 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.9986

Practice of Geotechnical Investigation for Highway Reconstruction and Expansion Projects in Complex Environment: A Case Study of S26 Highway

Weijun Shi

Shanghai Municipal Engineering Design and Research Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai, 200092, China

Abstract

The S26 Highway (Provincial Boundary-G15 Highway) reconstruction project in Qingpu District, Shanghai, involves complex geological conditions including soft soils, liquefied soil layers, and exposed/underground waterways. Conducted while maintaining existing expressway operations, the project presents high environmental sensitivity and significant survey challenges. Based on detailed field investigations, this study systematically summarizes key survey technologies tailored for expansion projects, proposing critical techniques such as soft soil sensitivity assessment, liquefaction layer identification with correction factors, and precise underground waterway boundary detection. Engineering practice demonstrates that integrated survey methodologies effectively identify complex geological conditions, providing reliable data for pile foundation bearing layer selection and foundation pit support design. The findings offer valuable references for similar infrastructure expansion projects.

Keywords

S26 Highway Reconstruction and Expansion Project; Geotechnical Engineering Investigation; Standard Penetration Test

复杂环境下高速公路改扩建工程岩土勘察实践——以 S26 公路为例

石为军

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司，中国 · 上海 200092

摘　要

S26公路（省界-G15公路）改建工程位于上海市青浦区，地质条件复杂，涉及软土、液化土层、明暗浜等多种不良地质，且需在既有高速公路运营条件下进行拼宽改造，环境敏感度高，勘察工作面临诸多挑战。本文基于该工程详细勘察实践，系统总结了针对改扩建工程特点的勘察关键技术，提出了软土灵敏度评价、液化土层判别与折减、暗浜边界精准探查等关键技术要点。工程实践表明，综合运用多种勘察手段，能够有效查明复杂地质条件，为桩基持力层选择、基坑支护设计提供可靠依据。本文经验可为类似改扩建工程勘察提供参考。

关键词

S26公路改扩建工程；岩土工程勘察；标准贯入试验

1 引言

随着长三角一体化发展战略的深入推进，既有高速公路的扩容改建成为提升区域交通能级的重要举措。相较于新建工程，改扩建项目的勘察工作面临更为复杂的既有条件约束。首先，勘察作业需在高速公路不间断运营的环境下进行，场地周边地下管线密集，施工干扰大；其次，新旧结构之间需协调差异沉降，对地基与基础方案的连续性提出了更高要求；此外，场地历经多次建设与改造，填土厚度大、成分混杂，暗浜等隐蔽不良地质体的识别难度显著增加。

S26 公路作为连接上海与江苏的重要射线通道，其改扩建工程西起沪苏省界，东至 G15 公路，全长约 18.8km，建设内容包括道路拓宽、桥梁拼宽、立交改造、驳岸工程等多种结构形式，工程类型多样，地质条件复杂。本文结合 S26 公路（省界 -G15 公路）改建工程的详细勘察实践，从勘探方案设计、原位测试技术、室内试验、不良地质识别、风险控制等方面系统总结勘察工作经验，以期为类似改扩建工程提供技术参考。

2 工程概况与地质条件

2.1 工程概况

S26 公路改建工程建设内容包括将现状双向 6 车道拓宽

【作者简介】石为军（1989—），男，中国河南开封人，本科，工程师，从事岩土工程研究。

为双向 8 车道，同步实施驳岸、箱涵等附属工程。主要包括以下工程内容：

道路工程：两侧各拼宽 3.25m，实现 6 拓 8，道路等级为高速公路，设计速度 100km/h；

桥梁工程：主线高架桥梁双侧拼宽 3.25m，标准跨径 28~30m，跨路口跨径 44~48m。地面桥拓宽宽度与 S26 路基段一致，桥梁基础均采用 ϕ800~ϕ1000mm 钻孔灌注桩，单桩承载力设计值 3000~4000kN。

驳岸工程：沿线涉及河道驳岸改造，采用钢筋混凝土悬臂挡墙，桩长 10m。

2.2 工程地质及水文地质

拟建场区属湖沼平原Ⅰ-1 地貌类型，地形平坦，地面标高 3.07~5.19m。根据区域地质资料，上海地区第四纪地层厚度达 200~400m，拟建场地无第四纪活动断裂，属稳定地块。地震设防烈度为 7 度，设计地震分组为第二组。

