

曲线连续梁桥梁顶升及顶推 复位关键技术研究

赵成功¹,赵人达¹,王永宝²,李福海^{1,3}

(1. 西南交通大学土木工程学院,四川 成都 610023;2. 太原理工大学土木工程学院,山西 太原 030024;
3. 陆地交通地质灾害防治技术国家工程实验室,四川 成都 610031)

摘要 目的 提出一种四跨曲线连续梁桥在支座损坏或梁体径向爬移后顶升及顶推修复方法,为类似曲线桥梁的修复提供技术支持. 方法 以陕西孤山川大桥为例,采用 Midas Civil 建立三维梁单元有限元模型,探讨曲率半径及不同顶升/顶推方案对曲线梁桥应力分布的影响. 结果 对竖向顶升施工,梁体应力增量对曲率半径的变化不敏感;当中间墩与相邻两墩顶升量之比为 10:7 时,梁体应力增量最小. 对于水平顶推方案,沿垂直于弦方向进行顶推产生的应力增量远小于沿径向顶推方案,但当曲率半径 $R > 200$ m 时,沿径向顶推方案产生的应力增量会陡然降低,此时其也可作为备选方案. 结论 基于分析结果提出了一种同类曲线连续梁桥梁顶升/顶推最优处理方案,并将研究成果成功用于孤山川桥的纠偏施工中,陕西孤山川大桥的修复实测梁体应力结果有效地验证了本方案的正确性.

关键词 曲线连续梁桥;顶升;顶推;仿真分析;复位纠偏

中图分类号 TU997;U448.216

文献标志码 A

Research on Key Technologies of Jacking-up and Pushing-back of Curved Continuous Beam Bridges

ZHAO Chenggong¹, ZHAO Renda¹, WANG Yongbao², LI Fuhai^{1,3}

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China, 610023; 2. College of Architecture and Civil Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, China, 030024,; 3. National Engineering Laboratory for Technology of Geological Disaster Prevention in Land Transportation, Chengdu, China, 610031)

Abstract: In order to provide a technical support for the repair of similar curved bridges, a method for the repair of four-span curved continuous beam bridge after it bearing damage or radial climbing of the girder body is proposed. Taking GU Shanchuan Bridge in Shaanxi Province as an example, a three-dimensional finite element model of girder element is established by Midas Civil.

收稿日期:2019-11-03

基金项目:国家自然科学基金项目(51778531)

作者简介:赵成功(1985—),男,博士,主要从事桥梁加固技术方面研究.

Then the influence of curvature radius and different jacking-up/ pushing-back schemes on stress distribution of curved girder bridge is discussed. Based on the analysis results, an optimal treatment scheme of jacking-up/ pushing-back for similar curved continuous girder bridges is proposed. The results show that for vertical jacking-up construction, the stress increment of beam is not sensitive to the change of curvature radius, and the stress increment of beam is the smallest when the ratio of the jacking-up displacement between the middle pier to the two adjacent piers is 10:7. For horizontal pushing-back scheme, the stress increment generated by pushing along the vertical chord direction is much less than that along the radial direction, but when $R > 200$ m, the stress increment generated by pushing along the radial direction will decrease sharply, which can also be used as an alternative. The research results were successfully applied to the rectification construction of GU Shanchuan Bridge and the correctness of the proposed scheme is validated by the measured stress results of the repaired beam of GU Shanchuan Bridge in Shaanxi Province.

Key words: curved continuous beam bridge; jacking-up; pushing-back; simulation analysis; reset and deviation rectification

近年来,受温度作用和汽车荷载不均匀作用影响^[1-2],曲线梁桥容易产生沿径向的爬移问题,由此引发的安全隐患甚至梁体横向坠落引起相关学者的广泛关注.桥梁的竖向同步顶升和水平顶推施工方法是解决此类问题的重要手段^[3-9],相关学者对此进行了广泛的研究;在罗定大桥的纠偏施工中,工作人员采用该技术对大桥第二联梁体进行单墩分级多次顶升^[10];在陕西某桥的纠偏施工中,工作人员先采用三墩同步顶升进行竖向抬升,再采用沿垂直于弦的方向进行水平复位^[11],类似于上述例子还有很多,但是基本上顶升手段均依靠工程经验完成,缺乏理论基础,且不能较好的推广到其他类型的桥梁中,如陕南的玉带河大桥是按照上述方法现场试验产生的经验完成顶升,该经验不具备普适性.目前对旧桥改造抬升大多采用整体抬升方法,但更换支座或进行复位纠偏时则会涉及单墩顶升、多墩同步/非同步顶升及整体同步顶升等方法^[12-24],研究成果也各有利弊.以整体同步顶升方面为例:王伟^[25]及谭长建等^[26]针对某多跨连续梁实施整体同步顶升,并提出合理的监测建议,但成果并非指向方法研究,仅可为同类型桥梁提供借鉴.目前国内外针对各类顶升方法适用性的研究,还少有介绍.

