

神木县刘家湾水源地不同取水方式对比分析

徐嘉璐, 陈泉萌, 郭倩, 牟海斌, 王玮
(长安大学 环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 在对研究区的水文地质条件进行分析后, 设计了3种常用开采方案: 廊道、辐射井和渗流井。通过引入等效渗透系数的概念构建3种取水建筑物的“渗流-管流”耦合模型, 从而进行开采量的计算。计算出研究区在廊道、辐射井、渗流井的作用下允许开采量分别1.49、1.9、2.87万 m^3/d 。计算结果表明: 渗流井与相同技术条件下的廊道及辐射井相比, 取水结构的出水量大, 供水保证率高, 并且在建议开采量下含水层的水位降深在允许范围内。最终以取水效率高为目标, 确定神木县刘家湾水源地采用渗流井方式开采地下水, 对研究区合理开发利用地下水具有重要意义。

关键词: 允许开采量; “渗流-管流”耦合模型; 廊道; 辐射井; 渗流井

中图分类号: TV211.12

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)03-0014-04

Contrast analysis of different water ways in Liujiawan water source of Shenmu county

XU Jialu, CHEN Xiaomeng, GUO Qian, MOU Haibin, WANG Wei

(School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Based on a brief introduction of hydrogeological conditions, three well exploiting plans were primarily selected such as gallery, radial well and seepage well. In order to calculate the reasonable exploiting yield, the concept of equivalent permeability coefficient was used to construct the model of coupled seepage and pipe flow. The reasonable exploiting yield of gallery, radial well and seepage well are 149000, 19000 and 287000 cubic meter per day. The simulation results suggested that the water supply of seepage well is higher than that of gallery or radial well and has high guarantee rate in the same technology condition. Seepage well is chosen as the best exploiting plan to get a high water efficiency, which has very important significance for the reasonable exploitation of groundwater in this region.

Key words: allowable yield; coupled model of seepage and pipe flow; gallery; radial well; seepage well

0 引言

水是基础的自然资源和战略性经济资源, 在我国乃至全世界, 水资源问题以及与其相关的水环境问题日益成为制约地区经济发展和社会进步的瓶颈。尤其是在干旱半干旱地区的陕北, 地表水资源相对匮乏, 常常需要开采地下水资源。在对地下水资源进行开采时, 开采方式的选取是一个值得研究的问题。

干旱缺水地区受当地水文地质条件限制, 很多含水层厚度较薄的河谷区常规管井取水量比较小, 不能作为集中水源地来开采。与管井相比, 非管井集水建筑物在地下水开发利用及水环境修复中的应

用日益增多, 并以其高产、高效、低耗、好管理、供水总体成本相对较低等众多优势, 凸现在人们面前, 但非管井集水建筑物成本较高, 需慎重选取。开采方式的选择需要综合考虑多方面的因素, 在符合当地水文地质条件的前提下, 最终选取的开采方式不仅要在经济上合理, 技术上可行, 能够满足地方现在及未来发展对水资源的需求, 还必须避免因过量开采导致的环境问题及次生灾害。

1 研究区水文地质概况

神木县位于陕西省北端, 地处黄河中游, 秦晋蒙三省(区)接壤地带, 矿产资源丰富, 是国家级陕北能源化工基地的核心区域, 21世纪重要能源接续

收稿日期: 2012-12-16; 修回日期: 2013-03-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(40972154)

作者简介: 徐嘉璐(1988-), 女, 黑龙江牡丹江市人, 硕士生, 研究方向: 水文学及水资源。

通讯作者: 王玮(1970-), 男, 江西乐平人, 硕士生导师, 副教授, 从事水资源与环境的教学与科研工作。

地。然而地处干旱半干旱地区的神木县水资源极其匮乏,这不仅严重制约了当地经济的发展,也减缓了西部大开发的脚步。

刘家湾水源地位于神木县东南部的黄河河谷区,地势平坦,冲洪积物颗粒粗,结构松散,孔隙率大,透水性好,地下水主要赋存于砂砾卵石层的孔隙内。含水层平均厚度约为11.1 m,含水层主要为卵砾石层,夹有粗砂层,孔隙率较大,透水性较强,水位埋藏浅,一般为1~2 m。从一级阶地后缘至漫滩前缘,地下水赋存条件逐渐转好。天然条件下,地下水主要补给方式为大气降水入渗补给、农灌区回归补给,排泄方式主要为向地表水的排泄、少量的人工开采以及地下水浅埋区的潜水蒸发蒸腾排泄。未来开采条件下,将激发黄河河水大量渗漏补给地下水,人工开采将成为地下水的主要排泄方式。

