

# 检具底座变形量 CAE 分析研究<sup>\*</sup>

□ 蔡世民 □ 侯文彬 □ 胡平 □ 付争春

**摘要:** 为避免高精度检具在运输过程中变形损坏,通常将其固定在一个刚度很大的底座上。以一种规格的底座为例,采用 UG NX 软件的 Modeling 建模模块和 Advanced simulation 分析模块(NX Nastran 求解器),针对检具底座分别处于平放和起吊两种工况,对其最大变形量进行了计算,包括模型简化、单元划分、边界条件的施加等。再对 CAE 计算结果进行分析,指出了造成底座变形量过大的原因,并提出改进建议。

**关键词:** 检具底座 变形量 结构强度计算 有限元  
**中图分类号:** TG8 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4998(2006)07-0067-03

检具的精度主要靠刚度较大的底座来保证,通常底座均采用较大惯性矩的方管经焊接而成,对于使用不同规格的管件制成的底座,进行变形量的研究开展得较少。本文以一种规格的检具底座为例,采用 CAE 分析方法,应用集成在 UG NX 软件中的 NX Nastran 求解器,对其在平放以及起吊工况下的最大变形量进行了计算,并分析了造成检具底座变形量过大的原因,提出一种切实可行的改进方案。该检具底座实体模型如图1所示(在底座上用螺栓固定4根起吊杆)。检具底座所用材料牌号为 Q235-A 型碳素结构钢,屈服极限为 235 MPa,抗拉强度极限为 375 ~ 500 MPa(GB/T 700-1988)。

## 1 实体模型及模型的简化处理

由于检具底座是由多根方钢管经焊接而成的框架结构,并且所用方钢管的规格只有2种,即基层钢管规格为 60 mm × 40 mm × 3 mm,二层、三层钢管规格为 30 mm × 30 mm × 2.5 mm。因此,在进行有限元分析时,考虑使用 1D 梁单元进行模拟,可以在保证计算精度的条件下,使分析过程得到简化。

为了采用 1D 梁单元进行有限元分析,需要对实体模型进行简化。主要是将每一根方形钢,沿其几何中心处简化成一条线,简化时需要注意,在实体模型中的方形钢焊接处,要保证简化线是几何相交的,这样便生成一个由简化线组成的框架结构。简化过程在 UG NX 软件上进行<sup>[2]</sup>。

## 2 有限元分析前处理

<sup>\*</sup> 国家杰出青年基金资助项目(编号:10125208)  
国家自然科学基金重点资助项目(编号:19832020)  
国家汽车电子产业化重大专项(编号:2004-2563)

前处理阶段是进行有限元分析模拟模型的准备阶段。模型包括节点、单元、材料属性、实常数、边界条件以及其它用来表现这个物理系统的特征。前处理过程在 UG NX 软件的 Advanced Simulation 模块上进行。

本次分析主要包括以下几个步骤:

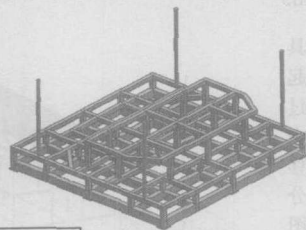
①生成网格点(mesh point) 在简化模型中所有简化线的交叉处(即实体模型中的焊接处)以及施加边界条件处,都要在简化线上首先生成网格点,以便在划分单元时此处自动生成单元节点。

②划分单元 对每一根简化线生成 1D 梁单元,单元数 417,节点数 334。

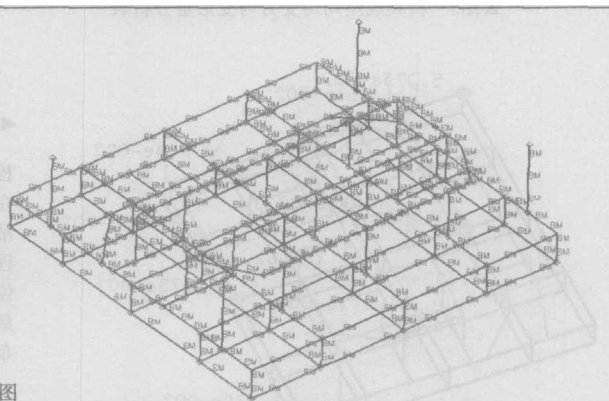
③赋予梁截面属性 分别生成 60 mm × 40 mm × 3 mm 和 30 mm × 30 mm × 2.5 mm 2种规格截面,并赋给相应的 1D 梁单元,此时需要注意截面方向向量的选取。

