

邯邢地区大水铁矿田开采对地下水环境的影响及防治

王建国

(华北有色工程勘察院 河北 石家庄 050021)

摘要 介绍了河北省邯邢地区大水铁矿田裂隙岩溶地下水运动特征,应用 Visual Modflow 建立岩溶地下水流数值模拟模型,对大水铁矿田疏干排水引起的地下水流场变化进行预测分析。结果表明,大水铁矿田直接疏干开采将导致百泉泉域岩溶地下水资源接近枯竭,认为应采取治理河流渗漏、帷幕注浆截堵地下水源头等手段来开采大水铁矿田,并合理利用矿坑排水,做到供排结合,防止地下水进一步恶化,达到保护地下水环境的目的。

关键词 大水铁矿 裂隙岩溶水 地下水环境 河北省

中图分类号:P641 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2009)05-0098-05

Influence of water-rich iron ore mining field exploration on the groundwater environment in Hanxing district and prevention

WANG Jian-guo

(North China Engineering Investigation Institute, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract This article outlines the character of water movement in the karst fractures of the water-rich iron ore mining field in the Hanxing district. The change in groundwater flow caused by drainage of water due to mining of the water-rich iron ore field was predicted and analyzed with a numerical model of groundwater flow in karst fractures based on Visual Modflow. The results showed that mining with direct drainage in the water-rich iron ore mining field can dry up the groundwater resources in the Baiquan karst spring field. The following measures must be taken in order to protect the groundwater environment: river leakage control and plugging the source of groundwater with curtain grouting. Finally, rational utilization of mine drainage and the optimal combination of water supply and drainage should be used to prevent further deterioration of the groundwater environment.

Key words water-rich iron ore mining field; water in karst fractures; groundwater environment; Hebei Province

河北省邯邢地区铁矿资源丰富,矿田大部分集中分布在南起武安市磁山,北至沙河市綦村一带,铁矿田内大中型矿床十几个,铁矿石总量 5 亿多 t。铁矿田大部分位于河北省邢台百泉泉域岩溶水系统中,矿床水文地质条件复杂。水文地质条件简单的矿山有的已经开采完毕,有的正在开采之中,矿体埋藏深、水量大的矿区,其铁矿石储量仍有 2 亿多 t,目前尚未开采,而我国铁矿资源紧张,因此有必要开发利用这些矿田。

近年来,百泉泉域岩溶水开采量逐年增加,地下水水位大幅下降。1977~2007 年,铁矿田范围内的地下水水位降低了 180 多 m,地下水水位年降幅达 10 m 左右,其中 2002~2003 年降幅达 30 m。尽管地下水水位降低很多,但由于矿体埋深在 600~700 m,

标高在 -300~-400 m,而且石灰岩岩溶发育深度大,多数埋深在 500~600 m,标高在 -200~-300 m^[1],所以铁矿体之上含水层厚度仍然很大。大水铁矿田矿坑疏干排水还会较大幅度地降低地下水水位,而百泉泉域地下水水位的进一步降低,将加剧恶化地下水环境。

地下水是生态环境中重要的子系统^[2],这一系统的破坏,必然引发一系列严重的环境退化问题,矿山疏干排水与工农业用水之间的矛盾也日益突出,因此,合理开采铁矿资源,保护地下水环境,将成为河北省邯邢地区经济可持续发展、构建和谐社会的重要保障。

1 百泉泉域大水铁矿田裂隙岩溶地下水运动特征

1.1 百泉泉域大水铁矿田地下水系统概述

百泉泉域地下水系统位于太行山拱断束,西部边界为变质岩,东南为寒武系、奥陶系灰岩区,是一个以降水为唯一补给来源,边界清楚,基本独立、完整、封闭式的水文地质单元^[3](图1)。百泉泉域含水层主要以灰岩为主,灰岩裂隙岩溶发育,垂直分带明显,其中,地下水水位以下至-300 m之间为岩溶强发育带,而百泉泉域内储量较大的铁矿田,如凤凰山铁矿、王窑铁矿、中关铁矿等,矿体埋深均在-300 m以下。铁矿田顶底板含水层与区域地下水联系密切,开采这些大水铁矿田时,如果采取疏干排水方式降低地下水水位,必将形成大规模降落漏斗,进一步破坏地下水系统。

