

装配式空心板梁桥病害分析及治理技术研究

蒋为华

江苏东南工程咨询有限公司

摘要: 装配式简支空心板梁桥因其具有结构简单, 用材经济, 吊装重量轻, 施工方便以及可大批量工厂化预制等优点, 在我国中小跨径公路桥梁建设中得到了广泛的应用. 本文主要针对当前装配式简支空心板梁桥的典型病害进行了成因分析, 根据病害的主要特点和成因提出了相应的处治对策, 对此类桥梁的设计, 施工, 养护等具有重要的借鉴意义。

关键词: 空心板梁; 病害机理; 病害成因; 治理对策

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.04.053

一、空心板梁桥病害机理与病害成因分析^[1]

常规设计中, 空心板之间按铰接考虑, 铰缝处于纯剪受力状态, 只传递剪力, 不传递弯矩, 桥面铺装层只考虑对纵向承载能力的贡献, 而不考虑其对横向整体性的影响。实际对于空心板梁桥, 铺装层与梁板结合成叠合结构在受力上是非常复杂的, 一方面表现在铺装层同预制构件紧密结合成叠合结构, 另一方面表现在铺装层对空心板桥荷载横向分布的影响。铰缝本身和铺装层对于横向弯矩传递都有相应贡献作用, 铰缝处于弯剪受力状态。在使用过程中, 铰缝下缘存在较大的应力集中, 引起铰缝与梁连接较薄弱部位的破坏。随着病害进一步发展, 裂缝扩展贯通铺装层, 空心板横向分布系数明显增大, 最终造成空心板病害的产生。

橡胶支座体系是一个超静定体系, 梁的变形和支座反力都要通过刚度及协调条件分配。常规分析时, 认为空心板梁梁体与橡胶支座紧密接触, 均匀受力, 没有考虑部分支座脱空、支座纵向变形能力削弱等引起的铰缝受力状态的变化。空心板梁桥没有端横隔板, 支座的病害直接影响梁体的空间形态和铰缝的受力状态, 进而影响板梁桥整体受力性能。

采用理论分析同时结合已有类似桥梁的加固研究, 对空心板梁桥病害成因进行总结分析并对其发展规律进行研究。结合实际运营荷载, 对恒、活载工况进行分析, 研究空心板梁在设计、运营阶段的差异, 从而确定空心板梁产生病害的原因, 并完成分析报告, 报告的主要内容如下:

- ①空心板梁桥空间受力机理仿真分析;
- ②支座病害对空心板梁桥上部结构的影响分析;
- ③空心板梁桥病害成因分析与总结。

通过空间受力机理仿真分析, 研究设计图纸、交通状况和施工质量控制与空心板梁各病害的关系, 对空心板梁桥病害成因进行分类、总结, 以此作为空心板梁桥加固研究的基础。

(一) 空心板梁桥空间受力机理仿真分析。

空心板梁桥各梁之间的荷载横向传递主要靠铰缝与桥面现浇层, 故结构的横向效应及空间受力特征突出, 通常设计采用的分析方法难以准确反映空心板梁受力的空间效应, 如支座变形对各梁受力影响, 跨中至墩顶间横向分布系数的渐变值等。因此, 需对空心板梁桥的空间受力机理进行仿真研究, 并对恒、活载工况影响进行分析, 研究空心板梁桥在设计 and 运营阶段的差异, 分析各种病害产生的原因, 为有目的的加固打下基础。

分别对理想状态, 铰缝失效和铰缝、铺装层同时失效三种情况下, 空心板的荷载横向分布和空间受力进行研究。结合实际运营荷载, 对恒、活载工况进行分析, 探讨板间采用不同连接状态的空心板梁桥在设计、运营阶段的差异, 分析不同连接状态空心板梁桥的强度和应力状况, 对空心板梁桥的病害成因进行分析。

(二) 支座病害对上部结构的影响研究。

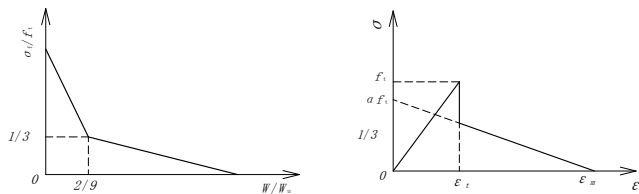
橡胶支座体系是一个超静定体系, 梁的变形和支座反力都要通过刚度及协调条件分配。空心板梁桥无端横隔板, 板梁桥支座的状况直接影响结构的边界条件。常规分析时, 认为空心板梁梁体与橡胶支座紧密接触, 均匀受力, 没有考虑施工及后期运营阶段引起的部分支座脱空、支座纵向变形能力削弱等引起的上部结构受力体系发生较大的改变。

