

# 煤层气井排采扰动下局部水动力场 对排采的动态影响

张兆民<sup>1</sup>, 史国平<sup>2</sup>, 廉永彪<sup>3</sup>

(1.山东省煤田地质规划勘察研究院,山东省煤炭资源数字化工程技术研究中心,山东 济南 250100;2.山东省国土测绘院,山东 济南 250102;3.山东省第一地质矿产勘查院,山东 济南 250014)

**摘要:**煤层气主要以吸附态存在于煤层中,其产出需要历经解吸—扩散—渗流的过程。煤层气的产出过程说明,煤岩储层压力低于煤层气的临界解吸压力是煤层气解析产出的关键。排水降压是降低煤岩储层压力最为行之有效的方法,在排水降压的过程中会对地下原始水动力场产生扰动,在井周围形成局部水动力场,从而影响排水降压的效能。该文根据地下水的流动状态、区域构造发育状态,结合煤储层与含水层的组合关系,提出了煤储层排水降压过程可能出现有效扰动型、含水层水入侵型、地表淡水入侵型等3种局部水动力场,并结合实例分析了不同种类水动力场对煤层气排采的动态影响,对指导煤层气的排采具有实际意义。

**关键词:**煤层气;地下水动力场;有效扰动;排水降压

**中图分类号:** P618.130.8

**文献标识码:** B

**引文格式:**张兆民,史国平,廉永彪.煤层气井排采扰动下局部水动力场对排采的动态影响[J].山东国土资源,2018,34(9):76-81.ZHANG Zhaomin, SHI Guoping, LIAN Yongbiao. The Dynamic Effect of Regional Hydrodynamic Field on the Drainage and Production under the Disturbance of Drainage and Production of Coalbed Gas Well[J]. Shandong Land and Resources, 2018,34(9):76-81.

## 0 引言

煤层受上覆地层载荷的作用,煤层气多处于承压的原生沉积水环境中。煤层气的形成、运移、富集以至于煤层气的资源评价、排采等各个方面都与地下水及区域水文地质条件密切相关<sup>[1-2]</sup>。

煤层表现为含水、弱含水和不含水等特性,煤层水处于一定封闭条件下的煤岩储层中,煤层水压力的 高低直接体现了煤岩储层原始压力的高低<sup>[3]</sup>,在边缘地带近地表处可能会受地表淡水的影响,但原始状态下煤层水流动十分缓慢,一般为滞流状态,煤层气排采是对地下原始水动力场的扰动,在排采井周围形成局部水动力场。

我国某煤层气田在排采过程中煤层气井排采动态表现出复杂性和多样性,科学合理地解释复杂多样的排采动态,对于找出产气量、产水量等煤层气开

采重要参数的变化规律,具有十分重要的意义。

## 1 排采扰动下局部水动力场的分类

煤层气储层压力的大小受大地构造位置、地质构造演化、初始地应力、水文地质条件、生气阶段、埋深、含气量等多种因素的影响。在开放的前提下,煤层气储层压力通常以压力水头与静水压力梯度之积来衡量,地下水水头高度是表征煤层气储层压力大小的最直接数据。一般来说水头越高,储层压力就会越大。煤层气储层压力的变化可导致吸附状态的煤层气解吸、运移、再富集。在煤系地层中,由于各个煤层与主要含水层间没有明显的水力联系,常常构成不同的水动力系统,煤层气储层压力主要由储层自身的直接充水含水层的水头高度来测量<sup>[4-5]</sup>。

煤层气产出过程表明,煤岩储层压力低于临界解吸压力是煤层气解吸产出的关键<sup>[6-7]</sup>,所以有效地

收稿日期:2018-02-04;修订日期:2018-04-14;编辑:陶卫卫

作者简介:张兆民(1984—),男,工程师,长期从事水工环及能源勘查工作;E-mail:943903327@qq.com

降低煤岩储层压力对于煤层气的解析产出具有至关重要的作用。对于煤层气储层而言,有效地释放出煤层气储层中的水是降低煤层气储层压力从而促使煤层气解吸排出最直接有效的手段。

