

桥梁加宽中新旧桥面挠度差的控制

杜进生¹, 赵 刚², 赵永国², 惠小荣¹

(1. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044;

2. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075)

摘 要:为减小桥梁加宽施工中交通荷载引起的新旧桥面间的挠度差,采用基于梁格的有限元数值计算方法,研究了交通管制、在新旧桥面间设置临时剪力架、在旧桥下设置临时支撑、分段浇注新旧桥面间的混凝土接缝这 4 种措施及其组合的应用情况。研究表明:通过采取适当的交通管制措施,如关闭与混凝土接缝毗邻车道,能较有效地降低新旧桥面间的变形差,但实际施工中,如果单纯采用该措施,则需要在接缝混凝土浇注后的 6~8 h 内完全封闭交通;在旧桥桥下设置临时支撑比在新旧桥面间设置临时剪力架更能有效地减小交通荷载作用下新旧桥面间的变形差,但该措施受到桥梁所处位置限制,且成本较高;分节段浇注混凝土接缝亦能减小交通荷载作用下新旧桥面间的变形差,但可能增加施工工期;在 4 种措施的组合应用方面,以适当的交通管制和在新旧桥面间设置临时剪力架的组合方式较为可行和有效。

关键词:桥梁工程;桥梁加宽;混凝土接缝;变形;临界曲率

中图分类号:TU448

文献标志码:A

Control of deflection difference between existing and new decks during bridge widening

DU Jin-sheng¹, ZHAO Gang², ZHAO Yong-guo², HUI Xiao-rong¹

(1. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. CCCC First Highway Consultants Co Ltd, Xi'an 710075, Shaanxi, China)

Abstract: To induce the deflection difference between existing and new decks in bridge widening construction under traffic load, the grillage finite element method is used to investigate the influence of four methods and their combinations on the deformation of concrete stitches. The four methods are traffic restriction, provision of temporary shear connectors between existing and new decks, provision of temporary supports under existing bridges, and segmental placement of concrete stitches. The results show that slight traffic restriction such as close of the lane adjacent to the concrete slabs is an effective way to reduce the deflection difference between existing and new decks. But if traffic restriction is solely adopted, all the lanes have to be closed 6 to 8 hours after the placement of the concrete connectors. The provision of temporary supports under existing bridges is more effective for deflection difference reduction of slabs than the provision of temporary shear connectors between existing and new decks, but it is limited by the condition of bridge

field and high cost. The segmental placement of concrete stitches is also an effective method, but it may need long time. Regarding the combination of the four methods, the slight traffic restriction plus the provision of temporary shear connectors is a feasible and effective way to prevent cracking of concrete stitches. 7 tabs, 6 figs, 13 refs.

Key words: bridge engineering; bridge widening; concrete stitch; deformation; critical curvature

