

黄河三角洲沿海滩涂井场填方设计与施工

张化民¹, 于彦江², 秦如雷¹, 陈根龙¹, 冯起赠¹, 邵玉涛¹, 李 强³

(1.中国地质科学院勘探技术研究所,河北 廊坊 065000; 2.广州海洋地质调查局,广东 广州 510075;
3.中国冶金地质总局山东正元地质勘查院,山东 济南 250101)

摘要:中国地质调查局“海域天然气水合物陆地试采工程”项目组在山东省东营市的沿海滩涂地区建设了一处钻井试验基地。该钻井井场地基土是黄河三角洲的典型粉沙质粘土,存在微振液化特性。对比填方方案在造价、工期、环保和适用性等方面的优缺点,选择灰土垫层施工方案并严格控制施工质量。灰土垫层可以形成有效的隔水层,隔离地下水上升通道和地表水下渗通道,切断微振液化的根源,同时杜绝场地内工程污水的下渗。填方施工全程采用静压压实填土配比,避免了孔隙水上升、土体产生微振液化效应。填方区域分为重载区和轻载区,采用不同的填方方案,既满足了承载力要求,又节约了成本。该填方方案取得了良好的施工效果,为试验基地的顺利运行提供了保障。

关键词:钻井井场;沿海滩涂;微振液化;灰土垫层;填方;黄河三角洲

中图分类号:P634;TU472 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)03-0063-05

Design and execution of well site backfilling in beach of the Yellow River Delta Coast

ZHANG Huamin¹, YU Yanjiang², QIN Rulei¹, CHEN Genlong¹,
FENG Qizeng¹, SHAO Yutao¹, LI Qiang³

(1.The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;
2.Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou Guangdong 510075, China;
3.Zhengyuan Institute of Geological Exploration of Shandong, Jinan Shandong 250101, China)

Abstract: The project team of China Geological Survey “Land Trial Production of Natural Gas Hydrate in Sea Area” has constructed a drilling test site in the coastal beach area of Dongying City, Shandong Province. The foundation soil of the site is typical silty clay in the Yellow River Delta, which has the characteristics of micro-vibration liquefaction. By comparing the advantages of cost, construction period, environmental protection and applicability, the project team chose the construction scheme of lime-soil cushion and strictly controlled the construction quality. Lime-soil cushion can form effective water-proof layer, isolate groundwater rising channels and surface water seepage channels, avoid the causes of micro-vibration liquefaction, and eliminate the seepage of construction waste water in the site. At the same time, static compaction was used throughout the backfilling construction to avoid the upward migration of pore water and micro-vibration liquefaction effect of soil. The backfilling area is divided into heavy-load area and light-load area. Different backfilling schemes were adopted, which not only met the bearing capacity requirements, but also saved costs. The backfilling schemes have achieved good construction results, ensuring the smooth operation of the test site.

Key words: well site; coastal beach; micro-vibration liquefaction; lime-soil cushion; backfilling operations; the Yellow River Delta

收稿日期:2019-01-07; 修回日期:2019-01-29 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.03.012

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“海域天然气水合物资源试采工程实施(中国地质科学院勘探技术研究所)”(编号:DD20189601);
广东省促进经济发展专项资金(海洋经济发展用途)项目“天然气水合物定向井开采技术试验与优化”(编号:GDME-2018D003)

作者简介:张化民,男,汉族,1981年生,工程师,硕士,从事岩土钻掘相关设计工作,河北省廊坊市金光道77号,93756017@qq.com。

引用格式:张化民,于彦江,秦如雷,等.黄河三角洲沿海滩涂井场填方设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(3):63-67.

ZHANG Huamin, YU Yanjiang, QIN Rulei, et al. Design and execution of well site backfilling in beach of the Yellow River Delta Coast[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(3):63-67.

1 工程简介

为满足项目研究需求,中国地质调查局“海域天然气水合物陆地试采工程”项目组在黄河三角洲地区建设了一处钻井试验基地。该钻井场地位于山东省东营市刁口乡附近,距海岸线 1 km 左右。场地面积 14680 m²,运营周期 2 年。

该地区属黄河三角洲冲积海积平原区沿海滩涂(见图 1),表层为第四系全新世松散沉积物,厚度 300~500 m,主要地层岩性为粘土、粉质粘土、粉土、粉细砂、中砂等。场地选址区域内 1 m 深度范围内的表层土体为粉砂质粘土,土体成分见表 1,基本性能参数见表 2。



图 1 井场选址原始地貌

Fig.1 Original topography of well site

表 1 钻井场地内表层土成分

Table 1 Composition of surface soil in drilling site %

石英	长石	方解石	白云石	粘土矿物
40 左右	20 左右	10 左右	1~3	27~29

表 2 表层土基本性能参数

Table 2 Basic parameters of surface soil

含水量/%	孔隙比	压缩系数/ MPa ⁻¹	十字板抗剪 强度/kPa	轻型动力触 探击数/击
26.7~27.2	0.703~0.682	0.194~0.273	7.3~33.2	4~26

