

文章编号: 1005-0523(2010)05-0005-06

浮桥固定时锚纲长度计算及安全性评估

王建平¹, 朱 彤^{1,2}

(1. 解放军理工大学 工程兵工程学院, 江苏 南京 210007; 2. 66319 部队, 天津 300380)

摘要: 浮桥进行投锚固定时, 锚纲放出长度依据经验获得, 使得投锚长度出现过长或过短现象, 给浮桥的架设和使用安全产生危害。针对上述问题, 根据悬链线理论对锚纲进行受力分析, 将锚纲长度分解为悬链长度和卧链长度, 进而得到一种计算锚纲长度的方法, 并对其进行了安全性评估。

关键词: 浮桥; 投锚固定; 锚纲长度计算; 安全性评估

中图分类号: U448.19

文献标识码: A

投锚固定由锚和锚纲组成。在我军的制式舟桥器材中, 锚的选用及锚纲的直径是一定的。因此, 在浮桥锚定过程中, 投锚长度的长短直接关系到浮桥使用过程的安全。在我军现行的各种舟桥教范中, 对于投锚点位置的规定是: 投锚线离桥轴线的水平距离一般为桥轴线上最大水深的 7~10 倍, 这是一个概值。

通过对投锚长度的初步分析得知, 锚纲过长或过短均会对浮桥的安全产生影响。锚纲过长, 在风和水流作用下, 浮桥水平方向摆动振幅增加, 会产生偏荡现象, 易使浮桥结构产生破坏; 锚纲过短, 会使锚不能以最佳状态着地, 锚杆与水底产生一定角度, 当外力增加时, 易发生走锚现象。针对这种情况, 本文利用悬链线理论对锚纲进行受力分析, 总结出一种较为准确的锚纲长度的计算公式, 并对此进行了安全性评估, 为投锚固定时锚纲长度的确立提供了依据。由于通载情况复杂, 在此仅计算浮桥空载时的锚纲长度。

1 浮桥水平力计算

浮桥在锚定过程中会受到水阻力、风阻力及锚纲阻力等水平力的影响, 以下分别计算。

1.1 浮桥水阻力的计算

浮桥在投锚固定时, 经常会受到不规则的河流及其它水流的影响, 水流作用于船体会产生水阻力, 通常采用经验公式。根据文献[1]选用下面公式

$$F_{\text{水}} = C \frac{\rho}{2} v^2 \Omega_H \quad (1)$$

式中: $F_{\text{水}}$ 为浮桥所受到的水阻力, N; Ω_H 为桥脚舟浸水部分垂直于水流方向的最大横剖面面积, $\Omega_H = B \cdot h_{\text{吃水}}$; B 为桥脚舟的型宽, m; $h_{\text{吃水}}$ 为桥脚舟吃水深度, m; v 为计算流速, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; ρ 为水的密度, $\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$; C 为总阻力系数, 无量纲。

1.2 浮桥风压力的计算

风压力的计算可以用风压强与阻风面积相乘获得。在不考虑通载情况下, 仅计算浮桥自身所受风压力。

收稿日期: 2010-07-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50578157)

作者简介: 王建平(1961—), 男, 教授, 博士, 研究生导师, 研究方向为桥梁与隧道工程。

对上述悬链线计算方程进行积分,可得悬链线长为

$$S_h = a \cdot sh \frac{L}{a} \tag{8}$$

从公式(7)(8)中可以看出 y 是 T_0, q, x 的函数,即 $y=f(T_0, q, x)$ 。如果选定了锚链,则 q 是已知的,水深 y 及作用在舟桥上的外力 T_0 也可以通过公式(6)求得。这样,可以根据公式 $y=f(T_0, q, x)$ 反向推出 $x=f(T_0, q, y)$ 。当计算得到的 y 恰好等于水深 h 时, x 就是我们要求的值 L 。可利用 Excel 软件函数功能编程求解。求得 L 后,接下来根据公式(8)即可求出悬链长度 S_h 。