0 引言

高速公路桥梁拓宽改建中,一般均通过在新旧桥面间浇注一定宽度的混凝土接缝,使上部结构连接起来。因此,应保证现浇混凝土接缝在养护及在随后的使用过程中,不出现过大的变形和开裂,这是新旧桥面是否真正连接的关键。另一方面,由于加宽是交通量增大而导致的结果,因此,绝大多数情况下,在现浇新旧桥之间的混凝土接缝时,都不能完全中断现有交通或最大限度减小中断交通。交通荷载对新旧桥面板之间混凝土接缝的不利影响,一般认为主要是由新旧桥面板之间的垂直挠度差超过某一限值,导致混凝土接缝开裂,从而影响混凝土接缝强度的发展、混凝土接缝的整体性、钢筋与混凝土之间的粘结力,以及混凝土接缝的抗弯及抗剪能力^[1-7]。为减小这种挠度差,除可进行一定的交通管制外,Huber 等提出在新旧桥面间设置临时剪力架^[8];Montero 建议可在旧桥的桥下设置临时支撑,以减小旧桥的跨径及相应的挠度^[9];Kwan 等提出可分节段浇注接缝混凝土,并认为这是一种更方便可行的措施^[10]。由于不同加宽桥的混凝土接缝板的厚度和宽度可能不同,所以为便于比较,一般将新旧桥面板间最大挠度差转化为不受接缝板宽度影响、厚度为 20 cm 板的曲率。不同研究者采用不同试验方法,得到的不使接缝板开裂的临界曲率值差异较大。例如,以 20 cm 厚度的混凝土接缝板为标准,Hilsdorf 等得到的临界曲率为 $15.4 \times 10^{-3}/\text{m}$ ^[11];而 Furr 等获得的临界值则小许多,为 $1.3 \times 10^{-3}/\text{m}$ ^[12];Ng 等通过试验发现,如果曲率小于 $18.0 \times 10^{-3}/\text{m}$ 则接缝板不会出现裂缝^[13]。本文的计算分析中,接缝混凝土标号为 C50,接缝板宽度为 55 cm,厚度 d 为 15 cm,混凝土极限拉应变 ϵ_{cr} 取 1.5×10^{-4} ,则临界曲率 $\varphi = \epsilon_{\text{cr}}/0.5d = 20 \times 10^{-3}/\text{m}$;换算为 20 cm 板厚时的曲率为 $15.0 \times 10^{-3}/\text{m}$ 。

1 依托工程及分析模型的建立

1993 年建成通车的京津塘高速公路,目前交通量较大,局部路段交通量已趋于饱和,部分路段非常

拥挤,交通事故增加,拟进行拓宽改建。京津塘高速公路桥梁的上部结构主要采用 20 m、25 m、30 m 3 种跨径的预应力混凝土简支 T 形梁。其中,20 m 跨径结构所占比例最大,因此本文的分析对象为 20 m 跨径的 T 形梁桥。根据初步设计,拟采用“下部结构分离,上部结构连接”的方式在原桥的两侧进行加宽,如图 1 所示。新桥 T 形梁和旧桥 T 形梁的尺寸基本一致,单根 T 形梁的计算跨径为 19.94 m,T 形梁截面高、宽分别为 132 cm、180 cm,上翼缘板厚度为 15 cm。

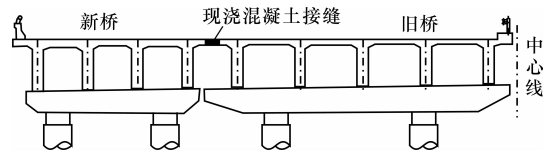


图 1 加宽桥的横截面

本文采用梁格法对新老桥及其接缝混凝土板进行分析,运用 MIDAS-Civil 商用有限元软件建立的梁格模型如图 2 所示(半幅桥),共计 720 个单元,495 节点。其中,各 T 形主梁模拟为纵向单元,另外在接缝处设置 2 个虚纵向主梁;桥面板和横隔梁模拟为横向单元,除 3 个中横隔梁和 2 个端横隔梁外,另外设 18 个虚横梁,以实现纵向主梁之间的横向连接。