④赋予材料属性 在材料库中选取相应的材料,赋给所有网格<sup>[3-6]</sup>。

本次分析需要分几种工况,每种工况的边界条件的施加方法在后面分别介绍;由于检具是由密度较小的树脂材料制成,因此分析时忽略其重量影响。划分完网格的模型见图2。



▲图1 检具底座模型图



▲图2 检具底座有限元分析单元模型图

由于检具是高精度部件(底座最大变形量小于0.02mm),在运输以及起吊过程中要求轻拿轻放,因此在分析时,要考虑运输以及起吊过程中附加加速度对它的影响。

### 3 计算过程及结果分析

使用UG NX软件的Advanced Simulation分析模块中的NX Nastran求解器进行求解计算。

(1)检具平放在地面上 边界条件的施加:模型施加重力载荷;约束的施加方式仅保证底座不发生刚体位移即可。

计算结果分析如下:

①位移分析 最大位移(3个方向的位移分量叠加)发生在起吊杆的上顶端,位移量为 $9.092 \times 10^{-3}$  mm,这是各节点位移量叠加的结果,底座部分的位移量最大值为 $6.44 \times 10^{-3}$  mm。

②应力分析 Von Mises最大应力发生在一层与二层方管之间的中心的支撑方管上,应力值为0.3462 MPa。

③结论 检具平放在地面上时,其底座的最大位移量0.00644 mm,小于底座允许最大变形量0.02 mm,所以此时检具是安全的。

④检具底座均匀受力与变形量分析 由于检具是由一些钢管支撑在底座上的,而且钢管的朝向各异。针对这一情况,进行了沿着钢管的朝向均匀加力,研究底

座的变形量。通过分析得到,当所有载荷同时加至90 N时(即所有支撑钢管均加力90 N),底座的最大位移量达到0.02 mm,而且载荷与位移量基本呈线性关系(如图3所示)。

(2)检具在起吊过程中

①分析方案一 边界条件的施加:模型施加重力载荷和模拟45°起吊时的情况,在起吊杆的顶端施加与吊绳同向的载荷,载荷大小根据检具底座总重256 kg换算得到;约束的施加方式如图4所示。

计算结果分析如下:

1)位移分析 最大位移(3个方向的位移分量叠加)发生在起吊杆的上顶端,位移量为10.09 mm,这是由于起吊杆比较长(600 mm),相当于悬臂梁,而且是45°起吊,相当于在悬臂梁的顶端施加一个力和一个力矩,当施加力矩时,梁的最大挠度的计算如式(1)所示。当施加垂直于梁的力时,梁的最大挠度的计算如式(2)所示<sup>[7]</sup>。可见挠度分别与梁的长度的二次方和三次方成正比,因此起吊杆的挠度很大。

