

## · 水文地质工程地质 ·

# 柳林煤层气勘探开发试验区水文地质研究

池卫国 (地矿部华北石油地质局规划设计研究院 郑州 450006)

**摘要** 柳林煤层气试验区区域水文地质条件简单,围岩含水层是煤层水的主要来源,4、8号煤层可动水含水饱和度为39%,裂隙及割理是重力水赋存的储集空间和运移通道。8号煤层的含水性、水活跃程度和产水量强于4、5号煤层。采用斯蒂夫离子图解划分采出水的煤层属性和煤层合采时的主产水层,煤层水属正常—略超压状态。水力坡度较陡的区域是部署开发井的有利地带。

**关键词** 煤层气 勘探地区 水文地质 柳林县

**中国图书资料分类法分类号** P641.139

**作者简介** 池卫国 男 33岁 工程师 石油地质

## 1 前言

柳林煤层气试验区位于山西省柳林县境内,面积 $16\text{ km}^2$ ,是我国第一个成功地开发煤层气的生产试验基地。试验区内进行了7口钻井组成的规范、系统的小型井网开采试验,井井产气,一般单井日产量 $1\,000\sim 3\,000\text{ m}^3$ ,最高产量超过 $7\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。煤层气的开采非同于常规天然气,是通过排水降压来完成的,即始终和煤层水文地质特点相关,因此开展煤层水文地质研究显得尤为迫切。本文是在“八五”煤层气勘探开发试验基础上,对柳林试验区水文地质特征的初步探讨。

## 2 区域水文地质条件

柳林地区位于鄂尔多斯盆地东缘晋西挠褶带离石鼻状构造上,主要构造形态为向西倾没的鼻状构造。煤层气主要目的层是石炭、二叠纪煤系,总体上为一向西缓倾单斜,倾角 $5^\circ\sim 8^\circ$ ;断层不发育。地表地形条件属黄土高原中低山区,地势东高西低,海拔 $670\sim 1\,020\text{ m}$ 。三川河自东向西流经该区,汇入黄河。

区域主要含水层有奥陶系及石炭系灰岩岩溶、裂隙含水层;太原、山西组煤系碎屑岩裂隙含水层及第三、第四系孔隙含水层。

奥陶系马家沟组碳酸盐岩厚 $400\sim 600\text{ m}$ ,溶

洞、溶孔发育,在矿区东部吕梁山大面积裸露,为补给区。本层含丰富岩溶水,是区域性主要含水层。水型主要有 $\text{NaHCO}_3$ 和 $\text{NaCl}$ 型,矿化度几十 $\sim 17\,630\text{ mg/L}$ 。该含水层上覆有较为发育的泥页岩、铝土岩隔水层,离煤层距离较大,因此对煤层的影响较小。

太原组灰岩岩溶、裂隙含水层由5层灰岩组成,单层厚 $2\sim 13\text{ m}$ ,灰岩段厚近 $40\text{ m}$ ,含水性变化较大,一般弱—中等,水位高程 $791\sim 815\text{ m}$ ,水型多为 $\text{NaHCO}_3$ 或 $\text{NaCl}$ 型,矿化度 $1\,190\sim 3\,210\text{ mg/L}$ 。

二叠系砂岩裂隙含水层,由透镜状或席状砂岩组成,水型以 $\text{NaHCO}_3$ 为主,矿化度 $370\sim 1\,260\text{ mg/L}$ ,水位高程 $789.31\text{ m}$ ,含水性弱。

区域含水层受西倾宽缓鼻状构造及地貌、大气降水、地表径流等因素控制,呈单斜式自流斜坡承压含水层。地下水自东向西流动,下游产生区域性高层压力,出现自流井及群泉。煤层气试验区水文地质条件较为简单,石炭、二叠系碎屑岩裂隙水及石炭、奥陶系岩溶水均不太发育。

