

考虑桩基弹性影响及桩土作用的桥墩、索塔受力分析

吴艳霞

(湖南省湘西公路桥梁建设有限公司, 湖南 吉首 416007)

摘要: 桥梁建模时常忽略桩基的弹性影响及桩土作用, 采取墩台底部固结的处理方式进行边界处理。为研究桩基模拟方式对墩台、索塔的影响, 文中利用桥梁有限元分析软件 MIDAS/Civil 分别建立墩底固结、考虑桩基弹性影响及桩土作用模拟桩基的两类模型, 分析桩基模拟方式对结构位移及应力的影响。结果表明, 忽略桩基, 采取墩台底部固结方式模拟的误差较大, 应根据实际工程需要, 考虑建立桩基模型进行分析。

关键词: 桥梁; 桥墩; 索塔; 桩土作用; 桩基

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)02-0100-03

在桥梁结构建模计算仿真中, 桩基础的模拟方式会很大程度上影响墩台底部的约束刚度, 进而影响上部结构的应力与位移结果, 对下部结构尤其是桥墩、索塔的验算产生不可忽视的影响。而桩土相互作用的模拟属于固体力学中不同介质的接触问题, 表现为材料非线性(砼、土为非线性材料)、接触非线性(桩土接触面在复杂受荷条件下有粘结、滑移、张开、闭合 4 种形态)等, 是典型的非线性问题。目前桩土作用的研究方法主要有理论分析法(经典理论分析法和数值分析法)及试验方法, 随着计算机技术的发展, 计算机处理非线性问题的能力得到提高, 以有限元分析为主的数值分析法逐渐成为桩土作用分析的有效方法。桩土作用效应由桩、土间相对运动所致, 在精确建模仿真中需考虑桩周围地基土的影响。有限元分析中采用实体单元精确模拟土层的方法较复杂, 且存在接触面不能完全反映桩土间相互作用、材料本构难以同时体现土的各类特性、计算容量有限及求解耗时较长等问题, 故常采取简化措施, 采用固嵌法、 m 值法、等代模拟法及分层土模拟法。目前在桥梁整体有限元仿真中常忽略桩基的弹性影响及桩土作用, 采取墩台底部固结的方式进行处理, 与实际结构不尽相符, 仿真结果存在一定偏差。为比对是否建立桩模型及考虑桩土作用对桥墩、索塔受力的影响, 该文以圆柱墩、悬索桥索塔为例, 对桩基采用不同模拟方法进行有限元分析。

1 工程背景

1.1 圆柱墩

某公路特大桥引桥 4[#] 墩柱设计数量为 2 根, 直

径 1.3 m, 高 8.400 m, 采用 C30 砼浇筑; 基础采用直径 1.5 m 钻孔灌注桩, 按端承桩设计, 桩身穿过黏土层, 基底位于中风化泥质砂岩中, 桩长 30 m, 采用 C30 水下砼灌注。

1.2 索塔

某悬索桥塔柱为门式框架结构, 塔柱采用钢筋砼结构, 上下横梁采用预应力砼结构; 索塔基础采用桩基加承台形式, 单个承台平面尺寸为 20 m × 20 m, 高 7 m。每个承台下布置 9 根直径 3.5 m 桩基础, 呈行列式布置, 按嵌岩桩设计, 桩身穿过灰岩层, 基底位于中风化灰岩中, 桩长 30 m, 采用 C30 水下砼灌注。

