

管道应力分析和设计软件

CSiPlant

导入 BOSpulse 荷载手册

(版本: 2021 年 12 月)



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。工程师必须独立地核查结果，并对所使用的信息承担专业责任。

目录

1. 简介.....	5
2. BOSpulse 脉动荷载	5
3. 导入到 CSiPlant.....	6
3.1 单位处理.....	7
3.2 导入流程.....	7
3.3 XML 映射文件.....	10
3.4 创建时程函数	11
3.5 创建荷载模式并施加单位荷载.....	11
3.6 创造时程荷载工况	12
4. 分析结果	13
5. 参考文献	15

1. 简介

本手册介绍了将脉动荷载数据从 BOSpulse 的*.CSV (逗号分隔) 文件导入到 CSiPlant, 并对导入的荷载进行时程分析。

CSiPlant 时程分析作为频域线性稳态谐波分析的补充, 允许用户考虑非线性边界条件, 如间隙、摩擦和/或多线性支撑, 以及非线性几何行为 (P-delta 效应), 以获得更真实的分析结果。此外, 时程动态分析提供带正负号的位移和力/力矩结果。

2. BOSpulse 脉动荷载

BOSpulse 是用于模拟和分析往复式压缩机或往复式泵引起的压力脉动的计算机程序 [1]。

往复式设备以固定频率运行时, 设备产生的作用在管道结构上的压力脉动荷载可以通过作用在弯头-弯头对上的力来表示。每个弯头-弯头对上的力由幅值和对应于谐波频率的相位定义的谐波力组成。表 1 所示为 BOSpulse 输出的*.CSV 压力脉动荷载文件。

第 3 至 22 行规定了 15Hz 至 150Hz 的谐波频率, 列表中的每个频率都是 15Hz 基频的连续整数倍。

第 24 行是后面第 25 和 26 行力对 (force pair) 的说明。每个力对由节点对名称和每个谐波频率的振幅和相位角定义。

表 1: BOSpulse 荷载*.CSV 文件

Line	Content
1	# Case : Fixed Freq - API 674 (Fixed Freq)
2	# Unbalanced force amplitudes
3	# F1 = Harmonic 1 (15 Hz)
4	# P1 = Phase Angle of F1
5	# F2 = Harmonic 2 (30 Hz)
6	# P2 = Phase Angle of F2
7	# F3 = Harmonic 3 (45 Hz)
8	# P3 = Phase Angle of F3
9	# F4 = Harmonic 4 (60 Hz)
10	# P4 = Phase Angle of F4
11	# F5 = Harmonic 5 (75 Hz)
12	# P5 = Phase Angle of F5
13	# F6 = Harmonic 6 (90 Hz)
14	# P6 = Phase Angle of F6
15	# F7 = Harmonic 7 (105 Hz)
16	# P7 = Phase Angle of F7
17	# F8 = Harmonic 8 (120 Hz)
18	# P8 = Phase Angle of F8

19	# F9 = Harmonic 9 (135 Hz)
20	# P9 = Phase Angle of F9
21	# F10 = Harmonic 10 (150 Hz)
22	# P10 = Phase Angle of F10
23	
24	Node Pair, F1 [N], P1 [deg], F2 [N], P2 [deg], F3 [N], P3 [deg], F4 [N], P4 [deg], F5 [N], P5 [deg], F6 [N], P6 [deg], F7 [N], P7 [deg], F8 [N], P8 [deg], F9 [N], P9 [deg], F10 [N], P10 [deg]
25	5 - 10, 4.681875e+03, 7.523992e+01, 3.996093e+03, 1.473901e+02, 6.746144e+02, 1.522819e+02, 1.474192e+03, 1.416325e+02, 2.472762e+02, 1.328784e+02, 8.581016e+02, 1.212675e+02, 1.358173e+02, 1.106729e+02, 5.429625e+02, 1.016546e+02, 7.970927e+01, 9.469303e+01, 3.500569e+02, 8.215288e+01
26	10 - 25, 3.579398e+03, 5.225786e+01, 3.035579e+03, 1.016591e+02, 5.033008e+02, 8.080224e+01, 1.158441e+03, 5.065706e+01, 1.912600e+02, 1.867565e+01, 7.077404e+02, 3.454166e+02, 1.145339e+02, 3.127571e+02, 4.798361e+02, 2.804881e+02, 7.329538e+01, 2.505820e+02, 3.403781e+02, 2.156246e+02

