

文章编号: 1007-2993(2021)04-0255-05

悬挂式止水帷幕涌水量计算数值模拟及验证

张钦喜 宋亚通 闫金波
(北京工业大学, 北京 100124)

【摘要】 在基坑工程中, 为合理保护地下水资源和节约工程成本, 悬挂式止水帷幕在工程中的应用越来越广泛。为更好地研究悬挂式止水帷幕基坑涌水量及影响半径的影响范围, 依托北京市东城区第一人民医院基坑项目, 进行了悬挂式止水帷幕基坑涌水量的数值模拟, 并现场进行数据监测, 从而对数值计算结果进行验证。结果表明: (1) 利用有限元数值模拟软件分析的基坑内涌水量与实际监测的数值趋势相同, 日涌水量可以达到 1970 m^3 ; (2) 设置悬挂式止水帷幕的基坑, 原基坑降水影响半径不再适用, 降水影响半径比原来有所减小; (3) 随着距离止水帷幕距离的增加, 基坑外水头值越来越大; 随着距离止水帷幕距离的越来越大, 基坑外水头值增加的趋势越来越小。

【关键词】 悬挂式止水帷幕; 数值模拟; 现场监测; 基坑涌水量

【中图分类号】 TU 473

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2021.04.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Numerical Simulation and Verification of Water Inflow Calculation of Hanging Water-stop Curtain

Zhang Qinxi Song Yatong Yan Jinbo
(Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

【Abstract】 In the foundation pit project, in order to reasonably protect the groundwater resources and save the project cost, the hanging water-stop curtain is more and more widely used in projects. In order to study the amount of water inflow and the influence range of the impact radius of the hanging water-stop curtain pit, the foundation pit project of the First People's Hospital of Dongcheng District is analyzed. The numerical simulation of the water inflow amount of the hanging water-stop curtain pit is carried out, and monitoring data is acquired to verify the numerical calculation results. The results show that: (1) the amount of water inflow in the foundation pit analyzed by the finite element numerical simulation software is the same as the actual monitored numerical trend, and the daily amount of water inflow could reach 1970 m^3 ; (2) the foundation pit with hanging water-stop curtain is set up, and the original influence radius of foundation pit dewatering is no longer applicable, and the influence radius of dewatering is reduced compared with the original; (3) as the distance from the water-stop curtain increases, the head value outside the foundation pit becomes larger and larger; as the distance from the water-stop curtain increases, the trend of the increasing head value outside the foundation pit is getting smaller and smaller.

【Key words】 hanging water-stop curtain; numerical simulation; on-site monitoring; foundation pit water inflow

0 引言

建筑工程中, 地下水控制在深基坑工程中有着举足轻重的地位。随着都市现代化的发展, 城市的高楼大厦越来越多, 为满足其他需求, 基础设计深度也越来越深。与此同时, 深基坑开挖过程中通常会遇到地下水的情况, 如果地下水得不到有效的控制和处理, 不仅会影响到深基坑施工, 还会影响整个工程的工期,

因此, 地下水的控制在基坑施工工程中有着较为重要的影响^[1]。

在实际工程中, 针对一些地下水位较低、含水层较薄、渗透系数较小和相对隔水层埋深较浅的地层, 采用落地式止水帷幕能够有效减少地下水抽排和基坑周边地表沉降。但对于地下水位较高、含水层厚、渗透系数较大以及相对隔水层埋深较大的地层, 采用

基金项目: 北京市自然科学基金重点项目(8171001)

作者简介: 张钦喜, 男, 1964 年生, 教授, 研究生导师, 主要从事地基处理及基坑工程等方面的教学与研究工作。E-mail: qinxizhang@126.com