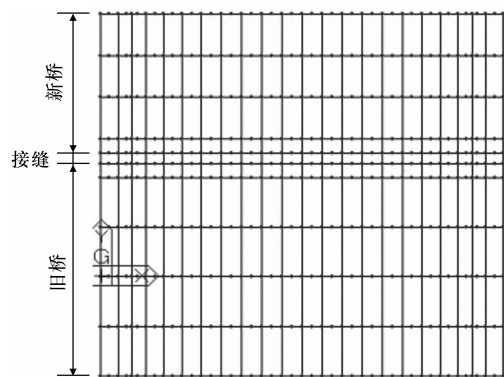


图 2 加宽桥的梁格网格划分

2 不同交通管制措施对混凝土接缝板变形的影响

桥梁拓宽中,在不能完全封闭交通的情况下,可采取关闭部分车道或限制车辆速度及载荷等交通管

制措施。本文考虑如下 5 种交通管制模式(新桥尚未开放交通),如图 3 所示。

模式 1:旧桥 2 个车道均对交通开放,并承受公路桥梁设计规范规定的标准车道荷载。

模式 2:混凝土接缝毗邻的车道承受 0.6 倍车道荷载,但另一个车道开放并承受标准车道荷载。

模式 3:封闭与混凝土接缝毗邻的车道,另一个车道开放并承受标准车道荷载。

模式 4:封闭与混凝土接缝毗邻的车道,另一个车道开放,车辆总质量不超过 40 t。

模式 5:封闭与混凝土接缝毗邻的车道,另一个车道开放,车辆总质量不超过 55 t。

表 1~表 3 分别为不同交通管制模式下接缝混凝土浇注完毕 0 h、浇注 4 h 后和 8 h 后的变形情况。计算中,混凝土强度随时间增长规律采用欧洲模式规范(CEB-FIP Model Code 1990)给出的表达式。表中的修正曲率是指将所依托桥的 15 cm 厚接缝板换算为可与其他研究结果对比的 20 cm 后接缝板的曲率。从表中可以看出,与交通管制模式 1 相比,模式 2、3、4、5 的混凝土接缝的变形有较大比例降低;但混凝土刚刚浇注完毕时,除模式 4 外,其他模式的修正曲率均大于临界曲率 $15.0 \times 10^{-3}/\text{m}$ 。接缝混凝土浇注 4 h 后,模式 3、4、5 的修正曲率小于临界曲率;而接缝混凝土浇注 8 h 后,各模式下的修正曲率均小于临界曲率。考虑到混凝土的极限拉应变或临界曲率值亦随时间逐步增加到其终值,因此实际施工中,可在接缝混凝土浇注 6~8 h 后,采用交通管制模式 3、4、5,而之前则需要封闭交通,如在晚上 10 点至第 2 天早晨 6 点,或晚上 12 点至第 2 天早晨 6 点时段封闭交通。

表 1 不同交通管制模式下接缝混凝土变形(浇注后 0 h)

交通管制模式	挠度差/mm	曲率/ (10^{-3} m^{-1})	修正曲率/ (10^{-3} m^{-1})
1	12.300	243.96	182.97
2	1.780	35.30	26.47
3	1.070	21.22	15.91
4	0.728	14.44	10.83
5	1.253	24.85	18.63

表 2 不同交通管制模式下接缝混凝土变形(浇注后 4 h)

交通管制模式	挠度差/mm	曲率/ (10^{-3} m^{-1})	修正曲率/ (10^{-3} m^{-1})
1	1.57	31.14	23.35
2	1.07	21.22	15.91
3	0.20	4.01	3.07
4	0.15	2.90	2.18
5	0.26	5.15	3.86

