

# 管道应力分析和设计软件

## CSiPlant

## 入门手册

(版本: 2021 年 12 月)

 **COMPUTERS & STRUCTURES, INC.**  
STRUCTURAL AND EARTHQUAKE ENGINEERING SOFTWARE

**VIBRATION** 万博瑞升 (天津) 科技有限公司  
Vibration(Tianjin)Technology Co.,Ltd.

## 版 权

计算机程序 CSiPlant™ 及所有相关文档均是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Computers & Structures, Inc.（中文版版权同属于万博瑞升（天津）科技有限公司）。未经 CSI 和万博瑞升（天津）科技有限公司预先书面授权，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

未经出版商预先明确书面许可，不得以任何形式或方式复制或分发本出版物的任何部分，或将其存储在数据库或检索系统中。

获得更多信息和本文档的副本请联络：

万博瑞升（天津）科技有限公司

地址：天津滨海高新区华苑产业区海泰华科三路 1 号 6 号楼-803

电话：022-86422566

邮箱：csiplant@pipevibration.com

网址：www.pipevibration.com

### **Computers & Structures, Inc.**

邮箱：support@csiamerica.com

网址：www.csiamerica.com/

Copyright © Computers & Structures, Inc., 1978-2021

All rights reserved.

The CSI Logo® and SAP2000® are registered trademarks of Computers & Structures, Inc.

CSiPlant™ and Watch & Learn™ are trademarks of Computers & Structures, Inc.

Windows® is a registered trademark of the Microsoft Corporation.

Adobe® and Acrobat® are registered trademarks of Adobe Systems Incorporated.

## 免责声明

本程序的开发和测试花费了大量的时间、精力和费用。然而，在程序使用方面，使用者接受并理解开发者或经销商在程序的准确性或可靠度上没有做任何直接或间接或暗示性的担保。

本程序是一款实用且功能强大的结构设计工具。然而，使用者必须清晰地理解程序在如下方面的基本假设：建模、分析和设计算法，以及没有提及的方面。

程序生成的信息必须由有资质且经验丰富的工程师来校核。工程师必须独立地检查结果，并对所使用的信息承担专业责任。

## 目录

1.	CSiPlant 简介 .....	6
1.1	CSiPlant 的优势 .....	6
1.2	CSiPlant 能做什么 .....	7
1.3	集成方案 .....	8
1.4	建模功能 .....	8
1.5	分析功能 .....	9
1.6	设计功能 .....	10
2.	CSiPlant 准备 .....	10
2.1	安装 CSiPlant .....	10
2.2	关于本文档 .....	10
2.3	CSI 知识库 .....	10
2.4	技术支持 .....	10
2.5	如何获得帮助 .....	11
3.	CSiPlant 基本概念 .....	11
3.1	建模过程概述 .....	11
3.2	物理建模术语 .....	12
3.3	单位 .....	13
3.4	坐标系和轴网 .....	13
3.5	管道对象 (Piping Objects) .....	14
3.6	管道 (Pipeline) .....	14
3.7	结构对象 (Structure Objects) .....	15
3.8	管道属性集 (Pipe Property Sets) .....	15
3.9	结构截面 (Structural Sections) .....	16
3.10	管道组件 (Components) .....	16
3.11	管道支吊架 (Supports) .....	16
3.12	荷载模式 (Load Patterns) .....	16
3.13	竖向荷载 (Vertical Loads) .....	17
3.14	压力荷载 (Pressure Loads) .....	17
3.15	温度荷载 (Temperature Loads) .....	17
3.16	函数 (Functions) .....	17
3.17	P-Delta .....	18
3.18	模态工况 (Modal Case) .....	18
3.19	荷载工况 (Load Case) .....	18
3.20	设计设置 (Design Settings) .....	19
3.21	输出和显示选项 .....	19
3.22	更多信息 .....	20
4.	CSiPlant 建模技术 .....	20
4.1	对象绘制技术 .....	20
4.2	模型修改 .....	21
4.3	定义轴网 .....	21
4.4	质量源 (Mass Sources) .....	21
4.5	荷载模式/定义荷载工况 (Load Pattern/Load Case Defination) .....	21

---

4.6	管道支吊架-框架连接 (Pipe Supports - Frame Connectivity)	22
4.7	修改器 (Modifiers)	22
4.8	组 (Groups)	22
4.9	导入 SAP2000 模型	23
4.10	设计要求	23
4.11	更多信息	24
5.	CSiPlant 分析技术	24
5.1	线性静力分析	24
5.2	P-Delta 分析	24
5.3	非线性静力分析	25
5.4	模态分析	25
5.4.1	质量源	25
5.4.2	特征向量分析	26
5.4.3	里兹向量分析	26
5.5	反应谱分析	26
5.6	线性时程分析	27
5.7	非线性时程分析	27
5.8	更多信息	27

## 1. CSiPlant 简介

CSiPlant 是一个先进的且易于使用的管道及结构系统建模、分析和设计软件。

CSiPlant 具有直观和智能的基于对象的图形界面，能够快速建立管道模型。其可定制的管道、组件和支吊架库，集成全面的管道规范校核，自动应用应力增大系数和柔性系数，以及导入详细结构分析模型等能力，意味着 CSiPlant 可以处理从简单到复杂的所有类型的管道系统的应力分析。凭借最新的单元、求解器和非线性分析能力，CSiPlant 为各行业的管道工程师提供了先进的分析技术。

### 1.1 CSiPlant 的优势

CSiPlant 使您能够快速、准确地创建、分析和设计复杂管道和结构模型。CSiPlant 和 CSI 公司的其他分析产品一样，采用 SAPFire™ 求解器，允许用户创建和进行完整的非线性静力和动力分析。与其它管道分析软件相比，除了具有其它管道分析软件所具有的功能外，CSiPlant 还提供了许多其他分析软件所没有的独特功能。

