

Geoprobe 直推钻机在城市水土环境地质调查中的应用

秦 沛, 李海明, 刘春生
(北京市地质工程设计研究院, 北京 101500)

摘要:为进一步查明某大型废弃工矿场地水土环境影响范围和程度,对其影响区进行详细的水土环境质量综合调查,基本查明“起步区”范围内土壤和地下水所受污染状况,进行风险评价并提出土地使用的初步对策与建议。设计水土环境取样钻孔 386 个,钻探工作量 4180 m,要求定位采集土壤和地下水原状样品,以判定地层结构、含水层结构、岩土体力学等关键参数以及场地内土壤的垂向污染特征、污染深度和地下水环境质量现状。为保证工程质量,采用了美国 Geoprobe Systems(地探系统公司) Kejr 分公司的 Geoprobe 系列直推钻机,采用静压或锤击不提钻取土法无水钻进、静压或锤击提钻取土法无水钻进和静压或锤击提钻临时取水钻进方法,有效解决了砂土层液化和钻孔涌砂而造成的取样量不足和样品扰动、污染等问题。本文对其设备、钻具、工艺方法及应用进行了介绍、分析。

关键词:Geoprobe 钻机;废弃工矿场地;水土环境调查;环境取样钻探;静压取样;锤击取样;原状土样;原状地下水样

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2020)03-0001-08

Application of Geoprobe drilling rig in investigation of the urban soil and water environment

QIN Pei, LI Haiming, LIU Chunsheng

(Beijing Geological Engineering Design and Research Institute, Beijing 101500, China)

Abstract: In order to further find out the extent and severity of the impact of a large abandoned industrial and mining site to the soil and water environment, detailed quality investigation of the soil and water environment at the site (including the affected area) was carried out to find out the pollution status of soil and groundwater in the “starting area” with risk assessment, as well as preliminary solutions and suggestions for land use. A total of 386 soil and water environment sampling boreholes were designed with the drilling workload of 4180m. Undisturbed samples of soil and groundwater were required at designated locations to determine the key parameters such as stratum structure, aquifer structure, rock and soil mechanics, as well as the vertical pollution characteristics, pollution depth and groundwater environment quality of the soil at the site. In order to ensure the quality of the project, the Geoprobe series direct push drilling rig from Kejr Branch of Geoprobe Systems (Geo-Exploratin system Company) of USA was adopted. Water-free soil sampling was carried out by static pressing or hammering with or without tripping the tool, and temporary water samples were taken by static pressing or hammering, which effectively solved the problems of insufficient sampling quantity, sample disturbance and pollution caused by sand liquefaction and sand gushing from boreholes. This study introduces and analyzes the equipment, drilling tools, technological methods and applications.

Key words: Geoprobe direct push drilling rig; abandoned industrial and mining site; soil and water environment survey; static pressure sampling; hammering sampling; undisturbed sample; undisturbed groundwater sample

收稿日期:2019-11-26 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.03.001

作者简介:秦沛,男,汉族,1963 年生,教授级高级工程师,探矿工程专业,从事工程施工技术工作,北京市密云区园林东路 6 号,101qinpei@163.com。

通信作者:李海明,男,汉族,1984 年生,高级工程师,地质工程专业,硕士,从事工程施工工作,北京市密云区园林东路 6 号,lihaiming19840918@163.com。

引用格式:秦沛,李海明,刘春生. Geoprobe 直推钻机在城市水土环境地质调查中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):1-8.

QIN Pei, LI Haiming, LIU Chunsheng. Application of Geoprobe drilling rig in investigation of the urban soil and water environment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):1-8.

1 项目概况

北京某大型废弃工矿场地,占地 11 km²。历经数十年生产后关闭废弃,初步调查存在一定的水土环境影响。为进一步查明其影响范围和程度,开展了详细的水土环境调查。

1.1 任务和工作量

“723 工程”项目在以往调查工作基础上,开展北京某场地所属区域水土环境质量调查工作,基本查明北部“起步区”范围内土壤和地下水所受污染状况,开展健康风险评价;初步掌握南部区域范围内可能的水土污染情况,提出土地使用的初步对策与建议。

