

坎上铁矿水文地质特征及涌水量预测

李亮经,马广海,田佳辉,李 婧

(河北省地勘局第二地质大队,唐山 063000)

摘要: 在水文地质勘查的基础上,指出坎上铁矿分成南北2个矿段,赋存于复杂的水文地质条件中,包括4个含水层和2个弱透水层。利用大井法和数值模拟法对矿区的涌水量进行预测,结果表明本阶段概算单独开采至矿体底板时,北矿段正常涌水量为 $3\ 067\text{m}^3/\text{d}$,南矿段正常涌水量为 $23\ 400\text{m}^3/\text{d}$ 。

关键词: 水文地质特征;涌水量;坎上铁矿

中图分类号: P641.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2009)06-0037-05

目前,我国铁矿的供需形势是钢铁生产主要依赖进口铁矿石,而国际矿石价格连年上扬;同时国内矿山不断加大自产能力,对进口矿产生了明显的替代作用,有效地抑制了铁矿石价格的涨幅。矿山企业加大自产能力,离不开丰富的资源储量、铁矿勘查工作和先进的采矿工艺^[1]。在此背景下,一些之前不具有经济意义的铁矿资源变得可以开采利用^[2]。

坎上铁矿前后经过3次勘查^[3~4],认为该矿被强富水、厚度较大的第四系覆盖,水文地质条件复杂,属于“开发过程中可能对区域水文地质环境造成较大影响的大水矿区”,至今未能得到开发利用。根据目前比较成熟的地下开采技术水平和科学的开拓方案,在地质详查的基础上,适当补充一些水文、工程地质勘查工作后应该可以满足地下开采需要,司家营北区覆盖矿床亦转为地下开采是比较好的佐证^[5]。

1 研究区概况

坎上铁矿位于河北省滦县、昌黎两县交界处,北距京山线滦县东站8km、卢龙县石门站4km,坎上村往西4km处,矿区地理坐标为 $39^{\circ}39'45''\sim 39^{\circ}41'30''\text{N}$, $118^{\circ}48'\sim 118^{\circ}49'\text{E}$,面积 4.63km^2 (图1)。

该区位于燕山南麓、低山丘陵与山前倾斜平原交接地带,地势北高南低。北部六音山、武山、榆山构成区域分水岭,地貌为丘陵区,六音山为制高点,标高282.60m;中北部为坡洪积山麓倾斜平原,标高50~150m,主要由滦河水系洪积、坡积、冲积形成的山前洪

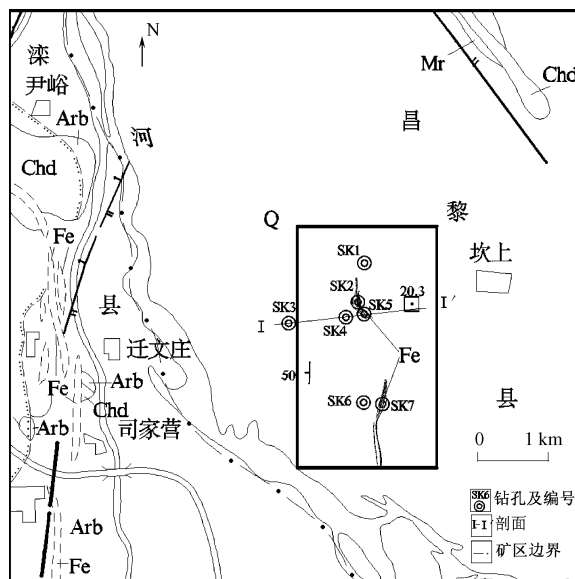


图1 研究区位置及钻孔分布图

Fig.1 Location of the study area and the holes

冲积扇联缀而成,是滦河 II 级阶地在河东岸的主要组成部分;中南部为滦河洪冲积平原,标高一般 17~30m,地貌为滦河洪冲积扇中 I 级阶地及河床、河漫滩,地面坡降约 1.5‰~2.0‰。

坎上铁矿属于鞍山式沉积变质铁矿,经地质详查,其铁矿石资源量中等,属中型矿床。铁矿区划分为南北2个矿段,二者相距825m。南矿段由2个矿体组成,矿体编号为 I、II;北矿段由3个矿体组成,编号为 III、IV、IV₁。III、IV号为主矿体,占矿床总资源量65.0%^[6]。