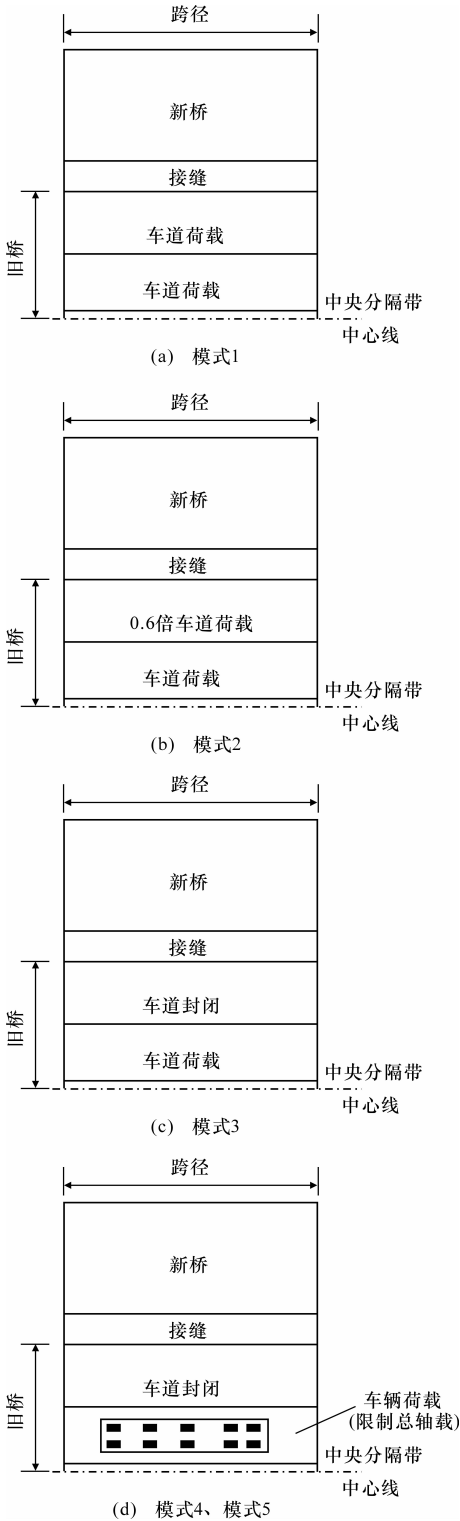


图 3 交通管制模式

表 3 不同交通管制模式下接缝混凝土变形(浇注后 8 h)

交通管制模式	挠度差/mm	曲率/ (10^{-3} m^{-1})	修正曲率/ (10^{-3} m^{-1})
1	0.95	18.84	14.13
2	0.70	13.80	10.41
3	0.20	3.85	2.88
4	0.14	2.70	2.03
5	0.24	4.65	3.49

3 设置临时剪力架后混凝土接缝变形情况

在新旧桥面间设置临时剪力连接(剪力架),可以缓解新旧桥面间变形差异,从而减小新旧桥面板之间混凝土接缝两端的挠度差,降低交通荷载对混凝土接缝的不利影响。临时剪力架的设计应以拆装方便、便于移动及可再次利用为出发点,可以采用钢桁架的形式,也可以采用钢梁的形式。由于交通荷载作用在旧桥上时,旧桥桥面跨中部位与新桥桥面的挠度差异最大,因此剪力架可安置在新旧桥的跨中或 2 个 1/3 跨位置。本文分析中采用钢梁作为剪力架,梁长度为 6.0 m,高度为 1.5 m,宽度为 0.8 m。钢梁通过螺栓与新旧桥面板联结锚固,如图 4 所示。按照剪力架的实际刚度及材料特性,以梁单元的形式计入有限元分析模型中。

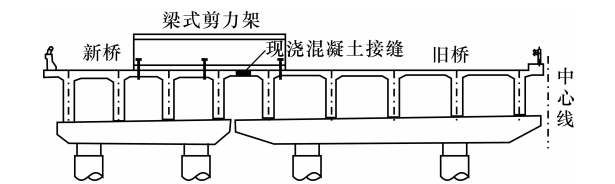


图 4 临时剪力架

当接缝混凝土刚刚浇注完毕,旧桥的 2 个车道均作用标准车道荷载,分别在跨中设置 1 个剪力架和在 1/3 跨径处设置 2 个剪力架时,混凝土接缝的变形情况见表 4。从表 4 中可以看出,虽然这样设置剪力架后修正曲率仍然大于临界曲率,但与未设置剪力架相比,变形值分别下降了 86%和 89%。这说明,设置剪力架能较明显地降低交通荷载作用下新旧桥面间的变形差。

表 4 设置临时剪力架时接缝混凝土变形(浇注后 0 h)					
剪力架数量/个	位置	最大挠度差/mm	曲率/ (10^{-3}m^{-1})	修正曲率/ (10^{-3}m^{-1})	变形减少幅度/%
1	跨中	1.79	35.51	26.63	86
2	1/3 跨径处	1.40	22.77	20.83	89

