

Analysis about the Mechanical Properties by Changing the Rise-Span Ratio in Steel Arch Approach Bridge in Crude Oil Terminal

Xiangzhen Wei, Chao Gao*

School of Ocean and Civil Engineering, Dalian Ocean University, Dalian
Email: *gc@dlou.edu.cn, 878549055@qq.com

Received: Aug. 10th, 2013; revised: Aug. 19th, 2013; accepted: Aug. 24th, 2013

Copyright © 2013 Xiangzhen Wei, Chao Gao. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: By using the MIDAS structure calculating software, the axial forces, shear force, bending moments of the cross beam, longitudinal beam, arch rib, suspender cable are calculated, which are the main stressed members of the 108-m span length steel arch approach bridge in crude oil terminal when the vector height is 12 m, 15 m, 18 m, 21 m, 24 m, 27 m. By analyzing the variation of the stresses, the range of the rise-span ratio and points for attention in the design of steel arch approach bridge are put forward.

Keywords: Crude Oil Terminal; Steel Arch Approach Bridge; Rise-Span Ratio; Mechanical Properties

原油码头钢拱引桥矢跨比对力学性能的影响分析

魏祥振, 高 潮*

大连海洋大学海洋与土木工程学院, 大连
Email: *gc@dlou.edu.cn, 878549055@qq.com

收稿日期: 2013 年 8 月 10 日; 修回日期: 2013 年 8 月 19 日; 录用日期: 2013 年 8 月 24 日

摘 要: 利用 MIDAS 结构计算软件, 计算了跨径 108 m 的原油码头钢拱引桥在矢高 12 m、15 m、18 m、21 m、24 m、27 m 下的吊索、拱肋、纵梁、横梁等主要受力构件的轴向拉压应力、竖向剪应力及弯矩变化规律, 并通过分析不同矢高下各应力变化规律, 提出钢拱引桥矢跨比的设计范围及引桥设计时应注意的事项。

关键词: 原油码头; 钢拱引桥; 矢跨比; 力学性能

1. 引言

近年来, 我国原油进口量大幅攀升, 严重刺激了原油码头的建设, 大型原油码头雨后春笋般地大量出现, 据统计, 目前我国已建成的 30 万吨级原油码头就有十多座。码头的建设也由近岸布置走向外海敞开式布置, 并通过长引桥与陆地连接。钢管砼拱式引桥由于跨度大、结构稳定性好、施工方便等优点^[1]而广

泛应用于各大原油码头, 因此拱结构矢跨比选择也成了引桥设计的重要组成部分。

2. 引桥结构设计

引桥拟采用下承式钢管混凝土系杆拱桥, 内部为超静定体系, 外部整体简支, 属静定结构。单跨 108 m, 索间距 6 m, 桥面宽 10.8 m, 纵桥向坡度设计 0.1%。主要构件材料及尺寸见表 1。桥面设计铺设 4 根 DN 1000 原油管道, 对称布置。输油管并管道滑动墩、消

*通讯作者。

防管、给水管、蒸汽管等相关管线，设计共重约 22.4 kN/m，四输油管同时接卸油作业时，总重约 47.34 kN/m。引桥管架断面如图 1。维修车道、人行道设计宽 3.6 m，采用预制混凝土板，现浇整体桥面。

3. 主要构件力学性能计算分析

假设桥面管线重量及接卸油作业时管内原油重量均通过管道滑动墩以均布荷载形式作用在横梁上，纵向坡度以重力设置竖向 100%外加顺桥向-0.1%来代替计算，四输油管同时进行装卸油作业时，忽略原油对管道的水力摩擦^[2-4]。设计拱肋为二次抛物线形式，利用 MIDAS 结构计算软件，荷载组合系数均设为 1.2，计算矢高分别为 12 m、15 m、18 m、21 m、24 m、27 m 时静定荷载下吊索、拱肋及桥面纵梁、横梁等引桥主要受力构件的应力变化规律。