考虑支座病害情况, 对空心板梁铰缝受力的影响。根据支座病害的实际情况, 对全桥总体受力模型进行修正, 考虑支座刚度变化对板梁桥铰缝受力的影响因素, 与理想状态相比, 分析不同类型、不同程度的支座病害对梁体结构受力的影响。

(三) 空心板梁桥病害成因分析与总结

许多早年修建的空心板桥铰缝处都出现了不同程度的病害, 原因包括设计理论缺陷、施工质量得不到保证及运营养护不到位等。空心板梁横向分布一般采用铰接板(梁)法, 板梁间的铰缝只传递剪力不传递弯矩。由于空心板梁梁体、铰缝、铺装层、支座的病害直接影响个主梁的受力性能。从病害桥梁的实测结果来看, 由于空心板梁病害的影响, 各主梁的荷载横向分布系数普遍增大, 从而加剧了空心板梁桥病害的发展。

钢筋混凝土构件中, 由于普通钢筋和混凝土之间的粘接作用, 开裂后裂缝间还承受垂直于开裂面的一定量拉伸荷载, 即混凝土在裂缝产生以后由于受拉钢筋的合缝作用, 开裂混凝土仍可承受部分荷载, 混凝土抗拉强度随裂缝宽度变化模型采用瑞典Peterson研究成果如图3-3(a)所示, 混凝土拉伸刚化模型如图3-3(b)所示。



(a) 抗拉强度随裂缝宽度变化模型 (b) 混凝土拉伸刚化模型

图1 混凝土本构关系

对已有空心板相关研究情况进行归纳,对病害空心板梁桥展开针对性的数值研究,分析空心板梁桥病害的影响因素,研究引起空心板桥裂缝,铰缝病害,钢筋锈蚀的各种原因。同时根据病害范围和程度对有限元模型的材料参数进行修正,对病害桥梁的荷载横向分布系数和活载(车辆、温度)影响下板梁的内力分布情况进行研究,充分考虑桥面铺装层裂缝和铰缝劣化导致的板梁间铰缝抗剪性能的下降,并与原始受力状态进行对比分析,从设计、施工和运营管理方面对空心板梁桥的病害成因进行分析和总结。

二、空心板梁桥加固技术研究^[2]

目前常用的空心板梁桥加固方法有:桥面补强层加固、横向粘贴钢板加固、横向预应力加固、 π 型钢板加固、化学灌浆加固和增设钢横梁法加固。不同病害程度情况下适宜不同的加固方案。板梁桥铰缝损伤较重时,在荷载作用下,铰缝与空心板脱开,造成单板受力,同时引起左右板位移差,造成加固手段受限制(脆性连接难以适用),此时病害板梁桥的受力特点决定了加固措施偏向于提高桥梁整体受力性能。

根据大量已研究成果,选取化学灌浆加固、增设钢横梁加固、横向预应力加固和桥面补强加固作为手段,对已有病害桥梁进行加固处理,并对加固过后的桥梁使用性能进行研究。其中铰缝病害是空心板的通病,因此在进行增设钢横梁加固和横向预应力加固的时候需要辅以化学灌浆对铰缝进行加固;在进行桥面补强加固的时候,采用水刀凿除部分铰缝并重新浇筑,以保证加固后铰缝性能可靠。

(一) 增设钢横梁加固

空心板桥增设钢横梁后,其整体性能增强,理想状态时铰缝不但能够承受剪力,而且还能承担一定量级的弯矩作用,故其可以看作刚接板,其荷载横向分布的计算采用刚接板法。桥梁产生病害之后,铰缝承担的弯矩

值变小,此时设置钢横梁之后,铰缝的病害情况直接影响各主梁的荷载横向分布系数,此时各梁荷载横向分布系数计算方法介于刚接板法和铰接板法之间。

为研究新增钢横梁法对空心板梁桥整体性能的影响,在分析铰缝病害的前提下,对空心板各主梁分布系数进行研究,在板梁桥加固前后分别进行荷载试验,并与新增钢横梁法后各空心板的荷载横向分布系数进行对比,对新增钢横梁法加固的适应性进行研究。

