

波形钢腹板连续刚构桥施工预拱度控制

王韶松¹, 杨建荣¹, 曾章波²

(1. 昆明理工大学建筑工程学院, 云南 昆明 650500; 2. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122)

摘要: 针对波形钢腹板连续刚构桥施工预拱度线性控制精度不高的问题, 本文从多方面分析影响施工挠度因素, 并计算出波形钢腹板连续刚构桥施工预拱度计算公式; 以某(65+4×120+65)m 波形钢腹板连续刚构桥为背景, 采用有限元软件建立全桥模型, 采用数值方法进行拟合; 拟合确定系数为 0.8736, 拟合结果同时也符合模型挠度曲线, 说明多项式拟合方法在对波形钢腹板连续刚构桥施工控制中结果可靠。

关键词: 波形钢腹板; 连续刚构桥; 预拱度; 多项式拟合

中图分类号: U445 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 03—0148—03

为保证桥梁在竣工阶段符合设计线性要求, 在施工阶段就要将预拱度考虑在内^[1]。对于结构不同的桥梁, 其施工预拱度的控制方法也存在差别。对于波形钢腹板连续刚构桥, 不能简单的通过控制立模标高的方法, 波形钢腹板连续刚构桥的波形钢腹, 都是预先通过工厂加工完成, 节段内的连接在工厂完成, 节段间的连接在悬臂浇筑过程中完成。在混凝土浇筑振捣时, 要保证连接件位置不发生偏移, 这对波形钢腹板连续刚构桥的施工控制, 提出新的要求。

目前有研究学者对刚—混凝土组合梁桥的受力性能进行分析^[2], 并且验证钢—混凝土组合梁构造简单并具有足够承载力^[3]。曹洪亮^[4]等学者研究发现, 钢—混凝土组合连续箱梁的施工中边跨和中跨混凝土徐变收缩不一致, 应当分开考虑。钟华栋^[5]等学者通过对波形钢腹板连续刚构桥跨中挠度影响因素进行分析, 并提出改善措施使波形钢腹板连续刚构桥日益完善。本文在以往研究内容基础上, 以某波形钢腹板连续刚构桥为例, 为波形钢腹板连续刚构桥的施工提供借鉴。

1 工程概况

本文依托工程为某波形钢腹板连续刚构桥, 桥跨布置为 65+4×120+65m, 上部结构采用预应力混凝土波形钢腹板连续刚构, 单箱单室截面, 箱梁横断面如图 1 所示, 桥面顶宽 12.55m, 底板宽 8.5m, 跨中梁高 5.5m, 根部梁高 9.5m。主墩采用双肢空心薄壁墩, 桥墩最高为 85m。利用有限元软件, 建立空间杆系模型, 全桥共 274 个节点, 如图 2 所示。

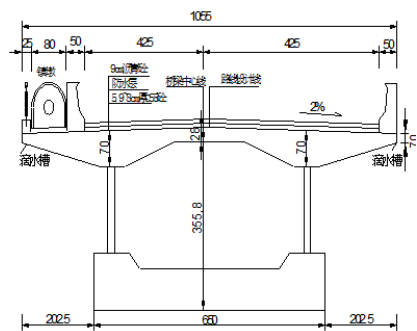


图 1 箱梁横断面图

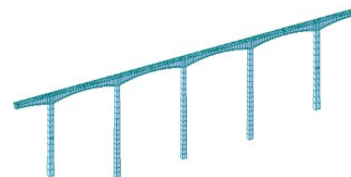


图 2 有限元模型

2 影响预拱度的因素

2.1 自重影响

对于大跨度波形钢腹板连续刚构桥来说, 桥梁的自重对于成桥挠度有非常重要的影响, 自重荷载在所有荷载中能占据主要因素, 需考虑随时间变化的混凝土弹性模量^[6], 可得以下公式:

$$W = \sum_{i=m}^n \frac{M_i^{(m)}}{E_i^{(m)} I_m} (x_j - x_{m-1} - \varepsilon_m) d_m$$

式中, m 为第 m 浇筑段, $M_i^{(m)}$ 表示该浇筑段的弯矩, $E_i^{(m)}$ 表示该段弹性模量, I_m 表示该段的抗弯惯性矩, d_m 表示该浇筑段长度。

