

软土地层下的地铁车站基坑施工

——深圳地铁 12#线海上田园东站车站基坑施工

艾朝阳

湖南省平江县虹桥镇居委会宿舍, 湖南 岳阳 414000

[摘要]天然饱和软土在我国分布较为广泛,以淤泥质高饱和和软土最为典型,究其成因大致分为河相沉积型、湖相沉积型和海相沉积型三类,海相沉积型高饱和淤泥质软土主要分布于我国沿海地带,具有含水率高、天然强度低、渗透系数小、触流变性强等特点,工程特性极差,熟悉高饱和和软土工程特性和对应工程措施成为当前沿海工程技术人员必须掌握的关键工程技术之一。

[关键词]天然饱和和软土;天然强度;触流变性;地铁施工

DOI: 10.33142/sca.v6i6.9352

中图分类号: TU74

文献标识码: A

Construction of Subway Station Foundation Pit under Soft Soil Layer

——Foundation Pit Construction of Haitianyuan East Station of Shenzhen Metro Line #12

AI Chaoyang

Residency Committee Dormitory of Hongqiao Town, Pingjiang County, Hu'nan Province, Yueyang, Hu'nan, 414000, China

Abstract: Natural saturated soft soil is widely distributed in China, with muddy high saturated soft soil being the most typical. Its genesis can be roughly divided into three types: river sedimentary type, lake sedimentary type, and marine sedimentary type. Marine sedimentary high saturated muddy soft soil is mainly distributed in coastal areas of China, with characteristics such as high water content, low natural strength, low permeability coefficient, and strong rheological properties, and extremely poor engineering characteristics. Familiarity with the engineering characteristics and corresponding engineering measures of high saturated soft soil has become one of the key engineering techniques that coastal engineering technicians must master.

Keywords: natural saturated soft soil; natural strength; thixotropy; subway construction

引言

深圳地铁 12#线海上田园东站位于深圳市宝安区沙井街道民主社区民主路与民丰路交汇处西南侧,是深圳地铁 12#线终点站,站址地处蔬菜基地(南)和生蚝养殖基地(北),地势低洼,地面海拔高度 2.0~3.0m,地质勘探显示自地面向下地层分别为第四系全新统人工堆积层(人工填土层)、第四系全新统海陆交互冲积层(淤泥层、砂层交互)、第四系上更新统冲洪积层(粉质黏土层、淤泥质黏土层及砂层交互),下覆基岩为花岗岩;淤泥层平均厚度 7.34 米,最大层厚 18.6m,顶层埋深位于 0.00~8.8m,其含水率大于 75%,蚝池范围池底一定深度范围其含水率达 95%,呈流塑状,揭露后具有强烈的流变性,工程力学性能极差,属典型的高饱和和软土条件下地铁车站施工案例。



图 1 深圳地铁 12#线海上田园东站原地地面地貌图

2 车站设计基本概况

(1) 车站设计基本概况

车站设计里程: YDK40+642.24~41+165.982, 为地下二层岛式站台车站,负一层为站厅层,负二为站台层,有效站台长度 140m,站台宽度 13.0m,标准段为单柱双跨框架结构,预留远期规划地铁 18#线换乘节点,位于负三层;车站结构底板分别坐落于淤泥质黏土层(两层站)和砂层(三层站)之上,采用明挖顺作法施工;

车站基坑围护结构设计形式为地下连续墙加内支撑,地下连续墙设计厚度为 800mm 和 1000mm 两种,基坑开挖深度两层站 20.97m,三层站 26.505m,插入坑底深度不少于 11m,提前入岩段中风化不小于 2.5m,微风化段不小于 1.5m;

车站基坑标准段(两层站)设计三道支撑,第一、二道为砼支撑,第三道为钢支撑;换乘站(三层站)设计五道支撑+一道换撑,第一、二、三道为砼支撑,第四、五道为钢支撑;

基底加固设计为 $\Phi 800\text{mm}@1400\text{mm}$ 格栅加固及 $\Phi 600\text{mm}@450\text{mm}$ 裙边加固增加基底承载力,基底以上基坑开挖范围饱和软土层采用弱加固改善土体开挖时稳定性;

