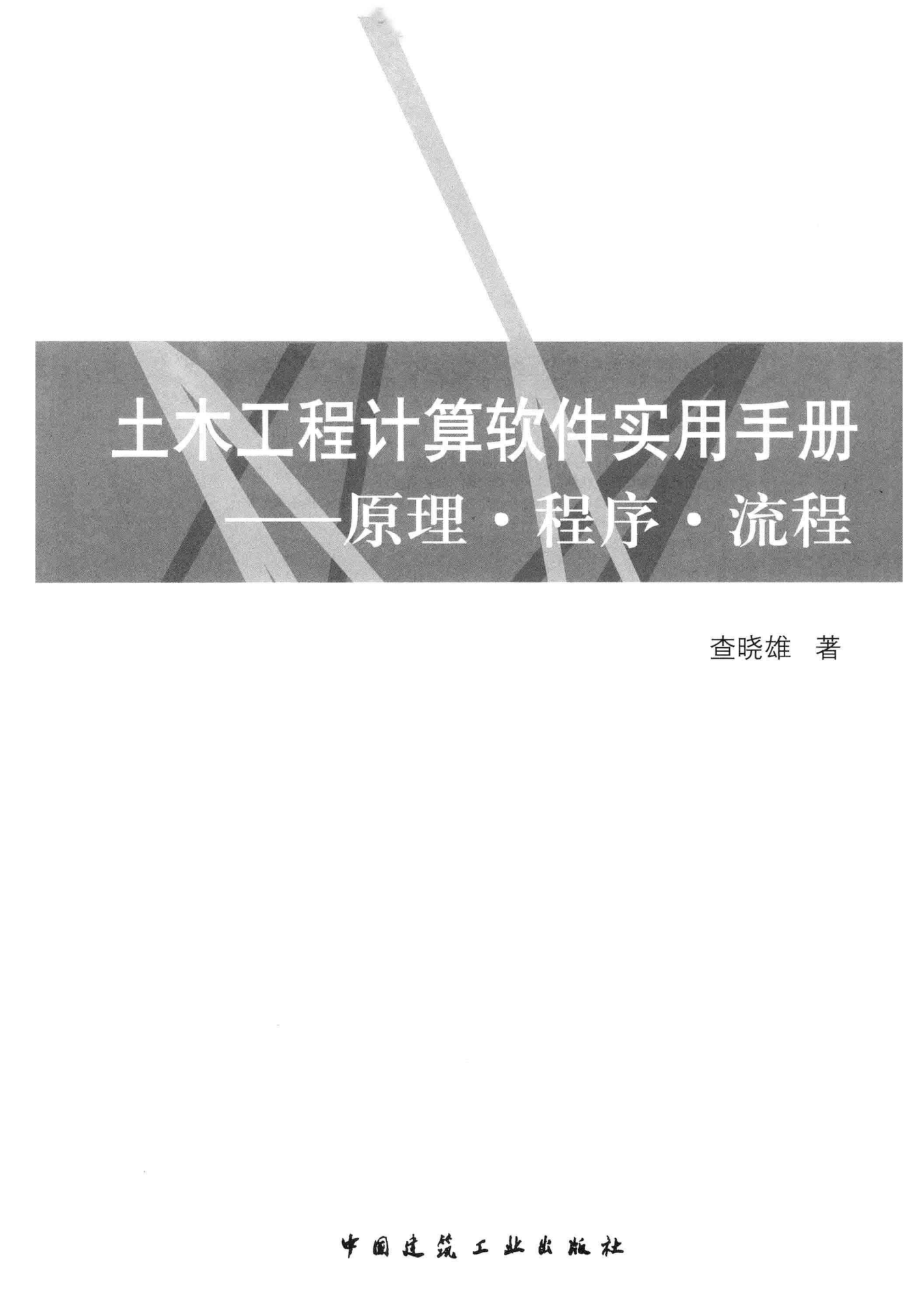




土木工程计算软件实用手册 ——原理·程序·流程

查晓雄 著

中国建筑工业出版社



土木工程计算软件实用手册

——原理·程序·流程

查晓雄 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程计算软件实用手册: 原理·程序·流程/
查晓雄著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 6
ISBN 978-7-112-15073-1