根据本次勘察揭露，场地 100m 深度范围内地层自上而下依次为：

①层填土：杂填土、素填土、浜填土，厚度 0.4~6.3m，结构松散，成分复杂；

②层粉质黏土：灰黄色（$②_{1-1}$）可塑为主，灰黄～灰色（$②_{1-2}$）软塑为主，厚度 0.3~6.5m；

③层软土：灰色淤泥质粉质黏土（$③_1$）流塑，厚度 1.0~10.1m；灰色砂质粉土（$③_T$）松散～稍密，具液化性；灰色粉质黏土（$③_3$）流塑，厚度 2.2~25.7m；

⑥层粉质黏土、砂质粉土：可塑～硬塑（$⑥_1$、$⑥_4$），为良好持力层；中密（$⑥_2$）为良好持力层；软塑（$⑥_3$）性质一般，为相对较差层位；

⑦层粉砂：草黄～灰色砂质粉土（$⑦_1$）中密，灰色粉砂（$⑦_{2-1}$、$⑦_{2-2}$）中密～密实，为主要桩基持力层；

⑧层粉质黏土夹粉土：软塑（$⑧_{1-1}$），可塑（$⑧_{2-1}$、$⑧_{2-2}$），为主要桩基持力层；

⑨层粉砂：灰色（$⑨_1$）密实，为深部持力层。

地下水类型主要为潜水和承压水。勘察期间测得潜水水位埋深 0.29~2.78m，年变幅 0.5~1.5m。水质分析表明，地下水对混凝土具微腐蚀性，对钢筋具弱腐蚀性。

3 勘察方案设计

3.1 布孔原则与策略

针对改扩建工程特点，勘探孔布置遵循以下原则：

（1）逐墩布孔原则：桥梁工程按每墩布置勘探孔，确保每墩均有地质资料；当跨度小于 18m 且墩台宽度小于 35m 时，可隔墩布孔。本次主线拼宽桥梁及立交改造，勘探孔按逐墩布孔，局部间距小于 18m 时按隔墩布孔。

（2）新旧结合原则：充分利用既有勘察资料，本次详细勘察借用《S26 沪常高速公路（G1501~G15）新建工程勘察报告》等相关资料，有效减少了重复工作量，同时保证了资料的连续性。

（3）分类控制原则：

道路工程：一般道路勘探孔深度不宜小于 10m，综合考虑液化判别要求，孔深确定为 20m；桥梁接坡段地基处理范围孔深 30m；

桥梁工程：根据拟选桩基持力层确定勘探孔深度，一般性勘探孔 50~75m，控制性勘探孔（占总孔数 1/3）55~80m；

箱涵工程：基础类型主要为扩大基础，勘探孔深度确定为 20m；

驳岸工程：按桩式驳岸考虑，桩端土层考虑选择⑥层，勘探孔深度确定为 20m；

其他：波速孔：深度 20m；十字板孔：深度 20m。

暗浜加密原则：采用小螺纹钻结合“暗浜数据库”进行边界探查，沿道路拓宽边线按 15m 孔距布置小螺纹孔，每条明浜布置 1~2 条断面，孔距 10~15m。

3.2 勘探深度控制

桥梁工程勘探孔深度根据拟选桩基持力层确定：以$⑦_{2-2}$层为持力层时孔深 60~65m，以$⑧_{2-1}$、$⑨_1$层为持力层时孔深 65~70m。控制性勘探孔比例严格按 1/3 控制。以满足桩基沉降计算和持力层稳定性评价需求。

4 原位测试技术

4.1 钻探与取样

采用 GXY-100 型钻机，泥浆护壁循环钻进。针对不同土性采取差异化取样方法：

淤泥质土层：采用薄壁取土器快速静力连续压入法取样，确保Ⅰ级土样质量；

可塑～硬塑状粘土：采用二重管回转取土器钻进取样，获取Ⅰ～Ⅱ级原状土样；

开孔要求：为保障地下管线安全，开孔前采用人工开挖至原状土（深度不小于 3.0m）后方可机械钻进。

取样数量控制原则：每层地基土统计数量不少于 10 件，关键受力层适当加密。

取样间距：浅部②层取样间距 0.5~1.0m，③层软土取样间距 2.0~3.0m，粉性土层同时进行标准贯入试验，间距 1.5~2.0m。

4.2 标准贯入试验

试验主要针对表层填土、粉性土、砂土层，用于评价土的物理状态、估算强度参数、判定砂土液化可能性。采用自动脱钩自由落锤，锤击速率小于 30 击 /min，累计 30cm 锤击数为标准贯入击数 N。