(二) 横向预应力加固

装配式空心板桥梁采用施加横向体外预应力进行加固,可以使空心板横向下缘的混凝土处在受压状态,进而平衡该处的横向弯矩,把铰接板的结构形式变成刚接板的结构形式,使得空心板间既可以传递竖向的剪力,又可以传递弯矩,各板之间的横向连接得到增强;同时,因为空心板之间的横向连接形式由铰接变为刚接,荷载的横向分布特性得到改善,对空心板各板之间共同承担汽车荷载也有利,因此可以提高空心板桥的极限承载能力。

对空心板梁桥横向预应力加固的加固范围和程度进行分析,研究空心板梁桥的整体受力性能变化,对横向预应力加固效果的影响程度进行探讨。同时对横向预应力的设计方法、构造要求进行研究,结合先导试验工程对横向预应力的施工措施和质量控制原则进行总结。

(三) 桥面补强层加固

桥面补强层加固即为将原有砼桥面铺装层凿除,然后在板梁上浇筑一层新的钢筋混凝土补强层,补强层材料可采用钢纤维混凝土,并内设D12焊接钢筋网片以增强抗裂性能。补强层加固施工时,可通过提高补强层的厚度而达到提高桥梁的抗弯刚度及桥梁整体性的目的。在桥面补强层施工的时候可以对病害铰缝直接进行处理,提高铰缝的工作性能,增强了各板之间的横向联系,进而改善空心板梁桥荷载的横向分布,提高了桥梁的整体受力效果。但对结构承载潜力的挖掘有限。

采用桥面补强层加固时采用“高压水射流”工艺破除混凝土铺装层。“高压水射流”技术,也被称为水力破除技术,是指用高压水流来清除混凝土构筑物的劣化的混凝土,以利于修复这些建筑结构,使之得到改造与补强。“高压水射流”破除技术原理为:多孔材料混凝土具有很高的综合黏结力当高速水流进入混凝土孔隙时产生内压超过混凝土的抗拉力时,混凝土就被破碎。

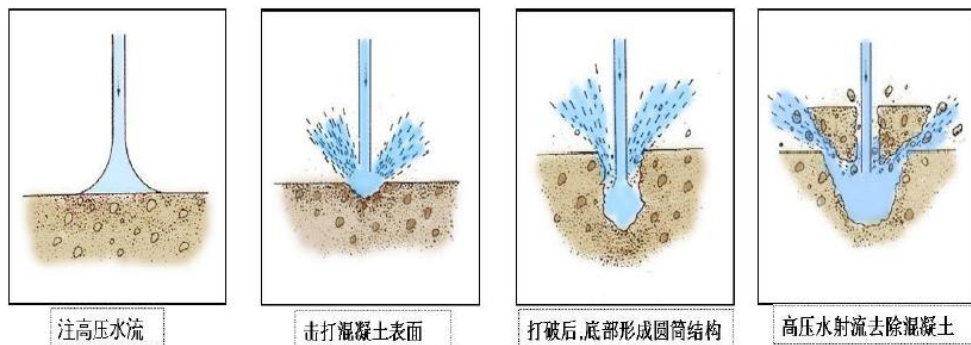


图2 水力破除原理

研究采用桥面补强层加固的时候,各板梁受力性能的变化,同时结合实际运营荷载,对桥面补强层加固的适应性进行研究。

三、空心板病害治理研究及养护对策措施研究^[3]

在结构病害成因及受力性能分析的基础上,研究分析桥梁产生病害的具体原因,并根据混凝土拉伸刚化模型,计算不同裂缝宽度和裂缝分布,不同铰缝病害程度下,板梁的荷载横向分布系数以及车辆荷载作用下的应力情况。并根据计算结果,对板梁病害程度进行分类,以此作为早期病害预处理指导意见的基础。从基于结构整体受力性能的角度,分析各种加固方案对桥梁使用阶段应力、应变的影响和各加固方式的优缺点,并根据实际病害情况提出板梁上部结构病害长效、系统的解决方案。并形成分析报告,主要内容如下:

①空心板梁桥病害与整体性影响关系研究

②空心板梁桥病害预处理先导试验工程

③空心板梁桥养护对策措施指导意见

总结空心板梁桥病害发展的客观规律,结合设计、施工及环境运营等方面条件,对空心板梁桥整体受力情况进行分析研究。同时对不同加固方法对板梁桥整体性的影响程度进行分析,选取不同病害状况的板梁桥,分别进行不同的加固方式处理,并对加固后的板梁桥进行荷载试验研究。对比分析加固前后的荷载试验结果情况,研究不同加固方法对桥梁整体受力性能的影响,提出不同病害下空心板梁桥上部结构病害的解决方案。

