

黄河三角洲区域地面沉降监测钻孔施工实践

刘振新^{1,2,3,4}, 孙宏晶^{2,3,4}, 田志超^{1,2,3,4}, 杨芳^{2,3,4}, 翟育峰^{2,3,4*}

(1. 中国海洋大学, 山东 青岛 266100; 2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264004; 3. 山东省地矿局钻探工程技术研究中心, 山东 烟台 264004; 4. 浅海与陆域深部地质钻探山东省工程研究中心, 山东 烟台 264004)

摘要:黄河三角洲属海陆交互作用下陆架沉积过程典型区域, 砂层、泥岩居多, 地层胶结性差且泥、砂互层频繁。在地面沉降监测钻孔施工中, 存在泥岩地层造浆、砂层涌水、漏失、冲洗液被稀释、超径、孔壁坍塌风险等技术问题, 同时要求保持岩心原状性。针对技术难题, 采用了跨口径绳索取心钻具、钾基低固相聚合物冲洗液体系、水压出心等关键技术方法, 同时做好冲洗液固相控制、短起钻工作。水泥封孔, 为了保证封孔效果和封孔作业安全, 使用了油井水泥和减水剂, 在不改变水灰比的情况下, 显著增加水泥浆的流动性, 降低封孔事故概率。该钻孔的顺利完成, 为今后滨海区域沉积地层类似岩心钻探提供借鉴。

关键词:泥砂互层; 地面沉降监测; 取心; 跨口径绳索取心钻具; 钾基低固相聚合物冲洗液; 黄河三角洲

中图分类号:P634;P642.26 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2025)S1-0283-06

Construction practice of ground subsidence monitoring drilling in the Yellow River Delta

LIU Zhenxin^{1,2,3,4}, SUN Hongjing^{2,3,4}, TIAN Zhichao^{1,2,3,4}, YANG Fang^{2,3,4}, ZHAI Yufeng^{2,3,4*}

(1. Ocean University of China, Qingdao Shandong 266100, China; 2. Shandong No. 3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Yantai Shandong 264004, China; 3. Drilling Engineering Technology Research of Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources, Yantai Shandong 264004, China; 4. Shandong Provincial Engineering Research Center for Neritic and Continental Deep Geological Drilling, Yantai Shandong 264004, China)

Abstract: The Yellow River Delta is a typical area of continental shelf sedimentation under the interaction of land and sea, with a majority of sand and mudstone layers, poor stratigraphic cementation, and frequent interbedding of mud and sand. In the drilling construction for ground subsidence monitoring, technical problems such as mud making in mudstone formations, water inflow in sand layers, leakage, dilution of mud, over diameter, and risk of hole wall collapse often occur. At the same time, the original state of the rock core should be maintained. In response to the technical difficulties, key technical methods such as cross caliber wireline core drilling tools, potassium based low solid polymer flushing fluid system, and water pressure coring were adopted, while also ensuring solid phase control and short lifting. Cement sealing is used to ensure the sealing effect and safety of the sealing operation. Oil well cementing and water reducing agent are used to significantly increase the fluidity of the cement slurry and reduce the probability of sealing accidents without changing the water cement ratio. The successful completion of this drilling provides a reference for similar core drilling in sedimentary formations in coastal areas in the future.

Key words: interbedded mud and sand; ground subsidence monitoring; coring; cross caliber core drilling tool; potassium based low solid polymer flushing fluid; the Yellow River Delta

收稿日期:2025-06-23; 修回日期:2025-08-06 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.S1.044

基金项目:深地国家科技重大专项“绿色高效精准智能化钻探技术与装备”课题6“绿色高效精准智能化钻探技术与装备应用示范”(编号:2024ZD1003106);山东省地矿局科技攻关项目“浅海海域地质勘查钻探技术创新及应用”(编号:KY202501)

第一作者:刘振新,男,汉族,1987年生,高级工程师,勘查技术与工程专业,从事科学钻探、深部钻探、海洋钻探相关技术与管理工作,山东省烟台市芝罘区机场路271号,963964017@qq.com。

通信作者:翟育峰,男,汉族,1984年生,正高级工程师,勘查技术与工程专业,硕士,从事科学钻探、深部钻探、海洋钻探相关技术与管理工作,山东省烟台市芝罘区机场路271号,282163880@qq.com。

引用格式:刘振新,孙宏晶,田志超,等.黄河三角洲区域地面沉降监测钻孔施工实践[J].钻探工程,2025,52(S1):283-288.