I. ①土… II. ①查… III. ①土木工程-计算机辅助设计-应用软件-手册 IV. ①TU201.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 019668 号

计算软件是现代工程研究、分析和设计的主要手段, 随着工程不断复杂化, 其显示着巨大的优越性。本书从工程中计算软件的操作、工程实例方面对软件的使用进行总结和讲解, 对具体的问题给出了程序和说明, 以利于理解和应用。全书共分 14 章, 主要内容包括: ABAQUS 软件; LS-DYNA 软件; COMSOL 软件; ANSYS 软件; Fluent 软件; Hypermesh 软件; CATIA 软件; MATLAB 软件; 火灾模型; 火灾疏散; 隔声吸声; 离散元; 科学计算小软件; 设计计算管理一体化数据库。

本书可供大专院校土木工程专业作为选修课程的教材, 也可供土木工程方面的技术人员和科研人员参考。

* * *

责任编辑: 辛海丽 徐晓飞

责任设计: 赵明霞

责任校对: 张 颖 陈晶晶

土木工程计算软件实用手册

——原理·程序·流程

查晓雄 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 38 $\frac{3}{4}$ 字数: 960 千字

2013 年 6 月第一版 2013 年 6 月第一次印刷

定价: 95.00 元

ISBN 978-7-112-15073-1

(23173)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

作者从事土木工程领域研究以来，越来越感到计算工具的重要性，因为随着工程问题复杂性的增加，经典的理论解很难得到。现在通常采用的手段是借助于有限元计算，而且随着对有限元软件的开发和利用，解决问题的能力大大提高，这使得以前基于理论、试验的研究方法，变成理论、计算、试验三位一体的研究方法。现在数值分析和计算的发展趋势以使用成熟软件为主，这样对使用人员理论性要求不高，但技巧性很强，有时往往决定研究人员的成果表现，也会极大地影响工作效率。在长期使用这些软件的过程中了解到，对于初学者，入门尤其重要，一旦入门，靠自己的不断摸索对软件使用会越来越熟悉，科研效率也会随之不断提高。

需要指出，软件在不断地发展，可能本书的内容需要不断更新；同时书中内容包含研究生的软件学习总结，虽然经过验证，可作为入门使用，但需要改进的地方也很多，同时错误也在所难免。其次，软件使用仅是数值计算的第一步，而软件计算的正确性需要不断的操作、验证，同一些经典解和试验吻合。模型同理论建模一样，并非越复杂越好，能反应结构的主要问题、忽略次要问题的简化模型才是好模型，也容易调试正确。最后，本书中仅提供实例，在实际应用中还要举一反三和及时总结，软件使用的遗忘性很快，半年不使用就忘得差不多。

实际上本书的原稿 2010 年就完成大部分，基于上面的理由迟迟没有出版。不过作者想，本书出版的目的很明确：使得研究人员快速掌握相关软件使用方法，迅速深入课题，在一些小的方面，通过自己入门后的实际操作会自然熟悉。

将我领入科学研究领域的是我的博士生导师钟善桐教授，将我领入计算领域的是我在英国从事博士后研究工作的指导老师、英国普利茅斯大学海洋科学与工程学院李龙元教授，至今他们对我的点点滴滴的指导、殷勤的希望都记忆犹新，在此也向两位教授表示衷心的感谢。

本书的很多内容是我指导的研究生的课题，很多成果是我和他们共同完成的，现在这些研究生纷纷毕业走向自己的岗位，本书的出版不仅是对这几年的成果总结，以免忘记，同时也是对我们曾经愉快、艰辛的探索和付出一个很好的记忆，在此对所有研究生辛勤的工作一并表示感谢。逝者如梦，但快乐不变的是对真理的追求和实现人生价值的满足感，古人云：“一日不做，一日不食”，所以能闭门做学问、总结有益成果是人生一大幸事。

本书为主要针对从事土木工程学科的研究人员编写的计算软件入门手册和实例，涉及

的方向很多，内容较广泛，可以为相关人员今后从事相关研究提供方法参考。本书内容原本作为本课题组的研究人员使用，特别同我的其他几本专著中的理论配合使用效果会更好。多年实践中，达到了研究生在相关课题快速入门的目的。需要指出的是，科研中试验和数值计算是分析中重要的、必需的，但却是辅助非主体的部分，它们应该为能揭示真正规律的理论推导服务，完全依赖试验和数值计算来进行科研，很难得到规律的发现，会成为实验员和软件员。