- 人们普遍认为，在静力分析中，为了获得准确的结果，采用非线性边界条件是必要的。然而，对于动力分析，由于目前市场上的相关软件不具备非线性分析的能力，因此工程师通常只能将这些非线性边界条件线性化。CSiPlant 支持所有非线性分析中的非线性边界条件，包括静力、动力和模态分析，以获得准确和真实的结果。这使得工程师能够模拟许多非线性效应，例如放置在梁上的管道、带有间隙的热位移、土壤中埋地管道的分析等等。
- CSiPlant 的荷载顺序(或荷载步)功能允许工程师在同一分析中分析多个荷载场景，例如系统启动与系统停车、已运行的系统添加新管道等等。
- 管道和结构元件的屈曲可能是一个重要的设计问题。CSiPlant 能够分析由于轴向压缩荷载导致的管道系统和结构的屈曲，包括海底管道、埋地管道、夹套管道、GRP 和塑料管道、薄壁管道以及其他类型管道的屈曲。此外，CSiPlant 还具有 P-Delta 和大变形分析的能力，允许工程师考虑这些可能被忽略的行为。对于长立管、变形的管道、吊杆和弹簧吊架的旋转摆动、以及冷紧的影响，现在都可以提供更真实的分析，进而提供更好、更准确的设计。
- 过去，在管道应力模型中创建结构框架模型是一个非常复杂且耗时的过程，有时也可能导致不可靠的分析结果。而对于 CSiPlant，既可以作为结构分析求解器，也可

以与 SAP2000 配合使用 (SAP2000 具有与 StaadPro 和 SACS 的导入兼容性), 自动创建和组合结构模型和管道模型, 以进行具有完整非线性功能的耦合分析。这为管道应力和结构工程师提供了更真实的分析, 并允许工程师考虑以前忽略的问题的影响, 例如管道支撑结构的强制位移。

## 1.2 CSiPlant 能做什么

CSiPlant 为从事管道和结构系统设计的工程师提供各种各样的分析和设计工具。以下仅列出 CSiPlant 可以轻松处理的系统和分析类型的一部分:

- 能够建立含有任何类型 (固定、导向、吊架、弹簧、阻尼器、连杆等) 支吊架的复杂管道系统;
- 快速智能的建立管道系统模型;
- 具有非线性支撑和边界条件的非线性时程分析;
- 非线性荷载顺序;
- 屈曲分析;
- 能够导入 SAP2000、StaadPro、SACS、StruCad\*3D 分析模型;
- 能够施加速度相关的边界条件;
- 基于多个直角轴网系统建立管道;
- 管道和结构系统承受的竖向、侧向、压力和温度荷载的数量不限;
- 内置 ASCE 曲线的多点反应谱荷载工况分析;
- 同一分析中考虑多质量源模型;
- 精确自动计算管道和结构框架构件的重心, 包括建模的组件、施加的荷载以及保护层、阀门执行器、管内介质等。为不同的设计或吊装工况定义不同的重心工况;
- 静力和动力分析考虑 P-Delta 效应;
- 大变形分析;
- 任意方向的多个线性和非线性时程荷载工况, 支持点荷载、分布荷载、热荷载、加速度、应变荷载等;
- 图表显示除网格节点以外的管道或结构件上的力、力矩、变形、应力等;
- 采用当前版本的规范对管道系统进行设计校核, 包括 ASME B31.1、B31.3 等;
- 还有更多功能等待您的发现!

## 1.3 集成方案

CSiPlant 是一个完全集成的系统。在易于使用、直观的用户界面下，嵌入了非常强大的数值方法和设计校核，所有这些都来自一个综合数据库。这种集成意味着您只需要创建一个包含管道系统和支撑结构系统的单一模型，从而减少管道布局和结构支撑之间出现差异的可能性。

所有的组件都集成到一个基于 Windows 图形用户界面的多功能分析和设计校核程序中，而不需要外部模块。模型一部分的变化对另一部分产生的影响是即时的和自动的。集成的组件包括：

- 绘制（建立模型）
- 基于有限元的线性静力和动力分析
- 基于有限元的非线性静力和动力分析
- 输出显示和生成设计报告
- 设计校核
- 弹簧支吊架选型

## 1.4 建模功能

CSiPlant 模型被理想化为管道、框架、连接和点“对象”的集合。这些“对象”用于表示管道、法兰和阀门等管道组件、管架及各种类型的管道支吊架等结构。管道和框架的基本几何是参照简单的三维轴网系统定义的。使用相对简单的建模技术，可以考虑非常复杂的管道系统和支撑结构。

管道系统及其支撑结构系统的形状可以是完全任意的，计算结果能够准确地反映系统的扭转行为，该方案实现了完全的三维位移兼容性。

可以通过单击界面上的图标按钮或键盘键入插入命令快速创建管道系统，CSiPlant 将在绘制管道时使用用户定义的规则自动放置弯头、三通和异径管。

固定架、弹簧、导向、阻尼器、阀门、法兰、端部封头等支吊架和管道组件可以从内置的库中选择，或由用户手动定义。可以通过单击界面上的图标按钮将这些组件插入到模型中。管道系统可能具有一致的、部分一致的、梯形的温度荷载，或者可能具有压力荷载。通过自动计算的端部偏移考虑梁和柱的变形对结构刚度的影响。

可通过指定节点，将管道连接到支撑结构上。在这些节点上，应使用非线性两点管道支吊架。一旦指定，管道和框架单元之间将传递荷载，工程师则能够判断管道和支撑结构之间的相互影响。

CSiPlant 还具有广泛的导入功能，可直接链接到 SAP2000，并通过 SAP2000 链接到 StaadPro、SACS 和 StruCad\*3D。这样，管道和结构模型就可以组合成一个 CSiPlant 模型，用于管道和结构的耦合分析和设计，为管道和结构工程师提供更真实的分析结果。

