

文章编号: 1005-0574-(2018)02-0015-05

DOI:10.19332/j.cnki.1005-0574.2018.02.004

大跨径钢筋混凝土箱型拱桥的施工监控仿真分析

郑学松, 王业路

(长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要:在用缆索吊装法施工时,大跨径钢筋混凝土箱型拱桥由于其施工工序较复杂,结构内力和线形的最终状态很难达到设计要求。为更准确的对该种桥型进行仿真模拟和减少施工误差,以某大跨径钢筋混凝土箱型拱桥为例,通过全过程分析多阶段模拟的途径,建立和不断调试符合实际状况的有限元模型以及跟踪计算。研究表明:这不仅能够很好的确保大跨径的钢筋混凝土箱型拱桥在施工时内力和线形达到设计成桥状态,而且可有效减少误差,在解决施工难题的同时,也为同类型桥梁的仿真分析积累了宝贵经验。

关键词:大跨径箱型拱桥;缆索吊装;施工监控;仿真分析

中图分类号:U448

文献标识码:A

Abstract: Due to all the complex construction stages, when Long Span RC Box Arch Bridge is constructed with the method of cable hoisting, the internal force and alignment of the structure are so difficult to meet the design requirements. In order to simulate and monitor this type of bridge more accurately and reduce construction error, based on a Long Span RC Box Arch Bridge project, the finite element model that conforms to the actual situation was established and debugged continuously by analyzing the whole process of multi-stage route simulation. The results show that the method not only ensures that the internal force and alignment can meet the design state of bridge but can reduce the error effectively, which solves the construction problems and has accumulated valuable experience for the same type of bridge.

Key words: Long Span RC Box Arch Bridge, cable hoisting, construction monitoring, simulation

1 引言

目前,桥梁工程建设中,施工控制是整个桥梁控制的关键,科学施工控制是实现设计目标的可靠保证,也是今后桥梁在服役运营阶段安全可靠的保障。

本文以一缆索吊装的大跨径钢筋混凝土箱型拱桥为例,介绍怎样利用有限元软件 MIDAS 进行桥梁仿真分析和施工监控。桥梁施工监控中结构的计算方法包括正装分析法、倒装分析法和无应力分析法。本案例采用正装分析法,按照桥梁结构实际施工阶段前后次序,利用模拟建模程序自动完成分析计算来指导桥梁施工。

2 工程概况

某大桥为跨径 120m 钢筋混凝土箱型截面悬链线无脚拱,矢跨比 1/6,拱轴系数 $m=1.756$,预制拱箱高 1.80m,组合拱箱高 1.90m;拱上腹拱为 $15\text{m} \times 8.5\text{m}$ 装配式钢筋混凝土简支空心板梁。该桥的孔跨布设为引桥

12m+主桥 120m+引桥 $3\text{m} \times 13\text{m}$,桥梁全长 185.5m。下部结构 0#桥台为重力式 U 型+承台桩群基础组合台,5#桥台为肋板埋置式+群桩基础组合台;3#、4#桥墩为钢筋混凝土双柱式墩。主桥的总体布置图如图 1、横断面图如图 2。

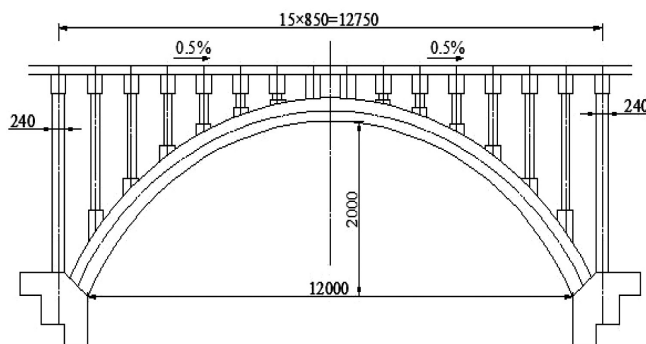


图1 桥型布置图 (cm)

