

连续刚构桥施工控制参数敏感性分析

毛洪贵¹, 黄己伟², 王海城³, 彭笑川²

(1.重庆两江新区工业园建设投资有限公司, 重庆市 401135; 2.四川建筑职业技术学院工程管理部, 四川 德阳 618000;
3.国家建筑工程质量监督检验中心, 北京市 100013)

摘要:大跨径连续刚构桥的结构线形和应力受到多种控制参数的影响,这些参数的改变会影响桥梁合龙精度以及成桥后的结构内力。为研究大跨径连续刚构桥施工控制参数的敏感性,以四川宜宾观音岩大桥为背景,采用Midas/Civil 2019建立桥梁空间有限元模型,基于均匀试验,探讨混凝土重度、挂篮荷载、初始张拉预应力、弹性模量4个典型控制参数对桥梁最大悬臂阶段和成桥阶段位移和内力的影响。结果表明:无论是位移还是弯矩,桥梁最大悬臂阶段的最敏感参数均是挂篮荷载;成桥阶段的最敏感参数均是初始张拉预应力。分析成果可为大跨径连续刚构桥精细化施工控制提供参考依据。

关键词:连续刚构桥;均匀试验;施工控制

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)08-0220-03

0 引言

PC连续刚构桥是桥梁结构体系中较为典型的一种桥型^[1]。近几十年来,随着混凝土结构理论的不完善和现代桥梁施工技术的不断进步^[2],该桥型因具有结构刚度大、体系转换少及后期维护方便等优点,在我国中西部地区得到了较为广泛的应用。

大跨度连续刚构桥在悬臂施工及成桥过程中会受到各种因素的影响。这些因素会导致桥梁位移和内力理论值与实际值之间存在差异,并且不同影响因素对结构影响程度不同。

郑一峰等^[3]、朱俊宇等^[4]、马松松等^[5]采用单因素法对连续刚构桥施工控制参数进行了敏感性分析。当参数较多时,需进行试验的次数也随之增多,因而单因素法具有一定局限性。许明^[6]采用正交设计表,对连续刚构桥主梁形状进行了优化。周勇军等^[7]基于正交试验,对连续刚构桥地震响应敏感性参数进行了分析。

本文建立桥梁空间有限元模型,基于均匀试验,探讨混凝土重度、挂篮荷载、初始张拉预应力、弹性模量4个控制参数对桥梁典型工况下位移和内力的影响程度,以期给同类桥型施工精细化控制提供借鉴。

1 工程概况

宜宾市观音岩特大桥为宜宾市新机场至中心城区东连接线工程的一部分。该桥平面位于曲线上,曲线半径为1500 m。桥梁断面总宽度为30.5 m。由于左右幅桥梁的设计要求一致,故本文仅以大桥左幅为研究对象。单幅桥梁上部结构采用2×130 m连续刚构桥,跨径布置为70 m+130 m+130 m+70 m。主梁采用单箱单室、三向预应力混凝土箱形断面。主梁混凝土强度等级为C55。箱梁根部高8 m,跨中及边跨直线段梁高3.2 m,梁高以及底板厚按1.8次抛物线变化,箱底宽7.5 m,两侧悬臂长3.275 m,单幅宽度14.05 m。

2 均匀试验

2.1 参数选定

影响连续刚构桥施工阶段和成桥阶段线形和内力的因素很多。根据文献[8-9]和工程实际情况,综合选择试验因素为:混凝土重度、挂篮荷载、初始张拉预应力和弹性模量。

当连续刚构桥采用悬臂浇筑法施工时,最大悬臂阶段和成桥阶段的位移和内力对桥梁影响较大。因此,选取这2个阶段典型位置的位移和内力作为施工控制指标进行敏感性分析。

以结构设计参数为基准,按±10%范围变化选择相应水平。具体试验因素取值范围见表1。

收稿日期: 2021-01-20

作者简介: 毛洪贵(1983—),男,本科,工程师,从事土木工程建设及其投资管理工作。

表 1 试验因素取值范围

取值	混凝土重度 $G_p/(kN \cdot m^{-3})$	挂篮荷载 F_k/kN	初始张拉预应力 力 σ_{con}/MPa	弹性模量 E_s /GPa
设计值	26	800	1 860	35.5
取值范围	23.4~28.6	720~880	1 674~2 046	31.95~39.05

