

文章编号: 1005-0523(2020)01-0032-07

# 行车状态下的桥梁支座更换方法研究

梁玉雄<sup>1</sup>, 李东毅<sup>2</sup>, 傅梅珍<sup>1</sup>

(1. 华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 310013; 2. 广西交通投资集团有限公司, 广西 南宁 530021)

**摘要:**合理的支座更换方法能确保支座病害突出的桥梁经维护后重新安全运营, 若能在行车状态下并在较短的时间内完成支座更换, 则能减少更换支座施工期间对交通运行的影响, 本文提出一种单墩顶升梁体的更换方法, 并以广西省某高速公路内 27 座桥梁行车状态下支座更换施工为例, 结合检测和桥梁建养史调查, 采用有限元分析取得梁体各位置的现有应力等桥梁服役状态的基础数据, 然后对行车状态下不同顶升值下单墩顶升梁体时不同工况进行分析, 对比各工况梁体内力和关键控制截面应力后进行优化, 得出桥梁在梁体现有应力储备适当的情况下, 在行车状态下采用单墩顶升并辅助合理的交通管制, 可以在对梁体无损害、交通影响小的情况下完成桥梁支座更换。

**关键词:** 支座更换; 桥梁服役状态; 有限元仿真分析; 单墩顶升法

**中图分类号:** U445.7      **文献标志码:** A

**DOI:** 10.16749/j.cnki.jecjtu.2020.01.005

随着桥梁运营年限的增长, 支座病害突出, 支座更换需求日益增多, 目前主要采用整体同步顶升和单墩顶升两种方法进行支座更换。整体同步顶升法安全可靠, 但施工周期长, 投入的设备和人力较多, 且必须中断交通。单墩顶升方法如不合理, 可能会导致墩顶梁体开裂造成二次病害。国内工程界和学术界对单墩顶升方法进行了研究。刘萌等<sup>[1]</sup>对大跨连续梁桥单墩顶升工艺设计与过程监控进行了研究, 杨圣超等<sup>[2]</sup>、陈露晔等<sup>[3]</sup>、黄强<sup>[4]</sup>、刘维民<sup>[5]</sup>对单点逐墩顶升的支座更换方法合理可行性进行了研究, 许映红<sup>[6]</sup>提出自平衡反压式单支座更换方法并进行了理论及试验研究。樊叶华等<sup>[7]</sup>结合江阴大桥北引桥支座更换维护项目, 对不中断交通条件下的支座更换从施工工艺方面进行了分析与探讨。当前大部分研究主要是对装置及工艺的研究, 对更换支座桥梁的服役状况和应力储备考虑较少, 对不中断交通的行车状态下单墩顶升更换支座的顶升值、行车组织尚未有深入研究。由于单墩顶升法在施工成本、效率等方面的较大优势, 本文结合具体工程对其施工过程进行准确分析, 得出的优化方法对单墩顶升梁体更换支座技术的发展具有一定的工程应用意义。

## 1 工程概况

广西省某高速公路在运营多年后, 部分桥梁支座因各种因素出现较为严重的病害, 影响桥梁运行安全, 需及时更换其中 27 座桥梁的所有支座, 其中: 9 座先简支后连续预应力混凝土 T 梁桥、8 座先简支后连续预应力混凝土小箱梁桥、3 座预应力混凝土简支空心板桥、2 座预应力混凝土简支小箱梁、4 座现浇预应力混凝土连续箱梁桥、1 座先简支后连续预应力混凝土空心板。按上部结构类型及跨径组合和受力最不利原则取其中 9 座按表 1 分类进行支座更换方法分类研究。

本着及时处理支座病害, 确保运输安全的目的, 工期安排在春运期间, 该高速公路交通繁忙, 通行车辆多, 周边无其他绕行及可替代道路, 封闭交通困难; 因此需要在最短的时间和最快的速度在不中断交通的情况下完成上述桥梁的支座更换施工。综合比较, 单墩顶升梁体法无疑是最适合的施工方法。

