

多跨连续箱梁施工仿真及稳定性分析

肖勇刚¹, 曹阳²

(1.长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410004; 2.长沙市城乡规划局, 湖南 长沙 410014)

摘要:以张公庙大桥为工程背景,运用 MIDAS/Civil 对多跨连续箱梁施工过程进行仿真分析,计算结构在最大悬臂阶段、边跨合龙阶段、次中跨合龙阶段、二期恒载阶段的应力和变形,并对最大悬臂状态及地震作用下的稳定性进行分析。结果表明,各典型施工阶段该桥主梁内力及变形均符合规范要求,最大悬臂状态及地震作用下结构满足承载力要求。

关键词:桥梁;多跨连续箱梁;施工仿真;稳定性

中图分类号:U443.38

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)04-0118-05

1 工程概况

张公庙大桥位于湖南临澧与澧县交界张公庙镇,主桥为(84+3×132+84)m 预应力砼连续箱梁,桥面单幅宽度 15.75 m,横截面形式为单箱单室,按全预应力构件设计。主桥下部结构为 3.5 m 厚实体墩,搭载于 4.5 m 厚承台上。桩基采用嵌岩

桩,4 根直径 2.5 m 桩联合形成桩基础。桥型布置见图 1,主梁截面尺寸见图 2。

2 有限元模型的建立

2.1 MIDAS 模型建立

为简化分析计算过程,仅以上部结构为研究对象。运用 MIDAS/Civil 建立桥梁模型时通常以梁

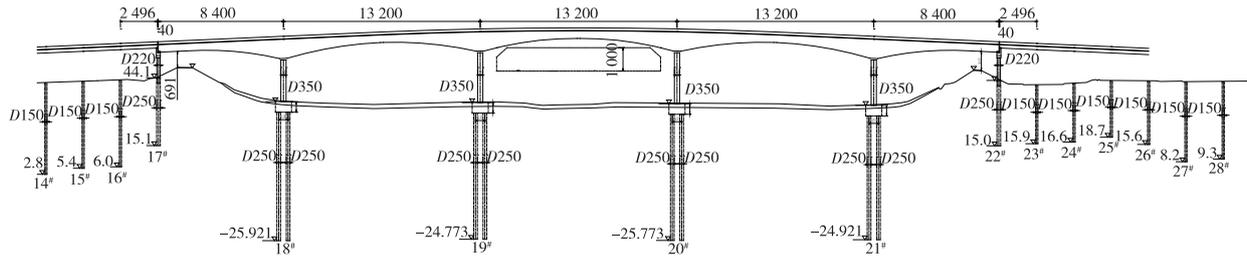


图 1 张公庙大桥桥型布置(单位:标高为 m,其他为 cm)

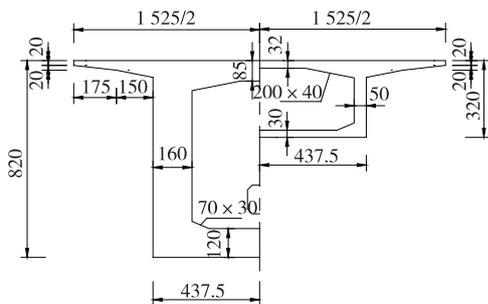


图 2 张公庙大桥墩顶截面及跨中截面尺寸(单位:cm)

单元模拟主梁。对张公庙大桥施工过程进行模拟时,考虑全桥主梁纵向和桥墩构造布置情况,以施工段长度为依据进行单元划分,有限元模型总计 182 个单元、201 个节点(见图 3)。完成单元划分后对节点和单元编号,并在 AutoCAD 中标出所有单元两端对应的横截面,再对截面和材料参数进行采集。

将各施工阶段需激活或钝化的单元、边界条件和载荷定义成为一个组,该桥结构组划分为 0[#]~18[#]块、边跨现浇段、边跨合龙段、次中跨合龙段和中跨合龙段。采用一般支承模拟边墩支座,固定支座约束节点的 D_x 、 D_y 、 D_z 、 R_x 方向自由度,滑动支座约束节点的 D_y 、 D_z 、 R_x 方向自由度。在 0[#]、1[#]块施工的同时设置 0[#]块临时固结,采用固定支座模拟,约束节点的所有自由度。满堂支架用来模拟边跨现浇段施工且连接形式选用只受压单元来模拟。



