

深基坑岩土工程勘察要点与实践

邹江华

巨野县自然资源与规划局土地估价所, 中国·山东 菏泽 274900

摘要: 针对某市地铁 10 号线软土地区 25 m 深基坑工程, 围绕岩土体参数、地下水分布及周边环境风险开展岩土工程勘察研究。通过静力触探、室内土工试验、水位观测、抽水试验及环境调查等方法, 识别了 8 m 至 18 m 淤泥质黏土低压缩模量区、20 m 至 23 m 粉砂夹层及深部承压水控制特征。结果表明, 静力触探反演压缩模量与室内固结试验误差控制在 5% 以内, 内摩擦角误差控制在 3% 以内; 施工期间基坑最大水平变形量为 12 mm, 小于 20 mm 允许值。研究表明, 精细化勘察成果能够有效支撑支护结构选型、降水参数确定及周边环境变形控制。

关键词: 深基坑; 岩土工程勘察; 软土; 地下水; 支护设计

Key Points and Application of Geotechnical Engineering Investigation in Deep Foundation Pit Engineering

Zou Jianghua

Land Appraisal Institute, Bureau of Natural Resources and Planning of Juye County, China Shandong Heze 274900

Abstract: Aiming at the 25 m deep foundation pit of Metro Line 10 in a soft soil area of a city, geotechnical engineering investigation was carried out focusing on geotechnical parameters, groundwater distribution and surrounding environmental risks. By means of cone penetration test, laboratory soil test, water level observation, pumping test and environmental investigation, the low compression modulus zone of silty clay from 8 m to 18 m, the silty sand interlayer from 20 m to 23 m and the control characteristics of deep confined water were identified. The results show that the error between the compression modulus inverted by cone penetration test and laboratory consolidation test is controlled within 5%, and the error of internal friction angle is controlled within 3%. The maximum horizontal deformation of the foundation pit during construction is 12 mm, which is less than the allowable value of 20 mm. The research indicates that refined investigation results can effectively support the selection of support structure, determination of dewatering parameters and deformation control of surrounding environment.

Keywords: Deep foundation pit; Geotechnical engineering investigation; Soft soil; Groundwater; Support design

0 引言

城市轨道交通建设持续向建成区延伸, 地铁车站深基坑面临的岩土条件与环境约束日益复杂。软土地区普遍具有含水率高、压缩性强、抗剪强度低和扰动敏感性明显等特点, 25 m 级深基坑开挖时, 坑底隆起、围护结构侧移、承压水突涌及邻近建(构)筑物变形相互耦合, 易放大施工风险。传统勘察若仅关注地层揭示和常规参数取值, 难以满足深基坑支护设计、降水控制和动态施工管理的精细化需求。因此, 有必要将原位测试、室内试验、水文地质观测和周边环境调查统一纳入勘察分析体系。本文以某市地铁 10 号线某站软土深基坑为对象, 探讨岩土工程勘察关键技术及其对工程设计和施工控制的支撑作用。

1 深基坑岩土工程勘察分析

深基坑岩土工程勘察的理论基础主要建立在工程地质学、土力学以及地下水渗流理论之上, 其核心在于把场地

岩土体的成因类型、结构状态以及力学响应转化为可服务于支护设计以及施工控制的工程参数。岩土体分类通常需结合地层年代、沉积环境、颗粒组成、塑性指数、天然含水率以及标准贯入试验成果来开展综合判别, 其中软土是指天然含水率较高、压缩性较大、抗剪强度偏低且固结时间较长的黏性土层。对原位试验中的抽水试验进行详细研究, 结果表明软土地区深基坑主要勘察技术包括测量测绘技术、钻探技术、原位试验技术及室内试验技术^[1]。对于深度达到 25 m 的地铁车站基坑而言, 软土层的蠕变变形、侧向位移敏感性以及扰动后强度衰减特性, 会直接影响围护结构选型以及降水控制边界。

勘察等级划分需把基坑开挖深度、周边建构筑物密集程度、地下管线分布、地下水埋藏条件以及工程失稳后果作为判定依据来开展综合评定。某市地铁 10 号线某站位于软土分布区, 基坑深度为 25 m, 施工空间受道路交通以及

