

钢管砼拱桥拱肋塔吊安装方案优化分析

唐成^{1,2}, 黄海珊^{1,2}, 陈泽^{1,2}, 余鹏^{1,2}

(1.长沙理工大学 土木与建筑学院, 湖南 长沙 410004;

2.桥梁工程安全控制省部共建教育部重点实验室, 湖南 长沙 410004)

摘要:以建成完工的叙古(叙永—古蔺)高速公路磨刀溪大跨径钢管砼劲性骨架拱桥为研究对象,采用 MIDAS/Civil 2013 建立拱肋梁—板单元有限元模型,采用施工阶段联合截面方法模拟外包砼的承载和荷载效应,由塔吊安装在拱肋上以方便拱上立柱施工;探讨在塔吊提前进场,即在第一环外包砼完成后浇筑第二环外包砼的过程中提前安装塔吊的变更方案对当前劲性骨架拱肋强度、刚度及稳定性的影响,结合该方案对施工工期的优化探讨方案的可行性。结果表明,在浇筑第二环外包砼时同步、对称安装塔吊,结构的受力稳定,安全能得到保证,且能节省工期。

关键词:桥梁;钢管砼拱桥;施工方案;塔吊施工;优化分析

中图分类号:U443.38

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2017)01-0157-04

钢管砼拱桥具有施工便捷、易于控制、充分利用材料性能的优良特点。其劲性骨架为型钢与钢管砼组成的桁架结构,钢管弦杆通过横联角钢和竖向米字形角钢连接构成型钢—钢管砼桁架,在拱肋横联对应位置设置交叉撑加强横向连接;再在钢管内灌注砼,然后利用挂篮架设模板浇筑外包砼。这种施工方式具有工期短、施工简便、便于控制的特点。

塔吊安装为拱上立柱施工提供必要的支持。而外包砼施工是钢管砼劲性骨架拱桥建设中最重要的一环之一,在外包砼施工过程中,结构强度、刚度及稳定性会随着施工的进行发生变化,施工中必须加以考虑。塔吊安装能否提前进场,其判定依据为该方案对结构产生的影响。该文采用 MIDAS/Civil 计算叙古(叙永—古蔺)高速公路磨刀溪特大桥原设计方案和塔吊在第一环砼浇筑完毕后提前进场安装方案对结构强度、刚度和稳定性的影响,对比两方案的优劣。

1 工程简介

磨刀溪特大桥为钢管砼劲性骨架拱肋上承式箱形拱桥,净跨径 $L_0=266$ m,净矢跨比 $F_0/L_0=3.7$ 。主桥主拱圈采用劲性骨架外包 C50 自密实砼成拱,采用拱轴系数 $m=2.2$ 的等高截面悬链线无铰拱。拱圈分左、右两拱肋,两肋间以横联连接,每肋为单箱双室截面,横向采用外形等宽 7.6 m,纵向采用外形等高 4.4 m,标准段顶、底板厚 0.35 m,腹板厚

0.3 m。拱圈拱脚至第一根立柱间为变厚段,顶、底板砼厚度由 0.65 m 线性变化至 0.35 m,边腹板厚度则由 0.5 m 线性变化至 0.3 m。主拱圈水平设置,桥梁 0.5% 的纵坡由拱上构造形成。

劲性骨架为型钢与钢管砼组成的桁架结构,每肋上、下各 2 根 $\phi 402 \times 16/14$ mm、内灌 C100 砼的钢管砼弦杆;弦杆通过横联角钢和竖向米字形角钢连接构成型钢—钢管砼桁架,在拱肋横联对应位置设交叉撑加强横向连接。米字形腹杆及平联与弦杆均采用焊接连接。

拱肋桁片按左、右幅设置,左、右幅拱肋间设置 3 道横撑。单幅拱肋桁片高 4.2 m,宽 7.3 m。拱肋上下弦之间设置型钢组合而成的腹杆,同平面弦杆之间采用型钢组合而成的平联杆连接。腹杆及平联与弦杆均采用焊接连接。拱肋弦长 320 m,拱肋沿桥跨中线对称,单侧划分为 1 个预埋节段、9 个扣挂节段(4 个临时扣挂节段及 5 个正式扣挂节段),设置一个跨中合龙段。

