

山东省苍山县小阎庄铁矿 矿区东部水文地质特征研究

朱昶¹, 郭文龙², 马龙¹, 石凤凤¹, 胡霞³, 宋月梅¹

(1. 山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 兖州 272100; 2. 中钢集团山东矿业有限公司, 山东 临沂 276000; 3. 蒙阴建材七〇一矿, 山东 蒙阴 272600)

摘要:通过地球物理勘探、水文地质调查、钻孔和抽水试验, 结合区域水文、气象、地质和水文地质等资料, 求得了矿体上部盖层裂隙岩溶水水文地质参数, 且对裂隙岩溶水水量进行了计算; 以“大井法”为主对矿坑涌水量进行了预测, 基本查明了矿区东部的水文地质特征; 阐述自然条件下裂隙岩溶水对基岩裂隙水的补给微弱; 当水动力条件发生改变时, 易造成盖层裂隙岩溶水下渗溃入坑道, 对下部矿体的开采将产生较大威胁。

关键词:水文地质; 裂隙岩溶; 参数计算; 涌水量预测; 水力联系; 小阎庄铁矿; 山东省苍山县

中图分类号: P641.4

文献标识码: B

近年来, 部分矿山企业忽视了矿区水文地质工作, 水文地质条件未予查清, 矿床充水因素、系统没有查明, 矿山充水不能疏干。如山东省内铁矿莱芜业庄铁矿、济南市张马屯铁矿等均与裂隙岩溶含水层充水关系密切, 造成矿山开采停产治水。该文就苍山县小阎庄铁矿矿区东部水文地质特征研究, 为今后铁矿矿山资源开发利用及铁矿防治水方案提供参考。

1 矿区东部水文地质概况

小阎庄铁矿矿区东部位于山东省苍山县鲁城镇, 属苍峰铁矿带的东延部分。矿区东部属丘陵区, 地形南高北低, 或西高东低, 南部的石城固最高点标高 +248.4 m, 北东部最低点标高 +68.3 m。地势由南西向东北倾斜, 当地最低侵蚀基准面为会宝岭水库, 侵蚀基准面标高 +68.0 m。矿体位于当地最低侵蚀基准面之下。区内属暖温带大陆性季风气候, 四季分明, 多年平均降水量 787.7 mm (1991—2011年), 日最大降雨量 259.2 mm (1970年7月2日)。

1.1 地质概况

矿区东部位于华北陆块 (I) 鲁西隆起 (II) 鲁

中隆起区 (III) 尼山断隆 (IV) 尼山凸起 (V) 与临沂凸起 (V) 的交会部位。地层由老至新主要为新太古代泰山岩群山草峪组; 新元古代青白口纪土门群二青山组和南华纪土门群佟家庄组; 古生代寒武纪长清群李官组、朱砂洞组; 新生界第四系^[1]。

1.2 水文地质条件

1.2.1 含(隔)水岩组划分

(1) 第四纪松散岩类孔隙含水岩组。为洪积、残坡积堆积物, 成分为砂砾石及粘土, 厚度 0.5 ~ 2.0 m, 分布于山前洼地及沟谷地带, 位于地下水水位之上。

(2) 寒武纪碎屑岩类裂隙含水岩组。寒武纪李官组石英砂岩, 多位于丘陵的顶部, 出露地表, 大气降水多沿地表径流, 富水性差, 含水微弱。

(3) 青白口-震旦纪碎屑岩夹碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组。①碎屑岩夹碳酸盐岩类裂隙岩溶含水亚组。岩性为粉砂岩和页岩夹薄层灰岩, 钻孔单位涌水量 11.639 ~ 78.259 m³/(d·m), 民井单位涌水量最大可达 239.99 m³/(d·m), 泉水多沿断层带呈上升泉或下降泉溢出地表, 泉流量一般 0.1 ~ 1.0 L/s, 是该区的主要含水层, 水化学类型为 HCO₃·

收稿日期: 2013-04-09; 修订日期: 2013-04-25; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 朱昶 (1981—), 男, 山东微山人, 工程师, 主要从事矿区水工环地质勘查、评价工作; E-mail: zhuchangh@163.com。

