

中空螺旋半合管直推取样建井工艺 在污染场地调查中的应用研究

王青薇¹, 尹业新¹, 王水^{*2,3}, 王何琦¹, 王瑜⁴, 钟道旭^{2,3}

(1. 南京贻润环境科技有限公司, 江苏南京 211200; 2. 江苏省环境科学研究院, 江苏南京 210036;

3. 江苏省环境工程重点实验室, 江苏南京 210036;

4. 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: 污染场地土壤地下水的勘查需要同时满足取样和建井需求, 中空螺旋半合管具有一定的自攻性, 能够在获取低扰动土壤样品的同时建立地下水监测井。本文首先分析了中空螺旋的技术特点, 同时基于直推式环境取样装备, 提出中空螺旋半合管直推取样建井工艺, 并在砂土相对密度为 0.46~0.83(12~16 m) 的第四系砂土类地层进行项目试验。试验结果表明, 该工艺能够有效解决传统直推取样工艺在土壤密实区域难以到达预定深度的难题, 且岩心采取率 > 90%, 是一种值得推广的环境取样技术。

关键词: 中空螺旋半合管; 直推技术; 污染场地调查; 土壤取样; 地下水监测井

中图分类号: P634; X53 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2022)03-0154-06

Application of direct push sampling and well drilling technology with the hollow auger split-tube in contaminated site investigation

WANG Qingwei¹, YIN Yexin¹, WANG Shui^{*2,3}, WANG Heqi¹, WANG Yu⁴, ZHONG Daoxu^{2,3}

(1. Nanjing Eprobe Environmental Technology Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 211200, China;

2. Jiangsu Province Academy of Environmental Science, Nanjing Jiangsu 210036, China;

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

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

Abstract: The exploration of soil and groundwater in contaminated sites needs to meet the requirements of sampling and well construction at the same time. The hollow auger split-tube can provide some self-driving, which can drill groundwater monitoring wells while obtaining low-disturbance soil samples. This paper analyzes the technical characteristics of the hollow auger, and puts forward the direct push sampling and well construction technology with the hollow auger split tube based on the direct push environmental sampling equipment. Field tests were carried out in the quaternary sandy soil stratum with the relative density of sandy soil of 0.46~0.83(12~16m), and the test results show that the hollow auger split-tube method can effectively solve the problem with the traditional direct-push sampling method by which it is difficult to reach the predetermined depth in the firm soil area; meanwhile the core recovery was

收稿日期: 2021-07-31; 修回日期: 2022-03-17 DOI: 10.12143/j.ztgc.2022.03.020

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, 主要从事土壤污染修复技术与设备的研发工作, 江苏省南京市江宁区将军大道128号, zhenpan@eprobe.ca。

通信作者: 王水, 男, 汉族, 1975年生, 高级工程师, 环境工程专业, 主要从事土壤污染修复技术与设备的研发工作, 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, 尹业新, 王水, 等. 中空螺旋半合管直推取样建井工艺在污染场地调查中的应用研究[J]. 钻探工程, 2022, 49(3): 154-159.

WANG Qingwei, YIN Yexin, WANG Shui, et al. Application of direct push sampling and well drilling technology with the hollow auger split-tube in contaminated site investigation[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(3): 154-159.

higher than 90%. The technology is a kind of environmental sampling technology worthy of promotion.

Key words: hollow auger split-tube; direct pushing technology; polluted site survey; soil sampling; groundwater monitoring well

0 引言

污染场地是指经生产、处理、储存、迁移或开采矿山等方式造成有毒有害物质在土壤或地下水中蓄积,经过专业调查和风险评估,确认其危害超过人体健康承受能力或生态环境可接受风险水平的空间区域^[1-2]。进入21世纪以来,我国国民经济发展以及城市化进程不断加快,原本位于城区的工业企业陆续关停或搬迁,同时由于我国城市用地普遍紧缺,导致绝大多数原工(矿)业用地需变更为居民用地或商业用地^[3],因此为评价关停/搬迁企业遗留场地经再开发后对居民健康的影响,必须调查其开发建设之前的污染状况。然而由于土壤和地下水的污染具有隐蔽性,不进行钻探取样,往往不易发现其中污染。