图 3 张公庙大桥有限元模型

2.2 施工阶段

该桥施工步骤:1)下部结构施工;2)0[#]、1[#]梁

段托架施工,浇筑砼,设置临时固结并张拉预应力钢束;3) 安装1[#]挂篮,浇筑2[#]梁段并张拉2[#]预应力钢束;4) 拆除1[#]挂篮,安装2[#]挂篮,浇筑3[#]梁段并张拉3[#]预应力钢束;5) 重复步骤3、步骤4;6) 搭设边跨现浇段支架,浇筑边跨现浇段;7) 安装边跨合龙段吊架,浇筑边跨合龙段并张拉边跨预应力钢束;8) 安装次中跨合龙段吊架,浇筑次中跨合龙段,拆除次中跨临时固结,安装临时固定支座;9) 安装中跨合龙段吊架,浇筑中跨合龙段并张拉中跨合龙段预应力钢束;10) 进行桥系转换,拆除临时固定支座,更换普通盆式支座。该桥合龙顺序为先边跨、后次中跨、最后中跨。进行施工阶段分析前对各施工阶段进行定义,施工阶段模拟分析中将当前阶段的结构组、边界等激活或钝化。

3 主梁内力分析

分别从最大悬臂阶段、边跨合龙阶段、次中跨合龙阶段、二期恒载阶段、运营阶段进行施工过程模拟分析,了解各施工阶段的实际受力与变形情况。

3.1 最大悬臂阶段

在最大悬臂状态下对称悬臂浇筑完毕,箱梁悬臂最长且挂篮尚未拆除,是整个施工阶段的最不利状态。最大悬臂状态下结构挠度见图4,各主梁单元上、下缘应力见图6、图7。

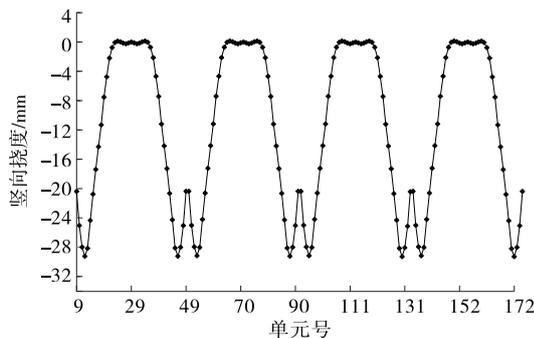


图4 最大悬臂阶段结构挠度

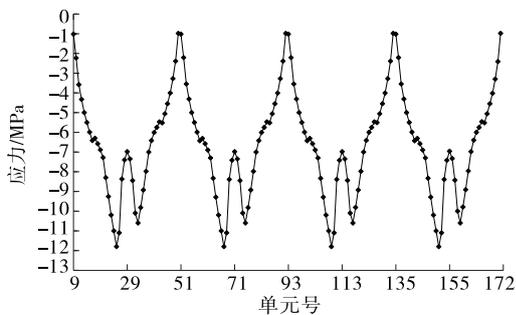


图5 最大悬臂阶段单元上缘截面应力

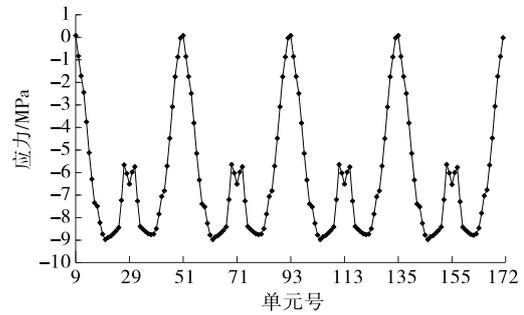


图6 最大悬臂阶段单元下缘截面应力

从图4~6可看出:最大悬臂阶段主梁各单元截面上、下缘应力变化趋势相似,均从墩顶向两侧逐渐减小,且下缘应力小于上缘应力;梁单元应力以负值为主,最大应力值达12.5 MPa,下缘出现很小的正应力(0.08 MPa)。

