

波形钢腹板 PC 组合箱梁桥异步施工对比分析

吴春旭¹, 陈纪杰², 卢发亮^{1*}

1. 山东交通学院交通土建工程学院, 山东 济南 250357; 2. 济南轨道交通集团有限公司, 山东 济南 250101

摘要:为解决采用传统悬臂施工对跨径较大桥梁造成变形较大、施工进度较慢、难以保证施工安全的问题,结合波形钢腹板预应力混凝土 (prestressed concrete, PC) 组合梁自身特点,以某特大桥梁为工程背景,应采用异步浇筑快速施工方法,采用有限元分析软件 MIDAS Civil 建立全桥有限元模型,将全桥划分为 75 个施工阶段进行施工全过程模拟,对比分析异步施工法和传统悬臂施工法在各施工阶段的应力和变形。分析结果表明:采用异步施工成桥后,模型中跨根部截面混凝土应力分布较普通悬臂施工均匀,成桥状态较合理,结构整体性能较好;采用异步施工法的桥梁变形小于传统悬臂施工法,施工荷载分布更有利于控制桥梁线形。

关键词:波形钢腹板;异步施工;有限元分析;应力;变形

中图分类号:U445.5

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2023)03-0101-08

引用格式:吴春旭,陈纪杰,卢发亮.波形钢腹板 PC 组合箱梁桥异步施工对比分析[J].山东交通学院学报,2023,31(3):101-108.

WU Chunxu, CHEN Jijie, LU Faliang. Comparative analysis of asynchronous construction of PC composite box girder bridge with corrugated steel webs[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2023, 31(3): 101-108.

0 引言

波形钢腹板预应力混凝土 (prestressed concrete, PC) 组合箱梁整体质量较轻,抗剪性能优越,预应力利用效率高,适合低碳环境,在亚洲得到广泛应用^[1-3]。对波形钢腹板 PC 组合箱梁桥的研究主要集中在结构受力及设计优化等方面^[4-6]。近年来,为提高波形钢腹板大跨度箱梁桥的施工效率,工程师们改进了传统的挂篮结构,采用异步浇筑快速施工(以下简称为异步施工)方法,以波形钢腹板为承重构件,直接支撑挂篮和梁段^[7-9],可组建多个可移动平台系统,施工更方便、高效^[10-12]。异步施工法于 2015 年首次应用于四川的头道河大桥工程建设中^[13],在其他波形钢腹板 PC 梁桥的架设工程实践中,多次证明此法施工效率较高,施工风险较低。

在理论及试验研究方面,邓文琴^[14]主要对波形钢腹板结构合理性和关键受力部位展开研究,结合有限元模型进行分析,提出关键部位的优化建议;岳宏智等^[15]、夏绍见^[16]、陈小宁^[17]、祝丰平等^[18]研究桥梁异步施工的优势和大跨径波形钢腹板梁桥异步施工的关键技术,分析施工过程中关键截面和关键施工阶段的混凝土和波形钢腹板应力及结构的挠度;陈水生等^[19]、金建敏等^[20]综述国内波形钢腹板箱梁桥的力学性能、剪力连接件、体外预应力转向块及工程应用等。我国波形钢腹板力学性能研究逐步成熟,但异步施工的工程控制技术尚不够完善。可采用有限元软件对施工阶段进行建模分析,得到各施工阶段关键控制截面顶底板的挠度变形、理论应力(应变)及其变化规律。将工程现场实测挠度、实测应力(应变)与仿真数据进行对比分析,指导下一施工阶段的施工控制,确保达到理想成桥状态。在施工过程中,根据

收稿日期:2023-02-25

第一作者简介:吴春旭(1998—),男,济南人,硕士研究生,主要研究方向为交通基础设施建设,E-mail:877015565@qq.com。

***通信作者简介:**卢发亮(1972—),男,济南人,副教授,工学硕士,主要研究方向为大跨径、特殊结构桥梁分析、设计及加固技术,E-mail:1812845221@qq.com。

模型分析数据和现场试验数据,为各施工阶段制定控制目标,随时调整,保证桥梁顺利合龙且成桥线形满足设计要求。

依托某特大桥工程项目,本文采用软件 MIDAS Civil,建立普通悬臂施工和异步施工方法的有限元模型,模拟、对比全桥各施工阶段相同控制截面的应力和变形,以期提高施工效率,保障施工安全。

1 悬臂施工法概述

1.1 普通悬臂施工法

采用传统的悬臂施工方法,在挂篮施工中,吊装位置附近应力分布不均,底部混凝土易开裂。传统的挂篮系统结构复杂,占据空间较大,在施工荷载作用下,挂篮系统变形较大,波形钢腹板管段吊装空间有限,不便于安装。传统挂篮的结构示意图如图 1 所示。