3 工程重难点分析及对应措施

(1) 工程重难点分析

①车站范围淤泥层厚(平均厚度 7.34m), 含水率高(75%~95%), 渗透系数低(0.001m/d), 呈流塑状, 工程性质极差, 基坑开挖安全风险较大, 制订安全可靠的开挖支护方案并监督实施是本工程的难点之一;

②坑内土体加固是预防基坑围护结构“踢脚”和改善开挖土体工程性能及提高基底承载力关键工程措施, 因此坑内高压旋喷桩加固工程质量控制是本工程的又一难点;

③基坑降水的质量事关施工组织是否按计划、方案顺利实施, 是基坑安全施工的关键控制点, 本基坑降水需克服砂层与坑外地下水联通及降低淤泥含水率等问题, 因此降水方法选择、降水时机及降水效果跟踪确认是本基坑施工控制的重难点;

(2) 工程实施对应措施

①重视工程施工地物调查工作, 基坑施工前组织对基坑开挖影响范围建(构)筑物、管线、水文地质及公共资源进行详尽调查, 重视图纸会审, 通过图纸会审, 为施工组织设计、方案的制订提供依据;

②做好各项技术储备工作, 包括测量控制桩网的复测复核、技术交底等工作, 成立质量 QC 小组, 对基坑施工全过程进行监督和指导;

③加强围护结构施工过程管理, 严格控制各工序施工质量, 从管理上确保围护结构施工满足设计和规范要求, 消除和减少侵限、接头错位、渗漏等质量通病;

④严管基坑降水, 在基坑计划开挖前 30 天开始降水, 同时严密观测坑内外水位变化和各降水井出水量变化, 出现异常及时分析, 查明原因采取措施补救, 避免开挖阶段出现墙底绕流和围护结构渗涌等险情;

⑤基坑开挖严格按经评审的专项方案执行, 做好工序衔接安排, 及时支撑, 缩短基坑作业面支撑滞空时间, 同时加强施工监测管理, 及时分析, 以数据指导施工;

⑥做好现场施工组织方面工作, 对影响基坑稳定的工序提前安排, 尽量缩短地基承载力试验、基坑验槽等程序占用时间, 尽早完成结构封底, 减少基坑时空效应带来的负面影响;

4 施工组织设计及施工过程控制

(1) 施工组织设计

①结合现场条件、施工设备设施、临时征地及红线范围因地制宜, 以方便施工组织为目的合理布置现场临建设施; 合理利用周边既有排水设施与场区内排水设施有效衔接, 形成系统排水, 确保汛期安全;

②基坑总体分两期实施, 第一期为 1~29 轴, 第二期为 29 轴~58 轴, 中间设地连墙隔断;

③基坑开挖方法: 第一期基坑(1~29 轴)实行“分层、分段、跳槽、放坡”开挖, 开挖过程遵循“对称、均衡”的原则进行, 结合支撑架设控制坑壁土压力的释放对

围护结构的作用; 开挖土体分层厚度原则上 $\geq 3\text{m}$, 放坡坡度 $\leq 1:3$, 当支撑垂直距离超过 3m 时分多层实施, 分段长度控制在 5~8 轴之间, 具体长度结合后续工序施工组织情况确定, 以能控制围护结构变形为度, 必要时增加临时支撑确保围护结构稳定; 开挖方法如下图所示:

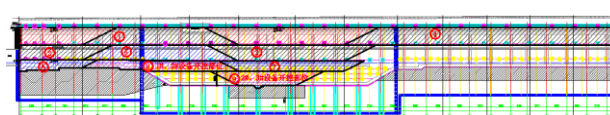


图 2 车站 1-29 轴土方开挖纵断面示意图

第二期基坑(29~58 轴)实行“分层、分段、放坡和一端推进”分台阶开挖工法, 开挖方法如下图所示:

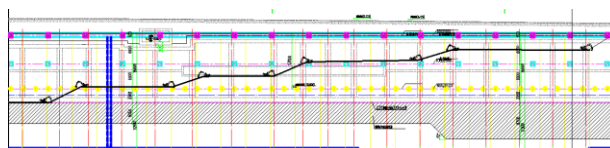


图 3 车站 29 轴至大里程土方开挖纵断面示意图

④基坑降水: 根据海上田园东站地质条件采用真空管井降水, 淤泥层以降低含水率为主, 砂层以疏干为目的, 开挖前 20 天提前降水, 确保地下水位处于分层底高程下 0.5m 以下, 开挖期间不停止降水, 确保地下水位始终控制在开挖面下 0.5m 以下, 期间加强地下水位监测, 出现异常停止开挖及时分析原因并采取有效措施处理;

⑤机械设备组织, 地面至二道支撑顶范围采用长臂挖掘机开挖, 局部坑内增加常规挖掘机配合作业, 二道支撑以下部分采用液压抓斗辅助坑内挖机配合开挖, 开挖行走线路沿基坑两侧便道纵轴线行进, 运输车辆根据路况适当配备, 控制每台挖机作业范围坑边堆土 ≥ 1 车, 防止基坑边过度堆载;

⑥支撑架设, 支撑架设紧跟开挖进行, 分段开挖达到高程后立即组织支撑施作, 滞空时间控制在 8h 以内, 有效控制围护结构变形;

⑦基坑施工监测及日常巡查, 基坑监测项目包括围护结构水平、垂直位移、地表沉降、深层土体位移、地下水位、支撑轴力及周边管线、构筑物变形等, 监测严格依据《土方与爆破工程施工及验收规范》和《建筑变形测量规范》要求进行管理, 必要时适时加密监测频率; 日常巡视结合基坑施工进行, 重点检查基坑周边地表及建(构)筑物、围护结构、管线、基坑安全防护、现场组织及方案执行等情况, 结合施工监测结果综合分析基坑状况并指导现场施工;

(2) 施工过程控制

①开工条件控制: a 开工前项目现场管理机构安全质量管理体系及管理制度应当健全, 人员资质满足要求, 安全技术交底及三级安全教育已经落实; b 施工设备状况良好且满足施工需要, 现场临时设施满足施工及安全要求, 监测布点符合设计及规范要求, 文明施工措施及降尘、降噪措施已经落实; c 安全专项施工方案经评审且报批手续完善; d 基坑降水效果达到预期; e 现场应急物资种类、数量储备满足要求;

②开挖过程控制：开挖时严格按专项方案要求，遵循“先支后挖，随挖随撑”及“分层、分段、对称、均衡、放坡”开挖的原则进行，严格控制坑边堆载，实行专人管理；开挖过程随时关注地质变化情况、土体稳定情况、地下水出露情况及围护结构状况，出现异常立即停止开挖，查明原因，采取措施处理直至解决，确定安全后方可恢复开挖；

③基坑监测及巡视：基坑开挖期间安排专人定期巡视，每班不少于2次，重点巡查地表沉降变形、围护结构变形及渗漏情况、现场安全设施完善情况、安管人员履职情况、方案执行情况、周边管线及建（构）筑物变形情况以及监测项目及频率是否符合已批准的监测方案等，巡视完成后结合监测数据变化综合判断基坑安全情况，必要时及时进行预警；

5 基坑险情及处理情况介绍

(1)2019年3月初1~3轴发生围护结构踢脚险情，局部侵限最大值达180mm，开挖至基底时监测数据显示，基坑围护结构变形并未收敛，且有加剧趋势，情况紧急，经参建四方现场确定，决定简化验收流程，适当增加支撑轴力，立即安排结构封底，成功化解危机；

险情发生原因分析：①地勘资料与实际地质出入较大，造成设计与工程实际相距较大，围护结构刚度不足以抵御基坑壁土体压力，造成围护结构变形超限；②基底加固及坑内土体加固作业面设计不合理，设计在第二道支撑底进行加固，一方面加固需在土体开挖至第二道支撑底位置，支撑施工与加固作业形成实际冲突，实际施工采用先加固后支撑的施工顺序，在时空效应和土体加固等综合作用下加剧了围护结构的变形；③施工经验不足，在图纸会审期间未能及时发现设计缺陷并提出建议；

