

某小半径现浇箱梁桥墩梁连接方式受力性能分析

王一光¹, 郑元勋²

(1. 河南省交通规划设计研究院股份有限公司, 河南 郑州 450000; 2. 郑州大学 水利科学与工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:由于线形变化较大的原因,小半径曲线桥的受力较为复杂,而不同的墩梁连接方式会对小半径曲线桥的整体受力性能产生较大的影响,在设计时需要慎重考虑。该文以某高速公路匝道桥的两联小半径曲线现浇箱梁桥为例,利用 Midas/Civil 软件建立该桥的有限元模型,并从强度、刚度和稳定性 3 个方面分析墩梁简支和墩梁固结工况下桥梁的静力性能。结果表明:墩梁固结工况下墩顶和箱梁的纵横向位移更小且稳定性更高,但其桥墩弯矩较大,因此在设计时配筋率也要随之增大。第一联空心墩由于墩身刚度较小的原因,其纵横向位移较大。墩梁固结对桥墩的应力影响显著,对箱梁应力影响较小。综合刚度、强度和稳定性 3 个方面的分析,墩梁固结更适用于小半径现浇箱梁桥的墩梁连接。

关键词:小半径曲线桥; 现浇箱梁; 墩梁连接方式; 墩梁固结; 墩梁简支

中图分类号: U448.21

文献标志码: A

为了满足日益增长的交通需求,高速公路建设数量越来越多,匝道桥作为高速公路建设中重要组成部分,通常被设计为预应力混凝土现浇连续箱梁桥^[1-6]。然而,由于线形变化较大的原因,曲线形箱梁桥成桥后会受到弯曲、剪切、扭转的共同作用,经常发生支座脱空、腹板开裂等病害^[7-10]。因此,必须采取一定的措施以改善曲线箱梁桥的力学性能。

墩梁连接方式是影响桥体整体力学性能的重要因素,常规的墩梁连接方式有墩梁简支和墩梁固结两种^[11-16]。李彪等^[17]研究了不同墩梁连接方式对某大纵坡预制 T 梁桥静力性能的影响,结果表明采用墩梁固结的方式可以有效减小大纵坡 T 梁桥梁体的纵向位移;许震等^[18]研究了不同上下部连接方式对温度变化作用下桥梁结构受力性能的影响,结果表明:主梁与桥台连接方式对整体桥受力的影响大于主梁与桥墩的连接方式;霍学晋等^[19]研究了五跨连续、五跨连续刚构及连续—刚构组合情况下的大跨铁路桥梁的地震反应特性,结果表明五跨连续梁设计方案的抗震性能良好,是合理可行的桥式方案;王解军等^[20]通过有限元计算,对比分析了固结体系曲线梁桥和曲线连续梁桥的主梁弯、扭性能。结果表明固结体系曲线箱梁的最大弯矩和扭矩均小于连续曲线梁;卢二侠等^[21]提出了一种新型小半径曲线刚构体系桥,并利用 Midas/Civil 软件分析了此体系桥梁的结构受力特点,结果表

明:纵向采用一个固结墩就可有效防止支座脱空、梁体侧倾问题的出现。

该文以某高速公路匝道的两联曲线形箱梁桥(3×30 m+3×40 m)为例,利用 Midas/Civil 软件建立该桥的有限元模型,并从强度、刚度、稳定性 3 个方面分析墩梁简支和墩梁固结工况下桥梁的静力性能,并根据有限元计算结果选出最适合的墩梁连接方式。

1 工程概况及有限元分析

1.1 工程概况

某高速公路匝道桥后两联为现浇箱梁桥,跨径布置为(3×30 m)+(3×40 m),其立面图如图 1 所示。该匝道桥后两联平面位于左偏圆曲线上,半径 115 m,桥梁净宽 9.50 m,设计荷载等级为公路—I 级,抗震设防烈度为 6 度。桥梁上部结构采用预应力混凝土现浇箱梁,其横截面如图 2 所示;下部结构 11#、12#、13# 墩采用空心墩,14# 墩采用柱式墩,16#、17# 墩采用实体墩。现浇箱梁采用 C50 混凝土,普通钢筋选用 HPB300 和 HRB400 钢筋,预应力钢绞线选用公称直径为 15.2 mm 的 1860 级低松弛高强度钢绞线。

