

新型真空预压粘土密封墙施工设备及其应用

孙田磊¹, 杨福麟¹, 陈伟明², 王亮³

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230; 2. 广州市南沙区成业土石方工程部, 广东 广州 510220; 3. 国家海洋局南海海洋工程勘察与环境研究院, 广东 广州 510300)

摘要: 针对传统真空预压粘土密封墙施工设备操作复杂、笨重、移动缓慢,且自身不带动力等缺点,采用由挖掘机改装而成的新型粘土密封墙施工设备.结合广州中船龙穴造船基地某软基处理工程实际应用,通过与传统设备施工效率、密封效果、施工成本等比较,表明该种设备操作简便、行走灵活,密封效果良好,具有较高的推广应用价值;另针对新型设备存在的不足,提出了进一步完善设想.

关键词: 真空预压; 粘土密封墙; 挖掘机; 应用

中图分类号: TV472.33:TU471.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2009)03-0080-06

真空预压法加固软土地基技术可将预压荷载在很短时间内一次施加完成,除可节约大量堆载料资源外,其应力引起的收缩变形不会导致地基失稳剪切破坏^[1],故广泛应用于我国沿海地区大规模围海造陆、快速地基处理工程中.特别是对于含水率高、压缩性大、强度承载力低的超软弱土层尤其适用.

采用真空预压法进行软弱地基处理时,周边密封效果是加固土体形成真空负压的关键.目前我国普遍采用打设连续泥浆搅拌桩形成隔水密封墙体作为周边密封系统^[2,3],所用设备改装自水泥搅拌桩机或喷粉桩机,只是将原来的空压机或水泥浆机换成泥浆泵.根据行走方式可分为步履式、滚筒式和履带式三种类型,各类型设备技术参数见表1^[4].

表1 各类型深层搅拌机参数

Tab.1 Parameters of various types of in-depth mixers

类型	主机额定功率 / kW	单机质量 / kg	转速 $n / (r \cdot \text{min}^{-1})$	接地压强 / kPa
PH-5D 步履式	44	14 000	8 ~ 72	38.5
DJM-37G 滚筒式	37×2	16 000	42	26
DJM-37L 履带式	37×2	17 000	42	27

表1中3种设备自身均不带动力,必须配备专用发电机组提供动力.处理区设备繁多,地基承载力低,不但施工、移动繁琐,发电机组吊装、安放亦非常不便,且存在安全隐患.

广州中船龙穴造船基地海洋工程区及民船西区软基处理施工包括大面积水力吹填砂垫层及真空预压,面积达 $6.7 \times 10^5 \text{ m}^2$,地基处理区5.0~8.0 m深度范围内普遍含透水夹砂层,层厚0.5~3.0 m不等.本工程真空预压周边密封采用粘土密封墙方案.根据胡利文^[5]、李军^[6]等进行的泥浆搅拌桩渗透试验分析,采用表2中工艺,墙体宽度大于1.0 m,墙内掺合土体水平渗透系数 K_h 小于 $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$,气密性可满足密封要求.

收稿日期: 2008-10-27

作者简介: 孙田磊(1982-),男,山东邹城人,助理工程师,学士,主要从事港口工程、软基处理方面设计、施工及相关研究. E-mail: stianlei@gzpec.com

表2 泥浆、桩体尺寸、成桩质量要求

Tab.2 Requirement of silt measurement and quality for the mixing wall

泥浆参数				桩体尺寸				成桩要求				
含砂率 / %	塑限 I_p	比重 G_s	掺入比 / %	布置 形式	桩径 / cm	桩心距 / cm	桩桩搭接 / cm	桩长 / m	成桩 工艺	搅速 / (m·min ⁻¹)	垂直度 / %	桩位偏差 / cm
≤5	≥17	≥1.35	≥35	双排 矩形	70	50	20	7~10*	四喷 四搅	下搅≤1.2 上搅≤0.8	≤1.5*	≤5*

注:打设深度以进入不透水层1m为标准;垂直度、桩位偏差参考水泥搅拌桩质量要求。

1 新型深层搅拌机研制

传统粘土密封墙施工设备往往大而笨重,且需要配备专用发电机组提供动力,运输、组装繁琐;特别是其行走缓慢,在软弱地层施工时极易发生陷机事故.另场地内电缆架设、柴油堆放等也给施工作业带来安全隐患^[7].因此,改装自带动力、移动灵活且可以方便快捷到达边角施工位置的设备变得非常必要.

