

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.04.042

钢底板-波形钢腹板连续刚构桥悬臂拼装异步 施工线形控制技术研究

张建平, 龚林

(贵州宏信创达工程检测咨询有限公司, 贵州 贵阳 550014)

摘要: 钢底板-波形钢腹板连续刚构桥悬臂拼装异步施工过程复杂, 线形控制难度较大。通过数值分析与现场监测相结合的方式, 建立有限元计算模型, 讨论了剪切变形、相对湿度等因素对主梁挠度的影响, 进一步优化预拱度, 同时结合监测数据进行分析, 结果表明: 剪切变形对主梁挠度的影响较大, 对于波形钢腹板刚构桥, 其挠度计算不能忽略该部分的影响; 在进行预拱度设置时, 应重视环境相对湿度的影响; 通过对主梁各工况变形的监测, 主梁实际变形规律与理论基本相符, 主梁合龙后线形平顺。

关键词: 波形钢腹板; 连续刚构桥; 线形

中图分类号: U445.46

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)04-0155-05

0 引言

波形钢腹板组合梁桥因其上部结构自重较轻、箱梁各部受力较为明确、材料利用率高、施工较为便捷, 在桥梁工程领域迅速得到应用^[1-2]。现有的此类组合结构箱梁主要由波形钢腹板和顶、底板混凝土结构构成, 但随着此类结构在工程领域中的不断应用和探索, 新型钢底板-波形钢腹板组合箱梁逐渐运用于实际工程中。该类新型结构自重较轻、整体性好, 提高了桥梁的跨越能力, 而且能够充分发挥钢底板的抗拉性能和顶板混凝土的抗压性能, 提高了结构强度、刚度和耐久性; 同时, 钢底板的应用消除了跨中正弯矩区域的预应力和底板混凝土中普通钢筋的配置, 避免了底板混凝土收缩徐变、体内预应力布置等问题。但关于该类新型结构的设计规范和施工技术还处于探索阶段, 悬臂拼装采用异步施工, 过程复杂, 影响因素较多, 对桥梁施工控制增加了难度。

总体来看, 对于该类结构悬臂拼装异步施工控制技术的研究成果较为欠缺, 本文以某山区大跨度钢底板-波形钢腹板连续刚构桥为背景, 建立全桥有限元模型, 分析剪切变形、环境条件等因素对主梁的影响, 进一步优化预拱度, 同时对主梁线形进行监测、控制。

1 工程背景

1.1 工程概况

某山区大跨度钢底板-波形钢腹板连续刚构桥全长 264 m, 其跨径布置为(72+120+72)m, 如图 1 所示; 上部结构为钢底板-波形钢腹板组合梁连续刚构, 采用单箱双室, 中支点梁高取 6.5 m, 边支点及跨中梁高 3.0 m。梁高按 2 次抛物线变化。主梁顶板宽 20.25 m, 翼缘 3.025 m, 底宽 14.2 m。混凝土顶板厚 28 cm, 悬臂施工段 1#~8#、1'~8'# 标准节段长 6.4 m; 中、边跨合龙段 9#、9'# 梁段长 4.8 m, 边跨支架段 10# 梁段长 4.8 m, 0# 和 11# 为钢混结合段。上翼缘板厚度为 20 mm, 宽 600 mm。

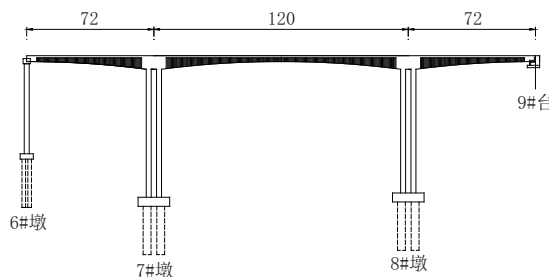


图 1 桥梁立面图(单位:m)

