



SIMPLIFIED SERIES OF
CIVIL ENGINEERING

清华大学土木工程系组编

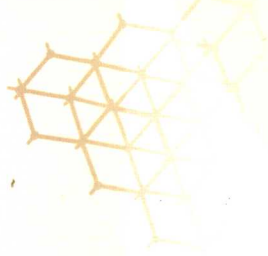
丛书主编 崔京浩

王依群 编著



简明土木工程系列专辑

平面结构 弹塑性地震响应分析软件 NDAS2D及其应用



中国水利水电出版社 
www.waterpub.com.cn
知识产权出版社 
www.cnipr.com

TU311.3

26

Simplified Series of Civil Engineering

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

王依群 编著

简明土木工程系列专辑

平面结构 弹塑性地震响应分析软件 NDAS2D及其应用

中国水利水电出版社 
www.waterpub.com.cn
知识产权出版社 
www.cnipr.com

内容提要

本书系“简明土木工程系列专辑”中的一本,介绍了建筑结构弹性抗震时程分析中各主要环节的理论、方法及计算机软件实现。本书内容物理概念清晰、实用性强,系统地介绍了平面结构弹性地震反应分析软件 NDAS2D 的基本原理、输入数据和操作要点等内容,通过大量实例使工程技术人员及高校师生便于掌握该软件或类似软件的原理与使用。

本书可作为各高等院校土木工程专业本科生和研究生教材,也可供工程设计人员和科研人员使用。

选题策划: 阳 淼 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip. sina. com; z_baolin@263. net

责任编辑: 阳 淼 张宝林

文字编辑: 周 媛

图书在版编目 (CIP) 数据

平面结构弹性地震响应分析软件 NDAS2D 及其应用 /
王依群编著. —北京: 中国水利水电出版社: 知识产权
出版社, 2006

(简明土木工程系列专辑 / 崔京浩主编)

ISBN 7-5084-3567-2

I. 平... II. 王... III. 平面结构—弹性—地震
反应分析—应用软件, NDAS2D IV. TU311.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 008233 号

简明土木工程系列专辑

平面结构弹性地震响应分析软件 NDAS2D 及其应用

王依群 编著

中国水利水电出版社 出版发行 (北京市西城区三里河路 6 号; 电话: 010-68331835 68357319)
知识产权出版社 北京市海淀区马甸南村 1 号; 传真、电话: 010-82000893

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

北京市兴怀印刷厂印刷

850mm×1168mm 32 开 7.25 印张 195 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

印数: 0001—3100 册

定价: 16.00 元

ISBN 7-5084-3567-2

版权所有 侵权必究

如有印装质量问题, 可寄中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码 100044, 电子邮件: sales@waterpub.com.cn)

土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明系列专辑”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

新颖性——反映新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法

实用性——深入浅出，让人一看就懂，一懂能用，不是手册，胜似手册

科学性——编写内容均有出处

——摘自《简明土木工程系列专辑》总序

清华大学土木工程系组编

简明土木工程系列专辑

编 委 会

名誉主编 陈肇元 袁 驷

主 编 崔京浩

副 主 编 石永久 宋二祥

编 委 (按汉语拼音排序)

陈永灿 胡和平 金 峰 李庆斌

刘洪玉 钱稼茹 王志浩 王忠静

武晓峰 辛克贵 阳 森 杨 强

余锡平 张建民 张建平

编 辑 办 公 室

主 任 阳 森

成 员 张宝林 董拯民 彭天赦 谈智慧

周 媛 莫 莉 张 冰 邹艳芳

总序

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程（Civil Engineering）是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术”。土木工程是一个专业覆盖面极广的一级学科。

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程（Military Engineering）而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，地下防护工程、航天发射塔架等设施也都属于土木工程的范畴。

土木工程是国家的基础产业和支柱产业，是开发和吸纳我国劳动力资源的一个重要平台，由于它投入大、带动的行业多，对国民经济的消长具有举足轻重的作用。改革开放后，我国国民经济持续高涨，土建行业的贡献率达到 1/3；近年来，我国固定资产的投入接近甚至超过 GDP 总量的 50%，其中绝大多数都与土建行业有关。随着城市化的发展，这一趋势还将继续呈现增长的势头。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生得更早，其发展及演变历史更为古老。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，甚至可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，呈现出勃勃生机。其中工程材料的变革和力学理论的发展起