采用普通悬臂施工标准节段的流程为:将挂篮移至 $N^{\#}$ 段,吊装 $N^{\#}$ 节段波形钢腹板;安装 $N^{\#}$ 节段顶板和底板模板,绑扎钢筋,安装波纹管;浇筑 $N^{\#}$ 节段顶板和底板混凝土;进行混凝土养护;混凝土的抗压强度达到要求后,张拉 $N^{\#}$ 节段纵向预应力筋和 $(N-1)^{\#}$ 节段横向预应力筋;完成后将挂篮前移,进行下节段施工。

进行普通悬臂施工时,施工作业面局限在 $N^{\#}$ 节段,施工效率和工作空间有限,施工作业面重叠,存在一定的安全隐患。

1.2 异步施工法

为适应波形钢腹板快速施工大跨度箱梁桥的工程要求,改进传统挂篮的结构类型,缩短施工时间。重新设计的挂篮系统有 3 个施工平台,可同时进行相邻 3 个节段的顶部混凝土、底部混凝土和波形钢腹板的错位施工。在改进的挂篮施工技术中,以波形钢腹板为主要承重构件,承担挂篮系统的荷载作用。异步挂篮的结构示意图如图 2 所示。

采用异步施工法的波形钢腹板梁桥标准段,即支承端段与中间闭合段间的施工步骤为:将挂篮移至 $N^{\#}$ 段,临时焊接顶板、底板与穿孔板间的缝隙;在精确放置 $(N-1)^{\#}$ 节段顶板模板的同时,安装 $N^{\#}$ 节段底板模板,同时平行安装 $(N-1)^{\#}$ 节段顶板和 $N^{\#}$ 节段底板的钢筋,吊装 $(N+1)^{\#}$ 节段波形钢腹板;在 $(N-1)^{\#}$ 节段顶板和 $N^{\#}$ 节段底板同时浇筑混凝土;养护 $(N-1)^{\#}$ 节段顶板混凝土,达到设计抗压强度后,张拉 $(N-1)^{\#}$ 节段的纵向预应力筋和 $(N-2)^{\#}$ 节段顶板横向预应力筋,将挂篮前移至 $(N-1)^{\#}$ 节段,并进行下节段施工。

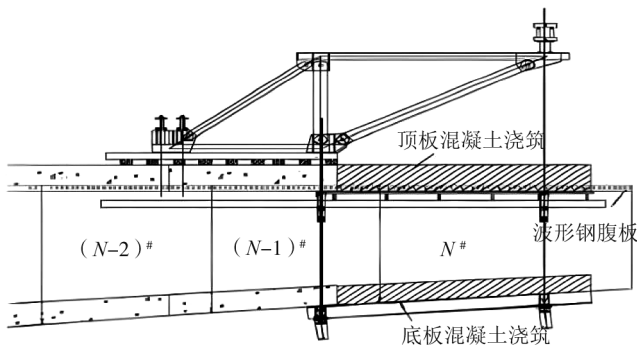


图 1 传统挂篮的结构示意图

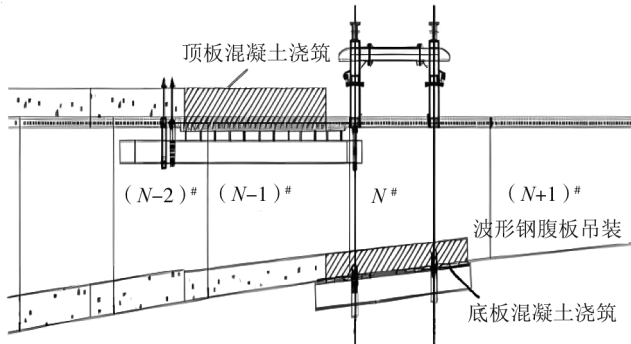


图 2 异步挂篮的结构示意图

2 异步施工法建模

2.1 工程概况

主桥上部结构为 77 m+136 m+72 m 的波形钢腹板变截面组合梁,分幅设置,单幅桥宽 16.5 m,单向横坡,坡度为 2%,单箱单室截面。箱梁底宽 8.5 m,两侧翼缘板悬臂长 4.0 m,全宽 16.5 m。箱梁横桥向

底板保持水平,顶面设单向横坡,坡度为 2%,由高度不同的箱梁腹板形成。中支点处箱梁中心高 8.5 m,边支点及跨中箱梁中心高 3.8 m,梁高以 1.8 次抛物线变化。顶板厚 0.30 m,悬臂板端部厚 0.20 m,根部厚 0.75 m,按折线变化;波形钢腹板厚 16~26 mm,按各悬臂浇筑阶段变化;底板厚 0.35~1.80 m,按 1.8 次抛物线变化。主桥结构图如图 3 所示。