$\text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Na}$ 或 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Ca} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Na}$, 矿化度小于 0.5 g/L 。②碎屑岩夹碳酸盐岩类裂隙岩溶含水亚组。岩性由灰岩、含海绿石石英砂岩等组成。民井涌水量小于 $50 \text{ m}^3/\text{d}$, 泉水多沿断层带溢出, 或在陡坎处悬挂呈下降泉, 泉流量一般小于 0.1 L/s , 随季节性变化明显, 属含水极不均匀的裂隙岩溶含水层。水化学类型为 $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 或 $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} - \text{Ca} \cdot \text{Mg} \cdot \text{Na}$ 型水, 矿化度小于 0.5 g/L 。

(4)变质岩裂隙含水岩组(隔水层)。岩性为黑云变粒岩, 黑云角闪片岩及磁铁角闪石英岩等, 岩石裂隙不甚发育。水位埋深 $5.91 \sim 15.98 \text{ m}$, 钻孔单位涌水量 $0.897 \sim 17.368 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$, 渗透系数 $0.0067 \sim 0.406 \text{ m/d}$, 水化学类型为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \cdot \text{Cl} - \text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型水, 矿化度小于 0.5 g/L 。对上部盖层裂隙岩溶含水层起到一定相对阻水作用, 视为隔水层^[2]。

1.2.2 地下水的补给、径流、排泄条件

一是大气降水入渗补给, 二是河流渗漏补给。以岩溶裂隙为通道顺岩层倾向向北东径流, 东部排泄于会宝岭水库, 北部转南小堡一带形成泉水排泄于地表。

2 断裂构造水文地质特征

区内盖层总体为一向东缓倾斜的单斜构造, 断裂构造按走向可分为 NNE 向、NE 向 2 组。小闫庄断层 F3: 为张扭性, 宽度一般 $3 \sim 4 \text{ m}$, 最大宽度达 10 m , 走向 NEE, 倾向 NNW, 倾角 70° 。对断层破碎带的浅部、深部进行压水试验和抽水试验^[3,4], 试验结果单位涌水量 $0.00134 \sim 0.00138 \text{ L/s} \cdot \text{m}$, 平均渗透系数为 $0.003 \sim 0.0058 \text{ m/d}$, 为微含水或不透水断层。

F4 断层: 为张扭性, 走向 NE, 倾向 NW, 倾角 $62^\circ \sim 74^\circ$, 北部延伸至 F3 断层, 并与 F3 断层相交, 据主井 -140 m 水平巷道揭露 F4 断层, 宽度 1 m , 斜坡道揭露破碎带宽度 9.3 m 。挤压擦痕明显, 不含水。说明 F3、F4 断层均为不导水断层, 与地表水体宝岭水库无导通水力联系。

东石门断层(F5): 为正断层, 在老书房村南与 F18 逆断层相交。电测剖面显示断层属高阻带, 高密度电测剖面推测断层下盘为高电阻不透水的挡水墙; 通过 S8 钻孔抽水试验, 断层上盘单位涌水量 $0.046 \text{ L/s} \cdot \text{m}$, 下盘单位涌水量 $0.009 \text{ L/s} \cdot \text{m}$, 证实

为阻水断层。

太平村断层(F14): 为张扭性, 走向 55° , 倾向 NW, 倾角 80° , 破碎带宽 1.0 m , 微错动, 泥质及钙质胶结。浅部风化层含水微弱, 深部不含水并不导水, 为阻水断层。

西石门断层(F18): 为逆断层, 向北延伸与 F5 相交, 由断层泥充填, 破碎带宽 1 m 左右, 走向 35° , 倾向 NW, 倾角 $70^\circ \sim 75^\circ$ 。断层两侧均无水, 对矿床充水影响较小。

