

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2023.05.018

四柱式桥墩盖梁内力影响因素分析

曾宪营¹,王岳松²,蒋田勇^{2*}

(1.湖南省高速公路集团有限公司,湖南长沙 410016;2.长沙理工大学 土木工程学院,湖南长沙 410114)

摘要:为研究四柱式桥墩盖梁内力的影响因素,同时针对左右幅重量荷载不一致的问题,采用Midas/Civil建立杆系有限元模型,通过对比不同左右幅重量比、温度和不均匀沉降作用下的内力,以此分析左右幅重量比、温度和不均匀沉降对于四柱式桥墩盖梁的内力影响。研究表明:在左幅重量不变时,随着右幅重量的减少,左右幅重量比的增大,对靠近左幅中心处的四柱式墩盖梁内力影响较小,其内力变化为10%左右,而对靠近右幅中心处的四柱式墩盖梁内力影响相对较大,其内力影响超过了30%;在整体温度荷载作用下,四柱式墩盖梁内力变化是对称的,为10%左右;不均匀沉降会使盖梁在发生墩柱沉降位置处下部受拉,而在相邻不发生沉降墩柱位置处上部受拉,从而导致四柱式墩盖梁内力急剧变化,不均匀沉降为5 mm时,左幅中心处正弯矩增大了42%,而对右幅中心处的内力影响较小,实际工程中应密切关注桥墩的不均匀沉降。

关键词:桥梁工程;四柱式桥墩盖梁;左右幅重量比;温度;不均匀沉降

中图分类号:U443.2

文献标志码:A

0 引言

随着“十四五”规划的推进,中国高速公路的建设又将迎来黄金期,目前中国高速公路总里程约17.73万 km,位居世界第一,建成了全球最大的高速公路交通网,但与此同时,对于桥梁施工的质量与安全提出了更高的要求。柱式桥墩因其简洁的造型及成熟、便利的施工工艺而被广泛采用^[1-4]。对于以柱式桥墩盖梁为下部结构的双幅预应力混凝土连续箱梁桥,当存在施工材料运送不及时、施工队伍施工熟练程度不一样以及其他问题时,将导致桥梁左右幅的施工进度差异过大,从而对盖梁等下部结构产生影响,严重者甚至会削弱结构的强度与耐久性^[5-7]。由于四柱式桥墩盖梁是一种多次超静定结构,当左右幅施工进度存在差异时,可能会对结构产生不可预知的影响,因此对四柱式桥墩盖梁进行有限元计算分析具有重要意义。

国内外对柱式墩盖梁的有限元计算开展了一些研究。李杰^[8]采用优化刚架杆系模型计算,其内力计算结果与实际受力情况接近且建模简单;葛占钊等^[9]建立有限元简化模型与全桥空间模型,对盖梁内力计算结果进行对比分析,验证了盖梁简化模型计算方法的适用性;杨树萍等^[10]对比了传统计算模型、平面简化模型和全桥空间模型3种计算模型的计算结果表明:全桥空间模型是求解盖梁内力较好的方法,但建立模型较为繁琐,对于普通钢筋混凝土盖梁采用传统模型计算,对于预应力混凝土盖梁可采用平面简化模型计算;赵军等^[11]采用Midas对双柱式盖梁进行整体分析,分析盖梁高度、桥墩间距和桥墩高度对控制截面内力的影响;王步高^[12]通过有限元建立多柱式桥墩盖梁模型进行分析,结果表明:整体升降温和不均匀沉降对多柱式盖梁影响较大,选择合适的立柱根数有利于减小盖梁内力;农纪源等^[13]针对下部结构为柱式墩盖梁的桥梁半幅施工方案,建立Midas/Civil模型对比半幅施工与整幅施工内力情

投稿日期:2023-06-08(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51778068,52078058);湖南省自然科学基金创新研究群体项目(编号:2020JJ1006);湖南省教育厅自然科学研究重点项目(编号:21A0196)

