

钢管混凝土拱桥吊装过程拱肋线形影响因素分析

陆 勇

(重庆交通大学, 重庆 400074)

【摘要】用缆索吊装斜拉扣挂法施工的钢管混凝土拱桥是一种预制拼装自架设结构。在拱肋吊装阶段最为关键的就是拱肋吊装时的线形控制。通过分析拱肋在吊装阶段由于实际吊装温度与设计温度不一致导致的系统温差、扣塔偏位、拱上临时荷载对拱肋控制线形的影响,并且提出系统温差在吊装过程中的修正方法。研究表明控制和减小扣塔偏位和拱上临时荷载,可减小吊装节段对拱肋控制线形的影响,提高拱肋吊装的吊装精度。

【关键词】钢管混凝土拱桥;控制线形;系统温差;扣塔偏位;临时荷载;影响因素

【中图分类号】U445.4;U448.22 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1673-1891(2015)03-0024-04

DOI:10.16104/j.cnki.xccxb.2015.03.008

前言

钢管混凝土拱桥以其强度高、造价低、架设轻便、造型优美等一系列优点,近年在我国得到快速的发展。目前大跨度钢管混凝土拱桥,通常采用无支架缆索吊装斜拉扣挂法施工^[1]。在施工过程中,最为关键的就是拱肋吊装时的线形控制^[2-3]。拱肋吊装过程线形受吊装时拱肋安装精度、吊装过程中的温度^[4]、扣塔偏位^[5]、扣索松弛、拱上临时荷载等因素的相互影响。由于各因素相互影响,进行整体的影响分析较为困难,难以得到理想的结果;而且钢管混凝土拱桥在施工时采用预制切线拼装,在吊装过程中较小的误差将导致后期线形的较大变化。而进行各因素影响的独立分析,减小各影响因素对拱肋施工时线形的影响较为简单方便,同时也可以提高拱肋施工时的吊装精度。

1 拱肋吊装控制线形

对于钢管拱混凝土拱桥在施工过程中存在三种线形^[2-3]:理想成拱线形、制造线形和控制线形。制造线形是指采用预制拼装方法施工的结构在制造过程中无应力状态下的线形,一般是在设计线形上加上预拱度后得到的,以此作为制造的标准。理想成拱线形,就是指一次成拱时的裸拱计算拱轴线,即:理想成拱线形=制造线形(设计线形+预拱度)—空钢管无铰拱自重(一次成拱)挠度曲线。控制线形是指在施工各阶段,已施工节段各点之间连接而成的几何形状,这是一个动态线形,其最终目标是达到成拱线形。而由于在拱肋吊装过程中实际温度与设计温度的不同,吊装过程中的误差,在拱肋合拢后拆除扣索,由于扣索引起的弹性变形恢复的影响,需要在各施工阶段对各节段标高进行修正。据此可以得出在各节段合理的控制标高^[2-3]计

算如下:

$$y_j = y_z - y_g + y_s + y_t + y_\delta \quad (1)$$

式中: y_j —为节段的安装线形标高,m;

y_z —为制作拱轴线标高,m;

y_g —为自重扰度值标高,m;

y_s —为拆除扣索,索力反力扰度值标高,m;

y_t —为拱肋安装过程中的温度引起的扰度值标高,m;

y_δ —为拱肋安装过程中考虑施工误差的安装修正值标高,m;

2 工程概况

浙江乌溪江大桥为在建上乘式钢管混凝土拱桥,设计标准采用二级公路双向双车道的技术标准,设计速度为60 km/h。主拱计算跨径为260 m,矢跨比采用1/4.7,主拱矢高为55.319 m。拱轴线采用悬链线,拱轴系数为1.756。主拱在两岸采用斜拉扣挂体系进行节段拼装,每根拱肋分为17个节段预制吊装,全桥共34个节段。每半跨拱肋有8个节段,跨中为合拢段。两岸从拱脚对称进行节段吊装,最后进行合拢段吊装,扣挂系统布置图如图1所示。

