

构皮滩水电站下游引航道渡江施工 浮船设计与应用

王小华

(中国水利水电第十六工程局有限公司,福建福州 350003)

【摘要】 本文以构皮滩水电站下游引航道渡江施工浮船设计为例,从浮船设计、浮船密封性试验、锚锭设计与验算、浮船下水、浮船运行等方面对此设计方案进行了详细的介绍。此浮船渡江方案有效解决了人员、设备、材料、开挖石渣等过乌江的问题,可供类似工程参考。

【关键词】 构皮滩;下游引航道;渡江施工;浮船设计;浮船运行

中图分类号: TV53

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2018)02-025-05

Design and application of river crossing construction floating ship at the downstream approach channel in Goupitan hydropower station

WANG Xiaohua

(China Water Conservancy and Hydropower No. 16 Engineering Bureau Co., Ltd., Fuzhou 350003, China)

Abstract: In the paper, downstream approach channel river - crossing construction floating pontoon design of Goupitan Hydropower Station is adopted as an example. The design plan is described in detail from the aspects of floating pontoon design, floating pontoon sealing test, anchorage design and calculation, floating pontoon launching, floating pontoon operation, etc. The floating pontoon river-crossing plan effectively solves the problems of personnel, equipment, materials, excavated stone slag, etc. during river-crossing, which can be used for similar projects as reference.

Key words: Goupitan; downstream approach channel; river crossing construction; floating ship design; floating ship operation

1 概述

构皮滩水电站通航建筑物由上下游引航道、3座钢丝绳卷扬垂直升船机和2级中间渠道(含通航隧洞、渡槽、明渠)等建筑物组成。

由于下游引航道右岸地形陡峻,无法从外部修筑施工道路直达作业面。受机组发电影响,昼夜水位变化较大,流速快,施工平台固定困难。通过技术比选,决定采用浮船渡江,以解决人员、设备、材料运至右岸、

开挖石渣运至左岸的交通问题。

2 浮船设计

2.1 浮船设计参数

a. 浮船采用内河C级设计船体结构,为单甲板、单壳、单层底的钢质焊接结构趸船。浮船平面为长方形,长78m,宽8m,深2.3m,以满足行车道和防浪设施的需要。

b. 浮船船舱空间无使用要求,可纵向、横向设置

加劲桁架。全船舷侧采用横骨架式,其他均采用纵骨架式,并在主甲板车辆通道位置采用结构加强,肋骨间距 500mm,纵骨间距 500mm,满足载重 100t 工程车安全通过。

c. 浮船两侧做成流线形,破浪效果较好。浮船吃水深度 1.2m,在护栏底部按 5m 间距设置足够的横向泄水孔,排除雨水和漫过护栏的波浪。

d. 浮船主要技术参数见表 1。

表 1 浮船主要技术参数

序号	项 目	技术标准
1	过江安全车速	<5km/h
2	设计载荷	汽-20 挂 100
3	总 长	78m
4	两柱间距	76m
5	型 宽	8m
6	型 深	2.3m
7	设计吃水	1.2m
8	满载排水量	706.172t
9	压载排水量	677.976t
10	净载重吨位	125t
11	静水航速	6km/h
12	排水量	114t
13	适应风力	5 级
14	抗击流速	2.5m/s
15	甲板边板厚	0.014m

2.2 浮船总布置

浮船由主体平台、跳板、跳板提升装置、甲板设备及辅助器材等组成。

2.2.1 主体平台

浮船主体平台主尺寸为 78m × 8m × 2.3m,由 1 个舵机舱、1 个机舱、1 个燃油舱、25 个空舱组成。

2.2.2 跳板及跳板提升装置

a. 跳板主尺寸为 7m × 4m × 0.5m,重约 4.5t。

b. 跳板提升装置布置在浮船的两端,用于实现跳板的翻转,由吊杆、提升钢索、导向滑轮组和电动葫芦等组成。

2.2.3 甲板设备

甲板设备包括带缆桩、锚、锚链、滚柱导缆器、闸刀

掣链器及人力锚机、顶推架、发电机组和照明灯具等。

2.3 干舷

根据《船舶与海上设施法定检验规则 内河船舶法定检验技术规则》(2016 年版)规范要求,内河 B 级船舶的最小干舷值为 347.9mm,实际干舷值为 1114mm,实际吃水值为 1200mm。

2.4 主要设备

浮船主要设备见表 2。

表 2 浮船主要设备

序号	设备名称	型 号 规 格	数 量
1	主机	上柴 6135Aca3;110.3kW;1500rpm	1 台
2	减速齿轮箱	D300A, i = 3:1	1 台
3	电动液压舵机	234Q35-57	1 台