3.2 边跨合龙阶段

施工边跨现浇段后进行边跨合龙。图7~9为边跨合龙施工阶段结构挠度及各主梁单元上、下缘累计应力。

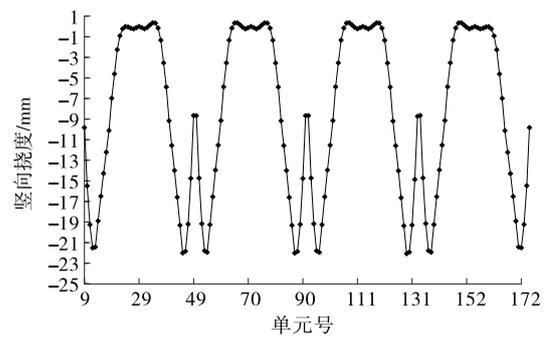


图7 边跨合龙阶段结构挠度

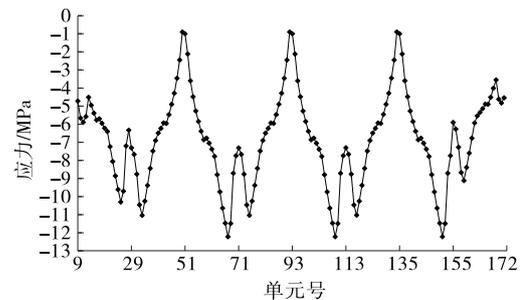


图8 边跨合龙阶段单元上缘截面应力

从图7~9可看出:边跨合龙时,合龙段自重与吊架及预应力钢束的作用使桥墩两侧变形出现不对称情况,且中跨挠度大于边跨挠度,边跨最大竖向挠度小于最大悬臂阶段梁体竖向挠度;桥梁由悬臂状态变为多次超静定结构且全截面均为受压状态,最大应力为12.04 MPa。

