

连续刚构桥悬臂施工过程中主梁变形影响因素研究^{*}

许红胜, 刘岐, 颜东煌, 谢沐杨, 吴佳东

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 连续刚构桥多采用挂篮悬臂对称法施工, 造成主梁各节段都要经历多个施工工况, 其中会有多种不确定因素影响主梁节段变形。文中依托老屯河大桥, 通过数值模拟分析, 研究结构材料的弹性模量、节段实际砼重量、温度和材料的收缩徐变在刚构桥悬臂施工中对主梁变形的影响, 分析不同参数对主梁变形的影响程度。结果表明, 施工 10[#] 梁段以前 (悬臂长度 < 35 m) 的节段时, 影响程度排序为温度 > 弹性模量 > 荷载超重 > 收缩徐变; 施工 10[#] 梁段以后 (悬臂长度 > 35 m) 的节段时, 影响程度排序为温度 > 荷载超重 > 弹性模量 > 收缩徐变。

关键词: 桥梁; 连续刚构桥; 悬臂施工; 主梁变形; 参数识别

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)06-0102-04

大跨度预应力砼刚构桥建造中, 挂篮悬臂对称施工法使用越来越普遍。为消除挂篮悬臂浇筑过程中各种因素对成桥线形的影响, 进行施工阶段模拟, 通过分析计算给出预拱度。但桥梁实际施工过程中存在多种不确定因素, 如砼材料强度和弹性模量的变异性、施工误差、模板变形造成的砼超方、临时设备放置过多造成的施工荷载超重、预应力张拉损失、砼收缩徐变、温度等, 这些因素都会给主梁节段变形控制增加难度。需对各种因素进行提前识别, 然后进行参数分析, 确定主梁变形对不同因素的敏感程度及在不同因素作用下的变形规律。该文主要分析砼的结构设计参数对主梁变形的影响, 得到影响砼刚构桥主梁变形的的主要因素, 为预拱度修正提供依据。

1 工程概况

老屯河大桥主桥跨径为 (70+130+70) m, 上部结构为预应力砼连续刚构箱梁, 箱梁顶板宽 12.5 m, 翼缘板悬挑 3 m, 底板宽 6.5 m。顶板厚 28 cm, 底板厚按二次抛物线从根部的 90 cm 变化为跨中的 32 cm, 腹板厚由根部至跨中采用 0.75、0.6、0.45 m。箱梁高度按二次抛物线由根部 8.0 m 变化到跨中的 2.9 m。箱梁 0[#] 节段长 13 m, 每个悬浇 T 梁纵向对称划分为 16 个节段, 1[#]~13[#] 节段长 3.5 m, 14[#]~16[#] 节段长 4.0 m, 主梁悬浇总长 57.5 m。

2 影响因素识别分析

采用结构分析专用软件 MIDAS/Civil 对该桥

进行施工过程分析。将桥梁结构划分为 118 个单元、123 个节点, 其中主梁单元 94 个, 桥墩单元 24 个 (见图 1)。取悬浇 T 梁的一边 (即左幅 9[#] 墩边跨侧), 分析弹性模量、结构超重、温度、早期收缩徐变等参数对主梁变形的影响程度及敏感性。

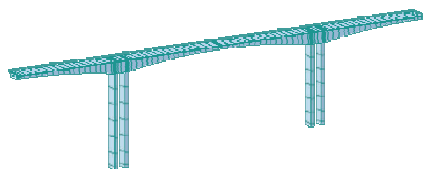


图 1 全桥仿真分析有限元模型

2.1 弹性模量

砼弹性模量是材料本身的固有属性, 其取值会对刚构桥上部主梁结构的线形产生明显影响。但在桥梁实际施工过程中, 由于砼的配比、水泥种类、水灰比及养护条件等原因, 现场施工砼的实际弹性模量不同于砼的设计弹性模量。另外, 为追求施工进度等, 在进行预应力张拉或下一节段施工时, 砼的实际弹性模量可能不能达到模型中对应工况下弹性模量。砼弹性模量分别取 3.45×10^4 (C50 砼弹性模量标准值 E)、 3.2775×10^4 ($0.95E$)、 3.105×10^4 ($0.90E$)、 2.9345×10^4 ($0.85E$)、 2.76×10^4 MPa ($0.80E$), 其余参数仍取理论值, 分析弹性模量对主梁节段变形的影响, 结果见图 2、图 3。

