

吊钟岩大桥主拱劲性钢管骨架转体施工技术

陈金城

(上海铁路局 赣龙线工程建设指挥部,福建 龙岩 364000)

摘要:吊钟岩大桥主跨为跨度 140 m 上承式拱桥,拱肋为劲性钢管骨架混凝土箱形结构。文章重点介绍钢管骨架转体施工中的施工控制计算模型、转体施工技术要点及施工应力、位移的监测情况。

关键词:钢—混凝土拱桥 钢管骨架 转体施工 施工监控

中图分类号:U445.465 **文献标识码:**B **文章编号:**1003-1995(2004)08-0003-03

1 工程概况

吊钟岩特大桥是赣龙铁路重点控制工程之一,主桥采用跨度 140 m 上承式劲性钢管骨架混凝土提篮拱,为铁路首例大跨度劲性骨架拱桥。桥高 79 m,变高箱形截面拱肋,拱顶截面高 3.2 m,宽 2.2 m,拱脚截面高 4.8 m,宽 2.2 m,拱顶 8 m 段为单箱三室截面,其余部分为两个分离箱形截面。矢高为 31.275 m,矢跨比为 1/5,拱轴线为悬链线,拱轴系数 $m = 1.756$ 。拱上结构设计为 4 联 3×13 m 的钢筋混凝土连续箱形梁。拱桥立面如图 1 所示。

该桥跨越 319 国道及南水河,由于受到地形地质条件的限制,劲性钢管骨架采用转体法施工。与原设计缆索吊装施工相比,全桥分两段一次合龙,减少了吊装作业量,施工设备相对较少,施工安全。本文重点介绍转体法施工技术与过程控制。

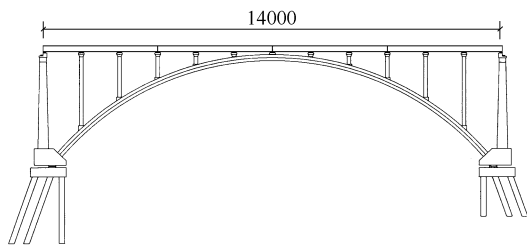


图 1 吊钟岩特大桥 1-140 m 拱桥总体布置图(单位:cm)

2 施工控制计算模型简介

在大跨度桥梁结构施工控制中,现阶段的结构计算方法主要有正装分析法、倒装分析法和无应力状态分析法。对于吊钟岩特大桥我们采用正装法按照实际施工加载顺序来进行结构变形和受力分析,以期较好地模拟桥梁结构的实际施工过程,得到各个施工阶段的位移和受力状态,为施工控制提供依据。实际分析中采用 ANSYS 有限元分析软件进行静力特性分析。

2.1 空间力学模型简化分析

2.1.1 桁式拱圈模拟

在吊钟岩特大桥空间模型中,上下桁片均简化为空间梁单元,钢管混凝土作为组合结构分别按钢和混凝土构件进行截面特性计算、叠加。桁片梁单元采用钢材的弹性模量,其等效面积与在单元坐标下的两个方向的等效惯性矩采用公式(1)至(3)计算,材料密度采用公式(4)计算。

$$A = A_s + nA_c \quad (1)$$

$$I_x = I_{xs} + nI_{xc} \quad (2)$$

$$I_y = I_{ys} + nI_{yc} \quad (3)$$

$$\rho = \rho_s A_s + \rho_c A_c \quad (4)$$

式中, A 、 I_x 、 I_y 、分别表示面积、惯性矩和密度,带下标 s 、 c 分别表示钢和混凝土的对应值, n 表示混凝土与钢的弹性模量之比。

2.1.2 横撑及立柱的模拟

横撑为空腹板钢管桁,采用空间梁单元模拟,横撑各钢管相互交接点均为理想轴线交点,为了模拟桁片的梁单元厚度,在桁片梁单元与横撑梁单元之间增加了轻度钢臂连接单元。混凝土立柱采用空间梁单元模拟,上下端分别与桥面横梁和拱圈上桁片相连接。

2.1.3 边界条件的处理

在两端拱脚处,视为刚结,约束全部自由度。

2.2 正装法计算中的两个问题

2.2.1 几何非线性

大跨度桥梁的几何非线性问题属于大位移小应变问题,这种位移不仅改变了荷载相对于该节点相连接的杆件的作用方向,而且改变了荷载对结构上其它点产生的弯矩。如果位移量大,就会严重影响荷载对结构的作用效应。实际分析中,其非线性方程采用增量法求其近似解,即每个荷载增量作用过程中假定结构的刚度不变,在任意荷载增量区间节点位移和杆端力都是由区间起点处的结构刚度算出,然后利用求得的