1.2 有限元建模

利用有限元软件 Midas/Civil 对该桥进行分析计算。该桥有限元模型如图 3 所示。箱梁、桥墩等均按

收稿日期:2020-02-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51878623)

作者简介:王一光,男,硕士,工程师, E-mail:704460524@qq.com

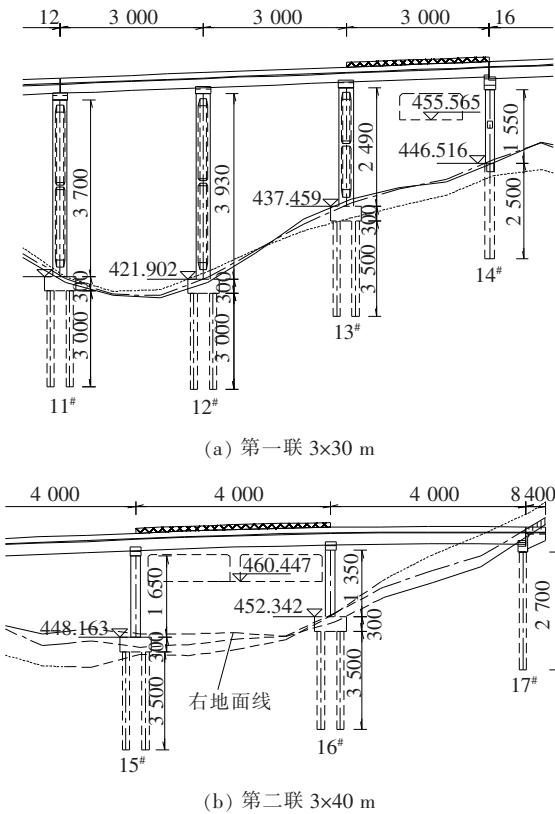


图1 某高速公路匝道两联曲线形箱梁桥立面图
(除标高为m外,其余单位:cm)

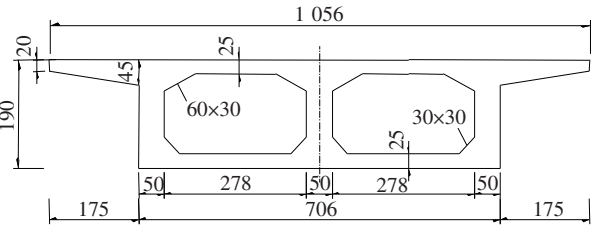


图2 箱梁截面图(单位:cm)

实际尺寸模拟,模型采用梁单元。此次有限元计算中材料的设计参数如表1所示。在计算中所考虑的荷载包括桥梁自重、二期恒载、整体升温(+25℃)、降温(-20℃)、温度梯度作用和车辆/车道荷载作用。根据JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》^[22],按照承载能力极限状态对永久荷载和可变荷载进行组合并按照最不利效应进行计算。其中结构重要性系数取为1.1;永久荷载(包括桥梁自重,二期恒载)的分项系数取为1.2;车道荷载分项系数取为1.4;温度荷载(包括升温、降温和温度梯度)的分项系数取为1.4,其组合值系数取为0.75。

