

青岛某临海地铁基坑疏干井点布置方案及数值优化分析

刘晨¹, 张瑾^{1,*}, 李秋艳², 李宁宁³, 张翔瑜¹, 杨家乐¹, 凌贤长¹

(1. 青岛理工大学 土木工程学院, 青岛 266525; 2. 中铁十七局集团第一工程有限公司, 青岛 266555;

3. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京 100045)

摘要: 青岛地层属于土岩组合地层, 止水帷幕在该地层中施工较难, 如果遇到强风化岩层又不可避免地存在裂隙水, 为探究井点数以及井深对地下水的影响, 以青岛某临海地铁深基坑为例, 采用 Visual Modflow 软件预测该深基坑模型中三种方案的降水效果。经模拟发现, 当井深不变时, 14 口疏干面积为 400 m² 的方案与 18 口疏干面积为 350 m² 的方案相比, 坑内降深减少了 4.2 m, 坑外降深减少了 0.039 m, 降水引起的地面沉降减少了 0.4 mm。当疏干面积不变时, 26 m 井深(入岩 5 m)相比于 24 m 井深(入岩 3 m)基坑内水位降深增加了 4.3 m, 坑外最大降深增加了 0.04 m, 坑外最大地面沉降增加了 0.4 mm。该基坑计划降深 20 m, 14 口疏干面积 400 m² 井深 26 m 的方案和 18 口疏干面积 350 m² 井深 24 m 的方案满足施工要求。从节约时间、优化井点数以及材料经济方面考虑, 在满足施工条件的基础上, 选取 14 口疏干面积 400 m² 井深 26 m 的方案较合适。该数值模拟结果为后续疏干井优化的施工提供了一定的参考价值。

关键词: 地铁深基坑降水; 数值模拟; 井点优化; 水位降深; 地面沉降

中图分类号: P642.26

文献标志码: A

文章编号: 1673-4602(2026)01-0019-10

DOI: 10.3969/j.issn.1673-4602.2026.01.003

Optimization of the layout plan and numerical values of the dewatering well points for a coastal subway foundation pit in Qingdao

LIU Chen¹, ZHANG Jin^{1,*}, LI Qiuyan², LI Ningning³, ZHANG Xiangyu¹,
YANG Jiale¹, LING Xianzhang¹

(1. School of Civil Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266525, China;

2. China Railway 17th Bureau Group First Company, Qingdao 266555, China;

3. Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100045, China)

Abstract: The Qingdao formation belongs to soil-rock combination formation, and the construction of water-stop curtain in this formation is difficult. If encountering strongly weathered rock layers, it is inevitable to have some fissure water. To explore the impact of well number and well depth on groundwater, this study takes a deep foundation pit near the sea in Qingdao Metro as an example and uses Visual Modflow software to predict the precipitation effect of the three schemes in the deep foundation pit model. It is found through simulation that when the well depth remains unchanged, compared with the scheme with a drainage are-

收稿日期: 2024-07-06

基金项目: 山东省自然科学基金(ZR2021MD005)

作者简介: 刘晨(1998—), 男, 河南商丘人。硕士, 研究方向为岩土工程。E-mail: 863799676@qq.com。

* 通信作者: 张瑾(1983—), 女, 山东淄博人。博士, 副教授, 主要从事轨道交通、岩土工程方面的研究。
E-mail: zhangjin@qut.edu.cn。

a of 350 m² for 18 wells, the scheme with a drainage area of 400 m² for 14 wells reduced the depth inside the pit by 4.2 m, the depth outside the pit by 0.039 m, and the ground subsidence caused by precipitation by 0.4 mm. When the drainage area remains unchanged, the water level drawdown inside the 26 m well depth (5 m into the rock) increases by 4.3 m compared with that inside the 24 m well depth (3 m into the rock). The maximum drop outside the pit increases by 0.04 m, and the maximum ground subsidence outside the pit increases by 0.4 mm. According to the planned 20 m's depth reduction of the foundation pit, it can be seen that the scheme for 14 wells with a drainage area of 400 m² and a depth of 26 m, as well as the scheme for 18 wells with a drainage area of 350 m² and a depth of 24 m, meet the construction requirements. Considering time saving, the optimization of well number and material economy, on the basis of meeting the construction conditions, it is more appropriate to select the scheme of 14 wells with a drainage area of 400 m² and a depth of 26 m. The numerical simulation results provide certain reference for the subsequent optimization construction of drainage wells.

Key words: subway deep foundation pit dewatering; numerical simulation; well point optimization; water level drawdown; ground subsidence

