

摘要：文章介绍了在砂性土层中施工地下连续墙所采取技术措施的比选和确定，并结合工程实例，阐述了砂性土层中进行深井降水的基本原理及施工方法。

关键词：地下连续墙；砂性土层；深井降水

1 工程概况

苏州地铁十五标华池街站位于苏州工业园区华池街与翠竹园交叉口处，车站主体结构外包长度 169.5 m，标准段外包宽度 20.264 m，外扩段外包宽度为 24.264 m。车站设置 4 个出入口，3 组风亭，拟采用明挖法施工。

车站标准段基坑深度在 15.9 m 左右，盾构端头井深约 17.4 m，出入口及附属结构最大开挖深度在 12.0 m 左右。

车站主体围护结构支护参数如下：标准段采用 600 mm 厚地下连续墙，盾构井段采用 800 mm 厚地下连续墙，标准段地下连续墙插入深度 28.5 m 左右，盾构井段地下连续墙插入深度 31.6 m。标准段竖向 4 道支撑：第一道采用 800×800 混凝土支撑，间距 7m 左右，二~四道支撑系统均采用 φ609 钢支撑，盾构井段竖向四道支撑，第一采用 800×800 混凝土支撑，第三道采用双拼 φ609 钢支撑，二、四道采用 φ609 (t=16) 钢支撑。

2 地质及水文资料

根据苏州市地质工程勘察院提供的《苏州市轨道交通一号线工程华池街站岩土工程概况》，地面标高一般在 2.20 m~3.40 m 之间，平均标高 3.00 m。拟建工程场地勘察深度内的地基土可划分为 7 个层次及分属于各层次的亚层，各土层岩性、深度、厚度等参数见表 1。

表 1 地层表

土层	平均层厚 /m	层底埋深 /m	层底标高 /m	含水量 /%
①填土	2.50	2.0	0.68	27.2
③黏土	3.50	6.0	- 2.82	26.5
③ ₂ 粉质黏土	1.80	7.5	- 4.62	27.3
④ ₁ 粉土	2.70	10.8	- 7.32	27.7
④ ₂ 粉砂	7.50	18.0	- 14.82	26.6
⑤粉质黏土	4.70	22.5	- 19.52	30.1
⑥ ₁ 黏土	3.30	26.0	- 22.82	23.7
⑥ ₂ 粉质黏土	6.00	31.5	- 28.82	30.7
⑥ ₃ 粉质黏土	2.00	34.5	- 30.82	30.4
⑦ ₁ 粉土	8.10	42.0	- 38.92	29.7
⑧粉质黏土	13.20		- 52.12	30.6

苏州市地质工程勘察院提供的《苏州市轨道交通一号线工程华池街站岩土工程概况》，根据埋藏条件特征，可将地下水分为孔隙潜水、微承压水、承压水。

2.1 潜水层

潜水含水层主要由填土及③层黏性土层组成，主要接受大气降水的入渗补给，同时接受大气降水补给。勘察期间，潜水埋深在 1.10 m 左右，相应标高 1.60 m。

根据区域水文地质资料，潜水位主要受大气降水影响，一般在 4~5 月份随着水量的逐渐增加，水位上升，至丰水期 7~8 月份出现高值，水位标高 1.33 m~2.63 m，1~3 月份枯水期出现低值，水位标高 -0.21 m~1.35 m。



2.2 微承压水

微承压水含水层由晚更新世沉积成因的④粉性土层组成，④层粉性土为良好的赋水和透水地层。该含水层的补给来源主要为潜水和地表水。勘察期间，受场地东北侧及南侧深基坑降水影响，微承压水头埋深在 7.0 m 左右，微承压水头相应标高在-4.0 m~-4.7 m。

据区域资料，苏州市历年最高微承压水头标高为 1.40 m~1.74 m。最低承压水头标高 0.62m，年变幅 1m 左右。

2.3 承压水

承压水含水层由⑦2 层粉土组成，埋深较大（达 34 m 以上），厚度 8.0 m 左右。勘察时实测承压水头埋深 9.0 m 左右，标高-6.68 m。据区域资料，苏州市 1990 年以前，第⑦层承压含水层历年最高承压水头标高在-2.70 m 左右，最低承压水头标高在-3.00 m 左右。

