

大跨 Y 型墩连续刚构桥设计

何承珩,王伊慧,黄鑫

(中铁城市规划设计研究院有限公司,安徽芜湖241000)

摘要:安庆市勇进路大桥的主桥是采用跨径组合 $81\text{ m}+148\text{ m}+81\text{ m}=310\text{ m}$ 的三跨变高度连续刚构桥,大桥整体线形呈平面“S弯”,达到“直曲有度,相得益彰”效果,主墩采用 Y 型墩造型,通过对大桥的总体设计、对主桥的主梁、主墩等结构设计与计算,可以达到在满足通航净空的前提下,有效减小主跨跨径、降低主墩处梁高、改善墩底截面受力,又能使整体造型典雅优美,使之能融入宽广湖面而具有自然意境,可为类似桥梁的设计提供相关经验和参考。

关键词: Y 型墩;大跨连续刚构桥;桥梁设计;计算

中图分类号:U442.5

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)04-0086-04

1 工程概况

1.1 桥位概述

勇进路大桥位于安庆市高新区境内,大桥跨越石门湖,联系两岸的凤凰片区与山口片区。

石门湖在桥位处湖面宽度约 2.5 km ,下游联通皖河并与长江自然相通;主河槽(航道)位于湖面东侧约 $1/3$ 处,与湖区滩地间有圩埂隔开;枯水期水流归槽,丰水期时水面宽阔、江河湖水面连成一片不分; 100 a 一遇洪水位标高 17.55 m (黄海高程,以下同)。

石门湖航道规划等级为天然和渠化河流Ⅲ(3)级航道的单孔双向通航标准:通航净高 $H=10\text{ m}$,侧高 $h=6\text{ m}$;桥位处加宽后的通航净宽 $B=110+20=130\text{ m}$,上底宽 $b=96+20=116\text{ m}$;最高通航水位 16.06 m ,最低通航水位 3.24 m 。

1.2 大桥总体设计

(1)大桥平面:主桥采用直线,与石门湖航道基本正交(夹角约 2.042°),且位于全桥“黄金分割”位置,两侧引桥各采用 $R=3\,000\text{ m}$ 反向圆曲线,大桥整体线形呈平面“S弯”,达到“直曲有度,相得益彰”效果。全桥总体效果如图1。

(2)大桥纵断面:全桥最高点设置在主桥中心点,主桥采用纵坡 2.4% ,两侧引桥按各自长度分别设置不同坡率(西引桥纵坡 0.3% ,东引桥纵坡 0.6%),满足通航、防洪、非机动车通行、桥面排水、与路线起终点接顺等要求。



图1 全桥总体效果图

(3)大桥横断面: 2.5 m 人行道+ 3.5 m 非机动车道+ 1.0 m 机非分隔带+ 15.0 m 机动车道+ 0.75 m 防撞栏杆+ 1.5 m 中央分隔带+ 0.75 m 防撞栏杆+ 15.0 m 机动车道+ 1.0 m 机非分隔带+ 3.5 m 非机动车道+ 2.5 m 人行道= 47.0 m 。

(4)大桥总体:勇进路大桥全长 $2\,530\text{ m}$,主桥长度 310 m ,西引桥长度 $1\,575\text{ m}$,东引桥长度 645 m 。主桥采用跨径组合 $81+148+81\text{ m}$ 的 Y 型墩连续刚构桥;引桥上部结构采用标准跨径 30 m 预应力混凝土简支变连续小箱梁,下部结构采用桩柱式桥墩和扶壁式桥台。

2 主桥结构设计

2.1 主桥总体设计

(1)跨径组合

主桥桥型方案采用 Y 型墩连续刚构桥,边中跨比一般可取用 $0.55\sim 0.57$,减小该值可降低边跨现浇段剪力并减小此段主拉应力^[1]。本桥跨径组合为 $81+148+81\text{ m}=310\text{ m}$,边中跨比 0.55 。

(2)主梁

中墩处,V腿间主梁长度 17 m ,V腿处梁高 7.5 m ,V腿之间跨中梁高 6.5 m ;中跨跨中和边墩处的梁高

收稿日期:2022-03-28

作者简介:何承珩(1977—),男,本科,高级工程师,从事桥梁结构设计工作。

均为 3.0 m。

(3)主墩

主墩高度(梁底至承台顶)受通航净高、承台埋深、最高和最低通航水位高程等因素影响;通航净高为 10 m,通航水位高差为 12.82 m,承台顶面埋在地面线以下 0.5 m,主墩总高度约 21.8 m。