落地式止水帷幕存在着施工成本过高和施工难度大的问题,因此常采用设置悬挂式止水帷幕和坑内降水井相结合,止水与降水相结合也不失为一种有效的方式。许多研究学者利用有限元分析软件对悬挂式止水帷幕渗流场进行了分析。王国光^[2]利用有限元分析程序 PSFEM 对基坑渗流场进行了分析计算,表明止水结构物能够防止基坑发生破坏,并且止水结构需要有一定的插入深度。吴世兴^[3]对深厚含水层必须设置悬挂式止水帷幕辅助降水的基坑进行了二维数值模拟,主要得出悬挂式止水帷幕的止水效果有限,当插入深度达到一定深度时,坑内涌水量和坑外水位下降并不是很明显。许焯霜等^[4]在研究地下构筑物对地下水渗流效应的阻挡效应时,得出随着地下构筑物深度的增加,抽水侧的水位降深和沉降量也增加;随着地下构筑物的挡水宽度增大,对地面沉降影响也越大,两者相关系数大于 0.99。汤光明^[5]利用数值模拟软件 Visual ModFlow 研究西安地铁车站中悬挂式止水帷幕对深基坑降水的影响,悬挂式止水帷幕能够有效阻止基坑外水位的过大降深,降水影响半径与无帷幕的降水影响半径相比较小,工程原来降水影响半径不再适用。何绍衡等^[6]用有限元分析软件 ABAQUS 研究了地下水渗流对悬挂式止水帷幕基坑的变形影响,主要得出止水帷幕对于减少坑外降水和坑外地面沉降有着显著作用,随着止水帷幕深度的增加,基坑外水位降深和地面沉降影响范围降低,存在最优的止

水帷幕插入深度。

许多学者^[7-10]对悬挂式止水帷幕基坑渗流场进行了研究分析,但基坑内涌水量研究尚不成系统。本文依托北京市东城区人民医院基坑项目,对悬挂式止水帷幕基坑内涌水量和影响半径进行研究,并进行现场监测,丰富悬挂式止水帷幕基坑涌水量研究理论,为此后类似工程提供参考价值 and 经验。

1 工程与地质概况

1.1 工程概况

本工程位于北京市东城区永外定安里,东临定安里 11 号、13 号住宅楼,南临北京益华食品厂,西临规划定安里中路,北临刘家窑路。该工程建设用地面积 8309.53 m²,总建筑面积约 31910 m²,其中地上建筑面积约 11350 m²,地下建筑面积约 20560 m²。同时该工程由一栋综合楼组成,地上 6~7 层,裙楼地上 3~4 层,建筑高度不超过 40 m,配套设施地上 1~2 层,均设 4 层地下室,楼座间均为纯地下车库部分。