作者简介:郑学松(1992-),男,山东滨州人,在读硕士研究生,研究方向:桥梁评估。

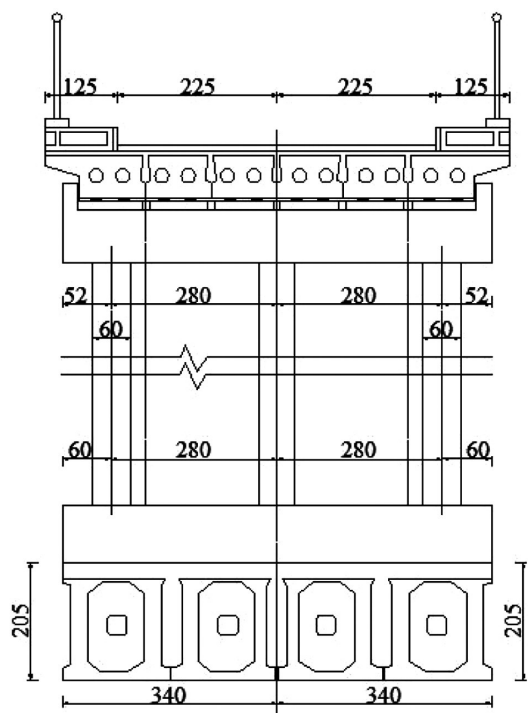


图2 横断面图 (cm)

3 施工监控理论

本桥主拱结构分五段预制,采用无支架缆索吊装。缆索吊装施工法是根据缆索吊机的吊装能力将拱肋分节段预制,由缆索吊机先将两岸拱脚段吊装就位,使用扣索将其固定,再依次吊装其余各段进行对接

4 桥梁仿真分析

4.1 有限元模型建立

根据桥梁建设数据,为更准确的进行仿真分析和数据提取,全桥总体静力分析采用 Midas Civil 2015 程序进行,模型采用空间梁单元模拟,总节点数为 1201 个,总单元数为 1810 个。扣索 1、2、3 与两岸山体均为拱脚固定约束,与箱拱拱肋为弹性连接。本桥以理论竖曲线为基准进行结构离散以及进行桥梁施工阶段、成桥状态和成桥 10a 后。在自重、混凝土收缩徐变等作

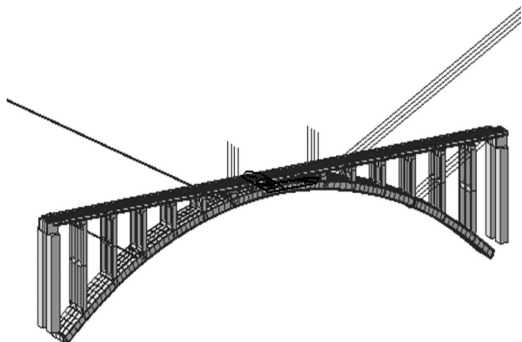


图3 有限元计算模型

用下的分析计算。具体模型建立如图 3。

4.2 施工过程仿真模拟

全桥缆索吊装施工阶段较多,模拟相对复杂,根据施工方案及施工工序,为了能准确模拟整个桥梁的施工工程,从开始建设到成桥阶段共划分为 25 个施工阶段,每个施工阶段均考虑实际施工情况进而模拟具体的荷载状况、混凝土收缩徐变、温度效应以及相应的边界条件。根据实际施工顺序,各施工阶段的细节划分见表 1,所附几个施工阶段图例见图 4。

