦垛山井田为影响大区,即石炭纪一二叠纪煤矿区较侏罗纪煤矿区影响小。

5 结 论

(1)宁东煤炭基地石炭纪一二叠纪煤田各矿区煤炭开采影响较大的含水层为富水性较弱的二叠系含水层,一般对富水性较强的古近系底部砂砾石含水层和第四系砂砾石含水层影响不大;侏罗纪煤田各矿区煤炭开采影响较大的含水层为富水性较强的直罗组下段砂岩含水层。

(2)宁东煤炭基地首采煤层厚度大于3m时,导

表 3 首采煤层开采对含水层影响分区标准(保护层厚度)
Table 3 Partition standard of coal mining on the aquifer in the
first coal seam mining (protective thickness)

分区名称	分 区 标 准
影响轻微	临界线 $\geq 0\text{m}$
影响一般	枣泉和羊场湾井田临界线 $\geq -110\text{m}$,梅花井和红柳井田临界线 $\geq -15\text{m}$,金凤井田临界线 $\geq -10\text{m}$,宋新庄井田临界线 $\geq -20\text{m}$
影响较大	枣泉和羊场湾井田临界线 $< -110\text{m}$,梅花井和红柳井田临界线 $< -15\text{m}$,金凤井田临界线 $< -10\text{m}$,宋新庄井田临界线 $< -20\text{m}$
影响大	临界线 $< 0\text{m}$