经济的持续发展带动了我国建设工程的不断扩展,地铁车站与地下广场等工程的增多,使得深基坑工程的需求量日益增加^[1],从而导致众多安全隐患的产生,这不仅干扰了施工进程的正常性,也对周边环境的安全构成了严重威胁。基坑降水就是其隐患之一,直接决定了基坑工程质量是否安全^[2]。目前基坑降水通常采用止水帷幕与抽水井相结合的方式,以确保基坑底部的稳定性^[3-5]。青岛地区的地质结构特征为上层土壤下层岩石,上层土壤主要由人工填土和沙质土壤构成。这种沙质土壤具有较高的渗透性,能够容易地吸收雨水或地下水;下部岩层主要是岩石,比如页岩、砂岩等,这些岩层的渗透性通常较差,能够起到一定程度的阻隔作用,减缓地下水向基坑渗透的速度。鉴于基坑降水在实际操作中需考虑含水层等多样性的影响因素,现有的研究表明,国内许多学者正在借助 Visual Modflow 软件来改进基坑设计方案。张亮^[6]依据井的覆盖区域,设计了一套疏干井间距的确定方法,并构建了适用于不同间距的降水优化模型,随后将这些模型成功应用于实际工程项目。李凤明等^[7]为了减少排水量节约地下水资源,对地下连续墙进行封底优化。白兆明^[8]研究疏干井数量、间距、深度对降水的影响,并提出最优疏干井布置方案。李飞飞等^[9]对基坑涌水量的预测方法进行了深入研究,通过比较大井法和数值法的预测效果,观察到 2 种方法在预测涌水量上具有可比性,且结果相近,大井法比数值法高出 8.51%。黄应超等^[10]分析了不同回灌策略对抗外水位及地面沉降的作用,发现随着回灌量的增加,水位得到更充分的恢复,对地面沉降的抑制效果也更为明显。王国富等^[11]研究回灌与止水帷幕不同条件下降水对地下水的影响,发现只有回灌时,回灌井设置在基坑周围 10 m,回灌量大于抽水量效果较好,如果结合止水帷幕,回灌井设置在基坑周围 30 m,回灌量控制在抽水量的 1/3 效果较好。马昌慧等^[12]通过 Visual Modflow 软件分析渗流场,然后利用分层总和法计算基坑周边变形场,研究发现随着地点与基坑之间距离的拉大,水头逐步上升,地面沉降幅度则逐步减轻。郑宇^[13]通过设置止水帷幕和抽水井,使基坑内水位降深满足设计要求,坑外水位降深以及地面沉降都比较小。刘志伟^[14]在评估了地铁站的围护条件和挖掘深度之后,运用 Visual Modflow 软件建立了三维地下水渗流模型,以此来优化降水措施。由此看来一个合理的基坑降水方案不仅可以提高施工速度、保证施工安全,还可以预测因基坑降水引起的周边地下水降深以及地面沉降的规律,对工程施工具有指导性作用。

1 工程概况

1.1 基坑概况

青岛某临海地铁深基坑长 133.8 m,车站标准段基坑宽 33.95 m,深 28.84 m,顶板覆土约 3.0 m;端

头段基坑宽 33.95 m, 深约 29.24 m, 该基坑整平地面标高 3.5 m, 基坑面积为 4543 m², 采用地下四层的岛式布局。基坑支护采用地下连续墙隔水方式, 由于基坑较深, 地下连续墙深入微风化火山角砾岩约为 33~38 m。该场地属于海相沼泽地貌单元, 场地东侧 240 m 处为海泊河入海口, 该区域的地下水与海水存在一定的水力联系。为避免基坑开挖时出现塌方危险, 基坑共设置 5 道支撑, 斜撑、腰梁以及第 1 道支撑(800 mm×1000 mm)、第 3 道支撑(1000 mm×1000 mm)、第 4 道支撑(1400 mm×1200 mm)均采用钢筋混凝土结构, 第 2 道支撑、第 5 道支撑采用 $\phi 800$ (壁厚 $t=20$ mm) 的钢支撑(图 1)。为有效阻隔坑内外水力联系, 在基坑周围设置 1200 mm 厚的地连墙, 深入微风化火山角砾岩以下, 地连墙深度范围 33~38 m, 为了槽壁的稳固, 在地连墙两侧实施了 $\phi 850@600$ 标准的三轴水泥搅拌桩加固工程。

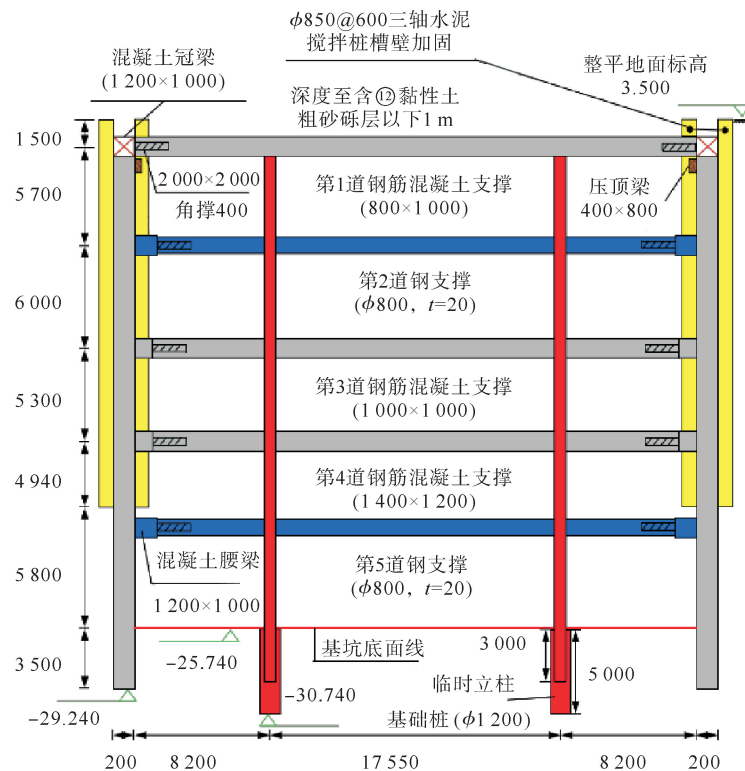


图 1 基坑主体结构某断面(单位:mm)

