

带你玩转ANSYS Workbench18.0工程应用系列

ANSYS Workbench18.0

高阶应用与实例解析

买买提明·艾尼 陈华磊 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

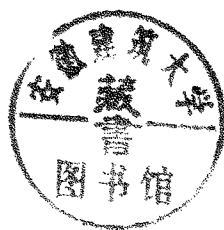
内附DVD

带你玩转 ANSYS Workbench18.0 工程应用系列

ANSYS Workbench18.0

高阶应用与实例解析

买买提明·艾尼 陈华磊 编著



机械工业出版社

本书以 ANSYS Workbench18.0 为基础,以常见工程应用问题为章节标题,介绍了接触与摩擦分析、结构对称分析、子模型应用分析、塑性分析、结构振动分析、机构刚柔耦合分析、碰撞分析、瞬态热分析、裂纹扩展与寿命分析、蠕变与松弛分析、复合材料分析、导电与磁场分析、流体动力学分析、多物理场耦合分析、客户化定制应用分析、试验探索与拓扑优化分析等内容,共 16 章,44 个典型工程实例。作为一本工程应用实例教程,包含了问题与重难点描述、实例详细解析过程及结果分析点评。

本书内容适合机械工程、土木工程、水利水电、能源动力、电子信息、工程力学、航空航天等领域。既可以作为理工科各专业的本科生、广大研究生和教师的教学用书及参考书,也可供相关领域从事产品设计、仿真和优化的工程技术人员及广大 CAE 爱好者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

ANSYS Workbench18.0 高阶应用与实例解析/买买提明·艾尼,陈华磊编著. —北京:机械工业出版社,2018.8

(带你玩转 ANSYS Workbench 18.0 工程应用系列)

ISBN 978-7-111-60594-2

I. ①A… II. ①买… ②陈… III. ①有限元分析-应用软件
IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 171140 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:黄丽梅 责任编辑:黄丽梅

责任校对:肖琳 封面设计:路恩中

责任印制:张博

三河市国英印务有限公司印刷

2018 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·19.5 印张·479 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-60594-2

ISBN 978-7-89386-188-8 (光盘)

定价:59.00 元 (含 1 DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

ANSYS Workbench 作为行业翘楚，在驱动新产品研发，缩短研发周期方面的优势，被越来越多的行业所认可。本书作为 ANSYS Workbench18.0 系列图书的第三本，继承了系列第一本《ANSYS Workbench18.0 有限元分析入门与应用》与第二本《ANSYS Workbench18.0 工程应用与实例解析》中实例的写作风格，集结的 44 个典型工程应用实例，以常见工程应用问题为章节标题，介绍了接触与摩擦分析、结构对称分析、子模型应用分析、塑性分析、结构振动分析、机构刚柔耦合分析、碰撞分析、瞬态热分析、裂纹扩展与寿命分析、蠕变与松弛分析、复合材料分析、导电与磁场分析、流体动力学分析、多物理场耦合分析、客户化定制应用分析、试验探索与拓扑优化分析等内容，既是对第一本和第二本实例内容的扩展，衔接新技术应用者的需求，又是对 ANSYS Workbench 相关工程应用领域分析能力的进一步展现。

本书工程实例全部来源于实际工程应用，反映了工程应用中的实际情况及 ANSYS Workbench 通用、易用的特点，帮助读者解决实际分析中可能遇到的问题。本书在编写过程中力求做到通俗易懂，每一个实例分析后都有结果分析与点评，但使用前如果对 ANSYS Workbench 没有一定基础，还是建议先学习一下本系列的前两本，循序渐进，学习效果会比较好。

本书以 ANSYS Workbench18.0 为基础，顺应趋势、自成体系、突出重点、注意细节、正误明确，通过 44 个典型工程实例对 ANSYS Workbench 平台中的相应模块应用进行介绍。全书共分 16 章，具体各章所涉及的内容如下：

第 1 章 接触与摩擦分析：主要介绍 4 个结构分析中常见的关于接触与摩擦分析的工程应用实例，包括问题与重难点描述、材料创建、模型处理、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第 2 章 结构对称分析：主要介绍两个结构分析中常见的关于对称结构分析的工程应用实例，包括问题与重难点描述、材料创建、模型处理、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第 3 章 子模型应用分析：主要介绍两个结构分析中常见的关于子模型应用分析的工程应用实例，包括问题与重难点描述、材料创建、模型处理、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第 4 章 塑性分析：主要介绍两个结构分析中常见的关于塑性分析的工程应用实例，包括问题与重难点描述、材料创建、模型处理、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第 5 章 结构振动分析：主要介绍 4 个结构分析中常见的振动分析的工程应用实例，包括问题与重难点描述、材料创建、模型处理、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分

