

基于 river 边界条件的平原型水库数值模拟

潘俊,杨鑫,王丽娟,李虹雪

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 为了掌握石佛寺水库蓄水后对库区周边地下水的浸没影响,应用数值模拟方法进行了设计蓄水高度下库区周边地下水位变化趋势的预测,采用 Visual MODFLOW 软件特有的 river 边界模拟了水库蓄水后地表水体对地下水位的影响。通过水库建成后蓄水试验实测的地下水位与利用建立的数值模型所预测的地下水位值进行对比分析,可以看出利用 Visual MODFLOW 软件的 river 边界处理平原型水库地表水对地下水的影响是可行的。

关键词 平原型水库;Visual MODFLOW 数值模拟;river 边界
中图分类号 TV697 X523 **文献标识码** A **文章编号** 1006-7647(2011)S1-0017-03

石佛寺水库是辽宁省境内辽河干流上唯一的一座控制性枢纽工程,属于平原型水库。水库原设计为滞洪型,后考虑水库的综合效益,将其运行方式调整为蓄水滞洪型。该水库蓄水后势必造成库区周边地下水浸没和产生土壤次生盐渍化等问题,将会影响当地农业生产和村民生活,为此在水库建设期间曾利用数值模拟方法对水库蓄水的浸没影响程度以及控制方案进行过研究^[1-3],提出水库蓄水高度 46.5 m,在库区内修建深浅组合井群抽水消除浸没并同时向沈阳市供水的方案。模拟采用 Visual MODFLOW 软件,并应用其特有的 river 边界模拟了水库蓄水后地表水体对地下水流的影响。利用 river 边界处理河流问题的研究较多^[4-6],而用 river 边界处理平原型水库或湖泊问题的少见报道。本文通过水库建成后 2009 年 5—9 月蓄水试验的实测地下水位与利用所建数值模型预测的地下水位值进行对比,证明利用 Visual MODFLOW 软件的 river 边界处理平原型水库地表水对地下水的影响是可行的。

1 水文地质概念模型

1.1 含水层特征

模拟区含水层岩性为第四系冲洪积中粗砂、砾砂,辽河左岸含水层厚度为 40 m 左右,右岸含水层厚度为 15 ~ 27 m,根据现场抽水试验计算含水层的渗透系数 $K = 50 \sim 70 \text{ m/d}$,地下水埋深为 3 ~ 5 m。

根据区域水文地质条件,本次将计算区域内的含水层视为非均质各向同性潜水含水层,将第三系砂砾岩视为含水层底板。地下水流概化为非稳定平面二维流。

库区地貌属于辽河高低漫滩区,地面高程为 44.5 ~ 47.5 m。表层岩性为粉质砂土,厚度为 2 ~ 3 m。水库蓄水后粉质砂土作为库底成为一个分离地表水体和地下水的渗流层,通过野外渗水试验获取该层垂向渗透系数 $K_z = 1.182 \text{ m/d}$ 。

1.2 边界条件

模拟区如图 1 所示,北部边界为北甸子—陈平

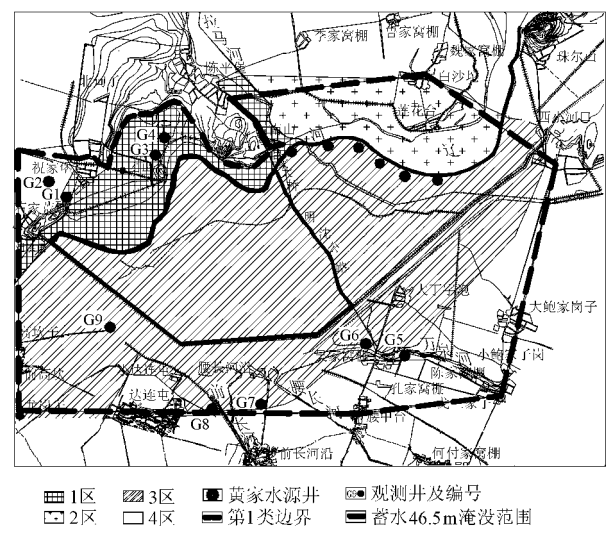


图 1 参数分区与蓄水试验观测井分布

堡—白沙坨子,南部边界为龙岗子—腰中台—戈三家子,东侧边界为白沙坨子—西小河—戈三家子,西侧边界为龙岗子—石家荒地。上述边界均概化为第1类变水头边界^[3],面积为89.72 km²。

