

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.11.018

# 预应力混凝土连续大箱梁桥设计

唐术熙

(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:**以某实际工程项目的预应力混凝土连续大箱梁桥结构为背景,依据相关技术标准及工程条件,介绍大箱梁的结构构造、纵向设计以及局部分析要点,对预应力混凝土连续大箱梁桥设计进行研究,对设计过程中箱梁的尺寸、钢束布置及纵向计算进行总结,并对横梁、桥面板计算提出设计细节。在设计阶段考虑了横向倾覆的稳定性,保证了桥梁结构的安全性和适用性,以供类似工程参考借鉴。

**关键词:**连续梁;大箱梁;设计

**中图分类号:** U442.5

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2020)11-0064-03

## 0 引言

现浇预应力混凝土斜腹板连续大箱梁结构形式多样、适应性强。根据桥梁宽度可采用单箱单室或单箱多室箱梁结构;根据桥址的不同施工条件,可采用不同的跨度布置。桥墩上可不设盖梁,辅以大挑臂,使桥梁线条简洁流畅。

连续梁刚度大、行车舒适,结构性能合理、适应能力很强,在工程建设中运用广泛。因此,在设计中应合理分析。

## 1 工程概况

本桥全线均处于海堤外侧滩涂、浅水地区,桥梁长度为1 536 m,起点和终点各有一处河道闸口,沿桥梁线路方向,间隔分布若干码头栈桥,共计17道,桥梁跨径布置需要跨越河道闸口及码头栈桥。因此,全桥共采用四种跨径组合形式,分别为 $3 \times 40$  m、 $3 \times 36$  m、 $3 \times 32$  m以及 $2 \times 30$  m跨径组合。其中, $3 \times 40$  m有7联、 $3 \times 36$  m有5联、 $3 \times 32$  m有1联、 $2 \times 30$  m有1联,合计41跨桥梁。

本桥采用少支架法施工,利用桥墩承台支撑,铺设贝雷梁及型钢作为箱梁现浇平台,适合跨越桥下障碍物以及滩涂浅水区,并且可以全线多点同时施工,节省工期。桥梁单跨跨径主要集中在30~40 m之间,施工中需设置3~4道临时支墩,提供混凝土浇筑支撑。

## 2 设计计算要点

### 2.1 设计标准

- (1)道路等级:城市次干路。
- (2)计算行车速度:40 km/h。
- (3)车道数:双向四车道+慢行系统。
- (4)设计使用年限:100 a。
- (5)设计风速采用100 a一遇 $V_{10} = 40.5$  m/s。
- (6)桥位所处环境类别为Ⅲ类环境,相对湿度为80%。
- (7)设计水位采用100 a一遇高潮位3.39 m,100 a一遇低潮位-2.25 m。

### 2.2 箱梁横断面

以 $3 \times 40$  m跨径组合为例,为了满足岸上视野的通透性,将箱梁梁高设置为2.2 m,顶板底板同坡,均采用2%的横坡。

箱梁顶板全宽23.0 m,底板全宽16.7 m,单侧挑臂长2.4 m。顶板除横梁处外,厚度统一设置为25 cm;底板中跨段跨中除横梁处外,厚度统一设置为22 cm,底板边跨段跨中厚度为22 cm,至端横梁处变为40 cm,底板厚度渐变段长度设置为6 m;腹板中跨和边跨段跨中厚度为35 cm,到中横梁7.2 m处变为60 cm,腹板厚度渐变段长度设置为3 m,到端横梁处变为55 cm,腹板厚度渐变段长度设置为6 m。墩顶横梁宽度,端横梁设置为1.2 m,中横梁设置为2 m,跨中不设中横隔板。横断面上,顶板和腹板设置 $0.7 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$ 的倒角,底板和腹板设置 $0.4 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$ 的倒角。

