

## 栖霞香乔东部石灰岩矿区水文地质条件分析

谢军民,姜文娟

(山东省核工业二七三地质大队,山东 栖霞 265300)

**摘要:**依据栖霞香乔地区地质勘查及矿区开采成果资料,对矿区水文地质条件进行了分析,认为研究区水文地质条件简单—中等。阐述了地下水对灰岩层开采的影响,分析了矿坑充水因素,并对矿坑涌水量进行预测,认为随着深度增加,水动力条件会发生变化,对矿井开采及防治水害提出了建设性意见。

**关键词:**水文地质条件;石灰岩;水灾害防治;香乔东部;山东栖霞

中图分类号:TD741

文献标识码:B

## 0 引言

山东省水泥用灰岩资源储量丰富,居全国第2位,烟台栖霞是山东水泥用石灰岩的重要矿产地之一<sup>[1]</sup>。

矿区位于栖霞市区北东35 km处,行政区划属臧家庄镇管辖。栖霞香乔石灰岩属于新元古代蓬莱群岩组,位于栖霞市松山、寨里、臧家庄及中桥四乡镇,面积约170 km<sup>2</sup>,是胶东石灰岩分布最大区域<sup>[2,3]</sup>。研究区位于山东省栖霞市枣林地区水泥用灰岩矿矿区的西部,面积1.02 km<sup>2</sup><sup>①</sup>。

## 1 矿区水文地质

矿区位于区域南部(图1),白洋河于矿区北部自西向东径流,该区最低侵蚀基准面标高50 m(西栾家北白洋河河谷)。区内主要河流为枣林河由南向北入白洋河,属季节性河流;在矿区南面早期建有香乔水库,面积约78 300 m<sup>2</sup>,库容量670 000 m<sup>3</sup>,但后期用于铅锌矿的尾矿池,库内目前尾矿碴顶部高程与坝顶相平,故库区内在枯水期无水,丰水期在低洼处有少量积水,地表水通过溢洪道排出。详查工作共圈定2个矿层(I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>),其地表标高一般90~160 m,地表径流条件良好。未来矿床开采方式为

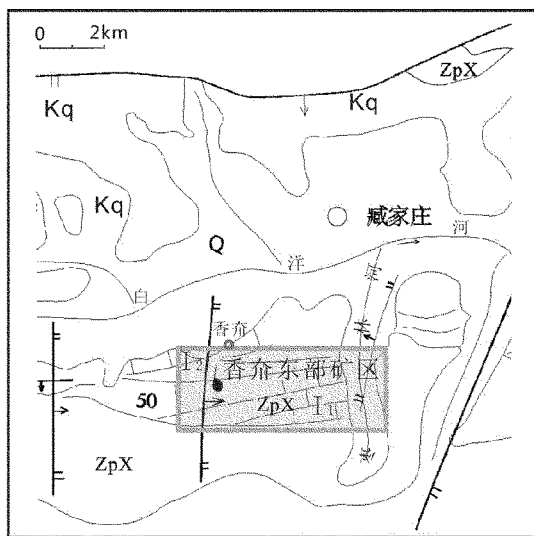


图1 香乔地区水文地质略图

(据于维强,1991年。阴影区为研究区)

Q—第四系;Kq—青山群;ZpX—香乔组

露天开采,设计最低开采标高0 m。

## 1.1 第四纪孔隙含水层

第四纪孔隙含水层主要分布于矿区东部、北部,岩性以第四纪冲积的沙砾石及冲洪积的含泥沙砾石为主。分选性差,磨圆度中等,第四系厚度一般3~10 m,地表一般有3~8 m的粉土、粘土,含水层厚度一般小于10 m,地下水位埋深0.9~7.8 m,单井涌水量一般大于500 m<sup>3</sup>/d,在傍河有利地段单井涌

\* 收稿日期:2012-07-25;修订日期:2012-08-26;编辑:陶卫卫

作者简介:谢军民(1968—),男,江西大余人,工程师,主要从事地质、水环勘查工作;E-mail: xjm.888@163.com。

①山东省核工业二七三地质大队,山东省栖霞市香乔东矿区水泥用灰岩矿详查报告,2007年。

水量可达  $1\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$  以上。地下水水质良好,水化学类型为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca}$  或  $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3 - \text{Ca}$  及  $\text{SO}_4 - \text{Ca}$  型,矿化度  $0.667 \sim 2.377\ \text{g/L}$ 。

