

基于 FEFLOW 的地下水热源渗流温度研究

崔 昭

(天津市勘察院,天津 300191)

[摘 要] 为研究地下水“热”源对于渗流场的影响,选取某水库水源地辐射取水区及部分扩张区为研究范围,使用地下水通用软件 FEFLOW 对单一地下水热源作用下的 Y 型河道的渗流场和温度场进行研究,得出地下水热源对渗流场和温度场的影响规律,结果显示:地下水位受水源的影响,在不同位置水位不同,含水层内随着到水源点距离的增加,水位逐渐降低,到达某个位置时会保持稳定不变;靠近地表的地下水温度会随着到水源点距离的增加逐渐降低,在垂向上,含水层内地下水温度随着高程的降低逐渐降低,而在库水区,受库水的影响垂向水温变化规律则刚好相反,研究结论可为实际工程提供理论指导。

[关键词] FEFLOW; 地下水; 热源; 渗流; 温度

[中图分类号] P314.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1004-1184(2019)03-0020-02

Study on Seepage Temperature of Groundwater Heat Source Based on FEFLOW

CUI Zhao

(Tianjin Prospecting Institute, Tianjin 300191, China)

Abstract: In order to study the influence of the groundwater “heat” source on the seepage field. Selecting the radiation source area and part of the expansion area of a reservoir water source area as the research scope, and the seepage field and temperature field of the Y-type channel under the action of a single groundwater heat source using the groundwater general software FEFLOW. The research results show that the influence of groundwater heat source on the seepage field and temperature field shows that the groundwater level is affected by the water source, the water level is different at different locations, and the water level gradually decreases with the increase of the distance from the water source point in the aquifer. At a certain position, it will remain stable; the temperature of the groundwater near the surface will gradually decrease as the distance from the water source increases. In the vertical direction, the temperature of the groundwater in the aquifer gradually decreases with the decrease of the elevation, while in the reservoir area, The law of vertical water temperature change influenced by reservoir water is just the opposite. The research conclusion can provide theoretical guidance for practical engineering.

Key words: FEFLOW; groundwater; heat source; seepage; temperature

当今世界面临两大难题环境和能源,地下水作为新型能源,加强地下“热”水源的研究意义重大。

在 20 世纪 70 年代初期,地下水“热”源逐渐进入到研究者的视野,对于地下水温度的研究才逐渐开展起来。著名院士薛禹群^[1]通过建立热弥散输移方程对上海市的地下水进行研究。徐广森等^[2]人在之前岩石力学的双重裂隙介质理论基础上建立了地热非稳定裂隙水流运动模型。周训^[3]、陈明佑^[4]、樊秀峰^[5]等人对地下水水位的动态变化和水温进行了研究。张远东^[6]、马最良^[7]、魏加华^[8]等人对不同热源回灌井以及造成的地下水“热突破”的影响因素以及“热突破”需要的时间进行了对比研究。不同的学者使用不同的软件对地下水进行研究,雷海燕等^[9]人利用 TOUGH2 软件对天津地下水的温度场和压力场进行了研究。程万庆^[10]是 FEFLOW 软件对热源井和回灌井之间距离和影响温度进行研究。王洋^[11]使用 TOUGH2-MP/EOS3 对岩层补给水的温度进行了研究。田光辉^[12]使用 GMS 对岩溶裂隙层的地下水温度的变化趋势进行了分析。本文采用 FEFLOW 对单一热源水井队 Y 型河道的渗流场和温度场进行研究。

1 研究区域概况

本文选取某水库北岸一条河沟作为水源地,其流域面积为 1.0106 m^2 ,取水量为 $4.9104 \text{ m}^3/\text{d}$,地下渗滤取水系统由一座取水井、3 条输水廊道和附属设施构成。取水井设计标高为 128 m,井深 58 m,井底由排污设施。输水廊道呈现 Y 形分布,逐廊道长 480 m,两条只廊道长 280 m,比降为 0.25%。该区域常年平均温度为 $5^\circ\text{C} \sim 11^\circ\text{C}$,年均降水量为 460~1100 mm。地下岩石属于第四纪地层,岩石主要由中粗砂、砾砂、灰岩、砾岩、页岩等组成,不同分层成分有所不同。区域地下水的主要来源为降雨,河流也会有部分渗入,地下水的流失主要通过横向排出、人工灌以及蒸发等。

