

加权残值法最新进展及其工程应用

The Advance and Engineering Application
of the Method of Weighted Residual

沈大荣 主编

武汉工业大学出版社



鄂新登字 13 号

加权残值法最新进展及其工程应用

沈大荣 主编

*

武汉工业大学出版社出版发行

(武汉市武昌珞狮路 14 号 邮政编码 430070)

新华书店湖北发行所经销

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:28.25 字数:657 千字

1992 年 7 月第一版 1992 年 7 月第一次印刷

印数 1—500

ISBN 7-5629-0630-0/O·25

定价:45.00 元

名誉主编:王 仁 钱令希 徐次达

主 编:沈大荣

编 委:(按姓氏笔划排序)

丁皓江	马文华	付子智	付作新
孙家驹	李卓球	邬瑞锋	沈大荣
沈祖炎	吴代华	范业立	邱吉宝
郑瑞芬	张汝清	徐文焕	徐秉业
徐次达	秦 荣	凌镛镛	

责任编辑:晏石林 李祖德

前 言

七十年代以来,在我国广大力学工作者的努力下,加权残值法已成为计算力学中的重要研究领域,并在逐步形成一个新的分支学科。

加权残值法在我国计算力学领域的发展和成就为世人瞩目。到目前为止,在有关学术会议和国内外刊物上发表论文 600 余篇,并出版了一些专著,其内容涉及到基础理论、计算技术、以及结构分析和工程应用等各个方面的问题。研究范围扩展到天文、地理、物理、流体力学、岩土力学、以及材料科学等广大领域,解决了许多实际工程问题,为我国计算力学的发展和四化建设作出了贡献。

为提高加权残值法的研究水平,进行学术交流,自 1982 年以来,已分别在厦门、杭州和峨嵋召开了第一、第二和第三届全国加权残值法学术会议。这次召开的是第四届学术会议。

本届会议收到百余篇论文,其中本书收录了 70 余篇。这些论文反映了我国近几年来加权残值法的最新进展与工程应用,涉及到基础理论研究、计算技术、板壳问题、非线性计算、复合材料力学、流体力学、岩土力学与工程应用等方面。这些论文在理论与应用研究上的深度和广度都有较大的发展。本书作为第四届全国加权残值法学术会议论文集,希望能为推动加权残值法的进一步发展作出贡献。

谨对同济大学等兄弟院校和广大力学工作者的支持表示感谢,并向徐次达教授对本书的关心与指导表示衷心的感谢。

沈大荣

一九九二年四月于武汉

目 录

第一篇 基础理论

加权残值法计算力学在我国十四年中主要的进展及近期国际进展	徐次达(1)
Sobolev 空间 $W^{m,p}(\Omega)$ 中残差泛函的性质	凌锡镛(11)
加权残值法计算力学几何和物理适应性研究	徐次达, 华伯浩, 泰国青(16)
加权残值法和突变理论的结合	邓长根(23)
有限变形弹塑性广义变分原理	秦荣(32)
二、三维问题加权残值法数值精度的改进	华伯浩, 徐次达, 毛昭林, 潘宁(38)
加权余量法在建立有限变形非线性弹性力学三变量广义变分原理中的应用	唐瑞森(44)
关于配点法近似解收敛性的讨论	李哲谦, 朱宝安(47)
约束随机方向优化加权残值法	韩森, 朱宝安(49)
非线性规划加权残值法(关于配点法)	韩森, 朱宝安(54)
数学规划加权残值法(关于子域法)	朱宝安, 韩森, 李哲谦(58)

第二篇 计算技术研究

半无限空间问题的加权残值法解	郑瑞芬, 陈学潮, 邓海清(63)
关于样条边界组合系数的讨论	李丰璋, 沈大荣(68)
求解结构动力响应的向量追赶法	秦荣(73)
用加权残值—奇异摄动混合方法计算复合材料层合结构的层间应力	顾德淦(79)
随机伽辽金法的进一步研究	陈虬, 刘先斌(85)
三广义位移平板弯曲问题的 Kantorovich—MWR 解	谢秀松, 肖秀慧, 李向真(90)
最小二乘配置法求解 Reynolds 方程(变粘性系数)	吴道全, 张幼雯(97)
正交多项式在加权残值法中的应用	章自振(102)
定常不可压缩流体 N—S 方程的 MWR 解	李国彦, 赵应长(109)
混合最小二乘法求解微分方程混合特征值问题	邓长根(113)
断裂力学中的边界配置方法	王元汉(119)
随机伽辽金法及其误差分析	刘先斌, 陈虬(125)
无界空间渗流问题几类有限元方法研究	韩庆书(131)
压弯构件弯扭屈曲的子域法求解	杨应华, 陈骥(137)

第三篇 弹性板壳计算

用多项逼近的单样条 Kantorovich 方法分析任意四边形板弯曲问题	张涛, 丁皓江(143)
--------------------------------------	--------------