2.2 均匀试验表建立

根据本工程的实际情况,选取 4 个因素、16 个水平的均匀试验表,见表 2。

表 2 均匀试验表

试验 编号	混凝土重度 $G_p/(kN \cdot m^{-3})$	挂篮荷载 F_k/kN	初始张拉预应力 σ_{con}/MPa	弹性模量 E_s /GPa
1 [#]	23.40	730.67	1 748.40	33.84
2 [#]	23.75	752.00	1 847.60	36.21
3 [#]	24.09	773.33	1 946.80	38.58
4 [#]	24.44	794.67	2 046.00	32.90
5 [#]	24.79	816.00	1 723.60	35.26
6 [#]	25.13	837.33	1 822.80	37.63
7 [#]	25.48	858.67	1 922.00	31.95
8 [#]	25.83	880.00	2 021.20	34.32
9 [#]	26.17	720.00	1 698.80	36.68
10 [#]	26.52	741.33	1 798.00	39.05
11 [#]	26.87	762.67	1 897.20	33.37
12 [#]	27.21	784.00	1 996.40	35.74
13 [#]	27.56	805.33	1 674.00	38.10
14 [#]	27.91	826.67	1 773.20	32.42
15 [#]	28.25	848.00	1 872.40	34.79
16 [#]	28.60	869.33	1 971.60	37.16

3 有限元模型建立及分析

3.1 有限元模型建立

采用 Midas/Civil 2019 建立空间有限元模型(见图 1)。主梁和桥墩均采用梁单元模拟。全桥模型共有 190 个节点、182 个单元。



图 1 全桥有限元模型图

3.2 有限元模型分析

根据前述均匀设计试验方案,分别计算桥梁在最大悬臂状态(工况一)和成桥状态(工况二)下的位移和弯矩。其中,最大悬臂状态位移按 14# 块节段预应力张拉完成为准;成桥状态位移按二期铺装完成后中跨跨中为准。弯矩均取 2 种工况下 40# 块根部弯矩值。有限元计算位移结果见表 3,40# 块根部有限元计算弯矩结果见表 4。

表 3 有限元计算位移结果

单位:mm

试验编号	工况一(最大悬臂状态)	工况二(成桥状态)
1 [#]	18.873	7.318
2 [#]	19.413	7.318
3 [#]	23.727	4.518
4 [#]	12.133	4.698
5 [#]	13.211	8.403
6 [#]	24.535	7.951
7 [#]	15.638	4.427
8 [#]	17.795	8.403
9 [#]	18.873	7.047
10 [#]	20.222	7.499
11 [#]	19.682	8.312
12 [#]	14.559	7.318
13 [#]	24.805	8.493
14 [#]	18.334	8.945
15 [#]	18.065	4.246
16 [#]	14.829	3.704

表 4 40# 块根部有限元计算弯矩结果

单位:kN·m

试验编号	工况一(最大悬臂状态)	工况二(成桥状态)
1 [#]	18.873	7.318
2 [#]	19.413	7.318
3 [#]	23.727	4.518
4 [#]	12.133	4.698
5 [#]	13.211	8.403
6 [#]	24.535	7.951
7 [#]	15.638	4.427
8 [#]	17.795	8.403
9 [#]	18.873	7.047
10 [#]	20.222	7.499
11 [#]	19.682	8.312
12 [#]	14.559	7.318
13 [#]	24.805	8.493
14 [#]	18.334	8.945
15 [#]	18.065	4.246
16 [#]	14.829	3.704

4 试验结果分析

基于均匀试验结果,利用 SPSS24.0 数据统计分析软件,对工况一和工况二下的位移和弯矩计算结果进行线性回归分析。

4.1 位移的显著性检验

当显著性水平为 0.05 时,位移显著性检验分析结果见表 5、表 6。

由表 5、表 6 可知:无论在工况一还是在工况二,弹性模量 E_s 均与位移负相关;混凝土重度 G_p 、挂篮

荷载 F_k 和初始张拉预应力 σ_{con} 均与位移正相关。在表 5 中,控制因素回归系数绝对值大小排序为: $F_k > G_p > E_s > \sigma_{con}$,说明在工况一下,挂篮荷载 F_k 对位移最为敏感。在表 6 中,控制因素回归系数绝对值大小排序为: $\sigma_{con} > G_p > F_k > E_s$,说明在工况二下,初始张拉预应力 σ_{con} 对位移最为敏感。

