



基于 ANSYS 的沉箱吊孔应力接触分析

李声文, 郭士勇

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 重力式码头或直立护岸施工中, 沉箱吊运安装是一种常见的施工工艺。通过 ANSYS 有限元软件建立吊孔及起重销三维模型, 设置合理的接触对和边界条件, 利用其接触分析功能对某直立护岸工程的沉箱吊孔应力进行分析。得到了吊运过程中吊孔附近的应力分布规律, 并提出了吊孔局部受压净面积的计算方法, 可为其它类似工程提供参考。

关键词: ANSYS; 接触分析; 吊孔; 局部受压净面积

中图分类号: U 655.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0062-05

Caisson hoisting hole stress contact analysis based on ANSYS

LI Sheng-wen, GUO Shi-yong

(CCCC Fourth Harbor Engineering Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Caisson lifting installation is a common construction technology for the construction of gravity wharf or upright revetment. This paper builds a 3-D model of hanging hole and lifting pin by the finite element analysis software ANSYS, sets up reasonable contact pairs and boundary conditions, and carries out a stress analysis of caisson lifting holes of a vertical revetment engineering due to the contact analysis function of ANSYS. The stress distribution in the process of lifting was obtained, and the calculation method of local pressure net area of lifting holes was proposed, which can provide a reference for similar projects.

Keywords: ANSYS; contact analysis ; lifting holes; local pressure net area

在实际工程中, 许多结构表现出一种与状态相关的非线性行为, 接触问题就是其中的一种^[1]。当两个分离的表面相互碰触并互切时, 就称它们处于接触状态^[2]。港口工程中具有大量的接触问题, 如船体系靠泊过程中船体与护舷的接触, 门机移动时车轮与轨道的接触等。接触是一种高度的状态非线性行为, 由于接触区域的未知性加之接触面之间的摩擦, 求解收敛往往比较困难。ANSYS通过建立在接触面上的接触单元与接触物体连接, 建立接触系统整体平衡方程, 可以很好地解决接触问题。ANSYS 支持 3 种接触方式, 即点-点, 点-面, 面-面。每种接触方式使用不同的接触单元, 并适用于某一特定类型的接触问题^[3]。

本文基于实际工程, 采用 ANSYS 10.0 分析某直立护岸工程沉箱的吊孔应力。通过分析计算结果, 对 JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》中的吊孔局部受压净面积 A_{in} 提出了较为可靠的计算方法。

1 工程概况

某国内直立护岸工程, 采用重力式沉箱结构。护岸总长 1 148 m, 分为 3 段, 采用的沉箱共有 3 种类型, 沉箱单个质量分别为 486、453、173 t。为了使各个吊点受力均匀, 沉箱前后壁各设置两个吊孔, 吊孔直径 200 mm (内衬壁厚 30 mm、内径 200 mm 的钢套筒), 吊孔距沉箱顶部 3.0 m。

收稿日期: 2014-03-17

作者简介: 李声文 (1987—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事港口工程结构设计工作。

为了满足吊孔上部混凝土局部受压强度要求, 对吊孔配置吊筋, 每个吊孔配 3 根直径 32 mm 的圆钢, 吊筋上部再布设直径 12 mm 的钢筋网片 8 层。沉箱起吊时, 采用直径 160 mm 的钢棒作为起重销, 每个起重销内外两头采用两根无接头直径 60 mm 的钢丝绳与上部的吊架连接。吊架的平面尺寸与沉箱平面尺寸一致, 以保证起重销两端受力大小相等且方向垂直向上, 不使起重销在吊运过程中产生纵向位移。由于所有类型的沉箱吊孔尺寸均一致, 仅在受力上有所差异。本文采用 486 t 的沉箱进行吊孔应力分析, 该沉箱立面及吊孔大样如图 1 和图 2 所示。

