

文章编号: 1006—2106(2009)02—0064—05

斜拉—拱组合桥索梁及索塔锚固区局部应力分析^{*}

涂杨志^{**}

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要: 研究目的: 湘潭市莲城大桥主桥采用 120 m+400 m+120 m斜拉飞燕式钢管混凝土拱桥, 斜拉索锚固在边梁、桥塔以及钢管混凝土拱上, 锚固形式独特新颖。本文建立索梁及索塔锚固的三维有限元模型, 分析这些部位的局部应力。计算结果对同类型桥梁的设计具有一定参考价值。

研究结论: 索梁及索塔锚固区受复合力(索力、弯矩)作用, 在锚块与梁体和桥塔连接处会出现较大的主压应力及主拉应力, 设计时应加大此处配筋。另外, 斜拉索在梁顶面及塔外壁也会产生较大的拉应力, 在锚垫板下方会产生较大压应力, 设计也应加以重视。

关键词: 索梁; 索塔; 锚固区; 局部应力分析

中图分类号: U455 **文献标识码:** A

Analysis of the Local Stress in Cable—beam and Cable—tower Anchorage Zone of Cable—stayed Arch Combined Bridge

TU Yang—zhi

(China Railway Survey & Design Group Co. Ltd. Wuhan, Hubei 430063, China)

Abstract: Research Purposes: The main bridge of Xiang'an Liancheng Bridge is a flying—bird type concrete—filled steel tube cable—stayed arch combined bridge with spans arrangement of 120+400+120 m. The cable—stayed is anchored on the side beam, bridge tower and concrete—filled steel tube arch, which is unique and novel. This paper analyzes the local stress in the anchorage zone of cable—beam and cable—tower with three—dimensional finite element model for providing the reference to similar works.

Research conclusions: Because the anchorage zones of cable—beam and cable—tower is affected by complex force such as cable force, moment, there are larger main—crush stress and pull stress existing in connected area of anchorage zone and beam or tower. The anchorage zones should be reinforced by steel. In addition, because there is larger main—pull stress existing in the area where the cable passes through the top face of beam and outside of tower, larger main—crush stress exists on the bottom of anchor steel plate.

