

Construction Monitoring Technology for Steel Tube Concrete Arch Bridge with Arch First and Then Beam Method

Yuquan Feng

CCCC Infrastructure Maintenance Group Co., Ltd., Beijing, 100011, China

Abstract

Based on the 1-88-meter concrete filled steel tube pole arch bridge of a highway connecting line, realize the monitoring of beam deformation, arch rib stress and boom tension in the bridge in the whole process, and compare the measured data with the calculated value of the theoretical model. Through comparison, it was found that under the reasonable construction sequence and construction monitoring guidance, the measured internal forces and displacements of the components were basically consistent with the theoretical calculations. The error between the measured and theoretical values of the suspension rod force of the completed bridge was within 10%, which was close to the design requirements. Implemented the design of bridge alignment and cable tension.

Keywords

concrete filled steel tube; first arch then beam; tie arch bridge; construction monitoring

钢管混凝土先拱后梁法系杆拱桥施工监控技术

冯玉权

中交基础设施养护集团有限公司, 中国·北京 100011

摘要

以某高速公路连接线1-88米钢管混凝土系杆拱桥为工程依托, 通过系统化监控技术手段, 实现对桥梁建设过程中的系梁变形、拱肋应力、吊杆张拉力等构件的监测; 通过建立Midas/Civil三维模型, 对本桥进行全过程有限元模拟, 然后将现场实测数据与理论模型计算值进行分析比较。对比发现, 在合理的施工顺序及施工监控指导下, 实测构件内力与位移与理论计算基本相符, 成桥的吊杆力实测值与理论值误差在10%以内, 接近设计要求。实现了设计成桥线形与索力。

关键词

钢管混凝土; 先拱后梁; 系杆拱桥; 施工监控

1 引言

系杆拱桥以其优美的造型、较大的跨越能力、较小的建筑高度、强大的整体结构刚度等优点, 近年来深受设计师的亲睐。系杆拱桥整体属于静定结构, 属于简支梁桥。但系杆拱桥内部属于超静定的结构^[1], 使得施工过程中线形、内力会受到外部因素的影响^[2], 这也使得过程中的施工监控是必不可少的。

系杆拱桥施工通常有先梁后拱和先拱后梁两种方式^[3], 由于本桥上跨河道, 有较高的通航要求, 所以采用后者施工方式。该种施工方式而言有着结构体系需要随着施工进行多次体系转换的特点^[4], 对施工监控提出了更高的要求。

2 工程概况

本桥为某高速连接线工程中的一座大型桥梁, 跨越 V

级航道。主桥拱肋计算跨径 85m, 矢高 17m, 矢跨比 1/5, 拱轴线采用二次抛物线, 拱肋采用哑铃型钢管混凝土截面, 按等截面布置, 哑铃型拱肋高度 2.1m, 钢管外径 85cm, 壁厚 14mm, 钢管宜采用卷制焊接直焊缝, 内填充 C50 自密实补偿收缩混凝土。根据横向稳定的需要, 两主拱肋之间设置了 1 道四榀横撑和 2 道“K”字形风撑; 风撑采用桁架结构。全桥共设 16 对吊杆, 边吊杆距拱梁交点距离 6.5m, 其余吊杆间距 4.8m; 主桥吊杆采用 15 ϕ ^s15.2 钢绞线整束挤压锚固拉索。吊杆采用单端张拉, 张拉端设置在拱肋上, 下端采用插耳板构造。系梁为预应力混凝土结构, 箱型断面, 高 2.1m, 宽 1.3m, 顶板、底板厚度 0.3m, 腹板厚度 0.35m, 每根系梁纵向配置 16 束 10 ϕ ^s15.2 预应力钢绞线。

主要材料: ①混凝土: 主桥混凝土构件、桥面铺装混凝土现浇层采用 C50 混凝土, 拱肋钢管压注砼采用 C50 自密实补偿收缩混凝土, 桥面板采用 C40 混凝土, 纵向湿接缝采用 C40 微膨胀混凝土, 立柱、护栏、防震挡块、承台、桩基础采用 C30 混凝土。②钢材: 拱肋采用 Q345D 钢材,

