南屯煤矿群孔奥陶系石灰岩放水试验及数值模拟分析

李忠建¹,魏久传¹,徐建国²,王 敏¹,郭建斌¹,张 彬³

(1.山东科技大学地质科学与工程学院,青岛 266510, 2. 充矿集团南屯煤矿,济宁 272100,
 3.山东科技大学信息科学与工程学院,青岛 266510)

摘要:为进一步查明南屯煤矿奥陶系石灰岩含水层的水文地质条件,正确评价奥陶系石灰岩含水层对下组煤开采的影响,本次研究利用井下现有的水文地质观测孔,对奥陶系石灰岩含水层进行了群孔放水试验,进行三个落程的放水,并应用 GM S软件进行数值模拟分析,计算水文地质参数,预计奥陶系石灰岩疏水量。该结果表明,奥陶系石灰岩含水层放水 基本上对十四灰含水层没有产生较大的影响,对奥陶系石灰岩水尽量采用避让措施,通过物探等手段寻找导水通道,并 及时对其进行处理。

关键词: 奥陶系石灰岩; 放水试验; 数值模拟; GM S

中图分类号: P641.4⁺61 文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2010) 02-0016-05

南屯煤矿为兖矿集团有限公司所属的大型矿井, 主采煤层为山西组第 3层煤和太原组第 16上和 17层 煤,目前 3煤开采已接近尾声,已经对下组煤(16上、 17煤)进行了开拓及生产。由于下组煤埋深大,距离 本溪组十四灰和奥陶系灰岩较近,开采受底板水的潜 在威胁。为正确评价奥陶系石灰岩含水层对下组煤开 采的影响,对全井田范围进行奥陶系石灰岩井下群孔 放水试验,以查明奥陶系石灰岩含水层富水性及补径 排条件^[1]。相关研究人员在利用放水试验资料的基 础上,求取水文地质参数,防治矿井突水方面做了一定 研究。如杨小刚等研究了放水试验在岱庄煤矿水害防 治中的应用^[2],王雨山等利用放水试验资料反求水文 地质参数^[3],李文东对兴隆庄煤矿三含放水试验做了 分析^[4]等。

由于 GM S软件具有良好的使用界面,强大的前处 理、后处理功能及优良的三维可视效果,目前已成为国 际上最受欢迎的地下水模拟软件^[5~6]。张迎秋等利用 GM S软件模拟地下水渗流场及求取水文地质参数等

收稿日期: 2009-06-08, 修订日期: 2009-08-29

- 基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (50539080); 山东 省自然科学基金资助项目 (Y2007F46); 教育部博士 学科点专项科研基金资助项目 (20070424005); 山 东科 技大学研究生科技创新基金项目 (YCA090308)
- 作者简介: 李忠建(1983-), 男, 博士研究生,主要从事矿井水 害防治方面研究。 E-mail tslj2001@ 163. com

取得了不错效果^[7]。本文利用 GMS软件对放水试验 资料进行数值模拟,反演水文地质参数,为矿井涌水量 预计和带压开采提供基础资料。

1 矿井地质及水文地质概况

南屯井田为一走向近 EW、第四系覆盖的全隐蔽 式井田, 位于兖州向斜的南翼, 总体呈单斜构造, 但井 田东北部、东部存在多个褶曲, 幅度较大的为 219号孔 附近向斜, 其余褶曲幅度均较小。地层倾角变化, 一方 面由浅部向深部逐渐增大, 另一方面, 向东部也逐渐增 大。总的来说, 井田中西部构造比较简单, 断层稀少, 一般发育次一级褶曲及小断层, 而井田东部构造复杂, 断裂发育, 断差也大, 断层走向多变, 并伴有较大幅度 的褶曲。褶曲轴向呈 NEE 至近 EW 向, 与区域褶曲轴 向基本一致。主要含煤地层为石炭 —二叠系地层, 其 基底为奥陶系灰岩, 煤系上覆上侏罗统紫红色砂岩和 较厚的第四系。

南屯井田影响矿井生产主要含水层自上而下为第 四系下组砂层、侏罗系砂岩、3煤顶板砂岩、三灰、十下 灰、十三灰、十四灰和奥陶系石灰岩,各含水层主要接 受第四系下部孔隙水渗透补给。十三灰与十四灰都以 单层出现,无合并区。十三灰和十四灰含水层为下组 煤开采时的间接充水含水层。奥陶系石灰岩含水层浅 部溶穴裂隙较发育,含水丰富,属溶穴裂隙承压水。奥 陶系石灰岩富水性强、水压大,是影响矿井下组煤开采 的主要含水层。

