

砂土卵石地层高频冲击直推半合管 取样工艺应用研究

王青薇¹, 钟道旭², 尹业新¹, 王水^{*2}, 黄真真¹, 王瑜³

(1. 南京贻润环境科技有限公司, 江苏南京 211215; 2. 江苏省环境工程重点实验室, 江苏南京 210036;

3. 中国地质大学(北京), 自然资源部深部地质钻探技术重点实验室, 北京 100083)

摘要:地层的取样质量决定了污染场地调查的准确性, 获取无污染、无扰动、结构完整且取心率要达到一定要求的样品对于环境取样具有十分重要的意义。砂土卵石地层软硬交错、结构松散, 造成取样率低、样品结构易破坏、钻进取样效率低等问题。本文采用高频冲击直推钻机, 配合半合管取样钻具, 以乌海市重点行业企业某化工园区的污染详查工作为例, 介绍了高频冲击直推半合管取样工艺及其应用效果。该工艺在砂土卵石地层中岩心采取率达85%以上, 样品原状性好, 为后期该类地层的钻探取样提供了可靠的参考依据。

关键词:高频冲击直推钻机; 半合管取样钻具; 钻探取样; 污染场地调查; 砂土卵石地层

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2022)04-0111-06

High frequency impact direct push split tube sampling technology for sandy pebble layers

WANG Qingwei¹, ZHONG Daoxu², YIN Yexin¹, WANG Shui^{*2}, HUANG Zhenzhen¹, WANG Yu³

(1. *Nanjing Eprobe Environmental Technology Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 211215, China;*

2. *Jiangsu Province Key Laboratory of Environmental Engineering, Nanjing Jiangsu 210036, China;*

3. *China University of Geosciences, Key Laboratory of Deep GeoDrilling Technology of Ministry of Natural Resources, Beijing 100083, China)*

Abstract: Formation sampling quality determines the accuracy of contaminated site investigation. It is of great significance for environmental sampling to obtain samples without pollution or disturbance, but with the intact structure and the required core recovery. The sandy pebble layer is featured of soft and hard alternating with loose structure, resulting in low sampling rate, easy damage to the sample structure and low sampling efficiency. With regard to the pollution detailed investigation of a chemical park of a key industrial enterprise in Wuhai City where the high-frequency impact direct push drill was used together with the split tube sampling drilling tool, this paper introduces the high-frequency impact direct push split tube sampling technology and its application performance. The core recovery of this process in the sandy pebble layer was more than 85%, and the samples were kept highly undisturbed, which provides a reliable reference basis for drilling and sampling in this kind of stratum in the later stage.

Key words: high frequency impact direct push drill; split tube drilling tool; drilling sampling; contaminated site investigation; sandy pebble layer

收稿日期: 2021-08-13; 修回日期: 2021-10-08 DOI: 10.12143/j.ztgc.2022.04.017

基金项目: 江苏省自然科学基金面上项目“有机污染场地土壤热处置机理与模型构建研究”(编号: BK20191501); 江苏省环境工程重点实验室开放课题“针对密实土壤的高效土壤采样技术研究”(编号: KF2017004)

第一作者: 王青薇, 女, 汉族, 1989年生, 工程师, 水利工程专业, 硕士, 主要从事土壤污染修复技术与设备研发工作, 江苏省南京市溧水经济开发区柘宁东路368号, 393012451@qq.com。

通信作者: 王水, 男, 汉族, 1975年生, 高级工程师, 主要从事土壤污染修复技术与设备研发工作, 江苏省南京市鼓楼区江东北路176号, ws@vip.sina.com。

引用格式: 王青薇, 钟道旭, 尹业新, 等. 砂土卵石地层高频冲击直推半合管取样工艺应用研究[J]. 钻探工程, 2022, 49(4): 111-116.

WANG Qingwei, ZHONG Daoxu, YIN Yexin, et al. High frequency impact direct push split tube sampling technology for sandy pebble layers[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(4): 111-116.

