

# 老黏土地层吸泥装置研究及应用

肖伯强, 李送根, 胡义新, 万火清

(中交二航局第六工程分公司, 湖北 武汉 430014)

**摘要:** 文章以厦漳同城大道九龙江特大桥 2 号主墩承台施工为背景, 针对水下老黏土清理的难题, 提出一种破除水下老黏土的冲泥器及其施工方法, 采用高压水和高压空气结合的方式冲击老黏土, 有效改善了冲泥效果, 提高了吸泥效率。

**关键词:** 老黏土; 水下吸泥; 施工

中图分类号: U445.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2017)09-0050-04

doi: 10.7640/zggwjs201709010

## Study and application of suction device for claypan before middle period of later Pleistocene

XIAO Bo-qiang, LI Song-gen, HU Yi-xin, WAN Huo-qing

(No.6 Branch of CCCC Second Harbour Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430014, China)

**Abstract:** Based on the construction of the No.2 main pier bearing platform of Jiulong River Bridge in Xiamen-Zhangzhou cross-city highway, aiming at the problem of cleaning for claypan before middle period of later Pleistocene underwater, we introduced the new suction device structure and construction method with the flushing principle integrating the high pressure water with high pressure air, which effectively improved the effect of sediment flushing and the efficiency of suction.

**Key words:** claypan before middle period of later Pleistocene; suction underwater; construction

### 0 引言

老黏土为第四系晚更新世 Q3 及以前沉积的黏性土, 呈黄褐色、褐黄色、褐红色、红褐色等, 含铁锰质结核及高岭土条纹, 是一种在深水中难以清理出的特密实土质。目前的大型工程建设中, 钢围堰下沉、水上沉井基础的下沉以及围堰内的吸泥清理等<sup>[1-2]</sup>, 有时会遇到水下基坑底部为老黏土的情形。在水下清泥的过程中, 通常采用机械开挖及空气吸泥两种方式, 机械开挖方式采用梅花抓斗开挖, 但是开挖后的河床不平整; 水下吸泥采用空压机结合高压水泵进行吸泥, 原理是利用高压冲水的方式将底部土层冲散, 然后采用空压机气举清泥<sup>[3-4]</sup>。而老黏土被高压水冲击后, 松散的速度非常慢, 且呈现出一个个的孔洞, 孔洞

变多以后, 孔与孔之间的土体会成块脱落, 难以清理出水面, 吸泥效率非常低。因此, 水下老黏土的破除清理, 成为国内外当前施工生产中的一个重大的技术难题。

### 1 工程概况

厦漳同城大道九龙江特大桥西溪主桥为独斜塔空间扭背索斜拉桥, 处于九龙江入海口, 主塔所在 2 号主墩承台尺寸 24 m × 30.5 m × 6 m, 其下设 18 根直径 2.8 m 的钻孔灌注桩基础, 基础施工采用先平台后板桩围堰的方法进行。桩基施工完成后, 施打钢板桩, 其后进行水下清基和封底混凝土浇筑。2 号主墩所处河床下卧 5~8 m 厚红褐色老黏土层(海湾长年淤积而成), 硬塑~坚硬状, 含少量 Fe、Mn 氧化物及较多灰白色团块状高岭土, 强度较高, 具中偏低压缩性, 局部具弱膨胀性。地质钻探参数如表 1, 主墩承台平面布置如图 1 所示。

收稿日期: 2017-02-14

作者简介: 肖伯强 (1969—), 男, 湖南湘潭人, 高级工程师, 总工程师, 路桥专业。E-mail: 401223514@qq.com

表 1 地质钻探参数表  
Table 1 The parameter list of geological drilling

土层名称	土层厚度/m	重度/(kN·m <sup>-3</sup> )	孔隙比	含水量/%	黏聚力/kPa	摩擦角/(°)	压缩模量/MPa
1 细砂	0.5~1.2	18.2	0.48	18.0	0.13	35.6	13.80
2 淤泥	0.8~1.6	15.1	1.95	70.1	7	21.3	1.82
3 淤泥质黏土	1.0~1.3	15.5	1.31	44.6	13	24.1	3.07
4 老黏土	4.9~7.9	19.7	0.69	21.8	76.5	18.6	13.06
5 粗砾砂	0.5~1.3	18.0	0.55	10.0	0.1	40.0	13.33
6 圆砾土	1.1~2.5	22.5	0.80	12.0	0.1	39.0	15.20
7 中风化花岗岩	—	26.5	—	—	—	—	—

