

基于子模型法的钢锚箱结构强度分析

李大涛¹, 李燕², 吕彭民¹

(1. 长安大学 道路施工技术装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 中国电子科技集团公司第三十九研究所 陕西省天线与控制重点实验室, 陕西 西安 710065)

摘要:采用 Ansys 软件子模型建模技术,建立某大跨径斜拉桥索梁锚固区外腹板局部结构和钢锚箱子模型,完成结构强度分析。结果表明:索梁锚固区钢锚箱应力集中严重,且最大应力值超出材料的屈服极限。因此,针对钢锚箱细部结构应力集中区域,进行局部结构改进优化。改进方案明显降低了该细部结构应力集中,研究成果可为同类型桥梁锚箱结构设计提供参考。

关键词:斜拉桥;钢锚箱;子模型;应力集中

中图分类号: U448.27

文献标志码: A

钢锚箱是斜拉桥传力的关键部位,是斜拉桥设计和分析的重点对象之一^[1-2]。已有多位学者对斜拉桥索梁锚固区进行理论分析和试验研究^[3-10],但由于斜拉桥钢锚箱结构复杂、板件繁多、焊缝交错,同时还承受斜拉索巨大的集中索力,导致钢锚箱上应力集中严重。另外钢锚箱尺寸远小于其所在钢桥部位尺寸,将索梁锚固区按传统的板壳单元建立模型,很难准确分析出其细部结构的应力分布。为了能准确了解钢锚箱上各板件应力分布,该文首先采用板壳单元,建立索梁锚固区及其所在钢桥部位的整体有限元模型,将其计算结果作为边界条件,采用子模型技术^[11]对钢锚箱局部建立实体子模型并进行有限元分析。结果发现,该钢锚箱上应力集中严重,局部最大应力超过了材料的屈服极限,因此需对结构进行局部改进,使结构强度满足要求。

1 钢锚箱简介

某大跨径斜拉桥钢锚箱的构造如图 1 所示,主要由锚箱筋板(N1、N2 板)与承压板(N3 板)组成,筋板 N1 的外侧设有 3 道加筋板(N5 板),筋板 N2 的外侧也设有 3 道加筋板(N5'板),筋板 N1 与筋板 N2 之间设加筋板(N6 板),锚箱内部与钢箱梁腹板连接处存在 3 道加筋板(N6'板),如图 2 所示。锚垫板 N4 和承压

板 N3 紧密压贴。钢锚箱焊接在钢箱腹板外侧,斜拉索穿过承压板和锚垫板的中心孔实现锚固,通过锚箱与腹板焊缝将索力传递到主梁。索梁锚固区所用材料为 Q345 钢材,其屈服强度为 345 MPa^[10]。该文中以承受索力最大的钢锚箱为研究对象。

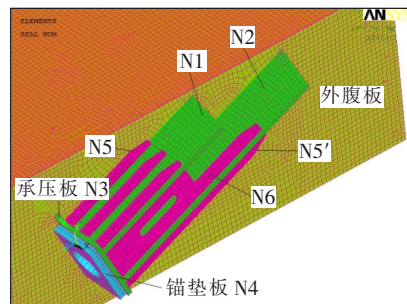


图 1 钢锚箱结构图 1

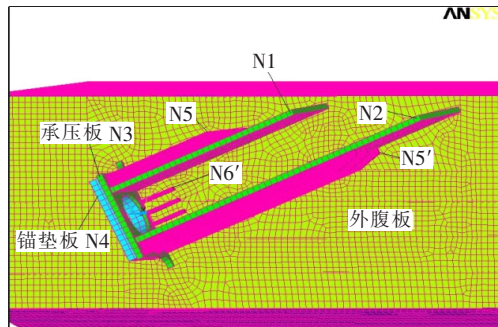


图 2 钢锚箱结构图 2

收稿日期:2020-10-26

基金项目:江西省交通运输厅科技项目(编号:2010C00003)

