

GMS 在上海南京东路地铁站基坑降水模拟中的应用

周念清¹ 陈一托¹ 江思珉¹ 娄荣祥²

(1. 同济大学水利工程系 上海市 200092 2. 上海广联建设发展有限公司 上海市 200092)

提 要 运用地下水渗流理论,以上海地铁 10 号线南京东路地铁站基坑降水工程为研究对象,采用地下水数值模拟软件 GMS 对基坑降水三维非稳定渗流场进行数值模拟与计算。根据基坑北端头井的抽水试验资料,反求承压水主要水文地质参数,以此为依据对基坑降水过程进行数值模拟。计算结果表明,现有的地下连续墙深度及降压井布局能较好地满足基坑降水设计要求和施工安全。

关键词 GMS 基坑降水 抽水试验 数值模拟

Application of GMS in Subway Foundation Pit Dewatering Numerical Simulation at East Nanjing Road in Shanghai

Zhou Nianqing¹ Chen Yituo¹ Jiang Simin¹ Lou Rongxiang²

(1. Department of Hydraulic Engineering, Tongji University

2. Shanghai Guanglian Construction Development Co. Ltd.)

Abstract The foundation pit dewatering engineering of east Nanjing road subway of Shanghai metro line No. 10 is taken as the research object using groundwater seepage theory. The numerical simulation software GMS of groundwater is utilized to simulate and calculate the 3-D transient seepage in deep foundation pit s dewatering. The main hydrogeological parameters of the confined aquifer are solved through inverse modeling according to the pumping test data in the northern part of the foundation pit. The dewatering processes of foundation pit are simulated and discussed based on the inversed hydrogeological parameters. The calculated results show that the depth of the existing underground continuous diaphragm and the layout of dewatering wells can meet the requirements of foundation pit dewatering and construction safety.

Key words GMS ;foundation pit dewatering ;pumping test ;numerical simulation

1 引言

随着城市地铁的兴建,基坑开挖深度越来越大,如何有效进行基坑降水又能控制周围的地面沉降是确保基坑安全施工的关键。目前最有效应用最普遍的办法是采用井点降水方法^[1]。基坑降水方案的合理制定需要准确地对基坑降水引起的地下水位变化进行预测。对于水文地质条件复杂的场地,常用的解析方法已难以满足基坑降水模拟预测的需要^[2,3],而数值模拟是解决基坑降水计算问题行之有效的方法。通过数值模拟基坑降水过程中地下水的渗流以及降水诱发的地表变形规律,可以为基坑降水方案优化和降水施工提供理论指导^[4]。其中,MODFLOW

是美国地质调查局于上世纪 80 年代开发出的一套专门用于孔隙介质中地下水渗流的三维有限差分数值模拟软件^[5~7],曾被广泛应用到基坑降水工程实践中,取得了很好的效果。GMS 是美国 Brigham Young University 的环境模型研究实验室和美国军队排水工程试验工作站在综合 MODFLOW、FEMWATER、MT3DMS、RT3D 等已有地下水模型的基础上开发的一个综合性用于地下水模拟的图形界面软件^[8]。

本文以上海地铁 10 号线南京东路地铁站基坑降水为例,采用 GMS 软件对基坑降水过程中的渗流场进行数值模拟。根据基坑北端头井抽水试验资料反求基坑周围计算区域的渗透参数,同时分析抽水试验过程中基坑内外渗流场的变化,对采用的基坑降水方案进行分析与评价。

作者简介:周念清(1964 -),男,博士、教授、博士生导师,主要从事地下数值模拟方面的研究。

收稿日期:2009 - 11 - 25

2 工程概况与场地水文地质条件

2.1 工程概况

在建的上海地铁 10 号线南京东路地铁站,位于建筑物密集、周围环境复杂的河南南路上,北端与天津路相交,场地地面标高为 +2.60m 左右。车站为地下三层,主体结构长约 152m,宽约 21.1m,如图 1 所示;站台中心处底板埋深为 24.24m(底板标高为 -21.64m),南北两端的端头井底板埋深约为 26.0m(底板标高为 -23.2m)。车站采用逆作法施工,以地下连续墙作为围护结构,墙厚 1m,插入深度约 46~55m。

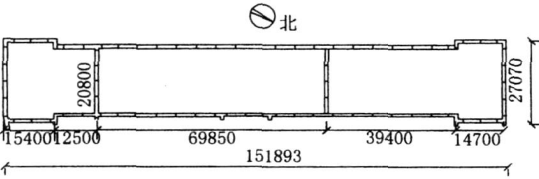


图 1 基坑平面分布

2.2 场地水文地质条件

根据岩土工程勘察报告,在场地 75.4m 深度范围内,按其地层成因、土层结构及工程特性可划分为 8 层(表 1)。地层多呈水平层状分布,受古河道沉积影响,地层埋藏分布与上海市区正常沉积地层稍有差异,层缺失,属滨海平原相古河道沉积区。