由图 2、图 3 可知: 刚构桥主梁节段变形随着砼弹性模量的减少而增大, 且弹性模量减小越多, 主梁下挠程度越大; 施工最大悬臂节段 (16[#] 块) 时, 弹性

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51178059)

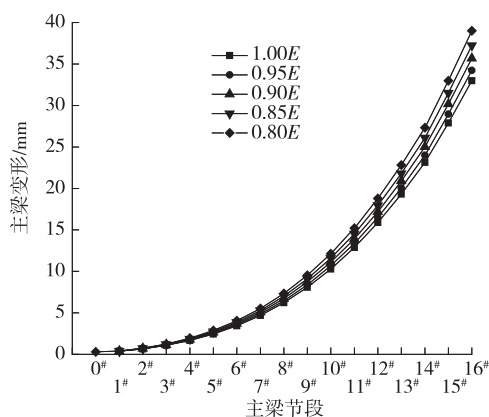


图2 不同砼弹性模量对主梁挠度的影响

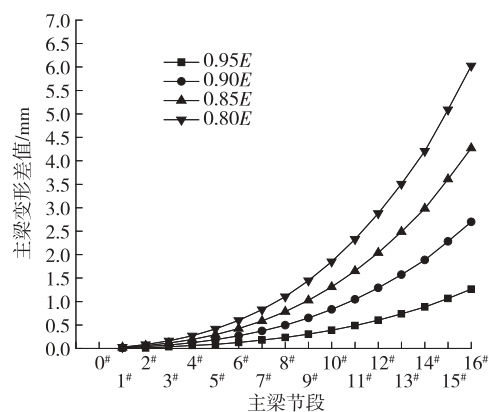


图3 砼弹性模量变异产生的相对变形量

模量对主梁变形的影响最大。砼弹性模量为 $0.95E$ 时,主梁最大悬臂节段的沉降量为 34.235 mm ,相对于标准理论值多下沉 1.262 mm ;砼弹性模量为 $0.90E$ 时,主梁最大悬臂节段的沉降量为 35.671 mm ,相对于标准理论值多下沉 2.698 mm ;砼弹性模量为 $0.85E$ 时,主梁最大悬臂节段的沉降量为 37.242 mm ,相对于标准理论值多下沉 4.269 mm ;砼弹性模量为 $0.80E$ 时,主梁最大悬臂节段的沉降量为 38.997 mm ,相对于标准理论值多下沉 6.024 mm 。弹性模量的变化对初始几个节段变形的影响较小,随着悬臂端的加长,对主梁变形量的影响越来越明显。在小跨径桥梁中可暂时不考虑弹性模量对主梁节段变形的影响,但对于大跨径桥梁,这一因素不容忽视。

2.2 结构超重

在桥梁施工前,运用 MIDAS/Civil 进行仿真模拟分析时,可根据设计文件定义砼的容重。但在桥梁施工过程中,由于模板变形、砼超方、桥面堆放过多较重临时设备等,桥梁结构实际重量会大于模型自动计算的节段自重。由于刚构桥悬臂施工的特殊

性,自重误差会对主梁节段变形产生较大影响。在建模前期结构的截面尺寸等已经输入,即砼的方量间接固定,可通过调整砼容重实现荷载超重对主梁变形的影响。考虑实际施工中荷载超重情况,将分析工况分为超过图纸设计值 G 的 5% 、 10% 、 15% 、 20% 4种,其余相关参数仍取理论值,分析结构超重对主梁节段变形的影响,结果见图4、图5。