0 引言

改革开放以来,我国工业化发展取得了巨大成就,国民经济也得到了不断的提高,但工业化发展所带来的环境污染等问题已经严重影响到了人们的日常生活环境^[1-2]。据2014年4月环保部、国土资源部公布的我国土壤污染状况调查结果显示,全国土壤环境状况总体不容乐观,工矿业废弃地土壤环境问题突出。依据《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》(环发[2012]140号)、《土壤污染防治行动计划》(国发[2016]31号)等文件的要求,关停并转、破产或搬迁工业企业原场地采取出让方式重新供地的,应当在土地出让前完成场地环境调查和风险评估工作^[3-5]。因此为确定污染场地的污染物种类、污染程度及边界情况,需要对污染场地土壤进行取样分析^[6]。在污染场地调查过程中,传统地质勘察钻进取样,会带入水、泥浆或泡沫等其他物质,对样品造成干扰,影响取出样品的代表性。目前对于污染场地土壤取样要求对样品无扰动、无二次污染且取心率要达到一定比例,现代环境无扰动取样主要使用直推式土壤取样钻具^[7]。

直推式取样技术起源于20世纪20年代的荷兰,到21世纪之后我国才研制出了国产化的环境调查土壤取样直推式钻机,主要应用于对场地的污染状况调查,该直推式钻机不仅可以远程无线遥控,还采用三角形履带提高场地通过性^[8-10]。在岩心钻探中,经常会遇到极破碎、软弱易冲蚀等复杂地层,岩心采取率低或者岩心质量不能保证。因此钻探取样质量的好坏不仅仅依赖于钻机的好坏还依赖于取心

钻具,对不同土壤质地,往往选取的取心钻具也有所不同^[11]。对于砂土卵石层这种结构松散地层,直推取样时地层结构往往会遭到破坏,很难取到完整岩心,造成不同地层土壤分析困难^[12]。针对这种情况,经过反复试验与摸索改进,研制出了直推半合管钻具,通过直推钻机结合半合管工艺取样,可以很好地解决在砂土卵石层取心质量差的难题。

为此,本文主要介绍高频冲击直推半合管取样工艺的组成结构、取样工艺流程,并探究其在砂土卵石层中的实际应用情况,为后期在该地层钻探取样提供可靠的技术指导。

1 高频冲击直推半合管构成及取样工艺流程

1.1 高频冲击直推半合管构成

所谓半合管,就是将传统的单管钻具取心器切割成两个半圆管,两个半圆管呈相互咬合状,进行组合后管体受到压力时不会涨开。钻具上连接头的外螺纹可与冲击内管连接,内螺纹与半合管连接;下接头连接半合管和倒刺(岩心卡取器)。上接头、半合管、倒刺和下接头四者连接在一起,使剖开的半合管形成一个整体,强度接近完整管材强度^[13]。钻进时拼合为密闭的圆形管,并置于套管内。取心时取下上下两个连接头拆开成两个半圆管,确保岩心样从半合管中取出时不被破坏^[14]。半合管取样钻具构成包括上接头、半合管、倒刺、下接头、套管以及钻头。半合管的这种设计相对于传统钻探取样工艺,具有组装和拆卸快捷方便、取样容积大、岩心获取便利且岩心原状性保存完好等优势。半合管组成结构如图1所示。

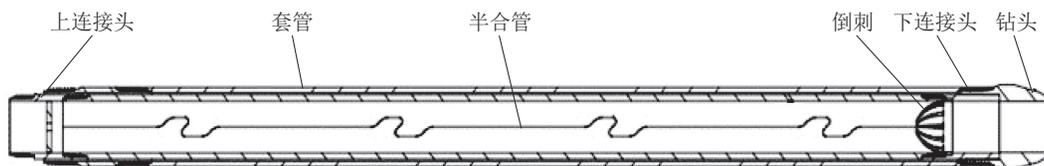


图1 半合管取样钻具构成

Fig.1 Composition of the split tube sampler

高频冲击直推半合管取样是指将带有半合管的取样钻具通过直推钻机液压力及冲击锤锤击推入到地下土壤中,当取样钻具钻进一定深度时,从套管中取出拼合好的半合管并取出样品,取样结束后清洗半合管,再重复上述步骤,直至取样钻具被贯入到最

