

# 临涣矿区底含水文地球化学特征 及其工程地质意义<sup>①</sup>

李定龙 周治安

(淮南矿业学院)

**【摘要】** 本文阐述临涣矿区开采前后新生界底部含水层(简称底含)的水文地球化学特征的变化及其形成原因,提出了底含水文地球化学成因模式,初步讨论了水文地球化学环境变化对井筒周围岩土体工程地质性质的影响和井壁破裂之间的联系。

**【关键词】** 水文地球化学, 形成作用, 成因模式, 井筒

## 1 地质及水文地质概况

淮北临涣矿区包括临涣、海孜、童亭三个井田,均为厚层沉积松散覆盖。

本区钻孔揭露地层由老到新有奥陶系、石炭系、二迭系及新生界松散层。新生界厚度 141—291m,一般为 230m 左右,由东向西逐渐增厚。据钻探资料,结合区域剖面对比,可将其划分为三个隔水层组和四个含水层组,自上而下简称为一含、一隔、二含、二隔、三含、三隔和四含或底含。由于三隔厚度大(50m 左右)且分布稳定,使底含与上部各含水层组及地表水、大气降水失去水力联系。因为底含直接覆盖在煤系地层之上,在开采条件下,它与煤系基岩地下水通过风化带发生明显水力联系,成为矿井充水主要水源,为本文主要研究对象。

本区新生界各含水层特征见表 1。

表 1 临涣矿区新生界含水层和隔水层特征

含隔 水层	上下界面深度 (m)	厚 度 (m)	单位涌水量 (L/s·m)	渗透系数 (m/d)	岩 性 特 征
		最小—最大/平均			
一含	2.18—43.98	7.8—25.6/20	0.212—1.067	0.86—12.25	粉砂夹薄层砂质粘土
二含	56.8—98.4	3.1—30.8/17	0.345—1.142	0.33—6.71	粉砂、细砂和粘土质砂
三含	90.0—182.8	4.2—61.7/23	0.043—0.197	0.17—5.80	粉、细、中砂
三隔		19—80/50			粘土、钙质粘土
四含	187.2—291.6	0—45/22	0.036—0.673	0.271—5.75	粉细砂、砂砾夹粘土

## 2 底含地球化学特征及水理性质

### 2.1 岩性特点

底含岩性较复杂,由砂砾层、砂层、砂质粘土、粘土互相交替组合。各种粒级碎屑在不

<sup>①</sup> 本课题为煤炭系统留学回国人员科研基金资助课题

同岩性中相互掺杂。砂层中多含小砾石,分选性差。碎屑成分以硅质为主,含少量钙质粘土。底部常见一层厚3—5m的含砾粘土层,局部为粘土质砂砾层,砾径2—7cm不等。砾石分选、磨圆度差,反映出底含为近距离快速搬运堆积的沉积环境,属山麓冲洪积相。

## 2.2 底含碎屑物成分

据测试,底含中粘土矿物成分为水云母、蒙脱石、水针铁矿、高岭石和绿泥石。砂层中的碎屑物含量最低60%,最高95%,一般在60%—90%;杂基含量最低5%,最高40%,一般在10—35%之间。矿物成分中石英含量一般在55—80%;长石含量10—20%间。据统计,砾石成分中砂岩占56.8%,燧石28.2%,石英13.6%,灰岩1.4%,以砂岩为主。

## 2.3 底含水性性质

底含沉积物从砂性土到粘性土,容重、比重增大。如砂性土容重平均值 $2.02\text{g}/\text{cm}^3$ ,比重平均值2.69;粘性土容重平均值 $2.11\text{g}/\text{cm}^3$ ,比重平均值2.71。两类土的孔隙比一般在0.4—0.6之间,均属密实范畴。砂性土塑性指数为2.8—9,大多不超过5,为无塑—低塑性土;粘性土塑性指数一般为9—15,为中塑性土,部分轻粘土塑性指数超过20,显示高塑性。

底含渗透性较差,并具有随粘粒含量增高而明显减小的规律,一般在 $2.16\times 10^{-5}\text{cm}/\text{s}$ — $4.59\times 10^{-9}\text{cm}/\text{s}$ 。从粒径分析看砂性土不均匀系数一般在4.22—434.78之间,平均64.34;粘性土不均匀系数一般在10—1120间,平均为245.87。故底含基本属不良级配的非均质土。

