

新型大跨连续钢桁组合梁桥施工监控关键技术

张德利¹, 李 仙¹, 任建新²

(1. 天津滨海新区高速公路投资发展有限公司, 天津市 300457; 2. 天津城建设计院, 天津市 300122)

摘 要:大跨度连续钢桁架-混凝土组合梁桥在公路桥梁上应用的实例极少,且有关大跨组合结构桥梁施工监控及相关问题的研究还处在探索阶段。依托某连续桁架组合梁桥工程,采用了新颖的抗拔不抗剪剪力键,并对传统的混凝土桥面板浇筑顺序进行了调整,极大地提高了负弯矩混凝土的抗裂性能。桥梁施工阶段的拆架跨中位移量、跨中混凝土预压应力、桥面板与钢梁滑移量是本桥监测的重点内容,为实现成桥状态设计目标,精确而有效的施工监控至关重要。将监测结果与有限元分析软件理论数据进行对比,分析判断桥梁施工过程中的安全性,确保全桥施工的顺利进行。

关键词:连续桁架组合梁桥;施工监控;拆架跨中位移量;跨中混凝土预压应力;桥面板与钢梁滑移监测

中图分类号: U445.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)07-0169-04

0 引言

连续桁架组合梁桥是通过剪力键将钢梁与混凝土连接起来共同受力、变形的一种新型桥梁形式,其充分利用了钢的抗拉优越性能和混凝土的抗压性能,显著提高了梁的刚度和稳定性,具有结构轻盈、跨越性强、承载力大、造型优美等诸多优点^[1-2]。连续桁架组合梁桥属于超静定结构,因此理想的几何线形与合理的内力状态不仅与设计有关,且还依赖于科学合理的施工方法^[3]。如何通过施工时的浇筑过程的控制以及主梁标高调整来获得预先设计的应力状态和几何线形,是施工中非常关键的问题^[4]。在桥梁各施工阶段,必须实时进行主梁线形控制和应力监测,钢梁与混凝土之间的滑移量监测等以便及时调整施工状态,优化施工方案,指导施工现场作业,使桥梁结构趋于理想状态。

1 工程概况

依托工程主桥采用三跨钢混组合连续桁架结构,跨径布置为95 m+140 m+95 m=330 m。主桥12榀桁片组成,分为左右两幅,每幅横向由6榀桁架组成,每桁中墩支点处梁高12.5 m,边墩支点处梁高3 m,跨中梁高3.5 m,桁横向中心间距3.56 m,一榀桁架由上、下弦和腹杆组成。桥梁横向联系分为上、

下横撑和上下平纵联,见图1。



图1 桥梁效果图

2 连续组合桁架桥设计特点

对于连续桁架组合梁桥,中支点附近的负弯矩区,由于混凝土桥面板受拉、钢梁下翼缘或下弦杆受压,受力较为不利。负弯矩区需要重点解决下弦杆的受压稳定问题以及混凝土桥面板的开裂问题,本工程针对该问题提出两点措施:

(1)在大跨连续桁架组合梁桥中,正弯矩区混凝土板和钢桁架上弦杆通过抗剪连接键相连,能充分发挥两者的组合作用。针对负弯矩区组合桁架的受力特点,制定特殊工艺从而改变钢与混凝土的组合方式,以改善负弯矩区组合桁架的受力性能:在负弯矩区钢与混凝土之间只设置稀疏的构造剪力键,使混凝土板和钢梁能自由变形,有效释放混凝土板中因收缩徐变、温度效应以及汽车荷载引起的拉应力,并提高负弯矩区桥面板纵向预应力的导入效率,改善桥面系的抗裂性能。负弯矩区附近钢桁架下弦杆内浇注混凝土,形成钢管混凝土截面,充分发挥混凝土材料的抗