由挖掘机改装而成液压插板机^[8,9]已广泛应用于软基处理排水板插设中,相比于震动门架式插板机,有着行走方便、插设效率高及操作简单等突出优点.由此挖掘机的优点同样可以发挥在粘土密封墙施工中.在本工程中投入了一台由挖掘机改装而成的液压式深层搅拌机,用于实验.

1.1 工作原理

液压式深层搅拌机工作原理为:挖掘机上柴油发动机传出的动力,带动主液压泵产生高压液压油,并通过原铲斗油管传递到桩架上安装的三台液压马达上,桩杆顶部两部马达输出转矩供桩杆自身旋转;桩架下部马达输出转矩通过链轮传动后,带动桩杆上下移动,从而达到桩杆旋转、下搅、提升的全过程.

1.2 桩架构造

桩架为长方柱形,以角钢、工字钢为骨架,80 cm间隔设置交叉加强筋,桩架截面为矩形.为了减轻重量,本次试验用桩架加工高度为9 m.

桩杆上部安装两部液压马达,马达底部连接同步传动齿轮后与桩杆连成一体;桩架下部固定一部液压马达,马达与桩杆主体之间以链轮连接,可实现桩杆上下移动.桩架三部液压马达油管线合流后接在原铲斗油管线上.整机及桩架结构如图1所示.

1.3 马达型号选取

1.3.1 旋转驱动马达 桩杆旋转转矩大小决定了桩头的搅动力度,转矩越大,越能保证桩头在较厚、挤密砂层中顺利施工.滚筒式搅拌机桩杆旋转驱动采用的电动机额定功率 P 多为37 kW、转速42 r·min⁻¹,则电动机

传递到桩杆有效功率 $p_e = P \times \eta$,其中, η 为综合机械效率,由旋转物体功率公式^[10]: $p_e = \frac{T_e}{\Omega_e} = \frac{T_e}{2\pi n} \times 1000 =$

$\frac{T_e}{n} \times 9550$ 可求出桩杆输出转矩: $T_e = \frac{p_e}{n} \times 9550 = \frac{P\eta}{n} \times 9550$,计算得37 kW电动机输出转矩水平为7 992 N·m,则上部单台液压马达输出转矩 T_e 为3 996 N·m.

本次改装机采用日立EX200-5型挖掘机,其主液压泵流量为2×208 L·min⁻¹,可提供最大工作压力37.3 MPa.由主泵流量限制了所选取液压马达排量 V 在1.8 L·r⁻¹以下,最高工作压力 p_m 在37 MPa以内,同

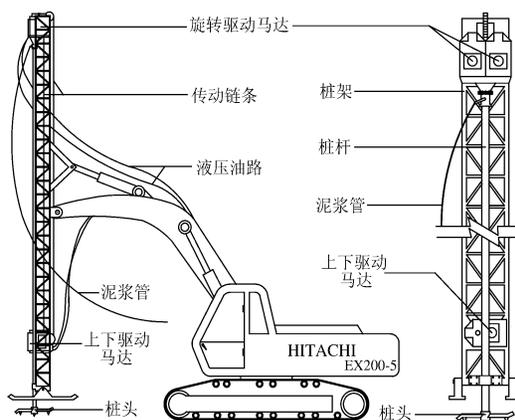


图1 整机及桩架构造示意图

Fig.1 Display of the whole mixer and the piling frame

时考虑桩架整体重量及稳定性,单台液压马达应控制在 200 kg 以内.综合考虑,以宁波中意公司生产的 JMDG 系列低速大扭矩液压马达进行比选,型号参数见表 3.

