

钢管混凝土梁拱组合桥拱脚段钢管埋深研究

荣 帅

(四川省交通勘察设计院有限公司,四川 成都 610017)

摘 要: 钢管混凝土梁拱组合桥拱脚段钢管主要有深埋式和浅埋式两种不同的形式,相对应的主梁梁端构造、钢筋及预应力布置也有所不同。实际工程中,这两种埋深形式使用均较为广泛,因此需要对拱脚段钢管埋深的影响进行研究,为实际工程提供参考。以某 130 m 跨径钢管混凝土梁拱组合桥为例,分析了拱脚段钢管埋深对施工难度及主梁预应力用量的影响。建立数值分析模型,验证了浅埋式钢管拱脚构造的安全性,并提出了浅埋式拱脚的钢管埋深、端承压板设置、剪力件布置等相关构造要求。

关键词: 钢管混凝土梁拱组合桥;拱脚;数值分析

中图分类号: U443

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)10-0107-03

0 引 言

钢管混凝土拱桥因其优秀的结构受力特点及与钢箱拱桥相比突出的经济性,在国内得到了广泛应用。钢管混凝土拱桥主要分为上承式拱、中承式拱、飞鸟式拱、下承式刚架系杆拱及下承式梁拱组合结构^[1]。梁拱组合桥为单跨简支结构,梁和拱通过拱脚和吊杆结合为一体,共同承受荷载,材料用量较经济。整体为无推力结构,不受地形地质条件的限制,适应性较强。

1 工程概况

本文研究的桥梁为某 130 m 跨径钢管混凝土梁拱组合桥。本桥主拱肋为中间通过工字钢与腹板组成等高度“哑铃”型钢管混凝土截面;拱肋截面高度为 2.7 m;肋宽为 1.1 m;拱肋上下弦管采用 1 100 mm × 15 mm(预埋段为 ϕ 1 100 mm × 20 mm 钢管)、内灌 C50 自密实补偿收缩混凝土的钢管混凝土钢管;上下弦杆间通过 63 a 号工字钢与 14 mm 腹板连接而构成钢管混凝土拱肋。拱肋中距为 13.3 m,两肋间桥面以上设置 4 道 K 形横撑,拱顶设置 1 道米形横撑。吊杆采用钢绞线整束挤压成型成品吊杆。

本桥采用无推力系杆拱桥,拱肋水平推力主要靠主纵梁预应力(刚性系杆)平衡。主梁为双纵梁 π

形预应力钢筋混凝土梁,纵梁横向中心间距 13.3 m(同吊杆)。吊杆段纵梁为等截面矩形截面,高 2.5 m,宽 1.2 m。拱脚段为钢混组合结构,等宽 1.8 m。全桥在对应吊杆位置的两纵梁间及端部横隔板与端横梁间设置一道 30 cm 厚的横隔板。在纵梁两端各设置一道高 2.8 m、宽 3 m 端横梁;桥面板厚 28 cm。

主桥上部立面和横断面分别见图 1、图 2。

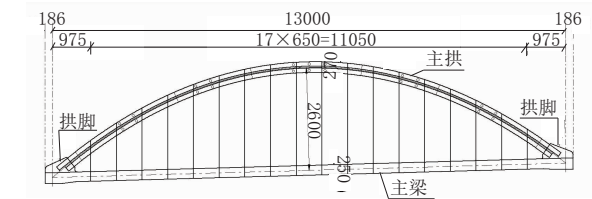


图 1 主桥上部立面

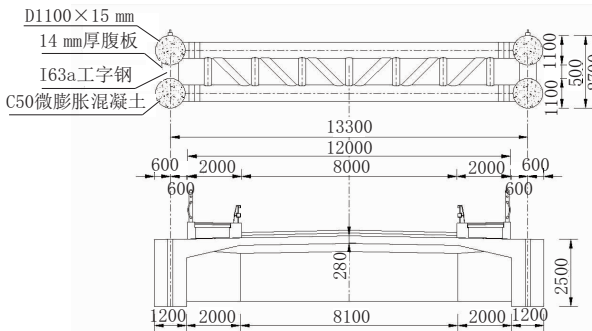


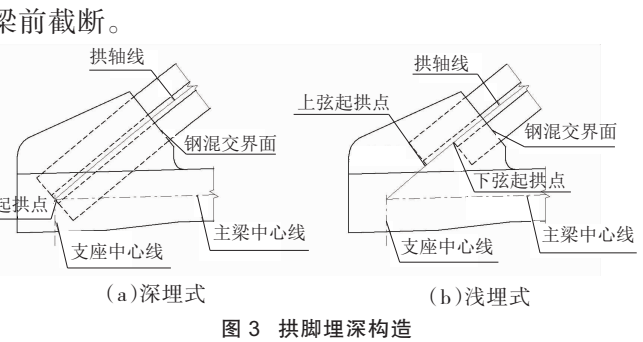
图 2 主桥上部横断面

2 拱脚钢管埋深影响分析

钢管混凝土梁拱组合桥拱脚段钢管主要有深埋式和浅埋式两种不同的构造形式(见图 3)。深埋式将拱脚段钢管伸入纵梁梁端,止于拱轴线与纵梁轴线交点。浅埋式拱脚段钢管仅设于拱脚范围内,在伸入纵

