

怀阳高速公路广信大桥大跨度斜拉桥施工监控

周绿丹

(保利长大工程有限公司, 广东 广州 511430)

摘要: 依托于怀阳高速公路广信大桥斜拉桥的施工, 主要阐述大跨度斜拉桥监控测量技术。主要内容包括: 平面、高程基准的设立, 主塔位移测量, 主梁线形观测, 温度、时间与主梁标高关系曲线的选定, 观测时段的选择等。

关键词: 斜拉桥 施工监控 线形控制

中图分类号: U448.27

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)09-0134-05

1 工程概况

怀阳高速公路广信大桥主桥采用双塔中央索面预应力混凝土梁斜拉桥, 跨径组合为: 58.5+126.5+360+126.5+58.5 m, 全长 730 m。主梁为预应力混凝土结构, 索塔为独柱式, 塔梁固结。主梁采用悬臂浇筑, 共计 23 块段, 单个块段体积约 175 m³。

主梁为单箱五室结构。梁端索距 7.1 m, 节段长 7.1 m, 边跨现浇段长 5.53 m, 中跨合拢段长度为 2 m。主梁梁高 3.5 m, 梁宽 28.5 m。双向横坡 2%。箱梁顶板厚 28 cm、底板厚为 25 cm、斜底板厚为 25 cm。索塔为独柱式索塔; 塔高 94.32 m, 墩高 56.18 m, 总高度为 154 m。塔柱断面为空心结构, 分为三个区段: 无索区、锚固区和装饰块。无索区为实心截面, 中心位置设置直径为 1.2 m 的人洞。

锚固区为双室空心截面, 截面尺寸为 10 m×5 m, 塔柱装饰块高 5.0 m。采用矩形承台, 设置圆弧形倒角, 长宽高为 34.14×21.4×6.0 m, 圆弧半径 11.5 m。基础为钻孔灌注桩, 直径 2.8 m, 共 20 根。

2 施工监控系统简介

施工监控系统包括监测系统、施工时期实时分析系统、误差分析系统和控制、修正系统。日常的监控及测量工作由监控工作小组进行, 负责现场监控, 包括监测元件的安装、监控系统操作及数据采集, 对现场情况实时监控, 监控测量所采集的数据做好及时反馈, 以达到协助施工的目的。监控得到数据的处理、分析及修正由监控计算工作组进行, 主要包括施

工中的数值模拟, 将数据分析得到的结论及时与现场监控小组、施工管理人员进行反馈, 对施工的有效开展提供指导。

3 施工监控的主要内容

(1) 主梁线形控制。主梁线形控制包括主梁标高和平面位置监测。广信大桥为悬臂浇筑施工, 所以体系刚度相对较小, 而对主梁的线形造成的影响因素有很多, 包括挂篮自重、温度变化、混凝土的自重、施工荷载、结构体系转化、预应力大小、混凝土收缩和徐变等。所以为了保证主梁线形的平顺、以及合拢段施工的顺利进行, 在进行立模、混凝土浇筑、预应力张拉、斜拉索张拉、挂篮前移等施工时, 每个标准节段量都要进行该梁段标高监测和控制, 通过对比实测标高值与设计标高值, 来决定是否需要下个标准节段立模标高进行调整, 从而使得实测标高与设计标高基本吻合。

(2) 应力控制。应力控制主要通过应力监测来实现, 其目的是要通过实时监测去了解结构实际应力状态及变化情况, 并且控制其在允许范围内, 若发现某监测断面的应力状态不在允许范围内, 要对其产生原因进行详细的分析, 并通过后期的调控让应力状态始终保持允许范围内, 保证结构的安全性后才能继续进行施工。结构的应力状态能反应结构的安全性, 所以要严格的控制。

(3) 安全控制。施工安全是施工控制的第一步, 是施工控制的前提先行条件或者说是第一个要进行考虑的要素。桥梁施工的安全控制与变形控制、应力控制和稳定控制并不冲突, 是相辅相成的。在现行制度实施时, 要根据不同工况的实际情况来确定其安全控制的重点。