作者简介:曾宪营,男,大学本科,高级工程师.E-mail:441428283@qq.com

***通信作者:**蒋田勇,男,博士,教授.E-mail:tianyongjiang@csust.edu.cn

况,验证了半幅施工的可行性;刘黎阳等^[14]分析了墩底横系梁和中横系梁对双柱式桥墩受力、刚度和整体性的影响;许梁等^[15]采用Midas/Civil建立中系梁参数变化模型,进行了动力特性分析、地震响应分析和屈曲分析,分析中系梁设置位置及参数对于结构内力影响;陈水生等^[16]对圆形柱式墩承载力进行计算,分析了墩身截面尺寸、截面配筋和墩柱高度等对圆形双柱式墩承载力的影响。目前,对于柱式墩盖梁受力分析的研究多是以双柱式墩盖梁为研究对象,而对于多柱式墩盖梁的研究较少。

四柱式桥墩作为超静定结构,温度荷载和位移荷载作用对其影响较为复杂,因此很有必要对此结构进行有限元计算分析。本文以某具体工程项目为背景,建立四柱式墩盖梁Midas/Civil杆系模型,分析在左右幅施工进度差异较大时,整体升降温以及墩柱不均匀沉降等因素对盖梁内力的影响。

1 工程背景

某湘江特大桥主桥为 $(67+3\times 110+67)$ m五跨预应力混凝土连续箱梁,主桥全长464 m,桥梁范围采用分幅设计,单幅桥宽12.75 m,两幅之间间距为50 cm。箱梁0[#]节段长12 m,每个悬浇“T”纵向对称划分为13个节段,梁段数及梁段长从根部至跨中分别为 8×3.5 m、 5×4.0 m,节段悬浇总长48 m。主桥主梁采用变截面预应力混凝土箱梁,桥墩25[#]~28[#]为主桥桥墩,采用墩身直径为3.4 m的柱式墩;基础采用桩径为3.6 m的钻孔灌注桩,共4根桩,从左到右依次编号为I号墩柱、II号墩柱、III号墩柱和IV号墩柱,主桥横断面图如图1所示,桥型布置图如图2所示。当左右幅施工进度存在差异时,左右幅墩柱弹性变形和墩柱沉降可能会出现差异,一旦差异过大,盖梁可能会产生剪切裂缝,从而影响桥梁使用寿命,因此针对左右幅施工进度差异较大的问题,采用有限元软件对四柱式桥墩盖梁进行计算,分析温度和不均匀沉降对盖梁受力的影响。

2 有限元计算

2.1 有限元模型

采用Midas/Civil建立柱式墩盖梁的杆系单元模

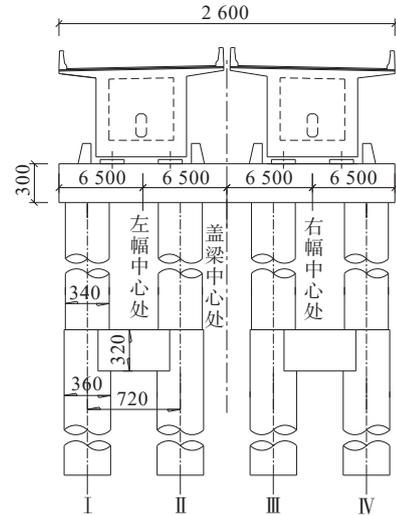


图1 主桥横断面图(单位:cm)

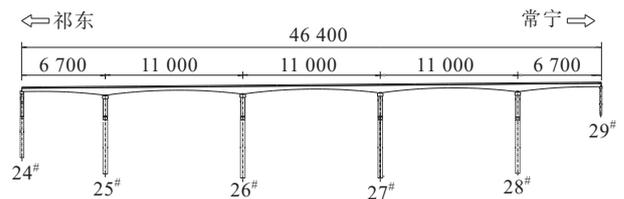


图2 某湘江特大桥梁型布置图(单位:cm)

型,全桥共有117个节点,110个单元,单元类型为普通梁单元,盖梁与立柱之间采用弹性连接中的刚性模拟,为简便计算,墩柱仅仅考虑土上部分,在墩柱底部采用全部固结的方式模拟边界条件。如图3所示。由于本文重点考虑箱梁左右幅施工进度存在差异,同时为了简化有限元模型的计算,分析时采用线荷载施加在临时锚固上的方式模拟箱梁重量,其中箱梁重量根据节段混凝土方量计算得到。按照左右幅在不同施工进度情况下对四柱式墩盖梁进行计算分析。盖梁及桥墩采用C40混凝土,系梁及桩基采用C30混凝土。

