



港珠澳大桥防腐施工工作吊篮安全性分析

徐兆全, 熊建波

(中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 基于港珠澳大桥桥梁工程某标段防腐施工用工作吊篮结构外形、尺寸和安装方法, 重点分析支架、吊篮、钢丝绳等主要受力构件, 采用有限元软件 MIDAS 在对称和非对称两种施工工况进行静力计算与应力分析, 确保施工的安全性。另外在不同风速、荷载和摆长情况下对工作吊篮的摆动幅度进行研究, 从而给出对吊篮与墩身不发生危害碰撞的限制条件。为类似工程的设计及核算提供参考。

关键词: 吊篮; 荷载; 计算; 摆动; 安全性

中图分类号: U 445.33

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)06-0158-04

Safety analysis of work basket in Hong Kong-Zhuhai-Macao bridge anticorrosive construction

XU Zhao-quan, XIONG Jian-bo

(CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Based on the structure, shape, size and fixing method of the work basket in an anticorrosive construction site of Hong Kong-Zhuhai-Macao bridge, we analyze the support, basket and wire rope as the main force components, and calculate the static stresses in symmetric and asymmetric construction conditions by MIDAS FEM software, to ensure the safety of construction. By studying the swing amplitude of work basket in different wind speeds, loads and pendulum lengths, we get the restrictive condition that there is no harmful collide between the work basket and pier shaft, which provide useful reference for the design and check computation of similar construction.

Key words: work basket; load; calculation; swing; safety

为实现整体 120 a 的耐久性设计使用寿命, 港珠澳大桥桥梁主体工程中对墩身、承台等混凝土构件的浪溅区采用硅烷浸渍作为防腐蚀附加措施。墩身和承台采用整体式外模板, 一次性立式预制成型, 预制高度达 20 m 以上。模板整体移除后墩身和承台周围无任何工作辅助设施, 施工人员进行硅烷浸渍防腐施工需要另外搭设高空作业平台, 而安全性和经济性最好的方法是借助于技术成熟的工作吊篮。

现有国家标准对工作吊篮各个构件指标进行了规定, 但在实际应用中其安装方法、固定方式、荷载大小和环境扰动等情况会有不同, 仍需要结

合具体环境条件进行受力计算分析, 确保其安全性。下面对港珠澳大桥桥梁工程某标段墩身硅烷浸渍防腐施工中采用的工作吊篮进行静力计算和风荷载下摆动分析, 对其安全性进行验证, 为类似工程的设计及核算提供参考。

1 吊篮安装介绍

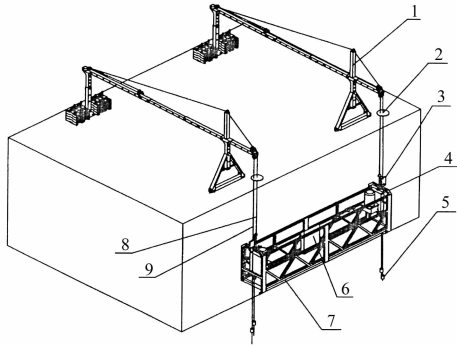
吊篮标准安装方法是利用支架前端作为支点, 吊篮与设置的配重达到转动平衡^[1]。见图 1。

港珠澳大桥预制墩身硅烷浸渍防腐施工中, 墩身顶部面积小 (截面长 10 m, 宽 3.5 m, 壁厚 0.8 m), 安装配重困难。根据结构特点和现场条

收稿日期: 2013-09-22

作者简介: 徐兆全 (1982—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事混凝土耐久性研究及防腐施工研究。

件, 设计采用墩身顶部安装支架, 两侧挂设吊篮, 对称式进行工作吊篮的布设。支架除在顶部固定外, 两端用锚固钢丝绳拉坠至承台面 (即墩身底部) 嵌固螺栓上, 防止可能的倾翻和移位 (图2)。



