

大跨度连续刚构-拱组合桥梁拱-梁-墩结合部分析

温志鹏

南昌市城市规划设计研究总院集团有限公司

摘要: 为了研究大跨度连续刚构-拱组合桥梁拱-梁-墩结合部的空间应力状态。本文以一座(100+200+100)m的连续刚构-拱组合桥为例,针对拱-梁-墩结合部,利用Midas FEA NX软件建立了实体有限元局部模型。基于杆系整体模型确定的3个不利工况荷载作用下,计算并分析了拱-梁-墩结合部的空间应力分布规律。计算结果表明:拱-梁-墩结合部的主要受拉区域为拱座齿板表面以及墩梁交接处,在设计时应加强这些区域的配筋。拱-梁-墩结合部应力满足规范要求,设计合理可靠。

关键词: 连续刚构-拱组合桥; 拱-梁-墩结合部; 有限元; 应力分析

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.09.059

一、背景

预应力混凝土连续刚构桥广泛应用于大跨度轨道桥梁中。近些年,由于加劲拱能更好地解决大跨度连续刚构桥跨中长期下挠问题,梁拱组合桥被广泛的运用在了对后期变形敏感的铁路和城市轨道的建设中^[1]。零号块作为刚构桥的关键受力构件,由于其复杂的受力状态,其空间受力分析往往是设计时关注的重点^[2]。连续刚构-拱组合桥梁由于在连续刚构桥的基础上增加了拱座,零号块处于拱、梁、墩三者连接处,其受力状态更为复杂。故有必要对该组合体系桥梁的拱-梁-墩结合部进行详细的应力计算分析。本文采用MIDAS FEA NX软件对某城市轨道交通中一座主跨为200m的连续刚构-加劲拱组合体系桥的拱-梁-墩结合部进行了不同状态下局部应力分析,为同类型桥梁的设计提供了参考。

二、工程概况

本桥采用预应力混凝土连续刚构桥与钢箱提篮拱组合体系,下部结构主墩采用双薄壁墩柱,计算跨径为(100+200+100)m,双线无砟轨道专用桥,运行城市轨道交通B型车,设计时速80km/h,总体布置如图1所示。

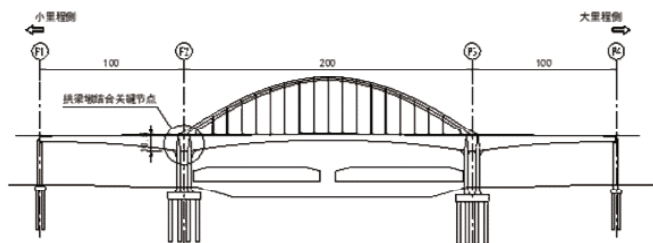


图1 连续刚构-加劲拱组合体系桥整体布置示意图

主梁采用C55混凝土,单箱双室截面,无翼缘板。箱梁中支点处梁高10.5m,主梁在拱座区域内设置加强齿板构造,供拱座预应力锚固用。拱梁墩结合关键节点的构造图如图2~图3所示。主梁为三向预应力结构,纵向预应力采用15-27的1860级钢绞线;横向预应力采用

BM15-4的1860级钢绞线,并布置在顶板内;竖向采用15-3的1860级钢绞线,并布置于边、中腹板及支点隔板内。拱座沿拱轴线通过15-27的1860级钢绞线与主梁连接。

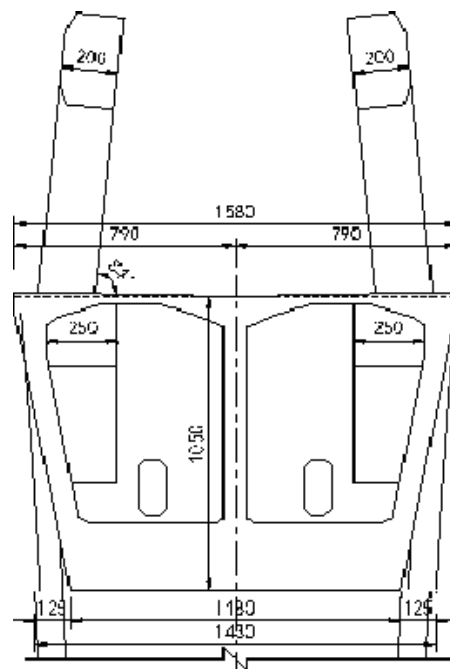


图2 拱-梁-墩结合部构造断面图(单位:cm)