着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖瓦灰砂石，而是由新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法武装起来的为众多领域和行业不可或缺的大型综合性学科，一个古老而又年轻的学科。

综上所述，土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编写一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明系列专辑”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

清华大学土木工程系是清华大学建校后成立最早的科系之一，历史悠久，实力也比较雄厚，有较强的社会影响和较广泛的社会联系，组编一套“简明土木工程系列专辑”，既是应尽的责任也是一份贡献，但面对土木工程这样一个覆盖面极广的一级学科，我们组编实际起两个作用：其一是组织工作，组织广大兄弟院校及设计施工部门的专家和学者们编写；其二是保证质量的作用，我们有一个较为完善的专家库，必要时请专家审阅、定稿。

简明土木工程系列专辑包括以下几层含义：简明，就是避免不必要的理论证明和繁琐的公式推导，采用简洁明快的表述方法，图文并茂，深入浅出，浅显易懂；系列，指不是一本书而是一套书，这套书力争囊括土木工程涵盖的各个次级学科和专业；专辑，就是以某个特定内容编辑成册的图书，每本书的内容可以是某种结构的分析与计算，某个设计施工方法，一种安装工艺流程，某种监测判定手段，一个特定的行业标准等等，均可独立成册。

这套丛书不称其为“手册”而命名为“系列专辑”，原因之一是一些特定专题不易用手册的方法编写；原因之二是传统的手册往往“大而全”，书厚且涉及的技术领域多，而任何一个工程技术人员在某一个阶段所从事的具体工作又是针对性很强的，将几个专业甚至一个项目的某个阶段集中在一本“大而全”的手册势必造成携带、查阅上的不方便，加之图书的成本过高，编写人员臃肿，组织协调困难，出书及再版周期过长，以致很难反映现

代技术飞速发展、标准规范规程更新速度太快的现实。考虑到这些弊端，这套系列专辑采用小开本，在选题上尽量划分得细一些，视专业、行业、工种甚至流程的不同，能独立成册的绝不合二为一，每本书原则上只讨论一个专题，根据专题的性质和特点有的书名仍冠以“手册”两字。

这套系列专辑的编写严格贯彻“新颖性、实用性、科学性”三大原则。

新颖性，就是充分反映有关新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法，老的、过时的、已退出市场的一律不要。体现强劲的时代风貌。

实用性，就是避免不必要的说理和冗长的论述，尽可能从实用的角度用简洁的语言以及数据、表格、曲线图形来表述；深入浅出，让人一看就懂，一懂能用；不是手册，胜似手册。

科学性，就是编写内容均有出处，参考文献除国家标准、行业标准、地方标准必须列出以外，尚包括引用的论文、专著、手册及教科书。

这套系列专辑的读者对象是比较宽泛的，它包括大专院校师生，土木工程领域的管理、设计、施工人员，以及具有一定阅读能力的建筑工人。它既可作为土建技术人员随身携带及时查阅的手册，又可选作大专院校、高职高专的教材及专题性教辅材料。

崔京浩

2005年10月于清华园

崔京浩，男，山东淄博人。1960年清华大学土建系毕业，1964年清华大学结构力学研究生毕业，1986~1988年赴挪威皇家科学技术委员会做博士后，从事围岩应力分析的研究。先后发表论文150多篇，编著专业书4本，参加并组织编写巨著《中国土木工程指南》，任编辑办公室主任，并为该书撰写绪论；主持编写由清华大学土木工程系组编的“土木工程新技术丛书”和“简明土木工程系列专辑”，并任主编。曾任清华大学土木系副系主任，现为中国力学学会理事，《工程力学》学报主编，享受国务院特殊津贴。

前 言

为了保证建筑结构“中震可修，大震不倒”，我们必须对结构进行弹塑性地震反应分析。《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2001）已将弹塑性时程分析法作为地震高烈度区、不规则结构，以及耗能、隔震、减震结构抗震设计的方法之一列入规范。所以，学习结构弹塑性时程分析及相应计算机软件的使用对广大工程技术人员是十分必要的。为满足广大工程技术人员和高校师生学习的需要特编写本书。

