

基于 GMS 软件的基坑降水数值模拟*

欧孝夺^{1,2} 全守岳¹ 李 胜¹ 江 杰^{1,2} 黄颂扬³

(1. 广西大学土木建筑工程学院, 530004, 南宁; 2. 广西大学工程防灾与结构安全重点实验室, 530004, 南宁; 3. 广西桂泰耕源投资有限公司, 530000, 南宁//第一作者, 教授)

摘 要 在现场降水试验数据基础上, 建立适用于南宁盆地的三维渗流数学模型, 对车站深基坑降水过程进行数值模拟。模拟结果与实测值吻合较好, 证明该模型适用于南宁特殊地层基坑的降水设计。对基坑水位降深随时间发展的规律以及地下连续墙对降水井涌水量的影响进行预测, 得到以下结论: 距地下连续墙越远, 涌水量越大, 水位降深越小; 地下连续墙越长, 隔水效果越好, 水位降深越大; 车站出入口位于地下连续墙中部时, 水位降深受地下连续墙影响最大。

关键词 地铁; 基坑工程; 降水设计; 数值模型

中图分类号 TU46+3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.05.005

Numerical Simulation of Foundation Pit Dewatering Based on GMS Software

OU Xiaoduo, QUAN Shouyue, LI Sheng, JIANG Jie, HUANG Songyang

Abstract Based on the data of field precipitation test, a three-dimensional seepage numerical model is established to take digital simulation of dewatering process in deep station foundation pit. Since the simulation result coincides with the measured data and proves to be suitable for the complex dualistic structure strata in Nanning Area. The law of water level changes in foundation pit with time and the influence of existing diaphragm wall on the hydraulic discharge of dewatering well are predicted. It is concluded that the farther away from the diaphragm wall, the greater water inflow and the smaller water level drawdown will be; as the same, the longer the diaphragm wall is, the better water separation effect and the deeper drawdown of water level will be. When the station entrance is located in the middle part of the diaphragm wall, the water level drawdown will be greatly affected by the diaphragm wall.

Key words metro; foundation pit; dewatering design; numerical model

First-author's address College of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University, 530004, Nanning, China

南宁盆地地势平坦, 土地辽阔, 承压含水层较厚, 承压水主要赋存于砂卵砾石层; 地下水位高、渗透性强、含水量丰富的特点构成了南宁典型的二元结构^[1]。由于实际水文地质条件和周边边界条件相对复杂, 具有显著的三维特征, 地下渗流场难以准确判断。在基坑降水设计时, 为了得到地下渗流场的信息, 常对实际水文条件做很多简化, 导致计算结果和现场施工存在很大出入, 难以满足基坑降水的要求^[2]。

本文根据现场降水试验数据, 采用有限差分软件 GMS 建立适合南宁盆地基坑降水设计的三维数值模型, 以解决在南宁特殊水文地质条件下具有复杂边界条件的基坑降水设计问题。

1 工程背景

本研究以南宁轨道交通 1 号线广西大学站工程为背景。车站周边主要建筑物及附属结构工程分布如图 1 所示。

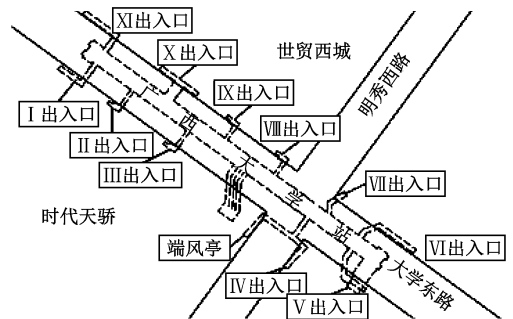


图 1 车站出入口及周边主要建筑物分布图

广西大学站施工方法为明挖法, 主体基坑支护方式为地下连续墙加内支撑支护结构; 车站出入口等附属工程基坑采用埋深约 9.0 m 的钻孔灌注桩支护, 且桩间钢筋网片喷射 200 mm 厚混凝土。

* 国家自然科学基金项目(51568006, 41372361)

