

Design and Calculation of Offshore Steel Trestle Bridge Based on MIDAS

Xiaolong Wang Zhisheng Zhao

The First Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Company, Tianjin, 300000, China

Abstract

Combined with temporary steel trestle construction project of Sea-Gulf Bridge on Donghai Island, structural model is established by using finite element software Midas. According to the concrete construction scheme, construction condition of the steel trestle bridge is analyzed, then the strength, stiffness and stability of each condition are calculated to ensure the rationality of the steel trestle bridge.

Keywords

steel trestle bridge; MIDAS; finite element analysis; design calculation

基于 MIDAS 的海上钢栈桥设计计算

王孝龙 赵智胜

中交一航局第一工程有限公司, 中国·天津 300000

摘要

结合东海岛跨海特大桥梁施工临时钢栈桥工程实例, 采用 Midas 有限元分析软件, 建立结构模型。根据具体施工方案对钢栈桥进行施工工况分析, 通过对各工况下的强度、刚度及稳定性计算, 来保证钢栈桥的设计合理性。

关键词

钢栈桥; MIDAS; 有限元分析; 设计计算

1 引言

作为跨水桥梁施工临时结构, 钢栈桥越来越多地被用于海上施工。传统人工计算钢栈桥的方法不但费时而且不能保证计算的准确性^[1], 为了保证栈桥使用安全大部分情况采用增加钢构件尺寸的方法, 不能满足经济合理的要求。为保证计算准确性及结构经济型, 论文中钢栈桥设计计算采用有限元结构设计软件 Midas Civil, 以期在满足结构受力的前提下, 最大限度减少栈桥自重, 保证栈桥结构经济型及合理性。

2 工程概况

玉湛高速广东段全部位于湛江市内, 起于中国广东省与广西省交界处廉江市和寮镇田村, 经廉江市、遂溪县、麻章区三个县区, 终点位于东海岛。其中东海岛跨海特大桥梁由北向南跨越通明海, 重点位于东海岛民安镇文参村。特大桥采

用设计速度 100 km/h 的双向四车道高速公路标准建设, 桥梁宽 20.25m, 设计荷载为公路 I 级, 通明海海域水深 0.5~2.5m, 无通航要求, 设计全长约 4.38km, 其中跨外海段 2.2km。

3 地质水文条件

桥址区属于海岸阶地地貌区, 为滩涂浅滩区域, 地形起伏变化小。场区表层第四系填土层 (Q4m1)、第四系全新统海相沉积层 (Q4m) 厚度较小, 工程性质差; 基底地层湛江组 (Q1zmc) 地层厚度大, 工程性质较好。

桥址区域地表水发育, 主要为滩涂虾塘水和通明海海水, 海水水深 0.5~2.5m。根据含水介质、地下水赋存状态和运移特征, 厂区地下水埋深浅, 主要为松散岩类空隙水, 场地低洼, 具有弱承压性。拟建钢栈桥设计处各级频率设计水位见表 1。

表 1 桥址处各级频率设计水位表

设计频率 (%)	0.33	1	2	5	10	5
潮位 (m)	5.58	5.28	4.91	4.43	4.05	3.68

【作者简介】王孝龙 (1988-), 男, 中国辽宁朝阳人, 从事工程施工技术研究。

4 栈桥设计

施工栈桥下部结构采用钢管桩，钢管桩基础分为普通墩基础及制动墩基础，普通墩基础采用单排钢管桩基础，制动墩基础采用双排钢管桩基础，第5跨设置一个制动墩。钢管桩桩径 $\Phi 630\text{mm}$ ，壁厚 10mm ，单墩布置单排3根钢管，钢管横向间距 3.5m ，桩顶布置 I36a 双排工字钢横梁，钢管桩与钢管桩之间用 80 槽钢设置剪力撑。制动墩纵向间距 2m ，横向间距 2.5m 。

栈桥跨径采用 12m ，桥面宽 8m ，根据行车荷载及桥面宽度要求，栈桥采用规格为 $150\text{cm} \times 300\text{cm}$ 贝雷片，每跨布置单层 8 片贝雷片。横向布置形式为 2×4 排。

贝雷片上铺 I22b 工字钢作为横向分配梁，纵向 75cm 间距布置，桥面板采用 I12.6a 工字钢间距 30cm 密铺，并与 I22b 工字钢横梁焊接固定，上铺 10mm 花纹板。

