



人工开挖长航道的疏浚策略与方法

谭 凤, 王 琳, 吴美平

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 结合几内亚西芒杜 Morebaya 河 25 万吨级航道设计, 从疏浚量及构成、抛泥区位置及运距、疏浚设备选择与配置、环保策略、疏浚施工组织计划、成本估算等方面论述人工开挖长航道的疏浚策略和方法。重点介绍疏浚船生产率计算方法及关键影响因素, 详细分析疏浚时间构成, 从油耗、人员费用、折旧费、维护维修费、管理费、调遣费、不可预见费及承包商利润等方面综合分析疏浚费用构成。

关键词: 人工开挖长航道; 疏浚策略; 疏浚计划; 疏浚船生产率; 疏浚时间; 疏浚费用

中图分类号: U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)10-0152-05

Dredging strategy and methodology for long artificial channel

TAN Feng, WANG Lin, WU Mei-ping

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: From the aspects of dredging volumes and soil property, spoil disposal area and sailing distance, dredging equipment, environmental strategy, dredging schedule and cost estimates, the dredging strategy and methodology for long artificial channel are analyzed based on 250 000 DWT channel design in Morebaya river of Guinea Simandou. Dredger production rate calculation method and the related key factors, dredger time and cost estimates are analyzed emphatically. The cost involves fuel cost, crew cost, depreciation cost, maintenance /repair cost, general and administration cost, contingency cost, contractor's margin and mobilization cost.

Keywords: long artificial channel; dredging strategy; dredging schedule; dredger production rate; dredging time; dredging cost

随着船舶大型化的发展趋势及优质深水口岸线逐渐减少, 在平缓海滩上建设大型港口的需求越来越迫切, 人工开挖长航道在全球范围内逐渐增多。人工开挖长航道一般疏浚量大, 其疏浚工程费用占工程总费用的比重也很大, 对于某些项目, 其所占比例甚至近半, 因此对于人工长航道项目, 确定一个高效合理的疏浚策略和方法对于提高疏浚生产能力、确定施工设备和工期、降低工程费用至关重要。目前国内在设计研究阶段针对疏浚策略和方法的相关研究并不普遍, 本文以几内亚西芒杜 Morebaya 河 25 万吨级航道设计为

依据, 按照国际工程标准要求, 重点论述人工开挖长航道在基建施工期的疏浚策略和方法。本文旨在将设计与施工相结合, 弥补日常设计与施工脱节的问题。

1 工程概况

西芒杜项目位于西非几内亚, 是世界上最大的待开发铁矿之一。矿区查明资源量共计 24 亿 t, 品位 66%~67%, 预计未来资源量可达 50 亿 t, 到港口运距约 670 km。西芒杜项目拟在 Morebaya 河建设 25 万吨级矿石出运码头, 为此需疏浚一条

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 谭凤 (1988—), 女, 硕士, 工程师, 从事港口工程总体设计。

25 万吨级航道。疏浚航道共分为两个阶段, 第一阶段为先期材料运输航道疏浚(简称 PMOF 航道), 第二阶段为 25 万吨级主航道疏浚(简称主航道)。

PMOF 航道长约 21.5 km, 最小航道宽度 80 m, 设计底高程 -7.5 m(不含备淤深度), 备淤深度 1.0 m, 航道边坡 1:10, 能满足最大 13 750 DWT 重件运输船乘潮进港。

主航道是对 PMOF 航道进行拓宽拓深。主航道长约 32.5 km, 最小航道宽度 160 m, 设计底高程 -18.7~-17.2 m, 备淤深度 1.0~3.0 m, 航道边坡 1:10, 能满足最大 25 万吨级矿石船乘潮出港。

工程区域平均海平面为 2.15 m。航道里程 CH4.5 以里位于 Morebaya 河内, CH4.5 以外位于外海, Morebaya 河口以外有较大范围的拦门沙, 工程水域泥沙回淤严重, 待主航道形成后, 回淤土按照干密度 300 kg/m^3 核算, 航道的平均年回淤量大约在 2 050 万~3 680 万 m^3 , 回淤量主要集中在码头及航道里程 CH13~CH24 的水域, 占到航道总回淤量 80% 以上, 码头水域年平均最大淤积厚度达 4.6 m, 外海年平均最大淤积厚度超过 $10 \text{ m}^{[1]}$ 。

