

应用 ANSYS 软件分析提篮拱桥锚下局部应力

孙九春¹, 朱 艳², 吴 冲³, 顾 娟¹

(1. 腾达建设集团股份有限公司, 上海 200122; 2. 盐城市公路管理处, 江苏盐城 224001;

3. 同济大学桥梁工程系, 上海 200092)

摘 要:考虑锚垫板、喇叭套管、螺旋钢筋与锚固区混凝土的相互作用和混凝土非线性特性的影响, 采用通用有限元 ANSYS 软件分析了双提篮系杆拱桥临时系杆拉力作用下锚固区局部应力。

关键词:拱桥; 材料非线性; 接触非线性; 局部应力; 锚固; ANSYS 软件

中图分类号:U448.225 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)01-0039-04

1 概述

赵家沟大桥是浦兴路与轨道交通 6 号线跨越赵家沟的合建桥梁, 主桥采用一孔计算跨径为 $L=88\text{ m}$ 的下承式钢筋混凝土简支四幅系杆双提篮拱桥(图 1)。主桥施工采用先拱后梁、先横梁后纵梁的方案, 为平衡施工过程中产生的水平推力设置了临时系杆, 受布置空间限制, 系杆锚具没有采用配套产品, 锚杯及夹片由厂家供应, 锚座自制。在施工期间临时系杆拉力作用下, 拱梁结合区域特别是临时系杆锚固区域出现应力集中, 受力复杂。本文综合考虑线弹性、材料非线性、接触非线性等多个模型, 采用通用有限元 ANSYS 对最不利荷载工况下临时系杆锚固区的应力分布进行了分析研究。

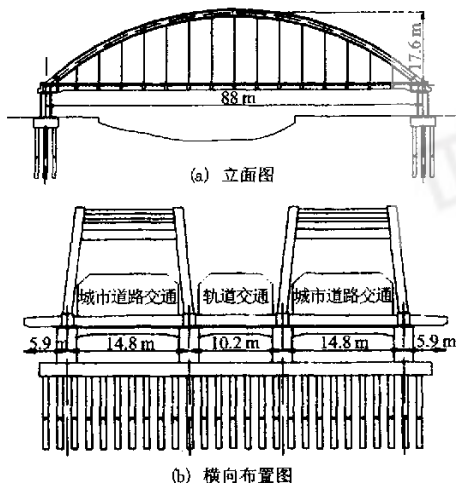


图 1 桥梁总体图

2 分析思路

首先采用空间杆系模型对拱桥的整体受力进行计算分析, 得到最不利工况下拱脚处拱肋、系杆、端横梁的内力及支座反力。然后, 根据圣维南原理, 取出拱梁结合处由端横梁、拱肋、系杆组成的局部三维实体模型, 将该最不利工况下空间杆系模型计算得到的内力和位移作为局部模型切开处的外力和位移边界条件, 计算分析锚固区的局部应力分布情况。

3 模型特点与 ANSYS 解决方案

(1) 在压力与拱脚扭矩作用下较厚的锚垫板可能与混凝土滑动和分离, 有限元模型应考虑这种接触状态。ANSYS 支持三种接触方式: 点一点, 点一面, 面一面。锚垫板与混凝土间有 5 个面接触, 可采用面一面接触方式模拟。面一面接触由“目标面”和“接触面”组成, 该模型中“目标面”为钢板接触表面, 采用 Target170 单元模拟; “接触面”为混凝土接触表面, 采用 Contal173 单元模拟。

(2) 空间曲面的拱肋、单箱双室的端横梁以及锚垫板与喇叭套管使得锚固区域几何形状非常复杂, 必须选取合适的单元。ANSYS 提供的三维块单元—solid187 单元, 非常适合模拟不规则的几何形状, 该单元为高阶 10 节点四面体单元。经划分, 所有单元完全符合有限元计算模型的要求。

(3) 由于拱肋单元坐标系与整体坐标系不一致, 同时每个构件切开点有六个节点力分量, 等效荷载特别是弯矩、扭矩的施加非常麻烦, 容易出错。在模型中引入杆单元, 将截面切开处的弯矩、轴力、剪力等节点荷载作为等效荷载直接施加在杆单元的节点上, 由杆单元将等效荷载传递至实体单元, 从而使建模简单化。而在梁单元与实体单元连接应引入约

束条件,使该截面满足平截面变形假定。

(4) 在较大应力作用下锚固区部分混凝土可能进入塑性,ANSYS 支持通用的屈服准则——Von-Mises 屈服准则和同心强化与随动强化两种强化准则。通过自定义多线性应力—应变变曲线,运用多线性随动强化(MKIN)和多线性等向强化(MISO)模拟强化效应,对锚垫板下的混凝土进行弹塑性分析。

