



电吹船长距离管道吹砂施工效率研究

孙卫平^{1, 2}, 陈德春¹, 莫建波²

(1. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 上海交通建设总承包有限公司, 上海 200136)

摘要: 电吹船是沿海围垦造地主要施工船舶, 具有吃水浅、机动灵活、成本低、工况适应能力强等优点。随着围垦工程规模的不断扩大, 所需吹砂距离也随之增长, 以至电吹船自身吹距不能满足施工需求。为解决施工长距离吹砂技术难点, 从沿管线增加接力泵方式着手, 并基于上海浦东机场商飞配套五跑道陆域区堆载体工程实践研究, 得到粉细砂条件下, 船机泥泵功率与长距离管道吹距的比例关系, 不仅可确定接力泵配备合理位置, 解决长距离管道吹砂技术难点, 而且达到节约施工成本、提高施工效率的效果。

关键词: 电吹船; 长距离; 接力泵; 砂质; 功率与吹距的比例

中图分类号: U 655

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)09-0194-05

Construction efficiency of long-distance sand-blowing for electric-hydraulic dredger

SUN Wei-ping^{1,2}, CHEN De-chun¹, MO Jian-bo²

(1. Port, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Shanghai Communications Construction Contracting Co., Ltd., Shanghai 200136, China)

Abstract: The electric-hydraulic dredger is the major construction ship during the land reclamation project which has advantages of shallow draft, flexibility, lower cost and great adaptability. With the continuous expansion of the inking project, the sand-blowing distance required increases, but the blowing distance of the electric-hydraulic dredger itself cannot meet the construction needs. In order to solve the technical difficulty of the long-distance construction, we increase the relay pump along the pipeline. Meanwhile, according to the auxiliary loader project of the Fifth Commercial Aircraft Runways in Shanghai Pudong airport, we obtain the proportional relationship between the pump power and the long-distance pipeline under the condition of the fine sand. It can not only determine the reasonable position of the relay pumps to solve the technical difficulties of the long-distance construction, but also cut down the construction cost, and improve the efficiency of construction efficiency.

Key words: electric-hydraulic dredger; long distance; relay pump; fine sand; proportional relationship between pump power and distance

围垦造地工程中, 用于吹填形成陆域的主要施工船舶是电吹船、绞吸船和耙吸船^[1]。一般情况下, 耙吸船吹填效率高, 但吹距短、吃水要求高、吹填成本高; 绞吸船吹填效率高、吹距远, 但吹填区域就近要有合适的砂源, 成本较低; 而电吹船具有船体小、吃水浅、机动灵活、成本低等优点, 常用于近岸造地工程。随着围垦工程规

模的增大及向深水区拓展, 造地方式趋于先筑促淤堤、促使滩面淤积, 再采用电吹船对围垦区各分区进行吹填。此方式时电吹船只能布置在促淤堤外海侧, 吹砂距离长达数公里。由于电吹船自身最大吹距与船机泥泵功率、吹砂施工工艺、砂质粒径与浓度有关, 随着吹砂距离增长以及输送压力降低, 管内泥沙阻力增大后沉淀管底甚至导

收稿日期: 2013-02-28

作者简介: 孙卫平(1974—), 男, 高级工程师, 主要从事围海造堤、吹填施工管理工作。

致管道堵塞。对此,急需研究施工吹砂新技术,解决电吹船最大吹距难以满足长距离吹砂的问题。

1 电吹船吹砂工作原理与吹砂工艺

1.1 电吹船吹砂工作原理

电吹船一般配备5台30 kW的泥浆泵及1台与吹砂管道连接的集束泥泵。在施工过程中,先由满载外运砂船靠泊电吹船旁,施工人员将电吹船上的多台泥浆泵吊至砂船舱中、同时开启泥浆泵和水泵、使固结的泥沙稀释成砂浆、被吸取的砂浆由集束泥泵汇集到船体内管道,在集束泥泵压力作用下,经船体另一侧管道输送至匡围区。