**收稿日期:** 2019-07-16

**基金项目:** 江西省教育厅科学技术研究青年项目(GJJ180335)

**作者简介:** 梁玉雄(1985—), 男, 助教, 博士研究生, 研究方向为铁路桥梁结构振动、桥梁施工控制及结构优化设计研究。

表 1 更换支座桥梁分类列表  
Tab.1 Classification list of bridges need replacing bearings

序号	结构类型	跨径组合	桥面车道数
1	现浇预应力混凝土 连续箱梁	(17+35+17) m	四车道
		2×34 m	四车道
2	先简支后连续后张法 预应力混凝土箱梁	3×20 m	四车道
		4×20 m	四车道
		6×20 m	四车道
3	先简支后连续后张法 预应力混凝土 T 梁	3×30 m	六车道
		4×30 m	四车道
		5×30 m	四车道
4	先简支后连续后张法 预应力混凝土空心板	3×16 m	四车道

## 2 支座更换方法分析

### 2.1 单墩顶升梁体法

利用超薄型油压扁千斤顶,将其安放在桥台或者盖梁顶面,通过主控制器,需要更换的某墩(或台)顶各梁体同步顶升至一定位移后取下原支座,更换与原支座同规格同型号的新支座,最后同步落梁至原有标高位置,施工时所有千斤顶同步工作,如图 1 所示。

### 2.2 计算模型建立

采用桥梁专用有限元计算程序 Midas Civil 进行建模,采用平面杆系结构,更换支座时同一墩台顶采用千斤顶同步顶升主梁,其横向效应可忽略不计;因此采用单梁模型验算。桥梁边界条件根据桥梁支座类型采用一般支承模拟,图 2 是以(17+35+17) m 现浇预应力混凝土连续箱梁为例的桥梁支座示意图。

为了如实得到各桥在更换施工时服役状态对桥梁支座更换方法的影响,结合检测和桥梁建养史调查,采用当前服役状态下的材料参数,采用有限元分析模拟桥梁施工过程以及养护期间对结构当前服役状态有影响的加固过程(如无则不需要),取得当前桥梁服役状态下的成桥内力。按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004)对汽车荷载、自重、更换支座顶升梁体时的位移、温度、收缩徐变、预应力等作用下桥梁内力及应力状况进行分析<sup>[8-9]</sup>。

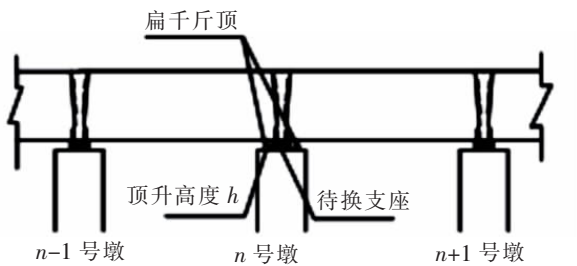


图 1 单墩顶升更换支座施工示意图

Fig.1 Diagram of replacing bearings on single pier

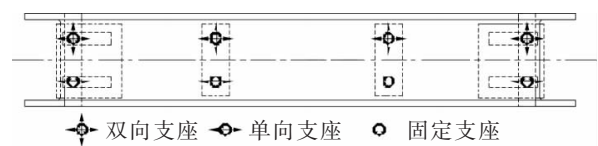


图 2 (17+35+17) m 连续梁支座示意图

Fig.2 Diagram of bearings for (17+35+17) m continuous beam

### 2.3 顶升工况分析

在分析顶升工况时,计算表 1 中的 9 座桥梁分别在桥台、边墩、中墩位置顶升梁体 6 mm 和 15 mm 下的作用效应。6 mm 为根据以往更换支座施工经验总结得到的能够勉强取出支座的最小梁体顶升值,15 mm 是根据以往更换支座施工经验总结得到的能够轻松取出支座的较大梁体顶升值。

