

海狸 1600 型绞吸式挖泥船在黄河口门疏浚中的适应性

李敬义¹ 孟祥文² 曹 静³ 李延波¹

(1. 黄河河口管理局, 山东 东营 257091; 2. 利津黄河河务局, 山东 东营 257400;
3. 德州市水利局, 山东 德州 253020)

摘要: 由于黄河河口海域水文、气象条件复杂, 情况瞬息万变, 不可预见因素多, 风暴潮灾害频繁且破坏力强, 为检验海狸 1600 型绞吸式挖泥船是否适应在黄河河口进行疏浚作业, 2004 年利用海狸 1600 型绞吸式挖泥船在黄河口门进行了疏浚适应性试验, 对其适应性及受风浪、潮汐、水流流速等影响进行分析。试验结果表明, 利用海狸 1600 型绞吸式挖泥船实施口门疏浚可行, 每年的 3~6 月是进行拦门沙疏浚较适宜的季节。

关键词: 绞吸式挖泥船, 黄河口门, 拦门沙疏浚

中图分类号: TV856 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-764X(2007)S2-0170-03

黄河水沙注入渤海, 由于受潮汐顶托和水流扩散影响, 能量锐减, 同时由于咸淡水混合、泥沙絮凝的作用而加速沉积形成拦门沙。拦门沙一旦形成, 就像一道拦河潜坝横亘在河口附近, 不仅对河道泄洪排沙不利, 也是造成入海流路摆动变迁的重要因素之一。

为保持口门通畅、确保水沙顺利入海, 国家“百船工程”为开展黄河口疏浚配备了海狸 1600 型绞吸式挖泥船, 且已运抵黄河口。由于黄河河口海域、气象条件复杂, 情况瞬息万变, 不可预见因素多, 且黄河三角洲地理位置特殊, 风暴潮灾害频繁, 破坏力强, 实施拦门沙疏浚的难度相当大, 所以一直未投入使用。

为了检验海狸 1600 型绞吸式挖泥船实施黄河口门疏浚的适应性, 为今后实施口门疏浚提供科学依据和实践经验, 2004 年进行了口门疏浚试验。本次试验的目的就是检验海狸 1600 型绞吸式挖泥船能否适应当地复杂的海域和气象等自然条件。

1 疏浚试验段选择

疏浚试验段选自高潮线至低潮线之间, 疏浚设计路线为 S1~S11, 长约 5 km。开挖宽度根据海狸 1600 型绞吸式挖泥船的技术性能指标, 确定为 20~38 m, 平均挖深约为 1.7 m。疏浚工程量约为 33 万 m³。

由于汛前仅实施开挖了 S1~S6 段, 长度约

2.5 km, 未能完成疏浚任务。经过一个汛期, 口门段河道发生较大变化, 河道的流路由原来的东北方向摆动到东南方向, 且河道水深只有 0.5~1.5 m, 增加了试验工作的难度。根据汛后测量成果, 对原试验方案进行了调整, 疏浚试验的设计路线也进行了相应变更, 长度约为 2.5 km, 加上汛前已实施的 2.5 km, 基本达到原设计试验长度。

2 口门疏浚试验实施情况

口门疏浚的主要设备有海狸 1600 型绞吸式挖泥船、辅助船只及相应的管道等。海狸 1600 型绞吸式挖泥船是国家河湖疏浚挖泥船建造项目(百船工程)专门为黄河河口口门疏浚施工配备的, 其主要性能指标如下: 型宽 7.95 m, 型深 2.46 m, 总长(绞刀桥架呈水平状态时) 33.9 m, 吃水 1.32 m(空载)/1.5 m(满载), 泥泵额定流量 3 500 m³/h, 吸泥管内径 550 mm, 排泥管内径 500 mm, 排距 2 500 mm, 主机最大持续功率 954 kW, 拆卸后最大件质量 71 t, 最小开挖宽度 23 m(摆角 20°), 最大开挖宽度 48 m(摆角 45°), 最佳开挖宽度 28~38 m(摆角 25°~35°), 最小开挖深度 3 m, 最大开挖深度 14 m。

