

结构参数对矮塔斜拉桥结构受力性能的影响分析

王 彬

(山西省交通科学研究院,山西 太原 030006)

摘要:从边中跨比、索塔高跨比、无索区长度、主梁梁高 4 个参数方面研究其对跨中长距离等截面矮塔斜拉桥的主梁变形、内力及斜拉索索力等结构性能的影响,分析出各个参数在此类桥型中的合理取值范围,为以后的矮塔斜拉桥设计提供参考。

关键词:矮塔斜拉桥;边中跨比;索塔高跨比;无索区长度;梁高;结构性能

中图分类号:U448.27 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2015)04-0016-06

0 引言

矮塔斜拉桥是介于连续梁(刚构)与斜拉桥之间的一种桥型,具有塔矮、梁刚、索集中的特点;受力行为上有大部分外荷载由梁受弯、受剪来承受,斜拉索起辅助作用,承担部分荷载,对后期运营阶段桥梁跨中下挠有显著的改善作用^[1-2]。目前常规大跨径矮塔斜拉桥主梁设计大都按连续梁(刚构)设计思路进行变截面设计,主梁从墩顶到跨中都是变截面高度梁,但由于矮塔斜拉桥每根索在主梁上的锚固端都有一道横隔板,变高度梁给设计与施工带来很多繁琐工序,而且也不经济^[3-4]。参考大跨斜拉桥主梁形式,充分考虑拉索的作用,可以使矮塔斜拉桥拉索区梁段和跨中无索区梁段主梁设计成等高主梁,如图 1 所示。主梁变化范围仅在墩顶无索区段,这样优化带来的优点有:设计、施工工序简化,工期缩短;经济性指标更好;造型简洁美观。

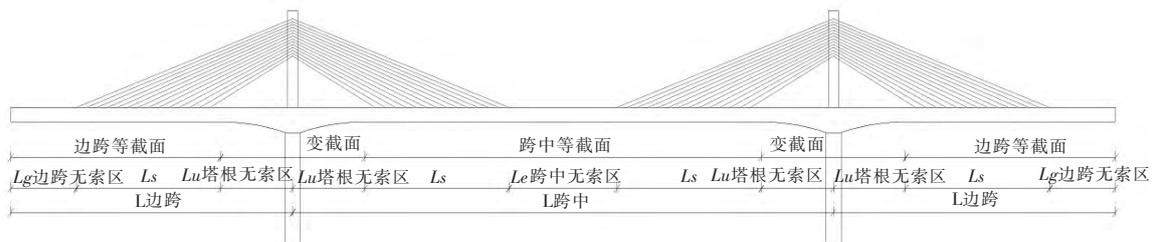


图 1 中跨长距离等截面矮塔斜拉桥示意图

矮塔斜拉桥为高次超静定结构,整体结构受力状态很大一部分取决于主梁的刚度、拉索布置长度、以及索塔的高度,边中跨比也是影响结构性能的重要参数。本文结合矮塔斜拉桥的结构特点,分析这些参数之间的变化规律,对以后同类桥梁的设计具有参考价值。

1 边中跨比的影响分析

矮塔斜拉桥边中跨比是一个重要参数,比例太小会导致边跨支点处出现负拉力;比例太大,则边跨会出现较大的正弯矩,给斜拉索的调索和边跨的配束带来困难,无论哪种情况都要尽量避免。本文以某工程为优化背景,保持主跨跨度、主梁高度、主塔高度和斜拉索参数不变,选取主梁关键点内力及最大挠度为分析目标,研究成桥状态下边跨比例对结构性能的影响^[4-5]。

收稿日期:2014-09-30 责任编辑:刘宪福 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxbzb.2015.04.04

作者简介:王彬(1984-),男,工程师,工学硕士,从事桥梁工程设计工作。E-mail:wangbin507705@163.com

王彬. 结构参数对矮塔斜拉桥结构受力性能的影响分析[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版,2015,28(4):16-21.