中空螺旋钻探技术是一种钻孔深度可达到60~90 m的取样建井钻探工艺^[4],自1954年由Mobile向钻探行业引入,目前已在土壤调查、其他岩土钻孔工程、地下水监测井建造中广泛应用。随着国内外对中空螺旋钻探技术研究的不断深入,中空螺旋建井效率已提高3~5倍,大大降低了施工成本^[5]。然而螺旋钻进会对地层产生明显扰动^[6],无法保证土样的原状性,因此国内外在污染场地调查项目中

多采用直推钻探技术^[7-9],该技术在钻探过程中无需添加水或泥浆等冲洗介质,对土样扰动较小,但其也存在较大驱动力会导致土层压缩、取样量不能满足实验室测定样品需求等不足。因此为了减少对土样的扰动及污染^[10],降低土壤环境调查的不确定性,美国Geoprobe公司开始尝试使用中空螺旋半合管和直推钻探相结合的方法进行土样采集和地下水监测井的建造^[11],充分发挥2种工艺的优势,而国内尚未开展相关应用。

鉴于中空螺旋半合管直推取样建井工艺的优势,对场地污染状况调查至关重要,因此本文针对中空螺旋半合管的组成结构、直推取样建井工艺进行应用分析,为后期该技术在国内外应用提供可靠的技术指导。

1 中空螺旋半合管构成及直推取样建井工艺流程

1.1 中空螺旋半合管构成

中空螺旋半合管是指由一个中空螺旋与半合管结合的土壤采样工具,主要由一个焊接在空心内管上带有连续螺旋翼片的中空螺旋、耐磨的螺旋钻头、用于连续取样的取样管(半合管)组成,其结构组成如图1所示。

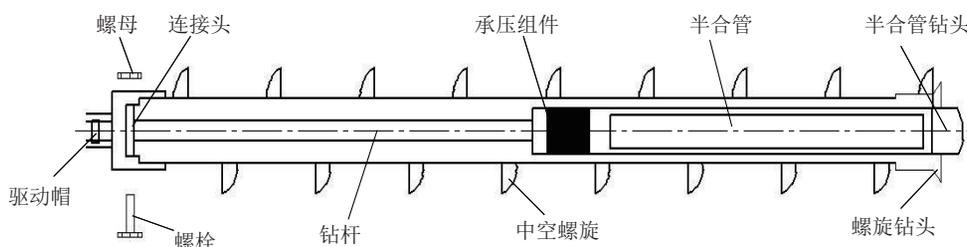


图1 中空螺旋半合管钻具结构组成

Fig.1 Composition of the hollow auger split-tube drilling tool

中空螺旋钻是中空螺旋半合管的重要组成部分,主要由中空螺旋、螺旋钻头、锁紧锁栓、驱动帽组成,其结构组成如图2所示。

本次工艺的改进之处是将直推钻探与中空螺旋半合管取样建井工艺结合使用,其中半合管的这种

设计相对于传统直推取样工艺,具有组装和拆卸快捷方便、取样容积大、岩心获取便利的优点,能够降低取样过程中对土壤样品的扰动,保证样品从取心器中取出时不会被破坏^[12],确保了岩心原状性。半合管主要由上连接头、套管、半合管、拦簧、下接头

及半合管钻头组成,其结构组成如图3所示。

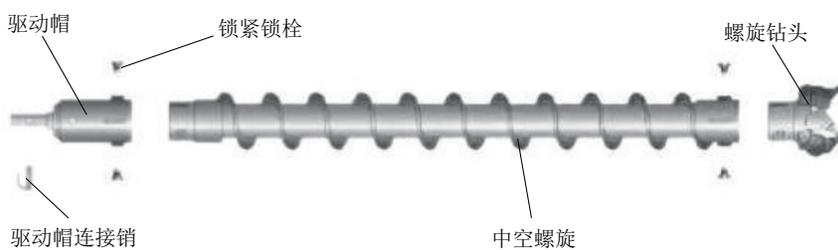


图2 中空螺旋钻钻具结构组成

Fig.2 Composition of the hollow auger drilling tool



图3 半合管钻具结构组成

Fig.3 Composition of the split-tube drilling tool

1.2 直推取样建井工艺流程

使用中空螺旋半合管进行直推取样时,钻机提供液压动力以驱动帽轴旋转下压,继而带动中空螺旋钻连续旋转下压钻凿钻孔。中空螺旋半合管固定在驱动帽上,驱动帽将其连接到钻机主轴,该“双适配器”驱动帽能确保中空螺旋和螺旋钻头一起旋转。而在中空螺旋旋转下压的同时,旋转下压动作由钻杆传递至承压组件,承压组件使半合管只有下压动作,没有旋转动作,直至半合管完成直推取样。