收稿日期: 2021-03-09

作者简介: 周绿丹(1977—), 女, 本科, 工程师, 从事桥梁建设工作。

4 施工监控及测量的原则

斜拉桥施工监控及测量的原则是:

(1)主梁悬浇施工阶段,第一目标应是保证主梁线形的平顺以及标高与设计标高尽量吻合,主梁施工过程中的主要控制手段是通过标高及斜拉索索力双控,以确保结构安全性与设计标高的吻合度。

(2)恒载施工时,斜拉索张拉施工时,通过索力及截面应力状态的控制来保证结构整体的内力和变形处于规定状态。

5 主梁悬浇阶段重难点分析

5.1 主梁施工监控

5.1.1 重难点分析

预应力混凝土主梁浇筑定位线形决定着成桥线形。需根据施工方案详细计算,确定过程中主梁平面位置及标高。

为保证主梁线形和受力与设计要求吻合,需实时修正相关参数。随着施工进行,结构刚度、容重等均与理论值产生偏差,导致结构实际受力与理论不一致,所以需实时修正相关参数。产生偏差原因主要有以下三种。

(1)挂篮变形导致的偏差

在浇筑混凝土的过程中,挂篮会发生弹性变形和非弹性变形。广信大桥悬浇施工采用的是后支点挂篮,因为没有拉索辅助受力,所以挂篮受力大,可能会导致挂篮产生非弹性变形,施工时如何消除非弹性变形产生的偏差是重难点。

(2)温度变化导致的偏差

施工时昼夜温差较大,桥梁结构的受力受温度变化的影响极为显著。施工时主梁标高、斜拉索索力受温差影响会与理论值产生一定程度的偏差。温度影响有两种情况:均匀温差、箱梁内外侧的相对温差。所以必须通过监控控制,充分考虑温度对主梁线形、受力的影响。

(3)梁段重量误差

梁段的质量误差是导致监控实测值与理论值产生偏差的重要因素之一。由于模板刚度有限,在浇筑混凝土时,由于模板变形导致的混凝土方量超标,进而造成梁段实际重量偏离理论值。

5.1.2 应对措施

监控主梁施工中的内力、线形和稳定控制措施依照以下三点。

(1)主梁现浇施工

采用动态实时测量方法监测和控制挠度与应力,达到清晰了解主梁的结构状态和应力状态的目的。及时识别、分析关键参数,使得计算模型更接近实际的结构状态。

为减弱温差对施工造成的误差,主梁立模应选在避开日照的凌晨到日出时间段内进行。立模标高控制按设计提供的含预拱标高,另加施工调整值控制。斜拉索的张拉同样也应选择在凌晨到日出时间段进行,否则就要对立模标高、索力进行温度修正。在悬臂施工过程中,除了要按常规测量主梁标高以外,每个月还需进行一次全天全时段的精度观测,采集相关数据以分析温度变化对结构变形的影响,以便对立模标高进行修正达到与理论值基本吻合。

梁段线形监控包括立模标高及坐标控制、混凝土浇筑过程中标高控制、混凝土浇筑完后的标高、坐标监控(半天一次);混凝土特性监控包括初凝时间控制(每节段)、和易性控制(每节段)、坍落度控制(每节段)、养生质量监控(每节段)、温度监控(每节段)、外观质量监控(每节段)。

(2)挂篮、支架结构形变

监控挂篮本身的使用状况,对横梁截面进行线性监控以及对混凝土特性进行监控;吊篮的使用状况监测包括构件变形、构件应力、节点连接质量等,监测时间为各段混凝土浇筑的始、中、末时期及挂篮开始行走和到达的时间。吊篮行走如果发现任何异常情况,立刻停止施工,并在处理后恢复施工。