4.1 技术标准

设计洪水频率： $1/5$ 。

设计基准期和使用年限： 2 年。

设计行车速度： 20km/h 。

荷载等级：公路 I 级。

特种车辆： 80t 履带吊（正吊 20t ，侧吊 20t ）， 50t 砼罐车。

4.2 荷载及荷载组合

4.2.1 荷载参数

恒载：结构自重，安全系数 $1.2^{[2]}$ 。

活载包括公路 I 级车道荷载和 50t 砼罐车、 80t 履带吊。

具体详情如下：

第一，公路 I 级车道荷载^[2]。按公路 -I 级车道荷载设计规范，车道荷载应该按均布荷载加一个集中荷载计算。

受力简图如图 1 所示，其中， $q_k = 10.5\text{KN} \cdot \text{m}$ ； $p_k = 2 * n l_0 + 130n = 284\text{KN}$ ， l_0 为跨径。

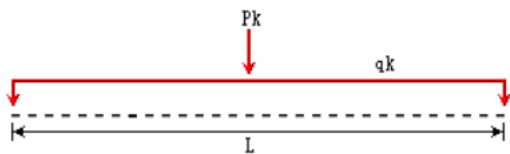


图 1 公路 I 级荷载布置简图

第二， 50t 砼罐车。参考相关混凝土运输车荷载参数， 12m^3 混凝土罐车设计最大荷载取 50t （考虑施工动载分项系数 $1.4^{[2]}$ ）。混凝土搅拌车荷载计算时按集中荷载计算，其荷载

形式如图 2 所示（单位 kN ），混凝土罐车满荷作用下单轮接触面积为 $0.3\text{m} \times 0.2\text{m}$ 。重轴下单轮竖向力为 $200/2=100\text{kN}$ ，单轮荷载集度为 $P=100000/(600 \times 200)=0.84\text{MPa}$

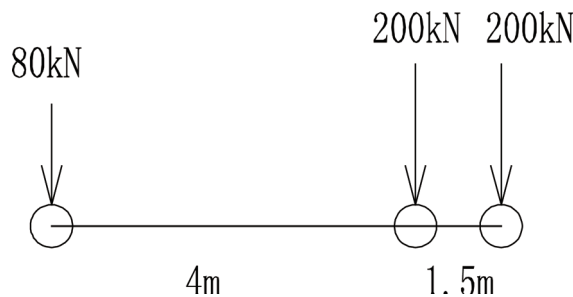


图 2 50t 砼罐车荷载布置图

第三， 80t 履带吊。 80t 履带吊考虑正吊（ 20t ）及侧吊（ 20t ）两种工况，考虑施工动载分项系数 $1.4^{[2]}$ ，侧吊时另施加 1.3 偏载系数， 80t 履带吊荷载布置如图 3 所示。履带接地长度 5.45m ，履带宽度 0.85m ，工作时履带横向间距 4.9m ，走行时履带横向间距为 3.4m 。其中 $dW1$ 为履带荷载， $dD1$ 为履带长度。

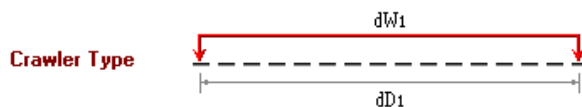


图 3 80t 履带吊车荷载布置图

4.2.2 荷载组合

根据表 2 所示的钢栈桥使用及灾难状态，进行荷载组合。

表 2 桥址处各级频率设计潮位表

设计状态	工况	荷载组合		
		恒载（系数）	活载（系数）	其他荷载
工作状态	I	自重（1.2）	公路 I 级（1.4）	
	II	自重（1.2）	履带吊与罐车会车（1.4）	
	III	自重（1.2）	履带吊正吊作业（1.4）	
	IV	自重（1.2）	履带吊侧吊作业（1.4） 侧吊系数 1.3	
	V	自重（1.2）	履带吊单独行走（1.4）	
	VI	自重（1.2）	50t 砼罐车会车（1.4）	

4.3 模型创建

取一联栈桥创建有限元模型进行分析（如图 4 所示）。为计算方便，将以上 6 种工作工况分别按移动荷载进行加载。其中移动荷载分析时，冲击系数选择 JTG D60-2004《公路桥

涵设计通用规范》，结构基频取值 1.3。

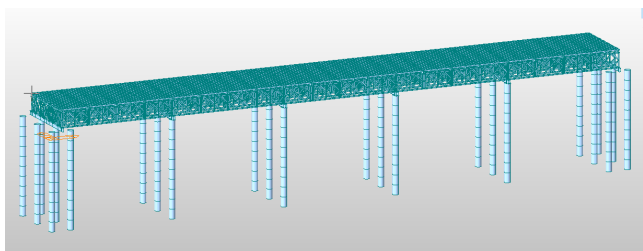


图4 一联栈桥整体模型

4.4 结构计算

4.4.1 桥面板计算

参考相关混凝土运输车荷载参数，12m³混凝土罐车设计最大荷载取 50t（考虑施工动载分项系数）。混凝土搅拌车荷载计算时按集中荷载计算。混凝土罐车满荷作用下单轮接触面积为 0.6m×0.2m。