基于此,笔者以跨度为20 m的陕西孤山川四跨连续曲线梁桥为例,采用Midas Civil软件建立其三维有限元模型,分析在不同曲率半径、顶升与顶推施工方法对梁体受力特点影响,在此基础上提出了一种曲线连续梁桥梁体顶升/顶推最优处理方案,并以实桥的施工纠偏过程验证笔者方案的正确性.

1 顶升及顶推施工方法研究

1.1 模型概况

孤山川桥位于陕西省榆林市境内的府店一级公路上,是一座跨径为20 m的单箱单室曲线连续梁,梁截面分幅设置,每联两端设置双柱墩,中间为独柱墩,其纵断面及横截面尺寸如图1所示.

采用Midas Civil建立其有限元模型,主梁采用梁单元模拟,共建立154个单元,在支座及跨中等位置单元长度为0.5 m,其余位置为1 m.考虑结构为曲线梁桥,为使支点处位移、应力提取方便,建立节点局部坐标系(其余边界条件设置详见1.2小节),有限元模型如图2所示,其中 R 为曲率半径,m.

1.2 竖向顶升方法

笔者以2#墩为中间墩进行顶升过程的应力分析.在真实顶升施工中要求解除支座竖向约束,以保证梁体能够顺利被顶起,因此

表3 工况三、四下不同曲率半径重要节点处顶升应力增量表

Table 3 Jack-up stress increment at important nodes with different radius of curvature under No. 3 and No. 4 working conditions

位置	工况三(7+10+7)						工况四(10+10+10)					
	R=	R=	R=	R=	R=	R=	R=	R=	R=	R=	R=	R=
	75 m	100 m	200 m	300 m	500 m	1 000 m	75 m	100 m	200 m	300 m	500 m	1 000 m
一跨跨中	-0.086	-0.086	-0.086	-0.09	-0.09	-0.09	-0.37	-0.36	-0.36	-0.38	-0.39	-0.40
一号墩顶	-0.24	-0.22	-0.22	-0.22	-0.23	-0.23	-0.84	-0.88	-0.86	-0.86	-0.86	-0.86
二跨跨中	-0.26	-0.26	-0.29	-0.29	-0.29	-0.29	-0.53	-0.54	-0.56	-0.56	-0.56	-0.57
二号墩顶	-0.35	-0.35	-0.35	-0.35	-0.36	-0.36	0.17	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17

由表2、表3可知:不同曲率半径桥在各工况下的跨中、支点应力增量值相差不大。工况一~工况四最大差异分别为3.8%、5%、7.7%、10%,局部最大差异仅为10%,表明曲率半径的变化对同一顶升方法产生的应力增量并不敏感,因此,研究不同顶升方法优劣时可随意选取某一曲率半径桥梁(甚至直线梁桥)进行分析,并可将其结果近似运用于其他曲率半径桥梁的顶升施工上。

1.2.2 顶升方案的选择

以R=1 000 m曲线梁桥为研究对象,为了使分析结果更具有连续性,分7种工况进行不同顶升高度的桥梁梁底应力分析,7种工况下中间墩及两边墩顶升量如表4所示,7种工况下的应力增量对比如图3所示。

表4 不同施工工况下的顶升位移

Table 4 Jack-up construction condition under different working condition

位置	位移/mm						
	工况一	工况二	工况三	工况四	工况五	工况六	工况七
	1	2	3	4	5	6	7
2#墩	10	10	10	10	10	10	10
1/3#墩	0	1	3	5	7	9	10

