

装配式空心板桥铰缝破坏原因分析

李鹏程¹, 周广利¹, 渠广镇^{1,2}, 席国政¹, 张玉龙³

(1.山东省交通科学研究院, 山东 济南 250031; 2.长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064;

3.山东省建筑科学研究院, 山东 济南 250031)

摘要: 为了探究日照市 S335 线上沈马庄桥 1# 铰缝破坏是由大件运输车还是由社会超载车辆所造成, 通过 ANSYS 软件建立实体有限元模型, 对铰缝在大件运输车荷载和社会超载车辆荷载作用下的受力情况进行对比分析, 在对破坏铰缝与相邻空心板考虑接触的基础上, 通过对铰缝砼弹性模量进行折减模拟荷载的横向分布。结果显示, 社会超载车辆荷载作用下 1# 铰缝各项内力均大于大件运输车荷载, 通过折减铰缝弹性模量计算的挠度与实测值吻合良好, 铰缝破坏是由社会超载车辆造成的, 破坏形式为砼间粘结失效, 可通过折减铰缝砼弹性模量模拟荷载横向分布, 以一面接触模拟铰缝破坏的方法合理。

关键词: 桥梁; 装配式空心板桥; 铰缝破坏; 大件运输; 超载车辆

中图分类号: U446.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)06-0138-04

简支空心板梁桥的每片空心板之间通过铰缝相连传递荷载, 铰缝破坏会使桥面铺装沿铰缝发生纵裂, 久而久之出现单板受力现象, 威胁桥梁结构的安全, 严重的造成梁板断裂甚至桥梁垮塌。有研究认为铰缝破坏的主要成因为施工质量和社会车辆超载。在破坏机理上, 项贻强等认为造成铰缝破坏直至桥面纵裂的根源是铰缝的拉应力超过砼的抗拉强度标准值而非剪应力; 苏高裕等提出铰缝的破坏通常是因为铰缝与空心板之间的砼粘结失效而非被剪坏; 陈少峰等认为随着铰缝开裂程度的递增, 其横向联系性能会急剧下降。

山东 S335 线日照段的沈马庄桥在大件运输期间, 桥面铺装 1#、2# 板之间的铰缝位置出现纵向裂缝; 液压轴线车通过时, 1# 板与其他板的挠度相差较大, 与相邻 2# 板的挠度差达到 10.28 mm, 出现单板受力状况。虽然液压轴线车轴重较大, 但该桥所在道路社会重载货车流量也很大, 且货车超载现象严重, 有必要明确铰缝破坏根源是液压轴线车还是社会超载车辆。为此, 该文采用 ANSYS 软件对该桥铰缝破坏原因进行分析。



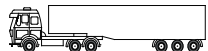
1 荷载状况

1.1 交通荷载状况

在高速公路和国省道通行的车辆中, 重车比例最高、轴重最大的车辆通常为六轴铰接列车。根据《整治公路货车违法超限超载行为专项行动方案》,

六轴车的超限超载认定标准见表 1。

表 1 公路货运车辆中六轴铰接列车的超限超载认定标准

车型	图例	总质量限值/t
157 型		49
		46
1127 型		46

调查发现, 在国省道上通行的六轴车的载重普遍大于表 1 中的限载规定, 很多国省道桥梁的荷载超重达 2~3 倍。山东 S335 线日照段上通行的六轴车中, 1127 型、157 型半挂货车分别占货车总数的 32% 和 35% 左右, 超载占比分别达 20% 和 36% 左右。该路段拉石料、砂的重车较多, 拉砂六轴车的总质量达 120 t, 有的甚至达到 200 t, 超载现象非常严重。

根据最不利加载原则, 社会车辆采用后三轴跨中加载。根据六轴车满载后的轴重分配比例, 若六轴车质量为 120 t, 后三轴约占 60%, 下文有限元计算中后三轴的轴重取 24 t。