考虑到下横梁距离地面高度不超过 100 m, 索塔处地质状况较好, 且对下塔柱截面尺寸进行了加大, 取消承台间的横系梁。

2 圆柱墩模拟计算分析

2.1 模型建立

采用桥梁分析软件 MIDAS/Civil 建立模型, 采用两类模型分析桩基模拟方式对结构受力的影响: 模型 I 仅包括盖梁及圆柱墩, 忽略桩土作用及桩基弹性影响, 墩底固结[见图 1(a)]; 模型 II 考虑桩土作用及桩基弹性影响, 建立 30 m 长桩基础, 桩身划分节点和单元, 在实际土层对应的节点处加经 m 法计算得到的土弹簧, 桩底固结, m 取其取值范围的中间值[见图 1(b)]。两类模型墩顶考虑上部结构作用, 以节点荷载模拟上部结构对盖梁的作用, 其竖向力为 -910.00 kN(向下), 水平力为 -47.01 kN(顺桥向)。

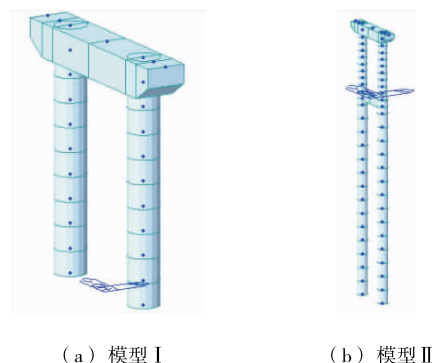


图 1 圆柱墩模拟计算模型

2.2 圆柱墩分析结果

两类模型的应力、位移计算结果见图 2、图 3。因主要研究桩基模拟方式对桥墩受力的影响,仅给出桥墩及盖梁的计算结果。

由图 2 和图 3 可知:1) 圆柱墩模型 I、II 所得应力结果十分接近,其相同位置单元应力最大差值仅 0.05 MPa。2) 两类模型顺桥向位移结果差距较大,模型 I 中墩顶位移为 -3.756 mm,桩顶因采用约束所有自由度的方式模拟,位移为零;模型 II 中墩顶盖梁处位移为 -10.732 mm,桩顶地系梁处位移为 -1.926 mm。实际结构中在承受上部结构作用时桩、墩整体参与受力,且地基土对桩产生作用,桩顶若采用固结的边界条件处理则与实际不符,且不建立桩基模型忽略了桩基弹性影响,无法考虑桩土

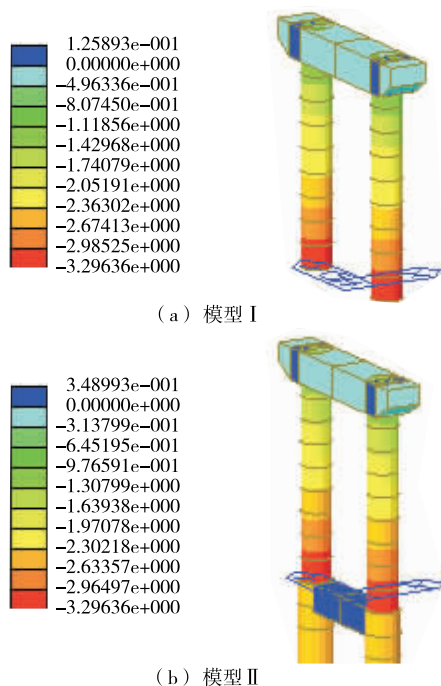


图 2 圆柱墩模型 I、II 组合应力云图(单位:MPa)

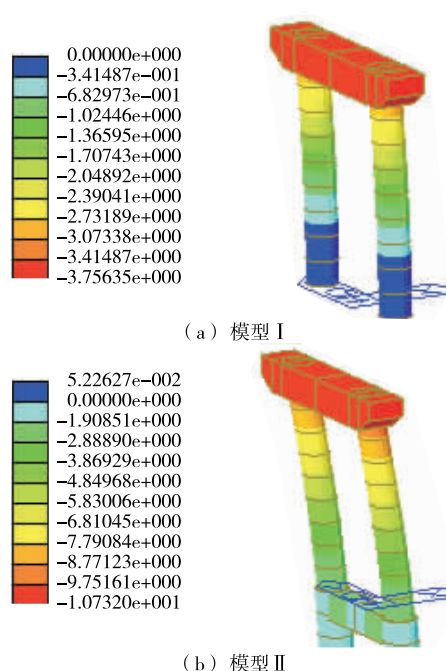


图 3 圆柱墩模型 I、II 顺桥向位移云图(单位:mm)

