

大跨度连续梁桥悬臂施工预拱度影响因素分析

刘德林¹, 余沛²

(1. 漳州职业技术学院, 福建 漳州 363000; 2. 信阳学院, 河南 信阳 464000)

摘要: 为系统分析高速铁路大跨度连续梁桥挂篮系统变形对施工预拱度的影响, 以大跨度连续梁桥挂篮系统变形为单一影响因素, 对施工预拱度的影响因素进行数值分析。通过理论分析和有限元模型对挂篮体系变形的施工过程进行力学分析, 确保挂篮体系受到施工荷载和自重而产生的弹性变形和非弹性变形均在设计允许范围内, 并应用于徐盐高速铁路李家河预应力混凝土连续梁-拱桥项目中。工程实践表明: 在使用挂篮浇筑混凝土过程中, 采用预压施工措施可以有效消除最大悬臂处的非弹性变形, 减小预拱度的影响, 在墩顶处的挠度为0, 向墩顶两个方向逐渐增大。根据预拱度影响因素提出本工程预拱度的控制方法, 使大跨度连续梁桥避免开裂, 进一步减小下挠, 研究成果可为高速铁路大跨连续梁设计和工程施工提供参考。

关键词: 悬臂施工; 预拱度; 连续梁桥; 高速铁路

中图分类号: U448.215

文献标识码: A

Analysis of Influencing Factors on Pre-camber of Long-span Continuous Beam Bridge under Cantilever Construction

LIU Delin¹, YU Pei²

(1. Zhangzhou Institute of Technology, Zhangzhou 363000, Fujian, China;

2. Xinyang University, Xinyang 464000, Henan, China)

Abstract: In order to systematically analyze the influence of the deformation of the hanging basket system on the pre-camber of the construction of the high-speed railway long-span continuous beam bridge, taking the deformation of the hanging basket system of the long-span continuous beam bridge as the single influencing factor, the influence factors of pre-camber were analyzed numerically. By the means of theoretical analysis and finite element model, the construction process of the hanging basket system was analyzed to ensure that the elastic and inelastic deformation of the hanging basket system caused by construction load and dead weight are within the design scope. And the method was applied in the project of Lijiahe prestressed concrete continuous beam-arch bridge of Xuyan high-speed railway. The engineering practice shows that the inelastic deformation at the maximum cantilever can be effectively eliminated and the influence of the pre-camber can be reduced by adopting the pre-pressure construction measure in the process of pouring concrete with the hanging basket. The deflection at the top of the pier is 0 and gradually increases in both directions towards the top of the pier. According to the influence factors of the pre-camber, the control method of the pre-camber is put forward, which can avoid the cracking of the long-span continuous beam bridge and further reduce the deflection. The research results can provide reference for the design and construction of long-span continuous beam of high-speed railway.

Key words: cantilever construction; degree of camber; continuous beam bridge; high-speed railway

大跨度连续梁桥主要的施工方法是悬臂施工技术, 悬臂施工法是指在桥墩两侧设置工作平

台, 无需支架体系, 两侧平衡地逐段向跨中悬臂浇筑或拼装梁段, 直至桥跨结构合龙的施工方

收稿日期: 2024-04-01

作者简介: 刘德林, 讲师, 硕士, 主要研究方向为土木工程施工与教学方法

基金项目: 2023年度福建省教育厅中青年教师教育科研项目(科技类)(编号: JAT231265)

法。此种浇筑方法与传统支架浇筑的不同点在于悬臂施工不影响地面交通或通航,适合不方便搭设支架的情况或山区中,可以不用或少用支架,并适用于变截面桥梁结构的施工。对于墩顶承受负弯矩的桥梁,施工时的受力状态与建成后的受力状态基本一致,因而可减少或节省施工用材。但是悬臂施工对施工技术要求较高,特别对于大跨度连续梁悬臂施工,线性控制是桥梁施工控制难题,而线性控制集中体现在预拱度的设置上。