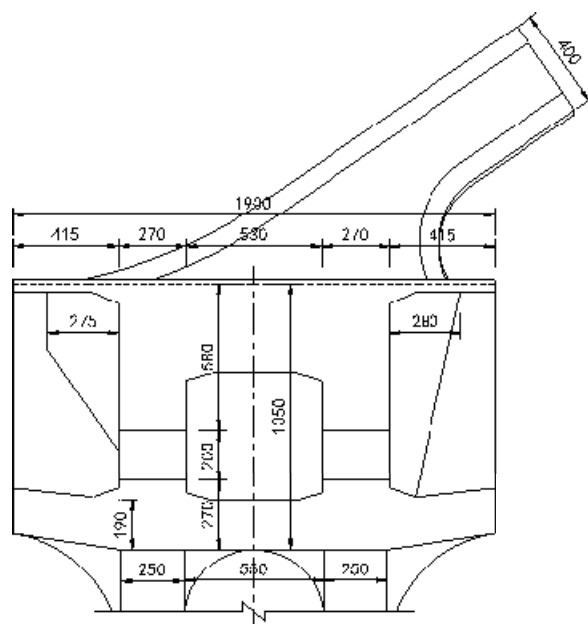


图3 拱-梁-墩结合部构造纵剖面图(单位:cm)

三、有限元模型

(一) 建立整体计算模型

大桥整体计算采用Midas Civil程序进行计算，桩基、墩柱、主梁、拱肋均采用梁单元模拟，吊杆采用桁架单元模拟。边界条件已考虑岩土对结构的影响，并按桥梁实际施工方案模拟。

(二) 建立局部分析模型

采用Midas FEA NX程序进行本桥的拱-梁-墩结合部进行计算分析。为了确保局部精细有限元分析的精确度，按照圣维南原理和静力等效原则确定截取模型的范围^[3]。局部模型所选主梁包含0#~2#块，长度为37m；拱脚包含整个混凝土拱座段；墩底段截取至梁底以下14.5m处。混凝土通过实体单元模拟，模型单元细部尺寸0.1m，远离分析区域的节段单元最大尺寸为0.5m。实体模型单元数量共计529306个，节点数量共计398813个。预应力钢束通过钢束线单元模拟，计算模型见图4~图5所示。

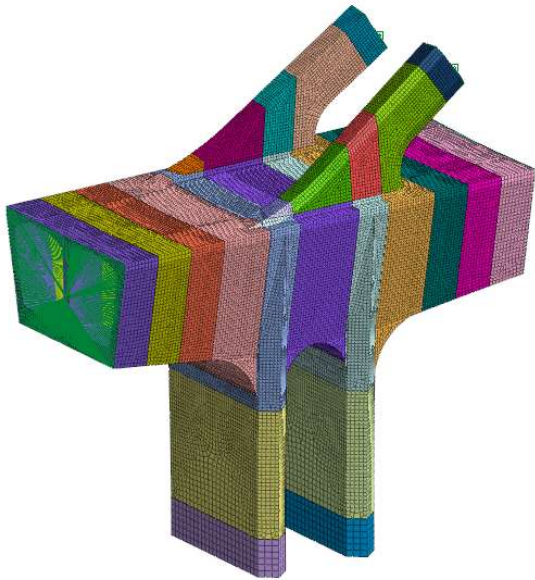


图4 实体有限元计算模型示意图

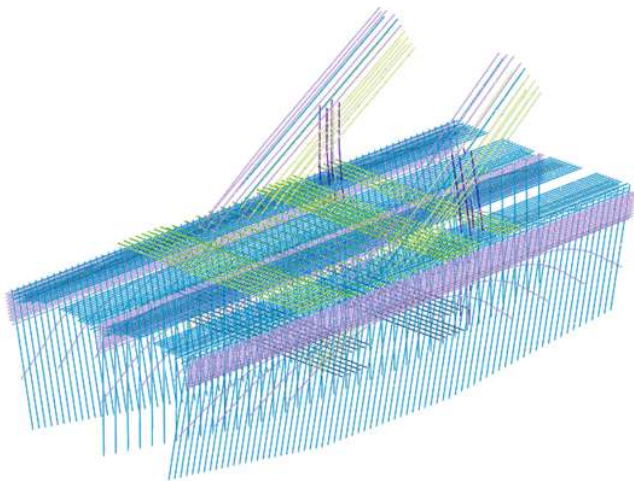


图5 主梁预应力以及拱座预应力示意图

对于局部模型的边界条件模拟，桥墩墩底按固结边界处理；梁段两端及左右混凝土拱座面通过刚性连接与加载点连接，加载点位于截面形心处。钢束单元位于实体单元内部时会自动耦合。

