

柔性悬索桥主梁施工工艺研究与分析

乔仕奇, 房 浩, 王 兵

(上海市第二市政工程有限公司, 上海市 200056)

摘 要:该文以上海首座自锚式悬索桥(安亭吴淞江人行天桥)主梁的施工为例, 详细介绍柔性主梁的受力特点、主梁的施工标准、主梁的施工组织, 进行了研究与分析。

关键词:自锚式悬索桥; 预制节段; 吊装; 支架现浇

中图分类号:U448.25 **文献标识码:**B **文章编号:**1009-7716(2006)04-0100-03

1 概述

在上海地区, 受地质条件的限制, 一直没有自锚式悬索桥, 2003 年上海地区首座悬索桥诞生(安亭吴淞江人行天桥, 见图 1)。对于上海地区的桥梁工程施工单位来说, 自锚式悬索桥的施工经验也很欠缺。

该桥跨径组合采用 25 m+70 m+25 m, 主梁采用钢筋混凝土结构, 梁高 0.75 m, 梁高与跨径比为 1:100, 该桥高跨比较小, 是典型的柔性钢筋混凝土主梁结构。



图 1 安亭吴淞江人行天桥

2 柔性混凝土主梁施工关键技术

2.1 安亭吴淞江自锚式悬索桥主梁受力特点分析

由于自锚式悬索桥的主缆直接锚固在主梁上, 就形成了一种由主梁受弯、受压及主缆受拉承受荷载的结构体系, 主缆作用于主梁梁端的水平力, 相当于对主梁提供了预应力, 使其受力比连续梁更加合理。对于自锚式悬索桥, 只要刚度满足要求, 相比梁桥, 其梁高可以略低, 相比地锚式悬索桥, 考虑到主梁施工过程的问题, 其梁高则略高。因此, 对于自锚式悬索桥, 主梁梁高与主跨的比率

(简称高跨比)越小, 则其受力模式越接近地锚式悬索桥, 设计和施工难度也越高。

钢筋混凝土和预应力混凝土主梁的高跨比一般控制在 1/40 ~ 1/50 左右; 而在各种主梁形式中, 梁高比最小值约为 1/100。在统计的自锚式悬索桥数据中, 除了安亭吴淞江桥, 其余高跨比 < 1/90 的均为钢主梁或叠合梁。可见, 安亭吴淞江桥在国内目前的自锚式悬索桥中, 梁高比指标领先。

由上述分析可知, 吴淞江人行天桥梁高比领先, 主梁刚度小, 对荷载和吊杆张拉力的变化很敏感, 是典型的柔性钢筋混凝土主梁。柔性主梁的特性对施工过程中主梁的变形和应力控制都提出了更高的要求。如何结合柔性主梁的特征, 组织、安排施工流程, 确定和实施主梁的质量控制工作, 都是施工过程中需认真考虑的问题。

2.2 柔性混凝土主梁的施工方法研究

混凝土主梁的施工方法有支架现浇、整体预制安装、节段预制安装、悬臂浇筑等。对于柔性混凝土主梁, 由于其主梁刚度太小, 在没有缆索结构支撑的情况下, 很难自立, 因此不适于采用整体预制方案; 且悬索桥不便使用悬臂浇筑方案, 因此根据该桥特点, 重点研究支架现浇和节段预制安装方案。

(1) 支架现浇方案

支架现浇是混凝土主梁常用的施工方案, 主要是利用支架生根, 在架上立模浇筑、养护脱模, 完成施工过程。

支架现浇方案施工组织比较简单, 不需要大型机具辅助。但需要较多临时设施, 占用场地时间较长。对于柔性混凝土主梁还须处理好模板刚度, 控制浇筑期间的模板变形问题。

(2) 节段预制方案

节段预制施工方案是将整个主梁划分为若干节段后, 在工厂预制, 运送到现场, 利用现浇湿接头使之连成整体, 完成主梁施工。

节段预制方案使大部分工作量在工厂完成,

收稿日期: 2006-05-29

作者简介: 乔仕奇(1981-), 男, 上海人, 助理工程师, 主要从事市政工程施工工作。

施工质量有保证,且占用现场时间较短。需要考虑大型机具的使用,研究最为经济的节段划分方法,并考虑湿接头施工的影响等。

该桥使用何种施工方法,必须进行深入研究,并结合柔性混凝土主梁的特点确定详细的实施方案。

吴淞江通航的限制对本桥主梁施工是严峻的挑战,必须在不影响通航的前提下完成 70 m 主跨的施工,吴淞江航运繁忙,施工过程中又需要保证通航,而自锚式悬索桥结构体系的特点客观上决定了先梁后缆的施工顺序。经详细分析,结合该桥施工场地的特点,经多方研究决定采用支架现浇和预制主梁吊装相结合的施工方法。对临时墩向岸边延伸段区段采用架上现浇施工。对主跨中间 42 m 区段采用节段拼装方法,上承支架采用贝雷梁,贝雷梁由 384 片贝雷片组成,贝雷梁长度为 48 m,高度 3.2 m,宽度 2.25 m,6 排双层。贝雷梁采用现场拼装、浮吊吊装的方式进行架设(见图 2)。