1.3 分析工况

常规的墩梁连接方式主要有墩梁固结和墩梁之间

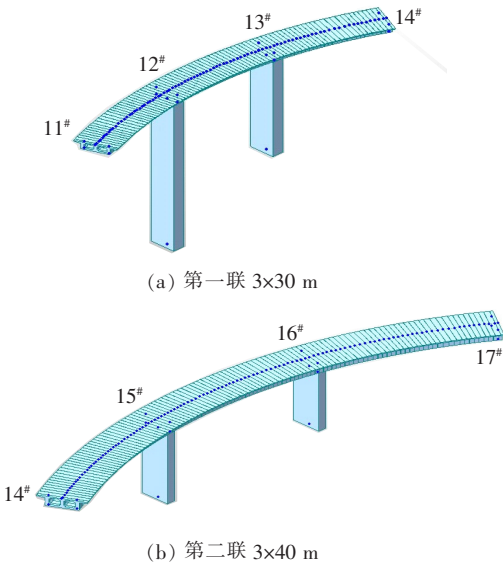


图3 桥梁结构有限元模型

表1 材料设计参数

项目	弹性模量/kPa	泊松比	热膨胀系数/(℃ ⁻¹)	重度/(kN·m ⁻³)
C50混凝土	3.45	0.2	1×10 ⁻⁵	2.50
1860级钢绞线	1.95	0.3	1.2×10 ⁻⁵	7.85

采用支座连接两种。该文分析按照以下两种工况进行:
工况1:墩梁不固结,所有墩梁之间用支座连接。
工况2:边墩不固结,固结中间两个桥墩。

2 结果与分析

2.1 刚度分析

在施工及运营过程中,主梁和桥墩会在各种荷载的共同作用下产生位移,若主梁、桥墩位移量过大,会严重降低桥梁施工及运营期的安全性和稳定性,同时也会对行车舒适性造成影响。各工况下桥体位移云图如图4所示。下文主要从墩顶和箱梁纵向及横向位移的角度对各工况下桥梁的刚度进行分析。

2.1.1 墩顶位移

图5为两种工况下墩顶的纵向及横向位移。
由图5(a)可知:工况1下第一联12#墩(中墩)的纵向位移达到最大值29.9mm,约为墩梁固结工况下该墩纵向位移的2.6倍,并且从整体上看,墩梁固结工况下所有桥墩的纵向位移均小于墩梁不固结工况。类似地,如图5(b)所示,当墩梁固结时所有桥墩的横向位移也小于墩梁不固结工况,桥墩横向位移最大值出

