

钢缆输送带接头的有限元分析

A. D. Adams 著 何晓玫译 薛虎军校

有限元分析方法已建立许多年。简单说来,它是对任意几何结构做精确数值分析的方法。使用者将复杂的二维轮廓分成小的长方形单元或三角形单元,或者将三维轮廓分成长方体单元或锥体单元,然后把它作为连续结构,通过联立求解大量的基本方程,分析得出作用于几何体的载荷所产生的位移、应变和应力。下面用一个简单的例子回答经常遇到的问题:为什么需要有限元分析?

假设分析者正在设计一个公文箱的金属手柄并且希望分析它,以确定是否可以承受箱的重量。该模型看起来相当简单,但是利用传统方法计算应力和位移将花费几天时间并且只能得到近似结果。用有限元技术分析手柄只需花费一二个小时,并可绘制出完整的结构图形。为了说明典型的有限元分析,图1示出了待分析手柄的基本尺寸和载荷。由于手工计算结果困难且耗时多,因此分析者宜选用有限元分析。

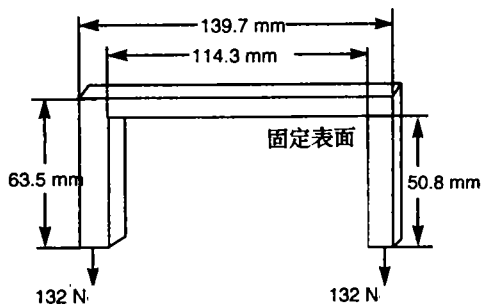


图1 手柄的基本尺寸和载荷

开始进行有限元分析时,将手柄分为如图2所示的小长方形或有限单元。该模型空间上的一系列点或节点用坐标 x 、 y 和 z 表示,坐标原点 $(0,0,0)$ 由分析者选取。有限元是以有序排列的4节点以4条直线连接成长方形来

表示的。每一节点为多个单元共用,根据材料的刚度,节点从一个单元向另一个单元传递载荷作用。尽管分析者把模型看成无厚度的二维结构,但可向软件中输入厚度以便为正确的刚度计算提供条件。作用于节点的载荷被认为是 x 或 y 方向的集中力。为避免不稳定性,固定某些节点,使它们在两个基本方向中的一个或两个方向上不能移动。

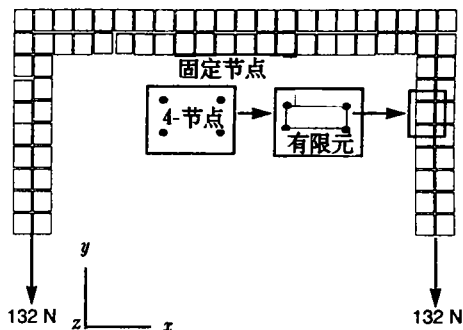


图2 有限元模型

从这个观点讲,软件在计算机中是通过数学模型完成的。根据分析者的要求可推出几种不同类型的结果。第一是载荷引起的运动或位移的大小。位移可用于计算应变,它是用相对于未变形轮廓所产生的变形的数值来表达。换句话说,如果100mm长的物体拉伸后的总长度变为200mm,则该物体经受了100%的应变。要计算每个有限元中的应变。

模型中的应力是由应变计算而得,应力也是存在于特定区域的载荷的大小,经常表示为 $N \cdot mm^{-2}$ 。问题变为:有了这些数据能做什么?