最后，作者衷心希望本书能够对读者计算程序的学习和使用有所帮助。虽然作者经过日日夜夜的努力，但由于水平有限，必然会出现不足之处，恳请广大读者批评指正。只是希望借此抛砖引玉，还望更多有志之士总结、补充和完善。

目 录

第 1 章 ABAQUS 软件	1
1.1 基本理论	1
1.2 安装和运行	1
1.3 建模	1
1.3.1 基本操作	1
1.3.2 特殊处理	7
1.3.3 子程序	7
1.4 ABAQUS 参数化建模、批量计算及自动后处理的方法	12
1.5 MATLAB 自动读取和分析处理有限元后处理结果的方法	16
1.6 技巧（操作）	20
1.6.1 快速建模（hypermesh 结合）	20
1.6.2 建模简化	20
1.6.3 各部分连接、本构统一、分成不同部分、CAD 图形输入	20
1.6.4 如何变化的地方分层建模	20
1.6.5 ABAQUS 中调整程序收敛性的方法	20
1.6.6 调试经验	23
1.7 实例和程序	23
1.7.1 ABAQUS 中钢材单轴滞回本构模型 UMAT 开发	23
1.7.2 混凝土边界面本构模型在 ABAQUS 中的 UMAT 实现	28
1.7.3 ABAQUS 中混凝土纤维本构模型 UMAT 开发	40
1.7.4 徐变子程序	46
1.7.5 温度计算	53
1.7.6 空心钢管混凝土构件抗震	82
1.7.7 钢管混凝土节点抗震性能的模拟	99
1.7.8 钢管混凝土结构抗震纤维梁模型	122
1.7.9 高层钢管混凝土龄期的影响	130
1.7.10 夹芯板徐变	143
1.7.11 方钢管混凝土初始缺陷	156
1.7.12 集装箱计算经验和问题	161
1.7.13 深圳宝安国际机场航站楼在火灾作用下的分析	164
1.7.14 轻钢集成活动房屋火灾作用下的分析	172

第 2 章 LS-DYNA 软件	181
2.1 基本操作	181
2.1.1 FEMB	181
2.1.2 技巧	183
2.1.3 LS-PREPOST	184
2.2 单位换算	184
2.3 组合结构在冲击荷载下的反应	184
2.3.1 前处理	185
2.3.2 修改 input 文件	192
2.3.3 LS-DYNA 求解器求解	196
2.3.4 后处理	196
2.4 用 LS-PREPOST 的命令流自动实现后处理的过程	197
2.4.1 LS-PREPOST 命令流的使用说明	197
2.4.2 LS-PREPOST 命令流的自动生成	198
2.4.3 LS-PREPOST 命令流的调用	200
2.4.4 说明和建议	201
2.5 不同类型柱子在汽车作用下的有限元模拟	201
2.5.1 研究问题简介	201
2.5.2 材料的本构关系及模型的简化处理	202
2.5.3 钢管混凝土侧向冲击试验模拟	204
2.5.4 汽车碰撞试验模拟	208
2.5.5 汽车撞柱的模拟	209
2.5.6 后处理及计算结果	211
2.5.7 程序调试中的经验和问题	213
第 3 章 COMSOL 软件	214
3.1 建模	214
3.1.1 New	214
3.1.2 Option	214
3.1.3 Draw	215
3.1.4 Physics	215
3.1.5 Mesh	215
3.1.6 Solve	215
3.1.7 Multiphysics	215
3.1.8 Postprocess	215
3.2 电化学脱盐的二维有限元模型	216
3.2.1 研究问题简介	216

3.2.2 控制方程及模型的简化处理	217
3.2.3 模型建立和实现过程详细步骤	219
3.2.4 后处理及计算结果	226
3.2.5 程序调试中的经验和问题	229
3.2.6 编制总结（可以结合建模看）	231
3.3 混凝土在火灾下表面的剥落机理	232
3.3.1 研究问题简介	232
3.3.2 材料的本构关系及模型的简化处理	233
3.3.3 有限元模型建立和实现过程	233
3.3.4 后处理及计算结果	241
3.3.5 程序调试中的经验和问题	242
3.4 水泥基材料超临界碳化分析	242
3.4.1 问题简介	242
3.4.2 超临界碳化控制方程	242
3.4.3 建模过程和模拟过程	247
3.5 海砂对钢管混凝土构件的腐蚀模拟	264
3.5.1 模型简介	264
3.5.2 模拟过程	265
第4章 ANSYS 软件	269
4.1 基本操作	269
4.1.1 基本方法	269
4.1.2 基本步骤	269
4.1.3 技巧	270
4.2 钢管混凝土拱桥拱肋吊装优化及施工稳定性模型	270
4.2.1 研究问题简介	270
4.2.2 材料的本构关系及模型的简化处理	271
4.2.3 命令流文件的编写和说明	272
4.2.4 命令流文件的执行	276
4.2.5 后处理及计算结果	279
4.2.6 程序调试中的经验和问题	281
本章参考文献	281
第5章 Fluent 软件	283
5.1 椭圆形截面绕流数值模拟	283
5.1.1 问题简介和模型简化	283
5.1.2 启动软件	284
5.1.3 几何模型建立	285