要求定位采取土壤和地下水原状样品,以查明区内地层、含水层结构,岩土体的力学等参数;土壤的垂向污染特征、污染深度和地下水环境质量现状。共布设土壤勘察孔 386 个,设计总进尺 4180 m;设计采取表层土壤无机样 386 组、有机样 386 组,采取深层土壤无机样 2316 组、有机样 3042 组,采取原状地下水水样 556 组。钻探设计工作量详情见表 1。

表 1 钻探设计工作量

Table 1 Designed drilling workload

钻孔类别	孔深/m	钻孔数/个	进尺/m	备注
原状土壤钻探	8.00	301	2408.00	进尺调整 72.00 m,
	20.00	85	1700.00	总计 4180.00 m
原状取水钻探	8.00	301	2408.00	进尺调整 72.00 m,
	20.00	85	1700.00	总计 4180.00 m

1.2 工程地质条件

据有关资料,工作区 0~50.00 m 地层为:①表层为人工堆积层,多为耕土、含植物根系和砖块、瓦砾等,厚度 1.00 m 左右;②第四系冲洪积层,以砂质粉土、粉砂、细砂为主,中间夹粘质粉土、粉质粘土薄层。

1.3 水文地质条件

工作区为永定河冲洪积扇和潮白河冲洪积扇构成的第四系沉积物,一般厚度 300~400 m。通过对工作区钻孔资料的分析,在埋深 100.00 m 左右存在一个相对稳定的隔水层。

项目设计的原状土壤勘察孔和原状取水孔最大孔深为 20.00 m,施工时为达到调查目的只有 1 个钻孔加深至 24.30 m,所以工程影响深度在 30.00 m 左右。初见水位一般在 6.00~7.00 m,水位埋深 4.00~5.00 m,在细颗粒砂性土层施工时,可能出

现砂土液化取样量不足和钻孔涌砂等状况。

1.4 技术要求

在钻进过程中,根据取样深度要求,分别在孔深 50、100、150、200、300、400、500、600、800、1200、1600 和 2000 cm 处各采取 1 组土壤样品(图 1)。视钻孔含水层位置采取原状水样品,一般 8.00 m 深钻孔在 8.00 m 位置采取 1 组,20.00 m 深钻孔在 8.00、12.00 和 18.00 m 位置各取 1 组。同时在记录表中记录钻孔编号、经纬度坐标、场地环境描述、土壤质地划分、层位变化深度、土壤物理或生物特征和土样编号等信息。

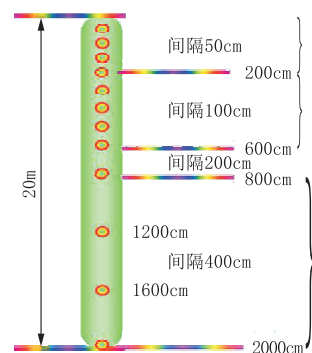


图 1 原状土壤钻探孔取样位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of undisturbed soil sampling positions in the drilling hole

钻进所获取的土壤样品,应标号并按顺序码放在岩心箱内,之间应留有间隙或用隔板隔开,避免相互污染,及时移交给取样人员取样,取样人员取走样品时应有相应的交接记录。

2 工艺流程和施工难点分析

2.1 工艺流程(图 2)

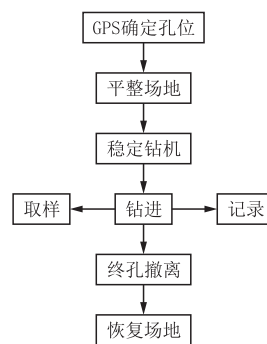


图 2 工艺流程图

Fig.2 Process flow chart

2.1.1 定位

使用经校对合格的 GPS 高精度掌机按设计要

求的经纬度坐标确定孔位,要求精度 ≤ 1.00 m,并在确定的点位上用钢管锤下 20~30 cm,灌入白灰粉做标记。

2.1.2 平整场地、稳定钻机

在标记的点位处平整出 5.00 m $\times$ 5.00 m 左右的施钻场地,场地应平整稳固,填方量应小于施钻场地面积的 1/4,并应以木夯夯实。另需在施钻场地较宽敞的一侧,平整出约 10.00 m² 左右的存放土壤样品的场地,铺上塑料布或苫布,以避免土样污染。