在成桥内力与顶升作用工况的组合下,将表 1 中各桥的计算结果按桥型分类,取各桥型中受力最不利的以下 4 座桥梁进行分析:(17+35+17) m 现浇预应力混凝土连续箱梁、4×20 m 先简后连预应力混凝土小箱

梁、4×30 m 先简后连预应力混凝土 T 梁、3×16 m 先简后连预应力混凝土空心板。图 3 为以空心板桥为例所示的各控制截面应力计算位置示意图。

由表 2~表 3 可见,(17+35+17) m 现浇箱梁在单墩顶升梁体更换支座时,采用 6 mm 顶升值比采用 15 mm 顶升值能使主梁应力值减小 0.8 MPa,6 mm 和 15 mm 顶升值下各控制截面应力均为压应力,说明该桥在当前服役状态下的应力储备下采用单墩顶升法更换支座合理可行,表中及本文所述应力储备为根据检测得到的材料参数结合桥梁建养史采用有限元数值分析得到的当前服役状态下的梁体应力储备,顶升工况应力为顶升施工时梁体的实际应力。

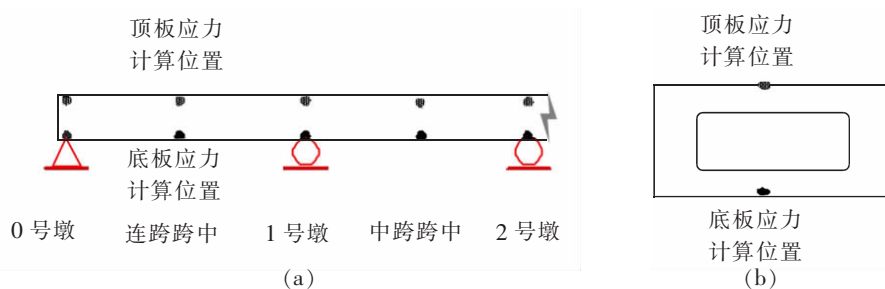


图 3 主梁各控制截面的顶底板应力计算位置示意图

Fig.3 Diagram of stress calculation position of each control beam section

表 2 (17+35+17) m 现浇箱梁桥墩处不同顶升值下应力

Tab.2 Stress of (17+35+17) m girder when jacking-up on pie

计算 工况	0号台顶		1号墩顶		2号墩顶		边跨跨中	
	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板
成桥应力储备	-3.1	-2.3	-3.9	-2.7	-3.9	-2.7	-5.4	-2.7
顶升 6 mm	-3.1	-2.3	-3.5	-2.3	-4.3	-2.2	-5.3	-2.9
顶升 15 mm	-3.1	-2.3	-2.3	-4.8	-4.9	-1.4	-4.8	-3.3

表 3 (17+35+17) m 现浇箱梁桥台处不同顶升值下应力

Tab.3 Stress of (17+35+17) m girder when jacking-up on abutment

计算 工况	0号台顶		1号墩顶		2号墩顶		中跨跨中	
	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板
成桥应力储备	-3.1	-2.3	-3.9	-2.7	-3.9	-2.7	-5.4	-2.7
顶升 6 mm	-3.1	-2.3	-4.3	-2.2	-3.8	-2.9	-5.6	-2.4
顶升 15 mm	-3.1	-2.3	-4.9	-1.4	-3.6	-3.1	-5.9	-2.1

由表 4~表 6 可见,4×20 m 连续小箱梁在单墩顶升梁体更换支座时,采用 6 mm 顶升值比采用 15 mm 顶升值能使主梁应力最大值减小 0.7 MPa,在中墩处 6,15 mm 顶升值下边墩处截面底板应力分别为 1.6,2.3 MPa,未超出梁体 C50 混凝土抗拉强度标准值 2.65 MPa,说明该桥在当前服役状态下的应力储备下采用单墩顶升法更换支座合理可行。

