

澜沧江急流水下疏浚技术*

沙祖光, 陈德应, 罗 磊

(长江重庆航道工程局, 重庆 400011)

摘要:澜沧江属山区河流,但有其特殊性。根据澜沧江的水文、地质、地形以及航道特征,将山区河流的疏浚技术通过应用研究,制定出适应于澜沧江实际工况条件的疏浚技术和设备方案。

关键词:澜沧江;疏浚;技术

中图分类号:TV851

文献标识码:A

山区航道疏浚工程,是改善航行条件的重要措施之一。疏浚具有收效较快、成本低、机动灵活等特点。疏浚能直接扩大航道尺度和开挖新航槽,也能维护疏浚浅滩,确保船只航行安全。

云南省六大水系,可开发航运的河流近9 000 km,其山区河流的特性与澜沧江下段相似,研究成果亦可在省内推广利用。

澜沧江—上湄公河属于典型的山区河流,石质河床、礁石林立、河道狭窄、水流湍急、弯曲半径小、流态紊乱,给船舶航行与整治施工带来许多的困难。

1 船舶选型

1.1 挖泥船选型及优化方案

工程船舶是实施开发整治工程的重要手段,施工船舶选型不当,会增加水上作业难度,影响施工安全和工效。

在山区河流航道整治施工中,沙卵石浅滩的疏浚开挖和水下炸礁的清碴挖石都是用挖泥船完成的。根据川江整治的多年实践,浅滩卵石疏浚和爆破清碴只能用适合要求的抓斗式挖泥船。这种挖泥船除满足造船规范要求外,对水线下的线型,长宽比,吃水都有特定的要求,以满足稳性需要。甲板机械,系缆设备要能适应急流状态下快速移船避让的要求。

澜沧江由景洪港到中缅边境244号界桩,进入上湄公河至老挝会晒段,即中老缅泰四国协议通航河段中最困难的河段,长约400 km,沿途滩险众多,工点分散,施工船欲能机动灵活,安全调遣,必须具备自航及上滩能力。加之,该航段最窄处航宽不足25 m,最浅水深不到1.0 m,最小弯曲半径小于50 m,且航道呈S形,拖带编队几乎不可能,所以施工自航,这是澜沧江工程船必备的特征,也是区别于川江或其它河流的特点之一。

自航式在船型设计上要兼顾航行与施工两方面的要求,长宽比可考虑在4.5左右,工程船以施工为主,对航速可不作过高要求,能达到18~20 km/h足够满足调遣需要。船舶水下线型要有利于航行压浪,船艏水下线型要有利于稳船挖泥。

1.2 抓斗选型

抓斗是抓斗式挖泥船的关键设备,直接影响挖泥工效。山区航道疏浚的对象,主要是沙卵石,爆破块石和溪沟冲出来的漂石,流速条件一般在3.0 m/s左右,根据川江的经验,为增加抓斗挖泥

* 收稿日期:2002-10-18

作者简介:沙祖光(1948-),男,重庆人,高级工程师,主要从事港口与航道工程研究。

(石)的充斗系数,提高疏浚工效,最好采用双颞板漏空带斗齿的两瓣抓斗。实践证明,两瓣抓斗的各部结构,如斗壳、斗腿等均比多瓣斗坚固,抓取能力也比多瓣斗强。

根据澜沧江一上湄公河航道的情况,疏浚施工区一般流速虽大,但水深较浅,整治航道深度为1.5~2.0 m。选用液压挖掘机配两瓣式抓斗作为挖泥(石)工具,能达到“多、快、好、省”的目的。其理由:①液压挖掘机名牌产品多,可供选择性大;②两瓣式抓斗已有成熟生产工艺,可以尽快组装,投入使用;③采用液压硬臂挖掘,有利于克服由于流速大产生的漂斗现象;④与建造起重式挖泥船相比,投资省、时间短。

2 施工工艺

2.1 施工定位技术

山区河流的特征之一是水流湍急,流态紊乱,对水上施工影响很大。施工船舶在流速大、流态差的水域中很难稳船定位,而定不好位就会增加水上作业的难度,甚至根本无法施工。挖泥船施工定位一般分为桩定位和锚缆定位两类,在锚缆定位中又可分为抛锚定位与岸缆定位两种,在平原河流中及沙质河床中施工,常使用桩定位或抛锚定位,而在山区河流、石质河床,如川江、乌江等则多采用岸缆定位。