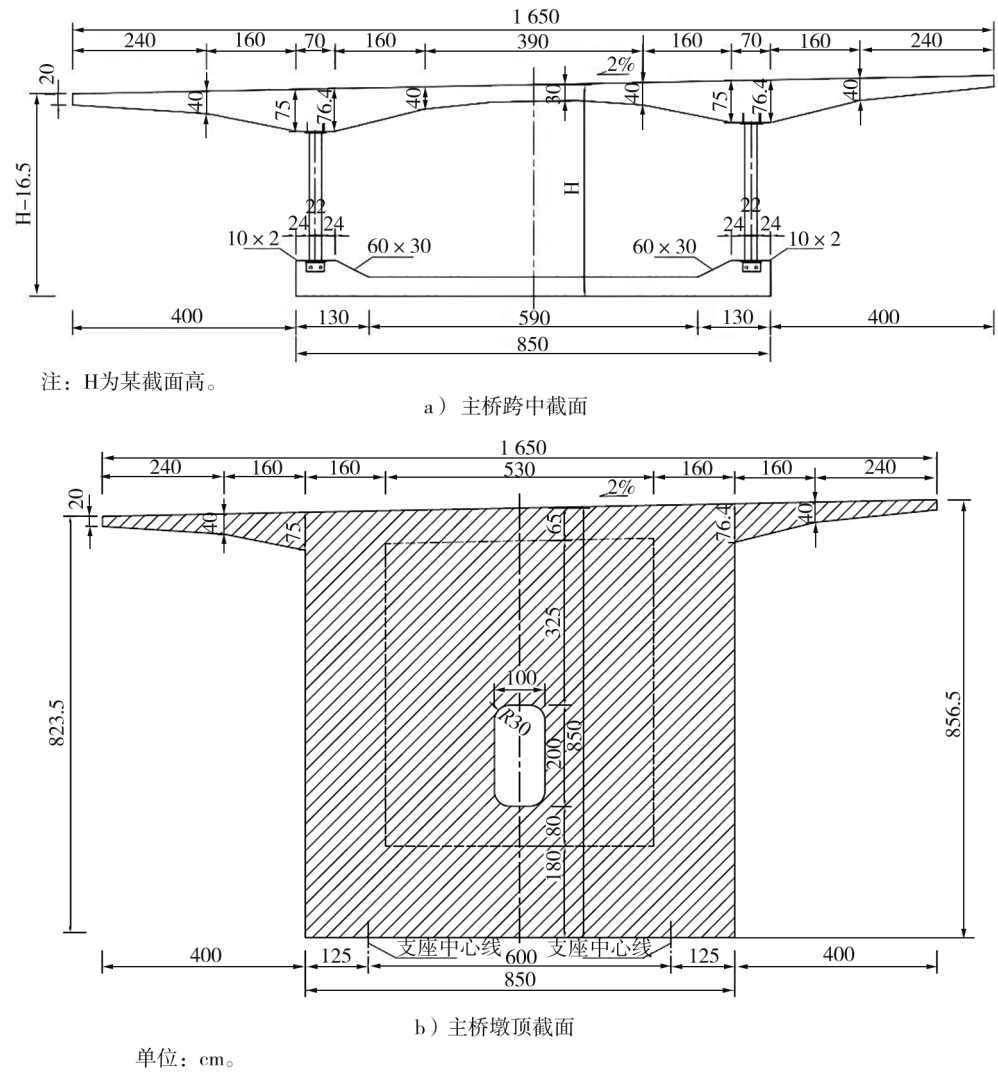


图 3 主桥结构示意图

2.2 有限元模型

采用软件 MIDAS Civil 建立波形钢腹板 PC 组合梁桥在普通悬臂施工和异步施工下的全桥模型,如图 4 所示。

将全桥划分为 75 个施工阶段,分析桥梁上部结构,对比分析梁桥的受力性能。

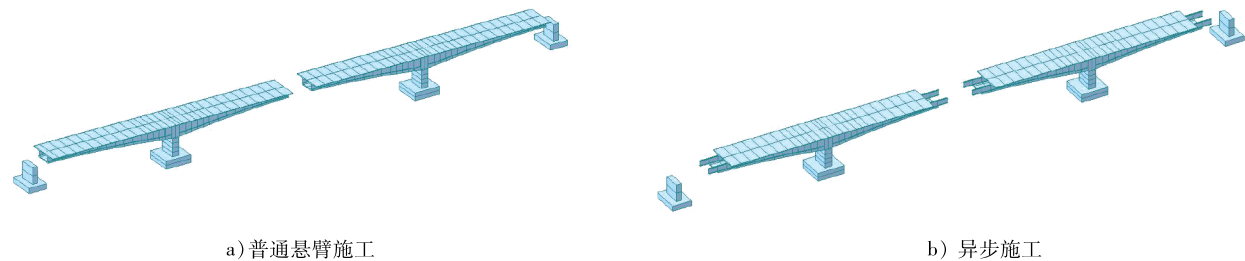


图 4 2 种施工方法的模型

普通悬臂施工和异步施工方法的不同主要体现在挂篮荷载、混凝土湿重荷载和施加荷载位置。在普通悬臂施工过程中,主要由上节段承担挂篮荷载和混凝土的自重荷载,荷载分布如图5a)所示。异步施工的标准节段施工时,荷载分布如图5b)所示,由波形钢腹板、翼缘钢板和剪力连接键组成的工字形截面承担挂篮荷载和混凝土自重荷载,如图6所示。