该钻井场地具有以下特点:

(1)场地建设标准高:该场地为地质调查项目试验基地,运营时间为 2 年。不同于一般的钻井施工,

因其科研基地的性质和较长的使用时间,该场地的地面承载力、场地平整度、围挡结构防风能力、场地临时生活设施和场地供水供电能力的建设标准均超过《钻前工程及井场布置技术要求》(SY/T 5466—2013)^[1]的最高规定。

(2)区域环保要求高:黄河三角洲地区有我国暖温带最广阔的河口湿地,是物种保护、候鸟迁徙和河口生态演替的重要地点,同时具备河口湿地、三角洲湿地和滨海湿地的特点,生物资源丰富,但生态环境异常脆弱,对人类活动影响有很强的敏感性。该区域的气体、水排放和噪声等环保指标有严格的要求。依据《中华人民共和国自然保护区条例》和《山东省湿地保护办法》的有关规定,对自然保护区造成破坏的工程活动,主体单位承担经济惩罚的同时还要追究法律责任。

(3)土体改造难度大:该区域表层粉砂质粘土存在微振液化现象^[2],在外界振动的作用下,土体中孔隙水压力不断增大,土体有效应力会降为零,土粒处于悬浮状态,土体强度完全丧失。

这种土体特性会造成 2 个问题,一是场地平整压实过程中,不可以采用振动压实,不然会适得其反,越振动土体越松散。二是场地建设完成后,由于地下水位的反复升降,加上施工作业中的微振作用,引起饱和细粒土地基的液化及不均匀沉降,导致地面开裂、破损,将严重影响场地的使用^[3-4]。

本文主要对黄河三角洲的沿海滩涂井场的填方方案和施工过程进行论述。

2 填方施工

2.1 地基处理方案选择

通过对土体的特殊工程特性和场地使用期间的承载力要求进行分析,该场地内土体填方施工应结合地基处理同时进行^[5-7]。该地区的地基处理方法主要包括强夯法、灰土垫层法和粉喷桩法等^[8]。

强夯法^[9-10]:试验区地下水位较高,当夯击能大时,拔锤后夯坑内迅速积水,导致大部分夯击能被地下水所消耗。同时由于土层较软,造成排水不利,孔压居高不下,对夯击能往深部传播不利,真正用于深部土层加固的能量不足。另外,还可能由于夯击间歇和夯击过后孔隙水压力没有完全消散,导致强度指标降低。所以采用强夯法时,应该考虑增长夯击间歇和加强抽排水措施。

灰土垫层法^[11]:灰土垫层的材料为石灰和土,石灰和土的体积比一般为 3:7 或 2:8。灰土垫层的强度随用灰量的增大而提高。灰土垫层处理黄河三角洲地基是一种以土治土、原位处理地基的办法。灰土垫层以土料为主,造价较低,是一种比较经济的地基处理方法。它的缺点是施工受气候、环境和地下水的影响较大,现场施工质量必须从严控制。

粉喷桩法^[12]:它是通过特制的深层搅拌机械,在加固深度范围内把水泥粉与切碎的软土地基原位强制搅拌,利用水泥粉和地基土间产生的一系列物理、化学反应,使地基土硬结成具有整体性、稳定性和一定强度的水泥土柱状体。该水泥搅拌桩与软土地基一起构成复合地基,达到加固软土地基的目的。其特点是不会使邻近土体受压变形产生地面隆起、损坏、松动,施工文明,无坍孔与缩径之忧,搅拌无噪声、无振动、无排污,对周围环境和建筑物无不良影响,还可节约基础开挖土方及配筋等费用,社会效益和经济效益都较好。

3 种地基处理方法效果、造价和工期对比见表 3。

表 3 地基处理方式对比

Table 3 Comparison of foundation treatment

地基处理方式	改造后承载力/kPa	工程造价/万元	工期/d
强夯排水	约 100	72	45
灰土垫层	120~150	45	40
粉喷桩	180~200	90	60

过对比分析可知:灰土垫层处理方式在工期和造价方面都优于其他两种方式,在承载力方面虽然低于粉喷桩,但也能满足承载力要求。

其次,灰土垫层的透水性很差,可以形成隔水层,隔绝地下水与地表水的渗透路径,有利于杜绝工程污水对地下水的污染^[13-15]。强夯法和粉喷桩法需要使用强夯机或钻机等重型专用机械,而灰土垫层仅需使用简单的机械和人工。重型机械的使用存在废气和噪声污染的问题,所以灰土垫层法在环保方面优于其他两种方法。

