

基于 Neuman 井流理论确定玄武岩 潜水含水层渗透系数的应用

——以吉林靖宇煤矿为例

段乃金¹, 陈刚¹, 候海巅², 徐健²

(1. 中化地质矿山总局山东地质勘查院, 山东 济南 250013; 2. 平阴县国土资源局, 山东 平阴 250400)

摘要: 全面分析研究区玄武岩潜水含水层水文地质条件的基础上, 对稳定流和非稳定理论确定潜水含水层渗透系数的优缺点进行了对比, 认为非稳定井流公式确定玄武岩潜水含水层渗透系数是合理的。Aquifer Test 软件基于 Neuman 井流理论配线法求参原理, 运用计算机完成了自动求参, 避免了人工配线的不足。该文根据吉林靖宇煤矿研究区玄武岩潜水含水层非稳定流抽水试验, 分别用 Aquifer Test 软件和稳定井流公式进行了求参, 并对对比分析得出: 玄武岩含水层弹性释水作用影响时间较长, 利用 Neuman 潜水井流公式求参可靠, 且更接近现实; 用 Aquifer Test 软件实现了自动求参, 具有操作简单规范、可比性好的优点。

关键词: 玄武岩潜水含水层; 渗透系数; Neuman 配线法; Aquifer Test 软件; 靖宇煤矿; 吉林

中图分类号: P641.4; S273.4

文献标识码: B

引文格式: 段乃金, 陈刚, 候海巅, 等. 基于 Neuman 井流理论确定玄武岩潜水含水层渗透系数的应用——以吉林靖宇煤矿为例[J]. 山东国土资源, 2016, 32(10): 57-60. DUAN Naijin, CHEN Gang, HOU Haidian, etc. Application of Determining Permeability Coefficient of Basalt Phreatic Aquifer Based on Neuman Well Flow Model——Setting Jingyu Coal Mine in Jilin Province as an Example[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(10): 57-60.

0 引言

长期以来, 以玄武岩含水层为主要充水因素的矿山, 开采过程中经常发生溃水现象, 究其原因, 很重要的一个因素是根据抽水试验资料所确定的渗透系数与含水层实际情况差异较大所致。根据抽水试验资料确定的潜水含水层水文地质参数, 前人已经做了大量工作^[1-2], 目前, 生产实践中多是根据稳定流和非稳定流抽水试验公式来确定水文地质参数。稳定流抽水试验理论利用时间较早, 且计算方法简便, 但其不能反映不断发展、变化的地下水实际运动状态, 只能利用足够长的抽水时间以达到相对稳定, 具有一定的局限性, 造成动力、人员不足, 耗费较大等问题。

非稳定抽水试验理论现有解析公式虽不能包含潜水运动的所有特点, 但是其已尽可能地逼近地下

水实际运动状态。结合玄武岩潜水含水层渗透性各向异性的特点, 该文以潜水流速垂直分量和弹性释水的 Neuman 井流模型为基础, 利用 Aquifer Test 软件, 通过计算机求参, 简化了过程、提高了效率, 实现了确定玄武岩潜水含水层渗透系数的自动化。

1 Neuman 井流模型理论

1.1 假设条件

①含水层为均质各向异性, 坐标轴选择要和主渗透方向一致, 含水层侧向无限延伸, 隔水层水平; ②初始自由水面为水平; ③水流服从达西定律; ④完整井, 定流量抽水; ⑤抽水期间自由面上没有入渗补给和蒸发, 潜水面降深和含水层厚度相比小得多。

1.2 标准曲线法确定水文地质参数原理

基于 Neuman 井流模型确定渗透系数的方法有

收稿日期: 2016-02-15; 修订日期: 2016-03-10; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 段乃金(1983—), 男, 山东济南人, 工程师, 主要从事水文地质、环境地质工作; E-mail: 1019065529@qq.com

标准曲线配比法和直线图解法,标准曲线配比法能够利用抽水试验所有的数据且能够直观反映水位降低的 3 个阶段,可比性强,因此,该文只介绍标准曲线配比法求参的过程。

(1) 根据由完整观测孔中所测得的 s, t 资料,在透明双对数纸上做 $s-t$ 曲线。

(2) 用 $s-t$ 曲线的后段期与 B 组标准曲线按一般配线方法相配。取得最佳配合后,记下标准曲线的 β 值,并选一配合点,读出其双重坐标值: $[s], [t], [t_\mu], [s_D^*]$, 带入公式 $T = \frac{Q}{4\pi[s]} [s_D^*]$ 和 $\mu =$

$$\frac{T[t]}{r^2[t_\mu]}, \text{ 求出参数 } T \text{ 和 } \mu。$$

(3) 将 $s-t$ 曲线向左或向右平移,使前期段与同一 $[\beta]$ 值的 A 组标准曲线取得最佳配合,选取配合点,记下其 4 个坐标值: $[s], [t], [t_s], [s_D]$, 带入公式 $T = \frac{Q}{4\pi[s]} [s_D]$ 和 $S = \frac{T[t]}{r^2[t_s]}$, 求出参数 T 和 S 。