由于汛前未能完成疏浚任务, 拦门沙疏浚进行了两个阶段的试验。第一阶段为 2004 年 5~6 月, 挖泥船自 2004 年 5 月 17 日开始投入运行, 至 6 月 15 日试验结束, 挖泥船拖到东营港休整。该阶段施工总

作者简介: 李敬义(1977—), 男, 山东德州人, 工程师, 从事水利水电工程施工工作。E-mail: lijingyi1jy@sohu.com

台时 450 个 ,开挖河段为 S1 ~ S6 ,长度约 2 500 m ,宽度 20 ~ 38 m ,平均深度 1.7 m ,开挖土方 11.98 万 m³。

第二阶段为 2004 年 10 ~ 11 月。10 月 5 日 ,挖泥船由东营港拖带至河口拦门沙坎外 ,10 月 8 日 ,挖泥船开始投入运行 ,至 11 月 3 日试验结束。该阶段施工总台时 328 个 ,开挖河段为 NS2 ~ A2 ,长度约 1 100 m ,宽度 30 m ,平均深度 1.7 m ,开挖土方 6.8 万 m³。

3 挖泥船施工适应性

挖泥船时间利用率是反映施工适应性的一个重要指标 ,挖泥船作业主要由运转时间 T_1 、生产性停歇时间 T_2 及非生产性停歇时间 T_3 3 部分作业时间组成 ,挖泥船时间利用率为

$$\eta = \frac{T_1}{T_1 + T_2 + T_3} \times 100\%$$

根据 SL17—90《疏浚工程施工技术规范》规定 ,海狸 1600 型绞吸式挖泥船在实际工作条件指标大于表 1 所列数值之一时 ,应停止施工。本次口门疏浚试验 ,在确保安全的前提下 ,为检验挖泥船工作性能 ,尽量进行开挖试验。此次口门疏浚试验 ,第一阶段时间利用率 $\eta = 0.625$,第二阶段时间利用率 $\eta = 0.506$ 。各阶段挖泥船作业情况见表 2。

表 1 挖泥船工作条件限制

船舶类型	风/级	浪高/m	流速(m·s ⁻¹)	雾级/级
绞吸式 (200 ~ 500 m ³ /h)	5	0.6	1.5	2

表 2 挖泥船作业各部分工作内容及时间组成

工作类别	内 容	2004 年 5 ~ 6 月		2004 年 10 ~ 11 月	
		工作时 间/h	所占百 分比/%	工作时 间/h	所占百 分比/%
挖泥船 运行	水下断面开挖	450	62.5	328	50.6
生产性 停歇	排泥管线移位、调整	132	18.3		
	设备维修、保养	30	4.2	18	2.8
非生产 性停歇	大 风	32	4.4	236	36.4
	水 流 流 速 过 大	18	2.5		
	水 浅			40	6.2
	堆沙区围堰故障	20	2.8		
	其 他	38	5.3	26	4.0
合计		720	100	648	100

挖泥船时间利用率既受人为主观因素的影响 ,也与客观情况主要是施工的工况条件有关。从挖泥船运行情况看 ,工况条件即风浪、潮汐和水流等客观因素是影响生产性和非生产性停歇时间长短的主要因素。