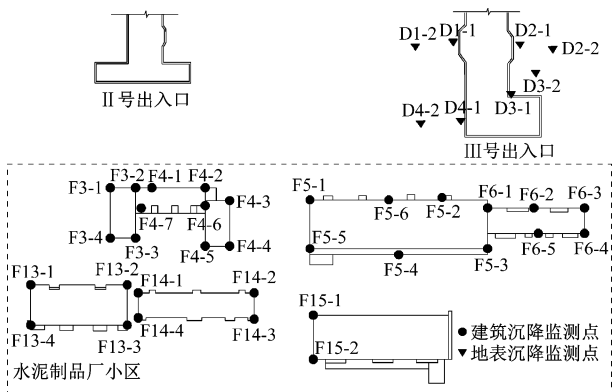


图4 周边建筑及地表沉降监测布置平面示意图

J2 更远离地下连续墙,可见,地下连续墙对基坑涌水量产生影响,影响规律为距地下连续墙越远,涌水量越大,水位降深越小。根据实测降深数据及孔径计算可得:离地下连续墙较近处的降水井 J1、J2 涌水量相近,为 $720 \text{ m}^3/\text{d}$;离地下连续墙较远处的 J3、J4 降水井涌水量为 $960 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

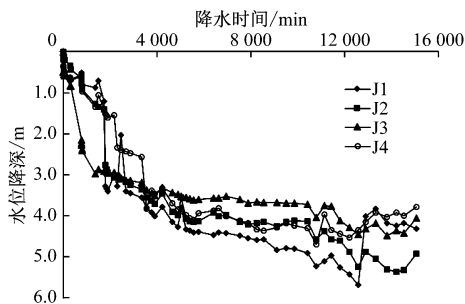


图5 基坑降水试验降水井水位变化曲线

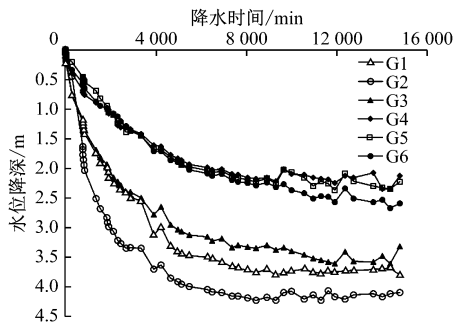


图6 基坑降水试验观测井水位变化曲线

由图6可知:观测井 G1~G6 水位降深在初始时段持续下降,4 000 min 后曲线坡度变缓,水位降深逐渐稳定;观测井 G2 达到最大水位降深,降深为 4.2 m,满足基坑内水位降深的要求;G1、G2、G3 比 G4、G5、G6 距降水井较近,水位降深较大。同时,在 G1、G2、G3 中,G1、G2 相对 G3 距地下连续墙较近,受地下连续墙影响较大,故水位降深相对较大。

选取部分建筑沉降观测点数据绘制各观测点

沉降变化曲线如图7所示。可知,沉降监测点累计沉降绝对值和最大值均不超过 2 mm,远小于控制值 30 mm,说明降水过程对周边环境的影响很小。

根据监测数据绘制地表沉降变化曲线,如图8所示。由于地表沉降监测点距离降水井较近,其累计沉降绝对值明显大于建筑沉降监测点,但最大值不超过 12 mm,小于控制值 30 mm,说明降水过程对地表沉降的影响不大,满足要求。