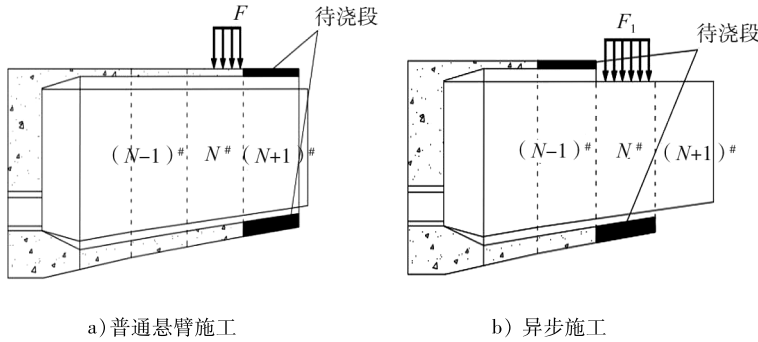


图5 2种施工方法下的施工荷载分布

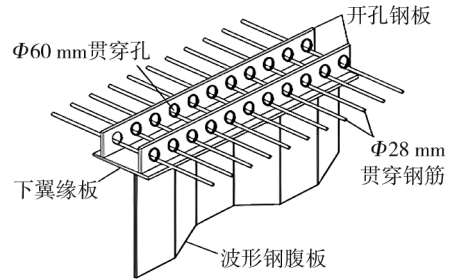


图6 异步施工荷载承担结构

普通悬臂施工的荷载

$$F = (m_{U,(N+1)} + m_{F,(N+1)} + m_{D,(N+1)} + m_M)g/a,$$

式中: $m_{U,(N+1)}$ 为 $(N+1)^{\#}$ 块顶板的质量, $m_{F,(N+1)}$ 为 $(N+1)^{\#}$ 块波形钢腹板的质量, $m_{D,(N+1)}$ 为 $(N+1)^{\#}$ 块底板的质量, m_M 为 $(N+1)^{\#}$ 块挂篮的质量, g 为重力加速度, a 为均布荷载长度。

异步施工的荷载

$$F_1 = (m_{U,(N-1)} + m_{D,N} + m_{F,N} + m_{F,(N+1)} + m_M)g/(2b_N),$$

式中: $m_{U,(N-1)}$ 为 $(N-1)^{\#}$ 块顶板的质量, $m_{D,N}$ 为 $N^{\#}$ 块底板的质量, $m_{F,N}$ 为 $N^{\#}$ 块波形钢腹板的质量, $m_{F,(N+1)}$ 为 $(N+1)^{\#}$ 块波形钢腹板的质量, m_M 为挂篮的质量, b_N 为 $N^{\#}$ 块波形钢腹板的长度。

3 2种施工方法对成桥力学性能的影响

3.1 应力分析

为实时掌握桥梁施工过程中结构的受力状况,在所建桥梁模型中跨根部分析截面上布置传感器,监测普通悬臂施工和异步施工方法下梁桥结构所受应力,分析截面的位置及传感器布置示意图如图7所示(图7a)上数字为箱梁块段号)。

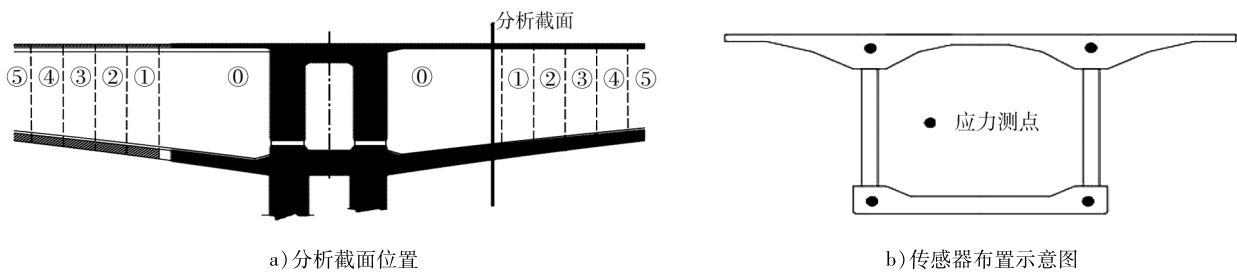


图7 控制截面图

普通悬臂施工和异步施工的阶段划分不同,荷载分布、激活时间和边界条件不同,选取普通悬臂施工和异步施工相似且重要的施工阶段进行对比,结果如表1、2所示。绘制普通悬臂施工和异步施工方法下表1、2各施工阶段中顶板和底板的应力变化曲线,如图8所示。由图8可知:在普通悬臂施工和异步施工的各阶段(不包括 $0^{\#}$ 块施工),混凝土的顶板、底板均处于受压状态,2种施工方法顶板的最大压应力分别为 -10.14 、 -9.17 MPa,均出现在张拉中跨体外预应力钢筋阶段;底板的最大压应力分别为 -11.42 、