波形钢腹板采用 1600 型波形钢板, 材料为 Q345qD 钢。钢腹板波形水平段长 430 mm, 斜段长 430 mm, 斜段水平方向长 370 mm, 波高 220 mm。波形钢腹板跨中至中墩厚度采用 14 mm、20 mm。

底板宽 14 m, 底板厚度分别为 20 mm、24 mm、32 mm 三种, 纵向加劲肋采用板式构造, 横向间距 750 mm, 根据受力不同分为 28 × 320 mm、24 ×

收稿日期: 2021-11-03

作者简介: 张建平(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁结构分析与工程控制工作。

280 mm、20 × 240 mm 三种形式。

1.2 悬臂拼装异步施工工艺流程

波形钢腹板连续刚构桥传统悬臂拼装方法流程主要包括:挂篮安装就位、绑扎底板钢筋、安装钢腹板、钢腹板连接就位、绑扎顶板钢筋、浇筑顶底板混凝土、混凝土养户、预应力张拉、挂篮迁移。为提高工作效率,该桥上部结构采用悬臂拼装异步施工方法,挂篮采用吊挂式挂篮,利用波形钢腹板作为挂篮的承重梁来承担全部的施工荷载,工作面由原来的 N 节段增加到 N-1、N、N+1 三个节段,三个作业面流水施工,极大缩短了施工工期,施工过程如图 2 至图 7 所示。