把钻机搬运到孔位标记点处,在钻机底盘处铺上木板,使机架周正平稳,下放钻具使钻机中心与孔位标记点重合,并用 GPS 高精度掌机检查孔位标记点的准确度和对孔精度,同时检查钻探设备安装是否安全稳固,以及钻机及相关配套设施是否完好。

2.1.3 获取样品和记录

在钻进过程中,根据取样深度要求定点定位取样,同时在记录表中记录相关信息。

2.1.4 恢复场地

钻孔达到设计深度,并完成所有取样任务以及其他相关工作后,由采样人员出具钻孔合格确认单,将钻机及其附属设施搬离施工场地,在孔口用专用标记桩标记孔号,以备查验。最后恢复场地地坪,使其无明显坑沟后,进入下点施工。

2.2 施工难点

为查明场地内土壤、地下水的垂向污染特征,需要进行垂直剖面土壤、地下水定点定位原状样的采取,因此,使钻探工程施工难度增加。

2.2.1 工艺方法受限,施工难度增加

为取得土壤和水的原状样品,避免冲洗液污染(影响)样品质量,无法使用泥浆钻进;第四系地层抗扰动能力差,无法采用回转钻进方法。因此,只能采用压入式无冲洗液钻进方法,对孔壁维护和钻进效率都有较大的影响。

2.2.2 取样(心)难度大,重复工作量较多

由于需要定点定位采取原状土、水样,较一般取心钻探工作量大;同时,在完成土样采取后要进行专门的定点水样采取,使钻探工作量增加。

2.2.3 对机具要求较高,成本增加

为保证每层土壤样品不互相混淆污染,必须使用钻具保护孔壁的同时,隔离样品和围岩(地层)。因此,钻具既是取心工具又是护壁套管;同时,由于采用锤击式冲击钻进,对钻具的抗冲击性有更高的

要求。

2.2.4 场地空间有限,施工机具选择受限

由于场地属于废旧厂区,施工地上、地下环境较复杂。要求设备的占用空间小,机动灵活性强,对地层的敏感性强。

3 钻探施工技术

3.1 设备配备

本次原状土壤钻探和原状取水钻探主要钻遇地层为砂质粉土、粉砂和细砂,水位较浅,且易液化、涌砂。该钻探施工要求所取土壤样品为原状样,不能使用泥浆钻进,避免因泥浆污染而影响土样质量;要求每层土壤样品不得混淆污染,只能采用定点定位取样。对钻探设备和施工工艺的选择提出了较高要求,无法使用常规的循环钻进,只能采用跟管静压或锤击工法施工。根据钻探施工特点,对 Geoprobe 7822DT 型直推式土壤钻机、TGQ-50C 型车载机动浅层取样钻机等钻探设备进行了前期调研,经过反复对比分析,最终选用 Geoprobe 7822DT 型直推式土壤钻机(图 3),并采用静压或锤击法无水钻进工艺。施工过程中,因工期需要,又租赁了一台 Geoprobe 8040DT 型直推式土壤钻机,其性能参数与 Geoprobe 7822DT 型直推式土壤钻机相近。

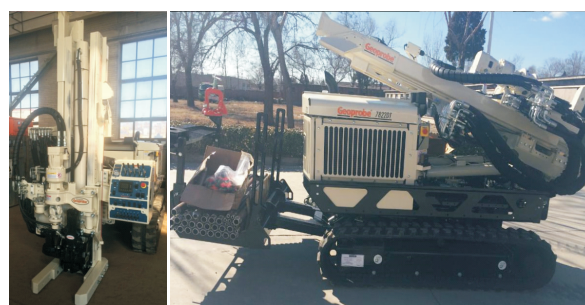


图 3 Geoprobe 7822DT 型钻机

Fig.3 Geoprobe 7822DT drilling rig

Geoprobe 7822DT 型直推式土壤钻机是美国 Geoprobe 公司专门为土壤、地下水污染调查领域研发的取样钻机,设备结构紧凑,功能多样,可在一些其他设备采样受限的区域进行作业,采样最深可以达到地下 30 m。Geoprobe 7822DT 型直推式土壤钻机由 3 个主要部分构成:探测组件、液压系统、电气系统。其主要性能参数见表 2。