-12.02 MPa,均出现在桥面铺装和护栏施工阶段。

表 1 普通悬臂施工各施工阶段对应内容				表 2 异步施工各施工阶段对应内容			
施工阶段号	施工内容	施工阶段号	施工内容	施工阶段号	施工内容	施工阶段号	施工内容
1	0#块浇筑	20	9#块张拉	1	0#块浇筑	20	9#块张拉
2	0#块张拉	21	10#块浇筑	2	0#块张拉	21	10#块顶板和 11#块底板浇筑
3	1#块浇筑	22	10#块张拉	3	1#块顶板和 2#块底板浇筑	22	10#块张拉
4	1#块张拉	23	11#块浇筑	4	1#块张拉	23	11#块顶板和 12#块底板浇筑
5	2#块浇筑	24	11#块张拉	5	2#块顶板和 3#块底板浇筑	24	11#块张拉
6	2#块张拉	25	12#块浇筑	6	2#块张拉	25	12#块顶板和 13#块底板浇筑
7	3#块浇筑	26	12#块张拉	7	3#块顶板和 4#块底板浇筑	26	12#块张拉
8	3#块张拉	27	13#块浇筑	8	3#块张拉	27	13#块顶板和 14#块底板浇筑
9	4#块浇筑	28	13#块张拉	9	4#块顶板和 5#块底板浇筑	28	13#块张拉
10	4#块张拉	29	14#块浇筑	10	4#块张拉	29	14#块顶板浇筑
11	5#块浇筑	30	14#块张拉	11	5#块顶板和 6#块底板浇筑	30	14#块张拉
12	5#块张拉	31	边跨合龙	12	5#块张拉	31	边跨合龙
13	6#块浇筑	32	拆除边跨支架解除固结	13	6#块顶板和 7#块底板浇筑	32	拆除边跨支架解除固结
14	6#块张拉	33	中跨合龙浇筑	14	6#块张拉	33	中跨合龙浇筑
15	7#块浇筑	34	中跨合龙张拉	15	7#块顶板和 8#块底板浇筑	34	中跨合龙张拉
16	7#块张拉	35	张拉边跨体外预应力	16	7#块张拉	35	张拉边跨体外预应力钢筋
17	8#块浇筑	36	张拉中跨体外预应力	17	8#块顶板和 9#块底板浇筑	36	张拉中跨体外预应力钢筋
18	8#块张拉	37	桥面铺装栏杆施工	18	8#块张拉	37	桥面铺装栏杆施工
19	9#块浇筑	38	运营 10 a	19	9#块顶板和 10#块底板浇筑	38	运营 10 a