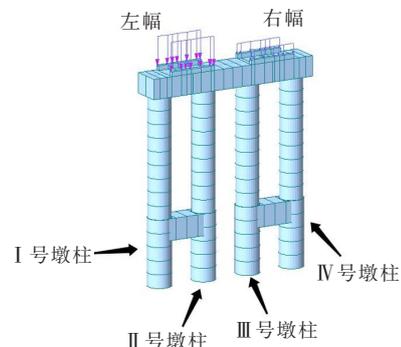


图3 四柱式桥墩的有限元模型

2.2 计算工况

计算工况包括不同左右幅重量比、不同整体升温降和不同不均匀沉降的情况。为对比不同施工进度对四柱式墩盖梁的影响,根据实际情况在左幅重量不变的情况下,通过改变右幅重量以达到改变左右幅重量比的目的,施加荷载的左右幅重量比为1.00、1.42、1.69、2.10和2.82,施加荷载情况如表1所示;对于可能出现的整体升降温影响,计算模型施加整体温升和温降的温度变化值均为5℃、10℃和20℃;为了研究不均匀沉降对四柱式墩盖梁的影响,同样在左右幅重量比为2.82的荷载作用下,对I号墩柱和II号墩柱底部施加1mm、3mm和5mm的基础沉降。

表1 不同左右幅重量比施加荷载

左/右幅	施工进度	线荷载/(kN·m ⁻¹)	左右幅重量比
左幅	6 [#] 块	1 803.12	1.00
右幅	6 [#] 块	1 803.12	
左幅	6 [#] 块	1 803.12	1.42
右幅	3 [#] 块	1 265.92	
左幅	6 [#] 块	1 803.12	1.69
右幅	2 [#] 块	1 068.21	
左幅	6 [#] 块	1 803.12	2.10
右幅	1 [#] 块	859.65	
左幅	6 [#] 块	1 803.12	2.82
右幅	0 [#] 块	639.32	

3 计算结果及分析

3.1 左右幅重量比影响分析

图4、5分别为不同左右幅重量比作用下盖梁弯矩结果墩底剪力结果。盖梁的左幅中心处、盖梁中心处和右幅中心处,分别距离盖梁左端6.5m、13m和19.5m,具体位置如图1所示。

从图4可以看出:左幅中心处的正弯矩随左右幅重量比增大而增大,当左右幅重量比从1.00增大到2.82时,左幅中心处弯矩近似线性增加,但增长幅度不大,约10%。右幅中心处弯矩随着左右幅重量比的增大而减小,且其减少的幅度较大,达到了73.2%,这主要是由于在不同左右幅重量比的情况下,左幅施加的荷载不变,从而左幅中心处的弯矩基本不变,而右幅施加的荷载逐渐减小,致使右幅中心的弯矩

也逐渐减少,当右幅荷载减少64.5%,左右幅重量比达到2.82时,其右幅弯矩减小了73.2%。另外,可以发现盖梁中心处为负弯矩,其数值相对较小,且随着右幅荷载的减小其负弯矩绝对值也逐渐变小。由此可见,随着右幅荷载的减小,左右幅重量比的增加,左幅中心和盖梁中心处的弯矩变化较小,而对右幅中心处的弯矩影响相对较大。

