

现浇箱梁支架预压监测方法研究及数据分析

张超

(中交一航局第二工程有限公司, 山东 青岛 266071)

摘要: 深中通道西人工岛非通航孔桥为现浇预应力连续箱梁, 模板通过搭设的支架支撑, 箱梁施工前需进行支架堆载预压。为了精确测量支架的各种变形量, 为设置预拱度提供依据, 结合箱梁支架搭设方式及堆载预压方法研究预压监测方法, 提出了使用全站仪在支架底部进行竖向位移监测。该方法避免了人工读数偏差、视线遮挡等因素影响, 可以快速、精确地获取预压过程中的变形数据, 便于数据处理, 保证了后续工序的及时开展, 全站仪替代水准仪进行短距离竖向位移监测的方法也为竖向位移监测提供了新的思路。

关键词: 箱梁; 预压监测; 全站仪; 预拱度

中图分类号: U652.62

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2024)07-0044-05

doi: 10.7640/zggwjs202407009

Research on preloading monitoring method and data analysis of cast-in-place box girder support

ZHANG Chao

(No.2 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract: The non-navigable bridge on the west artificial island of the Shenzhen-Zhongshan Link is a continuous box girder with cast-in-place prestressing force, the formwork is supported by the erected supports, and the supports need to be preloaded before the construction of the box girder. In order to measure the deformation of the support accurately and provide the basis for setting the pre-camber, the preloading monitoring method was studied in combination with the setting method of the box girder support and the preloading method. A total station was proposed to monitor the vertical displacement at the bottom of the support. This method avoids the influence of factors such as artificial reading deviation and line of sight occlusion, and can obtain the deformation data quickly and accurately during the preloading process, it is convenient for data processing and ensures the timely development of the following working procedure, the method of short distance vertical displacement monitoring by total station instead of level also provides a new idea for vertical displacement monitoring.

Key words: box girder; preloading monitoring; total station; pre-camber

1 工程概况

工程位于西人工岛与泄洪区 110 m 跨非通航孔桥交接处, 桩号范围 K12+638.0—K12+838.0, 全长 200 m。全桥跨径布置为 5×40 m, 箱梁分两幅一联, 为现浇预应力 C50 混凝土连续梁, 主梁为单箱三室断面, 沿桩号增大方向, 左幅桥宽 20~24.73 m, 右幅桥宽 20~24 m, 悬臂长 3.5 m。主梁采用逐跨现浇方案施工, 从西人工岛向中山侧非通航孔桥方向进行。现浇箱梁验评标准参见 JTG F80/1—2017《公路工程质量检验评定标准》^[1]

及 JTG/T 3650—2020《公路桥涵施工技术规范》^[2]。

箱梁支架采用钢管桩基础+主梁+贝雷梁+分配梁+模板结构形式, 左右幅结构相同, 支架结构布置见图 1(以左幅为例)。支架基础采用钢管立柱及钢管桩 2 种形式, 并依据箱梁净跨径布置钢管桩及立柱纵向间距, 管桩最大跨距 9 m。立柱及钢管桩之间设置平联, 根据钢管桩顶的标高情况采用单、双层平联, 底层平联标高+1.5 m, 自第三跨箱梁设置双层平联, 二层平联标高+4.5 m, 每跨箱梁支架端部同墩身结构, 通过扶墙钢管进

收稿日期: 2024-01-02 修回日期: 2024-06-03

作者简介: 张超 (1989—), 男, 山东泰安人, 高级工程师, 测绘工程专业。E-mail: 415258442@qq.com

行约束。支架上部结构采用贝雷体系，主横梁为 2HM588×300 型钢，主横梁上设贝雷梁，贝雷架上侧布置分配梁及模板系，分配梁采用 I12.6 型钢。

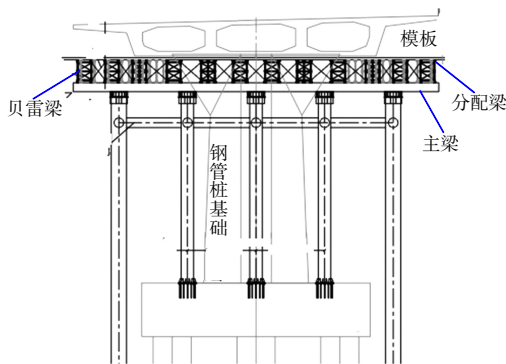


图 1 箱梁支架结构布置

Fig. 1 Box girder support structure arrangement

2 支架预压方案

支架预压的目的包括：检验支架及基础承载力是否满足受力要求，确保其满足箱梁施工安全技术要求；消除支架及地基的非弹性变形，利于桥面线形控制；实测支架的弹性变形，为设置预拱度提供依据。