终的取样深度为止。

1.2 高频冲击直推半合管取样工艺流程

高频冲击直推半合管取样工艺流程如图2所示,主要包括采样点的GPS定位、钻机进场、开孔前准备工作、连接半合管、直推钻进过程、记录采样到

最后的终孔、封孔至清理现场、撤场过程。

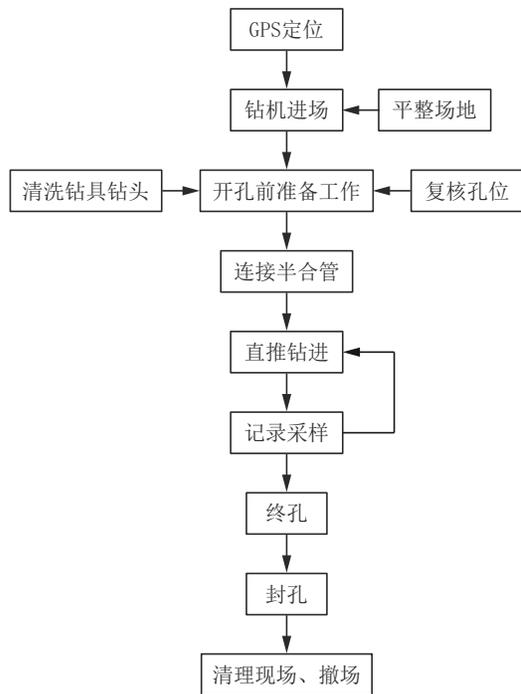


图2 高频冲击直推半合管取样工艺流程

Fig.2 Sampling procedure with the high frequency direct push split tube

连接半合管主要是将半合管与倒刺、上接头、下接头相连接,置于配套连接好钻头的套管内,放置于钻机动力头下,安装敲击帽。

直推钻进过程是利用直推钻机液压油缸的液压推进力和冲击锤的冲击力将钻具敲击到定深。当钻机将冲击力和静压推进力传递至敲击帽时,敲击帽驱动内置半合管及半合管接头向下推入地下,同时,套管和取样钻头也被贯入地下,因套管与半合管长度相等,当冲击套管向下运动一根套管长度后,半合管内样品刚好取满。

样品取满后取下敲击帽,利用卷扬、回拔器或钻杆回拔帽等辅助钻具回拔装置将半合管取出地面,拆分半合管取出土壤样品,按顺序放置岩心箱中并记录采样过程。清洗半合管后按照上述连接过程重新组装半合管,将组装好的半合管重新放入套管内,在装好的半合管和套管的上端分别增加1根冲击内管和1根套管,继续向下推进,开始下一个回次的推进和取样,依次递增,直至完成所有深度采样。

2 应用实例分析

2.1 项目概述

项目任务是对乌海市重点行业企业某化工园区内疑似污染地块进行详细调查。乌海地区洪积扇顶部成土母质粒径粗大,多为石块、砾石和粗砂杂乱堆积,洪积扇中部成土母质粒径渐细,有一定的分选性和磨圆度,多为砾卵石、粗细砂等;洪积扇前缘成土母质粒径细,具有分选性和层理性,成分主要为中细砂、粉砂、粘土及少量砾石和粗砂^[15]。因此乌海地区重点行业企业用地详细调查中的钻探取样过程普遍存在钻进成孔困难、施工工艺复杂、岩心采取率低、取心质量差、钻探效率低等施工技术难题。

2.2 取样要求

根据《重点行业企业用地调查样品采集保存和流转技术规定》中的要求,每次钻进深度宜为50~150 cm,岩心平均采取率一般不小于70%,其中,粘性土及完整基岩的岩心采取率 $\leq 85\%$,砂土类地层的岩心采取率 $\leq 65\%$,碎石土类地层岩心采取率 $\leq 50\%$,强风化、破碎基岩的岩心采取率 $\leq 40\%$ 。全程套管跟进,无泥浆钻进。乌海地区整体分布为砂土地层,因此岩心采取率 $\leq 65\%$ 。