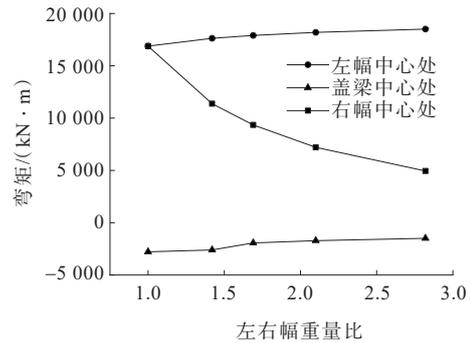


图4 不同左右幅重量比-盖梁弯矩结果

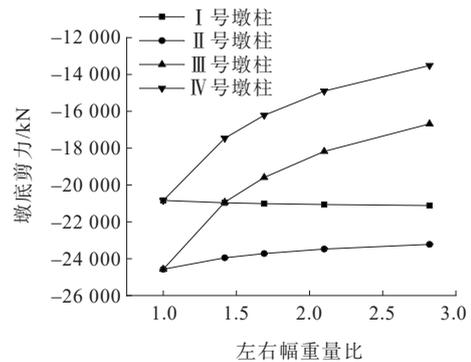


图5 不同左右幅重量比-墩底剪力结果

从图5中同样可以发现:随着右幅荷载的减小,左右幅重量比的增加,靠近左幅的I号墩柱和II号墩柱的墩底剪力变化很小,约在5%以内;而靠近右侧的III号墩柱和IV号墩柱的墩底剪力变化相对较大,当右幅重量减少64.5%,即其左右幅重量比从1.00增大到2.82时,III号墩柱和IV号墩柱的墩底剪力分别减小了32.1%和35.1%。综合上述分析,可知随左右幅重量比的增加,施工进度不同步程度的增加,靠近左幅中心处的四柱式墩盖梁内力影响较小,当左右幅重量比达到2.82时,其内力变化在10%左右;而靠近右幅中心处的四柱式墩盖梁内力影响相对较大,当左右幅重量比达到2.82时,其内力影响超过30%。

3.2 温度影响分析

为分析温度对于四柱式桥墩的影响,在左右幅重量比为2.82的基础上,整体单元温度改变±5℃、

±10℃和±20℃,对比不同整体温升温降情况下的四柱式桥墩盖梁内力,以此研究改变温度对于四柱式桥墩盖梁的内力影响,图6为不同整体温度影响下的盖梁弯矩结果,图7为不同整体温度影响下的墩底剪力结果。

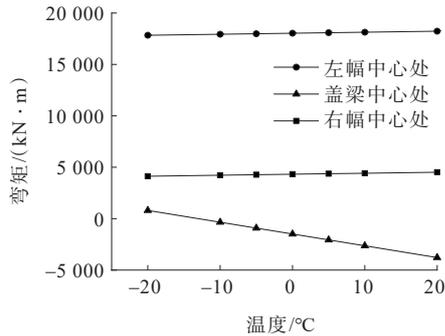


图6 不同整体温度影响下的盖梁弯矩结果

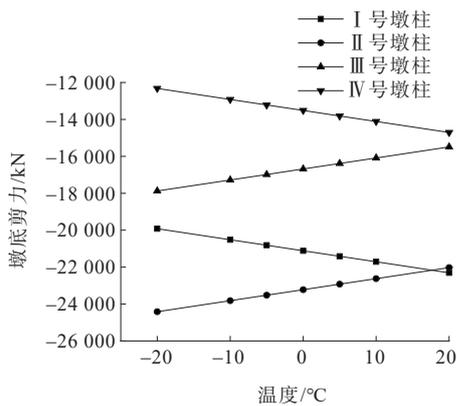


图7 不同整体温度影响下的墩底剪力结果

由图6可知:当整体温度从-20℃上升到20℃时,左幅中心处和右幅中心处的弯矩分别减小了2.2%和9.5%,可见整体温升温降对于盖梁左幅中心处和右幅中心处的内力影响不大;而盖梁中心处的弯矩变化相对较大,从802 kN·m减小到-4690 kN·m,这主要是由于混凝土温升而导致结构变形从而使盖梁中心处上部受拉。

从图7中可以发现:整体温度从-20℃上升到20℃时,I号墩柱和IV号墩柱的墩底剪力分别减小了12%和19.4%,II号墩柱和III号墩柱的墩底剪力分别增大了9.8%和13.3%,4个墩柱剪力变化值都是2386.2 kN,这主要是由于结构属于对称的超静定结构,在整体温度荷载作用下,其内力变化也是对称的。

3.3 不均匀沉降影响分析

在左右幅重量比为2.82的计算模型中,对左幅

两根立柱施加1 mm、3 mm和5 mm共3种情况的不均匀沉降值,对比分析不均匀沉降对于四柱式盖梁的内力影响,图8为不均匀沉降0、1 mm、3 mm和5 mm的盖梁弯矩图,其中墩柱位置分别距离盖梁左端2.2 m、9.4 m、16.6 m和23.8 m,如弯矩图中标注所示。

