

九江长江大桥正桥钢梁安装

铁道部大桥工程局 方秦汉

(一)

九江长江大桥是目前我国正在修建的规模最大的一座铁路公路两用桥梁,正桥钢梁共四联十一孔。主孔为三跨一联 $180\text{m}+216\text{m}+180\text{m}$ 的连续刚性桁梁柔性拱结构,左侧边孔为两联三等跨 162m 连续钢桁梁,右侧边孔为一联二等跨 126m 连续钢桁梁。正桥全长 1806.6m (含引桥,铁路桥全长 7675.4m ,公路桥全长 4460.05m)。主体结构为带竖杆的三角形桁架,桁高 16m ,节间长 9m ,在支点处(桥台处支点除外)设有下加劲桁,边孔 162m 及 126m 桥跨的加劲桁的起点设在距支点 36m 处,高 14m (支点处桁的总高 30m)。 $180\text{m}+216\text{m}+180\text{m}$ 梁,除设有下加劲桁外,还设有加劲柔拱,成为刚性桁梁柔性拱体系,下加劲桁的起点设在距支点 18m 处,加劲桁高 16m , (支点处总高 32m),加劲柔拱的矢高(上弦杆中心线至拱顶中心),在 180m 跨为 24m ,在 216m 桥跨为 32m ,两主桁中心距为 12.5m ,铁路公路上下分层布置,(图1及图2)。

主桁为栓焊结构,厂制构件为焊接,材质为屈服强度 420MPa 的15锰钒氮低合金钢,和 340MPa 的16锰低合金桥梁钢,15锰钒氮钢又分为A、B、C三级。C级钢用于拉力及疲劳的杆件,B级钢用压力杆件。不焊接的主桁节点板和拼接板用A级钢,主桁杆件断面有H形和箱形两种形式,杆件宽度 720mm ,H形杆件的最大板厚 56mm (15MnVNq),箱形杆件竖板的最大厚度一般不超过 44mm ,个别的达到 50mm ,水平盖板的厚度为 $24-26\text{mm}$ 。

构件的工地联结,采用符合国家标准GB1228—1231—84规定的高强度螺栓,分三种规格:M27,M24和M22,相匹配的栓孔直径为 $\phi 29$, $\phi 26$, $\phi 23$ 。设计预拉力分别为 300KN 、 240KN 、 200KN 。M27高强度螺栓的材质为35VB,其余为90MnTiB。

构件的栓接接头结合面,抛丸除锈后经热喷铝处理,铝层厚度 $100-150\mu\text{m}$,设计抗滑系数 $\mu=0.45$,并备有各种规格的抗滑系数试件,在每一孔钢梁架设前予以验证。

(二)

长江航运繁忙,除岸边孔外钢梁架设,一般不考虑建临时墩的半伸臂安装方案,另外伸臂前方桥墩伸山承接托架(即墩旁托架),也是减少伸臂长度行之有效的办法,但必须要有防止船舶及漂流物撞击托架的设施,而本桥桥墩墩身较矮,设计长挑臂的托架有困难,所以采用不与水面打交道的斜拉索吊索架加强的全伸臂安装,自然是首先考虑的优选方案之一。

本桥钢梁的跨度有四种, 126m、162m、180m、216m、而上弦有平弦的和带拱的二种, 不能简单的采用全伸臂一种形式。根据具体条件, 其安装方法是多种多样的, 两岸边孔有全部在排架上拼装的, 亦有在排架上拼装一部分后, 然后半伸臂达到桥墩的, 中间各孔有单层吊索架全伸臂的, 亦有双层吊索架全伸臂的。除此之外, 还有半伸臂跨中合拢的, 兹分述如下:

1. 排架上拼装。

北岸第一孔162m钢梁, 在岸边浅滩上, 最适宜于在排架上拼装, 在钢梁的每一大节点处(即每隔18m), 均建一排架, 全孔共设八个排架, 每一排架按承受二个大节间(即36m)的梁重(含梁上的临时荷重)设计。

