

钢箱梁斜拉桥索梁锚固区钢锚箱受力性能及结构局部优化研究

吕文舒, 陈星烨, 张祖军

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 大跨径斜拉桥钢箱梁索梁锚固区为空间受力构件, 板件受力相对复杂。该文选取主梁锚固区为分析对象, 建立局部有限元模型, 研究了成桥恒载+最不利活载工况的最大索力作用下主梁锚固区钢锚箱的应力分布规律, 并通过优化钢锚箱抗剪板尺寸, 改善了结构应力分布, 同时降低了应力集中效应, 可为同类型工程提供借鉴。

关键词: 斜拉桥索梁锚固区; 应力分布; 尺寸优化

斜拉桥索梁锚固结构是斜拉桥的重要传力构件之一, 其结构和受力复杂, 承受的集中荷载大, 局部应力集中效应明显, 是斜拉桥设计、施工及现场监控的重点关注对象。因此有必要对索梁锚固区钢锚箱进行局部有限元计算分析, 掌握其受力规律, 对应力较大部位进行局部构件优化, 保证结构受力安全。

1 工程概况

某三跨双塔斜拉桥, 主梁采用钢箱梁与混凝土箱梁相结合的混合梁, 为半漂浮体系, 塔梁固结, 墩梁分离。两桥塔为预应力钢筋混凝土结构, 沿跨中轴线对称布置, 桥面以上主塔全高 75 m。主塔中心轴线顺桥向两侧共 22 m 范围采用预应力混凝土箱梁, 其余部分为闭口钢箱梁, 钢箱梁与混凝土梁段采用钢-混结合段连接。采用扇形单索面布置于桥面中心, 拉索锚固于钢箱梁上, 主梁上索距 12 m, 塔上索距 4 m。

根据该斜拉桥整体有限元计算结果, 其跨中位置梁段斜拉索倾角最小、索力值最大。故取主梁跨中位置索梁锚固区域为分析研究对象, 即 Z12 拉索锚固梁

段 8 m 区域段。锚固区按照实际位置布置, 锚固区板件尺寸按照桥梁实际情况设置, 具体结构见图 1~3。

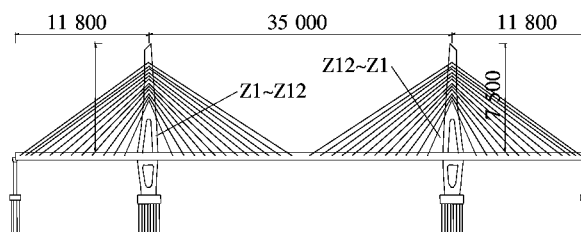


图 1 桥型布置图(单位:cm)

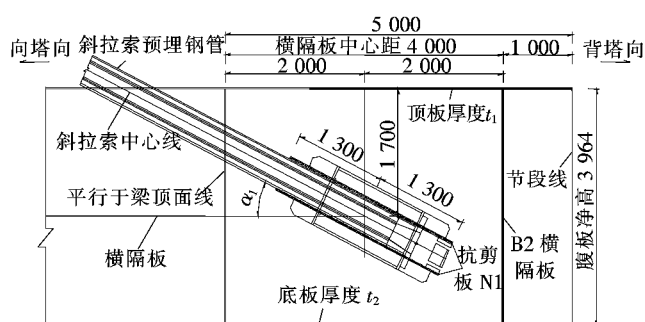


图 2 钢锚箱构造图(单位:mm)

[4] JTG/T J23—2008 公路桥梁加固施工技术规范[S].
[5] 刘龙飞. 双层桥面连续刚桁桥的设计与施工[J]. 公路, 1996(5).
[6] 王新敏. ANSYS 结构分析单元与应用[M]. 北京:人民交通出版社, 2011.

[7] 毛建平, 蒙方成, 覃乐勤, 等. 大跨径 SRC 拱桥拱肋裂缝分析及维修加固方案[J]. 中外公路, 2018(6).
[8] GB/T 714—2000 桥梁用结构钢[S].
[9] JGJ 145—2013 混凝土结构后锚固技术规程[S].