收稿日期: 2021-02-27

作者简介: 张德利(1968—),男,学士,高级工程师,总经理,从事高速公路投资工作。

压性能,显著改善下弦杆受压稳定性。

本桥在中墩附近 85 m 范围内布置抗拔不抗剪剪力键,使桥面板在预应力束作用下能纵向滑动。在正弯矩区密布普通栓钉,使桥面板和钢桁架紧密结合。全桥纵向桥面板与钢桁架上弦杆之间剪力键布置见图 2。

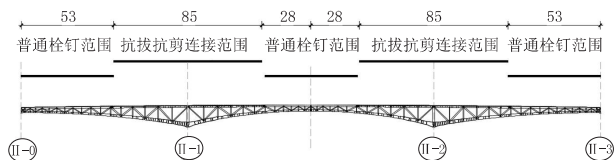


图2 剪力键布置图(单位:m)

(2)本工程设置临时支撑和调整混凝土桥面板的浇筑顺序来减小混凝土的拉应力:

步骤 1:在桥位处搭设主梁节段支撑,分次吊装中墩处的 D5(D9)节段桁架,见图 3。

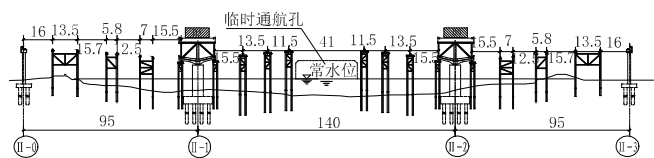


图3 步骤1(单位:m)

步骤 2:由 1#,2# 中墩至边墩方向,分别安装北岸侧 D4→D3→D2→D1 及南岸侧 D10→D11→D12→D13 节段桁架,并进行各节段内横向连接及节段内、节段间的纵向连接,见图 4。

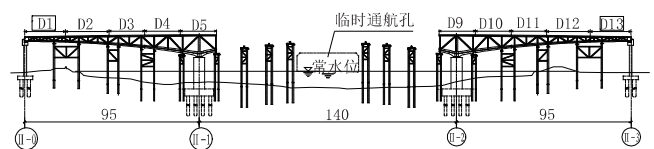


图4 步骤2(单位:m)

步骤 3:安装 D6,D8 节段,进行节段内的纵、横向连接,见图 5。

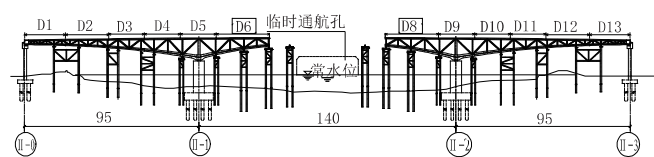


图5 步骤3(单位:m)

步骤 4:安装 D7 节段,进行节段内纵、横向连接,最后进行与 D6,D8 的纵向连接,实现全桥纵向合拢并浇筑下弦杆内混凝土,见图 6。

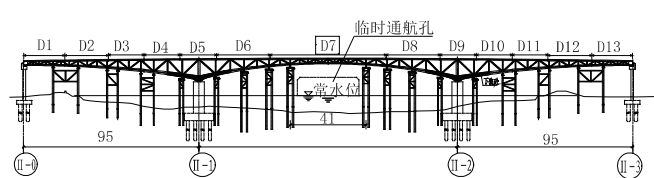


图6 步骤4(单位:m)

步骤 5:浇筑跨中和边跨混凝土桥面板,张拉预应力并拆除支架,见图 7。

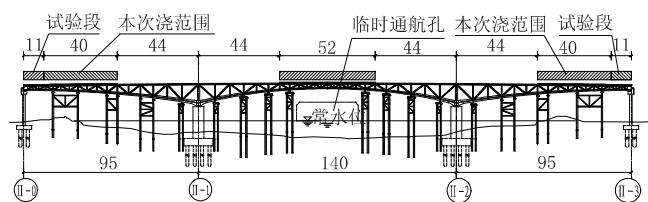


图7 步骤5(单位:m)