图 2 中跨长距离等截面矮塔斜拉桥结构离散图

采用 MIDAS 分析软件建立有限元模型,如图 2 所示。通过调整边跨现浇段长度来实现边中跨比例的变化。对 5 种不同的边主跨比 $\gamma=0.5、0.55、0.60、0.65、0.7$ 进行成桥状态分析,结果如图 3 所示。

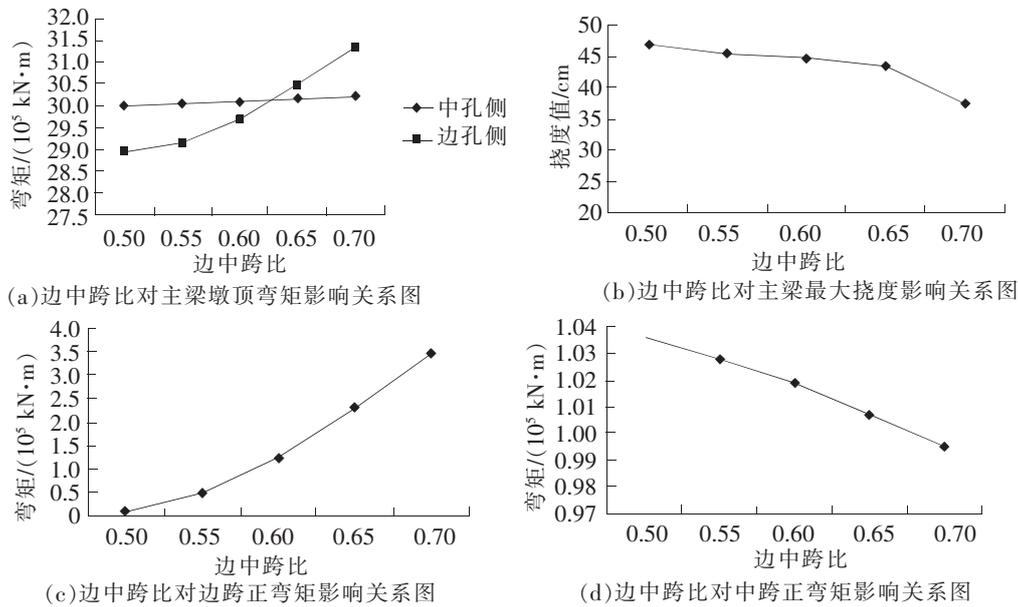


图 3 边中跨比对主梁受力影响分析关系图

从图 3 可以看出,随着边中跨比 γ 的增大,主梁墩顶中孔侧的负弯矩基本不变,而边孔侧的负弯矩迅速增大,增加了 38.3%;主梁最大挠度及主梁中跨正弯矩逐渐减少,但减少幅度不大;边跨跨中的正弯矩急剧增加,增大了将近 38 倍,这是由于边跨的增大,拉索承担的荷载比例降低,边孔主梁的荷载增大,进而增大了边跨正弯矩。综上所述,边中跨比只有取在较合理的范围内,主梁各项设计指标才能最优化,从本例的分析数据,边中跨比取 0.5~0.65 是合理的,但在实际设计实践中应进行合理的计算比对来确定边中跨比的大小。

2 索塔高跨比的影响分析

索塔的作用是通过改变斜拉索倾角来影响主梁结构性能。保持边主跨跨径布置、主梁高度和斜拉索参数不变,选取主梁关键点内力及最大挠度为分析目标,研究成桥状态下索塔高跨比对结构性能的影响。对 5 种不同的索塔高跨比 $k=0.09、0.11、0.13、0.15、0.18$ 进行成桥状态分析,结果如图 4 所示。

从图 4 可以看出,随着索塔高跨比的增大,主梁墩顶边、中孔侧的负弯矩迅速减小,降低了约 67.4%;主梁最大挠度及边、中跨正弯矩随着索塔高跨比的增大单调减少,但减少幅度不大。由此可以看出,索塔高度对全桥的力学性能影响较大,索塔越高,主梁受力性能越好,但这样拉索承担的活荷载也就越大,当拉索的活载系数大于 33% 时,此类桥梁已跨入斜拉桥范畴^[1]。从本例的分析数据,索高跨比取 0.09~0.15 是合理的,但在实际设计实践中应进行合理的计算比对来确定边索塔跨高比的大小。