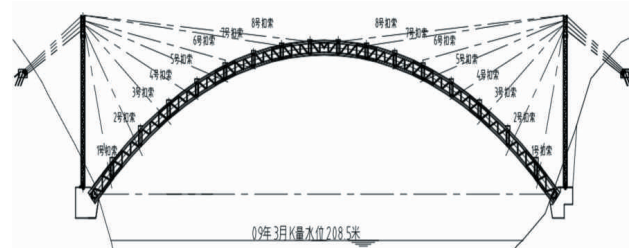


图1 乌溪江大桥扣挂系统布置图

3 拱肋吊装过程线形影响分析

为了分析吊装过程中,由于实际温度与设计温度的不同导致的系统温差引起的控制标高的变化,

收稿日期:2015-06-11

作者简介:陆勇(1991-),男,硕士研究生,研究方向:为大跨径桥梁设计理论。

以及扣塔偏位和拱上施工用的临时荷载对拱肋控制线形的影响,采用大型有限元通用软件 Midas/Civil 对乌溪江大桥进行建模计算分析。计算模型共建立 3106 个节点、128 个只受拉桁架单元及 5288 个梁单元,其中扣索及锚索采用只受拉桁架单元模拟,其余采用梁单元模拟,计算模型见图 2 所示。

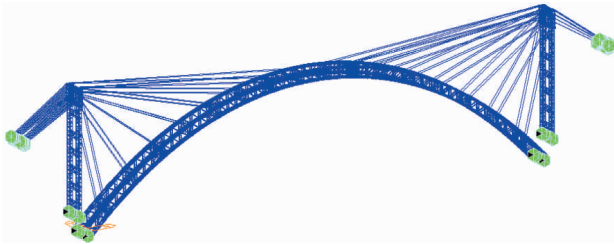


图2 有限元计算模型

3.1 吊装过程实际温度影响

温度变化对钢管混凝土拱桥的受力与变形有较大的影响。特别是在拱肋吊装阶段不均匀温度场、日照温差和系统温差,都将对拱肋吊装阶段拱肋控制线形有较大的影响。不均匀温度场和日照温差的影响,可以通过选择控制吊装时间段的选取来规避,吊装时选择早晨或者傍晚温度较为稳定的时间段,且无日照,这样就能最大程度减小不均匀温度场和日照温差带来的影响。而系统温差是由于吊装时的温度与设计合拢温度存在差异导致的,在每个吊装阶段由于系统温差的影响,将导致节段吊装控制标高的变化^[4]。同时由于拱肋采用预制切线拼装进行施工,在吊装过程中前面节段较小的误差,将导致后期线形的较大误差,如果仍以理论安装标高控制拱肋的线形,则将导致拱肋控制线形的偏差。

在拱肋吊装阶段,结构处于线弹性范围,在同一个阶段结构几何体系相同,系统温差影响呈线性关系。所以下面计算乌溪江大桥每个吊装节段由于系统温差 -10° 对拱肋节段控制点标高和里程的影响,见表1。

表1 拱肋吊装各阶段系统温度影响值/mm

施工节段编号	控制点标高变化值/mm	控制点里程变化值/mm
吊装节段1	-0.15	-2.95
吊装节段2	-1.30	-4.83
吊装节段3	-2.21	-6.81
吊装节段4	-2.88	-8.82
吊装节段5	-3.46	-10.73
吊装节段6	-3.90	-12.61
吊装节段7	-4.25	-14.44
吊装节段8	-4.30	-16.30

从上述分析结果可以看出,系统温差对拱肋控

制点高程和里程的影响,随着悬臂长度的增加(吊装节段的增加),影响增大,特别是对里程的影响。而在同一阶段,由于结构处于线弹性,系统温差呈线性关系,随着系统温差的增大,影响也随之增大。所以系统温差的影响应在实际吊装过程中进行修正。

结构的安装高程是以结构的设计温度时的设计线形为基准的,因此需要根据设计温度对拱肋的安装标高进行修正。系统温度修正方法如下:

(1)确定一个设计温度 T 。

(2)以每个吊装阶段为计算修正工况,计算降温 10° 或者升温 10° 各吊装阶段对应的节段控制点标高变化量 ΔZ 和里程的变化量 ΔX 。

(3)现场对拱肋进行精确定位时的温度 T_1 。则系统温差 $\Delta T = T_1 - T$ 。

(4)根据实际系统温差,节段控制点标高修正量 $\Delta y_t = \frac{\Delta Z}{10} \times \Delta T = \frac{\Delta Z}{10} \times (T_1 - T)$,里程修正量 $\Delta x_t = \frac{\Delta X}{10} \times \Delta T = \frac{\Delta X}{10} \times (T_1 - T)$ 。其中计算时若选取降温 10° 计算系统温差 ΔT 为负时,修正量取正号,反之取负号。选取升温 10° 时正负取值和降温 10° 方法相同。