龙云^[1]以箱型梁桥为研究对象,依托新建商合杭跨合宁铁路特大桥工程,对该桥梁悬臂施工线形监控和应力监控进行分析,运用了 Midas Civil 软件进行三维建模,分析了转体施工球铰的受力状态,为类似桥梁悬臂施工提供理论参考。史民强等^[2]以某特大桥挂篮施工阶段为研究对象,采用 Midas Civil 软件对大桥挂篮施工进行三维建模,通过施工过程中不同工况计算和荷载组合,验算了特大桥底模横梁、纵梁、主桁架强度、上横梁及门架等关键部位。武静^[3]以长春市的长春大桥为例,采用数值方法拟合的方式,对其建设中桥梁施工预拱度的线形曲线设置进行分析。在进行工程理算的过程中,多项拟合以及非线性拟合的确定系数分别为 0.845 和 0.9928,符合基本模型的拱度曲线,两种拟合方式都能满足施工队预拱度线形计算的需求。刘龙等^[4]通过 Midas Civil 2015 有限元软件进行建模分析,并对计算所得理论数据与现场实测数据进行对比,主要研究了 4 座不同跨度铁路连续梁桥在活载作用下的挠度变化情况、收缩徐变对高程影响情况、预拱度设置情况,并对施工过程中高程实测值与理论值进行对比分析。张雷^[5]以汉孝城际铁路连续梁悬臂施工为研究对象,基于大跨度连续梁桥的监控重点,提出混凝土桥梁线形监控方法,对于挂篮悬浇混凝土主梁预拱度的设置重点考虑设计预拱度、悬浇挂篮主体结构变形及温度效应引起的挂篮变形,为其他类似工程施工提供了参考。蓝贤柏^[6]以特大桥梁为研究对象,对悬臂施工连续梁桥施工预拱度的影响因素进行了分析,并对预拱度误差产生的原因展开了讨论,对预拱度的控制采取了施工观测与控制施工放样、参数测定与修正、环境参数测量等技术措施,确保施工达到了设计要求。邬晓光^[7]以大跨径悬臂施工连续梁桥施工预拱度线形设置问题为出发点,以沮河大桥为例,采用了数值方法进行拟合,研究表明:在工程算例中,多项式拟合确定系数为

0.844,大体符合模型挠度曲线;非线性拟合确定系数为 0.9927,拟合结果优秀。以上两种拟合方法均可用于施工预拱度线形的计算中,所得施工预拱度线形计算结果可靠。

可见,大跨度连续梁预拱度的设置包括两个阶段,即施工阶段和使用阶段,前者称为施工预拱度,后者称为成桥预拱度。施工预拱度是指在连续梁施工过程中,为抵消各种施工荷载所产生的挠度而设置的预拱度,如节段混凝土自重、预应力张拉、挂篮变形等;成桥预拱度则指为抵消连续梁运营过程中各种荷载对桥梁的影响而设置的预拱度,如活荷载和混凝土徐变等。本文研究高速铁路大跨度连续梁悬臂施工阶段挂篮体系变形对施工预拱度的施工技术,基于 Midas Civil 2019 有限元软件,模拟施工过程中挂篮体系的受力和变形,以缩短高速铁路的施工周期,节约施工成本,进一步保证大跨度连续梁桥的施工安全。

1 预拱度计算分析

连续梁施工和后期桥梁运营过程中,桥梁在荷载的作用下一般都会发生一定程度的变形。因此在施工前期,施工单位为确保成桥后桥面标高和设计相符,必须对桥梁施加相反的位移量,这个相反的位移量一般称为预拱度。桥面施工过程的标高如式(1)所示。

$$H = H_0 + f_1 - f_2 + f_3 + f_4 \quad (1)$$

式中: H 代表桥面立模标高; H_0 代表桥面设计标高; f_1 代表本节段混凝土自重及以后节段混凝土自重对本节段产生的挠度值,该值由设计确定,实测修正; f_2 代表挂篮弹性变形,由挂篮结构和构造决定; f_3 代表本节段纵向预应力张拉后以后节段纵向预应力张拉对本阶段产生的影响值; f_4 代表由混凝土收缩徐变、二期恒载、梁体体系转换、活载等影响的变形值。

除了以上因素,影响连续梁桥预拱度大小的影响还与梁自重、施工临时荷载、混凝土收缩徐变、施加预应力大小、周边环境变化、施工误差、桥梁基础沉降等影响挠度的因素有关,均为施工中重要因素。