1.2 液压轴线车荷载

交通运输部令 2016 年第 62 号《超限运输车辆行驶公路管理规定》第十七条规定, 若采用多轴多轮液压平板车运输, 车辆每轴线(一线两轴八轮胎)的平均轴荷超过 18 t 或最大轴荷超过 20 t, 公路管理机构应依法作出不予行政许可的决定。据此将超重

车荷载设为轴载 18 t、轮距 1.55 m、20 m 以下桥梁纵向满载。大件运输采用牵引车 $\times 2 + 2$ 纵 16 轴液压轴线车 + 500 t 桥式框架梁 + 2 纵 15 轴液压轴线车的配车方案。

1.3 大件运输过程中的问题

该路段是东西方向进出日照的主干道,且线路上的多数桥梁结构经过多次加宽,加宽前桥梁荷载等级较低,一般为汽车—20 级,加宽部分设计等级一般为公路—I 级,加宽部分和原结构形式存在一定差异。部分结构左右幅(加宽部分和原结构之间)仅有桥面连续,而加宽的宽度较小,左右幅分界线恰好处于车辆轮迹带上,左右幅之间存在纵向开裂问题,其中沈马庄桥较为典型。

鉴于沈马庄桥部分铰缝已破损,桥面出现纵向开裂,在大件运输前重新铺装桥面铺装。模拟运输过程中的监测结果表明,重新铺装左幅(通行幅)和左右幅桥面连续处桥面铺装后,大件运输车辆左幅通行时荷载能通过桥面连续传递到右幅,桥面连续处未发生明显开裂。但在进行正式运输时,左右幅之间和左幅 1# 铰缝出现轻微开裂,且 1 个月后纵向开裂发展迅速,开裂位置见图 1。为判定该桥单板受力病害是由液压轴线车还是由社会车辆所引起,对液压轴线车和六轴社会车辆荷载下铰缝的受力状况进行有限元计算分析。

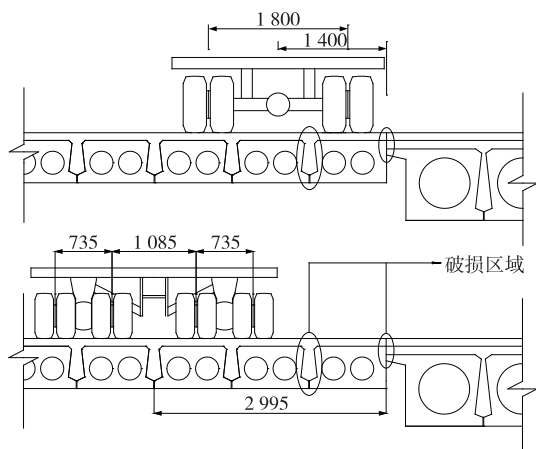


图1 沈马庄桥破损区域位置横向示意图(单位:mm)

2 假定铰缝未破坏时的有限元分析

2.1 模型建立

通过 ANSYS 软件建立模型,梁板采用 Solid65 单元模拟。模拟计算中不考虑施工顺序对计算结果的影响,并以素砼形式建模。空心板体、铰缝和桥面

铺装之间不考虑接触等复杂的边界条件,假设全桥处于弹性受力阶段,不考虑结构开裂问题,考虑 10 cm 水泥砼的桥面铺装完全参与结构受力。由于大件运输车的行驶速度仅为 5 km/h,非常缓慢,故不考虑冲击荷载。社会车辆的冲击系数取 0.3。当车轮作用于结构上时,采用均布荷载进行模拟,参考规范的接触面积取值,作用面积取 $0.6 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$ 。

根据大件运输车实际通行位置和社会重载车辆通行位置,建立两种荷载工况(见图 2):工况一为液压轴线车沿左幅中线行驶,轴载按照 18 t 计算;工况二为六轴社会车辆轮中心距离 1# 板外边缘 0.5 m,后三轴作用位置取跨中,轴重 24 t。