2.5 浮船舾装设备

浮船舾装设备见表 3。

表 3 浮船舾装设备

序号	设备名称	型 号 规 格	数 量
1	混凝土锚	50t	4
2	钢丝绳	18 × 7 + FC-32-1770	若干
3	双柱带缆桩	A355	12
4	钢直梯	C300	38
5	人孔盖	A600 × 400	35
6	机舱斜梯	B450	1

3 浮船密性试验

在浮船的装配焊接和火工矫正工作结束后,即可进行浮船的密性试验。密性试验的目的是检查外板及有密性要求的舱室焊缝有无渗漏现象,以保证浮船的运行安全。浮船水下部分以及下水后无法检验的部分,应在浮船下水前做密性试验;其他部位的密性试验应在浮船建造完工后进行。

4 锚碇设计与验算

根据下游引航道河床地质、施工水位及施工条件,进行锚碇系统的选择和设计,浮船采用 4 个 C30 钢筋混凝土锚碇固定,并设 $\phi 36\text{mm}$ 锚筋桩锚入基岩中,左

右岸分别设混凝土锚碇 2 个。另外,为确保浮船汛期安全,在左岸边坡高程 480 ~ 488m 设置 3m × 3m × 3m 钢筋混凝土系船墩 3 个。

4.1 钢丝绳锚缆受力计算

锚缆的受力来源于浮船水阻力、风力和浮船受载时的横向位移,最后传递给混凝土锚碇。

a. 浮船水阻力 R_1 :

$$R_1 = (f_s + \phi F)V^2 \times 10^{-2} \quad (1)$$

式中 R_1 ——浮船水阻力;

f ——摩阻系数,钢质浮船取 $f=0.17$;

S ——浮船浸水面积, $S=L(2T+0.85B)$;

L ——水线浮船长度, $L_{\text{满载}}=77.235\text{m}$, $L_{\text{空载}}=77.161\text{m}$;

T ——计算吃水, $T_{\text{满载}}=1.19\text{m}$, $T_{\text{空载}}=1.144\text{m}$;

B ——水线浮船宽度, $B=8\text{m}$;

ϕ ——阻力系数,流线型浮船采用 5;

F ——浮船入水部分在垂直水流方向的投影面积;

V ——计算水流速度,按施工时汛期流速取 $V=3.0\text{m/s}$ 。

经计算, $R_{1\text{满载}}=52.21\text{kN}$, $R_{1\text{空载}}=50.45\text{kN}$ 。

b. 浮船风阻力 R_2 :

$$R_2 = K_1 S W_0 \quad (2)$$

式中 R_2 ——浮船风水阻力;

K_1 ——密实系数,浮船 $K_1=1.0$;

S ——受风面积, $S_{\text{满载}}=140.448\text{m}^2$, $S_{\text{空载}}=144.01\text{m}^2$;

W_0 ——基本风压值,该工程地处贵州省遵义市余庆县,最大风速 16.1m/s ,基本风压 $W_0=0.162\text{kN/m}^2$ 。

经计算, $R_{2\text{满载}}=22.75\text{kN}$, $R_{2\text{空载}}=23.33\text{kN}$ 。

c. 浮船总阻力 R :

$$R = R_1 + R_2 \quad (3)$$

经计算, $R_{\text{满载}}=74.96\text{kN}$, $R_{\text{空载}}=73.78\text{kN}$,采用 4 根锚缆,每根锚缆受力为 $74.96/4=18.74\text{kN}$ 。

d. 钢丝绳锚缆:

$$K = \alpha F_g / R \quad (4)$$

式中 K ——为钢丝绳的安全系数,取 $K=4$;

α ——考虑钢丝绳之间荷载不均匀,系数 $\alpha=0.82$;

F_g ——钢丝绳钢丝破断拉力总和;

R ——1 个主锚的受力, $R=18.74\text{kN}$ 。 $F_g = KR/a = 91.41\text{kN}$ 。

为确保浮船运行安全,锚缆选用 $18 \times 7 + \text{FC-32-1770}$ 右交互捻光面钢丝绳,其实际破断负荷为 594kN 。浮船甲板设计 12 个带缆桩,带缆桩选用 A355 型,每个带缆桩适用的缆索最大破断负荷为 255kN 。

e. 钢丝绳锚缆长度计算:

$$L = l_0 + l = 5h + \sqrt{h^2 + 2hR/q} \quad (5)$$

式中 L ——丝绳锚缆长度;

l_0 ——锚缆躺在河床上的长度;

l ——悬缆长度;

h ——河底到浮船顶面高度,取 $h=10\text{m}$;