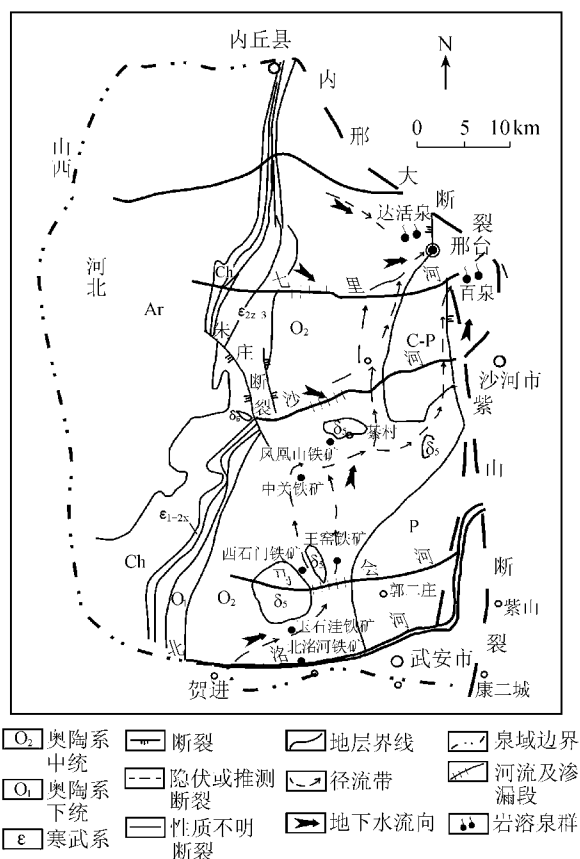


图 1 百泉泉域岩溶水系统概况

1.2 百泉泉域灰岩裂隙岩溶地下水特征

1.2.1 裂隙岩溶地下水分布特征

百泉泉域裂隙岩溶地下水分布广、厚度大,透水性 强且具有垂直分带特征。其区域内灰岩面积约 $1\,638.6\text{ km}^2$ 岩溶发育下限标高 $-350\sim -460\text{ m}$,厚度 $400\sim 600\text{ m}$ 。虽然区域内地下水水位近年来有了大幅度的下降,但灰岩含水层厚度仍然有 $200\sim 300\text{ m}$ 。铁矿田分布于区域中部的奥陶系中统的灰岩地段,该地段裂隙岩溶十分发育,形成了云家岭—郭二庄—中关—百泉和北 洺河—王窑—中关—西郝庄强径流带。天然状态下,水补给区至水排泄区相距约 50 km ,平均水力坡度仅为 0.03% ,但强径流带灰岩透水性 强,灰岩渗透系数可达 $10\sim 40\text{ m/d}$ 。百泉泉域灰岩含水层富水性情况大致可分为上部弱带、中部强带及下部弱带 3 个带^[4],但受构造和充填情况影响,各矿垂直分带情况又不尽一致(表 1)。

由于强径流带灰岩透水性强,一处矿田排水,对整个区域地下水都会产生明显影响,如,2005年1月中旬王窑铁矿和凤凰山铁矿矿坑排水量由18万 m^3/d 骤减至1.3万 m^3/d ,两矿之间的地下水水位上升10~20 m,补给区和排泄区的水位上升3~4 m,整个区域岩溶地下水水位均有不同程度的上升。