根据箱梁断面布置情况,在进行箱梁纵向计算

收稿日期:2020-04-27

作者简介:唐术熙(1988—),男,硕士,工程师,从事城市桥梁设计工作。

时,断面按照机动车道+非机动车道+人行荷载进行活载加载。依照《城市桥梁设计规范》(CJJ 11—2011)(以下简称《城规》)要求,机动车道荷载等级为城-A级,结合《城规》第10.0.6条要求,非机动车道按机动车道荷载加载。箱梁横断面宽度为23 m=0.35 m(人行栏杆)+1.65 m(人行道)+4 m(非机动车道)+0.5 m(防撞护栏)+7.5 m(机动车道)+1 m(中央分隔带)+7.5 m(机动车道)+0.5 m(防撞护栏)。箱梁横断面布置如图1所示。

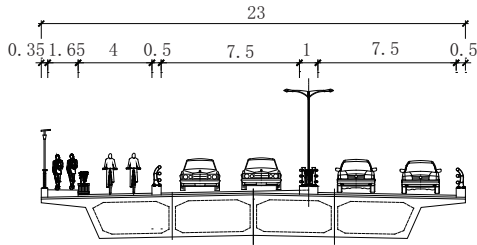


图1 箱梁横断面布置图(单位:m)

### 2.3 箱梁钢束布置

桥梁预应力钢绞线采用 $\phi^{15.2}$ 低松弛钢绞线, $f_{pk}=1\ 860\text{ MPa}$ , $E_p=1.95\times 10^5\text{ MPa}$ 。预应力管道采用可真空压浆的塑料波纹管成型,管道偏差系数 $K=0.001\ 5$ ,管道摩擦系数 $\mu=0.16$ 。钢束其他力学性能指标见表1。

表1 预应力钢束力学性能指标表

预应力钢束类型	钢绞线
弹性模量 E/MPa	195 000
抗拉标准强度 /MPa	1 860
张拉控制应力 /MPa	1 395
钢筋松弛率	0.025
混凝土徐变系数	2.00
收缩应变	0.000 15
锚具变形及钢束回缩值 /m	0.006

以 $3\times 40\text{ m}$ 跨径组合为例,箱梁共设置15束腹板束,每片腹板3束;共设置32束顶板束,中横梁顶各16束;共设置32束底板束,其中通长底板束8束。

### 2.4 连续大箱梁设计要点

利用Midas对大箱梁上部结构进行建模分析,根据规范要求,主梁按A类构件设计,对在承载力极限状态和正常使用极限状态下的各指标进行了分析验算。

以 $3\times 40\text{ m}$ 联为例,建立三维有限元模型,模型共划分122个单元,139个节点,箱梁采用C50混凝土。本桥三维有限元模型如图2所示。

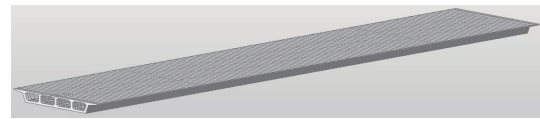


图2 三维有限元模型

计算考虑荷载及作用如下:恒载、活载、整体温度荷载、梯度温度荷载、风荷载、支座不均匀沉降(不均匀沉降取为隔墩1.0 cm)、混凝土收缩徐变、预应力荷载。施工阶段划分为4个阶段(见表2)。

表2 施工阶段划分表

施工阶段	施工内容
CS1	浇筑整体混凝土
CS2	张拉钢束
CS3	施加二期恒载
CS4	收缩徐变10年

采用Midas Civil Designer对主梁进行设计,模型纵向计算结果以持久状况下承载能力极限和正常使用极限状态正截面验算为例。

在承载极限荷载作用下,主梁正截面抗弯承载力大于上下缘最大弯矩,满足规范要求<sup>[1]</sup>。正截面抗弯验算包络图如图3所示。

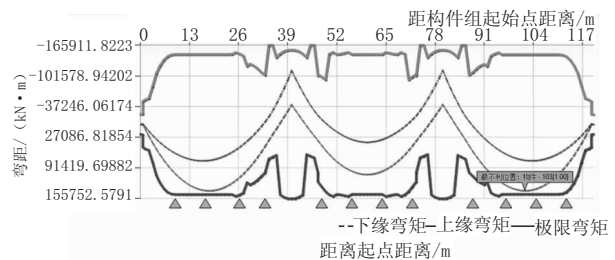


图3 正截面抗弯验算包络图(单位:kN·m)