2.2 卧链段长度计算

设锚泊工况处于图 2 所示位置 1 时处于平衡状态,当浮桥所受的外力增大时,浮桥向右推移。假定悬链着地端 O 点固定,则随着外力的不断增大,锚链将渐趋拉直。极限情况下,当浮桥移至位置 2 时,锚链着地端产生垂直向上的分力 F_0 。若 O 点直接连接锚,则将可能引起锚爪抓土松动,甚至拔锚漂移,形成走锚。为此,实际上悬垂锚链于 O 点并不直接连接锚,而是铺卧一段锚链沉于河底。

如图 2 所示,当浮桥段处于位置 2 时,有

$$\tan \alpha = \frac{h}{\sqrt{s_k^2 - h^2}} = \frac{s_b q}{T_0}, \text{即可求得}$$
$$s_b = \frac{T_0 h}{q \sqrt{s_k^2 - h^2}} \tag{9}$$

式中: F_0 为悬链线张力在垂直方向上的分力; s_k 为锚钢在状态 2 时直线长度; α 为悬链线与河底的夹角; k_2 是卧底锚钢的抓力系数(无量纲)。

2.3 锚钢长度计算

浮桥投锚固定时,放出的锚钢长度为水中悬垂长度和水底卧链长度之和,分别根据公式(8)(9)所求 S_h, S_b 即可求得投锚所处环境下,锚钢长度计算公式:

$$S = S_h + S_b \tag{10}$$

但在现行的我军渡河教范中,对于投锚长度的规定一般为桥轴线上最大水深的 7~10 倍,由此可知,浮桥在投锚固定时,放出锚钢长度即 S 是已知的,此时只需按公式(8)求出悬垂段长度 S_h ,即可反推出水底卧链长度 $S_b = S - S_h$ 。

3 投锚固定安全评估

3.1 防止走锚条件

浮桥进行投锚固定时,为了使锚发挥最大的锚定力,锚杆应平卧于水底,这就要求放出的锚钢除了悬垂于水中外,还必须有一部分卧于水底见图 1,此时锚的抓力 R 实际上是锚自身的锚定力 R_a 与卧底锚钢的抓力 R_b 之和,即

$$R = R_a + R_b \tag{11}$$

其中

$$R_a = K_1 G_a, R_b = K_2 S_b q$$

式中: K_1 为锚的抓力系数,无量纲; G_a 为锚自重, N; K_2 为卧底锚钢的抓力系数,无量纲。

从理论上讲,为保证锚泊安全必须是浮桥所受水平外力 T_0 应小于或等于锚与锚链所能提供的最大抓力 R 。如果 $R \geq T_0$,则锚定力大于外力,不会走锚,反之 $R \leq T_0$,则会由于锚定力不足,发生走锚现象。

3.2 锚钢的张力计算及安全评估

由锚钢工作状态图可知,锚钢内张力的水平分力恒等于系留桥段的水平力 T_0 ,根据文献[6],锚钢的张力计算公式为

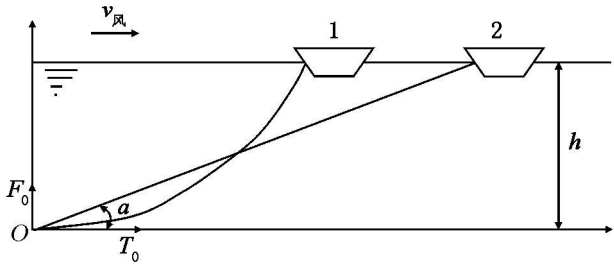


图 2 锚钢极限状态下受力分析

$$T = \frac{T_0 \sqrt{L^2 + 4h^2}}{L} \quad (12)$$

根据计算所得的锚纲张力 T 验证所选锚纲强度, T 应不大于锚纲的安全拉力 $[T]$

$$T \leq [T] = \frac{N}{B_1} \quad (13)$$

式中: N 是所选锚纲的破断拉力, kg; B_1 是锚纲的安全系数, 钢索取 2, 麻绳和聚乙烯塑料绳取 3。

3.3 水平方向上锚定力的安全评估

投锚固定浮桥时, 锚在水平方向上始终受到水平力 T_0 的作用, 应满足(14)式:

$$T_0 \leq [T_0] = \frac{K_1}{1.5} G \quad (14)$$

3.4 竖直方向上锚定力的计算及安全评估

投锚固定浮桥时, 锚和锚纲可能处于正常或非正常工作状态(即无卧链存在)。当锚和锚纲处在正常工作状态下, 锚仅受到水平力的作用, 没有竖直向上的拔力。当锚和锚纲处在非正常状态下, 锚除受到水平力的作用外, 又要受到竖直方向上的分力。根据文献[2], 张力 T 在非正常状态下竖直方向上的分力 V 计算公式为

$$V = T_0 \left(1 + \frac{K_1}{1.5}\right) \frac{h}{L} \quad (15)$$

锚所受的竖直向上拔力 V 应满足(16)式:

$$V \leq [V] = \frac{B_2}{1.5} G \quad (16)$$

式中: V 是锚所受的竖直向上的拔力, N; B_2 是锚的抗拔阻力系数, 对海军锚取 1.5, 对丹福锚取 3.0。

4 极限状态下的算例分析及安全评估

以某重型舟桥 50 吨标准结构浮桥为例。其有关参数如下: 桥脚舟宽 $B=2.4$ m; 高 $H=1.15$ m; 桥脚舟空载吃水深度 $h_{吃水}=0.227$ m; 桥跨结构物的高度 $\Delta h=0.5$ m; 单节桥跨长度 $l=5.01$ m; 每个锚所固定的桥脚舟数 n 取 1; 锚及锚纲参数如下: 丹福锚重 $G_a=500$ N; 抓力系数 $K_1=44$; 锚纲单位长度的重量 $q_{空}=27.4$ N·m⁻¹; 直径 $\Phi 28$ mm, 最小破坏力 36 950 kg, 卧底锚纲抓力系数 $K_2=1$; 江河环境参数如下: 流速为 $v=3.0$ m·s⁻¹; 水深 $h=20$ m, 风速为 8 级。

4.1 水平力的计算

(1) 计算水阻力

由公式(1)计算空载情况下的桥脚舟水阻力为: $F_{水}=1\ 543.5$ N

(2) 计算风压力

此重型舟桥为桁架式桥脚分置式舟桥, 由公式(2)计算一个节套舟的风压力。

$$\Omega_1 = 2.215\ 2\ \text{m}^2 \quad \Omega_2 = 1.252\ 5\ \text{m}^2$$

由文献[4], 8 级风速的风压值为 $300\ \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$, 则 $F_{风}=10\ 403$ N

(3) 计算锚纲阻力

由公式(5)可得: $F_{纲}=2\ 520$ N

(4) 计算水平力

根据公式(6)求得 $T_0=14\ 466.5$ N

4.2 锚纲长度的计算

对于锚纲各部分长度, 由公式(7)(8)(9)可得

$$x = 156.5\ \text{m}, \text{悬链长度 } S_h = a \operatorname{sh}\left(\frac{L}{a}\right) = 157.8\ \text{m}, \text{卧链长度 } s_b = \frac{T_0 h}{k_2 q \sqrt{s_k^2 - h^2}} = 53.063\ \text{m}$$

投锚点位置是投锚线离桥轴线的水平投影距离为桥轴线上最大水深的 7~10 倍, 如果取 10 倍即 200 m, 则卧链长度为 42.2 m, 与上面计算结果基本相当。