### 1.2 灰岩岩溶裂隙含水层

该含水层为矿床开采的主要直接充水来源,矿体即赋存在该层中,含水层岩性主要蓬莱群香乔组二段中厚层灰岩组成,灰岩在各种地质作用下形成裂隙,由水的作用形成零星的溶孔、溶洞,地下水在地下溶孔、溶洞、裂隙中贮存、运移、渗流,形成该地区的岩溶裂隙含水层,故岩溶以细小的溶蚀裂隙为主,形态各异,通道方向多变,规模一般不大。含水层的分布与矿体一至,沿走向长  $1\ 020\ \text{m}$ ,倾向延伸平均  $121\ \text{m}$ ,平均厚  $76\ \text{m}$ 。在浅部,区内灰岩部分裸露区,地表受降水影响溶蚀现象明显,溶沟、溶槽、溶蚀裂隙普遍发育,个别地段发育成溶蚀孔洞,由于灰岩抗风化能力强,矿区内灰岩主要表现为微弱风化,风化深度一般小于  $5\ \text{m}$ ,风化带内裂隙较发育,但多被粘土充填,富水性受降水影响变化很大。下部岩石裂隙发育不规律,常夹有厚度不等的裂隙发育段,造成岩体结构的局部不完整,沿层理方向形成局部的破碎,在钻孔中线溶隙率一般为  $1.0\% \sim 1.8\%$ ,局部地段达  $8.0\%$ ,由于裂隙常被粘土充填,开启程度差,缓减了地下水运动速度;地下水除沿裂隙发育外,还沿胶结物进行,该矿床充填胶结物主要为方解石,联结力较强,在 0 线至 3 线采坑常见蜂窝状溶洞,钻孔可见溶蚀孔洞。孔洞直径  $0.40\ \text{m}$ ,溶洞内见黄色细砂及粘土充填,粘土含量达  $70\%$  以上,由于粘土的充填,溶蚀裂隙及孔洞的连通性差,富水性中等;在深部地下水沿灰岩与花岗闪长斑岩接触带发育,由于脉岩的隔水、阻水,灰岩在接触带部位裂隙、溶蚀发育,含水相对较富,如抽水孔某钻孔主要出水位置为灰岩与脉岩接触处 ( $79.3\ \text{m}$ )。从浅部到深部富水性差异较大,主要表现为矿体内水位标高差异很大。部分钻孔地下水位标高一般为  $77.23 \sim 92.94\ \text{m}$ ,地下水位平均标高  $87.84\ \text{m}$ ,高于当地最低侵蚀基准面。地下水类型为潜水,根据钻孔抽水实验结果:单位涌水量  $0.106\ \text{L/s} \cdot \text{m}$ ,平均渗透系数  $0.192\ \text{m/d}$ ,地下水水质一般,水化学类型为  $\text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$  型,矿化度  $0.572\ \text{g/L}$ 。

地下水动态变化规律主要受季节及人工开采的影响,反映迅速。一般情况下地表水匮乏,雨过常不见水,水位水量变化较大,枯水季节水位下降,连续

降雨和特大暴雨期间,地下水位急剧上升,年水位变幅一般为  $1 \sim 2\ \text{m}$  左右。

由于该区地形坡降大,且地表裂隙多为泥质充填,不利于大气降水入渗,但灰岩分布区民采坑面积比较大,为降水入渗创造了有利条件。

另外矿区东与枣林河之间分布的香乔组一段的薄层灰岩及含泥灰岩,裂隙多闭合,为相对隔水层,但在枣林河断裂及次生断裂的影响下,局部裂隙相对较发育,赋存次生构造裂隙水,在矿层开采至地下水位以下时成为矿坑充水的间接来源。

### 1.3 基岩裂隙含水层

主要分布于矿区东南部,主要岩性为新元古代蓬莱群南庄组黄绿色泥质板岩夹中厚层泥质灰岩,分布于北部的中生代青山群石前庄组流纹状英安岩、流纹岩、流纹质凝灰岩,以及中生代花岗闪长斑岩。以风化裂隙水为主,局部受构造影响赋存构造裂隙水。基岩裂隙水富水性差,单井涌水量多小于  $100\ \text{m}^3/\text{d}$ 。