1.2 电吹船吹砂工艺

电吹船吹砂工艺有短距离电吹船吹砂和长距离电吹船吹砂接力两种工艺。前者是在电吹船自身船机泥泵功率范围,直接输砂1 000~1 500 m至匡围区;后者是因大型匡围工程的吹砂距离远大于1 000~1 500 m,电吹船受泥泵功率和管道所承受的压力等因素约束,必需在吹砂管道的某个部位增加接力泵,以达到增加输送压力、延长吹距至匡围区。

2 长距离电吹船吹砂效率

长距离电吹船吹砂接力工艺的难点是确定接力泵的合理位置。由于管道内泥沙是以滚动、跳跃、悬浮和层移的形式被输送,当输送流速不足时,泥沙由均匀悬浮到不均匀悬浮、管底存在不明显推移运动、以致泥沙沉淀甚至堵塞管道,不能吹至匡围区。

2.1 电吹船吹砂效率主要影响因素

2.1.1 吹砂泵功率及扬程

电吹船吹砂效率与泥浆泵的功率和扬程有关。电吹船上通常配备多台30 kW的泥浆泵,其清水状态扬程为16 m。施工中泥浆泵开启数量取决于外来砂质、外来砂密度的变化,使泥浆泵工作扬程低于清水状态扬程,降低输送压力,影响砂浆在管道内的输送距离。

2.1.2 泥砂粒径及泥沙浓度

泥沙粒径粗细影响泥沙浓度与输送距离。

电吹船比较适合的砂质条件是粉细砂、短吹距,此时最能发挥电吹砂船机动灵活、管线布设简便、成本低等优点。泥沙粒径越大则自重越大,沉淀越快,越易堵管,同时增加机械磨损和工程成本。泥沙浓度越大,需要的工作流速越大,因此需要增加泵的功率。泵的运行达到最经济状况是:出现一个临界流速,对应管底泥沙推移质的临界启动。

2.1.3 输砂管道平顺度

输砂管道平顺度影响管道输砂效果。输砂管多为沉管,受沉管、管线爬高等影响,管道水头损失较大^[2]。管线每爬高1 m,吹距约减少100 m。

2.2 提高电吹船长距离吹砂效率的有效方法

2.2.1 接力泵型号选择

当管线吹距较长、电吹船自有泥泵功率无法满足额定泥沙浓度的输送距离时,只能通过加装接力泵的形式增加功率、提高吹填压力,加快泥沙输送速度。

通常选择的接力泵为EPN系列船陆两用卧式泥浆泵。该泵流量大、流道宽、水力效率高、耐磨性能好、可以输送介质浓度达40%以上,介质颗粒最大可达50 mm。

2.2.2 接力泵合理位置

接力泵合理位置应当是泥浆泵输送能量损失到导致泥沙在管道内即将沉淀造成管道堵塞的部位,通过接力泵能量的及时输入来保持挟砂水体泥沙的悬浮,延长吹距,提高吹砂效率。

砂浆在管道中呈流态运动,主要受砂重力、泥浆泵初始推力、管道摩擦力等相互作用,引起分子内能、热能、机械能等不断变化,促使砂浆运动。但是由于分子内能、热能等研究较为复杂,且相对于机械能也数值较小,因此在仅考虑机械能作用的情况下,单个砂粒在管道中流动时所具有的重力势能为 $E_p=mgh$,跌落管底时所具有的动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$,根据机械能量守恒定律: $E_p=E_k$,则 $v=\sqrt{2gh}$,即为管道中运动的砂粒所具有的起动速度。

泥浆泵在开启吸砂的瞬间,对砂粒做功,使砂粒由静止状态转变为高速运动状态,因此砂粒

的初始加速度

$$a = \frac{v_i^2 - v_0^2}{2s} = \frac{v_i^2}{2s} = \frac{v^2}{2s} = \frac{gh}{s} \quad (1)$$