5.1.4	Fluent 运算	295
5.2	高速列车作用在声屏障板表面的脉动风压	304
5.2.1	研究问题简介	304
5.2.2	模型的简化处理	304
5.2.3	几何模型的建立	304
5.2.4	程序调试中的经验和问题	312
第 6 章	Hypermesh 软件	313
6.1	Hypermesh 使用总结	313
6.1.1	启动 Hypermesh 建模功能	313
6.1.2	建立几何模型	313
6.1.3	建立材料和计算模型	314
6.1.4	启动 Hypermesh 优化功能	314
6.2	夹芯板优化程序	315
6.3	柱非线性屈曲程序说明	347
6.4	使用公式编辑优化说明	380
第 7 章	CATIA 软件	384
7.1	基本使用	384
7.2	无接触摄影测量介绍	384
7.3	无接触式测量基本过程	385
7.3.1	相机标定: 软件 PhotoModeler Pro V5.1.0	385
7.3.2	图片拼接及模型还原: 软件 PhotoModeler Pro V5.1.0	386
7.3.3	光滑曲面拟合: 软件 CATIA P3 V5R17 (可以观看左边菜单的变化)	387
7.3.4	利用 Hypermesh 建立城墙网格模型	387
7.4	无接触式摄影测量对深圳南头古城损伤分析	387
7.4.1	利用软件 PhotoModeler Pro V5.1.0 进行相机标定	387
7.4.2	利用软件 PM 进行图片拼接及模型还原	393
7.4.3	利用 CATIA 进行光滑曲面拟合	401
7.4.4	利用 Hypermesh 建立城墙网格模型	406
7.4.5	城墙的 ABAQUS 分析	409
第 8 章	MATLAB 软件	412
8.1	MATLAB 有限条法计算檩条程序说明	412
8.1.1	MATLAB 软件的计算原理与传统有限元软件比较	412
8.1.2	有限条法简介	412
8.2	MATLAB 程序的解释与说明	413
第 9 章	火灾模型	418
9.1	现有模拟软件	418

9.2 FDS 建模基本步骤	418
9.2.1 模型的建立	418
9.2.2 创建火源	419
9.2.3 网格划分	420
9.2.4 设置模拟时间和运行	420
9.3 深圳宝安机场航站楼主指楼的火灾模型建立	420
9.3.1 模型简介	420
9.3.2 模型的前处理	422
9.3.3 火灾模型建立	422
9.3.4 模拟结果分析	428
9.3.5 建模的经验和问题	429
9.4 地铁火灾模型软件说明	429
9.4.1 研究问题简介	429
9.4.2 模型建立和实现过程	429
9.4.3 程序调试中的经验和问题	442
9.5 箱形房屋性能化防火设计	443
9.5.1 试验房屋介绍	443
9.5.2 火灾荷载确定	443
9.5.3 模型的建立	444
第 10 章 火灾疏散	472
10.1 疏散软件简介	472
10.2 软件使用的总结	472
10.2.1 模型的建立	472
10.2.2 运行: simulation model	473
10.2.3 后处理	474
10.3 机场人员疏散软件说明	474
10.3.1 研究问题简介	474
10.3.2 模型建立	474
10.3.3 分析过程	482
10.3.4 程序调试中的经验和问题	483
10.4 地铁人员疏散软件说明	484
10.4.1 研究问题简介	484
10.4.2 模型建立和实现过程	484
10.4.3 分析过程	500
10.4.4 计算结果及后处理	502
10.5 箱形房人员疏散软件说明	503