2.2 挂篮变形产生的挠度

在波形钢腹板连续刚构桥的挂篮施工过程中, 在浇筑混凝土之前, 挂篮自重会造成桥梁发生弹性变形, 根据现场预压实验的结果, 可将梁端自重等效为均布荷载,

在均布荷载作用下，可求得挂篮处的弹性变形值为：

$$L = \frac{F_i}{k} \times \frac{L_0 + L_i}{L}$$

式中： F_i 为挂篮处浇筑混凝土后受力， k 为等效刚度系数， L_0 为梁锚点到浇筑部距离， L_i 为浇筑段长。

2.3 混凝土徐变产生的挠度

本案例采用悬臂浇筑施工方法，需要考虑混凝土的徐变效应，以免因为混凝土的徐变一起结构的挠度变化。根据巫炯^[7]等学者的研究，发现钢腹板和混凝土会发生相对滑移，会进一步使桥梁的挠度发生变化，所以还应考虑这种相对位移。

混凝土随时间的徐变曲线公式为：

$$C(t, \tau) = C_0(t, \tau_0) - C_0(\tau, \tau_0)$$

式中 $C_0(\tau, \tau_0)$ 为混凝土浇筑后 τ_0 时的徐变。

徐变引起的钢腹板位移：

$$S(x) = \frac{P\beta}{2\alpha^2} [1 - e^{\alpha x} + (e^{\alpha x} - e^{-\alpha x}) / (1 + e^{-\alpha L})]$$

式中， P 为截面曲率， β 为组合系数， α 为钢腹板长度影响系数。

2.4 各影响因素之和

影响波形钢腹板连续刚构桥预拱度的因素本文列举三个，根据邬晓光^[8]等学者的研究，这些变形符合线性叠加原理，因此总挠度变化 Y ，可以简化为各个影响因素之和：

$$Y = W + L + S$$

2.5 施工预拱度拟合

为抵消施工时产生的形变，在施工阶段就要将预拱度考虑在内。以该波形钢腹板连续刚构桥为例，拟合出该桥的施工预拱度曲线，如图3所示。

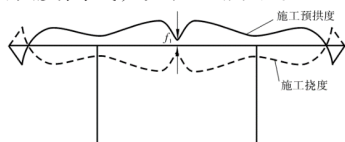


图3 波形钢腹板挠度情况

根据上图中的挠度曲线情况，本文采取多项式拟合的方法，选取拟合函数为：

$$\phi(x) = \sum_{i=0}^4 C_i x^i = c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 + c_4 x^4 + c_0$$

采用最佳平方和逼近方法求解，要求误差的平方和最小，即相当于求 $I(C)$ 的最小值：

$$I(C) = \min \left(\sum_{i=0}^4 C_i x^i - y, \sum_{i=0}^4 C_i x^i \right)$$

表1 主梁节点挠度

各节点坐标/m	挠度/cm	梁段节点坐标/m	挠度/cm
0	-0.6471	60	-0.7258
4	-1.6944	64	-1.4078
8	-1.9071	68	-2.3044
12	-2.7044	72	-2.9132
16	-2.9131	76	-3.1131
20	-3.2274	80	-3.6131
24	-3.6374	84	-4.1238
28	-4.0328	88	-4.4158
32	-4.3044	92	-3.9278
36	-3.6078	96	-3.6796
40	-3.8372	100	-2.4632

将表1数据带入拟合函数可得：

$$C^T = [c_0, c_1, c_2, c_3, c_4]$$

$$= [-0.0592, -0.3265, 0.0104, -1.4121 \times 10^{-4}, 6.047 \times 10^{-7}]$$

得到的目标函数为：

$$\phi(x) = -0.3265x + 0.0104x^2 - 1.4121 \times 10^{-4}x^3 + 6.047 \times 10^{-7}x^4 - 0.0592$$

为了验证本文数据的准确性，通过数学统计中的决定系数对比函数拟合程度^[9]，决定系数越接近1，则代表拟合程度越高，计算程度公式为：

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad SSE = \sum_{i=1}^{30} \omega_i (\varphi_i - \hat{\varphi}_i)^2 \quad SST = \sum_{i=1}^{30} \omega_i (\varphi_i - \bar{\varphi})^2$$

式中： R^2 为决定系数， SSE 为残差平方和， SST 为总偏差平方。

计算得出拟合决定系数为： $R^2=0.8736$

3 数据对比

将有限元软件计算出的挠度值和多项式拟合计算值放在一起得出对比图，由图4可见，多项式拟合结果和有限元模型拟合结果略有不同，但复合挠度线性形状，对施工过程中预拱度的计算有参考价值。