Key words: cable—beam; cable—tower; anchorage zone; local stress analysis

1 工程概况

湘潭市莲城大桥是一座特大城市桥, 位于湖南省湘潭市二环线上, 主桥采用 120 m+400 m+120 m斜

拉飞燕式钢管混凝土拱组合桥(如图 1)。斜拉拱组合桥结构独特, 造型新颖, 于 2007年 7月 12日建成通车, 运营状况良好, 索梁及索塔锚固安全、可靠。

边跨主梁采用双边主梁截面形式, 边主梁采用箱

^{*} 收稿日期: 2008—11—08

^{**} 作者简介: 涂杨志, 1977年出生, 男, 工程师。

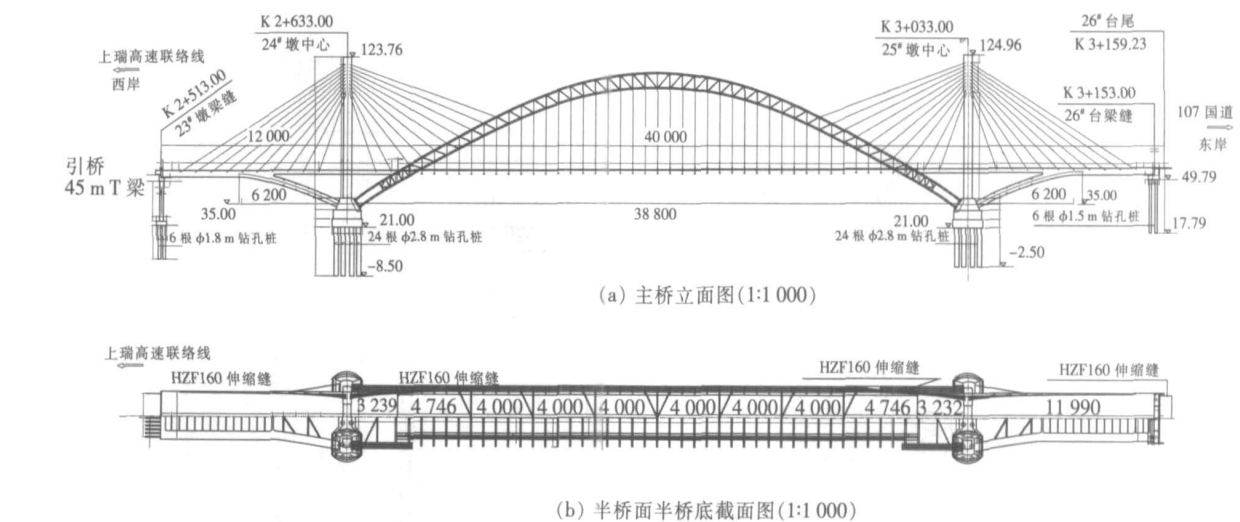


图 1 湘潭莲城大桥主桥平、立面示意图(单位: m)

形截面, 两边主梁之间由桥面板和横梁连接。桥塔采用直线和圆曲线组成的花瓶形混凝土索塔, 塔身包括上塔柱、中塔柱、下塔柱。上塔柱为斜拉索锚固区域, 塔柱采用单箱单室矩形截面。每塔塔肢上锚有 10 对斜拉索 (共 56 根), 斜拉索在塔上的基本索距为 2 m。在主梁一侧锚固有 12 对斜拉索 (共 48 根索), 索距为 10 m。在主拱锚固的 8 对索 (共 64 根, 根据构造需要, 采用双索布置), 在主跨拱上锚固的水平距离为 80 m。斜拉索采用 $\phi 7$ 低松弛预应力镀锌钢丝, 抗拉标准强度 1 670 MPa, 两端采用 PEST 系列冷铸墩头锚。根据索力大小, 其规格分别为 $61\phi 7$ 、 $139\phi 7$ 以及 $187\phi 7$ 。

斜拉拱组合桥是以拱受力为主, 斜拉索受力为辅, 索梁及索塔锚固区局部应力分析可以参考一般斜拉桥的锚固区局部应力分析。斜拉—拱组合桥拉索通过混凝土锚块锚固在边梁和桥塔上 (见图 2、图 3), 锚固区须承受拉索强大拉力的集中作用以及因偏心产生的弯矩作用, 由此导致锚固区域内的应力分布极为复杂。拉索锚固安全可靠是桥梁设计的关键。本文通过三维有限元模型对锚固区应力进行分析, 获得该锚固区局部应力的分布规律, 可为该桥设计 (特别是锚块的配筋) 提供十分重要的参考依据。本文的分析计算结果, 也可供其它同类桥梁的锚固区设计提供参考。

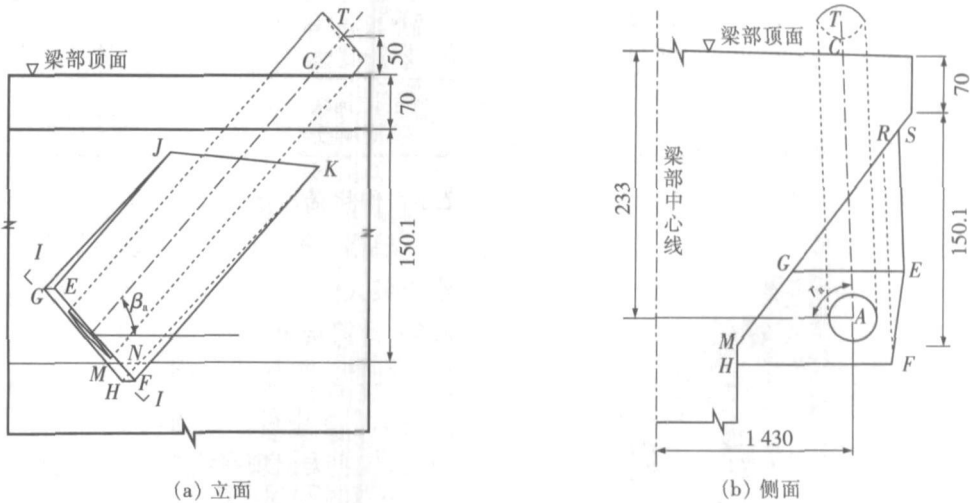


图 2 梁上锚固块构造图(单位: m)