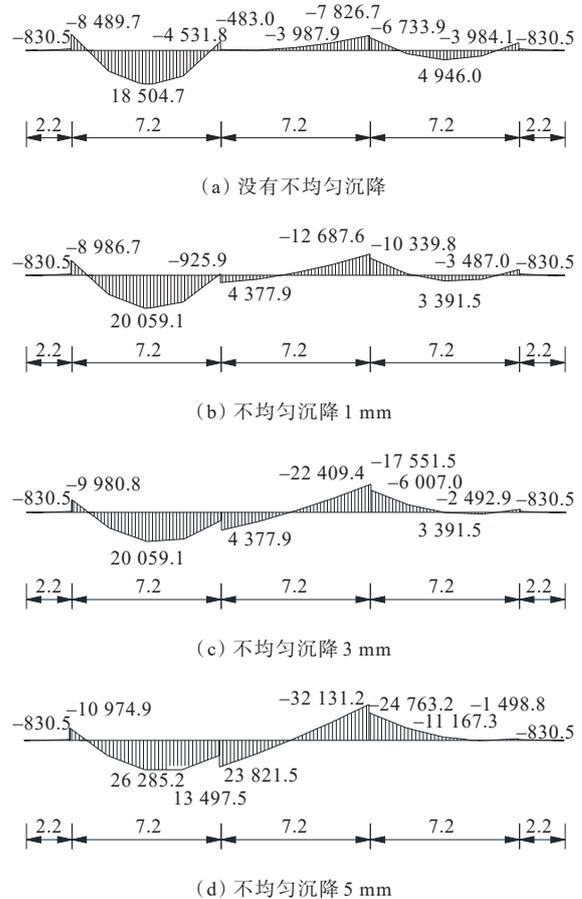


图8 盖梁弯矩图(尺寸单位:m;弯矩单位:kN·m)

由图8可知:相比于没有不均匀沉降的弯矩结果,随着左幅两个桥墩不均匀沉降的增加,左幅中心处盖梁弯矩也不断增加,当其不均匀沉降为5 mm时,左幅中心处正弯矩增大了42%;盖梁中间两墩柱位置处的盖梁弯矩显著增大,靠近II号墩柱位置处的盖梁弯矩从-483 kN·m增加到23821.5 kN·m,靠近III号墩柱位置处的盖梁负弯矩绝对值从7826.7 kN·m增加到32131.2 kN·m;右幅中心位置处的盖梁从正弯矩4946 kN·m减小到负弯矩,其绝对值为11167.3 kN·m。这主要是由于左幅两个桥墩不均匀沉降是采用位移荷载方式施加给I号墩柱和II号墩柱的墩底,导致盖梁左幅部位下部受拉,盖梁右幅部位上部受拉,盖梁内力的变化相对较大,特别是中

间Ⅱ号墩柱和Ⅲ号墩柱顶位置处的盖梁内力。

图9为不均匀沉降影响下各墩底剪力结果。

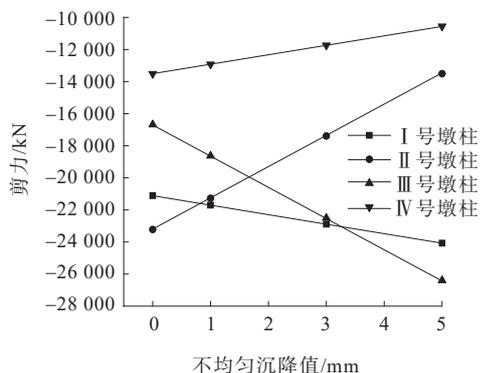


图9 不均匀沉降影响下墩底剪力结果

从图9中可以看出:随着不均匀沉降值的增大, I号墩柱和Ⅲ号墩柱的墩底剪力逐渐增大,而Ⅱ号墩柱和Ⅳ号墩柱的墩底剪力逐渐减小;当不均匀沉降为5 mm时, I号墩柱和Ⅲ号墩柱的墩底剪力分别增大了14%和58.2%,而Ⅱ号墩柱和Ⅳ号墩柱的墩底剪力分别减小了41.8%和22%。综合上述分析,可知不均匀沉降对于四柱式桥墩盖梁的内力影响较大,因此在同类桥梁施工时,建议左右幅的施工进度应尽量保持一致,同时对桥墩的沉降进行监测,避免不均匀沉降对结构造成损伤。

