

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2021.05.026

三官堂大桥主桁中支点节点设计

李东胜

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要:三官堂大桥主桥采用钢桁连续梁桥,跨径布置 160+465+160=785 m。主桁中支点节点连接 V 撑处 6 根杆件,下设支座,将上部结构作用通过支座传递给下部结构,支座吨位 14 000 t。此节点构造与受力均较复杂,是全桥关键节点之一。介绍此节点构造设计和有限元分析计算方法,可为类似桁架节点设计提供借鉴。
关键词:三官堂大桥;钢桁梁桥;节点设计;支座;有限元分析;局部分析
中图分类号:U442.5 **文献标志码:**B **文章编号:**1009-7716(2021)05-0090-03

1 工程概况

三官堂大桥主桥采用钢桁连续梁桥,跨径布置 160+465+160=785 m。主桁采用变高桁架,桁式采用 N 形桁,中跨跨中桁高 14.5 m,边墩墩顶桁高 15.0 m,中支点桁高 42.0 m。桁架基本间距 15.0 m,在中支点附近为 18.75 m。主桁立面图见图 1。

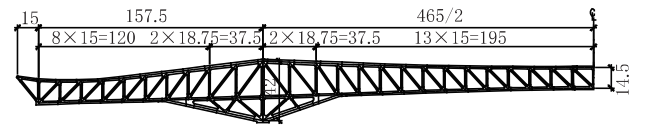


图 1 主桁立面图(单位:m)

2 主桁中支点节点构造

主桁中支点节点连接 V 撑处 6 根杆件,包括两侧斜腹杆、竖杆、中间斜腹杆和横梁。节点下设支座,上部结构作用通过此节点传递给支座。

两侧斜腹杆为主要传力杆件,由于航空限高,两侧斜腹杆轴线与水平面夹角较小,分别为 12.2°(边跨侧)和 19.1°(中跨侧),受力最大。竖杆和中间斜腹杆受力较小。6 根杆件均为箱型截面,各杆件截面尺寸见表 1。

节点板与两侧斜腹杆、中间斜腹杆和竖杆顶底板对接,外侧对齐,两块节点板间距 2 200 mm。节点板与每个杆件顶底板焊缝设置在圆弧起点外侧 150 mm 处。根据此原则确定节点板平面规格,节点板厚 60 mm。除节点板,另在两侧斜腹杆与节点底板围成区域增设一道中腹板,中腹板厚 60 mm。

收稿日期:2020-10-28
作者简介:李东胜(1988—),男,硕士,工程师,从事桥梁结构设计和研究工作。

表 1 各杆件截面尺寸 单位:mm

杆件 编号	截面尺寸	顶底板		翼缘	
		厚度	加劲规格	厚度	加劲规格
1	2200×3060	45	40×450	40	36×360
2	2200×3060	50	45×450	45	40×400
3、4	2200×1260	24	20×240	24	24×260
5	2200×2060	24	24×220	24	24×260
6	2000×2520	30	20×200	24	20×200

注:表中杆件编号见图 5。

节点内设置腹板与两侧斜腹杆、中间斜腹杆、竖杆腹板和横梁对接。两侧斜腹杆受力最大,其上侧对接腹板(F1、F5)通过隔板(HG7)连接,考虑预留支撑加劲焊接空间,下侧对接腹板(F1a、F5a)通过加劲(J7)连接;竖杆对接腹板(F3)向下延伸至底板,同时作为横梁对接板和支撑加劲;两侧斜腹杆受力较小,其对接板(F2、F2a、F4、F4a)伸入节点板后截断(见图 2)。同时,节点内设置与杆件加劲对应加劲。F1、F1a 厚 45 mm, F5、F5a 厚 50 mm, F2、F2a、F4、F4a 厚 24 mm, F3 厚 45 mm。

横桥向设置 5 道隔板(HG1~HG5),由于两侧斜腹杆与水平面夹角较小,最外侧隔板间距(HG1、HG5)不宜过小,否则 J7~J7a 与底板距离较小,支撑加劲无法焊接。次外侧隔板(HG2、HG4)为临时支座支撑加劲,中隔板(HG3)为永久支撑加劲。横隔板厚度均为 45mm。

本桥节点板、中腹板与横桥向隔板(HG1~HG5)、竖向腹板对接板(F3)之间焊缝采用熔透焊。上述板件与底板之间焊缝亦采用熔透焊,其余焊缝为半熔透焊缝。支座垫板与底板之间采用两种焊缝形式:横桥