3.1 风浪的影响

黄河三角洲海域的海浪主要是渤海上的风生成的波浪 ,因而它受渤海上风场变化规律的制约。本

次试验位置位于高潮线与低潮线之间 ,施工水域水深较浅 ,波浪由外海向口门浅水区传播时受底摩阻影响发生变形 ,浪高明显减小。据观测 ,风力 6 ~ 7 级浪高一般 1 m 左右。风浪对挖泥船的影响主要表现为引起船只左右倾斜、抛锚定位以及开挖横移困难而不能施工。现场验证表明 ,当风力小于 6 级时 ,挖泥船左右倾斜角度小于或等于 1° ,可保证正常施工 ;当风力大于或等于 6 级时 ,挖泥船受风浪影响 ,船只严重倾斜摇摆 ,横移地锚难以抛到指定位置或横移锚着力点不牢固而不能正常施工。试验第一阶段 ,风浪对挖泥船运行影响相对较小 ,挖泥船始终未离开作业区 ,期间瞬时最大风力大于或等于 6 级共出现 19 次 ,挖泥船暂停施工。落单定位桩和抛横移锚定位 ,原地抗风 ,均未出现走锚、滑桩等异常现象 ,也未出现船舶倾倒、颠簸损坏 ,船舶状态正常、安全。第二阶段 ,风浪对挖泥船运行影响大 ,如 10 月 18 ~ 28 日 ,挖泥船到东营港避风达 10 余天 ,造成挖泥船时间利用率明显降低。

3.2 潮汐的影响

作业区潮汐特征为不正规半日潮 ,潮汐变化引起水位升降、水深变化。据统计 ,第一阶段施工期间 ,最大潮差 1.01 m ,最小仅 0.09 m ,一般为 0.4 m 左右 ,潮汐变化对水深的影响小。疏浚段开挖中心线按深泓线布置 ,低潮时水深亦满足船只吃水要求 ,潮汐对挖泥船本身无直接影响。潮位涨落变化对挖泥船施工的影响主要是通过影响管线的安装与移位而起间接作用 ,从而影响到挖泥船的时间利用率。

第二阶段由于在拦门沙坎顶施工 ,潮汐变化对水深的影响稍大 ,高潮时水深仅 1 m 左右 ,也不满足船只吃水要求 ,造成挖泥船无法运转 ,后采用拖船螺旋桨趁高潮时扰动河床以增大挖泥船水深 ,落潮时停止扰动 ,造成挖泥船运转时断时续。

3.3 水流流速的影响

黄河径流沿河道进入拦门沙区域时 ,受到边界条件、潮汐涨落、咸淡水组合及风浪干扰等多种因素的影响 ,水流结构和形态均会发生变化 ,多年的观测资料显示 ,变化的幅度大小主要取决于径流的强弱 ,涨潮时段流速递减、落潮递增 ,与潮汐涨落的周期性呈反相位关系 ,流速大小与径流量成正比 ,水流方向基本受径流控制而较稳定。

由于挖泥船是利用绞刀架前部、固定在船首两侧地锚的左右横移缆绳交替收放 ,围绕定位桩带动绞刀左右摆动而进行开挖的 ,如果地锚和定位桩固定不牢 ,就不能保证挖泥船工作。试验表明 ,水流流速大 ,易引起挖泥船定位桩滑桩和走锚 ,从而影响挖泥船的施工 ,造成非生产性停歇。由于拦门沙区域

河床土质为粉沙,定位桩落下后,因船体施工振动而发生液化,定位桩受自重不断下陷而造成起桩困难,甚至造成起桩缆绳破断,因此本次施工期间通常是在落桩以后再把起桩缆绳撑起以防起不上桩。施工时,定位桩周围土体因机械振动而出现液化现象,黏聚力降低,抗水流冲刷能力减小,如果水流流速过大,桩周围土体发生冲刷,定位桩因失去支撑而出现滑桩现象。由于河床表层比较坚硬,地锚插入河底较浅,受水流冲刷的影响也易造成地锚固定不牢或出现走锚现象。如果出现上述情况,在逆流开挖时,船体徐徐下滑、不能前移,顺流开挖,当船体横移与水流方向有夹角时,则可能造成船体发生偏转,均不能保证挖泥船的顺利施工,严重时还可能出现安全事故。

挖泥船横移是依靠锚缆进行的。在挖泥船施工时,影响到锚缆上的张力有:绞刀头切削泥土的抗力、包围于船身的水压力、由排泥管传到船上的力、风压力以及船体本身的惯性力等。船体横移时,就必须克服以上合力分解的横向抗力。其中,作用于船体的水动压力与水流的流速大小有关,流速大,则水动压力也大。逆流开挖,当绞刀由挖槽边线向开挖中心线横移时,水流流速大,则作用于横移缆绳上横向分力也大,而顺流开挖,则是由开挖中心线向挖槽边线横移时作用于缆绳上的横向分力大。由流速增大引起的横向分力增大,有可能使地锚被拽出。如果地锚埋死,当缆绳承受的应力大于抗拉强度时会造成缆绳断裂。上述现象的出现,不可避免地造成施工停歇,相应挖泥船运转时间减少,时间利用率降低。

