

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2024.01.024

某高速公路 25 m 跨钢板组合梁设计与数值模拟研究

黄宇辰

(华设设计集团股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘 要: 钢板组合梁结构轻质高强、施工快捷、全生命周期内绿色环保,是实现桥梁上部结构工业化建造的有效途径之一。以某高速公路 25 m 中等跨径钢板组合梁为工程背景,首先介绍了结构设计情况,然后基于有限元数值模拟软件,研究了结构受力特点,并计算得到了结构基频和最不利状态下的钢板应力。计算结果可为类似结构提供参考。

关键词: 钢板组合梁;工业化建造;结构设计;有限元数值模拟

中图分类号: U441.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2024)01-0102-03

0 引 言

桥梁往往是交通体系中的控制性结构物,也是高速公路勘察设计中的重中之重。在新的时代背景下,高速公路在满足承载能力、正常使用的同时,对耐久性和品质化要求越来越高。就路基、路面和隧道等构造物而言,桥梁作为实体工程,沿线占比较大,是打造工业化、智能化的关键。目前的桥梁建造中,混凝土桥仍然占据较大比例,不利于高速公路绿色转型升级。混凝土桥自重大、施工现场质量不易控制、预应力压浆工艺复杂,已经不能满足高速公路降耗增效、绿色环保的需要。为此,钢桥尤其是受力更优的钢混组合梁桥在工业化建造中脱颖而出,是实现桥梁结构轻质高强、缩短工期、减少砂石料自然资源浪费的不二之选^[1-4]。钢混组合梁中,钢板梁受力明确、用钢量较省,在实际工程中应用较多。在高速公路桥梁建设中,受墩高限制,桥型基本以 20 m 至 40 m 跨径为主,因此研究中等跨径的钢板组合梁具有重要意义。本文结合实际工程案例,阐述了 25 m 跨径的钢板组合梁结构设计情况,并对受力情况进行有限元数值模拟分析,以确定较为合理的结构尺寸。

1 工程概况

某高速公路位于平原微丘路段,路线长度约 30 km 内的桥梁高度均不超过 30 m。桥梁设计主要

技术标准如下:(1)桥面总宽 17.1 m;(2)设计安全等级一级;(3)设计荷载为公路 -I 级;(4)设计行车速度 100 km/h;(4)左右幅按双向 6 车道设计,考虑应急车道,单幅按 4 车道进行加载;(5)地震动峰值加速度为 0.05g。经结构跨度比选后,拟采用 25 m 跨径钢板组合梁上部结构方案,下部结构采用常规混凝土柱式墩方案。参考交通部钢板组合梁通用图结构设计情况,按 6 片钢板梁设计,钢梁高度为 1 350 mm;混凝土桥面板为预制形式,板厚为 250 mm,钢梁与预制板之间设置厚 50 mm 橡胶密封条。25 m 跨径钢板组合梁标准横断面图见图 1。

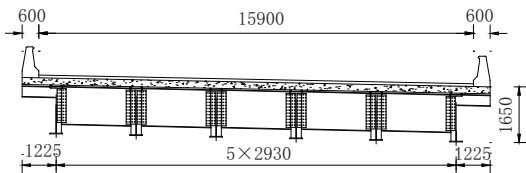


图 1 25 m 跨径钢板组合梁标准横断面图(单位:mm)

钢板梁结构形式均为结构简支桥面连续形式,每跨横隔板共设置 5 道,其中端横隔板高度为 1 100 mm,中横隔板高度为 900 mm,横隔板上翼缘均与钢板梁上翼缘齐平,以保证钢结构作为预制板现浇连接缝底模的可靠性。钢板梁上翼缘和下翼缘厚度分别为 22 mm 和 24 mm,宽度分别为 600 mm 和 700 mm,腹板厚度为 14 mm,翼缘与腹板采用焊接形式。桥面铺装设置防水层和厚 100 mm 的沥青混凝土形式,横隔板与钢板梁竖向加劲肋采用螺栓连接。上部结构钢板均采用 Q345qD,弹性模量取 205 GPa,泊松比取 0.31,自重计算时考虑 1.06 倍的螺栓及焊缝重量。预制板采用 C50 钢筋混凝土,弹性模量 34 500 MPa,泊

收稿日期: 2023-03-04
作者简介: 黄宇辰(1992—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

松比为0.2,因桥面板配筋率较高,混凝土自重计算时容重按 26.5 kN/m^3 考虑。护栏采用SS级防撞护栏,单侧线荷载集度取 12.0 kN/m 。钢板组合梁关键施工工序为:现场吊装钢板梁、铺装预制板、浇筑预制板间湿接缝、完成桥面系施工。