由图3可知:在三墩顶升情况下,工况五产生的应力增量最小。如与工况一相比较,在应力较大的1号墩(26号节点)与2号墩(49号节点)顶,工况五产生的应力增量仅为工况一产生的应力增量的19%及22.5%,而且工况五在全桥梁底产生的应力增量以压应力为主,其他工况会出现拉/

压应力的交替,相对于工况五而言,对结构更为不利,因此,可确定两边墩顶升量与中间墩顶升量之比为7:10的方案为所有顶升方案中的最优方案。

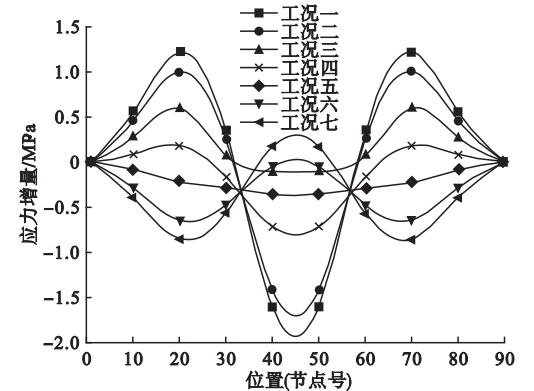


图3 不同工况下的梁体模型应力增量对比

Fig. 3 Comparison of stress increment of beam model under different working conditions

1.2.3 水平顶推方法研究

水平顶推方法常用的有单墩径向顶推、整体沿径向顶推和整体沿垂直于弦方向顶推三种。其中,单墩径向顶推施工简单,但工期较长,还可能引起较大应力增量;整体沿径向顶推和整体沿垂直于弦方向顶推安装设备较方便,施工周期短,偏安全,但设备多,实施麻烦。

在水平顶推施工中模拟中,竖向边界均采用仅受压弹簧进行模拟,墩顶水平顶升方向采用具有较小刚度的线弹性支撑模拟,以考虑摩擦力,两侧桥台水平方向一般可能会很快接触桥台侧墙,因此采用刚性支撑进行模拟,为了防止顶推过程中的纵桥向偏移,个

别支座对纵向进行刚性约束. 由于伸缩缝卡死会限制降温状态下变形的恢复, 因此在建模分析过程中应考虑约束 D_x 方向变形. 仍然采用支座水平强制位移来模拟顶推过程, 且将各支座的顶推位移量均设置为 5 mm (其中单墩径向顶推模拟顶推位置

为 1#墩顶). 为了确保顶推方向, 在单墩径向顶推和沿径向顶推模型中添加了支座节点局部坐标系, 三种水平顶推方法下各曲率半径连续梁桥主要节点位置处曲线外侧 (即横截面沿曲线径向外边缘) 应力增量如图 4 所示.