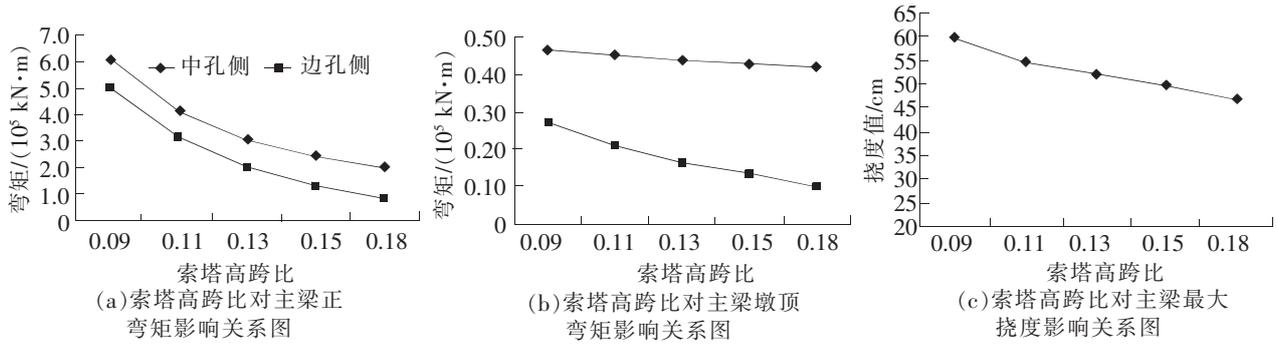


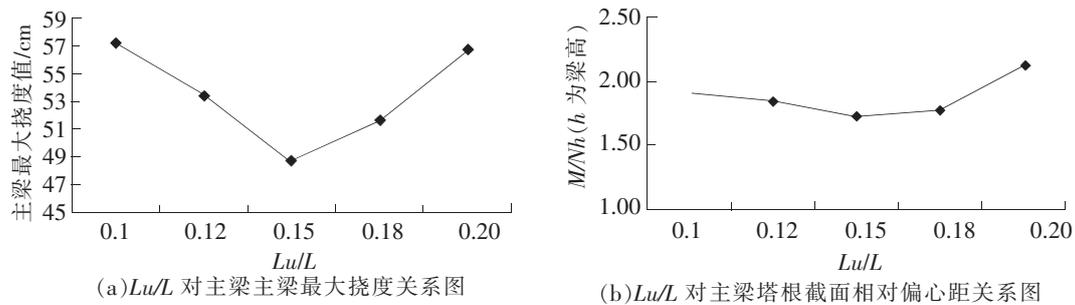
图 4 索塔高跨比对主梁受力影响分析关系图

3 无索区长度的影响分析

无索区分为塔根无索区、跨中无索区及边跨无索区。此类桥型主梁刚度较大,归类于刚梁类预应力混凝土矮塔斜拉桥。本文针对此类桥型的无索区长度通过改变斜拉索在主梁上的锚固位置来实现,索塔、主梁及拉索的刚度,全桥基本尺寸保持不变,选取主梁关键点内力及最大挠度为分析目标,分别研究成桥状态下塔根无索区、跨中无索区长度对结构性能的影响。边跨无索区长度可根据跨中无索区长度及边中跨比确定。

3.1 塔根无索区长度的影响分析

当塔根无索区长度 L_u 变化时,保持边跨及中跨无索区长度不变,拉索根数不变,仅改变拉索的倾角和锚固位置。对 5 种不同的索塔高跨比 $k_1 = 0.1, 0.12, 0.15, 0.18, 0.2$ 进行成桥状态分析,结果如图 5 所示。

图 5 L_u/L 对主梁受力影响分析关系图

从图 5 可以看出,随着塔根无索区长度的增大,主梁最大挠度先减少后增加,在比值为 0.15 左右挠度值最小;主梁塔根截面相对偏心距也是先减少后增大,在比值为 0.15 左右挠度值最小。

3.2 跨中无索区长度的影响分析

当跨中无索区长度 L_e 变化时,保持边跨及塔根无索区长度不变,拉索根数不变,仅改变拉索的倾角和锚固位置。对 5 种不同的索塔高跨比 $k_2 = 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4$ 进行成桥状态分析,结果如图 6 所示。