步骤 6:浇筑中墩负弯矩处混凝土桥面板,张拉预应力,见图 8。

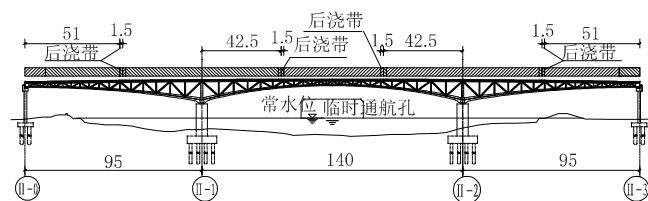


图8 步骤6(单位:m)

通过设置临时支撑和调整桥面板浇筑顺序,一为跨中混凝土施加预压力,二是极大减小了负弯矩区混凝土桥面板的拉应力。

3 施工监控内容

在施工控制中应加强施工监测,测试的主要内容有主体结构线形、应力和负弯矩区桥面板与钢梁滑移量等。线形及应力应变的监测应尽量避免日照温差进行。通常情况下,晴天应在凌晨 5:00~7:00 进行测试(视季节略有变化),具体监测时机可结合桥梁的施工工艺和长期监测结果作适当的修正和调整。

3.1 桥面线形监控

根据分阶段吊装焊接施工工艺及本桥结构特点,为了对主桁架分节段安装过程及合龙后全桥线形进行监测,选择主跨跨中和边跨四分点及墩顶位置共 9 个断面在主梁标高定位、桥面板浇筑、支架拆除、成桥等施工阶段对全桥桥面线形进行观测,桥面标高观测点布置见图 9。拆除所有支架阶段桥面标高测量见表 1。

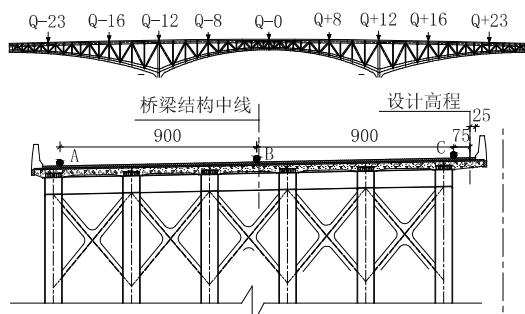


图9 桥面标高测点布置图(单位:cm)

表 1 拆除所有支架前后左幅主梁高程变化测量 单位:m

轴线号	内侧测点 C			中间测点 B			外侧测点 A		
	实测值	理论值	差值	实测值	理论值	差值	实测值	理论值	差值
Q-23	-0.065	-0.058	-0.007	-0.061	-0.058	-0.003	-0.033	-0.058	0.025
Q-16	-0.046	-0.048	0.002	-0.045	-0.048	0.003	-0.044	-0.048	0.004
Q-12	-0.028	-0.019	-0.009	-0.026	-0.019	-0.007	-0.023	-0.019	-0.004
Q-8	-0.120	-0.154	0.034	-0.120	-0.154	0.034	-0.117	-0.154	0.037
Q-0	-0.124	-0.161	0.037	-0.123	-0.161	0.038	-0.120	-0.161	0.041
Q+8	-0.118	-0.154	0.036	-0.116	-0.154	0.038	-0.146	-0.154	0.008
Q+12	-0.028	-0.019	-0.009	-0.028	-0.019	-0.009	-0.031	-0.019	-0.012
Q+16	-0.050	-0.048	-0.002	-0.054	-0.048	-0.006	-0.061	-0.048	-0.013
Q+23	-0.062	-0.058	-0.004	-0.065	-0.058	-0.007	-0.071	-0.058	-0.013

由表 1 可知,左幅桥主梁落架前后高程实测变化值与理论变化值变化趋势一致,差值在 -1.3 ~ 4.1 cm 范围内。

3.2 应力监控

为了确保大桥在施工过程中的结构安全,及时掌握结构的受力状态,选择主桁架的上弦杆、下弦杆、腹杆及混凝土桥面板的各控制断面处安装应变传感器,以测量结构关键截面的应变值。钢结构表面应力测点共 224 个,其中上、下弦杆 176 个测点、腹杆 48 个测点,混凝土面板 54 个测点,两幅桥共计 278 个测点。桥面板监测选择各跨跨中、中跨四分点截面,共 6 个控制截面,见图 10、图 11。