底模拼装完成后，混凝土浇筑前对支架进行压载试验，堆压荷载为 1.2 倍支架上部荷载，包括混凝土结构物及模板体系重量，同时根据弹性变形理论计算值设置模板支架预拱度。压载材料采用水袋预压及混凝土块混合预压，考虑水袋厚度限制，对于腹板位置荷载较大范围，在局部荷载不满足要求的部位采用素混凝土块或砂袋补充压载。砂袋压载时考虑含水率影响，及时密封，减小压载荷载偏差。

预压总计荷载重量 3 176.16 t，考虑荷载分区，桥台及墩顶区域结构重量大，单位面积荷载值大，使用混凝土块体进行堆载，总计堆载重量达 681.76 t，使用混凝土进行堆载时，最大堆高 3.05 m；箱室段使用水袋进行均布荷载预压，根据结构重量分布，底板水袋最大高度为 2.9 m，翼板使用高度 1.5 m 水袋。

支架预压按照预压单元进行分级加载，本项目按照 3 级加载方式进行支架预压。按预压荷载总重的 0→60%→80%→100% 进行加载并观测，加载过程中出现异常情况，应立即停止加载，经查明原因并采取措施保证支架安全后方可继续加载。采用水袋压载时，控制荷载重量按照水袋供水阀门流量进行计算压载重量，并均匀控制箱梁

平面范围加载重量。同时人工量测加载高度进行校核，保证加载重量满足要求。混凝土块体加载时，按照重量计算混凝土块体需求数量，吊装安装均匀分布于待堆载位置，安装过程中应沿箱室轴线对称进行加载。

3 支架预压监测

3.1 监测内容

支架预压监测主要监测内容为支架及模板各体系变形情况，具体监测项目为监测点位的标高变化，根据加载及卸载各阶段监测点标高动态变化，计算沉降量、弹性变形量、非弹性变形量。

3.2 监测方法

监测点位布置在支架底部，每隔 1/5 跨径布置 1 个监测断面，为了有代表性地反映预压变形情况，断面设置在结构受力最大处，每个监测断面上布置 5 处监测点，共计 25 个监测点，监测断面及监测点布置示意图见图 2。

大里程方向 →				
I-5	II-5	III-5	IV-5	V-5
I-4	II-4	III-4	IV-4	V-4
I-3	II-3	III-3	IV-3	V-3
I-2	II-2	III-2	IV-2	V-2
I-1	II-1	III-1	IV-1	V-1
断面 I	断面 II	断面 III	断面 IV	断面 V

图 2 监测断面及监测点布置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of monitoring section and monitoring point arrangement

采用倒挂的方式将棱镜焊接在支架分配梁工字钢上，使用测距三角高程法进行观测^[3]，根据测距三角高程法的测量原理，分析影响测量精度的主要因素，包括竖直角观测误差、距离观测误差以及仪器高量取误差(棱镜高无需量取)^[4]。由于控制点距离最远处监测断面仅 40 m 且使用测角精度 0.5" 全站仪，根据误差传播定律计算的高程误差估算值为 0.2 mm，因此精度满足监测要求^[5]。

本次竖向位移监测使用全站仪在支架底部进行观测，代替常规的水准仪监测，主要优点包括：

1) 规避了水袋加水后遮挡测量视线的风险，观测点位布置更加合理，严格按照受力情况及施工需求进行点位布置；

2) 使用全站仪测量，减小了人为因素带来的

测量误差,提高了测量精度;

3) 全站仪自动化数据采集,内外业交互更加便利,实时高效完成各阶段的监测任务并及时提供监测数据,为后续的施工决策节省时间。

为了避免潮汐变化对监测带来的影响,初始值采集时,在平潮期流速较小时进行,并采集2次初始值。各级加载完成后的监测同时兼顾潮汐变化影响。支架加载前,提前完成各观测点位初始值检测并记录。每一级加载12 h后,对支架测点进行测量,平均沉降小于3 mm时,进入下一级的加载。每级加载完成1 h后进行支架的变形观测,之后每隔6 h监测各监测点的位移量,当相邻2次监测位移平均值之差不大于2 mm时方进行后续加载;全部预压荷载施加完成后,每隔6 h监测记录各监测点的位移量,当连续12 h检测位移平均值之差不大于2 mm时,进行预压荷载卸载工序。直至变形满足要求后进行逐级卸载,卸载时对称卸载。

