

# 上海某超大基坑微承压水降水设计与应用

康 帅<sup>1</sup> 史 君<sup>1</sup> 金炜杰<sup>2</sup>

1. 上海国际汽车城集团有限公司 上海 201817

2. 上海江南建筑设计院(集团)有限公司 上海 201800

**摘 要:** 随着经济的发展, 基坑工程规模的不断变大, 基坑开挖深度的不断加深, 基坑周边的建(构)筑物保护要求逐渐变高, 基坑降水对基坑周边环境的影响逐渐变大。根据现有达西定律、地下水的渗流与水力坡度之间的线性关系、有限元软件的数字模拟分析等众多理论研究<sup>[1]</sup>, 目前对基坑悬挂式降水与封闭式降水对周边环境的影响分析相对较少, 因此研究悬挂式止水帷幕与封闭式止水帷幕对周边环境的变形结果对比分析, 对完善基坑工程的设计方案、基坑的安全施工具有一定的参考和指导意义。

**关键词:** 基坑工程; 基坑降水设计; 基坑降水对周边环境的影响; 止水帷幕

本文主要通过对上海某地区基坑工程中有大范围微承压含水层, 且含水层厚度为2~18m, 微承压水范围广、降水深度大、探讨大范围微承压水降水设计思路、以及基坑降水对周边环境的影响。

## 1 工程及地质概况

本项目为上海市嘉定区最大建筑规模的安置房项目, 基坑总开挖面积约112100m<sup>2</sup>, 基坑围护总周长1775m, 基坑开挖深度为5.2m。基坑东侧为现状河道, 基坑南侧为现状河道, 基坑西侧为规划道路, 基坑北侧为规划道路。

### 1.1 工程地质条件

根据工程地质资料, 场地内勘察在所揭露70.45m深度范围内, 主要由黏性土、粉性土及砂土组成。根据土的成因、结构及物理力学性指标划分为七个工程地质层。水文地质参数如下:

表1 水文地质参数

土层	平均层厚	天然含水量	渗透系数 (cm/s)
①层杂填土	1.89m	30.0%	1.0X10 <sup>-5</sup>
②层粉质黏土	1.79m	29.7%	2.0X10 <sup>-6</sup>
③ <sub>1</sub> 层淤泥质粉质黏土	4.61m	39.2%	2.0X10 <sup>-6</sup>
③ <sub>2</sub> 层砂质粉土	9.69m	26.9%	4.0X10 <sup>-4</sup>
③ <sub>3</sub> 层黏土	9.15m	39.3%	3.0X10 <sup>-7</sup>
⑥ <sub>1</sub> 层粉质黏土	5.56m	24.2%	3.0X10 <sup>-7</sup>
⑥ <sub>2</sub> 层砂质粉土	4.05m	26.3%	1.0X10 <sup>-5</sup>
⑥ <sub>3</sub> 层粉质黏土	7.89m	33.7%	1.0X10 <sup>-5</sup>

### 1.2 水文地质条件

#### 1.2.1 潜水

本场地浅部地下水属潜水类型, 主要赋存于地表松散填土层。勘察期间所测潜水稳定水位埋深为

0.45~2.60m, 相应水位标高为1.31~3.45m, 受降雨影响, 以致于局部地下水位偏高。

#### 1.2.2 微承压水

本场地微承压水, 主要赋存于第③<sub>2</sub>层砂质粉土、第⑥<sub>2</sub>层砂质粉土中, 微承压水位低于潜水位, 呈周期性变化, 水位埋深3.0~11.0m。第③<sub>2</sub>层砂质粉土层顶埋深4.5m。局部区域③<sub>2</sub>层砂质粉土与⑥<sub>2</sub>层砂质粉土相互联通, 导致基坑开挖深度范围内含水量相对丰富。

## 2 基坑降水设计

本工程基坑总开挖面积约112100m<sup>2</sup>, 基坑围护总周长1775m, 基坑开挖深度为5.2m。主要采用水泥土搅拌桩重力坝挡墙的围护形式。基坑南侧为③<sub>2</sub>层分布区, 局部区域存在③<sub>2</sub>层与⑥<sub>2</sub>层含水层相连, 基坑降水平面布置图如下:

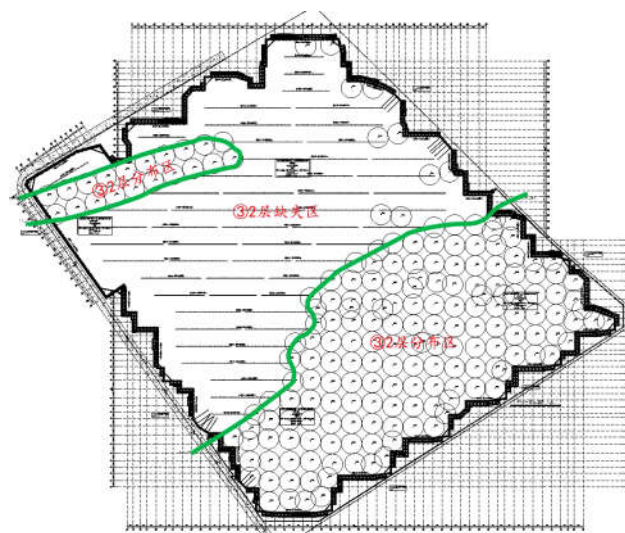


图1 基坑降水平面布置图

场地范围内③<sub>2</sub>层分布较广且层厚较厚, 微承压水含

水量丰富。因③<sub>2</sub>层微承压水埋深约为4.5~24.5m,埋深较深,双轴搅拌桩超过18m长后施工困难,止水帷幕施工质量难以控制,不能形成封闭式止水帷幕。三轴搅拌桩止水帷幕适宜深度为18m~35m。故本基坑工程采用三轴水泥土搅拌桩隔断③<sub>2</sub>层含水层分布区域,且三轴搅拌桩进入不透水层均不小于1.5m。③<sub>2</sub>层含水层分布区再结合真空管井进行降水。③<sub>2</sub>层含水层缺失区域采用轻型井点降水。轻型井点降水与真空管井相结合的降水方式,更适合本工程的实际情况。

### 2.1 降水设计

由于本项目含有深厚的砂质粉土层,具有渗透性大,透水性高等特点,基坑开挖时易产生管涌、流土、渗流破坏等风险,基坑开挖前进行预降水,具有疏干土体,方便开挖和施工,以及加固土体,提高被动区抗力的作用。因此基坑开挖施工时,必须采取有效的降水措施,保证开挖的顺利进行。

根据地质资料,基坑南侧③<sub>2</sub>层分布区,外设置隔断式止水帷幕,基坑内降水采用真空管井的降水方式,保证水位降至坑底下0.5~1.0米,坑内降水应于开挖前两周进行;基坑内预降水时必须监测坑外水位变化情况,坑内降水应不影响坑外水位变化,根据监测情况对降水施

工进行调整。

本工程降水计算,需要降水的层位包括①、②、③<sub>1</sub>、③<sub>3</sub>层潜水、③<sub>2</sub>及⑥<sub>2</sub>微承压水。基于前述场地水文地质条件,本降水设计方案采用多滤头深井进行地下水的降水。

微承压水位平均水位按3.0m<sup>[2]</sup>考虑,现对本项目相关疏干井计算如下(按微承压水非完整井进行计算)<sup>[3]</sup>:

#### 2.1.1 微承压水含水层厚度M

$$M = 24.5 - 4.5 = 20.0\text{m}$$

#### 2.1.2 基坑等效半径 $r_0$

$$r_0 = \sqrt{A/\pi}$$

$$r_0 = \sqrt{A/\pi} = \sqrt{112100/3.14} = 188.95\text{m}$$

#### 2.1.3 微承压水含水层渗透系数k (m/d)

$$k = 0.3456\text{m/d}$$

#### 2.1.4 降水影响半径R

$$R = 10S_w\sqrt{k}$$

$S_w$ ——井水位降深(m);当井水位降深小于10m时,取 $S_w=10\text{m}$ ;