(5)实际监控指令控制点标高 $y = y_L - \Delta y_t$,控制点里程 $x = x_L - x_t$ 。其中 y_L 和 x_L 为理论计算标高和理论计算里程。

3.2 吊装过程中扣塔偏位影响

钢管混凝土拱桥在拱肋吊装阶段,拱脚处于铰接状态,拱肋在扣索的作用下结构为多点弹性支撑的超静定结构。在拱肋的吊装阶段,由于扣索和背索会存在不平衡的水平分力,这部分水平分力将会由扣塔承担,此外为了减小扣塔不利的内力,扣塔塔脚通常设置为铰接,此时扣塔在这部分水平分力的作用下会产生一定的偏位。由于扣塔的偏位将导致拱肋控制线形的变化^[5]。

在吊装阶段,结构处于线弹性范围,在同一吊装阶段,塔偏的影响呈线性变化。所以下面对乌溪江大桥在每个吊装阶段对应扣塔向江心偏1 cm对节段控制点标高的影响分析,见表2。

表2 拱肋吊装各阶段塔偏影响值/mm

施工节段编号	控制点里程变化值/mm	控制点标高变化值/mm
吊装节段1	1.93	-1.65
吊装节段2	3.01	-3.26
吊装节段3	5.56	-6.81
吊装节段4	5.64	-7.67
吊装节段5	5.97	-8.77

吊装节段6	6.01	-9.91
吊装节段7	6.11	-11.11
吊装节段8	6.43	-13.08

从上述分析结果可知,扣塔偏位对拱肋节段控制点里程和标高影响随着悬臂长度的增加影响也随之增大。而在第五节段后对标高影响达到 1 cm,如果在吊装阶段不对扣塔偏位进行控制,将对拱肋的控制线形造成较大的影响。

所以在拱肋吊装过程中应进行扣塔偏位的控制。可以通过以下方法控制吊装过程中的塔偏:

(1)理论计算阶段将扣塔同时考虑进入理论模型计算当中,在拱肋控制线形达到计算要求同时,保证扣塔偏位较小。这时可以计算出同时满足拱肋控制线形和扣塔偏位的扣索和背索索力。

(2)按照第一步计算出的扣索和背索索力进行实际现场拱肋吊装的控制,在吊装过程中严格控制扣索和背索张拉的同步性,减小在张拉过程中造成的扣索和背索的不平衡水平分力。

(3)在扣塔安装时调节扣塔的浪风索,保证此时扣塔安装竖直,使浪风索有一定的初张力,增大扣塔在吊装过程中的稳定性。

3.3 吊装过程中拱上临时荷载影响

在桥梁施工中,由于场地和环境的限制,大多施工所用的施工机械、材料和设备都存放于已建成的结构上。在钢管混凝土拱桥吊装阶段,用于拱肋的焊接设备、材料和氧气瓶等施工临时用设备都存放于已吊装的节段上。钢管混凝土拱桥在吊装阶段主要由扣索和扣塔承担荷载,结构的刚度较小,对荷载较为敏感。过多的临时荷载将会对拱肋的控制线形和扣索索力造成影响。而当临时荷载位置越接近拱肋的节段端头影响越大。下面对乌溪江大桥在吊装阶段,在已吊装拱肋节段端头施加 2 t 的临时荷载,分析各吊装阶段临时荷载对拱肋控制线形和扣索索力的影响分析,见表 3 与表 4。

表 3 拱肋吊装各阶段临时荷载影响值/mm

施工节段编号	控制点里程变化值/mm	控制点标高变化值/mm
吊装节段 1	2.19	-1.88
吊装节段 2	2.43	-2.63
吊装节段 3	2.22	-2.76
吊装节段 4	2.41	-3.45
吊装节段 5	2.56	-4.30
吊装节段 6	2.57	-5.27
吊装节段 7	2.39	-6.36
吊装节段 8	2.34	-8.76