【作者简介】冯玉权(1990-), 男, 中国河北怀来人, 硕士, 工程师, 从事桥梁检测、施工监控研究。

风撑采用 Q345C 钢材。

技术标准：①设计荷载：公路 -I 级；②桥面净宽：单幅 10.75m；③桥面横坡：单面 2%；④桥面纵坡：双向 2.5%；⑤航道等级：V 级航道。

3 施工方案

本桥采用拱肋钢管分段安装，单侧整体吊装形成整体框，再逐根安装横梁、现浇系梁湿接段的少支架施工工艺。主要施工步骤如下：①完成桥墩桩基础、承台、墩身的施工，安装支座；②搭设支架并预压；③工厂加工拱肋并现场拼接成型，同时场地预制系梁、中横梁；④支架上布置系梁和横梁的地方应设置可滑动支撑；⑤现浇拱脚及 1#、2#、15#、16# 中横梁，并浇筑湿接头；⑥达到设计强度及龄期后张拉端横梁、1#、2#、15#、16# 中横梁全部预应力钢束；⑦安装临时束并预紧；⑧岸上搭设支架拼装拱肋，浮吊船逐幅安装钢管拱肋，待二幅拱肋安装结束后再安装风撑；⑨泵送压注拱肋混凝土；⑩准确计算吊杆长度，由吊杆生产厂家提供成品索，对称安设各吊杆，并对吊杆进行初步收紧；⑪安装 3#~14# 吊杆，逐根吊装中横梁，并张拉钢束 N1，同时配合临时束张拉；⑫中横梁吊装完毕，调整系梁轴线标高；⑬由 1/4 跨向拱脚和跨中对称现浇系梁湿接段混凝土，先浇筑 4#、5#、11#、12# 系梁，再浇筑 2#、3#、6#、7#、9#、10#、13#、14# 系梁，最后浇筑合拢段 1#、8#、15# 系梁，系梁施工过程中配合临时束张拉；⑭待系梁合拢段混凝土达到设计强度和弹性模量的 100% 且龄期不小于 14 天后，先张拉系梁 N1、N2 号预应力束，同时等效拆除临时束，后拆除楔形块；⑮测量系梁线形，吊杆索力，对吊杆进行第一次张拉调索；⑯拆除支架，安装桥面板、浇筑桥面板接缝及一端与中横梁的湿接头，保持另一端顺桥向可移动；⑰张拉中横梁钢束 N2；⑱张拉系梁永久束钢束 N3；⑲对各吊杆索力进行检测，对吊杆进行第二次张拉调索；⑳浇筑桥面板另一端与横梁的湿接头；㉑浇筑 10cm 砼铺装，安装防撞护栏，铺装 10cm 厚桥面沥青混凝土；㉒张拉系梁永久束钢束 N4；成桥测试并渐近调整吊杆索力。

4 有限元计算模型

使用通用三维有限元软件 Midas/Civil 对该桥进行仿真

建模分析，采用空间杆系模型。系杆、横梁、桥面板采用三维梁单元，吊杆、临时拉杆采用桁架单元。利用施工阶段联合截面模拟哑铃型钢管混凝土拱肋、梁单元模拟系梁、桁架单元模拟吊杆。全桥划分为 652 个梁单元，34 个桁架单元，539 个节点。每个节点位置的截面都按实际的结构尺寸输入。主拱肋分阶段形成荷载和刚度，按照施工方案建立了 86 个施工阶段，模拟分析全桥建设的每一个阶段。

5 系杆拱桥施工监测技术

施工监测是施工监控工作的重要部分，通过施工监测获取准确的结构参数是做好施工控制的前提，这些参数主要有如下几类：①桥梁线形，即拱肋和系梁的线形；②大气温度及拱肋、系梁的温度场；③吊杆张力；④拱肋、系梁截面应力（应变）；⑤临时拉索索力；⑥拱脚相对位移。