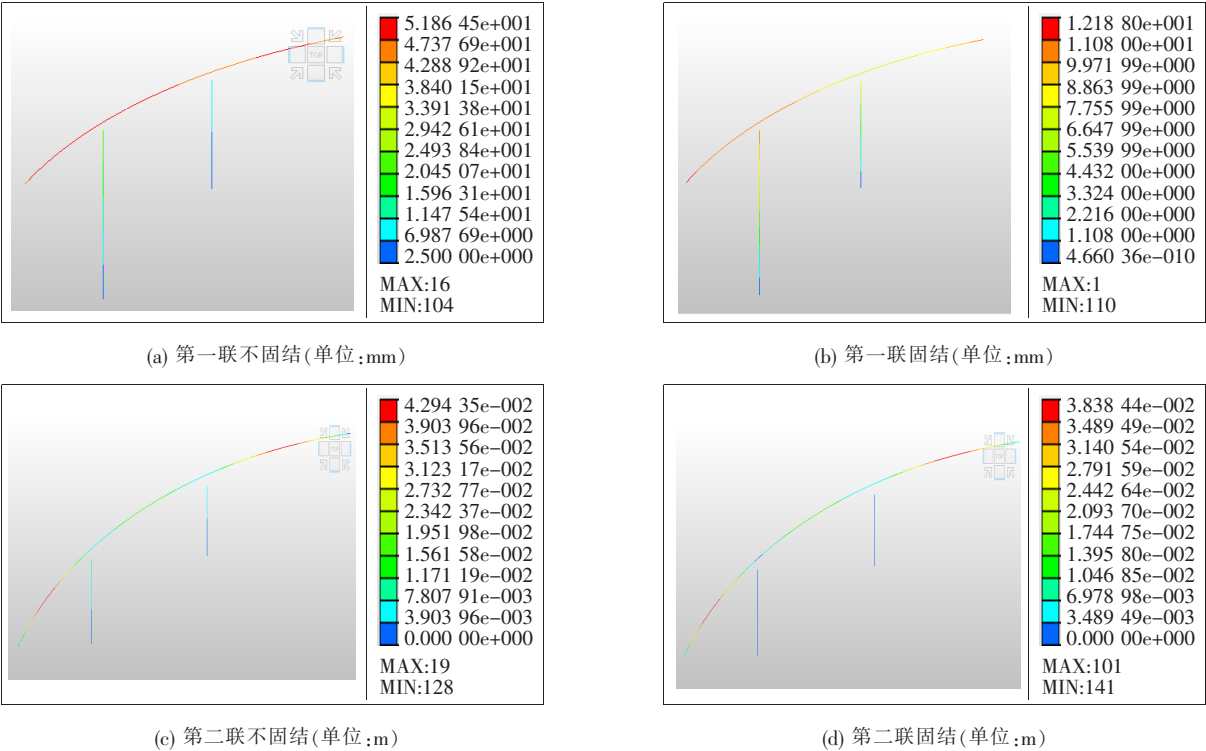


图 4 各工况下桥梁位移云图

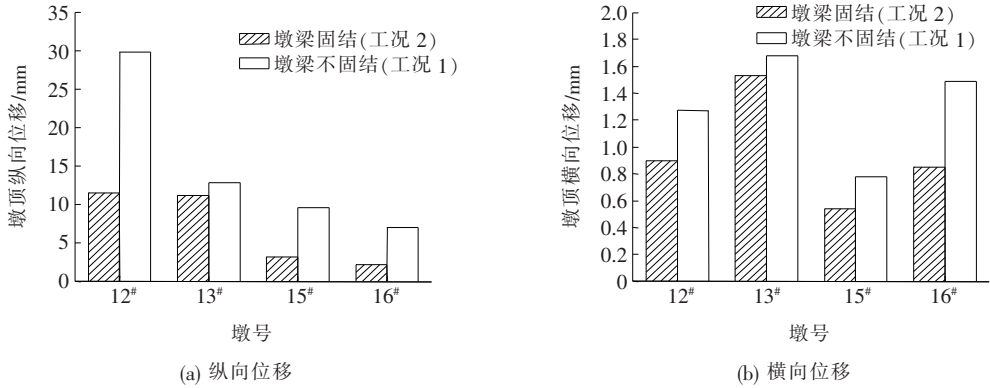


图 5 墩顶位移图

现在墩梁不固结工况下 13[#]墩处。此外由图 5 可以看出 12[#]、13[#]墩顶位移要比 15[#]、16[#]大,这是由于 12[#]、13[#]墩为空心墩,桥墩本身刚度较小的原因。综上可知,桥墩和箱梁的固结可以有效减小各种荷载作用下桥墩的横向和纵向位移。

2.1.2 主梁位移

选取每一联曲线桥各支承点及跨中共 7 个典型位置的纵向及横向位移进行分析,结果如图 6 所示。对于第一联曲线桥,当墩梁不固结时,箱梁纵向位移均在 50 mm 以上,最大纵向位移出现在 12[#]墩支承点处,其值约为 58 mm。当中间桥墩与箱梁固结后,箱梁纵向位移明显降低,且基本保持在 10 mm 左右。第二联

曲线桥也表现出相似的趋势,即墩梁固结后,箱梁纵向位移明显降低。如图 6(b)所示,当墩梁固结后,箱梁的横向位移也表现出明显的降低趋势。因此,可以认为桥墩和箱梁采用墩梁固结的连接方法同样可以减小箱梁的纵向和横向位移。