析与点评等内容。

第6章 机构刚柔耦合分析：主要介绍两个机构分析中常见的刚柔耦合分析的工程应用实例，包括问题与重难点描述、材料创建、模型处理、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第7章 碰撞分析：主要介绍两个结构分析中常见的关于碰撞问题分析的工程应用实例，包括问题与重难点描述、材料创建、模型处理、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第8章 瞬态热分析：主要介绍两个结构热分析中常见的关于瞬态热分析的工程应用实例，包括问题与重难点描述、材料创建、模型处理、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第9章 裂纹扩展与寿命分析：主要介绍5个结构分析中常见的关于裂纹扩展与寿命分析的工程应用实例，包括问题与重难点描述、材料创建、模型处理、断裂网格创建、边界施加、nCode 联合应用、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第10章 蠕变与松弛分析：主要介绍两个结构分析中常见的关于蠕变与松弛分析的工程应用实例，包括问题与重难点描述、材料创建、模型处理、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第11章 复合材料分析：主要介绍两个常见的关于复合材料分析的工程应用实例，实例包括问题与重难点描述、材料创建、网格划分、实体模型创建、层创建、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第12章 导电与磁场分析：主要介绍两个常见的关于导电与磁场分析工程应用实例，包括问题描述、材料创建、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第13章 流体动力学分析：主要介绍4个流体动力学分析工程应用实例，包括 Fluent、CFX 流体单场应用，问题与重难点描述、材料创建、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第14章 多物理场耦合分析：主要介绍3个常见的关于多物理场耦合分析的工程应用实例，包括 Fluent、CFX 流体多物理场耦合应用，单向顺序耦合、热流固耦合和双向耦合多场应用的问题与重难点描述、材料创建、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第15章 客户化定制应用分析：主要介绍4个结构分析中常见的关于蠕变与松弛分析的工程应用实例，包括问题与重难点描述、材料创建、模型处理、网格划分、边界施加、求解及后处理、结果分析与点评等内容。

第16章 试验探索与拓扑优化分析：主要介绍两个优化分析中常见的关于实验探索与拓扑优化分析的工程应用实例，包括参数化优化、拓扑优化应用的问题描述、材料创建、网格划分、边界施加、优化设置、求解及优化模型的后处理、分析点评等内容。

本书特色：

- 1) 本书工程实例全部来源于实际工程应用，以解决实际问题为出发点。
- 2) 本书以常见重难点问题为章节标题，通过实例解析介绍问题的解决技巧。
- 3) 语言平实，说明为主，对关键步骤，在图中用粗线方框标注提示。

- 4) 重在软件 and 实际问题的解决，并对实例应用给予结果分析与点评。
- 5) 突出新技术应用和使用技巧讲解，介绍新方法应用时兼顾新老读者。

作者在本书的编写过程中追求准确性、完整性和应用性。但是，由于作者水平有限，书中欠妥、错误之处在所难免，希望读者和同仁能够及时指出，期待共同提高。读者在学习过程中遇到难以解答的问题，可以直接发邮件到作者邮箱 hkd985@163.com（书中模型索取）或加入 QQ 群 590703758 进行技术交流，作者会尽快给予解答。

另外，本书配有光盘 1 张，内含书中实例配套的相关模型及分析源文件。

买买提明·艾尼 陈华磊

目 录

前 言

第 1 章 接触与摩擦分析	1
1.1 自动送料小车轮轨非线性接触 分析	1
1.2 卡箍紧固件螺栓预紧非线性接触 分析	6
1.3 心血管支架接触分析	14
1.4 滑块摩擦生热分析	19
第 2 章 结构对称分析	25
2.1 狗骨形试件拉伸对称分析	25
2.2 制动轮循环对称分析	30
第 3 章 子模型应用分析	34
3.1 直角焊缝子模型分析	34
3.2 焊接 T 形管子模型分析	38
第 4 章 塑性分析	46
4.1 材料塑性变形回弹效应分析	46
4.2 卧式压力容器非线性屈曲分析	50
第 5 章 结构振动分析	59
5.1 椅子模态分析	59
5.2 水平轴风机叶片预应力模态分析	63
5.3 垂直轴风机叶片振动谐响应分析	67
5.4 活塞发动机凸轮轴随机振动分析	73
第 6 章 机构刚柔耦合分析	80
6.1 回转臂刚柔耦合分析	80
6.2 活塞式压气机曲柄连杆机构刚柔耦合 分析	85
第 7 章 碰撞分析	91
7.1 两车相向碰撞显式动力学分析	91
7.2 子弹冲击带铝板内衬的陶瓷装甲 分析	96
第 8 章 瞬态热分析	107
8.1 直齿轮水冷淬火瞬态热分析	107
8.2 晶体管瞬态热分析	111