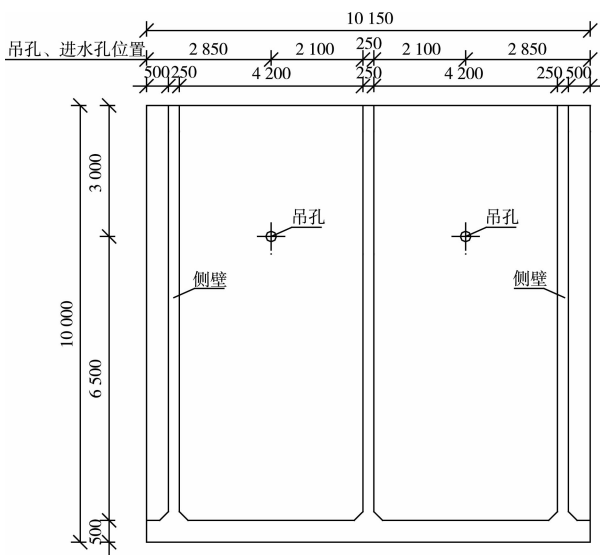


图 1 沉箱立面

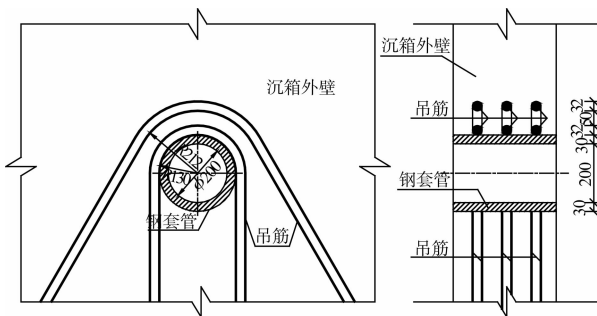


图 2 吊孔大样

2 有限元模型的建立

2.1 ANSYS 接触分析

ANSYS 中的接触问题可以分为两种基本类型, 刚体和柔体的接触以及柔体和柔体的接触。前者

中的刚体一般比与之接触的柔体刚度大很多 (如金属成型、弹性小球撞击地面等), 在计算过程中不考虑其变形。后者则是一种较为普遍的接触问题, 在计算中, 两个接触体均会产生变形。

ANSYS 支持 3 种接触方式, 即点-点, 点-面, 面-面。每种接触方式使用不同的接触单元, 并适用于某一特定类型的接触问题。本文计算的起重销和钢套筒的接触问题, 属于较为典型的面-面接触问题, 采用 CONTA174 (接触单元) 和 TARGE170 (目标单元) 组成接触对进行分析计算。面-面接触分析的步骤如下^[4]: 1) 建立结构有限元模型; 2) 定义适合的接触单元与目标单元; 3) 指定接触面和目标面; 4) 在接触面和目标面上分别加上接触单元和目标单元; 5) 设置接触单元和目标单元的关键字和共用实常数; 6) 定义接触面的运动; 7) 定义边界条件; 8) 定义求解选项和荷载步; 9) 求解并查看结果。

2.2 有限元模型的建立及接触对定义

ANSYS 的建模方式有自底向上和自顶向下两种, 本文采用自顶向下的方式先建立一半的模型, 待网格划分完成后, 再通过对称复制的方式, 建立完整的有限元模型。考虑到吊孔附近将出现应力集中, 对吊孔外周 4 倍孔径范围内的区域网格细化, 其余区域的网格先对平面采用 mesh200 单元进行映射划分, 再通过扫掠生成实体单元。为节省计算资源、加快求解速度, 划分沉箱外壁时, 将网格从内向外的尺寸逐渐变大。沉箱外壁及吊孔的有限元模型如图 3 和 4 所示。

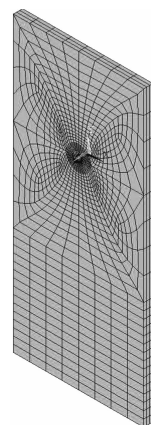


图 3 沉箱吊孔计算有限元模型

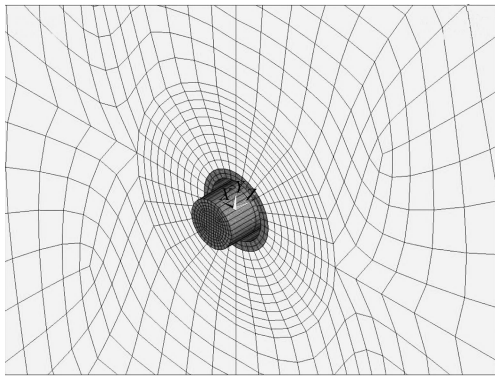


图4 吊孔附近区域有限元模型

模型中所有单元均为 SOLID186 实体单元，通过修改单元属性来区分混凝土和钢材。接触单元是覆盖在分析模型接触面之上的一层单元，本文采用 ESURF 法线已有的网格边界分别生成接触单元和目标单元，分别在起重销位于孔内部分的外表面生成接触单元 CONTA174，在吊孔内壁生成目标单元 TARGE170。接触单元与目标单元的外法线方向必须相对，否则计算将无法收敛。在生成接触单元和目标单元后，应单独显示进行检查。对于 3D 实体单元，程序可以自动识别接触计算所需的外法向，模型的接触单元见图 5 和 6。