从图 6 可以看出,随着跨中无索区长度的增大,主梁最大挠度先减少后增加,在比值为 0.3 左右挠度值最小;主梁塔根截面相对偏心距也是先减少后增大,在比值为 0.3 左右挠度值最小。

从本例的分析数据来看,塔根无索区长度及跨中无索区长度与中跨长度比值分别取为 0.15 和 0.3 附近是合理的,这与《公路斜拉桥设计细则》中关于矮塔斜拉桥“索塔附近宜取 0.15~0.2 倍主跨跨径;中跨跨中宜取 0.20~0.35 倍的中跨跨径”的结论相符合^[6]。

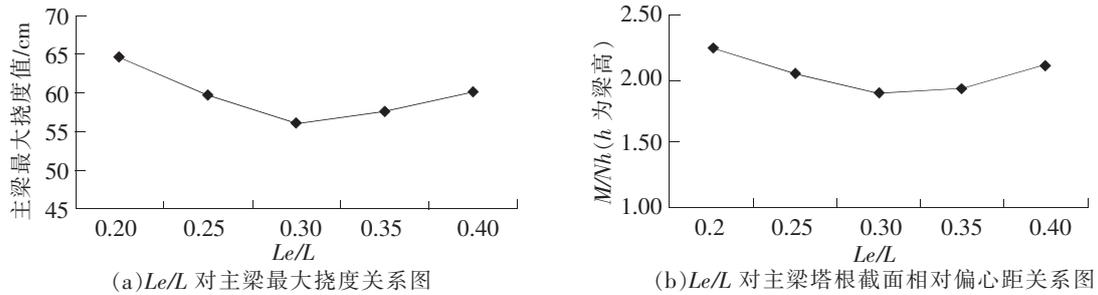


图 6 Le/L 对主梁受力影响分析关系图

4 主梁梁高的影响分析

对于大跨径预应力混凝土矮塔斜拉桥,主梁受力带有明显的偏心受压情况,采用整体性能和抗扭性能出色的变截面箱梁是合适的。对于本文跨中等截面梁长度较长的结构特点,按照常规连续梁(刚构)主梁高度取法,势必造成主梁刚度不足,降低主桥受力性能。针对这种情况本文从跨中截面高度和墩顶截面高度,两者在塔根无索区段采用 2 次抛物线形式过度。

4.1 跨中梁高的影响分析

当主桥跨中梁高 h 变化时,保持边主跨跨径布置、墩顶主梁高度和斜拉索参数不变,选取主梁关键点内力及最大挠度为分析目标,研究成桥状态下跨中梁高对结构性能的影响。对 5 种主梁高度 h 主跨 L 的比值 $\beta=1/60, 1/55, 1/50, 1/45, 1/40$ 进行成桥状态分析,结果如图 7 所示。

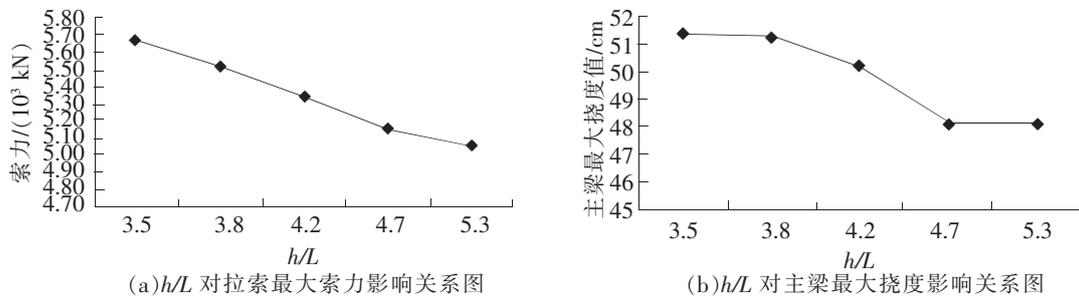


图 7 h/L 对拉索及主梁受力影响分析关系图

从图 7 可以看出随着跨中梁高的增大,拉索的最大拉力逐渐降低,这是由于主梁刚度随之增大,承担的荷载比例也增大,所以拉索分担的荷载减少;主梁最大挠度也是随着主梁刚度的增大呈现降低趋势,但在 β 较小段变化很小,随着 β 值增大,主梁最大挠度下降趋势明显,当 β 值增大到一定程度,挠度值几乎不变,这说明了 β 值集中在 $1/55 \sim 1/45$ 之间是主梁受力性能变化最明显区间。