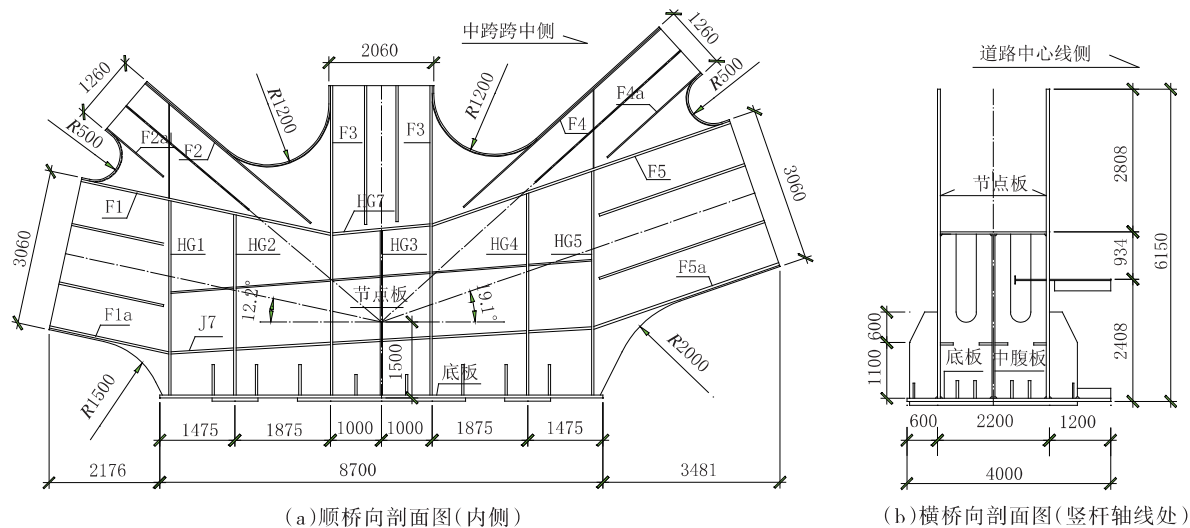


图 2 中墩墩顶节点构造图(单位:mm)

向固定支座处采用坡口角焊缝,横桥向可动支座处采用角焊缝。为防止焊接时支座垫板脱空,支座垫板中心区域设计多个直径 0.1 m 圆孔,焊接周围焊缝前,首先利用圆孔与节点底板圈焊固定。

节点板倒圆弧处设封头板,以确保节点内部密封。节点内构造复杂,考虑后期二次涂装困难,节点内浇筑混凝土。节点位于 V 撑最低处,节点内设置排水孔,防止积水。

3 有限元分析

3.1 有限元模型

全桥总体计算采用杆系模型,局部节点分析采用板壳模型,是钢桁梁桥计算常用方法。本桥总体计算采用 MIDAS 杆系模型,节点局部分析采用 ANSYS 有限元软件。

有限元模型除建立整个节点板件,还建立 3 倍杆件高度长度范围杆件,以尽量减小杆件边界失真对节点应力的影响。钢板采用 SHELL63 单元,中支点节点 ANSYS 有限元模型见图 3。

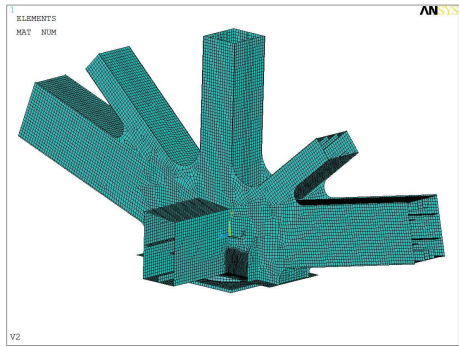


图 3 中支点节点 ANSYS 模型

支反力施加有两种方式:一是在支座垫板范围内施加均布面荷载,约束模型其他位置;二是建立真

实支座,约束施加在支座位置。计算发现,对于本节点,方式一由于没有考虑支座刚度,节点板应力分布更均匀,计算结果偏不安全,因此采用方式二施加支反力。支座采用 SOLID45 单元,支座顶板与节点底板之间建立接触单元^[1],设置接触单元只受压不受拉,约束支座底板底面所有节点 3 个自由度,支座见图 4。