2 放水试验工作

2.1 放水孔与观测孔

在本井田下组煤范围内,施工用于水文观测的钻 孔共有 25个,其中奥陶系石灰岩孔 16个(井下 7个, 地面 9个);十四灰孔 8个(井下 2个,地面 6个);十 三孔 1个(井下)。此外,与本井田相邻的鲍店煤矿和 东滩煤矿有施工部分地面水文钻孔,本次放水试验也 利用这部分钻孔。

根据钻孔施工过程中涌水情况及其它简易水文观 测资料, 井下的 7个奥陶系石灰岩钻孔中, 单孔涌水量 最大的 O_{2x} -7孔, 涌水量为 $70m^3$ /h, 单孔放水稳定水量 $66m^3$ /h, 其次为 O_{2x} -2和 O_{2x} -3, 分别为 $37m^3$ /h 和 $32m^3$ /h, O_{2x} -1 涌水量为 $12m^3$ /h, O_{2x} -6 涌水量为 9. $8m^3$ /h左右; 其余钻孔涌水量较小。 O_{2x} -7, O_{2x} -2 O_{2x} -3, O_{2x} -1和 O_{2x} -6等孔分布于整个井田中部, 涌水 量又较大, 因此, 本次放水试验放水孔选用 O_{2x} -7, O_{2x} -2 2, O_{2x} -3, O_{2x} -1和 O_{2x} -6 得孔分布于整个井田中部, 涌水 量又较大, 因此, 本次放水试验放水孔选用 O_{2x} -7, O_{2x} -2 2, O_{2x} -3, O_{2x} -1和 O_{2x} -6 组成孔组进行群孔放水, 以形 成较大的降落漏斗; 其余各孔作为观测孔, 其中位于上 述各放水孔之间的 O_{2x} -5孔为本次放水试验的主观测 孔 (图 1)。



⑤井上观测孔 ○井下观测孔 ●井下放水孔 0 500 1000m

图 1 奥陶系石灰岩含水层放水试验 放水孔与观测孔布置图



2.2 放水试验过程

放水试验过程总体分为地下水起始动态观测、正式放水、水位恢复观测等三个阶段,自 2008年 5月 6 日 12时开始,至 2008年 5月 25日 12时止,历时 19 天。正式放水进行了三个稳定落程的放水。放水试验 过程中,各奥陶系石灰岩观测孔水位历时变化不一。 随着放水的进行,水位相应发生变化。在放水的第一 阶段,随着放水孔阀门最大程度的开启,各孔水位随之 逐渐下降,在放水进行到三天以后,各孔水位渐趋稳









定。由于各孔距放水孔的距离不同,水位变化相应时 间也有所不同,水位下降幅度也存在较大的差异。放 水过程中同样作依次减小的三个流量放水。以 O_{2x} -7 为例,从流量过程曲线(图 2)可以看出,曲线形态比较 理想。 O_{2x} -7孔第一阶段流量基本稳定,变化不大。流 量平均值为 66.3m³/h 相对误差平均为 0.42%,最大 为 1.70%;第二阶段流量稳定,平均为 51.1m³/h 相对 误差平均为 0.70%,最大为 2.99%;第三阶段总体上 流量稳定,后期流量稍有降低,但幅度很小。流量平均 为 30.5m³/h 相对误差平均为 3.23%,最大为 8.43%。对于观测孔,总体上,距离较近的观测孔如 O_{2x} -5, O_2 -10, O_2 -3, O_{2x} -4孔等随着放水孔阀门的开启, 水位很快随之下降,且降幅较大。而距离较大的观测 孔如 O_2 -4, O_2 -5等,则水位变化较小且滞后于放水(图 3,以 O_2 -3, O_2 -4孔为例)。

3 数值模拟分析

3.1 水文地质概念模型

本次模型的计算区域为南屯煤矿整个下组煤赋存 的区域。南屯井田除东部为峄山断层外,北部、西部和 南部与周边其它井田之间均为人为边界,因此,本次计 算的区域北、西、南均往外扩展,根据奥陶系石灰岩放水后流场特征划定人为的计算区域(图 4)。