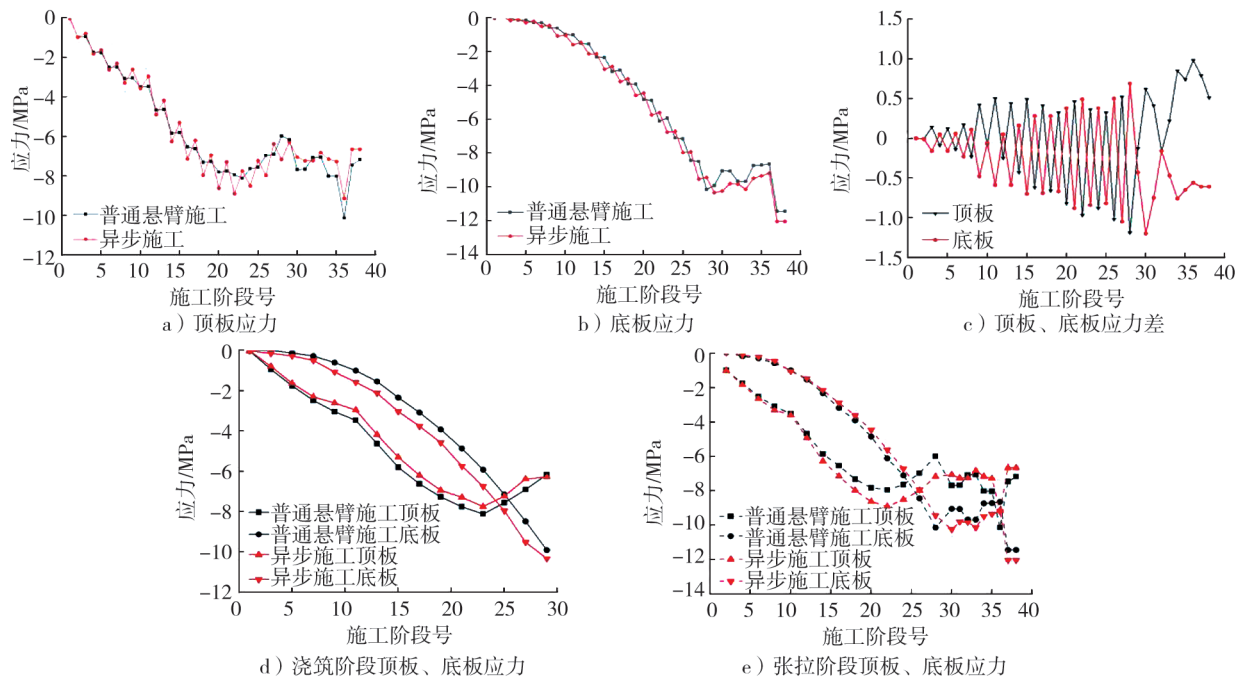


图 8 2 种施工方法下各施工阶段的应力变化曲线

由图 8a)、b)、c) 可知:在悬臂浇筑阶段,普通悬臂施工和异步施工 2 种施工方法下顶板所受压应力都先增大后减小。施工方法不同,成桥后应力状态也不同,经分析计算可得:异步施工法中,10#块预应力力

筋张拉时顶板所受压应力最大,为 -8.89 MPa ,随后压应力逐渐减小;普通悬臂施工中,11#块浇筑时顶板所受压应力最大,为 -8.11 MPa ,随后压应力减小;2种施工方法下,底板所受压应力整体处于增大状态,在桥梁合龙后、二期铺装前小幅减小,随后大幅增大。

由图8d)e)可知:采用异步施工法时,全桥顶板与底板所受最大压应力之差小于普通悬臂施工法,说明采用异步施工法成桥后顶板、底板所受应力变化较均匀,结构整体性能较好。采用普通悬臂施工时,底板所受压应力随悬臂长度的增大而增大,梁体节段的自重效应逐渐增大,12#块张拉后梁体的自重效应大于预应力效应,表现为底板所受压应力超过顶板,此现象出现时间比异步施工法略早。

3.2 挠度分析

对比普通悬臂施工和异步施工方法下各施工阶段最不利荷载组合工况下的挠度变化,即混凝土浇筑后未张拉时的挠度变化。2种施工方法下0#、1#块端头挠度及挠度变化曲线如图9所示。

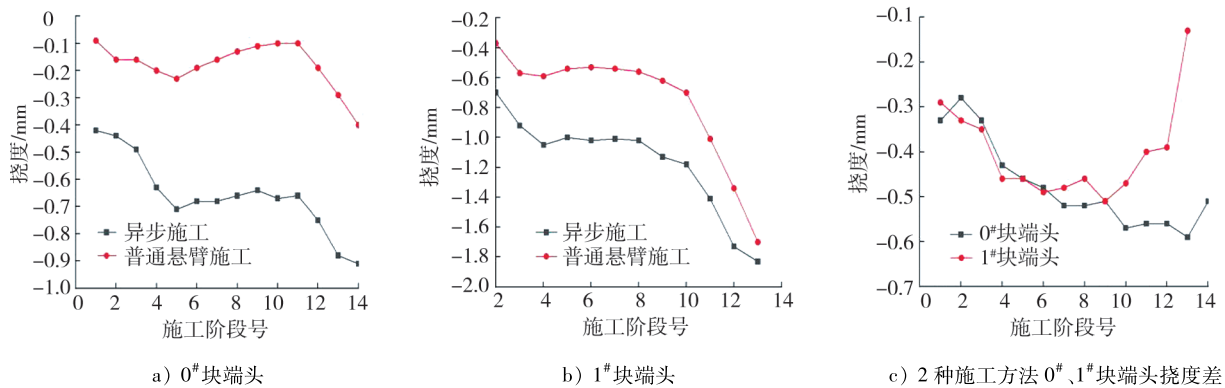


图9 2种施工方法下0#、1#块端头挠度及挠度差变化曲线

由图9可知:在各施工阶段最不利荷载组合作用下,0#、1#块端头均处于向下变形状态;异步施工时,0#、1#块端头最大挠度分别为 0.95 、 1.88 mm ;普通悬臂施工时最大挠度分别为 0.42 、 1.72 mm ;从整体上看,同一阶段采用异步施工法0#、1#块端头挠度较大。主要原因是在 N #节段施工中,采用异步施工法已浇筑 $(N+1)$ #节段的底板,自重效应较大,悬臂长度相同时产生的挠度较大,与造成应力差异的原因相同。

普通悬臂施工和异步施工方法下,0#、1#块端头的挠度整体减小。异步施工可提前浇筑下块底板,安装下一块腹板,施工荷载变化较平缓,0#、1#块端头挠度更合理。采用异步施工法时施工荷载分布更有利于控制桥梁线形,保障施工安全。