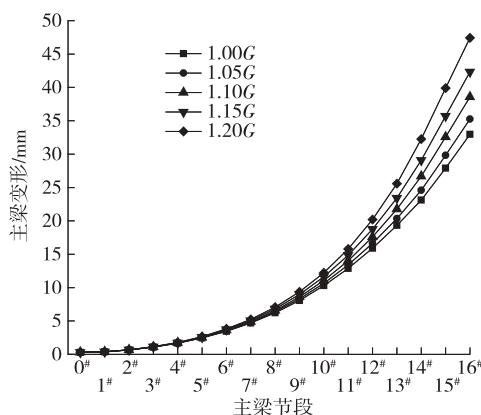


图4 不同程度结构超重对主梁挠度的影响

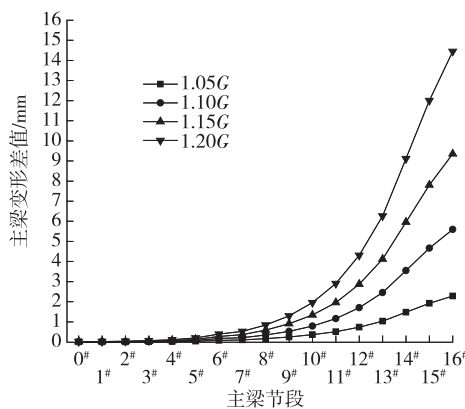


图5 不同结构超重对主梁相对变形量的影响

由图4、图5可知:刚构桥主梁节段变形随着荷载超重值的增大而增大。荷载超重 5% 时,主梁节段最大悬臂端的沉降量为 35.259 mm ,比标准情况多下沉 2.286 mm ;荷载超重 10% 时,主梁节段最大悬臂端的沉降量为 38.567 mm ,比标准情况多下沉 5.594 mm ;荷载超重 15% 时,主梁节段最大悬臂端的沉降量为 42.330 mm ,比标准情况多下沉 9.357 mm ;荷载超重 20% 时,主梁节段最大悬臂端的沉降量为 47.421 mm ,比标准情况多下沉 14.448 mm 。主梁变形与悬浇段距离 $0\#$ 块的距离有很大关系,随着悬浇段的生长,结构超重对主梁沉降变形的影响越来越大。荷载超限 1.1 倍以上,这一因素对主梁变形的影响急剧增加,增大 30% 。因此,施工过程

中需充分考虑砼实际容重,避免模板产生过大变形,同时避免在桥面上堆积过重的临时设施。

2.3 温度

刚构桥悬臂施工周期较长,外界各种自然环境条件的变化必然对主梁变形产生影响。随着日照时间的增减,刚构桥箱室内外的温度改变,这种温差会在已浇筑节段形成温度场,进而对主梁结构造成温差变形。取刚构桥处于最大悬臂状态进行分析,按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》进行荷载施加,分别考虑整体升温 5、10、15、20 °C,分析温度对主梁节段变形的影响,结果见图 6、图 7。

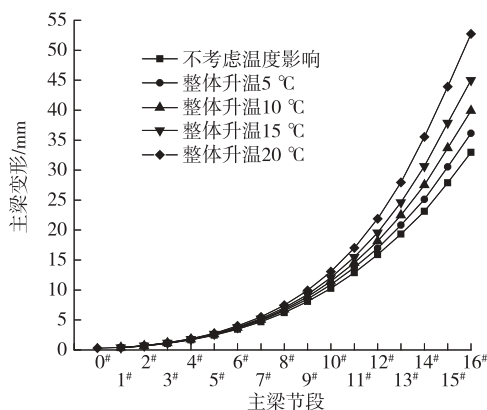


图6 不同温度变化对主梁变形的影响

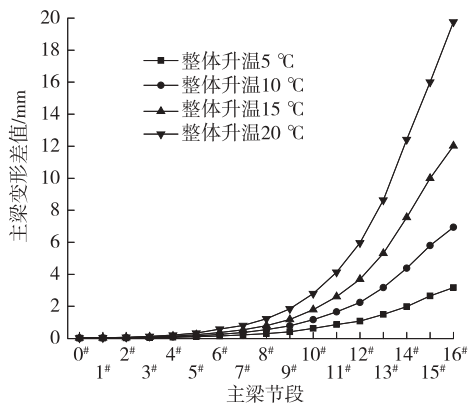


图7 不同程度升温对主梁造成的相对变形量

由图 6、图 7 可知:刚构桥主梁节段变形随着整体温度的升高而增大。整体升温 5 °C 时,主梁节段最大悬臂端的沉降量为 36.146 mm,比标准情况多下沉 3.173 mm;整体升温 10 °C 时,主梁节段最大悬臂端的沉降量为 39.908 mm,比标准情况多下沉 6.935 mm;整体升温 15 °C 时,主梁节段最大悬臂端的沉降量为 44.999 mm,比标准情况多下沉 12.026 mm;整体升温 20 °C 时,主梁节段最大悬臂端的沉降量为 52.730 mm,比标准情况多下沉 19.757 mm。

