

文章编号 :1000-249X(2001)04-0099-04

大跨度石拱桥拱架施工仿真分析在 ALGOR R12 上的实现

周岑¹, 郑凯锋^{2*}

(1. 同济大学桥梁工程系, 上海 200092 2. 西南交通大学科研处, 四川 成都 610031)

摘 要 阐述了石拱桥拱架施工全过程仿真分析的基本思路及其在 ARGOR R12 上的实现, 以丹河新桥为实例介绍了空间结构仿真分析模型, 其分析结果得到良好的应用, 并指出了今后的深化前景。

关键词 拱架施工; 仿真分析; 有限元法; 石拱桥

中图分类号 :U445.35 **文献标识码** :A

Research on Centering Construction Simulation Applied in Long-span Stone Arch Bridge with ALGOR R12

ZHOU Cen¹, ZHENG Kai-feng²

(1. Department of Bridge Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Scientific Research Office, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract :A basic concept of simulation of all the sequences of centering construction applied on stone arch bridge and how it is realized are introduced. With the practical example of Danhe New Bridge, the way of how to construct a space structural model for analysis with several types of finite elements is presented in detail. And in the view of all the construction steps, the structure is calculated and analyzed. The results show that when the simulation of all the sequences of centering construction is applied in the analysis of construction sequence of long-span stone arch bridge, a more complicate and accurate result is expectable compared with the traditional one, so it opens up new vistas.

Keywords :centering construction; simulation analysis; finite element method; stone arch bridge

石拱桥为我国山区公路桥梁中常见的桥式,但对于跨度达 146 m(世界少见的跨度,现已通车)的石拱桥,其施工难度是很大的。施工中必须以拱架砌筑。因石拱桥本身自重大,使得施工拱架受力大而复杂。按传统的计算理论就难以确切地给出整个施工过程各构件的受力情况。运用大型有限元软件 ARGOR R12 对石拱桥拱架施工全过程进行仿真分析,能够更全面把握各施工阶段拱架和砌体结构的受力和变形,使施工安全得到保证。

* 收稿日期 2001-02-22

作者简介:周岑(1975-)男,湖北黄石人,同济大学博士生。

本文以丹河新桥为例进行介绍,供今后类似工程参考。

1 石拱桥拱架施工仿真分析的实施

传统的桥梁拱架计算中,采用了许多假设,诸如分别多平面、上下部结构分离计算、铰接与刚性连接假设等简化手段,且通常取 70% 拱圈重量直接作用于拱架按平面桁架计算,或将拱圈考虑为二维实体元,计及与拱架的联合作用进行计算,计算结果难免不够详实和不够准确。

采用全桥结构仿真分析(Structure Simulation for Entire Bridge)^[1],可以进行全桥分析,从上部结构到地基基础进行耦合分析,建立了包括整座桥梁和拱架所有杆件在内的空间组合有限元模型,使计算结果更接近实际。在建立仿真分析计算模型的过程中,考虑的主要原则如下:

1) 结构形状(包括构件的长度、宽度、厚度等)变化的要求; 2) 材料特性(包括材料的弹性模量、容重、泊桑比、线膨胀系数等)变化的要求; 3) 施工荷载实际作用模拟的要求; 4) 问题求解的计算精度; 5) 计算求解过程中避免出现病态问题; 6) 材料的本构关系尽可能符合实际。

分析时,运用可靠的数值分析方法对模型进行大规模的结构效应计算,经反复分析比较计算,并借助丰富有效的图形显示软件,对计算所输出的大量数字信息进行可视化处理,对各部位的位移、应力、应变等计算结构的分布,可以从图像上直接进行分析判断。

此处是运用 ALGOR R12 软件实现石拱桥拱架施工仿真分析的,它是基于 Windows 操作系统的有限元分析软件,其前处理模块支持在同一文件中运用多种类型单元建立组合模型,使拱架施工仿真模拟更为方便。对其计算步骤和方法,以实例说明如下。

2 实 例

丹河新桥为晋城至焦作高速公路上一座跨越丹河的特大型桥梁(主孔为 146 m,为世界最大跨度的石拱桥)。主拱圈的变截面材料为料石,采用有拱架的砌筑方案施工,拱架采用钢木联合结构,下部为万能杆件拼成的钢支架,上部为木排架拱盔。主拱圈采用分层、分环砌筑第一环,第一环暂不合拢,在第一环上砌筑第二环,然后第一、二环同时合拢,依次砌筑第三、四、五环,并分别单环合拢。