1.2 地质条件

通过钻探揭示, 场区第四系厚度 18.00~23.20 m。第四系地层主要分布有人工填土层(Q_4^{pl})、全新统海相沉积层(Q_4^{mh})的中砂和含淤泥质粉质黏土层以及上更新统洪冲积层(Q_3^{al+pl})。基岩主要以白垩系青山群火山角砾岩为主, 局部穿插花岗斑岩岩脉。受断裂影响, 部分钻孔中揭露有相应岩性的构造岩。现按地质年代由新到老、标准地层自上而下分述如下: 第①层素填土, 层底标高为 0.15~2.46 m; 第②层中砂, 层底标高为-1.55~1.70 m; 第③层含淤泥质粉质黏土, 层底标高为-11.08~-6.08 m; 第④层含黏性土粗砾砂, 层底标高为-19.58~-6.58 m; 第⑤层强风化火山角砾岩, 层底标高为-24.14~-16.44 m; 第⑥层中风化火山角砾岩, 层底标高为-30.71~-22.71 m; 第⑦层微风化火山角砾岩, 层底标高为-34.64~-22.71 m, 具体分布见主体基坑地质剖面(图 2)。

1.3 水文条件

依据地下水的埋藏条件, 青岛地区拥有潜水和承压水 2 种主要的地下水形态。孔隙潜水主要分布在第①层素填土、第②层中砂, 第四系孔隙潜水主要受大气降水、海泊河水补给, 它们同时受大气降雨和蒸发的影响。在第④层含黏性土的粗砾砂地层中, 广泛分布着第四系的承压水, 这一层的含水岩性主要是砂土, 上覆的隔水层是第③层的含淤泥质粉质黏土, 下伏的隔水层则是基岩层。详勘期间属于枯水期, 现场

实测地下水稳定水位埋深 5.40~6.70 m,绝对标高-1.35~-3.43 m,承压水水头埋深 3.9~6.1 m。通过现场调查,本车站详勘期间地面高程 3.15~3.62 m,地下水位埋深为 1.10~1.60 m,稳定水位标高 1.67~2.28 m。

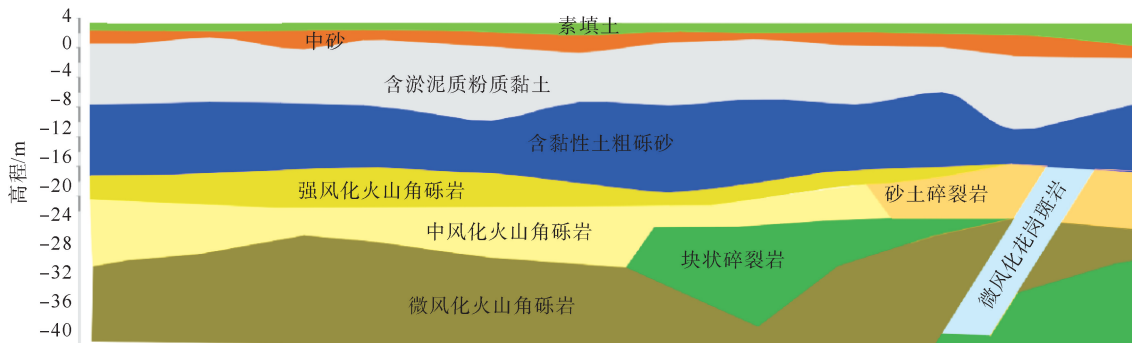


图 2 主体基坑地质剖面

2 疏干井的设计

2.1 基坑出水量估算

依据国家标准《管井技术规范》(GB 50296—2014),基坑帷幕应设计为落底式,即深入到含水层的隔水底板,以疏干基坑内的地下水,降水估算可通过《管井技术规范》中的公式进行计算:

$$Q = FS\mu \quad (1)$$

式中: Q 为基坑内总抽出水量, m^3 ; F 为基坑降水面积, 本文取值为 $4543 m^2$; μ 为土层给水度; S 为含水层顶板至设计安全水位面的距离, m 。

地连墙所围隔的区域中,潜水含水层与承压含水层是基坑涌水的主要来源,基岩以下部分的含水层在勘察中未被揭示,同时应考虑地连墙的渗漏量及下部基岩弱透水层的越流补给量。在基坑降水初期主要以疏干上部土层的水为主,后期水量减少,主要以地连墙的渗漏量及下部基岩弱透水层的越流补给量为主,基坑的总涌水量通过计算得出,见表 1。本工程需降水至砂层以下,而砂层之下是岩层,因此无需考虑基底抗突涌稳定性计算。

表 1 不同地层涌水量计算

地层	μ_i	S_i/m	Q_i/m^3
①素填土、②中砂	0.30	3.0	4 088.25
③含淤泥质粉质黏土	0.04	7.4	1 344.58
④含黏性土粗砾砂	0.35	10.5	16 693.69
⑤强风化岩体/块状碎裂岩	0.02	7.0	635.95
⑥中风化岩体、⑦微风化岩体	0.02	2.0	181.70
基坑总含水量 Q			22 944.17

注: μ_i 为各层的给水度; S_i 为各含水层顶板至设计安全水位面的距离; Q_i 为各层含水量。

2.2 疏干井数量计算

为了保证基坑挖掘工作的顺畅,必须降低挖掘深度内的土壤含水量,坑内的疏干井数量应依据式(2)进行计算以确保适量:

$$n = A/a \quad (2)$$

式中: n 为疏干井的数量,口; A 为基坑所需疏干的面积, m^2 ; a 为单井有效疏干面积, m^2 。

根据现场条件综合分析,基坑面积 $4543 m^2$,按照青岛地区降水疏干经验,单井控制面积 $250 \sim 400 m^2$ 。原方案按照每口疏干井疏干面积 $350 m^2$ 进行计算,考虑一定的备用系数,共设置 18 口疏干井;优化