10.6 数据文件格式	520
第 11 章 隔声吸声	522
11.1 声学软件简介	522
11.1.1 SYSNOISE	522
11.1.2 AutoSEA	522
11.1.3 ACTRAN	522
11.2 ACTRAN 软件	523
11.2.1 吸声模拟过程	523
11.2.2 隔声模拟总说明	532
11.2.3 夹芯板隔声量模拟	533
11.3 SYSNOISE 软件	542
11.3.1 隔声软件使用总结	542
11.3.2 夹芯板隔声软件计算过程	543
11.3.3 吸声软件使用总结	554
11.3.4 吸声软件计算过程	555
第 12 章 离散元	565
12.1 离散元软件介绍	565
12.2 软件基本操作流程	566
12.3 夹芯板离散元模型介绍	567
12.4 夹芯板加载程序代码	567
12.5 位移查看方法	574
12.6 三维模型代码	575
12.7 其他操作说明	580
第 13 章 科学计算小软件：绘图、压缩	582
13.1 图片压缩器 JPEG imager	582
13.2 图形数据化 plot digitizer	584
13.3 数据回归 Origin	584
13.4 多元变量的回归 1stOpt15PRO	584
第 14 章 设计计算管理一体化数据库	588
14.1 设计计算管理数据库系统开发的软件	588
14.1.1 开发工具（编程环境）和界面设计	588
14.1.2 开发平台和运行环境	588
14.1.3 后台数据库	589
14.1.4 开发语言	589
14.1.5 ADO.NET 简介	589
14.1.6 结构化查询语言（SQL）简介	589

14.1.7	ASPOSE 软件	590
14.1.8	ABAQUS 脚本语言	590
14.2	数据库开发思想	590
14.2.1	数据库的结构	590
14.2.2	数据库的设计功能	591
14.2.3	数据库的数据管理功能	591
14.2.4	数据库的数值计算功能	591
14.3	数据库编码设计	591
14.3.1	程序设计基础	591
14.3.2	设计部分：空心钢管混凝土单肢截面设计函数具体代码	594
14.3.3	实验数据管理部分	603
14.3.4	有限元数值模拟部分	606
14.3.5	数据库编程经验	607

第 1 章 ABAQUS 软件

1.1 基本理论

参见 ABAQUS 自带的三个说明书：user's manual, keyword, example, 非常重要，遇到问题，需要从中结合实际问题的深入研究。

1.2 安装和运行

ABAQUS 及其配备软件安装过程，主要是 license 文件的处理，参见相关资料。

不同的两个版本不能同时运行，必须先关闭一个。ANSYS 也是如此。

运行前：license—start server。ABAQUS6.8 中 configure—start serve at power up, 可以自动启动 license。Set work directory: 可将计算文件存入指定目录。可以同时从外面打开两个 cae 文件。

输入文件后缀类型：cae, jnl, inp, 前面两个文件应同时存在才能修改，否则只能查看，有前两个文件也可生成 inp 文件，但 inp 文件不能生成 cae 文件，只能经过计算得到结果文件：.odb, 该文件较大。Dismiss 表示放弃。

1.3 建模

1.3.1 基本操作

standard 与 explicit 两种分析式的主要区别：step 中 load-t, plot history-set (output 中设置), material-density, mesh-element type-explicit, history output-domain (set)-displacement。

1. 基本步骤

依照 module 下拉列表一步步操作，作为完成初步模型是较好的方法。

1) 总的：首先页面布置。右键中 set as root 或 view-tree; 注意：model、instance、part 的关系是往下包含的，可以有很多 model，但每个 model 只能由一个 assembly 形成，其是由多个 part 组成的多个 instance (part 相当于 instance 的数据库) 组合成。

2) 按 part/property/assembly/step/interaction/load/mesh/job/visualization (必须导入 odb 文件才可以)/sketch 的顺序进行建模、分析与后处理。

3) part: part manager 管理器。为区分不同部件或对同一类操作或输出方便，在一个 part 中可以建立多个 set，最终这些都要赋予 property。但首先需要切割得到不同部分。

(1) 对于对称的圆管截面, 将圆截面分成四块, 然后设置 seed, 这样网格均匀。

(2) Beam 可在 wire 中设置。

(3) 完成或结束某一工具和操作后, 提示区要确认: Done (如果没有出现, 在图形中连续单击鼠标 2 或中键), 中键表示 done。Delete, construction (构造线, 非模型线, local), 黑三角表示有隐藏的下一级工具。