南岸第一孔(全桥第11孔)在排架上拼72m, 半伸臂54m到达桥墩, 已架设的第一孔126m梁跨作为平衡重梁, 全伸臂安装第二孔126m梁。

在排上架梁, 如工艺不当, 将造成钢梁的拱度不理想, 可考虑采用的工艺是使拼装节点如悬臂那样不受任何约束, 使杆件在自由状态就位, 可以得到较满意的上拱度。

2. 斜拉索吊索架全伸臂拼装。

北岸第2孔至第6孔共5孔的162m梁和南北两岸各一孔180m梁, 均为全伸臂拼装, 为减少安装杆力和伸臂端的挠度, 以斜拉索吊索架加强。

吊索架高51.78m, 重约900吨, 中心立柱借用公路纵梁组拼而成, 便于逐孔倒用。吊索架设有走行轮, 能在钢梁上弦行走。全伸臂162m钢梁时, 在锚孔及伸臂孔的中心点(即距吊索架的中心81m处)各设一个吊点(单层吊索架如图3), 每一吊点设6束钢丝束, 每束由169根 $\phi 5$ 平行钢丝组成。冷铸锚具, 6束钢丝束, 集中锚锭在锚箱中, 上锚箱在吊塔架的顶端, 下锚箱锚在钢梁上弦跨中节点特设的燕子上, 每束设计容许拉力2000KN, 每一吊点容许拉力12000KN。

全伸臂180m时, 增设一个吊点而成为双层吊索架(图4)。内吊点即单层吊索架的6束钢丝束, 外吊点为4束钢丝束, 同样锚锭在一个锚箱内。双层吊索架的设计容许张拉力, 内索吊点为12000KN, 外索吊点为8000KN。

每一钢丝束, 均经过试张拉, 试张拉时, 将一侧锚头加温至70℃(另一端锚头未加温)试张拉力为2500KN。

单层吊索架的使用: 当162m梁跨伸臂到117m时, 要求吊索预拉力6200KN(各孔钢梁自重不同, 预拉力也稍有差异), 使钢梁伸臂到达前方桥墩时, 索力达到12000KN。吊索的预拉力是顶高吊塔的办法来实现的, 顶高约0.89m。

双层吊索架的使用: 对双层吊索架的预拉力, 原定方案是当180m梁伸臂117m后, 挂内索, 起顶吊索架, 使内索初张拉值达到设计要求7610KN, 继续拼装钢梁伸臂至135m(此时内索索力达到9270KN), 挂外索, 用YCD型200吨液压千斤顶对外索进行张拉工作, 要求初拉力为4120KN, 此时内索索力降至7110KN。全伸臂180m后, 内吊点索力即达最大值12000KN; 外吊点索力为8000KN。因为各吊点的钢丝束均集中在各自锚箱中, 张拉钢丝束, 工作面狭窄, 而且正值高温酷暑, 施工条件恶劣, 所以内索起顶, 外索张拉的施工方案放弃不用, 考虑双索同时起顶方案。

单索系统是三杆件交会一点的静定结构,顶高塔架,索力是明确的,可以控制的。双层吊索架,五杆件交会一点,对一杆施力不能用简单方法求算其余四杆力的超静定结构,所以顶高塔架,控制双索索力,不像单索系统那么简单可行。而且随着吊塔的顶高,索力的增加,钢梁挠度的变化,吊索锚固点的移动,使问题更加复杂化。

双索初能拉索力偏差的规定

表一

| T ₁ : 外吊点索力 | T ₂ : 内吊点索力 |
|-----------------------------|--|
| T ₁ = 3700 + 300 | 6800 ≤ T ₂ ≥ 6800 - 500 |
| T ₁ = 3700 + 240 | 6800 ≤ T ₂ ≥ 6800 - 430 |
| T ₁ = 3700 + 180 | 6800 + 150 ≤ T ₂ ≥ 6800 - 360 |
| T ₁ = 3700 + 120 | 6800 + 150 ≤ T ₂ ≥ 6800 - 290 |
| T ₁ = 3700 + 60 | 6800 + 200 ≤ T ₂ ≥ 6800 - 220 |
| T ₁ = 3700 | 6800 + 200 ≤ T ₂ ≥ 6800 - 150 |
| T ₂ = 6800 + 400 | 3700 ≤ T ₁ ≥ 3700 - 500 |
| T ₂ = 6800 + 320 | 3700 ≤ T ₁ ≥ 3700 - 430 |
| T ₂ = 6800 + 240 | 3700 + 150 ≤ T ₁ ≥ 3700 - 360 |
| T ₂ = 6800 + 160 | 3700 + 150 ≤ T ₁ ≥ 3700 - 290 |
| T ₂ = 6800 + 80 | 3700 + 250 ≤ T ₁ ≥ 3700 - 220 |
| T ₂ = 6800 | 3700 + 250 ≤ T ₁ ≥ 3700 - 150 |