假设分析者知道材料的应力应变极限,参考分析中所用的载荷可以进行疲劳预测。例如,假设手柄承受的最大应变为0.01%,经分

析预测的应变为 0.000966% *。在这种情况下,预计该部件是可以承受将要施加于它的载荷,因为手柄材料能承受比预测值更大的应变。

1 实验

尽管有限元分析法多年以前已经用于分析金属结构,但用于弹性部件的分析却很少。弹性体有两个金属所没有的复杂因素。第一个因素是弹性材料在理论上是一种流体,而实际上是不可压缩体。这意味着如果你有 100mm^3 的弹性材料,它的形状可以改变,但体积不能减小。它不像金属可以减小体积。这便产生一个有趣的设想,它可以用一个简单的有限元分析模型来演示。图3为充满弹性材料的刚性框架的几何模型及其有限元模型。分析者认为该模型是二维的,而软件将它作为以单元的中心轴为轴的固体圆柱。载荷作用于弹性材料的顶端,其作用压力为 206MPa ,刚性圆柱底部固定,这样便可进行有限元分析。考察图4中的结果,所有的应力作用在结构的刚性部分。然而,在图5中,所有的应变产生在弹性材料上。这一结果很容易解释,因为弹性材料是不可压缩流体,它将作用的压力传递到刚性材料

并产生大的应力。弹性材料的大应变来源于材料本身有从载荷部位流走的倾向,从而在刚性断裂和弯曲时发生大变形。这个例子说明应变是弹性材料分析中的控制因素。

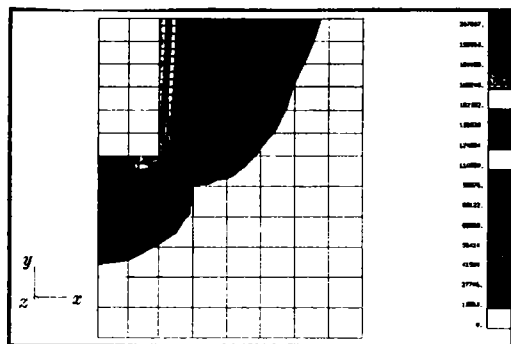


图4 圆柱体中的应力曲线

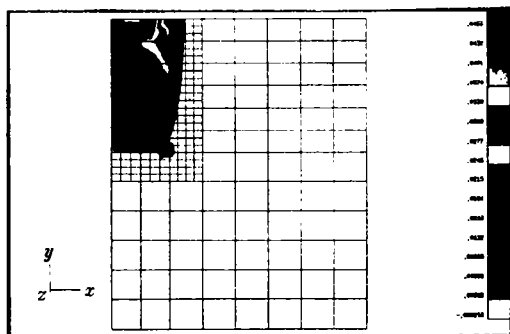


图5 圆柱体中的应变曲线

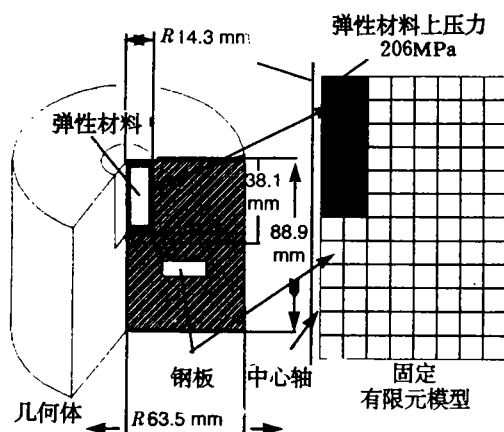


图3 圆柱体的结构及其有限元模型

能产生大变形(即应变)的弹性体的不可压缩性给这些材料的分析带来了第二种复杂性。由于弹性材料变形从载荷部位流走,材料本身的分子结构实际上发生了变化。这使得材料刚度发生变化,该变化取决于变形(即应变)。这一特性即为众所周知的非线性特性。图6表示典型的金属载荷-位移曲线。在金属材料分析中,可以完成在任何小于使金属损坏的载荷作用下的有限元分析,并确定应力、应变和位移。可按斜线成比例地上升或下降来推出任何载荷作用下的金属疲劳点以下的结果。图7表示弹性材料的复杂曲线。曲线的非线性由弹性材料的刚度变化产生,因而需作非线性有限元分析。通过一系列分步分析,使软件精确地趋近于弹性材料刚性曲线。分析者向软件