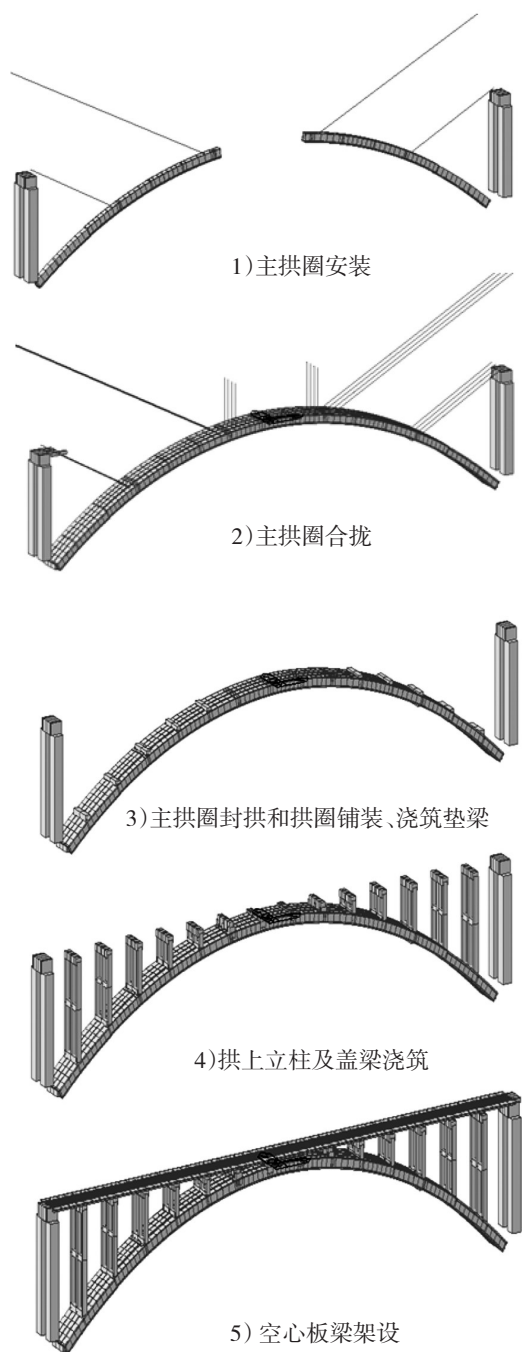


图4 施工阶段仿真模拟示意

表 1 施工阶段划分及具体内容表

施工顺序	具体施工阶段	施工顺序	具体施工阶段
1	4#拱吊装段 1	2	4#拱吊装段 2
3	4#拱吊装段 3	4	4#拱合龙
5	3#拱吊装段 1	6	3#拱吊装段 2
7	3#拱吊装段 3	8	3#拱合龙
9	4# - 3#拱横向连接	10	2#拱吊装段 1
11	2#拱吊装段 2	12	2#拱吊装段 3
13	2#拱合龙	14	3# - 2#拱横向连接
15	1#拱吊装段 1	16	1#拱吊装段 2
17	1#拱吊装段 3	18	1#拱合龙
19	2# - 1#拱横向连接	20	主拱圈封拱及浇注拱圈铺装和垫梁
21	浇筑拱上立柱 1#、14#	22	浇筑拱上立柱和盖梁 7#、8#
23	浇筑拱上 2# - 6#、9# - 13#立柱和盖梁	24	架设主梁
25	桥面铺装和人行道	26	完工

4.3 拱圈的内力分析

以缆索吊装施工全过程仿真分析模型为基础,选取拱肋吊装节段、拱肋合拢节段关键施工状态,根据预测拱肋面临的荷载情况,并考虑风荷载的条件下,对施

工过程中的结构内力和应力状态进行分析进而保证施工过程准确度和安全性。成桥状态主梁的强度计算和抗力汇总结果见表 2 和表 3。

表 2 主拱圈强度计算表

	拱脚(12)	L/8(9)	L/4(6)	3L/8(3)	拱顶(0)
最大轴力/kN	43322.37	40011.37	37122.42	35410.51	35143.23
最小轴力/kN	42369.70	37198.84	35372.70	34631.89	33960.04
最大弯矩/kN·m	7234.81	-169.45	7120.45	13889.97	10707.07
最小弯矩/kN·m	-20881.93	-9362.86	-6324.47	-666.74	-1514.69