市政管线约束明显,工程勘察宜按较高等级组织实施。勘察工作流程通常围绕资料收集、现场踏勘、勘探孔布置、原位测试、室内试验、地下水观测以及成果综合评价展开,并且需把基坑影响范围内的土层分布、承压水条件以及邻近环境变形控制需求纳入同一分析框架。由此确定的勘察目标不应局限于揭示地层结构,还应进一步服务于支护体系计算、抗隆起稳定分析、降水方案比选以及施工监测指标设定。

2 深基坑岩土工程勘察技术的要点

2.1 场地岩土体物理力学参数勘察方法

地铁 10 号线该站 25 m 深基坑处于滨海相软土连续分布地段,参数勘察宜把静力触探试验当作现场连续识别手段来使用,并且以室内土工试验对原位判别结果开展校核。静力触探试验是将圆锥探头以恒定速率压入土体并记录锥尖阻力、侧壁摩阻力以及孔压响应的原位测试方法,适宜揭示软黏土、粉质黏土以及夹砂薄层的垂向变化。基于某临海深厚层超软土地区的勘察项目,运用了可量测倾斜度的多桥静力触探设备,验证了多桥静力触探可准确区分填土层与淤泥质土层^[2]。

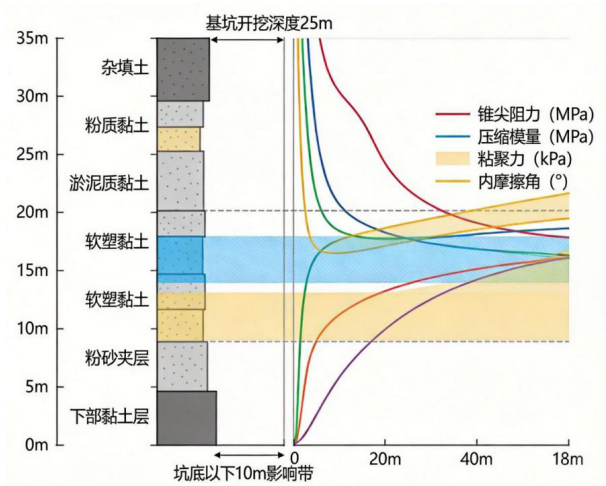


图1 场地岩土体分层及物理力学参数分布统计图

勘探孔沿基坑长轴、端头井以及管线密集侧布置,测试深度需穿透坑底以下潜在隆起影响带,现场曲线经零点修正、孔压滞后修正以及异常尖峰剔除后,可把阻力突变段作为分层界面辅助依据。采用孔压静力触探的方式对基坑不同区域的土体进行原位现场测试,软土地区基坑开挖会对周边土体造成一定程度的扰动^[3]。见图 1,软土层压缩模量低值区与锥尖阻力低值带基本对应,黏聚力沿深度缓慢提高,而夹砂层内摩擦角出现阶段性增大,可为支护结构侧压力取值以及坑底稳定验算提供参数依据。

2.2 地下水分布特征勘察技术

S301 山区公路改建工程勘察技术方法的适配精度,直

接决定地层界面判识、岩体结构面解析及隐伏不良地质体解译的可靠性阈值,是控制工程地质勘察精度与路基边坡设计安全性的核心基础。钻探技术可通过原位取芯直观表征场区岩性组合规律、岩体风化分带特征及地下水赋存状态,为地质分层提供实体样本依据,但山区陡坡施工受限、坡积层厚度突变等复杂地貌条件,易引发钻孔偏位误差,使得局部单点地质信息被误判为全域连续地层分布,最终造成路堑边坡分级参数失真。定义勘察区域地层连续性判别误差模型:

$$\delta = \frac{\Delta h}{H} \times 100\%$$

式中: δ 为地层判识相对误差, Δh 为孔位偏移导致的地层揭露高差偏差, H 为实际地层真实厚度,该误差的累积放大将直接干扰边坡分级、坡率设计等后续工程环节。高密度电法以地下岩土介质电阻率差异 $\Delta \rho$ 为核心判识指标,对含水破碎带、软弱夹层、覆盖层厚度异变等不良地质体具备高敏感性,可有效填补钻孔离散测点间的空间地质信息空白,完善沟谷汇水地段的三维地质场特征。但顺层破碎岩体各向异性、浅埋地下水渗流扰动、施工现场金属构件电磁干扰,会造成电阻率异常边界弥散畸变,导致解译成果存在多解性,若无钻探取芯成果校核验证,仅依靠电法数据的反演分析仅能停留在理论推测层面。已有滑坡勘察工程实践证实,高密度电法反演得到的滑坡覆盖层空间分布、厚度特征与钻探实测地层参数吻合度良好,可满足山区滑坡地质勘探的工程精度要求^[4]。地质雷达依托高频电磁波反射探测原理,具备无损、高效、连续探测的技术优势,适用于浅层松散堆积体、路基填挖交界带、浅埋空洞等隐蔽地质缺陷的连续扫描探测,可结合工程地质调查精准探明路基范围内不良地质体的空间走向、发育规模与形态特征^[4]。但其探测效能受探测深度、岩土含水率双重约束,泥质富集型坡积层对电磁波信号衰减系数极大,会显著降低探测分辨率与有效探测深度。

2.3 周边环境影响因素勘察策略

地铁 10 号线该站深基坑处于城市道路以及既有建筑物密集叠合区,周边环境勘察需把 50 m 影响范围内的建筑基础、地下管线以及道路荷载当作同一风险体系来识别。对围护结构、周边建筑物和周边地下管线等监测数据的分析、整理和再分析,可了解监测对象的实际变形情况及施工对周边环境的影响程度^[5]。建筑物调查宜运用竣工资料核查、现场裂缝测绘、沉降观测点复测以及基础形式访谈等方法来开展,重点查明高层建筑物的层数、结构类型、基础埋深、桩端持力层以及既有变形状态。该站基坑

表1 勘察数据与实际验证结果对比表

验证层位	验证指标	静力触探换算值	室内试验值	相对误差	评价结果
8 m至18 m淤泥质黏土层	压缩模量 MPa	3.18	3.05	4.26%	误差小于5%，参数吻合度较好
12 m至18 m软塑黏土层	压缩模量 MPa	4.42	4.25	4.00%	误差小于5%，可用于分层统计
20 m至23 m粉砂夹层	内摩擦角 degree	29.4	30.1	2.33%	误差小于3%，反映夹砂层强度抬升
23 m至35 m下部黏土层	内摩擦角 degree	18.7	18.2	2.75%	误差小于3%，参数稳定性较好

一侧 50 m 范围内分布有 2 栋 26 层住宅楼以及 1 栋 18 层办公楼，住宅楼桩基础进入下部黏土层，办公楼局部靠近端头井，开挖卸荷引起的土体侧移可能把附加变形传递至桩身中上部，需在勘察成果中提出差异沉降以及桩侧负摩擦阻风险判别依据。地下管线勘察应结合管线权属资料、探地雷达、物探异常点开挖验证以及检查井实测来进行校核，案例场地道路下方集中敷设给水、燃气、雨污水以及通信管线，其中 DN800 给水管距围护边线约 12 m，燃气管线埋深约 1.8 m，雨污水管局部与粉砂夹层水力联系较强，围护渗漏或降水沉降均可能诱发接口错动。道路环境调查还需记录车行荷载、路面病害以及交通导改条件，基坑长边紧邻主干道时，车辆动荷载会增加浅层填土扰动幅度。

3 深基坑岩土工程勘察实践效果评估

3.1 勘察数据的准确性验证

地铁 10 号线该站深基坑勘察数据的准确性验证，围绕静力触探原位测试成果以及室内土工试验成果之间的对应关系来开展。鉴于软土层受取样扰动、含水率变化以及应力释放影响较为敏感，单一数据来源容易放大参数离散性，因此把锥尖阻力换算得到的压缩模量、孔压响应辅助判别的软弱层界面，以及直剪或三轴试验整理出的内摩擦角放入同一工程地质层内进行交叉校核。对 8 m 至 18 m 淤泥质黏土层以及 20 m 至 23 m 粉砂夹层的样本进行归并后，静力触探反演压缩模量与室内固结试验结果之间的误差控制在 5% 以内，内摩擦角误差控制在 3% 以内，说明现场连续测试曲线能够较好反映软土压缩性变化以及夹砂层抗剪参数突变。需重点关注的是，误差较大的样本多集中在土层界面以及薄层夹砂发育位置，主要缘由囊括取样长度内土性混杂、孔压消散不充分以及试样边界扰动。由此在成果整理中把异常点剔除、分层统计以及相邻孔对比结合起来，可提高参数取值对支护计算以及坑底稳定分析的适配性。