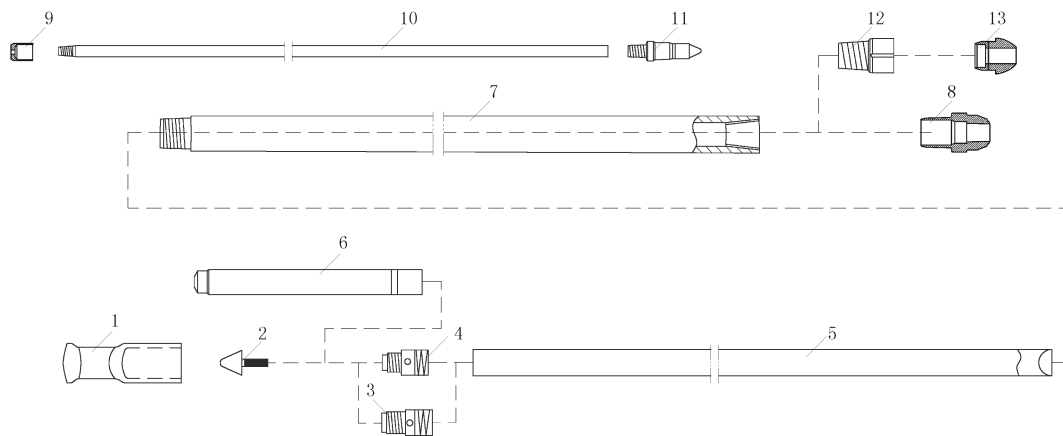
3.2 钻进方法

3.2.1 静压或锤击不提钻取土法无水钻进

表2 Geoprobe 7822DT 型钻机基本性能参数
Table 2 Basic performance parameters of Geoprobe
7822DT drilling rig

总体性能 和尺寸	工作环境的温度范围/℃	-29~49
	设备质量/kg	3427
	长度(折叠)/mm	3378
	宽度/mm	1626
	工作高度/mm	4521
发动机	地面载荷/(kgf·cm ⁻²)	0.27
	发动机类型	久保田 4 缸涡轮增压柴油机
	额定功率/kW	42
液压系统	油箱容量/L	64
	推进力/kN	160
	起拔力/kN	214
	液压系统压力/bar	275
冲击锤动力头	液压流量/(L·min ⁻¹)	151
	冲击锤型号	GH64
	冲击频率/Hz	32
螺旋动力头	质量/kg	41
	动力头型号	GA4000 旋转动力头,两速
	高扭矩/(N·m)	5423
	低扭矩/(N·m)	2711
	高转速/(r·min ⁻¹)	0~150
	低转速/(r·min ⁻¹)	0~90

注:1 kgf/cm²=9.807 Pa;1 bar=10⁵ Pa。



1—外管冲锤帽;2—减震器;3—内钻杆接头;4—内衬管接头;5—内衬管;6—减震器;7—外钻杆;8—削靴;9—内管帽;10—内钻杆;11—分离式钻头;12—抛弃式削靴座;13—抛弃式削靴

图4 不提钻取心钻具组合示意图

Fig.4 Schematic diagram of the drilling tool assembly for coring without lifting the drilling tool

置,加上足够的内外管,加外管冲锤帽后并对好冲锤定位帽,再以静压或锤击的方式使钻具切入土体,达到下一个取样深度时,停止下压和锤击,取出内杆和内管,完成第二个钻进回次,如此往复,直至完成相应的取样任务。

3.2.2 静压或锤击提钻取土法无水钻进

3.2.2.1 适用条件

3.2.1.1 适用条件

此钻进方法适用于开孔至含水层以上或地下水承压压力较小的连续取样地层。

3.2.1.2 钻具组合(图4)

钻具外管组合:DT22 削靴(含抛弃式削靴和抛弃式削靴座)+2.25 in(1 in=25.4 mm,下同)外钻管+2.25 in 钻杆。

钻具内管组合:分离式钻头+DT22 内衬管+DT22 内管头+DT22 减震器+DT22 内杆,见图4。

3.2.1.3 操作方法

开孔用 2.25 in 十字形液动冲击钻头破除地表混凝土地面后,将组装好的钻具上端加外管冲锤帽后,与钻机液压锤的冲锤定位帽连接,开动钻机施以 100 kN 左右的静压力使钻具下行钻入土体,若钻具不能压入土体,可启动液压锤以 32 Hz 的频率敲击钻具,使其压入土体。当削靴底端达到取样预计深度时,停止下压和锤击,取出内杆和内管,完成一个钻进回次,再将连接内杆的新内管重新放入外管位