3.3 监测注意事项

3.3.1 监测仪器、设备和元件

1) 满足观测精度和量程的要求,且应具有良好的稳定性和可靠性;

2) 应经过校准或标定,且校核记录和标定资料齐全,并应在规定的校准有效期内使用;

3) 监测过程中应定期进行监测仪器设备的维护保养检测。

3.3.2 同一监测项目注意事项

- 1) 采用相同的观测方法和观测路线;
- 2) 使用同一监测仪器和设备;
- 3) 固定观测人员;
- 4) 在基本相同的环境和条件下工作。

3.3.3 关于外业记录和内业计算

1) 外业记录严格使用专用记录表格记录并进行电子版存档。各种测量的原始记录(含电子记

录)必须在现场同步作出,严禁事后补记、补绘。原始资料不允许涂改。

2) 基础数据严格执行三级复核管理,内业数据计算由2人以上平行计算。

3.3.4 监测预警要求

监测预警值参考设计文件及支架预压数据结果进行设置。按照支架预压最终沉降及位移最大数值设置报警值,以报警值80%作为现场预警指示。如监测的数据达到预警值,必须立即采取处理措施,如有必要,需立即启动相应的应急方案。

3.3.5 现场工况条件影响

台风天气(风力超过6级)影响作业区域时(或其他突发条件影响),应提前进行沉降位移数据的采集,台风天气过后,进行数据的二次采集比对。

4 预压数据分析

以深中通道非通航孔桥左幅第一跨箱梁堆载预压监测数据进行分析,剩余9跨的预压监测方法及数据分析方法同本跨。

4.1 支架顶部沉降监测

现浇支架预压方式采用三级加载(0→60%→80%→100%)方式进行上部荷载施加。根据加载分级与实际施工荷载施加顺序匹配情况,第一级加载较为贴合第1次混凝土浇筑荷载量,第二级加载接近箱梁2次浇筑完成后荷载量,重点对2次分级加载进行分析。

4.1.1 第一级加载数据分析

第一级加载为全部预压荷载的60%,按照预压荷载=1.2×箱梁支架上部荷载进行折算,第一级加载为72%箱梁实际荷载。由于混凝土分层浇筑,第1步浇筑混凝土方量约为600 m³,叠加模板支架等体系重量,荷载较为近似,第一级加载可近似模拟第1步浇筑施工工况。第一级加载后监测数据见图3。

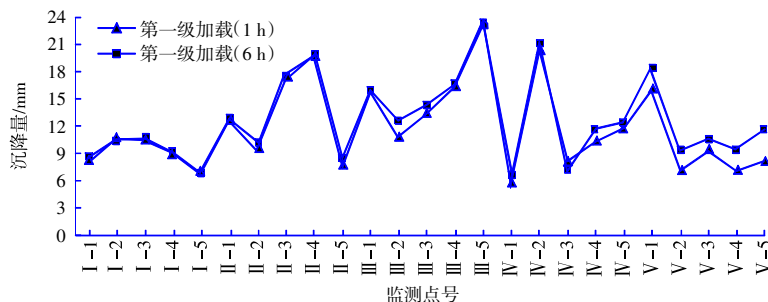


图3 模板沉降变化曲线(第一级加载)

Fig. 3 Change curve of formwork settlement (first stage loading)

支架第一级加载后,模板体系表现较为明显的沉降,加载完成后首次测量监测,沉降值较为明显,最大沉降值达到 21.4 mm,第二次测量监测数据变化较小,沉降变化量最大值为 3 mm,平均沉降值仅为 0.67 mm,支架体系较为稳定,满足第二级加载要求。

结合位移数据分析,支架体系沉降主要原因:上部荷载施加后,模板体系产生一定变形,同时由于模板各层受压密贴,间隙消减,导致一次加载后当即产生较大变形,但在持荷期间,变形基本不继续发展,第 2 次监测数据变化小,较为平稳。