煤层气储层与周边围岩中含水层的不同组合关系,会对煤层气储层的排水降压产生不同的影响。按照煤层气储层与含水层(或隔水层)的组合关系可以分为 3 种不同情况:①煤层顶底板或其中之一为含水层,其间没有稳定的隔水层存在;②煤层的顶底板为隔水层,但断裂切割后可以沟通其上部或底部含水层的联系;③煤层的顶板和底板均为隔水层,上覆和下伏地层中的含水层在自然状态和煤层气开采时均不会与煤层联通。不同的组合类型在煤储层排水降压的过程中会对局部地下水动力条件产生不同的影响,形成不同的水动力场样式。而在局部地区煤储层出露于地表,地表淡水的补给也会对煤储层的排水降压产生影响,进而对局部地下水动力场产生影响。对于煤层顶底板或其中之一为含水层的情况,煤储层排水降压的过程中,从煤储层中排出的水会迅速被含水层中的水补充,从而使排出的水部分为无效排水,造成无效扰动,该文不再进行论述。

按照地下水的流动状态、区域构造发育状态、煤储层的排水降压过程并结合煤储层与含水层(隔水层)的组合关系综合分析,煤层气储层排水降压过程中将出现以下 3 种局部水动力场样式:一是有效扰动型局部水动力场;二是含水层水入侵型局部水动力场;三是地表淡水入侵型局部水动力场。

### 1.1 有效扰动型局部水动力场

当煤层的顶底板均为隔水层,其上覆和下伏地层之中的含水层在自然状态下和煤层气排采过程中均不会与煤储层沟通时,则煤层气井排出的水全部为煤层之中的水,称之为有效排水。在这种情况下,煤层水的排出会对原始地下水动力场产生有效的扰动,在地下形成压降漏斗,并形成新的地下水动力场,称之为有效扰动型局部水动力场(图 1)。

煤层气储层的压力随着煤层中水的不断排出逐渐下降,当煤储层的压力低于煤层气的临界解吸压力时,煤层气就会从煤层中解吸出来。由于有效扰动型局部水动力场排出的水全部为煤层之中的水即为有效排水,因此在这种局部地下水动力场中最有利于降低煤储层中的储层压力,最有利于煤层气发生解吸排出。

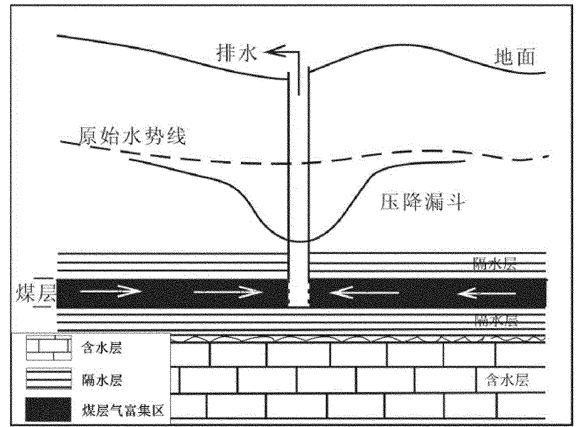


图 1 有效扰动型排水示意图

### 1.2 含水层水入侵型局部水动力场

在煤系形成以后长期地质历史时期中,由于复杂的构造活动影响,煤系地层及其围岩的地质条件往往会发生一系列变化。在构造活动中所产生的不同的地质条件对局部地下水动力场的形成会产生较大的影响,进而影响煤层气的解吸。其中影响较大的情况主要有断层和含水层天窗 2 种。当含水层天窗或断层均具有导水性,能沟通含水层与煤层气储层时,在煤层气钻井并排水降压过程中会形成含水层水入侵型局部水动力场(图 2)。

对于导水断层而言,地下水所携带煤储层中气体也可能会随着地下水运动至断层处而逸散。对于具有不导水断裂构造的地区,地下水多以静水压力和重力驱动的方式流动,在地层深部地区,通过地下水压力传递作用,使煤层气吸附于煤层中,从而形成煤层气相对富集区,煤层气含量较高<sup>[7-10]</sup>。