LIU Zhenxin, SUN Hongjing, TIAN Zhichao, et al. Construction practice of ground subsidence monitoring drilling in the Yellow River Delta[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(S1): 283-288.

0 引言

黄河是我国第二大河流,是世界上含沙量最高的河流,黄河将大量泥沙输送到河口地区,大部分淤在滨海地带,填海造陆,塑造了黄河三角洲,黄河三角洲是我国成陆时间最短的大型河口三角洲,由于其发育背景特殊、地质环境系统不稳定以及人类活动影响,地面沉降较为显著^[1];在全球气候变化背景下,海平面的不断上升、地面沉降,使黄河三角洲部分区域面临着严峻的海水淹没风险,对未来黄河三角洲的可持续发展造成潜在威胁^[2]。为了动态掌握重点地区地面沉降及其变化情况,科学高效支撑地面沉降风险防控,2024年度实施了山东省地面沉降监测网建设项目,对所在区域进行钻探取心作业,以摸清区域地层情况,查明所在地段地层结构、水文地质分层、工程地质分层、建标层的强度指标和压缩指标,为基岩标、分层标位置的确定和标底直径的设计提供相应的地质资料。



图1 典型岩心照片

1.2 终孔口径大

终孔口径大。岩心直径要求 ≤ 80 mm,对应常规地质岩心钻探口径不低于P口径。终孔要求的口径越大,上部孔身结构可预留口径越有限,对于地质岩心钻探施工来讲施工难度增大。

1.3 取心难度大

施工区域位于黄河三角洲河流相沉积区域,地层以泥岩、砂层为主,且互层频繁,在该地层取心难度大、岩心采取率不高^[6]。泥岩地层岩心容易吸附在内管内壁,出心困难;砂层岩心胶结性相对差,如按照以往敲击内管出心方法,岩心的完整性、原状性难以保证。

1.4 冲洗液护壁和性能维护难度大

地层以泥岩、砂层为主,泥岩地层吸水膨胀易造浆,给固相控制带来一定困难;泥岩遇水后发生

与笔者曾经施工的张掖盆地、兰陵铁矿等区域沉积岩地层相比^[3-4],黄河三角洲区域受区域地质沉积环境影响,地层胶结性差、成岩性差,而且泥岩、砂层互层频繁。地面沉降监测孔距离海边直线距离约2 km,沉积厚度大,与新近系地层大直径取心相比^[5],在该地区进行岩心钻探,取心、护壁等方面存在很大挑战。

1 施工难点分析

1.1 地层条件复杂

地面沉降监测钻孔位于东营市垦利区永安镇永丰河湿地,距离海边约2 km,钻遇地层有浅海相淤泥质黏土层、砾质砂层、三角洲前缘相深灰色粉砂、三角洲平原相黏土质粉砂及粉砂质黏土及泥砂互层;属海陆交互作用下陆架沉积过程典型区域,砂层、泥岩居多,地层胶结性差且泥、砂频繁互层,根据实际取心情况,沉积厚度达1051.50 m。典型岩心照片见图1。

水化、膨胀、分散,导致孔壁不稳定、冲洗液性能恶化,易引发卡钻、孔壁坍塌等事故。粉砂、砂层涌水、漏失、超径、松散坍塌,因超径带来的断钻杆事故概率增加。在这样的地层中施工,冲洗液的护壁性能尤为重要。