此钻进方法适用于施工区的各类取样地层。

3.2.2.2 钻具组合

钻具外管组合:DTR(或 MC5)削靴+2.25 in 岩心管+2.25 in 钻杆。

钻具内管组合:活塞式钻头+岩心爪+取心管+内管塞+DTR(MC5)内钻杆,见图5、图6。

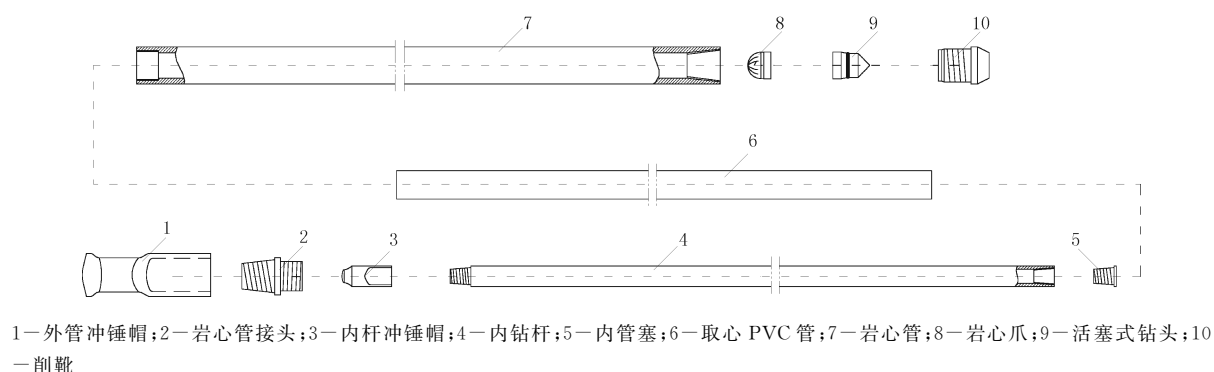


图 5 提钻取心钻具组合示意图

Fig.5 Schematic diagram of drilling tool assembly for coring with lifting the drilling tool



图 6 组装钻具

Fig.6 Drilling tool being assembled

达到取样下部深度时,停止下压和锤击,提出钻具取样,如此往复,直至完成一个钻孔的取样任务后移位至新钻孔。采取原状土样操作过程见图 7。

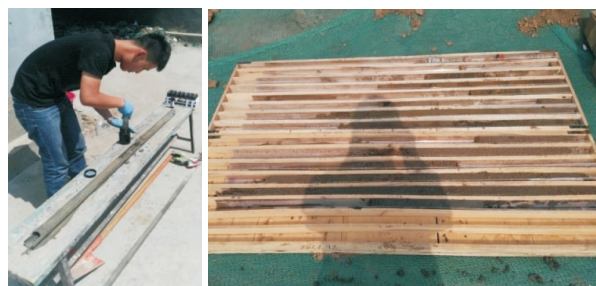


图 7 采取原状土样

Fig.7 Removing the undisturbed soil sample

3.2.2.3 操作方法

开孔用 2.25 in 十字形液动冲击钻头破除地表混凝土地面后,将组装好的钻具上端加外管冲锤帽后,与钻机液压锤的外管冲锤帽定位帽连接,开动钻机施以 100 kN 左右的静压力使钻具下行钻入土体,若钻具不能钻入土体,可启动液压锤以 32 Hz 的频率敲击钻具,使其钻入土体。当切割头底端达到取样预计上部深度时,停止下压和锤击,取出外管冲锤帽和顶杆,重新放入外管冲锤帽,并对好外管冲锤帽定位帽,再以静压或锤击的方式使钻具切入土体,

