

CAD 和 Midas/Civil 用于异形结构杆板单元 混合建模设计

刘勇, 赵毓欣, 张海鹏

(中交第四公路工程局有限公司第七分公司, 重庆市 401121)

摘要:以牵索挂篮底篮承重拱桁架为例,重点介绍了利用 CAD 和 Midas/Civil 完成异形结构杆板单元的混合建模,实现临时结构优化的实施案例过程,以期类似临时结构优化设计提供一种思路。

关键词:异形结构;牵索挂篮底篮承重拱桁架;杆板单元混合建模

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)04-0084-04

0 引言

在国家从制造大国迈向制造强国的大背景下,公路桥梁结构的建设亦取得了长足的发展,其中包括造型及美观度的创新优化,强调与人文自然的充分协调,以满足人民对美好生活的向往等等。异形结构的丰富,一方面对施工单位的施工技术提出了新的要求,同时也通过工程的实施提升了企业的核心技术。

临时结构设计验算为专项方案的重要组成部分,通过设计验算,优化临时结构方案,是从技术上确保安全质量、创造经济效益的重要课题^[1]。Midas/Civil 通用的空间有限元分析软件和 CAD 绘图软件被广泛应用于公路行业临时结构设计验算,本文即以 2 项软件的综合运用,解决牵索挂篮底篮拱桁架杆板混合建模设计的问题,为类似临时结构工程的优化设计提供一种思路。

1 工程概况

某大桥为地锚式混凝土斜塔斜拉桥,该桥主梁为预应力混凝土 II 形梁,主梁单侧悬臂长度 170 m,采用牵索挂篮法施工。

本桥主梁顶宽 29.0 m,底宽 30.6 m,边主梁处高 2.5 m,悬臂节段长 8.0 m,每节段前端设横梁 1 道,节段方量为 171.96(标准)~231.87 m³。对比现有可搜集的资料(见表 1),该桥主梁属于截面较大、节段较长、总重量较大的设计。不同于常见的 II 形

梁边主梁内侧采用垂直式设计,本桥边主梁内侧采用了内倾式设计(见图 1)。

由于尺寸较大,使得底篮桁架跨度较大,总荷载较大,同时又因 II 形梁边主梁采用了非常见的内倾设计,两端部分布的荷载也较大,因而对底篮桁架的结构设计提出了更高的要求,具体为:

(1)主梁截面宽大(内边净距 22.6 m,按支拱桁支点计算为 27 m,已接近 30 m 预制 T 梁翼板标准),造成荷载大,必须合理地控制截面尺寸的承载水平,不能过于富余,需充分减轻结构自重以便施工操作。

(2)受制于 II 形梁的特点,在几何上,桁架立面需呈现中间高两侧低的设计,但载荷分布呈现出中间低两侧高的形态,桁架端截面的承载能力要求明显高于中部截面。

2 底篮拱桁架功能设计

(1)为提高工效,底篮采用整体提升式设计(见图 2)。4 片拱桁架横桥向布置(见图 3),4 片拱桁架脚位置设全通提篮梁,采用 4 个穿心千斤顶进行底篮的整体提升。

(2)根据梁底截面,采用拱桁架形式,以减少底篮总组装高度,使拱桁架支点能够固定于挂篮主承重钢箱梁高的中部位置以提高稳定性;同时,由于拱架端部内力较大,端部采用了钢板进行加强,并形成了钢箱结构;端部尺寸的加大,使得常规采用固定(槽形)导轨包拱架端部的设计变更为拱架端部(槽形设于拱桁上)包导轨的设计。

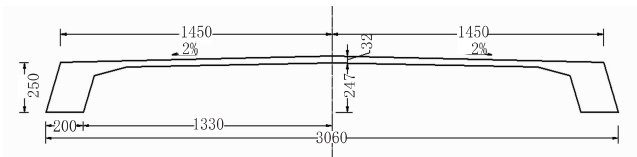
(3)拱桁架上部以受压为主,为解决拱桁架在压

收稿日期: 2020-07-31

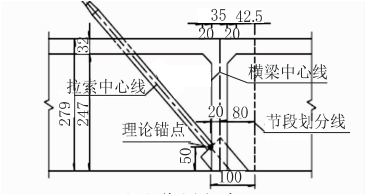
作者简介: 刘勇(1988—),男,本科,工程师,从事路桥施工方面工作。

表 1 部分预应力混凝土 T 形梁斜拉桥主梁参数表

序号	桥名	节段长 /m	顶宽 /m	底宽 /m	梁高 /m	标准节重 /t	内侧壁设计	内边净距 /m	底篮桁架形式
1	本桥(XX 江大桥)	8.00	29.0	30.6	2.5	447.0	内倾	22.6	拱形架
2	中山市广珠中线南沙特大桥	7.00	17.9	18.7	2.2	269.5	垂直	14.9	321 贝雷梁
3	涪丰石乌江特大桥	8.00	26.5	26.9	2.5	419.3	垂直	22.9	拱形架
4	奉节长江大桥	7.85	20.5		2.5		垂直		
5	李渡长江大桥	7.60	25.1	25.6	2.4		垂直	21.0	