3.1. 吊索拉应力

非作业时仅考虑结构自重及原油管线荷载，计算吊索拉应力。计算结果发现四根边索的拉应力相对较低，中间各吊索拉应力变化相差不大；靠近两端的吊索拉应力随着矢跨比的增加而有减小趋势，中间吊索的拉应力随矢跨比的增加而略微增加；进行装卸油作业时，各吊索仅表现出拉应力的增加，没有表现出明显的趋势变化。表 2 为非作业时四根边索及最中间吊索拉应力计算值，表 3 为接卸油作业时边索及最中间吊索拉应力计算值，图 2 为非作业时不同矢高下各吊索拉力变化图。

3.2. 拱肋轴压力

在拱结构中，拱肋为主要承压构件。计算四输油管同时进行接卸油作业时拱肋轴向压力，结果显示拱

Table 1. Material and size of the main frame members
表 1. 主要构件的材料及尺寸

主要构件	材质	截面形式	规格
吊索	高强钢丝	圆截面	双层 PE 护套, 37Φ5 mm 半平行钢丝束
拱肋	Q345、C50	钢管	Φ800 mm × 16 mm 无缝钢管, 浇筑 C50 砼
纵梁	Q345	箱型	高 1.6 m; 顶、底板宽 0.8 m 厚 12 mm; 腹板厚 16 mm 中心距 0.64 m
端横梁	Q345	箱型	高 1.6 m; 顶、底板宽 0.8 m 厚 12 mm; 腹板厚 16 mm 中心距 0.64 m
中横梁	Q345	箱型	高 0.8 m; 顶、底板宽 0.4 m 厚 10 mm; 腹板厚 16 mm 中心距 0.32 m
路面纵梁	Q235	工型	高 0.2 m; 翼缘 0.1 m 宽 10 mm; 腹板厚 10 mm
横撑	Q345	圆管	Φ400 mm × 16 mm 无缝钢管
K 撑	Q345C	圆管	Φ180 mm × 8 mm 无缝钢管

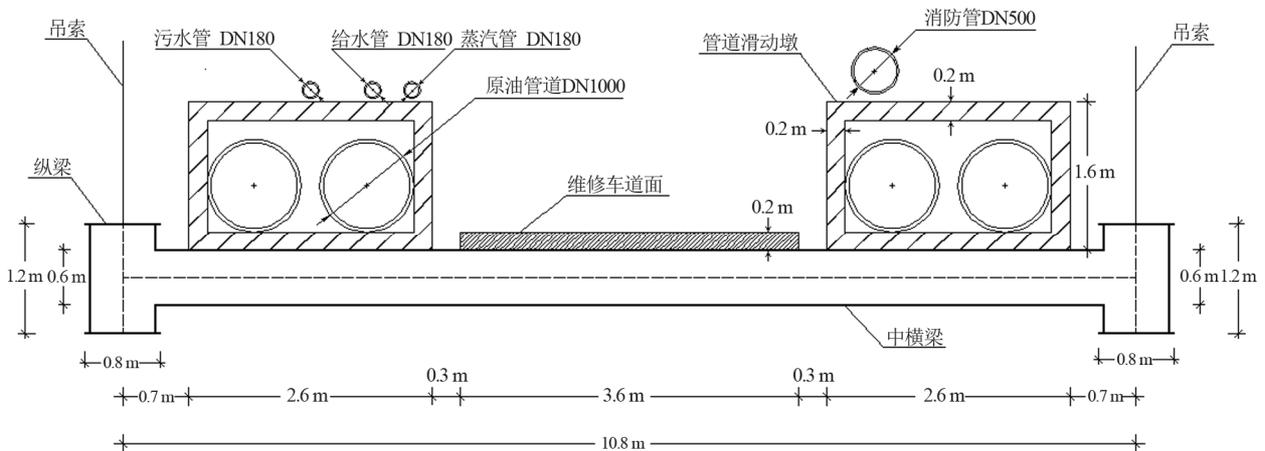


Figure 1. Cross profile schematic diagram of the pipe frame
图 1. 引桥管架断面示意图

Table 2. Tensile stress value of side slings and middle slings when non-working
表 2. 非作业时四根边索及最中间吊索拉应力计算值