1.5 自然环境差

施工区域属于东营市垦利区永丰河湿地,属于盐碱区域,地下盐碱水一定程度上影响冲洗液性能;除此之外,钻孔位于近海区域,海风大,给施工带来一定影响。

2 钻孔施工技术

2.1 钻孔结构

设计钻孔深度1300 m,深孔钻进钻孔结构要综合考虑钻遇地层情况、终孔孔径和孔深、矿区施工经

验、设备和钻具能力、钻头(钻杆)直径与套管内外直径的配合、配合孔内试验测试仪器等因素。原设计P口径终孔,实际施工时增加了150 mm口径,为下部施工留有余地。150 mm口径施工至845 m出现孔内事故,论证后封固至799.00 m换径98 mm口径施工至1300 m终孔。实际的钻孔结构如图2所示。

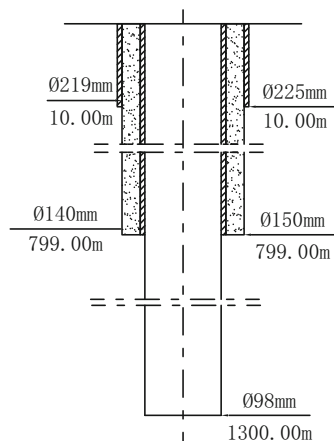


图2 实际钻孔结构

2.2 钻探设备

根据钻孔深度、口径及以往施工经验,选用的主要设备包括XY-8B型钻机、24 m四角塔、BW-300/16型泥浆泵等,附属设备和仪器包括离心机、取心绞车、液压动力钳、测斜仪等,具体型号及参数见表1。

2.3 钻进工艺

一开:采用 $\varnothing 175$ mm单动双管提钻取心工艺钻进至10.00 m,然后采用 $\varnothing 225$ mm孔径扩孔至11.00 m,下 $\varnothing 219$ mm套管;
二开:10~150 m孔段采用两种钻进工艺: $\varnothing 150$ mm单管提钻取心工艺、S150/122“钻扩一体”跨口径绳索取心工艺^[7],交叉使用,对比取心效果。

150.00~845.00 m孔段,全部采用S150/122“钻扩一体”跨口径绳索取心工艺。将原P口径绳索取心钻具外管总成(包括钻头、扩孔器、钻具外管、弹卡室、弹卡挡头等)直径加大一个规格,增大至S口径,采用特种厚壁外管加工而成,内管总成和常规P口径绳索取心钻进所使用的内管总成通用。

三开:采用 $\varnothing 98$ mm绳索取心钻进工艺,钻进至1300 m。

特殊情况说明:二开钻进至845.00 m时,计划提钻检查钻头、钻具,提钻至799 m时遇阻,经过下压、上提、回转等多种处理办法尝试,均不成功。经商议、论证,将 $\varnothing 150$ mm钻具+ $\varnothing 140$ mm钻铤+ $\varnothing 114$ mm钻杆当作套管使用,799~845 m孔段水泥封孔,然后换径 $\varnothing 98$ mm绳索取心钻进。

2.4 冲洗液体系选择与维护

冲洗液是钻探的“血液”^[8],在确保安全、优质、高效钻探中起着重要的作用。在黄河三角洲地区钻探施工,冲洗液主要起携带和悬浮岩粉、稳定孔壁和平衡地层压力、冷却和润滑钻头钻具等作用。黄河三角洲区域砂层、泥岩为主,且泥砂互层频繁,根据实际取心情况,沉积岩厚度达1051.50 m。砂层存在涌水、漏失、超径、坍塌等风险,泥岩地层存在吸水膨胀缩径、吸附卡钻、造浆等问题。因此,选择适当的冲洗液体系,做好常规性能测试和维护,是该地区钻探取心、成孔的重要影响因素。

2.4.1 冲洗液性能要求及体系选择

在黄河三角洲地区钻探施工,覆盖层厚,泥砂互层,胶结性差,保证高效、安全施工,冲洗液常规性能方面要做到“一低、二高、三适当”,同时要有良好的流变性能。

(1)低滤失量。冲洗液的滤失造壁能力是影响孔壁稳定的一项关键性能^[7],主要由滤失量的大小

表1 设备配备表

序号	设备名称	型 号	参 数	备 注
1	钻机	XY-8B	电动机动力90 kW	主要设备
2	钻塔	SG24	高度24 m,天车最大负荷680 kN	主要设备
3	泥浆泵	BW-300/16	电动机动力90 kW	主要设备
4	离心机	TGLW350	11 kW	处理能力:6 m ³ /h
5	取心绞车	S3000	—	附属设备
6	液压动力钳	SQ125	应用范围:70~123 mm	附属设备
7	测斜仪	XBY-2GW	$\varnothing 40$ mm $\times$ 1400 mm	附属设备

