

大跨径钢管拱两段法吊装方案研究

孙九春, 陆永兴

(腾达建设集团股份有限公司 上海市 200122)

摘 要: 针对现场实际情况本文提出了大跨径钢管拱分两段浮吊吊装的方法、拱肋合龙方案和有限元模型简化方法,通过计算分析确定了合龙过程中的相关技术参数和拱肋力学状态。

关键词: 钢管拱; 合龙; 有限元; 吊装

浦东北路赵家沟桥,主拱肋为钢管混凝土桁架拱,跨径为 135 m,失跨比为 1/5。拱肋上下弦分别采用哑铃形截面,内灌注混凝土,腹杆为空钢管,中拱肋重约 185 t,两个边拱肋分别重 1 460 kN。

1 拱肋吊装方案与拱肋节段力学状态

针对浦东北路赵家沟桥的桥型和现场情况,从经济性、安全性、操作难易程度以及吊装设备等方面综合考虑,拱肋利用浮吊分两段吊装。由于受吊装设备数量和吊装场地的限制,每根拱肋的 2 个节段需分次吊装,为此需在两段拱肋的分段点处搭设临时支架以支撑拱肋节段。受河中导流堤的影响,分段点

设于拱顶一侧 2.75 m 处,节段的最大吊装重量为 980 kN,采用一台 800 kN 和一台 1 200 kN 的浮吊联合吊装,可满足节段吊装要求。每段拱肋设置 2 个吊点,2 个吊点连线需位于拱肋重心之上,以防拱肋吊装过程中翻转。计算表明,当吊点设置在距节段两端 $0.25L \sim 0.3L$ 时较为合理,并且有利于吊装。拱肋安装时宜在无雨、无大风情况下进行,先安装拱脚一端,再将拱肋节段的另一端置于临时墩的定位架上,吊装方案如图 1 所示。该方案安全、经济、快速、技术可靠、施工工序简洁、操作环节少,内河航道水面较平静、浪小,适合吊装过程中的精确对位。

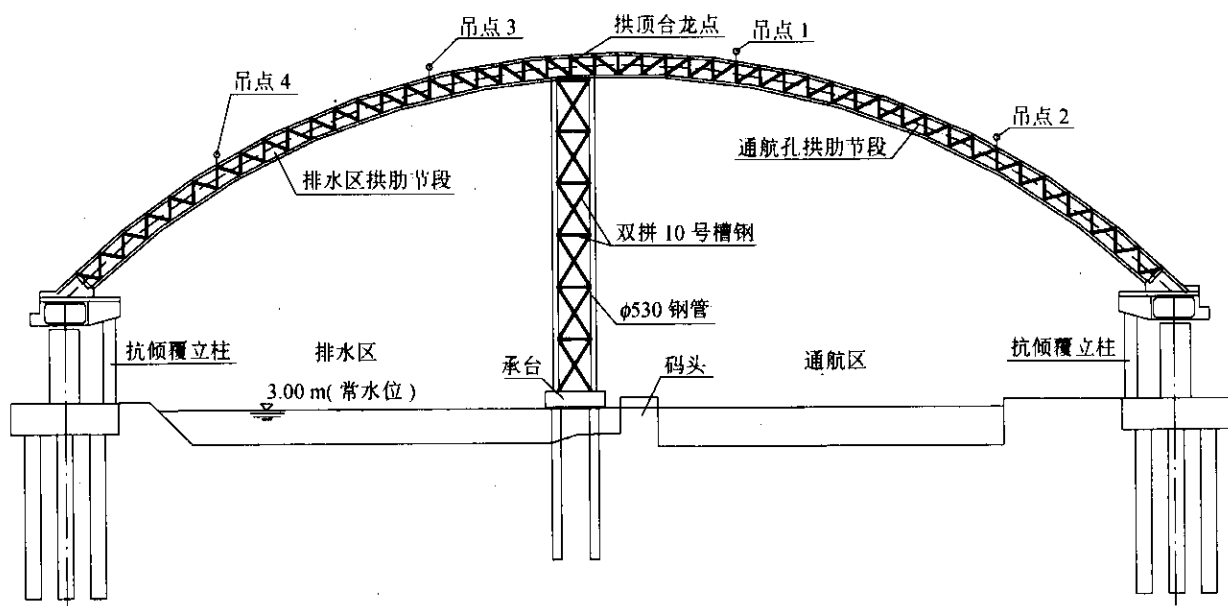


图 1 拱肋吊装方案示意

吊装后的拱肋节段由拱脚和临时支架支撑,拱脚与节段间采用铰轴连接,为避免支架承受过大的水平力,支架与节段间只设置竖向约束和横桥向约束,而无纵桥向水平约束以允许拱肋节段自由伸长,拱肋节段在面内呈简支状态,受自重作用影响,简支状态下的拱肋节段弧度缩小、弦长增大。经分析,拱肋节段最大竖向位移为 7.4 cm 和 5.4 cm,最大水平位移为 4.5 cm 和 3.4 cm,最大拉应力为 61 MPa,最大压应力为 -74 MPa,支架最大变形 5 mm,拱肋节段的强度与刚度均满足要求,节段的面外稳定可通过设置缆风索来满足要求。