上述情况表明底含沉积物具压实程度高,容水能力小,孔隙度、给水度及渗透性差的特点。

别为 80、35 和 30 左右；南部区 (C) 包括童亭矿和临涣矿西南部，水化学类型为  $\text{SO}_4^{2-}-\text{Ca} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Na}$  型，主要离子毫克当量百分数  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  分别在 75—80、40—50、30—40 和 15—25 之间。随底含水流方向 (自北向南) 具明显的分带规律。

(2) 开采状态下 13 个取样点编号参见表 3 及图 1 所示。水化学类型较为复杂，但仍具一定变化规律，自北向南大体可分四个区：临涣矿主副井的东北部 (I) 为  $\text{HCO}_3-\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$  型或  $\text{HCO}_3-\text{Na} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Ca}$  型，主要离子毫克当量百分数  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  分别在 75—90、35—65 及 15—35 之间；临涣矿主副井的南部边缘区 (II) 为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Mg} \cdot \text{Na} \cdot \text{Ca}$  型，主要离子的毫克当量百分数  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$  分别在 60 和 25 左右， $\text{Mg}$ 、 $\text{Na}$  及  $\text{Ca}$  皆在 30—35 之间；II 区的西南部 (III) 为  $\text{SO}_4-\text{Ca} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Na}$  型或  $\text{SO}_4-\text{Mg} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Na}$  型，局部出现  $\text{Cl} \cdot \text{HCO}_3-\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$  型，主要离子毫克当量百分数  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  分别在 70—85、25—50、25—55 和 10—35 之间；I 区的东南部 (IV) 为  $\text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$  型或  $\text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Ca}$  型，主要离子毫克当量百分数  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  及  $\text{Mg}^{2+}$  分别在 65—80、40—60、20—30 和 20—35 之间。

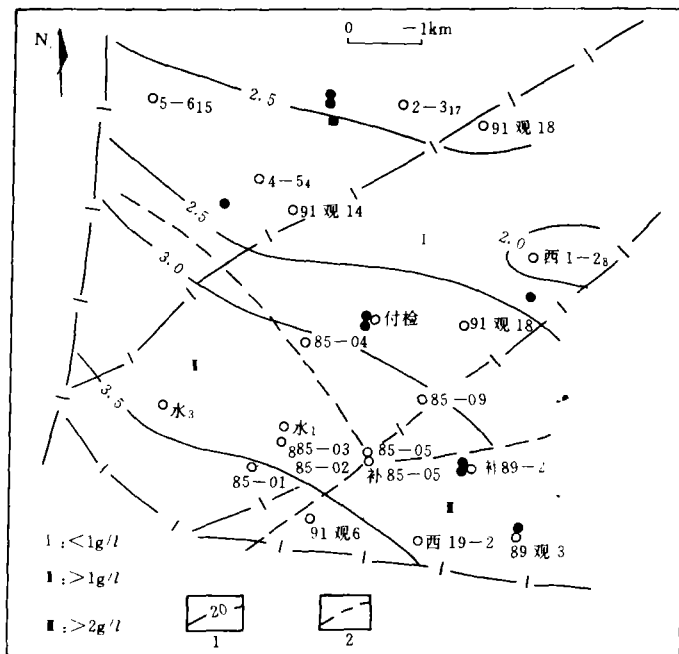
可见，矿井开采前自然状态下底含水化学类型仅有三种，且分布规律明显，而矿井开采后水化学类型有 8 种之多，分布复杂多变。

### 3. 1. 2 矿化度

(1) 自然状态下，如图 2 所示，矿化度最高为 3.47g/l (水<sub>3</sub> 孔)，最低 0.21g/l (西<sub>1-23</sub>孔)，平均为 2.76g/l。其变化规律为：海孜矿主副井北部较高，大于 2.5g/l；海孜矿主副井与西风井间的 NW—SE 向条带内较低，小于 2.5g/l；该带向南有逐渐增高的趋势，皆大于 2.5g/l。