收稿日期:2019—07—10(修改稿)

作者简介:吕文舒,男,博士研究生.

2 有限元模型建立

使用 Ansys 建立有限元局部模型,为较精确地反映钢箱梁的薄壁特性,所有构件均使用板壳单元模拟,其中主梁和锚固区采用 Shell63 单元,锚垫板 N8 和 N2 重合区域以及 N3、N2 采用板壳单元 Shell181,并使用偏置功能,材料均为 Q345 钢材。该文重点关注索梁锚固区钢锚箱受力,因此对钢锚箱位置采用精细网格划分,单元尺寸控制为 3 cm,钢箱梁受力为次要控制因素,取单元尺寸为 5 cm。主梁靠近索塔侧面,横向采用对称约束;忽略主梁横向变形,横桥向两端采用固结约束。整个模型共划分为 915 400 个节点,922 073 个单元,有限元模型如图 4、5 所示。

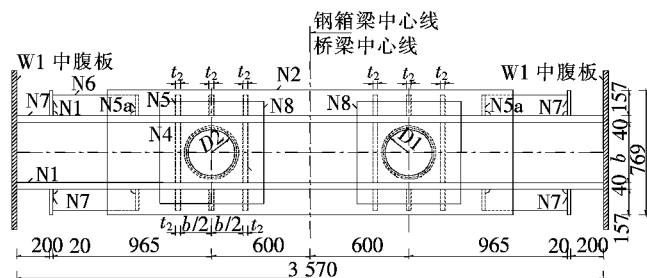


图 3 钢锚箱板件编号图(单位:cm)

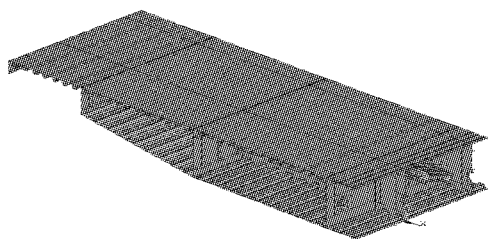


图 4 梁段整体有限元模型

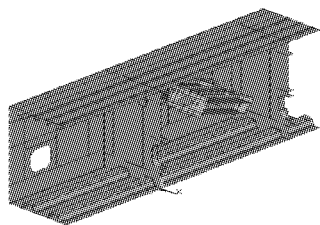


图 5 锚固区有限元模型

在计算过程中,索力作为外荷载施加于锚固区位置,根据 GB 50017—2017《钢结构设计标准》要求,取成桥恒载+最不利活载工况下最大索力值为施加荷载,其值为 4 195 kN,作为面荷载施加至锚垫板上。

3 计算结果

由于钢箱梁索梁锚固区为空间受力构件,力学行为复杂,因此重点研究锚固区域的局部变形及应力分布情况,锚箱重要构件的计算结果如下。

3.1 锚箱变形计算结果

综合考虑恒载+最不利活载工况的最大索力作用下,得到钢锚箱锚固区域局部变形图,计算结果表明:锚固区最大变形为 2.07 mm,出现位置为锚箱锚垫板底部。

3.2 锚箱应力计算结果

图 6~9 为锚箱在结构自重、正常使用极限状态下最大索力及其他附加荷载组合下锚固区应力计算结果,计算时忽略边界条件导致的应力集中效应。

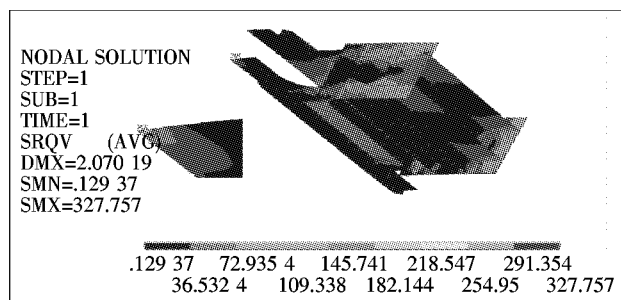


图 6 拉索锚固区等效应力(单位:MPa)