2.1.1 岸缆布设形式

1)“八字缆”,将两根主缆分别锚固在上游的两岸,呈八字形,如图1所示。此种形式,两主缆受力均匀,船位稳定。但其中有一根主缆必然是跨越航道的,避让船筏不利,并因两岸带缆,给开工展布、检查、收工集合均带来麻烦,只在迫不得已的条件下采用。

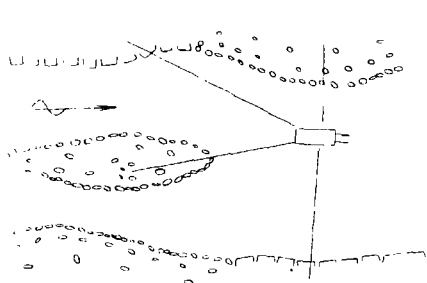


图1 “八字缆”示意图

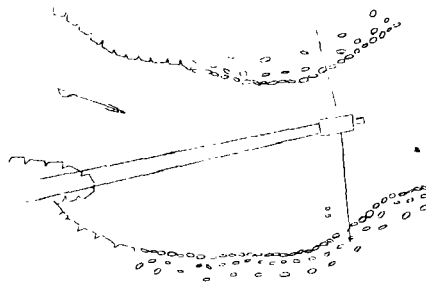


图2 “一字缆”示意图

2)“一字缆”,在河道弯曲的条件下,尽量利用凸岸或石咀,将两根主缆固定在上游同一岸,并保持一定距离,以不致互相绞缠。如图2所示,此法主缆一般不跨越航道,对带缆、避让、检查、收工都方便,应用较广。

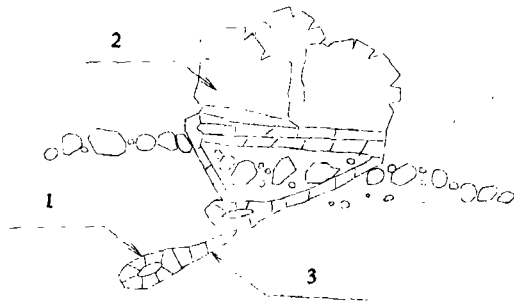
2.1.2 岸缆锚固法

1)围堆法:围石堆、石盘或大孤石是锚固钢缆的常用方法,利用凸起的岩石,大孤石或人工打凿后的石盘(形成凹槽,俗称“肩膀”),将钢缆围绕2~3圈,然后固定拴牢,见图3。

2)地牛法:施工区附近为沙卵石河床时,可采用挖地坑,将钢缆埋入坑内的锚固方法,俗称(地牛)。一般地坑的规格,深度 $h \geq 1.5$ m,底宽1.2 m左右,坑长1.5~2.0 m。地牛的制作,一般采用短园木桩, $\varnothing 36$ cm左右,长度小于1.5 m,(也可用同比例方木代替),将短钢缆(俗称“千斤”)系在园木(方木)上,顺坑长埋入坑内(与受力方向成 90° 直角),再将短钢缆引出地面,在园木(方木)受力方向的前侧,再插入厚木板增大受力面积,然后将坑填平、压实,如图4。

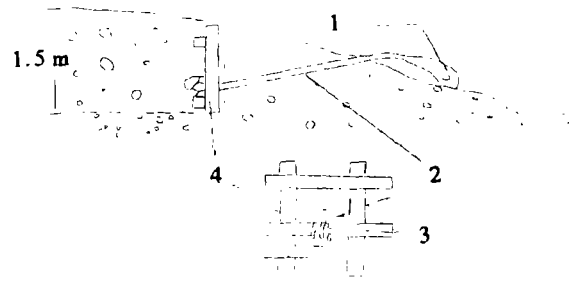
3)其它锚固法,如穿石鼻,在完整坚硬的基岩上凿一个直径30~50 cm的石孔,可用于锚固横缆。在有条件的工地也可现浇钢筋混凝土系缆桩,但必须计算承受拉力与确保养护期。