1.1 节段混凝土自重对预拱度的影响

在悬臂施工中,施工单位科学合理地设置桥梁悬臂端的施工预拱度至关重要。只有保证预拱度合理性,才能在一定程度上保证连续梁合龙时在同一水平线上;后施工的节段会对已完成节段产生弹性变形,而已完成的节段已经完成了变

形,故不会对后施工节段产生影响,如图1所示。所以每一节段的挠度值影响值为本节段及后期各节段混凝土自重所产生的挠度总和,即由式(2)计算决定。

$$\begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} & \cdots & \Delta_{1n} \\ & \Delta_{22} & \cdots & \Delta_{2n} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & \Delta_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \vdots \\ \Delta_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: Δ_i 代表各节段混凝土自重对 i 节段所产生的总挠度值; Δ_{ij} 代表 j 节段自重对 i 节段产生的挠度值。

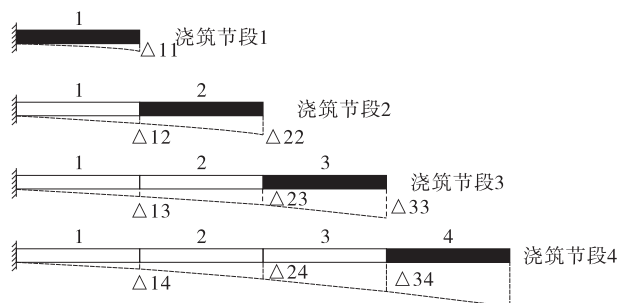


图1 悬臂浇筑梁体挠度示意图

1.2 挂篮变形对预拱度的影响

挂篮变形对预拱度的影响包括挂篮自重的影响和挂篮自身变形的影响。其一,挂篮施工中,挂篮预先固定在已浇筑的节段上,它的自重会对已浇筑梁体结构产生变形,但是挂篮拆卸后,这部分变形又自行恢复。因此应该扣除这部分影响。其二,随着节段混凝土的浇筑,挂篮自身也在混凝土自重的影响下产生变形,梁体也随之变形,而这部分变形将成为梁体永久性变形,不能恢复。挂篮对预拱度的影响可以按式(3)计算。

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: λ 代表挂篮变形值,由节段混凝土重量和挂篮刚度决定。

1.3 预应力张拉对预拱度的影响

当对梁体纵向预应力进行张拉时,梁体有一定的上挠情况,因此设置预拱度时应考虑这一部分的影响。其影响原理类似混凝土自重影响,即已经张拉过的预应力不影响后节段梁体的变形,用矩阵可表示,如式(4)所示。

$$\begin{bmatrix} \xi_{11} & \xi_{12} & \cdots & \xi_{1n} \\ & \xi_{22} & \cdots & \xi_{2n} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & \xi_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: ξ_{ij} 代表穿过 i 节段的第 j 束预应力对 i 节段的上挠值; δ_i 代表各束预应力对 i 节段产生的总上挠值。

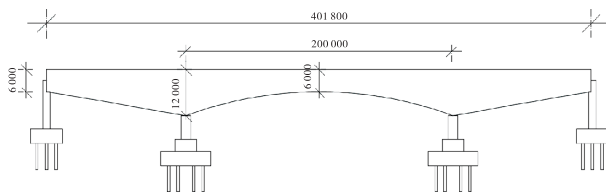
1.4 其他因素对预拱度的影响

上述论述只考虑了施工期间一期荷载对预拱度的影响,同时还包括二期荷载、混凝土徐变、二分之一活载等因素对预拱度的影响,计算预拱度时应将上述各因素的影响值汇总累加得到总的预拱度,即由式(1)计算决定。

2 工程实例应用

2.1 工程简介

李家河预应力混凝土连续梁-拱桥是徐盐高铁沿线的一座特大桥,其中桥梁主跨度为200 m,桥梁全长401.8 m。桥梁设计采用两边腹板为直腹板,变截面结构、变高度为该桥梁主梁的优点,其中主梁的形式为单箱双室。桥梁结构中端支座处梁高为6 m,箱梁顶宽和底宽分别14.2 m和12 m,桥梁跨中处和边跨直线段梁高均为6 m,中支点处梁高12 m,梁底下缘按圆曲线变化;在中支座处20 m范围内顶宽加宽到17.2 m,底宽加宽到15.2 m,桥梁结构如图2所示。