收稿日期: 2023-10-20

作者简介: 荣帅 (1991—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。



2.1 施工难度影响

深埋式拱脚段钢管埋深大,拱脚刚度相对更大,桥梁整体性更好。但拱脚钢管会与纵梁钢筋及纵向预应力钢束发生冲突,需将纵梁局部加宽并将纵向预应力钢绞线局部调整以绕避拱脚钢管。拱脚段钢筋密集且布置复杂,深埋式拱脚段构造将会对现场施工造成较大困难。

2.2 预应力用量影响

钢管混凝土梁拱组合桥为无推力结构,主梁为拉弯构件。采用混凝土纵梁时,为满足主梁承载能力极限状态及正常使用状态抗裂的受力需求,需要在纵梁内设置大量纵向预应力并锚固于梁端,绕避钢管将造成纵向预应力钢绞线布置困难并需两次弯折以实现在梁端锚固,造成额外的预应力损失,增加预应力钢绞线用量。预应力钢束绕避平面示意图见图4。

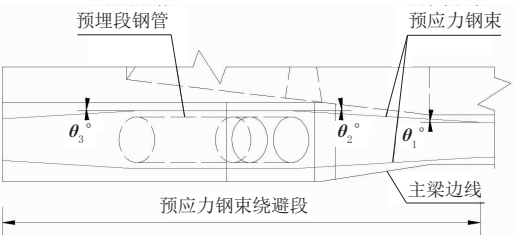


图4 预应力钢束绕避平面示意图

根据本桥采用的18φ15.2低松弛钢绞线,张拉强度标准值 $f_{pk}=1\,860\text{ MPa}$,张拉控制应力采用 $0.75f_{pk}=1\,395\text{ MPa}$ 。为绕避钢管,预应力钢束需增加额外转角 $\Sigma\theta=14^\circ$,根据预应力钢绞线与管道壁摩擦引起的预应力损失计算公式 $\sigma_{l1}=\sigma_{con}[1-e^{-(\mu\theta+kx)}]$ ^[2],得 $\sigma_{l1}=114.6\text{ MPa}$,需额外增加预应力钢绞线用量 $114.6/1\,395=8.2\%$ 。

3 拱脚段构造设计

根据相关规定,主拱钢管宜插入工作预埋,预埋深度不少于 $1.5D$ (D 为主拱钢管直径)。预埋钢管底部应设底钢板承压,并通过PBL剪力键、焊钉或螺旋钢筋等进行锚固^[3]。

本桥拱脚段钢管采用与标准段钢管相同的1.1 m

外径,壁厚加厚为20 mm。为避免钢管伸入纵梁与纵梁钢筋及预应力钢绞线产生干扰并减小纵梁预应力用量,采用浅埋式拱脚构造,上弦钢管埋深3.5 m,下弦钢管埋深1.8 m,分别为 $3.2D$ 和 $1.6D$ 。底部设开孔承压钢板,下设4层钢筋网。在拱脚段钢管上设PBL剪力键,并在剪力键孔内设短钢筋。在拱脚段钢管外套螺旋箍筋,保障拱脚段钢管的锚固。拱脚段构造见图5。

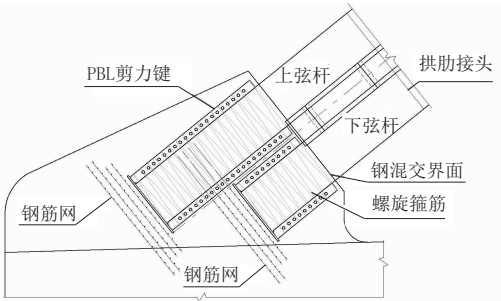


图5 拱脚段构造

4 浅埋式拱脚受力分析

4.1 分析模型

采用大型有限元软件Algor2011对拱脚进行局部分析,钢管采用板单元模拟,混凝土采用六面体单元模拟,共有单元622 104个。三维有限元模型见图6。



图6 拱脚局部计算模型

计算模型区域包括拱座、主梁及钢管混凝土。有限元分析模型中拱肋的内力通过参考节点(拱肋加载截面的形心位置)进行施加,参考截面与加载面进行耦合连接。

4.1.1 材料

各部位材料见表1。

表1 各部位材料

编号	位置	材料	泊松比	弹性模量 / MPa	容重 / (kN·m ⁻³)
1	拱肋混凝土	C50 混凝土	0.2	3.45×10^4	26.5
2	拱座、主梁	C55 混凝土	0.2	3.55×10^4	26.5
3	拱肋钢管	Q355 钢	0.31	2.06×10^5	78.5