用最小二乘法解混合边界矩形板问题	范业立,刘宇东(149)
厚壳分析的样条子域法	秦 荣,赵艳林,陈向明,张 悦(155)
用加权残值法求解厚球壳的非轴对称问题	严宗达,卜小明(161)
网架静力和动力分析的配点法	郑瑞芬,陈学潮(167)
弹性薄板弯曲、振动与稳定问题的残值 ODE 方法	江理平,唐寿高(174)
矩形悬臂板的最小平方误差解	曲庆璋,梁兴复,杨东戈,王 虎(180)
弹性地基上四边自由矩形板的加权残数解	梁兴复,曲庆璋,王 虎,杨东戈(185)
加权残值法解厚板振动问题	朱恩泽,徐次达(190)
用样条子域法解层合折板结构	李智敏(197)
弹性地基板的样条函数解	赵 雷(205)
用含三角形子域的分区加权残数法求解板弯问题	泰国青(211)

第四篇 非线性计算与研究

扁壳弹塑性问题的样条子域法	秦 荣,谢肖礼,赵艳林,蒋卫纲(216)
板壳等结构非线性问题的半数值半实验方法研究	陈学潮,郑瑞芬,张祖逖(223)
网格扁壳的非线性受迫振动分析	聂国华(231)
薄壳非线性稳定问题的加权残数法初步研究	赵志岗(237)
载荷增量—最小二乘配点法圆柱形壳体几何非线性分析	陈凯声,张圣坤(241)
变厚度圆形薄板的非线性弯曲及稳定	尹冠生,夏永旭(247)
样条函数法分析壳体的蠕变问题	刘宗德,付永铭(253)
用配点法解变截面梁的大挠度问题	晏石林(259)
双参数弹性地基上圆薄板的非线性振动	李爱国,杨 燕(265)
正交各向异性矩形双曲扁壳非线性弯曲问题的精确解	胡庆安,夏永旭(271)
循环迭代加权余量法及其在板壳几何非线性分析中的应用	李光耀,周汉斌,曹志远(277)
轴对称圆锥扁壳的非线性强迫振动	邓永琨,夏永旭(283)

第五篇 复合材料及流体、岩土力学

反对称中厚板振动与屈曲分析的样条有限点法	邹志庆,沈大荣(289)
复合材料板壳分析的样条子域法	秦 荣,吴玉友,谢肖礼(295)
复合材料叶片横向剪切应力和剪切刚度的计算	赵清望,林建中,夏定海(302)
多层复合材料层合双曲扁壳弯曲问题的加权残值法分析	李 华,李卓球,沈大荣(307)
用边界权残法分析集中力作用下的层合板弯曲	梁礼平,蔡瑜明(312)
基于高阶理论的复合材料层合板的振动分析	戴运祥,徐次达,刘兵(319)
正交各向异性板几何不平度对振动频率的影响	郑百哲,宋向东,朱宇翔(325)
双筒式粘度计中流体振荡的加权残值解	严宗毅,李 平(331)
向井非线性流动的加权残值法	吴道全,张幼雯(337)
三维地基沉降分析	李光耀,周汉斌,曹志远(342)

用有限条法解复合材料层合板的弯曲问题	王继辉, 邓京兰(348)
加权余量法在各向异性岩体位移反分析中的应用	郑泽岱, 李 华(354)
用有限条法分析正交各向异性曲板的弯曲	王继辉(359)

第六篇 工程应用研究及其它

加权残数法在研究炮管二次机械自紧中的应用	汪嘉春, 徐秉业(365)
拱坝分析的样条子域法	秦 荣, 燕柳斌, 杨辉峰, 梁汉吉(371)
样条配点法分析正交正放类网架的动力响应	吴代华, 陈军明(380)
电磁学中的广义变分原理	秦 荣, 秦 俊(387)
腐蚀电场非线性边值问题的边界配置法	周汉斌, 曾志远, 李光耀(394)
加权余量法在水坝动力分析中的应用	傅作新, 章 青, 王立新(400)
用线性规划配点法分析矩形杆扭转应力	焦永树, 石铁君, 范慕辉(406)
用加权残值法解瞬变问题	山慧贤, 高 南, 黄 慧, 徐 新, 朱利军(410)
应用有限差分法分析铺设过程中海底管道的动力特性	甄国强, 胡宗武(416)
一种新的试函数及其在坝—水—地基动力相互作用分析中的应用	章 青, 傅作新(422)
最优化权残法在力学物理学天文学中的应用	付昱华(428)
约束最小二乘法在反应器温度场识别中的应用	陈 跃(434)