作者简介:李大涛,男,博士,讲师, E-mail:ldt1688@chd.edu.cn

2 有限元计算

2.1 结构有限元分析

为了精确获得钢锚箱结构的应力分布,首先在对应钢锚箱处建立梁段总模型。该文采用子模型技术对承受索力最大的钢锚箱建立子模型。根据圣维南原理^[12]和钢主梁结构的对称性,建立梁段总模型 1/2 的有限元模型。总模型中边界条件为对称面上施加对称约束(指向边界的位移和绕边界的转动被固定),钢箱梁近塔端约束 X、Y、Z 3 个方向的移动自由度,施加单根斜拉索最大索力 6 200.8 kN。总模型采用板壳单元(Shell 63)进行模拟,共划分 116 394 个单元,111 696 个节点,有限元模型如图 3 所示。以梁段总模型有限元计算结果作为边界条件,建立钢锚箱结构子模型。子模型全部采用实体单元(Solid185)进行模拟,共划分 157 649 个单元,87 606 个节点,子模型有限元模型见图 4。

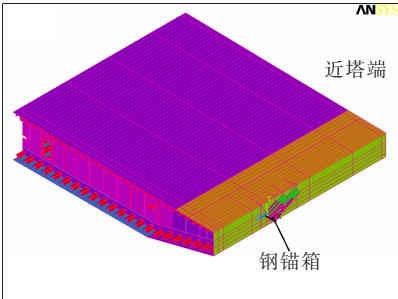


图 3 钢锚箱总模型有限元图

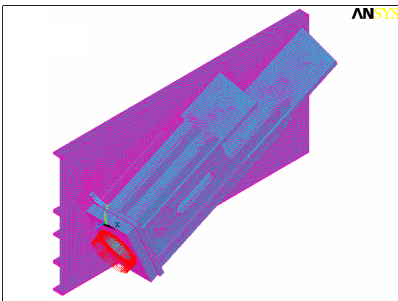


图 4 钢锚箱子模型有限元图

图 5 为基于图 3、4 模型计算得到的应力云图。从图 5 可以看出,钢锚箱上大部分区域应力能顺利扩散开来,但局部区域应力集中严重,其中复合应力最大值为 542 MPa,超出材料的屈服强度。图 6 为隐藏外腹板、承压板、锚垫板时的应力分布图。从图 6 可以看出:复合应力最大值发生在筋板 N6' 与承压板连接处。

由于承压板受巨大索力,筋板 N6' 受到承压板传递的巨大压力,且十分靠近受力圆,导致筋板 N6' 上出现较大应力,应力值超过材料的屈服极限。图 7 为筋板 N6' 第三应力分布图。由图 7 可知:筋板 N6' 上压应力最大值达到 681 MPa,远超出材料的屈服极限。

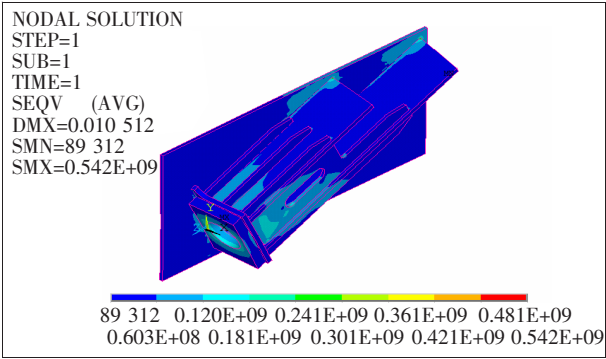


图 5 钢锚箱复合应力分布图(单位:Pa)

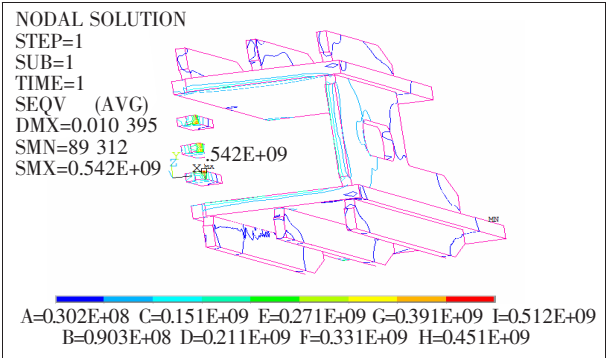


图 6 钢锚箱复合应力分布局部图(单位:Pa)