取样结束后取下驱动帽轴,利用钻杆回拔设备拔出半合管,获取土壤样品。重复上述步骤并将其接续连接到中空螺旋半合管组件的顶部即可完成整个钻探过程^[13],实现连续取样。

采样结束后,在中空螺旋中放入有筛缝的地下水监测井管,随后利用钻机将中空螺旋拔出,在井管周围填入符合标准的滤料,封堵井管,设置井台、井盖,形成地下水监测井^[14]。

2 取样建井工艺试验应用

2.1 试验场地概况

2021年7月初,南京贻润环境科技有限公司在河北省秦皇岛市昌黎县进行中空螺旋半合管直推取样建井工艺试验,该试验场地的地理信息见图4。

试验场地主要为第四系风积层、海相层和海陆



图4 试验场地位置

Fig.4 Location of the test site

的交互层,潜水面在16 m左右,按照从上到下的次序可将地层划分为5个层次,具体划分情况见表1。

表1 地层划分
Table 1 Geological stratigraphy

| 名称 | 深度/m | 颜色 | 砂土相对密实度 D_r | 备注 |
|------|-----------|-------|---------------|------------------|
| 杂填土 | 0.3~3.0 | 杂色 | 0~0.21 | 包含细砂、建筑垃圾等 |
| 中砂 | 3.0~5.5 | 黄—黄褐色 | 0.28~0.52 | 石英长石质,颗粒较均匀 |
| 粉质粘土 | 5.5~6.5 | 灰色 | | 软塑,稍湿,夹薄层粘土 |
| 细砂 | 6.5~12.5 | 灰黑—灰色 | 0~0.33 | 石英长石质,颗粒较均匀 |
| 细砂 | 12.5~16.0 | 灰白—灰色 | 0.46~0.83 | 石英长石质,颗粒不均匀,包含砾石 |

2.2 工艺试验概况

本次工艺试验使用的钻机为目前国内常用的EP2000+型环保取样钻机,该设备能够将不同型号或规格的钻具直接贯入土壤进行采样,从而同时满足多种地层的钻探工作和污染场地修复工作的需求,钻机的主要性能参数见表2。

根据钻探地层的实际情况,在试验区域0~12

表2 EP 2000+型钻机主要性能参数
Table 2 Main specifications of EP 2000+ drill

| 名称 | 参数 |
|-----------------------------|-------|
| 行程/mm | 1800 |
| 质量/kg | 4650 |
| 长度(折叠)/mm | 3300 |
| 宽度/mm | 1740 |
| 高度(折叠)/mm | 2320 |
| 螺旋动力头扭矩/(N·m) | 5500 |
| 高转速/(r·min ⁻¹) | 0~120 |
| 低转速/(r·min ⁻¹) | 0~80 |
| 行程速度/(km·h ⁻¹) | 0~8 |
| 推进力/kN | 183 |
| 起拔力/kN | 277 |
| 系统压力/MPa | 24.5 |
| 发动机额定功率/kW | 74 |
| 接地压力/(kg·cm ⁻²) | 0.39 |

m的地层采用传统直推取样工艺;12~16 m采用中空螺旋半合管直推取样建井工艺,其中中空螺旋 \varnothing 190 mm,半合管 \varnothing 83 mm,中空螺旋和半合管长度均为1.5 m,单回次钻进深度为1.5 m,成孔孔径190 mm,岩心直径67 mm。

在12~16 m土层采用中空螺旋半合管直推取样建井工艺进行施工,钻进过程中螺旋动力头扭矩最大为5500 N·m,转速高达100 r/min,液压推进力最大为183 kN,起拔过程中起拔力最大为277 kN。

取样工艺流程:(1)首先将半合管的2个半圆管进行拼合;(2)安装拦簧和上下2个连接头;(3)将拼装好的半合管放入中空螺旋中,并安装驱动帽;(4)驱动帽在钻机的液压动力的驱动下实现旋转下压,继而带动中空螺旋连续旋转下压,半合管在外侧螺旋钻杆的下旋自攻力下进入土壤中;(5)当推进1节中空螺旋半合管后,取下驱动帽,安上卡瓦、插板、回拔帽等,其中卡瓦、插板能够防止钻杆脱落,随后利用卷扬等辅助配件将半合管提取出地面;(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,获取岩心样品。