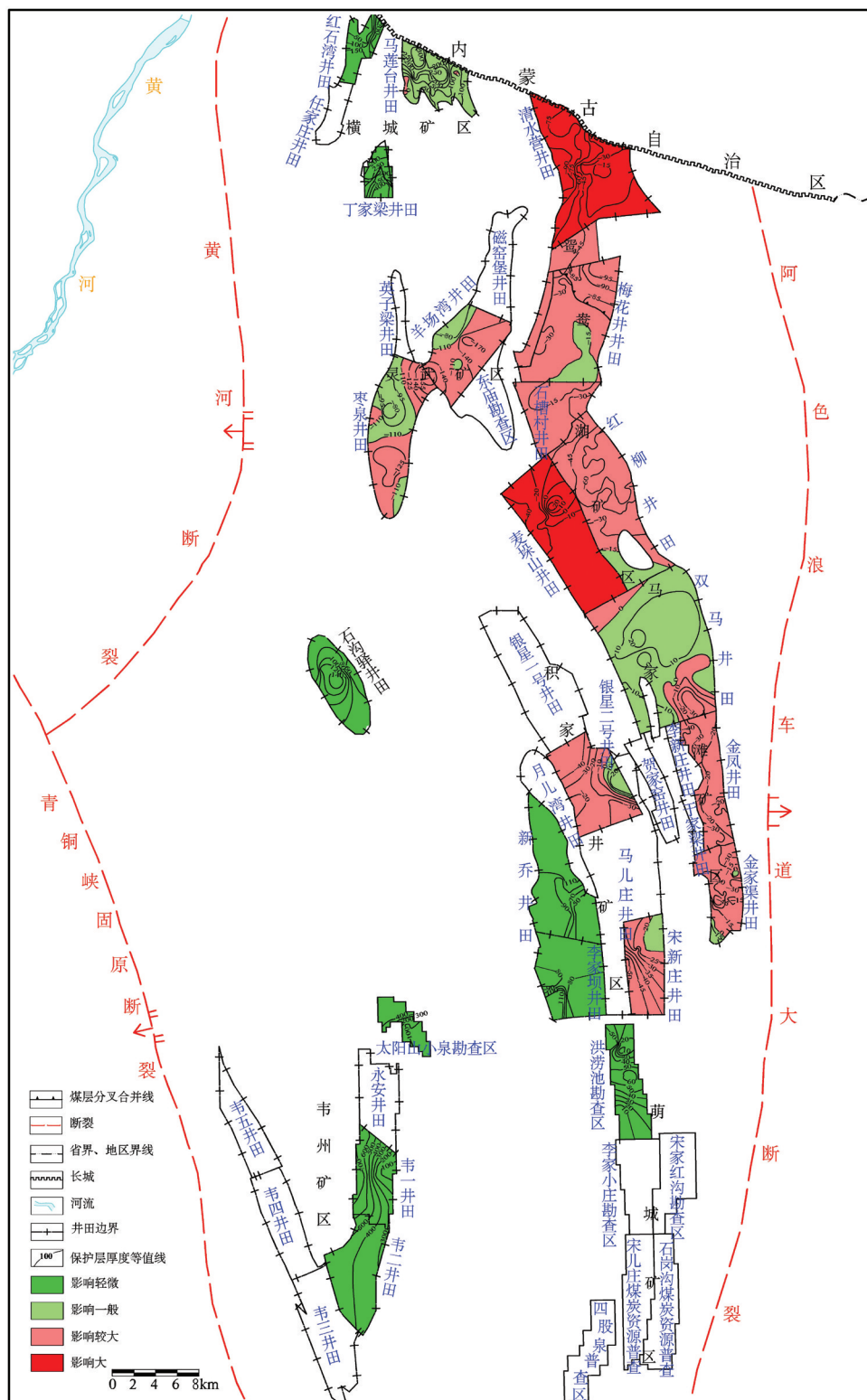


图5 首采煤层开采对含水层影响分区预测图(保护层厚度分区)

Fig. 5 Partition prediction of coal mining on the aquifer in the first coal seam mining (partition of the protective thickness)

水裂缝带高度公式计算值偏小,应采用实测的裂采比值进行导水裂缝带高度预计;煤层厚度小于 3m 时,可采用公式法计算的最大值预计导水裂缝带高度。

(3)宁东煤炭基地石炭纪一二叠纪煤矿区首采煤层开采对含水层的影响程度较小,侏罗纪煤矿区影响程度较大。

致谢:中国地质调查局西安地质调查中心乔冈高级工程师审阅了全文,并提出修改意见,在此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1]李健,唐安祥.中梁山矿区 K1 煤层顶板涌水分析与治理[J]. 矿业安全与环保, 2012, 39: 72-76.
- [2]姜兴盛.宁东基地生态建设情况调研报告[J]. 宁夏林业通讯, 2009, (2): 32-34.
- [3]董震雨,王双明.采煤对陕北榆溪河流域地下水资源的影响分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(3): 185-190.
- [4]董东林,王焕忠,武彩霞,等.断层及滑动构造复合构造区煤层顶板含水层渗流特征及突水危险性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(2): 373-379.
- [5]车晓阳,侯恩科,谢晓深,等.煤层开采导水裂隙带发育高度分析[J]. 中国科技论文, 2016, 11(3): 270-273.
- [6]侯恩科,童仁剑,王苏健,等.陕北侏罗纪煤田风化基岩富水性 Fisher 模型预测方法[J]. 煤炭学报, 2016, 41(9): 2312-2318.
- [7]徐智敏,孙亚军.水库下采煤导水裂隙带高度预测[J]. 中国矿业, 2008, 17(3): 96-99.
- [8]胡小娟,刘瑞新,胡东祥,等.导水裂隙带的影响因素研究与高度预计[J]. 煤矿现代化, 2012, (3): 49-53.
- [9]白利民,尹尚先,李文.综采一次采全高顶板导水裂隙带发育高度的计算公式及适用性分析[J]. 煤田地质与勘探, 2013, 41(5): 36-39.
- [10]国家煤炭工业局.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M]. 北京:煤炭工业出版社, 2000.
- [11]许家林,朱卫兵,王晓振.基于关键层位置的导水裂隙带高度预计方法[J]. 煤炭学报, 2012, 37(5): 762-769.
- [12]赵兵朝,刘樟荣,同超,等.覆岩导水裂隙带高度与开采参数的关系研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2015, 32(4): 634-638.
- [13]赵兵朝,王守印,刘晋波,等.榆阳矿区覆岩导水裂隙带发育高度研究[J]. 西安科技大学学报, 2016, 36(3): 343-348.
- [14]杨建立,滕永海.综采放顶煤导水裂隙带发育规律分析[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(12): 100-102.
- [15]侯恩科,童仁剑,冯洁,等.烧变岩富水特征与采动水量损失预计[J]. 煤炭学报, 2017, 42(1): 175-182.
- [16]张志祥,张永波,付兴涛,等.煤矿开采对地下水破坏机理及其影响因素研究[J]. 煤炭技术, 2016, 35(2): 211-213.
- [17]刘虎,周林康.王家峪煤矿开采对地下水的影响分析[J]. 山西建筑, 2014, 40(6): 233-234.
- [18]张小卫,王明霞,刘玉龙,等.陕北浅埋煤层开采地下水影响分析及保护对策[J]. 地下水, 2012, 34(6): 66-69.
- [19]任利波.可可盖煤矿采煤对地下水影响研究[J]. 农田水利, 2016, (3): 157-158.