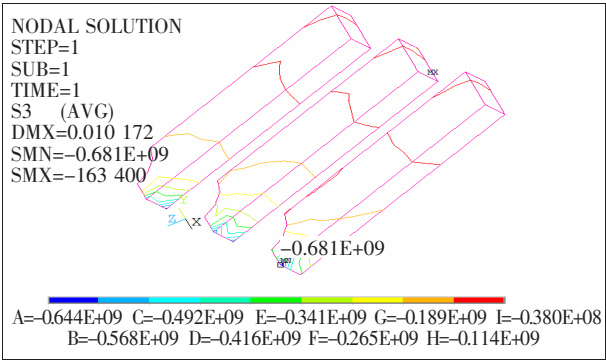


图 7 筋板 N6' 第三主应力分布图(单位:Pa)

在巨大索力作用下,钢锚箱相对钢主梁有垂向和沿桥面横向移动的趋势,钢锚箱上各板件以承受压应力为主^[4]。钢锚箱局部应力的分布与其局部效应有密切联系。由于钢锚箱承受偏心索力,故钢锚箱上局部弯矩效应很严重。图 8、9 分别为筋板 N1、N2 复合应

力、第三主应力分布图。由图 8 可知:筋板 N1、N2 与外腹板连接处复合应力较大,分别达到 314 MPa、316 MPa。此外,从图 9 可以看出:筋板 N1、N2 上压应力较大,压应力最大值分别达到 452 MPa、436 MPa,超过材料的屈服极限,其位置和复合应力最大值出现位置相同。

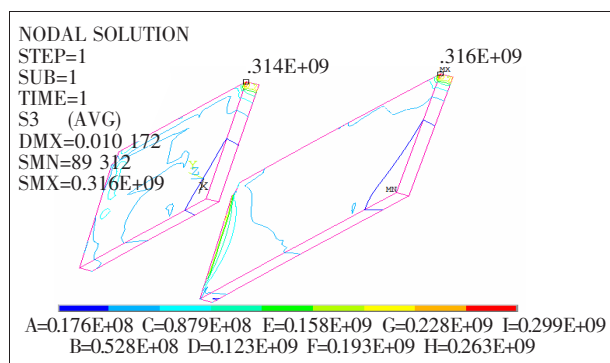


图 8 筋板 N1、N2 复合应力分布图(单位:Pa)

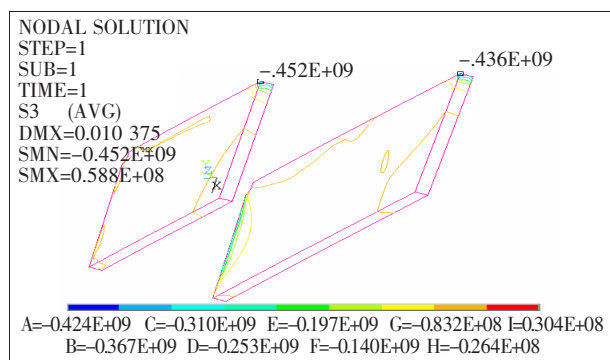


图 9 筋板 N1、N2 第三主应力分布图(单位:Pa)

2.2 结构改进

由 2.1 节分析可知,当前结构下,钢锚箱多处应力值超限,尤其是最大压应力值达到 681 MPa,远超出材料的屈服极限。因此针对以上分析结果,对当前结构进行如下改进:

(1) 在筋板 N1、N2 与外腹板连接顶端加工成圆弧过渡。

(2) 用厚度为 24 mm 的筋板 N6-1 代替原来 3 道筋板 N6', 筋板 N6-1 的几何构造见图 10, 其与承压板之间连接方式为磨光顶紧的连接方式。