后的方案按照每口疏干井疏干面积 400 m² 进行计算,共设置 14 口疏干井。

2.3 疏干井深度设计

疏干井的构造取决于多种因素,包括降水的深度、含水层的布局、所使用的过滤器管材质以及井的围护结构,井深依据式(3)来计算:

$$H_w = H_{w1} + H_{w2} + H_{w3} + H_{w4} \quad (3)$$

式中: H_w 为疏干井深度,m; H_{w1} 为自地面算起的降水深度,本次疏干井主要用于疏干第四系潜水及承压水,降水深度为砂层以下,综合考虑降水深度为 20 m; $H_{w2} = i \times r_0$, i 为水力坡度,在疏干井分布范围内宜为 1/10~1/12, r_0 为疏干井分布范围的等效半径或疏干井排布间距的 1/2,m; H_{w3} 为疏干井过滤器工作长度,m; H_{w4} 为沉砂管长度,m。

经计算,疏干井深度 $H_w = 20 + 1 + 2 + 1 = 24$ m。原方案和优化后方案①井深统一为 24 m;为了考虑过滤器对坑内降水的影响,优化后方案②的过滤器工作长度为 4 m,对应的疏干井井深为 26 m。

2.4 疏干井布置

疏干井根据现场地质条件等因素布置,并考虑避开主体结构梁柱位置。结合青岛地区疏干降水经验,疏干井对强透水层疏干效果比较明显,对含淤泥质粉质黏土层等不透水层疏干效果相对较弱,本基坑内排水以疏干井降水为主。

本文在原方案的基础上增加 2 种不同的方案研究不同井点数以及井深对基坑降水的影响,具体优化设计见表 2。基坑内部的疏干井(J)由孔径 650 mm、直径 273 mm 的钢管制成;基坑外部的观测井(G)则设置为孔径 700 mm、直径 400 mm 的无砂水泥管井。疏干井平面以及剖面具体分布见图 3—图 6。

表 2 不同降水方案

方案	疏干面积/m ²	疏干井数量/口	过滤器长度/m	井深/m	观测井数量/口	合计/口
原方案	350	18	2	24	8	26
优化后方案①	400	14	2	24	8	22
优化后方案②	400	14	4	26	8	22

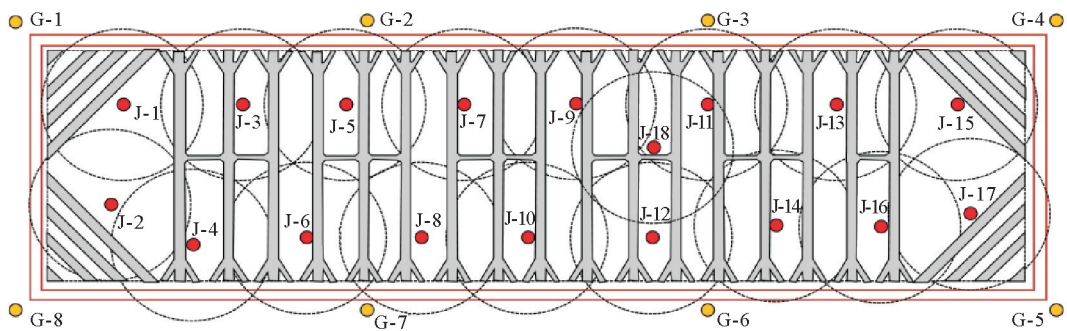


图 3 原设计方案平面疏干井布置示意

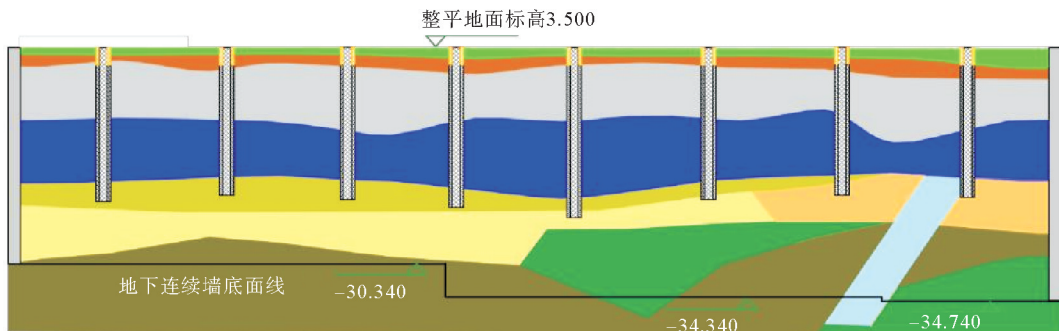


图 4 原设计方案左线纵断面疏干井布置示意(单位:m)