拉力/kN \ 矢高	12 m	15 m	18 m	21 m	24 m	27 m
边索	169.5	165.8	162.1	158.2	154.3	150.4
最中间索	195.6	196.6	197.6	198.6	199.8	200.9

Table 3. Tensile stress value of side slings and middle slings when simultaneous working
表 3. 同时作业时不同矢高下边索及最中间索拉应力计算值

拉力/kN \ 矢高	12 m	15 m	18 m	21 m	24 m	27 m
边索	242.8	238.2	233.7	229.1	224.6	220.2
最中间索	280.2	281.3	282.3	283.4	284.5	285.7

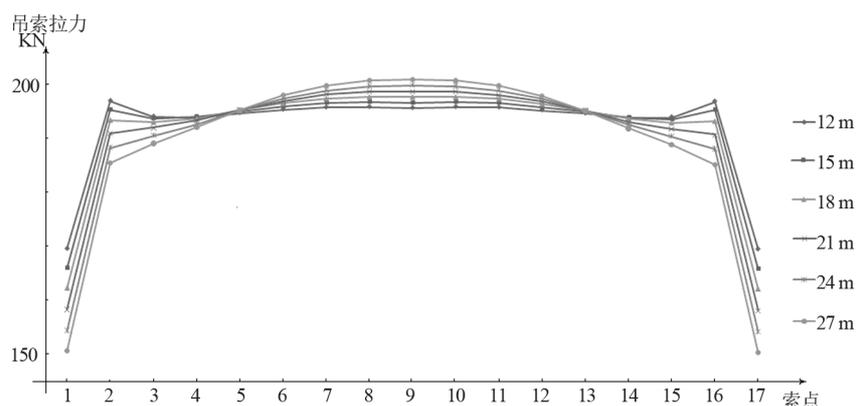


Figure 2. The variation of slings' tensile stress value in different span heights
图 2. 非作业时不同矢高下各吊索拉力变化图

肋轴向压力由拱顶至两端有减小趋势；随着矢跨比的减小，拱肋各处轴向压力迅速增加。图 3 为四输油管同时作业时拱肋顶部及两端轴向压力变化图。

3.3. 纵梁轴拉力

我国现行设计的大型原油码头引桥如曹妃甸 30 万吨级原油码头引桥、岚山港区 30 万吨级原油码头引桥都是静定钢拱架结构，拱肋受到较大轴向压力的同时，桥面纵梁会受到较大的轴向拉力。计算四输油管同时作业时引桥纵梁的拉应力，结果表明，纵梁拉应力有中间向两端呈递增趋势，随着矢跨比的减小纵梁各处拉应力加速增加，这和拱肋轴拉力变化成明显正相关。图 4 为四输油管同时作业时不同矢高下纵梁中间及两端轴拉力变化图。

3.4. 纵梁与横梁剪力

在引桥结构中，纵梁与拱肋主要受到轴向拉压

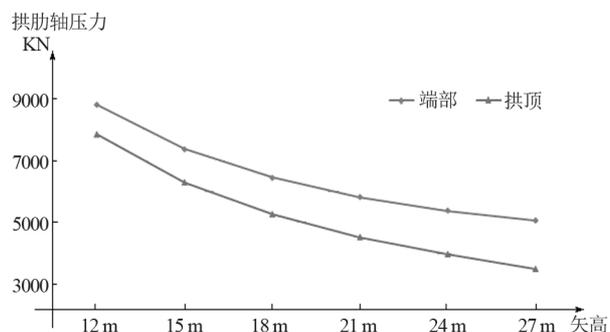


Figure 3. Axial pressure variation of the springing and vault when simultaneous working
图 3. 四输油管同时作业时拱肋顶部及两端轴向压力变化图

力，剪应力相对较小，计算四输油管同时接卸油作业时体系剪力情况，发现纵梁剪应力最大位置在两端，且随着矢跨比增加剪应力有增大趋势。表 4 为不同矢高下纵梁端部剪应力值。

