

# 六四式军用梁钢拱架有限元数值分析

汪捍东, 陈正

(四川公路桥梁建设集团有限公司, 四川 成都 610041)

**摘要:** 在山区陡峭深谷地带修建拱桥, 用于现浇主拱圈的钢拱架是其关键。文中以湖北省恩施州巴东县野三关大桥主桥 130 m 钢筋砼箱形拱桥为工程背景, 利用六四式军用梁钢拱架分环分段现浇主拱圈, 通过对六四式军用梁钢拱架拼装和主拱圈分环分段浇筑的全过程有限元模拟, 分析在钢拱架上分环分段浇筑主拱圈的可行性。

**关键词:** 桥梁; 钢拱架; 六四式军用梁; 数值分析

**中图分类号:** U441

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2020)04-0112-03

砼箱形拱桥由于主拱圈截面以受压为主, 能充分发挥砼的抗压性能, 且具有降低工程造价、施工工艺成熟等优点, 成为跨越沟谷的理想桥型之一。六四式铁路军用梁是中国自行研制的适用于中等跨度、标准轨距和 1 m 轨距的铁路桥梁抢修制式器材, 其主要构件分为标准三角(六四式铁路军用梁)与加强三角(加强型六四式铁路军用梁), 标准三角所有杆件均采用 16 锰低合金钢钢材, 加强三角除上弦和弦杆采用 15 锰钒氮低合金钢钢材加强外, 其余杆件也均采用 16 锰低合金钢钢材。湖北省恩施州巴东县野三关大桥主拱圈浇筑中, 钢拱架利用六四式军用梁中标准三角和加强三角, 通过特制 T 形连接构件及拱脚端三角进行连接, 以折线形式拟合悬链线而拼装成形。

## 1 工程简介

野三关大桥全桥位于直线段上, 全桥布跨为  $2 \times 20$  m 简支 T 梁 + 130 m 钢筋砼箱拱 + 20 m 简支 T 梁, 总长 204 m, 交角为  $90^\circ$ 。主桥为上承式钢筋砼箱形拱, 主拱圈为等截面悬链线箱形无铰拱, 净跨径  $L_0 = 130$  m, 净矢高  $f_0 = 32.5$  m, 净矢跨比  $1/4$ ; 主拱圈计算跨径  $L = 131.896$  m, 计算矢高  $f = 32.935$  m, 拱轴系数  $m = 2.2$ 。

钢拱架采用六四式军用梁拼装, 拱轴线依据该桥拱桥轴线参数拟定, 线形为悬链线,  $L_0 = 126.708$  m,  $f_0 = 30.266$  m, 净矢跨比为  $S/L = 0.239$ ,  $m = 2.2$ 。

钢拱架由标准三角或加强三角与特制 T 形连接板和拱脚端三角组装而成。单榀钢拱架由 18 片 8 m 钢拱架、3 片 4 m 钢拱架、18 片特制 T 形连接构件和 2 片特制拱脚端三角拼装而成, 标准三角之

间或标准三角与 T 形连接构件均用六四式军用梁钢销连接, 标准三角与拱脚端三角采用六四式军用梁撑杆钢销连接。全桥横向布置 34 榀六四式军用梁, 拱架全宽 10.12 m。拱圈、拱架平立面布置见图 1。

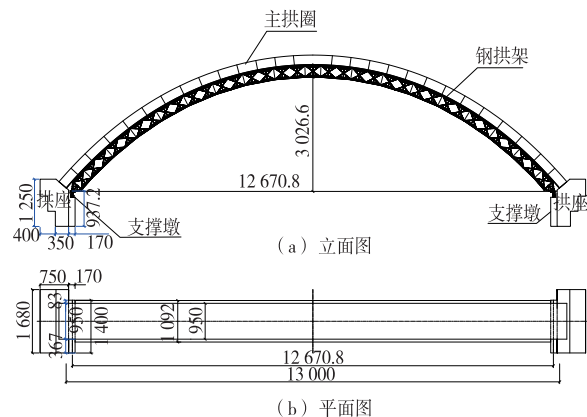


图 1 拱圈、拱架布置(单位: cm)

## 2 有限元模型

结构分析采用 MIDAS/Civil 有限元分析软件, 钢拱架采用空间杆系模拟, 拱圈腹板、顶板、横隔板、底板采用板单元模拟, 拉索及缆风索均采用桁架单元模拟。

### 2.1 模型荷载

模型荷载主要考虑自重、拱盔荷载、施工荷载、风荷载及温度荷载。其中: 自重由钢材及砼的容重计算得到; 考虑槽钢和竹胶板(模板)等拱盔结构自重, 每节点施加大小为 0.112 kN 的节点荷载; 根据 JTG/T F50-2011《公路桥涵施工技术规范》附录 D, 考虑到施工人员和施工材料、机具行走运输或堆放产生的荷载及振捣砼产生的荷载, 施加一个 4.5

