

高速公路预制小箱梁拼宽关键技术

李爱军

(山西交控集团有限公司 长治高速公路分公司, 山西 长治 046000)

摘要: 为了明确预制箱梁桥拼宽后的力学性能,指导同类桥梁的拼宽设计,该文研究了拼接方式对预制拼宽箱梁桥在活载作用下受力、变形及对基础沉降差引起的横桥向应力的影响。结果表明:旧桥拼宽后,旧桥主梁受力的改善程度与拼接方式相关,拼接部位刚度越大,旧桥受力改善越明显。采用刚性拼接时,基础沉降引起的横向最大正应力发生在靠近拼接部位的旧桥主梁顶部,弱刚接及铰接拼宽的最大正应力发生在拼接处。综合分析,预制小箱梁拼宽宜采用弱刚接的拼宽方式。

关键词: 预制箱梁; 拼宽方式; 内力; 基础沉降

1 前言

随着中国大中城市高速公路网形成,高速公路建设的重点由新建道路逐渐转为新建与改扩建并重的局面。随着大量改扩建工程的相继展开,必然涉及到桥梁的拼宽问题,实例证明,采用拼宽部分进行桥梁加固是可行且经济的。桥梁拼宽的关键在于拼宽方式的选择,不同的桥梁拼宽方式不仅影响拼宽后结构本身的力学性能,同时还要考虑不同拼宽方式受到新旧基础不均匀沉降差的影响,因此确定合理的拼宽方式非常重要。预制箱梁桥是一种常见的桥梁结构形式,对其拼宽技术进行研究对于指导同类桥梁的设计施工,提高拼宽桥梁的力学性能具有重要意义。

不少学者对箱梁拓宽后的受力机理、施工工艺及病害原因等进行了研究。吴文清等通过有限元数值方法分析箱梁拼宽后,拼宽对既有箱梁受力的影响,并对箱梁拼宽后可能产生的结构病害进行了分析提出了桥面板横向加固方法;曹实等利用实体有限元对拓宽后简支小箱梁桥进行受力分析,研究了徐变对桥面板受力的影响;茹毅、刘其伟分别建立实体和梁格有限元模型分析了拼宽后新旧桥的受力和变形,分析了收缩和徐变作用下拼宽桥梁的受力机理;高冉、刘其伟分析了某高速公路拓宽连续箱梁桥支座病害产生的原因,认为混凝土收缩徐变是造成病害的主要原因,并提出了相关的处理措施;秦肖等通过数值模拟研究了通车条

件下新旧梁之间的挠度差,分析了对拼接施工的影响;田增顺等建立桥梁结构拼宽的实体有限元模型,计算了不同交通组织方案下的旧桥挠度,作为施工期选取交通管制方案的依据;毛建平、刘莉、黄立浦等对箱梁拼宽后的荷载横向分布效应进行了研究;熊正强分析了拓宽新桥对纵缝受力性能的影响,提出拓宽部分的基础沉降势必引起与原结构之间的沉降差,这种沉降差会对拼接纵缝受力产生不利的影响。虽然对箱梁的拼宽技术有较多研究,但由于各个桥梁在结构上的差异,在进行拼宽时,必须依托具体桥梁进行研究,以确定合理的拼宽设计方法及相关控制指标。

该文以山西长(治)至河北邯(郸)高速公路改扩建工程为依托,对工程涉及的预制小箱梁桥拼宽技术进行研究,主要分析不同拼宽方式对于桥梁内力、变形及容许沉降差的影响,以及收缩徐变对于拼宽桥梁的影响。桥梁拼宽关键在于选取合适的桥梁拼宽方式。首先,初步选定拟采用的桥梁拼宽方案和横向拼接构造方案;其次,对不同拼宽方式的桥梁力学性能以及基础沉降进行研究,综合分析以确定预制小箱梁的最优拼宽方式及基础沉降控制标准。

2 小箱梁桥拼接构造的拟定方案

2.1 拼宽横断面

依托工程预应力混凝土小箱梁拼宽拟采用上连下不连形式,主梁横向连接,桥墩及基础不连接。拼宽部

分析梁采用跨长为 4×30 m 预应力混凝土小箱梁,梁高 1.6 m。旧桥为 4 片预制小箱梁,梁高 1.5 m,全幅宽度 24.5 m。通过两侧拼宽形成六车道,全幅宽度 39.5 m。拼宽后单幅桥梁横断面见图 1,左侧 4 片为旧梁,右侧 3 片梁为新梁。图 1 中主梁自左至右编号为 1~7 号。