本书以作者编制的平面结构弹塑性地震响应分析软件 NDAS2D 为主线，共分为三篇。第一篇简要介绍了软件的理论基础，包括静力分析和动力分析的有限单元法、自由度的选取、非比例阻尼的处理、方程求解及其软件实现。第二篇主要介绍了软件的使用中遇到的问题，包括结构模型、单元划分、单元截面性质、静荷载、质量、阻尼、地面加速度记录的输入，以及软件使用方法、输出结果和出错信息的解释。第三篇介绍了软件的九个应用实例，涉及多层钢结构、钢筋混凝土结构、顶上有钢塔的混凝土框架复合结构、阻尼器减震结构。

为了便于学习使用 NDAS2D 软件及类似软件，读者可到网站 <http://www.kingofjudge.com> 下载 NDAS2D 软件最新学习版，配合本书有关内容的讲解，以提高学习效率。

限于作者水平，书中难免有错误与不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者

2005 年 10 月

目 录

总序
前言

第一篇 理论基础与软件实现

第 1 章 NDAS2D 软件的总体构造	1
第 1 节 引言/1	
第 2 节 程序的总体构造/3	
第 2 章 结构计算模型	6
第 1 节 结构自由度/6	
第 2 节 结构刚度矩阵/10	
第 3 节 结构质量矩阵/11	
第 4 节 比例阻尼/12	
第 5 节 非比例阻尼/14	
第 6 节 恒载与活载/15	
第 3 章 方程的求解	16
第 1 节 静平衡方程及其解法/16	
第 2 节 结构线弹性自振特性计算/17	
第 3 节 动力平衡方程/17	
第 4 节 地震激励/18	
第 5 节 逐步积分法/18	
第 6 节 与刚度有关的阻尼修正平衡方程/21	
第 7 节 切线刚度/22	
第 8 节 状态确定/22	
第 4 章 软件主模块详细流程	26
第 5 章 单元分析	31

第 1 节	桁架单元/31
第 2 节	梁柱单元/35
第 3 节	填充板单元/43
第 4 节	半刚接单元/45
第 5 节	梁单元/47
第 6 节	刚度退化梁单元/47

第二篇 NDAS2D 软件的使用

第 6 章	NDAS2D 软件的功能及使用要求	57
第 7 章	NDAS2D 的安装、启动和文件管理	58
第 1 节	NDAS2D 软件的安装/58	
第 2 节	NDAS2D 软件的启动/58	
第 3 节	NDAS2D 的文件管理/59	
第 4 节	NDAS2D 软件的组织及运行顺序/60	
第 8 章	NDAS2D 的运行	61
第 1 节	工程设置/61	
第 2 节	数据检查/62	
第 3 节	生成总刚和静力计算/64	
第 4 节	结构动力特性计算/66	
第 5 节	动力时程计算/67	
第 9 章	结构本体数据的输入	76
第 1 节	一般说明/76	
第 2 节	标题及总控制信息/76	
第 3 节	节点坐标数据的输入及生成功能/77	
第 4 节	位移规格数信息/77	
第 5 节	节点间主-从关系信息/78	
第 6 节	单元数据的输入/79	
第 7 节	带宽优化与节点自由度排序信息/85	
第 8 节	集中节点质量的输入/86	
第 9 节	结构最大允许位移/86	
第 10 章	静力分析的荷载数据	88

第 1 节	静荷载原始数据的组成/88	
第 2 节	节点荷载模式/89	
第 3 节	梁柱单元内荷载模式/89	
第 4 节	荷载调用表/92	
第 11 章	结构动力特性计算所需数据	93
第 1 节	结构实模态的计算/93	
第 2 节	阻尼参数的计算或输入/94	
第 12 章	地震响应计算所需数据	97
第 13 章	计算结果输出控制	99
第 14 章	两独立结构同时计算的输入数据	102
第 15 章	NDAS2D 输出信息	103
第 1 节	数据检查输出结果/103	
第 2 节	生成总刚和静力计算输出结果/108	
第 3 节	动力特性输出结果/111	
第 4 节	动力时程计算输出结果/112	

第三篇 应用实例

第 16 章	三跨十层钢框架	116
第 17 章	单跨十层钢框架	129
第 18 章	单跨三层钢筋混凝土框架	137
第 19 章	包括半刚性节点多单元类型组合结构	146
第 20 章	附加阻尼器的单层框架	155
第 21 章	附加阻尼器的十层框架	159
第 22 章	混凝土建筑及其顶上钢塔	170
第 23 章	单自由度结构及其与手算结果的对比	188
第 24 章	水平和竖向地震同时作用的十层框架	192
附录 A	输入数据分隔符索引	206
附录 B	NDAS2D 运行出错信息表	207
参考文献		212