表 4 4×20 m 连续小箱梁边墩处不同顶升值下梁体应力

Tab.4 Stress of 4×20 m girder when jacking-up on side pie

计算 工况	0号台顶		1号墩顶		2号墩顶		边跨跨中	
	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板
成桥应力储备	-3.6	-4.8	-3.3	1.1	-3.2	1	-2.8	-7.9
顶升 6 mm	-3.6	-4.8	-2.7	0.5	-3.7	1.5	-2.3	-8.4
顶升 15 mm	-3.6	-4.8	-1.7	-0.8	-4.3	2.2	-1.7	-9.2

表 5 4×20 m 连续小箱梁中墩处不同顶升值下梁体应力  
Tab.5 Stress of 4×30 m girder when jacking-up on middle pie

计算	0 号台顶		1 号墩顶		2 号墩顶		中跨跨中	
	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板
成桥应力储备	-3.6	-4.8	-3.3	1.1	-3.2	1	-2.7	-6.6
顶升 6 mm	-3.6	-4.8	-3.8	1.6	-2.4	0.2	-2.5	-6.8
顶升 15 mm	-3.6	-4.8	-4.5	2.3	-1.2	0.2	-2.2	-7.3

表 6 4×20 m 小箱梁桥台处不同顶升值下梁体应力  
Tab.6 Stress of 4×20 m girder when jacking-up on abutment

计算	0 号台顶		1 号墩顶		2 号墩顶		中跨跨中	
	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板
成桥应力储备	-3.6	-4.8	-3.3	1.1	-3.2	1	-2.7	-6.6
顶升 6 mm	-3.6	-4.8	-3.6	1.4	-3.1	0.9	-2.9	-6.4
顶升 15 mm	-3.6	-4.8	-4.1	1.9	-3	0.8	-3.1	-6.1

由表 7~表 9 可见,4×30 m 连续 T 梁在单墩顶升梁体更换支座时,采用 6 mm 顶升值比采用 15 mm 顶升值能使主梁应力最大值减小 0.3 MPa,在中墩处 6,15 mm 顶升值下边墩处截面底板应力分别为 1.5,1.8 MPa,未超出梁体 C50 混凝土抗拉强度标准值 2.65 MPa,说明该桥在当前服役状态下的应力储备下采用单墩顶升法更换支座合理可行。

表 7 4×30 m 连续 T 梁边墩处不同顶升值下梁体应力  
Tab.7 Stress of 4×30 m T-beam when jacking-up on side pie

计算	0 号台顶		1 号墩顶		2 号墩顶		边跨跨中	
	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板
成桥应力储备	-1.3	-3.9	-2.8	1.3	-2.8	1.2	-3.4	-11.8
顶升 6 mm	-1.3	-3.9	-2.5	1	-3	1.5	-3.1	-12.5
顶升 15 mm	-1.3	-3.9	-2.1	0.5	-3.4	1.8	-2.6	-13.5

表 8 4×30 m 连续 T 梁中墩处不同顶升值下梁体应力  
Tab.8 Stress of 4×30 m T-beam when jacking-up on middle pie

计算	0 号台顶		1 号墩顶		2 号墩顶		中跨跨中	
	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板
成桥应力储备	-1.3	-3.9	-2.8	1.3	-2.8	1.2	-3.4	-11.2
顶升 6 mm	-1.3	-3.9	-3	1.5	-2.4	0.9	-3.1	-11.6
顶升 15 mm	-1.3	-3.9	-3.4	1.8	-1.9	0.3	-2.9	-12.3

表 9 4×30 m 连续 T 梁桥台处不同顶升值下梁体应力  
Tab.9 Stress of 4×30 m T-beam when jacking-up on abutment