2 控制方程

渗滤取水工程地下水渗流伴随的热运动十分复杂,在进行计算研究时需要将问题进行模型化,针对不同情况采用对应方程进行求解。

地下水渗流场的数学模型控制方程是由达西公式与连续

[收稿日期] 2019-02-28

[作者简介] 崔昭(1986-),男,天津人,工程师,主要从事岩土工程勘察方面工作。

方程结合推导出来,见公式:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(T_x \frac{\partial H}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(T_y \frac{\partial H}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(T_z \frac{\partial H}{\partial z}\right) + W = S_r \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

式中: $x、y、z$: 分别为三个坐标轴; $T_x、T_y、T_z$ 分别为三个方向倒水系数; H 为水头; W 为源汇项; S_r 为贮水系数。

地下水温度场控制方程为:

$$n\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \rho cv \frac{\partial T}{\partial x} = \text{div}(\lambda \text{grad}T) + \rho c W(T_0 - T) \quad (2)$$

式中: ρ 为水的密度, kg/m^3 ; n 为孔隙度; V 为渗流速度, m/s ; c 为水的比热容, $\text{J}/(\text{Kg}^\circ\text{C})$; λ 为热扩散系数, $\text{W}/(\text{mK})$; T 为水的温度, $^\circ\text{C}$; T_0 为源汇项的温度, $^\circ\text{C}$ 。

3 数值模型

本文采用地下水通用软件 FEFLOW(Finite Element Sub-surface Flow System) 进行数值研究。模型选择范围为水库辐射取水区向外扩张一定区域,在水平面河道呈现 Y 字分布。垂向上模型分为 7 层,分别为淤泥层、黏质粉砂层、粗砂层、风化砂岩层、以及最下面的基层基岩层。上面三层采用软件内置的 Akima 方法进行线性插值,模型计算区域垂向分层图见图 1。在计算时对渗流边界进行概化,水库覆盖区和取水井分别为 Dilichlet 边界,Neumann 边界,根据实际情况在不同位置设置恒温边界和对流边界,时间离散采用自动时间步长划分,模拟时间为 365 d。网格划分在不同位置设定的疏密程度不同,在取水井、地下廊道等位置的网格进行了适当的加密,划分总网格为 449 756 个、节点数为 273 356 个,网格平面图见图 2,在计算过程中对应的参数设置见表 1。

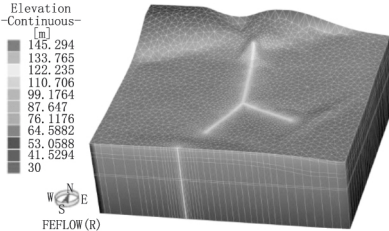


图 1 计算模型垂向分层图

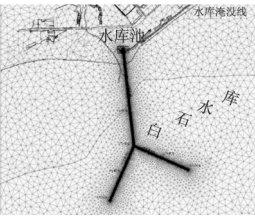


图 2 计算模型垂向分层图

表 1 不同分层参数

分层	渗透系数 m/d	给水度	孔隙度	比热容 kJ/kg·℃	导热系数 W/m℃
淤泥层	0.003	0.05	0.07	2 850	1.63
黏质粉砂层	1.156	0.2	0.37	2 600	1.85
粗砂层	50	0.4	0.35	2 700	1.76
风化砂岩层	4.5	0.08	0.1	2 200	2.35
基岩层	1	0.03	0.05	1 600	2.54

4 结果分析

4.1 渗流场分析

对研究区域进行计算,稳定渗流运行状态下含水层的渗流场计算云图见图 3,廊道层内渗流场见图 4。

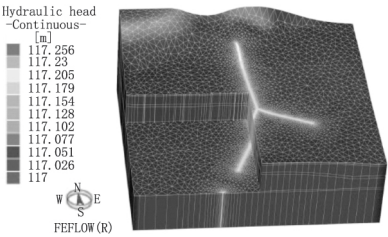


图 3 含水层渗流场三维云图

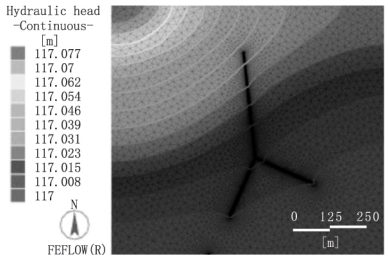


图 4 取水工程廊道层水位分布图

由图 3 可知,地下水位受水源的影响在不同位置水位不同,靠近水源位置水位高程相对较高;随着到水源距离的增加,水位逐渐降低,到某个位置时保持不变,最高水位高程为 117.26 m,最低水位高程为 117 m。取水廊道层内水位分布规律与天然含水层类似。