(2) 开采状态下，如图 2 所示。矿化度最高为

3.53g/l (85—03 孔)，最低为 0.21g/l (补 85—05 孔)。其中矿化度小于 1g/l 的有 7 个孔，大于 1g/l 的有 6 个孔。其平面分布规律为：以临涣矿 85—04 与 85—05 孔及童亭矿主副井构成的交线为界，其东北部 (I) 矿化度均小于 1g/l；以 85—04 与 85—05 孔为线的临涣矿西南部 (II) 矿化度较高，大于 1g/l；而以童亭矿主副井与 85—05 孔为线的童亭矿东南部 (III) 矿化度大于 2g/l。



1—自然状态下矿化度等值线；2—开采后矿化度分区界线

图 2 矿井开采前后底含矿化度分布状况

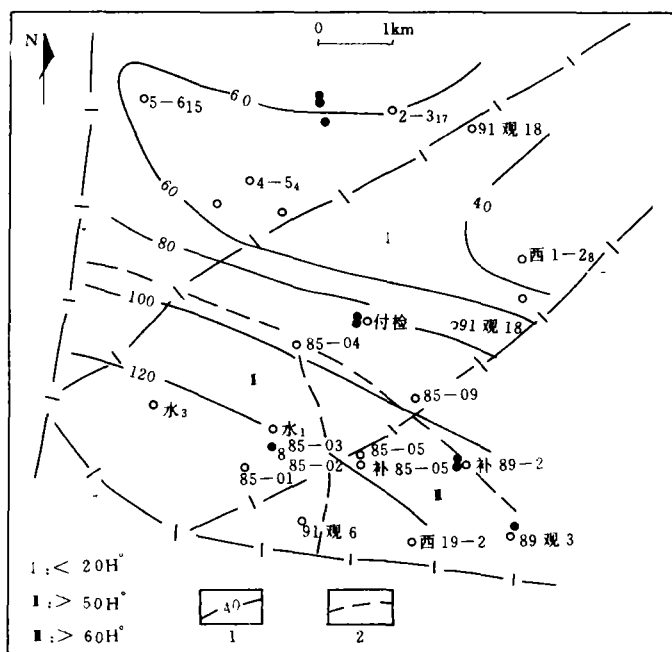
### 3. 1. 3 硬度

(1) 自然状态下, 如图 3 所示, 硬度最高为  $124.7H^{\circ}$  (水<sub>3</sub>孔); 最低  $33.9H^{\circ}$  (西<sub>1-28</sub>), 平均  $80.5H^{\circ}$ 。其平面变化规律与矿化度基本相似。海孜矿主副井以北较大, 大于  $60H^{\circ}$ 。海孜矿主副井与西风井间的 NW-ES 向带状区较低, 小于  $60H^{\circ}$ ; 该带向南有逐渐增高的趋势, 皆大于  $60H^{\circ}$ 。

(2) 开采状态下, 如图 3 所示, 硬度最高为  $125.5H^{\circ}$  (85-03), 最低为  $5.3H^{\circ}$  (91 观 14), 平均  $46.8H^{\circ}$ 。其中有 7 个孔小于  $20H^{\circ}$ , 6 个孔大于  $50H^{\circ}$ 。其平面变化规律也与矿化度相似, 以临涣矿西

风井与童亭矿主副井为线, 其北部(I)硬度均小于  $20H^{\circ}$ ; 临涣矿西风井的西南部(II)及童亭矿主副井的东南部(III)硬度较高, 前者均大于  $50H^{\circ}$ , 后者均大于  $60H^{\circ}$ 。

### 3. 1. 4 其它化学成分



1—自然状态下硬度等值线; 2—开采后硬度分区界线

图 3 矿井开采前后底含硬度分布状况

表 2

自然状态下底含水部分水化学成份

矿井	取样 孔号	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	游离 CO <sub>2</sub>	耗氧量	可溶性 SiO <sub>2</sub>	pH
海孜	2—3 <sub>17</sub>	0	0	1.04	20.0	7.7
	5—6 <sub>15</sub>	0	0	1.16	24.0	7.7
	4—5 <sub>4</sub>	0.01	0	0.9	22.0	7.7
临涣	水 <sub>1</sub>	0.01	0		13.0	7.8
	水 <sub>3</sub>					7.7
	西 <sub>1—28</sub>	0.26				7.8
	付检					7.8
童亭	西 <sub>19—2</sub>	0.06	0	2.13	20.0	7.8