计算	0 号台顶		1 号墩顶		2 号墩顶		中跨跨中	
	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板
成桥应力储备	-1.3	-3.9	-2.8	1.3	-2.8	1.2	-3.4	-11.8
顶升 6 mm	-1.3	-3.9	-3	1.4	-2.8	1.2	-3.5	-11.5
顶升 15 mm	-1.3	-3.9	-3.2	1.6	-2.7	1.2	-3.7	-11.1

由表 10~表 11 可见,3×16 m 连续空心板在单墩顶升梁体更换支座时,采用 6 mm 顶升值比采用 15 mm 顶升值能使主梁应力最大值减小 0.8 MPa,在中墩处 6,15 mm 顶升值下边墩处截面底板应力分别为 1.5,2.7 MPa,15 mm 顶升值下边墩处截面底板应力超出梁体 C50 混凝土抗拉强度标准值 2.65 MPa,说明该桥在当前服役状态下的应力储备下采用顶升值 6 mm 的单墩顶升法更换支座合理可行,采用顶升值 15 mm 的单墩顶升法不可行。

表 10 3×16 m 连续空心板桥墩处不同顶升值下梁体应力  
Tab.10 Stress of 3×16 m hollow slab when jacking-up on pier

计算	0 号台顶		1 号墩顶		2 号墩顶		中跨跨中	
	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板
成桥应力储备	-4.4	-6.8	-0.8	0.8	-0.8	0.8	-3.3	-7.6
顶升 6 mm	-4.4	-6.8	-1.3	1.3	-0.7	0.7	-3.6	-7.3
顶升 15 mm	-4.4	-6.8	-2.1	2.1	-0.5	0.5	-4.1	-6.7

表 11 3×16 m 连续空心板桥台处不同顶升值下梁体应力  
Tab.11 Stress of 3×16 m hollow slab when jacking-up on abutment

计算	0 号台顶		1 号墩顶		2 号墩顶		中跨跨中	
	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板	顶板	底板
成桥应力储备	-4.4	-6.8	-0.8	0.8	-0.8	0.8	-3.3	-7.6
顶升 6 mm	-4.4	-6.8	-1.3	1.3	-0.7	0.7	-3.6	-7.3
顶升 15 mm	-4.4	-6.8	-2.1	2.1	-0.5	0.5	-4.1	-6.7

此外由表 2~表 11 可见,在墩台处顶升主梁更换墩台顶支座时,可行性主要取决于在考虑自重、收缩徐变、预应力及收缩徐变产生的预应力损失等因素的服役状态下主梁应力储备,在扣除更换支座顶升梁体时的强迫位移作用所产生的主梁应力后,主梁各控制截面应力能否不超出梁体混凝土允许应力值。

## 2.4 汽车荷载分析

为了计算行车状态下单墩顶升法更换支座的可行性,汽车荷载按车道荷载计算,分别计算了正常运营和不同交通管制下的主梁各控制截面仅在汽车活载作用下产生的应力。两种交通管制措施:交通管制 1,施工桥梁段只允许 2 个车道在桥面居中通行,将其他车道封闭;交通管制 2,施工桥梁段只允许 1 个车道在桥面居中通行,将其他车道封闭。根据 2.3 节分析,主梁拉应力最大值出现在墩台处底板。图 4~图 7 为 2.3 节中 4 座桥梁不同交通情形下仅在汽车荷载作用下产生的主梁控制截面底板处应力,可见采取 1 车道中载通行(交通管制 2)相比正常运营和 2 车道中载通行(交通管制 1)能有效减小由汽车荷载作用产生的主梁控制截面底板拉应力值。

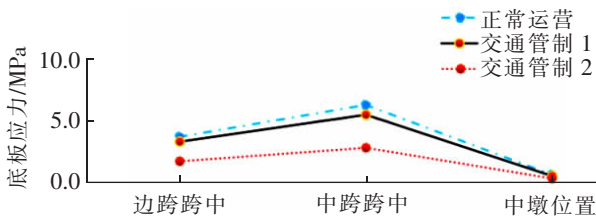


图 4 (17+35+17) m 现浇箱梁汽车荷载作用下主梁底板应力  
Fig.4 Stress of bottom plate of (17+35+17) m girder under traffic