4.2 温度场分析

对研究区域通过恒温边界和对流边界进行计算,地表温度为 18℃,稳定运行状态下含水层的温度场计算云图见图 5,廊道层内温度场见图 6。

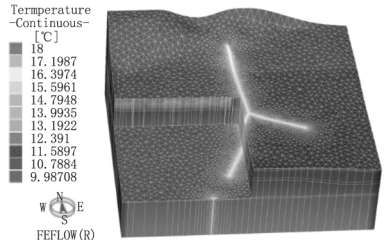


图 5 含水层温度场三维云图

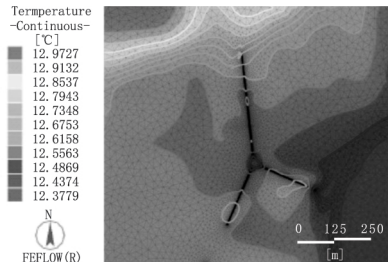


图 6 取水工程廊道层温度分布图

根据图 5 可知,在漫滩区内水温容易受地表大气影响,造成温度较高。随着到水源距离的增加,水温逐渐降低,最终趋于稳定。这是因为随着到水源距离的 (下转第 32 页)

质沉积在矿泉水洼地中,并由生化作用形成。淤泥是粘土和淤泥,富含硅、铝、钾、钠、铁、锰、硫和磷等 10 多种矿物质^[9]。

5.2 计算结果

应用 AHP-SWOT 分析的理论,通过对上述内外因素的整理和分析可知,机会因子的得分为 3.399 9(如图 3 所示),不利因子的得分为 -3.246(B),威胁因子的得分为 -3.006(C),优势因子的得分为 3.398(D),内部因子的加权得分为 0.152(E 点),外部因素加权得分为 0.394 分(F 点)。

从图 3 可以看出,汤岗子地热储区地热产业综合得分的坐标点位于第一象限,表明汤岗子地热储区当前产业发展处于较好的外部条件,有更多的机遇^[10]。以科技促发展,内部能力更加突出,依靠内部优势和资源,可以最大限度地抓住外部发展机遇。整个地热产业的发展处于理想状态。图中四点 A、B、C 和 D 围绕的四边形扩展趋势在右上方(第一象限)。同时行业内外因素的综合得分为正,表明其发展趋势是理想的,属于增长战略,因此,汤岗子自然保护区地热产业应不断克服自身的生存困境,抓住当前有利的发展形势,使较为理想的发展状态趋于最大化^[11]。

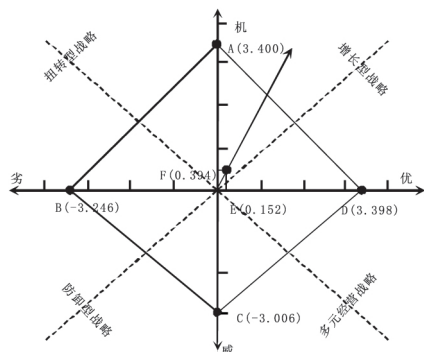


图 3 SWOT 综合分析及战略类型分析

(上接第 21 页)

增加,逐渐达到水库区域,在水库区域内水温的变化受库水的影响较大,而库水温在水面相对较稳定。在垂向上,漫滩区随着高程的降低水温逐渐减低,水库内水温沿着随高程的降低逐渐升高。最高水温接近 18℃、最大水温为 9.99℃。输水廊道内水温随着到水源距离的增加逐渐降低,在河流分叉口出现局部的水温突降;最高水温为 12.97℃、最低水温为 12.38℃。

5 结语

本文采用地下水通用软件 FEFLOW,对 Y 型河道的水流渗流场和温度场进行模拟研究,得出以下结论:

(1)、含水层内随着到水源点距离的增加地下水位逐渐降低,到某一距离后地下水位基本保持不变。

(2)、靠近地表的地下水温随着到水源点距离的增加逐渐降低。在垂向上,含水层内地下水温随着高程的降低逐渐降低;在库水区受库水的影响垂向水温变化规律刚好相反。

参考文献

- [1] 薛禹群,谢春红,李勤奋.承压含水层贮能数学模型研究[J].岩土工程学报.1990.01:23-34.