1.2.2 裂隙岩溶地下水补给、径流和排泄特征

a. 补给特征。铁矿田裂隙岩溶地下水的补给受降雨影响,以降雨直接入渗和河流渗漏补给形式为主,同时区内西部火成岩裂隙水和第四系潜水也提供一定的补给。邯邢地区铁矿田河流渗漏补给尤为突出^[51],如马会河 1973 年丰水季节最大流量为 $72.9 \text{ m}^3/\text{s}$,流经长约 2 100 m 的石灰岩裸露段,水的漏失量达 4 万 ~ 5 万 m^3/d ,严重威胁附近的西石门铁矿。1978 年马会河流经的西石门矿区段修建了人工河床,使该铁矿矿床充水情况得到明显控制。

b. 径流特征。铁矿田裂隙岩溶地下水的流向和径流带的宽窄受区域内火成岩的影响。天然条件下,弱径流区含水层接受补给时,水在区域内自西向东流动。北洺河为地下分水岭,分水岭以北的地下径流进入玉石洼至上泉间闪长岩“开口”向东北方向流动,沿矿山岩体东侧,经玉石洼铁矿、惠兰村至郭

表 1 部分大水铁矿田灰岩含水层富水性垂向分带情况

铁矿田 名称	上部弱带			中部强带			下部弱带		
	标高	厚度/m	$q^{①}$ 值/ ($L \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$)	标高	厚度/m	q 值/ ($L \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$)	标高	厚度/m	q 值/ ($L \cdot s^{-1} \cdot m^{-1}$)
上泉铁矿	+220 m 以上	30	$0.003 < q < 1.5$	+220 ~ +150 m	70	$3 < q \leq 69$	+150 ~ +120 m	30	$q < 0.5$
玉石洼铁矿	+160 m 以上	< 60	$0.003 < q < 1.29$	+160 ~ +110 m	50	$10.93 \leq q \leq 21.87$	+110 m 以下		$1.064 \leq q \leq 1.21$
王窑铁矿 ^②	+70 m 以上	< 70	$0.004 < q < 2$						
中关铁矿	+135 ~ +55 m	80	3	+55 ~ -155 m	170	$10 \leq q \leq 178.82$	-155 ~ -252 m	102	$q < 0.5$

注:① q 为钻孔单位耗水量;②王窑铁矿的中部强带和下部弱带分带不明显,两带位处+70~-365 m间,厚度共约435 m $0.5 < q \leq 4$ 。

二庄 往北又分为两股,一股经王窑矿北流至中关,一股经李石门流至中关,然后两股合并,向东经蔡村—紫山火成岩开口注入邢台百泉泉群。

c. 排泄特征。天然条件下,区域内岩溶地下水集中于邢台百泉泉域排泄,水量大且稳定,然而,从20世纪80年代至今,由于多数矿山大降深疏干排水和工农业超额抽取地下水,泉水逐渐减少直至断流(百泉泉域于1987年断流至今)。近年来,铁矿田的采排地下水是区域内地下水的主要排泄途径。

1.2.3 裂隙岩溶地下水动态特征

百泉泉域裂隙岩溶地下水动态特征属气象—开采型,具有典型的“集中补给,常年消耗”特点。雨季降水沿灰岩露头及通过河流渗漏补给地下水,而旱季地下水的补给源基本枯竭,经常性区域补给量(或称动储量)很少。据王窑、中关及西石门等矿区资料^[6],旱季地下水动储量仅为1万 m³/d。当抽水强度超过补给量时,地下水水位就持续下降,消耗调节储量或静储量,形成地下水不稳定运动的状态。此特点在区内大水铁矿田矿床疏干排水时更明显。

综上所述,补给、径流与排泄决定着地下水水量在时间与空间上的分布^[2],而矿床疏干排水是人为干预地下水自然排泄,其结果是破坏了地下水资源的天然平衡^[7]。为保护地下水环境,必须寻找合理可行方案来开采处于补给区和径流区的大水铁矿田,这是目前河北省邯邢地区开采铁矿资源的当务之急。