节点位移和杆端力求出相对于增量区间终点变形后的位置上的结构刚度,作为下一个荷载增量的起点刚度。荷载增量区间终点处的节点位移为起点处位移与位移增量之和,结构的几何状态在每个荷载增量后采用残余力准则和位移准则相结合进行调整。

2.2.2 混凝土收缩、徐变问题

在桥梁施工过程中,由于混凝土的加载龄期短,故徐变、收缩影响较大。目前计算方法都是建立在线性徐变条件下的。吊钟岩特大桥收缩徐变按龄期调整有效模量分析。

3 转体法施工技术要点

3.1 钢管骨架的加工、拼装及调整

骨架加工、拼装需选好两块场地,平行作业。加工场地要能容纳 1/2 骨架 1:1 大样,拼装场地尽量利用地形减少开挖量。骨架加工用弯管机弯制,按吊装分段长度进行钢管接长。放样采用极坐标法,并用直角坐标法复核,量测要考虑温度的影响,焊缝采用超声波与 X 射线检测。

半拱立拼沿轴线共划分为 11 段,吊装次序为逐段进行,每段内先吊装最远一片,就位后依靠拱胎临时稳定。拱胎开挖标高要低于拱肋下弦高度 1~2 m,采用碗扣式可调节钢管脚手做支撑,便于拱肋线形控制。在整个骨架的加工及拼装过程中,各杆件、节点板焊接采用先点后焊、交叉、对称施焊的方法,并利用内撑外拉辅助工具的调整来消除焊接变形,保证各部位加工尺寸的准确性。

3.2 牵引驱动体系

转动系统由上下转盘、转动轴心、主拱墩、劲性钢管骨架、背扣索、保险腿及环形滑道组成,转体方式采用平转。施工时采用有平衡重转体施工,转体角度分别为龙岩台 81°(见图 2)和赣州台 180°(见图 3),转体总重量为 30 120 kN。转体结构是在承台预埋角钢上,将事先焊接在一起的钢垫板和轴心套安装就位,通过焊在定位角钢上的竖向调整螺栓进行调平并焊接固定,其误差控制在 3 mm 以内,之后回填混凝土,待强度达 30%,以三角拨杆配合、依次主要进行如下安装:

铺设一层 20 mm 厚普通橡胶垫层; 安装一层 26 mm 厚双面抛光的不锈钢板,其光洁度加工至 7,平整度在 1 mm 以内; 铺设一层 3 mm 厚的聚四氟乙烯圆形板; 安装一层 26 mm 厚单面抛光的不锈钢板,光洁度至 7,平整度在 1 mm 以内; 安装钢轴,将事先焊接在一起的 20 mm 厚 A3 钢垫板与轴心套管安装就位,平整度 3 mm 以内; 铺设上转盘底模(包括轴心及保险腿模板)并在钢板外侧灌筑沥清砂胶(作为封闭

措施)以防潮气进入及砂浆流入。该封闭在试转时清除。在保险腿外侧的弧形钢板下应加垫小块钢板,以保证与环道的间隙; 灌筑第一次上转盘混凝土、灌筑高度在劲性钢骨架预埋套管以下 20 cm,目的是预埋钢骨架套管的定位角钢及主拱墩预埋件。

转动牵引按 2 对力矩设计,布置要对称(见图 4)。启动力矩按下式计算,最大静摩擦阻力矩为 1 350 kN·m。

$$M = \int_D dR \cdot u \cdot R^2 d$$

$$= Q/A$$

式中 Q 为转动重量; A 为转动中心面积; u 为摩擦系数,静摩擦系数取 0.055,滑动摩擦系数取 0.035。



图 2 龙岩台转体



图 3 赣州台转体

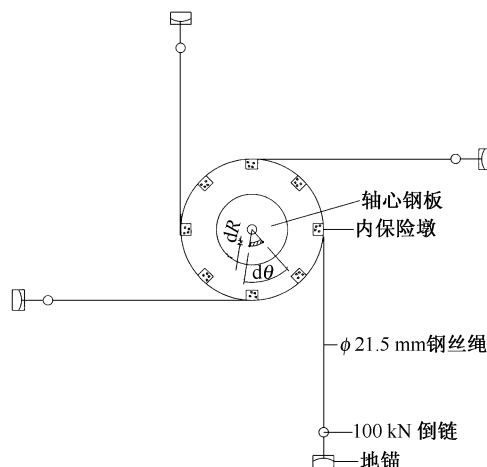


图 4 牵引驱动系统布置

3.3 背扣索及张拉脱架

安装背、扣索主要解决无平衡配重时肋拱的脱架和转体问题。背、扣索要根据钢骨架的实际荷载,计算出脱架力,张拉采用应力与伸长量双控。经计算扣索总拉力2 110 kN,考虑钢丝绳做扣索操作繁琐,所以每半跨扣索选用6束 $\phi 15.24$ mm的钢绞线,每束3根共18根。自拱顶至塔顶呈水平布置,每根平均张拉应力为754 MPa,分三级张拉到位。