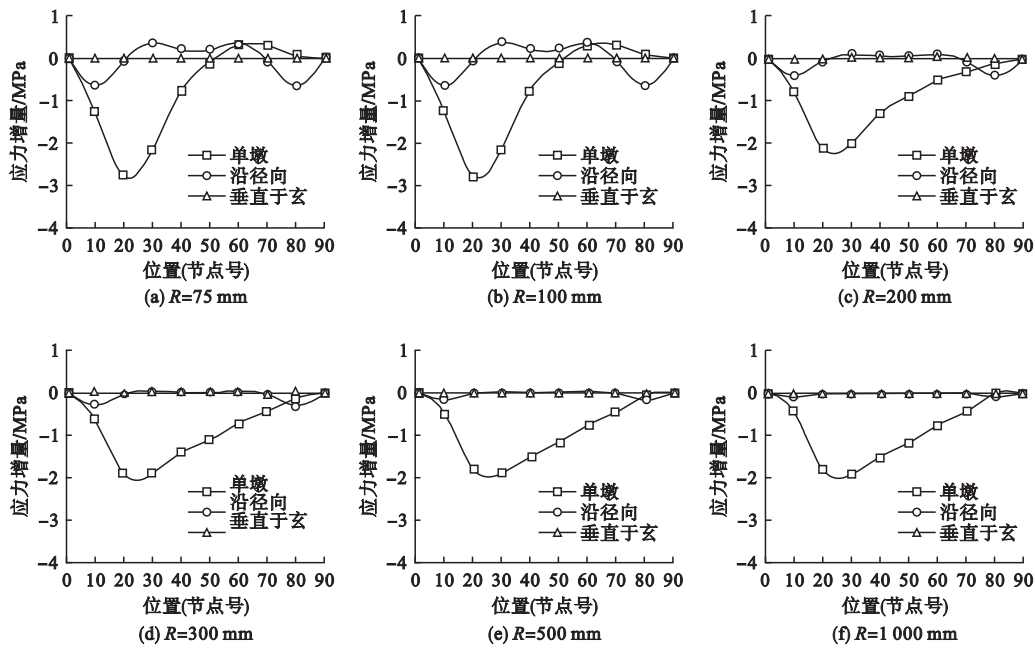


图4 桥梁曲线外侧顶推应力对比

Fig. 4 Comparison results of external pushing-back stress curves

由图 4 可知:单墩径向顶推情况下,顶推墩处产生最大的应力增量,其他各墩的应力增量越靠近顶推墩越大,因此不建议采用;其他两种方案相比而言,沿径向顶推方案产生的应力增量大于垂直于弦顶推方法产生的应力增量,因此垂直于弦的顶推方案为最优方案.

研究还发现,当曲率半径 $R > 200$ m 时,沿径向顶推方案和垂直于弦顶升方案产生的应力增量逐渐趋近,其中沿径向顶推过程中同一节点不同曲率半径下应力增量变化曲线如图 5 所示. 因此,笔者建议在 $R \leq 200$ m 时,可选用应力增量较小的垂直于弦的顶推方案,在 $R > 200$ m 时,可选用安装较方便的沿径向顶推方案.

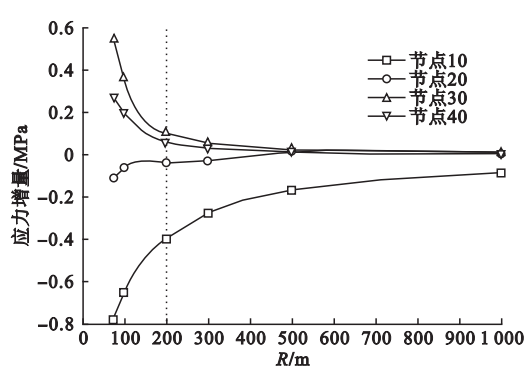


图5 随曲率半径变化各节点应力增量变化

Fig. 5 Variation of stress increment at each node with radius of curvature

2 工程应用

2.1 项目概况

孤山川桥在最近一次外观检查中发现:

梁体及墩身出现大量横向和环状裂缝,横向曲线外侧的爬移已产生超过 200 mm 的位移,健康评定为 4 类,急需进行复位处理.在顶升及纠偏施工之前,为防止施工次应力造成破坏,对跨中处梁底及梁侧采用 CFRP 布粘贴加固,以保证结构施工阶段抗弯承载力;其次对支座附近梁侧进行了斜 45° 黏贴钢板加固,保证其抗剪承载力,详见图 6 所示.

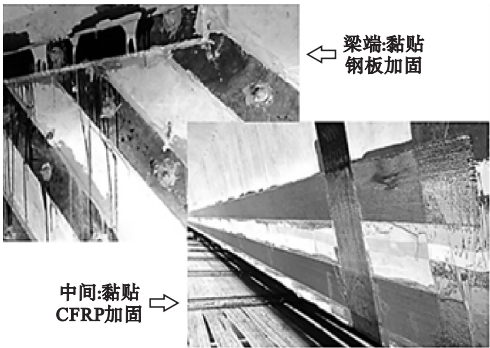


图 6 施工前加固措施

Fig. 6 Reinforcement before construction

此外,为保证施工安全进行,必须设置完善的监测方案.由数值分析及现场实测可知,各工况下梁体在中间顶升墩处均会发生一定程度的应力集中,同时两相邻墩处梁体也会产生较大的应力增量,因此在顶升过程中应注意对该部位的应变和位移数据的监测,以应对突发事故.

由图 4 可知,若采用垂直于弦的顶推方式,产生的应力增量非常小,无明显应力增量集中点,因此在顶推施工监控中,只需给顶推部位设置应变监测装置和位移检测装置;若选用沿径向顶推的施工方法,在靠近两端位置及靠近中间位置会产生反向较大应力,顶推过程中应严密监控此部位的应变和位移情况.同时,顶推过程中由于反力架是安装在下部结构,因此在施加顶升力的同时,除了进行上部结构监测外,还应对桥墩的位移情况进行监测.顶升及顶推施工监测测点布置如图 7 所示.