2 铁矿田开采对地下水环境的影响分析

2.1 百泉泉域岩溶水系统地下水现状

百泉泉域岩溶地下水是泉域内工农业主要供水水源,也是铁矿田矿床充水的主要因素。近年来,随着经济的发展,河北省邯邢地区需水量急剧增加,铁矿田开采加剧疏干了地下水,地下水处于严重超采状态,资源型水危机问题已十分突出^[3]。

1995~2005年多年平均地下水补给量为17617万 m³/a,1978年之前其岩溶地下水补排基本处于平衡状态,1978年之后,岩溶地下水开采量逐年增加:1991~2006年百泉泉域岩溶地下水平均开采量为21303.0万 m³/a,开采量已经大于补给量。尤其是2000~2004年大水矿山王窑铁矿和凤凰山铁矿相继开采,大量疏排地下水,期间岩溶地下水平均开采量为29177.0万 m³/a,而2004年大水铁矿田排水量为14586.58万 m³/a,约占整个地下水开采量一半左右。百泉泉域岩溶地下水开采量变化情况见图2。

由于开采量大于补给量,百泉泉域地下水水位大幅下降。1978~2005年径流区地下水水位降低

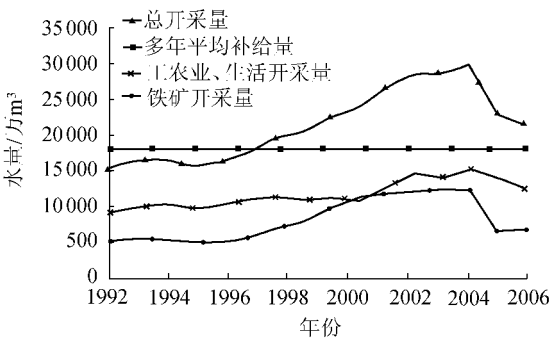


图2 百泉泉域岩溶地下水开采量变化曲线

160 m左右,排泄区地下水水位降低了70 m。河北省邯邢地区地下水位降落漏斗逐渐扩展变化,整个滏西平原第1个含水层已基本疏干^[8],使处于百泉泉域排泄区的河北省邢台市近年来多次发生“水荒”和工矿企业因“吊泵”而停产的事件。如果大水铁矿田开采继续大量疏干排水,将加剧地下水环境恶化趋势,造成百泉泉域地下水资源枯竭,引发灾难性后果。

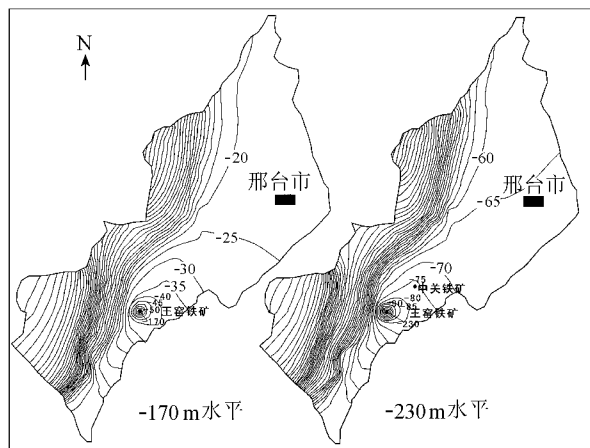
2.2 大水铁矿田疏排水对百泉泉域地下水环境影响预测

为研究大水铁矿田开采对水环境的影响,以区内大水铁矿王窑铁矿为例,应用 Visual Modflow 建立岩溶地下水数值模拟模型,将含水层概化为非均质各向同性承压—无压含水层,根据河北省邯邢地区地下水运动特征,忽略地下水垂向运动,将地下水运动按平面二维非稳定渗流处理。笔者利用1992~2006年30多个长期观测孔地下水水位动态资料进行模型识别和调试^[19],模型识别结果符合区内地下水动态曲线变化情况,正确可靠。利用模型对王窑铁矿—170 m和—230 m水平矿坑涌水量和疏干流场进行预测,结果见表2和图3。