2 拱顶合龙方案

本桥的拱顶合龙方案主要有两种:一是利用铰轴将两段拱肋铰接成三铰拱,然后再焊接成两铰拱;二是直接采用高强螺栓将两段拱肋刚接成两铰拱并在两铰拱状态下焊接合龙缝。虽然从施工角度讲两种都可行,但从受力角度分析两铰拱优于三铰拱,因此本桥拱顶采用螺栓合龙,如图 2(1)所示。螺栓合龙对合龙时的拱肋位置有较高的要求,偏差过大会使合龙困难,拱肋节段分两次安装时较大的水平位移会导致拱肋两端面难以合龙,如图 2(2)所示。

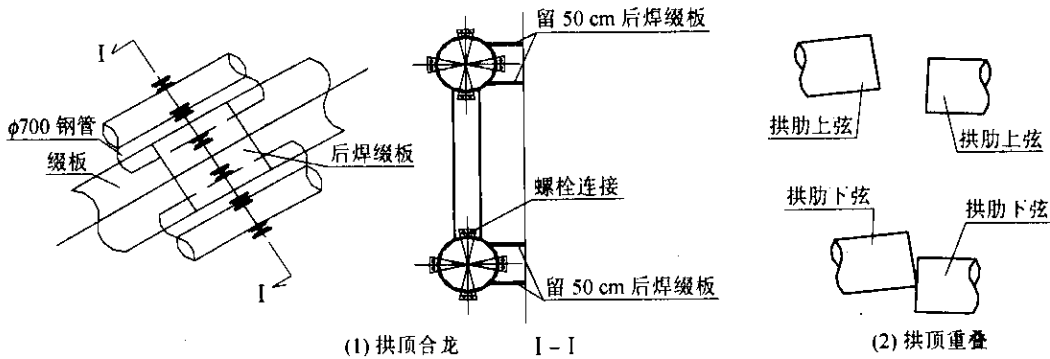


图 2 拱顶合龙示意

为了消除水平位移对钢管拱合龙的影响,虽然可利用浮吊同时吊起两段拱肋在空中不断调整拱肋位置使两端面合龙,但该方法高空操作多、风险大,并且对通航影响大。为减少高空操作及对通航的影响,可根据“两圆相交原理”,利用千斤顶将拱肋节段

支架端的安装位置预先抬高,从而使吊装后的拱肋,在自重作用下伸长后,下弦底部刚好接触,合龙端面具备合龙条件,然后再通过逐步卸载千斤顶、安装螺栓使拱顶合龙,如图 3 所示。

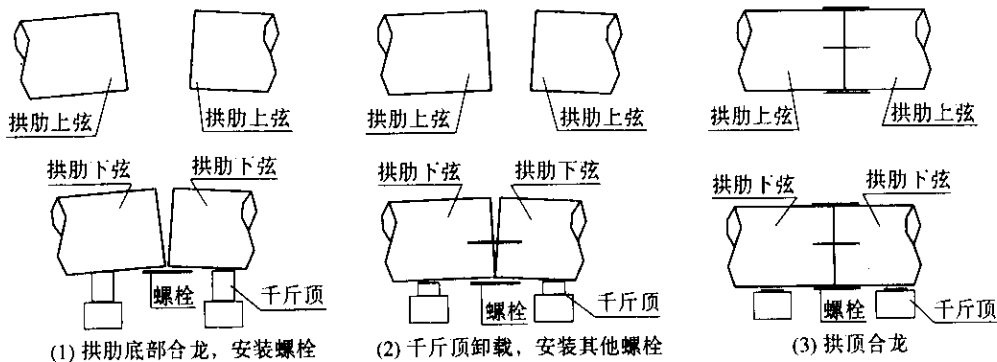


图 3 拱顶合龙示意

上述拱顶合龙过程中,需要解决以下几个问题:

- (1) 确定千斤顶的行程、吨位和预顶升量;
- (2) 拱肋合龙过程中的力学行为变化及合龙后的应力和位移状态;
- (3) 桥墩的受力安全性能等。

3 有限元模型

以中拱拱肋为分析对象,利用有限元程序中的梁单元、杆单元和各类边界条件、约束条件建立了与实际结构相符合的有限元模型,其中如何模拟千斤顶的

作用和合龙端面接触的作用是建模的难点。

(1) 千斤顶作用的模拟: 由于目前的有限元程序中还没有合适的单元可模拟千斤顶的特性, 因此必需对其进行简化。由于拱肋节段在卸载过程中绕拱脚转动的角度非常小, 且支架的竖向变形仅为 5 mm, 可视为支撑在刚性地基上, 因此, 在有限元模型中可以将临时支架和千斤顶简化为一个竖向约束, 通过改变竖向位移约束的大小, 来模拟千斤顶的升高或降低。

(2) 合龙端面接触作用的模拟: 利用千斤顶的卸载和螺栓的安装合龙拱肋时, 螺栓和千斤顶一起承受竖向剪力作用, 接触的合龙面传递轴力作用。由于普通有限元程序对上述接触过程的模拟较为繁琐, 因此当主要考虑拱肋及整个体系而不是拱肋接触端面的受力情况时, 可以用若干个能够传递剪力和轴力的约束来模拟接触面的特性而不会改变整个体系的力学实质, 这样复杂的接触行为便可以用普通的

杆系有限元程序来模拟。

4 施工仿真分析

利用上述有限元模型, 对拱肋的合龙过程进行了分析, 结果如下。

(1) 千斤顶的选型与千斤顶卸载过程中的力学变化: 经分析拱肋支架端的支撑点需比设计位置高出 11.3 cm, 这样两段拱肋架设后可满足拱肋底部合龙的要求 (如图 4(1) 所示), 合龙后拱顶位移比设计位置下降 1 cm, 因此千斤顶的行程至少大于 12.3 cm。如果每段拱肋下方设置 2 台千斤顶, 则每台千斤顶的最大反力为 250 kN, 因此选择 4 台 400 kN、行程大于 15 cm 的千斤顶可满足拱顶合龙要求。另外通过输出强制位移约束的反力可以看出千斤顶始终受压, 表明拱肋在自重作用下可以自行合龙, 同时说明本文有限元模型的简化是可行的。

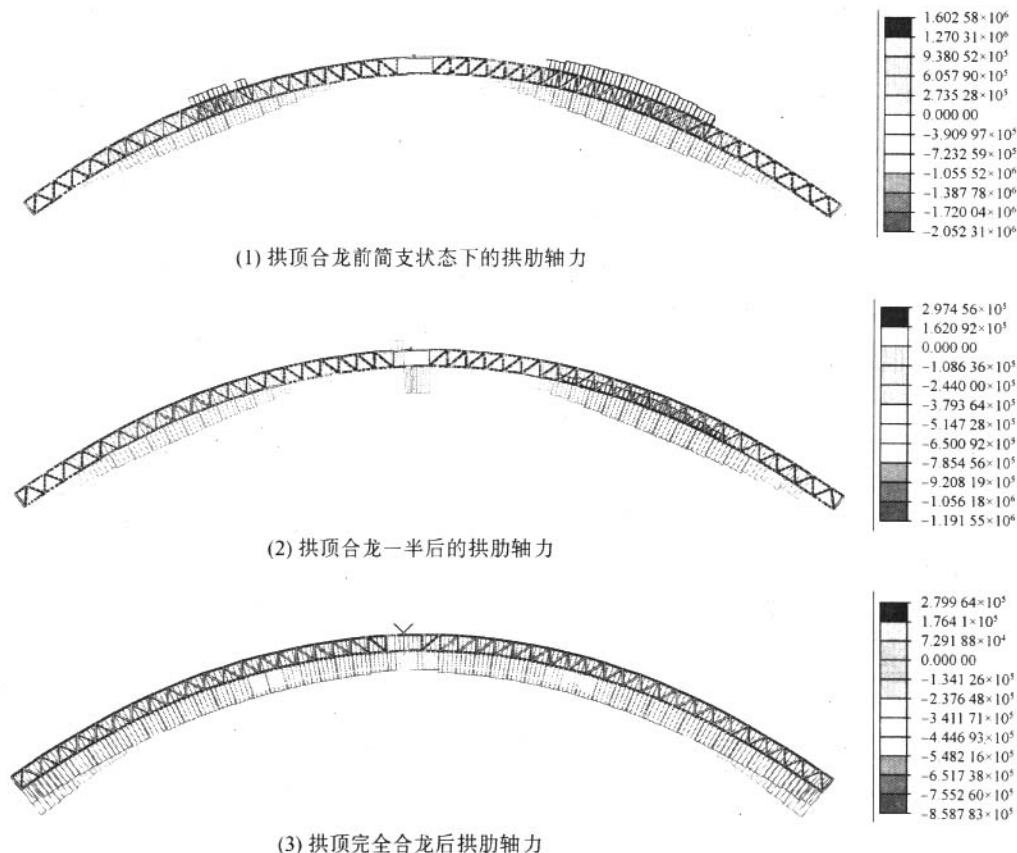


图 4 拱顶合龙过程中拱肋轴力的变化

(2) 合龙过程中拱肋轴力的变化: 千斤顶的卸载会导致两个合龙端面接触受压而使拱肋产生轴力, 拱肋轴力的变化反映了拱肋节段的合龙状态和力学状态, 如图 4 所示。从图 4 中可以看出随着拱肋合龙