4.3 静力触探试验

采用单桥静力触探，探头面积 15cm²，测试间距 10cm。针对深度超过 30m 的情况，施工中采用导向护管技术，确保探杆垂直度。贯入速度控制在 (1.2 ± 0.3)m/min。

4.4 波速测试

采用单孔法、地面激振，测点垂直间距 1.0m，自下而上逐点测试。本次布置波速测试孔 3 个，测试深度 20m，为场地类别划分（Ⅳ类）和抗震设计参数确定提供了依据。

4.5 十字板剪切试验

试验深度 20m，主要在③层软土中进行，测点间距 1.0m。结果表明，③$_1$ 层灵敏度 4.16~4.86，为高灵敏度土，基坑开挖需注意扰动影响；前期固结压力 Pc=87.4~107.7kPa，接近正常固结。

4.6 测量与封孔

勘探点放样采用上海市 CORS 系统，孔口标高解算精度满足 ±5cm 要求。钻孔终孔后 24 小时内完成水位量测，采用水泥浆或粘土球封孔。泥浆集中收集外运处理，严禁排入河道。

5 室内试验

5.1 物理性试验

黏性土进行含水量、比重、密度、液塑限试验；粉（砂）性土进行颗粒分析试验，提供颗粒分析曲线及不均匀系数。

5.2 力学性试验

（1）常规固结试验：提供 e-p 曲线，最后一级压力大于土的自重压力与附加压力之和。最大固结压力：0~25m 取 400kPa，25~40m 取 800kPa，40~75m 取 1600kPa。

（2）剪切试验：固结快剪采用四级垂直压力，最大垂直荷载 200~400kPa，提供 c、φ 峰值强度指标。

（3）固结系数试验：提供路基影响深度范围内土层固结系数 Cv、Ch，为软基沉降估算提供依据。

（4）其他试验：无侧限抗压强度试验用于饱和软黏土稳定性验算；先期固结压力试验用于了解软土固结历史。

5.3 水质与腐蚀性分析

水样采集标准：潜水每公里 1 组，承压水每 3 公里 1 组，地表水每条明浜 1 组。每组 2 瓶，一瓶加入大理石粉用于侵蚀性 CO_2 分析。同时采取地基土易溶盐试样每公里 1 组。

分析结果表明：地表水、潜水、承压水对混凝土结构具微腐蚀性；长期浸水条件下对钢筋具微腐蚀性，干湿交替条件下对钢筋具弱腐蚀性；地基土对混凝土具微腐蚀性，对钢筋具弱腐蚀性。

6 不良地质识别与评价

6.1 软土与液化土层

（1）软土特征：③$_1$ 层淤泥质粉质黏土和③$_3$ 层粉质黏土具高含水量（w＞40%）、高压缩性（Es=3.42~3.56MPa）、低强度（C=13.4~13.7kPa）、高灵敏度（St=4.16~4.86）特征。

（2）液化土层评价：③$_T$ 层砂质粉土在 7 度抗震设防下判定为轻微液化土层，液化指数 0.01~4.61。桩基设计时，该层侧摩阻力应按液化折减系数 2/3 取值。

6.2 明浜与暗浜

（1）明浜调查：采用测深仪结合小螺纹钻探摸，查明河底淤泥分布。

（2）暗浜探查：采用小螺纹钻结合“暗浜数据库”进行加密探查，查明拓宽段暗浜分布情况。探查成果汇总于《暗浜调查成果表》，提供暗浜分布图及断面图。

6.3 浅层气与地下障碍物

本次勘察未揭露沼气，但根据地区经验，不排除存在可能。地下障碍物主要为既有管线及基础，施工前应收集管线图、实地探测、人工开挖确认。

7 工程风险控制

7.1 施工环境保护

（1）泥浆管理：设置沉淀池和泥浆循环系统，废弃泥浆采用原位固化处理后外运，严禁直排河道或管道。钻探过程中产生的泥浆集中收集，禁止向雨污水井排放。

（2）施工围挡：施工区域设置围挡与警示标志，夜间悬挂警示灯，减少对交通运行的影响。当天不能完成的钻孔，撤场前清理现场，用特制孔口盖板封闭孔口。

（3）场地恢复：钻孔封孔后清理现场，恢复路面。对遗留物品回收，现场冲洗干净，做到文明施工零投诉。

7.2 风险源识别与控制措施

根据《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》，结合本工程特点，识别主要风险源并制定控制措施（表 1）。