及形成滤饼的质量来衡量。薄、韧且致密的泥饼可以大幅减少滤液渗入砂层、泥岩地层,从而减轻泥岩的水化分散,降低砂层钻进漏失,保证钻进安全。

(2)高滤液黏度,高矿化度。保持相对较高的滤液黏度、矿化度,有助于较好控制冲洗液滤失量。

(3)要有适当的密度、适当的黏度、适当的pH值。密度过大,钻遇砂层易压漏地层,冲洗液消耗大,增加施工成本,同时影响机械钻速^[9];密度过低,孔内液柱压力相对低,平衡地层压力相对不足,对维护孔壁稳定、应对涌水状况不利。黏度过大,影响钻进效率,环空压力、提钻时抽吸作用增大;黏度过低,有以下弊端:悬浮和携带岩屑能力不足;对砂层、松散泥岩孔壁冲刷程度增加,孔壁超径、失稳风险加大;岩心冲刷得厉害,不利于砂层、松散泥岩地层取心作业。PH值的大小影响冲洗液中黏土颗粒的分散程度^[9],影响冲洗液的黏度、切力等,因此要求冲洗液处在在一个较弱的碱性环境。

施工选用了钾基低固相聚合物冲洗液体系,控制好密度、PH值、失水量及泥饼的质量^[10-11],发挥好冲洗液护壁、悬浮和携带岩粉作用。其性能如表2所示。

表2 冲洗液性能

孔深/m	密度/ (g·cm ⁻³)	苏式漏 斗黏 度/s	滤失造壁性能		pH值
			滤失 量/mL	泥饼/ mm	
0~150	1.10~1.16	50~65	5~7	0.5~1	9~10
150~1050	1.08~1.16	40~55	5~7	0.5~1	9~10
1050~1300	1.08~1.12	38~50	5~7	0.5~1	9~10

2.4.2 冲洗液性能的维护

钾基低固相聚合物冲洗液体系,基浆膨润土加量及浸泡水化程度、无机和有机处理剂的添加顺序和加量,影响着冲洗液质量的好坏,同时做好常规性能参数的测量,及时掌握冲洗液性能。

有研究资料指出,冲洗液中的固相含量是影响机械钻速的一个主要因素,应做好冲洗液性能与有害固相控制^[12]。施工前做好地面循环系统,设置备用泥浆池,充分搅拌、浸泡新浆,孔内漏失或者补充换浆时,保证新冲洗液性能。及时清理孔口、循环槽、小沉淀池位置岩粉,配备振动筛、离心机等固控设备(图3),做好冲洗液固相控制,每隔一定时间补充新冲洗液^[13]。



图3 固控设备

2.4.3 岩样浸泡

选取典型地层岩样,分别用清水和钾基低固相聚合物冲洗液浸泡(图4)。浸泡效果:泥岩在水中浸泡15 min开始坍塌,砂质泥岩20 min后坍塌,砂层30 min后坍塌;冲洗液中浸泡泥岩、砂质泥岩、砂层岩样,每隔24 h观察,无松散、坍塌,且在岩样上形成了一层均匀的、致密、油状泥皮。

2.5 局部孔段封孔

799~845 m孔段为 $\varnothing 150$ mm口径,如果不处理,直接换径 $\varnothing 98$ mm绳索取心钻进,环状间隙大, $\varnothing 91$ mm钻杆受弯曲应力影响相对较大,易发生断短杆事故,因此将799~845 m孔段封孔处理,然后换径 $\varnothing 98$ mm绳索取心钻进。