本工程基坑长约 103 m,宽约 67 m,基坑深度达 23.29 m,且周边环境复杂,地下水丰富且赋存条件复杂,属于深大复杂基坑。

1.2 工程地质概况

根据目前钻探孔资料,勘察所揭露 50 m 深度范围内地层除上部填土外,以下为一般第四纪冲洪积层。工程地质典型剖面图如图 1 所示。

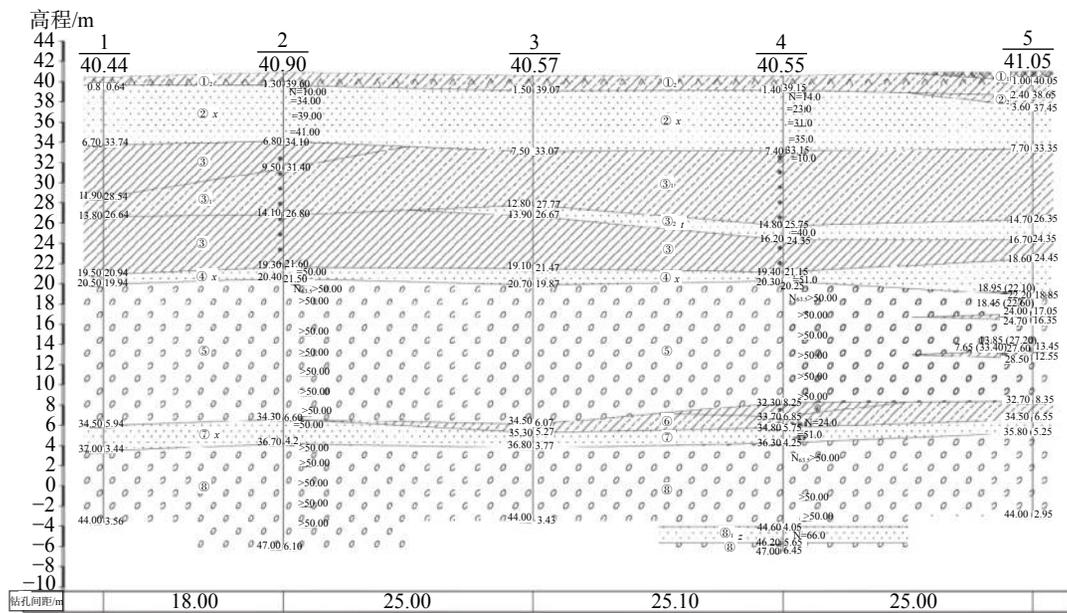


图 1 工程地质典型剖面图

1.3 工程水文地质概况

在野外勘察期间(2018 年 10 月),于钻孔中实测

两层地下水水位。(1)潜水:初见水位埋深 22.00~22.60 m,绝对标高 18.28~18.45 m,稳定水位埋深 21.00~22.10 m,绝对标高 18.95~19.30 m,主要赋存

于⑤卵石层中,水量较大。(2)承压水:初见水位埋深 28.30~33.40 m,绝对标高 7.65 m~12.19 m,稳定水位埋深 24.10~27.20 m,绝对标高 13.85~16.20 m,主要赋存于⑧卵石层中,水量较大。

1.4 悬挂式止水帷幕选型

本工程地下水位埋深 20 m 左右,为潜水,含水层为卵石层,水量丰富,水位位于基坑底面以上 2~3 m,须采取降水或止水措施,才能进行基坑开挖和地下结构施工。

为满足基坑工程需保持干燥环境和北京市有关政策规定,采用悬挂式止水帷幕的地下水控制方案。护坡桩桩径 800 mm,桩间距为 1.4 m,护坡桩深度为 35.5 m,采用桩锚结合的支护,护坡桩典型剖面图如图 2 所示。止水帷幕深 35.5 m,采用在护坡桩桩间施作高压旋喷桩的工艺进行帷幕桩施工(DJP 工法),桩径 1200 mm,间距 1.4 m,共计须施作旋喷桩 241 根。旋喷桩上部 20 m 为空孔,下部 15.5 m 为水泥土桩实体。

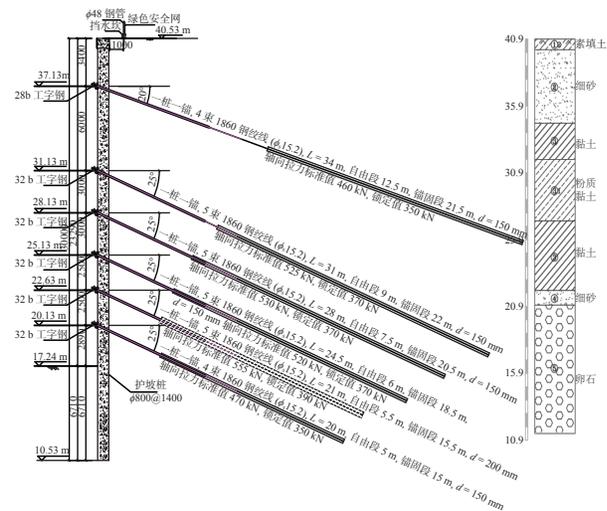


图 2 护坡桩典型剖面图

2 模型建立

为了预测该工程基坑内涌水量,利用有限元数值模拟软件 Midas GTS 进行分析,本文研究的基坑为不规则形状,长约 103 m,宽度约为 63 m,基坑深度为 23.29 m,根据实际工程需要,为研究基坑内涌水量和基坑降水对周围环境影响等因素,建立模型尺寸为 500 m×500 m×50 m(长度×宽度×深度)。假设基坑底部隔水层在 50 m 处,悬挂式帷幕深度为 35.5 m,为完全隔水材料,同时基坑东侧和北侧卵石层内含有黏土层,黏土层渗透系数较小。建立的模型如图 3 所示。

根据工程实际地质条件,将地层简化为具有代

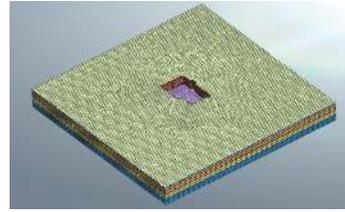


图 3 基坑模型示意图

表性的五个地层,分别为杂填土层、粉质黏土层、细砂层、黏土层和卵石层,各土层的渗透系数为:粉质黏土层渗透系数 $k=0.05$ m/d;细砂层渗透系数 $k=5.0$ m/d;黏土层渗透系数 $k=0.001$ m/d;卵石层渗透系数 $k=80$ m/d。