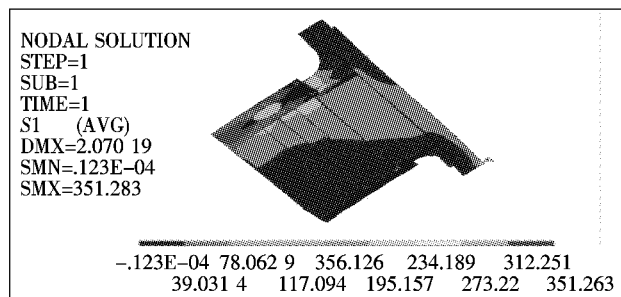


图 7 拉索锚固区主应力(单位:MPa)

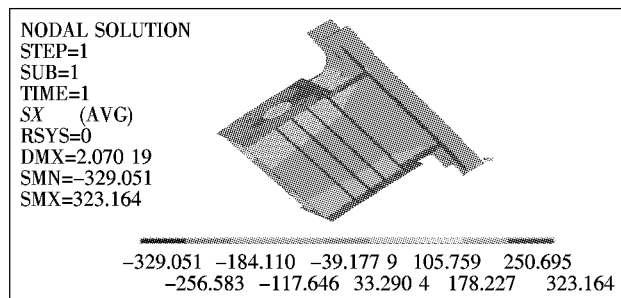


图 8 锚固区横桥向应力(单位:MPa)

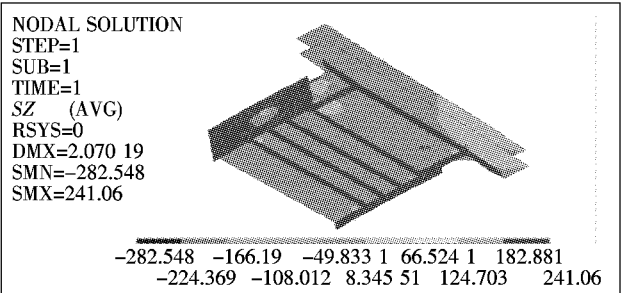


图 9 锚固区竖桥向应力(单位:MPa)

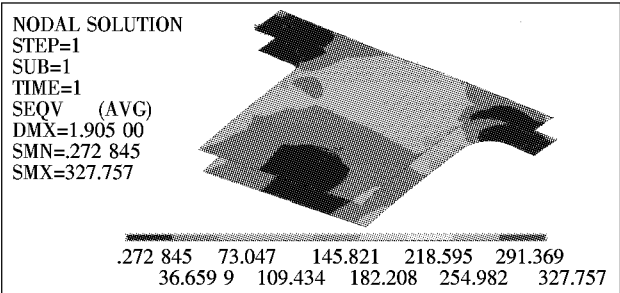


图 10 抗剪板 N1 等效应力(单位:MPa)

由图 6~9 可知:拉索锚固区的最大主拉应力约为 157.2 MPa,最大压应力约为-169.16 MPa,横桥向最大拉应力为 165.7 MPa,最大压应力为-113.6 MPa。等效峰值应力为 182.3 MPa,出现位置为上下锚垫板位置。另外锚固区与钢箱梁腹板连接位置应力水平也较高。

3.3 重要构件受力计算结果

考虑到锚固区结构构件复杂,应力分布情况仅仅通过整体应力结果还无法精确把握,为保证结构安全,掌握重要构件的受力规律,需对锚箱主要受力板件的应力分布进一步探讨。

锚箱重要传力构件有 N1(抗剪板)、N2、N3、N4、N5、N5a、N6、N7 以及锚垫板 N8 和主梁锚固区段腹板,通过 Ansys 计算得到以上重要构件的应力情况,忽略板件倒角及连接处应力集中现象,各板件应力结果如表 1、图 10、11 所示。