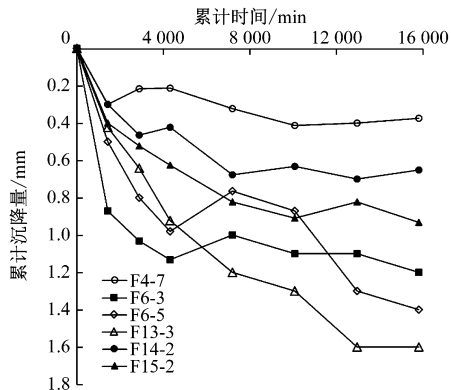


图7 建筑沉降变化曲线

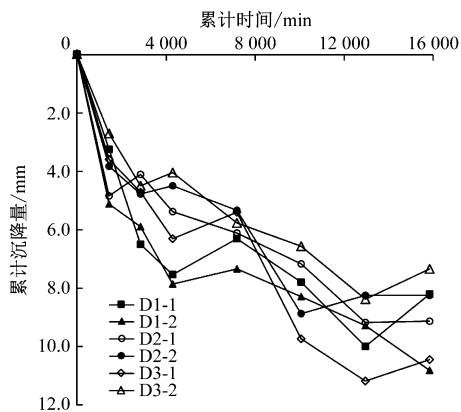


图8 地表沉降变化曲线

3 三维数值模型的建立及应用

采用有限差分软件 GMS 建立适合南宁基坑降水设计的三维数值模型,并在南宁特殊地层下进行基坑降水预测,以期指导工程实践。

3.1 建立水文地质概念模型

本次抽水试验和基坑降水模型的平面计算范围参考表2的影响半径作近似取值。

本工程土层粒径较大,参照表2取 $R = 2\,000 \text{ m}$ 。因此,在 GMS 软件建模计算时,水平方向计算范围设定为降水井群形心外 2 000 m 范围内。在竖直方向上,根据车站 III 号出入口基坑地质结构,在地面以下 45 m 的范围内简化各土层,如图9所示。

表2 根据地层颗粒直径确定影响半径(R)经验值

地层	地层颗粒		R/m
	粒径/mm	占重/%	
粉砂	0.05~0.10	70以下	25~50
细砂	0.10~0.25	>70	50~100
中砂	0.25~0.50	>50	100~300
粗砂	0.50~1.00	>50	300~400
砾砂	1.00~2.00	>50	400~500
圆砾	2.00~3.00		500~600
砾石	3.00~5.00		600~1 500
卵石	5.00~10.00		1 500~3 000

根据现场抽水试验方案中地下连续墙和降水井的布设情况,整个模型离散为4层、141行、118列,共66 552个单元。其三维模型计算网格剖分如图10所示。

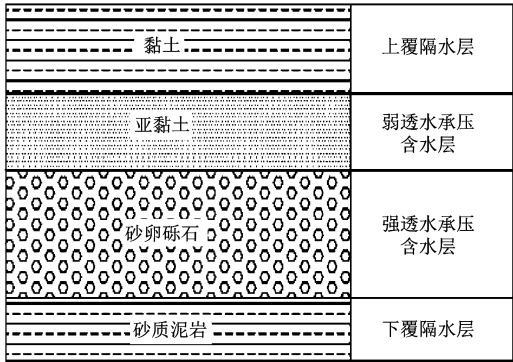


图9 水文地质简化模型

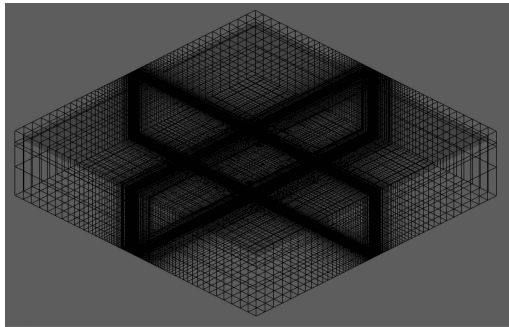


图10 模型剖分网格立体图

3.2 建立数学模型

为保证模拟结果准确,需建立与南宁盆地水文地质概况相适应的模型。具体控制方程如下:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial H}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial H}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial H}{\partial z}\right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

边界条件为:

$$H(x,y,z) \Big|_{\Gamma_1} = \varphi(x,y,z)$$

$$K \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{\Gamma_2} = q(x,y,z)$$

式中:

- H ——渗流场的水头;
- φ ——第一类边界上的已知水头函数;
- $K_x、K_y、K_z$ ——3个主渗透方向的渗透系数;
- q ——流入研究区的单宽流量;
- S_s ——含水层贮水率;
- $\Gamma_1、\Gamma_2$ ——分别为第一、二类边界条件。