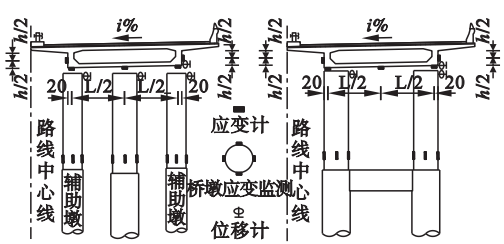


图 7 顶升及顶推监测测点布置示意图

Fig. 7 Indicative layout of jacking-up and pushing-back monitoring points

2.2 孤山川桥偏移复位施工

2.2.1 顶升施工

顶升施工中,为保证施工安全,限定单次顶推过程的行程设置为 10 mm,为确保不出现较大的裂缝,又将单次顶升过程分 5 级进行,并在顶推之前进行试顶,以验证施工器械有无故障.最后阶段多顶 1 mm,以防止各因素干扰下的行程误差.其中顶升过程中桥墩上千斤顶的分布如图 8 所示.

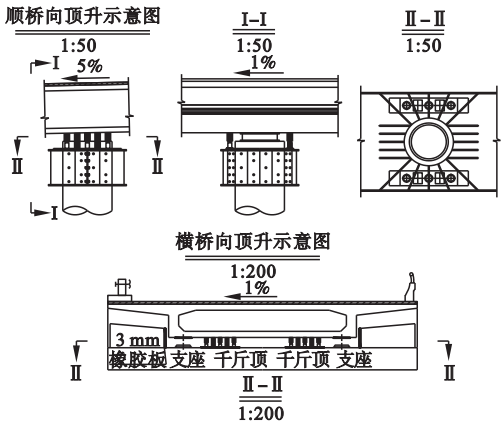


图 8 顶升过程中千斤顶的布置

Fig. 8 Layout of jacks in jacking-up process

为了验证仿真分析结果的正确性,项目设置了试验段,依据实际条件对仿真分析中不同顶升方案进行验证(受工期及仪器限制,仅验证两相邻墩顶升量分别为中墩顶升量的 0%、50%、70% 三种工况),实测端部墩和中间墩的应力增量状态见图 9 所示.

由图 9 可见,实桥顶升过程中当相邻墩顶升量为中墩顶升量的 70% 时,应力增量最小,与前文仿真分析结果一致.因此,实际工程中采取了此方案进行顶升施工,整个施工

过程安全合理。

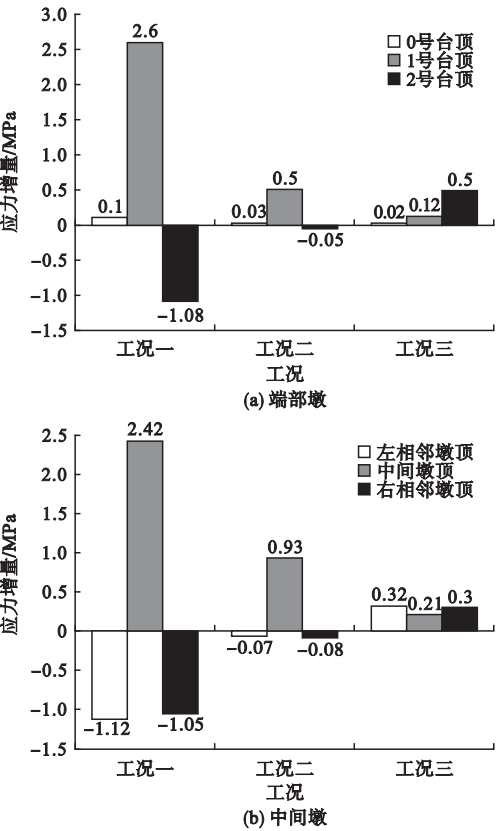


图9 三种工况下的应力增量实测结果

Fig. 9 Test results of stress increment under three working conditions

2.2.2 顶推复位施工

为保证顶推施工安全,施工中设置单次顶推过程的行程为 10 mm,且分 5 级完成,顶推之前进行了试顶,每级顶推完成后持荷 2 min,然后再进行下一级顶推,为了防止弹性恢复,单次顶推采用多项推一级行程的方法. 竖向顶升过程和水平顶推过程中桥墩上千斤顶的分布详见图 10 所示.