2 研究区边界概化

根据以上对研究区水文地质条件的概述,研究区东部边界为黄河,在天然条件下,地下水在接受大气降水入渗补给后向黄河排泄,在未来开采条件下,将激发黄河河水大量渗漏补给地下水,可将黄河概化为第三类河流边界。西部边界为低山丘陵区与黄河河谷区分界线,基岩透水性差,加之地形破碎,可概化为隔水边界。考虑到黄河水面宽广、纵向延伸长,取水工程正常工作时不会影响到黄河上、下游边界,故将各漫滩上、下游边界概化为一类定水头边界。研究区的顶面为潜水面,在该面上发生着降水入渗、潜水蒸发等垂向水交换作用,可概化为潜水面边界。底面为三叠系完整基岩,基岩结构致密,裂隙不发育,构成区域隔水底板^[1-2]。

3 允许开采量计算结果分析

3.1 计算模型简介

结合研究区的水文地质条件,为研究区设计了廊道、辐射井、渗流井3种非管井建筑物的取水方案。根据不同的取水方式,建立相应模型进行允许开采量的计算。

利用非管井集水建筑物取水时,在“井-含水层”系统中一般存在着多种流态。例如渗流井工作时,地下水在含水层介质中的流动一般为层流运动,而在渗流井内的流动一般为紊流运动。陈崇希等通过引入等效渗透系数的概念建立起“渗流-管流”耦合模型^[4],将渗流和管流耦合起来,解决了混合流态的地下水流问题。

3.2 各开采方式下允许开采量计算

3.2.1 廊道开采 廊道的开采量取决于开采条件下激发的河流渗漏补给量大小,因此在黄河岸边选择适当的位置设计廊道开采方式。在模拟区沿黄河平水期水边线布设一条长2 380 m的廊道,廊道横截面宽2 m,高2 m。在廊道下游尾部距黄河水边线20 m处布设一口竖井,竖井井壁衬砌不进水。设计廊道顶面埋深分别为2、3、4、5、6 m,各埋深廊道条件下对应设计竖井降深分别为1~2 m、1~3 m、1~4 m、1~5 m、1~6 m,这样各个勘查地段共设计了不同埋深廊道在不同竖井降深条件下的20种计算方案。采用“渗流-管流耦合模型”对其进行运算。计算结果限于篇幅不详细给出,对其进行如下分析。

计算结果表明,在竖井降深相同的条件下,廊道埋深的大小对廊道出采量的大小影响不大,且随着廊道埋深的减小,廊道计算出水量略有增大。随着竖井降深的增加,廊道计算出水量有显著的增加,但单位竖井降深条件下计算出水量逐渐减小。鉴于此,考虑到本区平均含水层厚度为11.1 m,同时考虑到随着廊道埋深增加其施工难度及施工成本将急剧增加,推荐采用埋深5 m,降深5 m的廊道方案开采研究区的地下水,在该方案作用下,平水期廊道计算出水量为3.1182万 m^3/d ,建议开采量为3.11万 m^3/d 。

考虑到黄河流经模型区的河段在每年6、7月将出现枯水期,届时黄河水位下降、水边线后退,这将对廊道开采造成一定的影响。为此计算了黄河枯水期条件下推荐廊道取水效果,计算结果表明在黄河水位下降、水边线后退条件下,廊道取水量显著下降。在竖井水位不变条件下,廊道计算出水量衰减为1.4965万 m^3/d ,枯水期建议开采量为1.49万 m^3/d 。

3.2.2 辐射井开采 根据前述的计算模型,结合当地的水文地质条件,在研究区布设了12眼(竖井间距200 m)和16眼(竖井间距150 m)辐射井两种方案开采地下水。辐射井竖井直径2 m,距黄河平水期水边线50 m,每眼辐射井设置8根辐射管,其中平行河流的2根辐射管长50 m,垂直河流伸向漫滩方向的辐射管长40 m,其余5根辐射管垂直河流呈扇形伸向河床底部。辐射井取水原理见图1。为准确刻画辐射井复杂的结构,水平上采用5×5 m网格对计算区域进行精细的剖分,垂向上剖分为11层,其中第四系含水层剖分4层,基岩裂隙含水层剖分7层,总活动单元个数为61.6726万个。在剖分网