第一阶段基本是在河道内施工,丁字路水文站流量在 $337 \sim 673 \text{ m}^3/\text{s}$ 之间,径流占主导地位,对流速的影响较大。试验表明,由于水流流速大而引起的非生产性停歇占总时间的 2.5%。

第二阶段丁字路站流量一般在 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 左右,由于在拦门沙坎顶施工,水面开阔,潮流受径流影响小,流速较低,水流流速对施工基本无影响。

4 结论与建议

a. 根据现场观测,利用海狸 1600 型挖泥船实施口门疏浚可行。5~6 月好于 10 月,平均生产率分别为 $267 \text{ m}^3/\text{h}$ 和 $207 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

b. 通过对挖泥船适应性观测,风浪、潮流是影响船体运行的主导因素。现场验证表明,当风力小于 6 级、水流流速小于 1.7 m/s 时,可保证正常施工。由于 7~10 月为黄河汛期,来水流量大,冬季气温低且受淌凌封河影响,从来水和气象条件分析,当年 7 月至次年 2 月不宜施工。结合长系列风力资料分析可知,每

年的 3~6 月是进行拦门沙疏浚较适宜的季节。

c. 从现场风力资料分析可知,在两阶段试验期间,虽然日平均风力小于 6 级,但最大风力大于或等于 6 级均出现过,且最大不超过 8 级。为保证船体安全和提高时间利用率,建议在建造挖泥船时降低驾驶室高度以提高抗风能力,挖泥船的抗风能力宜控制在 8 级。从第二阶段试验拦门沙坎顶水深情况看,高潮时水深仅 1 m 左右,建议适当增加浮箱的宽度或长度,以减小吃水深度,船体吃水深度宜控制在 1 m 左右。

参考文献:

- [1] 杜玉海. 黄河下游淤背固堤技术研究与实践 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.
- [2] 姚文艺. 黄河下游河道挖河减淤机理及泥沙处理对环境的影响 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003.

(收稿日期 2007-03-15 编辑 熊水斌)

· 简讯 ·

第 5 届中国水论坛将在南京举行

由中国自然资源学会水资源专业委员会、中国水利学会水文专业委员会和水资源专业委员会、中国地理学会水文地理专业委员会、中国可持续发展研究会水问题专业委员会主办的第 5 届中国水论坛将于 2007 年 11 月 11~12 日在南京举行。论坛的主题是“环境变化与水安全”。主要内容包括:

(1) 基础理论。产汇流理论,水循环理论,水资源循环经济理论,水资源系统分析理论,水环境演变理论,流域生态环境系统演化与调控机理,水文不确定性理论,水文计算,水文水资源信息理论,生态水文学, PUF (Predictions in Ungauged Basins) 问题等。

(2) 技术方法。3S 技术,数字流域,数字水文,分布式水文模拟,同位素技术,系统识别技术,系统优化技术,数学模拟技术等。

(3) 水安全理论研究。变化环境下的流域水循环机理;水与气候、生态、环境、社会的相互作用机理;“大气水-地表水-土壤水-地下水-植物水”的时空变化与循环过程;区域水资源形成与转化关系;水资源可持续利用理论;人类活动对区域水循环影响机理及生态效应;河流、流域健康理论;河流系统演变与水循环;土地利用/覆被变化对生态安全影响机理等。

(4) 应用实践。水资源宏观调控和优化利用模式;气候变化对水安全的影响的定量分析、模拟与评价;水土资源一体化管理;流域规划与综合管理;水经济;水权;水市场;水安全保障体系;水文化;水道德与法律、制度;面对复杂和变化环境的水战略行动等。

(本刊编辑部供稿)