图 4 模拟区边界示意图 Fig 4 Boundary conditions of modeled area

具体计算区域为:南部为南屯矿界以南 1200m 为 界,西部为南屯矿界以西 1800m 为界,北部至兖州向 斜轴部。

根据勘探、单孔抽(放)水、本次放水试验等资料 分析.模拟区构造地质条件和水动力条件等均有一定 的变化,岩溶发育不均匀,含水层富水性不均一。根据 已有的抽(放)水试验单孔涌水量资料以及地质构造 条件,将模拟区划分为7个参数分区(图5)。在地下 水运动数值模拟的过程中,模拟预测结果的正确与否 与边界条件处理得是否恰当密切相关,所以必须对边 界条件给予应有的重视^[8]。本文模拟区东部以峄山 断层为界,落差大于 2000m,规模巨大。研究区内奥陶 系石灰岩东部边界与外部补给源的水力联系较弱,为 计算方便将其视为二类流量(隔水)边界:南部以南屯 矿界外延 1200m 为界,可以接受大气降水、地表水和 第四系潜水的补给,所以将其定为一类补给边界;西部 以外延南屯矿界 1800m 为界,可以接受大气降水、地 表水和第四系潜水的补给,所以将其定为一类补给边 界:北部以兖州向斜为界.也定为一类补给边界¹⁹。



图 5 参数分区图 Fig 5 Subdivision for the parameters

 3.2 水文地质参数求解 依据上述水文地质概念模型,即计算区内属于二 维非均质、各向异性、非稳定承压水流情况,建立数值 模型,利用 GM S软件进行数值模拟计算。计算时所使 用的核心模块为 MODFLOW 模块,该模块是基于有限 差分法编写的,也就是说本次计算采用数值解法中的 有限差分法^[10]。

3.2.1 空间及时间离散

全区长 14 995m, 宽 8 383m, 根据区内的构造及水 文地质条件划分 7个水文地质参数分区。划分网格时 在放水孔及观测孔处结点适当细化处理, 共划分 68 行, 106列, 共 7208个单元, 其中有效单元 5 230个。

模拟起止时间为 2008年 5月 9日 12时-2008年 5月 25日 0时, 共计 372h, 22 320m in, 其中, 放水历时 310h,恢复水位观测历时 62h。由于整个放水试验过 程中经历三次流量变化,每次流量变化初期水位波动 较大,后期基本稳定,因此本次模拟时间离散时划分时 段较细,共 52个应力期,并且每次流量变化初期时间 段划分较细,后期适当延长,离散结果列在表 1中。

表 1 时间离散结果 Table 1 Tem poral discrete result

流量变化	5-9 12 00	5-14 10: 00	5-18 10:00	5-22 10 00
时间段	~ 5-14 10:00	~ 5-18 10: 00	~ 5-22 10: 00	~ 5-25 0 00
时间长度 (m in)	7 080	5 760	5 760	3 720
应力期编号数	15	14	14	9

3.2.2 水文地质模型识别与检验

由于北部、西部和南部边界条件属于人为划定,东 部边界简化为隔水边界 (实际为弱透水边界),以及其 它原因,模型中存在较多的不确定量,给模型参数识别 带来一定的困难。为克服不确定量造成的参数识别的 多解性和不稳定性,在模型识别过程中,主要采用试估 校正法,使参数、水位、水量等的求解及预测预报尽量 符合客观实际。本次识别的参数有:渗透系数 (*Kx*、 *Ky*)和贮水系数 ¹。首先根据放水试验资料,对奥陶 系石灰岩水文地质参数进行了计算。采用配线法、 Jacob直线法两种方法分别利用 O_{2x}-7孔的放水量及 O₂-10和 O_{2x}-5孔的水位观测资料对奥陶系石灰岩的 导水系数、渗透系数和贮水系数等进行初步估算,并作 为数值模拟求参的初始值。

其次将观测孔的水位动态实测资料作为拟合对 象,以此确定含水层的水文地质参数,观测孔水头的拟 合程度基本上可以反映所求参数的精度。设目标函数

$$E(p_1, p_2, ..., p_n) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} [H(i, j) - H_g(i, j)]^2$$

式中: $p_1, p_2, ..., p_n$ — 待求的水文地质参数;

m ——用于水头对比的观测孔个数;

n ——水头对比时段数;

- *H*(*i*, *j*) ——模型计算的 *i*点观测孔 *j*时段的水位 (m);
- $H_g(i, j) \longrightarrow i$ 点观测孔 j时段的实测水位 (m)。

根据各参数的约束条件,求取目标函数 *E* 最小。 若此时的水位拟合差未达到足够小,则进一步分析其 原因,必要时对约束条件及模型定解条件进行必要的 调整,再次求取目标函数最小。如此反复计算、分析, 直到求得满意的结果为止。