2 矿区水文地质特征

矿区位于滦河河漫滩上,被强富水、厚度较大的第四系覆盖,并直接覆盖于太古界变质岩系之上,水文地

收稿日期: 2009-03-05; 修订日期: 2009-08-15

作者简介: 李亮经(1954-),男,大专,工程师,主要从事地质找矿工作。

E-mail: llj540606@163.com

质条件复杂。根据钻探及水文测井资料,矿区第四系底界埋深北部略浅,南部略深,北矿段为 55.5~86.5m,南矿段为 81.0~92.5m。

2.1 含水岩组赋存特征

2.1.1 第四系含水组

第四系含水组垂向上分为 2 个含水层、2 个隔水层。

(1) 第一含水层:底界埋深 45.0~57.1m,厚 28.5~55.6m。含水层主要岩性为较纯净的砾砂、砾石、卵石,其次为中砂、粗砂。卵石粒径一般 2~5cm,最大 10~27cm。根据民井简易抽水试验结果,得 $q = 10.16 \sim 83.33 \text{ L/(s} \cdot \text{m)}$, $K = 144.57 \sim 770.26 \text{ m/d}$,属于极强富水含水层;水位埋深 2.74~4.73m。

(2) 第一隔水层:岩性为粉质粘土夹薄层浅黄色粉土或灰黑色淤泥质粘土,分布连续,局部土层中含卵石,厚度一般为 2.0~11.0m。该层底界埋深 47.0~75.91m,隔水性较好。20 个原状土样的室内试验结果表明,该层垂向渗透系数 $0.00002 \sim 0.00417 \text{ m/d}$,平均 0.00115 m/d 。

(3) 第二含水层:底界埋深 55.5~88.86m,厚 6.36~25.30m。含水层主要岩性为中等风化的砾砂、砾石层,其次为中等风化的中砂、粗砂、卵石。其中卵石粒径一般为 2~7cm,最大可达 7~10cm,小于第一含水层。长石颗粒风化,手捻成粉末状。水位埋深 2.57~2.96m,属于弱富水含水层。

(4) 第二隔水层:岩性以粉质粘土为主,分布不稳定,厚度变化较大,局部隔水层缺失,第二含水层的风化砂砾石直接与基岩接触。

2.1.2 基岩含水组

(1) 变质岩风化裂隙含水层:强风化带(含全风化)底界埋深 62.2~113.2m,厚 3.2~44.6m,平均厚 18.6m。岩性主要为混合花岗岩,次为磁铁石英岩及少量黑云变粒岩和煌斑岩。节理裂隙发育,透水性差。

弱风化带底界埋深 68.2~171.9m,厚度 2.0~58.7m,平均厚度 18.3m。岩性主要为混合花岗岩,次为磁铁石英岩,局部为黑云变粒岩及花岗岩伟晶岩等。

北矿段风化裂隙水属于弱富水含水层。南矿段风化裂隙水属于中等富水含水层。

(2) 变质岩构造裂隙含水层:北矿段未见较大的断裂构造,只在钻孔中发现单层厚 1.24~7.75m 的破碎带,可视为弱透水系。破碎带岩性主要为混合花岗岩、阳起透闪磁铁石英岩、黑云变粒岩、磁铁石英岩等,总厚度 2.0~50.67m,平均厚 9.81m。北矿段构造裂隙水

水位埋深 2.33~4.52m。地质详查在局部地段发现有断裂破碎带,且伴有矿层的赤铁矿化,分析为压扭性断裂,根据磁异常分析可能为近 EW 走向。

南矿段基岩破碎带主要岩性为混合花岗岩、黑云变粒岩、磁铁石英岩,总厚度分别为 46.63m、21.26m。南矿段构造裂隙水水位埋深 4.12~4.23m。南矿段钻孔漏水严重,风化裂隙水、构造裂隙水均属中等富水含水层,其富水性均大于北矿段,因此推断南矿段应存在一条断层,其具体位置、走向、规模有待进一步查明。

2.2 地下水的补径排条件

第四系孔隙水的补给来源主要为降水入渗补给、滦河渗漏补给、山前侧向径流补给。灌溉季节接受井灌回归补给。主要排泄方式为人工开采,其次为向下游的侧向径流排泄。

第四系第一含水层主要为大厚度的砂卵石层,地下水径流通畅,水循环条件良好。总体自东北向西南流,水力坡度 $0.35\text{‰} \sim 0.55\text{‰}$ 。

第四系第二含水层与基岩裂隙水的主要补给来源为裸露山区的大气降水补给形成的侧向径流。尚未开采,处于天然状态,以侧向径流为主要排泄方式。

基岩构造裂隙水径流方向基本为自北向南,水力坡度 $0.5\text{‰} \sim 0.7\text{‰}$ 。含水层渗透系数较小,地下水径流缓慢,水循环条件较差。