3.2.3 静压或锤击提钻临时取水钻进

3.2.3.1 适用条件

此钻进方法用于原状土壤钻探临时性取水。

3.2.3.2 钻具组合

钻具外管组合:2.25 in 抛弃式钻头+抛弃头座+2.25 in 外钻管+2.25 in 钻杆。

钻具内管组合:0.65 in 滤管+1.25 in 内钻杆,见图 8。

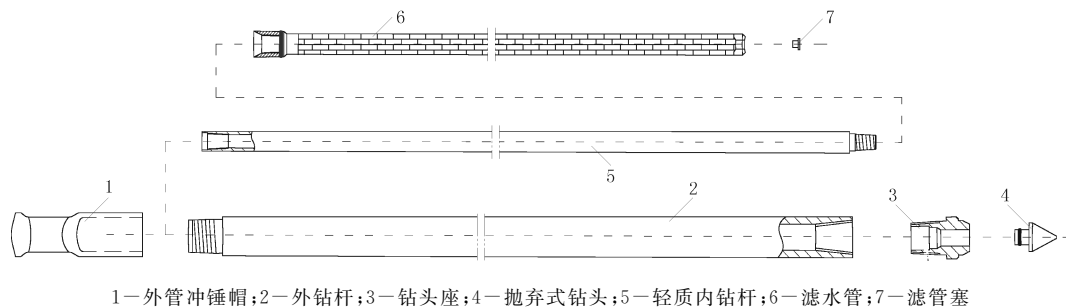


图 8 临时取水钻具组合示意图

Fig.8 Schematic diagram of temporary water sampling assembly

3.2.3.3 操作方法

开孔用 2.25 in 十字形液动冲击钻头破除地表混凝土地面后,将组装好的钻具上端加外管冲锤帽后,与钻机液压锤的外管冲锤帽定位帽连接,开动钻机施以 100 kN 左右的静压力使钻具下行钻入土体,若钻具不能钻入土体,可启动液压锤以 32 Hz 的频率敲击钻具,使其钻入土体。当抛弃头底端达到第一个取样预计深度时,停止下压和锤击,取出外管冲锤帽,上提外管,压下内管,使滤管从抛弃头架内伸出,下入连接好单向阀式取水器的检查管至滤管内,上下快速提动放下检查管,即可提出水样,盛入相应的容器内,第二个水样,重复上述工作,直至完成一个钻孔的取样任务后移位。采取原状水样过程见图 9。



图 9 采取原状水样

Fig.9 Taking the original water sample

3.3 技术措施

3.3.1 开孔准备

(1)定位。为保证施工安全,避免破坏施工区域内的地理供电、通讯给排水等市政设施,定位前,请物探专业人员用探测仪器探测,确认没有或不妨碍上述设施后,甲方项目技术人员用 GPS 指定点位,在确定的点位上用红色自喷漆做标记。再由测量专业技术人员采用 RTK 定位测量施工点位坐标(北京 54 坐标系)和高程。

(2)平整场地、稳定钻机。点位位于路面或绿化带边缘,地势较平坦,地面坚实,可以直接对位施工;少部分位于拆迁后的废墟内,需要用钻机推铲在标记的点位处平整出 5.00 m×5.00 m 左右的场地并用钻机多次碾压,使场地平整坚固。另在施钻场地较宽敞的一侧,平整出约 10.00 m² 左右的场地,用于存放钻获的土壤样品等。

钻机到孔位,使机架周正平稳,下放钻具使钻机中心与孔位标记点重合,同时检查钻探设备安装是

否安全稳固,以及钻机及相关配套设施是否完好。

3.3.2 工艺参数控制

在施工中,根据地层特性、钻头类型、钻头尺寸、钻头结构等各方面因素综合考虑工艺参数。选用的钻进工艺参数见表 3。

表 3 钻进工艺参数

Table 3 Selection of drilling parameters

钻 进 方 法	钻孔 直径/ mm	钻进工艺参数	
		静压力/ kN	震击频 率/Hz
静压或锤击不提钻取土法无水钻进	57.15	100	32
静压或锤击提钻取土法无水钻进	57.15	100	32
静压或锤击提钻临时取水钻进	57.15	100	32

3.3.3 孔内异常处置

Geoprobe 7822DT 型直推式土壤钻机自带电子诊断系统,对机器工作情况实时掌握,可以准确监测故障,判明孔内异常的具体情况,在确定故障点的基础上,严格按规范进行处理。

3.3.4 封孔和场地清理

终孔后,选用水灰比为 0.3:1~0.5:1 普通硅酸盐水泥进行封孔,在孔口用专用标记桩标记孔号,以备查验。最后恢复场地地坪,使其无明显坑沟后,进入下一工作点施工。