2 工程量及构成

PMOF 航道计算基建挖泥量约为 1 575 万 m^3 , 施工期回淤量约为 626 万 m^3 。主航道计算基建疏浚量约 1.29 亿 m^3 , 施工期回淤量约为 0.81 亿 m^3 。

航道疏浚土类包括: 回淤土、软黏土(Unit1)、松散砂土(Unit2)及坚硬黏性土、密实砂土(Unit3)。

3 抛泥区的位置及运距

基建期疏浚量抛泥区位于 Morebaya 河口西南侧 35~45 km, PMOF 航道疏浚土计划抛在 A 区, 主航道疏浚土计划抛在 B 区(图 1)。抛泥区水深 -40~-20 m, A、B 抛泥区的总面积约 52 km^2 , 允许回填到高程 -15 m, 抛泥区总容量大约有 2.75 亿 m^3 。

考虑航道疏浚距离长、一次性疏浚量及回淤量分布等因素, 将 PMOF 航道和主航道分别划分为 3 个和 4 个作业段, 各段疏浚船舶平均运距情况见表 1。

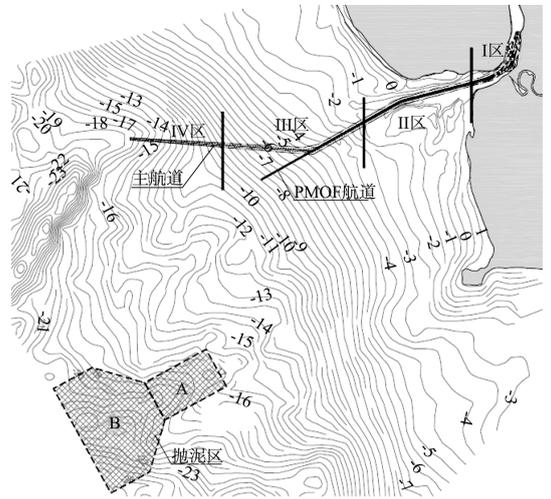


图 1 航道总平面布置(单位: m)

表 1 主要疏浚船舶平均运距

区域	航道里程	平均运距/km	
		PMOF 航道	主航道
I	CH(-1.3)~CH4.5	36.3	47.2
II	CH4.5~CH13	29.2	40.1
III	CH13~CH24	20.6	30.3
IV	CH24~CH30.8		28.5

4 疏浚设备选择与配置

考虑到疏浚工程量巨大、抛泥距离远、疏浚水深变化等特点, 疏浚设备主要考虑采用舱容为 5 400、11 000、20 000 m^3 的自航耙吸式疏浚船^[2](简称 TSHD)。对于不能满足 TSHD 的作业吃水区域, 采用挖斗疏浚船及泥驳共同来疏浚, 主要疏浚设备参数见表 2。

表 2 主要疏浚设备参数

疏浚船	舱容/ m^3	总长/ m	型宽/ m	满载吃 水/m	总装机 功率/kW	设计航 速/kn
挖斗	18	60.0	20.0	2.52	1 103	
泥驳	1 000	65.0	11.8	3.70	1 013	7.0
TSHD	5 400	111.4	21.0	7.15	12 189	13.5
	11 000	131.2	26.2	9.65	14 730	15.0
	20 000	160.3	30.0	11.30	22 330	15.0

一般情况下, TSHD 的舱容越大, 其疏浚工作效率越高, 疏浚单价越低, 因此在满足吃水要求的前提下, 应尽量采用较大舱容的 TSHD 来疏浚(图 2), 但疏浚设备的配置还需综合考虑疏浚区域水深、疏浚工期、疏浚船的可调遣性、调遣费用等因素。

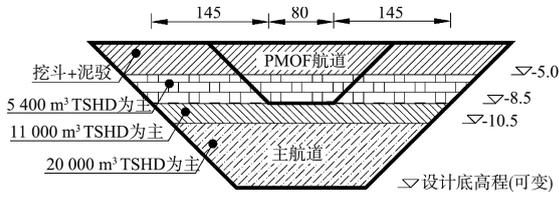


图2 疏浚设备分布(单位:m)