拱圈浇筑总体按两环进行:第一环浇筑底板和两外腹板砼;第二环浇筑中腹板和顶板砼。施工时满足“对称、同步”的总体要求(见图 1、图 2)。

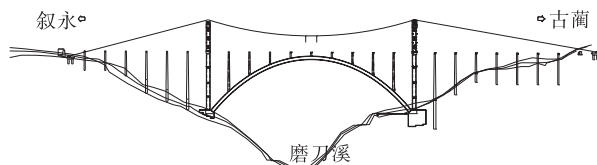


图 1 拱上立柱施工简图

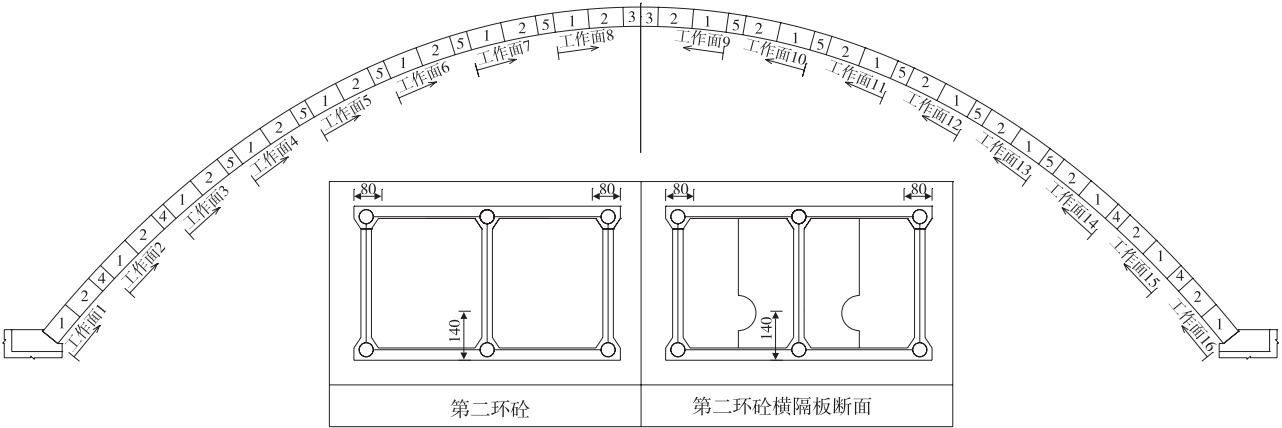


图 2 第二环外包砼施工流程(单位:m)

2 塔吊提前进场安装方案

为了提高施工效率,加快施工进度,节约工期,拟采用塔吊提前进场,即在浇筑第二环外包砼的过

程中在 2[#]、8[#] 立柱位置附近安装塔吊的方案。塔吊采用 QTZ630(5012/5013)式塔式起重机,塔吊基础见图 3,所用钢筋规格及数量见表 1,塔吊的相关技术参数见表 2。

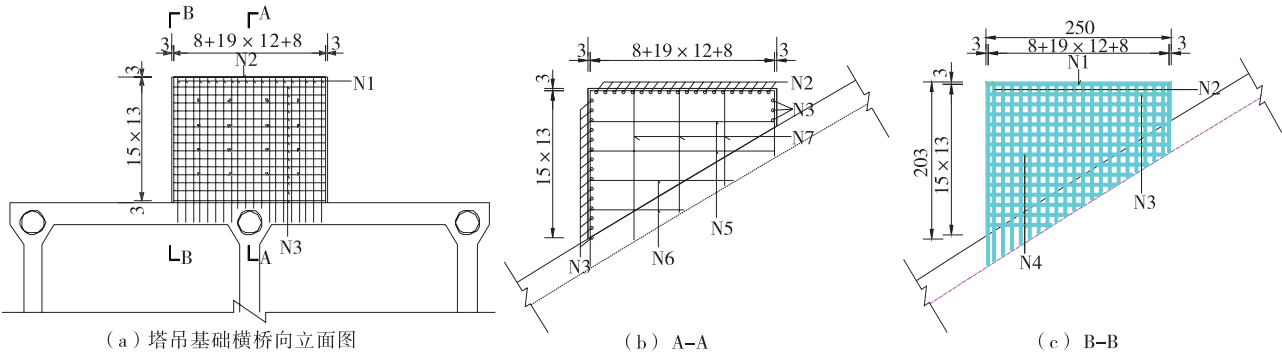


图 3 塔吊基础示意图(单位:cm)