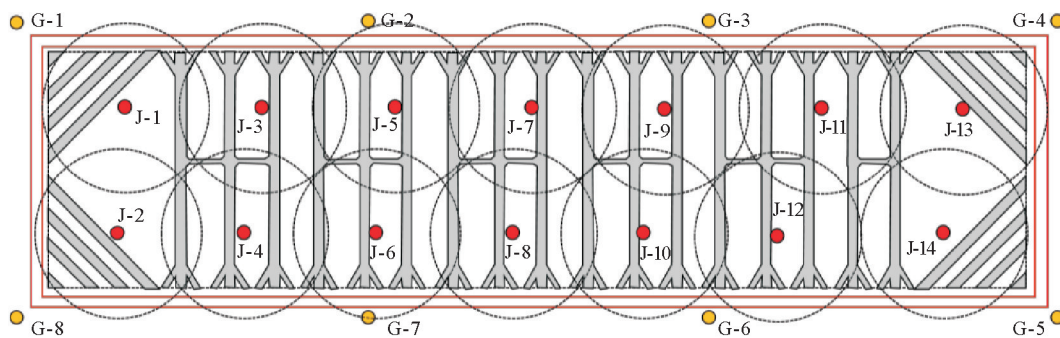


图5 优化后方案疏干井位置分布

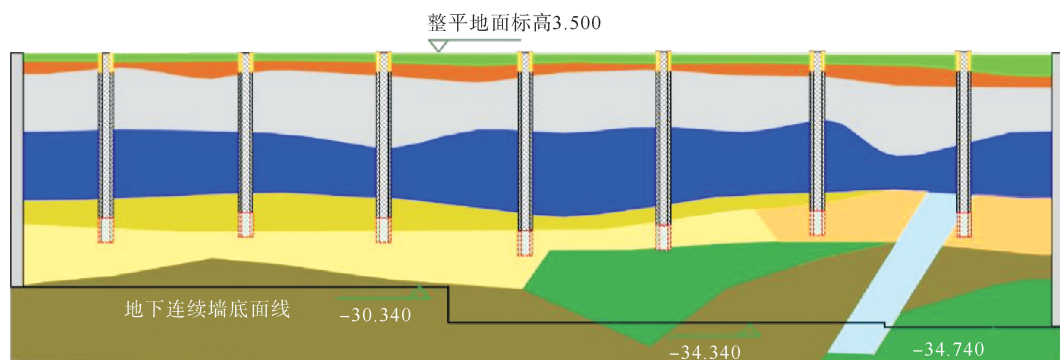


图6 优化后方案左线纵断面疏干井布置示意(单位:m)

3 数值模拟

3.1 地下水流方程的建立

依据本场地的水文地质参数,使用式(4)来创建一个匹配的三维地下水非稳定渗流数学模型^[6]:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x}(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) + W = \frac{E}{T} \frac{\partial h}{\partial t} & (x, y, z) \in \Omega \\ h(x, y, z, t) |_{t=0} = h_0(x, y, z) & (x, y, z) \in \Omega \\ h(x, y, z, t) |_{\Gamma_1=0} = h_1(x, y, z, t) & (x, y, z) \in \Gamma_1 \end{cases} \quad (4)$$

式中: k_{xx} 、 k_{yy} 、 k_{zz} 为各向异性渗透系数, m/d; h 为 (x, y, z) 在 t 时刻的水头值, m; W 为源汇项, 1/d; h_0 为计算域初始水头值, m; h_1 为第一类边界的水头值, m; t 为时间, d; Ω 为计算区域; Γ_1 为第一类边界。

3.2 模型的建立

根据实际情况建立模型,首先在 CAD 软件中建立长、宽分别为 133.8、33.95 m 的平面和抽水井分布位置,并保存 dxf 格式之后导入 Visual Modflow 软件中,输入相关参数并选择非稳定流方式来模拟。

3.3 模型网格加密和分层

网格划分需要结合现场的实际情况,因为网格的疏密程度以及数量对模拟计算的速度和精度有很大的影响^[15],细致的网格布局能够提升计算的准确性,但会导致计算过程变慢;而较粗的网格布局虽然加快了计算速度,却会降低准确性。为了解决此类问题,一般对网格进行不规则划分,重点计算区域应当进行网格加密,非重点区域可适当加密,网格布局的设计特点为中部区域网格密集,向外围逐渐变得稀疏^[16-17]。本次基坑降水模型边界均向四周扩展 400~500 m,模型整体尺寸 1000 m×1000 m,对研究区域进行不规则划分,将模拟区划分为 90 行,128 列,共剖分 11 520 个网格,单元格面积在 2 m×2 m~20 m×20 m,如图 7 所示。在本次工程中,需综合水文地质特征、基坑设计、疏干井设置和止水帷幕深度等多方面因素考虑,为了节约建模和计算时间,将各个模拟层当作等厚度的土层来处理,地面标高按 0 m 进行计算,从上

到下分为 5 层共 40 m,平面网格划分如图 8 所示。

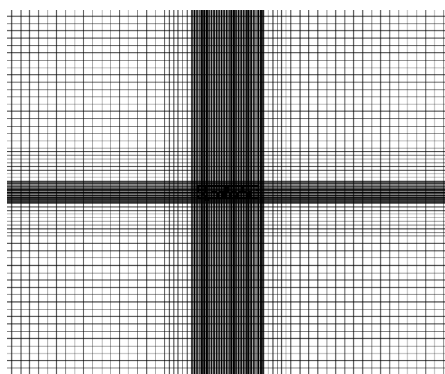


图 7 模型加密

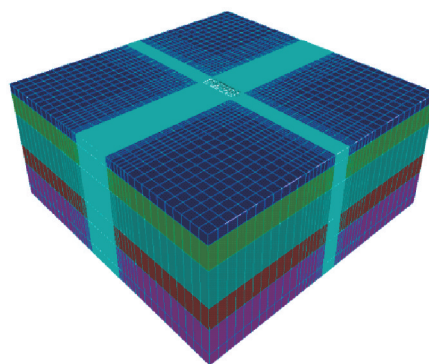


图 8 平面网格划分

3.4 模型参数及边界条件

在设定各层参数时,采用了周边抽水的实验数据、地质勘察的详细资料并融入了地层的埋深和厚度等关键信息,通过经验类比法进行参数估计,模型参数汇总于表 3。

表 3 基坑地层模型参数垂向分层对应

分层编号	岩性	顶板埋深/m	底板埋深/m	水平渗透系数 $K_H/(m \cdot d^{-1})$	垂直渗透系数 $K_V/(m \cdot d^{-1})$	储水系数	含水层性质
1	杂填土	0	-3	20	8.0	1×10^{-3}	强透水层
2	含淤泥质粉质黏土	-3	-10	0.1	0.1	1×10^{-5}	弱透水层
3	含黏性土粗砾砂	-10	-21	15	5.0	1×10^{-3}	承压层
4	强风化岩体	-21	-28	1.0	0.3	1×10^{-4}	弱透水层
5	微风化岩体	-28	-40	0.1	0.02	1×10^{-5}	弱透水层

