

# 肥城矿区充水含水层地下水动态研究

齐跃明<sup>1</sup>, 江玉祥<sup>2</sup>, 孟 茜<sup>1</sup>, 丁艳青<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学资源学院, 江苏 徐州 221008; 2. 肥城矿业集团, 山东 泰安 271608)

**摘要** :分析了 1963 ~ 2005 年肥城矿区 40 多年的水位和水质数据,研究了该地区充水含水层地下水动态规律。结果表明:四灰含水层呈疏干趋势,水质表现为  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+$  +  $\text{Na}^+$  减少, $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  增加;五灰与奥灰含水层水位呈波浪式升降,水质表现为  $\text{Ca}^{2+}$  增加,其他离子变化不明显,二者动态特征基本一致;而引起此动态变化的主要因素为大气降水、地质构造等。结合其他水文地质资料,该动态研究可以用来估算地下水的侧向补给量及更新速率,判断发生的水化学作用及速度,推断含水层水力联系方式及程度等。

**关键词** :地下水动态;充水含水层;水文地质;更新速率;肥城矿区

中图分类号:P641.74 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2008)01-0012-04

## Groundwater dynamics of water-filled aquifers in Feicheng colliery

QI Yue-ming<sup>1</sup>, JIANG Yu-xiang<sup>2</sup>, MENG Qian<sup>1</sup>, DING Yan-qing<sup>1</sup>

(1. School of Resources and Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Feicheng Mining Group Co. Ltd, Taian 271608, China)

**Abstract** :Based on analyses of groundwater level and water quality from 1963 to 2005, the groundwater dynamics of the water-filled aquifers in Feicheng colliery was studied. The results show that 4th limestone aquifer tends to be drained off, and the content of  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Na}^+$  decreases, while that of  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Ca}^{2+}$  increases. The water level in 5th limestone and Ordovician limestone are changing wave upon wave with an increment of the content of  $\text{Ca}^{2+}$  and less changes of the contents of other ions. The features of their groundwater dynamics were similar. Key factors resulting in the dynamic changes include atmospheric precipitation, geologic structure, manually discharging water, etc. Coupling with other hydrogeologic data, the groundwater dynamics research can be used to approximately evaluate lateral recharge amount and renovate rate of groundwater, determine the hydrogeochemical actions and their speed, and induce the way and extents of hydraulic contact among aquifers, etc.

**Key words** :groundwater dynamics; water-filled aquifers; hydrogeology; renovation rate; Feicheng colliery

### 1 矿区自然地理概况

肥城矿位于山东省肥城市境内(图 1),地处肥城断陷盆地北侧,四周为前震旦系花岗片麻岩、寒武系、奥陶系石灰岩系组成的中低山区。矿区东西走向 22 km,南北倾斜宽 2 ~ 7 km,面积 98 km<sup>2</sup>,地势较为平坦,地貌上表现为微向西南倾斜的山前冲积平原,总体呈东北高、西南低。煤田内自东到西有 9 个井田,分别为杨庄、曹庄、大封(于 2005 年末闭坑)、陶

阳、兴隆、白庄、平阴、查庄、国家庄矿。矿区多年平均降水量为 652.8 mm,年产原煤达 680 万 t,矿井年排水量为 4260.6 万 t,是全国有名的大水矿区,受水害威胁严重。

### 2 矿区水文地质条件

#### 2.1 地层及充水含水层

本地区属于华北型地层,地层走向北东东,倾向北,一般倾角 6° ~ 18°,由上到下(由新到老)有第四系

基金项目:国家自然科学基金(40472146,59906014);中国矿业大学青年科研基金(2006A015)