相互作用。对比两类模型的位移数据,在承受竖直及水平荷载作用时,与模型 II(考虑桩基弹性影响及桩土作用)相比,模型 I(不考虑桩基弹性影响及桩土作用)荷载方向的位移误差较大。

3 索塔模拟计算分析

3.1 模型建立

采用 MIDAS/Civil 建模,考虑 2.1 节中的两类情况,分别建立图 4 所示模型 III(承台底部固结)及模型 IV(考虑桩土作用及桩基弹性影响)。考虑施工阶段对索塔受力的影响,全塔共划分为 39 个节段,其施工顺序见表 1。

3.2 索塔分析结果

两类模型最终状态应力相差较小。但在施工过程中,节段浇筑、预应力张拉、横梁浇筑、主动横撑、

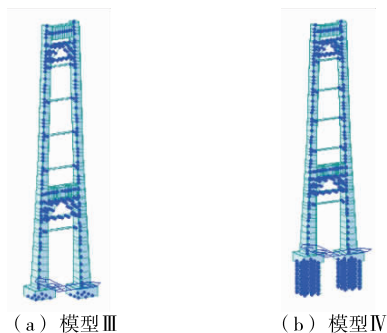


图 4 索塔模拟计算模型

表1 索塔施工阶段划分

施工节段	施工内容
0	基础施工完成
1~12	1~12号节段施工完成
13~16	设置第一道主动横撑
17~25	13~21号节段施工完成
26~29	设置第二道主动横撑
30	下横梁支架架设完成
31~35	22~26号节段施工完成
36~39	设置第三道主动横撑
40~43	27~30号节段施工完成
44~48	31号节段、下横梁施工完成
49~52	设置第四道主动横撑
53~57	32~36号节段施工完成
58~61	设置第五道主动横撑
62~64	37~39号节段施工完成
65~70	上横梁施工完成
71	支架拆除

支架设置及拆除均会对塔柱受力产生一定影响,在考虑施工过程的情况下,对承台底面转角、塔柱底面外侧应力和下横梁下侧应力进行分析。

3.2.1 承台底面转角

模型Ⅲ、Ⅳ计算所得索塔承台底面转角见图5。

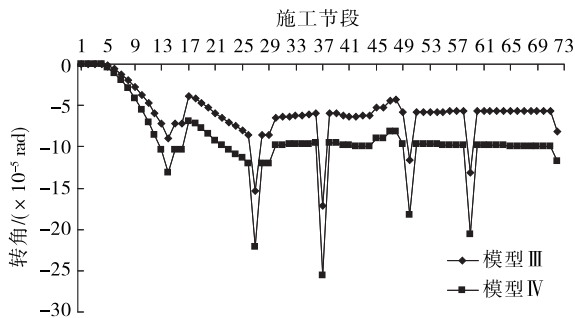


图5 索塔承台底面转角变化曲线(逆时针方向为负)

由图5可知:考虑桩基弹性影响的模型Ⅳ所得各施工阶段转角均大于不考虑桩基弹性影响的模型Ⅲ,且随着施工节段号的增大,差值逐渐增大,最大差值为 $4.30 \times 10^{-5} \text{ rad}$ 。在某些情况下,若需考虑实际工程中承台底面转角对后续施工工序的影响,则应以建立桩基并考虑桩土作用的模型仿真结果作为参考,避免采用仅将承台底部固结的处理方式,以更精确地分析承台底部变位。

