

装配式空心板桥铰缝失效机理分析

饶珂,姜福香,秦艺鸣

(青岛理工大学,山东 青岛 266520)

摘要: 装配式空心板桥梁应用广泛,铰缝的损坏是装配式空心板桥梁的一个常见病害,且对于铰缝失效机理存在争议,多数学者认为铰缝设计存在缺陷,铰缝的损伤是被横向拉应力“拉坏”的。对于老桥的调研,发现铰缝病害出现的比例很高,而对新桥的调研发现均未出现铰缝问题,若铰缝是“被拉坏的”,那么铰缝问题不能仅存在于老桥中,所以铰缝失效机理还有其他重要原因。利用 ABAQUS 建立详细的有限元模型,充分考虑了铰缝与空心板之间的接触、铰缝与空心板的连接钢筋,得出铰缝结构受力合理,其中连接钢筋的地位非常重要,若连接钢筋发生锈蚀,铰缝的受力便出现缺陷,所以得出结论:铰缝病害是连接钢筋的锈蚀而引起的。

关键词: 桥梁工程;铰缝病害;空心板;单板受力;应力

中图分类号: U445.7

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0118-03

0 引言

我国经济的快速发展,公路交通在经济发展的作用越来越重要,但随之而来的是交通流量的增大,运输车辆的轴重也增大了许多。桥梁也出现了各类的病害问题,并严重威胁公众安全。早期的空心板桥梁以小铰缝为主,尺寸小,配筋少,在持续的车辆荷载下极易发生破坏,甚至刚通车不久就出现铰缝开裂、漏水等病害。因此废除了小铰缝构造形式,采用中铰缝,后又经过专家讨论,发展为今日的大铰缝,尺寸增大,铰缝内设置钢筋,并在空心板和铰缝底部增设连接钢筋。铰缝的结构形式发展至今,仍旧会出现铰缝破坏失效问题。铰缝的失效机理仍旧是一个需要解决的问题。

1 铰缝失效机理的研究现状

针对空心板铰缝失效机理,国内外很多学者已经展开了一定研究,但存在一定争议。

宋宇锋^[1]认为当下桥梁设计的方法采用铰接板法,在计算时仅考虑铰缝传递剪力,而实际受力复杂,虽然减少了计算成本但忽略铰缝的横向受力,与实际受力不符,导致桥梁在运营中出现铰缝病害。项贻强^[2]以某空心板桥梁为背景建立空间有限元模型,并且采用实体单元对铰缝准确模拟,得出截面的相关应力,认为铰缝的病害是由于横向应力的超标为主要原因。储兵^[3]建立全桥模型并采用现行规范的标

准车和旧规范的重车以最不利原则进行加载,得出结果表明:两者的应力分布相同均为铰缝上缘受压,下缘受拉,横向受弯明显,导致铰缝容易发生纵向开裂,影响桥梁的整体受力。陈悦驰^[4]基于 ANSYS 建立 8 m 的空心板模型,讨论中载和偏载作用的铰缝破坏模式,结果表明无论哪一种加载方式都是铰缝先发生破坏。崔亚楠^[5]基于 ABAQUS 建立空心板桥梁的铰缝损伤模型,分析不同超载情况的应力,着重分析了铰缝的纵、横、竖向正应力以及剪应力,得出超载下的应力变化规律。吴居涛^[6]以实际工程为背景进行有限元分析,并对汽车荷载、混凝土收缩徐变影响进行研究,结果表明:空心板桥梁在这些作用下,将有整个铰缝长度的二分之一存在较大的拉应力,这极易使得桥梁出现“单板受力”。梁全富^[6]认为桥面铺装也是影响铰缝失效的一个重要因素。桥面铺装一方面可以促使各个主梁更好地整体受力,另一方面,由于桥面铺装与车轮直接接触,可以将车轮的荷载进行分散。桥面铺装整体或者部分参与主梁的受力处于一个复杂的动力体系,对与铰缝有良好的保护作用。

综上所述,虽然研究者做了许多相关研究,但对于铰缝病害的成因持有不同意见,多数学者认为铰缝的损坏来源于横向拉力,也有学者认为铰缝的损坏与铺装层有很大关系。

笔者对濮阳周边一条新建高速(仅运营了两年)进行了调研,随机选取了 70 孔空心板桥,均没有发现铰缝问题。闫畅^[8]对苏州的某国省干路中的桥梁进行了调研(建成于 2005,该作者在 2019 年进行的调研,已经通车运营 14 a),调研中发现很多桥梁出现铰缝

收稿日期:2022-08-24

作者简介:饶珂(1996—),男,硕士,从事桥梁检测与加固的研究工作。

问题。若铰缝本身设计有缺陷,不能承担横向拉力,那不可能只有老桥出现铰缝问题,而新桥没有铰缝问题。把铰缝的病害单纯归结于铰缝不能受拉,显然是不合适的。

2 铰缝体系受力机理分析

铰缝的构造形式见图1,铰缝内配置有纵向钢筋、交叉钢筋、连接钢筋,与空心板进行连接。铰缝自身的混凝土与内部钢筋处于一种复杂的应力状态。由于铰缝是后期浇筑而成,铰缝混凝土与空心板混凝土的连接面在新老混凝土的交界处,其中的粘结力非常小,甚至可以忽略。