主墩造型在 V 型和 Y 型之间选取时,主要考虑:当 V 腿夹角为定值时,为满足通航净空,V 型墩较 Y 型墩所需的主跨跨径更大,特别当主墩高度大时、桥长增加更多。对于连续刚构桥来说,混凝土收缩徐变、整体升降温、上部结构预应力等产生次内力效应对主墩受力较为不利,而 V 型墩较 Y 型墩的墩底抗推刚度更大,其墩底截面受力更为不利,容易出现开裂问题。

为克服上述问题,本桥在主墩高度满足构造展开的前提下,采用 Y 型墩造型,由上部“V 型段”和下部“直线段”组成,V 腿之间夹角约 62.5°。“Y 型墩”造型远看仿佛“鹤之纤腿”,与石门湖作为长江安庆段重要候鸟越冬地的“鹤湖”之名相映衬,在“力与美”之间取得完美平衡。主桥桥型效果如图 2。



图 2 主桥桥型效果图

2.2 主梁结构设计

(1)主梁梁高

主梁梁高设计主要取决于边跨、中跨的跨中最大正弯矩、主墩支点的最大负弯矩。根据工程实践经验,主梁的主墩支点梁高一般控制在主跨跨度的 1/16 ~ 1/20,主梁的跨中梁高一般控制在主跨跨度的 1/40 ~ 1/60。

本桥中墩 V 腿处梁高 7.5 m,名义高跨比为 1/19.7,(扣除 V 腿间主梁长度后的)有效高跨比为 1/17.5;中墩 V 腿跨中梁高 6.5 m,采用 R=20 m 圆曲线过渡接顺。中跨跨中和边墩处梁高 3.0 m,名义高跨比为 1/49.3,(扣除 V 腿间主梁长度后的)有效高跨比为 1/43.7。

(2)梁底曲线

大跨径连续刚构桥的梁底曲线按 2 次抛物线变化时,往往 L/4 ~ L/8 截面处底板混凝土应力易超限。根据工程实践经验,梁底曲线采用 1.5 ~ 1.8 次抛物线变化时,对改善箱梁截面底板混凝土应力较为合理。本桥梁底曲线按 1.8 次抛物线变化。

(3)主梁横断面

主梁横断面采用单箱三室截面,顶宽 22.75 m,底宽 15.75 m,顶缘采用 2%横坡,底缘水平。两侧悬臂长度 3.5 m,悬臂端部厚度 0.25 m,悬臂根部厚度 0.6 m。顶板厚度 0.28 m;腹板采用直腹板,厚度 0.45 ~ 0.9 m;底板厚度 0.3 ~ 1.05 m。主梁中墩支点、中跨跨中横断面如图 3 至图 4。

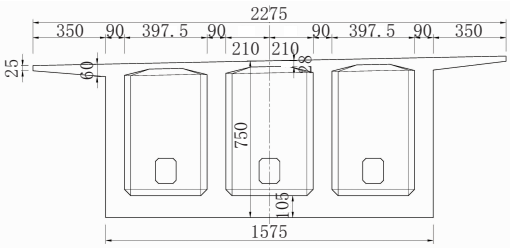


图 3 主梁中墩支点横断面图(单位:cm)

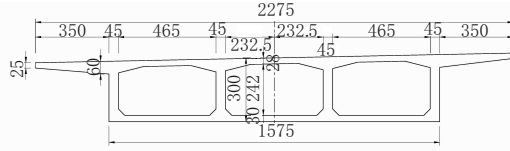


图 4 主梁中跨跨中横断面图(单位:cm)

(4)墩梁连接

主梁采用直腹板箱梁横断面,主墩采用 Y 型墩,箱室底宽与墩顶宽度一致,主梁与主墩衔接处采用 R=5 m 圆曲线顺接,造型构造处理简单且视觉效果较好,设计、施工难度相对较低。主梁在 V 腿处,设置厚度 2.2 m 中横梁并开过人孔。墩梁连接构造如图 5。

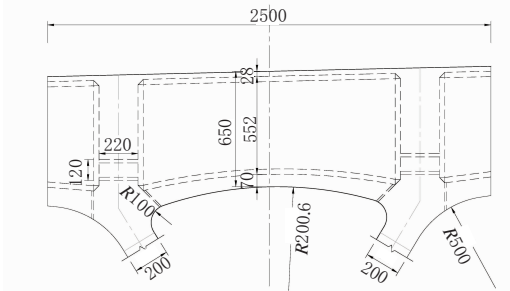


图 5 墩梁连接构造图(单位:cm)