3 基坑开挖过程中地墙出现的问题

在基坑开挖的过程中，发现墙体漏筋，部分严重部位混凝土保护层脱落。漏筋部位在开挖面下 8 m~15 m 范围内，所处地质为④1 粉土层和④2 粉砂层，降低槽壁的稳定性，增加混凝土的充盈系数，给后续施工造成不利影响。

问题原因：在施工前期准备的过程中，针对地墙施工泥浆的制备没有全面分析到地质复杂因素，方案编制的过程中按照整体黏土施工计算，导致槽段失稳。今重新对地下连续墙槽壁进行稳定性分析如下：

取正常泥浆密度 1.15 时，地墙在黏性土层内成槽。当槽内充满泥浆时，槽壁将受到泥浆的支撑护壁作用，此时泥浆使槽壁保持相对稳定。假定槽壁上部无荷载，且槽壁面垂直，其临界稳定槽深可按下式计算：

$$H_{cr} = \frac{4S_u}{(\gamma - \gamma_s) K_0}$$

槽壁土层黏土容重 $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ ，泥浆比重取中间值 1.15，黏土固结不排水抗剪强度 $S_u = 100 \text{ kPa}$ ，安全系数取 1.5。

$$H_{cr} = \frac{4 \times 100}{(19.0 - 11.5) \times 1.5} = 35.6 \text{ m} > 31.5 \text{ m} (\text{满足槽体稳定})$$

考虑存在粉土及粉砂层，验算在干砂及含水情况下挖槽，能否保持槽壁稳定。

干砂中成槽：

$$K_s = \frac{2\sqrt{r' \cdot r'_1}}{r' - r'_1} \cdot \tan\varphi = \frac{2\sqrt{18.36 \times 11.5}}{18.6 - 11.5} \cdot \tan 29.5^\circ = 2.33 > 1$$

满足，故槽壁稳定。

在有地下水时成槽： $r' = 18.6 - 10 = 8.6 \text{ kN/m}^2$ ； $r'_1 = 11.5 - 10 = 1.5 \text{ kN/m}^2$

$$K_s = \frac{2\sqrt{r' \cdot r'_1}}{r' - r'_1} \cdot \tan\varphi = \frac{2\sqrt{8.6 \times 1.5}}{8.6 - 1.5} \cdot \tan 29.5^\circ = 0.57 < 1$$

故成槽不能保持稳定。

4 解决方案

根据研讨会上提出井点降水方案并结合相关方法及经验得出以下结论。传统的在砂性土层中地墙施工所用措施一般为使用三轴搅拌桩加固，即对围护边线两侧进行单排三轴搅拌桩预加固见图 1。



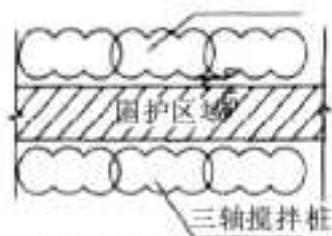


图1 围护体两侧加固

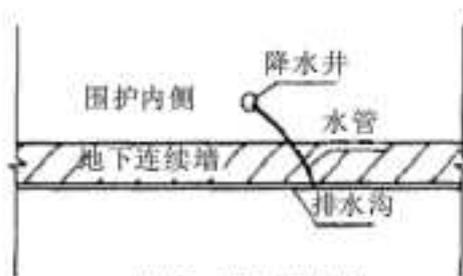


图2 降水井结构

采用三轴搅拌桩进行加固，其本身的施工对于保护建筑也将产生影响，且其施工时间长，完成后还需进行养护，对整个工程的工期产生影响；由于加固范围离槽壁距离比较近，容易造成混凝土浇筑时的超量及绕流等现象，对于后续工艺造成不利影响。其费用较高，增加了施工成本。