CONTENTS

Chapter 1 Fundamental Theories

The Advance of MWR in Recent Years	Xu Cida(1)
Properties of the Residual Functional in Sobolev Spaces	Ling Yongyong(11)
Studies on Geometric and Physical Adaptability of MWR	
..... Xu Cida, Hua Bohao, Yuan Guoqin(16)	
The Combination of MWR with Catastrophe Theory	Deng Changgen(23)
Generalized Variational Principles on Elasto—Plastic Bodies with Finite Deformation	
..... Qin Rong(32)	
Some Improvements for Precision of the MWR of Two and Three Dimensional Problems	
..... Hua bohao, Xu Cida, Mao Zaoling, Pan Ning(38)	
Application of MWR in Establishing 3—kind Variable Generalized Variational Principle of Non-linear Elastic Theory with Finite Deformation	Tang Ruisen(44)
The Discuss of Approximate Solution Convergence about Collocation Method	
..... Li Zheqian, Zhu Baoan(47)	
The MWR of Restrained Random Direction Optimization	Han Sen, Zhu Baoan(49)
The MWR of Nonlinear Plan (About Collocation Method)	Han Sen, Zhu Baoan(54)
The MWR of Mathematical Plan (About Subdomain Method)	
..... Zhu Baoan, Han Sen, Li Zheqian(58)	

Chapter 2 Studies on Computing Method

MWR to Solve the Static Problem of the Semi-Infinite Space	
..... Zheng Ruifen, Chen Xuechao, Deng Haiqin(63)	
Discuss of Spline Boundary Complex Coefficients	Li Zhuoqiu, Shen Darong(68)
Vector Pursuant Method for Solving Dynamic Responses	Qin Rong(73)
The Mixed Method of MWR and Singular Perturbation for Interlaminar Stresses of Composite Laminate Structures	Gu Degan(79)
The Deeper Study on Stochastic Galerkin Method	Cen Qin, Lin Xianbin(85)
The Kantorovich MWR Solution for the Problem of Plate in Bending with Three Generalized Displacements	Xie Xiusong, Xiao Xiuhui, Li Xiangzhen(90)
The Least Square Collocation Used in Reynolds Equation (Variable Viscosity)	
..... Wu Daoquan, Zhang Youwen(97)	
Applications of Orthogonal Polynomials to the MWR	Zhang Zizhen(102)
Solving N-S Equation of Steady Incompressible Fluid Using MWR	
..... Li Guoyan, Zhao Yingchang(109)	

Mixed Least Squares Method for Solving Mixed Eigenvalue Problems of Differential Equations	<i>Den Changgen</i> (113)
Boundary Collocation Method in Fracture Mechanics	<i>Wang Yuanhan</i> (119)
The Stochastic Galerkin Method and Error Bound	<i>Liu Xianbin, Chen Qiu</i> (125)
Studies on Many Finite Element Methods for the Fluid Leaking Problem in Infinite Space	<i>Han Qingshu</i> (131)
The Solution of Flexural-Torsional Buckling of Beam-Columns by Subdomain Method	<i>Yang Yinghua, Chen Ji</i> (137)

Chapter 3 Analysis of Elastic Plate and Shell

Solving the Bending Problem of Arbitrary Quadrilateral Plates by Multi-term Approximation of Single-spline kantorovich Method	<i>Zhang Tao, Ding Haojiang</i> (143)
Discrete Least Square Method for Bending Problems of Rectangular Thin Plate with Mixed Boundary Conditions	<i>Fan Yeli, Liu Yudong</i> (149)
Spline Subdomain Method for Analysis of Thick Shells	<i>Qin Rong, Zhao Yanlin, Chen Xiangming, Zhang Rui</i> (155)
Solution of the Asymmetric Problem of Thick Spherical Shell by MWR	<i>Yan Zongda, Bu Xiaoming</i> (161)
Static and Dynamic Problems of Space Grid by Collocation Method	<i>Zheng Ruifen, Chen Xuechao</i> (167)
The MWR for Bending, Vibration and Stability Analysis of Elastic Thin Plates	<i>Jiang Liping, Tang Shouqiao</i> (174)
Solutions of the Cantilever Rectangular Plates by the Least Squares Method	<i>Qu Qingzhang, Liang Xingfu, Yang Dongge, Wang Hu</i> (180)
Solutions of the Rectangular Plates with Four Free Edges on Elastic Foundations by MWR	<i>Liang Xingfu, Qu Qingzhang, Wang Hu, Yang Dongge</i> (185)
Analysis of Thick Plates Vibration Problems Using MWR	<i>Zhu Sizhe, Xu Cida</i> (190)
Analysis of Laminated Folding Plate Structures by Spline Subdomain Methods	<i>Li Zhimin</i> (197)
Application of Spline Function to Plates on Elastic Foundations	<i>Zhao Lei</i> (205)
Solving the Plate's Bending Problems Using the MWR Containing Triangular Subregion	<i>Yuan Guoqing</i> (211)