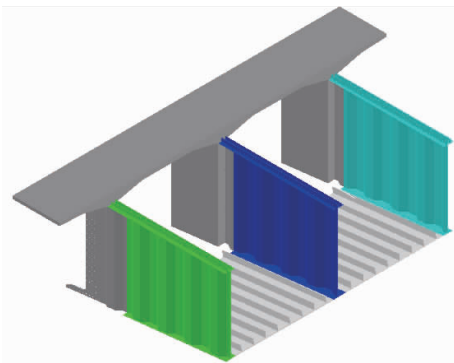


图 2 N-1 节段底板焊接、拼装

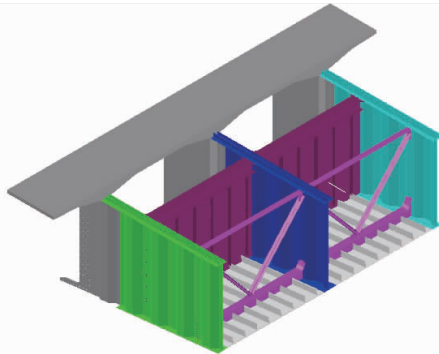


图 3 N-1 节段横隔梁安装

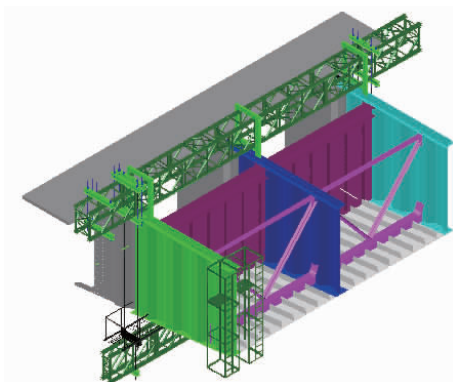


图 4 挂篮拼装

2 有限元模型建立

采用 MIDAS/CIVIL 建立全桥有限元模型,全桥共 261 个节点,252 个单元,由于波形钢腹板自身截

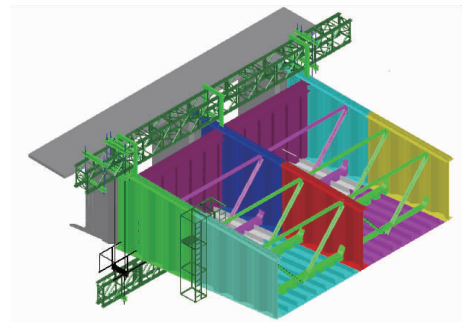


图 5 N 节段腹板、底板、横隔梁安装

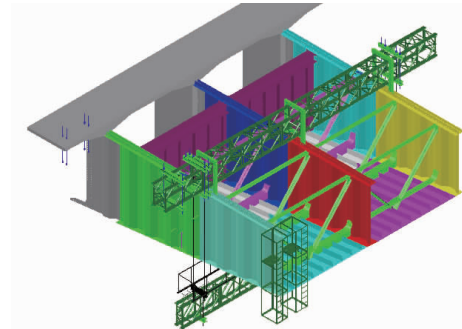


图 6 挂篮前移

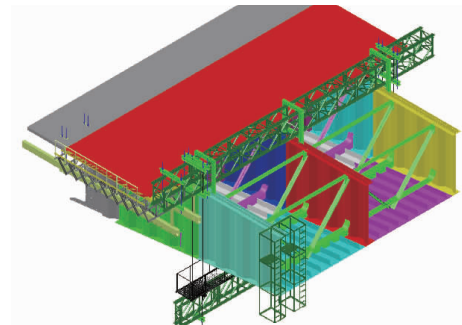


图 7 N-1 节段混凝土浇筑后

面的面积较小,且轴向弹性模量很小,基本不承担轴向力,大体上可以忽略波形钢腹板对箱梁抗弯的贡献^[3-4]。对波形钢腹板进行折减计算,采用直钢腹板进行等效代替^[5]。零号块与桥墩的连接采用“弹性连接”中的“刚性”模拟,支座采用一般支撑模拟。计算模型如图 8 所示。

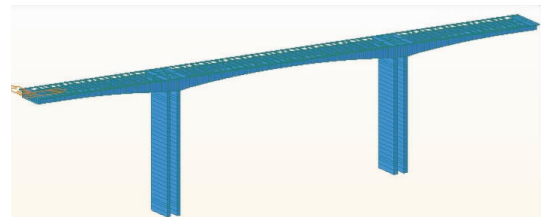


图 8 全桥有限元模型

3 箱梁挠度影响因素分析

3.1 剪切变形的影响

载恒载和活载作用下,对比分析剪切变形对主梁挠度的影响。结果如图 9 至图 12 所示。

从图 9、图 10 可以看出,恒载作用下,在考虑剪

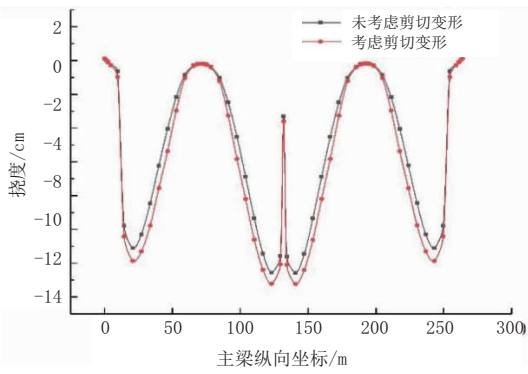


图9 恒载作用下主梁累计挠度(单位:m)

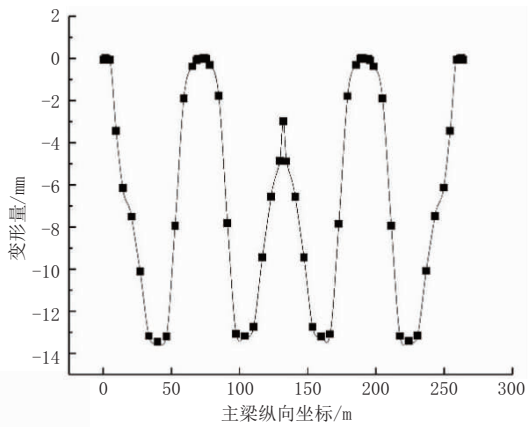


图10 恒载作用下主梁剪切挠曲变形(单位:m)