桥梁最大悬臂状态下2种施工方法各节段挠度如图10所示,中跨体外预应力筋张拉完后各节段挠度如图11所示。

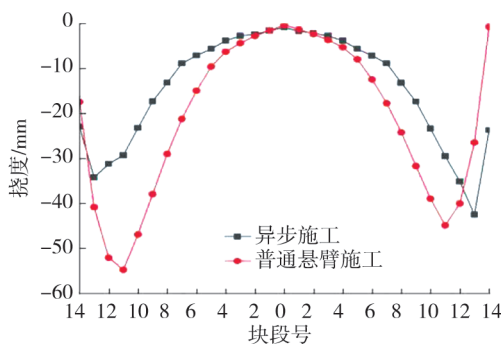


图10 最大悬臂状态下2种施工方法各块段挠度

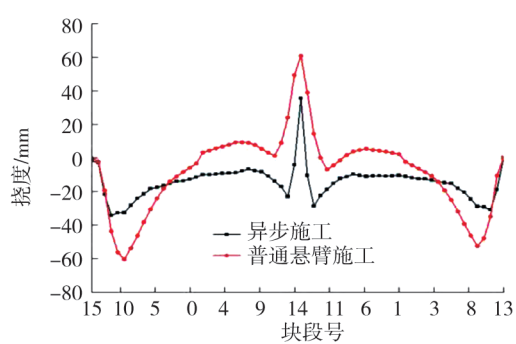


图11 中跨体外预应力筋张拉后2种施工方法下各块段挠度

由图10可知:在最大悬臂状态下,2种施工方法各节段端头均处于向下变形状态。普通悬臂施工法的整体挠度大于异步施工法,普通悬臂施工最大挠度发生在边跨11#块,异步施工最大挠度发生在中跨

13[#]块,施工时需注意。异步施工法中,0[#]块附近的挠度与普通悬臂施工接近,其余块段的挠度均小于普通悬臂施工,随悬臂长度的增大,异步施工与普通悬臂施工在相同块段产生的挠度差逐渐增大。

由图 11 可知:异步施工产生的挠度均小于普通悬臂施工,尤其是在中跨合龙段附近,桥梁上拱幅度较大,施工时需注意此阶段桥梁的变形。

4 结束语

以工程实例为依托,采用有限元分析软件 MIDAS Civil,建立普通悬臂施工和异步施工方法下波形钢腹板 PC 组合梁桥的有限元模型,模拟全部施工阶段,对比分析 2 种施工过程中的关键截面和关键施工阶段的应力及挠度。

采用异步施工法,新型挂篮质量较小,将普通挂篮的悬挑状态优化到简支状态,将传统菱形挂篮构造的单一工作平台优化为刚性挂篮的多个工作平台,节约施工成本,提高施工效率。采用异步施工成桥后,截面混凝土应力分布较普通悬臂施工均匀,成桥状态较合理,结构整体性能较好。

在最大悬臂状态和成桥状态,采用异步施工法后桥梁变形比普通悬臂施工小,施工荷载分布更有利于控制桥梁线形。基于波形钢腹板 PC 组合梁桥的自身结构特点,在施工过程中采用异步施工结构受力更合理,成桥状态下结构的整体性较好,可在实际工程中推广应用。

参考文献:

- [1] 蔡千典,冉一元. 波形钢腹板预应力结合箱梁结构特点的探讨[J]. 桥梁建设,1994(1):26-30.
- [2] 赵国虎,付佰勇,周登燕. 波形钢腹板组合梁桥的特性及应用[J]. 公路,2017,62(7):120-124.
- [3] 陈朔,李东勇. 波形钢腹板 PC 箱梁应用研究[J]. 公路交通科技(应用技术版),2018,14(6):240-242.
- [4] METWALLY A E, LOOV R E. Corrugated steel webs for prestressed concrete girders[J]. Materials and Structures,2003,36:127-134.
- [5] 赵宇帆. 异步浇筑施工大跨径波形钢腹板 PC 组合箱梁桥静动力特性分析[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2020.
ZHAO Yufan. Construction and dynamic analysis of long-span corrugated steel web PC composite box girder bridge[D]. Shijiazhuang:Shijiazhuang Tiedao University, 2020.
- [6] 刘明. 波形钢腹板 PC 连续刚构桥静动力特性分析及抗震研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2017.
LIU Ming. Static and dynamic characteristics analysis and seismic study of PC continuous rigid frame bridge with corrugated steel webs[D]. Lanzhou:Lanzhou Jiaotong University,2017.
- [7] 倪伟南,刘朵,张建东,等. 波形钢腹板嵌入式连接件力学性能试验研究[J]. 世界桥梁,2014,42(2):70-75.
NI Weinan, LIU Duo, ZHANG Jiandong, et al. Experimental study of mechanical performance of embedded connectors in corrugated steel webs[J]. World Bridges,2014,42(2):70-75.
- [8] 陈雪松,罗奎,冀伟,等. 考虑温度和剪切变形的改进型波形钢腹板组合箱梁动力特性研究[J/OL]. 振动工程学报. (2022-11-10)[2023-02-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1349.TB.20221108.1736.002.html>.
CHEN Xuesong, LUO Kui, JI Wei, et al. Dynamic characteristics of an improved composite box girder with corrugated steel webs considering temperature and shear deformation[J/OL]. Journal of Vibration Engineering. (2022-11-10)[2023-02-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1349.TB.20221108.1736.002.html>.
- [9] YI J, GIL H, YOUM K, et al. Interactive shear buckling behavior of trapezoidally corrugated steel webs[J]. Engineering Structures,2008,30(6):1659-1666.
- [10] 夏建松,郜建良,夏绍见. 异步施工中波形钢腹板稳定性研究[J]. 公路,2023,68(2):130-134.
- [11] 颌明军. 错位法施工在波形钢腹板预应力混凝土箱梁桥中的应用[J]. 铁道建筑,2017(4):45-47.
JIE Mingjun. Application of dislocation method in construction of prestressed concrete box girder bridge with corrugated steel web[J]. Railway Engineering, 2017(4):45-47.
- [12] 梁朝晖,袁少飞,扈成熙. 郟城黄河公路特大桥波形钢腹板 PC 结合梁施工技术[J]. 桥梁建设,2010(6):73-76.
LIANG Zhaohui, YUAN Shaofei, HU Chengxi. Construction techniques for corrugated steel web and PC composite girder