表 1 研究区地层结构与分布

地层编号	地层名称	层厚/m	层底标高/m
1	人工填土	1.50~2.60	1.44~-0.05
1	粉质粘土	0.00~1.50	0.44~-0.85
	淤泥质、粉质粘土	5.10~6.70	-4.86~-7.06
	淤泥质粘土	7.00~9.60	-13.67~-15.23
1	灰色粘土	3.70~7.00	-17.45~-21.33
3	粉质粘土	17.20~21.60	-37.67~-39.23
4	粉质粘土	2.20~6.90	-40.76~-45.95
	粉细砂	4.50~11.00	-47.23~-52.37
1	灰色粘土	6.00~9.00	-56.23~-57.56
2	粉质粘土	8.00	-64.23~-65.45
	粉细砂	未穿	未穿

场地第层以上为潜水含水层,下部第、层分别为第 I、II 承压含水层。其中,潜水含水层的水位埋深为 0.82~1.50m(标高为 1.33~1.95m),水量不大,易被疏干。但基坑底部承压含水层的水位埋深为 10.85m 左右(标高为 -6.97m),高出基坑底板 14.67~16.23 m。为保证基坑底板的施工安全,

必须对下部承压含水层采取降水减压措施,将地下水位降至基坑底板以下 0.5~1m。抽水井设计深度为 52m,过滤器置于第层,深度为 44~51 m。

3 数学模型的建立

3.1 水文地质概念模型

上部潜水含水层在前期施工过程中已被疏干,这里未予以考虑。由于基坑底部以下第与第承压含水层之间有第层粘土层作为完整的隔水层,且厚度超过 14.0m,第承压水对基坑底板安全不构成任何威胁。因此,结合地层分布、围护结构及基坑开挖设计深度,通过验算只需对第层中的承压含水层进行降压处理。

本次渗流计算的区域顶部以第4层底板为界,底部以1层顶板为界,上下按隔水边界处理,含水层在平面上无限延伸。计算区域以连续墙为界向外各延伸 500m,外围按定水头边界处理。地下连续墙则按弱透水层处理,基坑内的降压井是唯一的源汇项。

3.2 地下水渗流数学模型

取多孔介质各向异性主渗透方向和坐标轴方向一致,则多孔介质三维非稳定渗流控制方程^[9]为:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial H}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial H}{\partial t} \quad (x, y, z)$$

式中, S_s 为贮水率,1/m; K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} 为主渗透系数, m/d; H 为点 (x, y, z) 在 t 时刻的水位值, m; 是空间区域; W 为源汇项, 1/d。

初始条件: $H(x, y, z, t) |_{t=0} = H_0(x, y, z, t_0)$

(x, y, z) ;

边界条件: $H(x, y, z, t) |_{\Gamma_1} = H_1(x, y, z, t)$

(x, y, z) ;

式中, $H_0(x, y, z, t_0)$ 为点 (x, y, z) 处初始水位值, m; Γ_1 为第一类边界条件; $H_1(x, y, z, t)$ 为点 (x, y, z) 在 t 时刻的边界已知水位值, m。

4 渗流数值模拟

4.1 参数分区与模型校正

根据水文地质概念模型,对研究区进行三维网格剖分。平面上将其划分成 102 × 121 个网格单元,垂向上将层剖分为 3 层(如图 2 所示)。结合岩土工程勘察资料,在平面上将场地划分为 3 个参数分区,即基坑内、连续墙和基坑外,分别用、和表

示(如图3所示)。

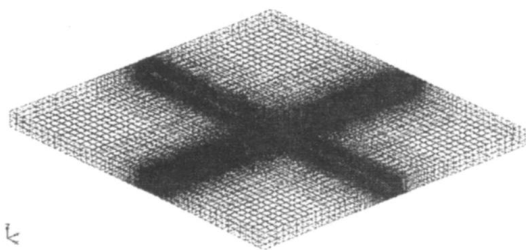


图2 研究区三维网格剖分

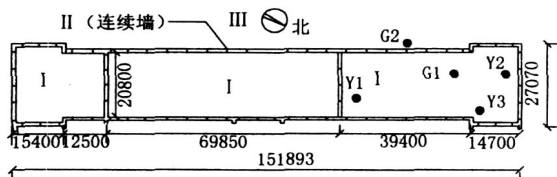


图3 层参数分区和井点布置

为了进行参数识别和模型校正,在基坑北端头井布置了3口抽水井和2口观测井。Y1、Y2、Y3为抽水井,G1和G2为位于基坑连续墙内外的观测井。三口井的抽水时间为11个小时,Y1、Y2和Y3单井出水量分别为:5.42m³/h、4.65m³/h和5.11m³/h。