4.1.2 第二级加载数据分析

第二级加载为全部预压荷载的 80%,按照预压荷载=1.2×箱梁支架上部荷载进行折算,第二级加载为 96%箱梁实际荷载。荷载较为接近实际施工完成时荷载,第二级加载可近似模拟混凝土全部浇筑完成施工工况。

第二级加载完成后的监测数据与第一级监测数据比对,沉降变化量平均值仅为 0.4 mm,荷载施加产生沉降变形较小,说明第一级加载已消除大部分模板体系缝隙,本次沉降值产生主要由于支架体系受压变形,由于上部荷载持续增加,变形量同步增加,产生一定的模板表面沉降,见图 4。

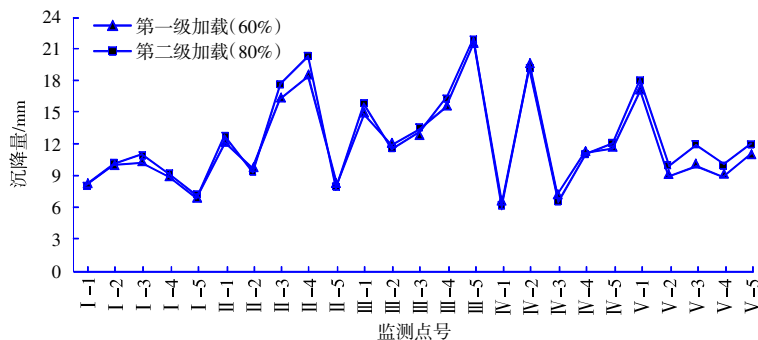


图 4 模板沉降变化曲线(第二级加载)

Fig. 4 Change curve of formwork settlement (second stage loading)

4.1.3 第三级加载数据分析

第三级加载为支架体系超压,即支架上部混凝土浇筑完成,相应作业荷载及全部结构荷载叠

加,为实际最大荷载工况,采用支架上部荷载值 1.2 倍进行控制。用于验证施工作业荷载施加后,支架体系安全性。第三级加载后监测数据见图 5。

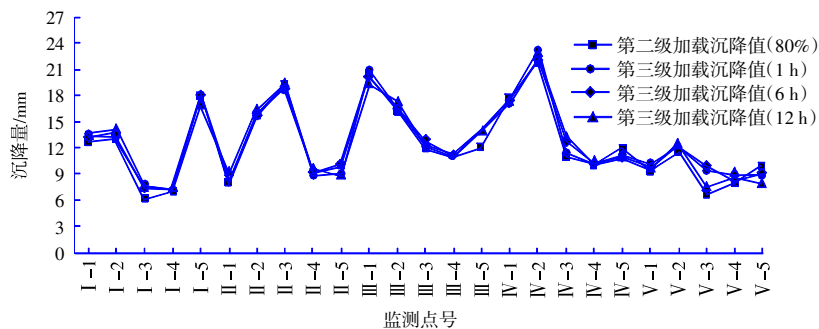


图 5 模板沉降变化曲线(第三级加载)

Fig. 5 Change curve of formwork settlement (third stage loading)

支架第三级加载完成后,进行 3 次检测数据采集,模板体系沉降值变化较为均匀,每监测周期内沉降值变化量平均值分别为 0.100 mm、-0.032 mm、-0.644 mm,模板体系基本不持续发生变形,持续加载产生的变形量趋于稳定。

累计沉降(均值)随堆载预压量的变化曲线如图 6 所示。

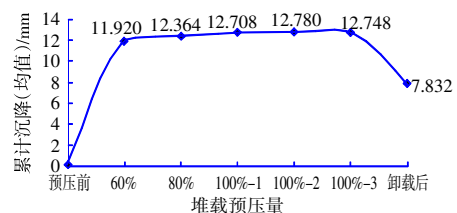


图 6 预压累计沉降变化曲线

Fig. 6 Cumulative settlement change curve of preloading

4.1.4 支架顶沉降平面分布

根据支架结构受力特点,布置5道监测断面,每断面布置5处监测点,并对监测点位置模板沉降情况进行分析。断面③分布位置为左幅第一跨跨中位置,结构受力形式为结构挠度最大值位置,箱梁荷载施加后,结构沉降较为明显部位,本次预压也呈现相对较大的沉降数据反馈。其余断面分布靠近墩身及桥台支点位置,沉降值呈现抛物线形式分布,较为吻合实际施工情况。各断面沉降平均值分布见图7。