3 涌水量预测

3.1 开采方式及涌水来源

矿区位于滦河河漫滩洪冲积孔隙水强富水区,滦河在矿区西南角 300m 处流过,可视为矿区最低侵蚀基准面,标高为 17.20m。矿床埋藏于第四系地层之下的太古界变质岩中,基岩面标高 -35.8~-68.86m,北矿段主要矿体赋存标高 -35~-385m,南矿段矿体赋存标高 -68.5~-419.5m,不存在矿坑水自然排泄面。北矿段储量计算底界为 -385m,南矿段储量计算底界为 -419.5m。

根据矿床水文地质条件,该矿露天开采势必疏干第四系孔隙水,将对区域水资源产生较大的影响,因此宜采用地下开采方式,设定第一开拓水平标高为 -150m,第二开拓水平标高为 -280m、最低开拓水平标高为矿床储量计算底界。矿床地下开采过程中将对基岩裂隙水疏干排水,受基岩裂隙水本身渗透性较差、而顶部弱透水层厚度较小的条件制约,大部分涌水将来自垂向上顶部含水层的越流补给。

3.2 水文地质边界

3.2.1 侧向边界

矿区基岩裂隙水附近无自然地质边界,基岩地下水补给区位于矿区北部的裸露山区,距离矿区边界较远(3km),矿区西部边界距司家营矿区北区3.5km(目前已开始疏干排水,第一开拓水平标高为-60m,最低开采标高为-390m),东侧、南侧为平原区,矿床地下开采过程中将对基岩裂隙水疏干排水,受基岩裂隙水本身渗透性较差、而顶部弱透水层厚度较小的条件制约,大部分涌水将来自垂向上顶部含水层的越流补给,因此将矿区侧向边界视为无限边界。

3.2.2 底部边界

矿床产于太古界变质岩内,最低开采标高为-385~-419.5m,基岩裂隙水总体富水性较弱,随着深度的增加,基岩趋于完整,为便于计算,统一将-450m标高视为底部隔水边界。

3.2.3 顶部边界

矿区第四系底部粘性土层与基岩强风化层总厚度4.5~24.76m,平均厚14.88m,底界标高-44.90~-93.20m。地下矿井开采深度位于第四系底部粘性土层与基岩强风化层以下的变质岩内,矿井疏干排水时,将形成巨大的水头差,使第四系第二含水层孔隙水通过该弱透水层向下越流进入矿井。在采取适宜的开采方案,保证第四系底部粘性土层与基岩强风化层的结构不被破坏的前提下,将其视为顶部弱透水边界(越流边界)。

3.2.4 内部边界

北矿段与南矿段富水性、渗透性相差较大。孔组抽水试验结果表明,2个矿段之间没有隔水边界,渗透性差别较大说明基岩含水层渗透性能的不均一性,涌水量预测时应采用不同的渗透系数。

风化裂隙水与构造裂隙水的富水性、渗透性差别不大,孔组抽水试验结果表明,构造裂隙水与风化裂隙水水力联系密切。

3.3 大井法预测

根据矿区的水文地质边界条件和矿坑涌水来源,风化裂隙含水层选用有越流补给的承压转无压的完整大井涌水量公式,构造裂隙含水层选用有越流补给、井底和井壁同时进水的承压转无压非完整大井涌水量公式^[7~8]。

根据相关求参方法的适用条件,确定本次采用的求参方法。单孔抽水试验采用稳定流一次降深、稳定流三次降深、非稳定流拐点法、非稳定流水位恢复法4种求参方法。孔组抽水试验采用抽水孔稳定流一次降

深、抽水孔与观测孔稳定流一次降深、抽水孔非稳定流拐点法、抽水孔非稳定流水位恢复法、观测孔非稳定流拐点法、观测孔非稳定流水位恢复法6种求参方法。

由于大部分孔组抽水试验观测孔降深较小,在比较小的降深处,越流量比较小,因此采用降深较小的观测孔所求渗透系数将偏大。SK9号孔孔组抽水试验时SK5号观测孔的水位降深较大,可用于求参。

根据以上方法求得2个矿段不同梯段的正常涌水量。计算结果表明,开采梯段越深,涌水量越大,反之越小;北矿段矿坑涌水量较小,南矿段矿坑涌水量较大(表1)。

表1 大井法地下水涌水量计算成果表(单位: m³/d)

矿段	梯段标高(m)	涌水量
北矿段	-150	645/2 089
	-280	646/2 300
	-385	646/2 421
南矿段	-150	23 838/23 754
	-280	23 838/30 089
	-419.5	23 838/31 857