单位: mm

图2 桥梁结构示意图

采用纵、横、竖三向预应力体系。桥梁纵向预应力束分顶板束、中跨底板束、边跨底板束、腹板束、顶板合龙束和备用束。纵向预应力钢束分别采用规格为19- ϕ 15.2 mm、15- ϕ 15.2 mm 钢绞线。横向预应力采用规格5- ϕ 15.2 mm、9- ϕ 15.2 mm 钢绞线,顶板横向预应力单端交错张拉,横向预应力间距0.5 m,隔墙横向预应力采用两端张拉。竖向预应力采用 ϕ 32 预应力混凝土用钢绞线,间距0.5 m。拱肋采用钢管混凝土结构,断面为哑铃形,计算跨度200 m,设计矢高40.0 m,矢跨比 $f/L = 1/5$,拱轴线采用二次

抛物线 $y = 1/250x^2 + 0.8x$, 共设 20 组竖向吊杆。

该桥主梁共分 91 个梁段, 边跨 22 个梁段, 中跨 45 个梁段, 0#梁段 2 个。0#段采用支架法浇筑, 其余梁段采用挂篮悬臂施工工法, 拱肋安装采用支架法施工, 其主梁布置为 100 m + 200 m + 100 m。

2.2 预拱度设置

本桥梁设计时已给出设计预拱度, 该设计预拱度为各施工阶段的恒载、预应力和混凝土收缩、徐变、营运活载产生的挠度之和, 详见表 1, 所以确定本桥梁的施工预拱度时主要考虑挂篮体系的变形, 从而对设计预拱度进行调整。在桥梁施工中, 挂篮体系是重要的临时支撑结构, 用于承受施工荷载和梁段的重量。挂篮体系的变形会直接影响到桥梁的线性和结构安全, 因此需要考虑其对预拱度的影响。在施工过程中, 挂篮体系受到多种因素的影响, 包括施工荷载、自重、温度变化等, 这些因素可能导致挂篮体系的变形。为了确保桥梁的线性和结构安全, 需要根据挂篮体系的变形情况对设计预拱度进行调整。调整预拱度的方法包括增加预拱度值、减小预拱度值或

对不同节段的预拱度进行分配调整。具体的调整方法应根据挂篮体系的变形情况、施工条件和设计要求进行选择。在调整预拱度时, 需要充分考虑挂篮体系的材料、结构形式、施工荷载和环境因素等的影响。同时, 应采用合适的计算和分析方法, 如有限元分析、施工监测等, 以确保调整后的预拱度能够满足设计要求和施工安全。

李家河预应力混凝土连续梁-拱桥主梁施工采用菱形挂篮如图 3 所示, 其菱形结构锚固在梁体底板上, 无平衡重, 结构简单, 大大减少了自身的重量。在挂篮第一次安装完毕时, 及时对挂篮进行了预压, 其预压荷载为最大悬臂浇筑重量的 1.2 倍。预压采用混凝土预制块堆载, 采用分级预压的方法, 每加载一级, 对挂篮变形进行测量, 测出挂篮的弹性曲线, 分别估算各梁段对挂篮变形的影响值, 计算该值后再根据设计预拱度就可以分别计算出各段梁体施工预拱度, 计算结果汇总见表 1。算出施工预拱度后, 根据式 (1) 即可算出各段立模标高。