转动前骨架必需脱架静置,同时仔细检查钢管杆件焊缝有无裂纹;检查背、扣索点有无位移,钢绞线、夹片有无滑丝;检查转盘撑脚、橡胶、四氟板的变形情况等,根据检查情况采取措施加强。

3.4 钢管骨架合龙

转速控制在拱顶线速度1 m/min以内,临近合龙时,逐渐放慢至30 cm/min。转动到位后进一步校准钢骨架轴线,量测结构内力,确认主拱处于安全状态。选定合龙时间(一天最低气温时刻,由事先实测确定)。考虑实际合龙温度与设计合龙温度差的影响,推算出相应合龙温度的标高调整值,将拱肋拱顶对称缓慢调升至设计标高。根据设计工艺焊接拱顶合龙段钢管,完成钢骨架合龙。

4 施工应力及位移测量

4.1 测量方法

应力监测元件采用国产ZX-2107表面贴式应变计。施工应力控制截面为拱脚、1/4拱、拱顶。分别在上、下游两拱肋上述截面钢管上、下缘粘贴4只表面贴式应变计,来量测各施工阶段的应力变化。

位移测量根据地形在龙岩侧建立控制点,在应力控制截面位置上设置测点,建立量测控制网。测量时将反射镜安装在各控制点位置,采用全站仪测量其水平角、竖直角及水平距离,进而计算出各控制点坐标。

4.2 施工监测数据

监控数据变化与计算分析仅给出合龙后灌筑钢管内混凝土四种工况数据,见表1、表2。

以上两表数据均为测量工况前后变化差值,而非其累计变化值。高程以向上为正,向下为负;应力值负值表示受压,正值表示受拉。从表中可以看出,各工况高程、应力实测值与计算值总体基本一致。个别实测值数据与理论计算数据存在一定差异,与灌筑混凝土时振动有关。拱肋实际加载与设计相符,拱圈结构施工内力和变形处于容许安全范围内。

5 结语

本桥骨架转体于2003年8月16日顺利合龙。实

表1 各工况测点高程变化表 cm

工况	测点位置	赣侧拱脚	赣侧L/4	拱顶	龙侧L/4	龙侧拱脚
灌筑外侧下弦管混凝土	实测值		-0.8	-1.1	0.0	-0.1
	计算值	0.0	-0.4	-0.8	-0.4	0.0
灌筑外侧上弦管混凝土	实测值	0.0	-1.0	-0.7	0.3	
	计算值	0.0	-0.3	-0.6	-0.3	0.0
灌筑内侧下弦管混凝土	实测值	-0.2	-0.6	-1.7	-1.1	-0.4
	计算值	0.0	-0.1	-0.4	-0.1	0.0
灌筑内侧上弦管混凝土	实测值	0.1	-0.2	-0.1	0.7	0.1
	计算值	0.0	-0.3	0.0	-0.3	0.0

表2 各工况测点应力变化表 MPa

工况	测点位置	赣侧拱脚	赣侧L/4	拱顶	龙侧L/4	龙侧拱脚
灌筑外侧下弦管混凝土	实测值	-37.8	-27.3	-92.4	-21.0	-70.4
	计算值	-79.7	-113.8	-62.2	-113.8	-79.7
灌筑外侧上弦管混凝土	实测值	-39.9	-54.6	-52.5	-21.0	
	计算值	-53.9	-70.1	-39.3	-70.1	-8.4
灌筑内侧下弦管混凝土	实测值	-70.4	-29.4	65.1	-37.8	-50.4
	计算值	-44.2	-32.7	20.1	-32.7	-44.2
灌筑内侧上弦管混凝土	实测值	-12.6			-79.8	-39.9
	计算值	-13.2	-23.5	-22.6	-23.5	-13.2

注:表中应力均为拱肋下缘外测应力值。

践表明在类似地形条件下采用转体施工方案具有以下两项突出优点: 由于将大量的高空作业转化为地面作业,所以安全可靠,施工精度高; 施工作业面多,特别是骨架立拼与拱墩可平行作业,大大加快了施工进度。吊钟岩特大桥的成功合龙为铁路大跨度劲性骨架转体施工积累了经验。

参 考 文 献

[1]张联燕,陈懋方等. 桥梁转体施工[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
[2]龙志飞. 有限元法新论[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.
[3]徐君兰. 大跨度桥梁施工控制[M]. 北京:人民交通出版社,2000.

收稿日期:2004-03-28

(责任编辑 孟庆伶)