注:表中单位以KN计

双束塔架一次起顶,使双索索力达到设计规定值,有无成功的可能,我们作了如下研究:分别按100%的荷载变位和80%荷载变位的计算值确定钢梁上吊索锚固点的位置,求算内外索的匹配长度。研究发现,它们的匹配长度是相对稳定的,这是有利的一面;但当外吊点索长差1cm时,影响外吊点索力250KN,当内吊点束长差1cm时,影响内吊索力450KN,这是不利的一面。

经分析研究确定束的匹配长度如下:锚孔外索长108.01m,内索长91.60m,伸臂孔内索长91.60m,外索长107.99m。设计要求初张拉索力,外吊点为3700KN,内吊点为6800KN,计算吊塔顶高量为0.86m,并给定初张拉的索力容许偏差需符合表1的规定。

施工按以下顺序进行,当108m梁伸臂108m即挂内索(纯属挂索方便),6根内索集中锚固在锚箱中,用滑车组牵引下锚箱,用φ320mm销轴将锚箱穿挂在上弦节点的特设燕子板上。钢梁继续向前拼装至126m时,先将外索下锚箱用φ280mm销轴穿挂在上弦节点燕子板上再逐根将每一吊点的4束钢丝束依次穿挂入下锚箱,然后调整束长至设计要求,即可准备吊塔的起顶工作。

原规定将吊塔先起顶50cm,经计算此时吊索索力的非线性影响基本上可以消除,(便于判断索力是否符合要求),逐根测定各吊点全部钢丝束的束力,对索力过大过小不符合要求的,进行索长的调整,再以10cm为一级,逐级顶高,测定力进行分析调整,及至符合设计要求。

实际施工按起顶58cm, 74cm, 86cm三次起顶, 测定束力进行分析, 原定最后调整起顶高度86cm, 再测一次束力, 实际对各次实测索力进行分析后, 认为符合要求, 对索力没有进行过调整, 也未调正起顶高度, 结果见表2。

设计初张拉索力与施工结果对照

表二

| 名 称 | | 设 计 值 | 施 工 结 果 |
|-----------|-------|-------|---------|
| 锚 孔 | 外吊点索力 | 3700 | 3930 |
| | 内吊点索力 | 6800 | 6600 |
| 伸 臂 孔 | 内吊点索力 | 6800 | 6550 |
| | 外吊点索力 | 3700 | 4000 |
| 起顶高度 (Cm) | | 86 | 86 |

注: 1.表中索力以KN计

2.施工结果索力系上下游桁平均值。

3. 半伸臂中间合拢

216m大跨采用半伸臂中间合拢, 当两侧180m梁全伸臂到达桥墩后, 拆除双层吊索架, 同时与邻孔相连的临时联结也拆除, 两岸同时继续向前伸臂拼装各108m, 在跨中合拢。

合拢选在跨中对称线处, 在合拢点的上下弦节点中心均设有安装铰, 铰孔为 $\phi 130$ mm, 铰轴有二种, $\phi 129$ 及 $\phi 128$ mm, 希望达到 $\phi 129$ 铰轴合拢, 铰合拢就位后, 更换正式节点板和拼接板, 这些节点板和拼接板, 在工厂一次钻足拴孔直径, 在工地不得扩孔。

铰的合拢步骤为: 将一联结构的左右两个一跨半, 各按中支点顶高的情况安装(初步估计约顶高1.4m), 先调正左右两合拢点在同一标高, 并调正中线, 然后纵向移动, 对正下弦铰的铰孔, 穿入铰轴, 再微调墩顶高度, 使上弦节点铰合拢, 上下弦节点铰合拢后, 至装上节点板与拼接板, 其间温差不得超过 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