出版者的话

第一篇 理论基础与软件实现

第 1 章 NDAS2D 软件的总体构造

第 1 节 引 言

建筑物在受到强烈地震作用时，其结构不可避免地会进入弹塑性状态，因此，完整的结构抗震时程计算应采用弹塑性分析程序。《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2001）第 5.5.2 条给出了应验算罕遇地震作用下薄弱层弹塑性变形的五种情形的结构和宜验算罕遇地震作用下薄弱层弹塑性变形的四种情形的结构。第 5.5.3 条给出了弹塑性变形验算可采用的三种方法，其中最为准确的方法就是弹塑性时程分析法，并规定了对规则结构可采用平面杆系模型进行计算。

目前，设计部门急需能够计算结构在强震作用下动力响应实用的弹塑性分析程序。由于弹塑性时程分析算法的复杂及相应软件开发困难的困难，功能较为完善的三维空间弹塑性时程分析软件大都价格昂贵，所以一般设计单位即使购买了这种软件，也会由于要学习弹塑性时程分析所需计算参数的选取花费相当的时间。实际上，对于平面不规则的建筑结构，需要应用三维空间弹塑性时程分析软件来计算，但对于平面规则的建筑结构，特别是采用隔震和消能减震设计的一般结构，使用平面弹塑性时程分析软件也可满足工程精度和抗震规范的要求。平面弹塑性时程分析软件 NDAS2D 就是为适应此要求而研制开发的。

NDAS2D (Nonlinear Dynamic Analysis of Structures in 2 Dimensions) 是指在 Windows 98/Me/2000/XP 环境下的平面结构弹塑性及几何非线性地震响应计算软件。它具有以下功能与

特点:

(1) 它配有桁架单元、梁柱单元、填充墙(板)单元、(模拟钢框架结点的)半刚接单元、梁单元,以考虑刚度退化的梁单元。这些单元可任意方位放置,并计算了偏心刚臂效应,以固端力形式考虑了单元内静载作用,多种屈服面形式使模拟钢筋混凝土柱、钢柱、纯弯梁的损伤破坏。

(2) 它能计算结构线性小变形状态下的自振周期与振型,并据此确定瑞雷阻尼系数。

(3) 它采用常加速度法逐步积分计算非线性地震响应,算法稳定、没有超越现象,满足工程精度要求;考虑了杆件轴向力引起的 $P-\Delta$ 效应,可计算水平和竖向地震同时作用的结构。

(4) 它能计算由两种不同阻尼特性材料建造的组合结构。例如混凝土房屋上建有钢塔或钢屋顶、房屋与基础间有橡胶减震层、在房屋的某些部位放置高阻尼的耗能器等结构的弹塑性动力响应。该软件不形成和存储整体阻尼矩阵,节省内存,计算速度快。

(5) 解题规模大。它能计算 3000 个节点的结构,动态分配内存,很容易扩大解题规模。软件学习版(有关网站下载)可计算最多 51 个节点、120 个自由度的结构。

(6) 输入数据文件采用自由格式,具有由若干个分隔符引导的数据段的组成形式,本身就有良好的可读性。对运行的各阶段备有详细的查错信息,方便用户使用。

(7) 它配有功能完备的后处理程序段,在屏幕上显示高分辨率的结构原型、实模态、静变形、某时刻动变形和某点动力响应时间历程图;并且对上述前四种图形还输出 *.DXF 格式文件,供 AutoCAD 软件显示和打印;对上述最后一种输出 *.DAT 文件,供 Origin 或 Excel 软件绘图和打印。

(8) 它可同时计算两个独立结构,这为比较两相似结构(例如一个是原结构,而另一个在其上加设了阻尼器等减振措施)的动力响应,特别是通过“动画回放”功能直观动态地显示比较两

结构动力响应提供了方便。

第 2 节 程序的总体构造

编制在微型计算机上运行的大型程序，首先要有一个总的构想，根据程序所要完成的功能，分析为达到这个目的要通过哪几个步骤，哪些中间计算结果要保留下来供后续程序模块使用。