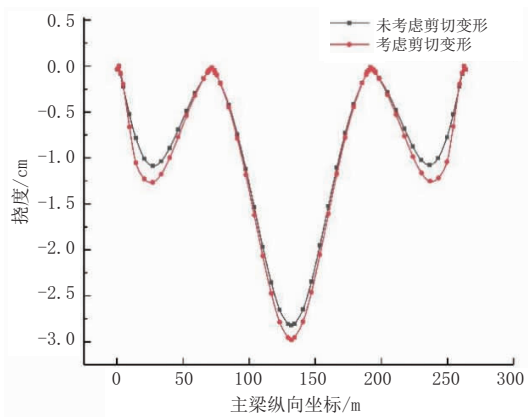


图11 活载作用下主梁挠度(单位:m)

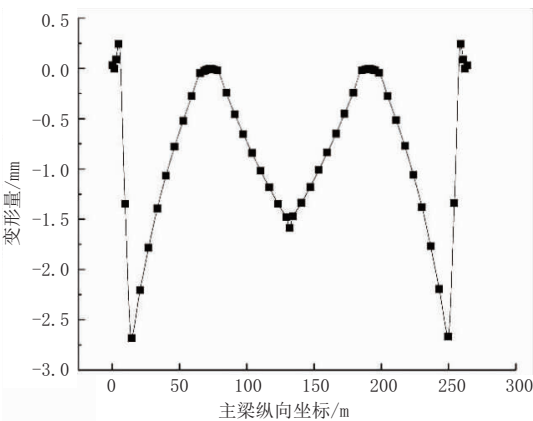


图12 活载作用下主梁剪切挠曲变形(单位:m)

切变形和未考虑剪切变形两种情况时,中跨最大挠度计算结果分别为-12.5 cm和-13.3 cm,边跨最大

的挠度分别为-11.0 cm和-11.9 cm。在考虑剪切变形情况下,中跨和边跨最大的剪切挠曲变形分别为-13.4 mm和-13.2 mm,分别占最大挠度的12.2%和11.1%。

从图11、图12可以看出,活载作用下,在考虑剪切变形和未考虑剪切变形两种情况时,中跨最大挠度计算结果分别为-3.0 cm和-2.8 cm、边跨最大的挠度分别为-1.3 cm和-1.1 cm;在考虑剪切变形情况下,中跨和边跨最大的剪切挠曲变形分别为-2.7 mm和-2.0 mm,分别占总挠度的9.0%和7.1%。

由此可见,剪切变形对波形钢腹板箱梁挠度影响较大。波形钢腹板板厚较薄,远小于混凝土箱梁腹板厚度,导致剪切变形对箱梁挠度的影响较为明显^[6]。对于混凝土箱梁,当高跨比较大的时候,忽略剪切变形对主梁挠度的计算结果影响不大,但对于波形钢腹板箱梁结构,在计算挠度时,剪切变形的影响不可忽略,这也直接影响到预拱度的施加。

3.2 环境湿度的影响

环境相对湿度对混凝土收缩徐变的影响较大,从而导致主梁跨中下挠。在计算时设置不同的环境相对湿度,对比刚构桥在不同相对湿度情况下成桥后10 a的挠度变化,其结果如图13所示。

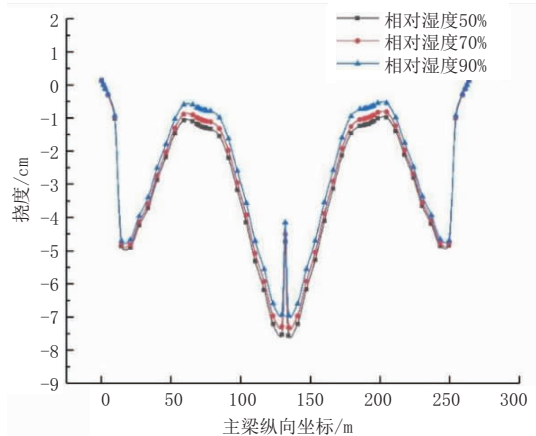


图13 不同相对湿度下主梁挠度(单位:m)