(4) 对 2 次配比结果 T 求平均值,按公式 $K = \frac{T}{H_0}$, 求出 $K^{[3]}$ 。

2 Aquifer Test 软件求参方法简介

Aquifer Test 软件由加拿大滑铁卢水文地质公司开发的专门用于分析抽水试验结果,用户在较短的时间里有效地处理来自试验所有的信息,并且计算结果可以以图表形式输出和打印。该软件的运行原理是以地下水井流公式,采用图解法确定含水层参数,提供了 Theis, Cooper - Jacob Time - Drawdown,

Cooper - Jacob, Neuman Distance - Drawdown, Cooper - Jacob Time - Distance - Drawdown, Walton (Hantush - Jacob) 等 14 种方法。该文只对软件中“Neuman”标准曲线配线法求参的操作方法进行概述。

(1) 双击 Aquifer Test 软件中试验图标,开始含水层抽水试验。

(2) 填写笔记簿抽水试验的记录,键入抽水的时间、抽水流量及含水层的厚度。

(3) 在软件面板中,选择“实例”下的“Analysis”(分析),在出现的弹出窗口中,选择“Drawdown vs time”(水位降低与时间)图解法。

(4) 创建一个新的分析。从出现的弹出窗口中选择“Neuman”标准曲线配线法进行理论分析。

3 求参实例

在吉林省靖宇煤矿研究区玄武岩潜水含水层进行了第一个观测孔非稳定流抽水试验。抽水井编号 SK3,井深 110 m,井径 0.325 m;观测井编号 GK3,井深 110 m,井径 0.11 m,观测孔距抽水井距离 20 m;稳定抽水量 $17.4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。根据勘查资料,含水层由灰黑色玄武岩组成,遍布整个研究区,大部分被第四纪粘土覆盖,只在东南部冲沟处零星出露。玄武岩由多期喷发形成,气孔发育,柱状节理和水平裂隙密集,形成良好的地下水赋存空间和径流通道。含水层厚 33.4 m,抽水井、观测井初始水位埋深均为 76.6 m,抽水持续时间 1 070 min^①。抽水时观测井 GK3 观测资料见表 1。

3.1 稳定井流公式求参

表 1 吉林靖宇煤矿观测孔 GK3 观测资料

累计观测时间(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	100	120
水位降深(m)	0	0.38	0.66	0.83	0.87	0.9	0.94	0.96	0.98	0.99	1.01
累计观测时间(min)	140	170	200	230	260	290	320	350	380	410	470
水位降深(m)	1.03	1.04	1.06	1.08	1.07	1.08	1.07	1.08	1.09	1.1	1.12
累计观测时间(min)	530	590	650	710	770	830	890	950	1010	1070	
水位降深(m)	1.14	1.16	1.18	1.2	1.22	1.24	1.25	1.24	1.24	1.24	

该次抽水试验虽按非稳定流原理对水位降深进行了观测,但抽水试验延续时间较长,后期观测水位已近似稳定,可以利用后期数据采用稳定流公式求参。将观测资料带入仿 Theis 公式(1),经计算: $K = 1.18 \text{ m/d}$ 。

$$K = \frac{2 \times 0.366Q}{(s_w - s_1)(2H - s_w - s_1)} \lg \frac{r_1}{r_w} \quad (1)$$

3.2 软件求参

选择“Neuman”配线法进行理论分析,移动观测

① 明达化工地质有限责任公司,段乃金、成世才、郭跃祥等,吉林省靖宇煤矿水文地质调查报告,2014 年。

曲线与标准曲线进行拟合,首先观测曲线与 B 组曲线拟合,结果如图 1 所示,计算结果为 $K=1.21 \text{ m/d}$ 。通过拟合结果看,无论稳定流公式和非稳定公式,利用抽水试验后期数据所求渗透系数相差不大。最后使观测曲线与 A 组曲线拟合,结果如图 2 所示,计算结果为 $K=1.47 \text{ m/d}$ 。通过拟合结果看,利用抽水试验前期数据求参时,因考虑了含水层弹性释水的因素,Neuman 配线法相比稳定井流公式求参结果要大。求 2 次配线法所得渗透系数平均值得 $K=1.34 \text{ m/d}$ 。