2.1.3 沉链过船法



1. 琵琶头; 2. 石堆; 3. 钢缆

图 3 围石堆示意图



1. 琵琶头; 2. 千斤缆; 3. 圆木或方木; 4. 井字

图 4 埋地牛示意图

为解决跨越航道之横缆或主缆的阻航问题,川江采用“沉链过船”的方法。将跨越航道的部分钢缆换成直径为 28.4 mm 的锚链,(锚链每节长 25 m,用卡环相互联接),因锚链较重,故能在急流中(流速 4.0 m/s)很快沉入江底。实践证明,利用沉链过船法,在双向航道内施工对通航将不会干扰。在单向航道,可采用松放横缆的措施,挖泥船让出主航道,待船筏通过后再进入施工区。

2.2 疏浚开挖技术

航道疏浚的开挖方法,在急流中一般采用顺流分条开挖法。抓斗挖泥船必须将斗伸向下游,顺流向挖泥。因为如果逆流开挖,抓斗下放入水后,容易被水流冲向船底,提升抓斗时,抓斗有碰坏船壳的危险,同时,顺流开挖,可借助水流冲刷铗口,使卵石松动,有利于充斗。

在实际工作中,根据挖槽的长、短,宽窄,泥层厚度及水流情况,而采用不同的开挖方式。

2.2.1 分条开挖法

浅滩航道多由中央向两侧分条,由深至浅,自上游向下游顺序开挖。分条宽度一般与挖泥船宽度相等,也可用公式计算:

$$b = R \sin \alpha + B/2 - \Delta b$$

式中: b 为分条宽度, m; R 为挖掘机工作半径, m; α 为挖掘旋转夹角取 60° ; B 为挖泥船宽度, m; Δb 为分条重叠宽度取 2 m。

2.2.2 分段开挖法

当挖槽长度超过 150 m 以上时,为减少挖泥船在工作中移船移锚的次数,宜采用分段开挖,每段长度根据边缆长度和角度(与主流形成的夹角)而定,同时满足设计挖槽曲线的要求。

1) 当挖槽设计的开挖折线长度小于 120 ~ 150 m,可直接按折线长度分段。

2) 顺直河段可根据横缆受力情况,保持横缆与挖泥船中线夹角 $\alpha > 60^\circ$ 。

3) 弯曲河段可根据航道弯曲程度和流速、流态考虑,为减少弯曲河道超宽的开挖量,分段长度不宜过大,按川江的经验公式计算,分段长度为:

$$L \leq R/6$$

式中: L 为分段长度, m; R 为航道弯曲半径, m。

2.2.3 分层开挖法

疏浚区开挖泥层厚度较大,一次不易挖到设计深度时,则可采用分层开挖,分层厚度可根据土壤硬度和挖泥船性能确定。

1) 经验厚度:根据施工实践,第一层开挖厚度可取大些,最下一层可取小些, $1 - 2 \text{ m}^3$ 抓斗挖泥船上层取 2 m 左右,最下层取 1 m 左右。

2) 计算厚度:可按下式计算:

$$H \leq B \tan \theta$$

式中: H 为分层厚度; B 为抓斗有效宽度,一般取 0.71 m; l 为抓斗张开宽度, m; θ 为土壤休止角。

分层开挖是提高挖泥工工效,保质疏浚质量,一些溪口急滩和原始河床的卵石浅滩,是经多年沉积,结构紧密,疏浚效率较低,特别是小型挖泥船更难挖掘。遇到这种底质,可以采用小型裸露药包进行爆破松动;或采用隔条开挖,利用水流松动沙卵石结构,能够有效地增加充斗系数,提高疏浚工效。

2.3 水下爆破清碴

水下爆破清碴主要是清挖碎碴和块石,可利用抓斗挖泥船配合石驳施工。

2.3.1 设备要求

挖掘机起重能力应大于抓斗自重两倍以上。使挖掘大块石时能正常工作。清碴用抓斗的斗齿,应比一般疏浚斗齿短 10 cm 左右,以防断齿。装石驳的船舱横断面应为正梯形,即上窄下宽,以利卸石。

2.3.2 粒径要求

爆破块石粒径大小,直接影响清碴工效,抓起一块大石,往要比常规清碴多数倍甚至数十倍的时间。从施工综合效益考虑,应尽可能提高爆破块石的破碎度。抓斗挖泥船清碴的最佳粒径约为抓斗张开宽度的四分之一,1~2 m³ 抓斗,要求爆破块石粒径为 0.5~1.0 m。