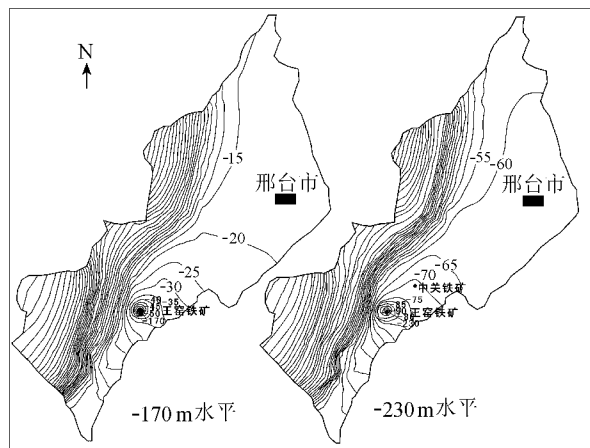
表2 王窑铁矿涌水量预测 万 m³/d

开采水平	丰水年涌水量		平水年涌水量		枯水年涌水量	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小
—170 m	15.81	14.08	12.38	11.12	11.52	10.68
—230 m	17.42	15.32	13.71	12.78	12.53	11.85

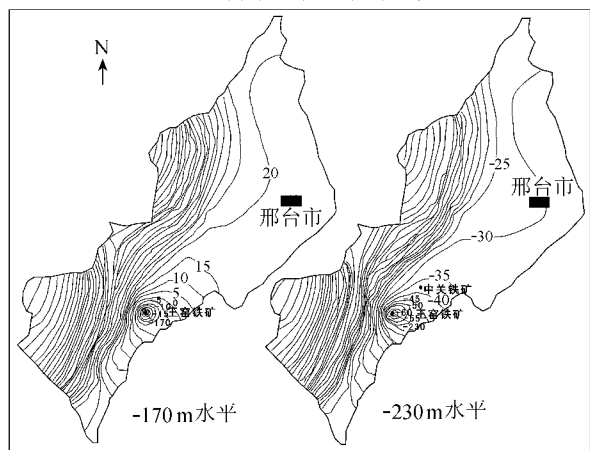
由图3可知,当王窑铁矿选用疏干排水法开拓至—170 m时,矿区附近地下水水位较2006年降低50~70 m,邢台市区一带地下水水位下降50~60 m;当开拓至—230 m时,邢台市区一带地下水水位下降160~180 m,在—230 m开采水平的模型运行10 a后,邢台市区周围地下水水位将继续下降150~160 m。可见,如果铁矿长期运行,百泉泉域岩溶地下水系统将长期处于负均衡状态,因此,直接疏干开采大水铁矿田,将导致百泉泉域地下水资源接近枯竭,后果不堪设想。



(a) 枯水年预测水位线



(b) 平水年预测水位线



(c) 半水年预测水位线

图3 王窑铁矿-170m、-230m水平疏干流场预测

3 合理开发大水铁矿田,保护地下水环境

3.1 合理开发岩溶大水铁矿田

百泉泉域大水铁矿田矿体顶板均为分布厚度大、透水性强的石灰岩含水层,若不预先疏干矿坑水而顶着高水头进行坑下开采作业,毁灭性突水事件随时可能发生。对于大水铁矿田直接疏干排水,从经济角度来看,如果单个矿山疏干排水,排水费用巨大,疏干效果不明显;而从保护地下水环境角度看,如果多个矿山联合疏干排水,则必然引发地面塌陷

和地下水环境恶化等问题,因此,应将矿床涌水水源堵截于矿床及井巷之外,既保证采矿安全,同时又达到保护供水水源和地质环境的目的^[7]。

西石门铁矿在查明马会河渗漏是矿床涌水的一个重要因素后,修建了人工河床,使矿坑涌水量得到了明显的控制。在截堵涌水源头方面,我国于1970年在水口山铅锌矿首次采用了大型帷幕注浆截流工程,随后,张马屯铁矿、徐州青山泉煤矿也进行了大型帷幕注浆截流,取得了良好的防渗效果,经济效益明显^[7]。2006年,华北有色工程勘察院在河北省邢台市中关村铁矿进行了帷幕注浆试验,堵水效果明显。经论证,帷幕注浆截流工程建成后,堵水率可达80%以上。虽然帷幕注浆截流工程一次性投资较大,但运行成本低,从矿山的长远发展来看,大水铁矿田采用帷幕注浆堵水是比较合适的。