4 设置临时支撑后混凝土接缝变形情况

当桥下基础坚实、桥下净空小及桥下无交通,通过在旧桥桥下提供临时支撑来减小旧桥的跨径,从而降低新旧桥面板间的变形差,如图 5 所示。当接缝混凝土刚刚浇注完毕,旧桥的 2 个车道均作用标准车道荷载,分别在桥下跨中设置 1 个临时支撑和在 1/3 跨径处设置 2 个临时支撑时,接缝混凝土的变形情况见表 5。以增加竖向支撑单元的方式,在有

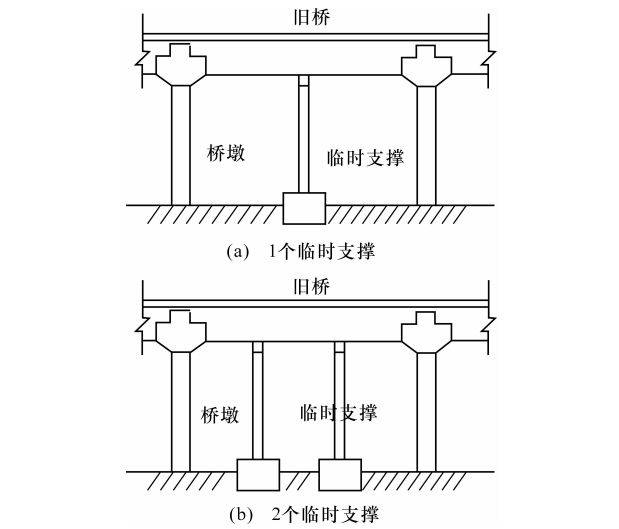


图 5 临时支撑

表 5 设置临时支撑时接缝混凝土变形					
临时支撑数量/个	支撑位置	最大挠度差/mm	曲率/ (10^{-3}m^{-1})	修正曲率/ (10^{-3}m^{-1})	变形减少幅度/%
1	跨中	1.03	20.37	15.28	92
2	1/3 跨径处	0.85	16.86	12.64	93

限元模型中考虑临时支撑。从表 5 中可以看出,设置 1 个临时支撑后,修正曲率分别稍大于临界曲率;设置 2 个临时支撑后,修正曲率则小于临界曲率。与未设置临时支撑相比,变形值分别下降了 92%和 93%。这说明,设置临时支撑亦能较明显地降低交通荷载作用下新旧桥面间的变形差。

5 分节段浇注混凝土时混凝土接缝变形情况

如前所述,在荷载作用下,新旧桥面间最大挠度差一般出现在结构跨中部位;而在支座附近,变形相对较小。因此,Kwan 等建议首先浇注支座附近一定长度内的混凝土接缝^[10]。待先期浇注的混凝土接缝达到一定强度后,该段混凝土接缝就可以发挥类似连续剪力架的作用:把旧桥桥面的一部分交通荷载传递到新桥上,从而减小新旧桥面间混凝土接缝的变形挠度差和曲率。混凝土接缝可分为 2 节段和 3 节段进行浇注,前后 2 个节段混凝土浇注的时间间隔,理论上讲越长越好,但是过长的间隔必然影响到整个工程的施工工期。