根据工程地质勘测条件,卵石层内常年水位在地下埋深 20 m 左右,基坑深度为 23.29 m,为保证基坑底部水位距离基坑底部有 0.5~1.0 m,设置基坑外初始水头值为 29 m,基坑底部水头值为 26 m。

3 数值模拟结果分析

3.1 基坑渗流路径

基坑渗流路径模拟图如图 4 所示,从图中可以看出,在有悬挂式止水帷幕的基坑中,地下水渗流均由止水帷幕底部流过,增加了地下水的渗流路径,能够有效地减少基坑涌水量。在有黏土层的基坑内北侧,地下水渗流需要通过黏土层部分,从黏土层内渗流出来水量较小。

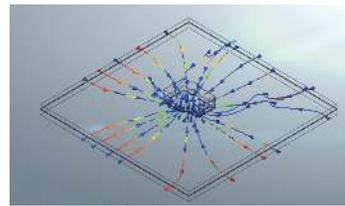


图 4 基坑渗流路径模拟图

3.2 基坑水头值和降水影响范围

基坑水头值和降水影响范围示意如图 5 所示,可以看出基坑内水头值固定在 26 m,基坑外水头最大值固定在 29 m,基坑外水头值在 26~29 m 之间变化,基坑北侧水头变化比较缓慢,水头变化有以下趋势:(1)随着距离止水帷幕距离的增加,基坑外水头值越来越大;(2)随着距离止水帷幕距离的越来越大,基坑外水头值增加的趋势越来越小。同时可以看出,基坑外水头值在距离基坑 100~130 m 变化不大,趋于平稳,由于基坑北侧底部含有黏土层等透水性较小地层,基坑南侧坑外水位降深大于基坑北侧水位降深,基坑内降水对基坑北侧建筑物影响较小。