表 3 主拱圈各截面抗力汇总表

	拱脚(12)	L/8(9)	L/4(6)	3L/8(3)	拱顶(0)
最大轴力/kN	117000	44400	93600	100000	103000
最小轴力/kN	44300	75300	82800	66400	50700
最大弯矩/kN·m	117000	68200	86300	70300	56200
最小弯矩/kN·m	49500	93600	91300	96700	106000

由表1可看出,通过全过程分析多阶段模拟的方法正装分析至成桥状态,主拱圈在各个控制截面的最大内力效应均小于相应截面抗力,全截面以承压为主,承受的最大压应力不超过13MPa。截面应力在理论计算安全范围内。由于拱脚截面最大轴力、3L/8截面最大弯矩的存在,在施工监控时必须对该两处截面进行应力监控。判断拱肋的应力变化情况,并对可能发生的超出设计规范要求的情况提出应力调整措施。

4.4 拱圈线形分析

4.4.1 主拱圈吊装阶段

缆索预制吊装拱桥的线形直接影响拱圈线形,应着重对拱圈线形进行控制。成桥线形与目标线形的偏差值,会严重影响结果的整体承载力。

4.4.2 拱上立柱浇筑阶段

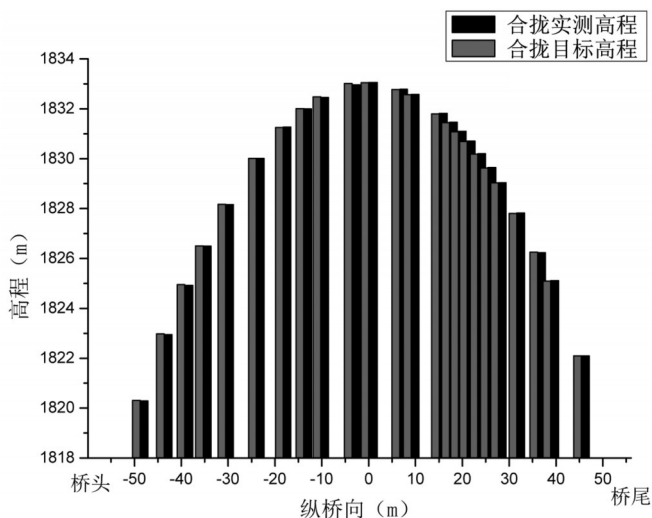


图5 1#拱肋合拢后高程对比图

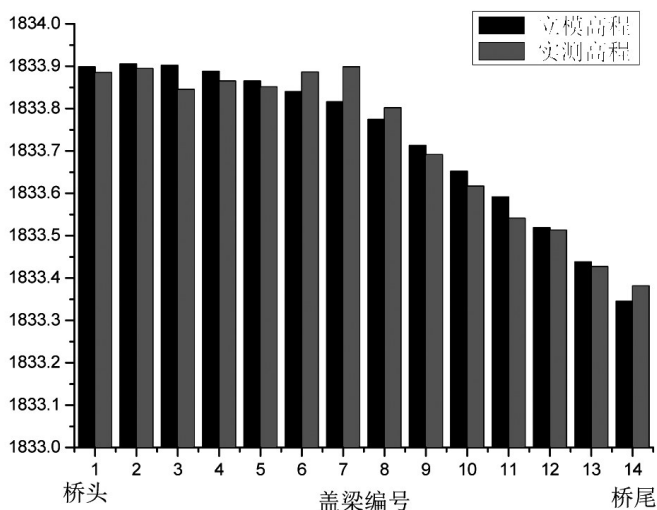


图6 盖梁顶部高程对比图

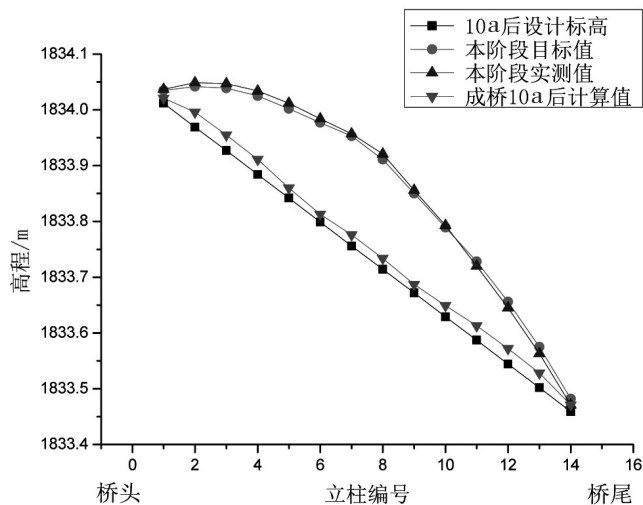


图7 垫石高程值对比图

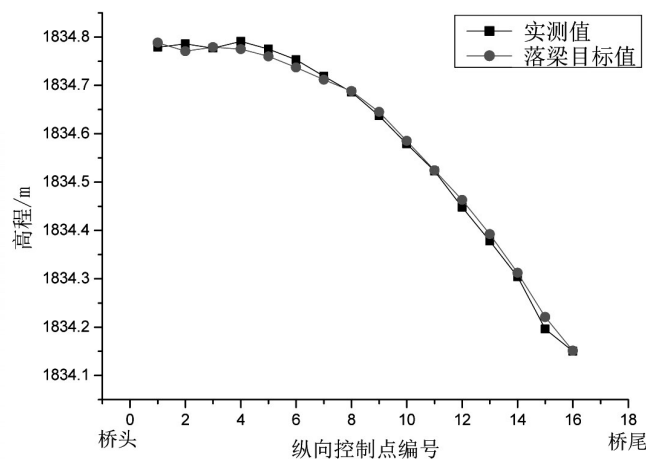


图8 桥面高程值对比图

