

摘要:结合上海轨道交通 10 号线一期工程 110 kV 溧阳路主变电所的施工实践,介绍了一种全新的通过以三轴搅拌桩作为止水帷幕,垂直隔断微承压水的方法,妥善解决了城市深基坑施工所面临的抽水降压对周边环境的影响的问题。

关键词:超深三轴搅拌桩;止水帷幕;深基坑;施工方案比选;施工实施

随着城市市政建设的大发展,地下空间的开发规模也不断扩大,出现了越来越多的深基坑工程;同时,深基坑工程还面临着深度大、地质水文条件复杂和对周边环境保护要求日趋苛刻等问题。为妥善解决这些问题,在上海轨道交通 10 号线一期工程 110kV 溧阳路主变电所的施工中,采用了一种全新的超深三轴搅拌桩止水帷幕垂直隔断工法的关键技术。实践证明,该工法不仅节约成本,而且可以较好地解决深基坑施工时所面临的承压水危害及周边环境保护等难题。

1 工程概况

1.1 基坑概况

拟建工程位于同嘉路—海伦路交界处,结构设计使用年限为 100 a,抗震设防烈度为 7 度,结构按上海市《城市轨道交通设计规范》和《上海市地基基础设计规范》要求,基坑保护等级为一级。主变电所结构形式为地下三层、地上一层钢筋混凝土结构,平面尺寸为 25 m×63 m,总建筑面积 4606 m²。基坑开挖深度为 18.45 m,基坑围护采用 800 mm 地下连续墙,深度为 35 m。连续墙外侧设三轴搅拌桩止水帷幕,深度为 48 m,28~48 m 范围水泥掺量为 25%,其它为 20%。搅拌桩加固体 28 d 龄期的无侧限抗压强度要求不小于 1.2 MPa;渗透系数不大于 1e-08。基坑开挖时,竖向共设五道支撑,其中第一、四道为钢筋混凝土支撑,其它为 Φ609 mm 钢支撑(其中第五道为双拼)。

1.2 基坑环境条件

基坑距离海伦路约 25 m。海伦路上有上水、雨水、污水、电话及煤气共 5 根管线需保护。基坑距离同嘉路约 5 m。同嘉路上有上水、雨水及煤气共 3 根管线需保护。海伦路和同嘉路另一侧均为老式单层、多层居民房屋。基坑紧邻运营中的地铁 4 号线,距离风亭仅 11.5 m,距离 2 号出入口 25 m。施工过程中需采取相应的监护措施,确保周边环境的安全。

1.3 工程地质、水文条件

1.3.1 地基土层特征

根据变电所位置调整前的详勘和调整后的原来基础上进行的两次补勘情况分析,场地 60m 深度范围内,按成因类型、土层结构及其性状特征共划分为 4 层,为上海地区古河道切割区。第③、⑥层缺失、沉积了较厚的⑤层,各土层分布较为稳定,基本连续分布。根据广联建设发展有限公司最后一次补勘结果显示:⑤3 层灰色黏土层顶标高在-41.07~-42.89 m 左右,勘察期间两只 70 m 静探孔仅一孔钻穿,揭示层厚 23.5 m,57 m 以下夹粉性土。典型地质剖面见图 1。

1.3.2 水文地质条件

场地浅部地下水属潜水类型,埋深为 0.50~0.80 m,绝对标高为 2.26~3.24 m。

场地揭示的微承压水分布于⑤2-1 和⑤2-2 层中,水位均呈幅度不等的周期性变化。根据区域观测资料,⑤2 层微承压水水头埋深约为地表下 3.0~8.0m,补勘期间获得微承压水水头为地表下 2.87m(标高 0.54 m)。

2 施工方案比选

结合本基坑所处场地的地质水文条件及环境条件,考虑到基坑开挖深度大,开挖面局部进入⑤2 层,大约开挖到 8 m 深时,微承压水产生突涌作用,需按要求降低微承压水头,确保开挖到底时水头降至地面以下约 19 m。此方案将给周边环境带来很大风险。施工前试图通过适当的技术方案来垂直隔断微承压水的水平补给,以不降或少降坑外微承压水头来达到保护周边环境的目的。因此,对以下方案进行了分析和比选。