综合考虑环保、工期、造价和适用性等方面因素,本次填方施工采用灰土垫层的地基处理方案,并且在灰土垫层施工中严格控制施工质量。

2.2 填方方案设计

依据场地内不同区域的使用情况,将场地划分为重载区和轻载区。重载区包括:钻机施工区域、发电机和泥浆处理设备区和场内道路。

轻载区包括:生活区、库房等不存在重型机械和车辆活动的区域。

两种区域采用不同的回填方案。

轻载区方案:素土回填找平+200 mm 灰土垫层+100 mm 碎石面层。

重载区方案:建筑垃圾回填找平+200 mm 灰土垫层+100 mm 碎石面层。

填方施工工序和流程见图 2。

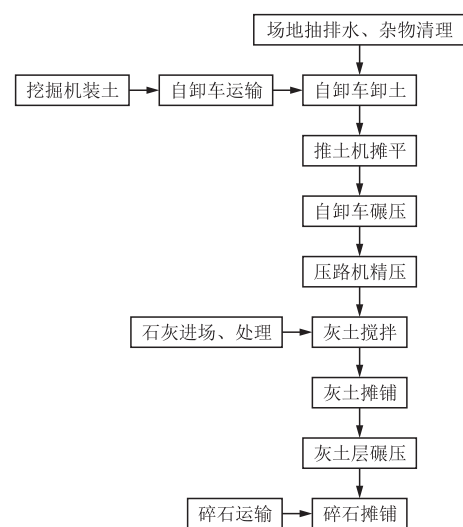


图 2 填方施工流程

Fig.2 Backfilling construction process

填方施工中投入的机械和工时见表 4。

表 4 井场填方施工机械

Table 4 Well site backfilling construction machinery

序号	设备	数量	工时/h	序号	设备	数量	工时/h
1	推土机	1	200	4	装载机	1	50
2	挖掘机	2	200	5	压路机	1	36
3	自卸车	8	120	6	灰土拌合机	2	24

2.3 灰土垫层工程质量控制

灰土施工情况见图 3。灰土垫层的施工质量是该填方方案的关键,为保证工程质量,采取了以下灰土垫层质量控制措施^[16]:

(1)土料采用优质填方素土,其中不得含有有机杂质,使用前要过筛,粒径 ≥ 15 mm。

(2)用作灰土的熟石灰在使用前一天浇水,将石灰粉化并过筛,粒径 ≥ 5 mm,不得夹有未熟化的生石灰块。

(3)灰土拌合时,根据气温和土料的湿度适当浇水,拌好的灰土颜色要求均匀一致,含水量以用手紧握成团、轻捏即碎为宜。



图3 灰土垫层施工

Fig.3 Construction of lime-soil cushion

(4)拌好后的灰土应及时铺垫碾压,不得隔日使用,压实的灰土不得受水浸泡。

(5)灰土垫层采用分层压实的办法来进行施工,虚摊厚度为 100 mm。

(6)灰土垫层采用碾压压实,而不是传统的夯打。

(7)灰土的质量逐层进行检验,每压实完一层检验一次,当符合设计要求后方可铺垫上层。土的质量检验采用环刀取样测定其干密度,质量标准按压实系数鉴定,压实系数控制在 0.98,承载能力达到 150 kPa 为合格。

3 施工效果

该场地填方工程于 2018 年 1 月 16 日开工,2 月 20 日完工,历时 45 d,因春节放假原因,实际有效工作时间 35 d。施工费用见表 5。因施工过程控制精准,调度计划合理,提前 5 d 完工,为后续工作争取了时间,同时施工费用也比预算低 8 万多元。

表5 施工费用统计

Table 5 Construction cost statistics

项目	细目	数量	天数/d	单价/元	金额/元
机械费 (含操作手工费)	挖掘机	2 台	30	800	48000
	自卸车	8 台	20	600	96000
	推土机	1 台	30	500	15000
	灰土搅拌机	2 台	4	1000	8000
	压路机	1 台	10	1500	15000
人工费	力工	30 人	4	200	24000
材料费	素土	8676 m ³		5	43380
	生石灰	300 m ³		500	15000
	碎石子	100 m ³		1000	100000
总计					364380

经第三方检测,该填方工程质量合格,承载力达

到了设计要求。

施工完成后的场地见图 4,场地使用中的情况见图 5。



图4 铺垫完成的场地

Fig.4 Site completed by backfilling



图5 使用中的场地

Fig.5 Site in use

4 结语

总结该黄河三角洲沿海滩涂井场填方施工的经验如下:

(1)填方全程采用静压压实填土,避免了孔隙水上升、土体产生微振液化效应,从而保证了填方工程的施工质量。

(2)在面层下铺设灰土垫层,既保证了地基承载力,又有效隔离了地下水上升通道和地表水下渗通道,切断了微振液化的根源,同时杜绝了场地内工程污水的下渗。

(3)将填方分为重载区和轻载区,采用不同的填方方案,既充分发挥了现有建筑垃圾成本低、承载力高的特点,又克服了原料数量不足的问题。既满足了承载力要求,又节约了成本。

参考文献(References):

- [1] SY/T 5466—2013, 钻前工程及井场布置技术要求[S].
SY/T 5466—2013, Well site preparation and layout requirements[S].