吊杆张拉顺序及张拉力的确定，混凝土系梁的浇筑立模标高、施工过程中受力状态等，这些因素都直接关系到成桥后整个结构的受力及形态是否达到设计的目标。对该系杆拱桥的施工过程监控，其目的及意义主要体现在以下三个方面：①拱肋和系梁内力及变形状态控制。以张拉和调整系杆索力为手段，以控制主拱座处的水平位移、拱肋变形为目标，来实现对拱肋和系梁的内力与变形控制，从而实现设计意图，保证桥梁施工的安全。②桥面线形的控制。通过调整吊杆张拉力、横梁的架设标高和桥面铺装厚度控制桥面系的线形达到设计要求。③结构应力的控制。在施工过程中，保证各主要受力构件的应力在设计范围内，保证结构施工期的安全。

拱桥施工控制应综合考虑变形、内力两个层面，对变形、应力（变）进行双控，其中以变形控制为主，严格控制挠度和拱轴线偏移，并兼顾应力（变）发展情况，实际操作是以挠度的宏观控制为主，应力微观控制为辅。

6 施工控制与监测结果分析

6.1 线形监测分析

拱肋成桥轴线偏位、竖向位移，系梁跨中测点位移见图 1。

通过实测，拱肋成桥轴线偏位、竖向位移均小于 1mm；系梁跨中测点各阶段实测偏差小于 20mm。

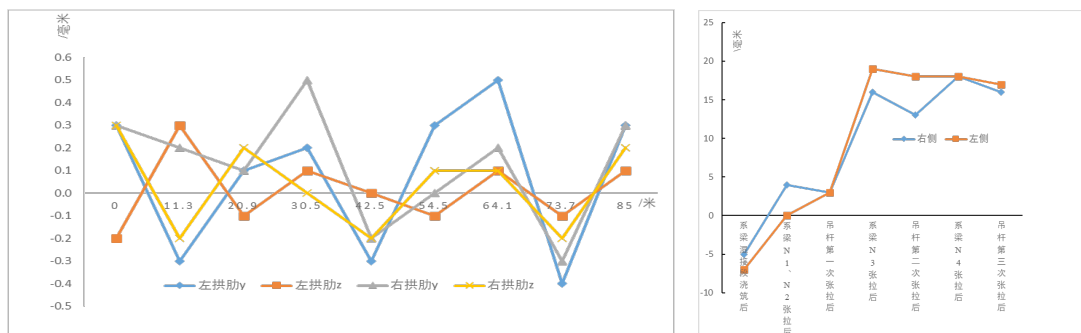


图 1 拱肋成桥轴线偏位、竖向位移，系梁跨中测点位移 (mm)

6.2 应力监测分析

左侧系梁、拱肋实测应力值与理论值基本一致如表 1、表 2 所示，且在施工监控目标限值范围内，使得施工安全得到了保障。

6.3 吊杆内力监测与控制

吊杆张拉采用对称同步原则，及相同规格的吊杆同步

张拉。对于 1#(16#)、2#(15#)吊杆，下端系梁支撑于支架上，安装吊杆时，进行预紧，预紧力为 380kN。吊杆张拉，分三次进行，为成桥后吊杆内力与目标值的对比，实测值与理论值误差在 10% 以内，接近设计要求，实现了既定的监控目标。

表 1 拱肋实测应力与理论应力对比 (单位: MPa)