第 9 章 裂纹扩展与寿命分析	117
9.1 钢筋混凝土开裂分析	117
9.2 球形压力容器裂纹分析	123
9.3 股骨柄疲劳分析	129
9.4 自行车前叉疲劳分析	134
9.5 机床弹簧夹头疲劳分析	138
第 10 章 蠕变与松弛分析	145
10.1 紧固件高温蠕变松弛分析	145
10.2 腰椎椎间盘蠕变分析	152
第 11 章 复合材料分析	160
11.1 冲浪板复合材料分析	160
11.2 储热管复合材料分析	169
第 12 章 导电与磁场分析	181
12.1 直流电电压分析	181
12.2 三相母线磁场分析	184
第 13 章 流体动力学分析	192
13.1 三管式热交换分析	192
13.2 棱柱形渠道水流波浪分析	208
13.3 离心压缩机叶片设计对比分析	216
13.4 叶片泵非定常分析	222
第 14 章 多物理场耦合分析	237
14.1 模型风机叶片单向流固耦合分析	237
14.2 燃气轮机基座热流固耦合分析	250
14.3 振动片双向流固耦合分析	254
第 15 章 客户化定制应用分析	264
15.1 储热补偿管应力分析	264
15.2 集热器框架应力分析	269
15.3 生死接触单元分析	274
15.4 钢板冲压显式动力学分析	279
第 16 章 试验探索与拓扑优化分析	285
16.1 燃气轮机机座热流固耦合及多目标 驱动优化	285
16.2 圆盘拓扑优化设计分析	295
参考文献	305

第 1 章 接触与摩擦分析

1.1 自动送料小车轮轨非线性接触分析

1.1.1 问题与重难点描述

1. 问题描述

冶金、锻造等重工业工厂的自动送料小车常采用轮轨，其中轮对由一根车轴和两个相同的车轮组成，车轮为踏面型。轮对一般应满足有足够的强度，不仅满足直行，还要能够顺利通过曲线和岔道，抗脱轨，并且具备阻力好和耐磨性好等优点。本例对轮对和钢轨详细设计尺寸不做说明，重在分析轮对与钢轨之间的接触。假设轮轨材料参数使用结构钢加双线性各向同性硬化，其中屈服强度为 $2.5 \times 10^8 \text{ Pa}$ ，切线模量为 $2 \times 10^{10} \text{ Pa}$ ；单轮承受 10000N 轴承力，钢轨底端面固定，如图 1-1 所示。试求轮轨在轴承力作用下的钢轨变形、应力状态以及接触压力。

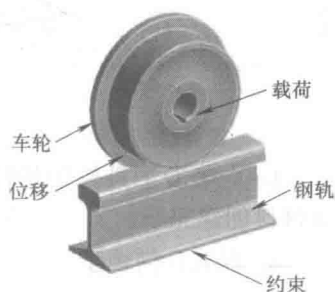


图 1-1 轮轨模型

2. 重难点提示

本实例重难点在于对轮轨摩擦接触非线性的设置，以及对收敛性的处理。

1.1.2 实例详细解析过程

1. 启动 Workbench18.0

在“开始”菜单中执行 ANSYS18.0→Workbench18.0 命令。

2. 创建结构静力分析

(1) 在工具箱【Toolbox】的【Analysis Systems】中双击或拖动结构静力分析【Static Structural】到项目分析流程图，如图 1-2 所示。

(2) 在 Workbench 的工具栏中单击【Save】，保存项目实例名为 Wheel rail.wbpj。如工程实例文件保存在 D:\AWB\Chapter01 文件夹中。

3. 创建材料参数

(1) 编辑工程数据单元，右键单击【Engineering Data】→【Edit】。

(2) 在工程数据属性中右键单击【Outline of Schematic A2: Engineering Data】→【Structural Steel】→【Duplicate】，得到【Structural Steel2】。

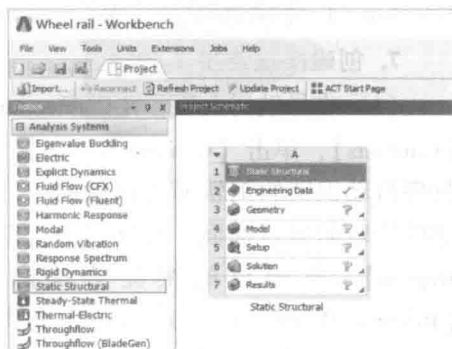


图 1-2 创建结构静力分析

(3) 在左侧单击【Plasticity】展开，双击【Bilinear Isotropic Hardening】→【Properties of Outline Row 4: Structural Steel2】→【Bilinear Isotropic Hardening】，设置【Yield Strength】= $2.5E+08\text{Pa}$ ，【Tangent Modulus】= $2E+10\text{Pa}$ ，其他默认，如图 1-3 所示。

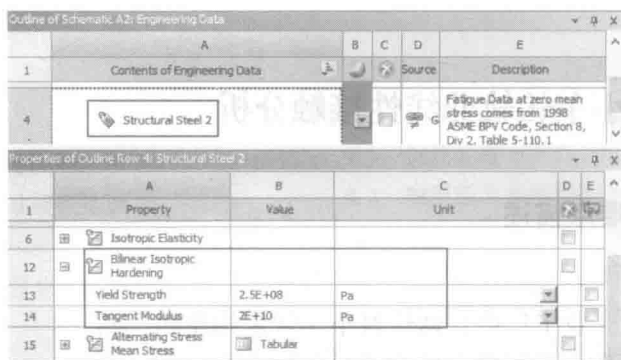


图 1-3 创建材料

(4) 单击工具栏中的【A2: Engineering Data】关闭按钮，返回到 Workbench 主界面，新材料创建完毕。

4. 导入几何模型

在结构静力分析上，右键单击【Geometry】→【Import Geometry】→【Browse】，找到模型文件 Wheel rail. agdb，打开导入几何模型。如模型文件在 D:\AWB\Chapter01 文件夹中。

