

城市桥梁顶升改造桥面线形拟合及结构设计方法

王晓峰

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

摘要:为解决城市桥梁顶升改造设计中复杂的桥面线形变化所带来的难题,该文以厦门市仙岳路立交顶升设计为背景,系统地研究了在城市桥梁顶升改造设计中混凝土梁桥和钢梁桥的顶升改造方法。对混凝土结构提出了加铺、减载和加固3种层次的顶升设计解决方案;对钢结构当采用上述3种方案均失效时,还提出了切割—分段顶升—焊接成形的顶升改造方案,大大拓展了桥梁顶升改造技术的应用范围。

关键词:桥梁改造;顶升设计;桥面线形

随着同步顶升技术在土木工程领域的不断推广应用,桥梁顶升技术也多样化发展,越来越多不同结构类型的桥梁被成功顶起,顶升桥梁的重量越来越重,顶起的高度也越来越大。然而目前桥梁同步顶升技术系统的理论研究仍远落后于工程实践,设计和施工主要依赖于经验,缺乏科学的理论依据,也没有相关的规范可供指导,缺少标准化的结构分析模型,对既有桥梁顶升前和顶升后的性能评估也缺乏完善的手段和操作规范,对桥梁顶升过程中监控与控制的研究也较少,这些不足给桥梁改造的建设管理造成了混乱,给施工安全带来了巨大的风险,也对桥梁顶升技术的发展非常不利,亟需对桥梁顶升关键技术进行系统的研究,使桥梁顶升技术朝着标准化、快速化及规范化的方向发展。因此,系统地总结和归纳桥梁顶升改造方法,对推动中国在役桥梁改造技术的发展具有重要的指导意义。

厦门市仙岳路与成功大道立交改造提升工程是当时中国国内规模最大、顶升高度最大(最大顶升高度达11.26 m)、技术含量最高(改造前后桥面线形变化复杂)、桥梁类型多(既有混凝土桥也有钢箱梁桥)的一项桥梁顶升工程。该文以此工程为依托,对城市桥梁顶升关键技术进行系统研究与总结,该工程的顺利完工也验证各关键技术设计的可行性,其相关设计经验可为类似城市高架顶升改造提供参考。

1 项目概况

仙岳路位于厦门本岛的中部,西起海沧大桥,东至

翔安隧道,自西向东贯穿整个厦门岛,全长10.1 km,是连接海沧、翔安辅城的重要通道。由于仙岳路与成功大道立交的主线高架、仙岳路西段高架和金尚路跨线桥相连,如图1所示,需要对高架下桥和跨线桥上桥处的桥梁结构进行改造处理。

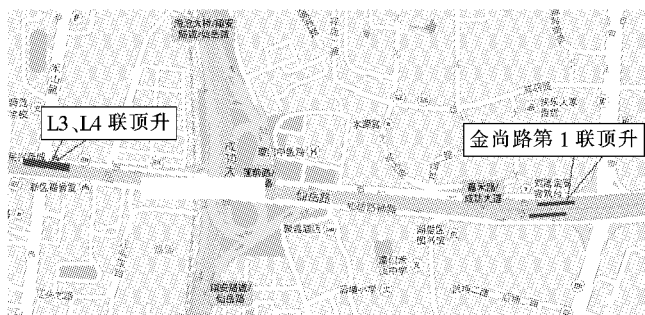


图1 仙岳路—成功大道立交

考虑既有跨线桥建成时间较短,结构较新,为节省工程投资和减少拆除重建产生的社会影响,在保证结构安全、运营后行车舒适的前提下,应尽可能多通过顶升改造利用既有桥梁结构。

方案设计在保证结构安全、运营后行车舒适的前提下,按照尽量利用既有桥梁结构、减少桥梁拆除工程的原则进行。在对原结构的现有状态进行准确评估之后,采取如下原则进行:

(1) 当一联箱梁范围内新的桥面设计高程与现状桥面高程差值为 $-3\sim+18$ cm时,通过增加混凝土调平层或减少现有桥面铺装厚度来满足桥面线形要求。

(2) 当一联箱梁范围内新的桥面设计高程比现状桥面高程高出18 cm以上,且通过设置空心管材和采

用调平混凝土仍难以满足设计标高要求时,则对现状桥梁进行顶升处理。

(3) 对于通过设置空心管材和采用调平混凝土且经顶升处理后不能满足结构受力要求的箱梁,则进行加固处理以使其能满足要求。

(4) 若采用减载和加固措施后结构仍不满足受力要求但结构为钢箱梁时,可采用将钢箱梁分段切割,顶升后再分段拼装的方式。

(5) 如难以加固,或者考虑施工期间交通组织等因素,难以利用的,拆除现状箱梁,浇注新的箱梁。

顶升设计流程如图 2 所示。

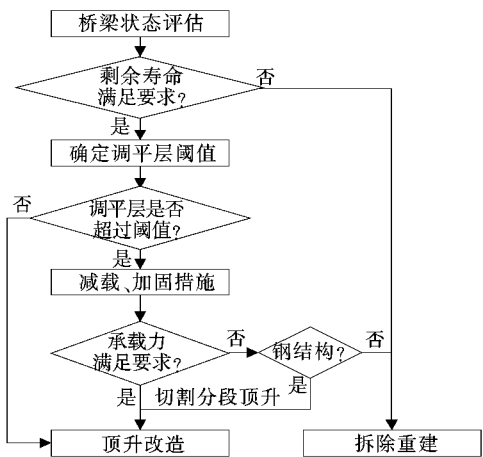


图 2 顶升设计流程图

2 顶升改造中桥面线形设计

该项目以上述顶升改造原则和图 2 所示的设计流

程进行改造设计,下文详细介绍该工程中具有代表性的顶升改造设计方案及相关结构计算方法。

2.1 仙岳路高架桥下桥段改造方案

原仙岳路高架桥下桥段跨越台湾街路口后落地,如图 3 所示,其中跨台湾街路口采用三跨等高钢箱梁(第三联),其右侧第四联为梁高 2 m 的三跨等高预应力混凝土连续梁。现状桥梁位于坡度为 4.53% 的下坡段。根据改造后道路的设计线形要求,改造后这两联桥位于坡度为 2.74% 的上坡段。第三、四联箱梁改造前后纵断面高差为 0.001~11.261 m。

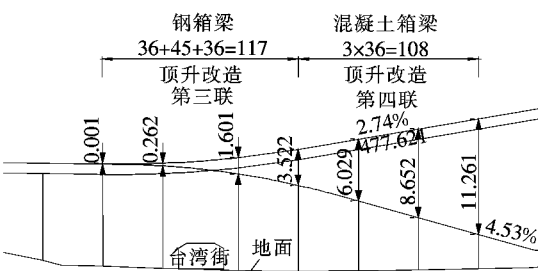


图 3 仙岳路高架下桥段第三、四联箱梁改造前、后桥面线形(单位:m)

2.1.1 第三联箱梁改造方案

由于桥面竖曲线的影响,通过桥梁的整体顶升,第三联的桥面竖曲线仍与改造后道路设计竖曲线有较大差异,若仅仅通过加铺混凝土调平层的方法来处理,最厚调平层为 97 cm。结构分析表明:由于调平层导致桥梁二期恒载增加,使得该联桥梁即使采取减载、加固措施,仍无法满足结构受力要求;设计考虑利用钢结构良好的焊接性能特点,提出将钢箱梁切割成 6 段(图 4)然后分段顶升、再拼接成整体的改造方案。