识别选取放水试验中所有奥陶系石灰岩放水孔及 观测孔资料,水位拟合针对所有奥陶系石灰岩观测孔, 拟合数据的时间段采用整个放水试验过程,即自 2008 年 5月 9日 12时至 2008年 5月 25日 0时,其中包括 水位恢复观测时间段。

经过模型参数识别,最终研究区各参数分区的水 文地质参数结果见表 2。

表 2 研究区参数统计

Table 2 Statistic of parameters in research area

分区编号	渗透系数Kx	渗透系数 Ky	贮水系数
	(m/d)	(m /d)	h⊭
ΙI	0 58	0. 49	6. 0 × 10 ⁻⁷
II	0 56	0.46	2. 1×10^{-6}
III	8 77	7. 33	3.5×10^{-4}
IV	0 50	0.39	1.1×10^{-5}
V	1.33	1. 12	1.1×10^{-5}
VI	4 17	3. 01	2.5×10^{-4}
VII	0 66	0. 53	5. 0×10^{-6}
平均值	2 37	1. 90	9. 0×10^{-5}

3.3 奥陶系石灰岩疏水量预计

十一采区和十三采区位于井田的西南部区域,16 上煤突水系数介于 0.06~0.1MPa/m 之间,17煤局部 突水系数介于 0.1~0.15MPa/m 之间。可见,17煤局 部处于较危险状态。因此,本次根据下组煤开采规划, 对十一采区和十三采区的范围进行疏放涌水量数值模 拟预测,为可能采取的疏放水工程设计提供依据。在 预测过程中边界条件、初始条件及水文地质参数均保 持不变,仅仅改变放水孔的流量,使各放水孔的流量为 零。

目前奥陶系石灰岩平均水位在 20m 左右,根据十 一采区和十三采区 17煤最低开采标高以及突水系数 临界值 0.06MPa/m 计算,十一采区安全水位约为 – 180m,十三采区安全水位约为 – 162m。因此,模拟计 算时,十一采区水位降深约为 200m,十三采区水位降 深约为 182m。

为了计算出采区范围内的涌水量,预测时先在两 个采区中心位置各设一个出水点,通过运行地下水稳 定流运动模型计算出采区内的奥陶系石灰岩水位达到 安全水位条件下出水点的稳定流量。计算结果显示, 若按照十一采区水位下降 200m,十三采区下降 182m 的要求进行预测,两个采区出水点的流量分别为 900m³/h和 600m³/h。因此,奥陶系石灰岩降压疏水 量至少应保证在 900m³/h

为反映出疏水量与疏降时间之间的关系,在同样 条件下运行非稳定流模型计算了相同降深条件下不同 时间的疏放水量(表 3)。可见,在疏降初期,疏水量较 大,但随着疏降时间的延长,疏水量渐趋稳定。

表 3 十一和十三采区疏水量与时间关系

Table 3 Relation of water in flow and time of the

 11^{th} and the 13^{th} m ine sections

疏放时间	十一采区疏水量	十三采区疏水量
(d)	(m^{3}/h)	(m^{3}/h)
30	1 800	1 200
40	1 500	1 000
60	1 200	800
200	900	600

4 放水试验结果分析

根据放水试验成果资料, 各观测孔中, 处于放水孔 群之间的 O₂-5孔水位降深最大。放水前奥陶系石灰 岩形成以 0_{2x}-5-0_{2x}-1 孔一线为中心的降落漏 斗区, 奥陶系石灰岩水向该区域汇流: 放水时则形成以放水 孔为中心的两个降落漏斗中心区域,北部以 O_{2x}-6--O_{2x}-7为中心, 南部以 O_{2x}-1-O_{2x}-2-O_{2x}-3 孔为中心。 放水影响范围以第一阶段放水为最大,影响范围覆盖 整个南屯井田,随着放水量的减小,影响范围也缩小, 第三阶段放水时,影响范围基本上位于井田中部区域, 西北部和东南部观测孔水位恢复到放水前的动态。停 止放水后奥陶系石灰岩水位初期恢复较快,后期减缓; 放水孔中, O_{2x}-1和 O_{2x}-6孔水位迟迟不能恢复到放水 前的水平,该两孔放水量又较小,说明两孔处富水性和 导水性均较差,而 O_{∞} -7孔附近奥陶系石灰岩含水层 的富水性和导水性较好,反映出井田内奥陶系石灰岩 含水层不均匀的特点。通过数值模拟计算,求得水文 地质参数,结果表明,区内奥陶系石灰岩含水层渗透性 差异较大,表现出明显的非均质和各向异性的特征。