利用预压消除非弹性变形,并在考虑温度和临时荷载的影响下,取得弹性变形参数,统计分析各阶段支架变形数据,确定不稳定因素,及时调整。

(3)索力调整

在最不利受力位置布置传感器,实时采集测试索张拉过程中的相关参数,保证调索过程中结构安全。

5.2 拉索施工监控

5.2.1 重点分析

在倾角变化大、空间效应明显的拉索作用下,主梁所承受压力和弯矩巨大。所以,斜拉索初张力及张拉顺序的确定必须模拟空间索面,确保施工过程中主塔柱受力平衡,同时对比监测结果,及时调整各阶段斜拉索张拉力。另外,下料误差、施工误差等因素导致拉索内力和主梁线形并不能与理论完全一致,需合理调整索力。同时,索力数据采集方法均存在不同程度的局限性,将直接影响结构状态评估。

5.2.2 应对措施

索力控制应从结构计算和现场控制两方面考虑。
(1)结构计算:建立空间分析模型,仿真模拟拉索张拉过程,采用倒退分析方法确定初始张拉力和张拉顺序,制定斜拉索张拉控制轨迹。

(2)现场控制:斜拉索张拉过程中,张拉前后分别进行索力、主梁和主塔内力以及主梁线形的测试,动态掌握拉索张拉过程的结构状态。索力控制将采用内力与线形双控的方法。

(3)斜拉索精确下料:考虑成桥线形修正、垂度效应、弹性伸长等因素对斜拉索无应力长度的影响。

(4)索力的准确测试
索力测试根据不同的阶段选择不同的方法,包括无应力状态法、压表法和动测法,现场施工时需采用两种以上的方法进行索力测试,互为校验确保索力测试数据的准确。

- a. 初始张拉:拉索张拉状态下索力测试采用油压表法和动测法同时进行,通过油压表读数来修正动测法计算公式中的有效索长值。
- b. 张拉中间过程:在完成 15%索力张拉后对拉索的伸长量进行测试,以确定拉索的无应力长度。

6 主梁悬浇阶段监控工作内容

6.1 内业计算

一是跟踪现场实际施工工序及相关计算参数,对模型进行校核;二是提供梁段挂篮定位标高及斜拉索拉力数据;三是对施工现场变更内容进行核算验算,提出相关建议。

6.2 现场工作内容

一是主梁施工阶段对塔柱偏位情况进行跟踪观测及分析;二是对各个主梁悬浇节段的施工进行跟踪观测,并对主梁各节段在各工况下标高及应力等数据进行采集并分析,指导后续节段施工;三是对 21# 墩 1#~23# 节段及 22# 墩 1#~23# 节段悬浇节段进行挂篮定位;四是对 21# 墩 1#~23# 节段及 22# 墩 1#~23# 节段进行斜拉索张拉进行监测;五是对本阶段悬浇节段不同工况下的挠度变化、索力变化进行跟踪测量。

7 监控数据结果分析

7.1 主墩沉降监测分析

在主梁施工阶段需对主墩沉降进行观测,因现场承台涉水不易采集,故而现场采取在主梁 0# 块上

布设 2 个沉降测点,进行观测。

承台沉降监测结果:22# 墩 23# 块悬浇完成后累计沉降量为 12 mm。主梁悬浇施工过程各个主墩沉降总体变化稳定,如表 1 所示。

表 1 22# 墩沉降记录表 单位:m

测量工况	22# 墩 0# 节段		测量日期
	1 北侧	2 南侧	
初始值	—	64.322	2019.06.05
1# 块斜拉索张拉后	测量值	64.321	2019.08.22
	当前位移值	-0.001	
	累计位移值	-0.001	
初始值	64.879(新)		2019.10.26
5# 块浇筑后	测量值	64.879	2019.10.26
	当前位移值	0.000	
	累计位移值	-0.005	
9# 块浇筑后	测量值	64.874	2019.12.30
	当前位移值	0.000	
	累计位移值	-0.005	
初始值	64.751(新)		2020.03.28
13# 块浇筑后	测量值	64.869	2020.03.28
	当前位移值	-0.005	
	累计位移值	-0.010	
15# 块斜拉索张拉后	测量值	64.868	2020.04.26
	当前位移值	-0.001	
	累计位移值	-0.011	
23# 块挂篮前移后	测量值	64.867	2020.08.29
	当前位移值	-0.002	
	累计位移值	-0.012	