5 环保策略

工程区域的环评要求是制定疏浚策略和方法的前提条件。溢流的使用原则及动物运动、栖息、产卵期的作业要求等都会影响到疏浚船的时间利用率,进而影响工期、成本等。

关于溢流,当舱内疏浚物达到舱容时开始溢流,当疏浚船达到最优的净装舱量时结束溢流。本工程环评要求在码头水域附近(I区)不允许溢流,在航道其他水域(II区~IV区)允许限制性溢流,在航道与抛泥区间航行时不允许溢流^[3]。溢流的使用是在环评要求的前提下,通过控制装舱时间和净装舱量来获得一个合理的生产率。溢流的使用是一种疏浚策略,疏浚船的溢流时间与疏浚土质、土的固结速率、环评要求、疏浚设备的类型及疏浚船船长经验等因素有关,不易量化。当某种土质的固结速率非常慢时,通过溢流来提高净装舱量是一项非常耗时且不经济的方式;当某种土质的固结速率非常快时,疏浚船将很快达到最大净装舱量,不需要溢流。

动物运动及栖息要求会降低疏浚船航速,甚至有时船舶需停船等待,而产卵期可能会要求停止疏浚作业,从而增加停工期或调遣费用。本工程要求在靠近海牛栖息地时,疏浚船需排列成行,以不唤醒海牛的航速在领航船只带领下航行。每艘疏浚船需配备一个专门人员观察海洋哺乳动物和海龟的运动,当它们靠近疏浚船舶时,疏浚船需停止航行^[3]。

在国际工程中,环评报告的编制工作在前,可能对工程实际情况尚未充分了解,其中有些环评要求可能与实际不符,因此要求设计人员对国内外常规的疏浚方式有所了解,针对不符合实际情况费用昂贵的环评要求提出质疑并给出修正意见。

6 疏浚施工组织计划

6.1 疏浚船总时间

疏浚船总时间包括疏浚船施工现场总时间(T_0)、疏浚船调遣时间及疏浚船厂修折算时间等。

疏浚船施工现场总时间(T_0)包括疏浚船挖泥时间(T_1)、疏浚船生产性停歇时间(T_2)及疏浚船非生产性停歇时间(T_3 、 T_4)。

疏浚船挖泥时间(T_1)即疏浚船施工的机械运转总时间,包括疏浚船装舱(T_{11})、运泥(T_{12})、抛泥和吹泥(T_{13})、返回挖泥地点的转头和上线时间(T_{14})。

疏浚船的生产停歇时间(T_2),指疏浚船生产过程中,为保持正常施工而需要暂停的疏浚和吹填的时间,以及因人力不可克服因素而产生的停歇时间,包括下列内容:1) 开工展布及收工集合时间;2) 移船时间;3) 下锚、移锚时间;4) 移动或增、减排泥管线时间;5) 移缆、清缆、清理绞刀时间;6) 补给燃料、淡水等以及为此而进行的航行时间;7) 停电、限电时间;8) 候潮、水流影响时间;9) 避让船舶、动物等的时间;10) 守候航槽、等候爆破时间;11) 换驳时间;12) 检查机器及加油时间;13) 吸泥口、泥泵堵塞造成的停工时间。

疏浚船的非生产停歇时间,指疏浚船生产过程中,因工作不当或意外原因造成的停工时间,包括下列内容:1) 缺乏燃料、淡水造成的停工时间;2) 等待泥驳、拖轮时间;3) 断缆、断销、排泥管损坏以及操作不当引起的排泥管堵塞等造成的停工时间;4) 意外事故和设备故障引起的停工时间;5) 因施工管理不善而造成的窝工时间;6) 风、浪、雾、冰凌影响时间(T_3);7) 其它意外原因造成的暂时停工时间。

为便于分析计算,本工程考虑除风、浪、雾、冰凌影响时间(T_3)外,其余疏浚船的非生产停歇时间统称为 T_4 。

本工程计算疏浚船施工现场总时间(T_0)时,考虑当疏浚船连续作业1周时, T_1 取为150h, T_2 取为18h, $T_2 = \frac{18}{150} T_1$ 。本工程 T_3 为10d/a,则

$$T_3 = \frac{10}{365}(T_1 + T_2 + T_3), T_4 \text{ 假定取为 } (T_1 + T_2 + T_3) \times$$