Chapter 4 Nonlinear Analysis

Spline Subdomain Method for Elasto-Plastic Analysis of Shallow	<i>Qin Rong, Xian Xiaoli, Zhao Yanlin, Jiang Weigang</i> (216)
On the Solution of Nonlinear Problems for Plate and Shell Structures by Semi-numerical and Semi-experimental Method	<i>Chen Xuechao, Zheng Ruifen, Zhang Zuzun</i> (223)
Nonlinear Forced Vibration Analysis of Reticulated Shallow Shells	<i>Nie Guohua</i> (231)

An Initial Research on Nonlinear Stability of Thin Shell by MWR	Zhao Zhigang(237)
Geometric Nonlinear Analysis of Stiffened and Non-stiffened Cylindrical Shell Using Load Incremental and the Least Squares Collocation Approach	Chen Kaisheng,Zhong Shengkun(241)
Nonlinear Bending and Steady of Varying Thickness Circular Plate	Yin GuanSheng,Xia Yongzu(247)
Spline Function Method for the Analysis of Creep in Shell	Lia Zongde,Fu Yiming(253)
Analysis of Large Deflection Problem about the Variable Cross-Section Beam Using the Collocation Method	Yan Shilin(259)
Nonlinear Dynamic Response of Thin Circular Plates on Two-parameter Elastic Foundation ...	Li Aiguo,Yang Yan(265)
An Exact Solution of Nonlinear Bending of Dissimilar Orthotropic Shallow Shell	Hu Qingan,Xia Yongzu(271)
Recurring Iterative MWR and Its Application to Geometric Nonlinear Analysis of Plates and Shells	Li Guangyao,Zhou Hanbin,Cao Zhiyuan(277)
Nonlinear Forced Vibration of Cylindrically Symmetric Conically Shallow Shell	Deng Yongkun,Xia Yongzu(283)

Chapter 5 Mechanics of Composites, Fluid and Rock

The Method of Spline Finite Point for the Analysis of Vibration and Buckling in the Anti-symmetrical Middle Thickness Laminates	Zou Zhigang,Shen Darong(289)
Spline Subdomain Method for Analysis of Composites Plates and Shallow Shells	Qia Rong,Wu Yugou,Xiang Xiaoli(295)
The Calculation of Transverse Shear Stress and Shear Stiffness of Composite Vanes	Zhao Qingwang,Lin Jianzhong,Xia Dinghai(302)
Bending Analysis of Multi-ply Composite Laminated Hyperbolic Shallow Shells by MWR	Li Hua,Li Zhuoqiu,Shen Darong(307)
Bending Analysis of Laminated Plates under Concentrated Loads by MWR of Boundary Type	Liang Liping,Cai Yuming(312)
Vibration Analysis of Composite Laminates Based on a Higher-order Theory	Dai Yunzhang,Xu Cida,Liu Bing(319)
The Influence of Initial Geometric Imperfections on Vibration Frequency of Orthotropic Elastic Thin Plates	Zheng Baizhe,Song Xiangdong,Zhu Yuxiang(325)
Solutions for the Fluid Oscillation in a Co-axial Viscometer by MWR	Yan Zongyi,Li Ping(331)
The MWR of Nonlinear Flow Toward Well	Wu Daoquan,Zhang Youwen(337)
Settlement Analysis of Three Dimensional Foundation	Li Guangyao,Zhou Hanbin,Cao Zhiyuan(342)
Analysis of Laminated Plates by the Finite Strip Method	Wang Jihui,Deng Jialan(348)
Application of MWR to Back Analysis for Anisotropic Rock Mass ...	Zheng Zedai,Li Hua(354)

The Finite Strip Method in the Analysis of Orthotropic Curved Plates Wang Jihui(359)

Chapter 6 Engineering Applications of MWR

The Secondary Swage Autofrettage of Gun Tube Using MWR	Wang Jiachun, Xu Bingye(365)
Spline Subdomain Method for Analysis of Arch Dams	Qin Rong, Yan Laubin, Yang Lufeng, Liang Hanji(371)
The Dynamic Response of Orthotropic and Ortho-laid Space Truss by Spline Collocation Method	Wu Dailua, Chen Junming(380)
Generalized Variational Principles in Electromagnetism	Qin Rong, Qin Jun(387)
Nonlinear Boundary Value Problem in Corrosion by Boundary Collocation Method	Zhou Hanbin, Cao Zhiyuan, Li Guangyao(394)
Application of the MWR in the Dynamic Analysis of Dams	Fu Zuozin, Zhang Qing, Wang Lizin(400)
Analysis of the Twisting Stress in a Rectangular Bar by the Linear Programming Collocation Method	Jiao Yongshu, Shi Tiejun, Fan Muhui(406)
Solving Transient Problems by MWR	Shan Huixian, Gao Nan, Huang Hui, Xu Xin, Zhu Lijun(410)
Dynamic Analysis of Marine Pipes During Installation with Difference Method	Zhen Guoqiang, Hu Zongwu(416)
A New Trial Function and the Application in the Analysis of Dam-Water-Foundation Interaction	Zhang Qing, Fu Zuozin(422)
The Application of Optimum MWR in Mechanics, Physics and Astronomy	Fu Yuhua(428)
The Application of Constrained Least Squares Method in Identification of Temperature Field of a Reactor	Chen Yue(434)