## 1.5 分析功能

CSiPlant 可以对用户施加的竖向、横向、压力和温度荷载进行静力分析。这些荷载可在任意数量的荷载工况下组合，每个荷载工况可以具有不同的用户定义的质量源。

在进行非线性分析时，CSiPlant 提供了多种旨在提高模型精度的功能。CSiPlant 在各种非线性分析类型中都支持非线性边界条件和非线性支撑。多线性塑性边界条件可用于球型补偿器、套筒补偿器、管接头的建模，或用于埋地管道分析中土壤的建模。各种非线性支撑类型包括间隙、鞍座、管鞋和导向支撑等。

CSiPlant 还提供非线性荷载序列，也称为荷载步，允许用户使用不同的荷载模式运行顺序的非线性分析，以模拟不同的荷载步工况，例如，在已经运行的系统中使支线运行。

P-Delta 和大变形几何非线性选项可用于任何的线性或非线性分析。

CSiPlant 可进行屈曲分析，以校核夹套管道、玻璃钢管、塑料管、薄壁管道、海底管道和埋地管道的侧向和隆起稳定性，或其它任何需关注屈曲的管道。

各种静力荷载工况的结果可以相互组合，也可以与反应谱或时程分析的动力结果组合。

CSiPlant 能够计算三维振型和频率、模态参与系数、方向系数和质量参与系数。

输出结果可以以图形方式查看、以表格形式显示、编译成设计报告或导出到数据库文件。输出类型包括反作用力、单元力、振型和参与系数、静力和动力节点位移等。

CSiPlant 使用 SAPFire™ 求解器，该求解器也是 CSI 公司其它分析软件的求解器，其利用最新的数值技术，提供难以置信的快速求解并几乎不受模型大小的限制。

## 1.6 设计功能

管道的设计校核可根据行业标准 ASME B31 规范进行。

## 2. CSiPlant 准备

CSiPlant 是易于使用且功能极其强大的用于各行业的管道和结构系统的专用分析软件。本章将介绍如何使用该软件。

### 2.1 安装 CSiPlant

请按照 CSiPlant 软件包中提供的安装指南进行安装，或者让系统管理员安装程序并开通使用权限。

### 2.2 关于本文档

本文档旨在帮助您快速提高 CSiPlant 的使用效率。第 3 章将简要介绍 CSiPlant 中使用的术语，第 4 章和第 5 章分别介绍建模和分析技术。

更多信息可在 CSiPlant 的帮助中找到，包括程序所支持的规范的技术说明。这些文档以 Adobe Acrobat PDF 格式提供，可以通过帮助菜单查看。

### 2.3 CSI 知识库

CSI 维护着一个知识库，其中包含常见问题的答案，以及关于程序使用中的其他见解。由于知识库中有许多常见问题和深奥问题的答案，因此在联系技术支持之前，这里是很好的第一站。知识库的页面可完全索引和搜索。

CSI 公司的知识库请访问：<https://wiki.csiamerica.com>

万博瑞升的知识库请访问：<https://pipevibration.com/wiki/>

### 2.4 技术支持

万博瑞升（天津）科技有限公司为 CSiPlant 的订购用户提供优先技术服务，对未订购年度支持、升级、维护服务的用户仍会提供技术支持。如果您在使用软件过程中有相关问题，请：

- 查阅软件附带的文档和其他打印材料

- 查看联机帮助
- 访问 CSI 知识库 <https://wiki.csiamerica.com>
- 访问万博瑞升知识库 <https://pipevibration.com/wiki/>
- 将电子邮件和模型文件发送至  
csiplant@pipevibration.com 或 support@csiamerica.com。
- 致电 CSI 或合作伙伴万博瑞升（天津）科技有限公司。

## 2.5 如何获得帮助

当您联系我们获得技术支持时，请提供以下信息以更好地获得帮助：

- 程序的版本号。可以通过 **Help > About CSiPlant** 获得。
- 模型描述，最好包含截图。
- 描述发生了什么问题以及发生问题时您正在做什么。
- 屏幕上出现的错误信息或截图。
- 试图解决该问题的描述。
- 计算机的配置（品牌和型号、处理器、操作系统、硬盘大小和内存大小）。
- 您的姓名、公司名及联系方式。
- 如果打电话，请在电脑前运行软件。

## 3. CSiPlant 基本概念

CSiPlant 使用图形用户界面创建的模型来进行管道系统的分析和设计。成功运行 CSiPlant 的关键是理解其在管道系统建模中采用的独特而强大的方法。本章将介绍这些基本概念和相关术语。

### 3.1 建模过程概述

使用本程序建立模型有两个重要考虑：

- 程序针对管道系统建模进行了优化。因此，建模过程和设计功能都是针对管道系统定制的。
- 程序的模型是基于对象的，这些对象包含点、管道、阀门、法兰、支吊架和结构框架。通常在绘制时，会为这些对象指定属性，以定义管道系统和支撑结构，也可以

对这些对象施加荷载。

通过这种简单的形式，建立模型需要三个基本步骤：

- 使用图形界面中提供的各种绘制工具，绘制或插入一系列管道、接头、阀门、法兰、支吊架和框架对象，这些对象代表管道系统和支撑结构。
- 使用指定（Assign）菜单选项为管道和框架对象指定属性（截面和材质）和荷载。注意，管道、元件和支吊架属性的指定可以与绘制/插入对象同步完成。
- 使用设计（Design）菜单指定设计要求，以便在执行分析时包含柔性系数。

模型完成后，可以进行分析和设计（Run Analysis & Design）。此时，程序会自动将基于对象的模型转换为基于单元的模型，即分析模型。分析模型由管道节点、框架节点、管道单元、连接单元和框架单元组成，这些单元在数学上表示管道和支撑系统的不同构件。将几何模型转换为分析模型是程序内部进行的，对用户来讲是不会感觉到的。

## 3.2 物理建模术语

在 CSiPlant 中，我们经常提到对象、构件和单元。对象指模型中的物理管道和结构构件。单元指程序内部用于生成刚度矩阵的有限元。多数情况下，对象和物理构件是一一对应的，用户在 CSiPlant 界面中“绘制”的正是这些对象，这些对象用于精确模拟物理构件。用户通常不需要关心将这些对象划分为数学或分析模型所需的单元。使用 CSiPlant，模型创建和结果报告都是采用对象模型。