边界条件包括初始水头、定水头等。根据岩土工程勘察报告里的最高地下水位埋深为 1.10~1.60 m,本模型将埋深-1.1 m 的初始水位视为预测过程中的非稳定流初始流场。本次模拟进行计算时,由于基坑降水对模型边界影响甚微,一般认为水头不会发生变化,因此模型的四周设置为定水头^[18-19],定水头埋深也为-1.1 m。在实际基坑降水工程水位降至过滤器部分时,可能会导致疏干井气密性降低,一般达不到计算中的单井出水量,在数值模拟过程中不考虑此情况,设置单井出水量恒定为 50 m³/d。止水帷幕的渗透系数根据经验值设置为 1×10^{-4} m/d^[20]。根据青岛地铁基坑的施工经验,地连墙一般深入微风化岩,由于现实中微风化岩的厚度、标高不一,导致地连墙的深度也不一样。为了考虑模型的计算效率,止水帷幕统一按照 36 m 深进行计算,模拟降水时间为 30 d。

4 结果与分析

本次基坑降水利用降水软件模拟原设计方案 18 口疏干井和优化后方案 14 口疏干井在不同井深(24 和 26 m)运行 30 d 对基坑降水的影响。数值模拟时默认止水帷幕无裂缝,质量完好,不会发生渗漏。

4.1 降深分析

模拟疏干井的过滤器最低高程为-22 m 左右,因此当降深达到-22 m 左右坑内水位会稳定在-22 m 左右的位置。图 9 为降水 30 d 的不同方案水位降深平面图,原方案基坑内平均降深达到 21.9 m,坑外水位最大降幅在基坑边缘位置,达到 0.242 m;优化后方案①基坑内平均降深达到 17.7 m,坑外水位最大降深出现在基坑边缘位置,为 0.203 m,坑外降深满足设计要求,但是坑内降深尚未达到设计时设定

的标准;优化后方案②基坑内平均降深 22.0 m,坑外水位最大降深出现在基坑边缘位置,为 0.243 m,满足设计降深要求。图 10 为基坑内降深随时间的变化曲线,从图中可知原方案降深在 28 d 达到 20.3 m;优化后方案①在 36 d 时坑内降深 20.4 m;优化后方案②坑内降深在 22 d 时达到 20.2 m,之后趋于平稳。由此可见通过改变过滤器的长度增加井深,对基坑内降水还是很明显的,优化后方案②比原方案节省 8 d 的时间提前到达指定降深,因此减少疏干井数量并增加过滤器长度是可行的。从以上结果分析,3 种方案的坑内降水对坑外地下水影响不大,与原方案相比,优化后方案①坑内降深减少了 4.2 m(下降 19%),坑外降深减少了 0.039 m(下降 16%);优化后方案②基坑内水位降深增加了 0.1 m(增加 0.45%),坑外最大降深增加了 0.01 m(增加 4%)。优化后方案②相比于方案①坑内降深增加了 4.3 m(增加 24%),坑外最大降深增加了 0.04 m(增加约 19%)。图 11 为坑外水位降深曲线图,从图中可以看出原方案与优化后方案②的

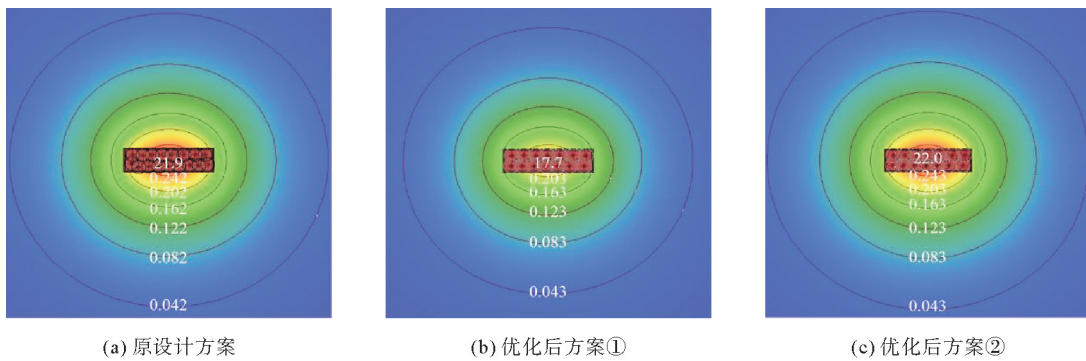


图 9 运行 30 d 后不同方案的水位降深平面(单位:m)