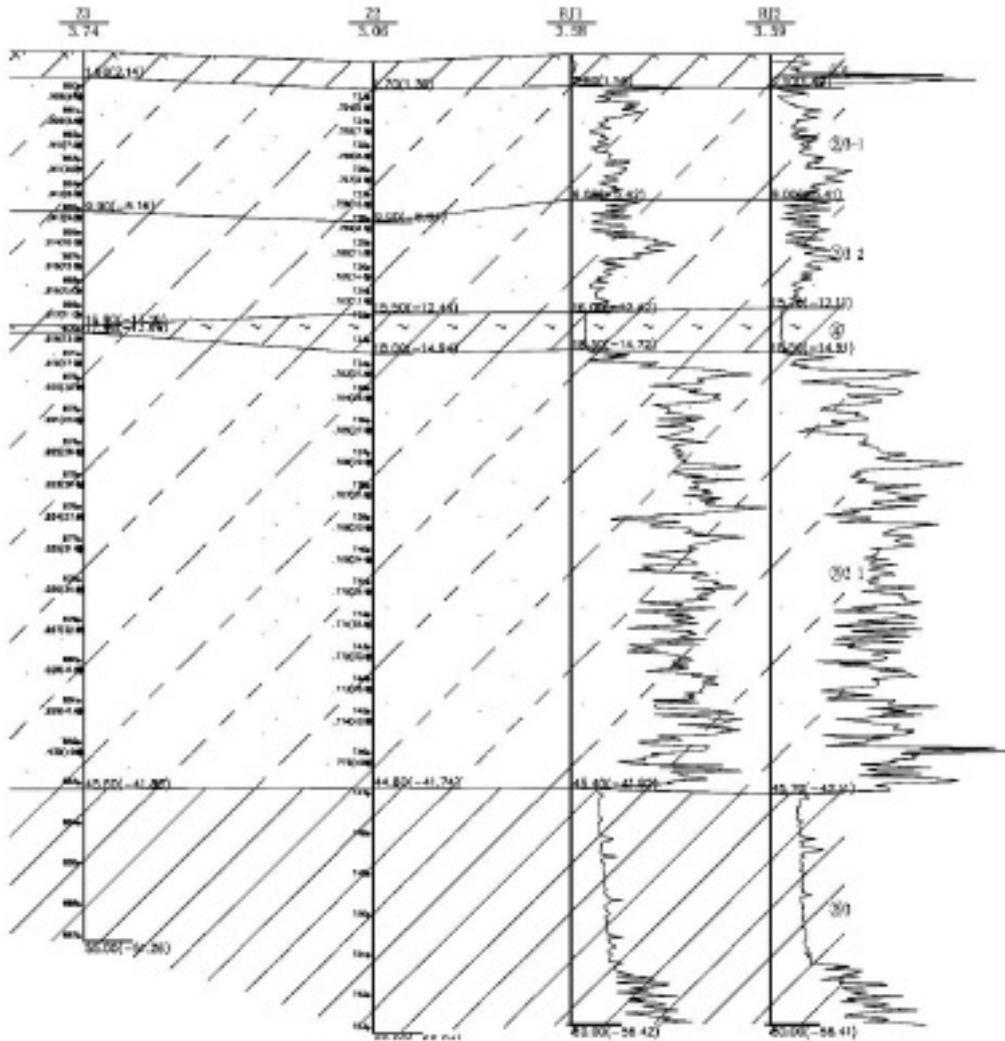


图 1 工程地质剖面图

(1)方案一:若连续墙维持 800mm 厚,深度增加至 48m,将面临接缝质量难以保证、成槽坍方难以控制以及由于锁口管刚度不足、难以保证顺利起拔等困难,尚无同样厚度的连续墙施工经验可以借鉴。

(2)方案二:若连续墙加厚至 1000 mm,深度为 48m,虽然有成功经验可供借鉴,但也将面临接缝渗漏水这一重要问题。需对接缝进行技术处理,但此方案成本投入较大。

(3)方案三:外侧采用 48 m 超深三轴搅拌桩形成止水帷幕,连续墙控制在 35 m,通过止水帷幕垂直隔断承压水。但超深三轴搅拌桩为全新工艺,对于作为超大全封闭基坑的隔水效果尚待验证。

