

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.02.024

景观钢箱圆弧拱桥设计与静动力分析

甄玉杰, 王 腾, 顾玮晔

(中建三局集团有限公司西北公司, 陕西 西安 710065)

摘要:以三跨钢箱景观圆弧拱桥为例,介绍桥梁总体布置、上下部结构设计、建筑景观设计。为验证结构设计的合理性,利用大型有限元软件对桥梁结构进行了静力、稳定、特征值计算分析和两阶段两水平抗震设计分析,结果表明:(1)主桥结构的刚度、强度、稳定性均满足规范要求。(2)在E1、E2地震作用下,采用弯矩曲率曲线进行验算,结构均处于弹性状态,截面抗弯强度满足要求。(3)通过对该桥的设计、静力、动力计算的介绍,可为同类景观圆弧拱桥的设计提供借鉴和参考。

关键词:钢箱梁;圆弧拱桥;景观设计;屈曲模态;地震反应分析

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)02-0085-03

1 总体设计

1.1 总体布置

桥梁总长 36.92 m,宽 6.2 m,主梁面积 228.9 m²。上部结构采用钢结构,跨径 9.3 m+17.4 m+9.3 m。桥型总体布置图如图 1 所示。本桥结构体系为三跨连续梁体系,上部钢结构与墩台采用支座连接。本桥技术标准为:人群荷载为 3.47 kN/m²;车辆荷载为城-B 级;地震设防烈度 8 度,地震动峰值加速度为 0.2g;桥梁设计基准期为 100 a,设计安全等级为一级。

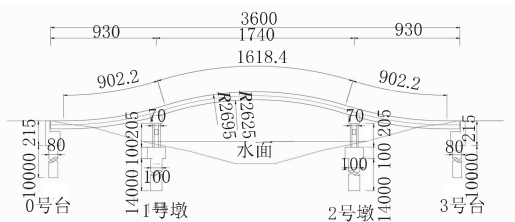


图 1 桥型总体布置示意(单位:cm)

1.2 上部结构设计

本桥上部结构采用 9.3 m+17.4 m+9.3 m 三跨钢箱拱桥。其中,结构受力主要由 3 个 600 mm×700 mm 钢箱梁组成,钢箱梁之间采用横向肋板连接,全桥除支点采用封闭箱室外,其余部分均采用无底板的开放截面设计,有利于减轻梁体自重,降低工程造价。钢箱梁底板和腹板厚度 14 mm,顶板 12 mm,钢箱梁和桥面板加劲肋厚度 14 mm,横隔板厚度 12 mm。主桥主梁断面如图 2 所示。

1.3 下部结构设计

桥墩采用钢筋混凝土盖梁柱式墩,盖梁高 400 mm,

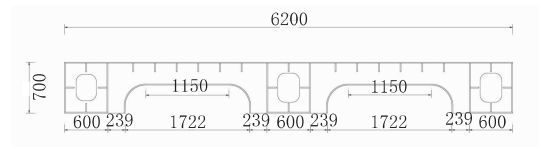


图 2 桥梁主梁断面(单位:mm)

墩柱断面尺寸为 700 mm×700 mm,四边均做 150 mm×150 mm 倒角,使截面形成八边形,同时在盖梁下方 0.5 m 处设置一道 300 mm×400 mm 系梁。

桥台采用钢筋混凝土结构,台帽尺寸为 1.2 m×1.3 m×7.4 m,桥台设 3 根钻孔灌注桩,桩基直径 0.8 m。桩基础全部按摩擦桩设计。

1.4 建筑景观设计

主梁钢结构外侧布置木龙骨(厚 50 mm,宽 80 mm),间距 1 500 mm,饰面采用 80 mm×80 mm 天然防腐硬实木菠萝格方条。桥墩外露处采用彩色硅酸盐水泥仿石材表面。栏杆采用天然防腐硬木(红色氟碳漆)。桥梁景观效果图如图 3 所示。