表 1 塔吊基础所用钢筋规格及数量

编号	规格	数量/根	编号	规格	数量/根
N1	φ16	20	N5	φ12	8
N2	φ16	20	N6	φ12	8
N3	φ12	30	N7	φ12	12
N4	φ12	16			

表 2 塔吊的相关参数

参数名称	工作状态参数	非工作状态参数
轴压力/kN	400	340
水平力/kN	27	87
变矩/(kN·m)	825	1 200
水平扭矩/(kN·m)	146	171
风荷载风压系数/Pa	250	1 100

塔吊施工过程中,结构承受的荷载有所变化,为保证结构的安全,需对其承载能力和稳定性安全系数重新进行计算和校核。

3 结构强度及位移影响因素分析

3.1 结构计算模型的建立

(1) 结构自重。该施工阶段为骨架自重和到龄期砼自重(MIDAS 中按自重考虑)。

(2) 荷载工况。在塔吊变更过程中,为简便起见,采用静力荷载等效,整体上分为两种工况:工况一为塔吊非工作状态,工况二为塔吊工作状态。相关工况下参数的选取见表 2。结构采用线性均布荷载布置。

(3) 最不利荷载工况的确定。在第二环砼施工过程中,为便于计算,在第二环外包砼未合龙前偏于保守地采用相应的砼湿重荷载等效,而不考虑在第二环外包砼中已浇筑凝固的砼阶段对结构产生的有利于结构受力的联合作用,因而塔吊施工过程中的最不利工况为第二环砼浇筑完毕而未凝固的阶段,该阶段中第二环砼均采用相应的砼湿重模拟,即第二环砼均采用湿重加载在结构上,此时即为塔吊工作状态和非工作状态下的最不利荷载工况。分别在该工况下模拟塔吊的工作状态和非工作状态,便可得到对结构的最大影响情况。

(4) 建模概况。采用 MIDAS/Civil 分析主拱圈第二环外包砼施工过程中塔吊安装对结构的影响,进行结构承载力和稳定性分析,依据变更施工工序进行阶段分析。模型节点数和单元数分别 1 546、5 382个(见图 4)。

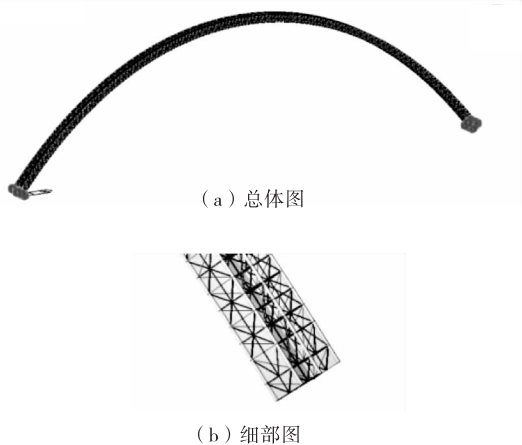


图 4 结构有限元计算模型

3.2 塔吊提前进场对结构产生的内力和位移

静力荷载等效下得到的塔吊对结构最不利工况时上下弦管、管内砼、第一环外包砼的应力水平见图 5~7;浇筑中间上下弦管时拱圈变形见图 8,塔吊施工阶段结构应力最大值见表 3,塔吊施工阶段拱顶结构位移见表 4。