7.2 主塔塔偏位移监测分析

主桥施工阶段需对主塔偏位进行观测,在对应工况下,收集索塔位移数据集。21# 墩主塔塔顶共计 3 个变形观测点、22# 墩主塔塔顶共计 3 个变形观测点。主梁施工期间根据斜拉索张拉对主塔的影响,进行定期采集并整理反馈。

塔偏监测结果:通过对主塔偏位跟踪监测,22# 墩 23# 块悬浇完成后主塔塔顶累计偏位为 60 mm,主塔偏向 22# 墩边跨侧;悬浇阶段主塔实测偏位趋势与理论计算一致,偏位变化量考虑施工及测量因素等,基本符合监控计算结果及规范要求,如表 2 所示。

7.3 节段悬浇监控分析

主梁节段悬浇过程,我方根据节段标高监测需求布设标高监测点,在现场施工工序变化时,对标高数据监测及分析,主梁节段标高测点布置示意图(见图 1)。

主梁悬浇完成时梁底线形监测结果:22# 墩各个节段悬浇完成时梁底标高误差大部分满足 ± 20 mm 的控制要求,现场误差波动幅度较小,个别节段虽然超限但梁底整体线形平顺(见图 2)。

表 2 22# 墩主塔偏位监测结果表					单位:m
测量工况		TW1 测点位置			
		南侧		西侧	
				X	Y
初始值		919.700	-1.140	919.751	1.110
1# 块拉索张拉	测量值	919.701	-1.138	919.753	1.112
	阶段位移	0.001	0.002	0.002	0.002
	累积位移	0.001	0.002	0.002	0.002
5# 块浇筑后	测量值	919.702	-1.137	919.753	1.113
	阶段位移	-0.002	0.006	0.004	0.005
	累积位移	0.002	0.003	0.002	0.003
9# 块浇筑后	测量值	919.692	-1.127	919.743	1.127
	阶段位移	0.000	0.003	-0.002	0.003
	累积位移	-0.008	0.013	-0.008	0.017
13# 块浇筑后	测量值	919.695	-1.129	919.745	1.125
	阶段位移	0.003	-0.002	0.002	-0.002
	累积位移	-0.005	0.011	-0.006	0.015
23# 块挂篮前移后	测量值	919.761	-1.130	—	—
	阶段位移	0.066	-0.001	—	—
	累积位移	0.061	0.01	—	—
23# 块斜拉索张拉	测量值	—	—	—	—
	阶段位移	—	—	—	—
	累积位移	—	—	—	—