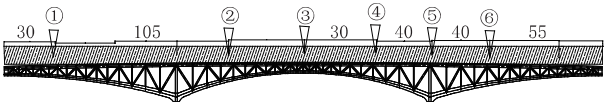


图 10 桥面板应力监测控制断面示意图

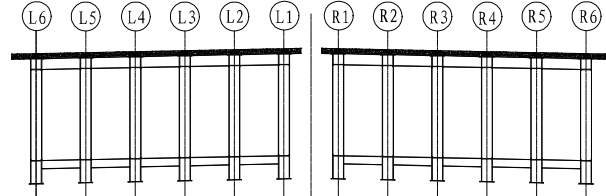


图 11 桥面板应力监测控横断面示意图

施工监控过程中应变监测截面传感器采用振弦式传感器,并选用相应的专用仪器测试。所有的测试仪器都在室内进行标定,以保证测量结果可靠。所有元件在安装前进行仔细检查以保证其使用正常。拆除支架阶段和预应力张拉阶段混凝土桥面板应力变化见表 2、表 3。

从表 2、表 3 可以看出,施工阶段钢梁和混凝土桥面板应力增量实测值与理论值相比变化一致。

3.3 支座负弯矩区混凝土桥面板与钢梁滑移量监测

中墩负弯矩区采用抗拔不抗剪剪力键,桥面板在预应力束作用下能纵向滑动。为实测中墩负弯矩区混凝土桥面板在预应力张拉前后,混凝土桥面板与钢桁架上弦杆之间的纵向滑移量,需在该区段混凝土两端安设纵向位移传感器,共 30 个位移传感器。位移传感器测点布置见图 12、图 13。

由表 4 可知,右幅南岸负弯矩区预应力张拉引起的桥面板纵向压缩变化量实测值与理论值变化趋势基本相符,差值在 -0.1 ~ 0.1 cm。

4 结 语

施工监测是施工控制的重要工作,是获取反映

表 2 左幅桥拆除全部支架前后关键断面应变变化值

拆除支架 Q5Q7Q9		断面①		断面③			断面⑥	
		L1	L6	L1	L3	L5	L6	L1
应变 / $\mu\epsilon$	拆除前	3 146	3 149	3 227	3 256	3 093	3 366	3 003
	拆除后	3 190	3 182	3 089	3 149	2 956	3 260	3 040
应变变化量 / $\mu\epsilon$		44	32	-138	-108	-137	-107	37
应力变化量 /MPa		1.59	1.16	-4.97	-3.88	-4.91	-3.84	1.33
理论应力变化量 /MPa		2.17	2.17	-3.66	-3.66	-3.66	-3.66	2.17
差值 /MPa		-0.58	-1.01	-1.31	-0.22	-1.25	-0.18	-0.84

注:压力变化值正号为拉力,负号为压力;跨中混凝土在支架拆除后产生预压应力。

表 3 左幅桥桥面板预应力钢筋张拉前后桥面板应变变化值

桥幅	截面	位置	张拉前应变值 / $\mu\epsilon$	张拉后应变值 / $\mu\epsilon$	应变差值 / $\mu\epsilon$	实测应力 /MPa	理论应力 /MPa	差值应力 /MPa
左幅	6	L6	3 491.4	3 738.4	247	8.89	9.88	-0.99
		L4	3 615.3	3 840.7	225.4	8.11	9.88	-1.77
		L1	3 841.6	4 061.3	219.7	7.91	9.88	-1.97
	5	L6	3 656.3	3 768.1	111.8	4.02	6.99	-2.97
		L5	3 786.3	3 893.4	107.1	3.85	6.99	-3.14
		L4	3 580.1	3 758.4	178.3	6.42	6.99	-0.57
		L3	3 707.5	3 856.1	148.6	5.35	6.99	-1.64
		L1	3 803.7	3 934.7	131	4.71	6.99	-2.28