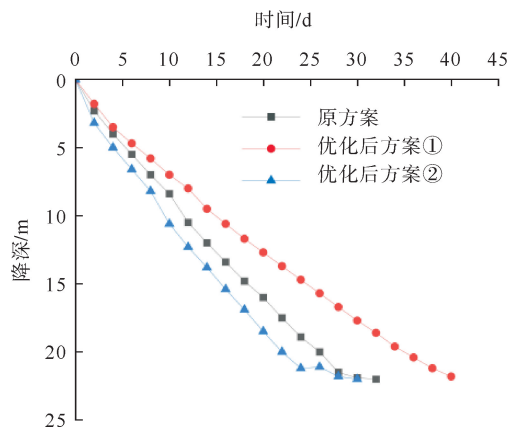


图 10 基坑内平均降深曲线

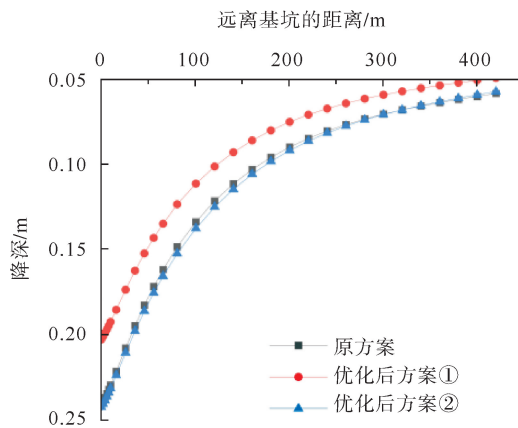


图 11 基坑外水位降深曲线

降深曲线几乎一致,两者之间的差异微小,对坑外地下水水位的影响轻微,不足以对外部环境构成严重影响。随着距离基坑越来越远,3 种方案下的地下水位降深都趋于减少,同时水头呈现出上升趋势,这一规律与天津某地铁基坑降水^[21]、济南地铁滩头站基坑降水^[22]、马鞍山一号泵站基坑降水^[23]等研究的规律一致,说明该三维渗流模型运用在青岛上土下岩土层仍具有适用性和可行性。另外,基坑开挖区域的降水效果令人满意,现场观察到杂填土层、含淤泥质粉质黏土层和含黏土粗砾砂层的地下水已被清除,如图 12 所示。



图 12 现场降水效果

4.2 周边环境沉降预测

由于基坑内部抽水导致外围水位下降,会引发基坑周边地面的沉降现象。在没有大量泥沙排出的条件下,可以应用分层总和法对降水导致的地面沉降进行计算^[24]。根据之前模拟出的水位降深数据,通过分层总和法公式计算得到地面沉降数据,经过整理如图 13 所示。

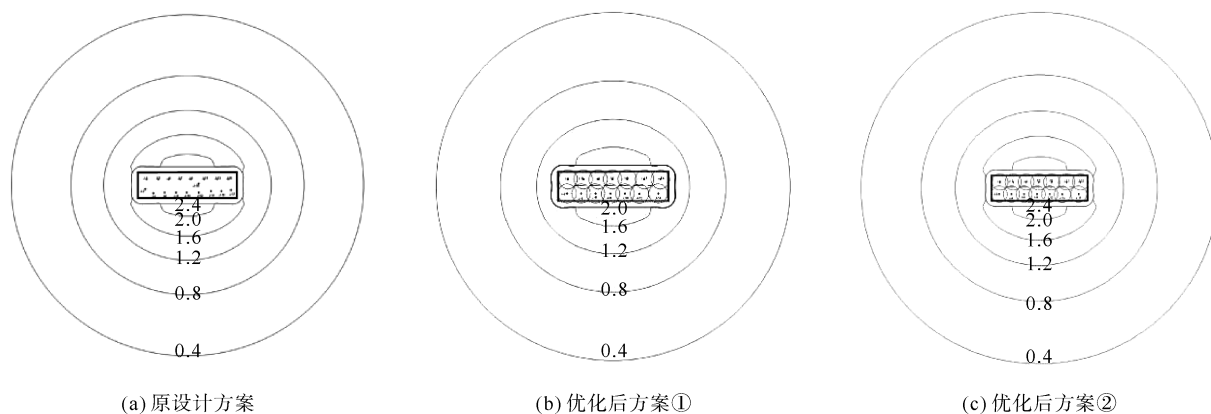


图 13 运行 30 d 3 种方案对应的地面沉降(单位:mm)

基坑内经过 30 d 的降水,引起的坑外水位下降导致地面沉降,从图 13 中可以看出 3 种方案的降水引起的地面沉降最大值均出现在基坑边缘位置,沉降值分别为 2.4、2.0、2.4 mm;优化后方案①相比于原方案地面沉降下降了 0.4 mm,而优化后方案②相比于原方案的地面沉降差别非常小;优化后方案②相比于优化后方案①降深增加了 0.4 mm。通过以上 3 种不同方案比较,地面沉降均随着离基坑距离的增加而减小,这一规律与刘厚成等^[25]研究所得的规律一致,这表明采用这种方法对预测基坑降水所诱发的地面沉降是切实可行的。由此可见选择优化后方案②比较好,不但坑内外降深满足要求,地面沉降也满足要求,相比于原方案节省了 8 d 时间。

5 结论

针对青岛某临海地铁深基坑工程概况,通过 Visual Modflow 数值计算软件建立等效于青岛上土下岩类型土层的三维渗流模型,分析 3 种不同方案的基坑降水引起的地下水位降深,最后根据模拟出来的降深结果通过分层总和法计算基坑周围的地表沉降。

1) 距离基坑越远,观察到的水位降深和地面沉降的程度就越小。

2) 在运行 30 d 后,优化后方案①相比于原方案,坑内降深减少了 4.2 m,坑外降深减少了 0.039 m,降水引起的地面沉降减少了 0.4 mm;而优化后的方案②相比方案①,基坑内水位降深增加了 4.3 m,坑外最大降深增加了 0.04 m,坑外最大地面沉降增加了 0.4 mm。

3) 针对该基坑降水工程,认为布置 14 口疏干面积为 400 m²,过滤器长度 4 m,井深 26 m 的方案②比较合适。

参考文献(References):

- [1] 梁发云,贾亚杰,邓航,等. 深基坑降水沉降计算土体弹性参数取值方法探讨[J]. 岩土工程学报,2017,39(S2):29-32.
LIANG Fayun, JIA Yajie, DENG Hang, et al. Discussions on elastic parameters of soil for land subsidence caused by decompression of confined aquifer in deep excavation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 39(S2): 29-32.
- [2] 刘林. 黄土场地深基坑降水试验与数值模拟研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2012.
LIU Lin. Loess field deep foundation pit dewatering test and numerical simulation[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2012.
- [3] WU Y X, SHEN S L, YUAN D J. Characteristics of dewatering induced drawdown curve under blocking effect of retaining wall in aquifer[J]. Journal of Hydrology, 2016, 539: 554-566.