10%。当疏浚船现场时间为 1 a (52.14 周) 时, 疏浚船时间 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 依次为 41.16、4.94、1.30 和 4.74 周。

疏浚船的装舱时间和抛泥时间与疏浚土质、环评要求等有关, 满载和空载航行时间与疏浚船

满载和空载航速及运距有关。

6.2 疏浚船生产率

疏浚挖泥时间 (T_1) 内的疏浚船生产率与疏浚船自身特性、疏浚的土类及环评要求等因素有关。以 20 000 m³ THSD 疏浚软黏土 (Unit1) 为例, 计算疏浚船生产率 (表 3) 及疏浚总挖泥时间 (表 4)。

表 3 20 000 m³ THSD 疏浚 Unit1 生产率

净装舱量/万 m ³	区域	运距/km	平均航速/kn	装舱时间/min	往返航行时间/min	抛泥时间/min	周期时间/min	往返次数/周	生产率/(m ³ /周)
1.1	I	47.2	13	87	235.26	10	332.26	30.32	333 520
1.2	II	40.1	13	97	199.87	10	306.87	32.88	394 560
1.2	III	30.3	13	97	151.02	10	258.02	39.07	468 840
1.2	IV	28.5	13	97	142.05	10	249.05	40.48	485 760

表 4 20 000 m³ THSD 疏浚 Unit1 挖泥时间

区域	生产率/(m ³ /周)	疏浚量/m ³	疏浚挖泥时间/周
I	333 520	4 343 101	13.02
II	394 560	2 614 504	6.63
III	468 840	3 680 262	7.85
IV	485 760	4 278 060	8.81
合计		14 915 927	36.31

注: 疏浚量为 20 000 m³ THSD 的实际可疏浚量, 即对应高程 -10.5 m 以下的 Unit1 软黏土的工程量。

通过对比国内外疏浚公司同舱容疏浚船, 国外疏浚公司的生产效率明显高于国内, 但国外疏浚船的造价也明显高于国内, 其造价比值高达 2 倍。本工程船机生产效率及船舶造价基于国际公司水平。

6.3 疏浚计划

疏浚计划的制定需综合分析各种疏浚设备自身特性、同时作业的可行性、可疏浚量、可调遣性、调遣费用, 疏浚水域的回淤特点, 疏浚总工期等。而它们之间又是相互影响的, 例如, 疏浚总工期与配置疏浚设备情况、航道施工期疏浚量、回淤量等相关, 而回淤量本身又与疏浚工期、疏浚水域的回淤强度及疏浚的推进方式等相关。因此, 疏浚计划不是一蹴而就的, 需要通过反复试算获得, 以求高效、合理, 从而降低疏浚费用。

疏浚船的进场时间、次序与当时航道的水深情况相关, 疏浚次序应由浅入深, 疏浚设备的调遣次序应由小及大。

对于回淤严重的水域, 应在可行的前提下,

尽可能提高疏浚设备生产能力, 以缩短疏浚工期, 从而减少疏浚期回淤, 降低疏浚费用。

本工程 PMOF 航道疏浚工期约为 1 a, 最初先调遣抓斗疏浚船与泥驳, 待水深条件满足后, 分批次调遣 5 400 m³ TSHD。

表 5 PMOF 航道疏浚设备配置

船型	T_0 /周				疏浚设备数量
	I	II	III	合计	
抓斗疏浚船	16.53	76.13	38.12	130.78	4
泥驳	57.17	219.57	86.14	392.34	12
5 400 m ³ TSHD	86.86	47.35	52.85	187.06	6

本工程主航道疏浚工期约为 4 a, 每年的疏浚设备数量见表 6。

表 6 主航道疏浚设备配置

施工期	抓斗疏浚船	1 000 m ³	5 400 m ³	11 000 m ³	20 000 m ³
		泥驳	TSHD	TSHD	TSHD
第 1 年	1/4	4/12	6		
第 3 年	1	4	4	2	
第 4 年	1	4	4	2	3
第 5 年	1	4	4	2	3

7 费用估算

7.1 燃油费 (C_1)