4.2 索塔底梁高的影响分析

当主桥索塔底梁高 H 变化时,保持边主跨跨径布置、墩顶主梁高度和斜拉索参数不变,选取主梁关键点内力及最大挠度为分析目标,研究成桥状态下索塔底梁高对结构性能的影响。对 5 种主梁高度 H 主跨 L 的比值 $\Delta=1/45, 1/40, 1/35, 1/30, 1/25$ 进行成桥状态分析,结果如图 8 所示。

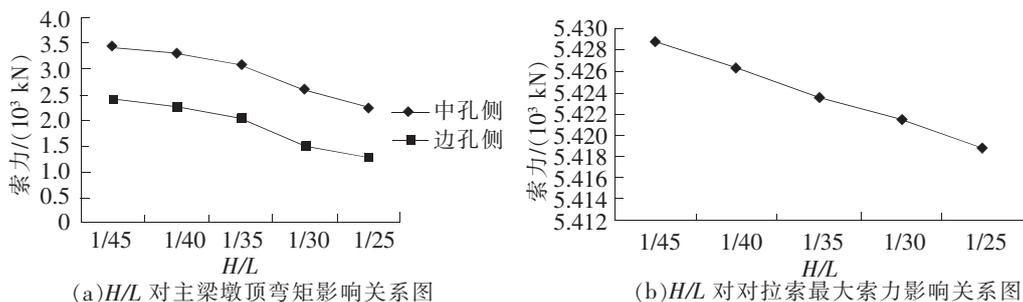


图 8 H/L 对主梁及拉索受力影响分析关系图

从图 8 可以看出,随着塔根梁高的增大,主梁墩顶弯矩有减少的趋势,当 $H/L=1/30$ 时,弯矩变化最大,比 $H/L=1/35$ 降低了 20% 左右;拉索的最大拉力也随着塔根梁高的增大而逐渐降低趋势,但当 $H/L=1/30$ 时拉索最大拉力减少的趋势变缓,拉索承担的荷载比重增大。所以从这点上分析可以看出,塔根梁高与中跨跨径比值为 $1/30$ 是较合理的。

综上所述,跨中梁高与中跨跨径比值取为 $1/55\sim 1/45$,索塔根部梁高与中跨跨径比值取为 $1/30$ 左右是合适的。根据《公路斜拉桥设计细则》中关于矮塔斜拉桥“梁高与跨径之比采用 $1/35\sim 1/45$ 。靠近塔处梁高可增大,形成变截面”的结论是相符合^[6]。

5 实际工程应用

以某一桥梁工程为依托,初拟主跨 210 m 矮塔斜拉桥为设计方案。按照前述参数取值范围对桥跨结构尺寸进行定义,边跨 $L=116$ m,塔高 $H=30$ m,塔根无索区长度 $L_u=36$ m,跨中无索区长度 $L_e=26$ m,主梁跨中梁高为 4 m,塔底梁高为 7 m,在墩顶无索区长度内过度。主桥为三跨双塔双索面跨中长距离等截面矮塔斜拉桥,采用塔、墩、梁固结方式。主梁为单箱三室箱型截面,顶板宽度 17.95 m,底板宽度 6 m,两侧腹板斜置,边腹板厚 0.3 m,中腹板厚 0.8 m。按单向 4 车道考虑,建立有限元模型,分析结果表明:主梁最大主拉应力为 0.3 MPa(受压),满足参考文献 7 第 6.3.1 条关于主拉应力 $\leq 0.4 f_{tk}=1.1$ MPa 的要求;主梁最大主压应力为 16.9 MPa(受压),满足参考文献 7 第 7.1.5 条关于混凝土主压应力 $\leq 0.4 f_{ck}=-17.8$ MPa 的要求;主梁最大挠度为 16.2 cm,满足参考文献 7 第 6.5.3 条关于挠度 $\leq L$ 中跨/ $600=35$ cm 的要求^[7]。所以,前述参数取值范围对中跨长距离等截面矮塔斜拉桥是适用的。