4.3 投锚固定安全评估

- (1) 投锚固定前的安全评估
- 根据公式(11): $R=22\,996\text{ N}>T_0=14\,466.5\text{ N}$; 所以不会发生走锚现象。
- (2) 锚纲张力计算及安全评估
- 根据公式(12): $T=14931.5\text{ N}$; 根据公式(13): $T\leqslant[T]=18\,475\text{ N}$; 锚纲强度满足。
- (3) 水平方向上锚定力的安全评估
- 根据公式(14): $T_0\leqslant[T_0]=14\,666\text{ N}$; 锚水平抓力足够。
- (4) 竖直方向上锚定力的计算及安全评估
- 根据公式(15): $V=1833-42.2\times27.4\times0.862=836.3\text{ N}<[V]=1\,000\text{ N}$; 锚竖向抗拔力足够。

5 不同环境下投锚长度分析

5.1 不同流速时锚纲长度

表 1 不同流速时锚纲长度(水深 10 m, 风速 4 级)

流速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	悬链段/m	卧底段/m	锚纲总长度/m
1.0	37.7	18.5	56.2
2.0	47.0	23.0	70.0
3.0	59.4	27.8	87.2

5.2 不同水深时锚纲长度

表 2 不同水深时锚纲长度(流速 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 风速 4 级)

水深/m	悬链段/m	卧底段/m	锚纲总长度/m
5	31.0	15.3	46.3
10	47.0	23.0	70.0
20	74.7	35.9	110.6

5.3 不同风速时锚纲长度

表 3 不同风速时锚纲长度(流速 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 水深 10 m)

风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	悬链段/m	卧底段/m	锚纲总长度/m
4 级	47.0	23.0	70.0
6 级	68.6	33.3	101.9
8 级	98.0	47.1	125.1

6 结论与分析

- (1) 由算例可以看出, 在流速为 $v=3.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; 水深 $h=20\text{ m}$, 风速为 8 级的极限环境下, 按照教范上规定投锚长度为 200 m 时, 经强度校核是合适的;
- (2) 由公式(7)(8)可以看出, 悬链线长度的大小和所处环境的水流、风速、水深、所选锚纲基本参数等有关, 且当浮桥吃水较小时, 风压力对锚纲水平分力影响较大; 当浮桥吃水较大时, 水阻力对锚纲水平分力影响较大;
- (3) 外力及水深对卧底链长度有较大的影响。公式(9)可以看出, 在选用的锚及锚纲一定时, 风流合

力越大,通过卧底锚纲来抵御外力的摩擦力越大,所需要的卧底链的长度就越长;

(4) 根据算例可知,卧链线长度一般约为悬链线长度的一半,且当锚纲所受外力越小时,这种关系表现的越明显。

参考文献:

- [1] 胡灵斌,唐军.悬链线方程的求解及其应用[J].船舶,2004,2(1):16-19.
- [2] 程建生,李峰.渡河[M].南京:解放军理工大学工程兵工程学院,2008.
- [3] 王建平,程建生.舟艇原理与设计[M].南京:解放军理工大学工程兵工程学院,2004.
- [4] 吴培德,刘建成,林铸明,等.带式舟桥[M].北京:国防工业出版社,2005.2.
- [5] 于建.锚泊时船舶放链长度的确定[J].天津航海,1996(2):6-8.
- [6] 王建平,李强,郑峰,等.浮桥通载时吃水变化对锚纲张力和浮桥临界流速的影响[J].解放军理工大学学报,2006(2):157-160.

A Calculating Method and Security Evaluation for the Length of Anchor Cable in Anchoring the Floating Bridge

Wang Jianping¹, Zhu Tong^{1,2}

(1. Engineering Institute of Engineering Corps, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China; 2. Troop 66319, Tianjin 300380, China)

Abstract: When the floating bridge is anchored by anchors, the releasing length of anchor cable is always based on experience, which will bring troubles to security of anchoring because it is too long or too short. Aiming at the problem, based on the catenary theory, the paper conducts a force analysis of anchor cable, and divides the length of anchor into the length of hanging chain length and lying chain length. A calculating method is obtained, and its security evaluation is conducted.

Key words: floating bridge; anchorage by anchors; length of anchor cable; security evaluation

(责任编辑 刘棉玲)