

# 钢箱梁吊装装配式吊耳设计与选型分析

曾祥茂

广州市第一市政工程有限公司

**摘要:**通过对施工单位自行设计的钢箱梁吊装采用的装配式吊耳进行有限元分析和理论受力分析,结果验证结构是安全可靠的。通过对比分析矩形加劲肋板和梯形加劲肋板的最大主应力和最小主应力扩散及分布规律,研究发现梯形加劲肋板的结构型式更加有利于荷载侧向及向下传递扩展,整体受力比较均衡,可以避免应力集中。最后,给出了适合不同重量吊装的几种常见的带有梯形加劲肋板的装配式吊耳及螺栓选型尺寸表,可以为同类施工吊耳选型提供参考。

**关键词:** 钢箱梁; 吊耳; 加劲肋板; 选型尺寸

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.18.111

## 引言

程建新<sup>[1]</sup>等人研究实现了利用梁索结合吊具吊装悬索桥钢箱梁,吊具主梁与吊挂梁和扁担梁之间通过高强螺栓连接成为整体,但是钢箱梁顶板上的吊耳为焊接式吊耳;刘玉贵<sup>[2]</sup>等利用ABAQUS有限元软件分析了大吨位钢箱梁吊装施工吊耳受力情况,对比分析了有限元数值模拟与传统计算方法的区别,得到安全可靠的有限元分析结果;张吉庆<sup>[3]</sup>等人通过利用MIDAS /FEA 软件对钢箱梁吊装吊耳进行数值模拟,分析对比了板式吊耳与带加劲肋板吊耳的受力情况,提出了提高吊耳结构力学性能相应的改进措施;戴良缘<sup>[4]</sup>利用有限元软件Midas/civil2018对拱桥拱圈整体受力进行了有限元分析,然后利用ABAQUS软件建立了钢拱桥拱脚和吊耳区钢拱圈局部受力有限元模型,提出拱脚处和拱圈吊耳受力状态复杂,应单独进行局部有限元受力分析;综上所述文献吊耳均为焊接吊耳,螺栓连接即装配式吊耳在钢箱梁吊装中目前还较少采用,可以参考的文献较少,本文提出了装配式螺栓连接吊耳应用与设计,为今后的施工提供参考。

## 一、工程概况

上步桥拓宽工程施工总承包项目位于广州市白云区同德西槎路,南起西槎路荔德路口,跨越北环高速公路后,北止于西槎路上步大街路口,全长约1071m,城市I级主干路。现状西槎路为水泥混凝土路面,双向四车道,拓宽后为双向六车道,设计车速50km/h,其中跨北环高速桥梁长度256m,工程造价6817.75万元。

钢箱梁横断面为单箱三室箱型断面,翼板悬长2.1m,三箱宽均为2.75m,顶板厚16~32mm,顶板U形加劲肋板厚6~8mm,I形加劲肋板厚16mm;底板厚16~32mm,底板I形加劲肋板厚16mm。边腹板厚16mm,中腹板厚16mm。横隔板间距2m,横隔板板厚14mm,

墩顶设置横梁。钢箱梁顶板、底板、腹板和墩顶横梁顶、底、腹板,横隔板等主要受力板件为Q345qC钢材,重量为62吨;吊耳采用Q345D钢材,吊耳底板尺寸为450×450×25mm,吊耳侧加劲肋板尺寸为450×100×20mm,弧形立板最大高度250mm,最低高度为100mm,厚度为100mm,开孔直径为150mm;螺栓采用10.9级M22高强螺栓。

## 二、模型建立

受力板件采用Q345qC钢材,吊耳采用Q345D钢材。其弹性模量 $E=2.06 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ,泊松比 $\mu=0.3$ ,屈服强度 $f_y=345 \text{ MPa}$ 。吊耳实体经过多次切割,并采用从下到上的划分单元网格的单元类型为solid,单元划分共计8000个,螺栓单元划分1000个。共计设置4对接触关系,螺栓与吊耳、吊耳与钢箱梁顶板、顶板与螺母、螺栓螺杆与螺母均设置为tie连接。