6 结论

(1)随着边中跨比的增大,主梁最大挠度及中跨正弯矩逐渐减少,但减少幅度不大,影响不明显;边跨跨中的正弯矩急剧增加。

(2)随着索塔高跨比的增大,主梁墩顶边、中孔侧的负弯矩迅速减小,影响较大;主梁最大挠度及边、中跨正弯矩随着索塔高跨比的增大单调减少,但减少幅度不大。对于矮塔斜拉桥索的活载系数小于 33% 的定义,本文桥型索塔高跨比取 $0.09\sim 0.15$ 是合理的。

(3)随着塔根无索区长度的增大,主梁最大挠度先减少后增加,在比值为 0.15 左右挠度值最小;主梁塔根截面相对偏心距也是先减少后增大,在比值为 0.15 左右挠度值最小。

(4)随着跨中无索区长度的增大,主梁最大挠度先减少后增加,在比值为 0.3 左右挠度值最小;主梁塔根截面相对偏心距也是先减少后增大,在比值为 0.3 左右挠度值最小。

(5)跨中梁高与中跨跨径比值取为 $1/55\sim 1/45$,索塔根部梁高与中跨跨径比值取为 $1/30$ 左右是合适的,这与《公路斜拉桥设计细则》中关于矮塔斜拉桥的结论相符合。

参 考 文 献

- [1] 欧阳永金. 矮塔斜拉桥参数分析[J]. 钢结构, 2006, 87(4): 38-42.
- [2] 陈从春, 周海智, 肖汝诚. 矮塔斜拉桥研究的新进展[J]. 世界桥梁, 2006 (1): 70-73.
- [3] 傅卯生. 汾河矮塔斜拉桥模型设计与试验[J]. 山西交通科技, 2006, 179(2): 35-37.
- [4] 周翔. 矮塔斜拉桥结构行为研究与设计实践[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [5] 陈德伟, 范立础, 张权. 独塔斜拉桥的总体布置和参数研究[J]. 土木工程学报, 1996 (6): 34-40.
- [6] 重庆交通科研设计院. JTG/D65-01-2007 公路斜拉桥设计细则[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [7] 中交公路规划设计院. JTG D62-2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

The Study on One Kind of Structural Parameters of Low Tower Cable-stayed Bridge

Wang Bin

(Shanxi Transportation Research Institute, Taiyuan 030006, China)

Abstract: This paper study on long-distance and other cross-sectional Extradossed Bridge girder deformation, internal forces and stay cable the force of impact of structural performance from the edge of the cross-ratio, high-span ratio tower, length of no cable area, beam girder high four parameters of low tower cable-stayed bridge, and analysis of various parameters in the reasonable range of such bridge, provide a reference for future low tower cable-stayed bridge design.

Key words: low tower cable-stayed bridge; cross-ratio; high-span ratio tower; length of no cable area; beam girder high; structural performance



(上接第 5 页)

Monitoring and Analysis of Springing Stress for Continuous Composite Bridge of CFST Arch and Tied Girders Under During Construction

Wang Junwen¹, Wang Gang², Zhang Yunbo¹

(1. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. Survey and Design Institute, China Railway 17th Bureau Group Co. Ltd, Taiyuan 030032, China)

Abstract: Based on a continuous composite bridge of concrete-filled steel tube(CFST) arch and tied girder on single-track railway, using two step method of first whole and local analysis, the finite element(FE) model of whole bridge is built by Midas/Civil. The internal forces at the border of local FE model are calculated in arch installation and subsequent construction stages. Secondly, local FE model of springing joint is developed by ANSYS, and the distribution and stress concentration of local stresses are analyzed during construction. Finally, the calculated stresses of springing joint are compared with measured stresses. The results indicate that forces transfer smoothly between arch rib and girder, the concrete in springing joint is in compression condition mainly; distinct stress concentration occurs in the junction between the inside of springing and top deck of box girder; large tensile stresses appears around arch rib at top of springing, in front toe of springing, and top deck between two adjacent springings. It is advised that structural measures and reinforcement design of these parts should be strengthened in the design of similar bridges. Calculated stresses of springing are close to measured values, which shows local stress calculated by solid finite element model is reliable and can be used in the design checking.

Key words: CFST; composite bridge of arch and girder; springing; local stress; stress monitor; finite element analysis