2.4 泥石运抛

泥(石)驳的船型,有开底式、分体式、边抛式、自航与非自航多种,根据施工条件选定。根据澜沧江—上湄公河的工况条件,其一,船型应当是自航式,有利于施工调迁转移及装驳运抛。其二,考虑到施工区一般均水深不够,宜采用“分体式”或“边抛式”。

2.4.1 抓斗式挖泥船生产率的计算公式

$$Q_1 = \frac{K_1 V_N}{K_2} \quad Q_2 = Q_1 K_3 \times 8$$

式中: Q_1 为生产率(m³/h); Q_2 为生产量(m³/台班); K_1 为充斗系数; K_2 为土壤松散系数取 1.25; V 为抓斗容量; N 为每小时抓斗运转次数; K_3 为挖泥船时间利用率。

从式中可以看出,提高生产率的途径是如何提高充斗系数 K_1 , 每小时抓斗运转次数 N , 及时间利用率 K_3 。

2.4.2 充斗系数 K_1 的影响因素

在山区河流卵石浅滩施工,影响抓斗挖泥船充斗系数的因素有以下几种。

- 1) 抓斗的挖掘能力:斗型好则充斗系数高;
- 2) 卵石(块石)大小:充斗系数与粒径成反比;
- 3) 卵石层的密实度:愈板结,充斗愈困难;
- 4) 流速水深因素:与流速、水深成反比;
- 5) 与操作技术及操作方法的熟练程度有关。

2.4.3 挖泥船的时间利用率 K_3

- 1) 自然因素:风浪、大雾、水位及影响;
- 2) 工况条件因素:工程量大小,施工定位,收工集合次数,安全避让时间等影响;
- 3) 船机设备因素:维修保养时间,机损事故影响,换驳时间等待。

3 适合澜沧江的疏浚技术

结合澜沧江——上湄公河航道的实际情况,关于急流水下疏浚的几个关键技术问题,初步结论如下:

- 1) 船舶选型:采用自航液压抓斗式挖石船,比较适应澜沧江——上湄公河的航道现状。
- 2) 抓斗选型:采用两瓣式漏空带齿抓斗,既可用于疏浚挖泥,也可用于爆破后水下清碴。

3) 施工定位:采用岸缆锚固稳船定位法,完全可以适应澜沧江——上湄公河的急流险滩工况条件。

4) 泥石运抛:根据先配套后提高的原则,第一步采用比较简单适用的自航边抛式泥(石)驳,满足施工需要,进一步建造自航分体式泥(石)驳,提高设备水平。

4 研究过程中重点处理的几个问题

4.1 抓石船船型

1) 在充分考虑山区河流航道水文特点的基础上,兼顾排水量大与吃水浅的矛盾;排水量大与航速高的矛盾;吃水浅与螺旋桨效率的矛盾等。船尾采用闭式浅隧道尾,船中 U 型微外漂,长平行中体,船首采用有较好压浪与兼顾拍击及航向稳定性的外漂 V 型艏。以及为满足首系泊、锚泊、船舶作业时减摇装置的安放。船首、船中后取了较大舷伸。

2) 主要船型参数

方型系数	$C_B = 0.691$
纵向棱形系数	$C_P = 0.736$
船纵剖面系数	$C_M = 0.939$
水线面系数	$C_{wp} = 0.843$
浮心纵向位置	$X_b = -0.9 \text{ m}$

4.2 抓石船极限静倾角过大问题

由于河道窄,船舶主尺度(型宽)不能加大,导致挖掘工作状态极限静倾角接近 5° ,尽管已满足行船有关规范要求,但挖掘工作状态时在横倾 5° 状态下船员不易适应。为改善船员工作环境拟采取气囊扶正措施。

1) 在本船两舷各设置 $15 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (长 \times 宽)左右的舷伸甲板,挖掘工作前在舷伸甲板下方放入气囊,气囊充气后由于浸水部分产生的浮力向上对船体产生扶正力矩,以达到改善静倾角的目的。

2) 舷伸甲板的结构强度应满足承受气囊扶正力和安全靠泊一艘 100 t 石驳(满载)的需要;考虑一舷沿纵向能安装 $3 \sim 4$ 个气囊,并采取措施防止构件割破气囊。