2 有限元模型与结构基频

2.1 有限元模型

基于Abaqus有限元数值模拟软件,将钢板和混凝土分别离散化,其中钢板梁及横隔板部分采用S4R壳单元;预制板厚度较大,采用C3D8R实体单元;不计钢与混凝土2种材料之间的滑移作用,壳单元与实体单元之间采用节点耦合约束连接。由于模型较大,在保证计算精度的同时,将网格尺寸适当放大,网格大小控制在 200 mm 以内,所建立的壳实体耦合有限元数值模型见图2。

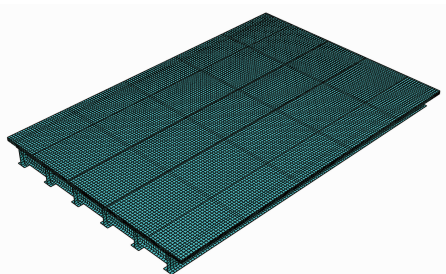


图2 壳实体耦合有限元数值模型

钢板梁主梁分布示意图见图3。

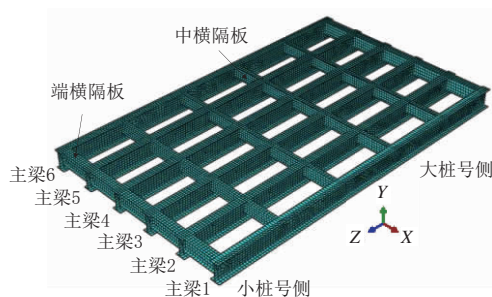


图3 钢板梁主梁分布示意图

在支座位置处分别设置节点,将节点与支座面进行耦合约束,通过对节点进行约束以完成整个模型的约束。有限元模型约束情况为:对小桩号侧3号主梁 X 、 Y 、 Z 方向线位移进行约束,对小桩号侧1和2、4~6号主梁 Y 、 Z 方向线位移进行约束;对大桩号侧3号主梁 X 、 Y 方向线位移进行约束,对大桩号侧1和2、4~6号主梁 Y 方向线位移进行约束。

2.2 结构基频

结构基频计算是得到活载冲击系数的基础,同时通过基频下的振型分析可以判断有限元模型的正确性。此处,将模型自重转化为质量,自重加速度取

9.8 m/s^2 ,得到结构1阶振型图见图4。

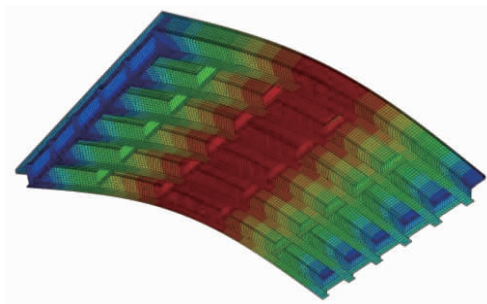


图4 结构1阶振型图

经计算,结构基频为 4.9 Hz ,根据《公路桥梁设计通用规范》(JTG D60—2015),活载冲击系数为 $0.176 7 \ln 4.9 - 0.015 7 = 0.27$ 。另外通过阵型图可以发现,模型未见异常脱空,钢结构与预制板之间未发生明显滑移,所建立的有限元数值模型较为可靠。

3 数值模拟结果分析

3.1 施工阶段结构应力

钢板梁架设完成后,预制板混凝土未与钢板梁形成联合截面时,钢板梁受力较为不利,此时结构应力如图5所示。由图5可见,最大Mises应力为 95.8 MPa ,位于中梁跨中下翼缘处,应力水平较小,混凝土未与钢板梁形成联合截面前不会出现承载能力不足的问题。

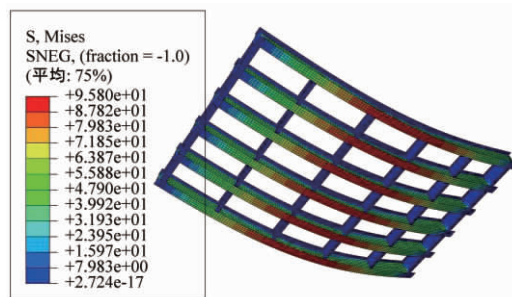


图5 钢梁架设后,未形成联合截面前的结构应力(单位:MPa)

为进一步分析施工过程中结构恒载的影响,取桥面系施工完成后为关注施工阶段,并取恒载系数为1.2倍,以便于后续基本组合分析。计算得到桥面系施工完成后结构恒载作用下的钢板梁正应力,如图6所示。

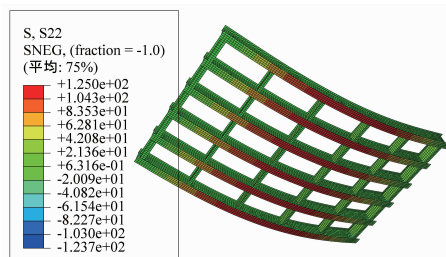


图6 桥面系施工完成后恒载正应力(单位:MPa)

