

王河地下水库地下水动态分析及预报

张志阔¹, 刘本华¹, 廖若芙²

(1. 山东省水利勘测设计院, 山东 济南 250013; 2. 济南市建筑设计研究院, 山东 济南 250001)

摘要:为论证修建王河地下水库的可行性,对库区进行水文地质模型概化,建立数学模型,并对计算区进行三角剖分和参数分区,确定计算区补给量和开采量.利用有限单元法对模型进行模拟与验证,在确保模型合理可靠的基础上,对库区4个方案的地下水流动场动态进行分析及预报,并进一步对地下水库的调蓄能力进行分析论证.建议增加地面人工回灌等入渗措施,加大枯水季地下水开采量,合理调整开采井布局,最大限度地发挥地下水库的调节作用,使有限的水资源得到充分的利用.

关键词:地下水库;数学模型;流场分析;地下水补给量;地下水开采量

中图分类号:TV62+3

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2004)03-0047-04

莱州市地处胶东半岛的西北部边缘,构造上位于沂沭断裂带东侧,隶属于新华夏系第二隆起带,受后期沉积及剥蚀的影响,形成了低山、丘陵及冲洪积平原的地貌特征.

受地形、地貌及区域地质影响,莱州地下水类型为第四系孔隙潜水及基岩裂隙水,孔隙潜水广泛分布于滨海平原、山前冲洪积平原及王河故道中.区域地下水流向为北西方向,由于受不均匀开采的影响,局部地下水流发生了变化.基岩裂隙水主要分布于单山—街西—前邓—埠上—迟家—埠南尹家—桑家—战家—淳于—三山岛—仓上的太古—元古界胶东群民山组变质岩和燕山晚期花岗岩的风化裂隙及构造裂隙中,受构造影响,透水性变化大,单井涌水量小于 $100\text{ m}^3/\text{d}$.地下水补给以大气降水、王河地表水入渗、海水入侵倒灌为主,主要排泄方式为人工开采、径流入海.

由于莱州市地下水开发利用长期缺乏统一规划及有效管理,导致平原区地下水严重超采,造成海水大面积入侵,致使工农业生产受到制约,人民生活及人身健康受到影响.在这种条件下由日本 OECF 投资在莱州市的过西、西由、平里店三镇修建王河地下水库,以缓解地下水环境恶化问题^[1].

1 水文地质模型的概化

王河地下水库东倚山前岗地,西与渤海平原相接,东西宽 $5\sim 9\text{ km}$,东南—西北为呈带状展布的冲洪积平原,其储水条件受地形、地貌和水文地质条件的控制.

东部边界:北起街西村基岩裸露处,向东至桑家村南,为太古—元古界胶东群民山组变质岩及燕山晚期侵入岩组成,透水性差,可视为二类隔水边界.

西北部边界:南起仓上村南,北至仓上村北防护林,属仓上残丘,由燕山晚期花岗闪长岩组成,全风化,透水性 4.38 Lu ,属微透水层,视为相对隔水边界.

北部边界:东起街西村,西至仓上残丘,第四系松散层厚 $8.4\sim 30.6\text{ m}$,主要岩性为砾质粗砂、微含土砾质粗砂,渗透系数 $10.9\sim 58.4\text{ m/d}$,为二类透水边界;地下挡水坝建成后,视为二类隔水边界.

西部边界:北起仓上残丘,南至龙王河,为冲洪积平原与滨海平原交互带,第四系松散层厚 $6.7\sim 38.2\text{ m}$,为砾质粗砂、微含土砾质粗砂,渗透系数 $32.4\sim 38.4\text{ m/d}$,属强透水层,为二类透水边界;地下挡水坝建成后,视为二类隔水边界.

南部边界:东起曲家村北,西至武家村西南,第四系松散层厚 $12.3\sim 34.3\text{ m}$,主要岩性为微含土砾质粗砂,渗透系数 $16.9\sim 96.6\text{ m/d}$,属较强—强透水层,为二类透水边界.