在不同环境条件下,桥梁挠度是存在明显差异的,湿度越低,对主梁挠度影响越大。相对湿度为50%时,中跨跨中挠度为4.74 cm;相对湿度为90%时,中跨跨中挠度为4.15 cm,较相对湿度为50%时减小了14.3%。所以在进行预拱度分析计算过程中,应重视这部分的影响,更大程度减小误差。

4 主梁线形控制

4.1 预拱度计算

预拱度分为施工预拱度和成桥预拱度,设置施

工预拱度主要为了消除施工过程中各种荷载对成桥线形的影响,按式(1)计算,结果如图14所示;设置成桥预拱度主要为了消除后期运营过程中后期收缩、徐变、后期预应力损失及活载对桥面线形的影响,成桥预拱度按二次曲线进行分配,结果如图15所示。

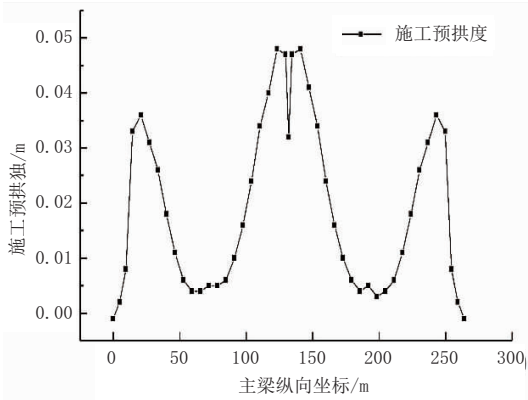


图14 施工预拱度(单位:m)

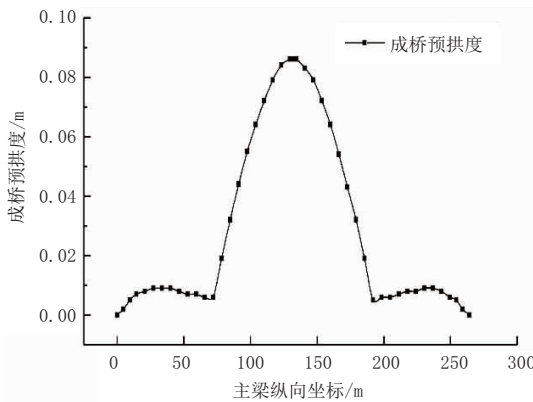


图15 成桥预拱度(单位:m)

$f_{si} = \sum f_{1i} + \sum f_{2i} + f_{3i} + f_{4i} + f_{5i} + f_{6i} + f_{7i} + f_{8i} + f_{9i} + f_{10i} + f_{11i}$ (1)
式中: $\sum f_{1i}$ 为本阶段块件生成后和以后各阶段挠度累计值; $\sum f_{2i}$ 为本次浇筑梁段及后浇梁段纵向预应力钢束张拉对该点挠度影响值; f_{3i} 为二期恒载挠度; f_{4i} 为结构体系转换变形值; f_{5i} 为挂篮自重及变形; f_{6i} 为墩身压缩变形; f_{7i} 为前期收缩、徐变挠度值; f_{8i} 为温度影响变形值; f_{9i} 为墩顶转角影响; f_{10i} 为施工荷载产生挠度; f_{11i} 为支架弹性、非弹性变形。

4.2 主梁变形监测

施工一个梁段称为一个阶段,其中每阶段分成5个工况,主要包括:挂篮前移、拼装底腹板、混凝土顶板立模(混凝土浇筑前)、浇筑混凝土、预应力张拉。

在每一梁段底板纵向距悬臂端10 cm且距两腹板内侧约25 cm及左箱室距中腹板内侧约25 cm处,分别设立1个主梁变形测点;在每一梁顶板距悬臂端10 cm处的左右最外缘及主梁中轴线上各设立1个主梁变形测点,共布置6个主梁变形测点。