6 结语

图 3 中由 A、B、C、D 四点围成的四边形扩张趋势是指向右上(第一象限)的,同时产业的内部因素和外部因素综合评分值都为正,表明其发展态势比较理想,属于增长型战略^[11],所以汤岗子保护区的地热产业应该不断克服自身存在的弱点,抓住当前有利的发展形势,使这种较为理想的发展状态趋于最大化。

参考文献

- [1] 贾一英. SWOT 分析法在水利勘测设计单位实施 2015 版 ISO9001 标准中的应用[J]. 水利技术监督. 2016(02).
- [2] 赵明明. 基于 SWOT 分析法的西荒地保护区地热产业评价[J]. 水利技术监督. 2018(01).
- [3] 肖则佑,王进,侯怀敏. 赣南东部地热水特征及成因分析[J]. 东华理工大学学报(自然科学版). 2018(03).
- [4] 王加蓬. 基于 SWOT 分析法的水库移民城镇化安置发展研究——以涇天河水库为例[J]. 水利规划与设计. 2017(07).
- [5] 闫佰忠,邱淑伟,肖长来,等. 长白山玄武岩区地热异常区遥感识别[J]. 吉林大学学报(地球科学版). 2017(06).
- [6] 陈丹,陈菁,陈宛梅,等. 基于 SWOT 分析的灌区专管机构发展战略研究[J]. 节水灌溉. 2008(06).
- [7] 张卫民. 水文地球化学方法在赣南横径地区地热水成因分析中的应用[J]. 水文地质工程地质. 2001(04).
- [8] 王现国,张慧,张娟娟. 开封凹陷区地热水水化学特征及同位素分析[J]. 安全与环境工程. 2012(06).
- [9] 陈文玲,严贤春. 盐城市沿海生态旅游发展 SWOT 分析及对策[J]. 大众科技. 2013(11).
- [10] 刘颖超,刘凯,孙颖,等. 良乡地热田地热水化学特征及同位素分析[J]. 南水北调与水利科技. 2015(05).
- [11] 刘胜,刘云. 关于辽宁汤岗子地热田地质构造分析[J]. 江西建材. 2015(07).
- [2] 许广森,高秀生. 基岩地下热木资源系统管理[J]. 水文地质工程地质. 1995. 22(3): 20-30.
- [3] 周训,陈明佑,吴胜军,等. 天津市深层基岩地下热水系统数值模拟中若干问题的处理[J]. 地球科学. 2002. 2: 163-167.
- [4] 周训,陈明佑,李慈君. 深层地下热水运移的三维数值模拟[M]. 北京:北京地质出版社. 2001.
- [5] 樊秀峰,吴振祥,简文彬. 福州温泉区地下热水开采与水位动态响应研究[J]. 中国地质灾害与防治学报. 2004. 15(4): 82-86.
- [6] 张远东,魏加华,李宇,等. 地下水源热泵才能的水-热耦合数值模拟[J]. 天津大学学报. 2006. 39(8): 907-912.
- [7] 倪龙,马最良. 热弥散对同井回灌地下水源热泵的影响[J]. 建筑热能通风空调. 2005. 24(4): 7-10.
- [8] 张远东,魏加华,王光谦. 区域流场对含水层采能区温度场的影响[J]. 清华大学学报(自然科学版). 2006. 46(9): 1518-1521.
- [9] 雷海燕,朱家玲. 孔隙型地热采灌开发方案的数值模拟研究[J]. 太阳能学报. 2010. 31(12): 1633-1638.
- [10] 程万庆,刘九龙,陈海波. 地热采灌对井回灌温度场的模拟研究[J]. 世界地质. 2011. 3: 486-492.
- [11] 王洋,张可霓,Allan D. W. 等. 加拿大温尼伯 IKEA 场地开环地热系统数值模拟[J]. 可再生能源. 2013. 31(8): 123-128.
- [12] 田光辉. 天津市东丽湖温泉度假旅游区地热资源可持续开发利用研究[D]. 中国地质大学. 2014.