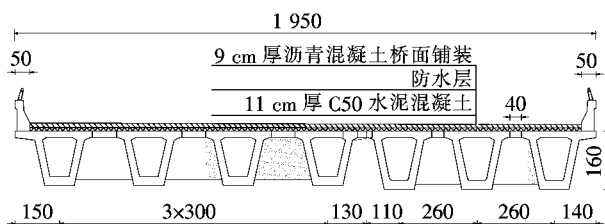


图 1 箱梁拼宽后桥梁横断面图(单位:cm)

2.2 拼接构造方案

2.2.1 方案 1(翼缘板混凝土铰接拼接)

采用铰缝拼接的做法是将旧桥拼宽侧悬臂切割 1 m,将切割面凿毛,在混凝土切割面上植入钢筋并且涂刷界面胶,待新桥架设完成后,将新桥的预埋钢筋与旧桥的切割面植筋绑扎拼接,并浇筑钢筋纤维混凝土,现浇湿接缝后便形成混凝土铰。其拼接部位示意图见图 2。

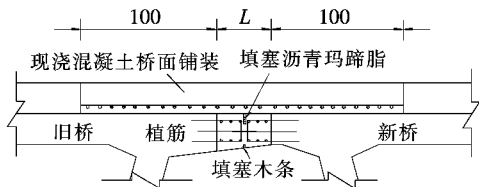


图 2 混凝土铰钢筋构造图(单位:cm)

2.2.2 方案 2(翼缘板弱刚性拼接)

该方案与方案 1 不同之处在于该方案中湿接缝处不设置铰,湿接缝处的绑扎钢筋方式与方案 1 也略有不同。其拼接部位示意图见图 3。

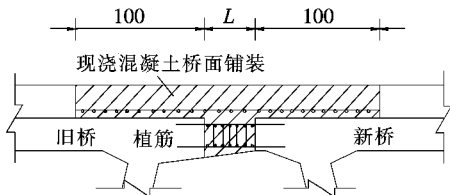


图 3 弱刚性拼接钢筋构造图(单位:cm)

方案 2 整体性较好,可以确保新旧结构整体共同受力;但不足之处在于:新旧桥拼宽拼接后,新桥与旧桥下部基础产生不均匀沉降时,对新桥和旧桥的影响更大,该方案对下部结构不均匀沉降要求高于方案 1。

2.2.3 方案 3(强刚性拼接)

该方案是在方案 2 的基础上,在新旧主梁腹板上植筋,并绑扎后浇筑混凝土形成横隔板。其拼接部位示意图见图 4。

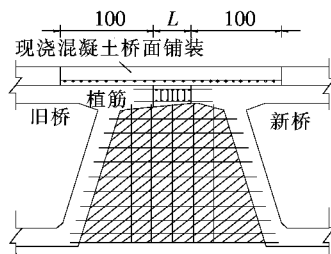


图 4 强刚性拼接钢筋构造图(单位:cm)

方案 3 的整体性更好,新旧梁之间的连接更强。缺点是这一连接方式对旧桥下部基础不均匀沉降差较为敏感,在施工过程中因需箱梁腹板植筋,施工难度较大,且易对梁体腹板造成损害。

3 控制截面内力及挠度对比分析

对于横向有多片主梁的预应力混凝土小箱梁桥,边梁受力较中梁更为不利。旧桥拼宽后,原 4 号边梁变为中梁,其受力改善最为显著,而 1 号梁仍为边梁,其承担的荷载大于 2、3、4 号旧梁。因此以 1 号梁作为研究对象,分析小箱梁拼宽前后其受力及变形的变化情况。根据不同的横向拼接情况,采用 Midas Civil 建立梁格模型。在梁格建模时,将主梁作为纵向单元,横桥向根据实际横向刚度采用虚拟横梁与主梁连接起来。虚拟横梁只有刚度(不计质量),从而实现横向刚度的模拟。其中,新旧主梁弱刚接模型如图 5 所示。



图 5 弱刚接计算模型示意

3.1 内力对比分析

旧桥及铰接、刚接后边梁(1#梁)各控制截面弯矩对比见表 1。

由表 1 可知:旧桥拼宽后,旧桥边梁的各控制截面弯矩值均有所降低。表明其受力均得到改善,边跨跨中及墩顶弯矩改善比中跨明显,且改善程度随拼接刚度的增大而增强。采用强刚接拼宽时,边跨跨中的弯矩值降低约 6%,墩顶弯矩值降低约 4%,与铰接及弱刚接拼宽相比,区别较小。

表 1 旧桥及铰接、刚接后边梁(1# 梁)各控制截面弯矩对比

| 拼接方案 | 弯矩/(kN·m) | | | |
|------|-----------|-----------|----------|-----------|
| | 边跨跨中 | 墩顶 | 中跨跨中 | 墩顶 |
| 旧桥 | 2 738.39 | -2 188.74 | 2 456.75 | -2 014.4 |
| 铰接 | 2 577.00 | -2 109.33 | 2 404.28 | -2 009.19 |
| 弱刚接 | 2 576.10 | -2 108.76 | 2 403.44 | -2 008.65 |
| 强刚接 | 2 566.17 | -2 104.35 | 2 394.66 | -2 004.84 |