3 岩溶水子系统特征

可溶岩含水岩组是矿区东部岩溶水系统的主要构成部分(图1), 裂隙岩溶发育程度受岩性、水的侵蚀性、循环条件、自然地理因素、地质构造等因素综合影响^[5]。F5 断层以西至黑云变粒岩出露带构成了岩溶水系统主要的直接补给区。S7 钻孔抽水试验时单位涌水量 $78 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$, 丰水期时钻孔、供水井与 S7 孔同时涌出地表, 最大涌水量 $338.86 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \text{m}$ (2008年9月4日测量)。说明裂隙岩溶水受季节性影响较明显, 为潜水状态。断层构造对岩溶发育有较强的控制作用。岩溶发育深度受构造及岩层埋深的控制。岩溶发育区主要赋存在二青山组薄层灰岩内, 其次发育在页岩夹薄层灰岩中, 页岩与灰岩接触部位也有溶洞发育, 岩溶发育标高 $+57.99 \sim -63.26 \text{ m}$ (图2)。区内岩溶水水力坡度为 3.2×10^{-3} , 在汇集区的强径流带。在径流区没有统一的水动力场分布。水动力条件对碳酸盐岩岩溶发育程度起着关键性的作用, 地下水径流愈强烈, 地下水的侵蚀性愈强, 溶洞愈发育。促进了径流条件的转化。具体表现为: 区内在强径流带上的小型断层构造附近岩溶发育较好, 如 S3-1, S7 钻孔位于强径流带上, 两钻孔均见到了溶隙、溶孔、溶洞。岩溶发育较好的地段, 地下水的径流条件好, 富水性强^[5], 构成了具有对矿床开采产生危害的主要充水来源。

4 裂隙岩溶地下水水量计算

4.1 边界条件的确定

区内上部盖层含水层呈带状近 SN 向展布, 东西两侧黑云变粒岩出露地表。盖层含水层为南部降水补给及石门河流渗漏补给、北部流出的苍山断块岩溶水系统之小型水文地质单元^[6]。

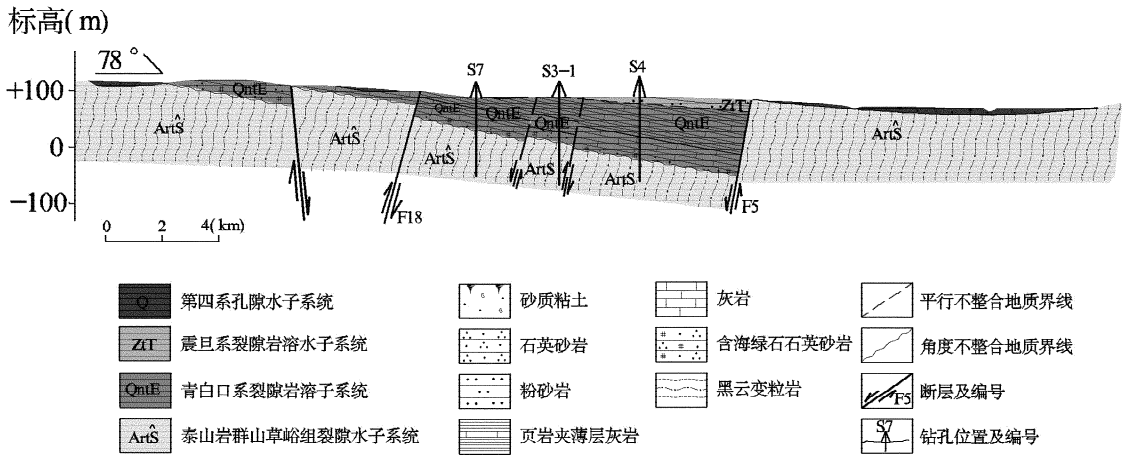


图1 裂隙岩溶水系统水文地质剖面图

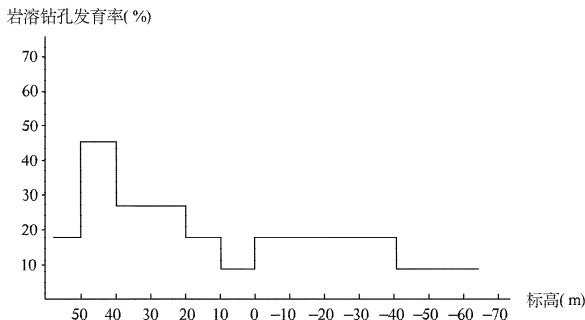


图2 钻孔溶洞发育率及发育深度曲线图

表1 裂隙岩溶含水层水文地质参数确定及计算结果

试验孔	岩石名称	流量 (m ³ /d)	最大降深 (m)	观测孔 (m)	距离 (m)	K (m/d)	R (m)
S1	灰岩	28.08	10.91			0.087	71.02
S3-1	页岩夹灰岩	131.242	8.89	S3-1 民井	135	3.235	329.60
	灰岩	125.453	12.08				
S4	灰岩	19.094	12.20			0.0296	46.67
S5	黑云变粒岩	9.072	10.11			0.0067	29.46
S6	灰岩	22.464	22.60			0.040	64.47
S7	页岩夹灰岩	366.25	4.68				
S8	页岩夹砂岩	75.082	18.71			0.194	103.56
	黑云变粒岩	10.973	14.94			0.0157	36.07