加权残值法计算力学在我国十四年中主要的进展及近期国际进展

徐次达

(上海同济大学工程力学系)

摘要: 本文综述了1978~1991年加权残值法作为计算力学在我国的主要进展及近期国际进展,并提出研究课题。内容为:Ⅰ. 方法及其发展;Ⅱ. 首届全国加权残值法(下简称残值法)学术会议(1982)进展及前后;Ⅲ. 第二届全国残值法学术会议(1986)进展及前后;Ⅳ. 第三届全国残值法学术会议进展及前后(1989);Ⅴ. 近期国际MWR研究进展提要;Ⅵ. 展望及今后研究课题。

关键词: 加权残值法, 计算力学, 进展。

1 方法及其发展[1][2]

加权残值法,作为一种寻求微分方程或积分方程近似解甚为有效的数学方法,国际上传统地用于解决流体力学、热传导、化学反应等问题^[1]。我国于1978年以后,不少计算力学工作者都用这种方法解算固体力学结构及流体力学问题,效果甚好。这种方法主要是先假设一个试函数:

$$\bar{u} = \sum_{i=1}^n c_i u_i (i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

代入微分方程成为内部残值 R_i , 又代入边界条件成为边界残值 R_b 。(1)式中 c_i 为待求系数, u_i 为试函数项须要假设。然后建立起消除残值方程:

$$\int_V R_i W_i dV = 0, \quad \sum_{r=1}^r \int_{s_r} R_b W_b ds = 0 \quad (2)$$

式中 W_i 及 W_b 分别为内部权函数及边界权函数, v 内域, s 边界, r 边界条件数, 权函数形式见表1, 它确定消除残值方式, 形成不同的加权残值法。

假设试函数项 u_i 是否满足边界条件, 或内部微分方程式或什么都不满足便有了: 1. 内部法— u_i 满足边界条件, 只须消灭 R_i ; 2. 边界法— u_i 满足内域微分方程, 只须消灭 R_b ; 3. 混合法— u_i 什么都不满足, 同时消灭 R_i 及 R_b 。

表1中的加权残值法可以联合使用, 如最小二乘配置法、伽辽金配置法, 最小二乘子

域法等。

配置法目今包括配点法,配线法,配面法及配域法。

几何形状复杂或物理性质变化的物体目今可用分区加权残值法进行分析,方法是分区,分区设立试函数,消除三种残值:内部残值,边界残值及区交界连续性条件残值。

形状十分复杂的物体及组合物体等如今可用于结构加权残值法进行分析。

于物体的振动问题中以同时表示振型及谐振的试函数引入运动微分方程和边界条件;于消除残值过程中求特定系数的系数矩阵行列式的特征值得频率。于稳定性问题中以表示“屈型”的试函数引入物体的屈曲微分方程式及边界条件,同样于消除残值过程中求特定系数的系数矩阵行列式的特征值得临界力。以振型与振型坐标结合的试函数引入运动微分方程式消除残值,能够解算动力响应问题。

表 1 加权残值法基本方法

方法名称	消除残值方程	权函数	附注
最小二乘法	$\int_{\Omega} F(\partial R / \partial C_i) d\Omega = 0$	$\partial R / \partial C_i$	$i = 1, 2, \dots, n$
配置法	$\int_{\Omega} R \delta(x - x_i) dx = R(X_i) = 0$	$\delta(x - x_i)$	$\delta(x - x_i) \mu$ Dirac δ 函数
子域法	$\int_{\Omega_j} R u dv_j = 0$	$w = \begin{cases} 1 & (c \in \Omega_j) \\ 0 & (c \notin \Omega_j) \end{cases}$	Ω 分为 m 个子域 $\Omega_j (j = 0, 1, 2, \dots, m)$
伽辽金法	$\int_{\Omega} R u dv = 0$	$\bar{u} = \sum_{i=1}^n c_i u_i$	见(1.1)
矩量法	$\int_{\Omega} R x^j dv = 0$	$x^j (j = 0, 1, 2, \dots, n-1)$	此法国内少用

注: (1) R 可为 R_1 或 R_2 , 相应地 v 为 v 或 s, v 内域, s 边界

(2) 此表可推广到二维或三维问题

2 首届全国加权残值法学术会议进展及前后

我国于 70 年代就需要有一种经济有效新的数值方法解算固体力学结构问题。当时我国教育部在大连召开我国高等院校计算结构力学学术会议,徐次达于会上宣读了当时最初两篇解决固体力学问题加权残值法论文得到较多计算力学工作者的支持。于此后几次全国性有限元法会议及计算力学会议上加权残值法论文逐渐增多。