表 4 拱肋吊装各阶段临时荷载扣索影响值/t

施工节段编号	扣索编号	理论计算索力/t	索力变化值/t	百分比/%
吊装节段 1	扣索 1	8.95	0.20	2.3%
吊装节段 2	扣索 2	16.08	0.29	1.8%
吊装节段 3	扣索 3	17.16	0.23	1.4%
吊装节段 4	扣索 4	25.03	0.20	0.8%
吊装节段 5	扣索 5	32.05	0.22	0.7%
吊装节段 6	扣索 6	37.17	0.27	0.7%
吊装节段 7	扣索 7	40.78	0.32	0.8%
吊装节段 8	扣索 8	44.67	0.29	0.6%

从上述分析结果可知,在第八节段(最大悬臂状态)对标高影响接近 1 cm,临时荷载对拱肋节段控制点标高影响,随着悬臂长度的增加影响也随之增大。而在拱肋吊装阶段结构处于线弹性,临时荷载的影响会随着临时荷载的增加而增大。同时临时荷载对扣索索力和拱肋里程的影响较小,索力影响均小于 5%。临时荷载对拱肋控制线形的影响较为明显。

而在实际施工过程中,拱肋上堆放的临时荷载实际情况是有限的,临时荷载可以进行人为的控制的。所以拱肋上临时荷载对扣索索力的变化和拱肋里程的变化,是可以忽略不计的,而拱肋上临时荷载对拱肋线形的影响,可以在吊装前对需要存放拱肋上的临时荷载进行一个统计,然后对其影响直接进行拱肋控制点标高的修正。临时荷载对拱肋控制点标高的影响修正如下:

(1)统计将要存放于拱肋上的临时荷载 G。

(2)以每个吊装阶段为计算修正工况,计算临时荷载 1t 对应的节段控制点标高变化量 ΔZ 。

(3)根据实际临时荷载控制点标高修正量

$$\Delta y_g = \frac{\Delta Z}{1} \times g。$$

(4)实际监控指令控制点标高 $y = y_L + \Delta y_g$ 。其中 y_L 为理论计算标高。

4 结论

钢管混凝土拱桥在吊装过程中采用预制切线拼装的方法,前面节段较小的误差将对后面节段和拱肋线形造成明显的影响。而对吊装过程中各影响因数进行独立的分析,修正各影响因数对拱肋吊装控制线形的影响较为简单和方便。而在拱肋吊装过程中,拱肋的线形控制主要是通过拱肋控制点的标高和里程进行拱肋的精确定位,而对于系统温差和临时荷载的影响修正,直接在拱肋控制点的标高和里程进行修正。这样可以最大程度的修正和减小各影响因数对拱肋吊装线形的影响,提高拱肋的吊装精度。

注释及参考文献:

- [1]周水兴.浙江三门健跳大桥拱肋安装与施工控制计算[J].重庆交通学院学报,2002(2):1-5.
- [2]郝聂冰,张雪松,唐鹏胜,等.大跨径钢管混凝土拱桥吊装线形控制方法研究[J].中外公路,2013(3):131-134.
- [3]姚昌荣,李亚东.钢管混凝土拱桥线形控制技术[J].公路交通科技,2006(10):65-69.
- [4]杜红田,张明中.钢管混凝土拱桥拱肋吊装过程中温度变化对拱肋线形的影响[J].铁道标准设计,2008(3):91-93.
- [5]邓江明.缆索吊装扣塔偏位对拱肋高程影响的几何分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2009(3):505-507.

Analysis on the Influence Factors of Arch Rib Alignment in Concrete Filled Steel Tube Arch Bridge during Hoisting Process

LU Yong

(Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)

Abstract: The concrete filled steel tube arch bridge that applies cable hoisting cable hanging method to construct is a kind of self-erection structure of precast structure. During the phase of hoisting process, the most pivotal thing is the line form control. By analyzing the influence of system temperature, buckle tower deviation and temporary load on arch on arch rib line form control caused by the inconsistency between actual hoisting temperature and design temperature during the phase of hoisting process; and puts forward the correction method of system temperature difference during the phase of hoisting process. The research shows that controlling and reducing the buckle tower deviation and temporary load on arch can reduce the influence on arch rib line form control during the phase of hoisting process and then enhance the hoisting precision.

Key words: concrete filled steel tube arch bridge; control line form; system temperature difference; buckle tower deviation; temporary load; influence factor