5. 进入 Mechanical 分析环境

(1) 在结构静力分析上，右键单击【Model】→【Edit】，进入 Mechanical 分析环境。

(2) 在 Mechanical 的主菜单【Units】中设置单位为 Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)。

6. 为几何模型分配材料

在导航树上单击【Geometry】展开，选择【Rail, Wheel】→【Details of “Multiple Selection”】→【Material】→【Assignment】= Structural Steel2，其他默认。

7. 创建接触连接

(1) 在导航树上展开【Connections】→【Contacts】，单击【Contact Region】，默认程序自动识别的钢轨面为接触面，与其相邻的轮轨面为目标面。右键单击【Contact Region】，从弹出的快捷菜单中选择【Rename Based On Definition】，重新命名目标面与接触面，然后右键单击接触对，从弹出的快捷菜单中选择 Flip Contact/Target。

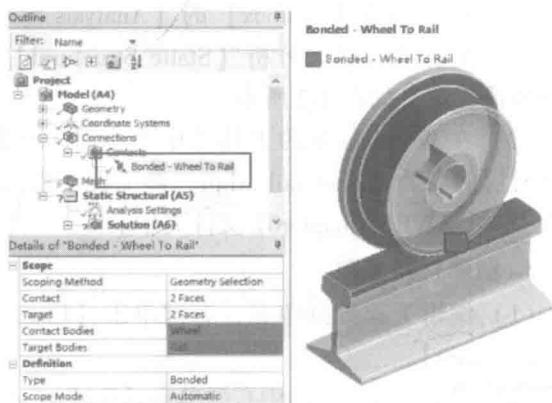


图 1-4 创建接触连接

(2) 接触设置，如图 1-4 所示，单击

【Bonded-Wheel To Rail】→【Details of “Bonded-Wheel To Rail”】→【Definition】，设置【Type】= Frictional，【Friction Coefficient】= 0.3，【Behavior】= Symmetric；【Advanced】→【Formulation】= Augmented Lagrange；【Geometric Modification】→【Interface Treatment】= Add Offset, Ramped Effects，其他默认，如图 1-5 所示。

8. 划分网格

(1) 在导航树上单击【Mesh】→【Details of “Mesh”】→【Sizing】，设置【Relevance Center】= Medium，其他默认。

(2) 在导航树上选择所有体，然后右键单击【Mesh】，从弹出的菜单中选择【Insert】→【Sizing】→【Body Sizing】→【Details of “Body Sizing”】，设置【Element Size】= 5mm。

(3) 选择所有体，然后右键单击【Mesh】，从弹出的菜单中选择【Insert】→【Method】→【Hex Dominant】，其他默认。

(4) 生成网格，右键单击【Mesh】→【Generate Mesh】，图形区域显示程序生成的网格模型，如图 1-6 所示。

(5) 网格质量检查，在导航树上单击【Mesh】→【Details of “Mesh”】→【Quality】，设置【Display Style】= Element Quality，显示 Element Quality 规则下网格质量状态，如图 1-7 所示；【Mesh Metric】= Element Quality，显示 Element Quality 规则下网格质量详细信息，平均值处在好水平范围内，展开【Statistics】显示网格和节点数量。



图 1-5 接触设置



图 1-6 划分网格

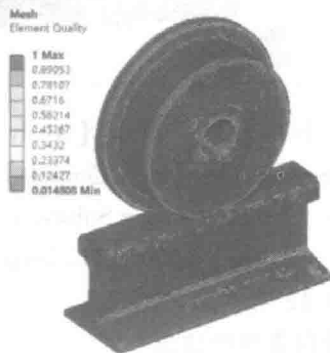


图 1-7 网格质量显示

9. 接触初始检测

(1) 在导航树上右键单击【Connections】→【Insert】→【Contact Tool】。


(2) 右键单击【Contact Tool】，从弹出的快捷菜单中选择【Generate Initial Contact Results】，经过初始运算，得到接触状态信息，如图 1-8 所示。

Name	Contact Side	Type	Status	Number Contacting	Penetration (mm)	Gap (mm)	Geometric Penetration (mm)	Geometric Gap (mm)	Resulting Pinball (mm)	Real Constant
Frictional - Wheel To Rail	Contact	Frictional	Closed	5.	1.1803e-002	0.	1.1803e-002	N/A	8.418	5.
Frictional - Wheel To Rail	Target	Frictional	Closed	2.	8.9949e-003	0.	8.9949e-003	N/A	9.3266	6.