R ——1 根锚缆所受拉力, $R=18.74\text{kN}$;

q ——锚缆在水中单位长度重量,按钢丝绳在空气中重量的 0.7 倍计, $q=0.0274\text{N/m}$ 。

经计算 $L=167.38\text{m}$,取 $L=170\text{m}$ 。

4.2 钢筋混凝土锚碇

a. 锚碇结构。浮船固定采用钢丝绳与 C30 钢筋混凝土锚碇连接,竖直方向圆形设计,直径 0.6m (下部为 $1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$ 正方形),主筋采用 4 根 $3\phi 36\text{mm}$ 锚筋桩($L=4.5\text{m}$,入岩 3m)绕圆心均匀布置,箍筋采用 $\phi 8\text{mm}$ 钢筋,间距 10cm ,锚碇高度 1.5m ,其中圆形部分高 0.9m 。

b. 锚碇稳定性验算:

$$KW \leq G + F \quad (6)$$

式中 K ——安全系数,取 $K=2$;

α ——锚碇钢丝绳与水平面的夹角, $\alpha=15^\circ$;

W ——锚碇受拉力 R 后的垂直分力, $W=4.85\text{kN}$;

G ——锚碇自重, $G=38.5\text{kN}$;

F ——锚碇抗拔力, $F=600\text{kN}$ (每个锚碇抗拔力取 150kN)。

经计算, $KW < G + F$, 锚碇稳定性验算合格。

5 浮船下水

5.1 浮船下水方式

根据现场地形, 工程浮船采用纵向气囊下水方式。根据浮船体型及宽度, 气囊采用单列布置方式。

5.2 滚动气囊选用

5.2.1 承载能力

a. 根据浮船制作平台现场情况, 地面具有较强的承载能力, 气囊能全部均匀放置在浮船底部, 气囊横截面即呈椭圆形状态, 故选用承载能力较大的中压气囊。

b. 由于坡道及浮船底部比较平坦, 气囊受压较均匀, 根据 (CB/T 3795—1996) 《船舶上排、下水用气囊》, 选定滚动气囊直径 $D = 1\text{m}$, 气囊工作高度 $H = 0.5\text{m}$ 满足安全要求。

5.2.2 气囊参数的确定

浮船下水时所需气囊数量按式(7)确定:

$$N = K_1 \frac{Qg}{C_b RL_d} + N_1 \quad (7)$$

式中 N ——气囊数量;

K_1 ——系数, $K_1 \geq 1.2$, 取 $K_1 = 1.3$;

Q ——浮船自重, $Q = 317\text{t}$;

g ——重力加速度, $g = 9.8\text{m/s}^2$;

C_b ——浮船方形系数, $C_b = 0.968$;

R ——每米气囊允许承载力, 实取 $R = 55\text{kN/m}$;

L_d ——气囊与浮船接触长度, $L_d = 7.2\text{m}$;

N_1 ——气囊数量, 一般取 2~4 只, 实取 4 只。

经计算 $N_1 = 14.54$, 取 $N_1 = 15$ 只。

5.2.3 气囊布设间距

气囊之间的中心间距应保证浮船结构强度, 同时还应防止气囊之间叠压在一起, 利用式(8)、式(9)进行校核。

$$L/(N-1) \leq 6 \quad (8)$$

$$L/(N-1) \geq 3.14D/2 + 0.3 \quad (9)$$

式中 L ——浮船底部摆放气囊的实际长度, 实取 $L = 70\text{m}$;

N ——滚动气囊的数量, $N = 15$ 只;

D ——气囊公称直径, $D = 1\text{m}$ 。

经计算, $L/(N-1) = 5 < 6, 3.14D/2 + 0.3 = 1.87$ 。

结合下水工艺布置, 确定气囊之间的中心距为 5m。

5.2.4 下水系统主要部件受力分析

本工程浮船下水选用低速卷扬机, 其放缆速度为 9~13m/min。浮船下水时在坡道上受力分析见图 1。

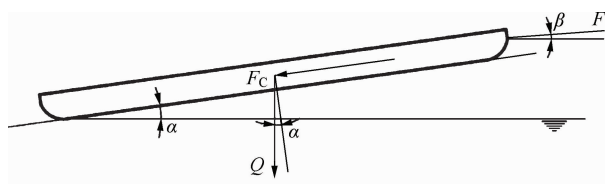


图 1 浮船下水时在坡道上受力分解

浮船下水采用 2 台卷扬机牵引, 下水移动时下滑力按式(10)计算, 卷扬机钢丝绳牵引力按式(11)校核。

$$F_c = Q \sin \alpha - \mu Q \cos \alpha + QV/T \quad (10)$$

$$F \geq KF_c / (N_c \cos \alpha) \quad (11)$$

式中 F_c ——浮船下水移动时下滑力;