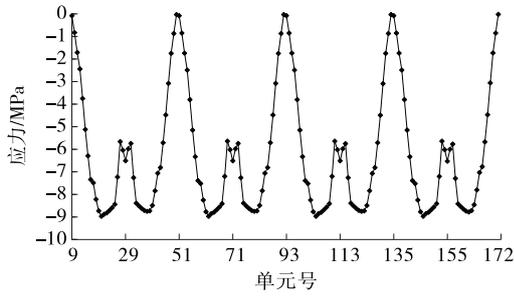


图9 边跨合龙阶段单元下缘截面应力

3.3 次中跨合龙阶段

根据既定桥跨合龙顺序,次中跨的合龙在边跨合龙后进行。图10~12为次中跨合龙阶段结构挠度及各主梁单元上、下缘累计应力。

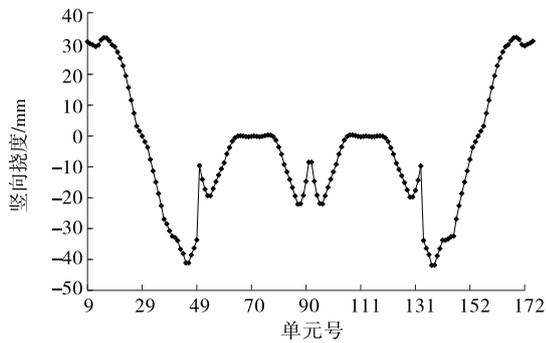


图10 次中跨合龙阶段结构挠度

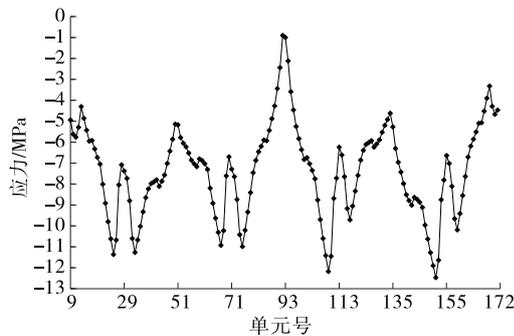


图11 次中跨合龙阶段单元上缘截面应力

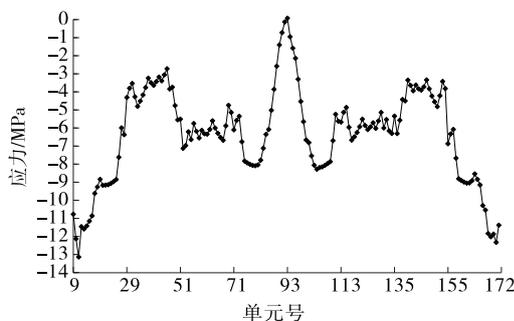


图12 次中跨合龙阶段单元下缘截面应力

从图10~12可看出:根据既定桥跨合龙施工顺序,桥梁整体结构在合龙中跨之前左右两侧基本对称。合龙次中跨后桥跨结构同样存在结构体系变化,结构仍为多次超静定结构,主梁下缘应力变化明显且全截面受压,应力最大值为13.1 MPa,出现在边跨合龙段位置。

3.4 二期恒载阶段

图13~15为二期恒载阶段结构挠度及各主梁单元上、下缘应力。

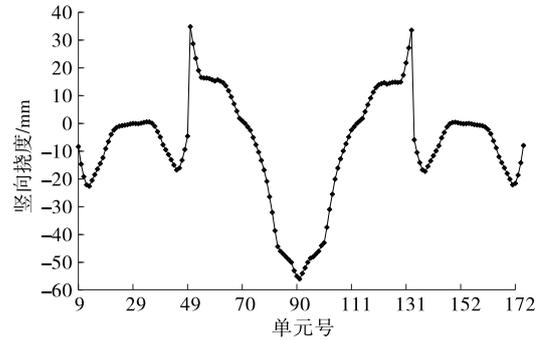


图13 二期恒载阶段结构挠度

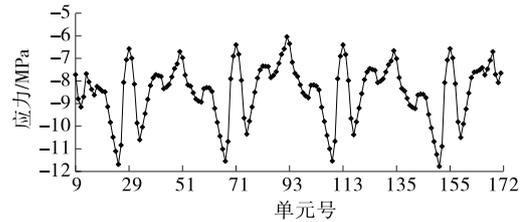


图14 二期恒载阶段单元上缘截面应力

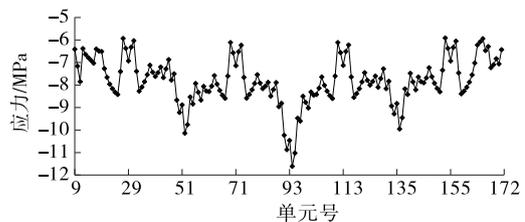


图15 二期恒载阶段单元下缘截面应力

从图13~15可看出:对全桥施加二期恒载(90 kN/m)时,主梁边跨、次中跨和中跨最大挠度分别为2.3、4.3、5.8 cm,均出现在合龙段附近;主梁最大压应力为11.8 MPa,且全截面受压。

4 稳定性分析

4.1 最大悬臂阶段稳定性分析

平衡悬臂施工时结构自重和机具重量在桥梁两侧应保持对称,防止产生倾覆力矩而导致结构失稳

破坏。鉴于桥梁施工过程中最大悬臂阶段的稳定性最差,将作用于结构的施工荷载、梁段自重差、施工不平衡荷载和挂篮荷载组成 3 种工况,验算结构在最大悬臂阶段的稳定性:工况 1 为自重+施工荷载;工况 2 为自重+梁段自重差+施工不平衡荷载+挂篮正常工作;工况 3 为自重+梁段自重差+施工不平衡荷载+挂篮跌落。各工况下结构最大悬臂阶段稳定性分析结果见表 1~3。