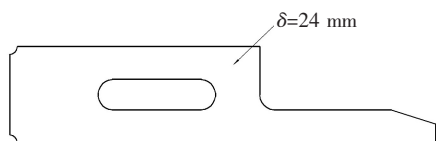


图 10 筋板 N6-1 大样图

2.3 改进后有限元计算

针对 2.2 节提出的改进方案,分别建立有限元总模型和有限元子模型,图 11~13 为计算结果。

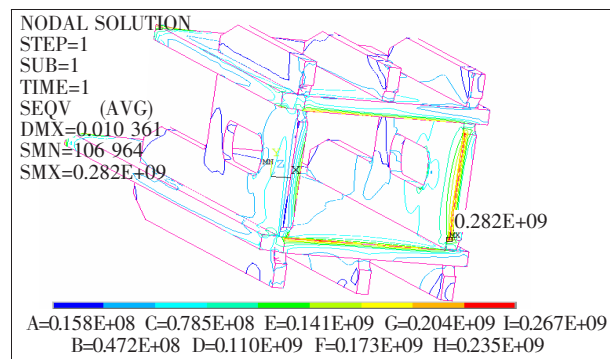


图 11 改进后钢锚箱复合应力云图(单位:Pa)

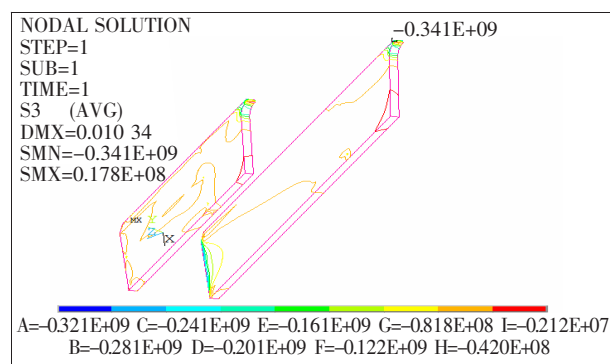


图 12 改进后筋板 N1、N2 第三主应力分布图(单位:Pa)

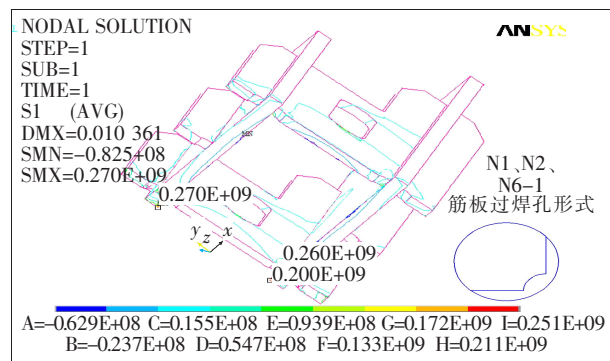


图 13 改进后钢锚箱第一主应力云图(单位:Pa)

从图 11 可以看出:改进后用筋板 N6-1 代替原 3 道筋板 N6', 钢锚箱上复合应力最大值由原来的 542 MPa 降低为 282 MPa, 与改进前相比应力值明显降低。改进后复合应力最大值发生在筋板 N6 与承压板连接处的过焊孔位置。

从图 12 可以看出:在筋板 N1、N2 顶端加工成圆弧过渡之后,其所受第三主应力绝对值最大值从 681 MPa 降低至 341 MPa, 低于材料的屈服强度。

从图 13 可以看出:钢锚箱在筋板 N1、筋板 N2 以及筋板 N6-1 底端过焊孔处第一主应力值较大,分别达到 270 MPa、200 MPa 以及 260 MPa,其安全储备较低,需要进一步改进。

针对圆弧过焊孔处第一主应力较大的情况,通过改变过焊孔形状进行改进,将圆弧过焊孔改为同尺寸的三角形过焊孔,其有限元分析计算结果见图 14。

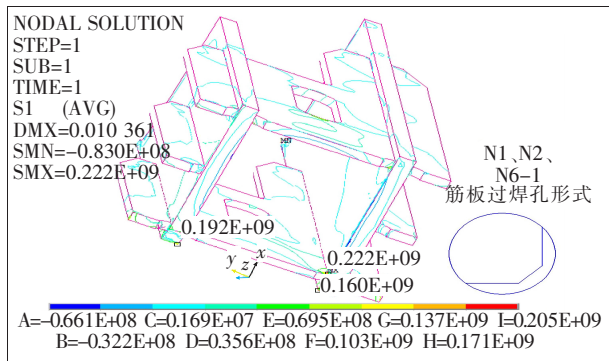


图 14 三角形过焊孔钢锚箱第一主应力云图(单位:Pa)