2.2 强度分析

当墩梁连接方式改变时,桥墩和箱梁的受力也会有所不同。各工况下桥体应力云图如图 7 所示,下文主要从不同位置桥墩和箱梁的应力角度对各工况下桥梁的强度进行分析。

2.2.1 桥墩应力

图 8 为不同工况下桥墩的墩顶和墩底应力变化。

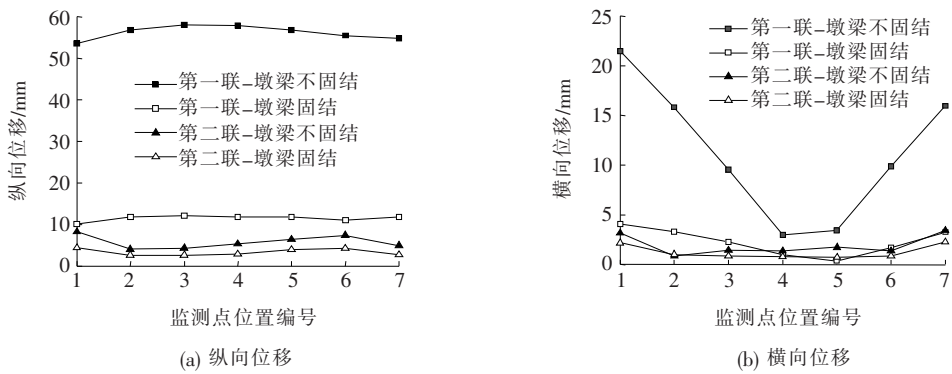


图6 箱梁位移图

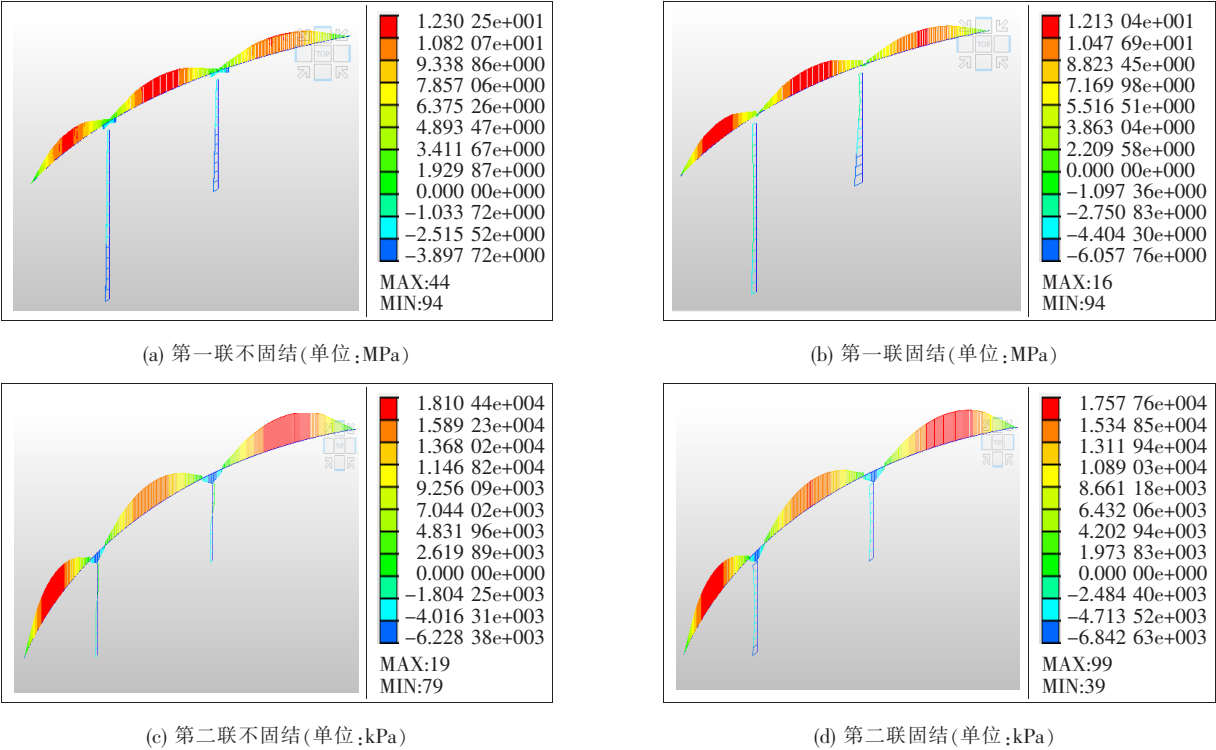


图7 各工况下桥梁应力云图

从整体上来看,当墩梁不固结时,由于墩顶支座的作用,墩顶和墩底所受的应力较小,4个桥墩墩顶应力均小于2MPa,墩底应力均小于4MPa;而当墩梁固结时,墩顶和墩底的应力值都明显增大,4个桥墩墩顶应力为不固结时的1.93、1.5、2.63和2.56倍,而墩底应力分别为不固结状态的2.2、2.0、1.5和1.7倍。值得注意的是,墩底应力是桥墩配筋设计中的一项重要指标,因此当选用墩梁固结方案时,固结点所对应桥墩的配筋率也要随之增大。

2.2.2 箱梁应力

两联曲线箱梁桥支承点和跨中7个典型位置处箱梁的应变如图9所示。从整体上来看,当墩梁固结时,7个位置处箱梁的应力均略高于不固结工况,但应力