3.2 挠度对比分析

旧桥及铰接、刚接后边梁各控制截面挠度对比如表 2 所示。

表 2 旧桥及铰接、刚接后边梁各控制截面挠度对比

| 控制截面 | 挠度/mm | | | |
|------|---------|---------|---------|---------|
| | 旧桥 | 铰接 | 弱刚接 | 强刚接 |
| 边跨跨中 | -17.633 | -16.005 | -15.998 | -15.920 |
| 主跨跨中 | -14.656 | -14.172 | -14.165 | -14.097 |

由表 2 可知:拼宽后旧桥边梁各控制截面挠度值比拼宽前略有降低。几种拼宽方式均能改善原桥边梁的变形,且改善程度按铰接、弱刚接、强刚接拼宽方式依次增强。强刚接拼宽方式下,边跨跨中的下挠度值降低了约 10%;中跨跨中的下挠度值减小了约 4%,与铰接及弱刚接区别不大。

综合拼宽后的受力及变形分析结果可知:拼宽能有效减小旧桥的变形及受力,即使离拼宽位置较远的边梁,也受到了拼宽带来的有益影响。拼接部位的横向刚度越大,拼宽对于旧桥受力及变形的改善越大,但几种不同拼接方式对旧桥改善有区别。

4 不同横向拼接方式下新旧桥的允许沉降差及横向正应力分析

通过 Ansys 建立实体模型,模拟不同横向拼接方式在不同的沉降差作用下的梁体受力,分析新旧桥基础沉降差异对新、旧桥拼接部位的影响,以确定合理的拼接方式及沉降差控制标准。全桥模型采用 Solid65 实体单元,单元数量 325 462 个。对于弱刚接拓宽横向连接方式在实体模型中的实现,该文通过采用 Ansys 中的杀死单元命令来实现。其边界条件的设置为将各片小箱梁实际橡胶支座所对应的节点进行 3 个平动方向(U_x 、 U_y 、 U_z)的约束。采用弱刚接拼宽的有限元实体模型如图 6 所示。

基础沉降考虑单个墩柱处发生沉降,即 4 跨连续梁的中间某个桥墩发生沉降。沉降模式为线性沉降,即新建桥梁上部结构各主梁的沉降值由拼接处到最外侧线形增大(5~7 号主梁沉降值依次增大),线性沉降示意图如图 7 所示。

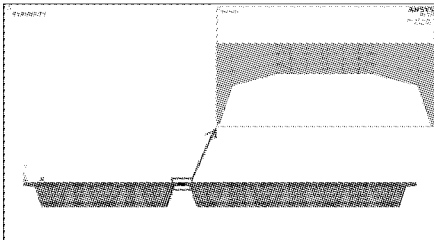


图 6 弱刚接拓宽桥梁有限元模型横断面示意

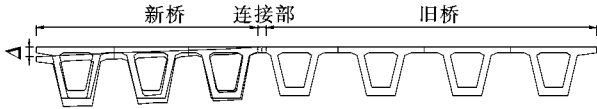
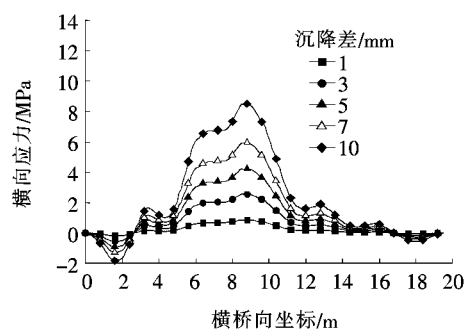


图 7 线性沉降示意图

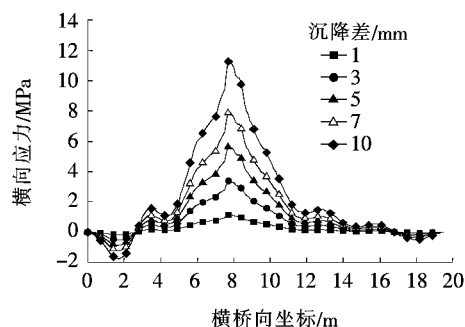
在线性沉降模式下采用不同横向拼接方式的横向正应力沿横桥向的变化曲线见图 8,横向坐标原点为新拼宽桥梁梁顶外边缘,即由 7 号梁至 1 号梁坐标值增大。