表 3 JMDG 系列液压马达参数表

Tab. 3 Parameters of JMDG series hydraulic motors

型 号	排量 V / (L·r ⁻¹)	额定、最高 输入压力/ MPa	转速 n / (r·min ⁻¹)	质 量 m / kg
11-1300	1.296	16,20	3~250	90
16-1600	1.648	25,32	2~320	160
16-2000	2.034	25,32	2~250	220

根据液压马达转矩计算公式^[11]: $T_e = \frac{p \times V}{2\pi} \times \eta_m$,代入各型号参数:输入、输出压力差 p 取额定输入压力,综合效率 η_m 取 0.8,得 3 种液压马达输出转矩分别为 2 640,5 246 和 6 474 N·m. 比较可见,1300 型转矩不足,2000 型太过笨重且排量不符合要求,1600 型比较合适;其额定输出转矩比 37 kW 电动机稍大,排量、工作压力、质量均符合要求.

1.3.2 下插、上提驱动马达 传统设备桩杆下插只是靠电动机、桩杆自重完成,上提依靠底盘卷扬机配合钢丝、滑轮完成. 在施工过程中为提高墙体含泥量,设计规定打设速度下插不超过 1.2 m/min,上提不超过 0.8 m/min.

由以上分析可以看出,上、下移动驱动马达能够使桩杆在地层中速度达到 0.5~2.0 m/min 量级即可,无需更重的大扭矩液压马达. 综合考虑,选用减速比 6 的 ZJM1500/C 型带减速器液压马达,参数指标如下:排量为 1.52 L·r⁻¹,最高工作压力为 25 MPa,转速为 2~110 r·min⁻¹,最高扭矩为 4 780 N·m,质量为 85 kg. 按照国标^[12]选用链轮指标为:齿数 $Z=19$ 、节圆直径 $D=192.90$ mm,则马达平均输出驱动力: $P_e = \frac{2T_e}{D} \times \eta$, η 取 0.8, T_e 取最高扭矩的一半(2 390 N·m), D 取 192.90×10^{-3} m,得 $P_e = 19.82$ kN,由此可计算出考虑马达、桩杆自重后桩头下插压强: $P_m = \frac{P_e + mg}{S} = 269$ kPa,其下插压强大于滚筒式双头机 218 kPa,小于步履式 296 kPa.

为防止土层较硬时主泵输出压力大于其最高工作压力 25 MPa,需在油路上安装节流阀,不仅可避免液压马达超负荷运转而发生故障,还可限制桩杆打设速度不至于过快.

2 施工实例

在本工程 6-1、6-6、6-7 区投入了该设备进行粘土密封墙施工,桩头直径按 70 cm 进行加工,工艺则完全按照表 2 中技术要求.

从成桩质量看,对施工完毕 5 d 后下卧透水层进行钻孔取土,室内土工试验显示掺合土体含泥量($d \leq 0.075$ mm)在 29.2%~33.6%之间,横向渗透系数 K_h 在 $0.768 \times 10^{-6} \sim 0.928 \times 10^{-6}$ cm/s 之间,低于设计要求 1×10^{-6} cm/s. 现场插竹竿检查,发现 6-1、6-6 区施工质量良好,桩桩连续性好,而 6-7 区稍差. 经分析,发现两区在地质条件相差不大情况下 6-1、6-6 区地势平坦,而 6-7 区地势不平. 挖掘机底盘是否水平直接决定了成桩垂直度,因此,6-7 区地势不平造成桩垂直度不理想,从而导致下卧层桩桩搭接质量不高,影响整体密封性. 为此,专门对 6-7 区个别区段进行了补搅.

经过 90 d 真空恒载,6-1、6-6、6-7 区真空度一直保持在 85 kPa 左右,说明由该设备施工的粘土密封墙质量可靠.

分析搅拌桩成桩过程和桩体所要达到的质量要求,成桩速度并非越快越好. 相反,控制桩头在土层中较

缓慢提升、下放则有利于提高泥浆掺入率,从而提高墙体抗渗性.本次改装选用液压马达技术指标合理,实际施工中可实现快旋转、慢下搅、慢提升的最优作业过程.实际施工结果表明,改装设备施工效率大于传统单头设备,主要原因是传统设备施工完一段距离后受制于电缆长度,需频繁移动发电机、频繁接线等,而挖掘机改装设备可直接开行至下一施工区段,接驳好泥浆管后可马上投入施工,节省了大量中间环节时间,且受天气因素影响小.在保证油料、泥浆、设备不出现故障等理想情况下日产量可达330延米,大于传统单头设备的300延米的日产量.