注:645/2089,前者为风化裂隙水,后者为构造裂隙水

3.4 数值法预测

3.4.1 数学模型

根据水文地质条件,建立相应的数学模型^[9]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial H}{\partial y} \right) + K'_{\pm} \frac{H_{\pm} - H}{M'_{\pm}} \\ + K'_{\mp} \frac{H_{\mp} - H}{M'_{\mp}} - \sum_{i=1}^m Q_i \delta(x - x_i, y - y_i) = \mu \frac{\partial H}{\partial t} \\ (x, y) \in \Omega, t \geq 0 \\ H(x, y, 0) = H_0(x, y) \quad (x, y) \in \Omega, t = 0 \\ H(x, y, t) = H_e(x, y, t) \quad (x, y) \in \Gamma_1, t > 0 \end{array} \right.$$

式中: H ——地下水位(m);

T ——含水层导水系数(m²/d);

$K'_{\pm}$ 、 $K'_{\mp}$ ——上、下弱透水层的垂向渗透系数(m/d);

$M'_{\pm}$ 、 $M'_{\mp}$ ——上、下弱透水层的厚度(m);

$H'_{\pm}$ 、 $H'_{\mp}$ ——上、下越流含水层的水头(m);

μ ——承压时为贮水系数,无压时为给水度;

$H_0(x, y)$ ——初始水位(m);

$H_e(x, y)$ ——一类边界水位(m);

Ω 、 Γ_1 ——渗流区域、一类边界。

3.4.2 数值模型的建立

为了求解数学模型,采用三角网格有限差分法建

立数值模型。首先采用三角网格剖分渗流区域,剖分时按重点研究区适当加密,其它区域适当疏一点的原则,并将各观测孔尽可能与结点重合。得到结点 603 个,单元 1 123 个。

对计算区内的所有结点均建立差分方程,所有差分方程联立起来,形成代数方程组,采用超松弛(SOR)迭代方法求解方程组。

3.4.3 数值模型的调试和识别

为了使所建的数值模型能够正确地反映研究区的实际水文地质条件,利用 SK2、SK4、SK9、SK10 和 SK6

孔抽水试验的地下水位动态资料对数值模型进行识别调试。

以稳定流抽水试验求得的水文地质参数作为初始参数,待模型识别时再调整。将抽水试验的抽水量按不同时段分别加在开采结点上。以抽水试验观测时段作为计算时段,将模型进行反演计算。最终计算的($H-t$)曲线应与实测的($H-t$)曲线基本拟合(图 2),曲线拟合程度满足要求。模型识别结果表明模型是正确、可靠的。计算水文地质参数见表 2。

表 2 孔组抽水试验数值模拟水文地质参数表

Table 2 Hydrogeological parameters of the tests

含水层	北矿区			南矿区		
	渗透系数(m/d)	疏干给水度	弹性给水度	渗透系数(m/d)	疏干给水度	弹性给水度
第四系第一含水层	100	0.250	0.0006	100	0.250	0.0006
第四系粘性土弱透水层	0.000017			0.000017		
第四系第二含水层	0.17	0.024	0.000024	0.17	0.024	0.000024
粘性土和强风化带弱透水层	0.000025			0.000025		
弱风化带含水层	0.081	0.015	0.000015	0.145	0.021	0.00003
基岩裂隙含水层	0.005	0.020	0.000021	0.035	0.102	0.00012

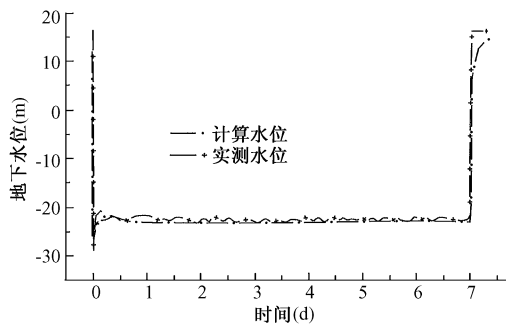


图 2 SK10 孔第二含水层抽水试验地下水位拟合曲线

Fig. 2 Match of the observed and computed groundwater levels at well SK10

3.4.4 矿坑涌水量预测

利用识别和校正后的模型对矿坑涌水量进行预测,设置每个开采水平为 7 年,前 2 年为开拓期,后 5 年为运行期。预测结果见表 3。

表 3 数值法矿坑涌水量预测表(单位: m^3/d)

Table 3 Yield of well with numerical simulation method (m^3/d)

开采水平	北矿段		南矿段	
	疏干水量	正常涌水量	疏干水量	正常涌水量
- 150m	6 500	1 260	24 500	8 170
- 280m	8 100	2 120	83 600	14 750
- 385m	9 500	2 650		
- 419.5m			143 400	23 400