作者简介:齐跃明(1977—),男,湖南长沙人,讲师,博士研究生,主要从事矿井水害防治、地下水数值模拟等的教学与研究。E-mail:ym\_qi@126.com

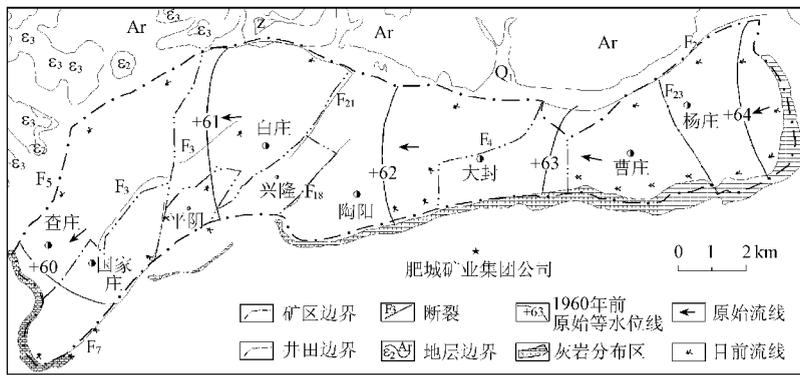


图1 肥城矿区地下水流域

(Q)二叠系(P)石炭系(C)奥陶系(O)寒武系( $\epsilon$ )及前震旦系(Z)。充水含水层由石炭系第四灰岩(四灰)石炭系徐家庄灰岩(五灰)与奥陶系灰岩(奥灰)含水层( $O_2$ )组成,含水层平均厚度分别为5m,10m和815m左右。

## 2.2 采矿前天然补径排条件

大气降水补给为矿区地下水的主要补给来源。煤矿1960年投产前的天然条件下,充水含水层水位自东向西为64~60m,地下水总体由东北向西和西南流动,西南为盆地内地表水和地下水的排泄出口,进入宁阳盆地。

## 3 地下水动态研究

地下水动态是一个区域(均衡区)水位、水量、水化学成分等在一段时间(均衡期)上的变化,它往往是该区域地下水补径排条件变化及水岩作用的反映。

由于充水含水层均为承压含水层,其动态类型均为径流型,其动态在天然条件下是稳定的,只有在外部条件发生大的改变时,才有可能导致地下水动态在短期内发生较大变化。因此下面从水位、水质两个方面分别阐述其时空变化特征。

### 3.1 水位动态

地下水的水位是表征地下水动力条件的重要标志。在20世纪中期,肥城矿区地下水流场属于天然状态,地下水以水平运动为主,垂直运动不明显,各含水层之间在没有采动影响条件下水力联系较弱,原因是各个含水层之间均有黏土岩和厚度较大的粉砂岩相隔,其水位标高不一致,水压、水质类型也互不相同。

随着煤矿的开采,部分含水层的地下水开始出现降落漏斗<sup>[1]</sup>。直到现在,全盆地大小不等的数十个地下水降落漏斗(图1)的形成,使地下水的运动方向发生了很大变化,地下水已经不能自由流出盆地,而是由人工(一为矿山排水,一为供水)在盆地内部提取到地表,这样,由40年前的天然地下水开放大系统演变为相对独立的水循环系统。

主要含水层中,四灰含水层大部分块段以静储量为主,富水性弱,在1983年左右快速下降,在当时呈现被疏干的特征。只有个别构造复杂块段,四灰直接接受五灰、奥灰强含水层补给时,富水性较强。而五灰岩溶水与奥灰岩溶水水位则呈现平缓的整体下降趋势(图2),两者变化曲线基本一致,而相隔距离较近(平均15m),表明两者间水力联系密切。由于近几年大气降水量增大,五灰、奥陶系岩溶水水位恢复较快,2006年1月水位已达52.70m。

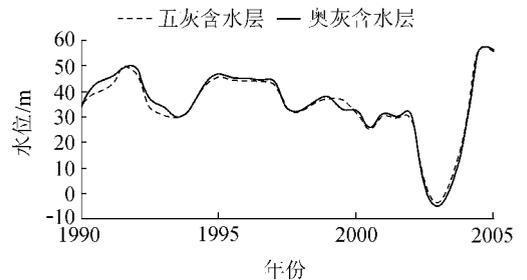


图2 曹庄矿五灰与奥灰历年水位曲线(1月份)

### 3.2 水质动态

平面上,肥城矿区的水质类型依空间位置不同而不同,如以四灰含水层为例,根据水样测试结果,杨庄、陶阳、查庄为 $HCO_3^-Na$ 型,曹庄为 $SO_4-Na$ 型,大封为 $HCO_3Cl-Na$ 型,白庄为 $CO_3Cl-Na$ 型,国家庄为 $HCO_3-Ca$ 型。