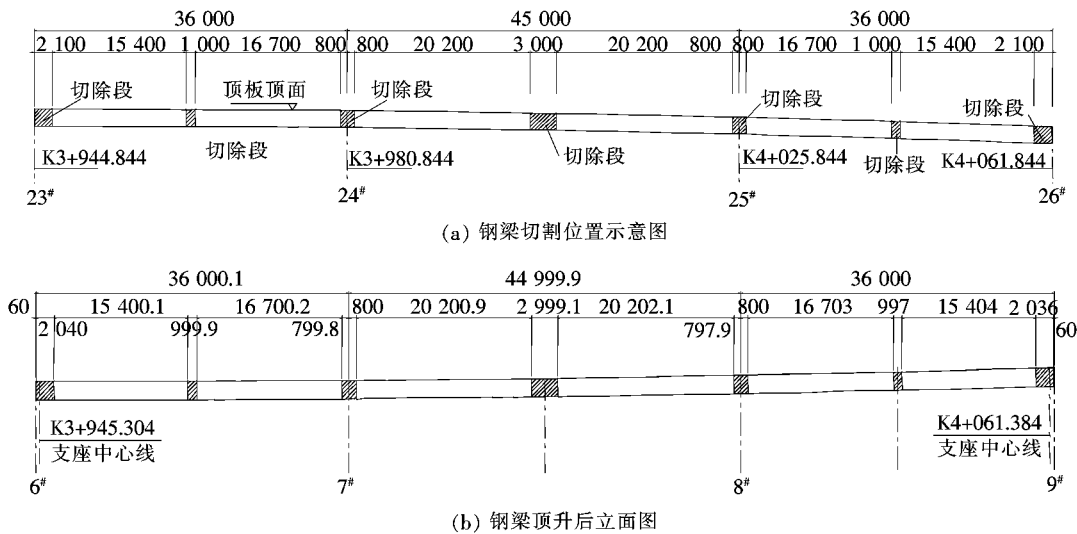


图 4 仙岳路高架桥下桥段第三联改造方案(单位:mm)

具体改造方案如下:桥下搭设支架→刨除桥面沥青铺装、拆除伸缩缝→在各支点和中跨、次边跨跨中分别切除并吊走部分梁段→使原三跨连续梁变成6段简支梁→顶升各段梁体至设计高程→吊装新制节段→调整节段间隙和高程→焊接成三跨连续梁→拆除支架→重新铺设桥面铺装、安装伸缩缝。

2.1.2 第四联箱梁的改造方案

相较于第三联,第四联在改造前后其竖曲线均位于直线段上,因此,设计采用整体顶升的改造方案。通过顶升设计发现,桥面竖向线形最大高差为 8.0 cm,故对于第四联采用在箱梁顶部增设混凝土调平层的桥面线形改造方案。

2.2 金尚路高架桥第一联改造方案

现有金尚路跨线桥布置为双幅桥,均为预应力混凝土箱梁结构。第一联改造前后平面位于圆曲线上,立面位于直线段上,新桥面比现状桥面高 0.07~1.433 m,因此,此次设计对该联箱梁进行顶升改造处理,通过顶升、旋转后,原桥台处箱梁末端比新桥面低 47 cm,若直接采用混凝土调平层进行线形拟合,那么改造后二期恒载大大增加,原箱梁结构很难保证其后期的承载力。通过对原结构进行结构承载力评估,最终确定采用增设混凝土调平层+PP管及在箱内布置体外预应力加固的改造方案。

图 5 为改造后的金尚路高架第一联桥台附近混凝土调平层构造图。对图 5 所示混凝土铺装来说,若不增加埋入 PP 管,其断面面积为 1.44 m^2 ,埋入 PP 管后,其断面面积仅为 0.84 m^2 ;由此可估算得出,通过埋入 PP 管,实现新增混凝土调平层减载率达 42%。

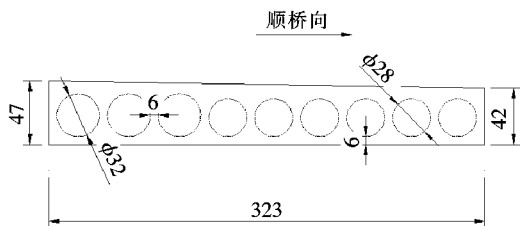


图 5 金尚路高架第一联桥台附近调平层构造图(单位:cm)

2.2.1 新增铺装层应力验算

尽管通过在混凝土铺装中埋入 PP 管能够实现减载的目的,但由于调平层自身混凝土强度较低、钢筋也较少,如图 6 所示,如 PP 管径布置不合理,在轮载局部效应作用下,会导致结构破损,影响结构后期运营过程中的正常使用功能与寿命。