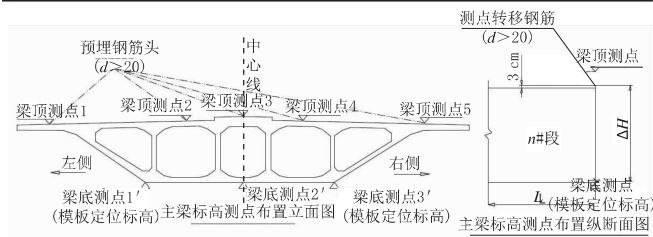


图 1 主梁标高测点布置示意图

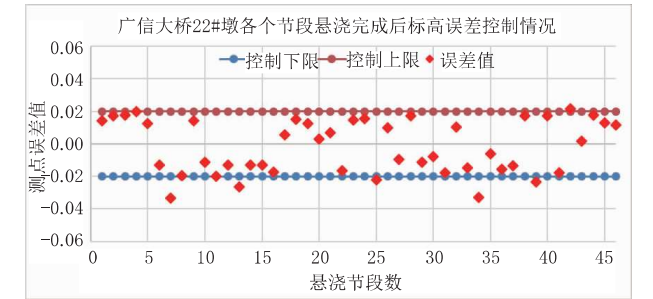


图 2 各节段悬浇完成后标高误差控制情况

7.4 斜拉索索力监测分析

主桥斜拉索张拉施工过程中我方对张拉结果进行跟踪监测与控制(见图 3)。

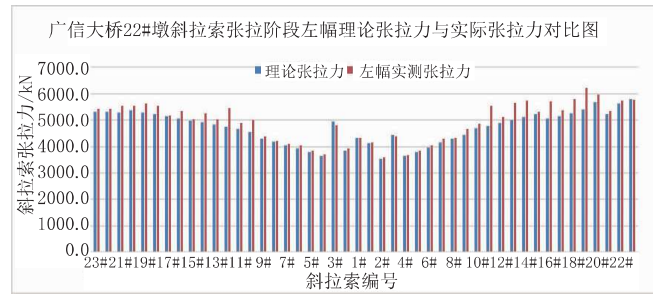


图 3 22# 墩左幅张拉阶段理论张拉力与实际张拉力对比图
(单位:kN)

22# 墩各组斜拉索张拉时同一组中斜拉索索力对称性良好,本着“标高控制为主、索力为辅”原则,部分索力在张拉时进行临时调整,导致索力偏差控制超限,在后续索力的张拉施工后,索力偏差已逐步恢复正常,如图 4 所示。

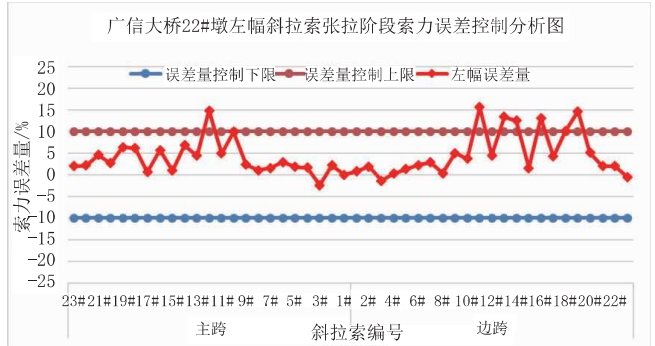


图 4 22# 墩左幅斜拉索张拉阶段索力误差控制分析图

7.5 合龙段标高控制

主桥节段悬浇完成后,各个合龙口误差情况汇总如下:

(1)边跨合龙标高控制情况

21# 墩悬浇完成后边跨合龙段合龙相对误差为 0.005 m,21# 墩悬浇完成后边跨合龙段合龙相对误差为 0.007 m,满足监控要求,详见表 3、表 4。

表 3 21# 墩 23# 斜拉索张拉后边跨合龙 - 现浇段
合龙标高控制情况

位置	19# 墩现浇段	21# 墩小里程 23# 节段
计算值	58.671	58.875
实测值	58.659	58.868
误差值	-0.012	-0.007
合龙相对误差	0.005	

表 4 22# 墩 23# 斜拉索张拉后边跨合龙 - 现浇段
合龙标高控制情况

位置	22# 墩小里程 23# 节段	24# 墩现浇段
计算值	59.022	58.847
实测值	59.034	58.852
误差值	0.012	0.005
合龙相对误差	0.007	

(2)中跨合龙标高控制情况

主梁悬浇完成后主跨合龙段两侧悬臂合龙相对误差为 0.001 m,满足监控要求,详见表 5、图 5。

表 5 主桥主跨 23# 斜拉索张拉后跨中合龙段
标高控制情况

位置	21# 墩主跨 23# 节段	22# 墩主跨 23# 节段
计算值	62.557	62.557
实测值	62.572	62.571
误差值	0.015	0.014
合龙相对误差	0.001	