$$f_b = -m^2 / (2EI) \quad (1)$$

$$f_b = -Pl^3 / (3EI) \quad (2)$$

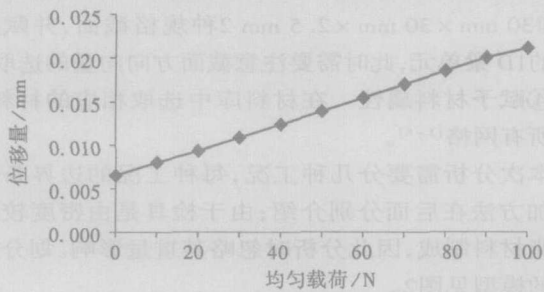
式中  $f_b$ ——悬臂梁的挠度,m

$m$ ——力矩,Nm

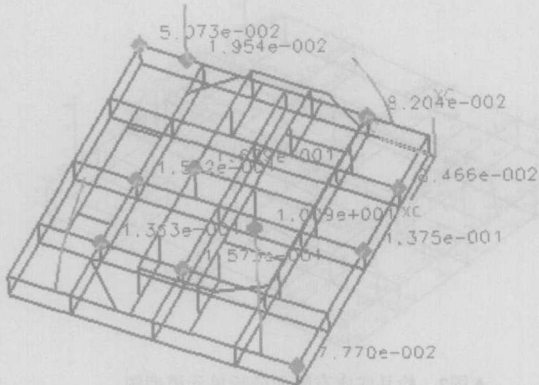
$l$ ——梁的长度,m

$E$ ——梁的杨氏模量,GPa

$P$ ——力,N

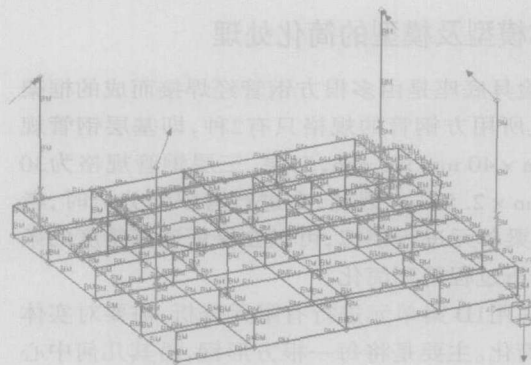


▲图3 检具底座均匀受力与变形量分析表



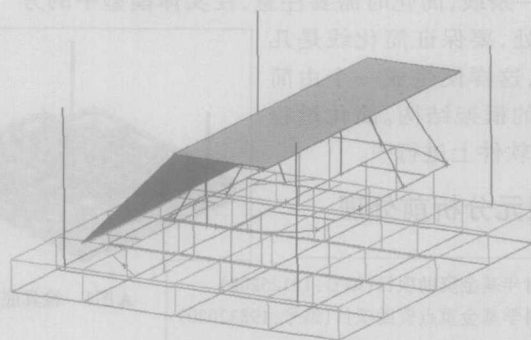
◀图5

检具在起吊过程中位移量分布图



◀图4

检具在起吊过程中边界条件施加方式



◀图6

分析方案二简化模型图

$I$ ——梁截面的惯性矩,  $m^4$

底座部分的位移量最大处位于底座中央,其值为 0.168 mm,垂直方向的位移量为 -0.163 mm(向上为正),其余一些点的位移量如图5所示。

2) 应力分析 Von Mises 最大应力发生在二层方管上,应力为 7.194 MPa,该点不是检具支撑钢管的焊接点。

②分析方案二 由于底座的刚度最终是要保证在其上方的检具变形很小,因此本次分析尝试直接计算检具在其底座吊起的情况下的变形量。首先建立了用于进行此项分析的简化模型,用一个面模拟检具,它用一些与实际情况相近的杆支撑着(由于杆的数量及位置沿底座对称轴是对称的,因此只创建一半杆用于分析),如图6所示。

边界条件的施加与方案一相同。

计算结果分析如下:

位移分析 这11个杆的顶端垂直位移量在 0.11424 ~ 0.1615 mm 之间,水平位移量均为 0(这是由于底座有一个对称轴,并且焊接用于支撑检具的铁柱是对称的缘故),如图7所示。这11根杆的相对位移在 0.0133 ~ 0.04726 mm 之间。

③改进方案建议 通过以上分析得知,在吊起时造成底座较大变形的最主要原因是吊杆较长且没有中间支撑,类似悬臂梁结构。根据材料力学理论,起吊杆会给底座施加很大的弯矩,从而加剧底座的变形。为消除附加弯矩对底座的作用,建议在起吊杆的顶端用4根杆连接起来(分析时该杆截面尺寸同起吊杆,用  $\phi 30$  圆钢),从而使底座的受力状态得到很大改善,还可以避免在运输过程中检具受到意外损坏。