为得出 PP 管导致的孔洞对调平层的影响,采用

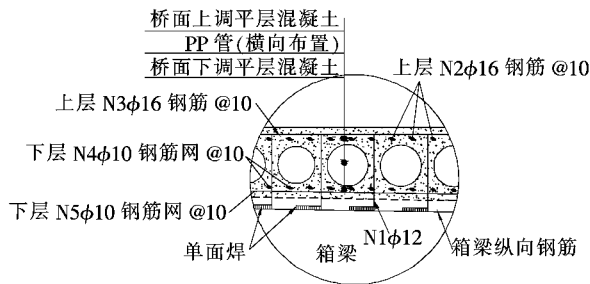


图 6 金尚路高架第一联混凝土调平层设计

(单位:钢筋直径:mm,其余为 cm)

有限元分析软件建立一段长为 3.23 m 的箱梁及调平层精细化有限元模型。全模型共 201 372 个单元,316 404 个节点,为得到精确的应力分布,选用高阶的 10 节点四面体单元,模型中考虑了调平层中普通钢筋的作用。

图 7 为验算调平层应力的车辆轮载布置图,根据 JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》确定每个加载点为 140 kN,加载面积为 $0.2 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 。轮载作用下箱梁主应力分布见图 8。

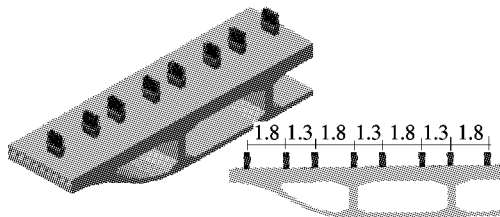


图 7 车辆轮载布置图(单位:m)

由图 8 可得:在轮载作用下,结构的最大主拉应力为 4.69 MPa,最大第一主应力发生在箱梁顶板与腹板相交的倒角处;最大主压应力为 7.72 MPa。外侧直腹板附近顶板调平层主拉应力较大,最大主拉应力为 1.51 MPa,根据混凝土规范可知,调平层混凝土(C40)的抗拉强度设计值为 1.71 MPa,说明当前调平层在轮载作用下应力满足规范设计要求。

2.2.2 结构加固设计验算

新、旧桥面高差最大处位于桥梁的两端,向中支点逐渐减少,即边跨自重增加最多,中跨增加较少,如图 9 所示。

由图 9 可知:混凝土调平层导致边跨二期荷载最大增加 72.1 kN/m,第三跨跨中最小为 0。相较于原来的二期恒载 48.3 kN/m 来说,两个边跨的荷载增加了近 1.5 倍。新增混凝土铺装层总重 2 676.97 kN,原二期恒载总重为 7 245.00 kN。新增混凝土铺装导致边跨跨中弯矩较改造前增加了 22.4%,墩顶截面负弯

矩最大增加了 23.7%。经对现状混凝土箱梁进行检算后,增加铺装荷载后,梁体原有预应力布置不能满足受力要求,需对既有箱梁增设如图 10 所示预应力进行加固处理(仅示一半)。在第 1、5 孔增设 3 束 $15\phi^s 15.2$ 型预应力索,第 2~4 孔均增设 3 束 $12\phi^s 15.2$ 型预应力索。

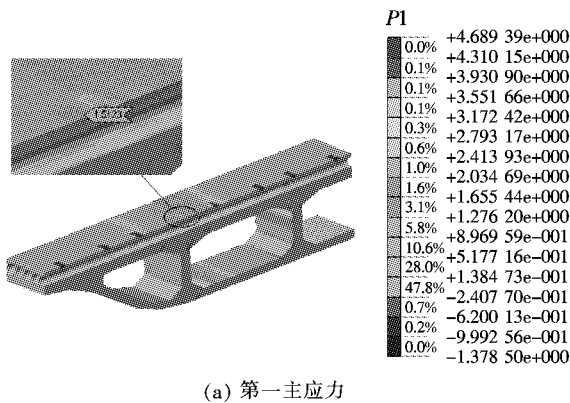


图 8 轮载作用下箱梁的主应力(单位:MPa)