在体系中，横梁为主要受剪构件，端横梁和各中横梁之间由于受力分布的相似性，剪力分布大体相同

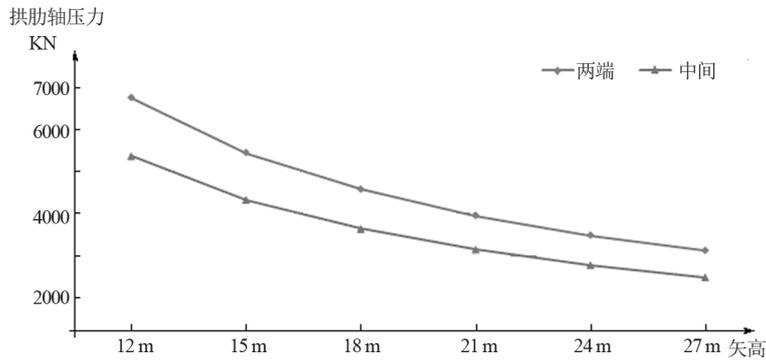


Figure 4. Tensile stress variation in the middle and side of longitudinal beam when simultaneous working
图 4. 四输油管同时作业时纵梁中间及两端轴拉力变化图

Table 4. Shear force in the longitudinal beam side in different span heights
表 4. 不同矢高下纵梁端部剪应力值

剪力/kN \ 矢高	12 m	15 m	18 m	21 m	24 m	27 m
非作业时	-37.8	-40.0	-43.8	-48.4	-53.6	-59.2
四管同时作业	-46.5	-49.1	-53.4	-58.6	-64.4	-70.5

没有呈现明显变化规律，不同矢高下相同位置除剪力也没发生较大的变化，剪力最大值出现在在横梁与纵梁连接处，非作业时最大剪力为 165 kN 左右，四输油管同时作业时为 250 kN 左右。图 5 为矢高为 18 m 是最中间横梁剪力变化图。

3.5. 纵梁的扭矩

由于横梁承受较大的剪力，造成纵梁有较大的扭矩。计算矢高为 18 m 时非作业时及四输油管同时接卸油作业时纵梁的扭矩，结果显示在两端扭矩绝对值最高，分别为 240.9 kN*m 和 342.1 kN*m，从两端到中间扭矩呈指数型快速衰减。图 6 为矢高为 18 m 时纵梁扭矩变化图。

3.6. 纵梁和拱肋的弯矩

计算四输油管同时接卸油作业时纵梁弯矩，计算结果发现在纵梁两端均有一定负弯矩，且随着矢跨比增加而有增加趋势；在纵梁中部，随着矢跨比增加，正弯矩逐渐减小，当矢高 27 m 时出现了 33.1 kN*m 的负弯矩。图 7 为四输油管同时作业时纵梁弯矩图。

拱肋弯矩在拱顶随矢高增加呈现减小趋势，在端部随着矢高的增加而略有增加。图 8 为四输油管同时作业时拱顶与拱脚弯矩变化图。

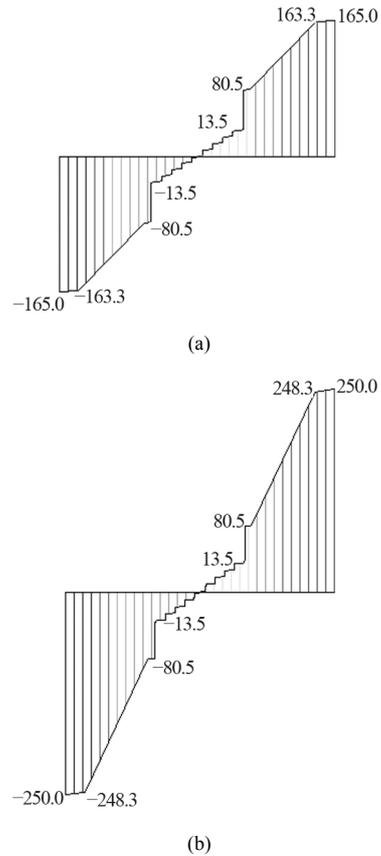


Figure 5. (a) Shear force of middle crossbeam when non-working at the span height is 18 m, (b) Shear force of middle crossbeam when simultaneous working at the span height is 18 m
图 5. (a) 矢高 18 m 非作业时中横梁剪力(kN), (b) 矢高 18 m 作业时中横梁剪力(kN)