根据结构受力规律，选取3个工况进行分析。工况1：使用阶段拱脚推力最大；工况2：使用阶段拱脚弯矩最大；工况3：使用阶段墩顶弯矩最大。

通过整体计算的杆系模型提取各工况下主梁与拱座断面处的截面内力。得到各工况外荷载大小如表1所示：

表1 实体模型控制性工况对应外荷载

工况	位置	轴力 (kN)	剪力 -y (kN)	剪力 -z (kN)	扭矩 (kN*m)	弯矩 -y (kN*m)	弯矩 -z (kN*m)
		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
工况 1	边跨处主梁	4963	0	-60719	0	-1954216	0
	中跨处主梁	79218	0	-52380	0	1814944	0
	外侧拱肋	-29909	237	-335	0	12140	1742
	内侧拱肋	-34387	150	-14	0	9476	3151
工况 2	边跨处主梁	4979	0	-60910	0	-1841638	0
	中跨处主梁	8093	0	-53268	0	1906292	0
	外侧拱肋	-19146	-207	-1126	0	24604	-3010
	内侧拱肋	-14549	-187	-1458	0	27377	-1887
工况 3	边跨处主梁	5540	0	-64528	0	-2031348	0
	中跨处主梁	81763	0	-49605	0	1743649	0
	外侧拱肋	-27055	229	-505	0	13257	1820
	内侧拱肋	-31579	158	-185	0	10628	3105

四、分析结果

由于模型中预应力采用线单元模拟，未模拟锚具，故在预应力锚固端出现的应力集中现象与实际应力状态有差异，可以忽略。此外靠近模型截取范围边界处由于等效加载的原因出现的应力集中与实际应力状态也有差异，可以忽略。

经计算各工况结果差异不大，受篇幅限制，仅展示工况1的计算结果应力云图，并进行详细分析。

根据图6~图7可知，局部模型总体主拉应力处于2.85MPa以内，总体主压应力处于-18.00MPa以内。满足城市轨道交通桥梁C55混凝土主拉应力3.30MPa和主压应力22.20MPa的限值要求。

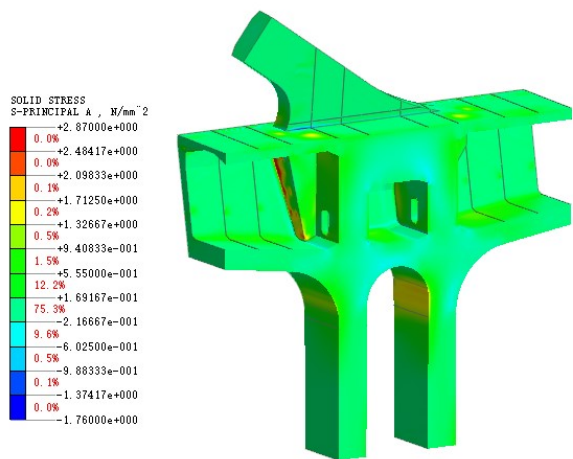


图6 工况1主拉应力云图

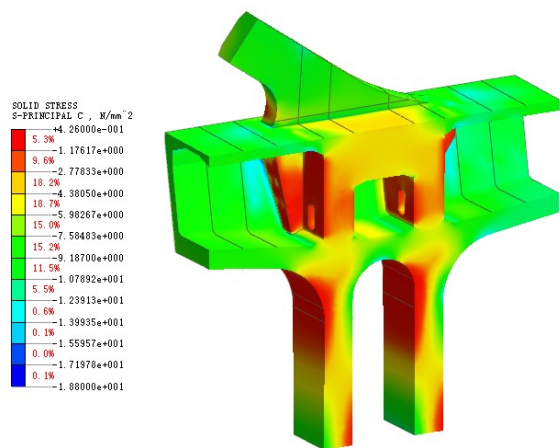
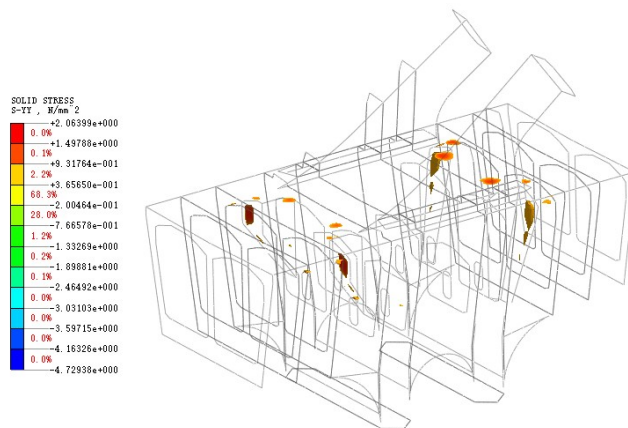