注: 1.悬挂机构, 2.行程限位块, 3.安全锁, 4.提升机, 5.重锤, 6.电器箱, 7.悬吊平台, 8.工作钢丝绳, 9.安全钢丝绳。

图1 吊篮标准安装

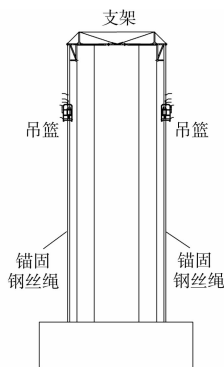


图2 港珠澳大桥中防腐吊篮安装

2 静力计算

吊篮的支架和自身分别采用截面 $80\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ 和 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$, 壁厚为 4 mm “口” 字型 Q235 方钢, 采用焊接和螺栓连接; 其中起吊、固定和攀拉统一采用直径 8.3 mm 、抗拉强度 52 kN 的标准钢丝绳。吊篮为 ZLP630 型额定载质量 630 kg 的标准吊篮, 长 6 m , 自质量 $m_{\text{自}} = 350\text{ kg}$, 正常工作状态下承载 2 人及承载物料质量约 $m_{\text{载质量}} = 280\text{ kg}$ 。考虑规范规定 1.25 倍动荷载系数, 单个吊篮承受荷载为: $F_{\text{荷载}} = 1.25 (m_{\text{自}} + m_{\text{载质量}}) g = 7\ 717.5\text{ N}$ 。

吊篮在正常施工情况下采用两个吊篮同时对称施工, 支架两端受力均衡, 固定用钢丝绳受力很小, 支架侧翻的可能性极低。但某些特殊施工

时, 墩身单侧悬挂吊篮, 没有锚固钢丝绳拉坠时存在侧翻的可能性。两种情况下固定用钢丝绳受力会有较大不同, 因此把它分为两种工况分别进行受力计算。

采用有限元软件 MIDAS 对安装后的吊篮进行建模^[2]: ①设定荷载为加在吊篮底部均匀分布的恒荷载, 分配到吊篮底部各个节点上, 每个节点设定垂直向下的力 554 N 。②两个吊篮对称施工时与墩身顶部接触的支架部分设置为 3 个方向位移约束; 单侧悬挂吊篮时与墩身顶部边缘接触的支架转动点设为 3 个方向约束, 其它顶部接触处设为垂直支架长度的水平方向位移约束。③支架底部压紧螺栓和锚固钢丝绳端头分别设定单方向位移约束。建模如图 3 和 4 所示。

