

## 成果与方法

## 鲁北地区热储弹性释水系数计算方法探讨

赵季初

(山东省鲁北地质工程勘查院,山东 德州 253015)

**摘要:**在对裘布依、泰斯公式适用条件的讨论基础上,提出了利用稳定流抽水试验资料求解弹性释水系数的方法,解决了鲁北地区地热资源计算中弹性释水系统确定的难题。该方法首先利用裘布依公式及吉哈尔特经验公式联立求解热储含水层的渗透系数( $K$ ),在此基础上,根据稳定流抽水试验第一落程初始时间段的降深与时间的关系曲线,利用泰斯公式求解热储含水层的弹性释水系数。

**关键词:**地热资源;裘布依公式;泰斯公式;渗透系数;弹性释水系数;鲁北地区

中图分类号:P314.3; TK521<sup>+</sup>.2

文献标识码:A

鲁北地区地热资源具有埋深大,迳流缓慢,承压水头高的特点,热储的弹性释水系数是地热水资源计算中一个十分重要的水文地质参数。以往区内地热勘查报告中该参数均借鉴邻区(如天津等地)的资料,与区内实际情况有出入。在实际工作中,弹性释水系数一般只能由非稳定流抽水试验求取,受地热开发利用规划中合理井距规定的限制,区内地热井的井距较大,一般在 2 km 以上,如利用现有井做非稳定流抽水试验,则要求大流量、大降深、长时间的抽水,费用昂贵。因此,有必要探讨一种利用稳定流抽水试验数据推算弹性释水系数的方法。

## 1 稳定流抽水试验的讨论

目前,鲁北地区共有地热井数十眼,各井均进行了单孔稳定流抽水试验,对含水层的厚度( $H$ )、含水层的渗透系数( $K$ )等水文地质参数的研究程度较高。在渗透系数( $K$ )的计算过程中,采用了裘布依公式  $S = \frac{Q}{2} \ln \frac{R}{r_w}$  及吉哈尔特经验公式  $R = 10S\sqrt{K}$ ,式中  $S$  为降深(m), $Q$  为抽水流量( $m^3/d$ ), $K$  为渗透系数( $m/d$ ), $M$  为含水层厚度(m), $R$  为影响半径(m), $r_w$  为抽水井半径。

裘布依公式适用的前提条件有 4 个<sup>[1]</sup>: 含水

层为均质各向同性的圆柱状含水层; 在圆柱状含水层的外侧面保持常水头; 抽水井位于圆柱状含水层的轴心; 水头降低较小,地下水运动为缓变流,假定在同一铅直截面中不同深度各点的水头相等。这些前提条件在现实情况中很难实现,只能作近似的假设。鲁北地区地热井一般开采目的层为新近纪馆陶组热储层,该热储层岩性、厚度较稳定,在稳定流抽水影响范围内可近似地看成均质各向同性;虽然其迳流补给极其缓慢,理论上不存在稳定的供水边界,由于该热储层分布广泛,热储中压力高,在稳定流抽水试验过程中,可认为其影响边界外水头不变。基于以上讨论,采用裘布依公式计算热储层的渗透系数是可行的。

## 2 热储弹性释水系数求取方法探讨

### 2.1 计算方法

弹性释水系数可以在定流量非稳定流抽水试验的基础上,采用泰斯公式求取。适用泰斯公式的泰斯井流模型假定<sup>[1]</sup>: 含水层承压、均质各向同性、厚度相等、底板水平、在平面上无限展布; 天然状态下水力坡度为零; 完整井定流量抽水,井径无限小; 含水层中水流服从达西定律; 水头下降引起

的地下水从贮存量中的释放是瞬时完成的；无越流的补给。在符合上述假定的条件下，由抽水试验在某点所引起的水位降可由泰斯公式  $s = \frac{Q}{4} \frac{e^{-y}}{T_u u} - \frac{dy}{4 T t}$  求取，式中  $T$  为导水系数 ( $m^2/d$ )， $r$  为计算点到井中心之间的距离 (m)， $s^*$  为含水层的弹性释水系数。其中井函数以级数形式表示为： $W(u) = \frac{e^{-y}}{u} dy = -0.577216 - \ln u + u - \sum_{n=2}^{\infty} (-1)^n \frac{u^n}{n \cdot n!}$ ，此级数为一交差级数，在  $u$  值小于 0.05 时，其值可近似地由前 2 项代替，即在野外抽水试验曲线中表现为降深  $s$  与时间的对数 ( $\lg t$ ) 成直线关系。