注: 除 pH 外, 其它成分单位: mg/l

(1) 自然状态下, 见表 2 所示。 $NH_4^+$  大都检出, 无游离  $CO_2$ , 耗氧量局部较高, 为典型的还原环境。可溶性  $SiO_2$  较高, 这是底含主要为硅酸盐矿物所致。PH=7.7-7.8, 水温为 20-24℃。可见在自然状态下, 底含为一封闭还原的中性-弱碱性的水文地球化学环境。

(2)开采状态下,表3所示。 $Mn^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ 有反映出氧化环境的特点。游离  $CO_2$  的大量检出及  $Al_2O_3$  的检出均反映了环境的碱性增强( $PH=7.9-8.2$ )。显示了开采状态下,底含为近开启氧化的弱碱性的水文地球化学环境。

### 3.2 底含水化学成分形成作用及其成因模式

由上述可知,自然状态下底含水化学成分与开采状态下相差很大,且开采状态下的不同区段的水化学成分也相差甚远,反映出不同环境下水—岩作用的差别。

表3 开采状态下底含水部分水化学成分状况

矿井	取样 孔号	$Zn^{2+}$	$Mn^{2+}$	$Al_2O_3$	游离 $CO_2$	耗氧量	可溶性 $SiO_2$	pH
海孜	91 <sub>观14</sub>	0.07	0	0.008	1.0	1.22	1.0	8.1
	91 <sub>观18</sub>	0	0	0	0.5	1.56	1.6	8.1
临涣	85-01				4.0	0.70	18.0	8.0
	85-02				9.0	0.22	8.0	7.9
	85-03				0	0	12.0	7.9
	85-04							8.0
	85-05				2.5	0.25	4.0	8.3
	补85-05	0	0	0.008	0.5	0.08	1.0	8.0
	85-09							7.9
	91 <sub>观18</sub>	0	0	0.008	0.5	0	1.0	8.1
童亭	补89 <sub>观2</sub>	0	0.52	0.01	1.0	1.5	1.0	7.9
	89 <sub>观3</sub>				0	0.94	18.0	8.2
	91 <sub>观6</sub>	0	0	0.02	0	1.56	15.0	7.1

注:除 pH 外,其它单位:mg/l

#### 3.2.1 自然状态下水化学成分的形成作用

(1)溶滤溶解作用,底含在沉积期间,接受大气降水淋滤,由于沉积物结构松散,迳流条件好,易溶盐被溶滤带走,故淋滤开启期底含为低矿化度的  $HCO_3-Ca \cdot Mg$  型水。随上覆三隔层(湖泊相)沉积,底含逐渐封闭,由氧化环境转入还原环境,并经受一定量湖泊水的混入改造,  $Na^+$  含量增加,随压力增大和地温增高,一方面溶滤溶解作用加强;另一方面地下水运动趋于停滞,故矿化度增高。而与底含直接接触的煤系地层顶部含有  $Fe_2S$  等含硫矿物的氧化还原使  $SO_4^{2-}$  含量增高。由于 Na 的晶格能小于水化能,迁移强度大,在较高温度下,易溶的钠盐则迅速而最大限度地溶解于水,使水中含钠量不断增高。因此,在底含渐趋封闭的条件下,大都形成高矿化度的  $SO_4-Na \cdot Ca \cdot Mg$  型水。同时较高温度有利于底含中硅酸盐矿物溶解。当碱金属硅酸盐水解时,便增强了水的碱性。而碱性增强又反过来促进硅酸盐溶解,故底含中  $SiO_2$  含量较高。

(2) 增温增溶作用, 底含水温 (20—24℃) 较高除受上覆层厚度增大, 地热增温影响外, 还与底含直接接触的基岩风化带中硫化物的氧化放热反应有关。资料表明, 一个硫铁矿地下盲矿体, 在地下的化学反应过程中, 每年每  $\text{m}^3$  只需解体 70g  $\text{FeS}_2$ , 所提供的热量就可使地表下 50m 深处的地层升温  $1^\circ\text{C}$ <sup>[4]</sup>。因此, 这一放热反应也促进了底含内水—岩作用而形成较高矿化度。

