

# 纵缝混凝土浇筑对预制拱肋应力影响分析

## Analysis of the Effect of Longitudinal Concrete Pouring on the Stress of Precast Arch Rib

王子进 邵庆双 曹磊 任腾飞 刘昊阳

Zijin Wang Qingshuang Shao Lei Cao Tengfei Ren Haoyang Liu

中国建筑土木建设有限公司 中国·北京 100070

China Construction and Civil Engineering Construction Co., Ltd., Beijing, 100070, China

**摘要:** 缆索吊装施工方法是拱桥施工广泛采用的无支架施工方法。该方法具有跨越能力大、水平和垂直运输机动灵活、适应性广、施工比较稳妥方便等优点;缆索吊装的混凝土拱桥,拱圈截面由预制拱肋和现浇的纵缝混凝土和顶板混凝土组成,成拱后拱圈截面本质上是一个含有应力梯度分布的组合截面。论文以主跨 180m 的海马大桥为工程背景,采用 MIDAS/Civil 建立纵缝混凝土施工阶段模型,开展纵缝混凝土施工对合拢拱肋截面应力影响分析。

**Abstract:** Cable hoisting construction method is a widely used unsupported construction method in arch bridge construction. This method has the advantages of large span capacity, flexible horizontal and vertical transportation, wide adaptability, stable and convenient construction, etc; for the concrete arch bridge constructed by cable hoisting, the arch ring section is composed of precast arch rib, cast-in-situ longitudinal joint concrete and roof concrete. After arch forming, the arch ring section is essentially a composite section with stress gradient distribution. Taking Haima bridge with main span of 180m as the engineering background, this paper establishes the longitudinal joint concrete construction stage model by MIDAS/Civil, and analyzes the influence of longitudinal joint concrete construction on the section stress of closed arch rib.

**关键词:** 缆索吊装; 组合截面; 应力

**Keywords:** cable hoisting; composite section; stress

**DOI:** 10.12346/etr.v4i2.5523

## 1 引言

海马大桥位于中国贵州省系修文、金沙两县交界处跨越乌江干流的一座特大桥,位于乌江码头上游 3km 处。桥位至修文县城 62km,至金沙县城 66km;大桥是一座上承式钢筋混凝土箱形圆弧拱桥;拱圈净跨为 180m,矢跨比 1/5.5;拱圈截面为宽 7.8m、高 3.2m 的单箱三室构造,由预制拱肋、现浇纵缝和现浇顶板组成;设计行车速度为 40km/h,设计荷载为公路—I 级;桥面宽度为 9+2×1m 人行道;桥面铺装为厚 12cm 改性聚丙烯纤维微膨胀混凝土<sup>[1]</sup>。

## 2 Midas 建模分析

Midas/Civil 是一款集结构静力分析、动力分析、静力弹塑性分析、动力弹塑性分析、热传导分析、水化热分析、屈

曲分析、几何非线性分析等于一体的通用有限元分析软件;在实际结构建模时能够提供国际上多数国家的材料、截面数据库、混凝土收缩徐变规范、移动荷载规范;工程实际结构中的梁单元、桁架单元、只受拉/压单元、板单元、索单元、板单元、实体单元等多种属性单元有限元分析问题均可运用 Midas/Civil 进行解决。目前,该软件在桥梁结构、地下结构、港口等结构的分析均可运用,尤其是在桥梁结构分析方面,因其能够供方便的前处理模块、求解模块和后处理模块,被国内桥梁工作者广泛运用。运用 Midas/Civil 进行有限元分析关键步骤主要有工程材料定义、结构截面定义、结构离散化、结构单元属性定义等<sup>[2]</sup>。

### 2.1 材料与边界条件定义

论文建立海马大桥有限元模型时,预制拱肋已经完成由

【作者简介】王子进(1989-),男,中国山东曹县人,硕士,工程师,从事大跨度桥梁施工与分析研究。

悬臂吊装到松索成拱施工的体系转换,拱脚铰已经完全封闭,故拱脚位置边界定义为固结;对拱上建筑进行数值模拟时,对拱上立柱以 Midas 程序提供的弹性连接中的刚性连接建立其与主拱圈的连接边界;对桥面板与立柱的边界条件的模拟,用 Midas 程序提供的刚性连接进行边界条件的近似模拟。