4.2 岩溶裂隙含水层水文地质参数的确定与计算

为确定岩溶裂隙水水文地质参数的准确性,采用以稳定流抽水试验进行计算,同时选择具有代表性的地段进行了非稳定流抽水试验计算^[7,8]。

4.2.1 稳定流抽水试验

(1)单孔抽水试验时潜水完整井公式:

$$K = \frac{0.733Q}{(2H - S)S} \log\left(\frac{R}{r_0}\right) \quad (1)$$

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

(2)多孔抽水试验时潜水完整井公式:

$$K = \frac{0.733Q}{(2H - S - t_i)(S - t_i)} \log\left(\frac{r_i}{r_0}\right) \quad (3)$$

$$\log R = \frac{S \log r_i - t_i \log r_0}{S - t_i} \quad (4)$$

式中:K—渗透系数(m/d);Q—抽水流量(m³/d);R—影响半径(m);r_i—观测孔距离(m);r₀—钻孔半径(m);H—水柱高度(m);S—水位降深(m);t_i—观测孔水位降深(m)。

(3)参数确定及计算结果见表1。

4.2.2 非稳定流抽水试验

水位恢复法计算公式:

$$h^2 = h_a^2 + \frac{0.366Q}{K} W(u) \quad u = \frac{r^2}{4at} \quad (5)$$

式中:h—井内恢复水位高度(m);h_a²—抽水稳定时井内水位高度(m);Q—抽水流量(m³/d);K—渗透系数(m/d);a—导压系数(m²/d);t—抽水延续时间(d);r—观测孔到抽水孔的距离(m);w(u)—井函数。

经计算:渗透系数 2.503 m/d;导压系数 5.751 × 10³ m²/d;导水系数 82.849 m²/d;给水度 0.000 52。

4.3 裂隙岩溶水水量均衡计算

均衡区划分边界:南部以平山分水岭为边界区,西部以变质岩区丘陵山脉分水岭为边界区,东部以石门铁矿至东石门分水岭为边界区,北部收口处为泉排泄区。

4.3.1 区内裂隙岩溶水补给量

裂隙岩溶水的补给量计算建立方程式^[9]:

$$Q_b = Q_s + Q_h \quad Q_s = apF/365 \quad (6)$$

式中: Q_b —裂隙岩溶地下水总补给量(m^3/d); Q_s —降水入渗补给量(m^3/d); Q_h —河流渗漏补给量(m^3/d); a —大气降水入渗系数(无量纲),取0.317; P —多年平均降水量(m); F —计算区的降水入渗补给面积(m^2)。

计算裂隙岩溶水总补给量:2 965.24(m^3/d)。

4.3.2 区内裂隙岩溶水开采及排泄量

水均衡区的排泄消耗量条件,裂隙岩溶水的排泄消耗量计算建立方程式^[9]如下:

$$\begin{aligned} Q_x &= Q_p + Q_Q + Q_K + Q_Z \\ Q_p &= I \cdot B \cdot M \cdot K \\ Q_Z &= ZeF/365 \end{aligned} \quad (7)$$

式中: Q_x —裂隙岩溶地下水总消耗量(m^3/d); Q_p —下游排泄区断面排泄量(m^3/d); Q_Q —泉水溢出排泄量(m^3/d); Q_K —人工开采资源量(m^3/d); Q_Z —天然蒸发量(m^3/d); I —水力坡度(10^{-3}); B —断面宽度(m); M —含水层厚度(m); K —断面渗透系数(m/d); Q_Q —泉水在均衡区出口溢出总排泄量(m^3/d); Z —多年平均蒸发量(m); e —实际包气带的蒸发量占地表蒸发量百分比; F —蒸发表面积(m^2)。

