

# 桥梁顶升施工中钢抱箍节点受力性能分析

虞建平

(杭州大地工程测试技术有限公司, 浙江 杭州 310000)

**摘要** 钢抱箍在桥梁顶升施工中起到重要的支撑作用, 因此钢抱箍的受力性能直接关系到桥梁顶升的实际施工效果。本次研究中以二环北路及东西延伸段(镜水路-越兴路)智慧快速路工程为对象, 对桥梁顶升施工中钢抱箍节点受力性能进行分析, 明确钢抱箍在使用中的受力性能变化以及受力性能影响因素。

**关键词** 顶升施工; 桥梁支架; 钢抱箍; 受力性能; 有限元分析

中图分类号: U445

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)01-0040-03

浙江省某智慧快速路工程顶升施工中使用钢抱箍, 可以进一步强化施工支撑效果。本项目中使用注胶混合钢抱箍, 即基础注胶钢抱箍与注胶钢抱箍结合使用, 钢抱箍载荷由高强度螺栓预紧力提供, 因钢抱箍载荷与高强度螺栓预紧力在数值上相等, 在已知其他数值的条件下对钢抱箍承载力进行验算, 即可获得钢抱箍节点受力性能。

## 1 工程概况

浙江省某智慧快速路工程全长约 11.6km。本项目建设形式为“高架主线+地面辅道”, 建设标准为城市一级快速路, 最高限速 80km/h、宽度 27m。全线高架与 104 国道某段立交主线桥连接, 由此构成高架快速路地面主干路系统, 并在此基础上改造引桥段, 充分利用既有空间建设地面道路车道。

高架于 2018 年 9 月建成通车, 其中改造原高架桥梁落地段, 上部结构使用单幅整体式高连续箱梁, 以桥梁整体顶升作为改造方式, 使用中间设隔离墩的双向通车桥面作为桥梁上部结构, 两联共计 7 跨, 其长度为  $(3 \times 30 + 4 \times 30)$  m, 桥宽为 29.75m, 结合实际设计需求将原下坡由 -3% 调整为 1.05%, 使用顶升高作为上部结构, 将原桥台改造为桥墩。

## 2 钢抱箍基本结构和受力分析

### 2.1 基础钢抱箍的基本结构与受力分析

钢抱箍实际由两个小于钢抱箍内径的半圆箍组成, 且两个半圆箍经过捆绑被围在独柱墩外侧, 彼此之间的静摩擦力  $f$  与竖向载荷  $p$  相互抵消, 半圆箍与墩柱之间产生的压力  $N$  在数值上、方向上等于半圆箍的紧箍力  $T$ 。

两个半圆箍使用高强螺栓施加预紧力  $T$ , 钢抱箍每

只牛腿所承受的竖向外荷载为  $P/2$ 。理论上假设钢抱箍的牛腿符合桥梁顶层设计、使用要求, 去除牛腿简化钢抱箍结构, 左右两侧的荷载被平移至两半抱箍, 此时左、右竖向荷载的受力为  $P/2$  与左右弯矩  $M=PL/2$  的和。

随后对理论简化模型展开基本假定:

1. 钢抱箍、圆形独柱墩的材料均为优质的弹塑性材料。
2. 材料、圆抱箍厚度均拥有均匀的质地。
3. 受到螺栓预紧力的作用, 圆抱箍与圆形独柱墩之间存在的静摩擦力为均匀分布<sup>[1]</sup>。

### 2.2 注胶钢抱箍基本结构和受力分析

结构胶在钢抱箍当中的应用转变了钢抱箍的受力方式, 但未改变钢抱箍整体加固独柱墩的受力。钢抱箍加固独柱墩产生的纵向载荷  $P$  为钢抱箍内表面上静摩擦力  $f$  与钢抱箍自身结构所提供的承载力  $V$  的合力载荷。

计算注胶钢抱箍承载力:

$$N_1 = \frac{2\pi T(H-BS)}{H} \quad (1)$$

$$N_2 = \frac{2\pi TBS}{H} \quad (2)$$

$$P = \frac{2\mu T(H-BS)}{H} + V \quad (3)$$

式中:

$B$ - 结构胶布置宽度 -mm。

$S$ - 结构胶布置数量 - 条。

$H$ - 圆抱箍高度 -mm。

### 3 钢抱箍受力施工验算

施工验算中为了简化计算, 验算条件选取桥梁顶升支架最不利因素, 盖梁跨度取值 6m、宽度与高度均

取值 2.1m。载荷的主要计算对象及对应数值为盖梁钢筋混凝土自重  $q_1=55\text{kN/m}^2$ 、钢模板自重  $q_2=1.2\text{kN/m}^2$ 、承重梁自重  $q_3=1.06\text{kN/m}$  (分项系数 1.2)、方木分配梁自重  $q_4=0.15\text{kN/m}$  (分项系数 1.2)、浇筑混凝土冲击荷载  $q_5=2\text{kN/m}^2$  (分项系数 1.4)、施工人员与工具荷载  $q_6=2.5\text{kN/m}^2$  (分项系数 1.4)。