选取1个T构所有悬臂段在各工况下的实际变形值与理论值进行比较,如表1所示。为了更直观地进行比较,将以下数据绘制成曲线图,如图16至图20所示。

表1 各截面变形实测值与理论值

截面编号	底、腹安装		挂篮前移		浇筑前		浇筑后		张拉后	
	实测值/mm	理论值/mm	实测值/mm	理论值/mm	实测值/mm	理论值/mm	实测值/mm	理论值/mm	实测值/mm	理论值/mm
9	-12	-14	-3	-3	-8	-3	-44	-41	29	28
8	-11	-12	-2	-2	-6	-4	-24	-26	26	23
7	-7	-8	-2	-1	-4	-3	-12	-16	22	22
6	-2	-6	-1	-1	-5	-2	-10	-11	15	15
5	-4	-4	-1	0	-3	-1	-5	-7	9	9
4	-2	-3	-1	0	-4	0	-2	-4	4	6
3	-3	-3	0	0	-2	-1	-2	-2	1	3
2	-1	-1	0	0	-4	-1	-3	-1	2	1
2'	-3	-1	0	0	-4	-1	-2	-1	2	1
3'	-2	-3	0	0	0	-1	-1	-2	3	3
4'	-2	-3	-1	0	-4	0	-2	-4	4	6
5'	-5	-4	-2	0	-1	-1	-6	-7	9	9
6'	-3	-6	-2	-1	-5	-2	-12	-11	14	15
7'	-7	-8	-1	-1	-5	-3	-15	-16	19	22
8'	-10	-12	-2	-2	-9	-4	-21	-26	27	23
9'	-12	-14	-3	-3	-6	-3	-43	-41	33	30

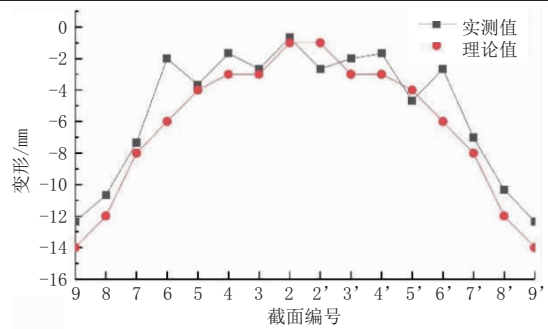


图16 底、腹板安装变形值(单位:mm)

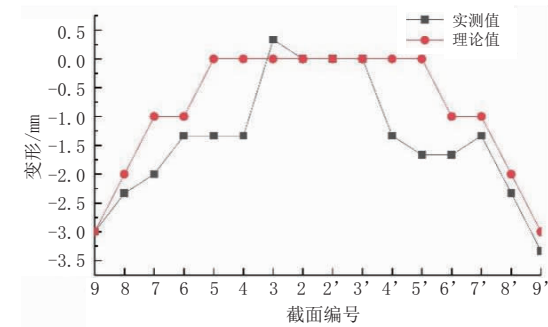


图17 挂篮前移变形值(单位:mm)

从各工况下理论变形值和实测变形值的对比可以看出,绝大部分测点变形差值较小,但存在极小部分测点较大,具体分析原因如下:

(1)监测测点可能在施工过程中存在破坏或者压弯的情况;

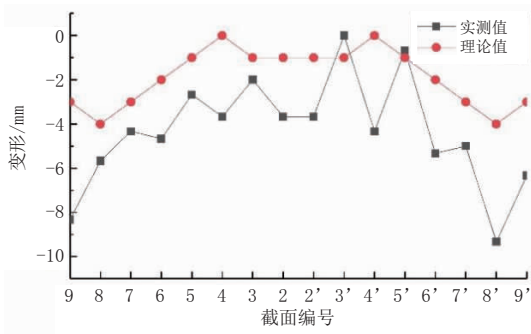


图 18 混凝土浇筑前变形值(单位:mm)