- [4] ZENG G X. Combined recharge: A method to prevent ground settlement induced by redevelopment of recharge wells[J]. *Journal of Hydrology*, 2019, 568 : 1-11.
- [5] LU W, ZHAO D, LAN W. The effect of excavation dewatering and supporting structure deformation on soil settlement[J]. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2015, 20(9): 3955-3964.
- [6] 张亮. 地铁区间降水优化方案研究及其应用[D]. 北京: 北京交通大学, 2021.
ZHANG Liang. Research and application of dewatering optimization scheme in metro tunnel[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021.
- [7] 李凤明, 黄骁, 张彬, 等. 北京地铁8号线永定门外站基坑降水方案优化[J]. *市政技术*, 2016, 34(6): 171-174.
LI Fengming, HUANG Xiao, ZHANG Bin, et al. Optimum design of foundation pit dewatering at Yongdingmenwai Station of Beijing Metro Line 8[J]. *Municipal Engineering Technology*, 2016, 34(6): 171-174.
- [8] 白兆明. 泉域承压水地层深大基坑降水优化方案研究[J]. *施工技术*, 2024, 53(10): 51-56.
BAI Zhaoming. Study on optimization scheme of deep and large foundation excavation dewatering in Springconfined Water Area[J]. *Construction Technology*, 2024, 53(10): 51-56.
- [9] 李飞飞, 高福华, 牛真茹, 等. 合肥地铁4号线和平路站深基坑涌水量预测分析[J]. *施工技术*, 2018, 47(S1): 1343-1348.
LI Feifei, GAO Fuhua, NIU Zhenru, et al. Prediction and analysis of water inflow in deep foundation excavation of heping road station of Hefei metro line 4[J]. *Construction Technology*, 2018, 47(S1): 1343-1348.
- [10] 黄应超, 徐杨青. 深基坑降水与回灌过程的数值模拟分析[J]. *岩土工程学报*, 2014, 36(S2): 299-303.
HUANG Yingchao, XU Yangqing. Numerical simulation analysis of dewatering and recharge process of deep foundation pits[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2014, 36(S2): 299-303.
- [11] 王国富, 王倩, 路林海, 等. 济南轨道交通某深基坑降水与回灌数值分析[J]. *地下空间与工程学报*, 2017, 13(5): 1280-1288.
WANG Guofu, WANG Qian, LU Linhai, et al. Numerical analysis on dewatering and recharging of a deep foundation pit of Jinan railway[J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2017, 13(5): 1280-1288.
- [12] 马昌慧, 毛云, 黄魏, 等. 帷幕在降水条件下对基坑周边渗流及变形影响的研究[J]. *岩土工程学报*, 2014, 36(S2): 294-298.
MA Changhui, MAO Yun, HUANG Wei, et al. Effects of dewatering methods on seepage and deformation of foundation pits[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2014, 36(S2): 294-298.
- [13] 郑宇. 某地铁基坑降水的数值模拟分析[J]. *福建建设科技*, 2022(4): 43-46.
ZHENG Yu. Numerical simulation analysis of the dewatering in a subway foundation pit[J]. *Fujian Construction Science & Technology*, 2022(4): 43-46.
- [14] 刘志伟. 地铁车站深基坑降水三维数值模拟分析[J]. *城市勘测*, 2020(6): 187-192.
LIU Zhiwei. Three-dimensional numerical simulation analysis of deep foundation pit dewatering of metro station[J]. *Urban Geotechnical Investigation & Surveying*, 2020(6): 187-192.
- [15] 徐亚萍. 含水层水力特征及基坑降水数值模拟分析[D]. 苏州: 苏州大学, 2022.
XU Yaping. Analysis of hydraulic characteristics of aquifer and numerical simulation of foundation pit dewatering[D]. Suzhou: Suzhou University, 2022.
- [16] 龚英杰. 富水砂层悬挂式止水帷幕适用性试验与分析[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
GONG Yingjie. Applicability test and analysis of pensile curtain for water-rich sand stratum[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017.
- [17] 蔡娇娇. 落底式止水帷幕条件下承压含水层基坑降水设计方法研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2018.
CAI Jiaojiao. Study on dewatering design method of foundation pit with drop waterproof curtain in confined aquifer[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2018.
- [18] 隋晓岚. 扬中地区含粉砂夹层淤泥质土地基基坑降水技术研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2020.
SUI Xiaolan. Study on foundation pit dewatering technology in muddy soil site with silty sand interlayer in Yangzhong area[D]. Zhenjiang: Jiangsu University of Science and Technology, 2020.
- [19] 徐铭霜. 某沿海地区海水入侵动态变化规律及防治措施研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2022.
XU Mingshuang. Research on the dynamic variation rule of seawater intrusion and controlling measures in a coastal region[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2022.
- [20] 钱林根, 李鹏举, 谢致清, 等. 设置水平隔水帷幕的基坑降水开挖对周边环境的影响分析[J]. *河北工业科技*, 2022, 39(1): 49-55.
QIAN Lingen, LI Pengju, XIE Zhiqing, et al. Analysis on the influence of foundation pit dewatering and excavation with horizontal waterproof curtain on surrounding environment[J]. *Hebei Journal of Industrial Science and Technology*, 2022, 39(1): 49-55.

(下转第44页)