提升幅度远小于桥墩应力,因此可以认为墩梁固结对桥墩的应力影响较大,而对箱梁应力的影响较小。另外,第二联箱梁各点应力均高于第一联箱梁,这是由于第二联箱梁桥跨度较大,因此支承点和跨中受力也较大。

2.3 稳定性分析

为了研究不同墩梁连接方法对全桥整体稳定性的影响,通过Midas/Civil软件计算分析了各个工况下全桥的1阶模态对应的稳定特征值,结果如表2所示。JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》^[22]中并没有对成桥状态下桥体的稳定性特征值做出相应的规定,因此该文参考该规范中对拱桥和斜拉桥的屈曲稳态安全度为4的规定对成桥状态桥体的稳定性进行

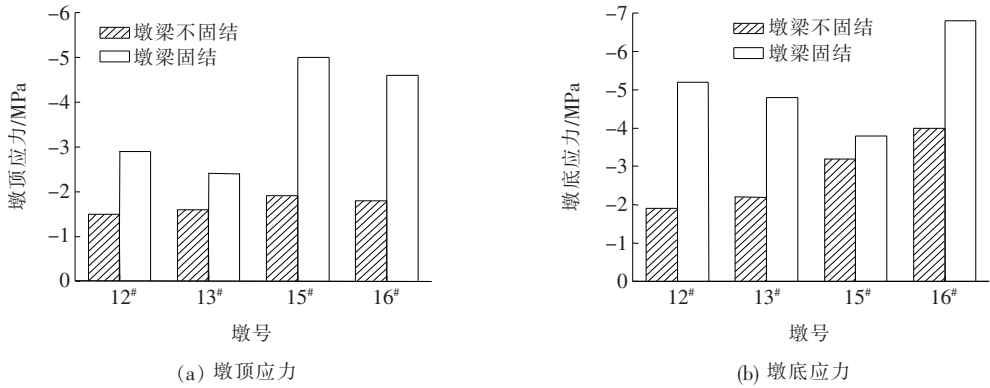


图 8 桥墩应力变化

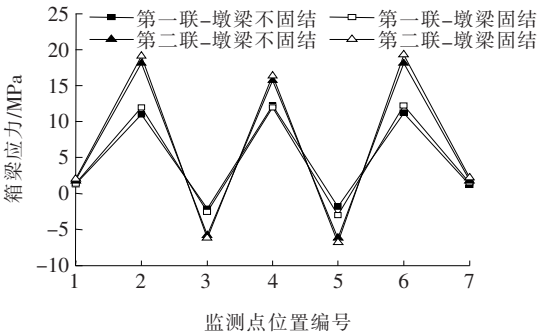


图 9 箱梁应力

表 2 各工况下桥体稳定特征值

工况	稳定特征值	1 阶失稳模态
第一联—工况 1	4.19	纵桥向面内失稳
第一联—工况 2	8.34	纵桥向面内失稳
第二联—工况 1	4.28	纵桥向面内失稳
第二联—工况 2	12.35	纵桥向面内失稳