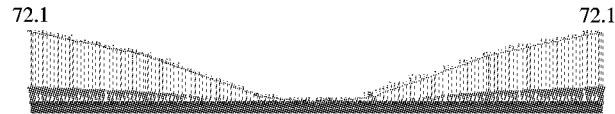


图 9 因桥面曲线拟合导致的二期恒载的增量(单位:kN/m)

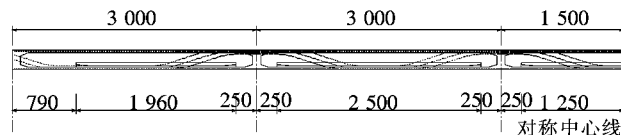


图 10 增加的预应力纵向布置图(单位:cm)

如图 11 所示,若不进行加固,在短期荷载组合下,结构第二跨和第四跨的 $1/8$ 截面附近的正截面应力超过规范容许值。加固后,全结构的正截面应力均满足规范设计要求。

图 12 为金尚路高架第一联加固前、后长期荷载组合下结构的正截面应力验算结果。结果表明:在长期

荷载组合下,加固前、后结构均满足规范要求。加固后结构整体的压应力储备较加固前有明显提高。由图 13 可知,除边跨支座节点外,加固前后结构均处于受压状态,满足规范要求;加固后,结构的斜截面主拉应力分布更加均匀,应力峰值也明显减小。