根据公式:

$$P = mav = \frac{mgh\sqrt{2gh}}{s} \quad (2)$$

则

$$s = \frac{mgh\sqrt{2gh}}{p} \quad (3)$$

式中: m 为砂粒质量; g 为重力加速度; h 为管道中运动的砂粒至管底的高度, 一般取1/3管直径; p 为泥浆泵功率; s 为输送距离。

因泥浆运动受力复杂, 在摒除空气阻力、管道摩擦力、水流动力等因素条件下, 仅将砂粒作为单个纯净体而得出本公式, 以便在工程应用中能较简单地推算泥浆的运动。

3 长距离吹砂施工技术

上海市浦东机场商飞配套五跑道堆载预压工程位于上海浦东国际机场内四跑道以东1 750 m处新建海堤内侧, 工程主要为围堤吹填施工, 总吹填方量约680万 m^3 。根据总体设计规划, 采取先在外侧构筑一线防潮洪大堤, 后进行围内吹填的施工工艺。本工程匡围吹填区面积约106万 m^2 , 东西向长约900 m, 南北向长约2 600 m, 整体呈三角形布置, 东侧边缘距离新建一线防潮洪大堤900~2 300 m, 具体工程区域位置见图1^[3]。施工时电吹船只能布置在促淤坝外侧, 其吹砂管线走向需爬越新建圈围大堤, 然后再到吹填区(图2), 吹距达2 000~3 000 m, 超过电吹船自身有效吹距。对此, 拟采用增加接力泵的方式实现长距离吹砂。为实现长距离吹砂施工新技术, 还需结合现有施工条件, 分析外来砂质特性和出砂浓度, 最终确定接力泵合理位置。

3.1 出砂浓度的确定

在电吹船自身额定吹程范围内, 先选取施工现场的3条电吹船进行统计分析后确定出砂浓度, 表1反映了3条电吹船的船机功率、管线距离等基本参数。

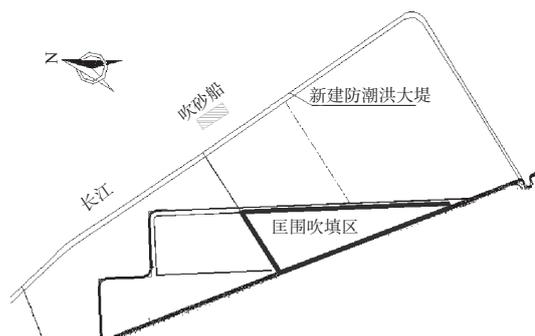


图1 五跑道堆载预压工程平面布置



图2 五跑道堆载预压工程施工断面

表1 船舶参数

船名	功率/ kW	管线直线 长度/m	爬高/ m	折算后 长度/m	每千瓦输 送距离/m	出砂 浓度/%
电吹船2 [#]	220	1 300	7	2 000	9.1	20
电吹船3 [#]	368	1 400	7	2 100	5.7	30
电吹船4 [#]	368	1 500	7	2 200	6.0	28

电吹船2[#], 3[#], 4[#]的船舶主机功率不同, 吹距也不同。经现场出砂管头的出砂情况统计, 其吹填浓度在30%~40% (施工初期的砂质), 而吹填泥沙浓度在单位时间内决定了吹填量的大小, 最终反映出施工效率和施工成本。通过2[#], 3[#], 4[#]艘船舶的参数可以推测出, 吹填船舶每千瓦能量能输送的距离为5.7~9.1 m, 且每千瓦能量输送距离与泥沙浓度成反比。当每千瓦输砂距离控制在5.7 m左右时, 泥沙输送浓度为30%左右 (初期的泥砂粒径、表3), 堵管概率较小、排水量较少、施工工效较高。

此外, 根据公式 $s = \frac{mgh\sqrt{2gh}}{p}$ (3)

计算

$$s = \frac{2.6 \times 9.8 \times 0.133 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.133}}{1} = 5.47 \text{ m}$$

式中: m 为砂粒质量 (因吹填砂多为粉细砂, 因此砂粒密度取2.6 g/cm³); 商飞五跑道工程中吹砂管线管径为400 mm, 因此 h 取0.133 m; g 取9.8 m/s²。