模拟采用GMS软件中的PEST反求参数模块对抽水试验资料进行拟合求参,选用了11个典型时间段作为拟合时段。由于抽水试验观测井数目较少,此次模型主要校正的是第I层中连续墙内外I区和II区的渗透系数。

连续墙的渗透系数和含水层贮水率则通过人工设定调整,先给定一组含水层贮水率和连续墙的渗透系数,通过运行PEST调参模块反求I区和II区的渗透系数,保存运行结果,然后不断运算直至获得与实际抽水试验结果比较接近,拟合得到的含水层贮水率和连续墙渗透系数见表2所示。

表2 层水文地质参数分区

区号	K_{xx} /(m·d ⁻¹)	K_{yy} /(m·d ⁻¹)	K_{zz} /(m·d ⁻¹)	S_s /(m ⁻¹)
7.97	7.97	0.80	3.00×10^{-5}	
4.15×10^{-2}	4.15×10^{-2}	4.15×10^{-2}	3.00×10^{-5}	
5.06	5.06	0.51	3.00×10^{-5}	

由表2可知,基坑内外第I层承压水含水层渗透系数模拟的结果略有差异,且基坑内大于基坑外,但差别不是很大,这可能与人工抽水干预增加了水力坡度有关。

观测井的计算值和实测值拟合曲线见图4和图5,误差统计如表3所示。

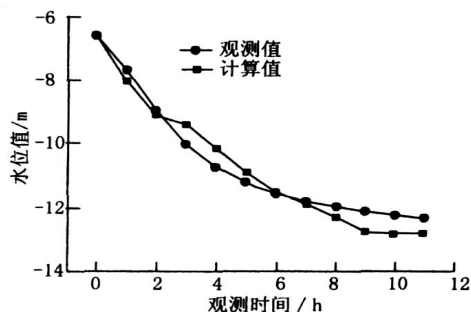


图4 G1观测值与计算值拟合曲线

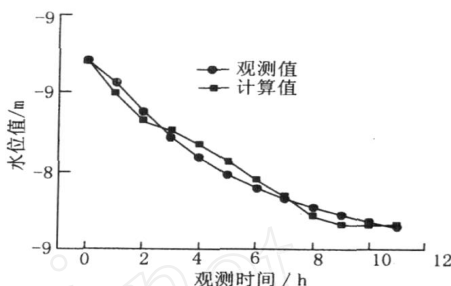


图5 G2观测值与计算值拟合曲线

表3 观测井观测值与计算值统计参数

井区号	最大绝对误差 /m	最小绝对误差 /m	均方差	平均绝对误差 /m
G1	0.636	0.027	0.287	0.325
G2	0.170	0.035	0.103	0.117

图4和图5显示观测井的水位实测与模拟计算得到的水位曲线能很好的吻合,且误差比较小,说明了反求参数的有效性。

4.2 基坑降水预测

抽水试验井进行定流量连续抽水,降水24h后,北端头基坑内水位即降至-14.5m以下,降落漏斗范围内土层很容易被疏干,如图6所示。根据基坑底板稳定条件分析,只需将第I层承压含水层水头降至-13.09m即可满足要求。而基坑外部水头值均高于-7.6m,说明地下连续墙有较好的隔水效果,对于控制周边建筑物的沉降具有重要作用。

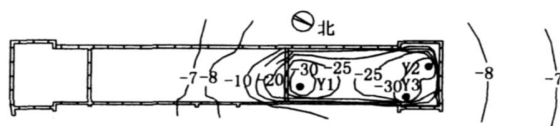


图6 I层等水位线

5 结论

本文采用地下水流模拟软件GMS对上海市地铁10号线南京东路地铁站的基坑降水工程进行模
(下转第43页)

表 2 水样分析结果

水样编号	地下水编号	位 置	pH	Ba ²⁺ /(mg L ⁻¹)	S ²⁻ /(mg L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ /(mg L ⁻¹)	F ⁻ /(mg L ⁻¹)
1		堆场沟口地表水	6.61	0.09	0.68	4.80	0.48
2		渗滤液池废液	12.90	31.40	94.90	0.05	2.89
3	S1	S1 下降泉	7.45	5.35	1.76	32.4	1.61
4	井 1	亨寨饮用地下水	6.77	1.36	1.03	2.30	1.09
5	K81	岩溶水(承压水)	6.65	0.055	0.00	220	0.36