3.3 水文地质参数反演

将抽水试验中抽水井涌水量代入数学模型中,对比观测井实际水位与计算水位,不断调整并反演相关参数,两者拟合较好后,得到水文地质参数。对观测井试验数据进行拟合,结果如图11和表3所示。由软件参数反演计算可得强透土层渗透系数为89.0 m/d,各观测井计算水位与实测水位的误差绝对值基本为0.2 m,拟合结果较理想。

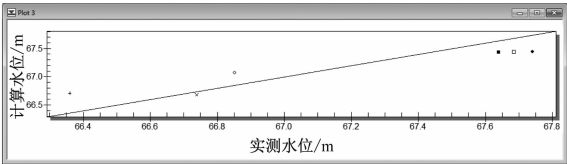


图11 模型参数拟合曲线截图

表3 模型参数反演结果与实际观测结果对比截图

ID	编号	类型	土层	实测水位/m	水位间隔/m	置信区间/%	标准差/m	计算水位/m	水位差值/m
All									
136	G1	观测井	▼3	66.360	0.5	95	0.510 21	66.706 41	-0.346 41
137	G2	观测井	▼3	66.739	0.5	95	0.510 21	66.674 54	0.064 46
138	G3	观测井	▼3	66.852	0.5	95	0.510 21	67.065 04	-0.213 04
139	G4	观测井	▼3	67.741	0.5	95	0.510 21	67.445 51	0.295 49
140	G5	观测井	▼3	67.685	0.5	95	0.510 21	67.442 31	0.242 69
141	G6	观测井	▼3	67.640	0.5	95	0.510 21	67.429 73	0.210 27

为了进一步证实模型的可靠性,利用降水试验观测井后期的水位动态观测资料对模型进行检验。取观测井 G1、G4 的拟合结果(见图12和图13)。由图可知,模拟结果与实测值吻合良好,故该数学模型可用于解决南宁现有复杂基坑降水设计问题。

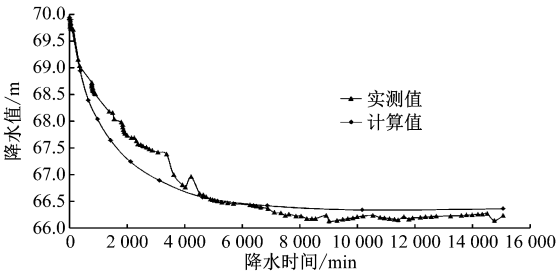


图12 G1观测井水位拟合对比曲线

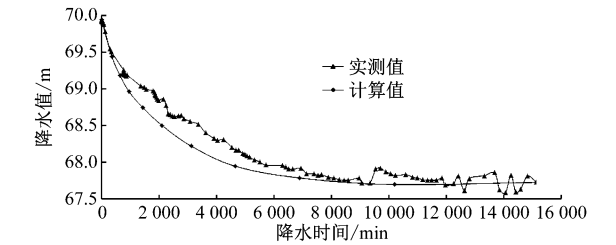


图 13 G4 观测井水位拟合对比曲线

3.4 三维数值模拟降水预测分析

不同的基坑边界条件可能对基坑渗流场的结果影响很大。本文利用建立的三维数学模型分别对 4 种不同工况(如表 4)下的基坑降水渗流场进行预测,研究不同工况下渗流场的分布。