图 1-8 接触初始检测

10. 施加边界条件


(1) 单击【Static Structural (A5)】。

(2) 施加轴承力，在标准工具栏上单击，然后选择轴承座内表面，在环境工具栏上单击【Loads】→【Bearing Load】→【Details of “Bearing Load”】→【Definition】，设置【Define By】= Components，【X Component】= 0N，【Y Component】= -100000N，【Z Component】= 0N，如图 1-9 所示。

A: Static Structural
Bearing Load
Time: 1. s
Bearing Load: 10000 N
Components: 0, -10000, 0, N



图 1-9 施加载荷

(3) 施加位移，首先在标准工具栏上单击，然后选择轮轨端面，在环境工具栏单击【Supports】→【Displacement】→【Details of “Displacement”】→【Definition】，设置【Define By】= Components，【X Component】= 0mm，【Y Component】= free，【Z Component】= 0mm，如图 1-10 所示。

A: Static Structural
Displacement
Time: 1. s
Displacement
Components: 0, Free, 0, mm

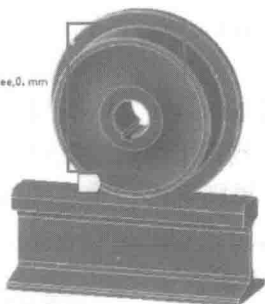



图 1-10 施加载荷

(4) 施加约束，首先在标准工具栏上单击，然后选择钢轨底端面，在环境工具栏单击【Supports】→【Fixed Support】，如图 1-11 所示。

A: Static Structural
Fixed Support
Time: 1. s
Fixed Support

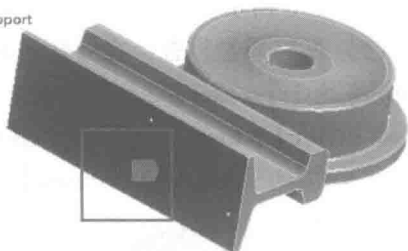


图 1-11 施加约束

(5) 分析设置，单击【Analysis Settings】→【Details of “Analysis Settings”】→【Step Controls】，设置【Auto Time Stepping】= On，【Define By】= Substeps，【Initial Substeps】= 20，【Minimum Substeps】= 10，【Maximum Substeps】= 50，其他默认，如图 1-12 所示。

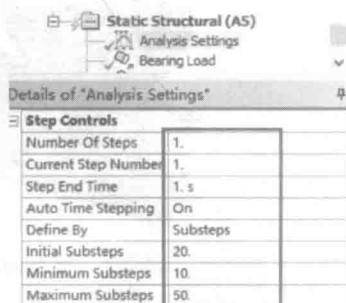



图 1-12 分析设置

11. 设置需要的结果

(1) 在导航树上单击【Solution (A6)】。

(2) 在求解工具栏上单击【Deformation】→【Directional】→【Details of “Directional Deformation”】→【Definition】→【Orientation】= Y Axis。

(3) 在标准工具栏上单击，选择钢轨表面，然后在求解工具栏上单击【Stress】→【Equivalent (von-Mises)】。

12. 求解与结果显示

(1) 在 Mechanical 标准工具栏上单击 Solve 进行求解运算。

(2) 运算结束后,单击【Solution (A6)】→【Directional Deformation】,图形区域显示分析得到的钢轨Y方向变形分布云图,如图1-13所示;单击【Solution (A6)】→【Equivalent Stress】,显示钢轨等效应力分布云图,如图1-14所示。



图 1-13 轮轨 Y 方向变形云图

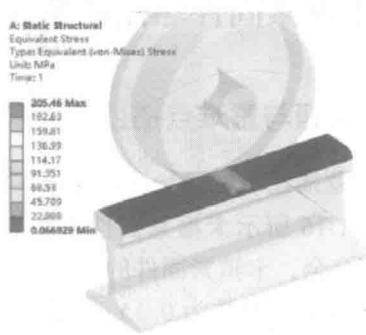


图 1-14 轮轨等效应力分布云图

13. 接触评估

- (1) 在导航树上单击【Solution (A6)】。
- (2) 在求解工具栏上单击【Tools】→【Contact Tool】。
- (3) 单击【Contact Tool】→【Status】→【Details of “Status”】→【Definition】→【Type】= Pressure, 其他默认。

(4) 右键单击【Contact Tool】,从弹出的快捷菜单中选择【Evaluate All Results】,运算后,单击【Contact Tool】→【Pressure】查看接触压力结果,如图1-15所示。

14. 保存与退出

(1) 退出 Mechanical 分析环境,单击 Mechanical 主界面的菜单【File】→【Close Mechanical】退出环境,返回到 Workbench 主界面,此时主界面的分析流程图中显示的分析已完成。