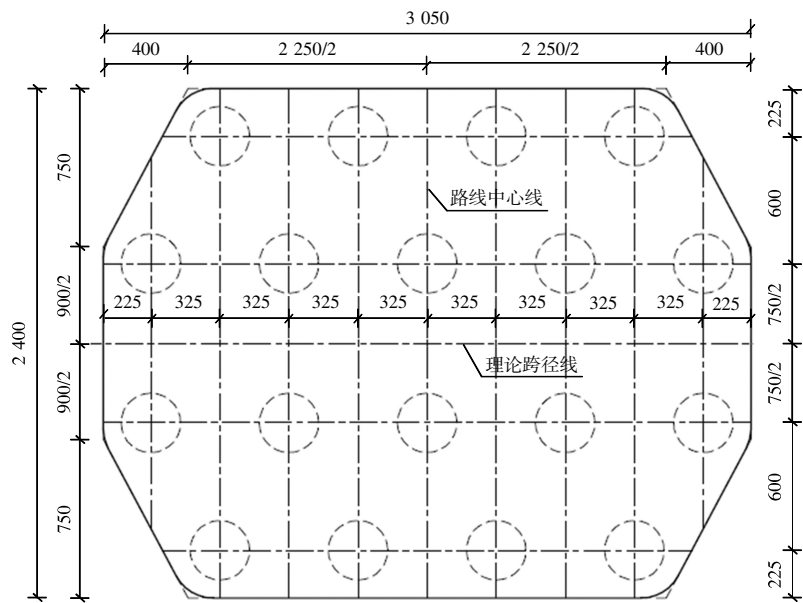


图 1 平面布置图

Fig. 1 Layout plan

2 方案比选

方案比选主要针对较难清理的第四系晚更新世老黏土进行，目前，水下清理土层的施工方法主要有 3 种：机械清除、砂石泵抽除、高压水+空压机气举排除。所以，仅对上述 3 种方法及新型施工方法进行比较。

2.1 机械清除

机械清除分两类形式，第一类为抓斗法施工，第二类为长臂挖机法施工。现在常用的是做功抓斗，由支撑绳和闭合绳配合进行，支撑绳控制抓斗本身上下移动，闭合绳控制瓣的闭合。常用形式有 2 瓣、6 瓣、8 瓣抓斗。

抓斗法施工的优点是方法简单，但抓斗施工并不能抓干净，且较硬、较大块的土体抓取比较困难。

长臂挖机常用于深基坑开挖，臂长有 15 m、18 m、21 m、24 m、27 m 等，长臂挖机的租赁费用较高。长臂挖机受臂长的影响，斗容量都不大，一般在 0.3~0.5 m<sup>3</sup> 之间，水下挖泥又受到现场空间、水等因素影响，每斗约 0.20 m<sup>3</sup> 左右（含水混合体）。

优点同样是方法比较简单，但费用高，施工受距离、深度和空间的控制（只能施工基坑上层的一部分），且在围堰周边易形成“倒三角区”状土体无法挖除。

2.2 砂石泵抽除

大功率离心式砂石泵和潜水式泥浆泵是以电为动力，马达旋转带动变速器输出扭矩，带动叶轮，叶轮置于壳体中，壳体接吸浆管及排泥管，通过叶轮转动将泥、砂、水混合物吸出输出。为

实现更高效的水下吸泥,也常采取砂石泵绞、吸结合的方法<sup>[5]</sup>,这样能够较大幅度地提高生产效率,给项目建设带来直接的经济效益。

本法主要针对比较板结的砂性土、砾类土,一般最大粒径不宜超过 30~40 mm,否则易造成砂石泵砂轮片破坏,或造成堵管、破管等。对砂性土的施工效率高,且不受水深的影响,投入较为经济。同时,不适宜黏性土、强黏性土等结合性较强的土层。

### 2.3 高压水+空压机

高压水配合空压机组装置由水泵高压输水系统和空压机反压系统两大块组成。空压机将压缩空气送至基坑底,排出的气体与基底松散状土层颗粒、水混合形成含大量气泡的浆气混合液,浆气混合液因其比重小而上升,在吸泥套管内混合器底端形成负压,下面的混合液在负压的作用下不断上升,并在气压动量的联合作用下形成流动,将基底泥渣排出。同时,采用高压水对基坑底土体进行射水冲散,加快浆气混合液的生成,促进施工效率。气、水组合更大地提高了施工效率,根据施工需要,可以配备多台空压机并联形成低压环境,适用于较大粒径的抽吸,最大粒径可达 200 mm,但正因为依托气压影响,空气吸泥法受水深度影响,一般适宜 8 m 以上的水深。除细砂层以外,空气吸泥法的施工效率较砂石泵法更快。