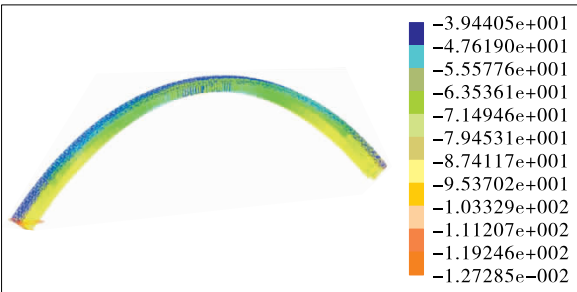


图 5 最不利工况下结构上下弦管的应力(单位:MPa)

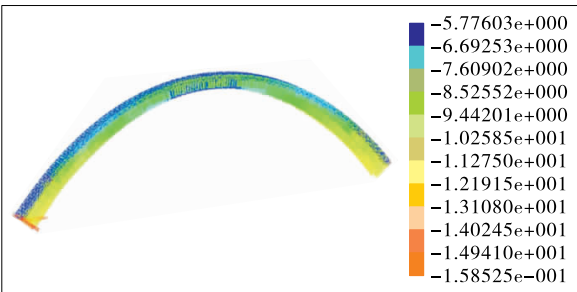


图 6 最不利工况下管内砼的应力(单位:MPa)

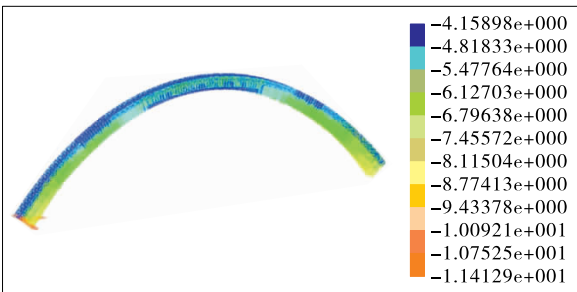


图 7 最不利工况下第一环外包砼的应力(单位:MPa)

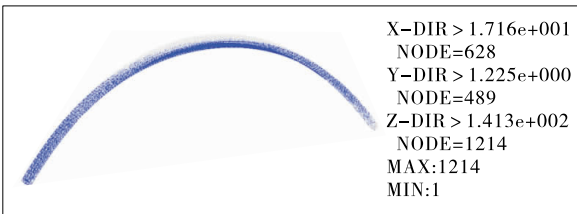


图 8 浇筑中间上下弦管时拱圈的变形(单位:mm)

表 3 塔吊施工阶段结构应力最大值 MPa

塔吊工况	上下弦管的 最大应力	管内砼的 最大应力	第一环外包砼 的最大应力
工况一	-197.3	-15.1	-11.3
工况二	-193.1	-14.9	-10.9

表 4 塔吊施工阶段拱顶结构位移

塔吊工况	拱顶位移/mm
工况一	11
工况二	10

从表 3 可以看出:在塔吊最不利工况下,上下弦管的最大应力、管内砼的最大应力及第一环外包砼的最大应力均小于设计强度,拱圈应力储备处于安全状态。

从表 4 可以看出:在塔吊施工过程中,结构拱顶位置的最大位移为 11 mm,位移变化较小,在控制范围内。

4 结构稳定性影响因素分析

采用屈曲分析中的 Lanczos 法分析塔吊施工对结构稳定性的影响。输入模型的质量数据,建立模型的质量、荷载及刚度矩阵,将塔吊等效静力荷载作为变量分析控制数据进行运行分析。图 9、图 10 分别为拱圈一阶平面外失稳和一阶平面内失稳示意图,表 5 为内浇施工阶段拱顶结构稳定系数。