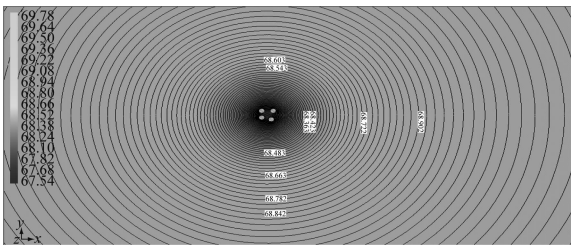
表 4 计算工况

工况序号	有无地下连续墙	地下连续墙长度/m	出入口所在地下连续墙位置
1	无		
2	有	468.8	中部
3	有	468.8	端部
4	有	110.0	中部

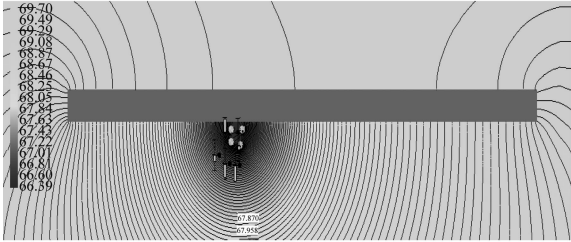
因为不同工况下降水井分布位置不同,故对Ⅲ号出入口基坑数值模型的网格划分进行细微调整。但为了确保模型预测结果的可靠性,需要保证对应的抽水井与原有对应的抽水量一致。不同工况下基坑渗流场分布结果如图 14 所示。

由图 14 可知:在工况 1 没有地下连续墙作用下,基坑地下水位渗流场以降水群井为中心呈规则漏斗状分布,基坑范围内地下水位降深较小;工况 2~4 中,降水井布置在基坑外侧,且距离主体基坑位置越近,地下水位渗流场的形状越不规则,在降水井一侧的渗流场呈半漏斗状分布,基坑内部水位较均匀,变化不大。其中:工况 2 出入口位于主体基坑中部,与地下连续墙距离较近,外侧渗流场受地下连续墙影响较大,基坑内侧降水较均匀;工况 3 出入口位于基坑端部,距出入口较远一端水位降深较大,出入口一端受地下连续墙影响较小,水位降深较小;工况 4 出入口位于基坑中部,但地下连续墙相对较短,基坑范围内地下水位较低。

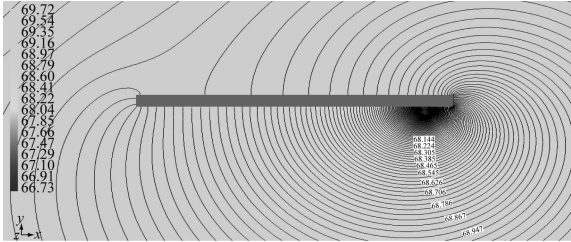
对各工况下地下水位渗流场模拟结果信息进行收集,将模拟水位与设计水位进行对比,并结合出入口基坑设计水位降深高程为 66.3~66.8 m 的要求,得到各工况下地下水位渗流场的信息对比,如图 15~18 所示。