三个含水层的主要水化学组分见表1。从表1可看出,五灰与奥灰水质差异不多,而四灰与五灰、奥灰水质差异较大。奥灰水质特征的形成原因,主要是由于长期大量排出地下水(矿山排水和供水开采),使其处于较好的氧化环境中,表现为氮元素转化为硝态(以硝酸根 $NO_3^-$ 显示)和亚硝态(以亚硝酸根 $NO_2^-$ 显示),氮离子 $NH_4^+$ 的含量很低或没有。

与奥灰岩溶水的情况正好相反,四灰岩溶水初期处于还原环境下,尽管最终得到的补给也是来源于奥陶系岩溶水,但是 $NO_3^-$ 和 $NO_2^-$ 含量很低,硬度也很低,而 $NH_4^+$ 含量却较高, $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $F^-$ 的含量也均较高。

表 1 2004 年白庄矿各含水层地下水主要组分质量浓度

mg/L

含水层	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	总硬度	矿化度
四灰	1.4	185.0	13.7	5.4	0.6	24.0	25.8	422.5	1.6	<0.004	<0.4	56.5	501.0
五灰	1.6	25.3	77.9	24.5	0.0	27.0	60.6	304.2	0.4	0.2	6.5	295.3	386.7
奥灰	0.8	15.2	82.9	24.3	0.0	30.0	49.5	284.4	0.4	0.0	16.6	307.0	378.2

从五灰岩溶水的情况来看,其水质与奥陶系灰岩岩溶水极其相似,两者基本不存在差别。

随着时间的迁移,地质环境也在不断地变化,人类的活动更加剧了这种变化。以白庄矿为例(表 2),尽管地下水水质具有较好的继承性,但多年来三个不同含水层的地下水的化学组分含量仍呈有规律的变化:四灰表现为 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup> 减少,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Ca<sup>2+</sup> 增加;五灰表现为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 增加,而减少的离子项不明显;奥灰 Ca<sup>2+</sup> 增加,其他离子项随时间的增减性不明显。

表 2 白庄矿不同时期充水含水层水化学组分质量浓度 mg/L

含水层	日期	K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
四灰	1963-09	284.74	3.21	1.09	48.56	4.94	577.20
	1993-09	244.79	5.69	0.72	34.74	5.35	533.79
	2004-06	186.40	13.69	5.43	23.97	25.78	422.5
五灰	1964-04	74.06	42.10	18.18	32.62	22.22	331.95
	1989-04	14.72	74.45	17.53	16.08	33.65	283.22
	1993-08	19.32	74.38	22.11	17.03	45.89	299.72
	2004-06	26.95	77.89	24.47	27.03	60.54	304.24
奥灰	1963-09	29.14	64.61	25.86	21.81	72.84	273.85
	1993-08	8.51	76.61	19.83	15.85	31.28	287.86
	2004-06	15.99	82.94	24.25	29.99	49.53	284.41

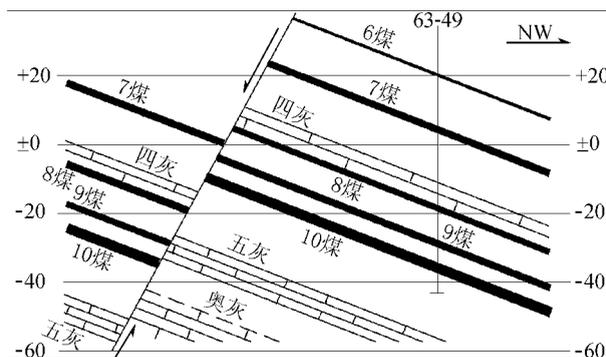
## 4 影响因素分析

地下水水位变化主要受排排条件的影 响,含水层补给量大于排泄量时水位上升;反之,则水位下降。而水质变化却要复杂些。矿区地下水化学成分是在长期的地质发展过程中形成和演化的,分布在不同深度的含水层和各种构造带中,受多种因素的影响,它们的化学性质各有特点<sup>[2]</sup>。天然地下水水质主要受自然地理、水文地质条件、地质构造、物理化学作用的控制<sup>[3]</sup>。总的来说,引起地下水水位动态变化的影响因素往往也是水质动态变化的影响因素,其又分为自然因素和人为因素。