在结构自重及二期恒载作用下, 钢板梁下翼缘最大拉应力为 125.0 MPa。整体而言, 施工阶段应力水平较小, 施工阶段不控制钢板组合梁的设计。后续主要针对成桥状态下的中载、偏载 2 种情形进行钢板梁应力分析。

3.2 中载作用下的结构应力

考虑冲击系数的影响, 按照 1.2 倍恒载 +1.4 倍活载进行荷载的基本组合, 将车道荷载按照车道中心线的位置进行加载, 计算得到钢板梁在恒载与中载基本组合下的正应力, 见图 7。中载作用下, 最大拉应力由 125.0 MPa 提高至 184.3 MPa, 位于 3 号主梁跨中下翼缘位置, 小于《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64—2015) 限值 (270 MPa), Mises 应力最大值与最大拉应力基本相当。与混凝土结构相比, 以上计算结果进一步表明钢板组合梁活载占比明显较大, 结构自重较轻。

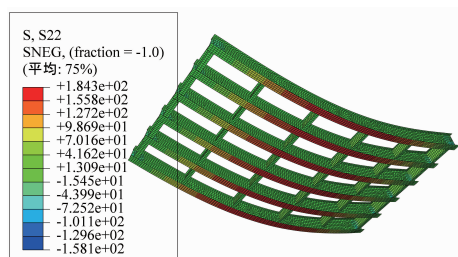


图 7 钢板梁在恒载与中载基本组合下的正应力 (单位: MPa)

3.3 偏载作用下的结构应力

目前高速公路建设呈现高设计标准、宽断面的特点, 对于桥梁结构而言, 特别是活载占比较大的钢结构, 活载偏载分析是结构计算的重要内容。为进一步分析钢板组合梁活载偏载对结构应力的影响, 按照规范对车道进行最不利偏载布置, 可得到钢板梁在恒载与偏载基本组合下的正应力, 见图 8。

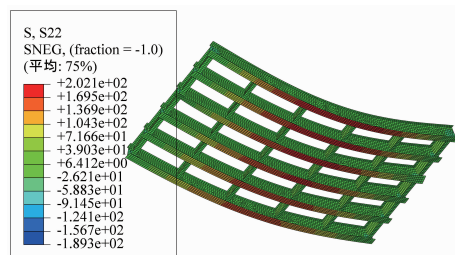


图 8 钢板梁在恒载与偏载基本组合下的正应力 (单位: MPa)

计算结果表明: 活载偏载后, 钢板梁最大拉应力位置由 3 号主梁迁移至 1 号主梁, 最大拉应力数值

由 184.3 MPa 增加至 202.1 MPa, 小于《公路钢结构桥梁设计规范》限值 (270 MPa)。活载偏载相对中载而言, 钢板梁最不利应力增加了 17.8 MPa, 因此桥梁设计时应充分考虑偏载的影响。

通过计算分析可知, 横隔板在中载和偏载作用下的结构应力基本相当。提取端横隔板和中横隔板 Mises 应力 (见图 9), 可见最大 Mises 应力为 52.3 MPa。钢板梁与横隔板组成格子梁后, 横隔板主要作为横向传力构件, 将荷载传递给钢板梁, 横隔板支承于钢板梁上, 本身跨度较小, 高跨比较大, 因此应力水平较低。就钢板梁这类格子梁而言, 横隔板设计具有一定优化空间。

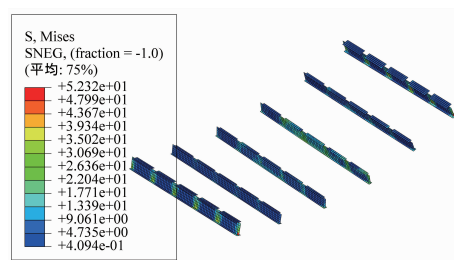


图 9 横隔板 Mises 应力 (单位: MPa)

4 结 语

(1) 钢板组合梁施工阶段结构应力水平较小, 承载能力富裕度较大。

(2) 钢板组合梁自重较轻, 活载占比较大, 成桥状态下的偏载工况控制结构设计。在本文所选取的结构参数下, 钢板梁基本组合最大拉应力为 202.1 MPa, 应力指标满足规范要求。

(3) 相对于钢板组合梁主梁而言, 横隔板应力水平较低, 建议结合具体计算结果对横隔板尺寸进行优化设计。

参考文献:

- [1] 张金康, 邓文琴, 刘朵, 等. 中小跨径装配式梁桥经济性对比分析[J]. 现代交通技术, 2022, 19(1): 28-33.
- [2] 黄超. 山区高速公路钢板组合梁施工技术探究[J]. 中国公路, 2022 (22): 98-99.
- [3] 杨洋, 张浩. 徽州大道南延工程简支钢板组合梁结构设计及施工[J]. 工程技术研究, 2022, 7(5): 171-173.
- [4] 江洪林, 丁适, 李晓峰. 城市高架中小跨径钢板组合梁安装技术研究[J]. 建筑机械, 2022(1): 42-44.