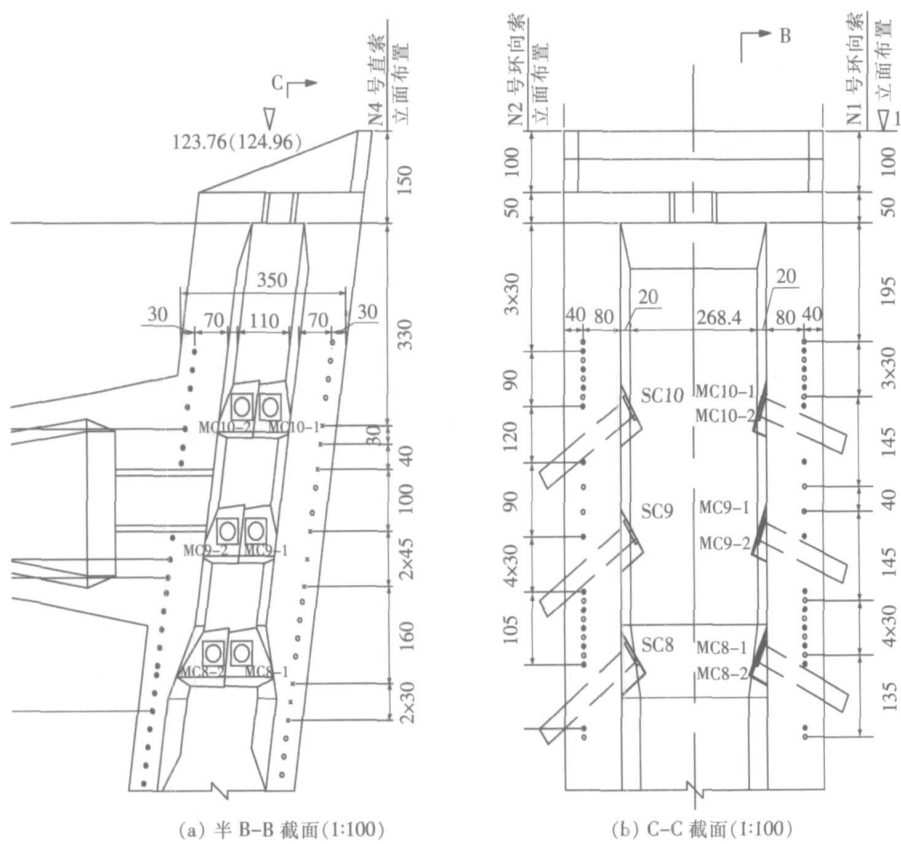


图 3 塔上锚固块构造图 (单位: mm)

2 索梁锚固区局部应力分析

2.1 计算分析模型的选取

12根斜拉索锚固在主梁一侧(边跨侧10根,主跨侧2根)为包络计算,计算选取桥塔最外两侧锚块进行分析,即SC10、MC2、MC2锚块分析模型是截取至边主梁主跨伸缩缝至锚点左5m处,SC10锚块分析模型是截取至边主梁边跨伸缩缝至锚点右5m处。

2.2 模型单元的划分

计算分析结构模型主要包括有梁体和锚块两部分,采用solid45单元自由网格划分。锚块MC2模型划分成51675个solid45单元,如图4所示。

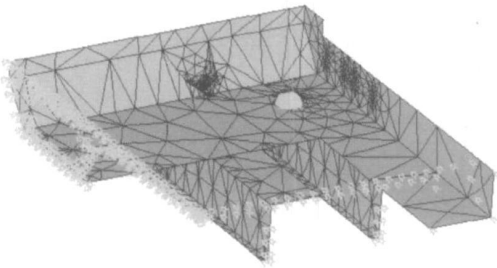


图 4 锚块MC2单元划分模型

2.3 模型的约束边界条件模拟

锚块MC2计算模型底部支承在主拱肋间横撑上,

可视为竖向约束;锚点左5m处梁体截面上视为固定约束,横向沿桥纵向轴线视为对称约束。

2.4 计算模型的材料参数(见表1)