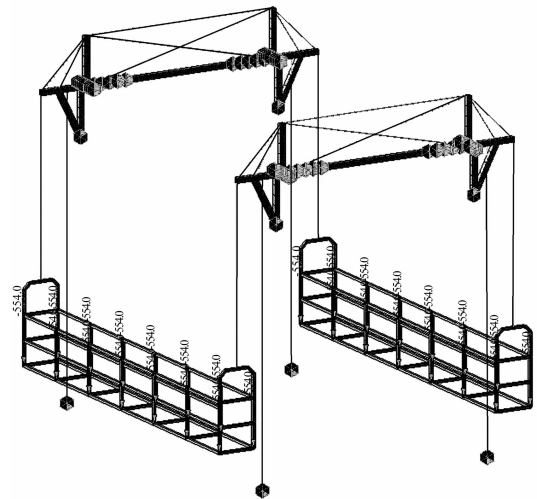


图3 对称吊篮施工模型

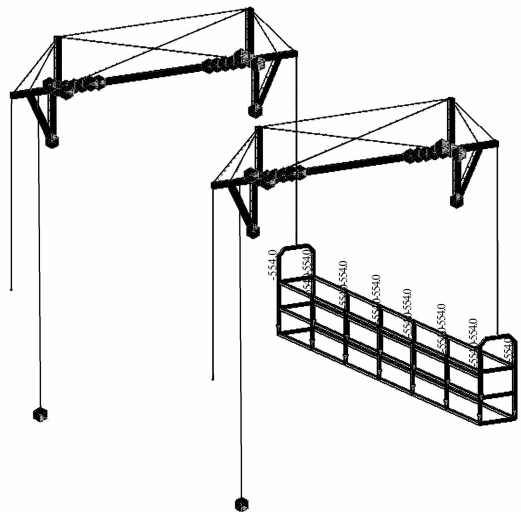


图4 单侧吊篮施工模型

分别对其进行计算，最大应力场如图 5 和 6 所示，应力值见表 1。

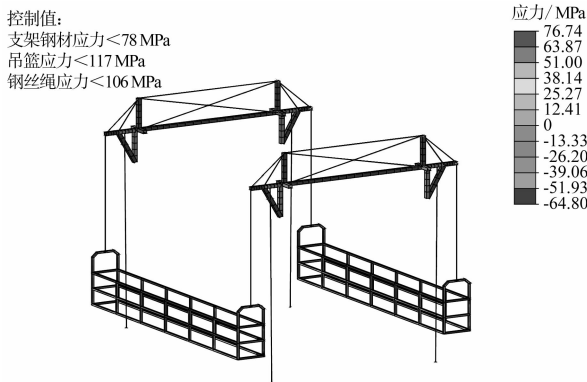


图 5 对称吊篮施工应力分布

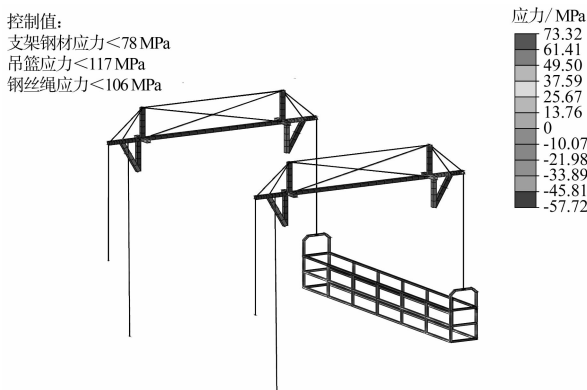


图 6 单侧吊篮施工应力分布

从计算结果可以得出以下结论：

- 1) 对称吊篮施工与单侧吊篮施工时支架、吊篮起吊钢丝绳 3 个主要构件受力情况基本相同。
- 2) 吊篮支架的最大应力 28 MPa 出现在拉紧钢丝绳攀绳上，根据构件的应力、材质强度和安全系数，得出均符合标准要求。
- 3) 吊篮最大拉应力 77 MPa 出现在端头的底部拐角处，考虑 2.0 安全系数后仍小于 Q235 钢的 235 MPa 屈服强度，满足标准要求。
- 4) 起吊钢丝绳受到最大的应力值 72 MPa，根据其直径换算成拉力值为 3.9 kN，考虑 9.0 安全系数后小于 52 kN 的抗拉强度，满足标准要求。
- 5) 单侧吊篮施工时固定用钢丝绳存在 8 MPa 的应力，说明该措施对限制吊篮支架倾翻起到明显作用。
- 6) 根据固定用钢丝绳直径得出其总拉力为 442 N，锚固处 C45 混凝土抗拉强度 $\sigma_{拉}$ 为 4.0 MPa，锚固钢筋直径 d 为 20 mm，预埋深度 l 为 500 mm，抗拉拔强度^[4] $N = l\pi d\sigma_{拉} = 125.6$ kN，考虑 3.0 的安全系数后完全可以承受 442 N 的拉拔力。

表 1 各构件最大应力

构件名称	最大应力/MPa	标准安全系数 ^[2]	标准判断	结论
支架	28	钢材:3.0 钢丝绳:9.0	钢材: <235 MPa 钢丝绳: <52 kN	满足要求
吊篮	77	2.0	<235 MPa	满足要求
起吊钢丝绳(直径 8.3 mm)	72	9.0	<52 kN	满足要求
固定用钢丝绳 (直径 8.3 mm)	对称吊篮	0 锚固:3.0 钢丝绳:9.0	<52 kN	满足要求
	单侧吊篮	8 锚固:3.0 钢丝绳:9.0		

3 摆动分析

工作吊篮的钢丝悬吊属于垂直方向，在受到水平作用的时候不可避免会遇到摆动问题，如果摆动幅度过大，吊篮与墩身发生碰撞，导致墩身和吊篮的双面破坏。因此需要研究分析并给出限制吊篮摆动的使用条件。工作中除了人员轻微扰动外，风是造成吊篮摆动的主要动力。

考虑最危险情况，吊篮各个部位同时受到垂直长度水平方向风的作用，如图 7 所示。

吊篮摆动模型中，吊篮在风力平衡点处其垂直向下的荷载、风力水平荷载^[5]和钢丝绳拉力三者处于静力平衡。如果风持续存在的理论状态下，吊篮以风力平衡点为摆动中心， a 为摆动角进行摆动；阵风的情况下，吊篮摆动到最高处时风力突然消失，吊篮的摆动中心将转移到最低位置的自由平衡点，摆动角扩大为 $2a$ 。