图 3 桥梁景观效果图

2 结构模型

对桥梁设计来说,选择与建立最合适的模型,以及选择最合适的分析类型,本身就是一项技术与艺术性相结合的工作^[1]。

主桥采用三跨钢箱景观圆弧拱桥,跨径布置为 9.3 m+17.4 m+9.3 m。全桥共分为 189 个节点、316 个

收稿日期:2021-05-06

作者简介:甄玉杰(1983—),男,硕士,高级工程师,主要研究领域为特殊结构桥梁设计。

单元,其中梁单元 244 个、板单元 72 个。结构有限元模型如图 4 所示。

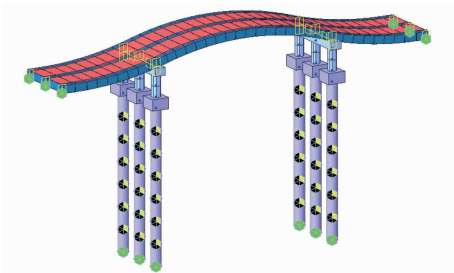


图 4 结构有限元模型示意

3 结构计算分析

3.1 桥墩计算结果

经计算分析表明,在承载能力极限状态下,作用效应的组合设计最大值均小于构件承载力设计值,桥墩的抗弯、抗剪、抗扭承载力均满足规范要求。

在正常使用极限状态下,桥墩最大压应力为 -1.55 MPa ,无拉应力,全截面处于受压状态。桥墩顶底缘压应力均满足规范要求。

3.2 刚度计算结果

钢箱梁在活载作用下,竖向正挠度为 18.55 mm ,竖向负挠度为 2.99 mm 。汽车荷载作用下,主梁竖向计算正负挠度之和为 21.54 mm ,挠跨比为 $1/808$, $< 1/500$,主梁刚度满足规范要求^[2]。活载作用下,钢箱梁水平位移约 7 mm ,故本桥受力近似于梁式桥,水平推力很小。

3.3 钢箱梁计算结果

钢箱梁在运营阶段最不利组合作用下的应力如图 5 所示。

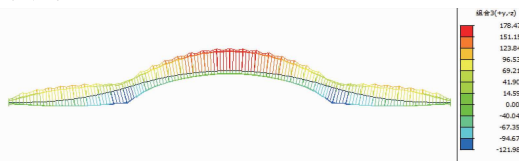


图 5 钢箱梁下缘组合应力包络图(单位:MPa)

在运营阶段最不利组合作用下,钢箱梁上缘最大组合应力为 -68.3 MPa ,下缘最大组合应力为 178.5 MPa 。以上应力均小于容许应力,满足规范要求。

4 稳定性计算

成桥运营阶段,稳定性计算利用移动荷载追踪器选取活载最不利的工况进行分析,考虑恒载、活载和风荷载作为屈曲荷载。

成桥运营阶段前,三阶屈曲模态和稳定系数见表 1。

结构一阶稳定系数为 89.4 ,满足规范要求。这说

表 1 运营阶段稳定系数和屈曲模态

阶次	稳定系数	屈曲模态
1	89.363	左侧主墩纵向屈曲
2	89.363	右侧主墩纵向屈曲
3	305.436	主梁扭转

明结构的静力稳定性是有保证的。

5 地震反应分析

5.1 自振特性分析

桥梁自振特性分析是研究桥梁振动问题的基础。为了计算地震作用下结构的动力响应,必须首先计算桥梁结构的自振特性^[3]。根据建立的动力计算模型,进行了结构自振特性分析,结构的自振频率和振型特征见表 2。

表 2 成桥状态自振频率及振型一览表

阶次	频率 f/Hz	振型特点
1	1.607 7	左侧主墩纵弯
2	3.932 7	右侧主墩纵弯
3	4.387 3	主梁扭转
4	6.512 4	主梁一阶竖弯
5	8.699 9	左侧主墩墩柱反向纵弯