表1 钢材摩擦面的抗滑移系数 $\mu$

连接处构件接触面的处理方法	构件的钢材牌号		
	Q235钢	Q345钢或Q390钢	Q420钢或Q460钢
喷硬质石英砂或铸钢棱角砂	0.45	0.45	0.45
抛丸(喷砂)	0.4	0.4	0.4
钢丝刷清除浮锈或未经处理的干净轧制面	0.3	0.35	-



图1 现场图

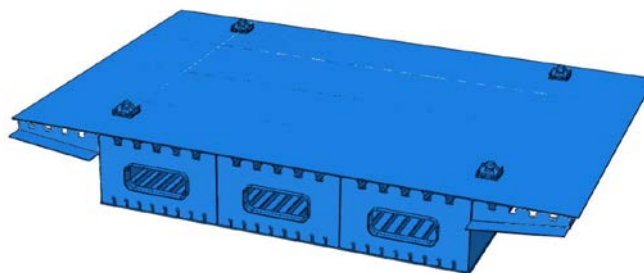


图2 有限元模型

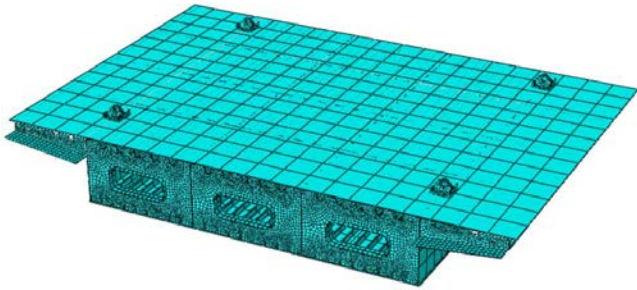


图3 网格模型

三、有限元分析

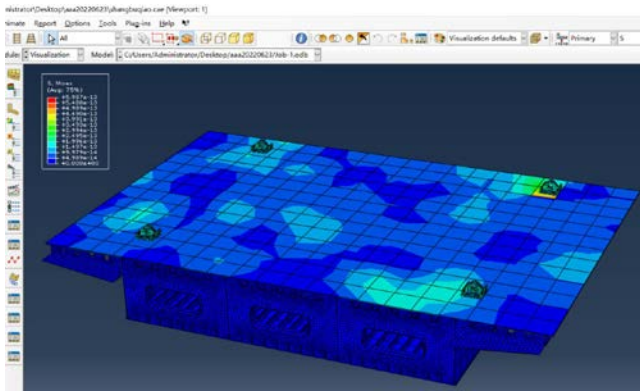


图4 钢箱梁及吊耳云图

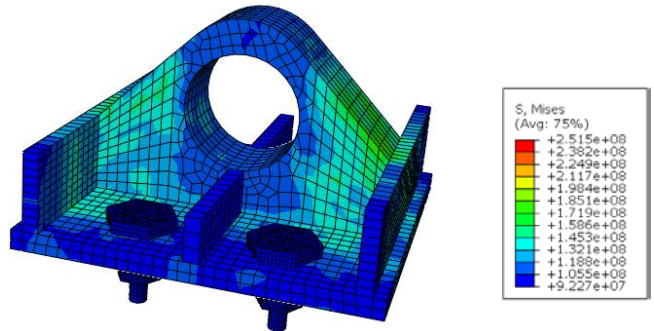


图7 矩形加劲肋板吊耳

从应力云图上可以看出，加劲肋板吊耳最大应力为218 MPa（占钢结构屈服强度的63%），发生在吊耳的弧形板上；最小应力92 MPa，发生在中间加劲板上。在吊耳底板上加设矩形加劲板有利于应力侧向扩展，对于减小吊耳最大应力有一定影响。