1.3 源汇项处理

降雨入渗补给 降雨入渗补给量主要反映降雨对地下水的补给量,由降雨量乘以降雨入渗补给系数确定。

灌溉入渗补给 将农业井灌开采量和渠灌引水量乘以井灌、渠灌入渗补给系数确定。

辽河渗漏补给 本次将辽河分库区上游和库区2段计算,上游河水位采用水面坡降插值确定,库区河水位按水库蓄水高度确定;其他河流入渗补给量参照同类方法确定。

水库渗漏补给 整个水库蓄水淹没范围剖分成719个river边界的网格单元。

地下水人工开采 模拟区内现有市政黄家水源生产井深浅组合井6组,计12眼井,计算时按正常运行5组井,单井开采量为4500 m³/d,合计黄家水源开采量为4.5万 m³/d;其他分散的开采井开采量概化成各单元的开采强度予以考虑。

潜水蒸发 潜水蒸发量按蒸发强度分配到各计算单元,极限蒸发深度根据辽宁省环境地质总站沈阳均衡试验场测定的4.0 m来考虑。

1.4 参数及分区

模型参数分为4个区域(见图1),参数取值如下:区域1,2,3,4的渗透系数分别为45m/d,50m/d,60m/d,50m/d,给水度分别为0.18,0.18,0.25,0.18。

2 平原型水库特性及其对地下水的影响

2.1 平原型水库特点

平原水库分河道型和围坝型2种类型,河道型平原水库是对原宽阔的行洪断面疏浚挖深或对原堤防加高增厚,新增拦河闸坝修建而成;围坝型平原水库则通过新建闸坝围成宽阔库区形成。辽河石佛寺水库属于围坝型平原水库。石佛寺水库设计为蓄水滞洪型,其与河流一样属于径流型,又具有水浅、水域面积大、回水较长、坝高低等特点。

2.2 平原型水库地表水与地下水之间的水力联系

平原型水库与河流具有类似的属性,库底同河床一样下面有1层弱透水层,地表水对地下水补给通过该层进行交换。通常情况下地表水与地下水的水量交换关系为^[7] $Q = C(H_r - H_b)$ 。

2.3 Visual MODFLOW 的 river 边界

Visual MODFLOW 的 river 边界通过一个分离地表水体和地下水的渗流层来模拟地表水体与地下水

的相互作用,river边界的每个网格单元需要的数据有河流水位、河床底板、河床厚度、水力传导系数。

将库区原表层粉质砂土作为水库蓄水后一个分离地表水体和地下水的渗流层。整个库区淹没范围剖分成719个river边界的网格单元。模拟按照水库蓄水高度46.5 m作为河流水位,库区原表层粉质砂土(即蓄水后的库底渗流层)层底标高作为河床底板,原表层粉质砂土(渗流层)的厚度作为河床厚度,库区原表层粉质砂土层的 K_z 通过野外渗水试验获取。

3 模拟结果与实测水位对比分析

3.1 蓄水试验

为了验证模拟模型的准确性和可靠性,2009年5月1日至9月4日进行了水库蓄水试验,蓄水高度为46.5 m,库区淹没范围为18.7 km²。为掌握水库蓄水后周边地下水位变化情况,在库区外布设3个地下水位观测断面,共计9个水位自动观测井G1~G9,其中G1~G4在右岸,G5~G9在左岸,观测井分布如图1所示。

3.2 蓄水试验实测水位

本文选取蓄水试验后第31天(6月1日)、第61天(7月2日)、第92天(8月4日)、第123天(9月4日)的实测水位数据,见表1。

3.3 模拟预测水位与实测水位的对比分析

为了便于对比实测水位与模拟预测水位的偏差情况,将原数值模型(限于篇幅在此省略数值模型的建立)预测蓄水46.5 m后,2009年6月1日、7月2日、8月4日、9月4日的预测水位也一并列入表1。通过表1可以看出:①蓄水试验中实际观测值普遍高于原模型预测值。左坝各位置偏差较右坝大,在库区右坝两者最大相差1.98 m,在左坝下游G9处两者最大相差1.42 m,在左坝靠近边界G7和G8处两者最大相差3.22 m。②通过上述4个时段实测水位资料分析,同一个时段内库区左岸水位升高幅度大于右岸水位的升高幅度。整个蓄水期比较库区左岸平均水位升高幅度为1.09 m,比右岸平均地下水位升高0.78 m。其中左岸库外地下水位变化规律为靠近库区下游平均升高幅度为0.42 m,靠近库区中游平均升高幅度为0.97 m。③分析实测水位资料可以看出水库蓄水后对周边地区均造成浸没影响,其中右岸陈平堡及祝家地段为影响较重区,左岸吴家窝棚以下地段为影响较重区,吴家窝棚以上地段的浸没影响较小。实测与原预测结果呈现的规律基本一致。