在传统有限元分析程序中，对于较大的物理构件，用户需要定义有限元子集。在 CSiPlant 中，用户绘制的对象或物理构件通常在程序内部细分为更多有限元的分析模型，而无需用户输入。由于用户只处理基于物理构件的对象，因此创建模型和解释结果所需的时间更少，另外一个好处是分析结果通常更适合随后的设计校核。

对象的概念对您来说可能是新的，但掌握这个概念非常重要，因为它是 CSiPlant 中创建模型的基础。使用一段时间理解对象的概念后，您会认识到基于物理对象建模的简单性、方便性，以及编辑和创建复杂模型时的强大能力。

### 3.3 单位

CSiPlant 使用四种基本单位：力、长度、温度和时间。模型可以随时使用其它单位，例如，管段使用英寸单位，轴网布局使用英尺单位。但时间总是以秒为单位。

角度测量始终使用以下单位：

- 几何图形（如坐标轴方向）始终以度为单位。
- 转动位移始终以弧度为单位。
- 频率始终以转/秒（Hz）为单位。

质量和重量之间有一个重要的区别。质量仅用于计算动力惯量和由地面加速度引起的荷载。重量是可以像任何其他力荷载一样施加的力。输入重量值时请确保使用力的单位，输入质量值时请确保使用质量单位（力-秒<sup>2</sup>/长度）。

新建模型时，程序会要求指定一个单位系统进行初始化（“U.S.”或“公制”）。此选项设置模型的默认值，并控制用于数据输入和输出的单位。

### 3.4 坐标系和轴网

模型的所有定位都是基于全局坐标系定义的，全局坐标系是一个三维直角坐标系。三个轴 X、Y 和 Z 相互垂直，并满足右手定则。

CSiPlant 总是认为+Z 方向是竖直向上的。默认重力方向为-Z 方向。

可以定义其他坐标系，以帮助建立和查看模型。对于每个坐标系，将定义一个三维轴网，该轴网由用于在模型中定位对象的辅助线组成。每个笛卡尔（直角）坐标系均相对于全局坐标系进行定位。

默认情况下，绘图操作总是会捕捉到轴网线交点，除非关闭该选项。还有许多其他捕捉功能，例如捕捉到点和中点，以及捕捉到轴。使用捕捉功能能够确保建立准确的模型。不使用捕捉可能会导致对象之间出现“间隙”，从而导致模型连接错误。

模型中的每个对象都有自己的局部坐标系，用于定义属性、荷载和响应。每个局部坐标系的轴分别标记为 1（红色）、2（绿色）和 3（蓝色）。局部坐标系没有对应的轴网。

### 3.5 管道对象 (Piping Objects)

在 CSiPlant 中绘制的管道对象用于表示物理的管道系统。创建模型时，用户首先绘制管道系统的几何，然后指定属性和荷载以完成管道的定义。

程序包含以下对象类型，按几何维度顺序列出：

- **管道节点**在管道起点或结束点、方向改变处（如弯头）、分支处（如三通）、尺寸改变处（如异径管）、管道组件（如阀门）或支吊架处都会自动创建。此外，也可以在管道对象上和模型中的任意位置添加管道节点。
- **组件**（阀门和法兰）可以在管道对象上的任意点添加。如果在添加组件的位置不存在管道节点，程序将自动创建一个管道节点。
- **支吊架**可以在管道对象上的任意点添加。如果在添加支吊架的位置不存在管道节点，程序将自动创建一个管道节点。可用的支吊架类型包括固定架、导向架、限位架、承重架、吊杆、弹簧吊架、恒力弹簧、可变弹簧、阻尼器等。
- **管道对象**用于建立管道模型。弯头、异径管和三通将使用用户指定的选项自动添加，以适合相应的几何图形。

作为一般原则，对象的几何应与实际构件的几何相一致。这样可以简化模型的呈现和设计过程。

运行分析时，CSiPlant 会自动将基于对象的模型转换为用于分析的基于单元模型。这种基于单元的模型称为分析模型，它由有限元和节点组成。运行分析后，基于对象的模型中的对象数仍与运行分析前相同。

程序也提供了手动连接管道和细分管道的选项，允许在绘制管道对象后对其进行更改。

删除组件（如阀门），程序将使用相等长度的管道替换该组件，以便保持管道连接。

### 3.6 管道 (Pipeline)

CSiPlant 模型可能由一条或多条管道组成。管道的流向，即向前和向后的方向，是在绘制管道时确定的，流向在管道末端用箭头标识。插入管道、组件和支吊架对象时，将使用管道流向。

管道节点、管道对象、组件和支吊架会按照流向使用字母数字组合的方案自动标记。向现有管道中添加新的管道会自动创建新管道名称和对象标签，这些标签由程序自动生成，用户后期可以修改。

### 3.7 结构对象 (Structure Objects)

如前所述，CSiPlant 使用对象来模拟物理结构构件。创建模型时，用户首先绘制对象的几何图形，然后指定属性和荷载以完成支撑结构的定义。

程序包含以下对象类型，按几何维度顺序列出：

**框架节点**会自动在结构框架对象的角点或端点处创建，并且可以在模型中的任何位置添加。

**框架对象**用于模拟梁、柱、支撑和桁架。

作为一般原则，对象的几何应与实际构件的几何相一致。这样可以简化模型的呈现和设计过程。

运行分析时，CSiPlant 会自动将基于对象的模型转换为用于分析的基于单元模型。这种基于单元模型称为分析模型，它由传统的有限元和节点组成。运行分析后，基于对象的模型中的对象数仍与运行分析前相同。