### 3.1 验算方木分配梁

方木分配梁间距验算数值取值 0.3m, 盖梁长度取值 1.2m。以线性载荷计算单根方木荷载:

$$Q_1=1.2 \times [(q_1+q_2 \times 1.2 + (q_5+q_6 \times 1.4) / 4 + q_4) = 22.27\text{KN/m} \quad (4)$$

承重力梁实验数值取值 1.8m, 方木分配梁的两端悬挑长度取值 0.65m,

长度合计 3.1m。根据 Midas 方木分配梁受力分析结果, 方木分配梁最大弯矩  $M_{\max 1}=4.7\text{kN} \cdot \text{m}$ , 相应的反力最大值  $F_1=34.5\text{kN}$ , 方木分配梁截面抵抗矩计算:

$$W_1=bh^2/6 = 5.63 \times 10^{-4}\text{m}^3 \quad (5)$$

最大应力计算:

$$\sigma_1=M_{\max 1}/W_1 = 8.36\text{N/mm}^2 < 12\text{N/mm}^2 \quad (6)$$

### 3.2 钢抱箍受力验算

已知承重梁最大反作用力 609kN, 数值上、方向上等于抱箍承受竖向力。本工程使用的抱箍承螺栓为 10.9 级 M24 高强度螺栓, 该螺栓最大承载力  $[N_1]=39.71\text{kN}$ , 所需螺栓数量  $N/[N_1]=15.34 \approx 16$ , 计算钢抱箍作用于桥梁立柱的压力  $P_b=2031\text{kN}$ 。

最终确定使用高强螺栓实际数量  $n_1=24$ , 所有高强螺栓产生的预紧力即为钢抱箍的实际压力  $P_b$ 。计算每个高强螺栓提供预紧力时产生的拉  $N_1=84.6\text{kN}$ 、高强螺栓拉应力  $\sigma=137.26\text{MPa}$ 。

## 4 桥梁顶升施工钢抱箍节点受力性能有限元验证

### 4.1 钢抱箍有限元模型

钢抱箍与支架的接触为非线性关系, 因此需要在建立有限元模型的基础上进行计算。本次使用的钢抱箍材料弹性模量为  $E=2.06 \times 10^5\text{MPa}$ 、泊松比  $\nu=0.25$ 、热膨胀系数  $\alpha=1.2 \times 10^{-5}/\text{℃}$  [2]。使用高阶 3 维 20 节点固体结构单元 SOLID186, 划分钢抱箍与墩柱网格, 二者接触面的静摩擦系数  $\mu=0.3$ , 使用 ANSYS Contal174 对钢抱箍受力状态进行模拟。

钢抱箍上部载荷直接取决于螺栓预紧力, 即钢抱

箍载荷数值与螺栓预紧力数值相等。钢抱箍的尺寸只会对钢抱箍的拉应力产生影响, 而不会影响承载力。钢抱箍在桥梁顶升设计实际使用中, 温度是影响钢抱箍承载力的主要影响因素 [3]。已知高强度螺栓拉应力为  $24 \times 84.6=2030.4\text{kN}$ 。为了进一步验证钢抱箍受温度变化影响状况, 在本次有限元分析中共计升温  $50\text{℃}$ , 温度每上升  $10\text{℃}$  对钢抱箍承载力进行计算, 由于混凝土受温度的膨胀系数远小于钢, 因此以混凝土为原料制作的墩柱受温度变化影响忽略不计, 图 1 所示为有限元前处理的网格划分及荷载施加。

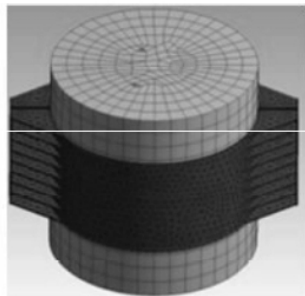


图 1 有限元前处理的网格划分及荷载施加

### 4.2 钢抱箍刚度有限元分析

接触面的法相刚度会对最终的计算结果造成影响, 因此在对钢抱箍刚度进行有限元分析时需要尽量选择数值较小的刚度, 从而确保钢抱箍刚度变化的收敛性 [4]。在钢抱箍有限元模型的基础上确定法相刚度因子分别为 0.5、1、3、5、7、10, 在改变法相刚度因子数值的同时, 分别对接触面正应力、穿透量、时间进行计算。表 1 所示为不同法向刚度有限元分析结果。

由表 1 得知, 钢抱箍的接触面正应力、时间与法相刚度因子成正比, 与穿透量成反比, 因此法相刚度因子数值越大, 钢抱箍对应的接触面正应力数值越大, 受力也会随之增加。