分析。由表 2 可知:所有工况下桥体的 1 阶失稳模态均为纵桥向的面内失稳,且桥体稳定特征值均大于 4,即无论墩梁是否固结,桥体稳定性均满足要求。但是当墩梁不固结时,桥体的稳定特征值均偏小,当墩梁固结时,第一联和第二联桥体稳定特征值分别为不固结状态的 1.99 倍和 2.89 倍,即墩梁固结可以显著提高桥体的稳定性。此外,第一联箱梁桥在两种工况下的稳定特征值均小于第二联箱梁桥,这是由于第一联桥墩选用空心墩,其稳定性略小。

3 结论及建议

从刚度、强度和稳定性 3 个方面分析了墩梁固结和不固结工况下某高速公路曲线形箱梁桥的静力特征,主要结论及建议如下:

(1) 相较于墩梁不固结,固结桥墩和箱梁可以有

效减小内外力作用下的桥墩墩顶和箱梁的横向和纵向位移。第一联桥墩位移大于第二联桥墩的原因是第一联桥墩为空心墩,刚度较小。

(2) 墩梁固结时桥墩墩顶和墩底的应力都有所增加,因此当选用墩梁固结方案时,固结点所对应桥墩的配筋率也要随之增大,并且墩梁固结对桥墩的应力影响较大,对箱梁应力影响较小。

(3) 无论墩梁是否固结,桥体稳定性均满足要求,但是墩梁固结时桥体的稳定性要明显高于墩梁不固结的工况。第一联箱梁桥由于空心墩稳定性较低的原因,导致其整体稳定性要小于第二联箱梁桥。

(4) 综合桥梁刚度、强度和稳定性 3 个方面的分析,建议桥梁建造时选择固结中间两个箱梁和桥墩的方案。

参考文献:

[1] 李林,唐国斌,程坤,等.基于长期监测数据的曲线箱梁桥位移研究[J].公路工程,2019,44(6):147-150,250.

[2] 孙全胜,高红帅,张冬久.小半径曲线钢箱梁独柱墩匝道桥抗倾覆分析[J].中外公路,2013,33(5):114-118.

[3] 张菊辉,梁磊,管仲国.城市高架匝道桥部分隔震体系地震响应分析[J].振动与冲击,2017,36(7):141-148.

[4] 徐秋红,李向阳.全智能控制液压钢模板在深中通道箱梁预制中的应用[J].桥梁建设,2019,47(6):36-40.

[5] 孔祥勇.小半径曲线箱梁独柱墩匝道桥荷载试验研究[J].中外公路,2012,32(4):141-144.

[6] 张爱春.匝道桥现浇连续箱梁施工支架方案设计[J].铁道建筑,2006,46(6):5-6.

[7] 杨吉新,马璐珂.大跨度小半径曲线箱梁桥地震响应分析[J].公路工程,2018,43(1):244-250.

[8] 兰振波,李敏娜.大纵坡、小半径曲线钢箱梁支座脱空处理[J].桥梁建设,2014,44(6):117-121.

[9] 徐德志.曲线独柱墩连续箱梁整体抗倾覆能力研究[J].中外公路,2015,35(1):152-154.