格的基础上,建立辐射井“渗流-管流”耦合模型进行水量计算。计算结果见表1。

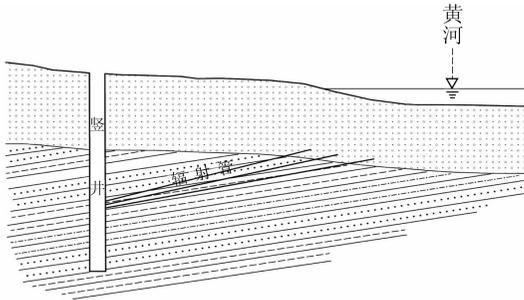


图1 辐射井取水原理示意图

表1 辐射井取水水量计算结果 万 m³/d

计算期	井数	单井作用		群井作用	
		总出水量	建议开采量	总出水量	建议开采量
平水期	12	2.9922	2.9	2.5146	2.5
	16	3.9825	3.9	3.3000	3.3
枯水期	12	1.9102	1.9	1.4547	1.4
	16	2.5983	2.5	1.9026	1.9

对比12眼辐射井方案中单井作用与群井共同作用下的各辐射井取水水量计算结果可知,由于在布设辐射井时考虑了各辐射井间不产生显著影响,各辐射井间相互干扰小,群井作用下辐射井总出水量平水期减少4 776 m³/d,减少了15.9%,群井作用下辐射井总出水量枯水期减少4 555.09 m³/d,减少了23.84%。

对比16眼辐射井方案中单井作用与群井共同作用下的各辐射井取水水量计算结果可知,虽然增加辐射井数量会使得相邻两辐射井之间的距离减小,但在平水期各辐射井间相互干扰却没有显著增加,计算结果表明群井作用下平水期辐射井总出水量减少6 340.44 m³/d,减少了15.92%,枯水期减少6 956.98 m³/d,减少了26.77%。由此可见,增加辐射井数量能显著增加勘察地段辐射井的总出水量,当然考虑到随着辐射井的增加,井与井之间的影响,施工成本均会随之增长,因此不建议设计过多的井。

综合考虑辐射井建设成本、取水点数目、单井出水量、总出水量等因素,建议在辐射井开采方式中采用16眼辐射井方案开采研究区的地下水资源,平水期正常开采量3.3万 m³/d,枯水期开采量1.9万 m³/d。

3.2.3 渗流井开采 根据区内含水层结构、参数等资料,在研究区布设了4眼(竖井间距750 m)和5眼(竖井间距500 m)渗流井两种方案。渗流井设计硐室5个,硐室平面位置位于黄河平水期水边线,硐

室间距70 m,各硐室向斜上方施工辐射孔,单根辐射孔进入第四系含水层长度1~3 m,辐射孔主要布设在黄河河床方向,平巷顺黄河平水期水边线布设,竖井据黄河水边线40 m。渗流井取水原理示意图见图2。为准确刻画渗流井复杂的结构,采用长方体单元对计算区域进行精细的剖分。模型区水平上沿东西方向剖分为364列,沿南北方向剖分为500行,剖分网间距5 m。垂向上剖分为12层,其中第四系含水层剖分为4层,基岩裂隙含水层剖分为8层,总活动单元个数为67.2792万个。在剖分网格的基础上,建立渗流井取水的“渗流-管流”耦合模型^[6-7]进行计算。计算结果见表2。

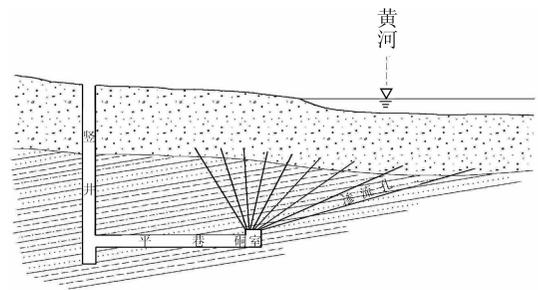


图2 渗流井取水原理示意图

表2 渗流井取水水量计算结果 万 m³/d

计算期	井数	单井作用		群井作用	
		总出水量	建议开采量	总出水量	建议开采量
平水期	4	3.5139	3.51	3.5005	3.48
	5	4.3985	4.37	4.3488	4.33
枯水期	4	2.4505	2.43	2.4220	2.41
	5	2.9878	2.95	2.8921	2.87

对比4眼渗流井方案中单井作用与群井共同作用下的各渗流井取水水量计算结果可知,由于在布设渗流井时考虑了各渗流井间不产生显著影响,各渗流井间相互干扰小,群井作用下各渗流井出水量平水期衰减量仅为133.39 m³/d,仅仅衰减了0.3%,群井作用下各渗流井出水量枯水期衰减量为285.4 m³/d,仅仅衰减了1.2%。

对比5眼渗流井方案中单井作用与群井共同作用下的各渗流井取水水量计算结果可知,虽然增加一个渗流井会使得相邻两渗流井之间的距离减小,但各渗流井间相互干扰却没有显著增加,计算结果表明群井作用下各渗流井出水量平水期衰减量为497.13 m³/d,仅仅衰减了1.13%,群井作用下各渗流井出水量枯水期衰减量为956.76 m³/d,仅仅衰减了3.2%。