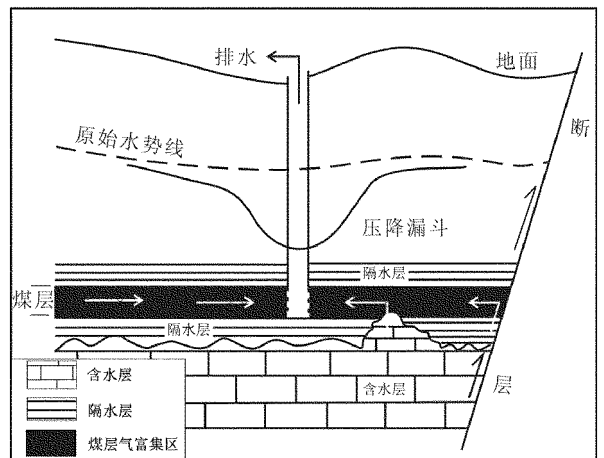


图 2 含水层水入侵型排水示意图

### 1.3 地表淡水入侵型局部水动力场

对于单斜或者不对称的向斜,当存在一定的压力差时,煤层气会从高压区向低压区进行渗流,致使压力降低从而煤层气发生解吸,这也是煤层露头及浅部成为煤层气逸散带的原因。但在浅部及煤储层露头地区,煤层气储层及含水层的割理、裂隙通常发育较好,地表淡水和大气降水可能会沿着这些裂隙与割理侵入煤层和含水层。入侵的淡水会影响煤储层及含水层中的水动力条件,对原始的地下水动力场造成扰动。由于地表淡水的补给,煤储层及含水层中地下水顺层会由浅部向深部运动,这时煤储层中向上扩散的气体会被封堵,煤层气将在局部地区聚集<sup>[11]</sup>。在对煤储层进行排水降压时,从煤储层中排出的水会与地表补给的淡水在地下某一地区达到动态平衡,从而使排出的水部分为无效排水,并不会降低煤储层中的压力。此时排水降压所形成的局部地下水动力场称之为地表淡水入侵型局部水动力场(图 3)。

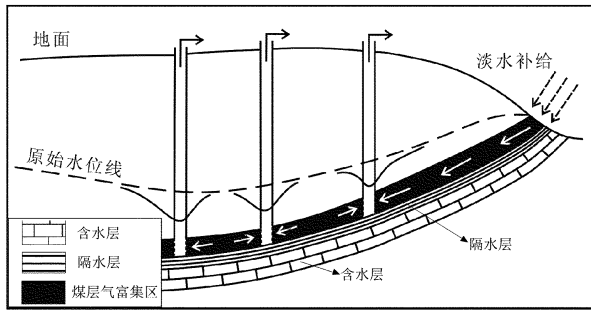


图 3 地表淡水入侵型排水示意图

## 2 局部水动力场对排采动态的控制作用分析

该文以位于沉积盆地边缘地带的某煤层气田为研究对象,主要的煤层气生产层位有 1<sup>#</sup>煤、2<sup>#</sup>煤和 3<sup>#</sup>煤三层,结合该煤层气田在排采过程中煤层气井排采动态特征,具体分析以上 3 种水动力场对煤层气井排采动态的控制作用。

### 2.1 有效扰动型局部水动力场对煤层气井排采动态的控制作用

该文选取某煤层气田 5 口位于有效扰动局部水动力场的生产井,来分析有效扰动型局部水动力场对煤层气井排采动态的控制作用<sup>[12-13]</sup>。5 口典型井位置见图 4。其中 1、3 号井生产层位为 1<sup>#</sup>,2<sup>#</sup>号煤层,2、4、5 号井生产层位为 1<sup>#</sup>,2<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>号煤层。

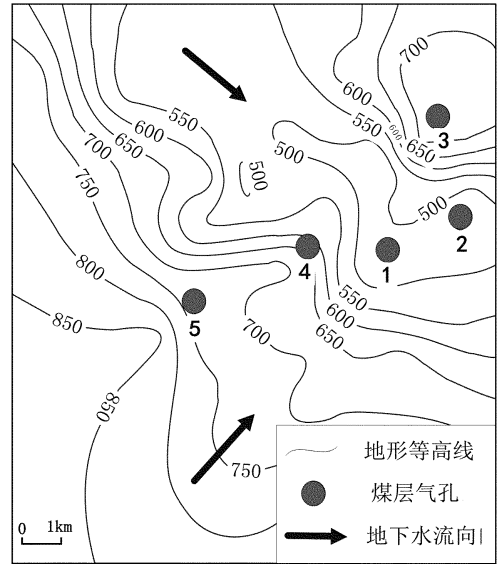


图 4 有效扰动型局部水动力场典型井位图

根据区域地质条件调查研究,5 口井所在地区构造活动相对较弱,地质条件比较简单,生产层位距区内主要的含水层较远,无断层、构造天窗沟通煤层与含水层以及边浅部淡水补给的情况,在煤层气的排采过程所形成的水动力场为有效扰动型局部水动力场。