### 4.1 自然因素

自然因素主要是地质构造和大气降水。

地质构造中,在肥城矿区起主要作用的是断裂构造,断裂构造起着导水通道、集水廊道或阻水屏障的作用<sup>[4]</sup>。发育良好的导水断层,可以沟通各个含水层,使各个含水层保持统一水力联系,如 F<sub>3</sub>(图 1 和图 3)。反之,若是阻水断层,则可以隔断水力联系,使各部分自成一体,如 F<sub>2</sub>(图 1)。

图 3 F<sub>3</sub> 断层剖面

大气降水是该区一种主要补给方式。大气降水与地表水、地下水的主要区别不仅是矿化度的大小不同,而且还表现在主要离子成分和有机物质的含量上。它常含有比其他水更加丰富的 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 离子,其离子含量特征是 [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] > [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] > [Cl<sup>-</sup>]。降水的渗入除了改变地下水的矿化度和离子成分外,由于它含有较多的自由氧,从而改变了地下水的氧化还原条件,间接地改变了地下水的水质。另外,降水也提高了地下水水位,2004~2006 年奥陶系岩溶水水位恢复较快,一个重要原因就是获得了较大的大气降水量补给。

降水的多寡不仅影响地下水的允许开采量,也直接决定了地下水获得补给量的多少。

### 4.2 人为因素

a. 矿井排水及人工采水。矿井排水水源层主要为二叠系砂岩裂隙水、石炭系薄层石灰岩岩溶裂隙水,而人工采水主要是开采奥灰含水层中的水。据调查统计,多年来全矿区平均年矿井排水量为 0.43 亿 m<sup>3</sup>/a,1996 年区域岩溶水的开采水平已达 2.08 亿 m<sup>3</sup>/a,1998 年则达到 2.76 亿 m<sup>3</sup>/a。这两种作用都使得充水含水层水位下降,如奥灰含水层的原始水位在 63 m 左右,多年来水位一直下降,2003 年 7 月达到历史最低水位 -17.65 m。

b. 废水和矿坑排水回灌。各类水样中,矿坑水的质量最差。由于缺少地表水,以前矿坑排水都未经处理直接排放作为灌溉用水直接使用,灌溉水和选煤废水、矸石溶滤废水等一起渗入地下,其中一部分补给到充水含水层,从而影响充水含水层水质<sup>[5]</sup>。

自然因素和人为因素又是可相互结合产生作用的,如采煤条件下,地质构造如断层由于受人工扰动而活化导水。

## 5 动态研究的水文地质意义

### 5.1 估算地下水侧向补给量及更新速率

根据水文地质综合勘查实验成果,该区入渗系数约为 0.3,容水度为 0.1 左右,可得降水补给量为 0.19 亿  $m^3/a$ ,而矿井排水量为 0.43 亿  $m^3/a$ ,目前开采量按 2.80 亿  $m^3/a$  计,则亏缺量为 3.04 亿  $m^3/a$ ,这部分水来自于侧向补给量,补给主要来自南、西、西北部、东及东北部山区的岩溶水,由于近几年水位还在升高,表明其侧向补给量大于 3.04 亿  $m^3/a$ 。四灰、五灰与奥灰含水层厚度合计约 830 m,容水度取 0.1,忽略弹性储存,则可计算矿区四灰、五灰、奥灰岩溶水重力储存量为 81.34 亿  $m^3$ ,地下水更新速率为  $(0.19 + 3.04) \div 81.34 \times 100\% = 4\%$ 。这些表明,在人为影响下,地下水循环深度加深,水位动态变化愈加显著。