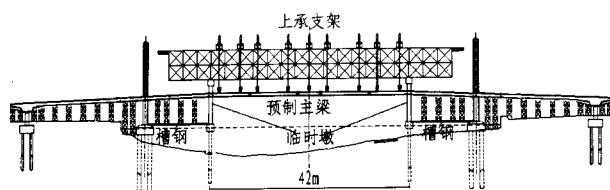


图 2 临时墩、贝雷梁、预制节段拼装示意图

该工程临时墩采用钢管桩基础,考虑临时墩作为现浇部分主梁的下支架及 42 m 主梁预制吊装的贝雷梁支墩,主墩承台与临时墩承台之间铺设槽钢,临时墩采用上下盖梁设计方案,下盖梁(承台)为 11 m × 1.5 m × 1.5 m,上盖梁为 11 m × 1.2 m × 1.2 m,上下盖梁中间设 3 根直径为 0.8 m 的立柱。

2.3 主跨两侧支架现浇施工

根据现场施工条件,南北两侧边跨 28.5 m 及水中主墩至临时墩主跨 14 m,采用水中施工平台及混凝土地坪上搭设钢管支架混凝土现浇的施工方法,其中南北两岸陆上支架部分共计 47.6 m,水中支架部分共计 37.4 m。支架现浇段施工主要是对支架系统的计算及施工组织问题。

2.3.1 支架系统承载力计算

对水中承台中心至临时支墩中心间距为 14.0 m 采用搭设水上支架平台作为承重,并对水上支架平台的承重能力进行计算。

经计算,弯曲正应力 $\sigma_{\max} = M_{\max} / (2W) = 518.5 \text{ MPa}$,其中容许弯曲正应力 $[\sigma] = 1104 \text{ MPa} > \sigma_{\max}$,满足受力要求。

剪力: $R = qL/2 = 594 \text{ kN}$

弯曲剪应力: $\tau_{\max} = Q_{\max} S \times Z_{\max} / (IZ_d) = 38.7 \text{ MPa}$,其中容许弯曲剪应力 $[\tau] = 627 \text{ MPa} > \tau_{\max}$,满足受力要求。

挠度: $f = 5qL^4 / (384E^5I) = 3.6 \text{ cm}$

工程上挠度允许范围为 1.4 cm ~ 5.6 cm,故挠度满足要求。

考虑到 3.6 cm 的挠度变形不利于现浇段混凝土施工,因此在水中主墩与临时墩之间设置两排桐木桩排架,以减小挠度变形。

2.3.2 支架系统施工组织

临时墩向岸边延伸段主梁施工组织中需注意的几个问题:

- (1) 现浇段的支架搭设南北两岸应一次到位。
- (2) 陆上部分搭设支架前应进行地基加固,并根据施工位置不同,选择不同的立杆间距。
- (3) 钢管支架搭设必须具有足够的强度、刚度、稳定性,确保结构各部位形状、尺寸准确。
- (4) 钢筋、模板、混凝土的施工必须按照有关标准检查后,方可进行下一步施工。

2.4 主跨中 42 m 区段预制节段施工

对主梁中间 42 m 部分采用预制吊装施工方案,基本的思路是将 42 m 主梁分成 5 段在预制厂预制,船运到施工现场之后,采用 2 台浮吊以双机台吊的方式,将主梁的重量对称地施加到贝雷梁上去。在主梁吊装过程中,对贝雷梁的挠度变化情况进行观测,主梁吊装完成后,通过设置在贝雷梁上悬吊提升系统,对每个梁段的标高值进行微调,使之达到设计要求的桥面标高值。这其中需要对分段设计、具体施工组织方案、关键问题计算复核等进行研究。

2.4.1 主跨 42 m 主梁分段设计

主跨 42 m 主梁分段长度将受到施工机具、现场条件、施工效率等问题限制,主要应考虑了以下几个方面的问题:

(1) 分段太少(如 2 段或 3 段),会产生由于梁段过重,对浮吊的要求较高且梁段的运输较困难的问题。吴淞江航线是跨省市主干航道苏申内港线的重要组成部分,不可能长时间封航施工,因此实施该方案有困难。

(2) 若分段太多(如 7 段或 8 段),将使现场作业时间较长,增加成本,且湿接头较多,施工中对主梁的线形控制难度增大,也丧失了节段预制的优势。

经多次讨论研究,确定将 42 m 主梁分 5 段(其中 2 段长度为 8.0 m,2 段长度为 9.4 m,1 段长度为 4.0 m。详见图 3)进行施工,5 个预制梁段

中最大的重量仅为 86.48 t,吨位均 < 100 t,可用 2 台浮吊进行双机台吊,迅速完成现场施工任务,能最大程度地减少对通航的影响(封航时间限制在每天 9:00 至 15:00 之间)。