下页图 6 所示为本文依托桥混凝土接缝分 2 节段和 3 节段浇注时各段长度的划分情况。设前后 2 个节段混凝土浇注的时间间隔为 4 d。图中, L 为跨径。

下页表 6 列出了分节段浇注时新旧桥面间的变形差。从表 6 中可以看出,分段浇注能够降低新旧

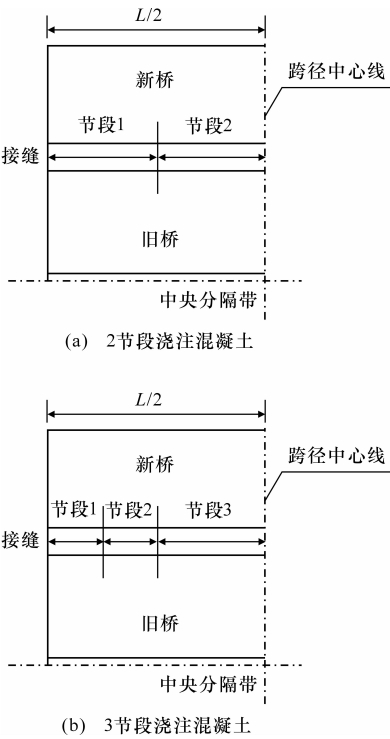


图 6 混凝土接缝的分段施工

表 6 分段浇注混凝土时混凝土接缝变形

模式	接缝分段长度/m	节段浇注顺序号	最大挠度差/mm	曲率/ (10^{-3}m^{-1})	修正曲率/ (10^{-3}m^{-1})	变形减少幅度/%
2 节段	5,5	1	2.54	135.86	101.89	45
		2	6.85			
	4,6	1	5.69	118.41	88.81	51
		2	5.97			
	3,7	1	4.41	141.80	106.36	42
		2	7.15			
3 节段	3,2,5	1	4.56	90.45	67.83	63

桥面间的变形差。与未分段的一次性浇注相比,3 节段浇注可降低变形 63%,2 节段浇注最大可降低变形 51%。

6 几种措施的组合应用

从以上的分析可以看出,交通管制、设置临时剪力架及临时支撑、分段浇注混凝土接缝均能较有效地降低施工期间新旧桥面间混凝土接缝的变形,从而在一定程度上保证混凝土接缝的施工养护质量和后期使用性能。但是这 4 种措施均有一定的局限性和适用条件。因此,在桥梁拓宽施工中,可根据实际情况灵活选择,并组合应用这些措施。

表 7 列出了上述 4 种措施的组合应用情况。其中,交通管制措施仅选取简单有效的模式 3,即封闭一条与混凝土接缝毗邻的车道。从表 7 可以看出,8

种组合方式除 4、5、6 方式外,其他均能使混凝土接缝的变形差小于其临界曲率,其中,以交通管制+临时剪力架或交通管制+临时支撑最为有效。当交通管制+临时支撑无法实施的情况下,采取临时剪力架+分段浇注也是较好的组合措施。

表 7 不同措施组合后混凝土接缝变形

组合方式	交通管制模式	临时剪力架数量/个	临时支撑数量/个	分段浇注数量/个	最大挠度差/mm	修正曲率/ (10^{-3}m^{-1})	变形减少幅度/%
1	3	1			0.46	9.13	96
2	3			2	0.59	11.70	95
3	3	1		2	0.38	7.53	97
4		1		2	1.67	33.12	87
5		1		3	0.80	15.86	93
6		2		2	1.06	21.02	91
7			1	2	0.58	11.50	95
8	3		1		0.41	8.13	97

7 结 语

(1)桥梁加宽施工中,通过采取适当的交通管制措施,如关闭与混凝土接缝毗邻车道,能较有效地降低新旧桥面间的变形差;但在实际施工中,如果单纯采用交通管制这一种措施来避免接缝混凝土开裂,则需要在接缝混凝土浇注后的 6~8 h 内,完全封闭交通。

(2)在旧桥桥下设置临时支撑比在新旧桥面间设置临时剪力架更能有效地减小交通荷载作用下新旧桥面间的变形差,但设置临时支撑不仅受到桥梁所处位置实际条件限制,并且成本较高。

(3)分节段浇注接缝混凝土亦能减小交通荷载作用下新旧桥面间的变形差,但若施工组织不当,则可能会增加施工工期。

(4)在 4 种措施的组合应用方面,以交通管制+临时剪力架或交通管制+临时支撑最为有效;当交通管制+临时支撑无法实施时,采取临时剪力架+分段浇注接缝混凝土也是较好的组合措施。

参考文献:

References:

[1] Harsh S, Darwin D. Traffic-induced vibrations and bridge deck repairs[J]. Concrete International, 1986, 8(5):36-42.
[2] 赵仙茹. 软土地基上旧路拓宽高路堤全过程沉降预测[J]. 筑路机械与施工机械化, 2009, 26(9):40-42.