表 1 工况 1 下最大悬臂阶段屈曲分析结果

模态号	屈曲特征值	失稳形式
1	88.5	支墩横桥向屈曲
2	88.6	支墩顺桥向屈曲
3	460.4	支墩横桥向屈曲

表 2 工况 2 下最大悬臂阶段屈曲分析结果

模态号	屈曲特征值	失稳形式
1	37.58	支墩横桥向屈曲
2	38.79	支墩顺桥向屈曲
3	63.23	支墩横桥向屈曲

表 3 工况 3 下最大悬臂阶段屈曲分析结果

模态号	屈曲特征值	失稳形式
1	34.46	支墩横桥向屈曲
2	35.07	支墩顺桥向屈曲
3	64.11	支墩横桥向屈曲

从表 1~3 可看出:结构在最大悬臂阶段各工况下的屈曲特征值均大于 5,结构稳定性符合要求。

4.2 地震作用下桥墩稳定性分析

4.2.1 设计反应谱

设防目标为结构在遭受 E1 类地震时通常不受损或损伤极小且在不采取弥补措施的情况下仍可继续使用,遭受 E2 类地震时尽量不坍塌或严重毁损结构且通过临时补救措施可进行短期临时运营。

该桥所处位置为 II 类场地,抗震要求为 7 度。根据 JTG/T B02-01-2008《公路桥梁抗震设计细则》确定相关参数,采用 MIDAS 建立全桥模型(见图 16)。

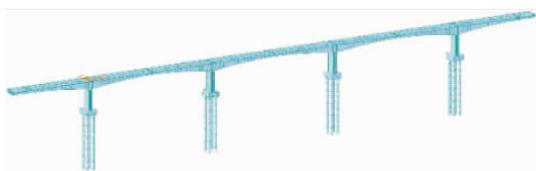


图 16 张公庙大桥地震分析模型

利用软件生成 E1、E2 反应谱(见图 17~18)。

选择前 30 阶模态进行自振特性分析,这些模态的振型总参与质量达 90% 以上。

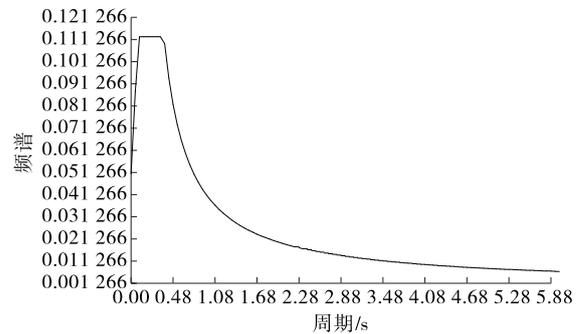


图 17 E1 地震作用下加速度反应谱

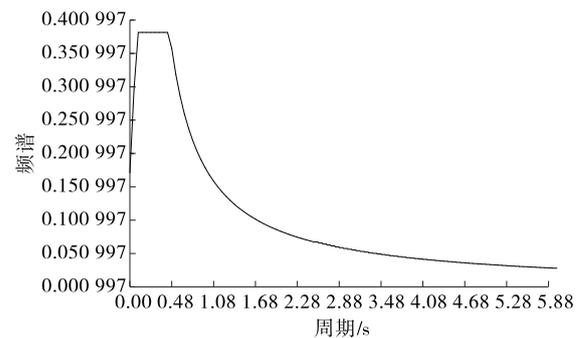


图 18 E2 地震作用下加速度反应谱

4.2.2 E1 作用响应

E1 作用下桥墩截面内力分布及各主墩墩底截面内力见图 19、表 4。

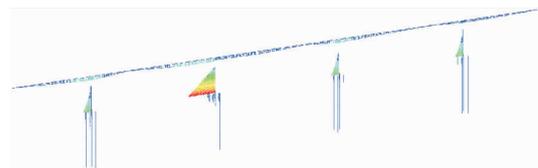


图 19 E1 作用下桥墩截面内力分布

表 4 E1 作用下墩底截面内力

墩号	剪力/kN		最大弯矩/(kN·m)
	横向	纵向	
1	2 427.3	2 218.1	26 518.0
2	3 303.3	4 291.1	66 766.6
3	3 297.5	2 222.3	26 581.3
4	2 426.1	2 222.3	26 581.3

从图 19、表 4 可看出:各主墩所受剪力近似;弯矩呈三角形分布,墩底位置弯矩最大。因全桥横向约束设置在一个主墩上,剪力基本上由该墩承受。

4.2.3 E2 作用响应

根据 JTG/T B02-01-2008《公路桥梁抗震设

计细则》，E2类地震作用下延性构件(墩柱)可发生损伤，产生弹塑性变形，耗散地震能量，但延性构件(墩柱)的塑性铰区域应具有足够的塑性变形能力。E2作用下桥墩截面内力分布及各主墩墩底截面内力见图21、表5。