* 原文为 0.000966 ,疑有误——编译者。

输入可以使用的最大载荷和达到这一载荷的步数或增量。如果最大载荷是100N且以10N的步长递增,软件首先在10N时进行分析并建立每个有限元的应变水平。然后修正每个单元的材料刚性,使之符合各自的应变水平,接着进行20N载荷的分析。在每一步中,每个单元的材料刚性都要进行修正。这个过程将从30N,40N一直重复进行到100N,此时,结构中的有限单元将有唯一的刚性和一组结果。步数进行越多,得出的材料刚性曲线越精确,但分析的时间越长。因此分析者必须有花较少时间达到最佳精度的经验。

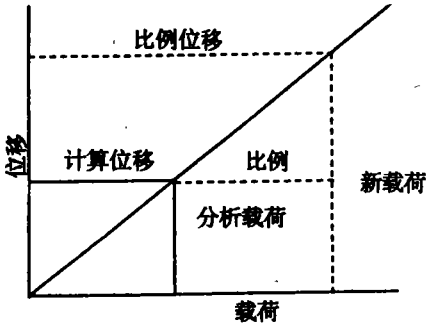


图6 金属材料的载荷-位移曲线

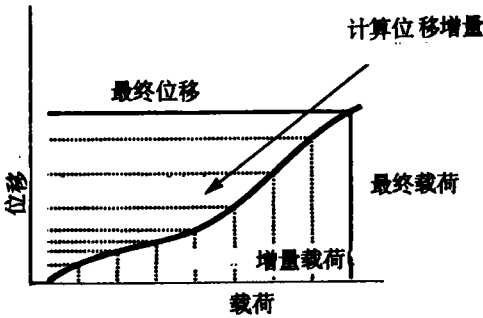


图7 弹性材料的载荷-位移曲线

了解有限元分析方法如何运作是很有趣的,但它是否能精确地预测由弹性材料组成的部件的特性呢?下面是两个说明这种分析对弹性体来说是如何精确的例子。

第一个例子是图8所示的亚铃形试样。将该试样拉伸至断裂,绘制出相应的载荷-位移曲线。有限元分析模型与实际试验完全重叠。

图9示出一组有限元分析预测载荷从0到146.3N的位移。可以看出,模型执行几个载荷步后,精确地预测了最终位移。图10分析了实测结果和有限元结果曲线。在这种情况下,有限元分析非常精确地再现了试验。两条曲线上的微小差别近似于亚铃形拉伸试验的偏差。