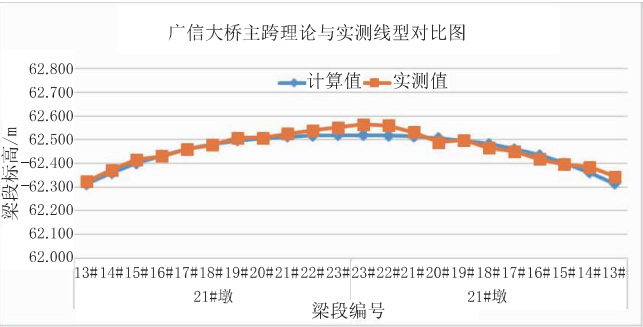


图 5 广信大桥主跨理论与实测线形对比图(单位:m)

根据以上结果可知,主跨侧梁底线形整体平顺,合龙口处误差偏大,需增加荷载进行压重。根据标高监测结果及现场实际天气状况,目前悬臂状态下梁段绝对高程偏差较大,主要受环境温度及日照影响。考虑现场天气最近会持续处于低温状态,根据现场实际情况提出以下措施:

(1)合龙段处劲性骨架提前锁定,根据当日温度变化情况,在梁段标高处于最小误差时进行劲性骨架的固结施工;

(2)根据合龙后主梁实际线形状态,主梁部分误

差考虑通过二期铺装时调整,调整前后对主桥竖曲线影响不大,对于无法调整的部分作为成桥预拱度保留。

8 结 语

目前,通过过程中制定合理的调整措施,该桥已经顺利合龙,结构无应力并成桥线形合理。大桥主桥施工监控任务既含有大跨径混凝土箱梁斜拉桥施工控制的普遍特点,同时也存在特殊情况。如何让成桥达到设计状态,是本桥成功的关键。在施工过程中通过对桥梁状态的实时监视和调整,可保证成桥时达到设计目标。

参考文献:

[1] 昂云红. 移动支架现浇混凝土斜拉桥施工特点与控制技术研究[D]. 西安:长安大学,2012.
[2] 范立础.桥梁工程[M].人民交通出版社股份有限公司,2017.
[3] 雪冷浩.PC 斜拉桥施工过程中拉索的控制[D].西安:长安大学,2006.
[4] 吴正安.高赞大桥施工控制技术研究[D].西安:长安大学,2010.
[5] 向中富.桥梁施工控制技术[M].北京:人民交通出版社,2001.

(上接第 115 页)

治;同时依据新的设计标准,重新对汇水区域进行校核,完善雨水管网加强排水,优化隧道泵房配置;将隧道排水泵房控制设备调整至高处免受水淹失效,在该隧道增设城市隧道防汛安全告警系统(见表 2),用科技助力防汛减灾,推动防汛应急抢险工作智慧化,最大限度保障人民群众生命财产安全,为日后相似工程提供借鉴和参考。

参考文献:

[1] 陈文龙,夏军.广州“5·22”城市洪涝成因及对策[J].中国水利,2020,895(13):4-7.
[2] 黄埔住建.全区首个隧道积水自动拦截系统正式上线 [EB/OL]. 2020-07-21(7) [2021-01-05]. http://www.hp.gov.cn/gzhpzj/gkmlpt/content/6/6465/post_6465299.html#4347.

表 2 本工程方案优化前后对比表

序号	名称	原方案	优化方案
1	南岗河洪水位	20 a 一遇	100 a 一遇
2	南岗河河堤	利用现状河堤	河堤加高至 28.6 m
3	隧道侧墙	27.87 m	北二环桥底 28.58 m, 其余 29.70 m
4	北二环桥面水	无	增设收水槽排至南岗河
5	排水	每个分区集中排	每个分区地面 标高 28.6 m 以上重力 排,低于 28.6 m 泵房排。
6	泵房设计重现期	20 a	50 a
7	水泵配电控制设备	泵房内	泵房对面山坡
8	防汛安全告警系统	无	增设

[3] 南方都市报.黄埔建立隧道防汛应急系统,水位淹没涉水线,自动拦截双向车辆[EB/OL].2020-08-12(7) [2021-01-05]. <https://www.163.com/dy/article/FJQLELO05129QAF.html>.