口的缩小, 拱肋节段逐步由受弯为主变为以受压为主, 合龙后的拱肋轴力完全满足设计要求。

(3) 合龙过程中拱肋位移的变化: 拱肋竖向位移的变化也可以反映出结构受力体系的变化, 如图 5

所示。图 5 中的 4 条曲线从上到下分别代表合龙前、千斤顶两次卸载后和合龙后 4 个状态下的拱肋上弦节点的位移,由于拱肋支架端抬高了 11.2 cm,因此图中位移有正值。从图中可以看出,随着千斤顶的卸

载,拱肋节段的竖向位移逐步变小,合龙后的拱肋基本上消除了简支拱肋节段在自重作用下产生的变形,位移状态与设计要求基本一致。

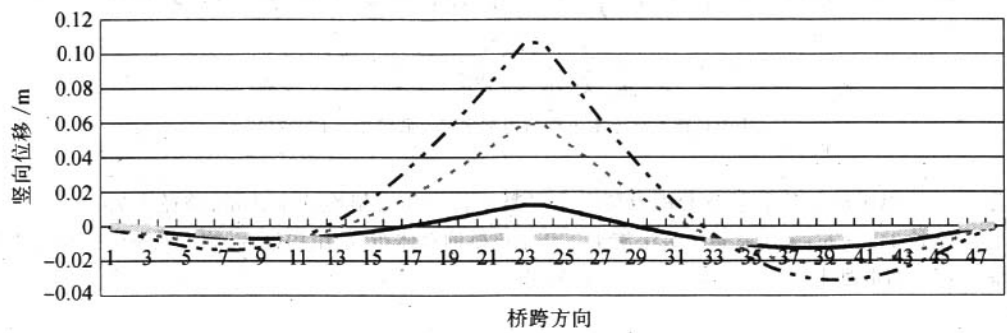


图 5 拱肋竖向位移

(4)合龙过程中结构的安全控制:对于简支钢管拱桥而言,拱肋合龙产生的水平推力主要由桥墩或设置的系杆预应力束来平衡,因此拱脚水平位移的监控和桥墩的应力控制是施工监控的重点。经分析拱肋合龙后墩顶水平位移为 1 mm,桥墩最大拉应力为 0.9 MPa,最大压应力为 -2.96 MPa,可见合龙时桥墩的刚度较大,且有较高的安全性,可不必张拉预应力束。

5 小结

(1)由于浮吊既可以吊装拱肋又可以吊装纵、横梁,与缆索吊装方案相比具有较大经济优势,同时经调查现有浮吊的吊装能力,完全可以满足本桥的吊装要求,且吊装工艺简单、成熟、安全,因此,提出了

采用 2 台浮吊分 2 段吊装的施工方案。

(2)针对拱肋合龙采用的拴接方法和拱肋节段架设后的变形情况,提出了利用千斤顶卸载,进行拱肋合龙的方案。

(3)针对拱肋的合龙过程,建立了有限元模型并对建模过程中的问题提出了合理的简化方法。分析表明上述简化方法是可行的,完全能够满足工程要求;拱肋合龙对千斤顶的吨位和行程有一定要求;通过对合龙过程中拱肋轴力、位移的分析表明,拱肋由合龙前以受弯为主变为合龙后的受压为主,且位移与应力状态均能满足设计要求。

(4)由于桥墩刚度较大,桥墩自身完全可以承受拱肋合龙过程中产生的水平推力,而无需张拉临时索。

A Study on Two Segments Lifting Scheme of Long Span Concrete-Filled Steel Tube Arch

SUN Jiu-chun, LU Yong-xing

(Tengda Construction Group Co., Ltd, Shanghai 200122, China)

Abstract: To counter the site situation a two segments lifting scheme by floating crane and a closure scheme of the arch rib and a simplified method for the finite element model are put forward in the paper. The relative technique parameters and the arch rib mechanics state during the closure are determined through calculation analysis.

Key words: concrete-filled steel tube arch; closure; finite element; lifting