从图 8 可知:在线性沉降模式下,强刚接拼宽的箱梁顶板横向应力极值出现在靠近拼接部位的旧主梁顶板中心位置,而弱刚接、铰接的拼宽箱梁顶板横向应力极值出现在拼接部位。采用强刚接的拼接方式时,顶板横向正应力最小,其次为弱刚接,新旧桥采用铰接的拼宽方式时,横向正应力最大。由箱梁顶板的横向应力分布规律可以看出,靠近拼接缝处的新旧主梁横向正应力大,远离拼接缝的主梁横向正应力较小。但考虑到采用强刚接时,受力最不利部位为旧桥主梁,考虑到旧桥已经运营相当长时间,其结构性能有所退化,因此从减小沉降对旧桥主梁影响的角度,应优先考虑弱刚接及铰接的拼宽方式。

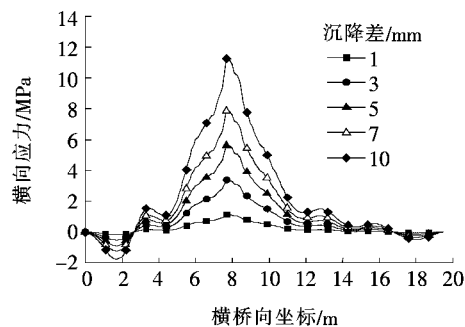
新旧梁拼接部位混凝土徐变可降低由沉降差导致的附加应力。根据 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》中相关规定,对由于新旧桥基础沉降差产生的附加应力进行折减,折减系数取为 0.45。当沉降差为 5 mm 时,折减后弱刚接拼接部位正应力为 2.493 MPa,铰接拼宽为 2.853 MPa,采用弱刚接拼宽所对应的横向应力极值未超过 C50 混凝土抗拉强度标准值,铰接拼宽所对应的横向应力极值超过 C50 混凝土抗拉强度标准值。因此 5 mm 可作为采用弱刚接拼宽方



(a) 强刚接拓宽梁顶正应力



(b) 弱刚接拓宽梁顶正应力



(c) 铰接拓宽梁顶正应力

图 8 线性沉降引起的横向正应力

式下的新旧桥基础沉降差控制标准。

5 结论

针对不同横向拼接方式下拼宽后混合结构的受力、新旧桥不均匀基础沉降等桥梁拼宽关键技术问题进行研究,得出以下结论:

(1) 在活载作用下拼宽后旧桥边梁的内力及挠度

大大降低,有利于改善旧桥的受力状况。不同横向拼接方式对原有主梁的受力影响差异较小,强刚接拼接方式对旧桥主梁受力改善略大,从改善结构活载作用下的受力出发,拼宽箱梁之间采用弱刚性、强刚性拼接方式较合理。

(2) 新旧桥基础发生不均匀沉降时,强刚接拼宽方式的横向正应力最大部位为旧桥主梁,而铰接、弱刚接等拼宽方式横向正应力最大发生在拼接部位,综合分析认为考虑新旧桥不均匀沉降时,弱刚接拼宽方式对结构受力更有利。

(3) 结合拼接后结构在活载作用下变形、受力及不同拼接方式下的容许沉降差,确定该项目预制小箱梁横向拼接方式采用弱刚接拼宽方式,且提出弱刚接拼宽方式下新旧桥基础不均匀沉降控制标准为5 mm。

参考文献:

- [1] 王光辉,韦成龙.既有桥梁利用拓宽进行加固研究[J].中外公路,2015(5).
- [2] 吴文清,唐章翔,张慧,等.混凝土连续箱梁桥拼接拓宽后箱梁顶板病害分析[J].中国公路学报,2018(5).
- [3] 曹实,雷笑,王杰.桥面连续小箱梁桥拓宽后徐变对连续桥面板的影响分析[J].公路交通科技(应用技术版),2017(5).
- [4] 茹毅,刘其伟.收缩徐变作用下混凝土连续箱梁拼宽桥拼接段受力性能研究[J].中外公路,2016(2).
- [5] 高冉,刘其伟.拼宽连续箱梁桥支座病害分析及处理方案的研究[J].中外公路,2012(6).
- [6] 秦肖,刘钱,郭佳.通车条件下预制小箱梁桥拼宽施工工艺研究[J].公路交通科技(应用技术版),2014(1).
- [7] 田增顺,刘钱,郭佳,等.预制小箱梁桥拓宽施工工艺研究[J].公路交通科技,2017(1).
- [8] 毛建平,覃乐勤,蒙方成.拼宽箱梁横向分布效应理论与试验研究[J].中外公路,2017(5).
- [9] 刘莉,单婷婷.拼宽箱梁桥荷载横向分布计算及应用[J].中国市政工程,2016(3).
- [10] 黄立浦,曹素功,常柱刚.旧桥拓宽加固中荷载横向分布系数的变化规律[J].中外公路,2017(4).
- [11] 熊正强.预应力混凝土空心板拼宽后纵向接缝受力研究[J].中外公路,2014(5).