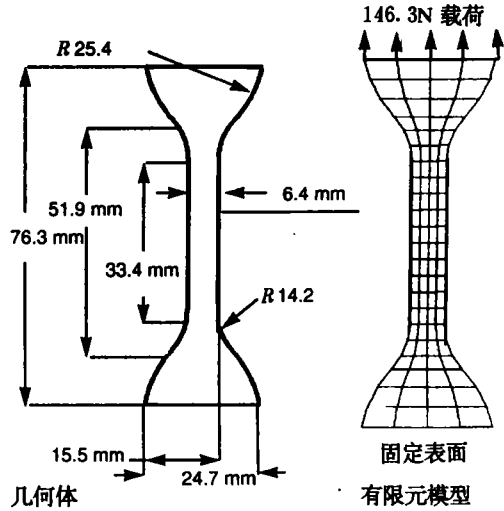


图8 亚铃形试样及其有限元模型

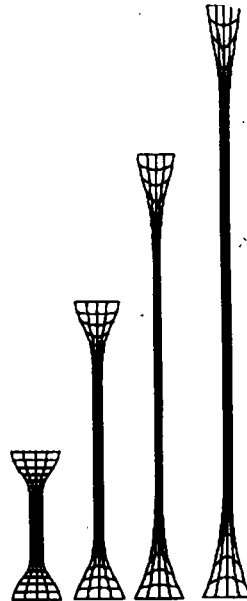


图9 亚铃形试样的变形形状

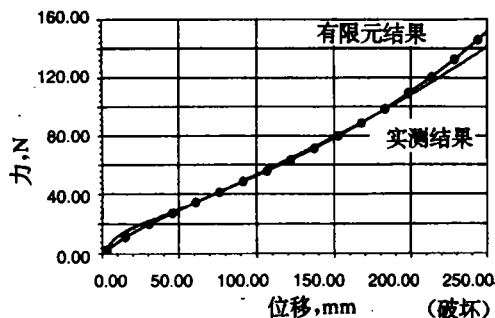


图10 有限元分析结果与实测结果的比较

既然对简单的部件可以成功地进行分析,那么相当复杂的结构是否也能模拟?要证实这点,可做一个被弹性材料包覆的5根钢缆的拉伸块。该试样中4根钢缆固定在弹性材料块的一端,而一根中心钢缆固定在弹性材料块的另一端。有限元模型必须在三维方向上与弹性材料和钢缆的弹性完全一致。钢缆均为沿长度方向上具有高拉伸强度而在其它方向为柔性的刚性结构。这些特征与正交各向异性材料矩阵理论完全一致。换句话说,利用已知的钢缆数据,通过复杂的计算,钢缆的弹性和强度可用数学矩阵表达出来。图11表示由计算机建立并完善的试样的三维有限元模型。图12示出用有限元分析预测的试样变形形状和最大应变。绘出了相应的位移-载荷曲线并与实际拉伸试验的结果对比。图13两条曲线是有限元分析与实际试验的比较结果。对这样复杂的结构,所得的曲线惊人地相似,其微小误差类似于试样重复拉伸试验的误差。从这个例子可以

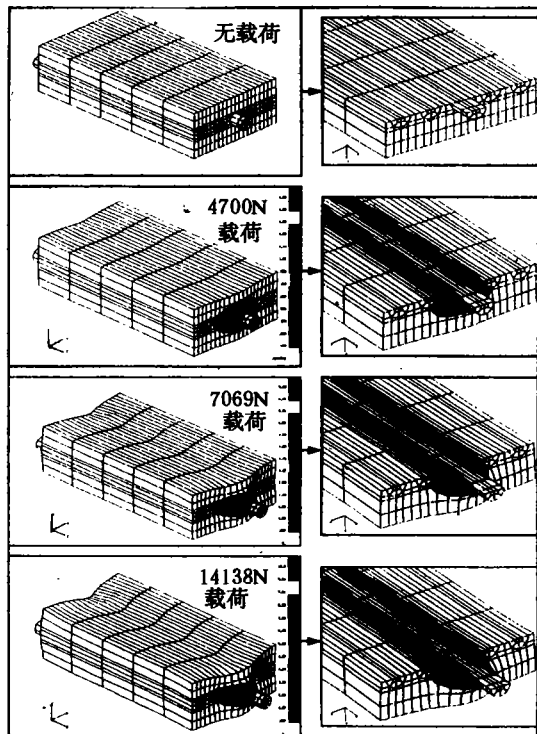


图12 位移形状和应变水平

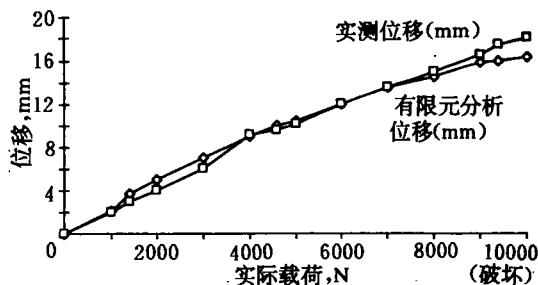


图13 5根钢缆弹性材料拉伸块结果

看出,具有多种材料的复杂结构也可用有限元分析模拟。

2 结果与讨论

由于已经证明有限元分析可以精确地预测实际结果,因此该技术可以用于产品开发。我们以钢缆输送带接头的分析为例来说明其中的一种应用。钢缆接头是极为复杂的,通常包括上下两个弹性材料覆盖层和一层由另一种弹性材料包围着的钢缆。所有这些特征要求