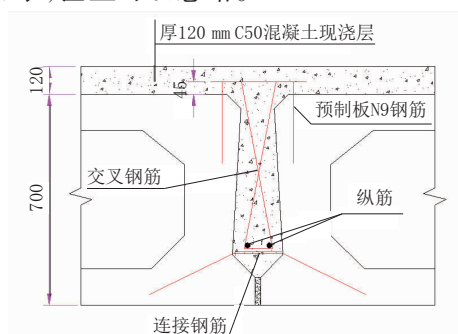


图1 铰缝钢筋构造图(单位:mm)

2.1 有限元建模

采用ABAQUS对13 m跨度的空心板桥进行建模分析。空心板梁高取70 cm、梁宽取102.4 cm,见图1。空心板桥的铺装层、主梁、铰缝采用三维实体单元,主梁和铰缝内的钢筋用T2D2桁架单元,而为了更好地分析连接钢筋的应力状态,采用三维实体单元充当连接钢筋,同时用等效的方形截面代替圆截面,以减少网格数量,增加计算效率,见图2~图4。铰缝和主梁内的钢筋用ABAQUS中埋入单元(Embedded element)技术来实现共节点,实体单元的连接钢筋与铰缝和主梁挖出孔洞内表面绑定。新老混凝土之间的接触方式采用硬接触,即不考虑接缝与主梁的粘结效应,仅考虑摩擦作用。铰缝浇筑时未进行表面打磨,摩擦系数取0.6。

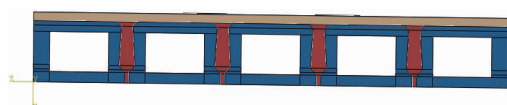


图2 全桥有限元模型

2.2 材料的物理参数

钢筋的弹性模量取 $E_s=200$ GPa,泊松比 $\nu=0.3$;主梁和铰缝混凝土参数取弹性模量 $E_c=30.0$ GPa,泊松比 $\nu=0.1667$ 。沥青混凝土铺装层取 $E_0=1.6$ GPa,泊松比 $\nu=0.25$,铺装层平均厚度取10 cm。

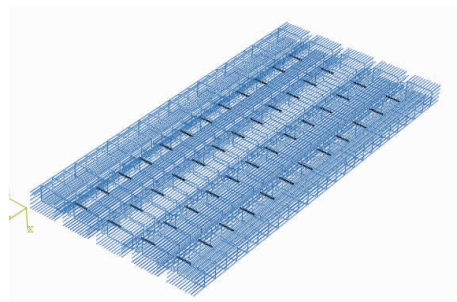


图3 桥梁钢筋有限元模型

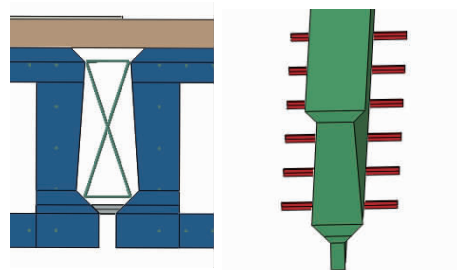


图4 连接钢筋的详细模拟图

2.3 边界条件与荷载处理

现实中桥梁多为简支情况,所以对有限元模型左端施加三向约束(X,Y,Z),即为固定支撑,右端施加二向约束(X,Z), Y 轴自由。荷载选取55 t标准车辆的后轮加载,每根轴重为140 kN。施加方式为选用四个长为0.6 m,宽为0.2 m的矩形与铺装层绑定进行加载,换算后的均布荷载为 $P=0.58$ MPa,见图5。

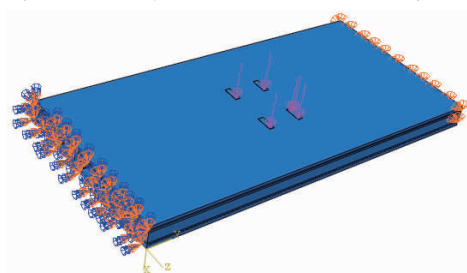


图5 边界条件与荷载情况

2.4 计算结果

计算结果表明,连接钢筋的应力明显小于铰缝纵筋和主梁纵筋的应力,连接钢筋最大应力为11.72 MPa,而铰缝和主梁最大应力为26.43 MPa,不足后者的一半,这说明连接钢筋仅需承受较小的应力,依据结果绘出跨中截面的主要受力形式。铰缝体系下缘主要由钢筋承受横向拉力,铰缝上缘承受压力,见图6。

选取距离加载块最近的四根钢筋,其应力也是全部连接钢筋中最大的四根,通过应力结果的对比,可以得出越靠近中间部位连接钢筋受力越大。连接钢筋的应力由两侧逐渐向中间增大,两侧应力为对称分布。图7所示为连接钢筋的距离和应力折线图。