4 钡渣堆场渗漏治理建议

4.1 岩土渗透性分析

1 号钡渣堆场的隆里组(P₃l)变余砂岩,浅部强风化带及第四系松散堆积层,厚度 5.0~6.0m,赋存风化裂隙水及孔隙水,渗透系数 $K=1.16 \times 10^{-2} \sim 1.58 \times 10^{-2}$ cm/s,渗透性强;其下的弱风化基岩,渗透系数 $K=1.07 \times 10^{-7} \sim 1.78 \times 10^{-8}$ cm/s,是堆场内分布稳定的隔水层。

4.2 治理建议

1) 采用垂直防渗方案,渣坝垂直防渗帷幕的北西、北东帷幕线应连接到两沟坡的弱风化变余砂岩($K=10^{-7}$ cm/s),以阻止绕坝渗漏,防渗高程 387.0m,帷幕底界深度 17.0m(高程 363.0m),帷幕长度 106m。帷幕施工,设计两排注浆孔,孔距 1.0m,排距 1.0m,注浆压力 0.2~0.22MPa,采用由上而下逐步注浆工艺,注浆次序按规程进行,注浆材料为 C20 混凝土。注浆工程实施前后,须进行压水试验检测。

2) 渗滤液池作全水平防渗处理,防渗系统从下至上依次为: 压实池底粘土层; 铺设高密度聚乙烯膜(HDPE 膜); 设计废水处理系统。

对废渣采用干法堆放,尽最大可能减少污染源。

4) 沿堆场堆积界线修建截水沟,将降水产生的坡面流和冲沟溪流引入堆场下游。

5) 加强地下水水质监测。

5 结语

1) 钻孔揭露及地下水水质监测表明,亨寨地区不整合地层系统的基岩风化裂隙及孔隙含水层中的地下水已受到 S²⁻ 污染,污染源及污染方式为 1 号钡渣堆场中的废液渗漏到风化裂隙与孔隙含水层中,污染质由堆场向剑江方向呈弥散运移,使亨寨村取用孔隙含水层的 16 口井不能作为饮用水源,岩溶水未遭受污染。

2) 建议采用中等风化变余砂岩($K=10^{-7}$ cm/s)作为防渗层,1 号钡渣堆场采用注浆帷幕的治理措施,可控制渗漏污染。

参考文献

1 丁坚平,毛健全,等. 贵阳大坝地区岩溶地下水氟污染及其防治. 贵州环保科技,1998
2 毛健全. 某钡盐厂钡渣成分研究及渣场污染的综合治理. 贵州工业大学学报(自然科学版),2000,29(6):96~98

(上接第 40 页)

拟研究,通过抽水试验资料反求第 承压含水层水文地质参数,并以此进行基坑降水预测,可以得出以下几点结论:

1) 地下水流数值模拟软件 GMS 可以很方便地反求水文地质参数,且拟合效果比较理想;

2) 连续墙对基坑降水具有很好的止水效果,对于减少基坑周围地下水位的下降及地面沉降的发生起到了重要的作用;

3) 部分地段连续墙没有穿透第 层或连续墙施工存在一定的不均匀性,地下水流沿着连续墙外缘发生绕流,使基坑周围观测井中地下水位有小幅度下降,但能满足地面沉降控制的要求,不至于对周围环境造成影响。

参考文献

1 吴林高,等. 工程降水设计施工与基坑渗流理论. 北京:人民交通出版社,2003
2 骆祖江,刘昌军,等. 深基坑疏干过程中三维渗流场数值模拟

研究. 水文地质工程地质,2005,(5):48~53
3 韩传梅,陈喜,武永霞. 深基坑降水工程试验及降水方案设计. 地下水,2007,29(6):40~46
4 冯晓腊,熊文林,胡涛,等. 三维水—土耦合模型在深基坑降水计算中的应用. 岩石力学与工程学报,2005,24(7):1196~1201
5 Dave M Romero, Steven E Silver. Grid cell distortion and MODFLOW's integrated finite difference numerical solution. Ground Water,2006,44(6):797~802
6 Shiqin Wang, Jingli Shao, Xianfang Song. Application of MODFLOW and geographic information system to groundwater flow simulation in North China Plain, China. Environmental Geology,2008,55(7):1449~1462
7 Laura KLautz, Donald I Siegel. Modeling surface and ground water mixing in the hyporheic zone using MODFLOW and MT3D. Advances in Water Resources,2006,29(11):1618~1633
8 祝晓彬. 地下水模拟系统(GMS)软件. 水文地质工程地质,2003,30(5):53~55
9 薛禹群. 地下水动力学原理(第 1 版). 北京:地质出版社,1986