建井体工艺流程:(1)取样到达指定深度,随后缓慢地将带螺纹的硬质聚氯乙烯管(PVC-U)放入中空螺旋中,并将PVC-U管扶正、固定,注意井管应与中空螺旋轴心重合;(2)利用钻机将中空螺旋拔出地层,将石英砂(滤料)缓慢、均匀地填充至管壁与孔壁中的环形空隙内,注意在填充时应晃动井管,防止石英砂填充时形成架桥或卡锁现象;(3)石英砂填充至离地面150 cm处,随后采用膨润土进行密封止水,静置膨润土充分膨胀、水化和凝结;(4)设置保护性的井台构筑:地上部分的井管采用管套保护,管套与井管之间注混凝土浆固定。

2.3 工艺试验效果评价

本次试验工艺取样累计用时7 h,钻进深度为16 m,在12~16 m孔段的岩心采取率 $>90\%$ 。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》的相关要求,碎石土类地层的岩心采取率 $<50\%$,砂土类地层的岩心采取率 $<65\%$,试验岩心(样)采取率满足要求,2种工艺类型的取样工作效率和采样质量见表3,取样效果对比及建井情况见图5。

表3 组合工艺的工作效率与采样质量

Table 3 Working efficiency and sampling quality of the combined process

| 工艺类型 | 工作效率 | | | 采样质量 | | |
|-------------|-----------|--------|--------|---------|--------------------------------|-------------------|
| | 单回次钻进深度/m | 钻进深度/m | 累计用时/h | 样心直径/mm | 平均岩心采取率/% | 样心质量 |
| 传统直推取样 | 1.5 | 0~12 | 4 | 50 | >60(深度1~3 m); >90(深度3~12 m) | 杂填建筑垃圾影响样品 采取率 |
| 中空螺旋半合管直推取样 | 1.5 | 12~16 | 3 | 67 | >90 | 细砂、含砾石 |



图5 组合工艺取样效果对比及建井情况

Fig.5 Comparison of sampling effect between the combined and the traditional technology and photo of the completed well

相对于传统直推取样工艺,中空螺旋半合管直推取样建井工艺的主要突出优势在以下几个方面。

(1)无浆液钻进,能够有效避免样品污染。利用中空螺旋半合管直推取样建井工艺,全程中空螺旋跟进,连续密闭无扰动取样、取得样品无交叉污染,取样过程中无泥浆,能够有效避免二次污染的产生。

(2)钻进深度大。利用中空螺旋半合管直推取样建井工艺,能够解决在密实砂层中传统直推钻具无法达到指定深度的难题。

(3)岩心采样率高,采样量大。利用中空螺旋半合管直推取样建井工艺,取得岩心直径为67 mm,岩心采取率>90%,可获得更多的样品量,更能满足后期实验室的样品需求。

(4)直接成井。利用中空螺旋半合管直推取样建井工艺,在完成取样成孔后可直接安装地下水监测井管。

3 试验中出现的问题与解决办法

采样分析是污染场地环境调查中的关键环节^[15],所以只有使用高技术、高效率的采样方式,才

能尽可能地获得污染场地原状土样、钻进更深地层,以便更准确地判定污染物所在深度,获得地层土壤污染物最佳分析数据^[16]。

然而本次试验,随着钻探深度的不断加深,砂层密实度的不断加大,传统直推取样变得越来越困难,在采样深度达到12 m后就难以推进,以致无法获取预定深度的土壤样品。因此在12 m以深密实地层试验采用中空螺旋半合管直推取样建井工艺进行取样,该工艺能较好地完成了取样及建井工作,但也存在钻进速度缓慢、回拔难度大的问题。

针对钻进速度缓慢、回拔难度大的问题,可选择能力更大的钻机,提高钻机液压力,一方面可使液压马达输出更大的扭矩,从而提高钻进速度;另一方面可使伸缩油缸提供更大的压力,从而降低回拔难度。此外,根据现场实际经验,笔者认为采用旋转回拔的方式也可降低回拔难度。

4 结论

通过中空螺旋半合管直推取样建井工艺在密实地层中的试验,可以得出以下结论。

(1)该工艺具备一定的创新性。在上部地层采用传统直推取样工艺,其钻进速度快、工作效率高。下部密实地层采用中空螺旋半合管取样建井工艺与直推技术结合,弥补了传统直推取样工艺难以获取土壤原状样品的不足,同时岩心采取率得到提高,一管获取更多样品量,满足实验室测试需求。