基于改进分数阶 GM(1,1)模型的桥梁悬臂 施工节段高程预测研究

洪晓江¹, 郭宁¹, 钱波¹, 兰飞², 李鸿鸣³

(1. 西昌学院 土木与水利工程学院, 四川 西昌 615000; 2. 重庆交通大学 土木工程学院, 重庆市 400074;
3. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要:为解决传统的 GM(1,1)灰色模型在悬臂拼装施工桥梁线形控制中预测精度不高的问题,该文将分数阶算子 GM(1,1)模型用于桥梁施工节段高程预测,并优化了模型背景值的构造方式,建立了一种含三参数的分数阶 GM(1,1)新模型。该模型实现了对传统 GM(1,1)模型的阶数和背景值的双重优化。为了检验预测精度,将该文模型与传统 GM(1,1)模型、分数阶 GM(1,1)进行对比分析。通过实例验证,经优化的分数阶 GM(1,1)的平均相对误差为 5.9%,相比传统 GM(1,1)减小了 11.6%,预测精度得到进一步提高。

关键词:桥梁工程; 施工控制; GM(1,1)模型; 高程预测

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

1 前言

目前,大跨度悬臂施工桥梁主要采用对施工过程进行有限元模拟计算和对施工现场的关键截面、节点的力学参数(变形、内力和温度)进行测量相结合的自

适应控制方法来保证成桥时达到理想的设计状态^[1]。但结构的几何非线性、材料非线性以及施工误差等原因往往使得桥梁的实际状态和理想状态不一致。如:连续刚构桥梁采用悬臂浇筑法施工时,各浇筑节段的实测标高和设计标高(含预拱度)往往存在偏差。

从现代控制理论出发,桥梁施工系统是一个内外

- *****
- [10] 黄志斌,罗旗帜.曲线连续箱梁桥病害分析及加固措施[J].施工技术,2017,46(5):77-79,93.
- [11] 王伟,张玉平,刘小燕,等.墩梁固结处模拟方式对连续刚构桥动力特性的影响[J].土木工程与管理学报,2017,34(3):62-67.
- [12] 文望青,王德志,武兵,等.高速铁路无支座整体式刚构设计[J].桥梁建设,2020,50(2):86-91.
- [13] 武星,刘群峰,马晓力.有限元方法在曲线梁桥墩梁固结分析中的应用[J].公路,2008,53(7):210-214.
- [14] 戴佳程,李朋,刘浩,等.城市轨道交通简支梁桥桥墩纵向水平刚度限值研究[J].铁道建筑,2020,60(7):18-22.
- [15] 皮水萌,徐略勤,孙榕徽.地震作用下简支梁桥支座一挡块一桥墩相互作用研究[J].世界地震工程,2020,36(1):137-145.
- [16] 蔡小培,谭茜元,刘万里,等.无砟轨道简支梁桥墩纵向刚

- 度限值研究[J].铁道工程学报,2019,36(11):38-44.
- [17] 李彪,郭攀.大纵坡预制 T 梁墩梁连接方法静力性能数值分析[J].公路工程,2016,41(2):205-207,225.
- [18] 许震,罗小焯,陈宝春,等.均匀温度下多跨半刚接整体桥受力性能[J].福州大学学报(自然科学版),2019,47(5):669-674.
- [19] 霍学晋,高玉峰,李晓斌.不同墩梁连接方式的长联大跨度铁路桥地震反应特性对比分析[J].铁道标准设计,2010,54(10):51-54.
- [20] 王解军,冯珍,黄佳,等.匝道固结体系曲线箱梁桥弯扭性能分析[J].公路工程,2018,43(5):99-104.
- [21] 卢二侠,王解军.小半径曲线钢箱梁桥固结体系及戴帽施工法[J].公路工程,2020,45(3):143-148.
- [22] 中交公路规划设计院有限公司.公路桥涵设计通用规范:JTG D60—2015[S].北京:人民交通出版社,2015.

收稿日期:2020-11-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51308082);四川省科技厅项目(编号:2018GZ0499);西昌学院“两高”计划项目(编号:LGLZ201824);西昌学院 2021 年度博士科研启动项目(编号:YBZ202144)

作者简介:洪晓江,男,博士研究生,讲师. E-mail: hxjxcxy@126.com