在相同升温条件下,悬浇段越长,主梁变形对温度的变化越敏感。整体升温 20 °C 时,16# 梁段(悬臂长度 57.5 m)的变形比 8# 梁段(悬臂长度为 28 m)多 18.533 mm。温度改变对主梁变形有显著影响是从 8# 梁段开始的,施工至 8# 节段时,应重视温度对主梁变形的影响。进行桥梁监控高程采集时,应尽量选在清晨箱室内外温差不大的时刻,以避免温度场对主梁变形的不利影响。

2.4 砼收缩徐变

刚构桥成桥前的施工过程中,砼收缩徐变对主梁变形的影响可分为现施工节段自身收缩徐变产生的变形、此前已浇筑节段持续的收缩徐变对后续节段造成的累积变形。常规挂篮悬臂施工中 1 个节段的周期在 15 d 以上,老屯河大桥一般为 7~10 d,砼在自身节段收缩变形经历的时间很短,这一阶段产生的收缩徐变很小。因此,主要分析施工至最大悬臂节段时已浇筑节段砼的收缩徐变对后续节段变形的影响。对最大悬臂端考虑不同模型下收缩徐变和不考虑收缩徐变进行对比,结果见图 8。

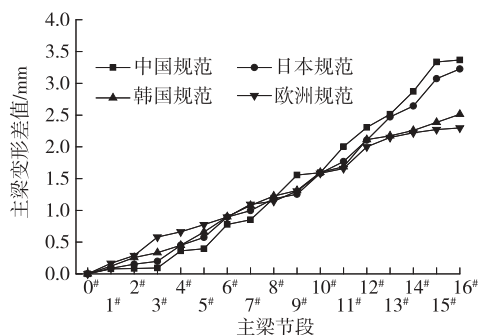


图8 不同规范徐变模型对主梁变形的影响

由图 8 可知:在刚构桥悬臂施工阶段,砼的收缩徐变较小;施工至悬臂节段时,中国规范和日本规范的收缩徐变规律较相似,而欧洲规范和韩国规范的收缩徐变规律大致相同;按欧洲规范中的收缩徐变模型计算所得收缩徐变量最小,悬臂端为 2.299 mm,按中国规范中收缩徐变模型计算所得收缩徐变量最大,悬臂端为 3.367 mm,但都小于 5 mm。施工过程中可不考虑收缩徐变的影响,成桥后才考虑收缩徐变,并将收缩徐变考虑进成桥预拱度中。

2.5 各因素影响程度分析及控制方法

在刚构桥悬臂施工中,温度对主梁节段变形的影响最大,也最敏感,悬臂施工中需特别注意这一因素。控制温度对主梁变形影响的方法主要有固定时间法、相对立模法、温度修正法,受施工工期限制,实