5.2 抗震反应分析

结构抗震分析采用反应谱方法。反应谱方法将动力问题静力化,可以用较少的计算量获得结构的最大反应值^[4-5]。

阻尼是结构非常重要的动力特性^[6],对于钢结构桥梁,结构的阻尼比可取 0.02 。

根据工程地质勘察报告,该桥地震动峰值加速度为 $0.2g$,基本烈度为 8 度,场地类别为 II 类,分区特征周期为 0.4 s 。

抗震分析采用多振型反应谱法,地震反应谱曲线如图 6 所示。

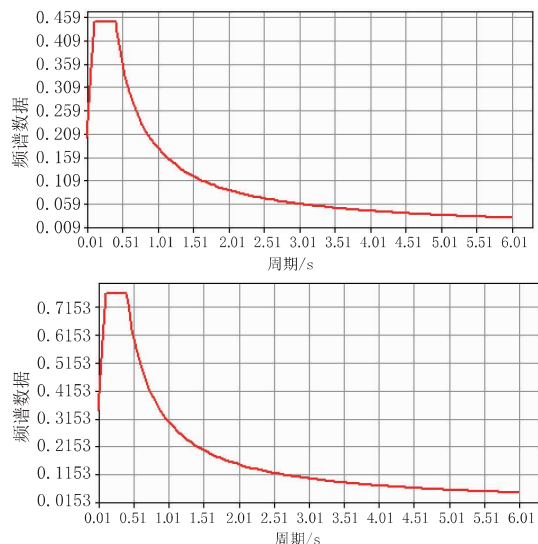


图 6 地震反应谱曲线

地震荷载组合采用SRSS法,纵向和横向地震作用计算时分别考虑65%的竖向作用。

根据公路桥梁抗震设计规范,E1地震作用下,桥梁结构处于弹性状态,计算采用轴力-弯矩-曲率曲线中的首次屈服弯矩进行控制。若E1地震作用下塑性铰区的弯矩小于首次屈服弯矩,就认为桥梁结构处于弹性状态。

E1地震作用下,桥墩纵向弯矩见表3。

表3 地震作用下桥墩最大弯矩 单位:kN·m

桥墩号	E1地震最大弯矩	E2地震最大弯矩
1号桥墩	175.7	324.2
2号桥墩	175.7	324.2

为了得到桥墩截面的首次屈服弯矩,需要绘制弯矩曲率曲线,混凝土材料采用mander模型,钢筋采用双折线模型。以2号桥墩为例,得到截面弯矩曲率曲线,如图7所示。

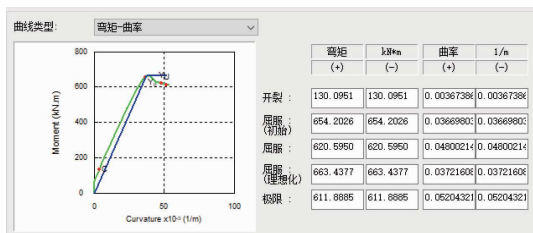


图7 桥墩截面弯矩曲率曲线

由此可见,在E1、E2地震作用下,桥墩均处于弹性状态。弹性抗震设计,用构件的强度作为衡量结

构性能的指标,只需校核构件的强度是否满足要求。经验算,桥墩单元强度验算满足规范要求。

6 结语

本文以三跨钢箱景观圆弧拱桥为例,介绍了桥梁总体布置、上下部结构设计、建筑景观设计。为验证结构设计的合理性,利用大型有限元软件对桥梁结构进行了静力、稳定、特征值计算分析和两阶段抗震设计分析。

(1)主桥结构的刚度、强度、稳定性均满足规范要求。

(2)在E1、E2地震作用下,采用弯矩曲率曲线进行验算,结构均处于弹性状态,截面抗弯强度满足要求。

(3)通过对该桥的设计、静力、动力计算的介绍,可为同类景观圆弧拱桥的设计提供借鉴和参考。

参考文献:

[1] 徐君兰,孙淑红.钢桥[M].北京:人民交通出版社,2010.
 [2] JTG D64—2015.公路钢结构桥梁设计规范[S].
 [3] 郑力,唐春艳,张哲.双层连续梁桥抗震分析[J].中外公路,2015(12): 113-116.
 [4] 王克海.桥梁抗震研究[M].北京:中国铁道出版社,2007.
 [5] 胡聿贤.地震工程学[M].北京:地震出版社,2006.
 [6] 范立础,胡世德,叶爱君.大跨度桥梁抗震设计[M].北京:人民交通出版社,2001.

(上接第84页)

凝土节段浇筑相差1/2节段、挂篮移动不同步、施工临时荷载不同步和机具动力系数、挂篮模板坠落、梁体自重不均匀、两侧风荷载相差50%等工况。施工阶段一阶纵向失稳,稳定特征值为24.2,该桥一类稳定安全系数大于4,且安全度较高。

6 结语

通过对比分析与结构验算可知,大跨度矮墩连续刚构桥设计,考虑“桩-土-结构”的相互作用^[4];考虑中跨合龙时施加顶推力等施工措施;墩身选择合理的截面尺寸,桥墩可选择单壁墩结构。新建金山

大桥综合考虑受力与自身承载力要求,选择了合适的基础形式和桥墩尺寸。该桥设计合理、各项指标满足规范要求,可为类似桥梁的设计提供一定的参考。

参考文献:

[1] 李正凯,刘殿元.矮墩连续刚构桥合龙顶推计算分析及施工控制研究[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(3):176-179.
 [2] 曾金明.大跨连续刚构桥系梁地震响应分析[J].交通科技,2018(4): 93-96.
 [3] 周建波.沱江130m主跨连续刚构桥设计[J].城市道桥与防洪,2020(3):62-66.
 [4] 李建强.矮墩连续刚构桥设计要点分析[J].广东土木与建筑,2020(1):68-70.