铰的合拢, 借助墩顶的油压系统; 该系统可使钢梁上下起落, 顺桥向, 垂直桥轴的移动。

4. 拱的合拢

当216m梁中间合拢后, 成为连续桁梁, 在上述中支点顶高情况下, 进行拱的安装, 拱的合拢点设在拱顶处, 每一合拢点放三台200吨千斤顶, 在中支点顶高的情况, 两边孔需各施3000KN的顶力使其合拢, 中跨仅需调正支点高度即可合拢。

188m+216m+180m刚性桁梁柔性拱结构的安装, 先经过简支悬臂梁, 合拢成连续梁, 再成为刚性梁柔性拱体系, 三次体系的转换, 各阶段体系的内力转换成再后一次体系的内力, 对制造及工艺的要求非常严格。该跨正在施工中, 限于篇幅, 本文从简, 另作介绍。

参考文献:

1. 方秦汉等: 钢桁梁安装 (英文)

中美桥梁及结构工程学术讨论会论文1982年9月

2. 大桥局三桥处: 枝城长江大桥技术总结1981年10月

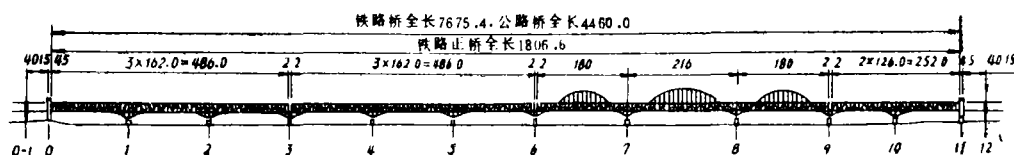


图1 正桥钢梁全桥总布置图 (米)

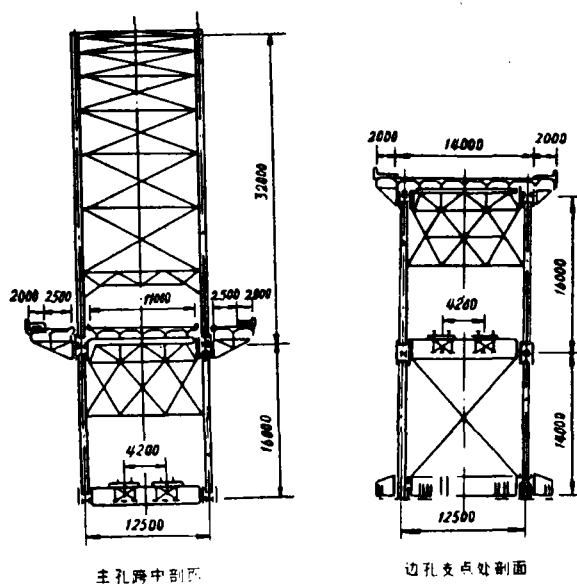


图2 正桥钢梁剖面图 (mm)

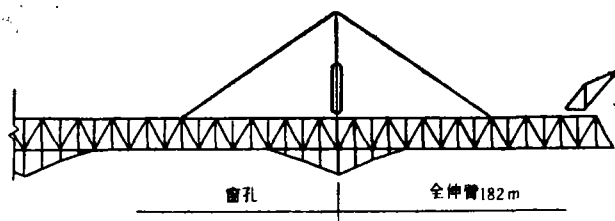


图3 单吊索伸臂架梁示意图

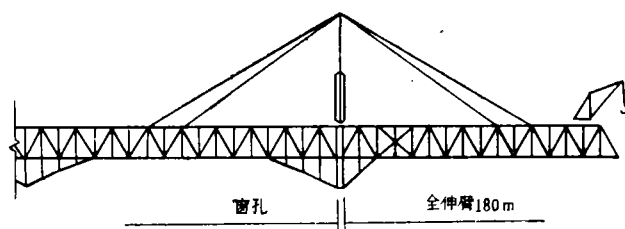


图 4 双吊索伸臂架梁示意图