图7 工况1主压应力云图

主拉应力较大位置出现在拱座齿板表面、墩梁交接处、固定端锚头后。除固定端锚头后应力忽略外，拱座齿板表面及墩梁交接处应力较大现象为真实存在。由于拱座齿板仅设置纵向预应力，横向竖向未设置预应力，在较大的外荷载下会出现较大的主拉应力。墩梁交接处为普通钢筋混凝土构件，在拱座轴力产生的水平分力作用下会产生一定的弯矩，导致出现较大的主拉应力。主压应力较大位置分布位置与主拉应力较大位置类似，区别在于墩梁交接处主压应力较大位置出现在双薄壁墩外侧而主拉应力较大位置出现在双薄壁墩内侧，这是由于弯矩导致的一侧受拉一侧受压。

进一步分析各方向上较大的拉应力的区域。纵向拉应力较大位置较少，这是由于主梁及拱座均设置有纵向预应力，故纵向基本处于受压状态。根据图8中横向应力大于1MPa等值面图可知，横向拉应力较大位置出现在拱座齿板表面、梁拱结合位置内侧。拱座齿板表面出现偏大横向拉应力的原因同出现偏大主拉应力的原因，均为仅设置了纵向预应力。梁拱结合位置内侧出现偏大横向拉应力的原因是因为提篮拱拱座在较大轴力作用下，横向水平分力产生的横向拉应力在局部大于桥面板横向预应力所产生的预压应力，故此处出现偏大的横向拉应力。根据图9中竖向应力大于1MPa等值面图可知，竖

向拉应力较大位置出现在拱座齿板表面、墩梁交接处，这两处产生较大竖向拉应力的原因同前。



如图8 工况1纵向拉应力大于1MPa范围

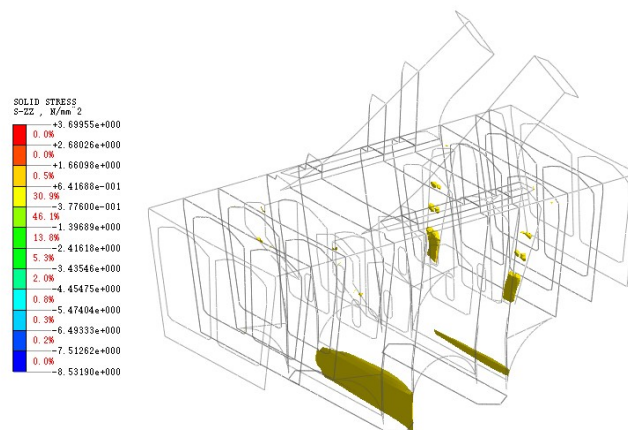


图9 工况1纵向拉应力大于1MPa范围

五、总结与展望

针对200m主跨的连续刚构—拱组合桥梁拱—梁—墩结合部，采用了空间实体有限元方法进行分析，得出以下主要结论：

- (1) 拱—梁—墩结合部主拉应力及主压应力存在局部集中现象，但均在规范限制内，该跨度桥梁采用墩梁拱结合的形式，设计合理可靠。
- (2) 拱—梁—墩结合部的主要受拉区域位拱座齿板表面以及墩梁交接处，在设计时应加强这些区域的配筋。
- (3) 采用拱、梁、墩结合形式，拱座位于主梁内部，拱座较难施加横向及竖向预应力，当拱轴力进一步增大时，拱座宜设置于主梁外侧便于施加横向及竖向预应力，使得拱座处于三向受压状态，更有利于受力。

参考文献

[1] 窦建军, 张海荣. 京津城际(60+128+60)m连续梁拱设计简介[J]. 铁道标准设计, 2007(2): 14-17.
 [2] 文明. 连续刚构桥零号块空间应力仿真分析[J]. 铁道标准设计, 2013(3): 77-79.
 [3] 张德凤. 圣维南原理和轴向拉(压)正应力公式的研究[J]. 河北工业科技, 1993(2): 53-61.