经对三个方案的反复权衡和比选,最终确定采用方案三——超深三轴搅拌桩垂直隔断的施工方案。

3 超深三轴搅拌桩止水帷幕施工

3.1 施工设备

采用三轴搅拌机现场连接钻杆的方式对地下连续墙外侧土体进行三轴深层搅拌桩加固施工。

主要设备有:DH658 型桩机、MAC-240-3B 型三轴搅拌机、BW-200 型压浆泵、EX-200 型挖掘机、12 m³ 空气压缩机及自动拌浆系统等。

3.2 工艺流程

清除地表障碍物→开挖沟槽→布置拆接钻杆平台→桩机就位→拌制水泥浆→喷浆、喷气下沉搅拌喷浆→(不喷气)提升搅拌→搅拌结束,移至下一桩位施工(见图 2)。



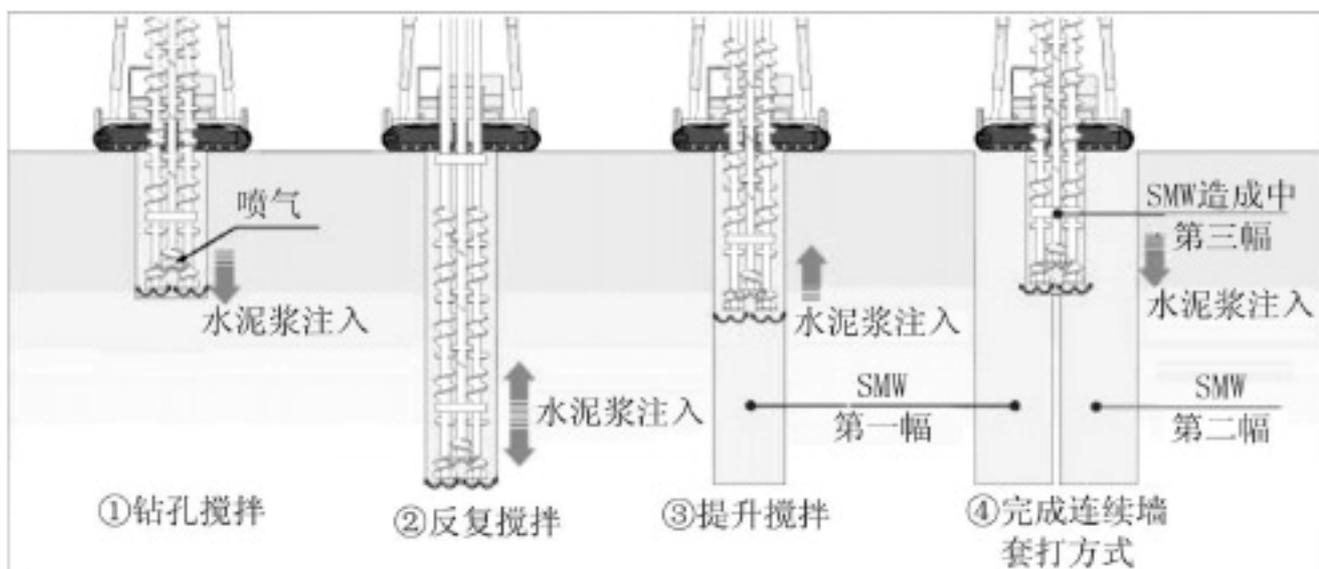


图 2 施工工艺流程图

3.3 钻杆接工艺

超深三轴搅拌桩掘进深度为 48 m,开始施工时桩机悬挂钻杆长度为 21.7 m,共需加接钻杆两次。本工程配置的搅拌机具总长度(未计算掘进机构)52.0 m,最大搅拌深度 49.5 m。该搅拌机具可按照高、低两种转速进行搅拌施工。其中,转速在 31.2rpm 和 15.6 rpm 时的 3 轴扭矩分别为 18.36 kN·m、36.75 kN·m。

使用三轴搅拌机具预搅成孔,将两组待接的钻杆预置于施工场地中间区域的地下。钻杆接工艺流程为:①施工预埋孔,放入预埋钻杆→②进行水泥土搅拌桩施工→③搅拌下沉钻杆,至第一组钻杆结束→④拆下钻杆接头,移动桩机到预埋钻杆位置→⑤连接预埋钻杆,提升预埋钻杆→⑥移动桩机至原桩位,将预埋钻杆和第一组钻杆连接→⑦继续搅拌下沉;重复步骤③、④、⑤、⑥直至到达设计桩深。

3.4 施工工艺参数

水泥用量: 48~28 m 掺量 25% (下部 20 m), 0~28 m 掺量 20% (上部 28 m);

水灰比: 1.5~1.8;

外掺剂: 澎润土(掺入水泥重量的 3%);

钻进、提升速度: 0.5~2.0 m/min;

三轴搅拌桩径: 3×Φ850 mm。

3.5 施工中主要控制项目

在深基坑施工中,超深三轴搅拌桩作为全新的施工工法,质量控制尤为重要,尤其在本工程中作为垂直隔断承压水的止水帷幕,要确保整个止水帷幕的连续性和完整性。所以,本工程施工时主要有以下控制项目。