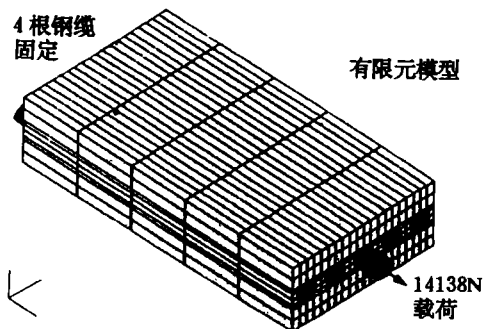


图11 钢缆和弹性材料拉伸块有限元模型

提供准确的材料性能和模拟试验结果。接头类型很多,这里采用单个接头方式来说明。利用有限元分析,能建立多种复杂的三维有限元模型以检验各种接头变化。为证明这种能力,可以假设分析者希望确定接头的最佳长度。这可以通过建立5个长度分别为900,1200,1500,1800和2100mm的三维有限元模型来完成。图14为900mm模型及其中间钢缆的剖面图。输送带一般根据100%额定拉伸来设计,100%额定拉伸是输送带在正常全负荷运行情况下可能有的最大拉伸。150%的额定拉伸是输送带在全负荷启动时可能有的最大拉伸。通过拉伸各种不同的接头达到输送带150%额定拉伸,并使每个输送带钢缆载荷相等来进行分析。通过运算5个模型,评价弹性材料中的最大应变,以确定最佳接头长度。一般来说,最大应变是根据在每一载荷步变形的弹性材料计算的不定向大位移。在所有模型中,最大应变均产生在钢缆刚刚进入接头部的弯曲部位。

对于900mm接头,钢缆弯曲处的最大应变为93.8%。如果把接头加长,观察1200mm长的接头,最大应变减到74.3%,1500mm长的接头继续下降至65.1%,1800mm长的接头最大应变稳定在54.4%。而2100mm长的接头的最大应变低至47.7%。图15对比了使输送带直至达到150%额定拉伸的一系列载荷下的最大应变。每种不同长度的接头表示为不同的非线性曲线。最上面的曲线表示900mm接头,而最下面的曲线为2100mm长的接头。我们看到曲线随接头长度的增加而逐渐趋于重合。

接头长度为1800和2100mm最大应变曲线几乎是一样的,表明再增加长度将无意义。在图16中,通过最大应变与接头长度的关系曲线,概括了在3种额定拉伸作用下5种接头的有限元分析数据。在所有3种额定拉伸作用下,当接头长度超过2000mm时,曲线几乎变为水平。有经验的分析者可以发现,使钢带接头中弹性材料的应变最小,没有必要使钢缆