## 2.2 适用条件分析

前已述及，鲁北地区地热开采目的层主要为馆陶组层状热储，其厚度、岩性分布较稳定，可近似地认为均质各相同性；地热水迳流极其缓慢，天然状态下水力坡度近似为零；热储层顶底部均具有厚层泥岩隔水层，相邻热储含水层的越流补给可以忽略不计。以上特征符合泰斯井流模型的假定条件。此外，区内地热井均进行了稳定流抽水试验，由于地热水迳流极其缓慢，又无相邻含水层的越流补给，抽水量主要来自热储的弹性释水量，不存在真正的稳定流情况，可以把第一次大降深抽水试验的前段看成非稳定流抽水试验。因此，可以取大降深稳定流抽水试验中降深与时间的对数曲线的直线段终点所对应的降深、时间为参数，代入泰斯公式求取弹性释水系数  $s^*$ 。导水系数  $T$  按稳定流抽水试验求取。

## 3 弹性释水系数计算示例

现以陵县世纪家园地热井抽水试验为例计算弹性释水系数。该井深 1364.61 m，取水段为馆陶组砂砾岩热储层，含水层厚 81 m，取水段井径为 177 mm，在完井后进行了 3 个落程的稳定流抽水试验，抽水历时 58 h。第一落程降深为 45 m，对应的稳定流量为 101.85  $m^3/h$ ，抽至水位稳定历时为 3.5 h（图 1）；第二落程降深为 23.88 m，稳定流量 60.05  $m^3/h$ ；第三落程为放水试验，降深 4.8 m，稳定流量 18.007  $m^3/h$ 。

首先根据裘布依公式及吉哈尔特公式计算热储含水层的渗透系数分别为 0.825  $m/d$ ，0.843  $m/d$ ，

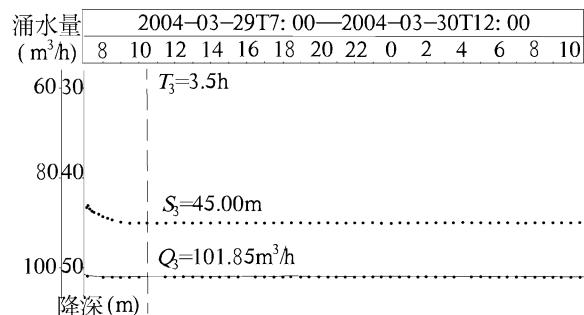


图 1 陵县世纪家园抽水试验第一落程降深、流量—时间曲线图

0.988  $m/d$ ，其平均渗透系数为 0.885  $m/d$ ，则平均导水系数  $T = 2.987 m^2/h$ 。

为计算弹性释水系数，根据第一落程稳定流抽水试验资料，绘制降深 ( $S$ )—时间的对数 ( $\lg t$ ) 关系曲线（图 2），取曲线中直线段的终点为参数即： $t = 3.0 h$ ,  $S = 44.95 m$  及  $Q = 101.85 m^3/h$ ,  $T = 2.987 m^2/h$ ,  $r = r_w = 0.0885 m$  代入泰斯公式，求得热储含水层的平均弹性释水系数为  $1.63 \times 10^{-4}$ 。

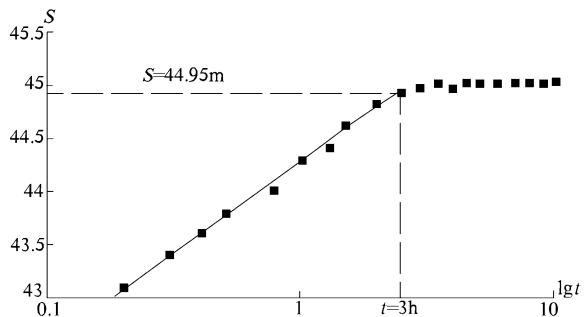


图 2 第一落程抽水试验前段  $S - \lg t$  曲线

## 4 所取参数的准确性讨论

众所周知，非稳定流抽水试验一般均需带观测孔，求参时采用观测孔  $S, t$  数据进行  $\lg S \sim \lg t$  曲线与  $\lg w(u) \sim \lg(L/u)$  曲线配线计算导水系数  $T$  与弹性释水系数  $s^*$ 。