计算裂隙岩溶水总消耗量为2 962.24 m^3/d 。

4.3.3 调节储量 Q_i

根据水位变化幅度 $\Delta H = 4.29 \text{ m}$,求得调节储量为15.762 m^3/d 。裂隙岩溶水系统水量均衡计算结果表明:该区裂隙岩溶水向东侧向径流排泄量极小,仅3.00 (m^3/d),故忽略不计。

4.4 裂隙岩溶水静储量初步计算

根据抽水试验资料,采用静储量公式^[9]计算:

$$Q_j = \mu FH \quad (8)$$

式中: μ —给水系数; F —灰岩岩溶裂隙含水层在均衡区内分布面积(m^2); H —含水层平均厚度(m)。经计算求得裂隙岩溶水静储量9.04万 m^3 (表2)。

表2 裂隙岩溶水静储量计算结果

岩性	平均厚度 (m)	分布面积 (m^2)	给水系数	静储量 (万 m^3)
页岩夹薄层灰岩	35.44	1015555	0.00052	1.87
灰岩	34.75	2578940	0.008	7.17
合计				9.04

5 矿床地下水涌水量预测

5.1 矿床充水因素分析

该矿床赋存于变质岩系地层中,为隐伏矿床,矿床充水因素不仅取决于矿体相对空间上部“地下水库”静储量多少,还取决于动储量的补给大小^[10]。当矿床开采时,矿体顶板或F18、F5断裂构造被破坏或采矿放炮震动产生裂隙,裂隙岩溶水将会沿新的裂隙通道大量涌入地下坑道,对矿床产生充水。

5.2 矿床涌水量预测

5.2.1 边界条件的确定

以东部F5概化为直线阻水边界,南、北、西均按无限边界。视为相对隔水底板的无限边界承压水完整井水文地质模型。

5.2.2 计算公式选择

矿体为隐伏缓倾斜的不对称鞍状层状矿体,地下水位埋深15.97 m,下部确定最低控制开采水平-300 m标高原则计算,采用巷道开采,采用稳定流裘布依公式^[11](无限补给边界大井法)计算。

(1)大井计算公式:

$$Q_{\text{常}} = 1.366K \frac{H^2}{\log \frac{R_0^2}{2r_0a}} \quad (9)$$

$$Q_{\text{大}} = 1.366K \frac{H_{\mp}^2}{\log \frac{R_{\mp}^2}{2r_0a}} \quad (10)$$

式中: $Q_{\text{常}}$ —正常涌水量(m^3/d); $Q_{\text{大}}$ —丰水期最大涌水量(m^3/d); K —渗透系数(m/d); H —水柱高度(m); H_{\mp} —丰水期水柱高度(m); R_0 —引用影响半径(m); a —计算距离(m); r_0 —大井引用半径(m)。

(2)计算参数的确定。 K (渗透系数):上段0 m标高以上的平均值确定;下段即0 m标高以下(取主副井检查孔)的平均值确定。 H (水柱高度):根据副井检查孔稳定水位确定。 H_{\mp} —丰水期水柱高度。 a —采矿边界至F5隔水边界距离330 m。 r_0 —大井引用半径,即 $r_0 = 0.565$, a, b 分别为椭圆长短轴。

(3)预测结果。预测坑道各水平涌水量结果(表3):依据矿山企业所提供的水文地质资料,-40 m标高斜坡道及水平巷道总排水量2272.8 m^3/d ;主井揭露标高-219 m时,井底瞬时最大涌水量及斜坡道的总涌水量1 912.8 m^3/d ;巷道排水量与大井法预测的结果相接近,大井法是按照矿床整体揭

露后预测的,预测结果与当巷道全部揭露后实际排水量相差不大。

表3 大井涌水量预测结果

预测位置	预测标高(m)	大井椭圆长轴(m)	大井椭圆短轴(m)	渗透系数(m/d)	隔水边界距离(m)	平水期水位降深(m)	平水期水柱高度(m)	丰水期水柱高度(m)	大井引用半径(m)	大井引用影响半径(m)	丰水期大井引用影响半径(m)	预测涌水量	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>K</i>	<i>a</i>	<i>S</i>	<i>H</i>	<i>H</i> _丰	γ_0	<i>R</i> ₀	<i>R</i> _丰	<i>Q</i> _常 (m ³ /d)	<i>Q</i> _大 (m ³ /d)
坑道	0		300	0.105		96.03	96.03	103.36	989.06	1598.93	1670.06	2230.889	2429.5
	-100	2492	550	0.0163	330	196.03	196.03	203.36	1339.19	2040.01	2079.69	1271.589	1335.258
	-200		810			296.03	296.03	303.36	1625.19	2925.74	2974.34	2163.177	2236.153
	-300		950			396.03	396.03	403.36	1760.04	3772.45	3828.58	3209.176	3290.282