3.2 保护百泉泉域地下水环境

百泉泉域地下水多年来处于严重超采状态,地下水环境恶化,水资源供需矛盾日益突出。为缓解地下水供需矛盾,减慢地下水环境恶化趋势,一方面对岩溶大水铁矿田采取帷幕注浆堵水方案,另一方面要科学合理地利用地下水资源。

a. 帷幕注浆堵水。因百泉泉域大水铁矿田均处于强径流带,矿床水源多为两面或四面来水,因此,应采取全帷幕注浆堵水,以有效减少对地下水环境的破坏。

b. 合理利用大水铁矿田矿坑排水。制定切实可行的大水铁矿田供排水方案,并对矿山疏干排水的再利用进行研究,如统一调用矿山排水与地表水蓄水池,与周边工矿企业供水管道联网,在矿山周边地区建污水处理厂,处理后的地下水用于农业灌溉和城市生产冷却用水等^[5]。

c. 防止水污染,增大可供水资源量。可采取的措施有:①大水铁矿田疏干排水中注意保持各个含水层天然状态,避免含水层互相沟通和优质水被污染^[7];②处理有毒有害的矿坑水,达标后方排放;③对矿山尾矿坝进行防渗处理;④严禁将尾矿排放在自然沟谷中;⑤严禁在排水渠边堆放废石弃渣。

d. 增大地下水资源补给量。措施有:①充分利用地表水资源,在河流上游修建蓄水池,采取人工措施补给地下水;②通过跨流域调水补给地下水资源,解决地下水资源日益短缺的问题。

4 结 语

开发大水铁矿田必须兼顾矿业开发和地下水资源保护。应用 Visual Modflow 建立岩溶地下水流数值模拟模型,对大水铁矿田疏干排水引起的地下水

流场变化进行预测分析,结果表明,直接疏干开采大水铁矿田,将导致百泉泉域地下水资源接近枯竭,后果不堪设想,因此应采取治理河流渗漏、帷幕注浆截堵地下水源头等手段来开采大水铁矿田,并合理利用矿坑排水,做到供排结合,防止地下水进一步恶化,达到保护地下水环境的目的。

参考文献：

[1] 华北有色工程勘察院. 河北省邯邢铁矿田岩溶充水铁矿开采与地下水环境保护[R]. 石家庄 :华北有色工程勘察院, 2007.

[2] 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, 1995 63-145.

[3] 乔建光. 区域水资源保护探索与实践[M]. 北京. 中国水利水电出版社, 2007 243.

(上接第 85 页)

[6] 董新光, 郭西万. 新疆博尔塔拉河干流段地表水地下水转化关系的系统分析[J]. 干旱区地理, 1996, 19(4) :45-50.

[7] MARKSTROM S L, REGAN R S, NISWONGER R G, et al. GSFLOW-A basin-scale model for coupled simulation of ground-water and surface-water flowm, Part A : concepts for modeling surface-water flow with the U S geological survey precipitation-runoff modeling system model[C]/3 rd Federal Hydrologic Modeling Conference. NV ,Reno, 2006.

[8] 杨建锋. 农田水分运移与 CSPAC 系统的初步建立[D]. 北京 :中国科学院地理科学与资源研究所, 2000 69-87.

[9] 贾仰文, 王浩, 仇亚琴, 等. 基于流域水循环模型的广义水资源评价[J]. 水利学报, 2006, 37(9) :1051-1055.

[10] 罗金明, 邓伟, 张晓平. 盐渍土系统土壤水-地下水转化规律研究[J]. 生态环境, 2007, 16(6) :1742-1747.