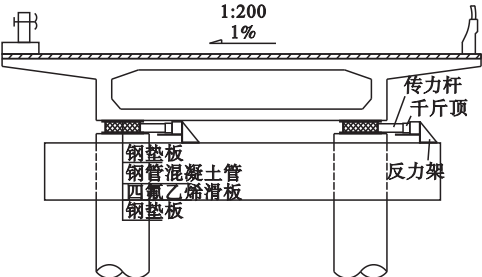


图10 顶推过程中千斤顶的布置示意

Fig. 10 Layout of jacks during pushing-back

水平顶推过程中,从桥头至桥尾均匀的布置 13 个测点(跨中及支点处),同步顶推 5 mm 进行实验,沿径向整体顶推及沿垂直于弦整体顶推过程中曲线外侧和曲线内测的应力状态详见图 11(实桥测试过程中不考虑单墩顶推造成的局部应力较大造成局部破坏影响).

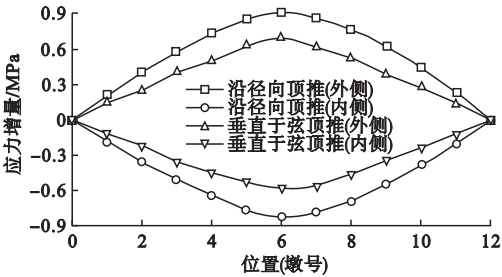


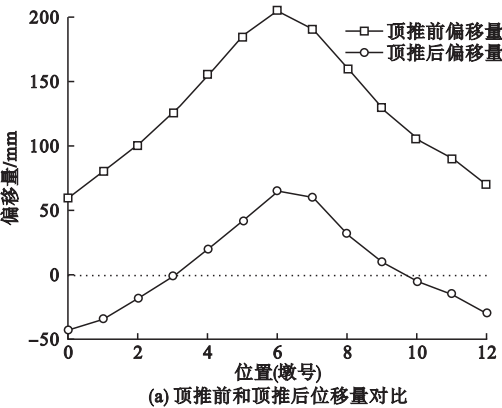
图11 顶推过程两种不同方法产生的应力增量

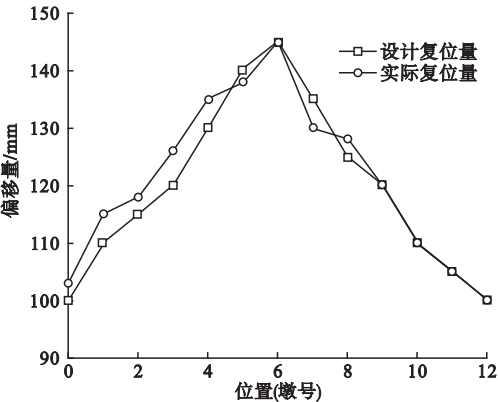
Fig. 11 Stress increment initiated by two different methods in pushing-back process

由图 11 可知,垂直于弦沿的顶推方法在曲线外侧和沿曲线内侧的应力增量均小于沿径向情况的应力增量,这与有限元分析结果基本一致,两端部有差异主要是因为模拟过程中两端考虑了伸缩缝卡死,而实际实验过程中伸缩缝进行疏通,并未卡死,因此,最终该桥选用垂直于弦的方法实施顶推.

2.2.3 项目复位施工效果

经过各级顶推纠偏施工,该桥纠偏施工前与纠偏施工后偏移量的对比及设计纠偏量与最终实际纠偏量的对比详见图 12.





(b) 设计纠偏量和实际纠偏量对比

图 12 纠偏效果对比

Fig. 12 Comparison of rectification effect

由图 12 可知,该桥实际纠偏量与设计纠偏量基本吻合,大部分误差在 5 mm 以内,最大不超过 7 mm,复位后线型变化(次生内力)较小,整体纠偏施工效果良好.实桥的纠偏施工证明,笔者的成果具有较好的实用价值,可为同类工程项目提供参考.

3 结 论

(1)对竖向顶升施工,曲率半径对各种工况下梁底应力增量的影响不大,即顶升产生的应力增量对曲率半径的变化不敏感.