(3) 其它作用, 如阳离子交替吸附及解析作用等。交替吸附主要以水中  $\text{Na}^+$  置换土颗粒所吸附的  $\text{Ca}$ 、 $\text{Mg}$  离子为主:  $2\text{NaCl} + \text{Ca}^{2+}$  (吸附) =  $\text{CaCl}_2 + 2\text{Na}^+$  (吸附), 该作用使地下水硬度增高。

### 3. 2. 2 开采状态下底含水化学成分变化与形成作用

矿井开采后, 底含水大量突入矿井, 水位幅度下降, 各矿皆形成 1—2 个降落漏斗。至 1991 年 11 月三个矿最低水位降深为: 临涣矿为 148.3m (85—02 孔); 海孜矿 128.0m (88 观<sub>3</sub>); 童亭矿 86.8m (91—6 孔)。水文地球化学环境发生重大改变, 导致水—作用强度和方式的变化。

(1) 水动力增强导致进一步溶滤溶解, 据在该矿区进行的示踪试验, 底含在开采条件下, 渗透速度提高了几个数量级, 降落漏斗范围内已溶解盐成分被大量带走, 而剩下难溶的  $\text{HCO}_3^-$  盐。因此, 在相对投产时间较长的临涣、海孜两矿底含矿化度、硬度显著降低,  $\text{SO}_4^{2-}$  下降,  $\text{HCO}_3^-$  升高, 可溶性  $\text{SiO}_2$  下降。

(2) 水压力下降导致脱碳酸作用, 开采前底含水中无游离  $\text{CO}_2$ , 随底含水压力下降及  $\text{HCO}_3^-$  含量的增加, 有利于脱碳酸作用进行:  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{Mg}^{2+}$ ) +  $2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}$  ( $\text{Mg}$ )  $\text{CO}_3 \downarrow$  导致游离  $\text{CO}_2$  大量检出, 而  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  含量显著减少, 硬度下降。

(3) 阳离子交替吸附作用, 上述作用将引起水→岩间的阳离子吸附平衡破坏, 由开采前后的  $r\text{Na}/r\text{Cl}$  比值减少可知岩土中吸附的  $\text{Ca}^{2+}$  被水中的  $\text{Na}^+$  所取代。

应当指出, 开采后的水化学特征与水动力条件密切相关, 并受矿井开采时间的制约。如临涣 85—09 孔处临溪与童亭两矿形成的降落漏斗的分水岭上其水化学成分基本未变, 而处于漏斗中心附近的 (如临 85—05 孔) 变化较大。临、海、童三矿井投产日期分别为 1985 年 12 月、1987 年 10 月及 1989 年 11 月, 童亭矿比海孜、临涣两矿晚 2—4 年, 故 1992 年资料, 其底含水化学成分变化不大。但可预测随开采时间的延续, 童亭矿底含将很快会呈现与海孜、临涣相同的特征。

### 3. 2. 3 底含水文地球化学成因模式

底含沉积至今, 随地质历史演变, 其水文地质及水文地球化学环境也在不断改变, 可将其水文地球化学演变过程分为四个阶段 (表 4)。

### 4 底含水文地球化学特征对井筒稳定性影响

临涣矿区共建 11 个立井井筒, 迄今为止, 已有 9 个发生破裂, 是黄淮地区井筒破裂最严重、最典型的地区。其中有 5 个破裂段在底含, 其余破裂段在基岩风化带。井筒破裂实质上是岩土体失稳的结果。而底含水文地球化学环境变化必将对岩土体工程地质性质产生影响。

#### (1) 对底含工程地质性质影响

主要表现在: A. 矿化度降低影响土体抗剪强度。试验表明, 粘性土的抗剪强度有随含盐量减少而明显降低的趋势<sup>[2]</sup>, 粘聚力  $C$ 、内摩擦角  $\Phi$  值下降。B. 底含中易溶盐大量流失及水中  $\text{Ca}^{2+}$  交换粘性土  $\text{Na}^+$  后造成粒间粘结力变弱, 分散度增高, 水稳性减弱, 从而降低抗剪强

度。C. 随底含水动力增强, 各种矿物的水解作用增强, 可溶性游离氧化物 (如  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  等) 大量检出, 这对土体的工程地质性质不利。