试验施工区段未发现有超厚、挤密透水层,未能检验桩杆扭矩是否合适.另一不足为打设速度靠驾驶室操纵杆力度控制,因无档位控制,对作业人员操作技能要求较高.

从成本上分析,一般排量5.0 L 200型挖掘机日满负荷耗油量为200 L,由此算出纯燃料施工成本约为2.75元/延米,高于传统设备的2.4元/延米;但该设备可省去发电机组台班、人员维护费用,且机体故障率小,综合考虑与传统设备成本相当.

液压式深层搅拌机与传统设备综合比较见表4.除了本工程外,2007年广州南沙合兴220 kV变电站软基处理工程、2008年东莞市海昌5万t级煤码头道路堆场工程中均投入了这种设备进行粘土密封墙施工.施工质量均良好,可满足抽真空90 d加固区周边密封要求.

表4 液压式深层搅拌机与传统设备综合对比表

Tab.4 Comprehensive comparison between the hydraulic in-depth mixer and the traditional equipments

设备类型	主驱动方式	整机质量 / kg	桩杆额定 扭矩/ N·m	桩杆下插 压强/ kPa	施工成本 ¹ / (元·m ⁻¹)	施工效率 ² / (m·d ⁻¹)
传统滚筒式,双头	电动机 37 kW×2	16 000	8 413	218	6.1	600
传统履带式,双头	电动机 37 kW×2	17 000	8 413	218	6.1	600
传统步履式,单头	电动机 44 kW	14 000	13 131	296	6.4	300
传统液压式,单头	液压马达 1.648 L·r ⁻¹ ×2	19 000	10 492	269	5.9	330

注:¹施工成本只计燃料、人工、维护费用,不计泥浆、设备成本;²施工效率每天按24 h计,且不考虑设备故障、泥浆供应、地质差异等理想条件.

3 新设备优缺点分析及改进设想

液压式深层搅拌机自带动力系统,省去了繁琐的发电机安装维护、电缆架设等工作,且移动迅速、操作灵活,在相对软弱地层发现险情可迅速撤离;成桩质量良好,施工成本低.

由于改装设备桩架连接在挖掘机大臂上,且可整体随驾驶室实现回转,特别在打设加固区转角、接头位置时有很大优势;在施工通道狭窄或打设位置周边有坡度时,可在施工区内将大臂摆出进行施工.另外,桩架可与挖掘机铲斗、插排水板桩架互换,使搅拌机能够迅速转换成为挖掘机、液压插板机,设备通用性高.

桩架现有结构在保证成桩垂直度方面不理想,地势平坦区域施工效果良好.但地势不平时的成桩垂直度有待提高,为此,笔者考虑在桩架与载机大臂连接处设计一活动关节,可进行桩架垂直度调节.

桩架载机所用挖掘机整机接地压强较大,不利于在软弱地层行走、施工.为此,可加工专用宽履带来降低接地压强,提高通用性.

针对打设速度不好控制问题,可加长油门操纵杆控制行程,并在油门行程上标明刻度,使操纵杆开合大小与打设速度对应,便于控制打设速度,减轻作业工人劳动量.

4 结 语

粘土密封墙作为真空预压加固区周边主要密封手段已应用多年,虽然其为掺入粘土降低土层渗透系数而非全部置换,但在其他密封形式如垂直插塑法^[13]、排水板密封套法^[14]等尚未成熟时仍将作为加固体主要

周边密封手段.由挖掘机改装而成的深层搅拌机操作简单、维修方便,并且省略了繁琐发电机组及相关维护,移动迅速打设灵活.工程实际应用表明,成桩质量好,设备通用性高.但成桩垂直度还有待提高.