(4) Part 中有 partition (切割) 功能: 选择通过 point & normal、3 point 来完成。

(5) Part 的性质有功能 property: material 和 section—assembly: instance 每个物体 (可以由 part、set 和 surface 组合) 完成。Set、surface、datum (基准面) 在 tools 中, 建立完后在图形下方。修改 part, 在 edit feature 中, 但基本建模方式不能变, 如旋转等, 只能进行尺寸的缩放, 通过 add dimension。建模技巧: part—partition—partition cell 和 datum 的使用, 在一个 part 中划分, 可以减少计算量和连接, 中间还有 from plane 和 principal plane 的区别。

(6) 对 part 的各个部分进行划分, 不宜采用辅助面 datum 的做法, 那样会造成最后图形不清晰, 而应在面上做辅助线, 然后采用辅助线拉伸贯通的做法。选择 partition face 菜单的 sketch 选项, 点击要分割的面, 做好辅助线, 然后 Partion-Cell, 1, 选择第四个 Extrude/Sweep Edges 选项, 即按照边界线或指定的方向扫略。

4) Property: 包括本构、截面 (beam 单元)。这里可以建立 material (包括力学、热学及材料其他参数, 必须 assign 给 section, 相当于 section 的数据库)、section [/assign section/beam orientation (这都属于 beam)/tangent]、profile。

(1) Section 包括材料 (上一步建立的 material) 和截面结合形状。

(2) 刚片: 有 analytical rigid 等, extruded、revolved 等形成方式。

5) Assembly: 可以添加 part 后再在此步中复制。

6) Step: 仅表明加载过程和问题特征, 如静动力、线性和非线性、精度、步长等, 每个 step 中约束和荷载必须在后面 load 中定义。一般第一步必须是 initial, 包括增量步总数, 增量步的最小和最大值, 实际可在中间取。还有边界 (设置或 load 中)。第二步设置几何非线性、输出特性 (output manager)、静动力分析、线性和非线性。

精度和收敛: basic-none 或 specify dissipated energy fraction: 0.0002 耗散能系数, Incrementation>Fixed or automatic>最大增量 9999, 可以控制计算时间, 以免不收敛无限制计算, 非温度计算一般 30 \ 增量步初步定 60, 如果不收敛可改为 30, 非温度 0.1; 最小 10-5, 非温度 10-8, 最大等于总时间。前面两个非常影响计算。一个典型温度场精度见图 1-1。

7) Interaction: 含有 constraint 功能 (在树状图中单独有)。

8) Load: 包括 load、boundary、field (只能温度和速度), 必须指定对应的 step, 且最后必须提交。约束显示 no create (在 initial 中), 荷载显示 create。按钮  表示施加荷载,  表示加位移, 但应先建立 amplitude。

位移加载: boundary 中估计最大轴向位移。

9) Mesh: 包括单元类型和 seed (可以通过工具栏中的显示来 mesh 不同 part), 先定单元长度、种子数量和位置。最后一般可以采用默认方式划分。钢管混凝土: Seed 柱大概选 0.06, 框架选 3.0 (Edge by number)。若使用缩减积分单元, 计算快但有沙漏问题,