5 口生产井的初始见气时间、初始累计产水量以及稳定产气后典型日产水量的情况见表 1。5 口井平均见气时间为 11.6 天,平均累计产水量 18.196 m<sup>3</sup>,平均典型日产水量 4.08 m<sup>3</sup>。由此可知:生产井的初始见气时间较早,初始累计产水量和稳定产气后典型日产水量均较少。这说明,在有效扰动型局部水动力场的影响下,地下水的水动力条件较弱,流动性较差,煤层气井排出的水为有效排水,因此煤储层压力降低至临界解吸压力所用时间短,初始见气时间短,在见气后的稳定生产阶段生产井的典型日产水量也较少。

表 1 有效扰动型局部水动力场典型井统计

井号	初始见气时间(d)	初始累计产水量(m <sup>3</sup> )	典型日产水量(m <sup>3</sup> )
1	0	0.00	0.40
2	24	3.39	3.00
3	15	23.13	2.00
4	10	23.70	8.00
5	9	40.76	7.00

注:初始见气时间为从煤层气井开抽后到出现 15 d 以上较连续产气量之前的单一排水阶段的延续时间;初始累计产水量为从煤层气井开抽后到初始见气时间之间煤层气井的累计产水量;典型日产水量为煤层气井在气水同产阶段动液面较稳定期间的平均日产水量。

### 2.2 含水层水入侵型局部水动力场对煤层气井排采动态的控制作用

选取我国中部某煤层气田中的 2 口位于含水层水入侵型局部水动力场的生产井来分析含水层水入侵型局部水动力场对煤层气井排采动态的控制作用<sup>[14-15]</sup>。

2 口典型井位置见图 5。其中 6 号井生产层位初期为 2<sup>#</sup>, 3<sup>#</sup> 号煤层; 后期改为 1<sup>#</sup>, 2<sup>#</sup> 号煤层; 7 号井生产层位初期为 3<sup>#</sup> 号煤层; 后期改为 1<sup>#</sup>, 2<sup>#</sup> 号煤层。

根据区域地质条件的调查研究可知, 这 2 口井所在的地区构造较发育, 受断层作用的影响, 且 3<sup>#</sup> 煤层与下伏灰岩含水层相距较近, 可能会在局部滑动构造作用下形成沟通灰岩含水层与 3<sup>#</sup> 煤层的构造天窗, 在煤层气的排采过程中所形成的水动力场为含水层水入侵型局部水动力场。

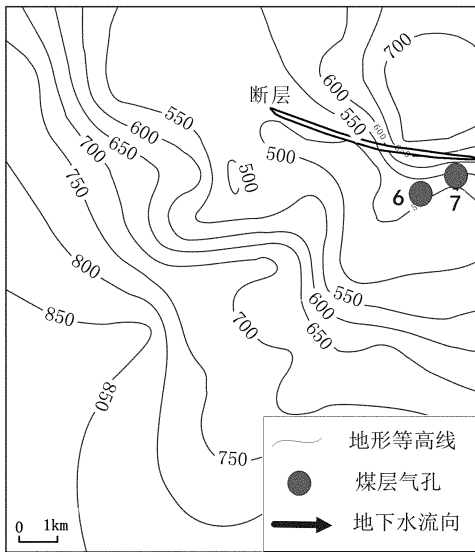


图 5 含水层水入侵型局部水动力场典型井位图

2 口生产井的初始见气时间、初始累计产水量以及稳定产气后典型日产水量的情况见表 2。2 口井平均见气时间为 406 d, 平均累计产水量 3071.59 m<sup>3</sup>, 平均典型日产水量 12.5 m<sup>3</sup>。由此可知, 生产井的初始见气时间长、初始累计产水量大, 在改变生产层位之前稳定产气后典型日产水量也相对较多, 但是当改变生产层位, 封掉 3<sup>#</sup> 煤后, 稳定产气后典型日产水量明显减少。这表明, 在含水层水入侵型局部水动力场的影响下, 地下水的水动力条件较强, 流动性较好, 煤层气井排出的水有一部分为含水层中

的水, 即无效排水, 因此储层压力降低至煤层气的临界解吸压力所用时间较长, 见气前排出的水量多, 煤层气发生解吸作用较晚, 初始见气时间长, 在见气后的稳定生产阶段生产井的典型日产水量也较多, 而当阻断含水层水补给煤层水的通道后, 再次达到稳定生产阶段后生产井的典型日产水量较改变层位前明显减少。

表 2 含水层水入侵型局部水动力场典型井统计

井号	初始见气时间(d)	初始累计产水量(m <sup>3</sup> )	典型日产水量(m <sup>3</sup> )
6	416	3139.19	13.00(改变层位后 8.00)
7	396	3003.99	12.00(改变层位后 2.00)