四、理论受力分析

G=51.2t 构件总长度12.25m

由构件的吊点：B=2.85m L=2.5m

吊索分支数为：n=4根 每支采用1根

吊索水平夹角：a=60°（水平夹角应不小于30°，一般取45°~60°）

$$\text{吊点高度: } H = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2} \times \tan a = 3.28m$$

$$\text{吊索长度: } C = \sqrt{H^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} = 3.79m$$

$$\text{轴力: } N = \frac{G}{n} = 125.44KN$$

$$\text{剪力: } V = \frac{G}{n \tan a} = 72.4KN$$

$$\text{弯矩: } M = V \frac{BL}{\sqrt{(B^2 + L^2)}} KNm = 136.1KNm$$

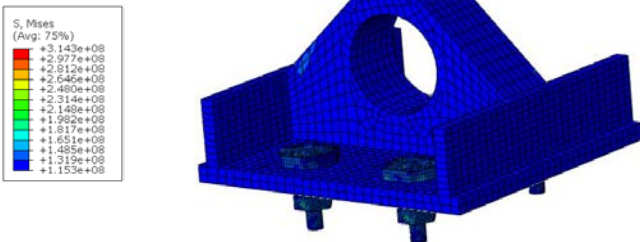
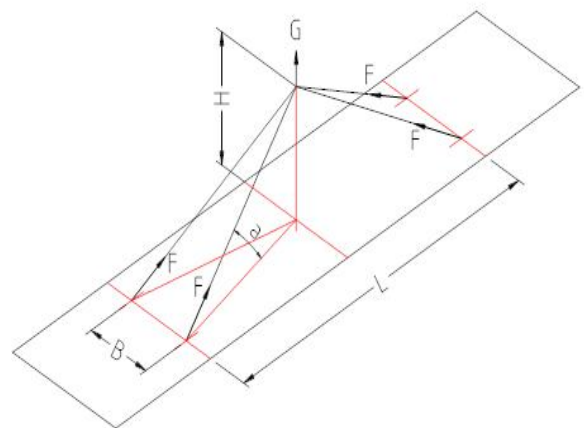


图5 无加劲肋板吊耳



图6 螺栓

从应力云图可以看出，最大应力为276MPa（占钢结构屈服强度的80%），发生在螺母上；最小单元应力为115 MPa，发生在吊耳上。由于考虑钢材的塑性及其横向摩擦作用，结构应力云图呈现不对称分布。应力较大的单元大多数发生在螺杆头部及其周边区域，从螺杆头部到螺母路径应力呈现变大的趋势。



由GB50017-2017第120页11.4.3得：  
 单个螺栓受剪承载力 $N_{vb}=280.481kN$   
 单个螺栓受压承载力 $N_{cb}=384kN$

螺栓个数BoltNum=4

螺栓位置：(0, 290) (180, 290) (0, 0) (180, 0)

螺栓群形心位置(90, 145)

(180, 290)处螺栓受剪力最大:

受到N产生的剪力 $N_{x1}=N/BoltNum=31.36kN$

受到V产生的剪力 $N_{y1}=-V/BoltNum=-18.1kN$

受到M产生的剪力 $N_{x2}=169.395kN$  $N_{y2}=-105.142kN$

$N_v=\sqrt{(N_{x1}+N_{x2})^2+(N_{y1}+N_{y2})^2}=235.565kN$

$N_v \leq \min(N_{vb}, N_{cb})$ , 满足!

### 五、梯形加劲板

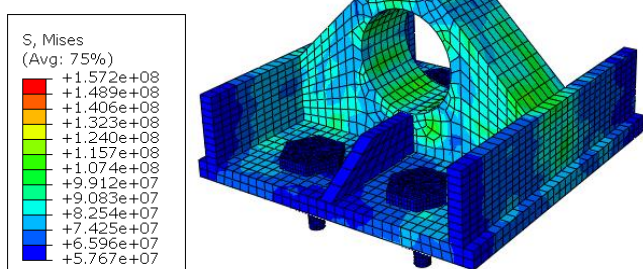


图8 梯形加劲肋板吊耳

从应力云图上可以看出，梯形加劲肋板吊耳最大应力为189 MPa（占钢结构屈服强度的55%），发生在吊耳的弧形板上；最小应力108 MPa，发生在中间加劲板上。在吊耳底板上加设梯形加劲板有利于应力侧向扩展，对于减小吊耳最大应力有一定影响。梯形加劲板相比矩形加劲板，最大单元应力下降了13%，最小应力增加了17%，分析是由于梯形加劲板结构型式更有利于结构荷载向侧向及向下传递。