为了保证封孔效果,使用了油井水泥;为保证封孔作业安全,使用了减水剂,在不改变水灰比的情况下,显著增加水泥浆的流动性,降低封孔事故概率。

2.6 事故处理

二开S150/122口径钻进至孔深560.60 m,下取心打捞器,进行取心,遇阻拉断取心钢丝绳,提钻处理,提至最后的粗径钻具,由于操作不当的原因,掉入孔内。

孔内“落鱼”情况:S150/122头+ $\varnothing 150$ 钻具+S122绳索取心钻具内管、总成及打捞器。

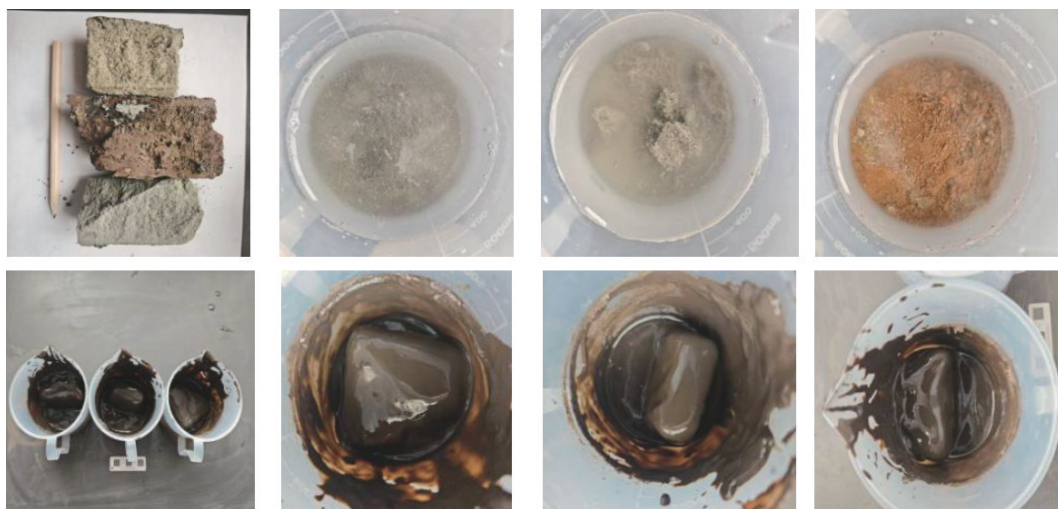


图4 岩样浸泡

处理方案及优缺点分析见表3。

经过分析论证,决定采用方案三,加工特制打捞器,下入孔内过程中没有遇阻和扫孔作业,一次性打捞成功。一次性打捞成功也说明10~560.60 m孔段孔壁维护良好,发生事故到打捞时间段内,孔内没有掉块或者坍塌情况发生。特制打捞器,内部加工一个锁止机构,内径45.5 mm,取心打捞器杆体部分(外径45.0 mm)能够进入,但不能自由退出,需人工拆卸退出;打捞器下部,加工成马蹄口形状,慢转时容易套入“落鱼”的上部(取心打捞器的上部),

具体形状及打捞情况见图5。

3 存在问题与建议

3.1 冲洗液护壁的局限性

冲洗液能够起到维护孔壁的作用,但泥浆作用有窗口期,并非一劳永逸,在复杂地层施工,在一定时间内能起到护壁的作用。建议施工中结合钻进孔深、设计孔深、孔内复杂情况等因素,及时下入套管,换下一级口径钻进。



图5 专用打捞器和打捞作业

表3 处理方案

序号	处理方案	优点	缺点
方案一	下入 $\varnothing 98\text{ mm}$ 磨铣钻头,将S122绳索取心打捞器磨铣掉,然后下入公锥打捞落鱼钻具	方案理论上可行	磨铣耗时相对长,过程中存在发生次生事故的风险
方案二	下入 $\varnothing 175\text{ mm}$ 钻具(带导向),扩孔,套取孔内落鱼	方案理论上可行,处理上来概率较大	扩孔耗费时间较长,扩孔过程中,有可能出现偏出原来钻孔
方案三	加工特制打捞器,打捞	处理时间相对短,费用相对低	需要加工特制打捞器