(2) 单击 Workbench 主界面上的【Save】按钮,保存所有分析结果文件。

(3) 退出 Workbench 环境,单击 Workbench 主界面的菜单【File】→【Exit】退出主界面,完成分析。

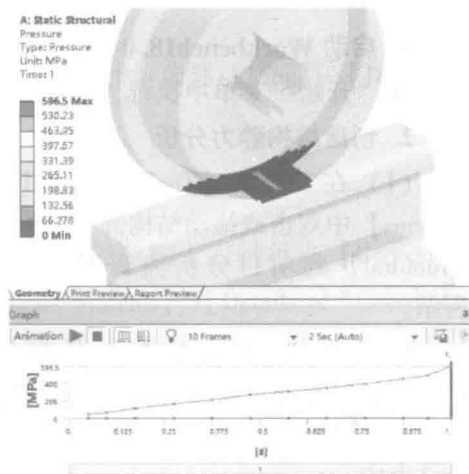


图 1-15 接触压力

1.1.3 结果分析与点评

本实例是自动送料小车轮轨非线性接触分析,从分析结果来看,尽管接触对的接触位置和目标位置选择都是面,但轮轨接触实为线接触,因此在接触位置呈现线状形式的等效应力和接触压力都较大,接触压力呈非线性增长,而接触处的变形相对小。本例仅考虑静止状态下的一种工况,在本例中如何使求解快速收敛是关键,这牵涉到非线性接触设置与接触初始检测、求解过程中子步设置,以及对应的边界条件设置。Mechanical 在求解非线性时有强大

的处理方法，求解前即可通过初始检测来判定接触设置是否正确，求解后可通过查看收敛图、接触追踪、接触评估及 Newton-Raphson 余量来判定是否收敛及解决方法。

1.2 卡箍紧固件螺栓预紧非线性接触分析

1.2.1 问题与重难点描述

1. 问题描述

如图 1-16 所示卡箍紧固件用于夹紧圆管，圆管的材料为铜合金，卡箍紧固件的材料为结构钢。紧固件与圆管之间的摩擦因数为 0.15，工作时紧固件的夹紧力为 1000N。试求圆管被卡箍紧固件夹紧时的 Z 方向变形以及卡箍紧固件最大的应力与变形。

2. 重难点提示

本实例重难点在于多接触对，对带有螺栓预紧的卡箍紧固件这样的模型怎样进行非线性接触设置，以及对收敛性处理。

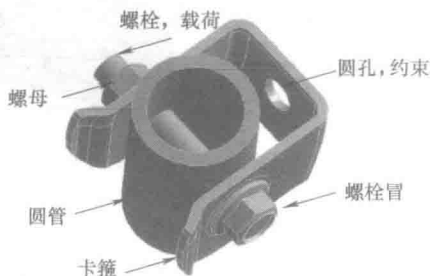


图 1-16 卡箍紧固件螺栓模型

1.2.2 实例详细解析过程

1. 启动 Workbench18.0

在“开始”菜单中执行 ANSYS18.0→Workbench18.0 命令。




2. 创建结构静力分析

(1) 在工具箱【Toolbox】的【Analysis Systems】中双击或拖动结构静力分析【Static Structural】到项目分析流程图，如图 1-17 所示。

(2) 在 Workbench 的工具栏中单击【Save】，保存项目实例名为 Clamp.wbpj。如工程实例文件保存在 D:\AWB\Chapter01 文件夹中。

3. 创建材料参数

(1) 编辑工程数据单元，右键单击【Engineering Data】→【Edit】。

(2) 在工程数据属性中增加材料，在 Workbench 的工具栏上单击  工程材料源库，此时的界面主显示【Engineering Data Sources】和【Outline of Favorites】。选择 A3 栏【General materials】，从【Outline of General materials】里查找铜合金【Copper Alloy】材料，然后单击【Outline of General Material】表中的添加按钮 ，此时在 C6 栏中显示标示 ，表明材料添加成功，如图 1-18 所示。

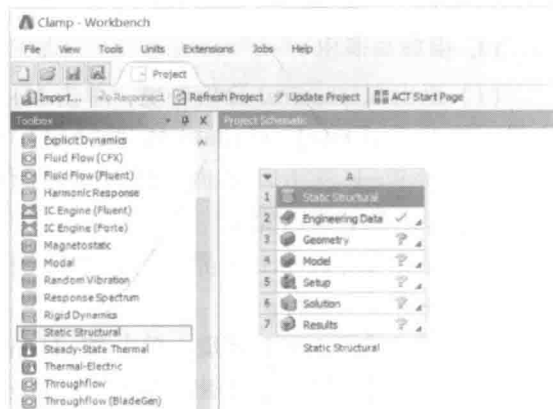


图 1-17 创建结构静力分析

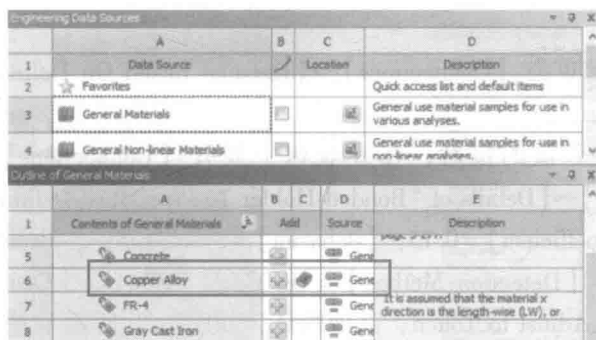


图 1-18 创建材料

(3) 单击工具栏中的【A2: Engineering Data】关闭按钮，返回到 Workbench 主界面，新材料创建完毕。

4. 导入几何模型

在结构静力分析上，右键单击【Geometry】→【Import Geometry】→【Browse】，找到模型文件 Clamp. x_t 打开导入几何模型。如模型文件在 D:\AWB\Chapter01 文件夹中。