根据工程材料特性定义材料特性如表 1 所示。

表 1 工程材料特性定义材料特性

材料名称	部位	弹性模量 (MPa)	泊松比	容重 (kg/m <sup>3</sup> )
C50 砼	主拱圈	3.4500e+004	0.2	2549
C50 砼	桥面板	3.4500e+004	0.2	2549
C30 砼	拱上立柱	3.0000e+004	0.2	2549

根据截面特性计算出纵缝混凝土恒载为 29.25kN/m。

## 2.2 拱肋合龙阶段应力计算

拱肋作为后续拱圈混凝土施工的支架,首先会进行预制拱肋吊装合龙施工,在拱肋合龙状态,结构仅承担其自身恒载,见图 1。

由图 1 所示计算结果可知,在预制拱肋合龙状态,拱肋上缘压应力最大值为 5.58MPa,出现在拱脚位置;拱肋上缘最小压应力值为 2.15MPa,出现在 L/8 位置;在 L/4 位置处,拱肋上缘压应力值为 2.93MPa;在 3L/8 位置处,拱肋上缘压应力值为 4.33MPa;拱顶位置,拱肋上缘压应力值为 4.98MPa。

由图 2 所示计算结果可知,预制拱肋合龙后,预制拱肋在自身恒载作用下,拱脚位置,拱肋下缘压应力为 2.9MPa;拱肋下缘最大压应力值为 4.9MPa,出现在 L/8 位置处;拱肋下缘最小压应力值为 1.89MPa,出现在拱顶位置;在 L/4 位置,拱肋下缘压应力值为 3.85MPa;在 3L/8 位置,拱肋下缘压应力值为 2.49MPa。

通过提取拱肋各截面轴力和弯矩计算出拱肋合龙状态

下,恒载压力线与拱轴线偏心计算(单位:m),见表 2。

表 2 拱肋合龙状态下,恒载压力线与拱轴线

截面位置	拱脚	L/8	L/4	3L/8	拱顶
偏心距	0.290	-0.324	-0.118	0.246	0.419

注:表中负号表示下偏心。

## 2.3 纵缝施工阶段应力计算

在本工况下,纵缝混凝土湿重荷载以梁单元荷载形式施加在合龙预制拱肋上,根据设本桥计图纸文件,计算出纵缝混凝土湿重为 29.25kN/m,以梁单元荷载形式加载在已经合龙预制拱肋单元上;在该工况下,由于纵缝截面混凝土截面不参与截面受力,其恒载全部由合龙拱肋承担<sup>[3]</sup>。

由图 3 所示计算结果可知,在纵缝混凝土浇筑完成阶段,由于纵缝混凝土恒载由拱肋承担,拱肋截面在自身混凝土恒载和纵缝混凝土恒载共同作用下,使得拱肋在拱脚位置截面上缘最大压应力,由拱肋合龙状态下的 5.58MPa 增大至 6.6MPa;在 L/8 位置处,拱肋截面上缘最小压应力由 2.15MPa 增大至 2.58MPa;在 L/4 位置,拱肋截面上缘压应力由 2.93MPa 增大至 3.47MPa;在 3L/8 位置,拱肋截面上缘压应力由 4.38MPa 增大至 5.17MPa;拱顶位置,拱肋截面上缘压应力,由 4.98MPa 增大至 5.89MPa。

由图 4 所示计算结果可知,纵缝混凝土浇筑完成阶段,合龙拱肋在自身混凝土恒载和纵缝混凝土恒载共同作用下,在拱脚位置,拱肋截面下缘压应力由拱肋自身恒载作用下的 2.9MPa 增加至 3.43MPa;在 L/8 位置处,拱肋截面下缘最大压应力,由拱肋合龙状态的 4.9MPa 增加至 5.8MPa;在 L/4 位置处,拱肋截面下缘压应力由 3.85MPa 增大至 4.56MPa;在 3L/8 位置,拱肋截面下缘压应力由 2.49MPa 增大至 2.94MPa;拱顶位置,拱肋截面下缘的最小压应力由 1.9MPa 增大至 2.24MPa。