	边跨节段			中跨节段		
	设计	挂篮	施工	设计	挂篮	施工
	预拱度	变形值	预拱度	预拱度	变形值	预拱度
1#	2.8	23.2	26.0	6.3	23.2	29.5
2#	4.1	20.7	24.8	7.7	21.5	29.2
3#	5.6	20.1	25.7	11.0	20.1	31.1
4#	7.5	19.4	26.9	14.0	19.4	33.4
5#	10.6	22.7	33.3	17.4	23.9	41.3
6#	14.5	22.1	36.6	24.0	22.1	46.1
7#	18.9	21.5	40.4	30.2	21.5	51.7
8#	24.9	22.3	47.2	38.4	23.6	62.0
9#	31.5	22.9	54.4	47.7	22.9	70.6
10#	38.4	22.0	60.4	57.7	22.7	80.4
11#	43.7	21.7	65.4	65.9	21.7	87.6
12#	48.0	21.4	69.4	73.5	21.9	95.4
13#	50.9	18.4	69.3	79.0	18.4	97.4
14#	55.4	17.9	73.3	86.5	18.8	105.3
15#	55.6	17.7	73.3	88.7	17.7	106.4
16#	55.1	17.1	72.2	90.5	17.3	107.8
17#	60.0	16.5	76.5	96.5	16.5	113.0
18#	57.5	16.8	74.3	95.8	17.0	112.8
19#	51.0	16.3	57.3	89.5	16.3	105.8
20#	40.2	16.1	56.3	80.2	16.7	96.9
21#	18.7	15.5	34.2	56.8	15.5	62.3
22#	1.0	/	1.0	31.3	16.4	47.7

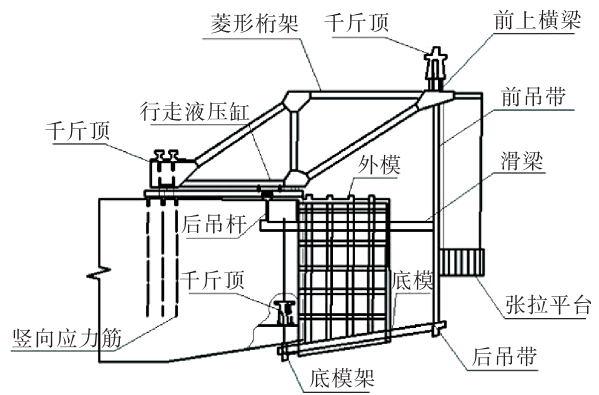


图3 菱形挂篮示意图

2.3 挂篮变形影响因素的分析

在桥梁实际施工过程中, 悬臂挂篮浇筑法是目前连续钢架桥最有效的施工手段之一。挂篮变形计算中要考虑混凝土自重、徐变、钢材弹性模量、挂篮自重、施工人员、施工机具、主桁架、底栏、模板系统、主桁架斜拉带及荷载组合等因素影响。

(1) 挂篮变形有限元模型建立。采用有限元软件 Midas Civil 2019 对本工程挂篮结构进行受力变形分析, 其中挂篮中的吊杆、纵梁横肋、前横梁以及菱形主桁等构件用梁单元模拟, 本工程挂篮模型一共有 48 个节点以及 76 个单元。如图 4 所示。菱形主桁架和上横梁之间、横梁与底纵梁之间采取固结的方案相连。伴随施工段号的增

加逐渐减少吊杆的长度。施工挂篮后的锚点定义为铰接,即X、Y方向均约束,菱形桁架前支点约束Y方向。

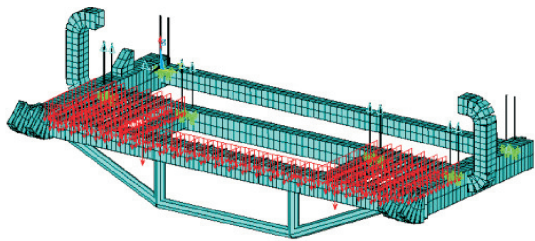


图4 挂篮的整体建模计算

(2) 挂篮体系模型分析结果。挂篮系统主要结构计算结果表明,挂篮主纵梁、前横梁、后横梁、联系梁、次纵梁、鱼腹及挂腿等构件应力极值和最大挠度均满足规范要求,各构件折算应力均不大于 $[\sigma]$,强度满足要求;简支梁挠度均不大于 $L/800$,悬臂梁挠度均不大于 $L/500$,结构刚度满足要求。施工中每个施工段号的重量不一致,因此,作用力在菱形挂篮上产生的挠度值不同,如表2所示。针对每个施工段号重量不一致的情况,需要采取适当的措施对预拱度进行调整。这有助于确保桥梁的线性和结构安全,提高施工质量和安全性。同时,也需要注意实时监测和记录,及时发现和解决潜在问题,确保施工的顺利进行。