(5)主梁节段划分

主梁划分为 0 ~ 16 号节段、边孔现浇段、边孔合龙段和中孔合龙段。

0 号节段长度 25.0 m,采用支架浇筑;1 ~ 16 号节段长度 3.0 m、3.5 m、4.0 m,采用挂篮悬臂对称浇筑;边孔段长度 5.84 m,采用支架浇筑;中孔合龙段

和边孔合龙段长度均为 2.0 m,采用吊架浇筑。

(6)主梁预应力设计

主梁采用三向预应力体系。箱梁腹板及顶底板内布置纵向预应力钢束,横梁及顶板内布置横向预应力钢束,钢束采用 15-15、15-12、15-9、15-4 等型号。腹板内布置竖向预应力粗钢筋,采用 JL32 精轧螺纹钢。

2.3 主墩结构设计

主墩采用“Y 型墩”造型,墩型结构设计时需要综合考虑并兼顾平衡各种参数及影响因素,如主墩总高度、“V 型段”和“直线段”高度比例、V 腿夹角、V 腿对通航净空影响、最高最低通航水位对应船舶撞击主墩高度范围、船舶撞击力对应墩身截面型式选取等,并且要在外形美观与结构合理之间取得完美平衡。

主墩构造如图 6,主墩总高度约 21.8 m,由上部“V 型段”和下部“直线段”两部分组成。

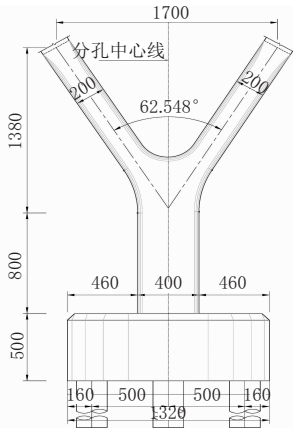


图 6 主墩构造图(单位:cm)

上部“V 型段”:可有效缩短主桥计算跨径、减小中墩处主梁负弯矩峰值、降低主梁梁高。本桥墩身上部“V 型段”高度约 13.8 m,V 腿间主梁长度 17 m,V 腿间夹角约 62.5°并通过圆弧倒角与主梁梁底接顺^[2]。

下部“直线段”:可有效优化主墩整体纵向刚度、减小各种次内力效应对主墩受力不利影响、降低墩底截面开裂风险。本桥墩身下部“直线段”高度约 8 m,通过圆弧倒角与上部“V 型段”两肢接顺。

石门湖航道的最高、最低通航水位高差达 12.82 m,主墩考虑到防船舶撞击,墩身均采用实心截面,“V 型段”单肢厚度 2 m,“直线段”厚度 4 m。墩身横桥向宽度 15.75 m,与主梁底宽一致。承台横桥向长度 23.45 m,纵桥向宽度 13.2 m,高度 5 m。桩基采用 11 根 D200 cm 钻孔灌注桩,纵桥向 3 排布置,

桩基持力层采用⑥w2 中风化砾岩。

3 主桥结构计算

3.1 结构体系

主桥结构体系为三跨连续刚构桥。

主桥纵向结构分析,采用基于平截面假定的空间梁单元分析方法,整体结构分析程序采用桥梁博士 V3.6 建立全桥离散模型。主桥纵向计算模型如图 7。

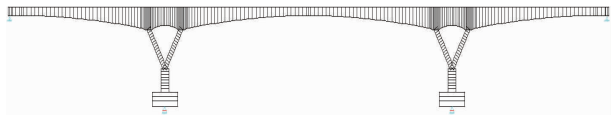


图 7 主桥纵向计算模型

主桥边界条件:主墩位置,主梁与 Y 型墩采用“墩梁固结”的形式,墩身各构件之间也采用固结的形式,墩底采用“竖向刚性约束,水平和转动弹性约束”的形式;边墩位置,主梁梁端设置多向活动支座,仅约束竖向位移。主桥边界条件参数见表 1。

表 1 主桥边界条件参数表

编号	水平弹性系数 / (kN·m ⁻¹)	竖向弹性系数 / (kN·m ⁻¹)	转动弹性系数 / [(kN·m)·rad ⁻¹]
边墩	无	刚性	无
主墩	2.35 × 10 ⁶	刚性	8.21 × 10 ⁷