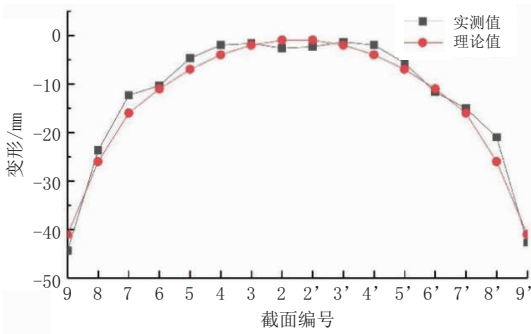


图 19 混凝土浇筑后变形值(单位:mm)

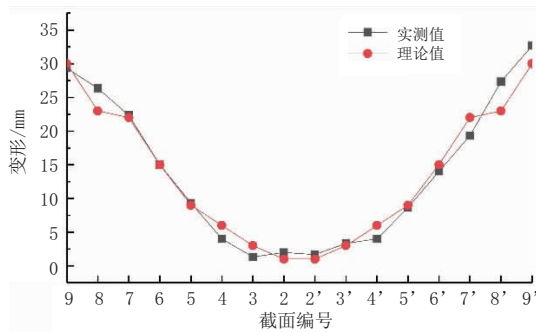


图 20 预应力张拉后变形值(单位:mm)

(2)施工过程中,塔吊、电梯或其他施工作业引起主梁的振动,对测量结果产生影响;

(3)腹板和底板均为钢材,对温度较为敏感,使测量结果产生偏差。

综上所述,抛开一些特殊因素的影响,主梁截面各工况下实测变形规律于理论基本相符,满足规范要求。

4.3 成桥线形

桥梁合龙铺装完成后,对桥面线形进行通测,如图 21 所示。从图中可以看出,该桥合龙后,桥面线形

平顺,效果较好,达到了预期目标,同时也证明了对于该桥梁悬臂拼装异步施工线形监控手段的正确性和可靠性,对该类新型结构桥梁悬臂拼装异步施工和监控具有一定指导意义。

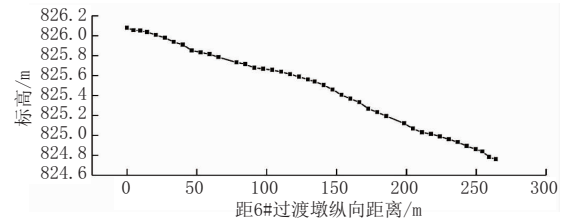


图 21 成桥后桥面线形(单位:m)

5 结论

本文研究了剪切变形、环境相对湿度等对钢底板-波形钢腹板连续刚构桥挠度的影响,针对悬臂拼装异步施工选择适当的手段进行线形监测,主要得到以下结论:

(1)剪切变形对主梁挠度的影响较大,对于波形钢腹板刚构桥,其挠度计算,剪切挠曲变形不能忽略;

(2)相对环境湿度对混凝土收缩徐变影响较大,从而影响主梁挠度,在进行预拱度设置时,应重视该影响;

(3)通过对主梁各工况的变形监测,主梁实际变形规律与理论基本相符,主梁合龙后线形平顺,满足规范要求。

参考文献:

- [1] 李运生,陈留剑,刘蓓,等.波形钢腹板曲线结合梁弯扭效应的解析解推导及参数分析[J].铁道学报,2019,41(1):101-108.
- [2] 张峰,陆小蕊,叶见曙,等.波形钢腹板组合梁体外预应力极限应力模型试验及建议公式[J].东南大学学报(自然科学版),2018,48(5):834-842.
- [3] 万水,陈建兵,袁安华,等.波形钢腹板 PC 组合箱梁简化计算及试验研究[J].华东交通大学学报,2005(1):11-14,35.
- [4] 李杰,武海鹏,陈淮.波形钢腹板变截面连续体系梁桥钢腹板承剪分析[J].桥梁建设,2015.
- [5] 李川,王霁阳,郑凯锋.公路新型钢底板和波形腹板连续组合梁桥方案设计[J].四川建筑,2019,39(2):67-70.
- [6] 李宏江.剪切变形对波形钢腹板箱梁挠度的影响[J].交通运输工程学报,2002,2(4):17-20.