4 结论

本文以某湘江特大桥为工程背景,采用Midas/Civil建立了四柱式桥墩盖梁的杆系有限元模型,通过改变有限元模型的荷载参数,分析左右幅重量比、温度和不均匀沉降对于四柱式桥墩盖梁的内力影响,得到如下结论:

(1) 在左幅重量保持不变而左右幅重量比从1.00增大到2.82时,靠近左幅中心处的四柱式墩盖梁内力影响较小,当左右幅重量比达到2.82时,其内力变化在10%左右;而靠近右幅中心处的四柱式墩盖梁内力影响相对较大,当左右幅重量比达到2.82时,其内力影响超过了30%。

(2) 当整体温度从 -20°C 上升到 20°C 时,左幅中心处和右幅中心处的弯矩分别减小了2.2%和9.5%,盖梁中心处的弯矩会从 $802\text{ kN}\cdot\text{m}$ 减小到

$-4690\text{ kN}\cdot\text{m}$; I号墩柱和Ⅳ号墩柱的墩底剪力分别减小了12%和19.4%,Ⅱ号墩柱和Ⅲ号墩柱的墩底剪力分别增大了9.8%和13.3%。

(3) 不均匀沉降会使发生墩柱沉降位置处盖梁下部受拉,其相邻不发生墩柱沉降位置处盖梁上部受拉,导致不均匀沉降对于盖梁内力影响较大,实际工程中应密切关注桥墩的不均匀沉降。

参考文献:

- [1] 胡东,胡免缙.柱式桥墩盖梁内力计算方法探讨[J].重庆交通学院学报,2006,25(3):9-12.
- [2] 吴新印,胡方健,刘兆丰.预制装配式超高性能混凝土(UHPC)桥梁盖梁施工工艺研究[J].中外公路,2022,42(2):138-141.
- [3] 陈伟胜.农新路高架桥预制拼接盖梁设计[J].中外公路,2018,38(2):134-137.
- [4] 冯淑珍.预应力混凝土盖梁开裂原因分析及加固方案研究[J].中外公路,2021,41(4):116-118.
- [5] 葛继平,梅德磊,闫兴非,等.预制拼装盖梁施工方式对比分析[J].应用技术学报,2018,18(1):56-62.
- [6] 黄本才,黄宇辰,张松.剪力键对预制拼装盖梁受力特性的影响研究[J].中外公路,2020,40(4):192-197.
- [7] 董学涛.装配式盖梁及桥墩力学性能数值分析研究[D].杭州:浙江大学,2022.
- [8] 李杰.双柱式桥墩盖梁内力计算模型探讨[J].中外公路,2011,31(6):180-182.
- [9] 葛占钊,胡国海,张耀元,等.桥梁柱式盖梁内力分析的有限元方法[J].公路,2008,53(1):79-83.
- [10] 杨树萍,纪秋吉,朱东.关于盖梁计算模型的探讨[J].工程与建设,2011,25(1):50-51,79.
- [11] 赵军,向中富,蒋彧.双柱式墩盖梁内力影响因素分析及预应力束布置[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2012,31(1):15-18.
- [12] 王步高.多柱式桥墩盖梁内力影响因素分析[J].广东土木与建筑,2018,25(4):69-71.
- [13] 农纪源,莫利君.广西三江波里一桥半幅施工方案内力分析[J].西部交通科技,2011(5):86-89.
- [14] 刘黎阳,马健.双柱框架式桥墩横系梁的合理布置方式研究[J].中外公路,2014,34(4):153-157.
- [15] 许梁,邹黎琼,平晓文.中系梁对双柱式桥墩受力性能影响研究[J].中外公路,2021,41(2):180-184.
- [16] 陈水生,盛伟兵.基于Midas/Civil圆形双柱式墩结构承载能力影响因素分析[J].中外公路,2013,33(5):89-93.