油耗量及燃油费用是根据疏浚船不同工作状态下的船机实际功率乘以对应的疏浚现场时间获得。以施工期第 4 年 20 000 m³ THSD 疏浚船为例, 计算油耗及燃油费 (表 7), 其中当地燃油单价取为 0.67 美元/L。

表7 20 000 m³ THSD 第4年油耗及燃油费

疏浚船 现场	时间/ 周	1号发动机				2号发动机				3号发动机				燃油 费/美元
		额定功 率/kW	比例/ %	实际功 率/kW	油耗/ L	额定功 率/kW	比例/ %	实际功 率/kW	油耗/ L	额定功 率/kW	比例/ %	实际功 率/kW	油耗/ L	
T11	52.90	8 700	80	6 960	19 376 237	8 700	80	6 960	19 376 237	4 930	60	2 958	8 234 901	31 481 541
T12	32.57	8 700	80	6 960	11 929 755	8 700	0	0	0	4 930	60	2 958	5 070 146	11 389 934
T13	5.57	8 700	80	6 960	2 040 182	8 700	0	0	0	4 930	60	2 958	867 077	1 947 864
T14	32.57	8 700	45	3 915	6 710 487	8 700	0	0	0	4 930	45	2 219	3 803 467	7 044 349
T2	14.83	8 700	30	2 610	2 036 977	8 700	0	0	0	4 930	30	1 479	1 154 287	2 138 147
T3	3.79	8 700	10	870	173 525	8 700	0	0	0	4 930	30	1 479	294 993	313 907
T4	14.23	8 700	10	870	651 521	8 700	10	870	651 521	4 930	30	1 479	1 107 586	1 615 121
T0	156.46				42 918 684				20 027 758				20 532 457	55 930 863

7.2 人员费(C₂)

人员包括驻扎营地的经理部人员及疏浚船上作业人员。某些国际项目会要求聘用一定比例的当地劳工，因此需按照当地要求来配置人员构成。在前期阶段，人均人员费可按照6万~10万美元/a考虑，也可按照实际配置的人员及费用算出人均人员费。

7.3 折旧费(C₃)

固定资产折旧是指在固定资产使用寿命内，按照确定的方法对应计折旧额进行系统分摊。固定资产折旧的方法有多种，基本上可以分为两类，即直线法(包括年限平均法和工作量法)和加速折旧法(包括年数总和法和双倍余额递减法)。本工程疏浚船舶采用年限平均法折旧，使用寿命为20 a，不考虑净残值。各种疏浚设备的折旧费见表8。不同疏浚船舶的折旧费等于疏浚船现场时间(T₀)乘以单周折旧费。

表8 各种疏浚设备的折旧费及维护维修费

疏浚设备	船舶造价/ 亿美元	折旧费/ (美元/周)	维护维修费/ (美元/周)
抓斗疏浚船	0.195	18 699	44 877
1 000 m ³ 泥驳	0.047	4 507	10 816
5 400 m ³ TSHD	0.570	54 658	131 178
11 000 m ³ TSHD	1.20	115 068	276 164
20 000 m ³ TSHD	1.70	163 014	391 233

7.4 维护维修费(C₄)

维护维修费用可根据疏浚船舶的造价来估算，包括施工现场的航修费及几年一次厂修费，厂修费需按照疏浚现场时间均摊。本工程年平均维护维修费按照12%的船舶造价来考虑。

7.5 管理费(C₅)

管理费可按照C₁~C₄费用总和乘以一定比例来估算，一般可取为5%~10%，本工程取10%。

7.6 不可预见费(C₆)

不可预见费可按照C₁~C₅费用总和乘以一定比例来估算。当资料不充分，对现场缺乏了解，风险较高时，比例取值应较大。反之，则取值应较小。本工程取为10%。

7.7 承包商利润(C₇)

承包商利润可按照C₁~C₆费用总和乘以一定比例来估算，取值的高低应由承包商自己把握。本工程取为15%。

7.8 调遣费(C₈)

THSD的调遣方式采用自航，泥驳及抓斗疏浚船的调遣方式采用半潜驳托运。调遣费用可根据调遣过程的油耗及调遣时间内承担的折旧费、维护维修费及承包商利润来综合考虑。调遣费用的高低受航行距离及当前油价影响较大。

(下转第173页)