表 5 工况一下位移显著性分析

位移		回归方程显著性检验		回归系数显著性检验		
自变量	剔除的变量	R^2	Sig.	回归系数值	T 检验	Sig.
常量		0.999	0		261.370	0
混凝土重度 G_p				0.502	19.372	0
挂篮荷载 F_k				0.613	26.802	0
初始张拉						
预应力 σ_{con}				0.215	7.302	0.004
弹性模量 E_s				-0.315	-12.037	0

表 6 工况二下位移显著性分析

位移		回归方程显著性检验		回归系数显著性检验		
自变量	剔除的变量	R^2	Sig.	回归系数值	T 检验	Sig.
常量		0.999	0.001		291.114	0
混凝土重度 G_p				0.403	28.682	0
挂篮荷载 F_k				0.369	17.839	0.002
初始张拉预应力 σ_{con}				1.024	66.582	0
弹性模量 E_s				-0.247	-9.262	0.003

4.2 弯矩的显著性检验

当显著性水平为 0.05 时,弯矩显著性检验分析结果见表 7、表 8。

表 7 工况一下弯矩显著性分析

位移		回归方程显著性检验		回归系数显著性检验		
自变量	剔除的变量	R^2	Sig.	回归系数值	T 检验	Sig.
常量		0.998	0.001		251.320	0
混凝土重度 G_p				0.328	15.251	0
挂篮荷载 F_k				0.581	25.317	0.002
初始张拉						
预应力 σ_{con}				0.153	7.326	0.001
弹性模量 E_s				-0.317	-10.259	0.001

由表 7、表 8 可以看出,无论在工况一还是工况二下,弹性模量 E_s 均与弯矩负相关;混凝土重度 G_p 、

表 8 工况二下弯矩显著性分析

位移		回归方程显著性检验		回归系数显著性检验		
自变量	剔除的变量	R^2	Sig.	回归系数值	T 检验	Sig.
常量		0.998	0.002		263.310	0
混凝土重度 G_p				0.372	23.289	0
挂篮荷载 F_k				0.264	14.382	0.002
初始张拉预应力 σ_{con}				0.614	58.602	0
弹性模量 E_s				-0.213	-8.025	0.002

挂篮荷载 F_k 和初始张拉预应力 σ_{con} 均与弯矩正相关。在表 7 中,控制因素回归系数绝对值大小排序为: $F_k > G_p > E_s > \sigma_{con}$,说明在工况一下,挂篮荷载 F_k 对弯矩最为敏感。在表 8 中,控制因素回归系数绝对值大小排序为: $\sigma_{con} > G_p > F_k > E_s$,说明在工况二下,初始张拉预应力 σ_{con} 对弯矩最为敏感。

5 结 语

- (1)在工况一下,挂篮荷载 F_k 对位移最为敏感;在工况二下,初始张拉预应力 σ_{con} 对位移最为敏感。
- (2)在工况一下,挂篮荷载 F_k 对弯矩最为敏感;在工况二下,初始张拉预应力 σ_{con} 对弯矩最为敏感。
- (3)对于施工控制敏感参数,需要在大桥施工中加强监控并严格控制其误差。

参考文献:

[1] 李海鸥,宋川,陈平,等.大跨径 PC 连续刚构桥施工控制参数敏感性分析[J].西华大学学报(自然科学版),2020,39(1):54-59.

[2] 王海城,黄己伟,刘丹.横撑系统对系杆拱桥动力特性的影响[J].湖北理工学院学报,2019,35(5):36-39,72.

[3] 郑一峰,孙赛赛,雷刚.大跨度连续刚构桥施工控制参数研究[J].甘肃科学学报,2019,31(6):68-73,98.

[4] 朱俊宇,古松,鄢爱新.高墩大跨 PC 连续刚构桥施工监控参数敏感性分析[J].西南科技大学学报,2018,33(4):37-40.

[5] 马松松,于丛丛,耿波.PC 连续刚构桥施工控制参数敏感性分析[J].公路交通技术,2013(4):93-95,100.

[6] 许明.基于正交设计表的连续刚构桥主梁形状优化[J].湖南交通科技,2016,42(2):204-207.

[7] 周勇军,全伟,贺拴海.基于正交试验的连续刚构桥地震响应敏感性参数分析[J].地震研究,2006(2):176-181,216.

[8] 马显红,余毅.高墩大跨连续刚构桥施工控制参数敏感性分析[J].桥梁建设,2012,42(3):57-62.

[9] 彭元诚.大跨度空腹式连续刚构桥设计理论与方法[J].桥梁建设,2020,50(1):74-79.