针对上述验算，在无地下水位的情况下地墙施工能满足槽壁稳定性要求，参考上海轨道交通10号线5标四川北路站的施工经验，在地墙施工时对地墙周边打设深井进行降水，以降低水压力。该方法实施方便，成本低廉，设备要求简单，且施工不占用工期，可与槽段施工同时进行，降水井区域槽段施工全部完成后，深井即可废弃回填，对于其他工艺的施工不产生影响，减小了地下水对于槽壁的水头压力，减少了成槽过程中产生塌方的可能。

4.1 深井降水技术要求

4.1.1 井点布设

根据场地内地质条件及地墙深度，确定井点布置的间距、深度及降低地下水位的预期值，达到三者之间的最佳平衡。经分析，拟每隔12m布设一口降水井，其深度为12m，预期降水深度为5m~7m。

4.1.2 施工顺序

凿除硬地坪→埋设护口管→安装旋喷桩机→钻进成孔→清孔换浆→下井管→填砾料→井口封闭→洗井→安泵试抽→排水

4.1.3 降水井结构

降水井机构见图3，降水采用1寸泥浆泵进行抽水。

4.1.4 降水运行注意事项

- (1) 降水的设备在施工前及时做好调试工作，确保降水设备在降水运行阶段运转正常。
- (2) 工地现场要备足抽水机，使用的潜水泵要做好日常保养工作，应该经常检查泵的工作状态。
- (3) 降水工作应与成槽施工密切配合。
- (4) 降水运行期间，现场实行24h值班制，值班人员应认真做好各项质量记录，做到准确齐全。
- (5) 做好井口的保护工作，严禁将井管碰坏以及杂物掉进井内。经常检查排水管、沟是否畅通。
- (6) 降水施工可能会对周边市级保护建筑产生不良影响。故在降水前应对周边建筑设置沉降观测点，并测定初始稳定高程。在抽水过程中，要不间断的对建筑物沉降进行观测，一旦发现建筑物沉降超过报警值，应立即停止坑内抽水，采取相应的保护措施，以防止建筑物的继续沉降。





图3 降水井机构示意图

4.2 结果分析

选地墙充盈系数平均为 1.05 (图 4)，垂直度平均为 1/800，满足相关规范及技术要求的规定。周围同类地质条件下建筑的地墙施工，其充盈系数一般为 1.25 左右，工程采用深井降水措施后极大地降低了充盈系数的值，也提升了地墙施工的质量。根据实际摸索的经验，总结出降水井措施成败的关键在于降水频率的控制，见表 2。降水井的打设在该区域地墙施工前 2 d~3 d 进行，期间进行降水，直至索口管拔除。

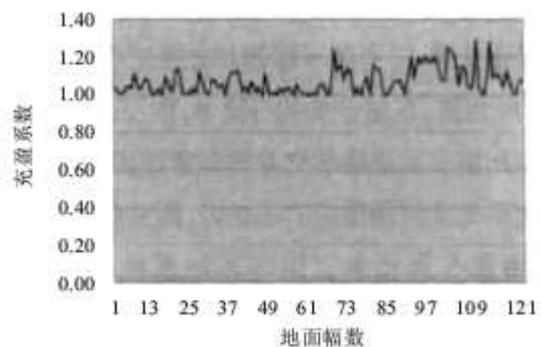


图4 地下墙充盈系灵敏情况表

表2 降水施工频率

施工步骤	降水频率
降水井打设后至成槽前 1 d	12 h/ 次
成槽当天至成槽前	4 h/ 次
成槽时	30 min/ 次
吊放钢筋笼	30 min/ 次
混凝土浇注	30 min/ 次
拔锁口管	1.5 h/ 次
锁口管拔出	停止

5 结束语

从开挖施工的情况来看，地下连续墙的质量相当的好，地墙的充盈系数符合标准，且未产生任何大面积的渗漏现象。这给我们针对砂性土层施工地墙提供了实践经验，打设降水井保证成墙质量的思路是成功的。通过这个成功的案例，以后可以在相类似的土层条件下采取深井降水的施工措施，以达到增强质量、减少费用的目的。