表 1 计算模型的材料参数一览表

结构部位	使用材料	弹性模量 / Pa	泊松比	密度 / (kg·m ⁻³)
锚垫板、锚杯、支座预埋板	钢	2.1E11	0.333	7850
梁体、锚块和横隔板	钢筋混凝土	3.5E10	0.2	2500

2.5 作用荷载的模拟

根据全桥纵向计算,施加的索力为各组合工况中索力最大值。MC2号索组合下最大索力为4682kN。

2.6 计算结果分析

计算结果如图5、图6、图7所示。
从图5中可见在锚块中,一般拉应力在1.9MPa以内,拉应力出现在锚板角点接触的锚块混凝土中,最大拉应力约6.01MPa;在锚块与侧壁连接的塔壁区域,也出现有拉应力集中现象,约达5MPa;从图6可以看出,梁上锚块一般压应力在22MPa以内,最大压应力出现在锚板下侧,斜拉索预埋钢管外缘,最大主压应力约39.8MPa;从图7可以看出,斜拉索出梁口处四周也出现拉应力集中,最大主拉应力约为3.29MPa。

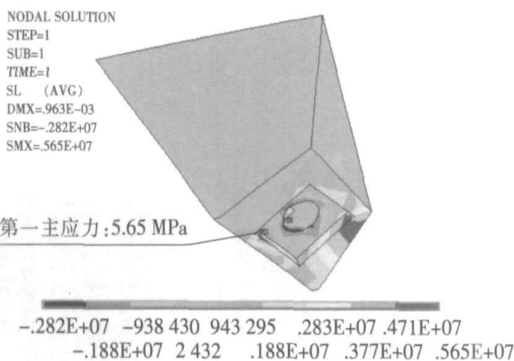


图 5 锚块 MC2 主拉应力等值云图

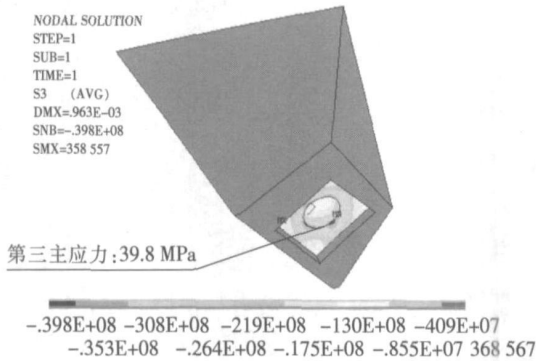


图 6 锚块 MC2 主压应力等值云图

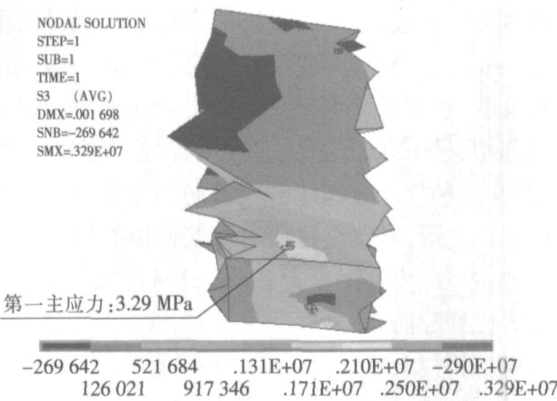


图 7 锚块 MC2 附近梁体主拉应力等值云图

3 索塔锚固区局部应力分析

3.1 计算分析模型的选取

每肢塔柱上有 10 对 28 根斜拉索, 主拱上锚固 8 对斜拉索, 采用双索布置共 16 根, 其余 12 根锚固在梁上。由于齿块形式有 2 种, 因此计算分 2 种工况进行分析: 工况 a 两侧均锚固在梁上拉索 SC1、SC2、MC1、MC2 这二对索拉力最大; 工况 b 一侧锚固在梁上, 一侧锚固在拱上拉索 SC3、SC6、SC7、MC5-1、MC5-2、MC6-1、MC6-2、MC7-1、MC7-2 两种工况进行计算。因工况 b 齿块结构复杂, 本文只列出此工况计算结果。