表 1 将静力触探换算值与室内土工试验值进行逐项对比。前两行压缩模量相对误差为 4.26% 和 4.00%，均在 5% 以内，静力触探反演参数对软土压缩性反映可靠；后两行内摩擦角相对误差为 2.33% 和 2.75%，均在 3% 以内，原位

测试能准确捕捉夹砂层强度抬升及黏土层强度渐变趋势。两者误差均在可接受范围，参数可用于支护设计与稳定验算。误差统计以室内试验值为基准，室内试验结果已剔除离散偏大的异常点。

3.2 勘察结果对工程设计的支撑作用

该站勘察成果把软土层厚度、粉砂夹层连续性以及承压水水头差转化为支护以及降水设计的控制条件，使设计参数不再停留于经验取值层面。结合 25 m 开挖深度以及 8 m 至 18 m 淤泥质黏土低压缩模量特性，围护结构选用排桩支护体系，并且把桩径、桩间距、嵌固深度以及内支撑刚度同侧向土压力分布进行匹配。粉砂夹层内摩擦角阶段性增大，但其渗透性较强，设计中把该层作为止水以及降水控制的敏感界面来处理，避免单纯按强度提高而弱化渗流影响。地下水勘察揭示的潜水、微承压水以及深部承压水分层水头，为管井降水方案提供了井深、井距以及分层抽排依据，降水控制边界由坑内水位降低转向坑内外水头差协调。针对 DN800 给水管、燃气管线以及临近高层桩基础，设计阶段同步提高管线密集侧支护刚度，并且把监测预警值同允许变形指标衔接。施工期间基坑最大水平变形量为 12 mm，小于规范允许值 20 mm，周边建筑沉降以及管线变形保持在控制范围内，说明勘察成果对支护结构选型、降水参数确定以及环境风险控制具有直接支撑作用。

4 结语

深基坑岩土工程勘察的价值主要在于将岩土参数、水文地质条件和环境敏感对象转化为可直接服务设计与施工的控制依据。针对软土地区 25 m 地铁车站基坑，重点强化静力触探与室内试验的互证关系，避免取样扰动及薄层夹砂导致参数失真；通过分层水位观测和抽水试验查明潜水与承压水的水力联系，为止水帷幕和降水设计提供依据。周边环境勘察应从单一对象调查转向风险体系识别，将高层建筑桩基础、管线和道路荷载纳入统一评价。工程实践表明，勘察成果与支护刚度、降水边界和监测预警值有效衔接后，可显著提升深基坑施工控制的针对性。

参考文献：

[1] 吴林韬. 软土深基坑勘察技术及实例验证分析[J].

江西建材, 2023(4): 147-148+151.

[2] 张晓伦, 黄俊光, 陈奇. 多桥静力触探在临海深厚层超软土地区工程勘察中的应用与展望[J]. 广东土木与建筑, 2023, 30(5): 20-23+68.

[3] 张晗. 基坑开挖对邻近土体扰动的孔压静力触探试验分析[J]. 中国水运, 2023, 23(12): 147-149.

[4] 徐中华, 宗露丹, 王卫东等. 基于群井抽水试验的

承压含水层水文参数反演分析[J]. 地下空间与工程学报, 2024, 20(S1): 180-187.

[5] 严红萍, 陈伟, 武瑞琰. 深基坑监测项目分析[J]. 中国住宅设施, 2023(11): 76-78.

作者简介: 邹江华 (1980.10.01), 女, 汉族, 山东省巨野县, 本科, 工程师, 研究方向: 地质勘查。