3.3 基坑内节点流量图

基坑内节点流量图如图 6 所示,可以看出基坑

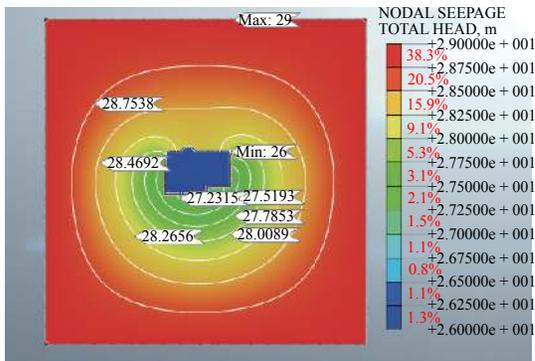


图5 基坑水头值和降水影响范围示意图

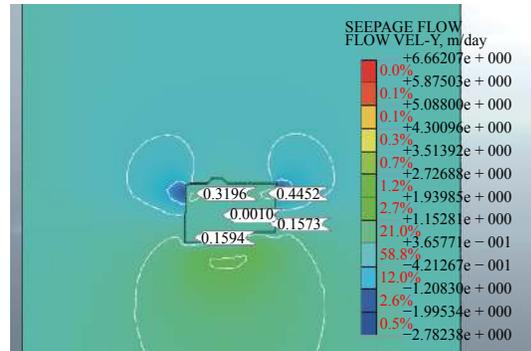


图8 基坑内 Y 方向渗流速度示意图

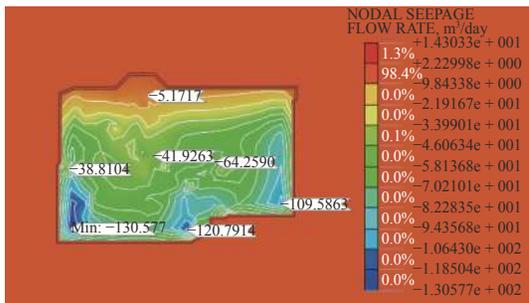


图6 基坑内节点流量图

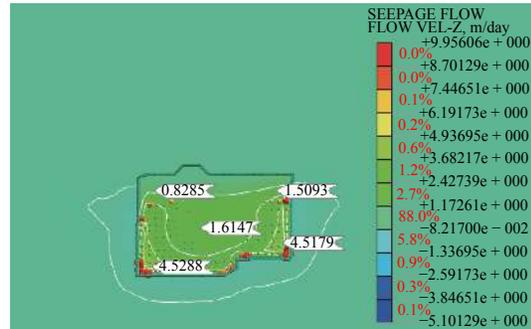


图9 基坑内 Z 方向渗流速度示意图

内涌水量有以下趋势：(1)基坑内角落处的节点涌水量大于基坑中间部位的涌水量，且变化趋势明显；(2)基坑内靠近止水帷幕一侧涌水量值大于基坑中间部位涌水量值，随着距离止水帷幕的距离的增加，涌水量值越来越小。基坑内节点最大涌水量为 130.57 m³/d，通过对数据整理，基坑内涌水量可以达到 1970.3 m³/d。

3.4 基坑内渗流速度

基坑内渗流速度如图 7—图 9 所示，当基坑内渗流达到稳态时，基坑内水平方向渗流速度较小，竖向渗流速度较大。同时基坑内渗流速度有以下趋势：(1)基坑内角落处的渗流速度较大，基坑内中间部位渗流速度较小；(2)基坑内靠近止水帷幕一侧渗流速度较大，随着距离止水帷幕的距离的增加，渗流速度越来越小。

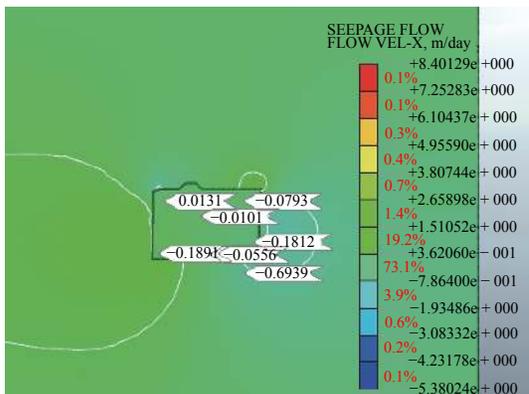


图7 基坑内 X 方向渗流速度示意图

4 现场监测数据分析

基坑外不设置降水井降水，基坑内按 25 m 距离间隔设置 30 口降水井，基坑外侧设置 7 口水位观测井。

4.1 基坑内涌水量

基坑内涌水量对比如图 10 所示，当基坑内渗流状态达到稳态时，基坑内实际监测涌水量值和数值模拟值趋势相同，基坑内涌水量可以达到 1970 m³/d 左右。

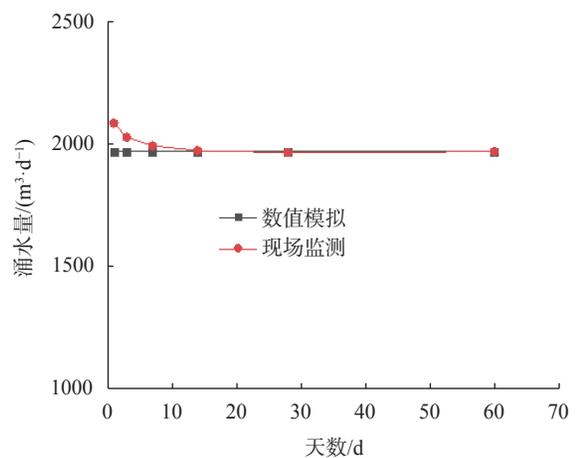


图10 基坑内涌水量对比图

4.2 基坑外水位降深

基坑外水位降深如图 11、图 12 所示，可以看出基坑外水位下降实际监测值与数值模拟值趋势相同，较为接近，但存在较小的差异，主要由于在数值模拟

过程中仅仅考虑了地下渗流场对基坑外水位降深的影响,对地层参数和属性与实际存在一些差距。另外,基坑北侧水位下降小于基坑南侧的水位下降,主要是由于基坑底部北侧含有黏土层等透水系系数较小的土层,其渗流速度相对于南侧的较小,水位下降比较缓慢。