3.2 模型单元的划分

计算分析结构模型主要包括有塔柱、横梁和锚块三部分, 采用 solid45 单元自由网格划分。工况 b (锚块 5、6、7): 模型划分成 50 171 个 solid45 单元, 如图 8 所示。

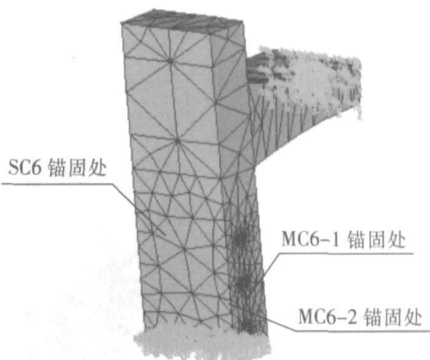


图 8 工况 b 单元划分模型

3.3 模型的约束边界条件模拟

该计算模型为截取从桥塔中横梁以上塔柱部分, 在模型底部表面可视为固定约束; 全桥上下游以桥轴中心线对称, 上横梁处可视为对称约束。

3.4 计算模型的材料参数表 (见表 2)

表 2 计算模型的材料参数表

结构部位	使用材料	弹性模量 / Pa	泊松比	密度 / (kg·m ⁻³)
锚垫板、锚杯、支座预埋板	钢	2.1E11	0.333	7850
梁体、锚块和横隔板	钢筋混凝土	3.5E10	0.2	2500

3.5 作用荷载的模拟

根据全桥纵向计算, 施加的索力为各组合工况中索力最大值。在工况 b 中加载索力: SC7、MC7-1、MC7-2、SC6、MC6-1、MC6-2、SC5、MC5-1、MC5-2 号索组合下最大索力分别为 3 283 kN、2 999 kN、2 999 kN、3 245 kN、2 944 kN、2 944 kN、3 142 kN、2 934 kN、2 934 kN。

3.6 计算结果分析

计算结果如图 9~图 14 所示。

从图 9、图 11、图 13 中可看出在锚块主拉应力一般在 5.0 MPa 以内, 从图 11 可见, 在锚块 MC5、MC6、MC7 中, 拉应力出现在锚块与塔内壁倒角连接的区域, 最大拉应力约 2.88 MPa。从图 9 可以看出, 在锚块 SC5、SC6、SC7 中, 最大拉应力出现在锚板角点接触的锚块混凝土中, 集中拉应力约 5.14 MPa。从图 13 可以看出, 斜拉索出塔口上缘也会出现拉应力, 最大拉应力约 5.84 MPa。