原油码头钢拱引桥矢跨比对力学性能的影响分析

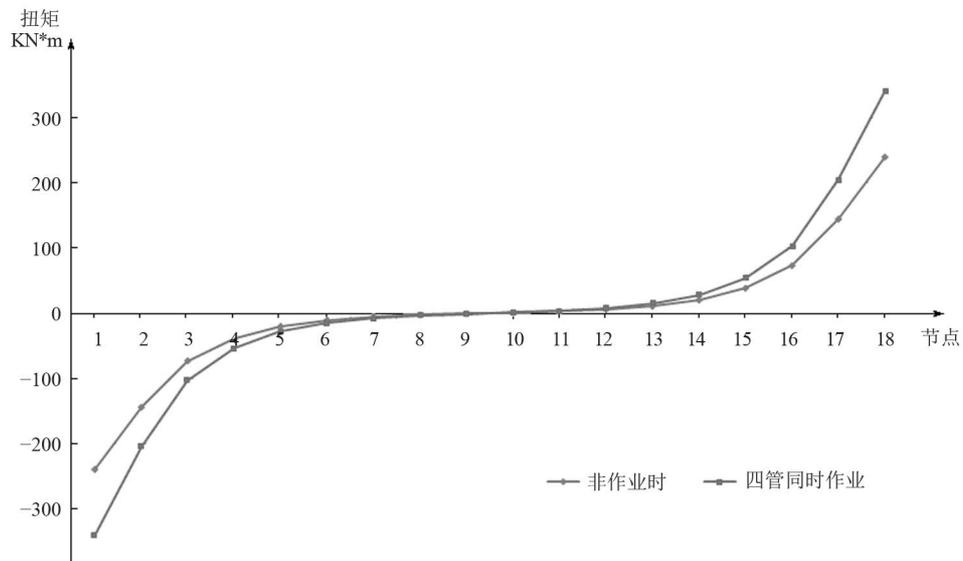


Figure 6. The torque value of longitudinal beam at the span height is 18 m
图 6. 矢高为 18 m 时纵梁扭矩变化图

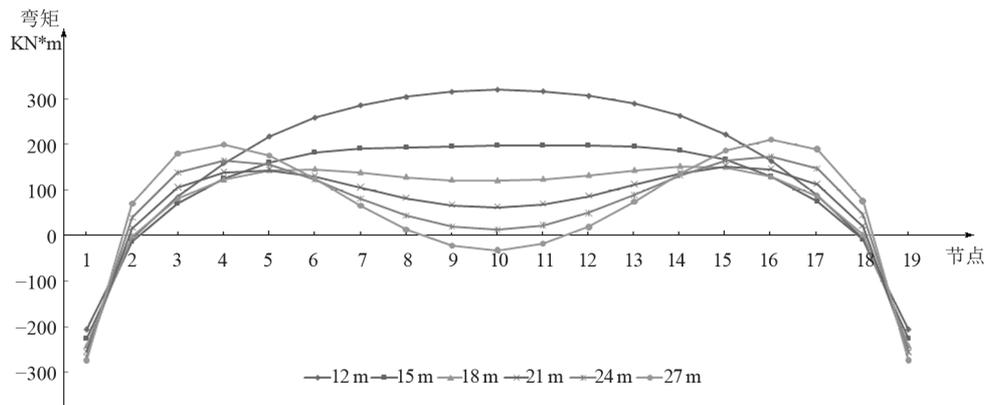


Figure 7. Bending moment of longitudinal beam when simultaneous working
图 7 四输油管同时作业时纵梁弯矩图