程序也提供了手动细分框架对象的选项，该选项将基于物理构件的对象划分为多个对象。

### 3.8 管道属性集 (Pipe Property Sets)

管道属性集用于“指定” (Assign) 给每个管道对象，以定义模型中该管道对象的材质、截面和分析属性。管道材质、管道截面、保温层、外保护层、衬里材质和管内介质等属性应在定义管道属性集之前定义。例如，创建管道系统时，模型应具有：

名称为 PIPEMATERIAL 的管道材质。管道材质可以由用户定义，也可以从程序库中选择。在定义材料属性之前，应指定模量曲线和热胀系数曲线的数据。

名称为 PIPESECTION 的管道截面。管道截面可以由用户定义，也可以从程序库中选择。

名称为 PIPEINSULATION 的管道保温。管道保温层及外保护层、内衬和管内介质可由用户定义或从程序库中选择。

名称为 PIPEPROPERTYSET 的管道特性集使用了管道材质 PIPEMATERIAL、管道截面 PIPESECTION 和保温材料 PIPEINSULATION 等属性。

如果将管道属性集指定给管道对象，则对管道截面、管道材质或管道属性集中使用的其他属性所做的任何更改都将自动应用于指定的管道对象。除非指定给对象，否则命名的管道属性集对模型没有影响。

### 3.9 结构截面 (Structural Sections)

将结构截面指定给框架对象，以定义支撑结构的分析行为。结构材质应在定义框架截面之前定义。模型应具有：

名称为 STEEL 的结构材料属性。

名称为 RECTANGLE 的结构截面属性使用名称为 STEEL 的结构材料属性。

如果将结构截面属性指定给框架对象，则对其各自截面或材质定义所做的任何更改都将自动应用于指定的对象。除非指定给对象，否则命名的属性对模型没有影响。

### 3.10 管道组件 (Components)

阀门和法兰等管道组件可以添加到管道上。绘制组件时，程序将自动生成具有适当属性的组件。用户可以通过定义用户指定属性的组件或从程序库中选择其他组件来更改分配。

### 3.11 管道支吊架 (Supports)

CSiPlant 提供多种管道支吊架，包括固定架、导向架、限位架、承重架、吊杆、弹簧吊架、恒力弹簧、可变弹簧、阻尼器和拉杆/连杆等。当绘制支吊架时，程序将自动生成具有适当属性的支吊架。用户可以通过定义用户指定属性的支吊架来更改分配。

### 3.12 荷载模式 (Load Patterns)

荷载表示作用在结构上的力、压力、支撑位移、热效应等。结构上荷载的空间分布称为荷载模式。

可以根据需要定义任意多个命名的荷载模式。出于设计目的或荷载作用到系统上的方式，对于独立变化的荷载，应定义为单独的荷载模式。通常，恒载、活载、温度荷载、压力荷载、

风荷载、静态地震荷载等需要定义为单独的荷载模式。

定义了荷载模式的名称后，应将特定的荷载值指定给对象，作为该荷载模式的一部分。指定给对象的荷载值包括荷载类型（例如，力、位移、温度）、大小和方向（如果适用）。如果需要，一个荷载模式中的不同荷载可以分配给不同的对象。每个对象可以施加多个荷载模式。

### 3.13 竖向荷载(Vertical Loads)

竖向荷载可以施加到管道节点、结构节点、管道对象和框架对象。竖向荷载通常在重力方向（或-Z 方向）施加。节点对象可以施加集中力和力矩。管道和框架对象可以施加任意数量的集中荷载（力或力矩）或分布荷载（均布或梯度）。竖向荷载工况也可以包括构件自重。

管道系统及其支撑结构的典型竖向荷载包括：

- 恒载，包括保温层、外保护层、衬里和介质
- 叠加的恒载
- 活荷载
- 雪荷载

### 3.14 压力荷载 (Pressure Loads)

管道对象上的压力荷载通过荷载工况引用包含压力的荷载模式生成。压力荷载可以使用绝对值或相对值定义。

### 3.15 温度荷载 (Temperature Loads)

管道和框架对象上的温度荷载是温度变化产生的。这些温度变化是根据荷载工况中参考的荷载模式所指定的温度确定的。温度荷载可以使用绝对值或相对值定义。

### 3.16 函数 (Functions)

定义函数是为了描述随时间或周期变化的荷载。函数仅用于动力分析。函数是一系列的横纵坐标的数据对。

有两种类型的函数：

- 反应谱函数是用于反应谱分析的加速度与周期的函数。加速度通常用重力加速度的

比值表示。

- 时程函数是用于时程分析的荷载幅值与时间的函数。时程函数中的荷载值可以是地面加速度值，也可以是力或位移。

### 3.17 P-Delta

P-Delta 指重力荷载对管道和支撑结构的横向刚度产生的非线性几何效应。定义荷载工况时，P-Delta 选项设置在几何非线性选项下。几何非线性选项下有三个选项：

- None：分析不考虑 P-Delta。
- P-Delta：平衡方程部分考虑管道系统的变形。
- P-Delta plus Large Displacements：平衡方程考虑管道系统的变形——需要大量计算。

### 3.18 模态工况 (Modal Case)

模态工况定义了要从模型中提取的模态的类型和数量。大多数情况下定义一个模态工况就足够了，但在荷载工况中可以定义无限数量的模态工况。每个模态工况产生一组模态，每个模态由模态振型（归一化的振型）和模态属性（周期和频率）组成。模态分析可以使用特征向量法或里兹向量法：

- 特征向量法：确定系统的无阻尼自由振动振型和频率，能够反映管道系统的固有特性。
- 里兹向量法：考虑动力荷载的空间分布，与使用相同数量的自然振型相比，产生的结果更准确。里兹向量模态与特征向量模态不同，不能代表管道系统的固有特性。

运行反应谱或模态时程荷载工况需要先运行模态工况。

### 3.19 荷载工况 (Load Case)

荷载工况定义了荷载如何施加到结构上，以及如何计算结构的响应。荷载工况也指定了参考温度和压力、设计类别，用于生成荷载和/或确定许用应力。有许多类型的荷载工况可用，广泛地讲，可以划分为线性或非线性，这取决于结构对荷载的响应方式。