3.4 误差原因及其调整结果

对造成误差的原因分析,首先对原模型进行了

表 1 G1 ~ G9 观测井的水位实测值与模型预测值对比

m

时间	G1(高程 45.18 m)		G2(高程 43.86 m)		G3(高程 45.82 m)		G4(高程 44.85 m)	
	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值
2009-06-01	44.68	42.7	43.93	43.0	44.37	44.2	44.13	43.9
2009-07-02	44.62	42.9	43.99	43.2	45.10	44.2	44.51	43.9
2009-08-04	44.66	43.1	43.97	43.3	45.10	44.2	44.66	44.0
2009-09-04	44.71	43.2	44.01	43.4	44.87	44.2	44.77	44.0

时间	G5(高程 47.26 m)		G6(高程 45.58 m)		G7(高程 44.72 m)		G8(高程 44.47 m)		G9(高程 42.2 m)	
	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值
2009-06-01	43.01	43.9	43.88	43.8	43.5	41.8	42.92	41.4	42.23	41.2
2009-07-02	44.41	43.7	44.92	43.5	44.04	41.6	43.30	41.3	42.72	41.3
2009-08-04	44.60	43.6	45.31	43.3	44.35	41.5	43.40	41.2	42.68	41.3
2009-09-04	45.13	43.5	45.35	43.1	44.62	41.4	43.24	41.1	42.65	41.3

表 2 G1 ~ G9 观测井的水位观测值与调整后模型预测值对比

m

时间	G1		G2		G3		G4	
	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值
2009-06-01	44.68	44.6	43.93	44.0	44.37	44.7	44.13	44.4
2009-07-02	44.62	44.8	43.99	44.2	45.10	44.8	44.51	44.5
2009-08-04	44.66	45.0	43.97	44.2	45.10	44.9	44.66	44.5
2009-09-04	44.71	45.0	44.01	44.3	44.87	44.9	44.77	44.5

时间	G5		G6		G7		G8		G9	
	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值	实测值	预测值
2009-06-01	43.01	43.0	43.88	44.0	43.50	43.3	42.92	43.1	42.23	42.3
2009-07-02	44.41	44.1	44.92	44.5	44.04	44.0	43.30	43.6	42.72	42.3
2009-08-04	44.60	44.6	45.31	44.9	44.35	44.1	43.40	43.6	42.68	42.2
2009-09-04	45.13	44.9	45.35	45.1	44.62	44.7	43.24	43.6	42.65	42.2

调参,结果表明将原计算含水层渗透系数 K 以及粉质砂土层垂向渗透系数 K_v 增加 3 ~ 4 倍后,预测水位与实测水位拟合仍然不好。其次对边界条件进行分析,发现由于利用原模型预测到 2009 年 5 月 1 日的水位低于该时刻的实测地下水位,因此用该时刻的预测水位作为初始水位进行迭代计算,造成后面时段的计算结果偏低;同时由于原模型给定的同期边界水位也比实际小,造成蓄水期预测地下水位比实际观测值偏低。

根据上述分析,本次利用原模型以 2009 年 5 月 1 日的实测水位调整为模型预测的初始水位,边界水位按库区外不同时段观测井(孔)实测水位进行了调整,通过模型所预测的水位与实际观测值拟合较好。调整后的模型预测值与实测值列于表 2。

4 结 语

通常情况下应用 Visual MODFLOW 软件可以将河流处理成 river 边界^[6-7],而本文尝试利用该软件的 river 边界处理平原型水库地表水,通过水库蓄水试验观测与模型预测对比分析,证明运用 river 边界处理平原型水库是可行的,运用数值模拟方法对平原型水库的边界处理提供依据,为今后平原型水库的边界处理问题提供参考。

参考文献：

[1] 潘俊,陈欣,孙才志. 年调节平原型水库与地下水联合调蓄分析[J]. 水文地质工程地质,2004(2) 76-71.

[2] 潘俊,王国强,张俊娥,等. 滞洪型平原水库蓄水对水环境影响分析及其协同调控研究[J]. 内蒙古环境科学,2007,19(3) 35-38.

[3] 丁飞,何霖,张奇林,等. Visual MODFLOW 在平原型水库水环境数值模拟中的应用[J]. 水资源与水工程学报,2008,19(2) 81-82.

[4] DAWOUD M A, ALLAM A R. Effect of new nag hammadi barrage on groundwater and drainage conditions and suggestion of mitigation measures [J]. Water Resources Management, 2004, 18 : 321-337.

[5] HAMER W, LOVE D, OWEN R. Potential water supply of a small reservoir and alluvial aquifer system in southern Zimbabwe[J]. Physics and Chemistry of the Earth,2008,33 : 633-639.

[6] Nield S O, Townley L R, BARR A D. A framework for quantitative analysis of surface water-groundwater interaction : flow geometry in a vertical section [J]. Water Resour Res, 1994, 30(8) 2461-2475.

[7] 宁立波,董少刚,马传明. 地下水数值模拟的理论与实践[M]. 武汉 : 中国地质大学出版社,2010 60-61.

(收稿日期 2010-09-28 编辑 高建群)