根据公式计算的结果, 可以验证推算的数值。

3.2 接力泵的配备

以泥沙输送浓度为30%指标为准, 对5条长距离电吹船吹砂的船舶增配接力泵, 且接力泵的配备按照每千瓦能量输送5.7 m进行计算, 见表2。

表2 配备接力泵船舶参数

船名	功率/ kW	折算后长度 (加上爬高)/m	理论需配备接 力泵功率/kW	实际配备接力 泵功率/kW
电吹船1 [#]	242	2 000	109	140
电吹船5 [#]	328	2 600	128	140
电吹船6 [#]	220	2 500	219	260
电吹船7 [#]	242	2 200	144	140
电吹船8 [#]	410	3 000	116	140

增加接力泵后, 现场各管线的泥沙输送浓度多集中在30%~35% (初期砂质), 由此也从侧面验证了每千瓦能量输送5.7 m的数据。

3.3 砂质情况

工程施工初期, 浦东机场五跑道工程吹填泥沙粒径较细, 各电吹船均能正常出砂, 极少发生堵管现象。该段时期吹填泥沙砂质情况见表3^[4]。

表3 施工初期泥沙粒径情况

粒径/mm	质量/g	所占百分比/%	累计百分比/%
大于0.2	0.80	0.3	0.3
0.154~0.2	5.85	2.0	2.3
0.125~0.154	64.50	22.6	24.9
0.09~0.125	133.40	46.7	71.6
0.075~0.09	61.50	21.5	93.2
0.065~0.075	19.50	6.8	100.0

工程施工中期, 泥沙砂质产生了变化, 砂粒较粗, 含泥量少, 部分吹砂管线虽加装了接力泵, 但是仍较易发生堵管现象。该段时期外来砂砂质情况见表4^[4]。

表4 施工中期泥沙粒径情况

粒径/mm	质量/g	所占百分比/%	累计百分比/%	较前期对比/%
大于0.2	10.9	3.7	3.7	增加3.4
0.154~0.2	164.8	55.4	59.1	增加56.8
0.125~0.154	100.4	33.8	92.9	增加68.0
0.09~0.125	19.2	6.4	99.3	增加27.7
0.075~0.09	2.1	0.7	100.0	增加100.0

通过表3与表4砂质粒径分布可以看出: 施工初期的砂质较前期产生了很大的变化, 其粗颗粒

的占有比例大幅度提高; 由于砂粒的粒径变粗和含量的提高, 在与前期电吹砂船功率、吹填距离和施工浓度相同的条件下, 单位长度的吹砂管线内砂的质量大幅度增加, 极易产生沉降固结, 从而造成堵管甚至暴管, 影响了工程施工。施工初期的砂质已无法满足本工程的施工需求, 直接导致工程无法推进, 在这种情况下, 更换了砂源。更换砂源后泥沙砂质情况见表5^[4]。

表5 更换砂源后泥沙粒径情况

粒径/mm	质量/g	所占百分比/%	累计百分比/%
大于0.2	0.7	0.2	0.2
0.154~0.2	3.1	1.0	1.2
0.125~0.154	12.6	4.2	5.4
0.09~0.125	56.6	18.9	24.3
0.075~0.09	124.1	41.5	65.8
0.065~0.075	60.2	20.1	86.1
小于0.065	41.7	13.9	100.0

更换砂源地后, 泥沙粒径较细, 颗粒粒径均匀, 在原有电吹砂船船机功率、吹填管道长度、接力泵位置等条件固定不变的情况下, 各吹砂管道泥沙输送浓度、效率均有所提高, 各吹砂管道基本无堵管现象发生, 泥沙输送浓度也基本保持在30%以上。