综合考虑各承载构件的几何形状、单元力学特性和组合模型计算规模,计算中采用八节点和六节点三维实体单元模拟石料和混凝土、地基土层,万能杆件、军用梁,对于拱盔则以杆单元模拟。对不同材料特性的单元付与不同的组号。在砌筑到第五环拱圈后,全桥结构仿真模型共有 52,000 多个单元,近 22,000 个节点(见图 1)。除反映结构的几何尺寸、空间位置以及材料特性外,还考虑施工过程中材料特性的变化及结构的体系转换效应。例如,在砌筑主拱圈过程中,第五环石料堆放完成时,该环并未形成受力结构,故其弹性模量仅取一较小值。当砌筑拱上结构时,该环已形成受力结构,此时整个主拱圈即共同受力。经仿真分析其计算结果如下。

由于施工拱架高达 70 m,自重较大,且拱圈圬工重量巨大,因此钢支架能否承受施工过程中产生的竖向力和水平力是分析计算关心的重点。现取钢支架 2 号、5 号及 7 号塔架柱靴(即

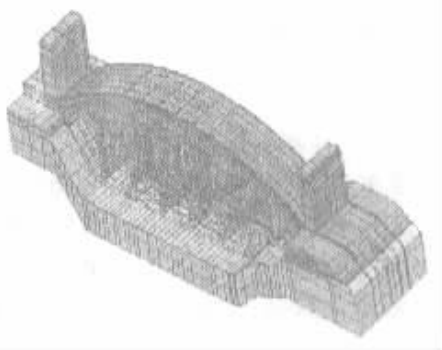


图 1 砌筑第五环拱圈施工阶段仿真模型

每个塔架与基础相连的四根较短杆件)轴力分析结果与传统计算方法所得结果^[2] ,比较列于表 1(塔架标号如图 2 所示) ,其中“ 仿真 MAX ”指每列塔架(横向共 5 排 ,共 20 根)柱靴轴力最大值 ,数值为轴力大小(均为压力) ,由此可以看出 :

表 1 塔架柱靴轴力比较 (单位 t)

1)仿真分析计算结果与传统方法计算结果较为接近 .

2)从表 1 知 2 号塔架柱靴轴力在第三、四、五环合拢过程中分别增加了 12.37 t、11.1 t、9.22 t ,有一个逐渐递减的趋势 .5 号塔架柱靴轴力和 7 号塔架柱靴轴力变化也有相同趋势 .第三、四、五环均为单环合拢 ,且厚度相同 ,因此作用在前一阶段合拢拱圈上的外力大致相同 .但是堆砌第三环拱圈时 ,第一、二环已形成受力结构 ,与拱架共同承担第三环拱圈重量 .同理 ,堆砌第四环拱圈时 ,第一、二、三环已形成受力结构 ,与拱架共同承担第四环拱圈重量 ,而此时拱圈刚度大于前一阶段拱圈刚度 ,拱架所分担的外力也较前一阶段的小 .同样 ,第五环拱圈合拢时拱架内力增量更小 ,这些结论与施工中观察所得相吻合 .

3)由于考虑了空间结构及侧向来风的影响 ,每列塔架 20 根柱靴受力不尽相同(背风侧通常较大) ,最大值约超出平均值的 20% 左右 ,故在实际设计中 ,由最大受力柱靴控制 .从仿真分析的结果可以看出 ,空间分析更能反映塔架受力的真实情况 .

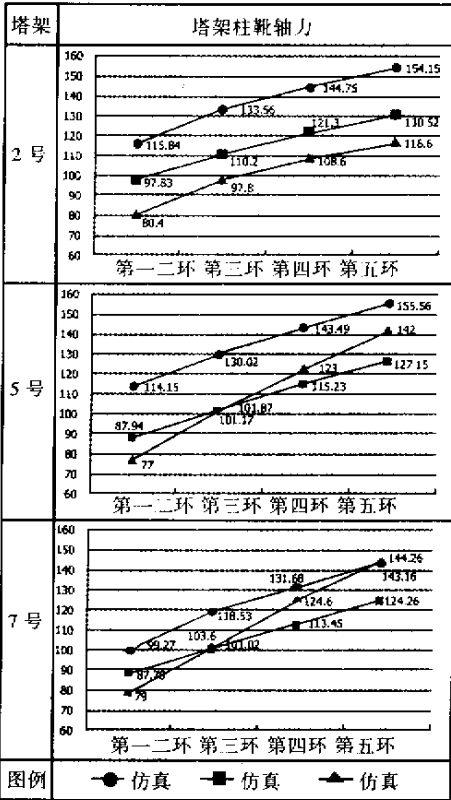
4)在整个施工过程中钢支架所有杆件应力是否始终满足允许应力 ,也是施工阶段拱架计算关心的问题 .钢支架应力的最不利工况为第五环拱圈合拢 ,并作用有横向风力、施工人员及机具重量 .由仿真分析计算结果可知最大杆件压应力为 - 208.0 MPa ,最大杆件拉应力为 89.5 MPa ,绝大部分的杆件应力值分布区域在从 - 170.0 到 86.0 MPa 之间 .其受力均在允许范围 .