(2)该工艺适用于环境钻探取样。钻进过程无润滑剂、浆液,可防止交叉污染,保证土壤样品取样结果的准确性。

(3)该工艺成本更低、适用性更强。利用大口径中空螺旋取样形成的土孔,直接建立地下水监测井,同时可以避免由于直推建井钻孔直径小而导致的出水量不能满足地下水采样要求的问题。可大规模推广应用。

参考文献(References):

- [1] ASTM D6286/D6286M—20, Standard guide for selection of drilling and direct push methods for geotechnical and environmental subsurface site characterization [S]. American Society for Testing and Materials (ASTM) International, 2020.
- [2] 林雪梅,崔娟敏,孙志辉.污染场地的治理[J].内蒙古石油化工,2021,47(1):50-51,57.
LIN Xuemei, CUI Juanmin, SUN Zhihun. Treatment of contaminated sites [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2021,47(1):50-51,57.
- [3] 梁龙,蔡国成,王劲松,等.污染场地勘察钻探取样设备及工艺应用探讨[J].工程勘察,2018,46(7):16-21.
LIANG Long, CAI Guocheng, WANG Jinsong, et al. Discussion on application of the equipment and technique for drilling sampling in the survey of contaminated site [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2018,46(7):16-21.
- [4] ASTM D6151/D6151M—15, Standard practice for using hollow-stem augers for geotechnical exploration and soil sampling [S].
- [5] Glen, Hackett. Drilling and constructing monitoring wells with hollow-stem Augers Part 1: Drilling considerations [J]. Ground Water Monitoring & Remediation, 1987,7(4):51-62.
- [6] 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.
- [7] 冉灵杰.浅层土壤环境取样钻进技术研究[D].北京:中国地质大学(北京),2019.
RAN Lingjie. Research on drilling technology of soil environment sampling in shallow layer [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2019.
- [8] ASTM D6282/D6282M—14, Standard guide for direct push soil sampling for environmental site characterizations [S].
- [9] 彭新明,周国庆,李安,等. Geoprobe 直推式土壤钻机在涌砂层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(5):60-64.
PENG Xinming, ZHOU Guoqing, LI An, et al. Application of Geoprobe direct push & rotary rig in sampling in quicksand layers [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(5):60-64.
- [10] 詹良通,龚标,林伟岸,等.工(矿)业污染场地钻探取样技术要求及选用方法探讨[J].工程地质学报,2016,24(4):642-648.
ZHAN Liangtong, GONG Biao, LIN Weian, et al. Technical requirement and selection of drilling and sampling techniques for contaminated sites by chemistry and mining industry [J]. Journal of Engineering Geology, 2016,24(4):642-648.
- [11] Buford Collier. Versatile Power. Simple to Run [EB/OL]. [2016-01-02]. <https://geoprobe.com/articles/versatile-power-simple-run>.
- [12] 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,2016,4(31):90-91.
CHEN Jian. Brief analysis on the application of semi-consolidated pipe in core technology of silt and fine sand layer [J]. Low Carbon World, 2016,4(31):90-91.
- [13] ASTM D5784/D5784M—13. Standard guide for use of hollow-stem augers for geoenvironmental exploration and the installation of subsurface water-quality monitoring devices [S]. American Society for Testing and Materials (ASTM) International, 2013.
- [14] 任良治,李俊福,罗中良,等.重庆地下水监测井建设中的钻探工程技术[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2019:117-121.
REN Liangzhi, LI Junfu, LUO Zhongliang, et al. Cobalt exploration engineering technology in the construction of Chongqing underground water monitoring and logging wells [C]// Mineral Engineering Committee, Geological Society of China. Special for the 20th National Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling) Academic Conference. Beijing: Geological Publishing House, 2019:117-121.
- [15] 王啸.直接推进钻探技术在场地污染调查中的应用研究[J].环境与发展,2019,31(9):87-88.
WANG Xiao. Application research of direct propulsion drilling technology in site pollution investigation [J]. Environment & Development, 2019,31(9):87-88.
- [16] 曹雪宁.直推式取样钻具优化设计研究[D].北京:中国地质大学(北京),2020.
CAO Xuening. Study on the optimum design of direct push sampling drilling tool [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020.

(编辑 李艺)