3.2 主要计算参数

(1)永久作用

结构重力:按实计取。

基础变位:中墩瞬时沉降 10 mm,边墩瞬时沉降 5 mm。

混凝土收缩徐变:结构成桥后的计算天数取 10 a。

(2)可变作用

汽车荷载:城 -A 级,按 4 车道加载,横向折减系数 0.67,车道偏载系数 1.15。

温度梯度:升温 T1=14℃、T2=5.5℃,降温 T1=-7℃、T2=-2.75℃。

均匀温度:整体升降温 ± 20℃。

3.3 主梁计算结果

根据规范^[3]对主梁的强度、应力、刚度等进行计算,结果如下。

(1)主梁强度

负弯矩和剪力的控制截面均为“中墩 -V 腿”截面,正弯矩控制截面为“中跨跨中”截面;前者为主控制截面,设置 V 腿能够有效减小主梁计算跨径和主控制截面内力。

(2)主梁应力

中墩附近的主梁上缘截面为正应力控制截面,

其正截面抗裂的压应力较小,且法向压应力较大;斜截面抗裂的主拉应力计算时未计入竖向精轧螺纹钢的预应力效应,仅作为结构安全储备。

(3)主梁刚度

根据计算结果并结合工程实践经验,在中跨和边跨的跨中位置设置向上的预拱度。

主要计算结果见表 2 至表 4。

表 2 主梁强度计算结果表

控制截面	$\gamma_0 M_u /(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_u /(\text{kN}\cdot\text{m})$	$\gamma_0 V_d / \text{kN}$	V_u / kN
中墩-V 腿	-2 358 622	-3 270 107	-97 116	-140 503
中墩-跨中	-17 760	-91 232	—	—
中跨跨中	152 388	359 795	—	—

表 3 主梁应力计算结果表

验算内容	计算应力 /MPa	规范限值 /MPa
正截面抗裂	上缘: +0.5 ~ +15.5	>0
	下缘: +1.7 ~ +13.4	>0
斜截面抗裂	-0.9	≤-1.1
法向压应力	上缘: +16.6	≤+17.8
	下缘: +13.8	≤+17.8
主压应力	+16.6	≤+21.3
施工阶段正应力	上缘: +3.0 ~ +14.7	≤+22.4/-1.7
	下缘: +12.3/-1.4	≤+22.4/-1.7

3.4 主墩计算结果

根据规范^[3]对运营阶段和施工阶段最不利工况(悬臂最大施工阶段时一侧挂篮掉落)的主墩强度进行计算。计算结果显示,Y 型墩的控制计算阶段为施工阶段,控制计算截面为“V 腿底”截面(即 Y 型分叉位置),强度安全系数 1.06。主墩强度计算结果见表 5。

4 结 语

安庆市勇进路大桥主桥采用 Y 型墩连续刚构桥,在满足通航净空的前提下,即有效减小主跨跨径、降低主墩处梁高、改善墩底截面受力,又整体造

表 4 主梁挠度和预拱度计算结果表

控制截面	中跨跨中 /mm	边跨跨中 /mm
活载挠度	活载频遇值	-6
	长期增长系数	1.4125
	刚度修正系数	0.95
	活载频遇值(修正)	-9
	规范限值	247
挠度	频遇组合	-53
	长期增长系数	1.4125
	刚度修正系数	0.95
	频遇组合(修正)	-79
	预应力	+20
反拱	长期增长系数	2.0
	刚度修正系数	1.0
	预应力(修正)	+40
	计算值 = 挠度 - 反拱	79-40=+39
预拱度	设计取值	+100
		98-81=+17

表 5 主墩强度计算结果表

	控制截面	V 腿顶 /kN	V 腿底 /kN	直线段底 /kN
运营阶段	最大轴力	$\gamma_0 N_d$	111 612	138 375
		N_n	206 073	394 460
	最小轴力	$\gamma_0 N_d$	130 562	145 401
		N_n	147 890	709 275
施工阶段	最大轴力	$\gamma_0 N_d$	101 745	93 739
		N_n	487 219	99 096
	最小轴力	$\gamma_0 N_d$	135 990	79 862
		N_n	455 302	83 613

型典雅优美、融入宽广湖面自然意境,为今后类似工程建设提供参考。

参考文献:

[1] 上海市政工程设计研究总院.桥梁设计工程师手册[M].北京:人民交通出版社,2007.
[2] 李晓克.V 型墩连续刚构桥[M].北京:中国水利水电出版社,2014.
[3] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[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