由于施工预拱度与图纸设计预拱度存在偏差,因施工工艺、拱箱自重作用沉降、温度变化等复杂因素,拱箱合拢后的高程与考虑施工预拱度后的理想高程也存在一定的偏差,因此必须对拱箱上的立柱尺寸做微调整以指导后期桥梁施工(见图5)。

若以立柱立模标高为准,盖梁施工后因施工因素、环境变化等因素可能无法保证盖梁高程处于理论高程位置;又由于盖梁高程最接近于上部结构,因此以盖梁立模标高为基准可有效减小指令函数量,方便作业,且容易控制后期上部结构施工高程。本阶段盖梁顶部高程对比和垫石高程值对比结果见图6和图7。

4.4.3 主梁架设及桥面铺装阶段

此施工阶段,本桥主体结构施工已经全部完成,对桥面高程进行测量,与理论的设计目标高程和施工目标高程进行对比,校验施工监控工作的效果。桥面实测高程与落梁目标值对比见图8。

综上所述,根据施工工序仿真模拟主拱圈吊装、拱上立柱及盖梁浇筑、空心板主梁架设以及二期铺装过程实际结构的受力特性,本桥各施工阶段控制截面高程接近理论计算值,截面应力在理论计算安全范围内,由于主梁架设前期垫石高程控制准确,因此空心板高程与目标高程绝对误差控制效果较好,最大相差 2.5cm。

5 结语

大跨径钢筋混凝土箱型拱桥的拱肋缆索吊装是一个十分复杂的过程,由于传统的解析法分析需要简化模型,简化方式通常与实际情况不甚相符,计算结果不准确。本文通过大型有限元软件 Midas/civil 建模,对某大跨径钢筋混凝土箱型拱桥建立有限元分析模型,经过全过程正装分析和多阶段仿真模拟分析可知,桥梁结构线形和受力与目标状态基本吻合。主拱圈受力安全,应力储备足够,将施工误差控制到了理想效果。由于有限元仿真模型的建立、荷载模式的选择和边界条件的模拟以及物理参数的获取均符合实际桥梁情况,