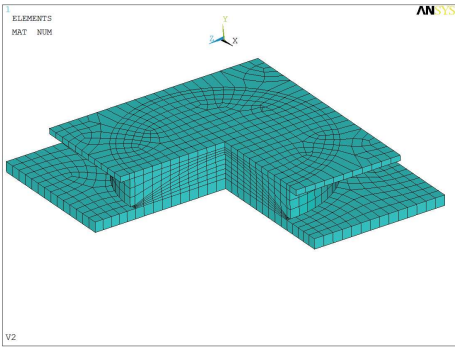


图 4 支座示意图

各杆端作用荷载由总体 MIDAS 模型提取,MIDAS 模型提值节点与 ANSYS 模型加载节点位置一致,本节点分析每个节点均提取 6 个分力,荷载转换并施加到 ANSYS 模型步骤为:(1)调整 ANSYS 施加节点坐标系与 MIDAS 提值单元相同。(2)若提值节点为 MIDAS I 节点,将 M_y 正号、其他 5 个分力反号施加到 ANSYS 模型中;若提值节点为 MIDAS J 节点,将 M_y 反号、其他 5 个分力正号施加到 ANSYS 模型中。

荷载组合采用主力组合:恒载+汽车活载+人群荷载+汽车冲击力^[2]。活荷载考虑支反力最大、V 撑跨中撑杆轴力最大和 V 撑边跨撑杆轴力最大 3 种工况。经对比,3 种工况支座反力最大值与最小值相差 0.7%,可仅选取其中一种工况做有限元分析。选取 V 撑中跨轴力最大工况,各杆端荷载值见表 2。

表2 杆端荷载

编号	位置	轴向 /kN	剪力 -y/kN	剪力 -z/kN	扭矩 /(kN·m)	弯矩 -y/(kN·m)	弯矩 -z/(kN·m)
1	i	-101 667.0	554.4	677.5	952.5	-6 014.4	2 537.0
2	j	-105 083.3	-570.3	-591.0	-888.9	-6 868.4	2 786.4
3	i	-17 494.9	24.7	-148.1	15.0	-267.6	191.0
4	j	-18 740.7	-25.1	128.4	-16.9	-178.3	90.1
5	j	-27 160.3	-19.1	-297.3	-12.3	1 031.4	324.9
6	j	1 668.9	-33.9	-789.9	10.5	-1 637.7	-75.6

注:表中 x 、 y 、 z 为MIDAS中单元局部坐标系方向,杆件编号和单元局部坐标系方向见图5。

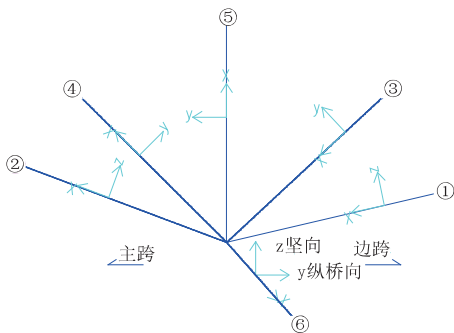


图5 杆件编号及坐标系示意图

模型采用如下方法自校:同时不考虑MIDAS和ANSYS模型中本节点自重,对比MIDAS和ANSYS模型支座反力,两者完全一致。考虑本节点自重后,由于MIDAS模型没有精确建立节点板,结果稍有差异。

3.2 主要计算结果

本桥节点板受力最不利,控制设计,其最不利位置出现在支座顺桥向边缘。由于航空限高,两侧斜腹杆轴线与水平面夹角较小,杆件轴线交叉点与底板距离短,两侧斜腹板会按最短路径传力至支座两侧。计算发现,通过增设中腹板和增加节点板板厚能有效降低节点板应力水平;通过将两侧斜杆腹板用横隔板连接、增设底板顺桥向加劲能在一定程度上降低节点板应力水平。在3.1节荷载工况下,节点板、中腹板MISES应力分布分别见图6、图7。另外,若无航空限高,向下加高节点板也能有效减小节点板应力水平。

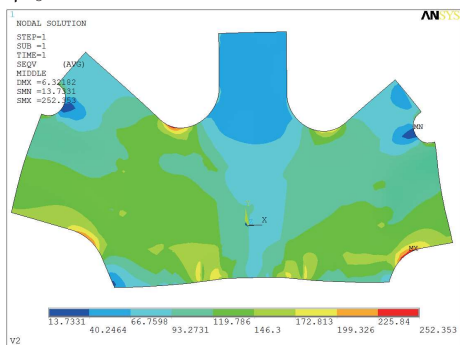


图6 节点板MISES应力图(单位:MPa)

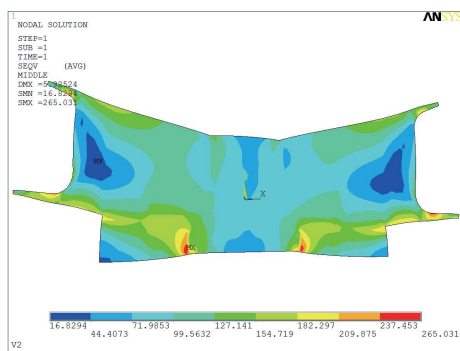


图7 中腹板MISES应力图(单位:MPa)