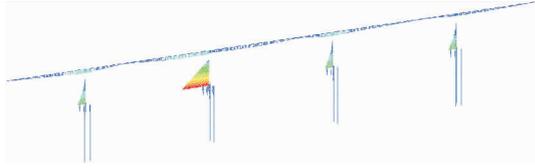


图20 E2作用下桥墩截面内力分布

表5 E2作用下墩底截面内力

墩号	剪力/kN		最大弯矩/ (kN·m)
	横向	纵向	
1	5 252.8	4 541.5	80 161.30
2	7 231.2	8 589.9	100 106.57
3	5 211.8	4 555.8	80 376.40
4	5 249.0	4 555.8	80 376.40

从图20、表5可看出：E2作用下桥墩截面内力分布与E1作用时相同；弯矩在墩底位置最大，产生最大值的桥墩位置与E1作用时相同。

4.2.4 强度验算

图21为主墩截面在现有荷载情况下弯矩一曲率曲线。E1作用下主墩最大弯矩发生在固定支座处桥墩，墩底弯矩最大，为66 766.6 kN·m，小于初始屈服弯矩，结构处于弹性状态；E2作用下，主墩最大弯矩发生在固定支座处桥墩，墩底弯矩最大，为100 106.5 kN·m，小于初始屈服弯矩，结构处于弹性状态。

5 结论

(1) 张公庙大桥各施工阶段的主梁内力及变形

(上接第117页)

测和不断修正，减小并尽量消除各因素对成桥目标的影响，使其达到合理成桥状态。

(2) 影响塔梁同步施工的主要因素有结构参数、施工误差、环境、结构模型简化和计算误差、量测误差等。

(3) 根据施工影响因素、控制原则等制定主梁标高、索塔变位、斜拉索索力等施工监测内容和同步施工控制系统运行过程，提出相应质量、进度和安全

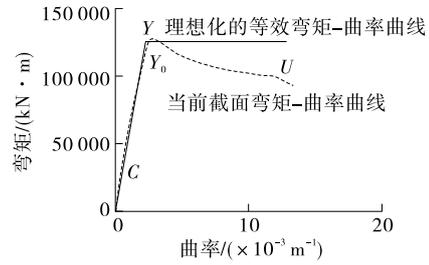


图21 主墩弯矩一曲率曲线

均符合规范要求，且全桥合龙后主梁具有较大应力储备。

(2) 各荷载工况下张公庙大桥最大悬臂阶段临时支墩计算屈曲特征值均小于5，稳定性满足要求。

(3) E1、E2地震作用下张公庙大桥主墩结构均处于弹性工作状态，桥墩承载能力满足要求。

参考文献：

[1] 向木生,张世飙,张开银.大跨度预应力混凝土桥梁施工控制技术[J].中国公路学报,2002,15(4).

[2] Maeda K, Otsuka A, Takano H. The design and construction of the Yokohama Bay Bridge [M]. Tokyo: Elsevier Science Publishers, 1991.

[3] 许素平,杨晓东.大跨度斜拉桥施工控制分析[J]. 建筑工程技术与设计,2015(13).

[4] 张志林,袁俊桃,王卫锋.大跨度预应力混凝土连续刚构桥施工监测仿真分析[J].科学技术与工程,2010,10(29).

[5] 罗宇能.大跨度辐射式张弦梁结构的静力稳定性及施工仿真分析[D].广州:华南理工大学,2016.

[6] 陈舟,颜全胜,河振族.北江大桥引桥整体顶升施工仿真分析[J].桥梁建设,2015,45(3).

[7] 叶晓宇.预应力混凝土斜拉桥施工仿真分析[D].兰州:兰州交通大学,2017.

收稿日期:2017-12-16

措施,尽可能减小各种不利因素的影响,达到和异步施工一样的较合理的成桥状态。

参考文献：

[1] 赵艺程.贵州乌江叠合梁斜拉桥非线性稳定分析研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.

[2] 张南.桥梁结构质量控制技术与工程实例[M].北京:中国电力出版社,2011.

收稿日期:2018-02-02