东南边界:始于曲家村北,垂直王河东西至桑家村南,第四系松散层厚 $6.3\sim 13.4\text{ m}$,主要透水岩性为河床砾质粗砂及微含土砾质粗砂,为二类透水边界.

库区基底由太古—元古界胶东群变质岩及燕山晚期侵入岩组成,岩石易风化呈土状,属微透水层,视为相对隔水底板.

地下水库含水层岩性为砾质粗砂、微含土砾质粗砂、中细砂及砂壤土.

由多年等水位线图及长期观测孔资料分析,地下水具有统一的自由水面,显示出地下水的潜水特征,故而计算中统一概化为非均质各向同性平面二维潜水模型。

库区地下水补给主要为大气降水、地表径流入渗补给,四周透水边界统一概化为第二类边界,以侧向补给强度形式参加计算。

2 数学模型的建立

通过对库区地形、地貌、水文地质条件及库区边界条件的分析,在水文地质模型的基础上,建立数学模型^[2]:

$$\left. \begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[K(H-B) \frac{\partial H}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(H-B) \frac{\partial H}{\partial y} \right] + \omega = \mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (x, y) \in \bar{G}, t > 0 \\ & H(x, y, t) \Big|_{t=0} = H_0(x, y) \quad (x, y) \in \bar{G} \\ & H(x, y, t) \Big|_{\Gamma_1} = H_1(x, y, t) \quad (x, y) \in \Gamma_1, t > 0 \\ & \left[K(H-B) \frac{\partial H}{\partial x} \cos(\eta, x) + K(H-B) \frac{\partial H}{\partial y} \cos(\eta, y) \right] \Big|_{\Gamma_2} = -q(x, y, t) \quad (x, y) \in \Gamma_2, t > 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: K 为渗透系数, m/d ; μ 为给水度; $B(x, y)$ 为潜水含水层底板高程, m ; $H_0(x, y)$ 为区域 $\bar{G}$ 内的初始水位, m ; η 为法向量, 规定内法线方向为正, 外法线方向为负; Γ_1, Γ_2 分别为第一类边界和第二类边界; $\bar{G}$ 为库区的计算区域。

$$\left. \begin{aligned} & \omega = \epsilon(x, y, t) - \sum_{i=1}^n Q_i \delta(x - x_i, y - y_i) \\ & \epsilon = \epsilon_1 - \epsilon_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中: ϵ_1 为地表水入渗补给强度(包括降水入渗强度, 渗沟、渗渠、机渗井及河流入渗补给强度), m^3/d ; ϵ_2 为开采强度, m^3/d ; Q_i 为潜水含水层开采井的开采量, m^3/d ; δ 为 Delt 函数。

3 计算区的剖分及参数分区

计算区面积为 66.54 km^2 , 根据地下水流场特征进行三角剖分。共剖分出 138 个三角单元, 90 个节点, 其中第一类边界点 1 个, 第二类边界点 89 个。

据库区水文地质调查, 在水文地质分区的基础上, 充分分析野外抽水试验成果及地下水等水位线图, 将库区 K, μ 值划分成 12 个区, 分别给出其参数初值。

4 计算区补给量和开采量的确定

a. 降雨量及入渗系数。大气降水采用莱州市和

东方红盐场 2 个气象站的观测资料, 由于计算区域较大, 降雨入渗系数根据岩性分成 3 个区: 砂采用 0.25, 砂壤土采用 0.17, 壤土采用 0.13。

b. 河川径流入渗量。王河属于季节性河流, 由东南向西北穿越库区中部流入渤海, 其入库量由上游水文站多年实际观测资料确定, 入渗量均以垂直补给强度的方式参加计算。

c. 侧向补给量。地下水流场的总的运移方向大致与地形相一致, 但由于库区大量开采地下水, 使得地下水流场发生了改变, 由水位等值线图分析, 除东部及西北大部边界为相对隔水边界外, 其余均为透水边界, 基本均流入库区, 根据地下水流场的水力坡度确定侧向补给强度。

d. 开采量的确定。根据莱州市提供的有关资料, 确定现状开采量大体为 $1952.75 \text{ 万 m}^3/a$; 院上新建水源地和尹家新建水源地的开采量均为 $1.152 \sim 1.536 \text{ 万 m}^3/d$ 。

