

分解区域方法在涡流检测仿真中的应用

Application of Domain Decomposition Method in Eddy Current Testing Simulation

陈建民,孙磊,曾志伟(厦门大学物理与机电工程学院,福建 厦门 361005)

Chen Jian - min,Sun Lei,Zeng Zhi - wei(School of Physics and Mechanical & Electrical Engineer - ing,Xiamen University,Fujian Xiamen 361005)

摘要 随着现代制造业的发展,涡流检测仿真问题日渐复杂。传统的单一求解区域方法的运用遇到瓶颈,而分解区域方法将复杂的单一区域上的求解转化为较简单的若干个子区域上的求解,克服了传统方法遇到的困难。该文主要介绍分解区域方法在涡流检测仿真中的应用。

关键词 涡流检测;仿真;分解区域

中图分类号:TG115.28

文献标识码:A

文章编号:1003-0107(2013)05-0042-02

Abstract: With the development of modern manufacturing,eddy current testing simulation becomes more and more complex.The traditional method using a single solution domain is not able to solve such problems. The domain decomposition method transforms complex solution on a single domain into relatively simple solution on subdomains and thus overcomes the difficulties of the conventional method.This article mainly introduces the use of domain decomposition method in eddy current testing simulation.

Key words: eddy current testing;simulation;domain decomposition

CLC number: TG115.28

Document code: A

Article ID :1003-0107(2013)05-0042-02

0 引言

随着现代技术的发展,科研实践中往往需要对复杂的问题进行建模,并要求求解大型的偏微分方程组,其计算难度较大。随着工程计算规模的变大,传统的单一求解域方法运用受到了限制,同时研究人员对计算效率也提出了更高的要求^[1]。因此,分解区域方法^[2](Domain Decomposition Method)应运而生。

在分解区域方法的应用例子中不乏其在高频电磁场领域的运用。以微波散射计算为例,在使用分解区域方法分析电磁散射问题时,将整个电磁求解空间 Ω 划分为 m 个互不重叠的子区域 $\Omega_n(n=1,2,\dots,m)$,首先计算出每个子区域 Ω_n 在源场激发下产生的散射电场分布 E_n 或者磁场分布 H_n ,然后计算出该区域 E_n 或者 H_n 对其他子区域的贡献,经过若干次迭代求解达到稳定,最终求解出原问题的解。分解区域方法把复杂的问题转化为简单的子问题,如图1所示,大大降低了计算的难度;同时,各个子区域能够根据需求选择不同的数学建模方法以及网格划分方法,提高了建模和网格划分的灵活性,在计算方面还能够实现高度的并行,有利于提高

计算效率。

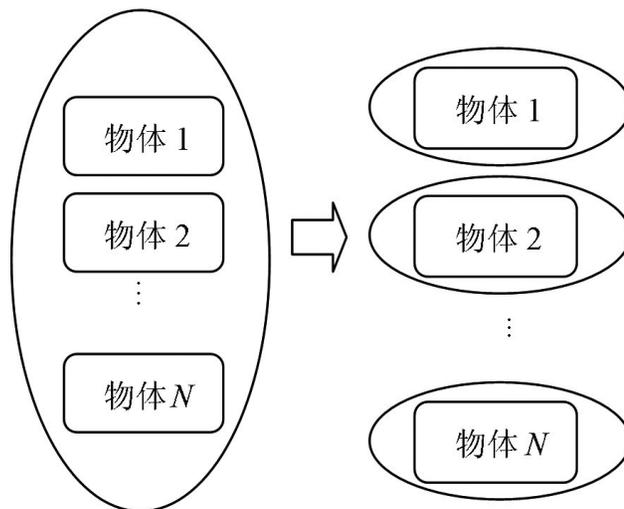


图1 分解区域方法原理示意图

国内外很多学者利用分解区域方法在高频电磁场领域做了很多研究工作。例如,P.Liu^[3]等利用分解区域算法成功解出一个复杂双基站散射模型的电磁场分布;P.Paul^[4]等在求解电磁波散射问题中分别使用了单一求

基金项目 本论文的研究工作受航空科学基金项目资助(批准号 2009ZD68004)

作者简介 陈建民(1988-)男,硕士研究生,研究方向为无损检测;

孙磊(1989-)男,硕士研究生,研究方向为无损检测;

曾志伟(1974-)男,教授、博士生导师,研究方向为无损检测。

解区域方法和分解区域方法,并将两者的结果进行比较。Z.Pei^[6]等利用分解区域方法求解微波散射问题时,创新性地联合使用了二阶传输条件。

虽然分解区域方法在高频电磁场分析方面的发展较为成熟,但在低频涡流分析领域还处于起步阶段。

1 分解区域方法在涡流场计算中的应用

曾志伟^[6]等把分解区域的思想引入涡流场的计算中,成功模拟了探头(包含磁芯和线圈)扫描铝板的情况。他们将求解区域划分成若干个子区域,各个子区域单独划分有限元网格。每个子区域上使用 $A_r, V-A_r$ 表述(A_r 和 V 分别代表简化磁矢量位和电标量位)求解出该子区域上由感应电流或磁化电流引起的磁矢量位(即 A_r) ,然后将 A_r 插值到其他子区域用于计算其他子区域上求解问题的右端项来实现子区域间的耦合。