线性分析的结果可以进行叠加，即在分析后相加。线性分析的类型有：

- 静力分析：最常见的分析类型。施加的荷载不会产生动力效应。

- 反应谱分析：计算加速度荷载引起的响应。需要反应谱函数。
- 时程分析：施加随时间变化的荷载。需要时程函数。可以通过模态叠加法或直接积分法计算。
- 屈曲分析：计算荷载作用下的屈曲模态。

非线性荷载工况的结果通常不应进行叠加。所有共同作用在管道系统上的荷载应直接组合在特定的非线性荷载工况中。非线性荷载工况可以连接起来表示复杂的加载顺序。非线性分析类型有：

- 非线性静力分析：施加的荷载不会产生动力效应。
- 非线性时程分析：施加随时间变化的荷载。需要时程函数。

可以定义任意数量的任何类型的荷载工况。分析模型时，必须选择要运行的荷载工况。任何荷载工况的结果都可以选择性地删除。需要注意，荷载工况是独立于规范的，基于规范的选项（如柔性系数）在运行设计要求时才被考虑。

分析结果（如果可用）可以被视为模型的一部分。

## 3.20 设计设置 (Design Settings)

CSiPlant 为不同类别的应力（如持续应力和位移应力）提供基于管道设计规范的校核。应力增大系数和柔性系数在校核中将自动执行。

管道设计程序可从 ASME 管道设计规范中选择。

## 3.21 输出和显示选项

CSiPlant 的模型、分析和设计结果可以通过多种不同的方式查看和保存，包括：

- 二维和三维模型视图
- 多种图形视图设置，例如渲染视图、双线视图、单线视图
- 可定制用户定义的设计报告

## 3.22 更多信息

本章仅简要概述了 CSiPlant 的一些基本概念。更多信息可在 CSiPlant 的帮助中找到，包括程序所支持的规范的技术说明。这些文档以 Adobe Acrobat PDF 格式提供，可以通过帮助菜单查看。

## 4. CSiPlant 建模技术

CSiPlant 提供了广泛多样的工具，帮助您对各种管道系统及其行为进行建模。本章介绍 CSiPlant 的一些建模技术，这些技术可以使许多单调或复杂的任务变的快速而简单。

### 4.1 对象绘制技术

用户可以直观的在主窗口中通过单击直接绘制对象，软件也提供了许多建模辅助功能，有助于建立管道和框架对象。

**1.方向捕捉：**在放置对象的第一个节点后，当放置第二个节点时，CSiPlant 将自动捕捉平行于 X、Y 或 Z 轴的方向，使正交管道的建模快速而简单。

**2.长度偏移：**通过偏移功能，在 CSiPlant 中放置管道组件或支吊架很容易。要添加管道组件，只需从任何管道节点开始沿管道移动，就会显示偏移距离，这样可以方便地将组件精确放置在所需位置。

同样的技术也可用于在已有管道中定位支管。

**3.插入对象：**除了直接绘制对象外，CSiPlant 还具有插入功能，允许您通过输入尺寸数据来创建管道系统（管道、组件、支吊架）。通过选择起始点，然后指定 X、Y 和 Z 偏移距离，可以创建整个管道系统。这一过程可以重复，直到整个管系被创建。

**4.自动弯头/三通/异径管：**在 CSiPlant 中建立模型时，弯头、三通和异径管将根据内置库及设置自动生成。如果几何图形所需的弯头或三通不是标准尺寸，软件也会自动为您创建一个。

**5.可定制库：**CSiPlant 可以自定义管道和框架截面以及管道组件的定制库。

## 4.2 模型修改

CSiPlant 提供了多种修改模型的方法，由于其具有“自维护”连接能力，因此修改模型很容易。无论何时对模型的任何部分进行修改，CSiPlant 都会自动修改对象连接，以保持整个管道的连续性。

将任何节点、管道或框架荷载指定给模型后，CSiPlant 可以选择替换、添加或删除现有荷载。此外，可以显示指定给特定荷载模式的所有荷载，以便验证施加荷载的准确性，并在必要时进行适当更改。

管道组件和支吊架可以插入到现有管道节点上，并且可以将现有管道组件重新指定为其它类型。可以通过选择几何图形上的任何单个组件，更改其尺寸或类型。例如，在 CSiPlant 中，可以将长半径弯头改为短半径弯头，或直接将阀门类型从闸阀改为截止阀。

## 4.3 定义轴网

与 CSI 公司的其他软件一样，CSiPlant 包含内置的轴网系统。模型中轴网系统的数量没有限制，X、Y 和 Z 方向的轴网线数量可以任意设置，也可以放置在模型中的任意位置。由于 CSiPlant 具有自动捕捉轴网功能，轴网系统可以轻松创建具有固定间距的管道和结构系统。

## 4.4 质量源 (Mass Sources)

通常情况下，需要使用不同的质量源运行一系列荷载工况，以模拟满管或空管等效果。CSiPlant 允许您在一个分析模型中同时定义和使用多个质量源，并允许您使用不同的质量源创建顺序的荷载工况。

质量源可由单元自身质量、附加节点质量或特定荷载模式（包括内衬、保温层、外保护层和管内介质）组成。

此功能使得分析设置具有较大的灵活性，无需为不同的质量工况或场景建立不同的分析模型。

## 4.5 荷载模式/定义荷载工况 (Load Pattern/Load Case Defination)

对于复杂的管道项目，采用多种工况组合来组合各种荷载类型是常见的。CSiPlant 中有

关荷载的定义有：荷载模式、荷载工况和荷载工况组合。

荷载模式是作用在管道系统上的各种荷载的空间分布，如力、位移、温度、压力和其他效应等。节点、单元或其组合都可能受到荷载和运动条件的影响。每个荷载模式都指定了一种荷载类型（温度、压力、冷紧、风、地震等），对荷载进行分类，并启动相关的计算过程。一个模型中可以定义无限数量的荷载模式。