在作用(荷载)短期效应组合下,顶缘除横梁位置有局部失真(纵向模型未建立实心横梁断面)外,其余 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}\leq 0.7 f_{tk}=1.855\text{ MPa}$ (拉应力);底缘 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}=0.241\text{ MPa}$ (拉应力) $\leq 0.7 f_{tk}=1.855\text{ MPa}$ (拉应力),满足规范要求<sup>[1]</sup>。正截面抗裂验算(短期)包络图如图4所示。

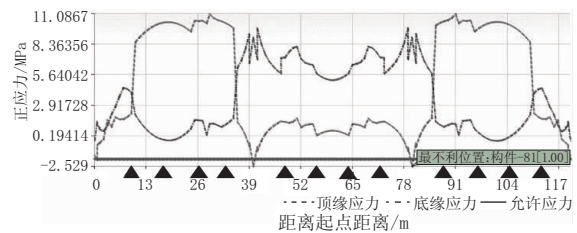


图4 正截面抗裂验算(短期)包络图(单位:MPa)

在作用(荷载)长期效应组合下,除横梁位置有局部失真(纵向模型未建立实心横梁断面)外,顶、底缘 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}\leq 0\text{ MPa}$ (拉应力),满足规范要求<sup>[1]</sup>。

正截面抗裂验算(长期)包络图如图5所示。

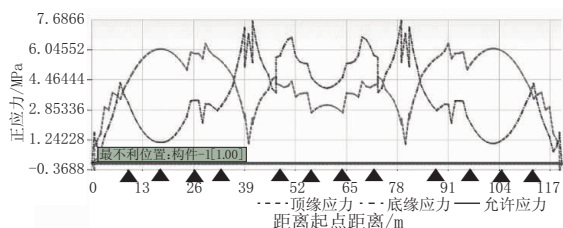


图5 正截面抗裂验算(长期)包络图(单位:MPa)

### 3 局部分析要点

#### 3.1 横梁计算

按照横梁腹板厚度区分,端横梁厚1.2m,中横梁厚2.0m,根据箱梁纵向计算结果,进行横梁计算。

横梁计算仍然利用midas进行建模,模型中考虑横梁翼缘板有效宽度,确定横梁计算断面,横梁各腹板位置分摊扣除横梁自重后的纵向恒载反力,70%反力按中腹板与边腹板集中力比例为1:1.2加载到各腹板处,30%反力按均布荷载加载在横梁上;在横向加载有效区域内加载纵向计算得到的最不利活载单车道反力;温度作用参照结构纵向计算,但不考虑支座不均匀沉降。

端横梁共设置6束横梁钢束,分为上下两层;中横梁共设置10束横梁钢束,分为上下两层。

横梁计算结果以持久状况下承载能力极限和正常使用极限状态正截面验算为例。

在承载极限荷载作用下,横梁正截面抗弯承载力大于最大负弯矩 $-16746\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

在作用(荷载)短期效应组合下,顶缘除悬臂位置外,其余 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}\leq 0.7f_{tk}=1.855\text{ MPa}$ (拉应力);底缘 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}=0.241\text{ MPa}$ (拉应力) $\leq 0.7f_{tk}=1.855\text{ MPa}$ (拉应力)。

在作用(荷载)长期效应组合下,除顶缘悬臂位置外,顶、底缘 $\sigma_{lt}-\sigma_{pc}\leq 0\text{ MPa}$ (拉应力)。

#### 3.2 桥面板计算

箱梁横向悬臂2.4m,桥面板采用普通钢筋混凝土构件,不配置横向预应力。

利用midas建立桥面板横向框架,进行桥面板横向分析计算,沿主梁纵向取出1m宽度进行桥面板轮压计算,并将其在横向加载有效范围内加载。

#### 3.3 抗倾覆验算

计算箱梁是否存在倾覆的可能性,可以用简化算法将梁体看成刚体,以倾覆支点为界将桥梁的跨中截面分成两部分<sup>[2]</sup>,本桥横向倾覆稳定性简化算法示意图如图6所示。