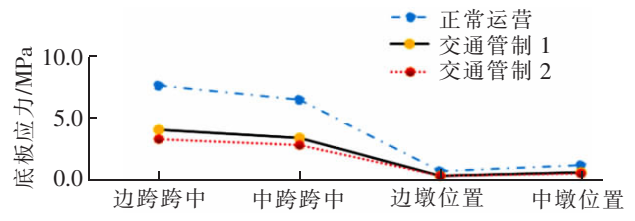


图 5 4x20 m 连续小箱梁汽车荷载作用下主梁底板应力  
Fig.5 Stress of bottom plate of 4x20 m girder under traffic

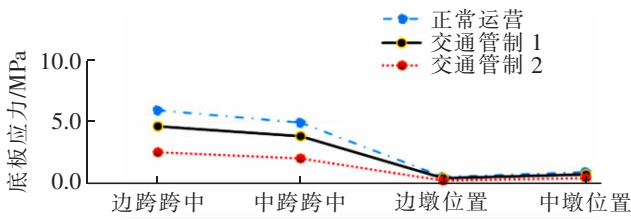


图 6 4x30 m 连续 T 梁汽车荷载作用下主梁底板应力  
Fig.6 Stress of bottom plate of 4x30 m T-beam girder under traffic

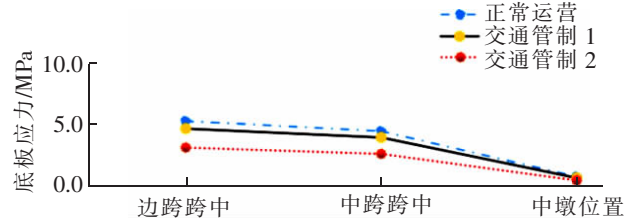


图 7 3x16 m 连续空心板汽车荷载作用下主梁底板应力  
Fig.7 Stress of bottom plate of 3x16 m hollow slab under traffic

### 3 支座更换方法优化分析

#### 3.1 顶升方法优化分析

为了使桥梁在不中断交通条件下分析各桥单墩台同步顶升更换支座的可行性,在正常运营和不同交通管制情形下,对不同顶升值下主梁控制截面弹性阶段应力验算组合下底板处应力进行计算。表 12 为主梁在不同交通状况下汽车荷载、更换支座顶升梁体时的强迫支座位移、成桥内力等作用在弹性阶段应力验算组合下底板最大拉应力计算值。

由表 12 计算结果可知,在顶升主梁过程中封闭交通实施困难时,相比正常运营和 2 车道中载通行,在主梁顶升 6 mm 过程中采取 1 车道中载通行能有效减小主梁控制截面底板最大应力。在主梁顶升 15 mm 过程中采取 1 车道中载交通管制方案时,4x20 m 先简后连预应力混凝土小箱梁和 3x16 m 先简支后连预应力混凝土空心板桥墩底板处拉应力分别达到了 2.9 MPa 和 3.1 MPa,超出了混凝土抗拉强度标准值。

表 12 主梁弹性阶段应力验算组合下底板最大应力计算表  
Table.12 Maximum stress of the bottom plate under the combination of the stress in the elastic stage

桥型跨径组合	顶升位移/mm	2 车道中载时应力/MPa		1 车道中载时应力/MPa	
		活载应力	组合应力	活载应力	组合应力
(17+35+17) m 预应力砼连续梁	6	0.4	-1.2	0.2	-1
	15		-2		-1.8
4x20 m 预应力混凝土小箱梁	6	0.7	2.3	0.6	2.2
	15		3		2.9
4x30 m 预应力混凝土 T 梁	6	0.7	2.2	0.4	1.9
	15		2.5		2.2
3x16 m 预应力混凝土空心板	6	0.6	2.1	0.4	1.9
	15		3.3		3.1