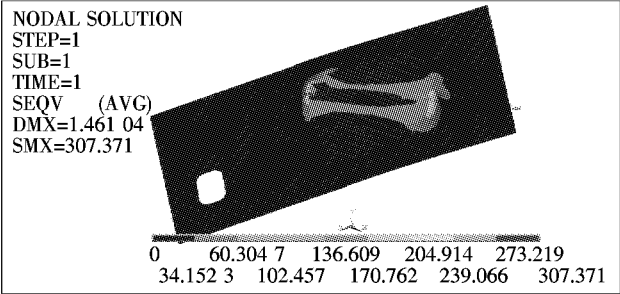


图 11 钢腹板等效应力(单位:MPa)

(2) 锚垫板 N8 作为主要受力构件,在组合荷载工况下,等效峰值应力为 163.7 MPa,满足规范要求,其余各主要受力板件同样满足规范要求。

(3) 钢锚箱抗剪板 N1 倒角位置及抗剪板与腹板结合处位置存在明显的应力集中现象,局部应力较大,有必要优化结合处截面的过渡方式,改善应力集中现象。

表 1 钢锚箱重要构件受力结果

板件名称	等效峰值 应力/MPa	最大主拉 应力/MPa	横桥向主拉 应力/MPa	横桥向主压 应力/MPa
N1	182.3	156.2	165.9	-117.0
N2	146.5	128.4	142.4	-60.8
N3	121.5	102.8	109.6	-40.8
N4、N5	122.7	111.8	98.4	-101.5
N5a	107.4	95.6	67.3	-47.1
N6	120.8	105.7	113.9	-93.5
N7	145.4	142.1	123.4	-113.2
N8	163.7	139.8	144.2	-102.8
锚固区腹板	166.2	114.5	97.6	-110.4

由表 1、图 10、11 可知:

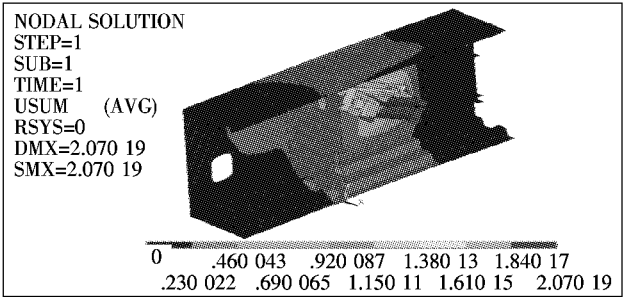
(1) 主梁锚固区位置等效峰值应力为 182.3 MPa,满足规范要求。

4 板件连接优化设计及对比

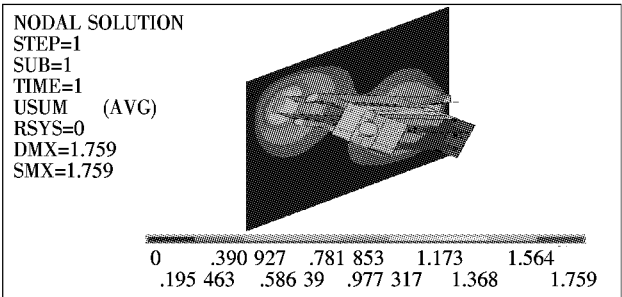
有限元计算分析表明,钢锚箱的受力相对复杂,钢锚箱板件倒角及连接位置存在应力集中现象,部分板件应力值较大,由于受抗剪板的影响,钢箱梁腹板也存在较大的应力值。因此为了改善抗剪板与钢箱梁腹板的应力状态,对抗剪板结构形式进行优化设计,根据钢锚箱最大变形出现的位置,将抗剪板长度单向向外延长 60 cm,并保证荷载、边界条件完全一致,忽略钢箱梁其他部件的影响,对比分析钢锚箱及重要板件的应力状态。