### 5.2 判断沿程发生的水文地球化学作用

地下水在介质中流动的过程中会发生各种水化学作用,如混合作用,由于受四灰和奥灰岩溶水的影响,矿坑水水质呈混合状态,水质类型表现为  $HCO_3-CaMg$  型和  $HCO_3SO_4-CaMg$  型及  $HCO_3-CaNa$  型等,而溶滤作用在沿程均发生,其次还有阳离子交替吸附作用等。正是由于水遇到不同的岩石或矿物产生的这些作用,使各区域的水质差异变得更加显著<sup>[6]</sup>,水质类型变得更复杂。因此,可进一步利用水化学数据,通过化学和同位素平衡分析方法来分析各种水化学作用及定量确定地下水中矿化度来源。

### 5.3 推断含水层水力联系方式及程度

含水层这种空间上的水质差异性,也表明了它们之间水力联系的密切程度。水质相似,水位动态一致,说明两者之间的水力联系较强,二者处于同一渗流场,如五灰与奥灰;反之,水质差异性较大,水位动态不一致,说明它们的水力联系较弱,如四灰与五灰。通过水质、水位动态反应的水力联系方式有 4 种(表 3)。

表 3 水力联系方式与特征

接触类型	接触方式	水化学特征	水位变化	变化途径	联系程度
水平直接式	水平流	水平方向变化一般	变化一般(从高到低)	长	一般
水平间接式	阻水断层阻隔下缓慢水平流	水平方向变化较大	变化缓慢(从高到低)	短	缓慢
垂直间接式	垂向越流	垂直方向变化较大	上下含水层动态不一致	短	微弱
垂直直接式	导水断层	垂直方向变化小	上下含水层动态近一致	长	强烈

上述 4 种形式中,垂直直接式水力联系最为密切,这些区域常有导水构造穿过,或其间弱透层较薄,或岩溶裂隙发育较密集。当采掘工作面推进到这些区域影响范围内时,矿井最容易发生充水淹井事故。

因此,在这些区域要加大监测力度,优化地下水监测网的布设,查明各类导水通道的规模及作用,为矿区防治水污染及保护地下水资源提供决策依据。

## 6 结 论

a. 在人为作用影响下,肥城矿区充水含水层地下水动态为:四灰含水层呈疏干趋势,水质表现为  $HCO_3^-$ 、 $Cl^-$ 、 $K^+ + Na^+$  减少,  $SO_4^{2-}$ 、 $Ca^{2+}$  增加;五灰与奥灰含水层水位呈波浪式升降,水质表现为  $Ca^{2+}$  增加,其他离子变化不明显,二者动态特征基本一致。自 1960 年投产以来,地下水系统由天然开放大系统转为一个人工独立循环系统,地下水动态演变速度加快。

b. 引起地下水动态变化的因素有自然因素和人为因素,前者包括地质构造和大气降水,后者包括采水、矿坑排水、矸石废渣排放等。

c. 地下水环境演化过程能揭示出多种水文地质意义:估算地下水侧向补给量及更新速率,判断发生的水化学作用及速度,推断含水层水力联系方式及程度等。

d. 此研究有助于下一步优化监测孔网的布设,诠释矿山开采对围岩水文地质条件的影响作用,便于预防和处理,为深部煤层开采提供科学指导,也为矿井水的综合利用提供方向和目标。

### 参考文献:

- [1] 张宗祜,沈照理,薛禹群,等. 华北平原地下水环境演化 [M]. 北京:地质出版社,2000:57-60.
- [2] 庞渭舟,刘维国. 煤矿水文地质学 [M]. 北京:煤炭工业出版社,1986:46-48.
- [3] 沈照理,朱宛华,钟佐. 水文地球化学基础 [M]. 北京:地质出版社,1993:98-99.
- [4] 王大纯,张人权,史毅虹,等. 水文地质学基础 [M]. 北京:地质出版社,2002:124-125.
- [5] 徐军祥,徐品. 淄博煤矿闭坑对地下水的污染及控制 [J]. 煤炭科学技术,2003,31(10):28-30.
- [6] MAYO A L, PETERSEN E C, KRAVITS C. Chemical evolution of coal mine drainage in a non-acid producing environment, Wasatch Plateau, Utah, USA [J]. Journal of Hydrology, 2000, 236:1-16.

(收稿日期 2006-11-22 编辑 徐 娟)