荷载工况使荷载模式作用到管道系统，生成分析结果。荷载工况定义了荷载模式的作用方式（静力或动力）、结构响应方式（线性或非线性）以及分析方式（模态、直接积分等）。对于要执行的每个分析，都应定义荷载工况。每个荷载工况可采用一个荷载模式或采用多个荷载模式的组合。一个模型可以定义无限数量的荷载工况，然后选择任何一组荷载工况进行分析。运行分析后，可以有选择地删除或编译荷载工况结果以获得输出结果。

荷载工况可按顺序运行，使用前一个荷载工况的结果作为下一个荷载工况的起点。这使得同时控制多个分析工况变得容易，例如分析包含或不包含管内介质，或者在已经运行的系统添加新的管道。

## 4.6 管道支吊架-框架连接 (Pipe Supports - Frame Connectivity)

CSiPlant 可以轻松地将管道约束到支撑结构上。结构框架和管道可以使用多种预定义的支吊架类型进行连接，包括吊架、导向、限位和承重。要将管道连接到结构框架，首先选择要使用的支吊架对象，然后指定搜索距离、方向和公差，程序将在结构框架上搜索满足此条件的连接点。软件还能够自动将支吊架连接到 SAP2000 导入的结构框架上。

## 4.7 修改器 (Modifiers)

CSiPlant 允许将修改因子指定给管道和框架对象。属性修改器应用于特定的截面属性，以获得最终的分析截面属性。所有的修改器仅影响分析特性。对象修改器不会影响任何设计属性，而仅用于修改分析行为。

## 4.8 组 (Groups)

在对象组之间切换以分配属性、显示输出或定义设计要求通常是一个繁琐的过程。CSiPlant 允许您使用任意数量或类型的对象定义自定义组。这些组是用用户指定的名称定义的，这样可以方便地选择和管理模型的不同组件和部分。

## 4.9 导入 SAP2000 模型

CSiPlant 与 SAP2000 具有强大的导入和导出功能，可以很容易地将完整的结构模型导入，以计算管道系统和支撑结构之间的相互影响，研究复杂的分析行为，如管架位移和柔性的影响，以确定对管道的反作用和应力的影响。

此外，将稳健的 SAP2000 结构模型导入 CSiPlant 可以避免当前管道应力分析方法相关的一些问题，例如在地震分析和其他动力荷载情况下未考虑重型设备和结构框架质量的问题。

导入 CSiPlant 的详细 SAP2000 模型可以包括几何图形、截面属性、端部释放、荷载分配、荷载组合等。此外，通过 SAP2000，CSiPlant 还可以从 StaadPro 和 SACS 导入类似的详细结构模型。

一旦导入结构模型，CSiPlant 可以使用线性或非线性两点管支架将管道系统自动连接到支撑结构，以进行管道/结构非线性耦合分析。

此外，采用 SAP2000 的应用程序编程接口 (API)，CSiPlant 可以将管道和结构耦合分析得到的支撑反力输出到 SAP2000，使结构工程师能够考虑管道系统的实际重量和惯性，以便准确计算反作用力和应力。

## 4.10 设计要求

在分析复杂的管道系统时，不同的荷载工况通常只适用于某些工况。CSiPlant 允许您创建多个设计要求，每个设计要求都具有不同的激活的荷载工况和管道，从而便于在单个模型中维护所有的设计信息。

定义设计要求时，可以选择不同的管道设计规范，启用任意数量的荷载工况或管道。这使您能够从复杂的静力或动力荷载工况中获得准确的设计结果，包括顺序分析的结果。通过这种方式，可以模拟和设计许多真实的场景，例如管道接入已运行系统的过程，或管道内介质对整个系统响应的影响。

设计要求指定了与规范相关的参数，例如 SIF 和柔性系数，因此运行设计要求后的结果通常是最重要的。

## 4.11 更多信息

本章介绍 CSiPlant 提供的许多技术中的一部分，这些技术可以高效地建立管道系统模型、支撑结构及相关的行为。更多信息可在 CSiPlant 的帮助中找到，包括程序所支持的规范的技术说明。这些文档以 Adobe Acrobat PDF 格式提供，可以通过帮助菜单查看。

## 5. CSiPlant 分析技术

本章概述了 CSiPlant 中可用的一些分析技术，分析类型包括 P-Delta 分析、线性静力分析、模态分析、反应谱分析、时程分析和非线性分析。

在运行一个给定分析时，您可以进行 P-Delta 分析、线性静力、模态和反应谱分析的多个工况，还可以定义多个非线性静力和时程分析工况。

### 5.1 线性静力分析

可以使用荷载模式和比例系数的任意组合创建线性静力荷载工况。不同荷载工况的结果可以相互结合，也可以与其他线性荷载工况（如反应谱分析）结合。

在线性静力分析中不考虑几何非线性。

### 5.2 P-Delta 分析

P-Delta 选项考虑了压缩或拉伸荷载对管道和框架横向刚度的影响。压缩会降低横向刚度，而拉伸会增加横向刚度。这种几何非线性被称为 P-Delta 效应。该选项在考虑重力荷载对结构横向刚度的影响时特别有用。

CSiPlant 中的 P-Delta 分析是在荷载工况的基础上指定的。用于计算 P-Delta 效应的荷载如荷载工况中所列。P-Delta 几何非线性效应可通过以下两种方式之一计算：

- **P-Delta:** 平衡方程部分考虑管道系统的变形。
- **P-Delta plus Large Displacements:** 平衡方程考虑管道系统的变形——计算量较大。

P-Delta 分析实质上修改了系统的特性，影响了荷载序列中的所有后续分析工况的结果。因此，如果要在动力分析中包含 P-Delta，则应定义带有 P-Delta 的非线性静力工况，并与动力工况顺序运行。