其中
$$a = \arctan \frac{f_{风}}{F_{荷载}} \quad (1)$$

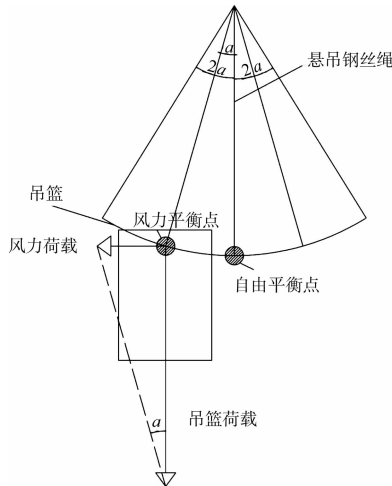


图 7 吊篮摆动示意

$$\text{摆动幅度计算式 } D = L \sin \left(2 \arctan \frac{f_{\text{风}}}{F_{\text{荷载}}} \right) \quad (2)$$

式中: D 为水平最大摆动幅度; L 为吊篮悬挂钢丝绳长度; $f_{\text{风}}$ 为风力荷载; $F_{\text{荷载}}$ 为吊篮荷载。

从式 (2) 中可以得出: 摆长越大, 风速越大, 荷载越小时吊篮水平摆动幅度越大。

在标准状态下 (气压为 1 013 hPa, 温度为 15 ℃), 空气密度 $\rho = 1.225 \text{ t/m}^3$ 。纬度为 45° 处的重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, 风压值^[6] $w_p = v^2 / 1.6$, 风速单位 m/s, 风压单位 kN/m²。吊篮水平最大受力面积 1.96 m², 考虑到 2 个人及必要物迎风面积约 2 m², 总迎风面积约 4 m²。

下面采用具体数值研究吊篮水平摆动幅度与风速、荷载和摆长的关系。表 2, 3 分别为: 在恒定荷载 60 kN 力时风速、摆长变化下吊篮水平摆动幅度, 在恒定摆长 20 m 时风速、荷载变化下吊篮水平摆动幅度。

表 2 吊篮荷载 6 kN 下摆动幅度 m

摆长/ m	风速/(m·s ⁻¹)					
	1	2	4	6	8	11
5	0.004	0.017	0.068	0.153	0.272	0.513
10	0.008	0.034	0.136	0.306	0.544	1.026
15	0.013	0.051	0.204	0.459	0.816	1.539
20	0.017	0.068	0.272	0.612	1.088	2.052
25	0.021	0.085	0.340	0.765	1.360	2.565

表 3 吊篮摆长 20 m 下摆动幅度 m

荷载/ kN	风速/(m·s ⁻¹)					
	1	2	4	6	8	11
350	0.029	0.117	0.466	1.049	1.862	3.500
500	0.020	0.082	0.326	0.734	1.305	2.460
600	0.017	0.068	0.272	0.612	1.088	2.052
700	0.015	0.058	0.233	0.525	0.932	1.760

在表 2 和 3 中阴影的水平摆动幅度值小于吊篮边缘与墩身相距的 0.4 m 距离值, 吊篮不与墩身发生碰撞, 与之相对应的风速、荷载和摆长至少有一个条件需要进行限制。吊篮 6kN 荷载下, 6 m/s (四级风) 风速下吊篮摆长不能达到 15 m, 风速达到 8 m/s (五级风) 时摆长必须小于 10 m; 吊篮仅有自身 350 kg 质量, 即空载, 20 m 摆长下, 风速需要小于 4 m/s (三级风) 才能完全保证吊篮不与墩身发生碰撞。

4 结论

通过有限元软件 MIDAS 对安装后吊篮不同施工工况的计算, 得出该结构尺寸下支架、吊篮和钢丝绳最大应力均小于安全应力, 满足标准要求; 利用现场实际的状况, 设置固定用钢丝绳, 减少了通常设置配重的复杂环节, 且在限制吊篮支架倾翻上起到明显作用。

吊篮的摆动分析中采用了结合现场状况的取值分析方法, 得出了摆长、风速和荷载之间的限制关系和条件, 并结合现场的具体荷载情况, 给出经计算满足标准要求的安全工作的限制条件。

参考文献:

- [1] 耿青武, 吴玉厚, 张珂, 等. 高处作业吊篮悬挂机构强度分析[J]. 建筑机械化, 2010(7): 53-55.
- [2] 郑夕健, 卢震, 谢正义. 基于 ANSYS 的吊篮悬挂机构动力学分析[J]. 建筑机械化, 2010(12): 42-44.
- [3] GB 19155—2003 高处作业吊篮[S].
- [4] CECS22:90 土层锚杆设计与施工规范[S].
- [5] GB 50009—2001 建筑结构荷载规范[S].
- [6] 陈小素, 吕先金. 浅谈基本风压计算[J]. 浙江气象, 2005(4): 26-29.