- [2] 冯秀丽,周松望,林霖,等.现代黄河三角洲粉土触变性研究及其应用[J].中国海洋大学学报,2004,34(6):1053-1056.
FENG Xiuli, ZHOU Songwang, LIN Lin, et al. The thixotropy of silt in Huanghe Delta[J]. Periodical of Ocean University of China, 2004,34(6):1053-1056.
- [3] 李先经.上海市东方医院青岛分院钻孔桩施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(12):64-68.
LI Xianjing. Bored pile construction for Shanghai Oriental Hospital Qingdao Branch[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(12):64-68.
- [4] 李先经.滨海大陆架特殊性岩土工程勘察钻探实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(4):65-68.
LI Xianjing. Drilling practice of special geotechnical engineering exploration in the coastal continental shelf[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(4):65-68.
- [5] 江正荣.地基与基础施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
JIANG Zhengrong. Handbook of subgrade and foundation construction [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1997.
- [6] 王东会,马孝春,付宇.地基处理优化技术的发展与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):66-71.
WANG Donghui, MA Xiaochun, FU Yu. Development and application of optimization technology of foundation treatment [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(6):66-71.
- [7] 戴韶生,刘志明.城市杂填土土工特性的研究及常用地基处理方法[J].探矿工程,2002,(5):20-21
DAI Shaosheng, LIU Zhiming. Research on geotechnical characteristics and common measure for foundation treatment in the urban mixed backfill soil [J]. Exploration Engineering, 2002,(5):20-21.
- [8] 张建,王冬梅.某工程沿海滩涂区的地基处理方法比选[J].福建建设科技,2010,(1):15-17.
ZHANG Jian, WANG Dongmei. Scheme comparison of the foundation treatment in coastal intertidal zone[J]. Fujian Construction Science and Technology, 2010,(1):15-17.
- [9] 李芳,于元峰,张延记,等.不同回填土条件下软土区强夯加固效果测试与对比分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(9):72-75.
LI Fang, YU Yuanfeng, ZHANG Yanji, et al. Test of dynamic compaction effects in soft ground under different backfill conditions and the comparative analysis[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(9):72-75.
- [10] 张朋辉,韩赛超,张小东,等.吹填砂场地强夯振动特性研究及安全评估[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(8):58-61.
ZHANG Penghui, HAN Saichao, ZHANG Xiaodong, et al. Vibration characteristics of dynamic compaction and safety assessment in hydraulic fill site[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(8):58-61.
- [11] 梁东,王刚,王华,等.灰土挤密桩处理黄土湿陷工程问题分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):82-84.
LIANG Dong, WANG Gang, WANG Hua, et al. Analysis on construction problems of lime-soil compaction pile for handling collapse in loess[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(2):82-84.
- [12] 宋刚练,牌卫卫,江建斌,等.应用于污染场地原位修复的旋喷工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):85-89.
SONG Ganglian, PAI Weiwei, JIANG Jianbin, et al. Research on rotary jet grouting technology applied in situ remediation of contaminated site [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(7):85-89.
- [13] 张珂,贾永刚,刘正银,等.黄河三角洲地基透水与隔水夹层对微振液化的影响[J].岩土力学,2006,27(S1):1002-1006.
ZHANG Ke, JIA Yonggang, LIU Zhengyin, et al. Influence on micro-shock liquefaction by permeable layer and confining stratum of soil in Yellow River Delta[J]. Geotechnical and Soil Mechanics, 2006,27 (S1):1002-1006.
- [14] 常林祯,杨文轩,徐树,等.分层止水技术在污染场地环境调查中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(7):24-28.
CHANG Linzhen, YANG Wenxuan, XU Shu, et al. Application of stratified water shut-off technology in environmental investigation of contaminated sites[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(7):24-28.
- [15] 高骏.岩土施工技术在污染场地治理中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(3):75-79.
GAO Jun. Study on application of geotechnical construction technology in contaminated site management[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(3):75-79.
- [16] 王永博.辽宁滨海大道锦州海滩段软土路基处理设计[J].北方交通,2010,(11):7-9.
WANG Yongbo. Design on the soft soil subgrade treatment in Jinzhou Beach section of Liaoning Binhai Highway[J]. Northern Communications, 2010,(11):7-9.

(编辑 周红军)