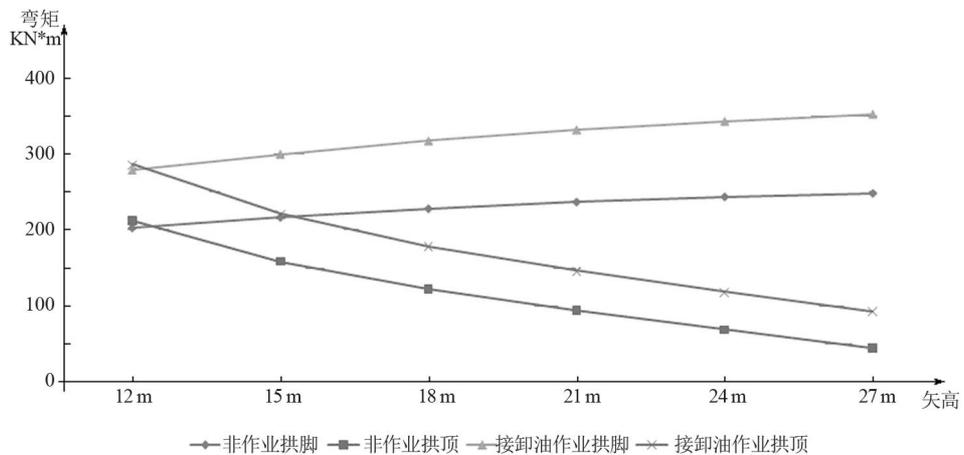


Figure 8. Bending moment of variation of the springing and vault
图 8. 拱肋拱顶与拱脚弯矩变化图

4. 结论与展望

4.1. 结论

在原油码头钢引桥结构中，拱肋和纵梁是主要的受压和受拉构件，横梁为主要受剪构件，同时纵梁承担较大的弯矩和剪力和扭矩。

通过对吊索拉力的计算，可知边索拉应力较中间索小。在设计时可适当降低边索材料的抗拉强度或减小边索的截面尺寸，以合理用材，降低造价。

通过对拱肋及纵梁的轴力计算，随着矢高的降低，拱肋的轴向压力和桥面纵梁的轴向拉力都迅速增加。这严重影响结构的稳定性与长期使用，但随着矢高的增加，结构的用材量迅速增大，带来整体造价的增加，同时考虑拱肋的抗压强度及纵梁的抗拉抗弯强度，建议结构矢跨比设置在 1/8 至 1/6 较为合适。

通过对横梁剪力的计算可知，横梁受到的剪应力较大，尤其是与纵梁的结合处。横梁截面设计时应适当减小宽度，增加高度，以提高截面抗剪能力，同时在横梁与纵梁焊接形式上建议采用一级双边角焊缝，部分熔融，坡口形式为半 V 形^[5]。

由于纵梁在两端有一定的负弯矩，引桥中间车道面边索至两端之间处的配筋位置与数量相较中间部位应做相应调整，在靠近两端的混凝土面板上方应设置一定数目的纵向钢筋，以保证维修车道面的长期合

理使用。

4.2. 展望

目前大型原油码头大都建在外海敞开式水域，外部受力条件极为复杂，引桥跨度的加大在加大施工难度的同时势必会导致体系对风载、震动荷载的敏感，这都要求引桥的设计要慎之又慎。软件的有限元计算较为经济方便，但也存在着明显的不足，如无法有效估计体系的自重尤其在构件尺寸并非远远小于尺寸的时候，对节点的连接情况只能机械的模仿，与现实情况差别很大，以直代曲会导致轴力剪应力等的计算存在不小的误差，因此在接下来的研究中应加大对引桥物理模型的研究，二者相互补充，合理设计，兼顾体系的造价及其安全稳定使用。

参考文献 (References)

- [1] 方爱东, 潘海涛等. 大型原油码头设计技术发展和创新[J]. 水运工程, 2011, (9): 105-109.
- [2] 柯维林, 杨克勤等. 大型原油码头引桥选型及跨度研究[J]. 水运工程, 2012, (8): 62-66.
- [3] 王英伟, 崔巍等. 曹妃甸原油码头及配套设施工程——引桥上部结构的设计与施工[J]. 水运工程, 2010, (4): 127-134.
- [4] 豆文朋, 陈际丰等. 某大型原油码头设计理念与设计特色[J]. 水运工程, 2012, (9): 84-86.
- [5] 杨云安, 滕爱国, 蔡佳骏. 大型原油码头设计技术发展和创新[J]. 水运工程, 2007, (2): 28-31.