局部模型如图2所示,临时系杆拉力作为表面压力施加在锚垫板上;永久支座荷载采用等效分布力模拟,抗倾覆柱与系杆的接触荷载,采用表面压力荷载模拟;重力采用施加加速度的方式模拟。所有作用在局部构件上的力应当是平衡的,为了保证计算,对模型中局部点的移动位移进行约束。

为了分析锚垫板、喇叭套管、螺旋筋以及非线性对局部应力的影响,考虑以下五种计算模型:模型一:线弹性材料,锚垫板、喇叭管与混凝土粘结牢靠,单元边界处共同变形;模型二:线弹性材料,锚垫板、喇叭管与混凝土在接触面处可能发生滑移,即考虑非线性接触模式;模型三:锚固区混凝土采用多线性等向强化(MISO)准则,其它同模型一;模型四:锚固区混凝土采用多线性等向强化(MISO)准则,其它同模型二;模型五:锚固区混凝土采用多线性随动强化(MKIN)准则,其它同模型二。

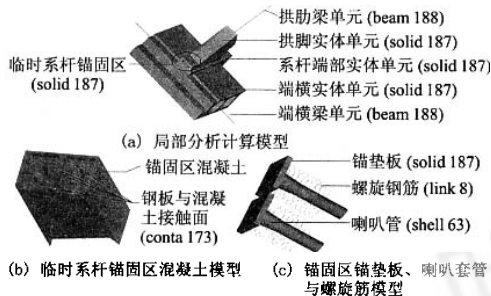


图2 临时系杆锚固区计算模型

4 计算结果分析

一般情况下混凝土强度应采用三轴强度准则判断,但是考虑到工程领域普遍采用单轴强度准则进行判断,三轴强度准则应用较少,因此本文也采用单轴强度作为判断准则,根据规范^[2],结构分析可采用混凝土单轴抗拉、抗压强度的统计平均值(f_{tm} 、 f_{cm}),C60混凝土 $f_{cm}=46.1$ MPa, $f_{tm}=3.41$ MPa。锚具可采用 Von-Mises 强度准则进行判断,钢材强度采用 210 MPa。

4.1 弹性材料模型结果分析

对于模型一,混凝土应力分布比较均匀,超过抗拉强度的主应力 σ_1 分布比较集中,分布区域较少,主应力 σ_3 均在混凝土的抗压强度以内;对于模型二,由于扭转和接触摩擦作用,混凝土的应力分布较为复杂,主应力 σ_1 超过抗拉强度的区域分布广、面积大,同时局部区域主应力 σ_3 值较大,达到 56.1 MPa,远超过混凝土抗压强度。锚垫板及喇叭管的应力满足强度要求(图3、图4)。

4.2 弹塑性模型结果分析

弹塑性计算结果与弹性计算相比,应力分布基本一致,主应力 σ_1 略有变小,而主应力 σ_3 则大幅度降低,并且 σ_3 的极值也在混凝土抗压强度以内,从而满足抗压极限强度要求。另外从图5~7中可以发现主拉应力及主压应力较大的值基本上位于混凝土的表面,其内部应力均满足强度要求。同时从图6(f)可知,锚垫板下部分混凝土由于应力过大而进入塑性,但没有形成连续滑移面。钢材在上述各种模式下 Von-Mises 应力均满足强度要求,锚具满足安全性要求。

5 不同简化模型结果比较

从图6(d)与图6(e)可知,锚垫板特别是锚垫板四周与混凝土发生了滑移,导致了混凝土应力分布更为复杂,出现了较高的应力集中值。由于提篮拱拱脚扭矩的存在,使得锚垫板与其接触的混凝土表面存在绕锚具中心转动的趋势,由接触分析可以发现,与不考虑摩擦相比,应力分布模式有很大不同,应力集中更加明显。另外通过线弹性与弹塑性分析比较可知,混凝土进入塑性后由于应力重分布大大降低了应力峰值,但塑性区域主要位于锚垫板下表面附近,塑性深度不大。锚固区下面的系杆混凝土也出现了范围较大拉应力,局部甚至超过了抗拉强度限值。考虑与不考虑接触两种建模方式求得的应力分布模式相差较大,后者计算结果偏大。以上分析可见,除应力集中区域外,应力满足设计要求,但是考虑到应力集中区域较小且主要位于混凝土表面,只要采取适当的措施,这些应力并不会导致结构的破坏。