5 数学模型的拟合与验证

为验证模型的合理性, 选择 1990 年 6 月 1 日至 9 月 15 日共 107 d 的实测地下水位作为数学模型的拟合时段数据, 根据地下水位观测资料, 时间步长选为半月, 最后分为 8 个时段进行计算; 选择 1990 年 9 月 15 日至 1991 年 6 月 1 日计 258 d 的实测地下水位作为模型的验证时段数据。

以 1990 年 6 月 1 日统测水位作为模型拟合的初始水位, 采用 1990 年 9 月 15 日的观测水位、计算水位误差的平方和作为目标函数, 应用试估-校正法确定参数 K 及 μ 值(表 1)。

模拟确定的参数及空间分布与水文地质条件基本吻合。

表 1 计算区分区参数

分区	分布面积 /km ²	参数	
		$K/(m \cdot d^{-1})$	μ
I	5.13	20.0	0.0540
II	22.72	45.0	0.1340
III	7.71	71.9	0.0531
IV	2.91	27.0	0.1789
V	4.36	25.0	0.1480
VI	2.67	55.0	0.1080
VII	3.08	75.0	0.1126
VIII	5.54	60.0	0.0003
IX	4.42	35.0	0.0155
X	0.30	30.6	0.1274
XI	3.52	40.6	0.1186
XII	4.19	89.7	0.1600

为进一步考核模型的可靠性, 将解逆问题求得的参数和相应的数学模型用来模拟另一个已知时期, 即 1990 年 9 月 15 日至 1991 年 6 月 1 日的水位,

所得结果基本一致,证明模型是合理的,计算结果是可靠的(表 2)。

6 库区地下水的流场动态分析及预报

在拟合、验证的基础上,针对建库后的一定开采量,根据近 31 年的降水资料,对地下水流场的动态变化作出预报^[3]。

6.1 计算原则

a. 以 1991 年 6 月 1 日的水位为调算初始水位,利用 1960 年 6 月至 1991 年 6 月的系列降雨资料,系列代表年限为 31 年。

b. 在保证现状开采量的基础上,增加地表入渗的情况进行预报。

c. 院上、尹家附近新建水源地的地下水位控制埋深分别为 -8.0 m, -10.5 m。

d. 满足“以补定采、以丰补欠、多年均衡”的原则。

6.2 库区多年调节计算

本次计算分 4 个方案进行,计算成果见表 3。

方案 1:地下水库建成后,在没有回灌措施条件下,以现状开采量 5.415 万 m³/d 时,31 年后的地下水流场变化及均衡情况。

方案 2:地下水库建成后,在回灌条件下,以现状开采量 5.415 万 m³/d,新建院上水源地开采量为 1.536 万 m³/d 时,31 年后地下水位预报及总均衡情况。

方案 3:在方案 2 的基础上,新增尹家水源地开采量 1.500 万 m³/d 时,31 年后的地下水动态及总均衡情况。

方案 4:建库后有回灌情况下,按现状开采量 5.415 万 m³/d,31 年后的地下水流场变化及均衡情况。

计算结果表明:方案 1 建库后在没有回灌的情况下,现状开采量为 5.415 万 m³/d 时,其 31 年的总均衡为 -8400 m³/d,表明地下水的补给不能满足现状开采,开采量大于补给量,地下水位将持续下降,地下水均衡将遭受严重破坏;方案 2 在地下水库建成后,在增加人工渗渠、渗沟及机渗井等回灌措施条件下,能够满足现状开采量 5.415 万 m³/d 和院上水源地 1.536 万 m³/d 的开采量,院上水位控制深度为 -8.00 m,31 年的水均衡为 1.219 万 m³/d,为正均