(2)竖向顶升方案中,中墩顶升量与两边墩顶升量之比为 10:7 的顶升方法引起的应力增量最小,是一种安全有效的顶升方案.

(3)顶升过程中,顶升中墩位置梁体产生的应力增量最大,两相邻顶升位置产生的应力增量也较大,应该加强这些关键位置的应变和位移监测.

(4)水平顶推方案中,沿垂直于弦方向顶推产生的应力增量值最小,为水平顶推最佳方案.当曲率半径 $R > 200\text{ m}$ 时,沿径向顶推方案产生的应力增量也较小,曲线趋于平缓,该方案可作为备选方案.

(5)水平顶推过程中,靠近梁端位置及靠近梁中位置会产生方向相反、绝对值较大的应力增量,桥墩顶部也会产生一定水平位移,因此应该加强梁端、梁中部位及墩顶、墩

底部位的应变和位移监测.

(6)陕西孤山川大桥的施工纠偏检测结果与笔者提出方案的分析结果吻合较好,证明笔者方案可以有效地用于曲线连续梁桥的顶升和顶推施工纠偏中.

参考文献

[1] 徐毅. 预应力曲线连续箱梁桥径向偏位影响因素及其对策研究[D]. 北京:中国铁道科学研究院,2014.
(XU Yi. Study on the influence factors and countermeasures of radial deviation in prestress-curve continuous box girder bridges [D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences,2014.)

[2] 杨昀,周列茅,周勇军. 弯梁与高墩[M]. 北京:人民交通出版社,2011.
(YANG Jun,ZHOU Liemao,ZHOU Yongjun. Curved bridges and high piers [M]. Beijing: China Communication Press,2011.)

[3] 袁铭,张剑波. 智能同步顶升技术在斜梁桥中的应用[J]. 湖南交通科技,2014,9(40): 129-132.
(YUAN Ming,ZHANG Jianbo. Application of intelligent synchronous jacking technique in inclined beam bridges [J]. Hunan communication science and technology,2014, 9(40):129-132.)

[4] HU Y G, HE P. Risk control standard and construction control technology of shield tunnel passing through irregular-plate bridge [J]. Symmetry,2019,11(11):1331.

[5] 曾松涛. 连续梁桥半桥同步顶升施工监控研究[J]. 城市道桥与防洪,2019(1):112-114.
(ZENG Songtao. Monitoring research on synchronous jacking construction of half bridge of continuous beam bridge [J]. Urban road and bridge and flood control, 2019 (1): 112-114.)

[6] 赵西法,刘成和. 既有公跨铁立交桥预应力连续梁同步顶升施工技术研究[J]. 铁道建筑技术,2018(7):43-46.
(ZHAO Xifa, LIU Chenghe. Research on synchronous jacking construction technology of prestressed continuous beam of existing highway overpass [J]. Railway construction technology, 2018 (7): 43-46.)

[7] 吴毅彬,许丽华. 城市互通立交桥大吨位同步顶升施工与控制技术[J]. 施工技术,2017,46(20):31-33.
(WU Yibin,XU Lihua. Large tonnage synchronous jacking construction and control technology of urban interchange [J]. Construction technology, 2017,46 (20): 31-33.)

[8] 茹毅,杨立坡. 装配式梁桥同步顶升及同类桥梁设计建议[J]. 城市道桥与防洪,2016(2): 134-136.
(RU Yi,YANG Lipo. Design recommendations for synchronous jacking of fabricated girder