4.1 变形对比

图 12 为该钢锚箱优化前后局部变形结果。由图 12 可知:优化后锚固区最大变形由 2.07 mm 降低至 1.75 mm,降低幅度约为 15.5%,优化结果表明:通过延长抗剪板尺寸,可有效提高索梁锚固区整体刚度,对



(a) 优化前



(b) 优化后

图 12 优化前后原设计锚固区变形对比(单位:mm)

结构变形具有更好的约束作用。

4.2 应力对比

4.2.1 锚固区局部应力对比

对钢锚箱优化前后局部应力结果对比表明:优化前锚箱各板件最大等效峰值应力为 182.3 MPa,出现于 N1 板件;优化后其值为 141.2 MPa,出现于 N8 板件,降低幅度显著,降幅为 22.5%,同时钢锚箱局部高应力区域有一定程度减小,结果表明:通过延长抗剪板尺寸,可有效降低索梁锚固区等效应力峰值,改善应力分布状态,降低高应力区域面积。

4.2.2 主要受力板件应力对比

为从简概述,该节仅对优化前后钢锚箱各主要传力板件的等效峰值应力及最大主拉应力作对比分析,结果如表 2 所示。

表 2 钢锚箱优化前后各主要传力板件等效峰值应力及最大主拉应力对比 MPa

板件名称	优化前		优化后	
	等效峰值应力	最大主拉应力	等效峰值应力	最大主拉应力
N1	182.3	156.2	125.5	122.3
N2	146.5	128.4	103.7	94.1
N3	121.5	102.8	107.6	88.4
N4、N5	122.7	111.8	110.9	94.5
N5a	107.4	95.6	91.2	76.4
N6	120.8	105.7	102.9	87.6
N7	145.4	142.1	123.7	119.3
N8	163.7	139.8	141.2	112.5
锚固区腹板	166.2	114.5	118.7	76.5

由表 2 可知:对抗剪板尺寸进行优化设计后,钢锚箱在结构自重、正常使用极限状态下最大索力及其他附加荷载组合作用下的等效峰值应力和最大主拉应力

值有较大幅度的降低,应力分布也有良好改善,优化后模型只在非常小的区域出现应力集中,结构应力分布较优化前更为均匀,受力更为合理,因此认为该优化措施起到了良好的效果,能明显改善钢锚箱受力。

5 结论

(1) 在结构自重、正常使用极限状态下最大索力及其他附加荷载组合作用下,索梁锚固区钢锚箱各板件优化前最大等效峰值应力为 182.3 MPa,满足规范要求。

(2) 优化前索梁锚固区钢锚箱最大等效峰值应力出现于 N1 抗剪板上,且其倒角位置有应力集中现象,致使与之连接的钢腹板应力水平同样较高,在工程实际中应对该部位引起重视,或做局部加强处理。

(3) 计算结果分析表明,抗剪板加长能有效提高结构局部刚度,结构的变形有一定程度的减小,同时钢腹板和抗剪板的等效应力以及主拉应力峰值均明显降低,同时该优化方案改善了结构的应力分布,使结构受力更加合理,应力集中也有一定减小,该优化方案可为同类型工程提供借鉴。

参考文献:

[1] 李贤婧.斜拉桥异形索塔钢锚箱应用研究与设计[J].中国市政工程,2018(2).
[2] 叶建龙,何为,严伟飞,等.鳌江特大桥索梁锚固区受力分析及结构优化[J].桥梁建设,2017(2).
[3] 段政,吴臻旺,余永汉.纵向弧形独塔单索面斜拉桥索梁钢锚箱局部应力分析[J].公路,2016(7).
[4] 王博.双塔单索面斜拉桥超宽钢箱梁受力分析[D].湖南大学硕士学位论文,2016.
[5] 冯凌云,苏庆田,吴冲.大跨度斜拉桥混凝土索塔钢锚箱的计算模型研究[J].现代交通技术,2005(4).
[6] GB 50017—2017 钢结构设计标准[S].