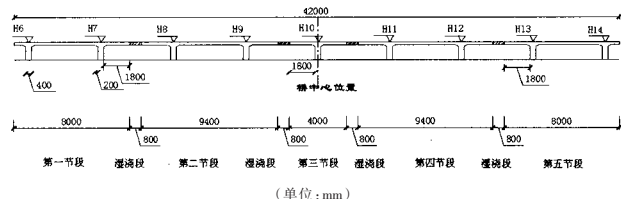


图 3 42 m 主梁分段示意图

2.4.2 主跨 42m 主梁施工组织

主跨 42m 主梁施工是该项目的重点,主要施工流程包括主梁预制、主梁吊装及调整等几个步骤。

(1) 主梁预制需要注意以下问题:

- a) 内模固定必须牢固,以防左右前后走动。
- b) 严格控制混凝土级配,在现实浇制前确保塌落度,保证构件强度稳定增长。
- c) 隔梁尺寸严格控制。
- d) 湿接头预留钢筋的长度要满足施工要求,确保 80 cm 后浇段钢筋有效焊接长度。
- e) 主梁预埋件主要有吊杆预埋件、贝雷梁连接悬吊点预埋件、施工监控预埋件等,确保预埋件位置的准确。
- f) 由于构件较大,严格做好养护工作,经常保持构件湿润状态,防止裂缝产生。

(2) 主梁吊装需注意以下问题:

- a) 吊装前,经认真检查吊带的位置及预制梁吊点的位置,如有变化应及时调整。
- b) 吊装时要听从统一指挥,避免浮吊钢丝绳碰到贝雷梁。
- c) 吊装顺序为先两边后中间依次吊装。

吊装完成后,通过调整悬吊提升系统上的千

(上接 99 页) 效地避免平行于桥跨方向裂缝的出现,改善桥梁的横向受力状态,是该桥有效的加固方案。

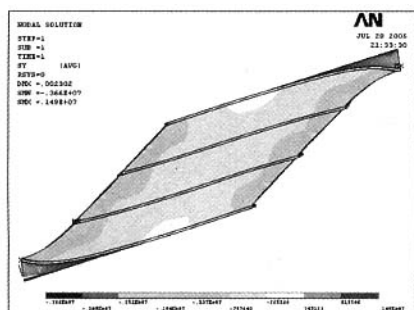


图 8 使用荷载作用下桥梁板底面的应力状态

4 结语

该文通过某斜交桥加固设计过程的介绍,对

千斤顶对主梁进行调整,其纵向、横均应符合规范要求。调整完成后,对贝雷梁挠度进行观测,观察其变化值。

(3) 湿接头浇筑过程中需注意以下问题:

- a) 混凝土浇筑应选择当天气温最低的时间,避免产生混凝土收缩裂缝。
- b) 模板安装必须与两端预制块紧密衔接,确保接缝处连接牢固,保证不漏浆。
- c) 预制梁预留钢筋采用双面焊连接,确保有效焊接长度。

3 结语

该文通过与同类桥梁的比较和分析,明确了该桥柔性钢筋混凝土主梁的特点。综合考虑自锚式悬索桥和柔性主梁的特点,总结得到了支架施工和预制节段施工两种可行的施工方法,给出了基本施工流程及需要考虑的关键问题。

结合安亭吴淞江桥自锚式悬索桥柔性主梁的特点,研究制定了该桥主梁部分支架施工、部分节段预制施工的总施工方法;提出了原料质量控制方法和主梁验收控制标准以确保主梁施工质量。

最后,基于柔性混凝土主梁施工方法,在具体施工组织环节中,经研究确定了预制区段的合理分段长度,较好地配合了施工,缩短了封航时间。

实践证明,柔性主梁施工方法和施工控制标准能够满足类似高跨比为 1/100 的柔性钢筋混凝土主梁的施工要求,有关经验可供类似工程参考。

参考文献

- [1] 苏善根. 大跨径悬索桥技术考察报告[J]. 公路, 1992(12)
- [2] 雷俊卿, 郑明珠等. 悬索桥设计[M]. 人民交通出版社, 2002
- [3] 倪宏新. 虎门大桥悬索桥钢箱梁架设[J]. 华东公路, 2001(5)

常用的加固方法的优劣进行了比对, 对比表明满铺碳纤维布和粘贴钢板方案并非桥梁加固的首选方案, 因为它们不能改变结构的受力状态, 并且加固材料强度的发挥受到原结构变形的限制, 加板肋方案可以改变结构体系, 但是由于后补强材料的应力滞后问题, 不能充分发挥加固补强材料的力学性能, 而施加体外预应力的方案, 即主动加固方案, 可以改变结构的受力状态, 充分发挥加固补强材料的力学性能, 提高原结构的承载能力和抗裂性能。通过对施加体外预应力方案的计算分析, 说明了主动加固方案的有效性, 因此建议在桥梁加固时优先选用主动加固方案, 该结论对桥梁的加固设计与施工具有一定指导意义。