$$R = 10S_w\sqrt{k} = 10 \times 10 \times \sqrt{0.3456} = 58.79\text{m}$$

#### 2.1.5 总涌水量Q (m<sup>3</sup>/d)

$$Q = 2\pi k \frac{Ms_w}{\ln(1 + \frac{R}{r_0}) + \frac{M-l}{l} \ln(1 + 0.2 \frac{M}{r_0})}$$

$$Q = 2 \times 3.14 \times 0.3456 \times \frac{20.0 \times 10}{\ln(1 + \frac{58.79}{188.95}) + \frac{20.0 - 5}{5} \times \ln(1 + 0.2 \times \frac{20.0}{188.95})} = 1300.64\text{m}^3/\text{d}$$

#### 2.1.6 单井出水量q (m<sup>3</sup>/d)

$$q = 120\pi r_s l \sqrt{k}$$

$$q = 120 \times 3.14 \times 0.1365 \times 5 \times \sqrt{0.3456} = 180.5\text{m}^3/\text{d}$$

#### 2.1.7 管井数量n

$$n = 1.1 \frac{Q}{q}$$

$$n = 1.1 \times \frac{1300.64}{180.5} \approx 8 \text{ (口)}$$

结合计算及上海地区基坑降水<sup>[3]</sup>现场实际情况,布置8口降水井不能满足坑底降水要求。

基坑③<sub>2</sub>层分布区域面积约为44880m<sup>2</sup>,按照每250~300m<sup>2</sup>布设1口疏干井考虑。

$$n = 44880/300 \approx 150$$

最终根据基坑规模及形状,基坑③<sub>2</sub>层分布区域(南区)拟布置150口降水井。

### 2.2 基坑降水影响与基坑止水帷幕分析:

#### 2.2.1 基坑降水的影响主要有三个方面:

第一降水引起水位的下降使得水位线变化范围内的土体的被动土压力增加;

第二基坑降水期间,坑内外水头高差形成渗流,地下水在渗流过程中受到土层阻力作用,并沿着流径路线总水头逐渐降低。由于土体收到水渗透力的作用,增加了土体颗粒间的相互作用力,引起土压力变大,从而引起围护结构变形过大,影响周边地表沉降。

#### 2.2.2 封闭式止水帷幕相较于悬挂式止水帷幕的区别:

第一采用封闭式止水帷幕,能加快坑内土体固结,有利于坑底抗隆起,更有利于基坑安全;

第二采用封闭式止水帷幕,更有利于加快基坑降水速度,坑内疏干③<sub>2</sub>层含水层,隔断坑内外水力联系,实际运行的降水井数量与降水井的运行时间均相对减少,但仍需遵循按需降水的原则,更有利于基坑安全。

第三本工程基坑开挖面积相对较大,微承压含水层

厚度厚,采用悬挂式止水帷幕,若施工期间坑内地下水绕流进入坑内,需降水量增大,造成工期增加较长,且在基坑开挖施工期间有突涌的风险,影响基坑安全性,并产生较大的经济损失。

第四悬挂式止水帷幕与封闭式止水帷幕坑内水位差<sup>[4]</sup>:

不同止水帷幕长度下的微承压水水头标高平面分布不同,当采用封闭式止水帷幕时,基坑四周的地下水位分布均匀,采用悬挂式止水帷幕时四周地下水位分布不均,封闭式止水帷幕有效的阻隔了基坑外地下水的补给,使得基坑内外水位差较大。

综上所述,悬挂式止水帷幕基坑内外侧水头差则相对较小;封闭式止水帷幕基坑内外侧水头差相对较大。

2.2.3 采用某岩土软件数值模拟:围护桩兼为止水帷幕、悬挂式止水帷幕、封闭式止水帷幕时降水与的沉降变形的计算分析结果:

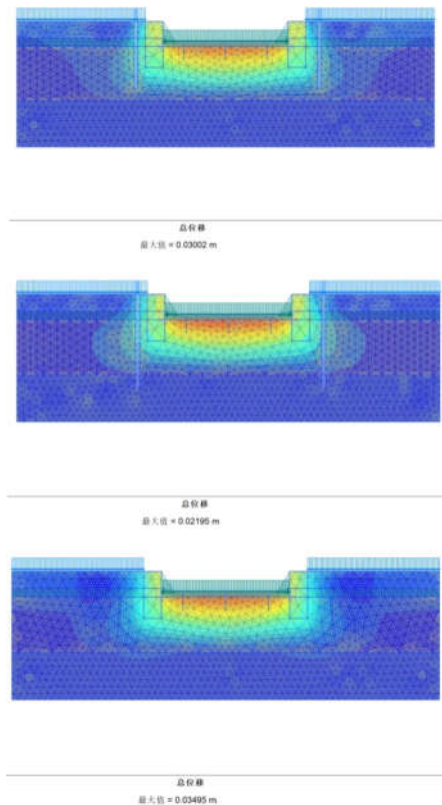


图2

基坑围护桩兼做止水帷幕式时最大沉降变形为34.95mm,基坑新增悬挂式止水帷幕时(止水帷幕落底深度约为10m)基坑最大沉降变形为30.02mm,基坑新增封闭式止水帷幕时(隔断③<sub>2</sub>层微层压水)基坑最大沉降变形为21.95mm。采用封闭式止水帷幕比悬挂式止水帷幕位移控制效果提高了约26.9%,采用封闭式止水帷幕比围护桩兼做止水帷幕控制位移效果提高了约37.2%。

### 3 项目现场实施结果

本工程项目封闭式止水帷幕隔断③<sub>2</sub>层实施后,再结合现场基坑降水情况验证降水设计理论是否与实际相符。

基坑外侧的42个水位监测孔均显示水位与坑内降水基本没有关联,坑内水位降低6.2m,坑外水位变化仅100mm~500mm。在后期基坑开挖施工过程中坑内降水需求量很低,基坑内的③<sub>2</sub>层含水土层疏干效果非常明显,基坑周边环境沉降较小。充分说明采用封闭式止水帷幕的封闭止水的效果,达到了我们的设计目标。

根据基坑监测数据资料,基坑开始降水前,基坑周边地表沉降相对较小,基坑降水开挖施工期间,基坑地表沉降相对较大,基坑底板施工完成后,基坑周边地表沉降相对趋于稳定。整体沉降过程可以概述为三个步骤,缓慢沉降阶段、加速沉降阶段、沉降趋于稳定阶段<sup>[5]</sup>。

### 4 结论

本文对上海某地区基坑进行分析,针对大范围含有较厚微承压水的砂性土层基坑,设计合理的止水帷幕和降水方案,通过理论计算及实际监测数据结果对比,得出以下几个结论:

第一在深厚微承压含水砂层基坑中,具有渗透性大,透水性高等特点,基坑坑底有突涌的风险,为避免坑底突涌,需要设置封闭式止水帷幕结合真空管井降水,慎重选择悬挂式止水帷幕。

第二采用封闭式降水更有利本基坑的施工,更有利于基坑的安全性,保证基坑的施工进度计划,按整体施工进度计划来看,更具有一定的经济性。

第三在砂土分布范围区域,基坑降水引起的坑外侧的地表沉降随着止水帷幕的深度增加而减小。基坑地表沉降由慢到快,最后趋于稳定<sup>[6]</sup>。

### 参考文献

- [1] 阎波,太俊,胡科,徐伟,韩帅.部分落底式止水帷幕在基坑降水中的应用[J].长江科学院院报,2023,(9):98-105.
- [2] 上海市城乡建设和交通委员会,第946号文基坑降水管理规定,2015
- [3] 华东建筑设计研究院有限公司,DG/TJ08-61,基坑工程技术标准,上海,同济大学出版社,2018
- [4] 建设综合勘察研究设计院有限公司,JGJ120-2012,建筑与市政工程地下水控制技术规范,北京,中国建筑工业出版社,2016
- [5] 杨洪杰,崔永高,孙建军.上海第⑨层减压降水悬挂式隔水帷幕深度的设计方法.建筑施工,2022,(8):1758-1760
- [6] 邵朝阳,蒲成志,肖智巧.悬挂式止水帷幕对渗流场及坑外沉降的影响分析.南华大学,2022,(1):36-40.