### 六、选型尺寸

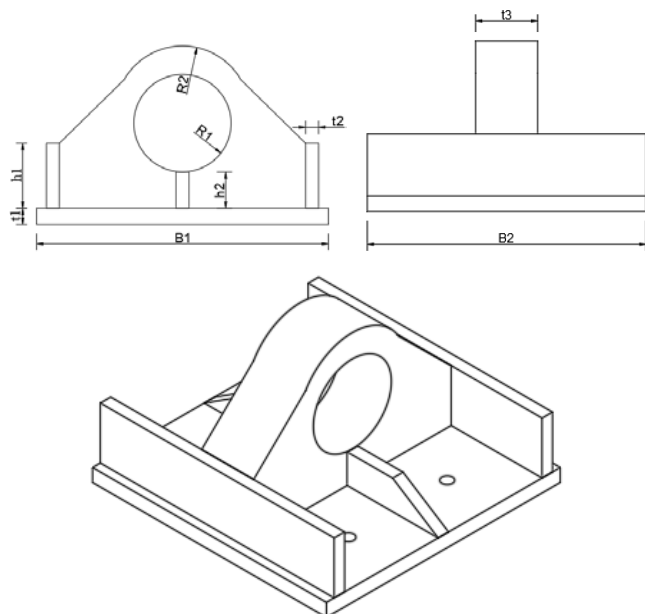


图9 吊耳构造

表2 吊耳典型选型尺寸表

允许负荷 (t)	吊耳尺寸 (mm) (螺栓采用10.9级M22高强螺栓)								
	B1	B2	h1	h2	t1	t2	t3	R1	R2
40	450	450	80	50	25	20	100	75	120
50	450	450	85	50	25	20	100	75	120
60	450	450	90	50	25	20	100	75	120
70	450	450	100	55	25	20	100	75	120
80	450	450	105	60	25	20	100	75	120
90	450	450	110	60	30	25	100	75	120
100	450	450	115	65	30	25	100	75	120

### 七、结论

利用对上步桥钢箱梁横梁吊装装配式吊耳受力分析，得出主要结论：

(1) 通过分析钢箱梁和吊耳应力状态得知，箱梁顶部钢板和吊耳在吊装过程中始终处于弹性工作状态，受力过程引起的结构变形是可以恢复的，不会产生永久变形，故此吊耳结构设计合理，安全可靠。

(2) 矩形加劲肋板吊耳最大应力为218MPa（占钢结构屈服强度的63%），发生在吊耳的弧形板上，最小应力92MPa；梯形加劲肋板吊耳最大应力为189MPa（占钢结构屈服强度的55%），发生在吊耳的弧形板上，最小应力108MPa。可见，增加矩形或者梯形加劲肋板后应力集中现象明显减小，梯形加劲肋板比矩形加劲肋板受力更加合理，更加有利于荷载向侧向及向下传递扩展，整体受力比较均衡，可以避免应力集中，同时达到减小应力增加稳定性的目的。

(3) 为了提高施工单位安装和拆卸卸扣和钢丝绳的便利性，本文中装配式吊耳孔洞直径为150mm，本文吊耳与钢箱梁采用螺栓连接，吊耳可以重复使用，节能环保，适合推广。

(4) 钢结构规范没有专门针对吊耳的标准尺寸，吊耳的强度计算没有特别规范的方法，本文给出了适合不同重量吊装的几种常见的吊耳选型尺寸表，可以为同类施工吊耳选型提供参考。

### 参考文献

[1]程建新, 季辉, 杜清. 青岛海湾大桥大沽河航道桥钢箱梁吊装设备研究[J]. 施工技术, 2011, 40(03): 8-10.

[2]刘玉贵, 徐书华, 汪雪风, 等. 基于abaqus软件的大吨位钢箱梁施工吊耳的有限元分析[J]. 钢结构, 2015, 30(05): 56-59.

[3]张吉庆, 叶智威, 王媛. 基于fea的钢箱梁吊装施工吊耳有限元分析[J]. 湖南交通科技, 2016, 42(04): 125-128.

[4]戴良缘. 基于abaqus的吊耳式钢箱拱拱肋吊点区域的有限元分析[J]. 市政技术, 2022, 40(03): 80-85+90.

[5]GB50017-2017, 钢结构设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.