Q ——浮船自重, $Q = 317\text{t}$;

α ——下水坡道坡度, $\alpha = 8^\circ$;

μ ——坡道摩擦系数, 取 $\mu = 0.03$;

T ——卷扬机刹车时间, 取 $T = 5\text{s}$;

V ——浮船移动速度, 取 $V = 0.02\text{m/s}$;

F ——每台卷扬机卷扬机钢丝绳牵引力;

K ——安全系数, $K = 1.2 \sim 1.5$, 取 $K = 1.5$;

N_c ——每台卷扬机钢丝绳道数, 取 $N_c = 4$;

β ——牵引钢丝绳与坡道之夹角, $\beta = 5^\circ$ 。

经计算, $F_c = 35.97\text{t}$, $F = 6.775\text{t}$ 。

每台卷扬机实际牵引力为 10t, 满足设备的安全使用要求。

5.3 浮船下水

a. 备足气囊、起重设备以及牵引卷扬机、空压机等。气囊使用前应经过空载充气检验, 充气压力取 1.25 倍容许压力, 保压时间不少于 1h。

b. 清除浮船下方的所有杂物和影响气囊滚动、浮船移动的障碍物。

c. 采用钢丝绳将浮船固定于混凝土锚碇上,并与卷扬机动滑轮连接。

d. 按计算的间距,在浮船下方摆放气囊。按规定气压对气囊充气,当浮船底部高于枕木,浮船重量全部承压于气囊上时,撤出全部枕木,适当放气调整使各气囊受力平衡。

e. 所有气囊应对准浮船中心,并垂直于下水方向。承压于气囊上时,撤出全部枕木,适当放气调整,使各气囊受力平衡。

f. 调整各气囊内压,使浮船降到适当工作高度,以保证浮船移动过程不碰触地面,间距控制在 0.2 ~ 0.3m。

g. 启动卷扬机,放出钢丝绳,使浮船借助气囊向水域移动。当浮船最后一只气囊脱离浮船底部后,立即抬到浮船下水方向前部,并按计算排放间距置入气囊。

h. 重复上述过程,逐渐将浮船移至水边,直至无法放入气囊为止。

i. 撤离危险区作业人员,通知浮船上的人员做好准备,当水深条件足够时,下令放绳,使浮船自由滑入水中。

j. 回收所有气囊,测量浮船吃水深度,并检查有无漏水。

6 浮船运行

6.1 运行前准备

6.1.1 荷载试验

正式运行前,按照先空载试验,再采用自卸车装石渣进行压载试验,按先轻后重的原则进行试验,主要目的是检验浮船的承载能力及自备动力的可靠性。

6.1.2 倾斜试验

浮船倾斜试验的目的是确定浮船的重量及重心的实际位置。倾斜试验按照 CB/T3035—2005《船舶倾斜试验》进行,记录测试数据以确定浮船重量及重心的实际位置,测试试验状态时的静水自由横摇周期。

6.2 浮船运行管理要求

a. 配备熟悉浮船结构的工程技术人员,按规定数量配备浮船运行人员。

b. 现场值班人员有效维持车辆通行秩序,有效控制车速,禁止车辆船面超车、调头,车辆应当单车单向通过浮船。

c. 平时要随时注意锚缆的受力状态,使各锚缆均匀受力,经常检查连接销子有无松动或脱落,发现问题及时处理。

d. 在水流作用下,锚缆会产生受力不均衡现象,某些锚缆受力过大,容易产生断缆。因此必须注意水位与流速的变化,提前做好排查隐患工作。

e. 当下引航道流量超过警戒水位线之前,应将浮船移位至左岸岸边顺水流方向,增加锚缆与左岸边坡设置的锚碇进行锚固,根据水情预报及水位上涨情况增加临时锚固点。

6.3 运行工况

本浮船空载吃水约 0.9m,根据船舶重量及重心,以及实际排水量等复核,当载重约 110t 的工程车驶入跳板时,艏部吃水 1.25m,尾部吃水为 0.58m;当工程车驶出时,艏部吃水 0.277m,尾部吃水为 1.56m。本浮船使用固定压载调整吃水,固定压载重量约 150t。

浮船正常运行情况如图 2 所示,“2014. 7. 17”特大洪水期间锚固情况如图 3 所示。



图 2 浮船正常运行

(下转第 42 页)