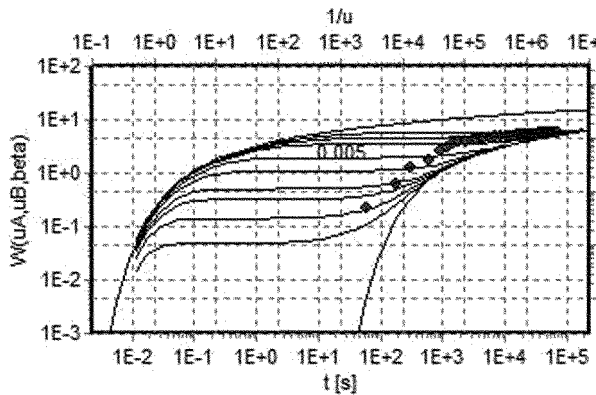


图 1 Neuman 配线法观测曲线与 B 组曲线拟合图

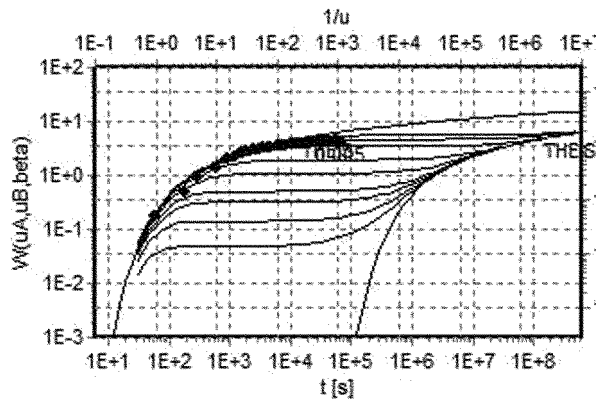


图 2 Neuman 配线法观测曲线与 A 组曲线拟合图

实际观测曲线与 A 组标准曲线拟合较好,而只在后期较少数据与 B 组数据拟合较好,且观测曲线中间近水平的曲线较长,说明抽水试验过程中,含水层弹性释水时间较短,随即转入重力排水为主、弹性释水为辅的阶段,抽水后期弹性释水作用消失转为重力排水。配线结果说明,弹性释水时间在整个非稳定流抽水时间中占比较大,计算玄武岩潜水含水层 K 值时,不能忽视弹性释水影响,利用 Neuman 井流公式配线法求参是合理的。

4 对比分析

通过上述计算结果并结合求取渗透系数井流公式的适用条件,对 Neuman 井流公式相比于稳定井流公式确定玄武岩含水层的优越性做以下对比分析:

(1) 稳定流求潜水含水层参数计算方法多以裘布衣模型为基础,该方法对含水层条件进行了概化处理,可直接用公式或方程组解出相关水文地质参数,求参方法单一,容易操作,但对较复杂水文地质条件目标区域适用程度受限或不适用^[4],且抽水时间长、花费大^[5]。

非稳定流求潜水含水层参数方法主要包括 THEIS 配线法、Jacob 直线图解法、水位恢复法、全程图解法,包括博尔顿、neuman 井流公式等,所求水文地质参数较多,能够适用于较复杂多变量的抽水过程,且所需抽水时间短^[6]。通过大量的实践证明非稳定井流公式与稳定井流所求结果基本一致^[7],因此,目前非稳定井流公式为确定潜水含水层参数的主要方法。

(2) 玄武岩潜水含水层地下水赋存空间为成岩孔洞、柱状节理及构造裂隙。研究区玄武岩含水层由多期喷发形成,在垂向和水平上富水性差异较大,如果简单的讲其概化为各向同性的含水层,并利用 THEIS、Jacob 公式计算渗透系数,显然是不合适的。Neuman 井流公式考虑了弹性释水和地下水垂向流动这两个因素,能够反映地下水在含水层中的发展变化,并且其适用条件与研究区水文地质条件拟合性最好。通过计算结果可以看出 Neuman 井流公式较稳定流公式所求结果要大^[7],是因其考虑了垂向释水的缘故,在实际应用中还是可靠的^[8]。

(3) 利用 Neuman 井流公式求参,传统的方式为人工配线,需在双对数纸上绘制标准曲线,然后在另一张模数相同的透明纸上绘制实测曲线将实测曲线置于标准曲线之上,保持对应坐标轴平行的条件下相对平移,直至两曲线重合。该方法耗时耗力,而且人为性大。