$\text{kN/m}^2$  的均布荷载到拱圈底板面,通过拱圈底板传递给钢拱架;根据 JTG/T D60—2004《公路桥梁抗风设计规范》计算得到风荷载  $F=1.9\text{ kN/m}$ ;温度荷载按升降温  $15\text{ }^\circ\text{C}$  考虑。

各施工阶段的荷载组合为 1.0 自重+1.0 施工荷载+1.0 风荷载+1.0 缆风索初拉力荷载。

PostCS 阶段(成桥阶段)的荷载组合分为 2 种:

- 1) 1.0 恒荷载+1.0 升温;2) 1.0 恒荷载+1.0 降温(其中自重、施工荷载、风荷载、缆风索初拉力荷载均为恒荷载)。

2.2 拱圈模型

考虑到该桥主拱圈采用分环分段进行施工,主拱圈采用板单元模拟,按照施工流程将模型分为 9 个节段 CS22~CS30,分别为一环一段、一环二段、一环三段、二环一段、二环二段、二环三段、三环一段、三环二段、三环三段。主拱圈有限元模型见图 2。

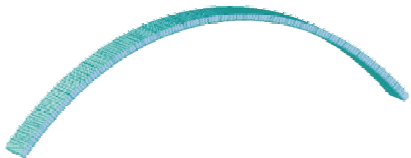


图 2 主拱圈有限元模型

2.3 钢拱架模型

钢拱架采用缆索吊装法组装,先从拱脚 S11~S13 节段对称吊装拼装,再安装 S14 节段完成单榀拱架合龙,最后逐一安装其余单榀拱架(见图 3)。

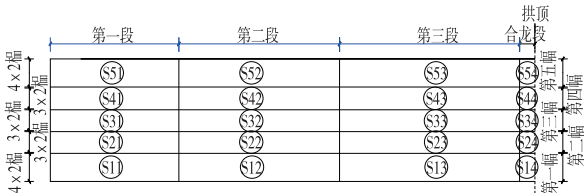


图 3 钢拱架安装顺序示意图

根据钢拱架安装方法,有限元模型共分为 20 个节段,各节段安装的同时张拉扣索及缆风索。由于风荷载只在钢拱架一侧模拟,缆风索只在风荷载同侧模拟,并赋予  $50\text{ kN}$  的初拉力。为确保数值分析的准确性,模型根据工程实际情况模拟出两侧交界墩及锚碇用于张拉背索。钢拱架有限元模型见图 4。

3 数值分析

按照实际施工顺序进行数值分析。模型共分

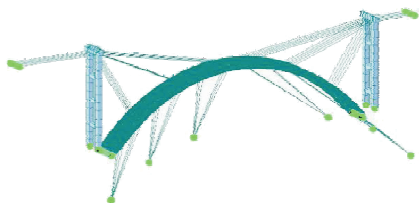


图 4 钢拱架有限元模型

20 个施工节段,其中 CS1~CS20 节段为钢拱架分节段拼装,CS21 节段为拆除扣索、背索,横向连接施工、施加拱盔荷载,CS22~CS30 施工节段为主拱圈分环分段浇筑。

3.1 CS1~CS20 节段数值分析

对钢拱架分节段拼装进行数值分析,发现在钢拱架分节段拼装过程中应力较小。在 CS20 节段,结构出现最大应力,最大拉、压应力分别为  $111$ 、 $-104.6\text{ MPa}$ ;在 CS8 和 CS12 节段,结构出现最大位移  $38.9\text{ mm}$ 。对钢拱架影响较小,在此不再赘述。

3.2 CS21~CS30 节段数值分析

在拆除钢拱架扣索及主拱圈分环分段浇筑(CS21~CS30 节段)过程中,钢拱架数值分析结果见表 1 和图 5、图 6,应力以受拉为正、受压为负。

表 1 CS21~CS30 施工节段钢拱架数值分析结果

施工节段	最大拉应力/MPa	最大压应力/MPa	最大位移/mm	稳定系数
CS21	81.4	-103.5	39.8	-36.35
CS22	87.5	-130.4	24.0	30.45
CS23	80.3	-143.8	59.4	13.44
CS24	78.3	-195.2	52.8	-48.25
CS25	95.5	-198.9	50.3	53.61
CS26	85.8	-209.4	58.7	53.71
CS27	92.8	-208.6	58.5	80.19
CS28	106.3	-214.0	60.0	92.64
CS29	101.4	-220.8	64.4	-85.43
CS30	105.9	-220.0	64.7	-91.40