际施工中采用相对固定法不易实现,温度修正法又需要长期大量的温度观测,带来额外的工作量,因而常采用相对立模法。

在全桥合龙前的悬臂施工阶段,砼收缩徐变造成的主梁变形最小,几乎可忽略,可不考虑砼在前期的收缩徐变,仅考虑成桥以后的长期收缩徐变。

选取5#、10#、16#梁段,采用主梁变形相对变化率对结构超重和砼弹性模量的影响进行对比分析,结果见图9~11。

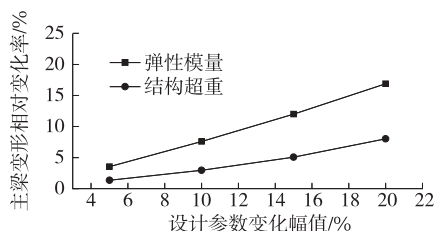


图9 5#梁段设计参数敏感性分析

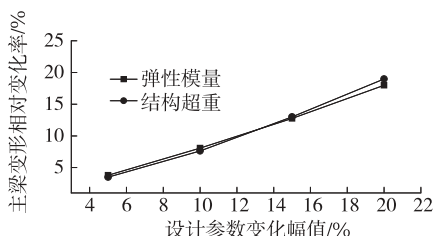


图10 10#梁段设计参数敏感性分析

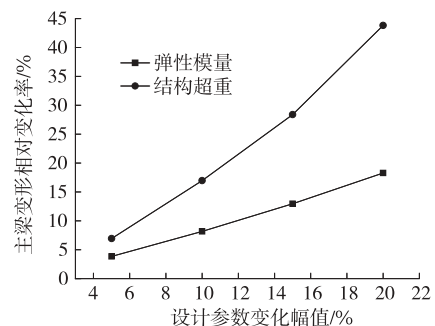


图11 16#梁段设计参数敏感性分析

由图9~11可知:在10#梁段(悬臂长度为35 m),弹性模量和结构超重对主梁变形的影响及敏感度大致相当;10#梁段之前,对主梁变形的影响程度弹性模量稍大于结构超重,敏感性二者大致相当;10#梁段之后,结构超重和砼弹性模量对主梁变形都有不可忽视的影响,结构超重的影响程度和敏感性比砼弹性模量大。实际工程中需根据不同情况,通过测试试验得到实测值,然后提前进行相应修正。

3 结论

以老屯河大桥主桥为例分析悬臂施工中结构设

计参数对预应力砼刚构桥主梁变形的影响程度及敏感性,结论如下:

(1) 施工悬臂节段较小(悬臂长度 <35 m)时,各因素对主梁变形的影响较小,敏感性大小为温度 $>$ 荷载超重 $>$ 弹性模量 $>$ 收缩徐变;施工悬臂节段较大(悬臂长度 >35 m)时,各因素对主梁变形的影响都较大,敏感性大小为温度 $>$ 荷载超重 $>$ 弹性模量 $>$ 收缩徐变。悬臂施工中温度对主梁变形的影响不容忽视,需采取相应措施加以避免或进行修正。

(2) 荷载超重及弹性模量对主梁变形的影响不容忽视,必须通过实测进行参数调整,以保证合龙精度和桥梁线形。

(3) 收缩徐变对主梁变形的影响最小,在悬臂施工阶段可不考虑其影响,只在成桥后予以考虑。

参考文献:

- [1] 赵永权.浅析连续刚构桥施工监控中梁体立模标高的计算[J].智能城市,2016,2(8):237+239.
- [2] 刘雪锋,文武.某大跨度连续刚构桥参数影响分析[J].公路与汽运,2012(4):195-198.
- [3] 刘义才.连续刚构桥施工监控及挠度控制分析[J].交通世界,2018(20):99-100+103.
- [4] 蔡元兵.高墩大跨连续刚构桥施工监控技术[D].西安:长安大学,2014.
- [5] 向东刚.高墩大跨度连续刚构桥施工控制及影响参数分析[D].西安:长安大学,2014.
- [6] 申文杰,李世卿.参数识别与分析在桥梁施工控制中的应用[J].交通标准化,2012(11):109-111.
- [7] 陈玉根.大跨径预应力混凝土连续刚构桥悬臂施工线形控制及受力性能研究[D].南京:东南大学,2016.
- [8] 甄喆.连续刚构桥施工控制中的参数敏感性分析与零号块局部应力分析[D].西安:长安大学,2013.
- [9] 刘胤虎,于向东.连续梁施工控制中的参数识别和温度影响对策[J].中国水运(学术版),2008(1):110-111.
- [10] 中交公路规划设计院.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范:JTG D62-2004[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [11] 闫燕红.大跨度连续刚构桥施工监控及温度效应分析[D].北京:北京交通大学,2008.
- [12] 肖光清.大跨度连续刚构桥施工监控线形分析[J].公路与汽运,2019(6):103-106.
- [13] 刘首峰.预应力砼连续箱梁桥施工过程线形监控研究[J].公路与汽运,2020(6):122-125+130.