表 4 底含水文地球化学演变序列模式

层次	岩性	时序	地质时代	沉积环境	水文地质构造类型	水文地球化学演变方向	水化学类型	矿化度 (g./l)	硬度 ( $\text{H}^\circ$ )	pH
底 含	砾石砂、砂质粘土、粘土	新 ↓ 老	第四纪	矿区开采后	氧化	半开启	负向变质	$\text{HCO}_3$	$<1$	$<20$
				三隔沉积后至矿区开采前	还原	封闭	正向变质	$\text{SO}_4$	$>1.9$	$>50$
			第三纪	三隔沉积期	氧化还原	半封闭	正向变质	$\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$	$1-1.9$	$20-50$
				底含沉积期	氧化	全开启	负向变质	$\text{HCO}_3$	$<1$	$<20$

## (2) 对基岩风化带工程地质性质影响

基岩风化带是底含水下渗的必经通道。开采实践证明, 渗流通道大都选择路径短, 易渗流的煤系地层的砂、泥岩界面或断层带, 即软弱结构面进行。众所周知, 这类软弱结构面对岩体稳定性影响最大, 人们不仅关心其原先性状, 同时也更注意它在长期渗水作用下的变化。葛州坝软弱夹层试验研究表明, 在较强的动水压力下, 水—岩作用强度、速度大大增加, 特别是亲水矿物的吸水膨胀, 对岩体稳定性影响较大。由于缺乏软弱层这方面的水理性质资料, 这项内容还有待进一步工作。

总之, 矿井开采后, 在底含长期渗压水作用下, 底含中粘性土及基岩中软弱带的抗剪强度总体上呈现降低趋势, 使岩土体工程地质性质趋于恶化, 对井筒稳定不利。

## 5 结论

(1) 自然状态下, 临涣矿区底含水化学类型自北向南由  $\text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$  型向  $\text{SO}_4-\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$  型及  $\text{SO}_4-\text{Ca} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Na}$  型变化。

(2) 开采状态下, 底含水化学类型趋于复杂, 主要为  $\text{HCO}_3-\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl}-\text{Mg} \cdot \text{Na} \cdot \text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3-\text{Ca} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Na}$  及  $\text{SO}_4-\text{Na} \cdot \text{Ca} \cdot \text{Mg}$  等, 这与底含水动态及各矿开采时间长短密切相关。

(3) 底含水化学成分的形成作用主要有溶滤溶解作用、阳离子交替吸附作用、增温增溶作用及脱碳酸作用等。

(4) 开采后, 底含水文地质及水文地球化学环境的变化, 使得岩土体在长期渗压水作用下抗剪强度降低, 对井筒稳定不利。

(5) 由于开采前后底含水化学成分变化很大, 因此, 从水化学角度来判断矿井是否为底含充水应该从变化的角度去认识。

限于资料 and 水平, 文中不足和错误之处在所难免, 恳请批评指正。在本项研究中, 临、海、童三矿地测科提供了部分资料, 地质系 89 级何乐生等同学参加了部分资料整理, 在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- 1 沈照理, 水文地球化学基础, 北京: 地质出版社, 1986. 6
- 2 王幼麟, 葛州坝泥化夹层成因及性质的物理化学探讨, 水文地质工程地质, 1980 (4)
- 3 周治安, 黄淮地区井筒破裂与渗流变形, 安徽地质, 1993 (1)
- 4 张启德, 我国东北地区隆起带地下热水中氟的水文地球化学特征, 水文地质工程地质, 1982 (2)

## HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF BOTTOM AQUIFER AND ITS SIGNIFICANCE OF ENGINEERING GEOLOGY IN LINGHUAN MINING AREA

Li Ding-long Zhou Zhi-an

(Huainan Mining Institute)

**Abstract:** The changes of hydrogeochemical characteristics and the origin of bottom aquifer of Cenozoic overburden of the Linghuan mining area before and after mining are elaborated. Model of origin of hydrogeochemistry of bottom aquifer is presented. The influences of change of hydrogeochemical environment on the characters of rock-soil mass engineering geology and their relation to shaft fracturing are preliminarily discussed.

**Key words:** hydrogeochemistry, formation action, model of origin, shaft