由于本工程各时期的砂质不同, 因此吹填泥沙浓度也各不相同: 当砂质较粗、含泥量少时, 单位长度的吹填管线内泥沙自重、与管壁的摩擦力均较大, 沉淀较快, 输送距离较短, 较易发生堵管现象。为了避免管道中泥沙沉淀过多导致的堵管, 通过控制电吹船上的泥浆泵、水泵的数量来调整泥沙浓度, 适量降低泥沙浓度, 由此造成的后果是吹填施工效率不高, 施工成本增加。由此可见, 长距离的吹填施工, 在船机功率、吹填管线直径长度、接力泵安放位置等不变的情况下, 泥沙粒径大小也成了施工效率和施工成本的决定性因素。

4 结论

随着匡围吹填工程不断向深海扩展, 吹填距离越来越长, 现状电吹砂船受自身参数限制, 仅能短距离吹砂。在利用电吹砂船吹砂工艺的特定

条件下,分析砂质特性、合理设置接力泵,可提高电吹砂船施工效率,实现长距离吹砂。

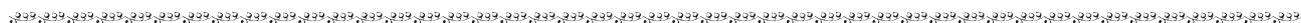
1)砂质较细时,以单位功率的吹距在5~6 m范围内计算接力泵配备位置;砂质较粗时,可按照单位功率的吹距4~5 m范围内(甚至更小)计算接力泵配备位置。

2)吹砂船泥泵功率、泥沙粒径、泥沙浓度三者紧密相关。应选择粉细砂,经计算实际施工浓度,再编排切实可行的进度计划。

参考文献:

- [1] 杨忠.疏浚吹填技术在水利工程中的应用[J].水利科技与经济,2008,14(11):91-92.
- [2] SL 17—1990 疏浚工程施工技术规范[S].
- [3] 上海勘测设计研究院.设计总说明[R].上海:上海勘测设计研究院,2012.
- [4] 上海勘测设计研究院工程检测中心.土壤颗粒分析报告[R].上海:上海勘测设计研究院工程检测中心,2012.

(本文编辑 郭雪珍)



· 消 息 ·

三航局实施的墨西哥集装箱码头工程提前交付

日前,三航局承建的墨西哥曼萨尼约港集装箱码头(一期)工程历时2年建设,提前交付业主使用。8月5日,码头顺利靠泊丹麦籍万吨集装箱轮。

墨西哥曼萨尼约港集装箱码头工程位于墨西哥城西侧800 km远的太平洋海岸城市Manzanillo,工程处于Manzanillo港的人工半岛上,工程包括水工码头、后方道路堆场(含地基处理)、后方房建、后方铁路以及相应的水电、通信、控制等系统工程。合同总价14.2亿元人民币,于2011年9月15日开工建设。

墨西哥曼萨尼约港集装箱码头一期工程是目前墨西哥最大的港口码头工程,也是三航局在墨西哥第一个总承包项目,其顺利实施为打开墨西哥后续市场打下坚实基础。

摘编自《中国交通建设网》

振华重工承建的挪威钢桥通车

8月17日,挪威哈当厄尔(Hardanger)大桥正式通车。振华重工承接了该钢桥全部桥面钢结构的建造,它的通车标志着中国企业首次承接的欧洲大型钢结构桥梁正式投入运营。

应大桥业主方挪威公路管理局的邀请,振华重工派出代表参加了大桥通车仪式,并在庆祝酒会上发表主题演讲,受到与会各方广泛关注,进一步提升了振华重工钢桥梁制造的国际影响力。挪威公路管理局在讲话中充分肯定了振华重工在哈当厄尔大桥钢结构制造过程中的贡献,并表达了与振华重工在挪威市场进一步合作的愿望。

哈当厄尔大桥主体总长1 380 m,是挪威最长的悬索桥,也是世界最大跨双车道窄幅桥面悬索桥,位于哈当厄尔峡湾,是挪威的地标性建筑。通车后,它将取代原有的轮渡,成为连接挪威最大的两个城市首都奥斯陆和海港城卑尔根的交通枢纽,有效提升当地交通运输能力。

据悉,2009年8月,振华重工承接了挪威哈登厄尔钢桥全部桥面、共计7 800 t主体钢结构的建造,整个桥梁全部采用技术要求严格的欧盟标准制造,并于2012年8月顺利发运所有钢结构。

摘编自《中国交通建设网》