3.2.2 塔柱底面外侧应力

模型Ⅲ、Ⅳ计算所得塔柱底面外侧应力见图6。

由图6可知:模型Ⅲ、Ⅳ所得塔柱底面外侧应力十分接近,但随着施工节段号的增大,应力差值逐渐

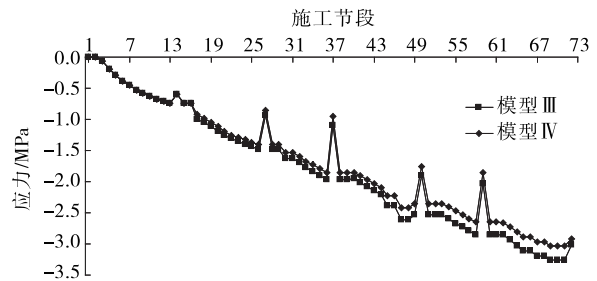


图6 索塔塔柱底面外侧应力变化曲线(压应力为负)

增大,在最终阶段又趋于一致,应力最大差值为0.23 MPa。两类模型应力变化趋势相同,在施工、监控过程中,以建立桩基并考虑桩土作用的方式模拟,其应力较小。在某些情况下,若应力状态位于规范规定的安全状态临界点,模型Ⅳ更接近实际受力状态且应力较小,以该模型计算结果作为参考,可避免某些多余的临时构件,从而节约材料和器械,降低成本,缩短工期。

3.2.3 下横梁下侧应力

模型Ⅲ、Ⅳ计算所得索塔下横梁下侧应力见图7(横坐标仅从下横梁浇筑完成的施工节段开始)。

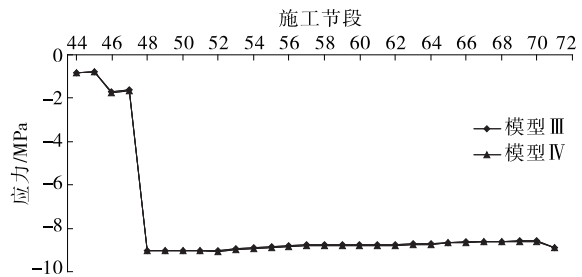


图7 索塔下横梁下侧应力变化曲线(压应力为负)

由图7可知:索塔下横梁应力对桩基模拟方式并不敏感,模型Ⅲ、Ⅳ所得应力差值很小,最大差值仅0.03 MPa。

4 结论

(1) 对于圆柱墩,墩底采用固结方式处理,其在承受竖向荷载、水平荷载的情况下,应力与建立墩柱及桩基础并考虑桩土作用的模型一致,相差甚微。但墩顶及桩顶水平位移相差较大,在墩顶承受较大水平力的桥梁建模分析中应注意这种情况,在下部结构中对桩基础进行模拟,并考虑桩土作用及桩的弹性影响。

(2) 对于考虑施工阶段的索塔,墩底采用固结方式处理,与建立桩基础并考虑桩土作用的索塔模
(下转第105页)