同样,选取应力最大的一根连接筋,选取点连接钢筋的上缘和下缘,见图8红点所示。结果表明:连

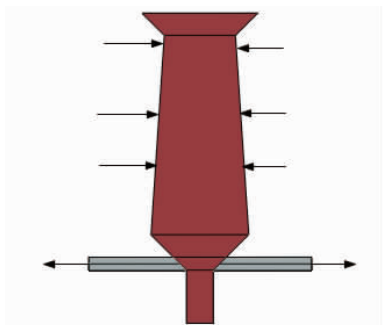


图6 跨中铰缝截面受力简图

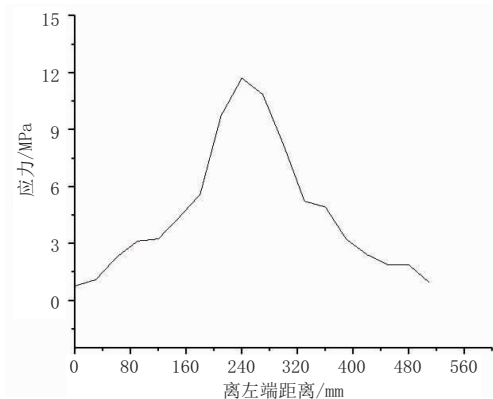


图7 连接钢筋应力随位置的变化图

接钢筋的上缘和下缘均以横向受拉为主，应力状态符合钢筋的受力特点。

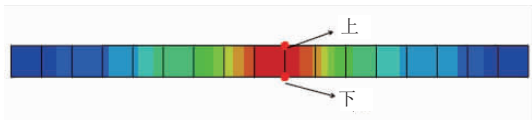


图8 连接钢筋的细部图

各方向的应力值，见表1，可以得出连接钢筋以横向受拉为主，其他方向应力相差明显，可见受力形式良好。

表1 连接钢筋的各向应力

单位:MPa

位置	S11	S22	S33	S12	S13	S23
上	-1.49	0.34	5.66	0.68	-0.08	-0.12
下	-0.23	0.64	10.44	0.24	0.05	-1.70

注:S11是整体坐标系中 x 方向的正应力(竖向正应力),S22是整体坐标系中 y 方向的正应力(纵向正应力),S33是整体坐标系中 z 方向的正应力(横向正应力),S12、S13、S23为剪应力。

通过以上的分析，可以得出铰接板在荷载下传力是合理的，铰缝承受压力，连接钢筋承受拉力，结构的受力是合理的。新桥之所以没有铰缝问题，是因为连接钢筋在短期内并不会被锈蚀，连接钢筋的健

康与否直接影响了铰缝的寿命。就如同上海的某桥梁调研报告中发现，有铰缝病害的桥梁，其中的连接钢筋已经锈断^[9]。

综上所述，铰缝的病害并不是铰缝无法承担横向拉应力导致的，而是长期运营中，连接钢筋易发生锈蚀，而导致承载力下降，当连接钢筋断开时，铰缝的受力结构就产生了缺陷，不能再承担拉应力，进而很容易引起铰缝的错位、损坏。

3 结 语

本文给予 abaqus 有限元软件建立详细的空心板桥梁模型，并着重分析了主梁和铰缝连接处的受力，得出如下主要结论。

(1)主梁与空心板之间的连接钢筋仅需要承受较小的应力，该应力大小不足主梁和铰缝钢筋的一半。

(2)荷载作用下，铰缝承担压力，连接钢筋承担拉力，铰缝结构受力合理。

(3)铰缝病害的形成是：连接钢筋锈蚀，无法承担拉应力，铰缝的受力结构产生缺陷，病害出现。

参考文献：

- [1] 宋宇锋,孙勇,杨立坡.空心板梁桥铰缝受力特性与破坏模式的试验与理论研究[J].中外公路,2018,38(2):159-165.
- [2] 项贻强,邢骋,邵林海,等铰接预应力混凝土空心板梁桥的空间受力行为及加固分析[J].东南大学学报(自然科学版),2012,42(4):734-738.
- [3] 储兵.空心板梁桥深铰缝受力性能研究[J].公路,2021,66(11):178-181.
- [4] 陈悦驰,吴庆雄,陈宝春.装配式空心板桥铰缝破坏模式有限元分析[J].工程力学,2014,31(S1):51-58.
- [5] 崔亚楠,杨继新.超载作用下基于塑性损伤模型的空心板桥铰缝受力性能分析[J].公路交通科技(应用技术版),2010,6(2):110-112,143.
- [6] 吴居涛,赵明愷.空心板铰缝受力及损伤的空间三维有限元分析[J].北方交通,2020(12):21-24.
- [7] 梁全富.体外横向预应力加固简支空心板梁桥工艺研究[J].福建建筑,2007(9):43-44.
- [8] 闫畅.基于铰缝高度的装配式空心板桥受力性能研究[D].苏州:苏州科技大学,2019.
- [9] 上海同济建筑建设工程质量检测站,上海浦公建设工程质量检测有限公司.环东二大道金海路跨线桥结构检测报告[R].上海:2011.