Aquifer Test 软件专门为水文地质学者和其他水利专家设计,其中自带的 Neuman 井流公式模型,实现了求参的自动化,具有操作简便、实用性强、可视化、对比分析速度快等特点^[9-10],并在实践中得到

改进和推广利用^[11]。

5 结论

通过求取研究区玄武岩潜水含水层渗透系数的2种方法,得出以下结果:

(1)与稳定井流公式相比,非稳定井流公式应用范围更广,能够更真实的反映潜水水位不断变化的运动状态,且省时省力。

(2)考虑地下水垂向流动和弹性释水的 Neuman 井流公式所规定的适用条件与研究区玄武岩含水层地下水的赋存特征拟合的最好,利用此方式求取的渗透系数能反映地下水流动的实际过程,且大量实践证明所求参数是可靠的。

(3)Aquifer Test 软件自带的 Neuman 井流公式实现了求参的自动化,避免了人工配线随意性大的缺点,具有操作简单,过程可视,结果输出规范等优点,值得在生产实践中推广。

(4)在利用抽水试验数据求取含水层渗透系数选择井流公式时,应使公式的适用条件与含水层地下水赋存特征拟合的最好,只有这样所求参数才能准确、可靠。

参考文献:

- [1] 李佩成,卢玉东,张艳杰,等.再论渗流计算的“割离井法”及其微机实现[J].灌溉排水,1998,(1):1-5.
- [2] 刘大海.等价裘布衣半径及其单孔抽水试验解算方法[J].地下水,1987,21(3):3-7.
- [3] 薛禹群,吴吉春.地下水动力学(三版)[M].北京:地质出版社,2010.
- [4] 王辛,张硕,叶疆,等.基于抽水试验的水文地质参数计算方法对比与探讨[J].资源环境与工程,2015,29(12):836-838.
- [5] 巩彦文,张丽伟,滕凯,等.利用非稳定流抽水试验资料求解水文地质参数的新方法[J].地下水,2008,30(7):61-62.
- [6] 刘嘉,张功新,罗彦,等.潜水含水层非稳定井流降水的有限差分分析[J].水运工程,2010,2(2):70-74.
- [7] 刘忠.综合利用多种方法确定潜水含水层渗透系数[J].中国煤炭地质,2014,26(11):46-47.
- [8] 江峰,黄琨,马丁山,等.潜水含水层井流模型的对比研究[J].地质科技情报,2015,34(5):160-163.
- [9] 任改娟,杨立顺,回广荣,等.传统公式法和 Aquifer Test 计算水文地质参数的对比分析[J].地下水,2015,37(7):165-167.
- [10] 唐辉,蔡怀恩.基于 Aquifer Test 4.2 求解水文地质参数方法分析[J].中国水运,2014,14(8):220-221.
- [11] 师永丽,张永波,张志祥,等.基于 Aquifer Test 与 Matlab 耦合的水文地质参数求解[J].水电能源科技,2015,33(8):63-66.

Application of Determining Permeability Coefficient of Basalt Phreatic Aquifer Based on Neuman Well Flow Model

—Setting Jingyu Coal Mine in Jilin Province as an Example

DUAN Naijin¹, CHEN Gang¹, HOU Haidian², XU Jian²

(1. Shandong Geological Prospecting Institute of China Chemical Geology and Mine Bureau, Shandong Jinan 250013, China; 2. Pingyin Bureau of Land and Resources, Shandong Pingyin 250400, China)

Abstract: On the basis of analyzing hydrogeological conditions of basalt phreatic aquifer in studying area, comparing the advantages and disadvantages of steady flow and unsteady flow pumping test, it is regarded that it is reasonable to determine permeability coefficient of basalt phreatic aquifer by using unsteady well flow formula. Based on Neuman well flow model, Aquifer Test software can calculate hydrogeological conductivity and avoid manual parameter by computer. According to unsteady flow pumping test of basalt phreatic aquifer in Jingyu coal mine, hydrogeological conductivity has been calculated by using Aquifer Test software and steady well flow formula respectively. Through comparison and analysis, it is regarded that basalt phreatic aquifer release water time is long by own compression deformation. So it is reasonable to calculate hydrogeological conductivity of basalt Phreatic aquifer by using Neuman well flow model. The parameters gained by Aquifer Test software are normative and have good comparability.

Key words: Basalt phreatic aquifer; conductivity; Neuman fitting curve method; Aquifer Test software; Jingyu coal mine; Jilin province