## 3 煤层含水性

### 3.1 煤层水来源

柳林试验区煤层水来源受区域水文地质条件制约,主要有地表水和含水层水,断层水不发育。地表水源主要是三川河流水,在试验区东部上游区域,河

水向煤系注入或渗透,对煤层水起到一定补给作用。区域含水层是试验区煤层水的主要来源,它的强弱决定了煤层水的大小。根据围岩含水层对煤层供水强弱,将试验区煤层水分为 3 种类型。第一种类型,煤层顶板为灰岩溶蚀孔型含水层,对煤层供水较为充足,煤层产水量大,石炭系太原组 8 号煤层属于此种类型,该煤层在煤柳 3 井日产水量最高超过  $70 \text{ m}^3$ 。第二种类型,煤层顶板或底板为砂岩孔隙、裂隙型含水层,属弱含水层,对煤层供水有限,煤层产水量一般不大,如二叠系山西组 4 号煤层,产水量一般在  $10 \text{ m}^3$  左右。第三种类型,煤层顶、底板皆为泥质岩,供水性差,渗透到煤层中的水极少,只有在断层或裂隙发育的部位才能提供给煤层,山西组 5 号煤层属于该种类型,由于产水量少,易于与其它煤层合采。

### 3.2 煤层水赋存状态

煤层水的存在形式主要有吸着水、薄膜水、重力水、毛细水、煤岩矿物晶间结构水。吸着水和薄膜水属于煤粒表面的结合水;毛细水存在于煤层微孔隙、微裂隙之中,受毛细管力的影响,煤层颗粒越细、微裂隙宽度越窄,这种水受到的吸附力就越大。在煤层环境下,结合水、毛细水同矿物结晶水一样,都是非流动水。柳林试验区 4 号、8 号煤层生产拟合气水相对渗透率曲线显示,这种非流动水含水饱和度达 61% (图 1)。重力水是充填于煤层孔隙、裂隙、割理中的水,是可动水,在重力作用或具有一定压差或高程差条件下可呈流动状态。试验区 4 号、8 号煤层重力水含水饱和度为 39%。煤层气勘探开发中,重力水是主要研究对象。

试验区具备重力水赋存的有利条件。各主要煤层外生裂隙及割理均较发育,一般可达 20~50 条/5 cm,多为未充填或半充填,生产拟合出的割理孔隙

度 ( $\Phi$ , %) 和渗透率 ( $K$ ,  $10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$ ) 值如下:4、5 号煤层平均值:  $\Phi$ , 1~4,  $K$ , 1.4~12.7; 8 号煤层:  $\Phi$ , 2.2~4,  $K$ , 3.5~22.6, 这为煤层重力水提供了有利的储集空间和运移通道。煤层割理被重力水饱和,使煤层成为含水储集层。

### 3.3 煤层产水机理、特征

煤层气井排水与煤矿生产巷道排水不同,其机理是承压含水煤层钻开之后,水位上升到一定高度,随着排水过程水位逐渐下降,重力水从裂隙及割理向钻井流动,在井周围产生降压漏斗。当水位下降到一定深度时,煤层气开始解吸逸出,在液面趋于稳定时,降压漏斗达到最大,煤储层向井中涌水量等于排水量。过量抽汲会造成降压漏斗的消失,损害煤储层渗透能力,降低气产量。

试验区煤层气井初始产水量较低,一般在  $0.2 \text{ m}^3/\text{d}$  左右,气体产出极少,水面下降较快,易于降至煤储层顶部位置。压裂后初始产水量急剧增大,4 号煤层产水量一般  $6\sim 10 \text{ m}^3/\text{d}$ ,最高  $29.5 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 8 号煤层达  $30\sim 70 \text{ m}^3/\text{d}$ 。多煤层合采时的产水量高于单层产水量,如煤柳 5 井 4、5 和 8 号煤层合采时的产水量可达  $40\sim 80 \text{ m}^3/\text{d}$ 。经过长达数月的排水,煤层产水量递减,大量气体产出,煤层气稳产时的日产水量一般保持在几~十几  $\text{m}^3$ 。

## 4 煤层水流体动力学特征

### 4.1 水力压头

试验区 8 号煤层水力压头值分布于 701~811 m, 东北部高于西南部,煤层水沿水力坡降从高势能区向低势能区流动。水力压头趋势面等值线疏密程度代表水力坡降的缓陡,等值线稠密区水力坡降大,可以推断为煤层渗透率高。据此推测区内煤柳 4、5、6 井的渗透率应较高。试井结果也反映了这一推断,如煤柳 5 井 8 号煤层试井渗透率可达  $1.135 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$ ,而煤柳 2 井仅  $0.137 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{m}^2$ 。在开发井部署时,应适当考虑在水力坡度较陡区布井的可能性。

### 4.2 压力状态

煤储层压力状态分为欠压、正常和超压 3 种。压力过低不利于煤层气生产;过高将增加生产成本;一般在正常或微超压状态下,易于排水降压和采气。区内 4、5 和 8 号煤层水原始压力值 3.7~4.5 MPa,静