(a)主梁截面



(b)分界细部

图 1 本桥主梁截面及节段分界细部(单位:cm)

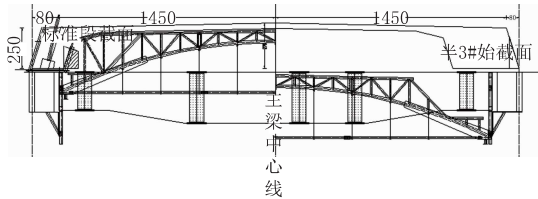


图 2 整体提升式设计(单位:cm)

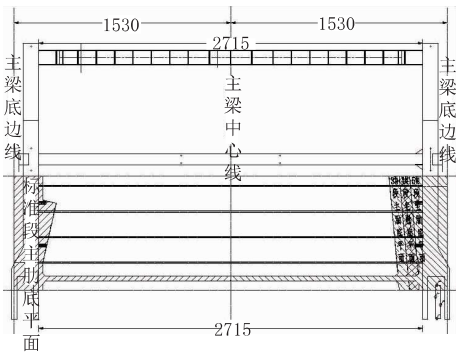


图 3 拱桁架横桥向的布置(单位:cm)

力下侧向稳定的问题,设置型钢平联(见图 4)。

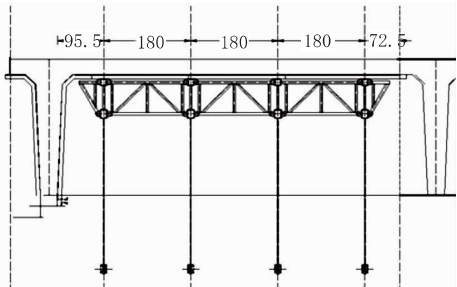


图 4 型钢平联(单位:cm)

- (4)为了便于制作,拱桁架上部主肋采用数控贴割钢板制作,采用标准圆线型,以利于工厂加工。
- (5)为便于运输,拱桁架分节长度不大于 9 m。

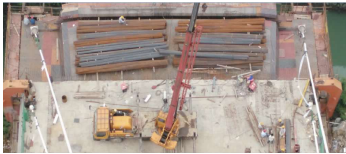
(6)除 0#、1#、2# 块以外,全部节段都可适用。
本项目挂篮现场施工示意图见图 5。



(a)平联、模板面板的安装



(b)底篮拼装实物照片



(c)挂篮预压

图 5 挂篮现场施工示意图

3 设计计算

为适应主梁外形,并充用利用结构和材料特点,减轻结构自重,采用拱桁结构作为主梁的承重结构。设计计算的难点在于拱架几何尺寸确定时要充分考虑结构的预期功能;细节设计部分则要结合验算过程进行实时调整,多次调整后取得最优结果^[2]。

3.1 主要几何尺寸的确定

3.1.1 牵索挂篮的三维定位

牵索挂篮主体尺寸已完成设计,安装尺寸已确定。利用 CAD 软件同步绘制俯视、横桥、顺桥 3 个垂直面剖(投影)图,即可完成对象的三维准确定位。依据拱桁布置的位置,提取到最小的拱桁尺寸包络图,主要细节包括:

(1)在俯视图投影了挂篮主体结构及主梁底部边线,其中左侧阴影属主梁标准节段(含齿板),右侧则属非标准段。主梁横梁底部线位于挂篮主体前横梁的后侧,这是为了实现整体提升而采用的设计。

(2)横桥向图中,模拟底篮上下运动,截取了不同大小截面的包络截面以用于拱桁架尺寸比对。

(3)顺桥向图中,确定了拱桁架的布置位置。

3.1.2 标准拱桁架尺寸的确定

由于主梁截面的变化,应当以最小的截面来确定标准拱桁的尺寸。图 6 中“浇筑标准节时安装部分”

即是将拱架分为基本件和附加件的设计方式,以适应变截面段的施工。为了便于日后附加件的安装(焊接),基本件端部采用了水平设计。基本件端部底部设计了双工字钢提升梁,用于底篮整体提升及下放。拱桁端部设置加强板,以适应端部高剪力、高弯拉力的情况,对形状进行了优化。基本件采用3段式设计,采用螺柱对接,最长件9 m,以便于山区运输。