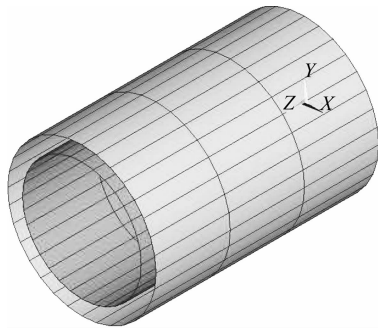


图5 接触单元与目标单元

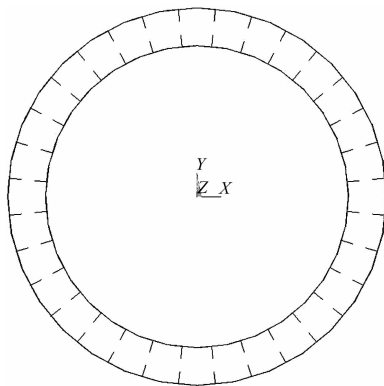


图6 接触单元与目标单元外法线方向

图 5 中，内圈为接触单元，外圈为目标单元。从图 6 中可以发现，两者的外法线方向指向相对，说明接触对的设置无误，可以求得收敛解。

2.3 求解设置及边界条件

接触单元和目标单元之间通过共享实常数相关联，因此在计算前，需对两者指定相同的实常数，此处将二者的初始 FKN （法向接触刚度系数）和 $FTOLN$ （侵入容差系数）分别设置为 0.05 和 0.01。为了防止因起重销在间隙内产生刚体位移而难以收敛，再通过 KEYOPT 命令将接触单元的 $ICONT$ （初始闭合系数）设置为自动闭合空隙^[5]。

沉箱外壁的边界条件设置为上边自由其余 3 边固结，起重销两端各施加一个大小相等、竖直向上的拉力。为控制起重销在纵向的位移，在其中心沿纵轴方向施加一个单点约束。

ANSYS 中提供了 5 种接触算法：罚函数法、多点约束法、拉格朗日乘子法、混合算法（法向用拉格朗日法，切向用罚函数法）以及扩展拉格朗日法。本文采用扩展拉格朗日法进行分析计算，它在迭代开始时采用罚函数法使接触刚度达到协调，然后检查侵入容差，如超出，则修正接触刚度（接触力与拉格朗日乘子之积）继续迭代，直到满足侵入容差为止。

3 结果分析

在经过 24 次迭代计算后，程序显示计算完成，从图 7 可以看出计算收敛性完好，结果可信。

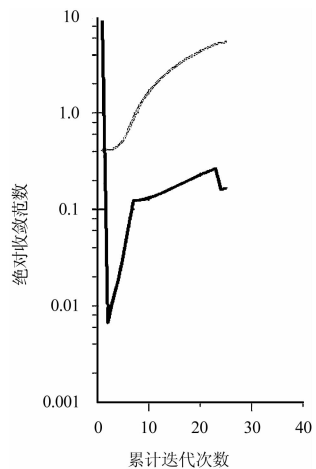


图7 迭代过程收敛情况 (Time = 1)

不考虑施加集中荷载引起的应力集中, 图 8 表明起重销的等效应力密度集中区为下腹区。图 9 的位移云图显示, 起重销在吊运中, 两端相对中间有微小的向上位移, 即起重销的下腹区受拉。

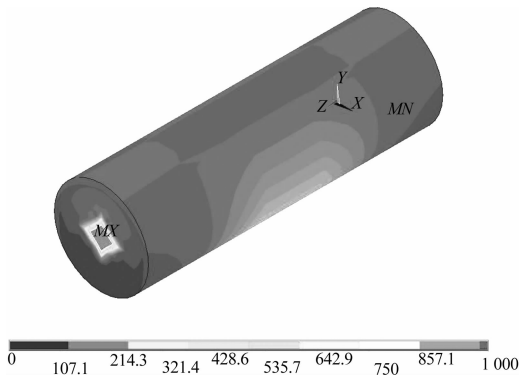


图 8 起重销等效应力 (单位: MPa)