- bridges and similar bridges [J]. Urban road and bridge and flood control, 2016 (2): 134-136.)
- [9] 刘德坤. 基于位移控制的 LZQS 同步顶升技术在桥梁顶升中的应用研究[J]. 城市道桥与防洪, 2015(2): 84-87.
(LIU Dekun. Research on the application of LZQS synchronous jacking technology based on displacement control in bridge girder jacking [J]. Urban road and bridge and flood control, 2015 (2): 84-87.)
- [10] 韩永军. 桥梁纠偏技术在平定大桥中的应用研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2012, 4(29): 132-140.
(HAN Yongjun. Study on application of bridge deviation rectification technique in Pingding bridge [J]. Journal of Guizhou university (natural science edition), 2012, 4(29): 132-140.)
- [11] 曾国梁, 冯威, 李琦. 多孔连续曲线梁桥偏位成因分析及同步纠偏技术[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2015, (3): 173-176.
(ZENG Guoliang, FENG Wei, LI Qi. Analysis on the causes of porous continuous curved bridge deviation and the synchronous rectification technology[J]. Journal of highway and transportation research and development (application technology edition), 2015, (3): 173-176.)
- [12] 曾勇, 田世清, 唐赐明. 连续梁桥桥墩纠偏顶推受力分析[J]. 中外公路, 2013, 3: 86-88.
(ZENG Yong, TIAN Shiqing, TANG Ciming. Analysis of the stress force of piers in continuous beam bridges[J]. Journal of China & foreign highway, 2013, 3: 86-88.)
- [13] RAMPRASAD S. Exact solution of shear flexible laminated curved beams using a coupled field formulation [J]. International journal for computational methods in engineering science and mechanics, 2014, 15 (1): 54-61.
- [14] JI X D, JIANG F M, QIAN J R. Seismic behavior of steel tube-double steel plate-concrete composite experimental tests [J]. Journal of constructional research, 2013, 86: 17-30.
- [15] ZHANG H, ZHANG Y T, ZHOU R Z. Research on the automatic walking-type launching system applied in Jiubao bridge construction[J]. Advanced materials research, 2012, 538: 3299-3303.
- [16] 陈立锋, 吴鹏松, 袁航. 多点横向顶推旋转法纠偏桥梁偏位施工技术[J]. 中外公路, 2014 (1): 194-196.
(CHEN Lifeng, WU Pengsong, YUAN Hang. Construction technique of bridge deviation rectification with multi-point horizontal jacking-move rotation method [J]. Journal of China & foreign highway, 2014 (1): 194-196.)
- [17] 邓红梅. 城市立交小半径独柱墩弯桥梁体偏移分析[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
(DENG Hongmei. Analysis of small-radius curved bridges with single piers in urban interchange [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2015.)
- [18] 李铁军. 独柱独支座桥梁匝道纠偏施工[J]. 上海建设科技, 2010, 3: 29-32.
(LI Tiejun. Deviation rectification construction of ramps in bridges with single column supported [J]. Shanghai construction science & technology, 2010, 3: 29-32.)
- [19] 王彪. 钢混组合梁步履式顶推横向偏位产生原因及纠偏对策研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
(WANG Biao. Study on causes of lateral deviation in walking-type launching of steel-concrete composite beam and deviation countermeasures [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.)
- [20] ZHANG Y, ZHOU R. An automatic walking-type launching system and its application [J]. International association for bridge and structural engineering, 2013, 101(14): 1-7.
- [21] ZHANG Y Z, LOU R D. Patch loading and improved measures of incremental launching of steel box girder [J]. Journal of constructional steel research 2011, 68: 11-19.
- [22] ZHANG F, WANG Y. Studies on closure jacking force and closure temperature of the continuous rigid frame bridge with V-shaped pier [C]. Proceedings of the 2018 7th international conference on sustainable energy and environment engineering (ICSEEE 2018), 2019.
- [23] MILAD M, VAHID S, ERIN S B. Instrumentation plan verification for damage detection of a vertical lift steel truss bridge [C]. The international society for optics and photonics, Denver, Colorado, 2019.
- [24] 李静, 吴碧海. 高速公路改扩建桥梁顶升与拼宽工艺运用[J]. 公路, 2018, 63(10): 118-120.
(LI Jing, WU Bihai. Application of jacking and widening technology in reconstruction and extension of expressway bridge [J]. Highway, 2018, 63(10): 118-120.)
- [25] 王伟, 刘昀, 丁毅. 连续梁桥多跨整联同步顶升施工计算分析[J]. 中外公路, 2017, 37 (3): 102-106.
(WANG Wei, LIU Jun, DING Yi. Calculation and analysis of simultaneous jacking construction of continuous beam bridge [J]. Journal of China & foreign highway, 2017, 37 (3): 102-106.)
- [26] 谭长建. 多跨连续曲线梁桥整体同步顶升监测分析[J]. 公路, 2017, 62(5): 91-94.
(TAN Changjian. Monitoring and analysis of integral synchronous jacking of multi span continuous curved girder bridge [J]. Highway, 2017, 62(5): 91-94.)
- (责任编辑: 刘春光 英文审校: 范丽婷)