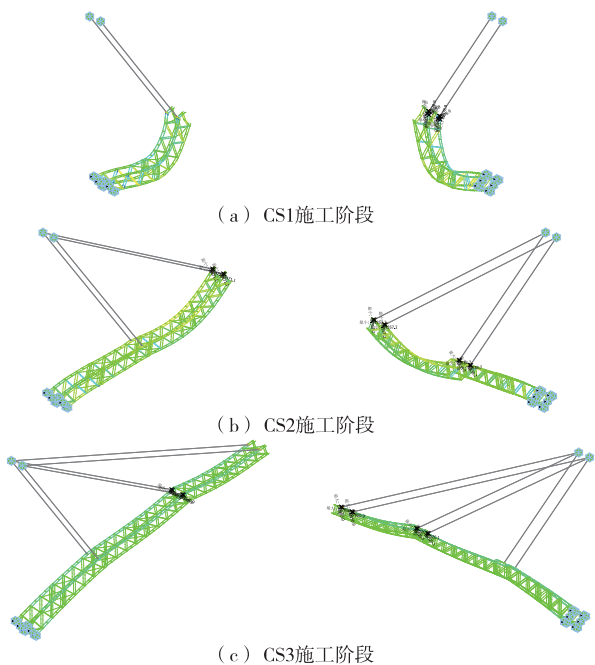


图 6 拱肋各施工阶段的应力云图

表 4 解除扣索后成拱与一次成拱线形的应力及其误差 MPa

位置	应力		误差
	解除扣索后成拱线形	一次成拱线形	
1# 拱肋端头	15.5	15.0	-0.5
2# 拱肋端头	21.7	23.8	2.1
3# 拱肋端头	29.9	33.4	3.5
4# 拱肋端头	30.1	34.1	4.0
5# 拱肋端头	22.8	23.7	0.9
6# 拱肋端头	12.4	16.1	3.7

由图 6 可知:CS1 施工阶段 1[#]、6[#] 拱肋的最大应力为 17.4 MPa,CS2 施工阶段 2[#]、5[#] 拱肋的最大应力为 28.7 MPa,CS3 施工阶段 3[#]、5[#] 拱肋的最大应力为 34.0 MPa,均满足施工控制要求。

由表 4 可知:通过正装计算得到的解除扣索后拱肋成拱线形与拱肋一次成拱线形的应力的最大误差为 4.0 MPa。

4 结语

采用有限元软件中未知荷载系数法的索力调整功能进行扣索索力初步调节,再根据调节过程中的位移范围作进一步调整,不需试算,可高精度、高效率地对索力进行调整。在拱肋斜拉扣挂法施工中,不管是索力计算还是线形控制,该方法都非常方便,且计算精度高。

参考文献:

[1] 刘智慧,喻光勇,乔文庭.大跨度钢管混凝土拱桥拱肋吊装施工索力计算方法探讨[J].北方交通,2013(10).
[2] 于永生,胡展飞.基于未知荷载系数法的斜拉桥索力计算与优化[J].山东交通科技,2016(4).
[3] 翁雅谷,邱国阳,赵长军,等.大跨钢管混凝土拱桥合理成拱线形方法研究[J].钢结构,2016,31(11).
[4] 蒋陈陈.无背索斜拉桥成桥索力优化研究[D].西安:长安大学,2012.
[5] 陈俊城.悬臂现浇拱桥施工索力优化研究[D].成都:西南交通大学,2014.

收稿日期:2018-09-19

(上接第 102 页)

型相比,其承台底面转角较小,塔底外侧应力较大,在高精度设计、施工、监控中应考虑该情况,对桩基础进行模拟,以得到各施工阶段更精确的应力分布情况,准确指导设计、施工、监控,使结构施工过程更精确,并节约成本,缩短工期。

(3) 索塔模型中,两类处理方式下下横梁下侧应力相差甚微,即下横梁应力对桩基模拟方式并不敏感,在针对下横梁的计算、复核中,可不建立相应桩基础模型,同样可达到相应精度要求。

(4) 对于结构最终状态,圆柱墩与索塔两类模型应力相差甚微,若不考虑施工过程的影响,可不建立桩基础模型;若考虑施工过程,则应建立考虑桩土作用的整体模型。

参考文献:

[1] 陈亮田.MIDAS 桥梁计算中桩基模拟方法的探讨[J].山东工业技术,2015(7).
[2] JTG D63-2007,公路桥涵地基与基础设计规范[S].
[3] JTG D62-2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[4] 崔旻.连续刚构桥梁桩基模拟的六弹簧法研究[J].铁道勘测与设计,2017(4).
[5] 方许文,干岳良,李瑞杰,等.不同结构形式桩基在数值模拟中的概化方法研究[J].水道港口,2017,38(4).
[6] 戈讯,赵其华,薛秋池.水平受荷桩桩土作用相互作用研究[J].水利与建筑工程学报,2018,16(1).

收稿日期:2018-05-30