(1)确保定位放线准确,采用套打的方式确保每幅成桩后有效搭接。

(2)严格控制桩机钻杆垂直度,防止成桩时与相邻幅出现“开叉”,通过机身悬吊铅垂、两台经纬仪组合校正及桩机自身仪表盘显示确保垂直度。

(3)严格控制自动拌浆系统的各项参数,包括水泥浆配合比、气压和浆压等,各项参数输入控制系统后不得随意更改。

(4)因上部 35 m 与连续墙存在叠合,下部无叠合部分质量要求较上部更高。因此,下部 20m 采用两次喷浆的复喷方式。



(5)预搅下沉过程中应严格控制切削速度,一般不宜大于 50 cm/min,喷浆提升时可在确保水泥掺量的前提下适当加快速度。

(6)施工时避免出现冷缝,如确实需要中断施工,冷缝处需叠合一幅,并保证有效搭接。

4 抽水试验

在超深三轴搅拌桩施工时应严格控制各项指标参数。现场通过原位取芯试验,达到了设计要求的强度指标和渗透性指标。为检验止水帷幕对⑤2层的隔断效果,在连续墙施工后、基坑开挖前(9月11日~9月20日)进行了一次抽水试验,均达到了分析水文地质条件及止水帷幕隔水效果的目的。

4.1 抽水试验井平面及结构

群井抽水试验阶段布置 17 口试验井。在基坑内第⑤2-1 层中布置 6 口抽水井(K1、K2、K3、K4、K5、K6), 2 口观测井(G1、G2);基坑内②3 层中布置 1 口观测井(G11);基坑外侧⑤2-1 层中布置 8 口观测井(G3~G10)(见图 3)。

其中 K1~K6、G1、G2 井深 35m,过滤器在 20~34 m;G11 井深 15 m,过滤器在 10~14 m;坑外观测井 G3~G10 井深 28 m,过滤器在 20~27 m。

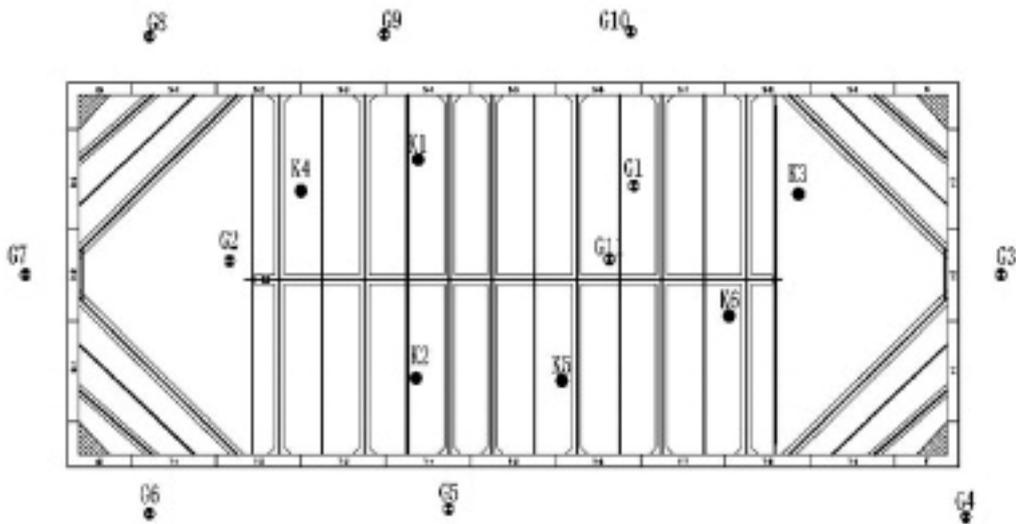


图 3 抽水试验井布置图

4.2 抽水试验内容

抽水试验共分三个阶段进行。

(1)坑内 G1、K3、K5 抽水, G2、K2、K6、G11 和坑外 G3~G10 作为观测井。

(2)坑内 G1、K1、K3、K4、K5、K6 抽水, G2、K2、G11 和坑外 G3~G10 作为观测井。

(3)坑内抽水停止,坑内 G2、K2 和坑外 G3~G10 作为观测井。

4.3 抽水试验结果

4.3.1 第一阶段

正式开启 K3、K5、G1,72h 后水位下幅趋向缓慢, K6 水位下降最大,埋深在 17.52m, G2 水位埋深 14.5m, K2 水位埋深 17.2m、G11 水位由原先 0.89m 变化为 1.19m。抽⑤2-1 层水对②3 层有一定的影响,坑外 G3~G10 的水位降深无明显变化(见图 4)。