每个节点处的全磁矢量位 A 被分解为三个部分: $A_{coil}, A_{core}, A_{sample}$, 分别代表线圈、磁芯和样品产生的磁矢量位。可认为 A_{core} 由 A_{coil} 和 A_{sample} 产生, A_{sample} 由 A_{core} 和 A_{coil} 产生,如图 2 所示。计算时,由解析式计算出 A_{coil} ,在磁芯网格上计算 A_{core} ,将 $(A_{coil}+A_{core})$ 插值到样品网格上计算 A_{sample} ,再将 $(A_{coil}+A_{sample})$ 插值到磁芯网格上计算新的 A_{core} 。每次迭代后,由新得到的全磁矢量位 $(A_{coil}+A_{core}+A_{sample})$ 计算出线圈的阻抗并与上一次迭代得到的阻抗相比较,如果误差小于某一允许值则退出迭代程序,反之则继续进行迭代。

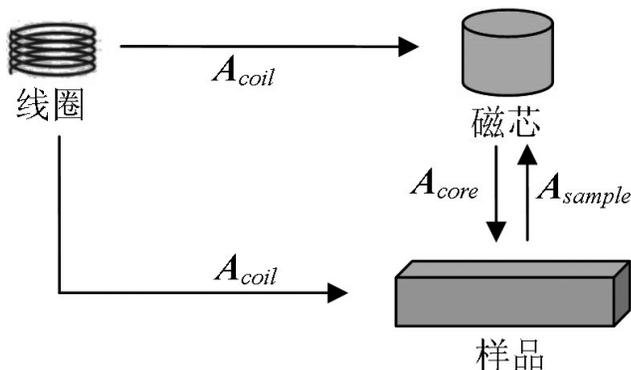


图 2 分解区域方法原理图

该方法不需要对线圈进行网格划分,而且在移动探头过程中不需要对各个子区域重新进行网格划分,不需要重新产生刚度矩阵,从而节省大量的计算机内存、网格预处理时间和矩阵预处理时间,也避免了因为重新划分网格而引入的噪声信号。

2 存在的问题和改进的思路

虽然上述方法使涡流场计算的效率和精度获得很大的提升,但是由于子区域间的耦合是基于网格间的数

据插值的,所以当探头的移动步长和单元尺寸不相等或者无倍数关系时,不同探头位置对应的插值将带来不同的误差,在信号中就表现为噪声。而且该方法要求子区域的网格划分需要有包含关系,即一个子区域的网格必须包含于另一个子区域的网格中,否则难以完成插值程序。

为了克服上述缺点,可以改变子区域间的耦合方式,即由计算某子区域中的感应电流或者磁化电流(统称电流)并将此电流和源电流一起作为其他子区域的激励源来实现耦合。这种耦合方式不要求有一个大的子区域来覆盖其他子区域,每个子区域都可以采用边界积分或其他方法来减小网格单元数,从而减少待解未知量,网格划分更灵活,计算效率更高。由于不存在子区域间的数据插值问题,即使探头任意改变位置,也能得到平滑的计算结果。

3 结论

对于复杂的涡流场仿真问题,传统的单一求解区域方法难以适应,而分解区域方法能够很好地解决复杂涡流场的计算问题,并提高计算效率,减少内存需求,是一个很有前途的研究方向。

参考文献:

- [1]吕涛,石济民,林振宝.区域分解算法—偏微分方程数值解新技术[M],第1版.北京:科学出版社,1992:1-6.
- [2]尹雷,洪伟.区域分裂法:一种精确高效的三维微波结构全波分析方法[J].应用科学学报,2000,13(3): 237-241.
- [3]P.Liu,Y.Jin.The finite-element method with domain decomposition for electromagnetic bistatic scattering from the comprehensive model of a ship on and a target above a large-scale rough sea surface[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2004,42(5):950-956.
- [4]P.Paul,J.P.Webb.Reducing computational costs using a multi-region finite element method for electromagnetic scattering [J].IET Microwaves,Antennas & Propagation, 2008,2(5):427-433.
- [5]Z.Pei,V.Rawat,J.Lee.One way domain decomposition method with second order transmission conditions for solving electromagnetic wave problems [J].ELSEVIER Journal of Computational Physics,2010,229(4):1181-1197.
- [6]Z.Zeng,L.Udpa,S.S.Udpa.Finite element method for simulation of ferrite-core eddy current probe [J].IEEE Transaction on Magnetics,2010,46(3):905-909.