6 在局部应力分析中 ANSYS 软件应用总结

本文综合应用梁单元、二力杆单元、壳单元、实体单元、面—面接触单元等多种类型单元,同时应用了考虑混凝土不同材料特性的材料非线性与考虑摩擦接触的接触非线性,显示了 ANSYS 软件强大的

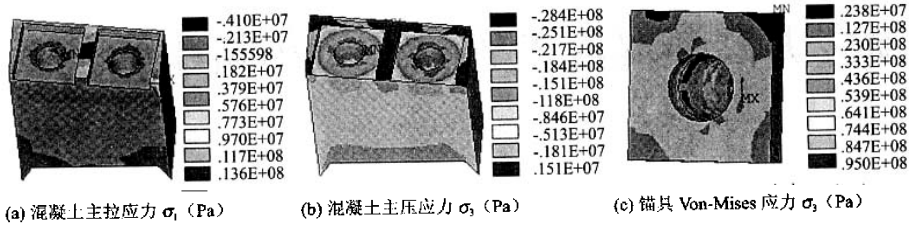


图 3 模型一:锚垫板、喇叭管与混凝土边界处共同变形

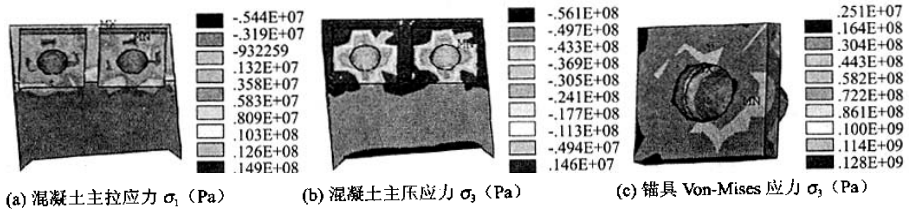


图 4 模型二:锚垫板、喇叭管与混凝土之间为面-面接触

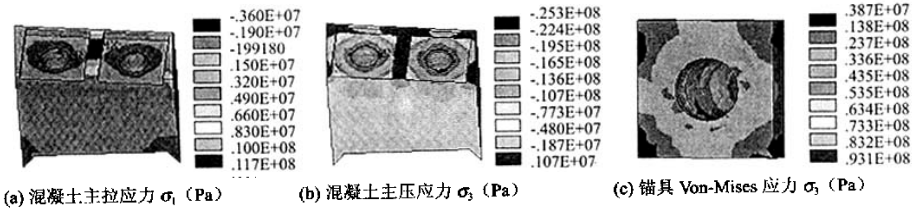


图 5 模型三:多线性同心强化准则、锚垫板、喇叭与混凝土边界处共同变形

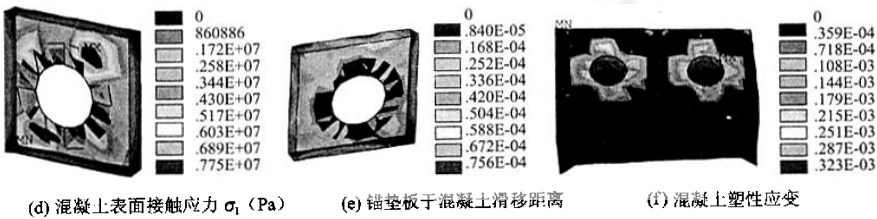
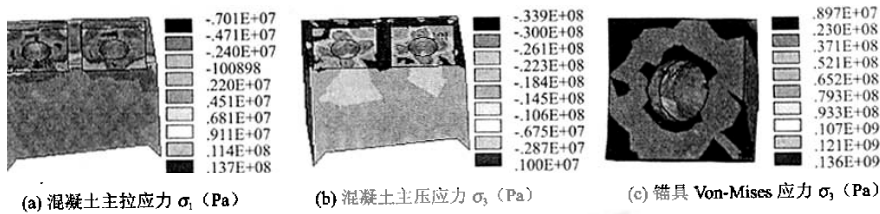


图 6 模型四:多线性同心强化准则、锚垫板、喇叭与混凝土之间为面-面接触

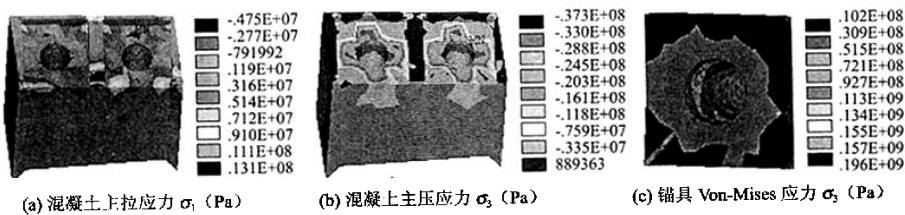


图 7 模型五:多线性随动强化(MKN)弹塑性、非线性接触模型结果分析

建模与分析功能。但是 ANSYS 软件在进行混凝土局部应力分析时也存在以下问题需要解决:

(1)ANSYS 软件作为通用有限元软件,对于钢筋混凝土结构的模拟,其功能上仍显得不足,特别是

预应力高强混凝土管桩在中小桥中的应用

农绍斯

(广州市公路勘察设计院有限公司, 广东广州 510500)

摘 要: 预应力高强混凝土管桩(简称 PHC 桩), 是在近代高性能混凝土(HPC)和预应力技术的基础上发展起来的混凝土预制构件, 它是建设部科技成果重点推广项目。PHC 桩在国内外发展迅速, 已广泛应用于工业与民用建筑、港口码头、水利及部分桥梁建设中。鉴于 PHC 桩在中、小桥中的应用少有报道, 以 PHC 桩在广州市东二环黄埔大桥南岸施工便道上四座中桥中的设计及应用为例, 简单介绍 PHC 桩在中、小桥基础中的应用。实践证明, PHC 桩以其经济、实用、环保、适用面广、方便施工等特点, 将有广阔的应用前景。

关键词: 基础工程; 预应力高强混凝土管桩(PHC); 设计; 施工; 质量控制; 广州市

中图分类号: TU473.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)01-0042-03

0 前言

高强预应力混凝土管桩(简称 PHC)是由专业厂家大批量电脑自动化生产, 采用先张法预应力掺加磨细料、高效减水剂等先进工艺, 将混凝土经离心脱水密实成型和在常压、高压两次蒸汽养护而制成的一种细长的空心圆筒体等截面预制混凝土构件, 运往施工现场后, 通过锤击或静压的方法沉入地下作为建(构)筑物的基础。PHC 管桩具有强度高、抗弯性能强的特点, 其贯穿能力强, 适用于沉入粘性及砂性土中作为摩擦桩, 也可以贯入强风化岩层作端承桩。这是一种新型的基桩, 由于它的卓越性能, 得到了建筑界人士的青睐, 在国外发展迅速, 我国港澳地区、日本及东南亚各国使用都很广泛。我国内地在 20 世纪 80 年代开始研制生产 PHC 桩, 到现在已有生产厂近百家, 一年产量超过一千万米, 广泛应用于工业与民用建筑、桥梁、港口码头、水利工程等, 在国家建设中发挥了愈来愈大的作用。

PHC 管桩在中、小桥应用前景广阔, 现以 PHC

桩在广州市东二环黄埔大桥南岸施工便道上四座中桥中的应用为例, 对该桩的设计、施工技术及其质量控制作一探讨, 希望 PHC 桩在中、小桥桩基础中的应用得到更广泛的推广, 为社会创造良好的经济效益。

1 工程概况

广州市东二环是广州市环城高速重点工程项目之一, 东二环黄埔大桥南岸施工便道既是东二环黄埔大桥的辅助工程, 又作为当地居民主要出行道路永久保留。施工便道上有四座中桥(Ⅲ号桥桥型图见图 1), 设计荷载: 公路—I 级, 桥幅宽为 7.5 m, 上部均为预制空心板, 下部基桩设计时, 进行了钻孔灌注桩与 PHC 桩的方案比较, 业主最后决定采用小直径 PHC 管桩, 管径为 $\Phi 500$ mm, 单桩容许承载力设计值在 800~1 600 kN 之间。

2 工程地质分析

该项目所在位置地势平缓, 主要是耕植地。地质情况大致为: 地面下 0~18.1 m 为软土层(淤泥、淤泥质土层), 地面下 23~33.8 m 为全风化至强风化混合岩, 地面下 33.8~41.30 m 为弱风化至微风化混合岩。根据地质情况, 该项目桩基均按摩擦桩

收稿日期: 2005-03-28

作者简介: 农绍斯(1975-), 男, 广西南宁人, 助理工程师, 从事道路桥梁工程设计。

所提供的弹塑性材料特性不能很好地模拟混凝土性能。(2)ANSYS 软件中的 solid65 单元只能应用于六面体单元, 而对于该工程的四面体单元则无能为力。(3)考虑摩擦接触的非线性计算结果除与材料本身的摩擦系数有关外, 还与软件自身设置的各类参数值有关, 如法向接触刚度、切向接触刚度、穿透容差等参数, 分析过程中需要不断地调整上述参数

的取值, 参数取值不好甚至能导致结果不收敛。

参考文献

- [1] 过镇海. 混凝土的强度与本构关系——原理与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [2] 中华人民共和国国家标准. 混凝土结构设计规范 GB 50010-2003[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.