对比黄河平水期与枯水期渗流井取水水量计算结

果可知,虽然当枯水期黄河水边线后退时,各渗流井设计辐射孔多位于黄河之下,但由于黄河水边线后退时也伴随着水位下降,这必将导致黄河水渗漏补给时的水力坡度变小,进而使得各渗流井出水量显著减小。

综合考虑渗流井建设成本、取水点数目、单井出水量、总出水量等因素,建议在渗流井开采方式中采用5眼渗流井方案开采区内地下水资源,平水期正常开采量 $4.33 \text{万 m}^3/\text{d}$,枯水期开采量 $2.87 \text{万 m}^3/\text{d}$ 。

4 开采方案的选取

廊道开采方式中在推荐方案下平水期可开采地下水总量为 $3.11 \text{万 m}^3/\text{d}$,枯水期的总开采量为 $1.49 \text{万 m}^3/\text{d}$ 。枯水季节黄河水边线后退时,总开采量减少了52%,达到了一半以上,衰减十分剧烈。

辐射井开采方式中在推荐方案下平水期可开采地下水总量为 $3.3 \text{万 m}^3/\text{d}$,枯水期开采量 $1.9 \text{万 m}^3/\text{d}$ 。枯水季节黄河水边线后退时,总开采量减少了43.2%,衰减相当大。

渗流井开采方式中在推荐方案下平水期可开采地下水总量为 $4.33 \text{万 m}^3/\text{d}$,枯水期开采量 $2.87 \text{万 m}^3/\text{d}$ 。枯水季节黄河水边线后退时,总开采量减少了33.5%,衰减量相对较小。

对比渗流井和廊道两种取水方式,在布井范围相当条件下,渗流井比廊道的取水效果要好,因渗流井辐射孔深入黄河河床之下,对黄河地表水的激发效果要好,在枯水期黄河水边线后退条件下,这种优势更为明显,取水量衰退较小。

对比辐射井和渗流井两种相近的取水方式,从取水量及枯水期黄河水边线后退条件下的减少量方面考虑,渗流井激发黄河水渗漏补给的范围比辐射井大,渗流井比辐射井的取水效果要好,且辐射井取水点多而分散,不易管理。为此建议采用渗流井方式开采区内地下水,5眼渗流井平水期正常取水量 $4.33 \text{万 m}^3/\text{d}$,枯水期正常取水量 $2.87 \text{万 m}^3/\text{d}$ 。

根据黄河水文站流量长观资料,黄河流经区内

多年平均流量为 $951.87 \text{m}^3/\text{s}$,最枯流量 $24.3 \text{m}^3/\text{s}$,远大于推荐开采方案下的河流渗漏补给量,且黄河与地下水水力联系较为密切,计算过程中也考虑了枯水季节黄河水边线后退对渗流井取水量的影响。同时计算研究区地下水容积储存量为 203.32万 m^3 ,单位储存量为 $18.32 \times \text{万 m}^3$,仅地下水位下降1m,所释放出的水量可维持该地段 $2.87 \text{万 m}^3/\text{d}$ 的渗流井枯水季节开采量6d左右,所以区内平水期条件下开采量、枯水季节黄河水边线后退条件下开采量是有补给保证的。如果在此基础上,配以一定的蓄水工程设施,将渗流井所获取的河流渗漏补给量储存在蓄水工程内,这样可以通过以丰补欠、调节平衡的方式增大区内可供利用的水资源总量。

5 结语

通过对研究区水文地质条件的分析,设计了3种开采方式,并计算了各开采方式开采地下水的总量,通过对比3种开采方式的取水效果,最终确定在刘家湾水源地采用5眼渗流井开采地下水,允许开采量为 2.87万 m^3 。

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.
- [2] 郭东屏,张石峰. 渗流理论基础[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1994.
- [3] 李俊亭. 地下水流数值模拟[M]. 北京:地质出版社,1989:56-63.
- [4] 陈崇希,万军伟,詹红兵,等. “渗流-管流耦合模型”的物理模拟及其数值模拟[J]. 水文地质工程地质,2004,31(1):1-8.
- [5] 陈崇希,胡立堂. 渗流-管流耦合模型及其应用综述[J]. 水文地质工程地质,2008,35(3):70-75.
- [6] 王玮,畅俊斌,王俊杰. 渗流井取水方式地下水允许开采量计算[J]. 水文地质工程地质,2009,36(1):35-43.
- [7] 王玮. 渗流井取水计算模型及其应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2010.