3.3.5 资料管理

钻探施工中,及时记录和整理有关资料(包括钻孔记录表、钻孔编录记录表、钻探工程班报表、编录钻孔的钻孔柱状图、GPS 测定地理坐标等钻孔信息表、影像资料等)。工作结束后,按照甲方要求,对有关原始资料及时整理归档。

4 工程完成情况

项目开动 Geoprobe 系列直推式土壤钻机 2 台,实际工作 8 个台月,完成原状土壤钻探 4206.80 m,原状取水钻探 4262.30 m,获取表层土壤无机样品 392 组、表层土壤有机样品 392 组,深层土壤无机样品 2358 组、深层土壤有机样品 3313 组,原状地下水样品 556 组,达到了地质设计要求。主要工作量详见表 4、表 5。

5 结论与建议

5.1 结论

(1)应用 Geoprobe 系列钻机及机具,克服了场地局限、地层复杂等难题,完成了地下水、土壤取样

表 4 钻探工作量
Table 4 Drilling workload

钻孔类别	孔深/m	完成进尺/m	完成率/%
原状土壤钻探	8.00	2496.00	103.65
	20.00	1710.80	100.64
	小计	4206.80	100.64
原状取水钻探	8.00	2551.50	105.96
	20.00	1710.80	100.64
	小计	4262.30	101.97
合计		8469.10	101.31

表 5 取样工作量
Table 5 Sampling workload

取样类别	采集样品/组	完成率/%
表层土壤无机样品	392	101.55
表层土壤有机样品	392	101.55
深层土壤无机样品	2358	101.81
深层土壤有机样品	3313	108.91
原状地下水水样品	556	100.00

钻孔 772 个,进尺 8469.10 m。采取原状土壤样 6455 件,原状地下水水样品 556 件,达到了地质调查的目的,为场地污染调查提供了准确的样品和依据。

(2)采用静压或锤击不提钻取土法无水钻进、静压或锤击提钻取土法无水钻进和静压或锤击提钻临时取水钻进方法,有效解决了砂土层液化和钻孔涌砂而造成的取样量不足和样品扰动、污染等问题,在保证取样质量的同时,较常规钻探减少了因捞砂所占用的时间,从而提高了施工效率,降低了施工成本。

(3)该系列钻机是目前原状水土取样较为理想的机具。

Geoprobe 系列钻机集回转、静压、冲击钻进功能于一体,能定点、定位、高效完成原装水样的采取工作。配套使用了 Geoprobe DT22 双套管土壤取样系统(静压或锤击不提钻取土法无水钻进)、Geoprobe MACRO-CORE MC5 土壤取样系统(静压或锤击提钻取土法无水钻进)及 SP22 地下水取样系统(静压或锤击提钻临时取水钻进)等 3 套不同钻具组合,采取了 3 种不同的钻进方法,分别针对开孔至含水层以上或地下水承压压力较小的连续取样地层土壤取样、不稳定地层以及流沙层或者流动层土壤取样、定深原状水取样等 3 种情况,在精准快速完成现场定深取样的同时,做到了不扰动土层、不造成上下层土壤的交叉污染或者污染物位移。

5.2 建议

目前,我国对同类机具尚在研发和初试阶段,建议在加快推进该类设备国产化的同时,并对其一些功能进一步完善。

(1)进一步优化动力驱动,适应城市地勘需要。

Geoprobe 系列直推式土壤钻机由久保田柴油发动机提供动力,较之全电驱动,柴油机噪声大,在城市地勘工作中容易形成扰民,不利于环境健康,条件许可时,可采用电驱动。

(2)加强钻具研究,提高使用寿命。

钻具因不断的锤击作用承受冲击力较大,强度降低,损毁严重。在钻遇砂卵石或者软硬交替地层时,由于大力锤击和交替受力,丝扣容易变形,甚至断裂、滑扣等。目前,国产同类钻具在强度和使用寿命上仍有较大的差距。应加强接头螺纹材质、强度的研究,并在施工中及时检查丝扣螺纹的完整程度,及时更换钻具。

(3)改进工艺,确保原状水样的采取。

采用单向阀式(贝勒管)取水器,上下快速提、放检查管提出水样,对工人的操作熟练程度有较高要求,影响原状水样的采取,应研究先进的新型取水器。

参考文献(References):