轴下单轮竖向力为 200/2=100kN，单轮荷载集度为：

$$p_0 = \frac{100000}{600 \times 200} = 0.84 \text{Mpa}$$

80t 履带吊考虑正吊（20t）及侧吊（20t）两种工况。

履带吊正吊时履带压力为（公式中考虑动力系数 1.4）：

$$p_0 = \frac{(800 + 200) \times 1.4}{2 \times 5.45 \times 0.85} = 0.151 \text{Mpa}$$

履带吊侧吊时重载侧履带吊压力为：

$$p_0 = \frac{(800 + 200) \times 1.4 \times 1.3}{2 \times 5.45 \times 0.85} = 0.196 \text{Mpa}$$

根据计算可知，只需计算 50t 罐车作用即可。

$$\sigma = 29.6 \text{MPa} < 215 \text{MPa}$$

抗弯强度满足要求。

4.4.2 I12.6 纵梁计算

罐车单组车轮接地尺寸为 0.6×0.2m，每组压在两根 I12.6 工字钢上，单根按 0.2m 均布荷载计算为 420kN/m。履带吊压在三根工字钢上，单根按均布计算为 1000×1.4×1.3/2/5.45/3=55.6kN/m。比较后可知，最不利荷载为运料罐车的荷载，即工况 VI。

I12.6 工字钢抗弯、抗剪及挠度影响如下：将 I12.6 简化为 0.75m 长 3 跨连续梁，作用于跨中时正应力最大，作用于边跨时剪应力最大。

计算结果如下：

$$\sigma = 117.6 \text{MPa} < 215 \text{MPa}$$

抗弯强度满足要求。

$$\tau = 134.7 \text{Mpa} < [\tau] = 141 \text{Mpa}$$

抗剪强度满足要求。

跨中变形最大，w=0.653mm < [w]=L/400=750/400=5.6mm，满足要求。

4.4.3 I22b 分配梁计算

以工况 VI 为例计算，I22b 分配梁抗弯、抗剪及挠度影响如下：

$$\sigma = 57.6 \text{MPa} < 215 \text{MPa}$$

抗弯强度满足要求。

$$\tau = 58.78 \text{Mpa} < [\tau] = 125 \text{MPa}$$

抗剪强度满足要求。

最大变形 w=10.12-9.17=0.95mm < [w]=L/400=8000/400=20mm，满足要求。

I22b 其余工况下各杆件受力结果如表 3 所示。

表 3 I22b 其余工况下各杆件受力结果

工况描述	抗弯 ($[\sigma]=215 \text{MPa}$)	抗剪 ($[\tau]=125 \text{MPa}$)	挠度 ($[\tau]=20 \text{mm}$)	结论
I	96.5	70.1	1.2	合格
II	83.6	40.5	3.4	合格
III	114	35.8	8.7	合格
IV	148	46.6	11.3	合格
V	75.59	25.4	4.64	合格

4.4.4 贝雷梁计算

4.4.4.1 贝雷梁抗压计算

贝雷梁作为定型桁架结构，轴力单独进行验算。以公路 I 级荷载为例计算，计算得该工况下贝雷梁各杆件轴力结果如下：

弦杆最大轴力：N=221kN < [N]=560kN，满足要求。

立杆最大轴力：N=125kN < [N]=210kN，满足要求。

斜杆最大轴力：N=93.6kN < [N]=175kN，满足要求。

贝雷梁其余工况下各杆件受力结果如表 4 所示。

表 4 贝雷梁其余工况下各杆件受力结果

工况描述	弦杆轴力 ($[N]=560 \text{kN}$)	竖杆轴力 ($[N]=210 \text{kN}$)	斜杆轴力 ($[N]=175 \text{kN}$)	结论
II	259	155.8	104.9	合格
III	208.6	112.2	94.04	合格
IV	271.1	145.8	122.2	合格
V	107.8	65.8	55.7	合格
VI	192.3	124.5	83.5	合格

4.4.4.2 贝雷梁整体计算

贝雷梁为定型结构，考虑单片贝雷片（12m）为整体进

行计算。履带吊侧吊对贝雷梁产生的作用远远大于其他工况，经计算，该工况下贝雷梁杆件弯曲应力 260Mpa、抗剪 167Mpa，满足要求。根据计算以贝雷片单片抗剪作为设计控制主要因素。以工况 IV 为例进行计算，可得：