### 1.4 非含水层(脉)

#### (1) 第四系坡洪积层

岩性主要为坡洪积的粘土或粉质粘土,分布于坡麓及低洼地带,矿层之上厚度一般  $0.40 \sim 1.00\ \text{m}$ ,局部沟谷地段一般  $2 \sim 5\ \text{m}$ ,  $5 \sim 7$  线间分布较广,北端厚度较大,最厚达  $5.26\ \text{m}$ 。由于位于地下水位以上,一般不含水,透水性差。

#### (2) 脉岩

区内出露的脉岩主要为辉绿玢岩和花岗闪长斑岩脉。

花岗闪长斑岩脉:主要出露于矿区西、北部,一般长  $1\ 000 \sim 2\ 000\ \text{m}$ ,宽  $20 \sim 40\ \text{m}$ ,多呈 NE 走向,上部风化裂隙发育,赋存少量裂隙潜水。下部岩石完整,为非含水岩脉,起隔水作用。

辉绿玢岩脉:在矿区内零星出露,多数规模较小,为非含水岩脉,起隔水作用。

## 2 $I_1$ 与 $I_2$ 号矿层边界条件

补给边界主要位于矿床东部的枣林河及其河床。第四系富水性较强,与地表水联系密切,可形成相对稳定的补给边界。其次矿床南部的薄层灰岩及含泥灰岩富水性弱,可视为弱补给边界。矿床南侧辉绿玢岩脉与矿床西、北环状的花岗闪长斑岩脉规

模较大且连续,裂隙不发育,透水性、富水性较弱,可视为相对隔水边界。

### 3 矿床充水因素

矿坑突水的主要方式有底板冒水和顶板突水 2 种。矿坑突水的主要影响因素包括:含水层的富水性、断裂构造的发育程度、水头压力的大小、隔水顶底板的厚度及其完整性等<sup>[4]</sup>。该矿床开采方式为露天开采,最低开采标高为 0 m,地面标高一般 90~160 m,最低侵蚀基准面 50 m。地下水位标高 77.23~92.94 m,平均标高 87.84 m。

由于矿床为露天开采,开采地下水位以上部分的矿层,大气降水为主要的充水水源,大气降水季节性比较明显,日降水差异很大,因此矿坑涌水量也将主要集中于雨季的降水日内。由于降水的随机性和充水的直接性,日排水量将出现巨大的差异。

开采地下水位以下部分的矿层,大气降水和地下水为主要的充水水源。由于矿床主含水层也是赋矿层,地下水将直接进入矿坑,充水通道主要为岩溶裂隙。

### 4 涌水量预测及对开采灰岩矿的影响

该矿床共圈出 I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> 两个矿层,两矿层相距较近且所夹灰岩可以当做搭配用矿石,考虑开采时可以同期同时进行,故把 I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> 矿层视为一个整体来预测矿坑涌水量。I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub> 矿层地下水位平均标高 87.84 m,地下水位标高以上,大气降水为矿坑充水的唯一来源;水位标高以下,矿坑涌水量包括大气降水直接落入矿坑的水量与地下水进入矿坑的水量之和。矿床最低开采标高为 0 m,因此针对该矿床特点矿坑涌水量预测分为:地下水位(87.84 m)以上只有降水补给的露天采矿场的涌水量和地下水位以下至 0 m 标高涌水量预测。

#### 4.1 87.84 m 以上涌水量预测

矿床位于山坡底部,大气降水是矿床补水的唯一来源。矿床范围内无地表水体,矿床东面枣林河距矿床 0.8 km,河床标高在 +65 m 左右,河水上涨一般小于 2 m,河水淹没范围仅限于河床附近,洪水标高远小于矿床地下水位,所以对露采矿坑无影响。大气降水一部分直接落入矿床内,一部分落入矿坑与周围分水岭之间,通过地表及地下风化层最终汇