5. 进入 Mechanical 分析环境

(1) 在结构静力分析上，右键单击【Model】→【Edit】进入 Mechanical 分析环境。

(2) 在 Mechanical 的主菜单【Units】中设置单位为 Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)。

6. 为几何模型分配材料

(1) 为圆管分配材料，在导航树上单击【Geometry】展开，选择【Pipe】→【Details of “Pipe”】→【Material】→【Assignment】= Copper Alloy。

(2) 卡箍、螺栓和螺母的材料默认为结构钢。

7. 定义局部坐标


在 Mechanical 标准工具栏单击，选择螺栓外表面；在导航树上右键单击【Coordinate Systems】，从弹出的快捷菜单中选择【Insert】→【Coordinate Systems】→【Details of “Coordinate System”】→【Principal Axis】→【Axis】= Z，其他默认，如图 1-19 所示。



图 1-19 局部坐标设置

8. 接触设置

(1) 导航树上右键单击【Connections】→【Rename Based On Definition】，重新命名目标面与接触面。

(2) 设置圆管与卡箍的接触，在导航树上展开【Connections】→【Contacts】，单击【Bonded-Holder To Pipe】→【Details of “Bonded-Holder To Pipe”】→【Definition】，设置【Type】= Frictional，【Frictional Coefficient】= 0.15，【Behavior】= Symmetric；【Advanced】→【Formulation】= Augmented Lagrange，【Detection Method】= On Gauss Point；【Geometric Modification】→【Interface Treatment】= Adjust to Touch，其他默认，如图 1-20 所示。



图 1-20 摩擦接触设置



(3) 设置螺栓头与卡箍表面的接触，单击【Bonded-Holder To Bolt】→【Details of “Bonded-Holder To Bolt”】→【Scope】→【Contact】，单击 3Faces，在空白处单击，单击  选择卡箍侧面圆区域，然后 Apply 确定，如图 1-21 所示。隐藏整个卡箍，选择目标面 Target，单击 4Faces，在空白处单击，单击  选择卡箍侧面圆区域对应的螺栓头表面，然后 Apply 确定，如图 1-22 所示。设置【Definition】→【Type】= Frictional，【Frictional Coefficient】= 0.15，【Behavior】= Symmetric；【Advanced】→【Formulation】= Augmented Lagrange，【Detection Method】= On Gauss Point，【Geometric Modification】→【Interface Treatment】= Add Offset, Ramped Effects，其他默认，如图 1-23 所示。



图 1-21 设置摩擦接触面

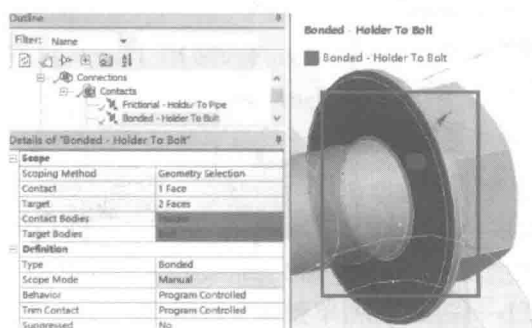


图 1-22 设置摩擦接触目标面

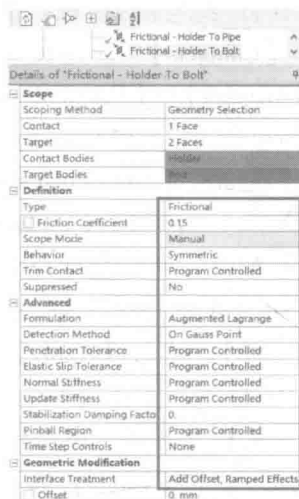


图 1-23 摩擦接触设置

(4) 螺母与卡箍表面的接触, 单击【Bonded-Holder To Nut】→【Details of “Bonded-Holder To Nut”】→【Definition】→【Type】= Frictional, 设置【Frictional Coefficient】= 0.15, 【Behavior】= Symmetric; 【Advanced】→【Formulation】= Augmented Lagrange, 【Detection Method】= On Gauss Point, 【Geometric Modification】→【Interface Treatment】= Add Offset, Ramped Effects, 其他默认, 如图 1-24 所示。

(5) 螺栓杆与圆管的接触, 单击【Bonded-Pipe To Bolt】→【Details of “Bonded-Pipe To Bolt”】→【Definition】→【Type】= Frictionless, 【Behavior】= Symmetric; 【Advanced】→【Formulation】= Augmented Lagrange, 【Detection Method】= On Gauss Point; 【Geometric Modification】→【Interface Treatment】= Adjust to Touch, 其他默认, 如图 1-25 所示。