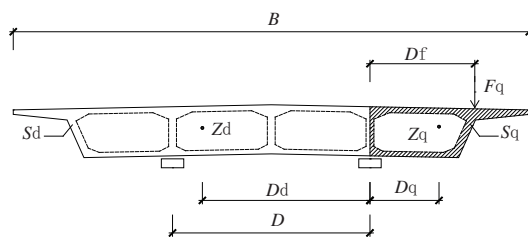


图6 横向倾覆稳定性简化算法示意图

计算表达式为:

$$K = \frac{\sum M_d}{\sum M_q} \quad (1)$$

其中, $M_d$ 为稳定力矩, $M_q$ 为倾覆力矩。根据式(1)计算得到安全系数为1.31,满足倾覆稳定性。

### 4 附属工程要点

#### 4.1 伸缩缝处排水

本桥联与联之间均采用型钢伸缩缝,而桥面排水采用纵排和横排相结合的方式,桥面横坡为2%,最大纵坡为3.5%。

随着雨季的到来,雨水量的增加会使长线路桥梁层间积水在伸缩缝与沥青铺装的接缝处长期存在。一方面,沥青铺装将会经常处于饱水状态,容易形成病害;另一方面,沥青铺装层平整度未得到妥善把控,导致横坡下游接缝处易形成局部积水。

基于此,本桥在接近伸缩缝混凝土接缝处预埋塑料排水管道,利于排放接缝处层间水或可能

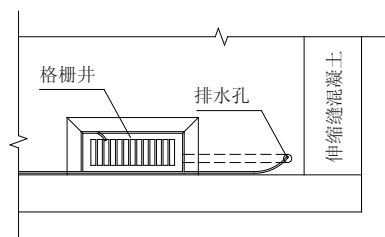


图7 接缝处排水孔示意图

存在的局部积水。接缝处排水孔示意如图7所示。

#### 4.2 城市家具

随着城市的发展,推动城市建设精细化及基础设施智慧化成为新的热点,对市政公用设施的关注度越来越高。

本桥作为区域内唯一的滨海高架桥,除了实现与滨海景观相结合的彩色护栏、景观灯杆外,根据各权属单位(交警、公安、气象等部门)的使用需求,预留了多杆合一的基础条件。在远期便于实现服务于城市管理综合杆的即插即用。

### 5 结语

本文以实际工程为背景,对预应力混凝土连  
(下转第72页)

随着斜板倾角增加,Z形引板远台端路面坡度变化值增加;当Z形引板的斜板倾角在 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 范围内,远台端路面坡度变化大于 $20\text{‰}$ 但小于 $25\text{‰}$ ;当Z形引板的斜板倾角大于 $35^{\circ}$ 时,远台端路面坡度变化大于 $25\text{‰}$ 。可以判定斜板倾角在 $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 范围内的Z形引板受到纵桥向单向拉位移时,远台端路面坡度变化满足普通公路路面平整度要求。