入矿坑。

#### 4.1.1 计算公式的选择

根据上述特点,首先在 1:1 万矿区图中以分水岭及等高线为依据圈定地表汇水面积(含露采矿坑),根据降水的季节变化,选择降水量相近的月份作为计算时段,根据多年(1960—2006 年)月平均降水量,计算各时段内矿坑平均日涌水量;根据多年(1960—2006 年)平均日降水量预测一般日最大涌水量;并根据日降水的极值预计多年一遇日最大涌水量。计算公式<sup>[5]</sup>:

$$Q_0 = F_0 X_0 / 30 \quad (1)$$

式中:Q<sub>0</sub>—大气降水进入矿坑涌水量(m<sup>3</sup>/d);F<sub>0</sub>—矿区汇水面积(m<sup>2</sup>),F<sub>0</sub>=1.139×10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>;X<sub>0</sub>—月均降水量(m),根据栖霞气象局 1960—2006 年多年平均资料(表 1)。

表 1 降水量取值

计算时段(月份)	1,2,3,12	4,5,10,11	6,9	7,8
月均降水量(m)	0.0118	0.037	0.0724	0.1906
一般最大日降水量(m)	0.064			
多年一遇最大日降水量(m)	0.3028			

#### 4.1.2 露天开采涌水量预测结果

把表 1 各时段降水量代入公式(1)计算出对应月份涌水量,根据一般最大日降水量为 0.064 m 及多年一遇最大日降水量为 0.3028 m,代入公式 Q<sub>0</sub>=F<sub>0</sub>X<sub>0</sub> 计算出一般最大日涌水量及多年一遇暴雨时洪峰流量(表 2)。

$$Q_{\max} = 1.139 \times 10^6 \times 0.064 = 72896 \text{ (m}^3/\text{d)}$$

$$Q_{\text{洪}} = 1.139 \times 10^6 \times 0.3028 = 344889 \text{ (m}^3/\text{d)}$$

表 2 只有降水补给的露天采矿场矿坑涌水量(Q<sub>0</sub>)预测结果

预测矿层	I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> 号矿层
1,2,3,12 月份日均涌水量(m <sup>3</sup> /d)	448
4,5,10,11 月份日均涌水量(m <sup>3</sup> /d)	1405
6,9 月份日均涌水量(m <sup>3</sup> /d)	2749
7,8 月份日均涌水量(m <sup>3</sup> /d)	7236
一般最大日涌水量(m <sup>3</sup> /d)	72896
多年一遇最大日涌水量(m <sup>3</sup> /d)	344889

从涌水量结果表 2 可以看出,露采矿坑如果没有排洪沟拦截上游坡来的水,矿区汇水面积内的水量进入矿坑较大,一般在 448~7236 m<sup>3</sup>/d 之间,一般最大日涌水量为 72 896 m<sup>3</sup>/d,多年一遇暴雨时洪

峰流量为  $344\ 889\ \text{m}^3/\text{d}$ , 因在实际生产时都会根据现场情况施工挡截排洪沟<sup>[6]</sup>, 故此涌水量预测结果仅供设计参考。

#### 4.2 0 m 标高涌水量预测

当矿床开采至地下水位标高以下时, 矿坑涌水量包括大气降水直接落入矿坑的水量与地下水进入矿坑的水量之和。因为不同时期不同标高矿坑涌水量不同, 该矿床最低开采标高为 0 m, 也即为矿坑最大涌水量。

##### 4.2.1 计算公式的选择及计算

###### (1) 大气降水

矿床位于山麓且有一面积较大的民采露天采坑, 在雨季中为了防止洪水流入采矿区, 可在采矿区上方沿山坡垂直来水方向修建排水沟以挡截洪水, 通过排水沟将洪水引出矿区, 这样在预测矿坑涌水量时采坑以外的水量可不考虑。同样, 由于大气降水的季节变化明显, 降水集中, 因此, 根据降水的季节变化, 选择降水量相近的月份作为计算时段, 根据多年(1960—2006 年)平均降水量, 计算各时段内矿坑平均日涌水量; 根据多年(1960—2006 年)平均日降水量预测一般日最大涌水量; 并根据日降水的极值预计多年一遇日最大涌水量。计算公式<sup>[5]</sup>:

$$Q_1 = F_1 X_0 / 30 \quad (2)$$

式中:  $Q_1$ —大气降水直接落入矿坑水量;  $F_1$ —露采矿坑坑口面积( $\text{m}^2$ ), 依储量计算剖面图求取。  $I_1$ ,  $I_2$  矿层  $F_1 = 2.326 \times 10^5\ \text{m}^2$ ;  $X_0$ —月均降水量(m), 根据栖霞气象局 1960—2006 年多年平均资料(表 1)。