本桥支座顺桥向边缘受力大,中间小,受力特点与节点板相应。支座球面滑板采用改性超高分子量聚乙烯滑板,其允许压应力仅45 MPa,其压应力图见图8。本桥最大压应力发生在球面滑板边缘,为35.9 MPa,小于允许值。

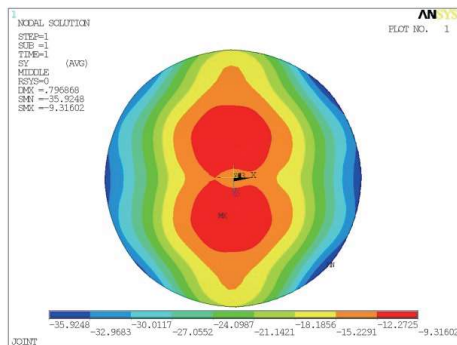


图8 支座球面滑板压应力(单位:MPa)

4 结 语

本文介绍了三官堂大桥中支点节点构造设计和有限元计算方法,摘取了主要计算结果,通过计算结果说明此节点的设计安全、可靠。对于设计、分析该类节点,做如下总结:

(1)节点内板件宜与杆件对应,主要受力板件不宜截断。

(2)对于本节点,通过增设中腹板和增加节点板板厚能有效降低节点板应力水平;通过将两侧斜腹板用横隔板连接、增设底板顺桥向加劲,能在一定程

(下转第122页)

518.99 MPa,出现在横桥模板横向加强筋板位置。根据弹塑性力学理论,此应力为局部应力,大部分应力在 140 MPa 以下,在浇筑过程中,最大位移为 4 mm,出现在模板横桥模面板正中央部位,变形较小。

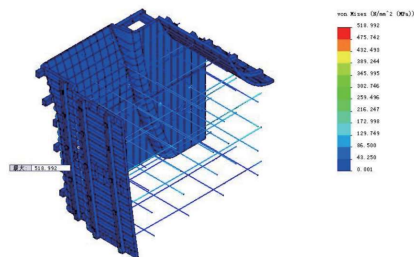


图8 第三浇筑段模板应力图

通过计算,设计的模板结构在使用过程中的许用应力均不大于 $[\sigma]$,强度满足要求,模板变形、支架、拱架挠度变形量等均不大于 $L/400$,面板变形不大于 1.5 mm,刚度满足要求,模板设计合理,满足施工需求。

7 结 语

多曲面混凝土桥塔由于空间曲面较多,为钢模

板的设计带来了较多的困难。本文通过对加工难度、安装难度、构件成型质量、工期影响、经济性等内容进行比较,确定了大块定型钢模板在多曲面混凝土桥塔中的适用性。

通过对异形结构发展趋势进行探讨,借鉴 BIM 中的信息模型思想,将三维模型引入模板设计过程中,并对模型中的关键问题进行了探讨,通过建立三维模型,充分考虑结构安全、成型质量和施工便利等因素,进行了各节段的模板设计工作。最后建立了多曲面混凝土桥塔钢模板设计验算方法,对设计成果进行了检验,验证设计可靠。本文研究形成了模板比选、设计、验算为一体的模板设计体系,可为类似工程提供参考、借鉴。

参考文献:

- [1] 沈培良.矮塔斜拉桥空间异形混凝土塔柱施工技术[J].中国市政工程,2016(3):34-37.
- [2] 张威振.Y形墩施工支撑系统的有限元分析[J].钢结构,2016(5):63-67,30.

(上接第 92 页)

度上降低节点板应力水平。另外,若无航空限高,向下加高节点板也能有效减小节点板应力水平。

(3) 支座垫板尺寸较大时,应采用一定措施,避免焊接时支座垫板脱空。

(4) 支座刚度对有限元分析结果影响较大,为反应节点真实受力情况,应真实模拟支座。同时,若支座受力不均匀,球形滑板可能控制设计,应引起重视。

(5) 杆件长度宜取不小于 3 倍杆件高度范围,以尽量减小杆件边界失真对节点板应力的扰动。

(6) MIDAS 与 ANSYS 荷载转换较复杂,可采用本文提供方法转换并自校。

参考文献:

- [1] 王新敏.ANSYS 工程结构数值分析[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [2] TB 10002.2—2005,铁路桥梁钢结构设计规范[S].