由于十四和十三灰水位远低于奥陶系石灰岩水

位, 奥陶系石灰岩又是厚度巨大、导水性和富水性又远 强于十四和十三灰, 奥陶系石灰岩放水基本上对十四 灰没有产生较大的影响, 在放水过程中, 十四和十三灰 水位基本上保持放水前的动态。

5 结论

(1)根据放水试验成果资料分析,在放水试验时,十四灰和十三灰基本上不受奥陶系石灰岩影响,在天然状态下没有直接的水力联系。

(2)水文地质参数数值模拟结果表明,区内奥陶 系石灰岩含水层渗透性差异较大,表现出明显的非均 质和各向异性的特征。疏水数值模拟计算表明,在对 十一和十三采区采取疏水降压开采时,初期疏水量较 大。因此,如果采取预疏放的措施,则应尽早实施,以 免影响工期。同时在疏水时注意矿井排水能力应能满 足疏水要求。

(3)对于十四灰水,由于厚度小、水量小、导水性 较弱,可采取疏水降压方式,将十四灰水压降到安全水 头以下开采;对奥陶系石灰岩,由于水量大,可尽量采 用避让措施,通过物探等手段寻找导水通道,并及时对 其进行处理。

参考文献:

- [1] 曹剑峰, 迟宝明, 王文科, 等. 专门水文地质学
 [M]. 北京:科学出版社, 2006 45-48
- [2] 杨小刚,叶勇,田茂虎.放水试验在岱庄煤矿下组 煤水害防治中的应用[J].西部探矿工程,2007 (11):92-95.
- [3] 王雨山,黄承忠.利用放水试验资料反求水文地质 参数的数值模拟研究[J].现代商贸工业,2009 (10):281-282
- [4] 李文东. 兴隆庄煤矿三含放水试验分析 [J]. 煤田 地质与勘探, 1999(S1): 37-40.
- [5] 祝晓彬. 地下水模拟系统(GMS)软件[J]. 水文地 质工程地质, 2003, 30(5): 53-55.
- [6] 韩程辉,刘文生. 地下水模拟系统(GMS)与矿井防 治水[J]. 矿业安全与环保, 2005, 32(1): 25-26
- [7] 张迎秋,魏久传,王敏等.杨村煤矿二、四采区奥灰 水放水试验及数值模拟分析[J].水文地质工程地 质,2009 36(1):65-68
- [8] 沈媛媛,蒋云钟,雷晓辉,等.地下水数值模拟中人为边界的处理方法研究[J].水文地质工程地质,2008,35(6):12-15.
- [9] 朱学愚, 钱孝星. 地下水水文学 [M]. 北京: 中国环 境科学出版社, 2005: 226-228
- [10] 韩程辉,刘文生. 地下水模拟系统 (GMS) 与矿井防 治水 [J]. 矿业安全与环保, 2005 (1):. 25-27.

Dewatering test of group holes of the Ordovician limestone and numerical sinulation of the Nantun CoalM ine

LI Zhong-jian¹, WEI Jiu-chu an¹, XU Jian-gu o², WANG M in¹, GUO Jian-bin¹, ZHANG B in³

(1 College of Geology Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology,

Qingdao 266510, China;

2 Nantun Coal M ine of Yan Zhou M ining Group, Jining 272100 China;

3 College of Information Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology,

Q ing dao = 266510 Ch ina)

Abstract Dewatering tests of the Ordovician linestone aquiferwere conducted in order to further examine the hydrogeological conditions and evaluate the influences of Ordovician linestone aquifer formining of lower group of coal seams in the Nantun CoalM ine. The existing hydrogeological observation holes are used to carry out the dewatering tests. Three falls in groundwater levelswere performed in the tests. Simulation analysiswas carried out by using the software of the GMS, which can be used to identify the hydrogeological parameters and forecast the water in flow of Ordovician linestone aquifer. The results of the tests and numerical simulation show that dewatering of the Ordovician linestone aquifer has little bearing on the fourteenth linestone aquifer. It is also needed to keep away from the Ordovician linestone water and deal with the headrace in time with technologies such as geophysical prospecting.

Keywords ordovician limestone, devatering test, numerical simulation, GMS

责任编辑:张若琳