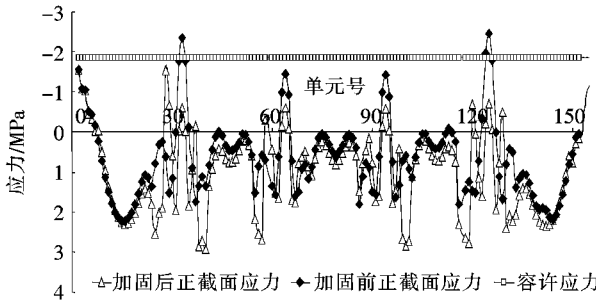


图 11 短期荷载组合下正截面应力验算

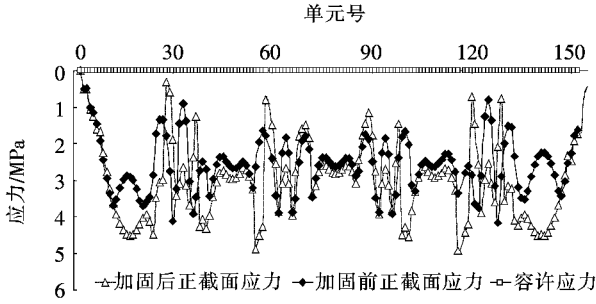


图 12 长期荷载组合下正截面应力验算

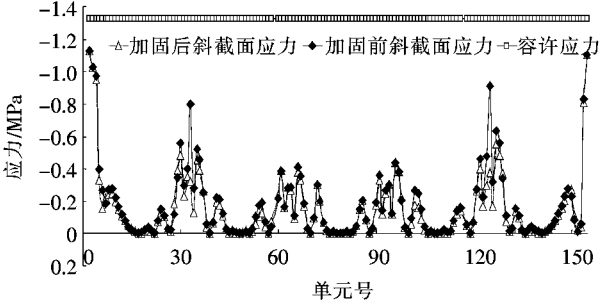


图 13 正常使用极限状态下斜截面应力验算

图 14 为加固前、后正常使用极限状态下正截面应力验算图。加固前、后结构最大压应力小于 13.0 MPa,满足规范要求。加固后结构的正截面压应力储备稍有增加。

如图 15 所示,在正常使用极限状态下加固前、后结构的最大斜截面主压应力小于 10.0 MPa,满足规范要求;加固后,结构的主压应力稍有增加。

由图 16 所示的正截面抗弯承载能力验算结果可以看出:在加固前由于增加的混凝土调平层自重的影

响,结构大部分的抗弯承载力不满足规范要求;加固后结构的抗弯承载力,尤其是两个边跨的抗弯承载力有大幅提高,所有截面抗弯承载力均满足规范要求。

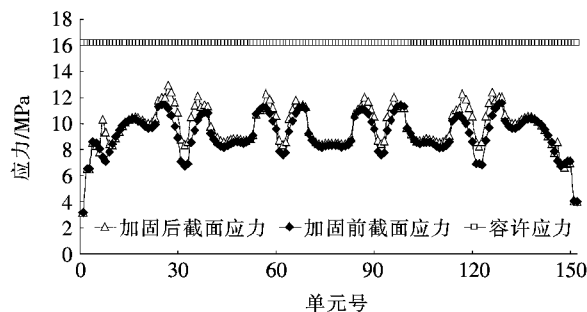


图 14 正常使用极限状态下正截面应力验算

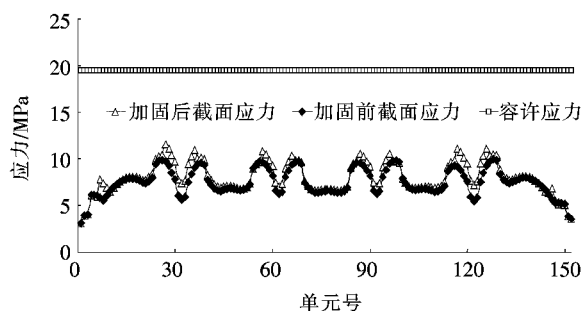


图 15 正常使用极限状态下斜截面主压应力验算

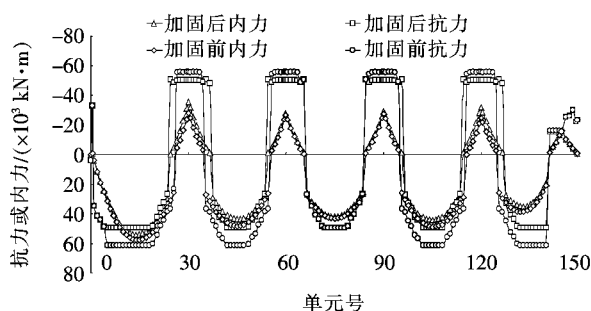


图 16 正截面抗弯承载力验算结果图

3 结论

以厦门市仙岳路与成功大道立交改造提升工程为例,研究了城市桥梁顶升改造中变化的桥面线形的设计流程和设计方法。从节省成本和减少社会影响的角

度,根据合理的结构顶升高度设计、减载及加固措施以及利用钢结构可二次加工的特点,总结了顶升改造设计的 5 个原则。最后分别以仙岳路高架桥下桥段改造和金尚路高架桥第一联改造为例,详细介绍了不同结构形式、不同桥面线形要求时顶升后目标桥面线形的成形方法和结构验算内容,可为以后类似工程提供设计参考。

参考文献:

- [1] HOLDEN K M, PANTELIDES C P, RIES J M, et al. Lifting of GFRP Precast Concrete Bridge Deck Panels[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2015, 29(3).
- [2] XU C, XU L, ZHOU J. Integral Lifting of a Three-Span Continuous Beam Bridge[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2015, 29(4).
- [3] ZHAO Y, WANG J F, PANG M. Integral Lifting Project of the Qifeng Bridge [J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2012, 26(3).
- [4] 李方韬.厦门市仙岳路高架桥连续梁顶升改造[J].铁道勘测与设计, 2012(4).
- [5] 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(3).
- [6] 袁臻,朱文霞,肖汉.PLC 同步顶升系统在高速公路桥梁改造中的应用[J].中外公路, 2013(5).
- [7] 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(5).
- [8] 李品寿.桥梁顶升和加高技术[J].公路, 2011(1).
- [9] 许冰,冯威,李琦.连续曲线梁桥顶升纠偏仿真分析方法[J].公路交通科技(应用技术版), 2015(10).
- [10] 郭鲁军,陈金友,徐礼阁,等.某三跨连续梁桥整体提升研究[J].公路, 2014(2).
- [11] 陈智强.厦门仙岳路改造工程既有桥梁顶升技术[J].公路, 2012(9).
- [12] 邓彦荣.仙岳路与成功大道立交提升改造工程第三联顶升监控及有限元分析[D].兰州交通大学硕士学位论文, 2015.
- [13] 游炜.城市桥梁改造中的既有连续梁桥顶升技术改造[J].福建建筑, 2015(5).
- [14] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].