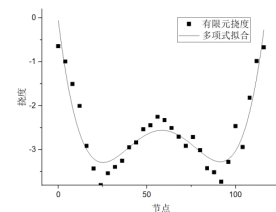


图4 线性结果比较

4 结论

(1) 本文通过混凝土自重影响，混凝土徐变影响，挂篮施工变形影响三方面分析了施工过程中影响桥梁线性的主要因素，为分析施工过程中影响因素打下基础，

我国债券市场 CDS 的运作方式 及其支持企业融资现状研究 ——以首批“示范房企”为例

何竹陌, 于谦龙

(上海理工大学管理学院, 上海 20093)

摘要: 在当前新冠肺炎疫情以及国内外形势的影响下, 我国债券市场时常传出企业债券融资违约的消息, 为了缓解企业债券融资的信用风险, 促进债券市场 CDS 等信用保护工具的蓬勃发展。首先本文通过梳理相关文献, 评析国内 CDS 的运作方式; 其次以首次应用于首批“示范房企”的信用保护工具为例, 分析与评价 CDS 等信用保护工具对民营房企融资促进的途径与效果; 最后提出有利于我国债券市场 CDS 良性发展的改进建议, 为相关决策提供参考。

关键词: 民营房企; CDS; 定价方式; 债券融资

中图分类号: F038.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 03—0150—03

近年来由于新冠肺炎疫情以及国内外形势的影响, 经济进入了下行周期, 债券市场逐渐打破刚兑局面, 具有产能过剩、库存多、周期长的特点的房地产行业的违约风险也不断增加。因此为了应对目前我国不断释放的债券市场信用风险, 缓解企业融资难、融资贵的现状: 截至 2021 年末, 证券公司创设信用保护合约 (CDS) 共对应支持民营企业融资约 296.3 亿元, 其名义本金合计约 65.55 亿元。

由此可得, 目前我国 CDS 市场发展平稳, 支持企

业融资的效果显著。另一方面, 由于 CDS 的定价方式作为推进 CDS 发展的一项重要基础, 对民营企业的债券融资与债券市场的健康发展有重要的支持作用, 因此研究意义较大。

1 文献综述

由于信用保护工具对企业债券融资的支持作用, 很多学者一直关注着我国 CDS 的发展: 马梦江^[1] (2018) 通过研究 CDS 管理风险的效果, 认为 CDS 能拓宽我国

也为进一步简化施工挠度计算做出铺垫。

(2) 本文采用多项式拟合的分析方法, 拟合结果决定系数达到 0.9865, 在施工过程中可以通过多项式拟合的办法, 对桥梁预拱度控制进行参考。

(3) 对于波形钢腹板连续刚构桥施工过程中, 下一步还应考虑不同温度场对施工的影响, 对桥梁施工进行更精确控制。

参考文献:

- [1] 向中富. 桥梁施工控制技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] 高成杰. 钢—混凝土组合梁桥受力性能研究 [D]. 安徽建筑学, 2021.
- [3] 楚留声, 王帅起, 李杰, 李青泽, 王狄龙. 部分包覆钢—混凝土组合空腹梁受弯性能试验研究 [J/OL]. 建筑结构: 1-7 [2022-04-08].
- [4] 曹洪亮, 陈亮, 姜竹昌, 吴文清, 尹永胜. 钢—混凝土组合连续箱梁施工预拱度设置影响因素研究 [J]. 世界桥

梁, 2020, 48(03): 53-57.

- [5] 钟华栋. 波形钢腹板连续刚构桥跨中挠度分析及改善措施研究 [D]. 重庆交通大学, 2019.
- [6] 成仲鹏, 贾斌, 陈彪. 高墩大跨连续刚构桥悬臂施工过程中的预拱度设置研究 [J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(05): 18-22.
- [7] 巫炯. 在滑移和收缩徐变的影响下不同连接件组合梁桥受力分析 [D]. 长安大学, 2020.
- [8] 邬晓光, 安平和, 黄叙钦, 郑鹏, 李艺林. 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]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2018, 37(03): 1-4+21.
- [9] 王兵锐. 通信课程教学中正弦函数的应用与研究 [J]. 数学学习与研究, 2019(21): 7-8.

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFE0103000); 云南省科技富民强县计划 (2015EA002); 云南省交通运输厅科技项目 (云交科 2016 (A) 02)