从 1978~1982 这一段时间中对于加权残值法研究工作只是在探索这种方法于解决固体力学问题的可行性,实际效果,收敛性及其基础理论等。首先徐次达考察这种方法用于杆件的静力平衡,稳定性,振动甚至应力波传播等问题的可行性[3],接着与他的同事考察用最小二乘配点法(下称 LSCM)解算各种边界条件的薄板弯曲问题的情况[4][5]。结论是方法简便,精度高,工作量少,程序短。当时何广乾、张维岳等也用 LSCM 边界法分析

组合扭壳,效果良好。他们这篇论文^[6]还在1980年西班牙国际空间结构会议上宣读。把残值法用于弹性力学二维及三维问题是徐文焕和陈虬的开发工作^{[7][8]},而且至今三维问题尚未突破陈虬所提伽辽金位移函数法的基础理论。最早的对于最小二乘法的基础理论的研究者是邱吉宝^[9]他从数学上研究了方差泛函的实质并证明了最小二乘配点法收敛的性质。

于1982年5月于中国力学学会主持下,同济大学数力系承办的在厦门召开的首届全国加权残值法学术会议出席全国各地代表74人,入选论文64篇,即论文摘要。会议的主要进展为:

1) 发展了多种新的加权残值法——其中有秦荣发展的样条加权残值法为样条伽辽金配点法,样条能量配点法等^{[10][11][12]}方法特点系用B样条函数为试函数,具有良好的逼近性,适应性及紧凑性,十分优异,同时,杨海元及许永林、钱博、何福保等发展了配线法以线取代点,精度很高^{[13][14]}。2) 会议上交流了试函数应用的情况,当时已有八种:多项式幂级数,三角级数,梁函数,柱函数,B一样条函数,正交多项式,双调和函数及贝塞耳函数等其中以B样条函数最佳。3) 会上陈子骥及徐次达首次提出用LSCM及Mauguardt法分析几何非线性矩形板弯曲问题^[15]。4) 会上徐文焕报导了初次用残值法分析结构动力学问题^[16]。5) 加权残值法分析平面问题及薄板弯曲的最早的通用程序也出现了^{[17][18]}。6) 会上关于用残值法概念形成的结构动力响应积分方程式也提出来了^[19]。

会后几年中由于首届会议的影响,加权残值法研究工作进展甚多。举其要的有:

1) 残值法用于解决由地震引起的动水压力与水坝的相互作用问题——的作新^[20]。2) 徐次达提出用样条配点法分析板壳的动力响应问题^[21]方法较传统方法为精确及经济。3) 用加权残值法解决几何非线性问题的理论方法研究较多,效果良好,为用正交配点法分析大挠度薄板弯曲^[22];提出卡门(Karman)方程的增量形式便于用迭代法解板壳非线性问题^[23]及提出两种摄动加权残值法^[24]。4) 首次用加权残值法解决材料非线性固体弹塑性问题,用了弹粘塑性理论的稳定解为弹塑性解的理论。有100个配点的矩形板弹塑性弯曲问题在M-150计算机上只用了2.5分钟就算好(作者注:这个成果1986年6月作者在日本大阪府立大学报告时引起轰动)——王朝伟,黄速建^[25]。

3 第二届全国加权残值法学术会议进展及前后

第二届全国残值法会议是于1986年杭州召开的。在此之前,权残法研究工作也是较多的。

1) 残值法中的子域法发展用于求板壳的极限载荷——唐俊才,林木及徐秉业^[26]。2) 残值法发展用于解决复合材料层合板的弯曲,稳定性及振动问题并且有双模量的工作——范业立^[27],王迪新等^[28],许功明,王龙甫,沈大荣^[29]。3) 残值法解决中厚板弯曲问题——王磊^[30]。4) 提出了基于加权残值法原理的结构物动力响应无条件稳定计算格式,精度较高——林文喜,徐次达^[31]。任意形状中厚板计算,用了变步长样条函数——

刘建辉,徐次达^[32];5) 初次提出了 Kontrovich 加权残值法——谢秀松^[33];6) 出版了两本加权残值法结构力学的书——徐文焕,陈虬^[34]秦荣^[35]。

第二届全国残值法会议也是由中国力学学会主办,经由浙江大学工程力学系承办,于 1986 年 4 月在杭州召开,到全国代表 153 人,入选论文 129 篇,都较首届会议翻了一番。会议主要进展为:

1) 邱吉宝根据了对偶空间原理证明了所有线性加权残值法一致收敛而且是稳定的^[36],这是很重要的;2) 徐次达,林文青用样条配点法分析板壳非线性动力响应^[37];3)