(2)2019年9月下旬三层换乘站东侧地连墙接缝处出现涌水涌砂险情，围护结构由西向东水平位移达20多毫米，地表沉降多达80公分；

抢险措施：坑内设沙袋堆载控制围护结构变形和减少涌砂量，在地连墙接头位置设泄压孔，设长钢管引导水流，减少围护结构外侧水压力，同时从管内塞入棉絮阻止砂粒随水涌出；外侧沿围护结构组织深孔注浆，孔深深于涌砂点2~3m，先行注入双液浆，待涌砂险情基本得到控制后再注入单液浆巩固和抬升地表，经处理后围护结构及地面基本恢复原状；

原因分析：①应急处置组织迟缓，未能在第一时间组织有效应对措施，从现场管理人员巡查发现地连墙接头渗漏并预警后到组织应急处置时间间隔长达4个小时，加剧了险情的风险和处置难度；②未能在开挖前充分认识地质条件对安全施工的影响，在开挖前监理人员曾建议对地连墙接头外侧土体进行加固，未得到落实；

6 结束语

高饱和软地地层下地铁车站基坑施工本身风险较为突出，尤其第四系全新统海陆交互冲积层，其软土层往往与砂层交互存在，如果砂层与坑外存在水力联系，往往降

水效果较差，难以降低软土含水率以保证施工安全，因此施工前应充分调研，对工程风险提前预判，采取切实可行的工程措施消除和减轻安全风险是必要的手段，综合海上田园东站基坑施工经验，在软土地基条件下地铁车站施工应做到如下方面：

高饱和软地地层条件下基坑工程施工前应对地质水文条件、工程环境等进行充分调查，充分识别施工潜在风险，制订合理的施工方案，将施工风险降到最低；

重视图纸会审和方案设计环节，基坑围护结构的可靠性是基坑安全施工的决定性条件，在图纸会审时一方面应对围护结构前置深度、厚度、基底地质情况综合进行充分评估，发现问题及时提请设计解决；第二方面施工辅助措施是安全施工的重要保障，图纸会审时应采取措施的可靠性和工序的时空关系上进行必要审查，避免出现冲突导致方案无法顺利实施；高饱和软土地层下基坑施工土体加固是改善作业条件及提高地基承载力的辅助措施，应结合地质情况、现场环境条件、基坑深度、技术水平进行经济效果对比，选择经济可靠的加固工艺，一般而言坑内加固相对坑外加固更具经济性，但如果围护结构低落入地层具有较强渗透性时，坑内外存在水力联系时，应考虑从坑外加固截断地下水补给通道和提高围护结构外侧土体稳定性进行解决；

加强围护结构施工质量控制，保证接头质量，当围护结构穿越砂层时应根据其位置、层厚及水力联系等特点对围护结构外土体进行相应加固，预防围护结构缺陷及变形等因素引发涌水涌砂等险情；加强开挖过程管理，严格执行经评审的安全专项施工方案，落实“分层、分段、放坡、均衡、对称”的开挖原则及“先撑后挖、随挖随撑”，减少时空效应对基坑的不利影响；加强巡查和监测方面和管理，通过严密巡查和及时的数据分析能充分掌握基坑安全状况，以便第一时间采取措施处理，避免事态扩大；做好应急管理和应急组织方面的工作，确保在出现险情的第一时间能进行有效组织和设备、物资的供应，及时有效处理；

【参考文献】

[1]叶跃林. 地铁车站基坑软土地层降水固结技术[J]. 矿产勘查, 2005, 8(9): 69-71.
 [2]郑松, 苏华友. 地铁车站软土地层基坑施工中的监测分析[J]. 硅谷, 2011(23): 175-176.
 [3]王滔. 深厚软土地层条件下地铁车站基坑支护体系变形特征及控制研究[J]. 建筑技术, 2023, 54(1): 4.
 [4]王媛. 软土地层地铁深基坑施工智能化监测技术研究[J]. 北方交通, 2022(10): 63-66.
 [5]刘朋赛, 沈云山. 三阳路地铁车站软土地层深基坑施工技术[J]. 建筑机械; 上半月, 2022(7): 1.
 作者简介：艾朝阳（1971—），男，湖南平江人，学历：本科，目前职称：工程师，主要从事地铁工程咨询工作。