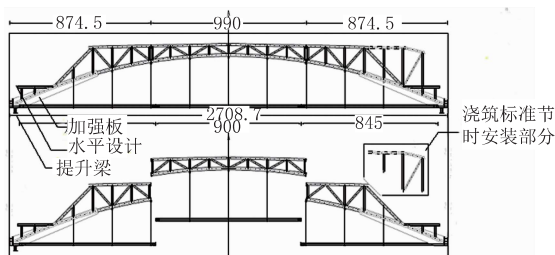


图 6 标准拱桁的设计(单位:cm)

在主要构件的定尺上,采用了 3 或 5 的模数倍,以利于加工及施工。拱桁间距 1.8 m,各腹杆间距为 120 cm。

3.2 材料选用常规型材

(1)拱桁架上压杆为双 14# 对口槽钢,沿主梁下缘布置。

(2) 拱圈采用双腹板工字箱型截面,拱轴线为圆弧形,以便于施工并有效减短拱桁的腹杆长度;拱圈根部位置混凝土最厚,拱圈根部外包成钢箱结构,适应变截面段施工,并使全拱圈应力控制在相同水平。

(3)水平拉杆为双 14# 背口槽钢,便于垂直系杆通过。

(4)水平拉杆与拱脚处采用销接;拱架拱脚与挂篮主承重结构导轨相嵌,采用销接固定。

3.3 建模计算要点

3.3.1 模型骨架的建立

采用 CAD 与 Midas/Civil 进行设计计算。主拱架设计时,根据施工要求设计拱桁外形,绘制各杆件轴线、钢板的几何尺寸,通过 Midas/Civil 的 DXF 文件导入功能形成结构模型。采用 CAD 导入方法的优势在于不必在 Midas 中逐个计算座标,能快速准确建立模型骨架,并根据试算结果及时调整方案。主要技术要点如下:

(1) 拱桁杆件轴线采用 DXF 文件导入, 在各轴线相接处、需要计算内力位置及连接的位置设置节点。

(2)加强钢板轮廓导入后,可以利用网格工具划分网格得到板单元节点,板单元节点通过刚性连接单元与拱桁拱圈杆单元节点进行连接,即可模拟两

者的连接。

(3)工字型截面先绘制 DXF 文件,导入 Midas SPC 截面设计器进行网格化后再导入至 Midas 即可。

3.3.2 标准截面、变截面加载

拱桁架要适用于全部分标准截面和变截面,荷载及其组合按《建筑施工模板安全技术规范》(JGJ 162—2008)要求进行加载。技术难点为异形截面混凝土荷载的加载。现浇段分标准截面和变截面 2 种,2 种工况下荷载、桁架几何尺寸皆不同,故建模建了 2 套,一套是以标准段工况为基准,一套是以最不利变截面段为基准(经计算,最不利变截面段为控制设计)。

(1)永久荷载为混凝土重 G_1 及结构自重 G_2 。主梁中间部分,混凝土高度一致,采用均布荷载加载;主梁两侧变截面部分,根据 2 根腹杆区间面积质心位置进行分配,再通过在腹杆顶加集中荷载确定(见图 7)。质心的确定采用 CAD 软件的面域查询功能。荷载加载示意图见图 8、图 9。

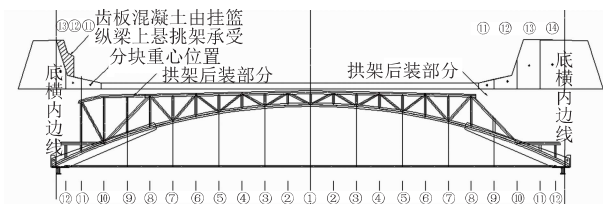
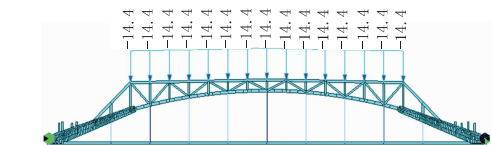
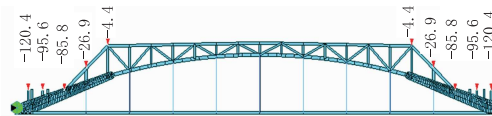


图 7 异形截面混凝土荷载的处理(按混凝土高度进行转换)

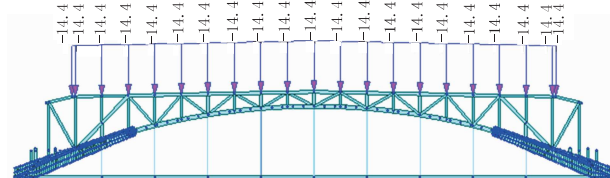


(a) 中间部分 32 cm 混凝土重加载

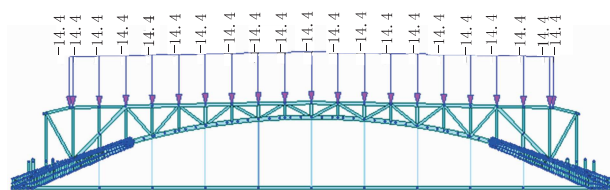


(b) 两侧部分混凝土加载

图 8 混凝土重(3#段尾截面)加载于结构上(单位:kN/m)