优点是板桩周围和护筒周围会清理的比较干净,缺点是工艺较复杂。由于受到水深的影响,在水泵功率一定的情况下,基底水压的冲击力有一定的局限性,射水的范围和力度受限,因而针对结合性较强的老黏土,施工速率较慢。

### 2.4 “气推水”冲泥器法

改变以往仅采用高压水冲击水下基底土体的做法,采用高压水和高压空气相结合的结构形式。内管通水,外管通气,打破常规气、水分离的做法,在出水口外侧,设置高压气体“助推”水力,加大射水速率和力度,扩充作业范围,克服迅速冲散老黏土较困难的难题,有效改善了冲泥效果,提高了吸泥效率。

## 3 构造及实施步骤

从以上方案分析,结合本项目特点,“气推水”冲泥器法对克服老黏土具有明显的优越性,将有效提高施工工效,降低施工成本。

### 3.1 结构形式

所设计的破除水下老黏土的冲泥器,利用两种型号的无缝钢管做成双层喷管,钢管之间上端封口,一侧设置进气管(无缝钢管,与双层喷管成 45°夹角)。其中双层喷管设计为内管通水,外管通气,双层钢管之间采用 3 孔  $\phi 12$  mm 螺旋螺栓沿圆周均匀限位,且每间隔 3 m 布置 1 层,错位布置。喷头同样采用双层管,上部设置 4 个(分 2 层 90°错开布置,层间距 400 mm,即每层 2 个),底部设置 1 个,喷头总高度 800 mm。喷头端部喷嘴同样采用 3 孔  $\phi 12$  mm 螺旋螺栓沿圆周均匀限位,喷嘴方向呈现十字面,见图 2。 $\phi 12$  mm 的螺纹孔、喷气及喷水的喷嘴采用车床工厂加工。

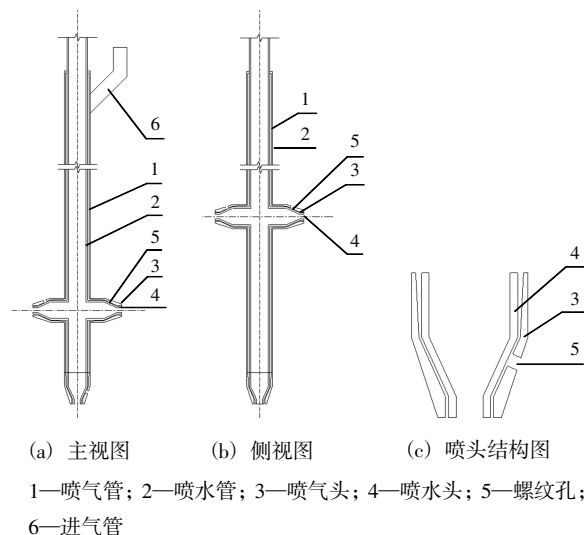


图 2 “气推水”设计图

Fig. 2 The structure of water driving air

### 3.2 实施步骤

上述破除水下老黏土的冲泥器的施工方法,包括以下步骤: 1) 喷水管顶部连接高压水泵,进气管连接空压机,通过控制绳将冲泥器置入水中与河床接触; 2) 高压水泵和空压机同时通电,高压水和高压空气结合冲击老黏土; 转动控制绳,使冲泥器的冲泥面形成 1 个圆面; 3) 待冲泥面的半径达到 5 m 左右时,操作控制绳使冲泥器移动,直至冲泥器的冲泥范围覆盖整个水下待挖面。

## 4 施工关键技术

### 4.1 装配式构件精加工

装配式构件精加工主要包括进气管、水管喷头、气管喷头及螺纹孔,加工精度需控制在  $\pm 0.5$  mm。钢管壁厚不低于设计要求,确保连接位置焊缝连续焊满,交叉部位采用剖口熔透焊,制作完

成后进行焊缝检查,通过后对冲泥器进行气密性及水密性试验,确保结构不漏水、不漏气<sup>[6-7]</sup>。

#### 4.2 安装要求高

“气推水”设计形成的冲击力较大,因此,对整套结构安装要求也较高。现场需分节拼装时,为了保证安装准确,将各构件提前编号。安装过程中需保证各构件连接牢靠。

#### 5 结语

厦漳同城大道西溪主桥2号主墩围堰吸泥采用“气推水”自制水下冲泥器施工,有效解决了高黏聚力厚层老黏土的清理难题,保证了施工工期。通过方案分析、结构设计和施工技术研究,笔者对该结构有以下几点体会:

1) 该冲泥器结构作为一种新型的吸泥装置,在以往吸泥装置的基础上,解决了老黏土破除的技术难题,同时具有安全可靠、施工便捷、经济适用等优点。该结构形式尤其在老黏土地质条件下具有较大的应用价值。

2) 该冲泥器结构在加工及安装过程中均对精度要求较高,是施工中应该关注的重点。

#### 参考文献:

- [1] 周望,邱琼海,张全军.泰州长江大桥南锚锭沉井空气吸泥下沉施工技术[J].铁道标准设计,2009(4):65-69.