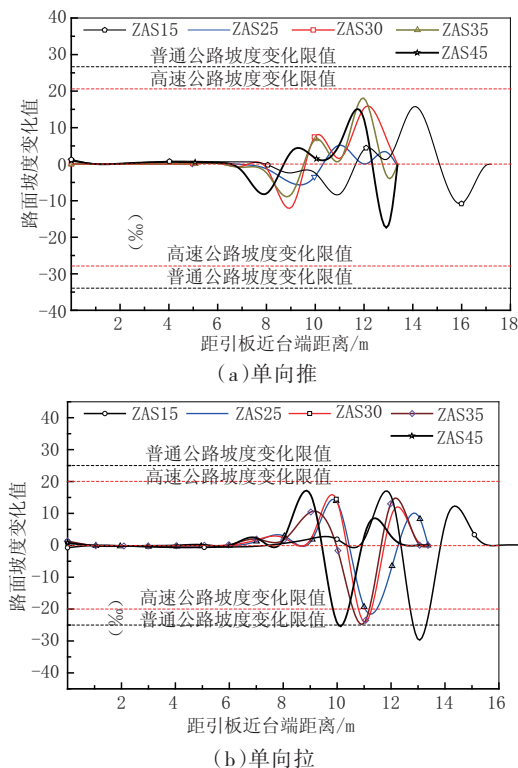


图12 不同斜板倾角Z形引板远台端路面平整度

为定量分析路面平整度与斜板倾角之间的关系,从而确定路面平整度限值范围内斜板的临界倾角值,选取图12纵桥向单向推和单向拉位移时,不同斜板倾角的Z形引板对应的坡度变化曲线中坡度变化值的绝对值极值,绘制坡度变化值与斜板倾角关系图,见图13。

由图13分析可知受到纵桥向单向推位移时,任意斜板倾角的Z形引板远台端路面平整度均满足高速公路平整度限值要求。受到纵桥向单向拉位移时,斜板倾角与Z形引板远台端路面平整度呈正相关,且当Z形引板斜板倾角大于 $45^{\circ}$ 时,其

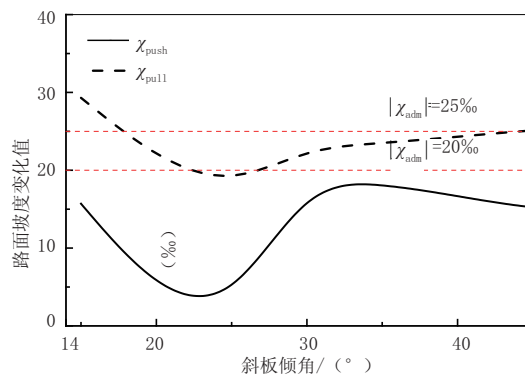


图13 最大坡度变化值与Z形引板斜板倾角关系图  
远台端路面平整度不满足普通公路平整度限值要求。

## 4 结语

本文以深圳马峦山整体桥为工程背景,根据试验模型,建立对应的Z形引板有限元分析模型。研究了Z形引板斜板倾角对引板受力性能以及路面平整度的影响。通过有限元分析可得出如下结果:

(1)本文建立的Z形引板有限元分析模型计算结果与试验结果吻合较好,验证了有限元模型的有效性。有限元分析结果表明通过改变Z形引板斜板倾角,可改善Z形引板的工作性能。

(2)不同斜板倾角对Z形引板荷载-近台端纵桥向位移曲线的峰值荷载和初始刚度的影响呈现非线性。

(3)任意斜板倾角的Z形引板受到纵桥向单向推位移时,远台端路面坡度变化均满足高速公路路面平整度的要求。

### 参考文献:

- [1] 陈宝春,庄一舟,黄福云,等.无伸缩缝桥梁[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.
- [2] 庄一舟,樊争辉,陈宝春.整体式桥台桥梁的桥头搭板设计[J].世界桥梁,2012(1):1-6.
- [3] 陈宝春,庄一舟,董桔灿.一种采用摆梁的无缝桥新构造及其施工方法[P].201310149773.1.
- [4] 林毅标.整体桥扩孔隔震桩-土相互作用试验研究[D].福建福州:福州大学,2016.
- [5] GB 50010—2010.混凝土结构设计规范[S].

(上接第66页)

续大箱梁桥设计进行研究,对设计过程中箱梁的尺寸、钢束布置、纵向计算进行总结,并对横梁、桥面板计算提出设计细节,在设计阶段考虑了横向倾覆的稳定性,保证了桥梁结构的安全性和适用性。

### 参考文献:

- [1] JTG D62—2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [2] 袁摄桢,戴公连,吴建武.单柱宽幅连续梁桥横向倾覆稳定性探讨[J].中外建筑,2008(7):154-157.