2.3 取样钻机及钻探工艺

泥浆回转钻进必然会对土样造成污染、影响样品污染指标的测试结果,应采用低扰动无泥浆钻进方式。因此,选用了Eprobe2000+钻机进行勘察取样,Eprobe2000+钻机主要性能参数见表2。

表2 Eprobe 2000+钻机主要性能参数
Table 2 Specifications of Eprobe 2000+ drilling rig

名称	参数
行程	1800 mm
质量	4.65 t
长度(折叠)	3300 mm
宽度	1740 mm
高度(折叠)	2320 mm
冲击锤型号	DH-1016
冲击频率	34 Hz
行程速度	0~8 km/h
推进力	183 kN
起拔力	277 kN
系统压力	24.5 MPa
发动机额定功率	74 kW
接地压力	0.39 kg/cm ² (39 kPa)

根据钻探地层的实际情况,本次选择高频冲击直推半合管的取样工艺。选用 $\text{O}102\text{ mm}$ 套管和 $\text{O}83\text{ mm}$ 半合管,套管和半合管长度均为 1.5 m ,单回次钻进深度为 1.5 m ,成孔孔径 102 mm ,岩心直径 67 mm 。钻具组成结构及实物见图3。

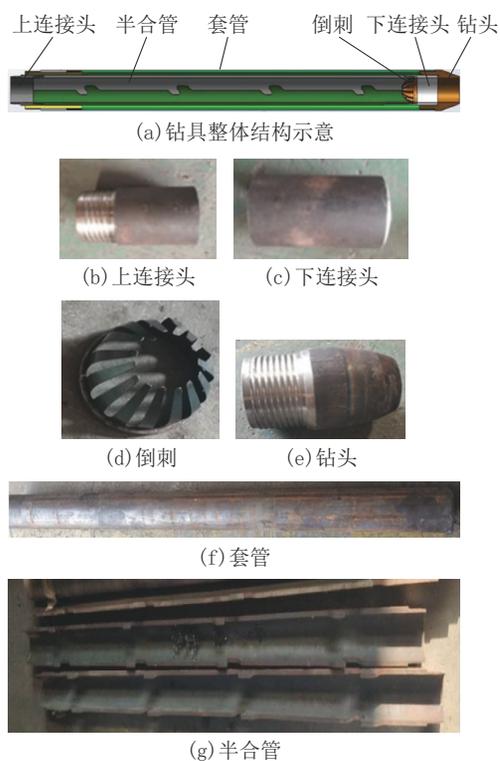


图3 直推半合管钻具结构组成

Fig.3 Composition of the direct push split tube drilling tool

2.4 施工工艺流程

按照设计要求,应完成疑似污染地块内6个布点位置的钻孔取样,地层以砂土、卵石层为主,最大钻探深度为 8 m ,要求每间隔 1 m 至少取 65% 的原状土柱,并装入岩心箱中。采用高频冲击直推钻机Eprobe2000+和半合管取样工艺进行施工,利用直推钻机的液压力和冲击锤的冲击力将带有半合管的套管和钻头推入地下,使土壤通过钻头切削作用进入半合管中,当推入一节套管后,利用钻机的回拔系统回拔套管中的半合管,从而获取岩心样品,为获得更深岩心样品可通过加接套管和冲击内管继续钻探。半合管选用 3.25 in 型(直径为 83 mm),钻进过程中冲击频率为 34 Hz (液压推进力为 183 kN),平均钻进速度为 5 m/h ,起拔过程中起拔力为 277 kN 。

具体施工工艺流程见图4。(1)首先将 3.25 in 半合管的两个半圆管进行拼合;(2)安装倒刺和上下两个连接头;(3)将拼装好的半合管放入 $\text{O}102\text{ mm}$ 套管中,并安装敲击帽;(4)通过钻机液压推进力和冲击锤的冲击力将带有半合管的套管一起推入地下;(5)当推进1节套管后,取下敲击帽,按上回拔帽,利用卷扬、回拔器等辅助钻具回拔装置将半合管取出地面;(6)将取出的半合管平放在水平地面上,拆下上下连接头,打开半合管,将陈放岩心样半圆管扣在岩心上并进行翻转,从而获取岩心样品,最后将岩心样品放入岩心箱中。