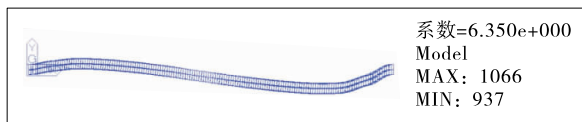


图 9 一阶平面外失稳

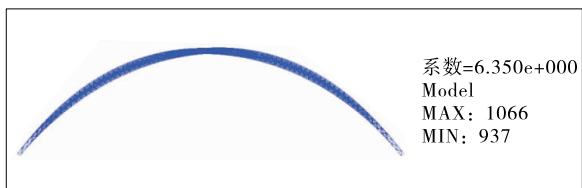


图 10 一阶平面内失稳

表 5 内浇施工阶段拱顶结构稳定系数

塔吊工况	稳定系数
工况一	8.41
工况二	8.57

从表 5 可以看出:在塔吊施工及运行过程中,结构稳定性系数最小为 8.41,整个过程中在最不利工况下稳定安全系数大于 5,满足设计要求。

5 计算分析结论及实测验证

(1) 在塔吊施工及运行的情况下,桥梁关键截面的内力、位移值和稳定性均符合设计要求,表明该方案在承载力和稳定性等方面能满足设计要求。

(2) 采用等效静力荷载模拟塔吊在工作和非工作状态下对拱肋产生的影响时,在塔吊安装过程中要尽可能降低非可控因素对拱肋施加的影响,严格遵循同步、对称施工;塔吊本身及塔吊与拱肋的连接在计算中未作细部分析,未予以考虑,应谨慎、细致地实行该方案,确保施工安全。

(3) 经过方案对比分析,确定采用塔吊提前进场的施工方案。方案实施过程中,在浇筑相应节段时对结构应力应变和位移进行测量,得出实测对比曲线,便于判断理论计算与实际结构的差别。由现场实测值得知塔吊在第一环外包砼浇筑完成后提前

进场对结构应力应变和位移的影响符合预期,结构受力安全,安装过程中及安装完成后均平稳有序,证明该方案可行。

6 结语

采用在浇筑第二环外包砼的过程中在 2#、8# 立柱位置附近安装塔吊的变更方案,在塔吊施工及运行的情况下,当外包砼浇筑成环时,即使外包砼截面并未完全完工,在新浇筑砼参与受力的作用下,结构的承载能力和刚度提升较大,塔吊的同步、对称施工对结构纵向稳定性的影响不大;外包砼强度形成后具有较大横向刚度,桥梁横向抗倾覆能力得到大幅提高。桥梁关键截面的内力、位移值和稳定性均符合设计要求,表明该方案可行。

参考文献:

- [1] 李元兵,张启伟,李亚东.钢管混凝土拱桥施工稳定性及缆风影响分析[J].公路交通科技,2009,26(3).
- [2] 张富贵,张永水,董义,等.大跨劲性骨架拱桥外包混凝土浇筑方案[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2012,31(2).
- [3] 李玲瑶,陈政清,葛耀君.钢管混凝土拱桥拱肋横撑对动力和稳定性的影响[J].公路交通科技,2008,25(3).
- [4] 樊启武,钱永久,黄道全.拱肋刚度的选取对钢管混凝土稳定计算的影响[J].公路交通科技,2008,25(3).
- [5] 郭琦,李春轩,王贤良,等.大跨径劲性骨架拱桥过程控制与后评价研究[J].广西大学学报:自然科学版,2013,38(1).
- [6] 曹珊珊,李传习.大跨度钢管砼劲性骨架拱桥施工阶段受力及稳定性分析[J].公路与汽运,2011(1).
- [7] 刘君梅,黎强.钢管混凝土拱桥的内力计算与稳定分析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2009,28(增刊).
- [8] 陈宝春.钢管混凝土拱桥计算理论研究进展[J].土木工程学报,2003,36(12).
- [9] 沈尧兴,赵志军,华旭刚.大跨度钢管混凝土拱桥的稳定性分析[J].西南交通大学学报,2003,38(6).
- [10] 韦建刚,陈宝春.钢管混凝土拱桥拱肋刚度设计取值分析[J].交通运输工程学报,2008,8(2).
- [11] 谭立心.永和大桥钢管拱肋节段吊装施工控制[J].武汉理工大学学报,2005,27(7).
- [12] 孟鑫,杨永清.大跨径钢管混凝土劲性骨架拱桥施工阶段结构行为分析[J].四川建筑,2008(3).
- [13] 喻小明,李树光.钢管混凝土拱肋吊装的静力与稳定性分析[J].中外公路,2002,22(2).