测点编号	吊杆一张			吊杆二张			吊杆三张		
	实测应力	理论应力	差值	实测应力	理论应力	差值	实测应力	理论应力	差值
GL-Z-S1	-25.2	-22.3	-2.9	-29.6	-31.1	1.5	-46.4	-50.7	4.3
GL-Z-X1	-64.5	-66.4	1.9	-80	-79	-1	-83.9	-82.8	-1.1
GL-Z-S2	-40.2	-39.8	-0.4	-48.8	-49.8	1	-55.9	-60.3	4.4
GL-Z-X2	-28.4	-33.4	5	-44.2	-41.5	-2.8	-47.7	-51.4	3.7
GL-Z-S3	-4.5	-5.6	1.1	-7.4	-7.1	-0.3	-7.7	-8.1	0.4
GL-Z-X3	-9	-8.1	-0.9	-9.2	-9.7	0.5	-9.3	-9.7	0.4
GL-Z-S4	-35.1	-39.8	4.7	-47.6	-49.8	2.2	-57.1	-60.3	3.2
GL-Z-X4	-29.3	-33.4	4.1	-38	-41.5	3.5	-53.7	-51.4	-2.4
GL-Z-S5	-23.2	-22.3	-0.9	-26.1	-31.1	5	-48.8	-50.7	1.9
GL-Z-X5	-69.3	-66.4	-2.9	-80.9	-79	-1.9	-83.2	-82.8	-0.4

表 2 系梁实测应力与理论应力对比 (单位: MPa)

测点编号	吊杆一张			吊杆二张			吊杆三张		
	实测应力	理论应力	差值	实测应力	理论应力	差值	实测应力	理论应力	差值
XL-Z1-ZS	-2.9	-3.5	0.6	-5.1	-4.5	-0.6	-6.1	-6	-0.1
XL-Z1-YS	-4.9	-3.5	-1.4	-4.4	-4.5	0.1	-5.8	-6	0.2
XL-Z1-ZX	-4.4	-3.4	-1	-4.4	-4.9	0.5	-4.8	-5.5	0.7
XL-Z1-YX	-5	-3.4	-1.6	-4.6	-4.9	0.3	-4.9	-5.5	0.6
XL-Z2-ZS	-2.2	-2.8	0.6	-3.1	-3.7	0.6	-5.9	-4.9	-1
XL-Z2-YS	-1.7	-2.8	1.1	-3.5	-3.7	0.2	-6.9	-4.9	-2
XL-Z2-ZX	-3.1	-3.8	0.7	-6.1	-5.1	-1	-6.5	-5.7	-0.8
XL-Z2-YX	-4.7	-3.8	-0.9	-3.7	-5.1	1.4	-6.7	-5.7	-1
XL-Z3-ZS	-3.1	-3.5	0.4	-6.1	-4.5	-1.6	-6.2	-6	-0.2
XL-Z3-YS	-4.6	-3.5	-1.1	-3.1	-4.5	1.4	-4.8	-6	1.2
XL-Z3-ZX	-2.9	-3.4	0.5	-4.8	-4.9	0.1	-5.6	-5.5	-0.1
XL-Z3-YX	-5.4	-3.4	-2	-4.3	-4.9	0.6	-6	-5.5	-0.5

7 结语

对某高速连接线 1-88m 钢管混凝土系杆拱桥进行有限元建模研究，并在施工过程中对拱肋、系梁线形、应力、吊杆内力的监测与控制，最后将模型理论值和现场实测值进行对比，最终成桥状态实现了设计意图满足现行规范要求，主要结论如下。

①成桥状态下拱肋轴线偏位、竖向位移均小于 1mm；系梁跨中测点各阶段实测偏差小于 20mm，全桥线形控制良好。

②拱肋、系梁成桥状态下截面应力在施工监控目标限值范围内，使得施工安全得到了保障。

③成桥的吊杆力，实测值与理论值误差在 10% 以内，接近设计要求，实现了既定的监控目标。

参考文献

- [1] 陈晓坚. 跨海地铁盾构隧道管片结构受力分析[J]. 南昌航空大学学报(自然科学版), 2014, 28(4): 67-71.
- [2] 张金龙, 苟长飞, 叶飞. 大断面跨海盾构隧道结构设计与参数分析[J]. 现代隧道技术, 2020, 57(2): 61-67.
- [3] 秦晗, 宋郁民. 先拱后梁法系杆拱桥的关键施工控制技术研究[J]. 建设科技, 2023(2): 35-38.
- [4] 何志超, 王虎. 城际铁路先梁后拱法系杆拱桥施工监控技术研究[J]. 铁道勘察, 2022, 48(1): 71-74+100.