把表 1 各时段降水量代入公式(2)计算出对应月份涌水量, 根据一般最大日降水量为 0.064 m 及多年一遇最大日降水量为 0.302 8 m, 代入公式  $Q_1 = F_1 X_0$  计算出一般最大日涌水量及多年一遇暴雨时洪峰流量(表 3)。

表 3 大气降水直接落入矿坑涌水量( $Q_1$ )预测结果

预测矿层	$I_1, I_2$ 号矿层
1, 2, 3, 12 月份日均涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ )	71
4, 5, 10, 11 月份日均涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ )	222
6, 9 月份日均涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ )	435
7, 8 月份日均涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ )	1146
一般最大日涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ )	14887
多年一遇最大日涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ )	70432

$$Q_{\max} = 2.326 \times 10^5 \times 0.064 = 14887\ (\text{m}^3/\text{d})$$

$$Q_{\text{洪}} = 2.326 \times 10^5 \times 0.3028 = 70432\ (\text{m}^3/\text{d})$$

###### (2) 地下水

$I_1, I_2$  两个矿层水文地质条件概化:

充水岩层为无压含水层, 0 m 标高作为含水层底板, 根据详查工作资料, 矿坑南侧的辉绿玢岩及矿区西、北环状的花岗闪长岩脉形成相对稳定的隔水边界, 矿区东为香奂组一段的薄层灰岩及含泥灰岩为相对隔水边界, 这样矿坑可以认为是一个形状不规则, 分布面积大的“大井”。此外还要考虑矿坑降落漏斗范围本身地下水的静储量。计算公式:

$$R = 2S \sqrt{HK} \quad (3)$$

$$Q_2 = \frac{1.366K(2H-S)S}{\ln \frac{R}{r_0}} + \frac{\mu v}{t} \quad (4)$$

式中:  $Q_2$ —地下水进入矿坑的涌水量( $\text{m}^3/\text{d}$ );  $K$ —渗透系数(m/d), 根据抽水试验确定, 取平均值  $K = 0.192\ \text{m}/\text{d}$ ;  $H$ —静水位高度(m),  $H = 87.84\ \text{m}$ ;  $S$ —地下水位降低值(m),  $S = 87.84\ \text{m}$ ;  $R$ —大井影响半径, 按公式(3)求得,  $R = 721.5\ \text{m}$ ;  $r_0$ —大井引用半径(m)。采用公式  $r_0 = \sqrt{\frac{F_2}{\pi}}$  近似计算,  $F_2$  为计算标高坑底面积,  $F_2 = 73\ 800\ \text{m}^2$ ,  $r_0 = 153.3\ \text{m}$ ;  $\mu$ —含水层给水度, 取经验值  $\mu = 0.02$ ;  $t$ —矿体开采时间 = 3650d;  $v$ —含矿坑在内的稳定降落漏斗体积( $\text{m}^3$ ), 因矿体排水形成的降落漏斗很不规则, 采用圆台公式近似计算:

$$v = 1/3 h_0 (r_0^2 + r r_0 + r^2) \quad (5)$$

$r_0, r$  分别为大井引用半径, 降落漏斗的上口半径, 采用公式  $r = \sqrt{\frac{F_1}{\pi}}$  近似计算。  $F_1$ —露采矿坑坑口面积( $\text{m}^2$ ), 依储量计算剖面图求取。  $I_1, I_2$  矿层  $F_1 = 2.326 \times 10^5\ \text{m}^2$ ,  $r = 272.2\ \text{m}$ ,  $h_0$  为圆台高  $h_0 = H = 87.84\ \text{m}$ ; 把  $r_0, r, h_0$  的值代入公式(5)计算得  $v = 1.28 \times 10^7\ \text{m}^3$ 。