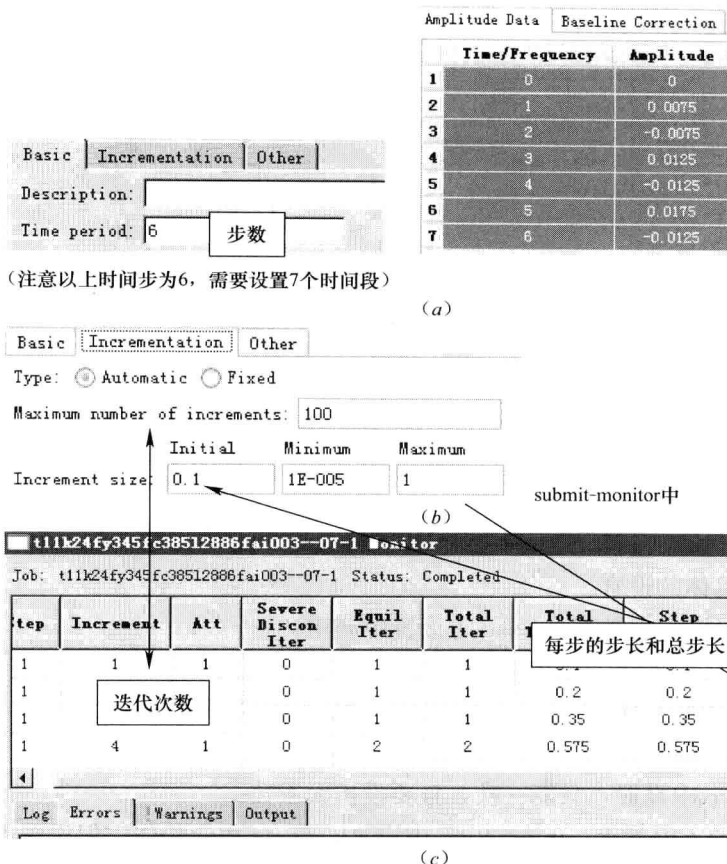


图 1-1 典型温度场精度

可以对比全积分和分析沙漏来解决。

选择 seed by number—选择边缘—输入个数，右边有 constraints，表示控制 seed 数目。mesh part。右下角小三角表示有选项。

Mesh 技巧：全局种子、局部定义种子数量、局部细化（选择 seed edge: biased）。Mesh: assign mesh control—medal axis 较好，然后 seed part instance—sweep, structure，然后改变 seed edge: 局部改变。然后 assign element type: 选择单元类型。

10) Visualization: animate (输出: animate-save as)、plot (deformation, undeformation) —输出 xy 图 (tool-xy manager-create-variable—node—pick, xydata—odb field output—一下三角点击变为侧三角，出现更多功能，plot or save as)，option—basic-scale 或 contours。Report 文件中有很多信息。

输出 xy 图 (图 1-2)—variable (unique load)/element (edit selection-done)/step (全选)—save。

manager 可以看 save 的结果。

11) Job: 最后一步必须提交运算，通过它来管理多个 model。Data check。Write inp 可以输出 inp 文件。

12) Sketch: 草图，可以通过其他软件获得。

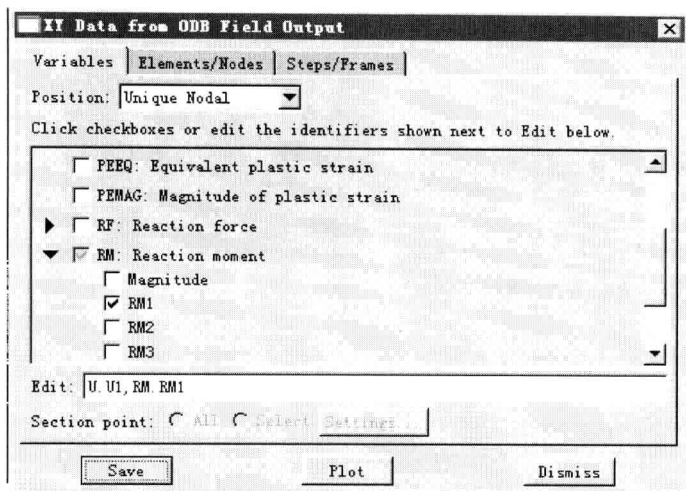


图 1-2 输出 xy

13) 其他功能和具体的设置:

(1) Amplitude: 编辑 xy 数据。Load 等设置中调用。

(2) Predefined field: 初始速度和温度, 与 step 有关。见下面温度应力分析。

(3) 设置表面可以方便建立 interaction。Interaction 设置: create 和 property。ABAQUS6.8 中有查找 find interaction 功能。

(4) Riks 法在 step 中设置, 只能一次, 且要设扩大系数。

(5) Inbode 钢筋插入混凝土: interaction 中设置, 与 tie 功能相似, 但设置准确的点。钢筋嵌入两种方式: 第一种移动钢筋: assembly—instance—钢筋—移动—information, 查找点的坐标, 因为移动是目标函数, 非移动相对位置。第二种 inbed: interaction—constraint—选择 embed—embed region—钢筋 (图形显示方便选择)—选择区域: select region 好, whole model 不好, 增加工作量。