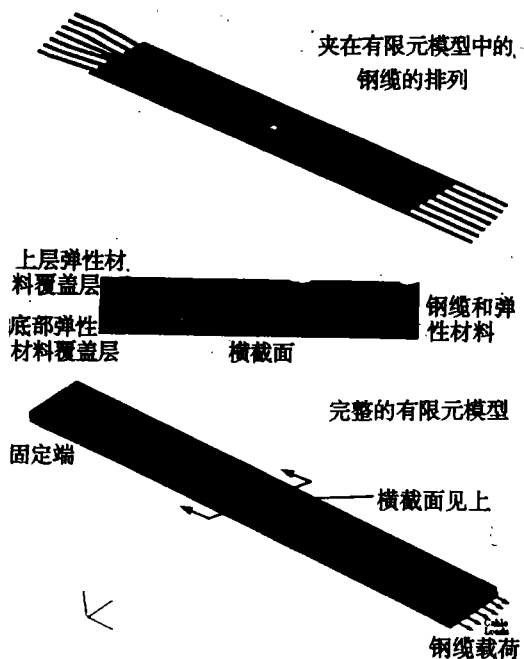


图14 900mm 钢缆接头的有限元模型

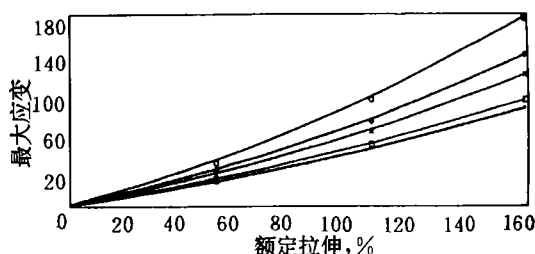


图15 钢缆输送带最大应变对比

接头长度(曲线从上到下)分别为900,1200,1500,1800,2100mm

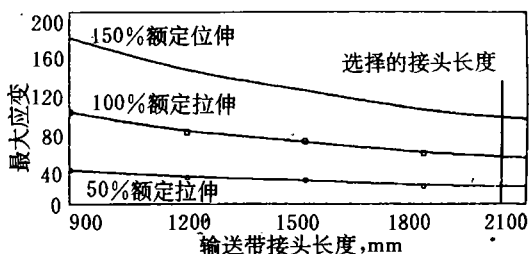


图16 钢缆输送带接头长度的选择

接头超过2000mm。这证明有限元分析能为输送带设计者提供获得最佳接头长度的信息。尽管这个例子用的是简单的单个接头设计,但在

废短纤维-橡胶复合体钢丝铠装吸引胶管的研制

马培瑜

(化工部海洋涂料研究所 266071)

刘之凯 苏玉宝

(山东省高密橡胶厂 261500)

摘要 研究用再生橡胶生产中产生的废短纤维增强的新型橡胶复合体的性能,采用该复合体研制一种新型钢丝铠装吸引胶管。实践证明,该种吸引胶管能有效地承受“水锤”的冲击和防止闭路故障的发生,并具有简化生产工艺,降低生产成本和提高产品质量的效果。

关键词 废短纤维,橡胶,吸引胶管,复合材料

在废旧轮胎或废橡胶制品再生胶的生产过程中,经旋风分离器分离出的废纤维通常是作为垃圾处理或烧掉,造成环境污染。通过对再生胶短纤维增强橡胶的物理性能的研究,认为在某些橡胶制品中掺入废再生胶短纤维,不但可提高橡胶基质的某些物理性能,降低生产成本,同时也为废物的综合利用开辟了一条新途径。

目前,橡胶(或橡塑)夹布钢丝铠装吸引胶管一般由内胶层、内夹布胶层、螺旋钢丝、中胶层、外夹布胶层和外胶层组成^[1]。这种以传统方法生产的吸引胶管有如下缺点:(1)在吸引深水的过程中,难以应付“水锤”(指由于阀门的迅速启闭或水泵的停开等原因而引起水流压强的急剧变化)的冲击而爆破;(2)由于夹布胶层与螺旋钢丝的粘合强度较低,因而易产生脱离,致使管路出现闭路,且胶布易霉烂,成品难以修补;(3)产品结构复杂,制造

工艺繁琐。为解决上述问题,长期以来生产企业一直是采用增加帆布层数或提高帆布等级的方法,这势必增加产品的重量和提高生产成本。为此,我们从调整传统吸引胶管的结构、简化生产工艺、降低制造成本和提高产品性能的角度出发,并考虑废物利用、减少环境污染的需要,研制成功了一种废再生胶短纤维-橡胶复合体钢丝铠装吸引胶管。该产品已于1990年通过了省级技术鉴定,1991年获国家实用新型专利权;1992年获国家新技术新产品博览会金奖。现将研制情况介绍如下。

1 实验

1.1 短纤维材料的来源和组成

废旧轮胎和含纤维骨架的废橡胶制品,经机械粉碎处理,通过旋风分离器分离便得到废再生胶短纤维,该材料主要由短纤维和细胶粉组成,并且均未经软化剂、膨润剂和高

非常复杂的钢缆输送带接头设计中,有限元分析技术的应用同样相当成功。

3 结论

由于材料的独特性和软件的大量计算要求,弹性材料的有限元分析比金属等材料复

杂得多,尽管如此,它仍可以成功地完成。有限元分析对输送带接头以及其它许多弹性材料部件设计都是一种有用的工具。

译自美国“Rubber World”,209
[2],32—36(1993)