3) 气囊充气气压为 $0.2 \sim 0.4 \text{ MPa}$,气囊的结构及尺寸要考虑拆装方便、可靠固定、便于充放气,在充气状态下气囊不能突出舷外且应浸入水中一定深度,根据具体情况气囊可以设计为异形。

4) 设置小型空压机组一台或者从机舱内引一路压缩空气到主甲板上适当的位置,供向气囊充气用。

4.3 DGPS 和多通道测深仪的应用

本次为澜沧江险滩疏浚船和钻爆船上均设置了 DGPS 和多通道测深仪,设置这套系统主要是为了提高船舶定位精度和水深及施工质量的检测,通过这些先进的科技手段以确保施工高质量。

4.3.1 DGPS 差分式卫星定位仪简介

差分 DGPS 卫星定位仪之所以能获得高精度的定位数据,是因为该系统在已知位置设一基准站,通过用 GPS 接收卫星信号监测 GPS 的系统误差,并按规定的时间间隔定时地把误差校正量等数据通过无线数据链播发出去;移动台利用收到的信息对 GPS 观测值进行校正以达到消出星历误差、星钟误差、大气层延迟误差等公共误差。

基准站对每颗在现场的 GPS 卫星进行连续跟踪测量,在某时刻测得此时的伪距,而基准站某时刻至卫星的距离可算出,则伪距改正数亦可推算。由于伪距改正数是随时间不规则变化的,因此还要将伪距的变化率传给移动站。基准站将时标、伪距改正数、伪距变化率等组成一串电文,通过无线数据链向移动站播发,移动站接收到差分电文后,对 GPS 测得的伪距进行改正,获得高精度的位置数据。移动站计算机用于采集 GPS 的位置数据和测深仪的水深数据,计算机记录的数据经过

处理,用于数字化技术编绘成图。

系统主机(HD-8000)的技术指标:

- 1) 12通道 L1C/A 码,载波相位接收机。
- 2) 实时 DGPS 定位精度误差小于 0.7m, DGPS 作用距离 50 km。
- 3) 内置 UHF 数据链、GMSK 调制方式、9 600 bps 速率。
- 4) 数据链作用范围(无遮挡情况下)50 km。
- 5) AC220V 或 DC12V 供电,功耗 4 W。

4.3.2 多通道测深仪简介

长江重庆航道工程局根据航道施工质量检测的需要经过长期努力已开发出第二代产品。它适用于航道、港口码头和浅海海域的挖石清渣、钻探等水深和施工质量的监测及全覆盖扫测。系统性能稳定、操作方便、性价比高,并可与 DGPS 卫星定位仪组成航道断面扫测系统,与绘图仪连接后可绘制成水下地形图。

多通道测深仪主要技术参数:

- 1) 测深范围 0~64 m(可分 4 档:0~8 m,0~16 m,0~32 m,0~64 m);
- 2) 测深精度 ± 0.1 m;
- 3) 发射功率 > 100 W;
- 4) 每通道复测次数 2~8 次;
- 5) 断面数据更新周期 1~2 s;
- 6) 操作平台 Windows 98。

5 结束语

2002 年 3 月,澜沧江—上湄公河航道改善工程正式启动,预计至 2003 年 4 月基本结束。在施工中,长江重庆航道工程局等施工单位借鉴川江和其它山区河流航道整治的经验和教训,根据澜沧江—上湄公河的实际工况条件,利用先进的设备及工艺,对楠累河口滩挡石栏等十余处滩险进行了整治施工。目前,施工进展顺利,通过施工实践,证明所投入的施工设备以及所采用的施工工艺是适应澜沧江—上湄公河的实际工况条件的。

The Dredging Technique for Rapid Stream of Lanchang River

SHA Zhu - guang, CHEN De - ying, LUO Lei

(Changjiang Chongqing Waterway Engineering Bureau, Chongqing 400011, P. R. China)

Abstract: Lanchang River belongs to the mountain stream, but it has some specific characters. In this paper, according to the Lanchang River's hydrology, geology, landscape and the characters of the waterway, a study about the dredging technique for the mountain stream is carried out and the dredging technique and scheme of the facilities adaptable to the actual condition of the Lanchang River are worked out.

Keywords: Lanchang River; dredging; technique