结合大井法及数值模拟法所作的涌水量预测,认为本阶段概算单独开采至矿体底板时,北矿段正常涌水量为 $3\ 067\text{m}^3/\text{d}$;南矿段正常涌水量为 $23\ 400\text{m}^3/\text{d}$ 。矿床开采时如遇导水断层,矿坑涌水量可能增加。

4 结论

(1) 坎上铁矿区位于滦河河漫滩上,地形开阔、较平坦。矿区均被第四系覆盖,并直接赋存于太古界变质岩系之上。

(2) 矿区第四系孔隙水第一含水层为极强富水含水层,第四系孔隙水第二含水层弱富水,与第一含水层之间以 2.0~11.0m 厚、分布较稳定的粘性土弱透水层相隔。基岩裂隙水分为变质岩风化裂隙水与变质岩构造裂隙水,北矿段弱富水,南矿段中等富水。基岩裂隙水与第四系第二含水层以弱透水、总厚度 4.5~24.76m 的粘性土层及基岩强风化层相隔。

(3) 坎上铁矿属于弱富水—中等富水的基岩裂隙水直接充水、弱富水的第四系第二含水层孔隙水间接充水的矿床。综合分析认为,本阶段概算单独开采至矿体底板时,北矿段正常涌水量为 $3\ 067\text{m}^3/\text{d}$,南矿段正常涌水量为 $23\ 400\text{m}^3/\text{d}$ 。矿床开采时如遇导水断层,矿坑涌水量可能增加。

参考文献:

- [1] 马海全,李怀永. 铁矿资源形势及北京市找矿方向[J]. 中国矿业, 2009, 18(2): 89 - 90.
- [2] 李厚民,王瑞江,肖克炎,等. 中国超贫磁铁矿资源的特征、利用现状及勘查开发建议:以河北和辽宁的超贫磁铁矿资源为例[J]. 地质通报, 2009, 28(1): 85 - 90.
- [3] 河北地质二队. 河北省昌黎县坎上铁矿水文地质调查报告[R]. 2003.
- [4] 河北地质二队. 河北省昌黎县坎上铁矿详查地质报告[R]. 2005.
- [5] 河北地质二队. 河北省滦县司家营铁矿供水水源地二次补勘报告[R]. 1993.
- [6] 河北省地勘局水文工程地质勘察院. 河北省昌黎县坎上铁矿水文地质工程地质勘查报告[R]. 2008.
- [7] 供水水文地质手册(第二册)[M]. 北京:地质出版社, 1977: 17.
- [8] 薛禹群. 地下水动力学[M]. 北京:地质出版社, 1986: 108.
- [9] 孙纳正. 地下水流的数学模型和数值方法[M]. 北京:地质出版社, 1981.

Research on hydrogeological features and prediction of yield of well of the Kanshang iron mine

LI Liang-jing, MA Guang-hai, TIAN Jia-hui, LI Jing

(No. 2 Team of the Hebei Geology Survey Bureau, Tangshan 063000, China)

Abstract: Large amounts of hydrogeologic survey data show that the Kanshang iron mine is divided into 2 parts, under complicated hydrogeologic conditions with 4 aquifers and 2 aquitards. With the methods of big-well and numerical simulation, yield of well is predicted. The result is that the normal yield in the north part is $3\ 067\text{m}^3/\text{d}$, $23\ 400\text{m}^3/\text{d}$ in the south part.

Key words: hydrogeologic feature; yield of well; Kanshang iron mine

责任编辑:汪美华

会议报道 ·

西太平洋分会地热年会在华举行

国际地热协会西太平洋分会联合中国能源研究会地热专业委员会于今年9月在中国成都举行了地热年会系列活动。为促进中国的地热发电开发利用,国际地热协会派送了澳大利亚、德国和新西兰的3位专家,给中国学员举行了为期3天的地热发电技术培训,包括世界上最先锋的工程地热系统(干热岩)发电利用。在后续的2天举行了西太平洋地热研讨会,主题是发挥地热资源优势在能源发展战略中的作用。正式出版的研讨会论文集《地热能的战略开发》收集了中外专家的32篇论文,其中20篇在会上进行了交流,从每篇报告后的踊跃提问反映了中外学者的认真参与和兴趣所在。最后2天是温泉和冰川考察,与会代表度过了欢乐畅快的海螺沟之旅。西太平洋分会还在会间举行了年度理事会。来自亚太地区 and 非洲的8位外宾,与来自京津、沿海和内地及西藏的近百位内宾出席了这次系列活动,年会活动增进了中外友谊,也表达了中外地热工作者愿为世界地热事业发展积极奉献的精神。

(郑克棣 供稿)