再把以上各值代入公式(4)计算出地下水进入矿坑的涌水量:  $Q_2 = 3078.4\ \text{m}^3/\text{d}$ 。

##### 4.2.2 矿坑涌水量预测结果

从以上可知, 把各时段大气降水直接落入矿坑涌水量  $Q_1$  加上开采时地下水进入矿坑的涌水量  $Q_2$  即为该矿床最低开采 0 m 标高矿坑的最大涌水量(表 4)。

表 4 0 m 标高矿坑涌水量预测结果

预测矿层	I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> 号矿层
1, 2, 3, 12 月份日均涌水量(m <sup>3</sup> /d)	3149
4, 5, 10, 11 月份日均涌水量(m <sup>3</sup> /d)	3300
6, 9 月份日均涌水量(m <sup>3</sup> /d)	3513
7, 8 月份日均涌水量(m <sup>3</sup> /d)	4224
一般最大日涌水量(m <sup>3</sup> /d)	17965
多年一遇最大日涌水量(m <sup>3</sup> /d)	73510

经计算矿坑涌水一般在 3 149~4 224 m<sup>3</sup>/d 之间,一般最大日涌水量 17 965 m<sup>3</sup>/d,多年一遇最大日涌水量 73 510 m<sup>3</sup>/d。因此,矿山排水进入后期采矿阶段,泵房设 D28-100×7 型多级离心泵<sup>[7]</sup>,台流量 280 m<sup>3</sup>/h,正常涌水时 1 台工作,1 台备用即可。最大涌水时 3 台工作,1 台备用即可。如多年一遇时可暂停生产,雨后抽干恢复生产。

## 5 结语

综上所述,矿床范围内地形坡降大,地表径流条件良好,矿坑主要充水来源为大气降水及岩溶裂隙水,含水层富水性中等,部分矿层位于当地最低侵蚀基准面以下,因此香乔东水泥用石灰岩矿属水文地

质条件简单—中等的岩溶裂隙充水矿床。根据矿区涌水量预测,建议在灰岩矿开采前应依据具体水文地质条件及现场地形建立牢固长久的防排水设施;随着开采深度的增加,特别是地下水位以下,水动力条件可能发生变化,建议生产部门认真做好矿区地下水的动态长期观测,做到“早预测早预防”,尽量减少矿坑涌水对采矿的影响。

## 参考文献:

- [1] 栖霞县矿产资源管理局. 栖霞县地质矿产概论·矿产篇[M]. 烟台:山东省出版社烟台分社,1995.
- [2] 于维强,官永乐,王克彬. 栖霞县香乔组石灰岩岩溶裂隙水开发研究[J]. 山东师范大学学报(自然科学版),1991,6(3):73-75.
- [3] 肖东石,刘昌南,余普贤,肖富丰. 山东省栖霞市苇乔金矿床地质特征及控矿条件分析[J]. 山东国土资源,2006,22(4):42-44.
- [4] 孔庆友,康凤新,李守昌,等. 山东省矿山主要地质灾害及其防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报,2005,16(1):73.
- [5] 刘正峰. 水文地质手册[M]. 长春:银声音像出版社,2010.
- [6] 核工业地质学校. 矿床水文地质学[M]. 甘肃:水文地质教研室,1987.
- [7] 邹灿. 程潮铁矿矿山水防治现状分析及对策[J]. 资源环境与工程,2005,19(1):37-39.

# Analysis on Hydrogeological Conditions of Eastern Mining Area in Xiangkuang Area of Qixia City

XIE Junmin, JIANG Wenjuan

(No. 273 Geological Brigade of Shandong Nuclear Industry, Shandong Qixia 265300, China)

**Abstract:** According to information of geological surveying and mining, hydrogeological conditions of the study area has been analyzed. It is regarded that hydrogeological condition is simple—medium type. The effect of undergroundwater to the limestone mining has been introduced, water filling factors have been analyzed, and pit inflow has been predicated. It is regarded that hydrodynamic conditions will change accompanying with the depth change. Relative countermeasures have been put forward on mine exploitation and water disasters control.

**Key words:** Hydrogeological conditions; inflow; prevention of water disasters; east part of Xiangkuang; Qixia area in Shandong province