(6) 也可通过 Assign 菜单设置单元、材料局部坐标等。

(7) 支座转动约束采用刚片时, 只能定义中心一点的转动, 如果多点的转动, 反而是固结, 同时这个刚片必须和至少一个单元大小一致。

(8) 一点焊接和 tie 属铰接, 多点 tie 才是刚接。Tie 面和 interaction 面设置: 主面面积和刚度相对从面要大。设置 interaction 滑移时, 注意其他端是否有约束。问题: 设置摩擦时, 包括 normal 和切向, 如梁如果没有正压力不会有摩擦力, 此时只能设置切向 fraction 的断裂, 法向不分离, 特别有垂直的接触面时, 注意 property 一定不一样 (主要是法向)。Interaction 缺点: 只能设有压力的接触 (法向压力), 而模拟滑移或剪切很难起作用, 感觉一开始就错动了, 即不能保证不动, 而且一旦错动后, 像产生了裂纹, 滑移强度又增加, 这种非线性也许只能借助 ADINA 等其他程序开发。

(9) 各物理量场量输出设置在 step 中。

(10) 钢板在力学计算选 shell 单元计算才准确, 在 heat transfer 中可用 solid。

(11) 杀死单元: 只能在 edit keyword (model—右键) 和 inp 文件中改, remove。一般在 step 后。

(12) 裂纹的考虑方式：①本构中受拉刚度下降。②子程序，通过判断改变材料性质。在温度计算中前者好但很难收敛，后者好收敛，但位置需人为确定。

(13) 加载步。step 和 load 区别，step 只定义过程，load 定义荷载类型，只有 step 才能确定时间或顺序，也才能实现所有 load 加入，但 load 中一定设置不同对应的 step。在第二步施加 10kN 的轴压力，第三步施加 1200kN 的轴力，这样的好处是建立起稳步的传力关系。对复杂的加载曲线也可通过 amplitude 设置表格 (tools: amplitude 或左边 amplitude) 确定，load 中选择。step 设置的个数：在多次计算中表现出影响收敛性和精度 (反复加载时变化)、rits 法时破坏曲线可多设几个步长，在接近破坏时短暂荷载一定单独设一个步长，否则下降段根本不能出来。很多功能与 step 有关：step 中有 heat 或 temperature 的功能。选择之后，单元、interaction (环境热辐射等参数) 等才出现与热有关的参数项。

step 中 max 最大步长影响精度，有时设置太小如 100，可能所需次数计算更长，故尽量大。

(14) 温度：step—heat transfer (无荷载) 和 couple temp-displacement (有荷载)。双击模型树中 Amplitude 可以定义输入表格。双击 model，可定义 Boltzmann 常数和绝对零度值。

温度中 interaction 需要定义：

① 三面受火荷载：火的升温曲线 amp-1、表面传热系数随时间变化曲线。

设置三面受火面为一个面集合，Tools-surface-create，在 interaction 需要 step2 中定义，对流 surface film condition (film coefficient amplitude: 表面传热系数随时间变化曲线。sink amplitude: 火的升温曲线 amp-1)。在 interaction 需要 step2 中定义辐射 surface radiation (定义辐射率 0.6 和环境温度火的升温曲线 amp-1)。

② 初始环境温度：定义 predefined field，step 选择 initial，other-temperature。注意不能包括刚体。

③ 网格类型选用为 coupled temperature-displacement。

④ 弹性模量设置 mechanical-elastic、塑性模型设置 mechanical-plastic-concrete damaged plastic、compressive behavior、tensile behavior、thermal-conductivity、thermal-specific heat、膨胀系数 mechanical-expansion、勾选 temperature-dependent。

⑤ 三面受火荷载：火面设置为一个面集合，便于设置接触。

(15) 正交各向异性材料：必须定义材料方向。①先定义局部坐标系：property>Create datum CSYS>Create datum CSYS: 2 lines。②定义材料方向：property-或 assign-material orientation-other method-coordinate system-edit：这里定义材料竖向为 X 轴，长度方向为 Y 轴，宽度方向为 Z 轴-ok。

(16) 注意 Depvar 的应用。

2. 显示和操作结果

1) Visualization (也可从 job 中 result 显示) —result—field output—S—SS11，而且可以动画标志，XY 曲线也在此定义。可选择 unique node 等显示方式。

2) 网格和实体显示操作在上方菜单栏，可以放大：option-common 中选择。

3) 图标下有三角表示还有下拉菜单，但需要长按住不动才能显示。

4) 显示与确定的内容有关：如显示单元或 part，必须在 assembly 中的 part instance，如果显示材料在 element 中的 material 中 (必须在. odb 文件中)，上方有显示键。