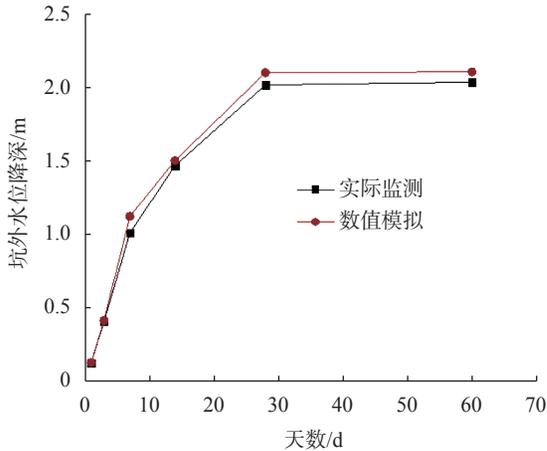


图 11 基坑外南侧水位降深图

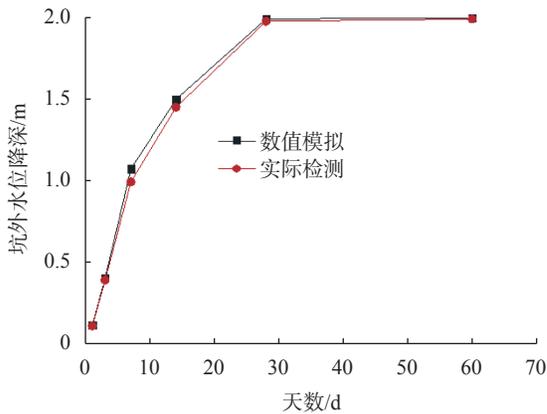


图 12 基坑外北侧水位降深图

5 结论

依托东城区人民医院基坑工程开展了悬挂式止水帷幕基坑涌水量和降水影响半径的数值模拟计算和监测,主要得出以下结论:

(1)利用有限元数值模拟软件分析的基坑内涌水量与实际监测的数值趋势相同,日涌水量可以达到 1970 m^3 。

(2)设置悬挂式止水帷幕的基坑,原基坑降水影响半径不再适用,降水影响半径比原来有所减小。

(3)随着距离止水帷幕距离的增加,基坑外水头值越来越大;随着距离止水帷幕距离的越来越大,基坑外水头值增加的趋势越来越小。

(4)基坑内角落处的节点涌水量大于基坑中间部位的涌水量,且变化趋势明显;基坑内靠近止水帷幕一侧涌水量值大于基坑中间部位涌水量值,随着距离止水帷幕的距离的增加,涌水量值越来越小。

(5)基坑内角落处的渗流速度较大,基坑内中间部位渗流速度较小;基坑内靠近止水帷幕一侧渗流速度较大,随着距离止水帷幕的距离的增加,渗流速度越来越小。

参 考 文 献

- [1] 王雨生. 地下水对深基坑的影响及合理控制[J]. 中外企业家, 2019, (33): 214-214.
- [2] 王国光, 严平, 龚晓南. 采取止水措施的基坑渗流场研究[J]. 工业建筑, 2001, 31(4): 43-45.
- [3] 吴世兴. 深基坑悬挂式帷幕的渗流分析[J]. 福建建设科技, 2009, (5): 10-11.
- [4] 许焯霜, 沈水龙, 马磊. 地下构筑物对地下水渗流的阻挡效应[J]. 浙江大学学报(工学版), 2010, (10): 65-69.
- [5] 汤光明. 悬挂式止水帷幕对深基坑降水的影响研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
- [6] 何绍衡, 夏唐代, 李连祥, 等. 地下水渗流对悬挂式止水帷幕基坑变形影响[J]. 浙江大学学报(工学版), 2019, 53(4): 106-116.
- [7] 孙敬. 用数值模拟方法预测基坑涌水量[J]. 广东建材, 2012, (6): 43-45.
- [8] 丁洲祥, 龚晓南, 俞建霖. 止水帷幕对基坑环境效应影响的有限元分析[J]. 岩土力学, 2005, (S1): 146-150.
- [9] 李伟, 童立元, 王占生. 不同地连墙插入深度下降水对周边环境的影响分析[C]//中国土木工程学会第十二届全国土力学及岩土工程学术大会. 2015.
- [10] 张玲秋, 程森, 张柳. 止水帷幕对深基坑降水效果影响数值模拟[J]. 山东工业技术, 2015, (6): 280-281.

收稿日期: 2020-07-24