3.2 钻孔结构

重视钻孔结构设计,大口径尽可能向下钻进,尽可能采取充分施工法^[14],给下一级口径留足余地。

3.3 重视固相控制

固相含量在钻探起着至关重要的作用,在超厚第四系钻探施工,建议配备振动筛、离心机等固控设备;观察沉淀池、泥浆池冲洗液固相含量变化,每隔一段时间清空循环槽、沉淀池,补充新浆。

3.4 泵量的限制

地质钻探类常用的泥浆泵,如BW300/16型泵,虽然设有10个泵量,但为了保证泥浆泵安全,通常不能长时间高泵量挡位运转。条件允许的话,建议配备更高一级性能的泥浆泵,满足高泵量、长时间安全运转。

3.5 其它方面

(1)在沉积岩地层施工,对不同孔段不同岩性的岩心,用清水、冲洗液分别进行岩样浸泡试验,观察岩心是否分散、开裂。

(2)加单根之前,重视短起、划眼等工作,每钻进50 m提钻检查,预防因孔壁虚厚泥皮造成卡钻。

(3)使用钾基低固相聚合物冲洗液体系,注意吸附卡钻风险,机械故障停待时,提前将钻具提至孔外。

4 结论

(1)在超厚、松散沉积岩地层进行绳索取心钻进,使用跨口径绳索取心钻进工艺,能够有效预防吸附卡钻事故,解决钻进时泵量高的问题。

(2)使用钾基低固相聚合物冲洗液体系,能对超厚、松散沉积岩地层起到很好地维护孔壁作用;使用振动筛、离心机等固控设备,联合勤排部分旧浆补充新浆的办法,能够将有害固相控制在合理范围之内。

(3)黄河三角洲地区,沉积岩厚度大、胶结性差,施工完成1300 m取心钻孔,为今后类似地区取心钻探施工提供了借鉴和参考。

参考文献:

[1] 陈瑞瑞,孙颖月,朱紫若,等.黄河三角洲地面沉降研究进展与未来展望[J].海岸工程,2024,43(1):1-23.

[2] 宁荣荣,王德,田信鹏,等.黄河三角洲的地面沉降分析以及海水淹没预估[J].地球科学进展,2023,38(3):296-308.

[3] 田志超,于森,翟育峰,等.甘肃张掖三岭湾ZC1井超厚沉积层岩心钻探施工技术[J].钻探工程,2025,52(1):54-61.

[4] 刘振新,孙宏晶,杨怀俊,等.电磁波随钻测量系统在兰陵铁矿钻探工程中的应用[J].地质装备,2024,25(S1):168-175.

[5] 王松珍,杜双杰,张雷鹏,等.新近系地层大直径取心质量影响因素分析及对策研究[J].钻探工程,2024,51(2):146-153.

[6] 石绍云,房勇,邓伟,等.松散砂岩取心技术的应用[J].钻探工程,2018,45(8):34-38.

[7] 杨芳,张明德,王勇军,等.深部钻探绳索取心跨口径钻具的应用研究与拓展[J].钻探工程,2023,50(4):25-31.

[8] 王胜,欧兴贵,解程超,等.钻井利器故事之“护壁堵漏材料”[J].钻探工程,2024,51(3):157-161.

[9] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].青岛:中国石油大学出版社,2016.

[10] 陶士先,李晓东,纪卫军,等.成膜防塌无固相冲洗液体系的研究与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流会论文集,2015:436-442.

[11] 熊正强,陶士先,李艳宁,等.国内外冲洗液技术研究与应用进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):6-12.

[12] 冯美贵,刘启栋,郭伟,等.钻井液离心机预防绳索取心钻杆内壁结垢研究[J].钻探工程,2024,51(3):118-124.

[13] 刘振新,翟育峰,徐志权,等.小秦岭整装勘查区综合普查钻探技术[J].钻探工程,2023,50(3):37-43.

[14] 杨芳,陈师逊.深部地质钻探钻孔结构与施工分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):21-26.

(编辑 王文)