初应力法分析固体弹塑性问题^[38];4) 样条配点法分析厚板动力响应——曾德顺和翁智远^[39];5) 更深入地用残值法解决动水压力与水坝相互作用问题,考虑了横剪切及库底能量吸收——章青和付作新^[40];6) 发展配点法用于粘塑性问题——宋军和徐秉业^[41];7) 提出了子结构残值法分析组合结构——张汝清等^[42];残值法分析三维热传导问题——关富玲等^[43];8) 考虑双模量的复合材料正交迭层矩形厚板热弯曲问题的残值法解——白宗方各王迪新^[44];9) 用 LSCM 解 Navier—Stokes 二维方程;摄动 LSCM 解低雷诺数绕圆球流体的 N—S 方程——李国彦^{[45][46]};10) 残值法分析筒中筒高层建筑——陈红和唐锦春^[47];11) 残值法分析渗流力学问题——凌镛镛^[48];12) 研制残值法微机软件问题^[49];残值法应用为用于水工机械,石油井钻杆,埋管,板裂纹,光弹仪实验,测量学平差问题——阮伟^[50]。

4 第三届全国加权残值法学术会议进展及前后

于 1989 年 11 月会期之前,我国有大量的加权残值法论文提向国际,于 1986~1987 年即有 20 多篇论文为参加在日本东京召开的“国际计算力学会议—1986 东京”(ICCM86—TOKYO)^[51],参加在美国 Austin 召开的“计算力学世界大会”(WCCM)^[52],在北京召开的“国际空间结构会议”(1987)^[53],获得国际好评。于 1987 年我国出版了“固体力学加权残值法”——徐次达^[2]的专著。据查国际上尚无此书。

第三届全国加权残值法学术会议是中国力学学会主办由西南交通大学承办,1989 年 11 月在峨嵋召开,出版论文集入选论文 94 篇,主要进展^[54]:

a) 加权残值法基础理论:1) 邱吉宝根据方差泛函及对偶空间理论导出统一的变分方程可推导出所有的数值方法,于是广义地它们都是加权残值法;2) 邓长根及沈祖提出了控制最大残值的最小残差法和加权最小残差法发展了新法;3) 陈虬和李贤兴首次提出了随机加权残值法,精度胜过随机有限无法而工作量少;4) 凌镛镛研究了一类非线性常微分方程的收敛性和误差界;5) 朱宝安提出了线性规划加权残值法。

b) 于固体力学及板壳问题方面:1) 用样条配点法分析了简化的 Reissner 板,注意横剪切问题;2) 最小加权残差法初试锋芒,分析了薄板弯曲及屈曲问题;3) Kontrovich 加权残值法分析了任意的边形薄板弯曲;4) 徐秉业用残值法分析厚壁筒的热粘塑性问题,一个新的本构关系的问题;5) 秦荣提出 QR 法分析弹塑性结构;6) 用残值法可解算组合结构

的非线性问题等。

c) 于固体动力学方面:1)以样条最小二乘配点法分析正交异性变厚板的振动;2)以分区残值法分析挡水结构的自由振动——付作新等。

d) 于计算方法方面有:1)根据微分方程的特点选择适当的试函数;2)根据估计理论中的序贯算法提出 LSCM 递推算法;3)提出以加权残值法分析递问题等。

e) 于流体力学中:1)用振动加权残值法分析腾空艇的运动稳定性;2)用边界配点法分析长回转体的 Stokes 流等。

f) 于岩土工程及结构工程中的应用:1)用残值法对岩土工程做逆分析—根据固定位移量反推围岩应力及性质;2)用残值法分析土石坝的地震响应;3)用最小二乘法分析筒体高层建筑结构;4)残值法分析索网结构;5)分析考虑高阶剪切变形复合材料层合板的弯曲问题;6)配线法分析正交异性层合板的弯曲等。

第三届全国残值法闭幕后迄今,加权残值计算力学方法研究工作仍然发展较多为理论基础及新方法研究,板壳力学非线性问题,振动及稳定性特征值问题,复合材料层合板特征值问题,弹塑性扁壳问题,残值法用于高层建筑分析不少,流体力学,动力响应及断裂力学等。主要进展:

a) 基础理论及新方法研究不少:1)研究配点法及边界配点法的收敛性问题^{[55][56]};2)提出一种称为变率配点法^[57];3)提出一种改进的康托洛维奇方法^[58];4)用样条高斯配点法分析加劲板壳问题^[59];5)提出一种“虚边界元配点法”6)研究带差分项的函数方程的配置法^[60]等。