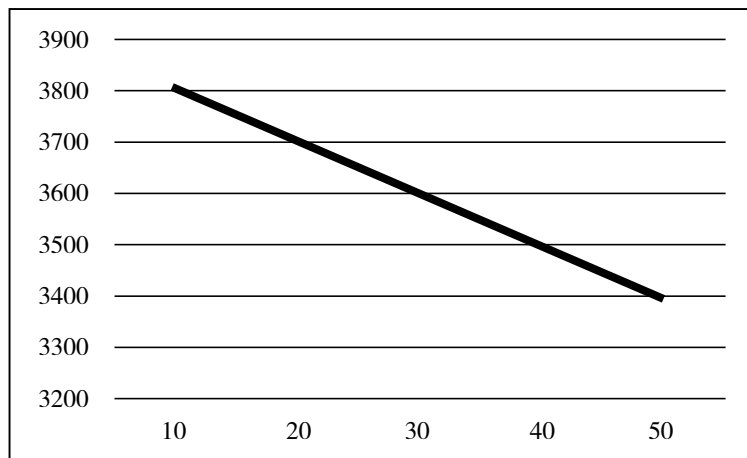
### 4.3 钢抱箍节点受力随温度变化有限元分析

高强度螺栓为钢抱箍提供的预紧力为 2030.4kN, 钢抱箍载荷在数值上等于高强度螺栓预紧力, 计算得钢抱箍常温下承载力为 3799.62N。在钢抱箍尺寸不变的状态下, 分别对  $10\text{℃}$ 、 $20\text{℃}$ 、 $30\text{℃}$ 、 $40\text{℃}$ 、 $50\text{℃}$  温度条件下的钢抱箍承载力变化进行分析。

由图 2 分析可知, 在其他因素保持不变的情况下, 随着环境温度的升高, 钢抱箍承载力性能呈现直线下降。桥梁实际作业环境温度最高  $<50\text{℃}$ , 由此可以推断钢抱箍在受作业环境温度影响承载力最小值为 3500N, 符合实际作业需求 [5]。

表1 不同法向刚度有限元分析

法相刚度因子	接触面正应力 /MPa	穿透量 /mm	时间 /s
0.5	40.155	0.005973	203.3
1	47.522	0.004567	315.8
3	53.167	0.003584	513.2
5	57.554	0.002347	831.3
7	58.322	0.001965	1355.6
10	58.933	0.001814	2341.7



(横坐标: 温度数值 /°C; 纵坐标: 钢抱箍承载力 /kN)

图2 温度变化对钢抱箍承载力影响变化

### 5 结语

随着我国建设行业的迅速发展,在桥梁顶升施工中出现了许多的施工新技术和新方法。由于工程施工所涉及的因素较多,要想切实保证工程施工质量,就要加强新产品、新技术的应用,提高建设生产水平。尤其是在当前这个新技术、新工艺不断涌现的时代,传统施工法已不能完全适应当今技术条件和市场环境的新要求。因此,新技术的推广应用对现代的可持续发展有着重要的现实意义。

本次研究中以浙江省某智慧快速路工程为研究对象,对桥梁顶升施工中钢抱箍节点受力性能进行分析。在桥梁顶层设计中钢抱箍达到理想的支撑作用,因此对钢抱箍节点受力性能进行分析。本项目使用的钢抱箍为注胶混合钢抱箍,即基础注胶钢抱箍与注胶钢抱箍结合使用。钢抱箍由两个半圆钢抱箍组合而成,因此半圆箍与墩柱之间产生的压力在数值上、方向上等于半圆箍的紧箍力。

在明确钢抱箍受力关系与数值的基础上对钢抱箍受力施工验算,包括方木分配梁、钢抱箍受力验算。

计算得出所需高强度螺栓的数量,以及每个高强螺栓提供预紧力时产生的拉力。对钢抱箍节点受力随温度变化进行有限元分析,结果显示在其他因素保持不变的情况下,随着环境温度的升高,钢抱箍承载力性能呈现直线下降。桥梁实际作业环境温度最高<50°C,由此可以推断钢抱箍在受作业环境温度影响承载力最小值为3500N,符合实际作业需求。

### 参考文献:

- [1] 张汉军,张新,张竞帆.钢管桩现浇横梁抱箍吊筋组合支承结构应用研究[J].中国水运(下半月),2022,22(07):140-142.
- [2] 吴执政.桥梁盖梁支架方案概述及工程实例[J].广东土木与建筑,2022,29(06):100-104.
- [3] 颜彬彬.钢抱箍架空支架在高速公路墩身盖梁施工中的应用[J].价值工程,2022,41(15):42-44.
- [4] 冯新府.桥梁顶升施工控制技术在工程中的应用[J].工程建设与设计,2022(07):165-167.
- [5] 殷小军.桥梁顶升施工控制要点[C]//第十二届建筑物建设改造与病害处理学术会议论文集,2018:51-53.