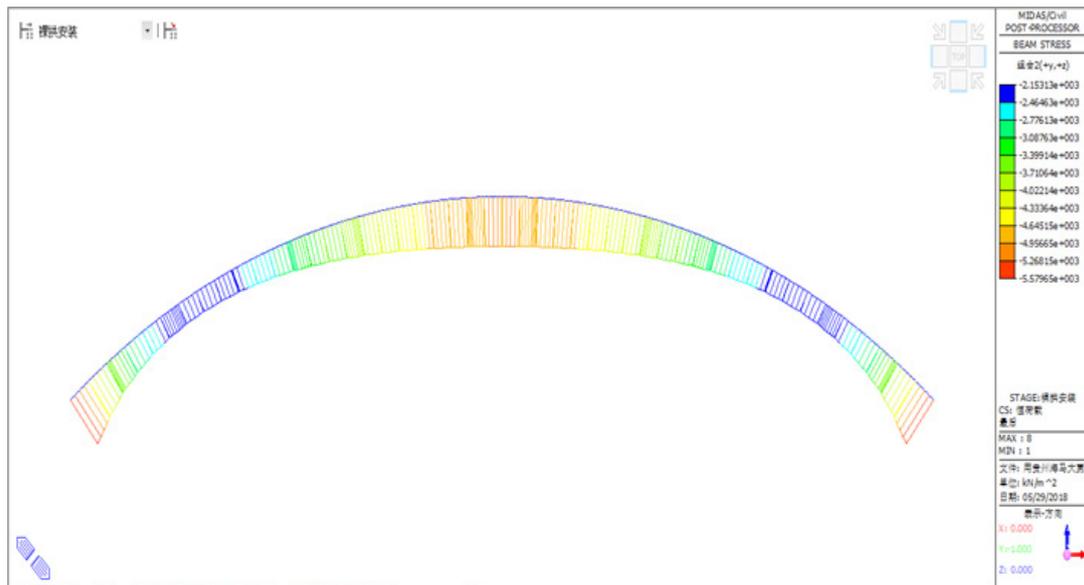


图 1 拱肋合龙转状态拱肋上缘应力

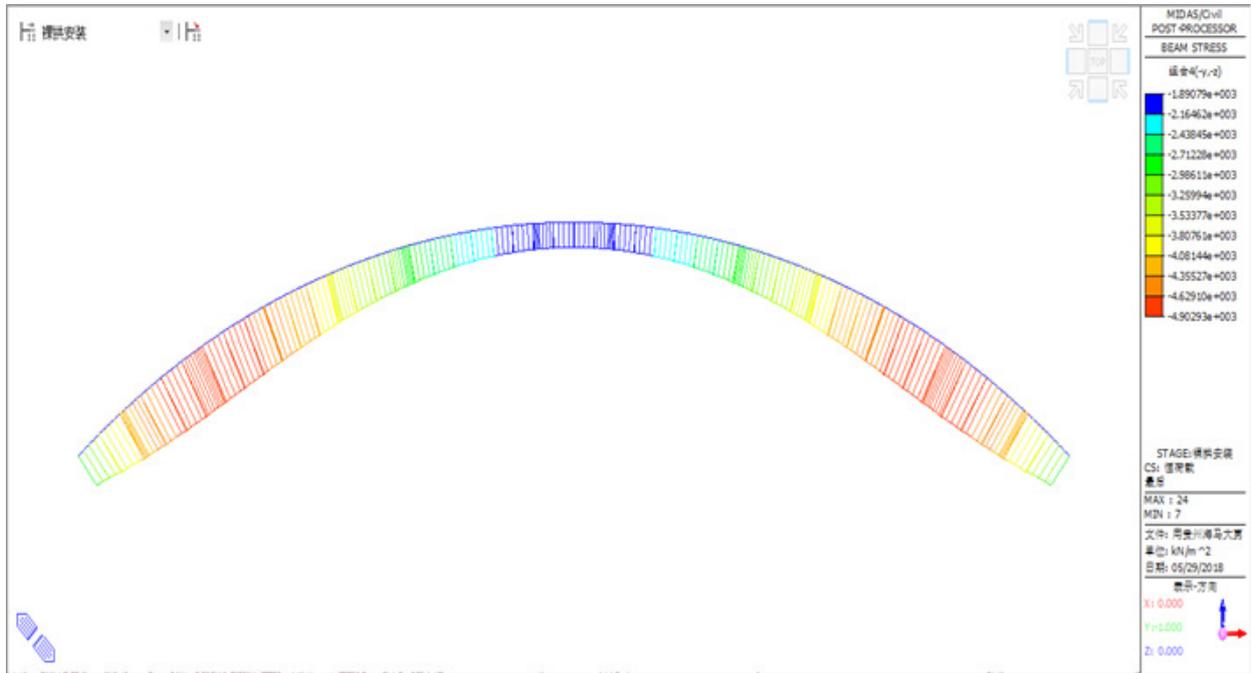


图 2 拱肋合龙转状态拱肋下缘应力

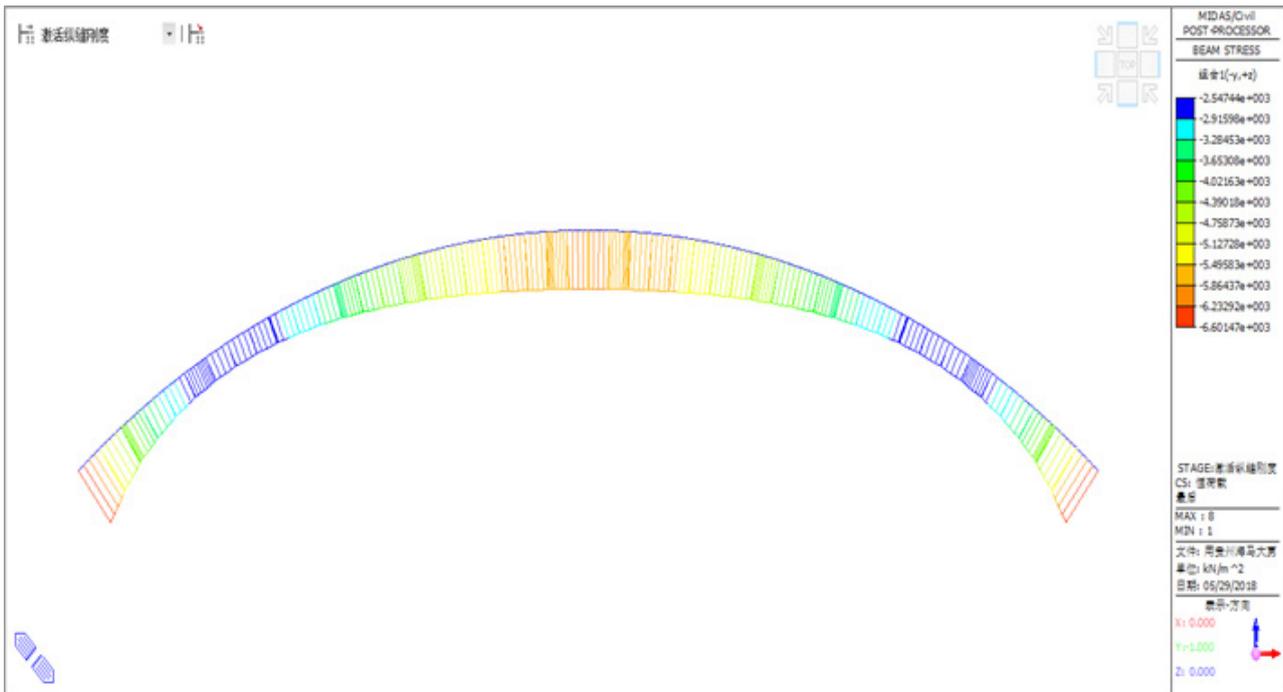


图 3 纵缝混凝土浇筑完成拱肋上缘应力

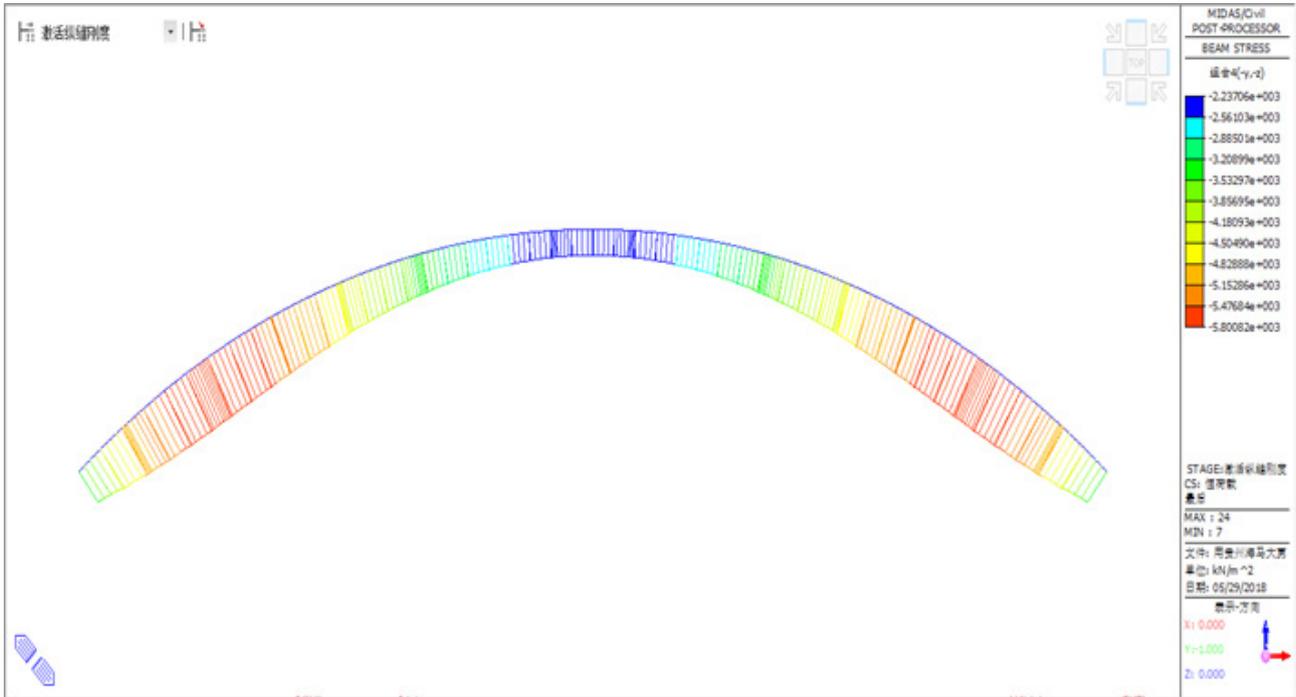


图 4 纵缝混凝土浇筑完成拱肋下缘应力

通过提取拱肋各截面轴力和弯矩计算出纵缝混凝土施工完成状态下，恒载压力线与拱轴线偏心计算（单位：m），见表 3。