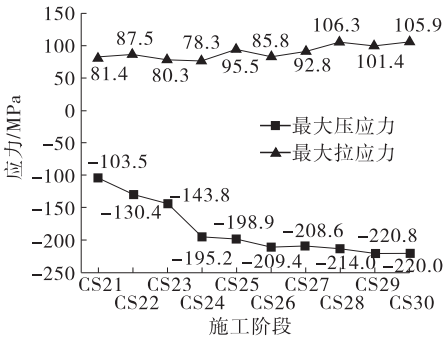


图 5 CS21~CS30 节段最大应力

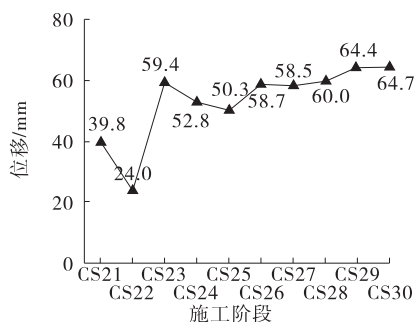


图6 CS21~CS30节段最大位移

由表1和图5、图6可知:在主拱圈分环分段浇筑过程中,钢拱架的强度、刚度及稳定性均满足施工要求。拱架最大拉应力为81.4~105.9 MPa,变化较小;压应力由-103.5 MPa逐步递增至-220.0 MPa,在浇筑主拱圈的过程中,特别是在CS24节段及以后,应实时关注以上弦杆为代表的受压杆件,以防杆件受压失稳。相对于CS21节段,CS22节段时拱脚受压抬高拱顶致使变形位移减小,而CS23节段时拱顶受压致使变形位移陡升,直到CS24节段钢拱架变形才趋于稳定。在浇筑主拱圈尤其是一环一段和一环二段施工时,应注意拱架变形,保证主拱圈设计线形。

### 3.3 PostCS阶段数值分析

依据JTG D64-2015《公路钢结构桥梁设计规范》,PostCS阶段考虑温度荷载(升降温15℃)的影响。该阶段钢拱架数值分析结果见表2。

表2 PostCS阶段钢拱架数值分析结果

荷载	最大拉应力/MPa	最大压应力/MPa	最大位移/mm
1.0 恒荷载+1.0 升温	99.6	-227.8	40.5
1.0 恒荷载+1.0 降温	86.6	-209.1	56.3

PostCS阶段主要考虑温度荷载对钢拱架的影响。由表2可知:在升温作用下,钢拱架最大拉、压应力变化均不大;在降温作用下,最大拉应力下降接近20 MPa;钢拱架最大位移在温度作用下均下降。说明温度荷载对钢拱架有一定影响,选择合适的温度合龙钢拱架和主拱圈有利于结构受力。

## 4 结论

通过对钢拱架安装及主拱圈浇筑全过程的数值分析,得出以下结论:

(1) 利用六四式军用梁拼装钢拱架以现浇主拱

圈,钢拱架设计能满足规范规定的风荷载、施工荷载、温度荷载、缆风索初拉力荷载及拱圈自重组合作用下的承载力要求。

(2) 合适的温度会对结构受力产生有利影响,可进一步细分温度荷载下数值分析结果,探究钢拱架及拱圈合龙的最有利温度。

(3) 钢拱架若有部分应力超过设计值,可用加强三角代替标准三角,以增强钢拱架的局部强度,同时提升工程经济性。

### 参考文献:

- [1] 向中富,徐君兰,王银辉,等.拱桥拱架施工过程中的结构行为分析[J].重庆交通学院学报,2001,20(增刊):17-22.
- [2] 胡崇武,范立础.丹河大桥拱圈与拱架共同作用研究[J].公路,2005(4):50-53.
- [3] 李展明.现浇拱桥钢桁拱架受力分析与施工[J].山东交通科技,2012(3):36-38.
- [4] 刘鹏,杨转运,郑凯锋.钢筋混凝土拱桥拱箱现浇施工力学行为分析[J].公路交通科技,2009,26(4):64-67.
- [5] 傅志勇.钢筋混凝土箱型拱桥钢拱架的受力分析与施工[J].低碳世界,2016(4):177-179.
- [6] 崔大川.现浇上承式钢筋混凝土箱形拱桥拱圈与钢拱架的联合作用研究[D].重庆:重庆交通大学,2015.
- [7] 姜旭.钢拱架施工过程中的稳定性研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [8] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵设计通用规范:JTG D60-2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [9] 李荣建,刘山洪.大跨度钢筋混凝土拱桥拱架监测与模型对比分析[J].黑龙江科技信息,2010(1):236.
- [10] 袁鹏,刘建.基于弹性-刚性支撑法的钢拱架预抬高值确定[J].2018(6):113-115+145.
- [11] 张静静,张玉平,李传习,等.基于拱架-拱圈联合作用的钢拱架应力分析[J].公路与汽运,2016(3):165-168.
- [12] 周勇,巫建晖.复合式组合拱架受力特性研究及应用[J].公路与汽运,2015(1):148-150+196.
- [13] 田仲初.大跨度钢箱拱桥的施工控制关键技术与动力特性研究[D].长沙:中南大学,2007.
- [14] 尚晋.大跨度现浇箱型拱桥施工拱架结构分析[J].北方交通,2019(8):26-28+33.
- [15] 刘健.拱桥现浇拱架施工过程对结构性能影响研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.

收稿日期:2020-01-08