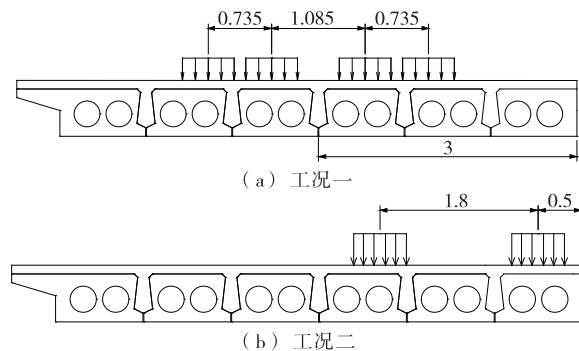


图2 加载立面图(单位:m)

2.2 计算结果分析

不同工况下计算所得铰缝剪应力、第一主应力见图 3、图 4。

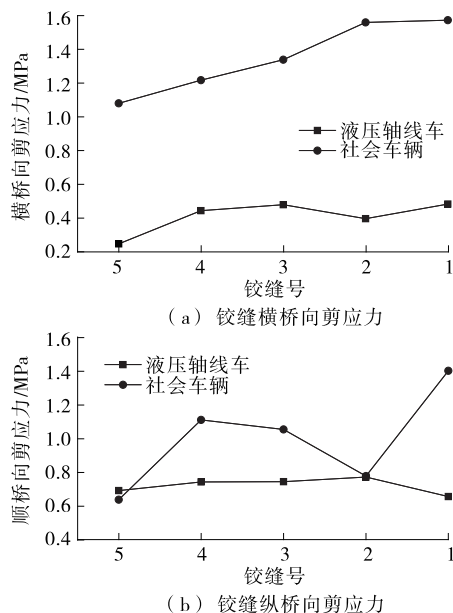


图3 铰缝剪应力计算结果

由图 3、图 4 可知:1) 社会车辆作用下铰缝横桥

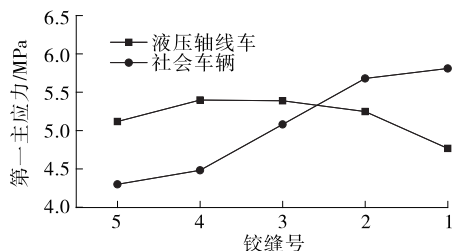


图4 铰缝第一主应力计算结果

向剪应力出现在1#铰缝,为1.573 MPa,大于液压轴线车作用下的0.484 4 MPa。2) 社会车辆作用下铰缝纵桥向剪应力出现在1#铰缝,为1.404 MPa,大于液压轴线车作用下的0.660 7 MPa。3) 社会车辆作用下铰缝的第一主应力出现在下缘且已超过C40 砼的抗拉强度标准值(2.39 MPa);最大值出现在1#铰缝,为5.811 MPa,大于液压轴线车作用下的4.77 MPa。

从剪力来看,1#铰缝的破坏是由社会超载车辆所引起。砼抗剪强度为抗压强度的0.095~0.121,取保守值0.095计算,得C40 砼的抗剪强度参考值为 $0.095 \times 26.8 = 2.55$ MPa,铰缝并非被直接剪坏。

2.3 铰缝破坏机理分析

根据以上计算结果,各铰缝的第一主应力均超过C40 砼抗拉强度标准值,铰缝下缘将首先出现开裂,在荷载作用下开裂面逐渐向上部发展,当开裂面遇到铰缝与板梁砼粘结面(新老砼粘结面)时,由于粘结面的抗拉等力学性能较差,粘结面分离失效,导致铰缝受剪面积缩小,进一步发展极有可能导致铰缝剪切破坏。