表 3 纵缝混凝土施工完成状态下，恒载压力线与拱轴线

截面位置	拱脚	L/8	L/4	3L/8	拱顶
偏心距	0.290	-0.324	-0.118	0.246	0.419

注：表中负号表示下偏心。

### 3 结论

对缆索吊装分阶段施工成拱的混凝土拱圈，由于在成拱过程中混凝土恒载基本均由组合截面中的拱肋截面承担，使得在成拱后组合截面中预制拱肋截面应力大于相应位置一次落架成拱的应力，且使得在成拱后的组合截面中的各组分

截面间存在较大应力梯度；由于应力梯度的存在使得在拱圈极限承载力无法按照一次成拱状态的拱圈进行计算。

分阶段成拱的混凝土拱圈，与一次落架成拱相比在分阶段成拱过程中，恒载压力线与拱轴线的偏心距不会产生明显变化。

论文可指导采用增大截面法加固的混凝土拱桥极限承载力计算。

### 参考文献

- [1] 汪开喜. 缆索吊装施工拱桥合龙方式对主拱圈内力影响研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
- [2] 王子进. 缆索吊装混凝土拱桥主拱受力性研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2018.
- [3] 李玉珍. 纵缝对混凝土重力坝变化的影响[J]. 水利水电快报, 1996(15): 26-31.