单片最大剪力： $N=215kN < [N]=245kN$ ，满足要求。

其他工况下单片最大剪力如表 5 所示。

表 5 贝雷梁其他工况下单片最大剪力

工况描述	单片最大剪力 ([N]=245kN)	结论
I	186	合格
II	184.9	合格
III	164	合格
V	82.87	合格
VI	138	合格

4.4.4.3 贝雷梁整体挠度验算

栈桥整体为 5×12m 连续梁，根据计算荷载位于跨中时，整体挠度最大，以 12m³ 砼罐车会车 (VI) 为例验算连续梁整体挠度。

12 方砼位于跨中会车时整体挠度最大，如下所示：

最大变形 $w=10.6mm < [w]=L/400=12000/400=30mm$ ，满足要求。

其他工况下栈桥整体变形表 6 所示。

表 6 其他工况贝雷梁整体变形计算结果

工况描述	最大变形([w]=L/400=30mm)	结论
I	12.37	合格
II	12.4	合格
III	10.63	合格
IV	13.8	合格
V	5.81	合格

4.4.5 桩顶分配梁计算

桩顶分配梁结构验算，考虑各车辆在桩顶会车时最不利，与贝雷梁分析工况类似在整体模型中考虑各种车辆走行状态组合，对分配梁结构进行计算。

以 12 方混凝土罐车会车为例计算：

$\sigma = 75.4MPa < 215MPa$ ，抗弯强度满足要求。

$\tau = 30.96MPa < [\tau] = 141MPa$ ，抗剪强度满足要求。

最大变形 $w=2.15mm < [w]=L/400=1300/400=8.7mm$ ，

满足要求。

其他工况下计算结果如表 7 所示。

表 7 其他工况桩顶分配梁计算结果

工况描述	抗弯 ($[\sigma]=215MPa$)	抗剪 ($[\tau]=125MPa$)	挠度 ($[\tau]=8.7mm$)	结论
工况 I	84.5	40.38	2.10	合格
工况 II	93.5	40.1	2.8	合格
工况 III	74.2	33.97	2.10	合格
工况 IV	96.4	44.18	2.74	合格
工况 V	37.8	17.01	1.04	合格

4.6 稳定性验算

对于一般结构而言，强度验算时一项基本要求。而稳定分析可以找出结构内部抵抗力之间的不稳定平衡状态，结构达到这一状态时候，变形开始急剧增长，结构区域破坏^[1]。通过 midas 软件进行屈曲分析。

工况 VI 作用下的屈曲模态为下图所示，安全系数为 3.617。

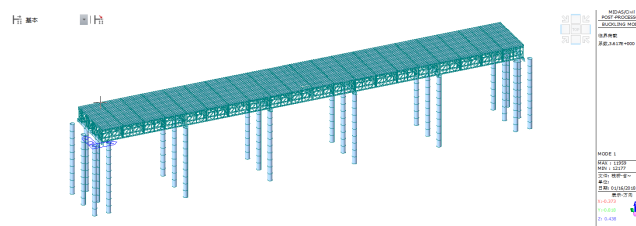


图 5 屈曲模态

在整体模型中进行本栈桥其他工况分析，计算结果汇总如表 8 所示。

表 8 整体模型中进行的工况结果

工况描述	安全系数	结论
工况 I	4.732	合格
工况 II	3.613	合格
工况 III	6.819	合格
工况 IV	3.254	合格
工况 V	3.721	合格

4.7 钢管桩竖向反力计算

考虑各车辆在桩顶会车时，钢管桩所受反力最大，与贝雷梁分析工况类似在整体模型中考虑各种车辆走行状态组合，对桩底竖向反力进行计算。每排钢管桩由三根钢管组成，分

别计算各钢管轴力。

以 12m³ 混凝土罐车会车为例，如表 9 所示，经计算得最大反力即钢管桩轴力 671kN。

表 9 各工况最大反力结果

工况描述	最大反力	备注
公路 I 级车道荷载 --I	835	
履带吊行走与 12m ³ 罐车会车 --II	636	
80t 履带吊作业，正吊重 20t---III	668	
80t 履带吊作业，侧吊重 20t---IV	842	
80t 履带吊单独行走 ---V	132	
履带通行 ---VI	429	

由计算可得，连续墩钢管桩最大轴力为 842kN。

钢管桩最大轴力工况为 80t 履带吊桩顶作业，计算该工况下制动墩钢管桩轴力，由计算可得，制动墩钢管桩最大轴力为 447kN。可根据地质资料计算各桩桩长。根据计算本工

程平均桩长 20m。

5 结语

手工计算时各构件简化结构模型造成计算结果相对保守，造成不必要的材料浪费，本工程栈桥使用 Midas Civil 有限元软件进行结构计算，提高了计算精确度。合理调整构件尺寸，减少钢材用量，经统计，该栈桥每延米重量为 3.23t，较同类型钢栈桥钢材用量减少 10%。

参考文献

- [1] 沈波,詹海刚,张富兵.MIDAS软件在海上钢栈桥计算中的应用[J].公路,2012,000(12):33-35.
- [2] 中华人民共和国交通运输部.JTJD60-2015 公路桥涵设计通用规范[S].2015.
- [3] 张劲明.跨海施工栈桥稳定性研究[J].科技创新导报,2013(13):108-112.