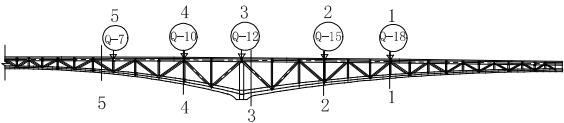


图 12 桥面板纵向测量断面示意图

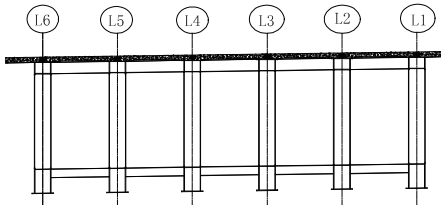


图 13 桥面板横向测量横断面示意图

表 4 右幅南岸负弯矩区预应力钢筋张拉过程中
桥面板纵向压缩量(单位:m)

施工工序	断面编号	P+1	P+2	P+4	P+5	P+6
1-5 断面桥面板 压缩变化量		0.012	0.012	0.011	0.011	0.010
理论压缩变化量		0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
差值		0.001	0.001	0.000	0.000	-0.001

结构实际状态的唯一途径,是确保桥梁安全施工的重要因素。本桥钢梁结构为支架施工,先在支架上拼接钢结构主梁和浇筑除负弯矩区外的混凝土,然后进行体系转换,再浇筑剩余部分混凝土并张拉预应力束。在钢梁各施工阶段,必须实时进行主梁线形控制和应力测量,以便及时调整施工状态。监测数据的准确是监控工作的关键,测量精度关系全局,必须根据桥梁结构形式和具体施工工艺,选择确定稳定可靠的测量方式、合理的测量时机和适当的测量周期。

参考文献:

[1] 张秀永.钢混叠合梁连续梁桥架设与线形监控研究[J].中国市政工程,2015(6):76-77.
[2] 吕颖钊,唐熙.跨线钢箱-混凝土叠合梁桥施工控制技术[J].交通标准化,2014,42(19):96-99.
[3] 吕高超.敞开式钢管-混凝土桁架组合梁桥施工监控分析[C]// 建筑科技与管理学术交流会议论文集,2017.
[4] 苟洁.连续曲线钢箱梁及钢混组合梁顶推施工监控技术[J].山西建筑,2020,46(15):135-136.

(上接第 141 页)

人员状态,及时应对突发事件^[7];实时监测防汛墙的变形情况,及时发现防汛墙的安全隐患。应编制应急抢险预案,配备一定的应急抢险设备,落实对应的应急抢险人员,提升应急抢险能力。

4 结 论

本文明确了由绿色生态堤防的建设目标、提升策略和安全保障三个方面构成的质量环,既是对堤防工程管理工作经验的总结,也为后续建设及维护提供指导思路,仍需待后续工程的实践对以上内容加以补充完善。

参考文献:

[1] 胡欣.城市防洪工程的目标设计与实现措施——以 上海为例[J].上海城市管理,2014,23(5):78-82.
[2] 上海市水务局.上海市河道生态治理设计指南修订(试行)[Z].2015.
[3] 上海市黄浦江两岸开发工作领导小组办公室.黄浦江两岸地区公共空间建设设计导(2017 年版)[Z].2017.
[4] 上海市水务局.苏州河滨水公共空间建设技术导则(堤防篇)[Z].2018.
[5] 董学刚,石永超.黄浦江上海市区段防汛墙墙后堆载限值研究[J].人民长江,2019,50(12):113-117.
[6] 潘黎.高陡边坡下黄浦江防汛墙应急抢险方案研究[J].人民长江,2019,50(12):113-117.
[7] 赵更润,李羽文,崔冬,等.黄浦江上海市区段防汛墙满溢风险分析[J].水利水电科技进展,2016,36(3):57-61.