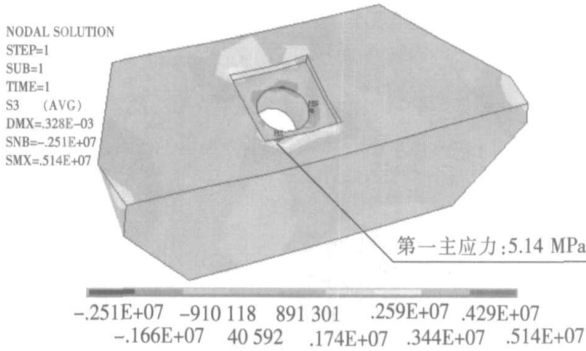


图 9 工况 b 锚块 SC6 主拉应力等值云图

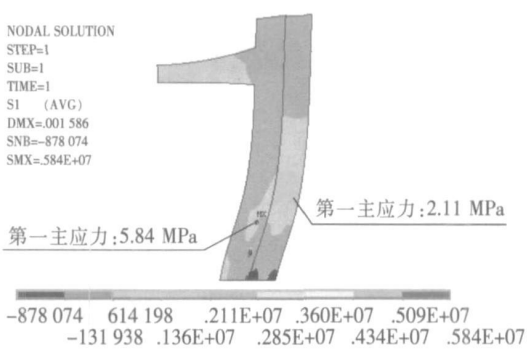


图 13 工况 a 塔柱主拉应力等值云图

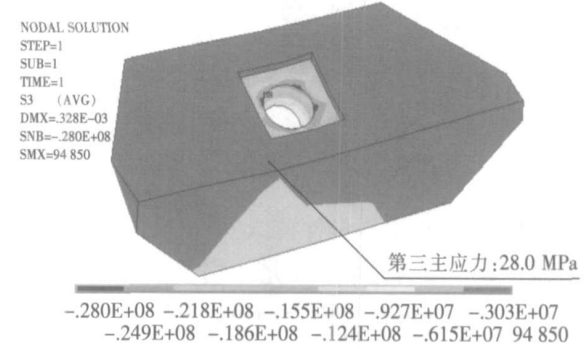


图 10 工况 b 锚块 SC6 主压应力等值云图

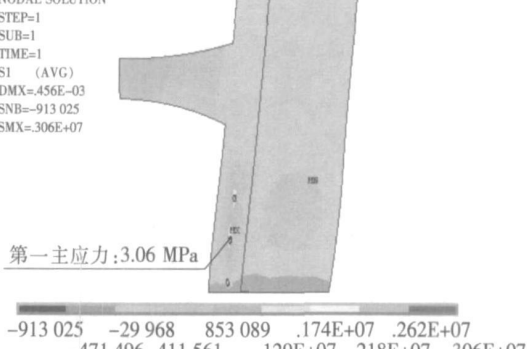


图 14 工况 b 塔柱主拉应力等值云图

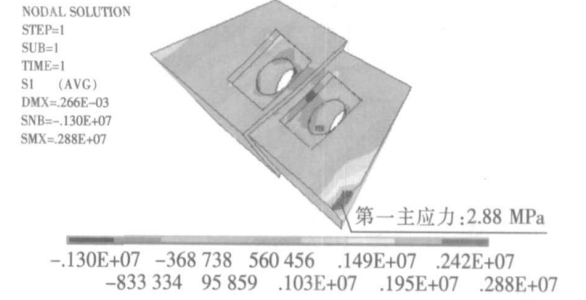


图 11 工况 b 锚块 MC6 主拉应力等值云图

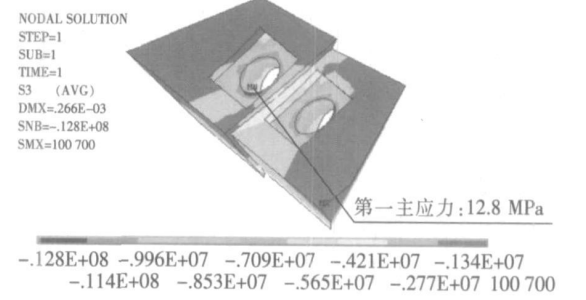


图 12 工况 b 锚块 MC6 主压应力等值云图

5 结 论

通过上述对斜拉拱组合桥索塔、索梁锚固区进行实体有限元分析,可得到如下几点结论:

(1) 索梁锚固局部区域最大主拉应力主要位于锚块顶端与梁连接处部位,索塔锚固局部区域最大主拉应力主要位于锚块顶端与塔壁连接处部位,这一计算结果反映,在该区域由于一方面要承受锚块传递的索拉力作用,另一方面还要承受由该索拉力产生的弯矩作用,在这种复合力作用下使该局部区域发生向塔内侧的局部变形,导致在锚块与侧壁连接的塔壁处出现较大的主压应力及主拉应力。设计时应加以重视。可以加大此处配筋。

(2) 斜拉索在梁顶面出口上缘处出现有较大的拉应力,以及在塔外壁出口上缘处也出现有较大的拉应力设计时建议在此处增加钢筋网片。

(3) 锚垫板下侧斜拉索预埋钢管处压应力较大,应重视此处锚板下螺旋筋及预埋钢管的设计。

参考文献:

[1] 王庭正, 罗世东, 王新国, 等. 湘潭市莲城大桥总体设计 [J]. 桥梁建设, 2008 (3): 37—40
[2] 李新平, 梁敏. 斜拉桥塔索锚固区局部应力分析 [J]. 工程设计 CAD 与智能建筑, 2001 (10): 23—25
[3] 许惟国, 何广汉. 连续刚构桥锚固区局部应力的研究 [J]. 西南交通大学学报, 2004 (6): 371—374

(编辑 梅志山)