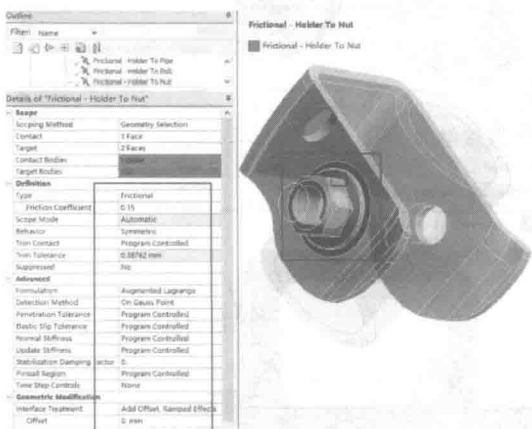


图 1-24 摩擦接触设置

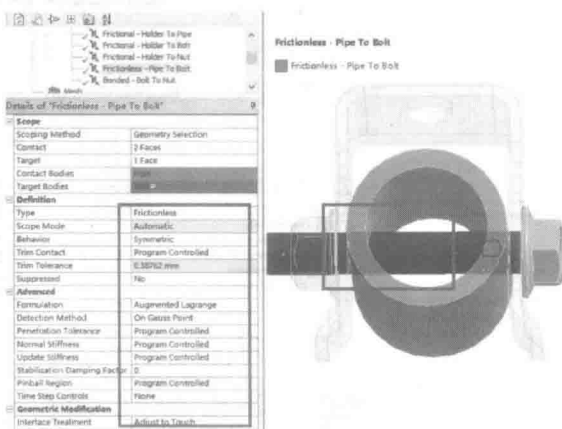




图 1-25 无摩擦接触设置

(6) 螺栓杆与螺母的接触, 单击【Bonded-Bolt To Nut】→【Details of “Bonded-Bolt To Nut”】→【Definition】→【Behavior】= Symmetric; 【Advanced】→【Formulation】= Pure Penalty, 【Detection Method】= On Gauss Point, 其他默认, 如图 1-26 所示。

(7) 螺栓杆与卡箍的接触，在导航树上单击【Contacts】，在连接工具栏中单击【Contact】→【Frictionless】，单击【Frictionless-No Selection To No Selection】→【Details of “Frictionless-No Selection To No Selection”】→【Contact】，隐藏螺栓杆和圆管，单击选择卡箍两侧孔内表面，单击【Contact】右方的【No Selection】，然后【Apply】确定，如图 1-27 所示。单击【Target】，显示隐藏的螺栓柱和圆管，单击选择螺栓杆表面，单击【Target】右方的【No Selection】，然后【Apply】确定，如图 1-28 所示。单击【Frictionless-Holder To Bolt】→【Details of “Frictionless-Holder To Bolt”】→【Definition】→【Behavior】= Symmetric；【Advanced】→【Formulation】= Augmented Lagrange，【Detection Method】= On Gauss Point；【Geometric Modification】→【Interface Treatment】= Add Offset，No Ramping，其他默认，如图 1-29 所示。

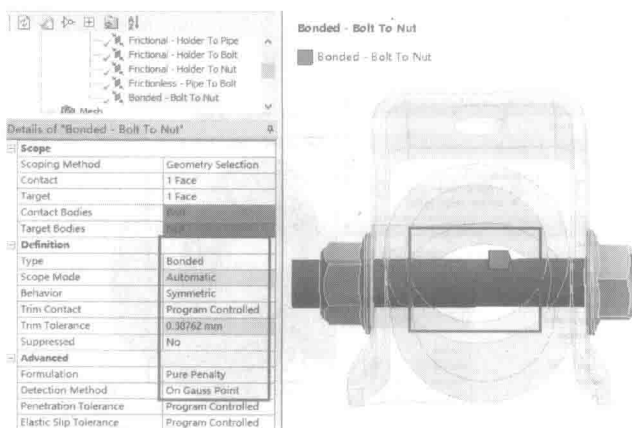


图 1-26 螺母接触设置



图 1-27 设置无摩擦接触面

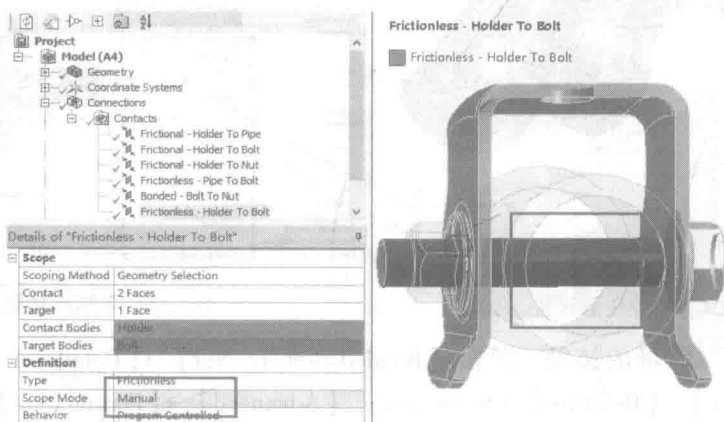


图 1-28 设置无摩擦接触目标面