## 5.3 非线性静力分析

非线性静力分析可在多种情况使用，包括：分析具有非线性支撑行为（如摩擦和间隙）的管道系统；分析管道和框架的几何非线性；形成 P-delta 刚度，以便后续分析等等。

可以定义多个非线性静力荷载工况。每种荷载工况考虑一种荷载模式，如线性组合的静力荷载模式、加速度荷载和振动振型。

- **P-Delta:** P-Delta 分析选项考虑了压缩或拉伸荷载对结构横向刚度的影响。在确定其他线性和非线性荷载工况的初始条件时，采用考虑 P-delta 的非线性静力荷载工况通常是一个合适的选择。
- **大变形:** 大变形分析平衡方程考虑管道结构的变形。这意味着，如果单元的位置或方向发生变化，它对结构的影响将被考虑在内。

## 5.4 模态分析

模态分析根据单元的刚度和质量计算管道和结构的振动模态。这些模态可用于研究系统的动力行为，并作为后续反应谱和时程分析的基础。

模态分析有两种类型：特征向量分析和里兹向量分析。在一个荷载工况下只能使用一种类型。模态分析总是线性的。模态荷载工况可基于整个结构无应力的刚度，或基于非线性荷载工况结束时的刚度。通过采用非线性工况结束时的刚度，可以评估 P-delta 条件下的模态。

### 5.4.1 质量源

要计算振动振型，模型必须包含质量。可使用以下任何一种方法在 CSiPlant 中确定和分配质量：

- CSiPlant 根据对象自身质量（在材质中定义）确定系统质量。
- CSiPlant 根据用户指定的附加质量确定质量。
- CSiPlant 根据用户指定的荷载模式确定质量。
- CSiPlant 根据自身质量、用户指定的附加质量、用户指定的荷载模式或前三种方法的任何组合来确定质量。

通常，质量在六个自由度中定义。CSiPlant 允许一个模型中同时存在多个质量源。此外，

分析中的每个荷载工况都允许使用不同的质量源。

#### 5.4.2 特征向量分析

特征向量/特征值分析确定系统的无阻尼自由振动振型和频率。这些固有振型提供了对结构行为的极好洞察。它们也可用作反应谱或时程分析的基础。

CSiPlant 能够使用任何非线性荷载工况下的刚度矩阵，从而包括 P-delta 效应和其他来源的荷载分布效应，例如摩擦、间隙和其他非线性边界条件系统中的热荷载。

程序将找到的特征向量模态按数字 1 到 n 标识。指定要查找的模态数 N，程序将查找 N 个最低阶模态。

特征值是角频率的平方。用户指定要查找的模态频率（角频率/2 $\pi$ ）范围，程序将按频率增加的顺序查找。对于大多数动力分析，默认是从零频率开始查找，但 CSiPlant 允许用户指定偏移的开始频率，这在结构受到较高频率的激励（如振动机械）时非常有用。

#### 5.4.3 里兹向量分析

CSiPlant 能够使用先进的里兹向量技术进行模态分析。研究表明，结构在动荷载作用下，自由振动模态振型并非是模态叠加分析的最佳基础。已经证明，与使用相同数量的特征向量振型相比，基于荷载相关的里兹向量的动力分析产生更精确的结果。

里兹向量能够产生更精确结果的原因是它考虑了动力荷载的空间分布，而直接使用自振振型忽略了这一重要信息。

每个里兹向量模态由一个振型和频率组成。当找到足够数量的里兹向量模态时，其中一些将与自振振型和频率非常接近。然而，通常情况下，里兹向量模态不能像自振模态一样代表结构的固有特性，因为里兹向量模态受到初始荷载向量的影响。

与自振模态类似，用户需要指定要找到的里兹模态的数量。此外，还需指定初始荷载向量，如加速度荷载、静力荷载工况或非线性变形荷载。

### 5.5 反应谱分析

对于反应谱分析，每个方向上的地震加速度都是作为系统伪谱加速度响应与周期的反应谱曲线给出的。这种方法旨在确定可能的最大响应，而不是完整的时程。

CSiPlant 使用模态叠加法进行响应谱分析，可以使用特征向量或里兹向量。

尽管可以在三个方向上输入反应谱曲线，但每个响应量只生成一个正值结果。这些响应量可以是位移、力或应力。每个计算结果代表该响应量可能的最大幅值的统计度量。尽管所有结果均为正值，但实际响应会在该正值到其相应负值的范围内变化。

## 5.6 线性时程分析

时程分析用于确定结构在随机荷载下的动力响应。CSiPlant 可以在程序的一次运行中完成任意数量的线性时程工况。每个时程工况所施加的荷载及分析类型可以不同。有两种类型的线性时程分析：

- **模态：**程序使用响应分析的标准模态叠加法来求解整个系统的动力平衡运动方程。所使用的模态可以是特征向量态或与荷载相关的里兹向量模态，结构中的阻尼使用模态阻尼，也被称为比例阻尼或经典阻尼。
- **直接积分：**该方法对结构整体动力平衡方程直接进行求解。尽管模态叠加法通常比直接积分法更准确、更有效，但当模态耦合或涉及爆炸/冲击型荷载时，直接积分法提供了更好的响应。

## 5.7 非线性时程分析

与线性时程分析一样，有两种类型的非线性时程分析：

- **模态：**CSiPlant 使用的非线性模态时程分析方法是快速非线性分析（FNA）方法的扩展，该方法要求使用里兹向量模态。这种方法及其高效，主要适用于线弹性的结构系统，且具有有限数量预定义的非线性单元，例如带有间隙或摩擦的管道支吊架。
- **直接积分：**非线性直接积分与线性直接积分的特点相同。直接积分结果对时间步长极为敏感，而模态叠加法则不是这样。

## 5.8 更多信息

本章介绍了 CSiPlant 的线性和非线性分析技术。更多信息可在 CSiPlant 的帮助中找到，包括程序所支持的规范的技术说明。这些文档以 Adobe Acrobat PDF 格式提供，可以通过帮助菜单查看。