4.1.2 边界条件

为减少模型规模,在主梁横向中心线位置设置

对称边界,在模型纵向端部设置固结。在加载过程中,从整体模型提取的内力通过参考节点传递给拱肋,节点与拱肋加载截面采用刚臂连接。

4.1.3 荷载

在局部分析中,考虑的荷载主要包括拱肋给结构的荷载和自重荷载。拱肋对应荷载见表 2。

表 2 拱肋对应荷载

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)
-29 510	-310	725	182	-4 156	-1 140

4.2 分析结果

计算结果见图 7 至图 11。

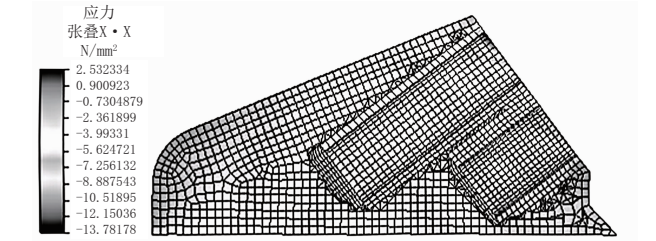


图 7 拱座混凝土纵桥向应力

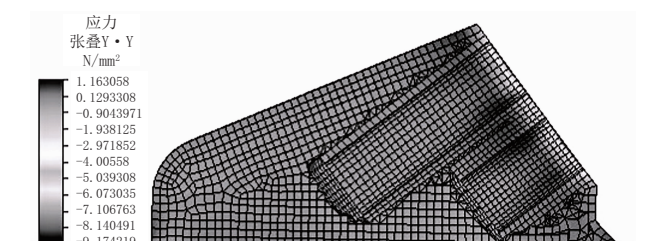


图 8 拱座混凝土横桥向应力

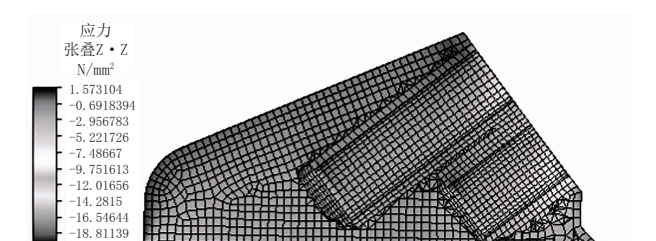


图 9 拱座混凝土竖向应力

由以上计算结果可知,拱座纵、横、竖三项主要应力均为压应力,且不超过 10 MPa。最大主拉应力

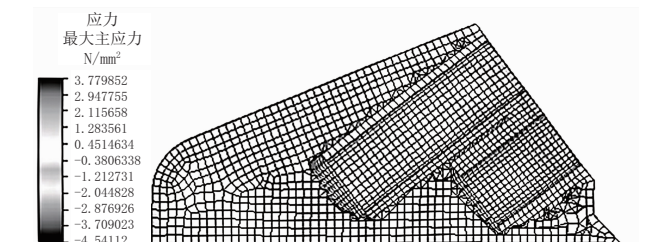


图 10 拱座混凝土主拉应力

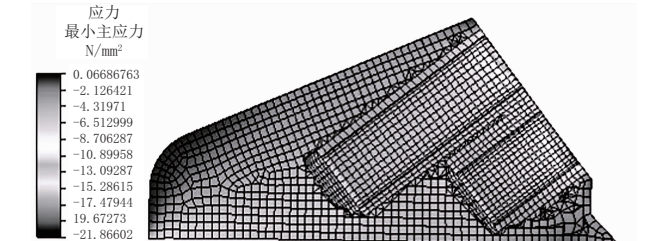


图 11 拱座混凝土主压应力

控制在 0.9 MPa 以内,满足规范要求。实体计算分析结果可指导配筋设计,控制钢筋应力以保证裂缝宽度满足规范要求。

5 结 语

本文分析了拱脚段钢管理深对施工难度及主梁预应力用量的影响,并对浅埋式拱脚建立数值分析模型进行受力分析,得出以下结论。

- (1)与深埋式拱脚构造相比,浅埋式拱脚构造钢管与主梁钢筋及预应力干扰少,施工难度更低。
- (2)采用深埋式拱脚构造时,主梁预应力需绕避预埋钢管,预应力线形曲线增多导致预应力损失加大,需额外增加预应力用量。
- (3)根据数值分析结果,在满足预埋深度不少于 1.5D(D 为主拱钢管直径),且在预埋钢管底部设经计算满足局部受力需要的底钢板承压,并通过 PBL 剪力键、焊钉或螺旋钢筋等进行有效锚固的前提下,浅埋式拱脚构造受力满足需要。

参考文献:

[1] 陈宝春.钢管混凝土拱桥[M].北京:人民交通出版社,2016.
[2] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[3] JTG D65—06—2015,公路钢管混凝土拱桥设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com