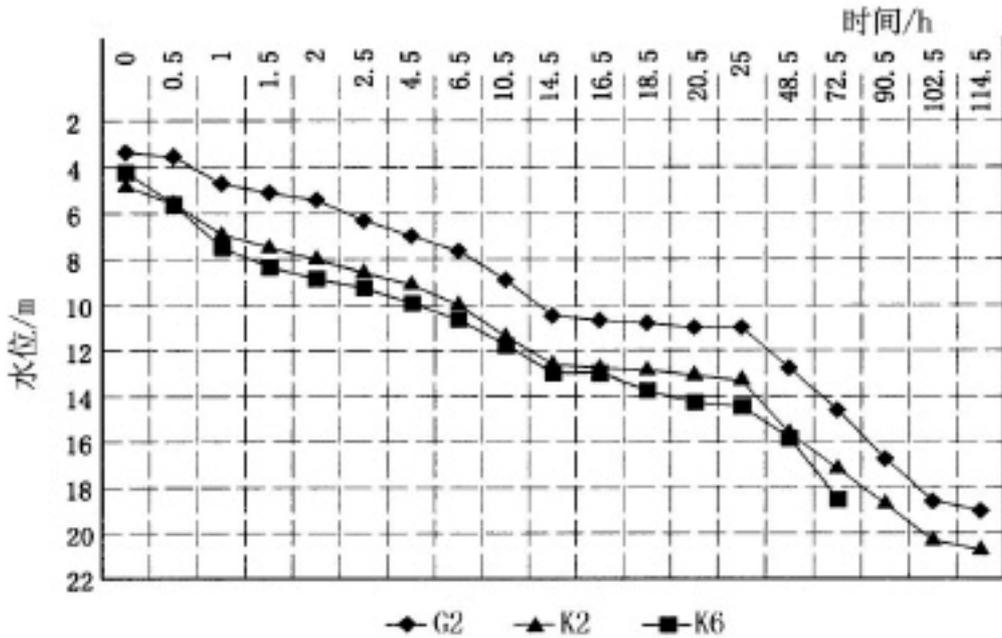


图 4 降水期间时间 - 水位曲线图

4.3.2 第二阶段

在第一阶段基础上加开 K1、K4 和 K6 井, 6 口井抽水 24 h 后水位趋向缓慢。G2 水位埋深稳定在 19.05 m、K2 水位埋深稳定在 20.74 m; G11 水位由原先 1.19 m 变化为 1.24 m, 坑外 G3~G10 水位无明显变化。

4.3.3 第三阶段

第二阶段抽水试验结束后, 对 K2 井进行了恢复试验(见图 5)。

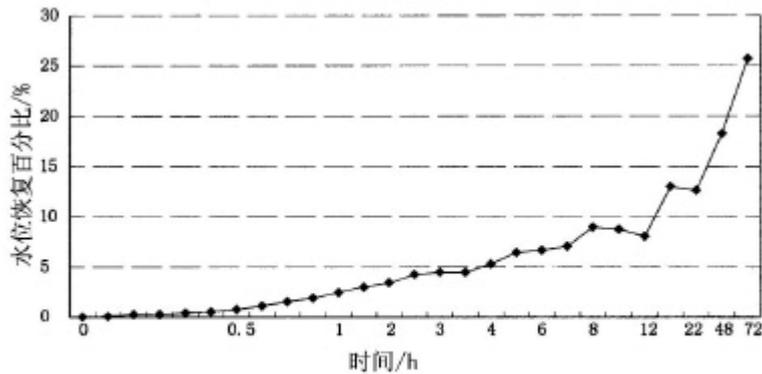


图 5 抽水试验水位恢复曲线图

从图 5 中可见: 在 24 h 内, 水位恢复 12.6% 左右; 48 h 水位恢复 18% 左右; 72 h 水位恢复 25.32% 左右。由于三轴搅拌桩作为止水帷幕对②-1 层隔断作用, 水位恢复缓慢。在微承压含水层中降水, 由降水引起的地面沉降绝对值相对较小, 不均匀沉降更小, 加上止水帷幕对微承压含水层的隔断作用, 不会对周边环境产生危害性的影响。

5 结语

上海轨道交通 10 号线一期工程 110 kV 溧阳路主变电所施工实践达到了预期的目的,证明了在深基坑施工中,超深三轴搅拌桩止水帷幕不仅能降低施工难度、节约成本,而且能从根本上解决复杂地质水文条件下深基坑施工抽水降压所带来的周边环境保护问题,可以达到确保基坑本体和周边环境安全的目的。所以,在城市建设过程中推广和应用该工法具有重要的意义。