3 有限元模拟铰缝破坏

铰缝破坏首先是铰缝砼开裂,进一步表现为铰缝砼与板梁砼间粘结失效。为印证该结论,对1#铰缝与相邻板梁间以接触形式模拟砼粘结面失效后的相互作用,采用面一面接触的标准单边接触模型,面与面分离时法向压力为零,砼与砼之间的摩擦系数取0.7。取3种荷载工况进行分析:工况一为断裂面在1#铰缝与2#板之间;工况二为断裂面在1#铰缝与1#板之间;工况三为1#铰缝与1#、2#板之间均断裂。工况一、工况二下挠度计算结果见图5。

由图5可知:1) 挠度实测值与模拟值有一定差距;2) 2#板与1#铰缝之间的断面发生了破坏,由于工况二下1#板挠度很大,单从挠度来看工况二不符合实际。

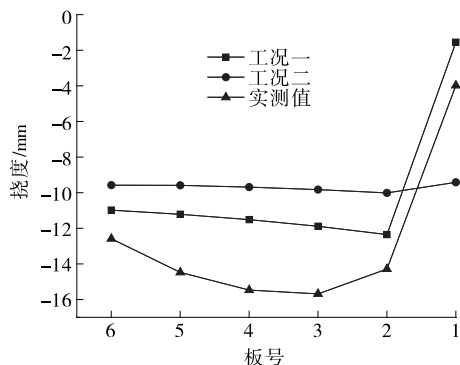


图5 不同工况下空心板挠度计算结果与实测值对比

从工况一、工况二的计算结果来看,工况三会使6#板挠度更小,与实际相差更大,故不予以计算。

4 有限元计算存在的问题及优化

从有限元模拟结果来看,桥梁的横向刚度较大,荷载作用于结构上时各片空心板受力过于均匀,与实际检测结果有较大偏差,需进行改进,使有限元模拟与实际贴合。

宋尧等就如何对简支空心板桥的荷载横向分布进行有效模拟展开研究,结果表明对铰缝材料的弹性模量进行折减,空心板的挠度计算结果接近于实测值。在1#铰缝与2#板采用面一面接触分析的基础上,设置4种工况即铰缝弹性模量分别取 $E/10$ 、 $E/100$ 、 $E/1\ 000$ 、 $E/10\ 000$ (E 为C40 砼的弹性模量)计算各空心板的挠度,铰缝上部桥面铺装作为铰缝的一部分(见图6)。计算结果见图7。



图6 有限元计算模型

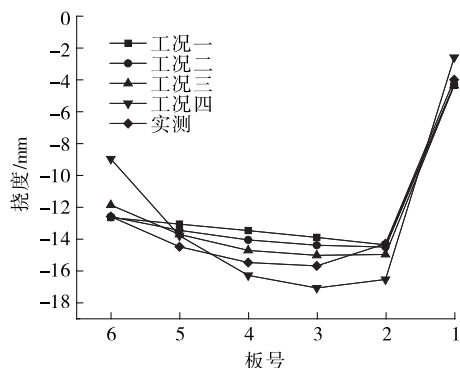


图7 不同工况下空心板的挠度计算值与实测值对比

从图7可以看出:工况三即铰缝弹性模量取为 $E/1\ 000$ 时,挠度计算值与实测值吻合较好,最大误

差为8.87%。说明折减铰缝弹性模量可模拟该桥的荷载横向分布。

理论上讲,如果铰缝砼与梁板砼间粘结良好,挠度实测值应与理论值接近。且从该桥各铰缝第一主应力来看,各铰缝出现了砼开裂的情况。因此,推测其他铰缝可能也存在不同程度的病害,通过折减铰缝材料的弹性模量是否可模拟铰缝不同程度的破坏还有待进一步研究。

5 结论

(1) 在社会车辆考虑冲击系数的前提下,社会车辆作用下1#铰缝各项剪应力都大于液压轴线车,判断铰缝破坏由社会超载车辆所引起,通过控制超载车辆可避免或延缓铰缝损坏。铰缝损坏源于铰缝砼开裂后导致的铰缝与板梁间砼粘结面失效。