衡,表明补给量大于开采量,在满足开采的同时,又能使地下水位有所回升;方案 3 在现状开采量为 5.415 万 m³/d,同时满足院上及尹家水源地各开采 1.536 万 m³/d 及 1.500 万 m³/d 时,其 31 年后的总均衡为 110 m³/d,表明补给量与开采量大体持平,旱季开采的地下水量在丰水季能够补回,31 年后地下水的开采与补给基本均衡;方案 4 在建库后有回灌的情况下,按现状开采量 5.415 万 m³/d 时,31 年的总均衡为 2.463 万 m³/d,为正均衡,表明补给量大于开采量。

表 3 各方案系列调节计算成果 万 m³/d

方案	开采量			弃水量	回灌量	总均衡量
	现状	院上	尹家			
方案 1	5.415			7.435		-0.840
方案 2	5.415	1.536		3.206	3.733	1.219
方案 3	5.415	1.536	1.500	3.206	3.733	0.011
方案 4	5.415			4.206	3.733	2.463

6.3 地下水流场动态分析及预报

6.3.1 预报 31 年后库区地下水位状况

31 年后,方案 1 情况下,库区地下水位出现大面积负值漏斗区,开采量大于补给量,地下水位持续下降;方案 4 情况下,通过回灌工程补给地下水,库区无负值漏斗区;方案 2 情况下,通过回灌工程补给地下水,即使增加院上水源地 1.536 万 m³/d 的开采量,库区亦无负值漏斗区;方案 3 情况下,通过回灌工程补给地下水,在满足院上及尹家水源地各开采 1.536 万 m³/d 及 1.500 万 m³/d 情况下,库区部分地区出现负值漏斗区,地下水降深在允许范围内。

6.3.2 库区典型点地下水位历时状况

在计算中,选取 4 个典型点,以观察地下水位动态变化情况。4 个典型点分别位于尹家水源西侧、院上水源地东侧、后邓交通桥西侧和后吕西北侧(漏斗区)。通过地下水回灌工程措施,在建库后新增院上、尹家水源地开采的情况下,库区地下水位的变化同建库前发生了较大变化,原地下水为 2 负值漏斗区的后吕、腰王一带将很少再现地下水负值漏斗,而院上、尹家水源地一带由于地下水开采井的因素,会出现地下水负值漏斗区。

7 地下水库调蓄能力分析

水库调蓄能力即是水资源在时间及空间上再分配的能力。系列调算的过程即是在空间上充分利用

表 2 拟合验证阶段水均衡量 万 m³

均衡时段	降雨入渗量	河川径流入渗量	侧向补给量	开采量	各时段均衡量	总时段均衡量
1990 年 6 月 1 日 ~ 9 月 15 日	707.484	498.727	238.182	473.368	1002.483	496.297
1990 年 9 月 15 日 ~ 1991 年 6 月 1 日	172.931	276.421	571.857	1503.366	-506.186	

地下水库库容,在时间上充分调节丰、枯水期水资源量,在达到“以补定采、以丰补欠、多年均衡”和实现供水保证率的条件下,最大限度地利用地下水资源,进而提高水资源利用率.由上述计算分析可知,影响地下水水库调蓄能力的因素主要有2个:

a. 地下水水库调蓄能力与地表水,特别是人工入渗补给、机渗井的补给有关.建库后,在没有人工渗沟、渗渠及机渗井的条件下,系列调算时间内,王河地下水水库调节库容为2903.90万 m^3 ,地下库容利用率较低,不能充分发挥地下水水库的调节功能.故而没有人工补给条件下,地下水水库调蓄能力差,均衡开采量低.建库后,在增加人工回灌等入渗措施的条件下,增加了地表水向地下水的转化,同时院上、西由拦河闸及橡胶坝的建成,延长了地表水向地下水的转化时间,增加了入渗量,减少了地表弃水,使地下水水库的调节库容达到3323.90万 m^3 ,比方案1增加了14.5%.正是由于地下水水库库容的利用率的提高,才使院上、尹家水源地的开采成为可能,同时为了最大限度地利用地下库容,在实际运用中应在注意两水源地水位控制埋深的前提下,枯水季加大开采量,腾出地下库容,以便为丰水季的补给提供条件,充分利用地下水水库的调节库容.

(上接第32页)

准确率为97.77%,提取速率为16.4个/s.误差产生的原因主要是有的高程点靠得很近,缓冲区内同时包含多个高程数据,导致提取失败.解决的方法是适当减小字高,缩小缓冲区.

此产值在海螺水泥码头工程水域数模计算和南通狼山港三期工程防洪影响评价等项目中也得到了成功的应用.

3 结 语

通过对AutoCAD地图高程数据研究可知,从可转换为MapInfo格式的AutoCAD地形图中提取高程点数据,通过MapBasic编程,建立自动采集模型,是一种有效的方法,在提取高程数据上具有准确、快捷和实用的特点.用该方法提取的高程数据不但可以用于河道水力数值模拟计算,还可以用于建立数字高程模型(DEM).

参考文献:

- [1] 高云琼,徐建刚,黄照强,等.一种城市三维建模的集成处理方法[J].中国图像图形学报,2002,7A(3):282~

b. 地下水水库库区开采井的布局对发挥地下水水库的调节作用有一定影响.库区开采井比较集中的地方主要有院上、尹家水源地及后吕、光明、徐家附近.由于持续不断的开采,地下水位下降幅度较大,动用了地下水水库的静储量,在丰水期亦不能恢复过来,破坏了地下水资源的再生能力,而在非集中开采区,水位下降幅度较小,又不能充分利用地下水水库的调蓄库容.这一方面破坏了地下水资源,另一方面又不能充分发挥地下水水库的调蓄库容.为改变这种不合理的开采布局,要在实际运行中加强水资源的综合管理,合理调整开采井的布局,最大限度地发挥地下水水库的调节作用,使有限的水资源得到最大限度的利用.

参考文献:

- [1] 张志阔.王河下游海水入侵及治理[J].长春科技大学学报,1999,29(7):24~27.
[2] 李俊亭.地下水流数值模拟[M].北京:地质出版社,1989.66~69.
[3] 林学钰,侯印伟,邹立芝,等.地下水水量水质模拟及管理程序集[M].长春:吉林科学技术出版社,1988.27~57.

(收稿日期:2003-09-25 编辑:傅伟群)

286.

- [2] 周爱华.电子矿图制作过程中AutoCAD与MapInfo的数据转换[J].矿山测量,2002(1):44~45.
[3] 王晓武,陈宗敏,杜兴国.MapBasic程序设计[M].北京:电子工业出版社,2000.

(收稿日期:2003-03-11 编辑:张志琴)

(上接第41页)

e. 混凝土模板尽量采用钢木混合模板,以克服木材用量过大的弊端.

f. 张拉孔道的成孔,在孔间混凝土间距小于或等于70mm时,宜采用波纹管成孔,以避免橡胶抽拔管成孔时混凝土塌孔或拉裂、孔间通道等,保证工程质量.

g. 钢管支架在受力层采用双扣件加固的办法,可以满足重要结构在支架上施工时安全、稳定和变形微小的要求.

h. 两榀桁架拱作为整体进行张拉时,要配备足够数量(最少要有25%的备用设备)的经校验合格的张拉机具,同时对称张拉,以减少分级张拉的次数和克服频繁移动千斤顶的弊端.

(收稿日期:2003-09-25 编辑:张志琴)