ZHOU Wang, QIU Qiong-hai, ZHANG Quan-jun. Construction technology for Nanmaoding Caisson of Yangtze Bridge at Taizhou to settle through mud absorbing because of air[J]. Railway Standard Design, 2009(4): 65-69.

- [2] 廖潇,寇宝庆,陈清锁,等.沉井空气吸泥下沉技术研究[J].中国科技信息,2012(10):55-57.

LIAO Xiao, KOU Bao-qing, CHEN Qing-suo, et al. The research to air sucking in open caisson sinking technology[J]. China Science and Technology Information, 2012(10): 55-57.

- [3] 韩爱兵,张兵建,吴金仓.空气吸泥机在港池泥砂清理中的应用[J].水运工程,1999(11):48-49.

HAN Ai-bing, ZHANG Bing-jian, WU Jin-cang. Application of air-power silt collector for clearing silt of harbour basin[J]. Port & Waterway Engineering, 1999(11): 48-49.

- [4] 吴松.工地现场自制空气动力吸泥机[J].科技信息,2011(5):729.

WU Song. Homemade aerodynamic suction dredge on site[J]. Science & Technology Information, 2011(5): 729.

- [5] 赵理志.一种绞吸挖泥船水下泵吸泥管:中国,CN201220224583.2[P].2012-11-28.

ZHAO Li-zhi. A suction pipe of underwater pump for cutter suction dredger: China, CN201220224583.2[P]. 2012-11-28.

- [6] GB 50017—2003, 钢结构设计规范[S].

GB 50017—2003, Code for design of steel structures[S].

- [7] GB 50205—2001, 钢结构工程施工质量验收规范[S].

GB 50205—2001, Code for acceptance of construction quality of steel structures[S].

(上接第20页)

拱底最大隆起量为9.75 mm,最大沉降较单线开挖计算时增加了22%。洞侧最大水平位移为7.8 mm,较单线开挖时增加了33%。

根据数值计算结果,建议施工方对破碎带隧道采用CD法开挖,并实施监测洞内变形,根据监测结果调整施工方案,以保证施工顺利进行。

#### 参考文献:

- [1] 原继伟,杨建华,郭文兵.软岩巷道锚网支护条件下围岩松动圈范围的测定[C]//矿山建设工程新进展.中国煤炭学会煤矿建设与岩土工程专业委员会,2007.

YUAN Ji-wei, YANG Jian-hua, GUO Wen-bing. Determination on loose range of surrounding rock of soft rock entry underbolting-net support [C]// New progress of mining construction. Professional Committee on Coal Mine Construction and Geotechnical Engineering of China Coal Society, 2007.

- [2] 黄成林,罗学东,吕乔森.软岩隧道开挖方法对变形影响数值模拟研究[J].铁道建筑,2011(11):35-38.

HUANG Cheng-lin, LUO Xue-dong, LÜ Qiao-sen. Numerical simulation study on influence of excavation method of soft rock tunnel on deformation[J]. Railway Engineering, 2011(11): 35-38.

- [3] 王伟锋,毕俊丽.软岩浅埋隧道施工工法比选[J].岩土力学,2007,28(S1):430-436.

WANG Wei-feng, BI Jun-li. Construction project optimizing of soft rock and shallow buried tunnel[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(S1): 430-436.

- [4] JTGD 70—2004, 公路隧道设计规范[S].

JTGD 70—2004, Code for design of road tunnel[S].

- [5] 孙常玉,宫必宁.基于ADINA接触算法的岩质边坡稳定分析[J].水利与建筑工程学报,2006(4):26-30.

SUN Chang-yu, GONG Bi-ning. Stability analysis for rocky slope based on contact algorithm of ADINA[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2006(4): 26-30.

- [6] 皇甫明,孔恒,王梦恕,等.核心土留设对隧道工作面稳定性的影响[J].岩石力学与工程学报,2005(3):521-525.

HUANGPU Ming, KONG Heng, WANG Meng-shu, et al. Effect of keeping core soil on stability of tunnel working face[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics & Engineering, 2005(3): 521-525.

- [7] 刘君,孔宪京.节理岩体中隧道开挖与支护的数值模拟[J].岩土力学,2007,28(2):321-326.

LIU Jun, KONG Xian-jing. Numerical simulation of behavior of jointed rock masses during tunneling and lining of tunnels[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(2): 321-326.