图4 施工工艺流程

Fig.4 Sampling process

2.5 施工效果

经钻探取样结果对地层结构分析得出:地块所在地区表层 $0\sim 2\text{ m}$ 范围内多为粉土、砾砂地层, $2\sim 5\text{ m}$ 范围多为粉土、砾砂、碎石地层, 5 m 或更深以碎石地层为主。钻探岩心采取率均在 65% 以上,能够较好地完成钻探取样工作。该钻探工艺主要突出优

势在以下几个方面:

(1)钻进过程低扰动,无泥浆。

利用Eprobe2000+钻机高频冲击直推半合管取样方式,在钻进全过程套管跟进,连续密闭无扰动取样、样品无交叉污染,取样过程中无泥浆,最大限度保证了土样的完整性。

(2)钻进深度大,速度快。

钻进过程中利用直推钻机液压推进力及冲击锤高频率的冲击力将含有半合管的套管和钻头推到地下土壤中,单次钻进深度为1.5 m,最大钻探深度为8 m,平均钻进深度为6 m,平均钻进速度5 m/h,钻进深度较大且钻进速度较快。

(3)岩心采样率高,采样量大,结构完整。

使用Eprobe2000+高频冲击直推钻机结合3.25 in半合管组合取样工艺,取得岩心直径为67 mm,平均岩心采取率为85%,完全符合《重点行业企业用地调查样品采集保存和流转技术规定》(环办土壤[2017]67号)中砂土类地层的岩心采取率不应小于65%的要求,并且通过半合管工艺取样,取出的岩心结构较为完整(图5),便于观察和分析,样品采集保存和流转更为便利。



图5 取样效果

Fig.5 Sampling results

2.6 出现的问题与解决措施

利用Eprobe2000+高频直推半合管组合在取样过程中虽然能够很好地完成场地详细调查工作,但在钻进的过程中仍有些问题。钻探人员发现该钻探方式在0~6 m地层之间能够很快地完成土壤采样,但在6 m以深地层钻进速度缓慢、回拔难度大,钻杆损耗严重,且钻头容易损坏。

针对6 m以深地层钻探取样困难的问题,建议提高钻机的冲击频率或选用声频直推钻机结合半合管取样工艺,通过高频率的震动将能量传输至钻头上使得土壤局部液化,可达到在更深地层土壤取样工作。但在砂土卵石层6 m以浅地层取样时,还是建议采用Eprobe2000+高频冲击直推半合管取样,钻进速度快、工作效率高、操作简便且取样成本较低。

3 结论

高频冲击直推半合管取样工艺通过在砂土卵石层中的应用,可以得出以下结论。

(1)该取样工艺具有一定的创新性。半合管与高频冲击直推钻机结合,弥补了传统钻探取样过程中的不足,取样过程扰动性减小,钻进速度加快,岩心采取率得到提高,且岩心样品获取更加完整。

(2)半合管采用相互咬合设计,组装和拆卸钻具获取岩心快捷方便,提高了施工效率,减轻了人工施工强度。

(3)该工艺施工性能稳定可靠,操作简便且实用性强,能够满足《重点行业企业用地调查样品采集保存和流转技术规定》(环办土壤[2017]67号)岩心最低采取率的要求,应用前景较广,值得在今后钻探取样工作中推广应用。

参考文献(References):