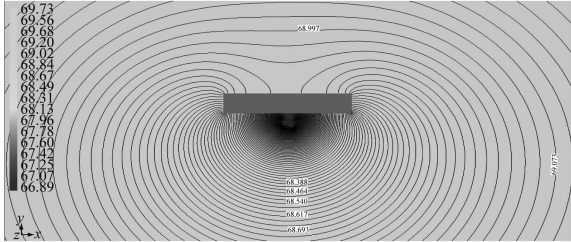
a) 工况 1



b) 工况 2



c) 工况 3



d) 工况 4

图 14 不同工况下基坑渗流场分布

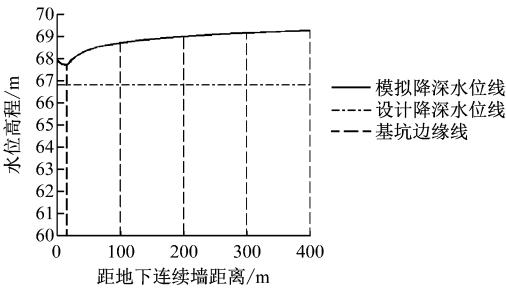


图 15 工况 1 下基坑模拟降深与设计降深对比

由图 15 可知,在没有地下连续墙作用下,基坑范围内模拟降深水位线超出设计降深水位线 1.0 m 左右,无法满足水位降至坑底以下 0.5~1.0 m 的要求。

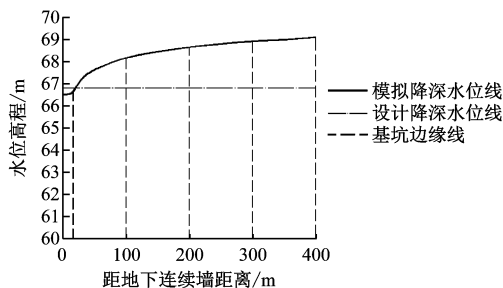


图16 工况2下模拟降深与设计降深对比

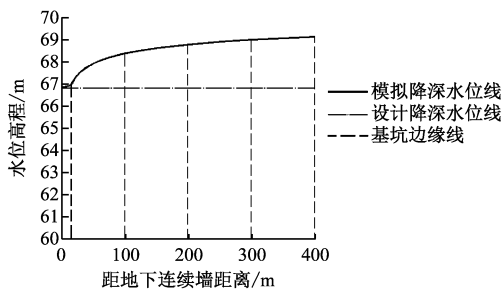


图17 工况3下模拟降深与设计降深对比

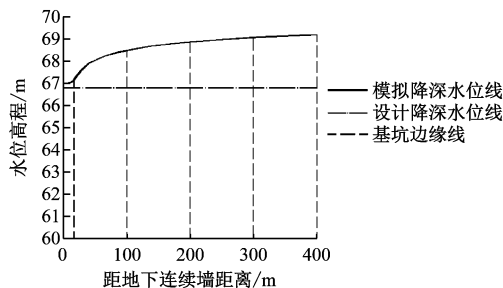


图18 工况4下模拟降深与设计降深对比

由图16可知,当出入口位于主体基坑中部时,地下连续墙对水位降深影响较大,模拟水位线降到设计水位线以下0.5 m,可以满足基坑降水设计要求。

由图17可知,出入口位于主体基坑端部时,基坑范围内模拟降深水位线与设计降深水位线基本保持一致,能满足降水设计要求。但相对工况2而言,水位降深偏小,说明出入口位于基坑中部比端部对降水影响要大。

由图18可知,当出入口位于110.0 m长的有地下连续墙的车站中部时,基坑范围内模拟降深水位线高于设计降深水位线,不能满足要求。对比工况

4与工况2、工况3可知,地下连续墙越短,对基坑降水量的影响越小。

对比工况1与工况2~4可知,无地下连续墙的情况下涌水量较大,从而导致基坑范围内地下水位降深较小。对比工况2和工况3可知,在同样长度地下连续墙作用下,相对于工况2,由于工况3出入口位于基坑端部,此处地下连续墙无法充分发挥其隔水作用,基坑降水受地下连续墙影响较小,地下水位较高。对比工况2和工况4可知,地下连续墙越长,隔水效果越好,基坑范围内地下水位降深越大。

综上可知,有无地下连续墙,以及车站主体基坑的地下连续墙长度和出入口位置的不同,对出入口基坑地下水渗流场分布形态影响很大。

4 结论

(1) 根据现场监测数据进行拟合,该模型各观测井计算值与实测值的误差绝对值基本保持在0.2 m,两者拟合较好。

(2) 群井干扰降水试验中:无地下连续墙时地下水渗流场呈漏斗状分布;存在既有地下连续墙时,地下连续墙的隔水效果会对降水井地下水补给产生影响,使得靠近地下连续墙部分基坑涌水量较小,水位降深较大,离地下连续墙较远处涌水量较大,水位降深较小。

(3) 根据自主建立的南宁盆地基坑降水数值模型对4种不同工况条件下的降水预测研究发现,降水效果受有无地下连续墙、车站长度、出入口位置的影响,且有无地下连续墙对降水效果影响较大,设计中应重点考虑。对于连续墙较短车站,设计时应合理设置降水,以免降水深度达不到设计要求。

参考文献

- [1] 吴恒. 南宁市地质环境的工程地质分析[J]. 桂林冶金地质学院学报,1994(1):70.
- [2] 胡恒,朱厚喜,贾立宏. 基坑开挖对邻近地铁结构基础的影响分析[J]. 岩土工程学报,2010(增刊1):116.

(收稿日期:2017-06-20)