参 考 文 献:

- [1] 娄 炎. 真空排水预压法加固软土技术[M]. 北京:人民交通出版社,2001:9-11. (LOU Yan. Vacuum preloading method drainage soft soil technology[M]. Beijing: China Communications Press, 2001: 9-11. (in Chinese))
- [2] 邓万福. 真空预压下卧透土层处理方法及监测结果分析[J]. 中外公路,2003,23(5):100-101. (DENG Wan-fu. Treatment of deep water-permeable stratum and the analysis of monitoring result in vacuum preloading[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2003, 23(5): 100-101. (in Chinese))
- [3] 胡利文,王永平. 南沙港区真空预压处理水力吹填堆场地基施工技术[J]. 公路交通科技,2005,22(4):44-48. (HU Li-wen, WANG Yong-ping. Construction technique on soil improvement by vacuum preloading at nansha reclamation site[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(4): 44-48. (in Chinese))
- [4] 刘松玉,钱国超,章定文. 粉喷桩复合地基理论与工程应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006,182-185. (LIU Song-yu, QIAN Guo-chao, ZHANG Ding-wen. The principle and application of dry jet mixing composite foundation[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006: 182-185. (in Chinese))
- [5] 胡利文,王永平. 真空预压淤泥搅拌墙气密性试验分析与应用技术[J]. 岩土力学,2005,26(3):427-431. (HU Li-wen, WANG Yong-ping. Test study and application technique for airtight capacity of mixing silt wall under vacuum preloading [J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(3): 427-431. (in Chinese))
- [6] 李 军,胡继业,邓元广. 大面积吹填陆域真空预压密封墙处理技术的应用[J]. 水运工程,2004,(2):44-48. (LI Jun, HU Ji-ye, DENG Yuan-guang. Application of vacuum preloading sealing wall technique for large-area reclaimed land[J]. Port & Waterway Engineering, 2004, (2): 44-48. (in Chinese))
- [7] 金小荣,俞建霖,龚晓南,等. 真空预压部分工艺的改进[J]. 岩土力学,2007,28(12):2711-2714. (JIN Xiao-rong, YU Jian-lin, GONG Xiao-nan, et al. Improvement of partial technology for vacuum preloading. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(12): 2711-2714. (in Chinese))
- [8] 吴凯明. 插塑板机的研制及其在软基处理中的应用[J]. 铁道建设,1996,39(2):22-27. (WU Kai-ming. The development of plastic drainage machine and its application in some soft-ground treatment project [J]. Journal of Railway Construction, 1996, 39(2): 22-27. (in Chinese))
- [9] 闵晓阳,凌 晋,李光利. 挖掘机在软土地基处理中的应用[J]. 建设机械技术与管理,2004,(8):74-75. (MIN Xiao-yang, LING Jin, LI Guang-li. The application of excavator grab in some soft-ground treatment[J]. Construction Machinery Technology & Management, 2004, (8): 74-75. (in Chinese))
- [10] 李发海,王 岩. 电机与拖动基础[M]. 北京:清华大学出版社,2005:235-237. (LI Fa-hai, WANG Yan. Basis of Electric Machines and Drives[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 235-237. (in Chinese))
- [11] JB/T 8728-1998, 低速大扭矩液压马达[S]. (JB/T8728-1998, Low speed high torque hydraulic motor[S]. (in Chinese))
- [12] GB/T 1243-2006, 传动用短节距精密滚子链、套筒链、附件和链轮[S]. (GB/T 1243-2006, Chain wheels for short pitch transmission precision roller chains and bush chains tooth profile and tolerance[S]. (in Chinese))
- [13] 夏玉斌,刘 强. 真空预压垂直铺塑侧向密封技术在软基处理工程中的试验与应用[J]. 水运工程,2006,(10):212-214. (XIA Yu-bin, LIU Qiang. Experiment and application of VLLPM technology in subsoil consolidation treatment[J]. Port & Waterway Engineering, 2006, (10): 212-214. (in Chinese))
- [14] 罗志光,王盛源. 一种新型真空预压深层密封技术[J]. 公路,2004,(8):213-215. (LUO Zhi-guang, WANG Sheng-yuan. A new kind of sealing method about the deep stratum in vacuum preloading[J]. Highway, 2004, (8): 213-215. (in Chinese))