(2) 假设砼材料表现为线性进行有限元模拟,挠度结果显示桥梁的横向刚度较大,荷载作用于结构上,各片空心板受力过于均匀,荷载的横向分布并不理想,需进行优化。

(3) 对铰缝弹性模量进行折减能更合理地模拟空心板桥的荷载横向分布。但鉴于桥梁实例有限,没有进行广泛的对比与讨论,弹性模量取 $E/1\ 000$

仅对该桥来说较合理。由于并不清楚该桥其他铰缝是否也存在不同程度的损坏,对于能否广泛地采用折减铰缝弹性模量的方法来模拟简支空心板桥的横向分布及不同程度的铰缝损坏还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 乔学礼.空心板桥铰缝破坏机理及防治措施[D].西安:长安大学,2008.
- [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).
- [3] 苏高裕.大铰缝空心板梁铰缝受力特点分析和配筋优化[J].公路,2012(8).
- [4] 陈少峰,刘骁,彭周.局部铰缝开裂的装配式空心板梁有限元分析[J].公路,2013(10).
- [5] 张喜刚.公路桥梁汽车荷载标准研究[M].北京:人民交通出版社,2014.
- [6] 尹江南.装配式钢筋混凝土空心板桥支座与铰缝损伤的数值仿真分析[D].天津:天津大学,2009.
- [7] Eurocode 2, Design of concrete structures[S].
- [8] 宋尧,李国平.铰缝破坏对装配式空心板桥荷载横向分布影响的分析[J].上海公路,2012(3).

收稿日期:2018-04-17

(上接第124页)

从表2、图8来看,经一次张拉和二次补张拉,该梁段98.6%竖向预应力钢筋的张拉力达到规范要求,张拉效果良好。

5 结论

(1) 控制材料标准、减小施工定位误差、保证张拉质量、孔道密实压浆等是减小竖向精轧螺纹钢预应力损失的重要手段。

(2) 对精轧螺纹钢外露段进行结构动力学分析,得到外露段长度 L 、一阶振型频率 f 与锚固段刚度增大系数 k 三参数模型;通过室内模型试验,得到预应力钢筋张拉力 P 与锚固段刚度增大系数 k 的经验公式。

(3) 竖向预应力在人为因素及施工因素影响下存在张拉力不足的现象,文中提出的检测方法可为工程实际问题提供快速解决方案。

参考文献:

- [1] 沈明艳,钟新谷,舒小娟.PC箱梁腹板竖向预应力施工

控制初步研究[J].建筑结构,2008,38(12).

- [2] 李坚.我国预应力混凝土连续梁桥的发展与工程实践[J].城市道路与防洪,2001(1).
- [3] 彭卫,邢鸿燕,柯善刚.PC连续箱梁裂缝控制研究[J].浙江工业大学学报,2003,31(3).
- [4] 彭宝华.对公路混凝土桥梁裂缝的认识[A].2004年全国桥梁学术会议论文集[C].2004.
- [5] 邓志恒,罗志佳,林俊.竖向预应力损失对箱梁腹板斜裂缝影响分析[J].公路工程,2007,32(6).
- [6] 李守凯,张峰,李术才,等.施工定位误差对竖向预应力损失的影响研究[J].山东大学学报:工学版,2011,41(3).
- [7] 钟新谷,沈明燕,尹旭文,等.预应力混凝土箱梁桥竖向预应力孔道漏灌浆对腹板截面开裂影响的研究[J].土木工程学报,2008,41(10).
- [8] 钟新谷,杨滔,沈明燕.混凝土箱梁桥腹板竖向预应力筋张拉力检测方法[J].中国公路学报,2010,23(4).
- [9] JTG D62-2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [10] JTG D60-2015,公路桥涵设计通用规范[S].

收稿日期:2018-06-01