### 3.2 优化结论

由以上分析结果,因在顶升主梁更换支座过程中,采取1车道中载通行最优方案,可有效减小由汽车荷载作用产生的主梁控制截面应力,使得在行车状态下采用单墩顶升法更换支座过程中,既解决道路问题,也使得主梁在顶升过程的应力值在桥梁服役状态下的应力储备足够的情况下不超出混凝土抗拉强度标准值,避免梁体因顶升产生开裂等病害。

## 4 结论及建议

1) 在不中断交通的情况下,采用单墩顶升法更换支座过程中配合适当的交通管制措施,当顶升位移为6 mm时(根据以往经验可取出支座的最小位移值),在主梁既有压应力储备足够时可行。

2) 在封闭交通的情况下,采用单墩(或台)顶升更换支座施工方法,当顶升位移为15 mm时,服役状态下桥墩处主梁底板应力储备较低,在更换支座时相邻墩顶处主梁底板最大拉应力值会超过混凝土抗拉强度标准值,施工风险较大。当顶升位移为6 mm时则在主梁既有压应力储备足够时可行。

3) 对于连续梁,采用单墩(或台)同步顶升更换支座施工方法,主梁应力受影响最大的位置为距离顶升墩台最近的两个桥墩处梁体底板。主梁既有应力储备跟施工时桥梁的服役状态密切相关,须结合检测和桥梁建养史调查,施工前取得当前桥梁服役状态下的成桥内力及应力储备。

### 参考文献:

- [1] 刘萌,刘世忠,冀伟.大跨连续梁桥单墩顶升工艺设计与过程监控[J].兰州交通大学学报,2011,30(1):80-85.
- [2] 杨圣超,索晓庆,张永水,等.简支转连续梁桥支座更换新方法仿真分析[J].公路,2009,30(7):133-136.
- [3] 陈露晔,张仁根,雷波.简支转连续梁桥支座更换新技术研究[J].公路,2011,32(8):84-88.
- [4] 黄强.简支变连续梁桥橡胶支座更换技术研究[D].西安:长安大学,2015.
- [5] 刘维民.山区高速公路简支转连续梁桥支座更换技术仿真计算[J].公路工程,2013(1):187-189.
- [6] 许映红.中小跨径桥梁橡胶支座更换新技术研究[D].东南大学,2017.
- [7] 樊叶华,陈雄飞.基于不中断交通的桥梁支座更换技术研究[J].现代交通技术,2011,8(4):43-45.
- [8] 中交公路规划设计院.JTG D60-2004公路桥涵设计通用规范[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [9] 中交公路规划设计院.JTG D62-2004公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].北京:人民交通出版社,2004.

## Research on Method of Replacing Bridge Bearings Under Traffic

Liang Yuxiong<sup>1</sup>, Li Dongyi<sup>2</sup>, Fu Meizhen<sup>1</sup>

(1.School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. Guangxi Transportation Investment Group Co., Ltd., Nanning 530021, China)

**Abstract:** Reasonable method of replacing bearings can ensure bridges with obvious bearings diseases to be safely used after maintenance. If the bearings can be replaced under traffic in short time, the influence of construction on the traffic can be reduced. In this paper, a method of single-pier jacking-up for replacing bearings is studied, and 27 bridges in a highway in Guangxi Province are taken as examples. The bridge's service condition such as the existing stress at the control section of beam is obtained by finite element analysis and the inspection and investigation of the bridge construction and maintenance history. Then the stress caused by the different height of single-pier jacking-up under different traffic conditions is analyzed. The paper optimizes the method by comparing the result of the present stress in key control section. Finally, it draws a conclusion that if the existing stress of the bridge is appropriate, the method of single-pier jacking-up with reasonable traffic control can replace bearings with no harm to the beam and less influence on the traffic.

**Key words:** replacing bearings; service status of bridge; finite element analysis; single-pier jacking-up