从图 14 可以看出:过焊孔由圆弧形改为三角形之后,钢锚箱上第一主应力明显降低,其中筋板 N1 上第一主应力由原来的 270 MPa 降低为 192 MPa,筋板 N2 上第一主应力由原来的 200 MPa 降低为 160 MPa,筋板 N6-1 上第一主应力由原来的 260 MPa 降低为 222 MPa,达到设计要求。

3 结论

斜拉桥钢锚箱结构复杂,焊缝交错,但结构尺寸远小于其所在钢桥部位尺寸,因此采用有限元软件子模型法可以有效分析该部位应力分布。得到以下主要结论:

(1) 采用子模型法对该锚箱进行了详细的有限元分析,并对其进行了结构改进,改进后钢锚箱上局部应力明显下降,复合应力最大值由改进前的 542 MPa 降低为 282 MPa,满足了强度要求。

(2) 在巨大集中索力作用下,钢锚箱上压应力很大,甚至超出材料的屈服极限,在进行钢锚箱结构设计

时应尽量避免局部刚度过大的情况。由有限元分析结果可知:在筋板 N1、N2 顶端加工成圆弧过渡,削弱筋板 N1、N2 局部刚度,可很好地降低应力集中的效果。

(3) 对于第一主应力较大的区域,可以通过改变结构或板件形状的方式降低第一主应力数值。该锚箱将筋板 N1、N2 以及筋板 N6-1 与承压板连接端的圆弧过焊孔均改为同尺寸的三角形过焊孔后,筋板 N1 底端过焊孔处第一主应力值由原来的 270 MPa 降为 192 MPa,筋板 N2 底端过焊孔处第一主应力值由原来的 200 MPa 降为 160 MPa,筋板 N6-1 底端与过焊孔处第一主应力值由 260 MPa 降为 222 MPa,满足设计要求。

参考文献:

- [1] 严国敏. 现代斜拉桥[M]. 成都:西南交通大学出版社, 1996.
- [2] 林元培. 斜拉桥[M]. 北京:人民交通出版社, 1994.
- [3] 张清华,李乔. 超大跨度钢箱梁斜拉桥索梁锚固结构试验研究[J]. 土木工程学报, 2011, 44(9): 71-80.
- [4] 彭霞,王行耐. 钢锚箱式索梁锚固区段有限元仿真分析[J]. 公路, 2009, 54(9): 28-34.
- [5] 万臻,李乔. 大跨度斜拉桥索梁锚固区三维有限元仿真分析[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(2): 41-45.
- [6] 颜海,范立础. 大跨度斜拉桥索梁锚固中的非线性接触问题[J]. 中国公路学报, 2004, 17(2): 46-49.
- [7] 吴冲,韦杰鼎,曾明根,等. 上海长江大桥斜拉桥索梁锚固区静力试验研究[J]. 桥梁建设, 2007, 37(6): 30-33.
- [8] 满洪高,李乔,张育智. 斜拉桥索梁锚固区边界条件对结构受力的影响[J]. 实验力学, 2006, 21(2): 190-194.
- [9] 华晓勇. 钢桥塔索辅梁桥锚固区新型钢锚箱受力分析[J]. 公路, 2020, 65(1): 75-81.
- [10] 吕文舒,陈星烨,张祖军. 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[J]. 中外公路, 2020, 40(3): 173-176.
- [11] 博嘉科技. 有限元分析软件: Ansys 融会与贯通[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.
- [12] 陈佳德. 大跨度连续拱桥组合桥拱脚局部受力分析[D]. 兰州:兰州交通大学, 2013.