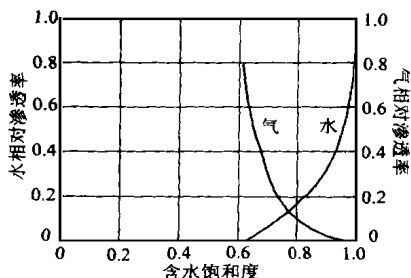


图 1 柳林试验区煤层气水相对渗透率曲线

压力梯度 1.0~1.12MPa/100 m, 平均 1.06 MPa/100 m, 高于静水柱压力梯度, 略呈超压状态。

4.3 水化学

水化学成分是地下水运动的真实记录。煤层水化学研究是为了阐明地下水循环特征。试验区煤层水化学成分阴离子以  $\text{HCO}_3^-$  为主, 含量一般 2 100~2 400 mg/L, 8 号煤层水的  $\text{HCO}_3^-$  略高于 4、5 号煤层水; 其次是  $\text{Cl}^-$ , 少量  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ ; 阳离子以  $\text{Na}^+$  占主导, 含量 1 300~1 800 mg/L, 少量  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{NH}_4^+$ ; pH 值 6.7~8.2。

本区煤层水矿化度为 4 000~6 000 mg/L, 4、5 号煤层水矿化度高于 8 号煤层水(图 2), 反映 8 号煤层水的活跃程度高于 4、5 号煤层水。

煤层水类型属于  $\text{NaHCO}_3$  型。35 个水类型点主要分布于三角图第 8 区(图 3), 有 3 个点远离第 8 区群体,  $\text{Cl}^-$  含量高, 初步判断属盐酸压裂液影响所致。

为了有效地区分同种类型不同煤层的水, 引入修改过的斯蒂夫离子比率图解法, 即绘出 8 个离子比率:  $(\text{Ca} + \text{Mg}) / (\text{Na} + \text{K})$ 、 $\text{Mg} / \text{Ca}$ 、 $\text{Ca} / (\text{Na} + \text{K})$ 、 $\text{SO}_4 / (\text{Na} + \text{K})$ 、 $(\text{Na} + \text{K}) / (\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)$ 、 $(\text{Ca} + \text{Mg}) / \text{HCO}_3$ 、 $\text{Cl} / (\text{Na} + \text{K})$  和  $\text{SO}_4 / \text{Cl}$  来辨别相同相

的水。经过对 32 个煤层水样作图分析, 证实 4 号煤层水和 8 号煤层水在离子比率图形状上, 存在较大差别(图 4)。根据这种差别, 可判断采出水是 4 号还是 8 号煤层水。几个煤层合采时, 采出的混合水的离子比率图与单层水相比较, 可以粗略地判断哪层水占主导, 如煤柳 1、煤柳 3 井 4 号与 8 号煤层水合采时, 8 号煤层水量远大于 4 号煤层水。一般说来, 准确地判断煤层水化学属性, 不仅要取准单层煤层水样, 还要取得围岩含水层水样, 综合这两方面水化学特征, 才可以作出判断, 从而预防煤层水串通与断层水的侵扰。遗憾的是, 在试验区没有得到煤层围岩含水层水化学资料。

5 结论

柳林煤层气试验区所处区域水文地质条件简单, 为一西倾宽缓鼻状蓄水构造, 区域含水层含水性弱—中等。围岩含水层是煤层水的主要来源, 其强弱决定了煤层的含水程度。煤层重力水是可动水, 裂隙和割理为重力水赋存提供了储集空间和运移通道。试验区 8 号煤层在含水性、水活跃程度和产水量方面均强于 4、5 号煤层。水化学分析不仅揭示了试验区煤层具有过渡循环阶段特征, 还可判断压裂液在煤层水中的残存以及区别采出水的煤层属性和多层合采时的主产水层。煤层水处于正常—略超压压力状态, 有利于排水降压采气, 水力坡降较陡的区域是部署开发井的有利地带。

(收稿日期 1997-06-20)