(a)中间部分 32 cm 混凝土加载



(b) 两侧部分按集中力加载

图 9 混凝土重(标准段截面)加载于结构上(单位:kN/m)

- (2)可变荷载考虑了混凝土振捣力 Q 。
- (3)其他工况荷载分别按集中力或均布力加载,荷载值不同。

3.3.3 2种组合应力 S

- (1)基本组合应力: $S=0.9 \times 1.35 \times (G_1+G_2)+0.9 \times 1.4 \times 0.7Q$ 。
- (2)标准组合应力: $S=1.0 \times (G_1+G_2)$ 。
- (3)梁单元组合应力:Max=198 MPa,Min=-193 MPa;梁单元剪应力:Max=14.8 MPa,Min=-33.9 MPa;板单元 Von-Mises 应力:Max=161 MPa,Min=2.1 MPa;桁架单元拉应力:Max=18.5 MPa,Min=6.9 MPa。

结果汇总显示各应力均符合规范要求;变形符合规范要求(以上材料均采用 Q235 级钢材)。

基本组合应力见图 10。

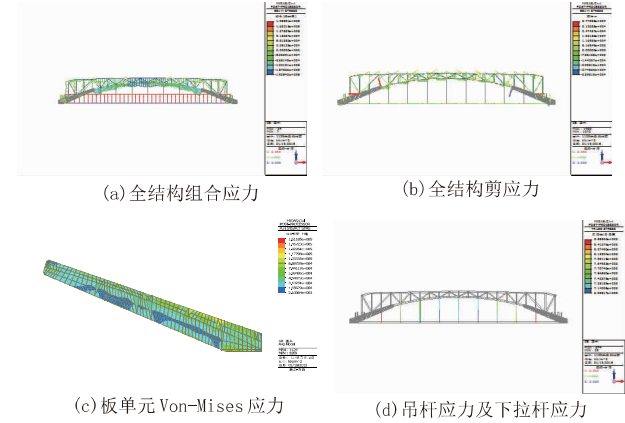


图 10 基本组合应力(单位:MPa)

标准组合下,全桥 Z 向最大变形值为 -3.5 cm,小于拱架跨度的 $l/500(2\ 605/500=5.21\text{ cm})$,见图 11。



图 11 标准组合下的结构总变形

3.4 施工图纸的绘制

在异形结构中,模板尺寸的计算较为困难,通过 CAD 三维功能,可以提取出每个面的尺寸(见图 12),

为劳业层提供准确的数据,以提高其工效。

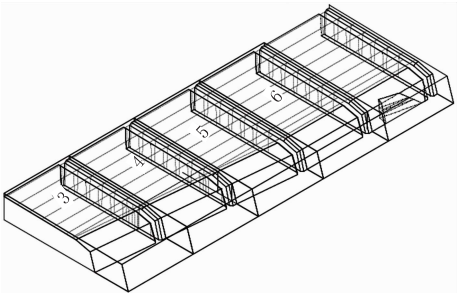


图 12 利用 CAD 的三维功能展开内模并进行模板分块规划

经计算确定方案的可行性后,还需要绘制详细的临时结构施工图纸及物料清单,细化局部的螺栓连接、焊接技术要求,完善计算书,完善报批手续。考虑到加工厂的技术水平,本项目图纸基本细化至全部下料细节。

4 结 语

(1)本次设计的牵索挂篮底篮在大桥的建设中得到成功应用,该结构强度、稳定性、变形满足要求,组装便捷,达到整体提升的功效,明显减少了节段施工底模的组拼时间,提高了工效。标准节段平均施工周期控制在 7 d 以内(本桥由于结构原因,采用了塔梁同步施工工艺)。

(2)通过 CAD 与 Midas/Civil 的有效结合,解决了 Midas/Civil 几何模型建模灵活性不足的问题,实现了板杆单元的混合建模。通过局部板的加强,满足了底篮端部力学要求及功能性(形状)需求,结构应力分布较为均衡,整体轻便美观,达到了优化结构重量的要求。

(3)充分应用 CAD 的三维功能,可以实时快速地解决异形模板尺寸的问题(如齿板、斜交梁肋),有助于减少错误,提高工效。通过同步剖(投影)绘制结构物,可以准确重构三维实体的控制断面,特别适用于三维的临时支架工程、塔式起重机附着等工程的施工图绘制,可以解决空间设计的碰撞问题。

参考文献:

[1] 刘东跃.施工临时支撑结构专项技术方案[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2013.
[2] 陈明宪.斜拉桥建造手册[M].北京:人民交通出版社,2003.