### 2.3 地表淡水入侵型局部水动力场对煤层气井排采动态的控制作用

选取我国中部某煤层气田中的 3 口位于地表淡水入侵型局部水动力场的生产井来分析地表淡水入侵型局部水动力场对煤层气井排采动态的控制作用。3 口生产井位置见图 6, 其中 3 口井的生产层位均为 1<sup>#</sup>, 2<sup>#</sup> 号煤层。

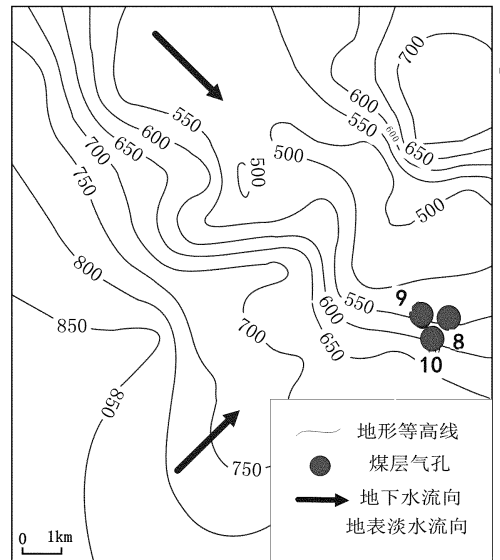


图 6 地表淡水入侵型局部水动力场典型井位图

根据区域地质条件的调查研究可知<sup>[16-19]</sup>, 这 3 口井所在的地区构造活动相对较弱, 地质条件比较简单, 生产层位距区内主要的含水层较远, 无断层、构造天窗沟通煤层与含水层的情况, 但是从区域上来看, 这 3 口井位于研究区内的主要汇水部位, 而且煤层水水头相对较低, 容易发生大气降水及地表水补给煤层水的现象, 在煤层气的排采过程中所形

成的水动力场为地表淡水入侵型局部水动力场。

表 3 地表淡水入侵型局部水动力场典型井统计

井号	初始见气 时间(d)	初始累计产 水量(m <sup>3</sup> )	典型日产 水量(m <sup>3</sup> )
8	28	1.91	12.00
9	18	49.81	10.00
10	408	1151.45	8.00

3 口典型井的初始见气时间、初始累计产水量以及稳定产气后典型日产水量的情况见表 3。3 口井平均见气时间为 151 d, 平均累计产水量 401 m<sup>3</sup>, 平均典型日产水量 10 m<sup>3</sup>。由此可知: 3 口生产井的初始见气时间较长、初始累计产水量和稳定产气后典型日产水量较大。这说明, 在地表淡水入侵型局部水动力场的影响下, 地下水的水动力条件较强, 流动性较好, 煤层气井排出的水既有有效排水又有无效排水, 因此储层压力降低至煤层气的临界解吸压力所用时间较长, 见气前排出的水量相对多, 煤层气发生解吸作用较晚, 初始见气时间长, 在见气后的稳定生产阶段生产井的典型日产水量也较多。

### 3 结论

(1) 综合分析了地下水的流动状况、区域构造状况、煤储层的排水降压过程并结合煤储层与含水层(隔水层)的组合关系, 提出了在煤储层排水降压过程中可能出现的 3 种局部水动力场样式, 并对 3 种局部水动力场对煤层气排采动态的控制作用进行了分析。

(2) 在有效扰动型局部水动力场的影响下, 煤层气井排出的水为有效排水, 储层压力降低至临界解吸压力所用时间短, 初始见气时间短, 初始累计产水量少, 见气后的稳定生产阶段典型日产水量也较少。

(3) 在含水层水入侵型和地表淡水入侵型局部水动力场的影响下, 煤层气井排出的水既有有效排水, 又有无效排水, 储层压力降低至临界解吸压力所用时间长, 初始见气时间晚, 初始累计排水量大, 见气后的稳定生产阶段生产井的典型日产水量多。