- [1] 王达,李艺,周红军,等.我国地质钻探现状和发展前景分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):1-9.
WANG Da, LI Yi, ZHOU Hongjun, et al. Analysis on present situation of geological drilling in China and the development prospects[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(4):1-9.
- [2] 王汉宝,刘秀美,梁健.DR-150 型全液压履带取样钻机的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1):27-30.
WANG Hanbao, LIU Xiumei, LIANG Jian. Development of DR-15 crawler hydrolic sampling drilling rig[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(1):27-30.
- [3] 赵海涛,刘秀美,王汉宝.QK 系列多功能取样钻机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):53-55,65.
ZHAO Haitao, LIU Xiumei, WANG Hanbao. Research and development of QK series of multifunctional sampling drilling rig[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(9):53-55,65.
- [4] 吴浩.新型轻便浅孔取样钻机的研制[D].北京:中国地质大学(北京),2009.
WU Hao. Development of a new portable shallow hole sampling drill[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009.

- [5] 赵洪波,李国民,刘宝林,等.刘长营环境科学钻探取样技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11):14-17.
ZHAO Hongbo, LI Guomin, LIU Baolin, et al. Research on sampling technology for environmental scientific drilling in Liuchangying[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(11):14-17.
- [6] 赵洪波,宋殿兰,卢猛,等.浅层钻探技术在海南某矿区化探取样中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):18-21.
ZHAO Hongbo, SONG Dianlan, LU Meng, et al. Application research on shallow drilling technology for geochemical exploration sampling in a mining area of Hainan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(2):18-21.
- [7] 刘家荣.无循环钻进工艺在易坍塌、缩孔和卵砾石地层的应用[J].地质与勘探,2010,46(5):960-966.
LIU Jiarong. Application of no-circulation drilling technology to collapse prone, shrinkable and gravel strata[J]. Geology and Exploration, 2010,46(5):960-966.
- [8] 王峪.轻便钻机在地质勘察工程中的应用[J].西部探矿工程,2013,25(5):80-82.
WANG Yu. Application of portable drilling rig in geo-technical investigation[J]. West-China Exploration Engineering, 2013,25(5):80-82.
- [9] 卢倩,唐守宝,卢猛,等.轻便无水取样钻机研制与试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):62-66.
LU Qian, TANG Shoubao, LU Meng, et al. Development and test of anhydrous drill[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(7):62-66.
- [10] 卢倩,卢猛,王福海,等.便携式冲击取样钻机具的研制与试验[J].地质装备,2018,19(1):28-29.
LU Qian, LU Meng, Wang Fuhai, et al. Development and test of portable impact sampling tools[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2018,19(1):28-29.
- [11] 王毅,赵斌.轻便钻机在黄土塬地区的应用现状及前景[J].机电工程技术,2017,46(3):50-52.
WANG Yi, ZHAO Bin. Present situation and prospects of portable drilling rig in loess tableland area[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2017,46(3):50-52.
- [12] 冉灵杰,宋殿兰,刘家荣.30m无循环取样钻机的研制[J].地质科技情报,2016,35(5):221-225.
RAN Lingjie, SONG Dianlan, LIU Jiarong. Development of 30 meters no-circulating sampling drilling rig[J]. Geological Science and Technology Information, 2016,35(5):221-225.
- [13] 李锡.背包式钻机的工程应用与存在的若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):56-58,62.
LI Xi. Engineering application of knapsack type drilling machine and its problems[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(5):56-58,62.
- [14] 邢宇鑫,唐磊,肖爽,等.TGQ-15型轻便取样钻机钻具改进实验及其应用[J].城市地质,2017,12(3):95-99.
XING Yuxin, TANG Lei, XIAO Shuang, et al. Improvement experiment of the TGQ-15 portable sampling drill rig and its application[J]. Urban Geology, 2017,12(3):95-99.
- [15] 秦沛,张建杰.TQC-15钻机在北京环境地质调查中的应用[J].地质装备,2017,18(4):27-29.
QIN Pei, ZHANG Jianjie. Application of TQC-15 drilling rig in Beijing environmental geological survey[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2017,18(4):27-29.

(编辑 王建华)