仿真分析结果与实测吻合较好,不仅达到理想设计成桥状态,而且可有效减少误差,解决了施工难题的同时,也为同类型桥梁的仿真分析积累了宝贵经验。

参考文献:

- [1] 贺拴海. 桥梁结构理论与计算方法[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 向中富. 桥梁施工控制技术. 北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 徐君兰. 大跨径桥梁施工控制[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [4] 顾安邦,张永水. 桥梁施工监测与控制[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [5] 王勃. 大跨径拱桥缆索吊装施工系统仿真分析[D]. 西安:长安大学,2012.
- [6] 刘兴臣. 大跨度箱形拱桥缆索吊装施工过程监控[D]. 成都:西南交通大学,2008.
- [7] 陈淑红. 缆索吊装钢筋混凝土拱桥的施工技术研究[D]. 成都:重庆交通大学,2011.
- [8] 杨浩. 基于数值仿真的拱桥施工控制技术[J]. 四川水泥,2016,(07):56.
- [9] 严小丽,冯霄阳. 钢筋混凝土箱型拱桥缆索吊装施工仿真分析[J]. 四川建材,2016,42(4):194-197.
- [10] 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,2009,28(3):505-508

收稿日期:2017-04-15

(上接第4页)

从图 15 和图 16 中可以看出,随着跨径的增大,跨中截面向上的挠度变小。

从图 17 中可以看出,在最不利条件下,随着跨径的增大,中间支座 B、C 的内外侧反力比值增大,但边支座 A、B 的内外侧反力比值减小。

5 结语

本文通过对某立交工程中的几条匝道弯桥进行有限元建模分析,依次探究了不同曲率半径和不同跨径下,匝道弯桥的性能差异及其变化规律,进而得到以下几点结论:

①预应力的作用,会使得匝道弯桥跨中截面出现上拱,同时可能对梁体产生一个向外翻转的作用,造成内侧支座的支座反力减小,外侧支座的支座反力增大,使梁体向弧内侧发生一定程度的径向位移。

②在多种荷载工况组合下,相同跨径的匝道随着曲率半径的增大,其顶板以及底板的顺桥向压应力、边跨跨中挠度以及内外侧支座反力的比值逐渐增大,而

中跨跨中挠度、径向位移逐渐减小。

③相同曲率半径的匝道随着跨径的增大,其各截面所受到的顺桥向压应力、跨中截面向上的挠度以及最不利条件下边支座的内外侧反力比值逐渐减小,最不利条件下中间支座的内外侧反力比值逐渐增大。

参考文献

- [1] 刘柏青,张士铎. 曲线梁桥[J]. 中南公路工程,1989,11(1):35-37.
- [2] 林泉. 预应力混凝土弯桥的空间受力特性分析研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [3] 陈守逸,蔡荣兴. 创业立交匝道桥缺陷分析与处理[J]. 公路交通技术,2002,(02):57-59.
- [4] 陈宝春,陈友杰. 桥梁工程[M]. 北京:人民交通出版社,2013.
- [5] 万莉. 匝道桥的计算方法及设计要点[J]. 现代交通技术,2009,(04):47-50.
- [6] 徐洪涛,郭国忠,等. 我国近年来桥梁事故发生的原因与教训[J]. 中国安全科学学报,2007,17(11):90-95.
- [7] 彭天波,李建中,等. 双曲面球型减隔震支座的开发及应用[J]. 同济大学学报,2007,(02):176-180.
- [8] [S]JTG D60-2015,公路桥涵设计通用规范.

收稿日期:2017-11-8