在微型计算机上开发规模较大的程序，最重要的一点是内存资源的合理调配。关于这点，大体有三种方法和形式：第一种为数组大小固定，这种形式只适用于待求解题目规模小，且题目规模变化不大的程序；第二种为动态分配数组，即在程序中开设一个大数组，根据所分析题目的规模和分析过程中不同阶段的需要，在程序中自动将该数组分割成长短不一的段，放各种数组或矩阵，使用此法的有 SAP5、ADINA、DRAIN-2D 等；第三种为数据基设计，在程序中，所有数据被分割成许多个文件以便于分别管理，同时在内存中设置一个大数组，又将此数组分割成若干个记录，记录的数目与各自的长度按使用要求确定，根据当前使用与否将上述文件中的几个调入放在内存数组某个记录中，进行计算操作后，若某个文件不再使用，可将其在内存数组中扫除，让出内存空间为下一步计算使用。开发出的程序模块化程度高是第三种方法最突出的特点。

钟万勰教授在数据基程序设计方法基础上，开发了结构分析内存管理系统 JINEGS，^[1]它将上述数据文件均存放于同一个外存文件（BANK）中，使内存资源用后的回收、调配、使用更加方便，最适合结构分析程序的开发。正是使用了 JINEGS，才使本程序在微型计算机上得以实现。

结构计算软件宜采用分段接力的方式运行，即将整个程序按功能分成若干个大模块，各模块是相对独立又相互联系的可运行程序段。这样便于使用屏幕显示结构简图等手段，及时检查数据输入及中间计算结果正确与否，便于及早改正输入数据错误，提

高效率。在 Windows 环境下, 各程序模块用对应的菜单项来调用。根据问题求解目的, 按一定顺序用鼠标点击菜单项运行相应的程序模块, 可得到问题的解答。

根据要完成的功能, 安排程序总体结构, 即各功能模块划分与运行顺序, 如图 1.1 所示, 其中虚线左边为计算主模块。对这些计算主模块设置相应的菜单项, 用户可通过菜单项控制整个的计算过程。NDAS2D 的主菜单项, 即计算主模块及其功能如表 1.1 所示。

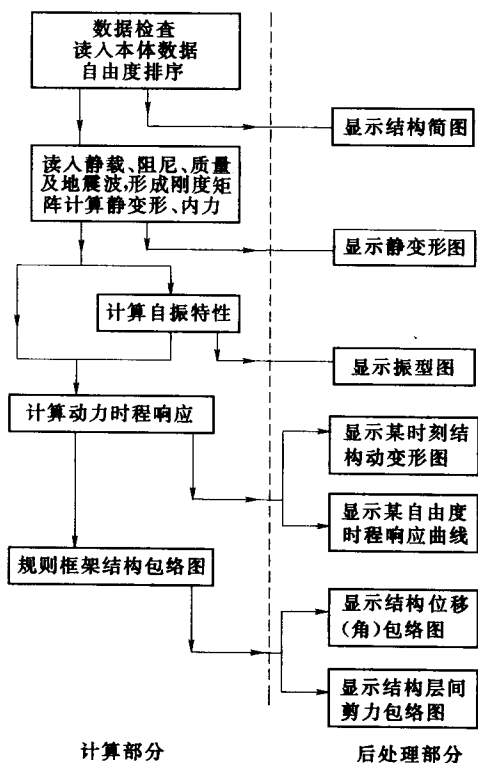


图 1.1 NDAS2D 软件流程图

表 1.1 中这些计算主模块都是相互独立的, 当执行某一模块

时, 就将它从磁盘上调入内存。当然, 要正确地使用这些程序段去完成一定的计算任务必须了解这些程序段之间的内在联系, 在执行这些模块时必须按照一定的顺序, 否则是不可能得到正确结果的。软件已按常规执行顺序对菜单的可执行状态进行了控制, 减少了用户误操作的可能性。“规则框架”的定义见第 4 章结尾处。

表 1.1 NDAS2D 的主菜单项及其功能

主模块名	主 要 功 能
数据检查	读入结构本体数据, 带宽优化, 自由度排序, 读入节点质量、地震波等
生成总刚度矩阵并进行静力计算	计算单元刚度矩阵, 组装初始总刚度矩阵 $[K_0]$, 读入静荷载, 求静变形、内力
动力特性计算	计算结构自振周期、振型, 确定瑞雷阻尼系数
动力时程计算	逐步积分求解非线性动力平衡方程
规则框架包络图	显示规则结构层剪力、层间侧移、层间位移角, 左列梁、柱弯矩包络图