b) 大量的非线性残值法论文:1)以切比雪夫多项式与三角级数结合的试函数伽辽金法解算园板非对称大挠度问题^[61];2)样条配点法分析变厚球扁壳大挠度问题^[62];3)园底扁球壳在双参数弹性地基上的弯曲问题用修正迭代法结合伽辽金法求解问题,方法简便而工作量少^[63];4)圆柱形扁壳残值法弹塑性分析^[64];5)配点法分析板壳双非线性的问题^[65];6)双 5 次 B 样条函数为试函数分析板壳弹塑性问题用了 LSCM^[66]等。

c) 不少的板壳特征值问题:1)样条配法分析板壳的自由振动及稳定性问题^[67];2)最小二乘配点法分析正交异性开孔球壳屋盖非线性轴对称屈曲问题,方法收敛稳定,精度好^[68];3)样条有限点法分析正交异性歧合板的振动和屈曲问题^[69];4)样条配点法解非保守力作用矩形板屈曲问题^[70]。

d) 应用于高层建筑结构及其他工程的工作:1)高层建筑用样条子域法分析静动稳定性、非线性、塑性极限,结构与土壤相互作用问题—秦荣^[71];2)最小二乘子域配点法分析高层筒体结构^[72];3)残值法求拱坝坝面动水压力^[73];4)残值法于水工调压井计算应用^[74];5)双样条子域法分析变截面连续弯箱梁桥^[75];6)LSCM 分析微带天线^[76]等。

e) 动力响应,流体力学,断裂力学等:1)残值法分析阻尼质点对薄板塑性动力响应影响^[77];2)样条配置法分析流体力学问题^[78];3)开孔浅球壳非线性动力响应及动力稳定,用了正交配点法^[79];4)求裂纹尖端塑性动力强度因子的残值法^[80];无条件稳定动态样条残值法—秦荣^[81]。

5 近期国际 MWR 研究进展概要

关于近期指 1989~1991 年之前有关 MWR 的国际进展请见[82]。近期国际上对于加权残值法的研究工作一如既往。一是总的研究论文很少,原因是非常信赖于有限元法及差分法。尽管这些方法有缺点。又近期边界元法研究论文多了,对于残值法工作就少了;二是把残值法始终用于数学问题。解各类的微分方程及积分方程,工程应用论文极少,三是配置法的研究工作居压倒多数,其次为伽辽金法及最小二乘法。四研究 MWR 的论文以美最多,北欧国家为法、德、比利时、挪威、波兰等国,加拿大、澳大利亚都有,甚至还有非洲,阿拉伯及以色列等国都有。在国外文摘中,我国残值法论文亦被摘录。主要情况:

a) 配置法研究工作最多,各目繁多:1)配置法及迭代配置法解 2—D Volterra 积分方程[83];2)多步配置法的超收敛性[84];3)半隐式配置法用于 2—D 压缩流热校正[85];4)切比雪夫配置法解依赖于时间的线性偏微分方程[86];5)交替方向配置法解抛物线偏微分方程[87];6)切比雪夫配置法解 $N-S$ (—stokes)方程[88];7)对 2—D 调和方程问题边界配置法和有限元法比较,认为前者精度好,效力高,但须处理满矩阵问题[89];8)控制配置法[90];9)配置法最大离散原理。[91]

b) 伽辽金法及最小二乘法:1)迭代伽辽金法用于解线性积分—微分方程,具有超收敛性[92];2)伽辽金法中用有理基函数[93];3)正弦伽辽金法用于解椭圆方程[94];4)余弦伽辽金法解 2—D 非线性双曲型方程[95];非线性最小乘法的理论与实践总结[96]。

c) 应用问题:1) 伽辽金法分析圆锥壳的弯曲问题[97];2)运输问题用最小乘法程序解决[98]。

作者认为既然国际上加权残值法研究工作不多,我国计算力学工作者正好奋起努力发展这个方法直到大量残值法软件问世创造适合于我国国情具有我国特色的计算力学系统。

6 展望及今后研究课题

自 1978 年以来我国发展加权残值法的基础理论,开发用于众多固体力学结构问题及流体力学问题,结合计算机应用,卓有成效地解决了众多工程力学问题,目前已基本上形成一种方便实用,计算量秒,精确可靠,应用广泛的计算力学方法。

于 1978 年以后十四年中,我国加权残值法研究工作者创造性地发展了加权残值法成果众多。在固体结构方面已有对一维,二维及三维体、薄板壳、厚板壳、复杂结构、组合结构、网架网壳、索网结构残值法分析;涉及本构关系已有弹性、弹塑性、塑性、粘弹粘塑性,各向异性,单模量及双模量各向异性层岐性质;于力学问题方面已有对静力及动力强度、振动、动力响应、屈曲、几何及材料的非线性问题,极限载荷,断裂力学、逆问题,多种介质耦合作用问题,随机及优化问题,泛函变分问题,运动稳定性残值分析方法;在工程应用方面则用于高层建筑,拱坝、桥梁、隧道、调压井、岩土工程、炉墙、涵管、网壳、索网、腾空艇、