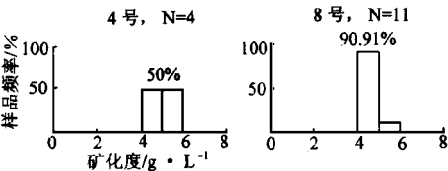


图 2 柳林试验区煤层水矿化度直方图

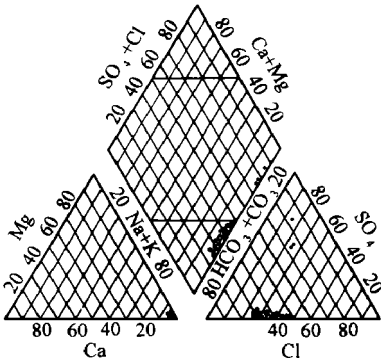


图 3 煤层水类型三角图解

×——4 号煤层; •——4+5+8 号煤层  
◦——8 号煤层; □——4+8 号煤层

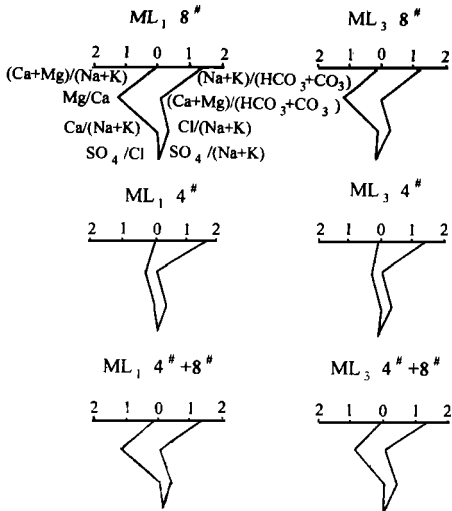


图 4 斯蒂夫离子比率图

# 矿区疏干地下水三维流与二维流对比研究

徐拴海 薛 炜 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

**摘要** 分别从解析解、数值解和电网络三个方面,对三维流和二维流模型求解方法和结果进行了理论分析和对比,讨论了在参数拟合、水量水位预测方面的差别及处理对策。最后给出元宝山露天煤矿疏干排水三维流模型与二维流模型的计算实例及分析,并提出了矿区大降深、大流量疏排地下水属明显的三维流过程,必需用三维流模型进行模拟计算。

**关键词** 二维流动 三维流动 电网络模拟法 数值模拟 元宝山矿

**中国图书资料分类法分类号** P641.2

**作者简介** 徐拴海 男 34岁 工程师 水文地质与工程地质

## 1 引言

目前,国内外对于二维地下水流的模拟研究,无论在理论上还是实践上均已相当成熟,而三维地下水流的模拟研究则处于起步阶段。和二维流数值模型相比,三维流数值模型能更好地反映客观水文地质条件,提高水文地质定量评价的精度;对于解决某些特殊而三维流特征又较明显的水文地质问题,也能较好地满足生产要求,正因为如此,三维流模型在生产应用中得到了人们广泛的注意。然而由于获取三维流模型参数较困难,一般情况下都将地下水流

简化为二维流进行模拟,即使使用了三维流模型,也只能是个准三维流模型。对于在什么情况下可用二维流模型,什么情况下必需用三维流模型,参考文献[1, 2, 3]已作了一些研究,而有关三维流与二维流的对比研究尚未见到,本文就此问题作一初浅探讨,供同行参考。

## 2 解析解三维流模型与二维流模型对比

非完整井、水坝渗流、大降深潜水含水层地下水流等都具有突出的三维流问题。剔去上述问题的具体物理含义,着重考虑下述两个数学模型:

### 2.1 潜水含水层中完整单井抽水问题数学模型

Neuman 给出的三维理想模型为:

## HYDROGEOLOGY OF EXPLORATION AND DEVELOPMENT PILOT AREA FOR COALBED METHANE IN LIULIN

Chi Weiguo (Design and Research institute of North China Bureau of Petroleum Geology)

**Abstract** The regional hydrogeological conditions are simple in Liulin pilot area. The adjoining aquifers are the main source of coalbed water, and the saturability of movable water reaches 30% in No. 4 and 8 coal seams. The fractures and cleats are the storage space and migration channel for free water. The waterbearing behavior, water activity and water yield in No. 8 seam are stronger than those of No. 4 and 5 seams. The seam from which the water is pumped and the main water-produced layer during multi-seam mining are identified using Stiff ion diagram. The status of seam water are normal to over-pressure a little. The regions with steeper hydraulic gradient are the favorable ones to set the developing wells.

**Keywords** coalbed methane; exploratory area; hydrogeology; Liulin

\* 煤炭科学基金项目:92地20280