- [1] 张琳,李影,李娟.国外棕地价值评估的方法与实践综述[J].中国人口·资源与环境,2012,22(4):131-136.
ZHANG Lin, LI Ying, LI Juan. Summary and review of foreign methods and practice for brownfield valuation[J]. China Population Resources and Environment, 2012, 22(4): 131-136.
- [2] 赵广.环境监测现场采样问题及注意事项探讨[J].环境与发展,2019,31(7):137,139.
ZHAO Guang. Discussion on sampling problems and precautions in environmental monitoring[J]. Environment & Development, 2019, 31(7): 137, 139.
- [3] 张凌云,李瑞云.关停工业企业场地再开发利用环境调查实践[J].环境与可持续发展,2015,40(6):108-111.
ZHANG Lingyun, LI Ruiyun. Environmental survey and practice of redevelopment and utilization associated with closed industrial enterprise field[J]. Environment and Sustainable Development, 2015, 40(6): 108-111.
- [4] 顾晔.城市工业污染场地再开发利用环境监管策略初探[D].南京:南京大学,2015.
GU Ye. A preliminary research on the environmental regulation

- of the development and utilization of contaminated sites [D]. Nanjing: Nanjing University, 2015.
- [5] 常春英,肖荣波,章生健,等.城市工业企业搬迁遗留污染场地再开发环境管理问题与思考[J].生态经济,2016,32(8):191-195.
CHANG Chunying, XIAO Rongbo, ZHANG Shengjian, et al. The problems and thought son environmental management in re-development of contaminated sites of relocated industrial enterprises in urban centers[J]. Ecological Economy, 2016, 32(8): 191-195.
- [6] 廖晓勇,陶欢,阎秀兰,等.污染场地修复决策支持系统的几个关键问题探讨[J].环境科学,2014,35(4):1576-1585.
LIAO Xiaoyong, TAO Huan, YAN Xiulan, et al. Discussion on several key points of decision support system for remediation of contaminated sites[J]. Environmental Science, 2014, 35(4): 1576-1585.
- [7] 熊甘霖,朱新伟,李小聪,等.新型直推式取样钻机与传统回转钻机的试验对比研究[J].中国金属通报,2020(13):218-219.
XIONG Ganlin, ZHU Xinwei, LI Xiaocong, et al. Experimental comparison between new type direct push sampling rig and traditional rotary drilling rig [J]. China Metal Bulletin, 2020 (13):218-219.
- [8] Dalzell TD. Environmental and direct push drilling technologies [J]. Pollution Engineering, 2012, 18:18-20.
- [9] 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.
- [10] 李炯,王瑜,周琴,等.环境取样钻机的关键技术及发展趋势研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):81-87.
LI Jiong, WANG Yu, ZHOU Qin, et al. Research on key technology and development trend of environmental sampling rig [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(9):81-87.
- [11] 叶兰肃,苗晓晓,王建兴,等.91单动三重半合管钻具的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):56-61.
YE Lansu, MIAO Xiaoxiao, WANG Jianxing, et al. Development of 91 single-action triple coupling pipe core drilling tools and its application [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(7):56-61.
- [12] 付兵,邱太宝.深厚砂卵砾石层金刚石钻探施工技术和工艺[J].四川水力发电,2007(1):87-89.
FU Bing, QIU Taibao. Construction technology and technology of diamond drilling in deep sand gravel layer [J]. Sichuan Water Power, 2007(1):87-89.
- [13] 陈建.半合管在粉细砂层取芯技术中的应用浅析[J].低碳世界,2016(31):90-91.
Chen Jian. Application of semi closed pipe in coring technology of fine sand layer [J]. Low Carbon World, 2016(31):90-91.
- [14] 孙平贺.直推钻探技术在污染场地调查中的应用现状研究[J].钻探工程,2021,48(1):95-102.
SUN Pinghe. Study on application status of direct push drilling technology in contaminated site investigation [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(1):95-102.
- [15] 陈新闯,郭建英,董智,等.乌兰布和沙漠乌海段新月形沙丘表层沉积物粒度与重金属分布特征[J].水土保持学报,2015,29(3):47-51.
CHEN Xinchuang, GUO Jiangying, DONG Zhi, et al. Characteristics of heavy metal distribution and grain size in surface sediments of Barchan Dunes of the Wuhai Section in Ulan Buh Desert [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29 (3):47-51.

(编辑 荐华)