(4) 在煤层气的生产前, 要对区域地质条件进行详细的勘探调查, 尽可能地规避断层附近含水层水的入侵对煤层气的排产造成的不利影响。

### 参考文献:

- [1] 傅雪海, 秦勇, 韦重韬. 煤层气地质学[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2007: 1-89.
- [2] 高洪烈. 论地下水与煤层气[J]. 中国煤田地质, 1998, 10(4): 45-48.
- [3] 周志成, 王念喜, 段春生. 煤层水在煤层气勘探开发中的作用[J]. 天然气工业, 1999, 19(4): 23-25.
- [4] 马凤山, 李尚儒, 蔡祖煌. 煤层气开发的水文地质问题[J]. 水文地质工程地质, 1998(3): 20-22.
- [5] 刘洪林, 李景明, 王红岩, 等. 水动力对煤层气成藏的差异性研究[J]. 天然气工业, 2006, 26(3): 35-37.
- [6] 夏朋, 赵凯, 李照阳, 等. 水动力条件对煤层气赋存的控制作用研究[J]. 硅谷, 2009: 105-164.
- [7] 金爱民, 楼章华, 朱蓉, 等. 地下水动力场的形成演化及其流体特征分析——以鄂尔多斯盆地上古生界为例[J]. 浙江大学学报(理学版), 2003, 30(3): 337-343.
- [8] 骆祖江, 杨锡禄. 煤层甲烷运移聚集水动力场研究[J]. 长春地质学院学报, 1997, 27(3): 356-358.
- [9] 楼章华, 金爱民, 田炜卓, 等. 论陆相含油气沉积盆地地下水动力场与油气运移、聚集[J]. 地质科学, 2005, 40(3): 305-318.
- [10] 叶建平, 武强, 王子和. 水文地质条件对煤层气赋存的控制作用[J]. 煤炭学报, 2001, 26(5): 459-462.
- [11] 薛禹群, 朱学愚. 地下水动力学[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 18-107.
- [12] 朱蓉, 楼章华, 金爱民, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆气藏流体动力学特征及成藏过程分析[J]. 地质科学, 2003, 38(1): 31-43.
- [13] 康永尚, 吴文旷. 含油气盆地流体分析方法体系及今后应加强研究的问题[J]. 地质评论, 1999, 45(2): 151-157.
- [14] 秦胜飞, 宋岩, 唐修义, 等. 水动力条件对煤层气含量的影响——煤层气滞留水控气论[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 149-152.
- [15] 王密计, 康永尚, 毛得雷, 等. 煤层气排采局部水动力场模式及其意义——以鄂尔多斯盆地东南缘为例[J]. 天然气工业, 2013, 33(7): 57-62.
- [16] 冯三利, 胡爱梅, 叶建平, 等. 中国煤层气勘探开发技术研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 12-46.
- [17] 康永尚, 秦绍锋, 韩军, 等. 煤层气井排采动态典型指标分析方法体系[J]. 煤炭学报, 2013, 38(10): 1825-1830.
- [18] 康永尚, 窦凤珂, 秦绍锋, 等. 煤层气井排采动态典型指标分析及其工程意义[A]//2012年煤层气学术研讨会论文集[C]. 成都: 地质出版社, 2012.
- [19] 康永尚, 窦凤珂, 张兵, 等. 煤层气井产量预测动态统计方法[A]//2013年煤层气学术研讨会论文集[C]. 杭州: 地质出版社, 2013.

# The Dynamic Effect of Regional Hydrodynamic Field on the Drainage and Production under the Disturbance of Drainage and Production of Coalbed Gas Well

ZHANG Zhaomin<sup>1</sup>, SHI Guoping<sup>2</sup>, LIAN Yongbiao<sup>3</sup>

(1.Planning and Exploration Institute of Shandong Coal Geology Bureau,Shandong Coal Resources Digital Engineering Technology Center, Shandong Jinan 250104, China; 2. Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jinan 250102, China; 3. No.1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250014, China)

**Abstract:** Coalbed gas is mainly adsorbed in coal strata adsorptive state. Its output must experience the process of desorption—diffusion—seepage. The production process of coalbed gas indicates that the pressure of coal and rock reservoir is lower than the critical desorption pressure of coalbed gas, which is the key to the resolution output of coalbed gas. Drainage depressurization is the most effective method to reduce the pressure of coal and rock reservoir. In the process of drainage and depressurization, the original hydrodynamic field of underground water will be disturbed and the local hydrodynamic field is formed around the well, which will affect the efficiency of drainage and depressurization. According to the flow state of groundwater, regional tectonic development state, combining with the combination of coal reservoir and aquifer, 3 kinds of local hydrodynamic fields, such as effective disturbance type, aquifer water intrusion type and surface fresh water intrusion type are proposed in the process of coal reservoir drainage and depressurization, and different kinds of hydrodynamic fields have been analyzed combining with examples. The dynamic influence of CBM drainage is of practical significance for guiding CBM production.

**Key words:** Coal bed gas; hydrodynamic field; effective disturbance; drainage and pressure lowering