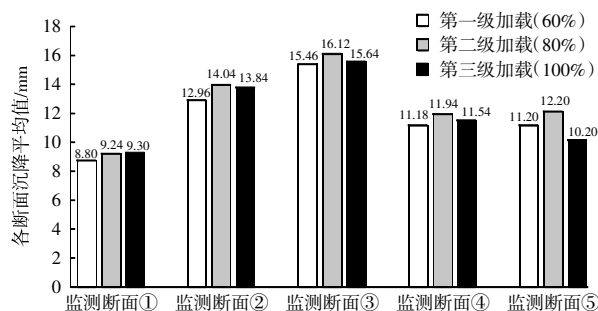


图7 各断面沉降平均值分布图

Fig. 7 Distribution of average settlement value of each section

4.2 变形量计算

支架监测至最大预压荷载及卸载后数据汇总见图8。

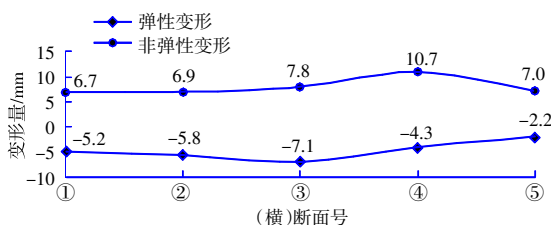


图8 数据汇总图

Fig. 8 Data summary diagram

其中弹性变形数据分布以3.9~5.9 mm分布最多,为7组,相邻分布区段1.9~3.9 mm、5.9~7.9 mm区段数据各5组,平均值4.92 mm与分布中位数(最大概率区段)相吻合,弹性变形可采用各断面平均值设置。

非弹性变形数据分布概率最大的区域为5.9~8.8 mm,平均值为7.8 mm,基本与该区段中值吻合,同时考虑5个断面非弹性变形平均值除④号断面因1个数据较大导致平均值偏大,其他均在7 mm左右,非弹性变形数据采用全部断面平均值(向下取整)7 mm。

5 结语

现浇箱梁堆载预压关乎支架的安全并且对于关键数据的获取具有重要的意义。使用全站仪在支架底部进行竖向位移监测的方法具有观测效率高、测量精度高、通视不受影响等优点,可在预压期间快速、高效、精确地获取施工参数,减少此项工作的时间并为后续箱梁的施工节约时间。根据测量数据进行分析得到以下结论:

1) 支架预压过程支架顶部分配梁沉降位移稳定,弹性变形最大11.9 mm,小于支架设计计算书计算挠度。证明支架设计及验算结果较为贴合实际施工需求,安全性满足要求,可以进行后续施工。

2) 各施工断面设置预拱度参照预压弹变变形:①—⑤断面依次为5 mm、6 mm、7 mm、4 mm、2 mm。

3) 非弹性变形根据上述分析采用平均值7.8 mm,该部分变形主要与支架管桩沉降、局部变形、主横梁及贝雷梁不平整有关。非弹性变形通过支架预压,施加荷载的方式,可以进行消减,与后续正式施工无关,但与前期支架施工预抬标高相关。

4) 正式施工前,结合预压后模板标高结果,对底板混凝土模板标高进行调整,该部分标高调整主要与弹性变形有关。

参考文献:

- [1] JTG F80/1—2017,公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程[S].
JTG F80/1—2017, Inspection and evaluation quality standards for highway engineering Section 1 Civil engineering[S].
- [2] JTG/T 3650—2020,公路桥涵施工技术规范[S].
JTG/T 3650—2020, General specifications for design of highway bridges and culverts[S].
- [3] GB/T 12897—2006,国家一、二水准测量规范[S].
GB/T 12897—2006, Specification for the first and second order leveling[S].
- [4] 金廷文,钱健龙.短距离二等三角高程测量在港珠澳大桥跨海水准测量中的应用[J].中国港湾建设,2016,36(7):26-28.
JIN Ting-wen, QIAN Jian-long. Application of short distance second order trigonometric leveling in sea-crossing leveling for Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge[J]. China Harbour Engineering, 2016, 36(7): 26-28.
- [5] 武汉大学测绘学院测量平差学科组.误差理论与测量平差基础[M].武汉:武汉大学出版社,2009.
Surveying Adjustment Discipline Group, School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University. Error theory and foundation of surveying adjustment[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2009.