表 1 主要风险源识别与控制措施

风险源	控制措施
地震安全性	按 7 度设防，考虑液化折减（折减系数 2/3），加强结构抗震措施
地基变形	控制桩基差异沉降，加强基础刚度，设置沉降观测点，实施信息化施工
软土地基	控制基坑开挖速度，减少对软土扰动；坑底软土采取加固措施；加强软土回弹变形监测
基坑开挖	采用拉森钢板桩支护，分层分段开挖，随挖随撑，加强支护结构变形监测
桩基施工	试桩确定施工参数，控制泥浆比重 (1.05~1.15) 和含砂率 (＜4%)，加强成孔质量检测（孔径、垂直度、沉渣厚度），大直径桩采用后注浆工艺
大型机械设备	对填土区进行地基强度复核，必要时进行地基加固，防止设备倾覆
地表水影响	加强围堰与边坡监测，防止河水倒灌；水上作业配备救生设备，制定应急预案
临近建（构）筑物	施工前调查管线与基础分布，控制变形，实施动态监测；对距既有桩基＜ 5D 的拓宽桩基，评估附加应力影响

7.3 监测建议

施工期间应建立动态监测体系：开工前完成周边建（构）筑物及地下管线的现状调查与影像记录；施工过程中重点监测地面沉降、地下水位变化、基坑支护结构变形及既有桥梁

桩顶位移，将监测数据作为施工参数动态调整的依据，实现信息化闭环管理。

8 结语

S26 公路改扩建工程岩土工程勘察实践，形成了以下主要技术经验：

（1）针对改扩建工程特点，采用“逐墩布孔、利用旧孔、补充控制孔”的综合布孔策略，实现了经济性与可靠性的平衡。桥梁工程按逐墩布孔，道路与驳岸工程合理利用桥梁孔位，有效控制勘察成本。

（2）针对软土、液化土层、暗浜等不良地质条件，采用小螺纹钻加密探查、标准贯入液化判别、十字板剪切试验等手段，精准识别了工程风险。查明③$_{T}$层为轻微液化土层，明确液化折减系数；探明暗浜分布范围及埋深，为清淤换填提供依据。

（3）综合运用钻探、静力触探、波速测试、十字板剪切等多种手段，查明了场地复杂地质条件。静力触探深度超过 30m 时采用导向护管技术，确保测试精度；波速测试为场地类别划分（Ⅲ类、Ⅳ类）提供依据。

（4）通过室内试验获取了各土层物理力学指标，为桩基承载力估算、沉降分析提供了基础数据。针对③层软土的高灵敏度特征，提出了基坑施工的扰动控制要求。

（5）建立了覆盖地震安全、地基变形、软土扰动、基坑开挖、桩基施工等环节的风险控制体系。建议以⑦$_{2\text{-}2}$、⑧$_{2\text{-}1}$层为桩基持力层，采用钻孔灌注桩并控制施工参数，确保工程安全实施。

本工程实践经验可为类似复杂环境下高速公路改扩建工程勘察提供参考。

参考文献

[1] GB50021-2001 岩土工程勘察规范（2009年版）[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.

[2] DG/TJ08-37-2023 岩土工程勘察标准[S]. 上海: 同济大学出版社, 2023.

[3] DGJ08-11-2018 地基基础设计标准[S]. 上海: 同济大学出版社, 2018.

[4] JTG C20-2011 公路工程地质勘察规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.

[5] 龚道平, 胡新红. 论改扩建公路工程地质勘察[J]. 西部探矿工程, 2025, 37(01): 18-23.

[6] 上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司. S26公路(省界-G15公路)改建工程岩土工程勘察报告[R]. 上海: 2025.12。