表2 挂篮模型计算的挠度值

施工 段号	箱梁段 长/m	混凝土湿 重/kN	混凝土干 重/kN	吊杆长 度/m	挠度值/ mm
1	3	1 032	940	9.72	23.6
2	3	1 129.6	1021	10.48	26.9
3	3	948.6	859.4	8.99	22.1
4	4	808.6	741.3	6.97	18.8
5	4	739.3	687.6	6.29	17.7
6	4	716.3	671.6	6.21	17.3

(3) 施工中预拱度控制措施。施工荷载的精确控制是预拱度控制的关键之一。在施工过程中,应严格按照设计要求进行施工荷载的布置和加载,避免过载或欠载的情况,以确保桥梁结构的受力均匀和线形平顺。在预拱度施工过程中,应进行实时监测和记录,包括支架变形、沉降观测、施工荷载等。通过监测和记录的数据,可及时发现和解决潜在问题并调整施工参数与工艺,确保预拱度的控制效果。在施工前应消除挂篮在受力过程中产生的非弹性变形,进一步减少挂篮变形对预拱度的影响。本工程主要采取堆载法对

挂篮进行预压,实施前先计算悬臂最重号段的混凝土重量(即一号块),后期以一号块重量的115%作为预压试验的最终加载质量。先加载底板混凝土重量,后加载腹板混凝土重量,依次为安装顶板模板、加载顶板混凝土重量、翼板混凝土重量等,加载重量按分级进行,分级加载中的最大重量是悬臂浇筑中桥梁段混凝土最大重量的1.15倍;加载完成后,静止3d观测变形值,其间测量6h、12h、24h后的测点标高值,24h后连续两次测得变形值不大于2mm时,即认为挂篮预压达到设计规定的稳定值,即可实施卸载,否则应继续进行预压的观测,直到达到设计的要求。

根据挂篮预压的数据统计,本工程中挂篮的加工与安装质量可靠,主纵梁及挂篮锚固系统受力合理,桥梁中跨和边跨的挂篮的总变形值、弹性变形的差值及非弹性变形的差值均在1cm以内。将桥梁施工时挂篮预压试验变形数据和有限元软件的理论数据相对比,两者变形值非常接近,相差值均在2mm以内。可见,采取预压试验可以有效减小挂篮变形,桥梁施工后标高与设计标高基本一致。

(4) 其他控制措施分析。对于一些跨度较大或地质条件较差的桥梁,需要采取适当的加固措施,如增加临时支撑、扩大基础等,以减小支架的变形和沉降,确保预拱度的控制效果。混凝土连续梁桥具有良好的抗震性能及较好的抗扭能力,从整个受力结构分析,该结构的桥梁整体性较好。但由于该结构的桥梁的跨径大以及受各种因素的影响,连续梁桥在跨中处会产生下挠变形,进一步影响桥梁结构的安全使用,因此在桥梁设计阶段、工程施工阶段和运营使用阶段等需要考虑连续梁桥梁跨中下挠,对该结构预拱度严格控制。在设计时,要使连续梁桥具有足够的强度、刚度及稳定性,从而使得桥梁混凝土的质量达到工程设计的要 求。在工程施工过程中,混凝土的质量受每一个工序的影响,其中最关键的是混凝土配合比,在配合比的设计中要减少混凝土中的水化热,在满足桥梁结构质量要求的前提下减少用水量和水泥用量,从而减少混凝土徐变以及徐变引起的混凝土预应力的损失,减少最终变形。另一方面,要严格按照工程设计图纸施工,从测量放线、数据记录与校核、材料 和环境参数监测等方面对影响预拱度的各种因素进行监测和

(下转第78页)

的学习数据、学习习惯和进步情况,在思政课日趋中小班化教学环境下为学生个性化教学提供依据。此外,思政教师还应充分利用泛学在线学习平台、学习社区等工具为学生提供更多的学习资源和互动交流以促进增值发展^[6]。

参考文献:

- [1] 习近平. 思政课是落实立德树人根本任务的关键课程[M]. 北京:人民出版社,2020:2,23,12,25,9.
- [2] 坚持党的领导传承红色基因扎根中国大地 走出一条建设中国特色世界一流大学新路[N]. 人民日报,

2022-04-26(01).