注:预测坑道正常涌水量为导水通道未被破坏、水动力条件未发生改变时的涌水量。

6 结语

(1)矿体属于隐伏形式,位于侵蚀基准面以下,采用井下坑道开采方式,裂隙岩溶水是构成矿床充水的主要因素,建议矿山在开发利用过程中,应保留足够厚度的防水保安矿柱,以防止采矿放炮震动产生裂隙,形成新的导水性通道,造成突水和淹井事故的发生;及时观测水量、水质变化,及时疏排水,做到“早预测早预防”^[12],防止引发矿区水文地质灾害事故。

(2)矿体上部盖层裂隙岩溶水储量较大,对下部矿体的开采将产生较大威胁,应加强矿体与上部裂隙岩溶水的水力联系研究。

参考文献:

[1] 山东省国土资源厅资源储量处. 山东省矿产资源储量报告编制指南[M]. 济南:山东省地图出版社,2010:274-280.
 [2] GB12719—91. 矿区水文地质工程地质勘探规范[S].
 [3] 薛禹群,朱学愚. 地下水动力学[M]. 北京:地质出版社,1978.
 [4] 地质矿产部水文地质工程地质技术方法研究队. 水文地质手

册[M]. 北京:地质出版社,1985:375-379.
 [5] 赵伯锟. 柳州市静兰防洪提工程岩溶发育特征及渗漏评价[J]. 水文地质工程地质,2005,32(1):81-84.
 [6] 徐军祥,康凤新. 山东省地下水资源可持续开发利用研究[M]. 北京:海洋出版社,2000:11-14.
 [7] 供水水文地质手册编写组. 供水水文地质手册第二册水文地质计算[M]. 北京:地质出版社,1985.
 [8] 中国地质调查局. 水文地质地质手册(第二版)[M]. 北京:地质出版社,2012:642-672.
 [9] 湖北省电力学校. 水文地质学[M]. 北京:水利电力出版社,1979:295-312.
 [10] 姚光华,陈正华,向喜琼,等. 岩溶山区采煤条件下隔水层破坏及地表水入渗特征研究[J]. 水文地质工程地质,2012,39(5):16-20.
 [11] 采矿手册编写组. 采矿手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1989:40-42.
 [12] 谢军民,姜文娟. 栖霞香芥东部石灰岩矿区水文地质条件分析[J]. 山东国土资源,2012,28(10):33-37.

Study on Hydrogeological Characteristics of Eastern Xiaoyanzhuang Iron Deposit in Cangshan County of Shandong Province

ZHU Chang¹, GUO Wenlong², MA Long¹, SHI Fengfeng¹, HU Xia³, SONG Yuemei¹

(1. Lunan Geological Engineering Investigation Institute, Shandong Yanzhou 272100, China; 2. Shandong Steel Group Mining Limited Corporation, Shandong Linyi 276000, China; 3. No. 701 Mine of Mengyin Building Materials, Shandong Mengyin 272600, China)

Abstract: Through geophysical, hydrogeological investigation, drilling and pumping tests, combining with regional hydrological, meteorological, geological and hydrogeological and other information, hydrogeological parameters of fracture-karst water in the upper part of the cover have been obtained, and karst water amount has been calculated as well. By using "big well method", the mine water inflow has been predicated, and basic hydrogeological characteristics of eastern mining area have been identified. It is said that under natural conditions, discharge of fractured karst water to basic rock fissure water is weak; when hydrodynamic conditions changed, fractural karst water could easily lead into the tunnel collapse, and will produce a greater threat to the exploitation of the lower part of the ore body.

Key words: Hydrogeology; fractured karst; parameter calculation; water inflow forecasting; hydraulic connection; Xiaoyanzhuang iron deposit; Cangshan county in Shandong Province