A new type of vacuum preloading construction equipment for clay sealing wall and its application

SUN Tian-lei¹, YANG Fu-lin¹, CHEN Wei-ming², WANG Liang³

(1. *Engineering Technology Research Co., Ltd. of CCCC Forth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China*; 2. *Chengye Earthwork Engineering Dept. of Nansha District, Guangzhou 510220, China*; 3. *South China Sea Marine Engineering and Environment Institute, SOA, Guangzhou 510300, China.*)

Abstract: In view of the disadvantages of the traditional vacuum preloading construction equipment for clay sealing wall, such as complex operation, heavy weight, slow pace of movement and lack of any power, the authors put forward a new type of construction equipment for clay sealing wall, which is refitted with an excavator grab. Through practical application of some soft ground treatment projects of GuangZhou CSSC LongXue Shipping Base, and the comparison between the traditional equipment and the new one in work efficiency, sealing effect, and the cost, it indicates that the new type of equipment is simple in operation, flexible in movement, and efficient in sealing effect, so it has certain application values. For improving this new type of construction equipment, the authors also give some suggestions.

Key words: vacuum preloading; clay sealing wall; excavator grab; application

“关注气候变化”论坛宣言在京发布

2009年9月8日,“关注气候变化:挑战、机遇与行动”论坛在北京举行。在闭幕式上,全国政协人资环委副主任、中国科学院院士秦大河代表论坛参会代表发布论坛宣言。论坛认为,以全球变暖为主要特征的气候变化对当今人类社会和自然生态系统产生了诸多负面影响,未来的气候变化将对全球特别是发展中国家的可持续发展构成重大威胁。发达国家在过去200多年的工业化过程中,无约束地排放二氧化碳等温室气体,是造成当前气候变化的主要原因。因此,发达国家一方面应当大幅减少其温室气体排放,另一方面应当向发展中国家提供资金和技术转让支持,提高发展中国家应对气候变化的能力。发展中国家是气候变化的受害者,面临着发展经济、消除贫困和应对气候变化多重压力。作为一个负责任的发展中国家,中国高度重视应对气候变化,按照科学发展观的要求,统筹考虑经济发展和生态建设、国内与国际、当前与长远,制定并实施应对气候变化国家方案,采取了一系列应对气候变化的政策和措施,并取得显著的成效。论坛呼吁,世界各国应坚持《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》基本框架,严格遵循“巴厘路线图”授权,坚持“共同但有区别的责任”原则,坚持可持续发展,坚持减缓、适应、技术转让和资金支持同举并重,在今年年底举行的哥本哈根会议上达成积极成果。作为全球长期目标,各国应当致力于将大气温室气体浓度稳定在不致对全球气候造成危险干扰的水平。发达国家应勇于面对历史责任,切实履行法律义务,率先深度减排。作为中期减排目标,发达国家作为整体到2020年应在其1990年水平上至少减排40%,并向发展中国家提供资金和技术支持,分享成功经验。论坛建议:(一)把应对气候变化纳入“十二五”国民经济和社会发展规划及长期发展战略,结合“节能减排”和“两型社会”的建设,积极推动绿色经济,大力发展低碳经济和循环经济,促进向经济发展方式转变,加强应对气候变化能力建设,实现经济发展和应对气候变化的双赢;(二)充分发挥科学研究与技术创新在应对气候变化工作中的引导性和基础性作用,加大科技投入力度,多渠道支持适应技术、节能技术和可再生能源开发等减缓技术的研发、示范和推广;(三)进一步加强法律、法规和政策的引导,鼓励企业担负起应对气候变化的职责,履行社会责任,注重社会效益,成为我国节能减排和应对气候变化的主力军;(四)积极参加应对气候变化国际谈判与合作行动,发挥积极建设性作用,坚决维护我国作为发展中国家的发展权益和我国人民的基本人权,保障我国经济社会稳定发展和人民生活逐步改善;(五)提高全社会对气候变化的认识,加强责任意识和自觉行动意识,从改变自身生活方式做起,减少温室气体排放,增强风险防范意识,增强经济社会活动多层面、多环节应对气候变化能力。

摘自《中国气象局网站》