(一)空心板梁桥病害与整体性影响关系研究

空心板梁桥的铰缝病害在使用中是一个普遍的现象。空心板铰缝失效有个过程,一般先是铰缝微裂缝扩展,逐渐形成通缝,通缝引起桥面铺装开裂,接着裂缝沿铰缝纵向扩展。裂缝的出现不等于铰缝马上失效,因为裂缝断面上集料的啮合作用还可以传递剪力。当车辆通过铰缝破坏的板梁桥时,板梁产生弹性的下挠,相邻两块板的不协同变形,形成台阶。而此时桥面板尚能够自由变形恢复到原来的状态,这说明铰缝破坏病害程度仍处于初期阶段,没有发生塑性破坏形成永久性台阶。但铰缝破坏病害使得桥梁上部构造整体受力不利,桥梁整体刚度和强度降低了。若没有及时进行加固处理,铰缝破坏病害会逐渐加重,铰缝病害达到后期阶段,塑性变形无法恢复,两板之间形成永久性台阶,在车轮反复作用下造成单梁受力破坏。

针对铰缝病害情况进行检查、分类。对铰缝渗水、析白、错台等不同病害的铰缝位置采用冲击回波法检测,同时进行采用钻芯取样,对芯样性状和强度进行分析,同时对相应的空心板梁桥进行现场荷载试验研究,并与理论计算结果进行对比,分析不同病害情况下,板梁桥整体性的损失程度,以此作为空心板梁桥加固研究的基础。同时研究无损检测方法与铰缝病害程度的关系,建立快速检测并对空心板梁桥病害程度进行分类的检测体系。

(二)空心板梁桥病害预处理先导试验工程

目前常用的空心板梁桥加固方法有:桥面补强层加固、横向粘贴钢板加固、横向预应力加固、 π 型钢板加固、化学灌浆加固和增设钢横梁法加固。其中可以按照是否影响桥面交通分为以下两类:①封闭桥面交通;②不封闭交通加固。横向粘贴钢板加固、横向预应力加固, π 型钢板加固和增设钢横梁法加固都属于不封闭交通加固范畴。

根据现场检查结果,分别选取不同病害程度的板梁桥进行病害预处理先导试验工程。分别采取化学注浆法加固、横向预应力加固、新增钢横梁法加固、桥面补强层加固进行加固处理。

对加固后的桥梁进行长期跟踪监测研究,监测内容包括应力监测、裂缝监测和铰缝性能监测。通过应力监测对板梁的应力状态进行分析;通过裂缝监测对加固过后桥梁的纵向性能进行研究;通过铰缝性能监测对加固过后桥梁的整体性进行研究。

在先导试验工程施工完毕后,总结各种加固方式在施工中的注意事项,对施工工艺进行归纳总结,提出施工质量控制要求。

(三)空心板梁桥预防性养护对策措施研究

桥梁的病害是由无到有发展的,由于病害的产生和发展,梁体的刚度、强度和桥梁整体性慢慢下降,即不同病害程度的桥梁其承载力,整体刚度不同。对于未产生病害的桥梁,分析其实际的运营荷载,研究其承载力是否满足实际运营荷载要求,如果不满足,及时进行加固处理,防止由于实际运营荷载超过设计值而引起梁体病害。对于产生病害的桥梁,需要对其病害程度进行分析研究,同时结合桥梁的实际运营荷载进行加固处理,以使病害不继续发展。即对于不同病害程度的桥梁,在养护阶段的侧重点是不同的,通过研究确定桥梁各阶段的养护重点和出现相应病害的措施。

针对不同构造、不同病害性状、不同荷载的空心板梁,进行分门别类有针对性的措施研究,借鉴而不拘泥于常用方案,形成系统方案,变被动补救为主动治理。总结出空心板梁桥病害发展的客观规律,结合设计施工及环境运营各方面条件,对病害趋势进行预判,提供早期病害预处理的指导性意见。

参考文献

- [1]张本权.空心板梁桥典型病害成因分析及防治措施[J].工程管理前沿,2019,07.
- [2]黄卫国,俞博,易汉斌.装配式空心板梁桥铰缝数值分析与试验研究[J].中外公路,2019,06.
- [3]僧格仁钦.关于空心板梁桥拓宽后主梁基础沉降变形的分析与研究[J].公路交通科技(应用技术版),2019,10.

作者简介:蒋为华,1966年,男,汉族,江苏泰州,本科,研究方向为高速公路路基桥梁及城市道路施工质量管控。