- of Juancheng Huanghe River Highway Bridge[J]. Bridge Construction, 2010(6):73-76.
- [13] 李松. 浅谈头道河大桥主梁挂篮施工方案比选及波形钢腹板安装施工工艺[J]. 江西建材, 2016(2):167-168.
- [14] 邓文琴. 单箱多室波形钢腹板组合箱梁桥剪切与扭转性能研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2018.
- DENG Wenqin. Study on shear and torsion of single box multi-cell girder bridge with corrugated steel webs[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2018.
- [15] 岳宏智, 牛传同, 曹洪亮, 等. 波形钢腹板 PC 组合箱梁桥异步施工全过程分析[J]. 公路, 2020, 65(5):129-134.
- [16] 夏绍见. 大跨度波形钢腹板 PC 箱梁桥异步施工技术[J]. 国防交通工程与技术, 2020, 18(6):48-51.
- XIA Shaojian. On the asynchronous construction techniques for long-span corrugated steel web PC box girder bridges[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2020, 18(6):48-51.
- [17] 陈小宁. 大跨径波形钢腹板梁桥异步施工控制关键技术研究[J]. 运输经理世界, 2022(33):112-114.
- [18] 祝丰平, 金光雷, 邓文琴, 等. 大跨径波形钢腹板组合梁桥异步施工技术研究[J]. 现代交通技术, 2022, 19(2):55-59.
- ZHU Fengping, JIN Guanglei, DENG Wenqin, et al. Study on asynchronous construction technology for long span composite girder bridge with corrugated steel webs[J]. Modern Transportation Technology, 2022, 19(2):55-59.
- [19] 陈水生, 刘律, 桂水荣. 波形钢腹板 PC 组合箱梁桥在我国的研究进展及应用[J]. 公路工程, 2015, 40(3):57-62.
- CHEN Shuisheng, LIU Lü, GUI Shuirong. State of the art of research and application of the PC composite box girder with corrugated steel webs in China[J]. Highway Engineering, 2015, 40(3):57-62.
- [20] 金建敏, 陈人龙, 陈海兴. 大跨径 PC 连续箱梁桥与波形钢腹板连续箱梁桥静力特性对比[J]. 中国公路, 2022(15):88-91.

Comparative analysis of asynchronous construction of PC composite box girder bridge with corrugated steel webs

WU Chunxu¹, CHEN Jijie², LU Faliang^{1*}

1. School of Transportation and Civil Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China;

2. Jinan Rail Transit Group Co., Ltd., Jinan 250101, China

Abstract: In order to solve the problem of large deformation of large span bridge beam caused by traditional cantilever construction, slow construction progress and difficult to ensure construction safety, combined with the characteristics of prestressed concrete (PC) composite beam with corrugated steel webs, taking a super large bridge as the engineering background, the asynchronous pouring rapid construction method is adopted, and the finite element model of the whole bridge is established with the finite element analysis software MIDAS civil. The whole bridge is divided into 75 construction stages to simulate the whole construction process, and the stress and deformation of the asynchronous construction method and traditional cantilever construction method in each construction stage are compared and analyzed. The analysis results show that: The concrete stress distribution of the root section in the middle span of the model is more uniform than that of the ordinary cantilever construction after the bridge is completed by asynchronous construction, the completed bridge state is more reasonable, and the overall performance of the structure is better; The bridge deformation using asynchronous construction method is less than that of traditional cantilever construction method, and the construction load distribution is more conducive to control the bridge alignment.

Keywords: corrugated steel web; asynchronous construction; finite element analysis; stress; deformation

(责任编辑:王惠)