示例弹性释水系数的计算利用了主孔资料，忽略了井损对降深的影响，所求得的弹性释水系数值偏小，因此，在实际应用中，最好能进行井损校正。仍以陵县世纪家园地热井抽水试验为例，分别取井损值 1, 2, 3 m 进行降深校正（即取  $s = 44 m$ ,  $s = 43 m$ ,  $s = 42 m$ ），校正后计算的弹性释水系数分别为  $2.7 \times 10^{-4}$ ,  $3.91 \times 10^{-4}$ ,  $5.65 \times 10^{-4}$ 。

参照邻近地区临清市城区及德州市城区非稳定

流抽水试验资料,区内馆陶组热储弹性释水系数取值范围为  $(3.6 \sim 4.7) \times 10^{-4}$ ,由于陵县处于凸起区,馆陶组厚度略小于凹陷区的德州市城区及临清市城区,取井损值 1~2 m 进行弹性释水系数计算应该是合理的,因此,陵县地区的弹性释水系数可取  $(2.7 \sim 3.91) \times 10^{-4}$ 。

## 5 结论

在地热资源计算中,可以根据稳定流抽水试验求取导水系数  $T$ ,然后以稳定流抽水试验的第一落

程(大降深)的前段( $S - \lg t$  曲线呈直线段)的降深  $S$ 、时间  $t$  及稳定流量为参数,对降深进行必要的井损校正后,采用泰斯公式计算弹性释水系数。计算示例中陵县地区的弹性释水系数可取  $(2.7 \sim 3.91) \times 10^{-4}$ 。

## 参考文献:

- [1] 郭东屏. 地下水动力学 [M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1994, 136 - 145.

# Method Study on Measuring Elastic Storage Coefficient in Geothermal Reservoir in Lubei Area

ZHAO Ji - chu

(Lubei Geo - engineering Institute, Shandong, Dezhou 253015, China)

**Abstract :** Based on the analysis of suitable condition on applying Dupuit and Theis equations, method for gaining storage coefficient by using the datas obtained from steady - flow pumping test is put forward in this paper, which will solve the problem for determining elastic storage coefficient difficultly in geothermal resource measurement in Lubei area. First, using Dupuit and Theis equations to gain the generation coefficient ( $K$ ) of water - bearing stratum in geothermal reservoir. Then, according to relation curve of drawdown depth and time at the beginning of stable pumping experiment and using Theis equation, the elastic storage coefficient of water - bearing stratum is gained.

**Key words :** Geothermal resource; Dupuit equation, Theis equation, storage coefficient; elastic storage coefficient; Lubei area

## 沂南县城镇变更地籍调查工作顺利通过省专家检查组阶段性检查

近日,山东省国土资源厅专家检查组对沂南县城镇变更地籍调查项目进行了过程检查和指导,对其城镇控制测量和权属调查成果给予了充分肯定。2005 年 4 月省厅城镇变更地籍调查培训工作会议结束后,该局高度重视,周密安排,在县委、县政府的支持帮助下,抽调骨干力量,组成专门队伍,于 2005 年 6 月开展全县城镇变更地籍调查工作。截至目前,全县城区 25km<sup>2</sup>、32 个街坊范围内地籍控制测量工作已基本完成,共布设各类控制点 179 个,四等水准点 6 个、图根点 1852 个;碎部测量已完成 11 个街坊 13km<sup>2</sup>,共测绘宗地 620 宗,界址点 1620 个,权属调查已完成城区 18 个街坊 17km<sup>2</sup> 范围内权属调查任务,共调查宗地 1356 宗,埋设各类界址标志 2355 个,填写变更地籍调查表 425 份,绘制宗地草图 360 份。对以上情况,省厅专家组分别检查了权属调查和地籍测量的有关内业资料,并实地抽查了部分界址点的设置和 14 个平面控制点及水准点的选点、埋石情况。最后认定:沂南县权属调查组织严密、方法得当、程序正确、措施有力、符合规定要求;地籍测量布设的控制网满足基本精度要求,可提供碎部测量使用,其权属调查方面的有关规定和工作制度值得推广。检查组同时也指出了项目中存在的一个问题和不足,为该县调查工作的进一步深入开展指明了正确的方向。

(李波 高同玉)