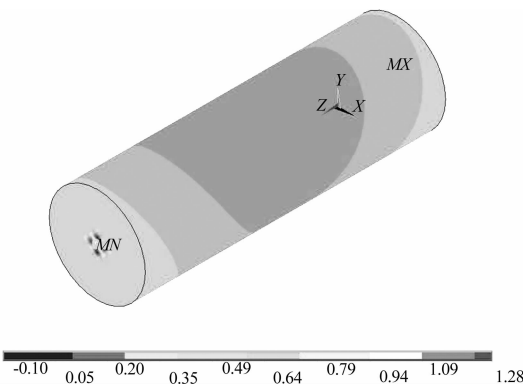


图 9 起重销竖向位移 (单位: mm)

图 10 的吊孔变形 (幅度放大 100 倍) 表明, 在吊运中, 钢套管及孔顶的部分混凝土被压缩呈椭圆形。图 11 的竖向位移云图表明, 由于吊孔受到挤压, 孔径扩张, 吊孔的四周均受到了不同程度的挤压, 其位移量也是在接触点处达到最大, 并向四周呈椭圆状扩散。图 12 的等效应力云图表明, 在接触点附近为应力集中区, 并向上向两侧呈椭圆状扩散。图 13 的竖向应力云图中, 可以明显看到沉箱外壁的受拉区和受压区。

按照 JTS 151—2011 《水运工程混凝土结构设计规范》第 8.14.1.1 条^[6]: 吊孔局部最大压应力不应大于混凝土的局部承压强度设计值。混凝土的局部承压强度设计值可取 1.25 倍轴心抗压强度设计值。沉箱外壁采用的是 C40 混凝土, 其轴心

抗压强度设计值为 19.1 MPa, 其轴心抗拉强度设计值为 1.71 MPa。由此计算得到局部承压强度设计值为 23.88 MPa 对计算结果提取 Y 向应力大于 23.88 MPa 区域显示为图 14, 提取 Y 向应力大于 1.71 MPa 区域显示为图 15。该结果表明, 对沉箱吊孔附近进行配筋时, 除了应按照规定在吊孔上部设置吊筋和钢筋网片外, 在吊孔的两侧以及下方一定区域范围内, 也应该设置钢筋网片以增强周围混凝土的抗裂能力。

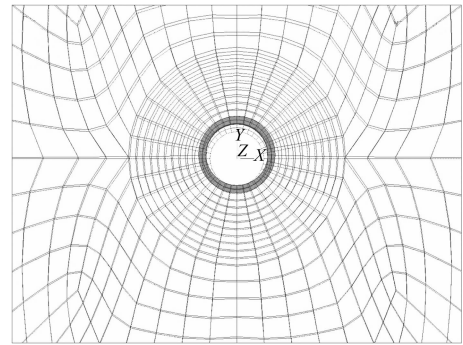


图 10 吊孔变形 (最大为 0.315 mm)

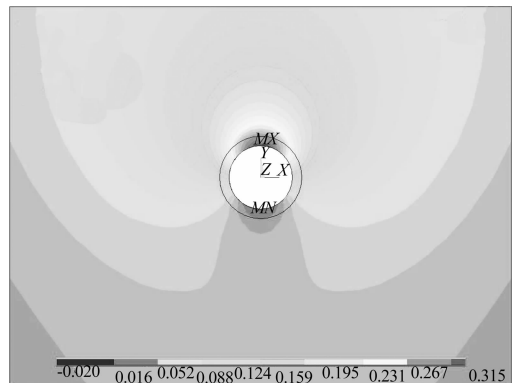


图 11 吊孔竖向位移 (单位: mm)

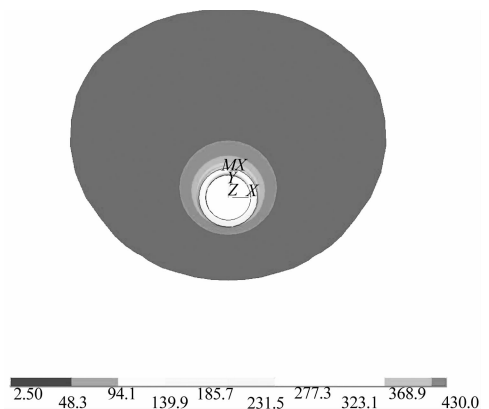


图 12 吊孔等效应力 (单位: MPa)

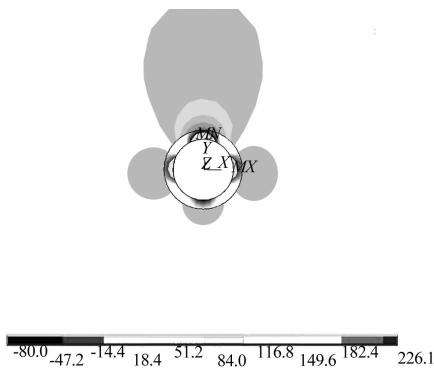


图 13 吊孔竖向应力 (单位: MPa)