[11] HAMADA H. Analysis of the interaction between surface water and groundwater using Radon - 222[J]. Jarq-Japan Agricultural Research Quarterly, 1999, 33(4) :261-265.

[12] 宋献方, 刘相超, 夏军, 等. 基于环境同位素技术的怀沙河流域地表水和地下水转化关系研究[J]. 中国科学 :D 辑, 2007, 37(1) :102-110.

[13] 胡立堂, 王忠静, 赵建世, 等. 地表水和地下水相互作用及集成模型研究[J]. 水利学报, 2007, 38(1) :54-59.

[14] ASHU J, AVADHNAM M K. Hybrid neural network models for hydrologic time series forecasting[J]. Applied Soft Computing, 2006, 24(3) :1-8.

[15] 李艳平, 李兰, 朱灿, 等. 地表水地下水的交互作用与耦合模拟[J]. 长江科学院院报, 2006, 23(5) :17-20.

[16] SOPHOCLEOUS M. Interactions between groundwater and

[4] 林木金. 邯邢铁矿田裂隙岩溶地下水运动规律及矿区水文地质勘探、矿坑涌水量预测研究[R]. 石家庄 :华北冶金地质勘探公司 517 队, 1980.

[5] 河北水文工程地质勘察院. 河北省沙河市王窑矿区恒山铁矿矿山地质环境影响评估报告[R]. 石家庄 :河北水文工程地质勘察院, 2003.

[6] 河北地质局十二队. 河北省沙河县王窑铁矿水文地质勘探总结报告[R]. 邢台 :河北地质局十二队, 1977.

[7] 房佩贤, 卫中鼎, 廖资生, 等. 专门水文地质学[M]. 北京 :地质出版社, 1986 235-236.

[8] 乔建光, 张均玲. 邢台市平原区地下水环境问题分析[J]. 水资源保护, 2002, 18(4) :25-27.

[9] 卞建民, 汤洁, 李艳梅, 等. 辽河油田地下水资源优化利用方案研究[J]. 水文地质工程地质, 2006(5) :100-102.

(收稿日期 2008-04-19 编辑 彭桃英)

surface water :the state of the science[J]. Hydrogeology Journal, 2002, 10(1) :52-67.

[17] CAMP D, MCKEE R. Evaluation of integrated surface water and groundwater modeling tools[R]. Project 2 :conjunctive resource management report. USA ,Orlands Florida, 2001 :79-83.

[18] WINTER T C. Recent advances in understanding the interaction of groundwater and surface water[J]. Review of Geophysics, 1995, 33 :985-994.

[19] REFGAARD J C, STORM B, MIKE S. Computer models of watershed hydrology[C]/Water Resources Publications. New Jersey Englewood Cliffs, 1995 809-846.

[20] Mc DONALD M G, HARBAUGH A W. A modular three-dimensional finite difference ground-waterflow mode[R]. U S Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations. USA ,USGS, 1988.

[21] LABOLLE E M, AHMED A A, FOGG G E. Review of the integrated groundwater and surface-water model (IGSM) [J]. Groundwater, 2003, 41(2) :238-246.

[22] 李兰, 钟名军. 基于 GIS 的 LL- II 分布式降雨径流模型的结构[J]. 水电能源科学, 2003, 21(4) :35-38.

[23] 贾仰文, 王浩, 仇亚琴, 等. 基于流域水循环模型的广义水资源评价(II) [J]. 水利学报, 2006, 37(10) :1181-1187.

[24] 张奇. 湖泊集水域地表-地下径流联合模拟[J]. 地理科学进展, 2007, 26(5) :1-10.

[25] YOUNG R A, BREDEHOEFT J D. Digital computer simulation for solving management problems of conjunctive groundwater and surface water system[J]. Water Resource Research, 1972, 8(3) :533-556.

(收稿日期 2008-07-21 编辑 高渭文)