- [3] 代天真,李如密. 课堂教学诊断:价值、内容及策略[J]. 全球教育展望,2010(4):41-43,66.
- [4] 朱小超. 论思政“金课”的四个标准[J]. 中学政治教学参考,2024(6):43-45.
- [5] 张烁. 用新时代中国特色社会主义思想铸魂育人贯彻党的教育方针落实立德树人根本任务[N]. 人民日报,2019-03-19(1).
- [6] 张文. 基于 CIPP 模式的思政课教学评价体系创新研究[J]. 湖北师范大学学报(哲学社会科学版),2022(1):117-122.

(上接第53页)

校核,及时调整相关参数,保证施工中各材料达到设计要求,降低因施工而产生的误差,提高施工预拱度的精度。

3 结语

连续梁桥预拱度的确定是大跨连续梁悬臂施工线性控制的关键,挂篮系统的变形在桥梁施工过程中起着重要的作用,挂篮作为桥梁施工中的关键设备,其稳定性与变形情况直接关系到桥梁的施工质量与安全。本研究主要得出以下结论。

(1) 挂篮变形会导致施工预拱度的偏差,进而影响桥梁的整体线形和结构安全。节段混凝土自重会对已完成节段产生弹性变形,在挂篮施工中要采取相关措施,避免弹性变形对预拱度的影响。

(2) 挂篮变形和预应力张拉也会大跨度连续梁桥的预拱度产生不同程度的影响,施工中发现最大挂篮变形值为 23.9 mm,出现在桥梁中跨节段 5#处,施工预拱度为 41.3 mm。在预应力张拉施工中要控制现场施工质量,减少预应力对预拱度的影响。

(3) 通过对大跨度连续梁边跨节段和中跨节段的设计预拱度、挂篮变形值及施工预拱度的计算,在大跨度连续梁悬臂施工过程中,必须高度重视挂篮系统的变形问题。通过合理的结构设计、精确的施工工艺以及严格的施工监控,确保挂篮系统的稳定性和变形控制在允许范围内。同时,还应加强对挂篮系统变形的监测与分析,及

时发现并处理潜在的安全隐患,确保桥梁施工的质量与安全。

参考文献:

- [1] 龙云. 箱形梁桥悬臂施工监控与转体结构受力分析[D]. 兰州:兰州交通大学,2019.
- [2] 史民强,吴继军. 某特大桥挂篮施工阶段力学性能研究[J]. 山西交通科技,2022(4):71-74.
- [3] 武静. 悬臂施工连续梁桥施工预拱度影响因素分析及曲线拟合[J]. 四川水泥,2021,297(5):200-201.
- [4] 刘龙,张振伟,马兴鹏,等. 不同跨径铁路连续梁桥悬臂施工线形对比分析研究[J]. 中外公路,2019,39(5):93-97.
- [5] 蓝贤柏. 悬臂施工连续梁桥施工预拱度影响因素分析[J]. 交通世界,2018,471(21):106-107.
- [6] 张武鹏飞. 大跨度铁路钢桁架-混凝土组合连续梁设计方案[J]. 铁道建筑,2022,62(5):71-75,93.
- [7] 张瑞兵. 大跨度预应力混凝土连续梁桥施工技术 & 质量控制[J]. 工程机械与维修,2022,307(6):270-272.
- [8] 周涛,邓宇,陈晓虎,等. 大跨度钢箱桁组合连续梁桥涡振性能研究[J]. 工程力学,2023,40(2):213-221.
- [9] 袁步德. 深水大跨度刚构连续梁桥稳定性参数敏感度研究[J]. 铁道建筑,2022,62(7):69-73.
- [10] 贾宏宇,吴炜昌,游刚,等. 强震下大跨度连续梁桥损伤分析[J]. 西南交通大学学报,2023,58(6):1423-1431.
- [11] 茹超,张运波. 大跨度波形钢腹板连续梁桥零号块局部受力分析[J]. 河北水利电力学院学报,2022,32(1):54-60.