度。如果按照半个圆周的长度计算吊孔的局部受压承载力, 将偏于危险。

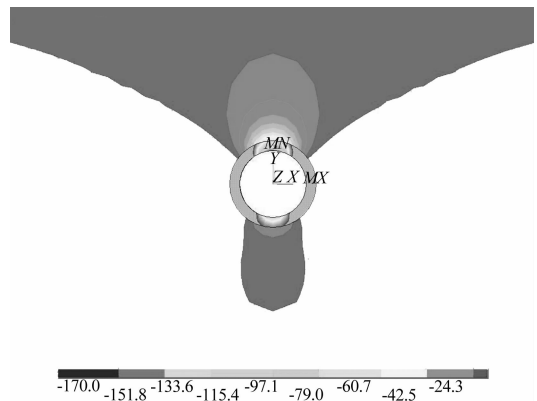


图 16 吊孔周围压应力分布 (单位: MPa)

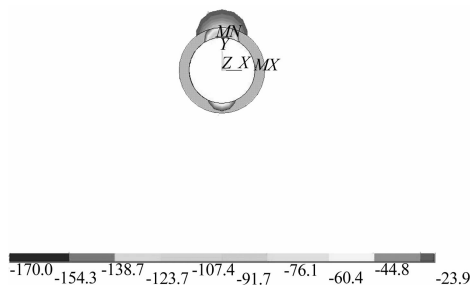


图 14 竖向压应力大于混凝土局部承压强度区域 (单位: MPa)

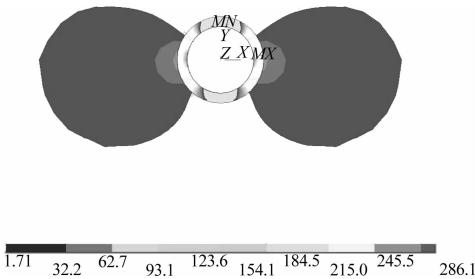


图 15 竖向拉应力大于混凝土抗拉强度区域 (单位: MPa)

5 结论

1) 沉箱吊运过程中, 在吊孔的上方将产生一定范围的应力集中, 其最大应力已经远远超出了混凝土的承压能力, 通过设置钢套管来防止吊孔周围的混凝土在吊运中被压坏很有必要。

2) 按照现行 JTS 151—2011 《水运工程混凝土结构设计规范》^[6], 吊孔上方的局部受压范围内必须配置相应的间接钢筋。从本文的计算结果可以看出, 吊孔两侧的受拉区域范围内也应该适当增加配筋, 以防止混凝土被拉裂。

3) 在计算吊孔局部受压承载能力时, 吊孔局部受压净面积不宜取半个吊孔的圆周进行计算, 应取吊孔内壁圆周的 1/3 长度进行计算。

4 吊孔局部受压净面积估计

根据《水运工程混凝土结构设计规范》第 5.8.3 条^[6]: 配置方格网式或螺旋式间接钢筋时, 局部受压承载力应符合下列规定。当核心面积 $A_{cor} \geq A_1$ 时, 局部受压承载力应按下式计算:

$$F_{lu} = 0.9(\beta_c \beta_{fc} + 2\alpha \rho_v \beta_{cor} f_y) A_{ln} \quad (1)$$

式中: A_{ln} 为混凝土局部受压净面积。对于设置钢套管的吊孔, 在工程计算中, 一般认为吊孔的上半个圆周均处于受压状态。本文对计算结果提取吊孔周围混凝土受压区域如图 16, 由图 16 可知, 实际混凝土的受压面积远没有达到半个圆周的宽度, 其受压范围大致为 1/3 个吊孔内壁圆周的长

参考文献:

- [1] 刘相新, 孟宪颐. ANSYS 基础与应用教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [2] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [3] 王新敏, 李义强, 许宏伟. ANSYS 结构分析单元与应用[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [4] 钱俊梅, 江晓红, 仲小冬, 等. 浅谈基于 ANSYS 软件的接触分析问题[J]. 煤矿机械, 2006(7): 62-64.
- [5] 王先军, 周文字, 蒋鑫. ANSYS 在模拟桩土接触中的应用[J]. 森林工程, 2006(3): 49-51.
- [6] JTS 151—2011 水运工程混凝土结构设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)