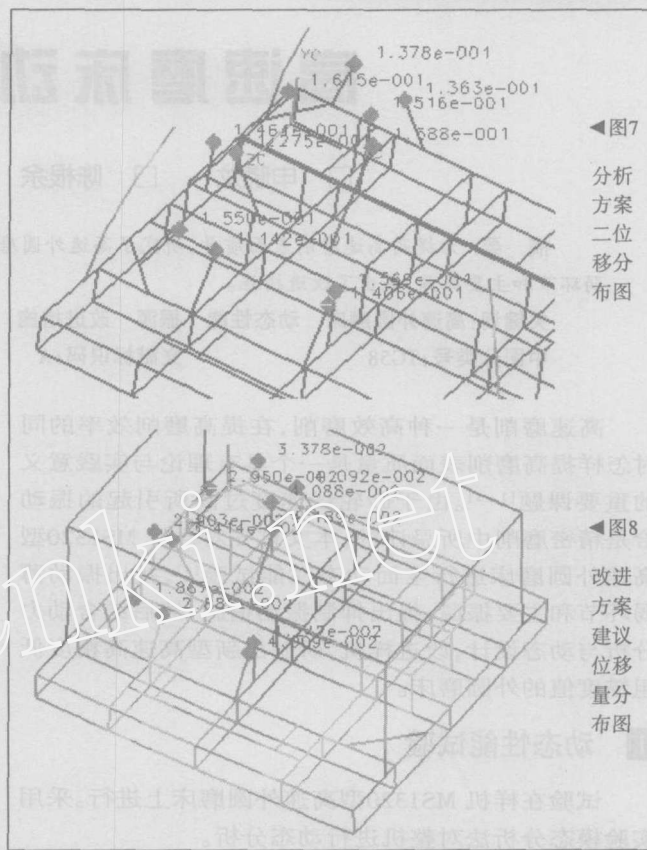
边界条件的施加与方案一相同。

计算结果分析如下:

最大位移(3个方向的位移分量叠加)发生在位于中间的、二层钢管与三层钢管之间的支撑方管下端,位移量为  $4.464 \times 10^{-2}$  mm,比方案一减少很多。11个杆的顶端的垂直位移量在 0.01867 ~ 0.04242 mm 之间,水平位移量均为 0,11根杆的相对位移在 0.01018 ~ 0.02375 mm 之间(如图8所示)。而且底座的 Von Mises 应力也大幅下降,最大的仅为 0.78735 MPa,位于距起吊杆最近的一层钢管与二层钢管之间的支撑方管上。

#### 4 结论

通过 CAE 分析,验证了该规格的检具底座在平放时满足刚度要求。但在检具起吊过程中,由于起吊的操作方法不正确,使此时底座变形较大,将对检具的精度造成影响。通过分析提出一种确实可行的改进方法,基本满足了高精度检具对其底座的刚度要求,值得模具



◀图7

分析方案二位移分布图

◀图8

改进方案建议位移分布图

生产厂家借鉴。

#### 参考文献

- 1 周传月,滕万秀,张俊堂. 工程有限元与优化分析应用实例教程[M]. 北京:科学出版社,2005.
- 2 赵波,龚勉,浦维达. UG CAD 实用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- 3 马秋成,韩利芬,罗益宁. UG CAE 篇[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- 4 Kevin Kilroy. MSC/NASTRAN Quick Reference Guide[M]. USA: The MacNeal-Schwendler Corporation, 1997.
- 5 Mark P Miller. Getting Started with MSC/NASTRAN[M]. USA: The MacNeal-Schwendler Corporation, 1996.
- 6 John M Lee. MSC/NASTRAN Common Questions and Answers [M]. USA: The MacNeal-Schwendler Corporation, 1996.
- 7 陈塑寰,孟广伟等. 材料力学[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2000.

(编辑 林凡)

第一、三、四作者单位:吉林大学汽车动态模拟国家重点实验室

邮政编码:长春·130025

第二作者单位:吉林大学计算机学院

收稿日期:2006年2月