产生最大压力的杆件共有两根 ,分别是第 8 号塔架第一根横梁上第一、二节间右侧竖杆 .压应力水平最大的几组杆件位置及应力范围如表 2 及图 2 所示 .

表 2 最大应力杆件位置及应力范围 (单位 MPa)

组号	杆 件 位 置	应力范围
1	8 号塔架第一道横梁上第一、二节间右侧竖杆(共 2 根)	- 208.0
2	8 号塔架第二道横梁上至塔架底各节间竖杆	- 170.0 ~ - 202.0
3	3 号塔架第二道横梁交叉节间及以上第一节间右侧竖杆(共 2 根)	- 182.0 , - 187.0
4	3 号塔架第一道横梁交叉节间及以下第一节间竖杆	- 175.0 ~ - 185.0
5	3 号塔架第三道横梁以下第一节间左侧竖杆(共 2 根)	- 179.0

分析结果显示 ,最大应力杆件位于 8 号塔架第二道横梁以下区域 ,其主要原因是由于 8 号塔架承受较大轴力 ,且梁柱联结部位受力复杂 ,塔架实为压弯构件 .设计时在此设置了斜撑予以局部加强 ,实现结构安全受力的目的 .



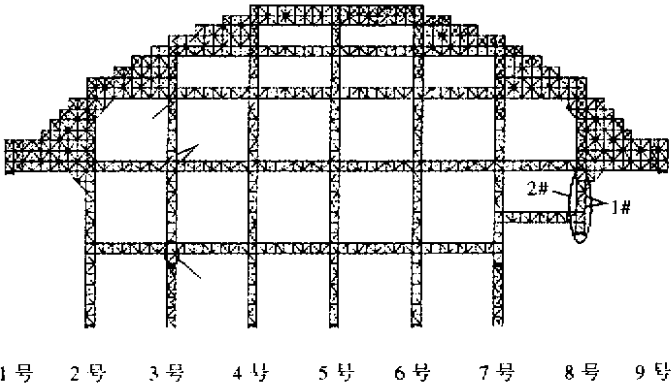


图 2 最大压应力杆件位置示意图

3 结论与展望

石拱桥拱架施工仿真分析模型能较确切地模拟桥梁构件的空间位置、几何尺寸、材料特性、连接形式、荷载作用等。仿真分析结果也较直观、详尽、符合实际，在石拱桥拱架施工分析中具有良好的应用前景。

今后可通过实时监测系统采集拱架的真实变形和受力情况，并据此及时修正仿真分析模型，使施工仿真分析和施工沿智能化和集约化方面发展，使实际工程能更安全、快速施工。

参考文献：

[1] 郑凯锋, 陈宁, 张晓翹. 桥梁结构仿真分析研究[J]. 桥梁建设, 1998 (2)
[2] 李华, 牛学勤. 特大石拱桥拱架结构的设计与计算[J]. 桥梁建设, 1999 (3)
[3] 周岑. 大跨度石拱桥全桥结构仿真分析研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2000.

(上接第 98 页)

参考文献：

[1] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature[M]. San Francisco :W. H. Freeman and Co ,1982.
[2] 王东生, 曹磊. 混沌、分形及其应用[M]. 合肥: 中国科学技术出版社, 1995. 245 - 267.
[3] 胡瑞安, 胡纪阳, 徐树东. 分形的计算机图象及其应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1995. 70 - 85.
[4] 齐东旭. 分形及其计算机生成[M]. 北京: 科学技术出版社, 1996. 53 - 76.
[5] Falconer K J. Fractal Geometry :Mathematical Foundation and Application[M]. New York :Wiley ,1990. 12 - 65.
[6] 戴前伟, 彭振斌. 基于 FBM 的分形插值方法[J]. 中国有色金属学报, 1998 (4) :719 - 722.
[7] 谢和平, 薛秀谦. 分形应用中的数学基础与方法[M]. 北京: 科学技术出版社, 1998. 123 - 186