要在时域中对单个节点对施加随时间变化的力，需要按照以下等式将*.CSV 文件中的荷载数据组合，将时域中的力转换为谐波序列：

$$F(t) = F1 * \sin(\omega * t + P1) + F2 * \sin(2 * \omega * t + P2) + F3 * \sin(3 * \omega * t + P3) + \dots$$

式中：

F1, F2, ...力的幅值

P1, P2, ...相位角

ω 基频（角频率）

必须使用特定于该力对的振幅和相位角，对每个力对执行上述操作。在为每个力对生成所有的与时间相关的周期力之后，需要进行（非线性）时程分析，其中所有这些力同时作用。

3. 导入到 CSiPlant

将BOSpulse荷载从*.CSV文件导入CSiPlant涉及以下内容。

- 用户必须创建XML映射文件，将BOSpulse *.CSV文件中的每个节点对名称映射到CSiPlant模型施加荷载的两个节点上。
- 为每个力对创建单独的正弦序列时程函数。
- 为每个力对创建单独的荷载模式。对于每个荷载模式，一个单位荷载被平均分配并施加到节点对中的两个节点上，并且从力对中的第一个节点指向第二个节点。
- 创建一个单独的非线性时程荷载工况，其中所有的节点对荷载同时施加各自的力-时间荷载。

以下各节详细地描述了导入的各个步骤。

3.1 单位处理

当创建BOSpulse *.CSV文件时，用户必须选择力的单位为N、相位角的单位为度。如果导入时检测到*.CSV文件中的单位与设置的单位不同，将在日志文件中写入警告，导入将被终止。

3.2 导入流程

可以通过 "编辑 > 添加BOSpulse荷载..." 菜单命令启动导入，此时将打开图1所示的"添加BOSpulse荷载"对话框。

在对话框中，用户需要选择BOSpulse荷载*.CSV文件和XML映射文件。一旦这两个文件被加载并成功解析，导入按钮将被激活，点击它将把BOSpulse荷载导入CSiPlant。解析*.CSV文件、XML文件和在CSiPlant中创建荷载的详细日志显示在图2至图4中。该对话框包含以下附加参数，详细解释如下。请注意，基频被确定为BOSpulse *.CSV文件中所有频率的最低频率，在本手册描述的例子中为15Hz。

- **荷载模式名称前缀：**为每个节点对创建单独的荷载模式。荷载模式被命名为<荷载模式前缀> (<CSiPlant节点1名称>, <CSiPlant节点2名称>)。图8所示的荷载应用于每个荷载模式。
- **时程函数名称前缀：**为每个节点对创建单独的时程函数。时程函数被命名为<时程函数名称前缀> (<CSiPlant节点1名称>, <CSiPlant节点2名称>)。
- **时程荷载工况名称：**施加所有脉动荷载的时程荷载工况的名称。有关时程荷载工况的完整定义，请参见图9。
- **基频周期数：**导入将创建一个瞬态时程荷载工况，其总持续时间由基频周期的周期/持续时间乘以用户指定的基频周期数确定。假设基频为15Hz，相当于1/15s的“基频周期”。如果用户指定“基频周期数”为5，则时程荷载工况的总持续时间为 $(1/15 \text{ s}) * (5) = 1/3 \text{ s}$ 。
- **每个基频周期的步数：**“每个基频周期的步数”控制时程求解的时间步长（或时间离散）的大小。如果基频为15 Hz，“每个基频周期的步数”为200，则应以 $(1/15 \text{ s}) / 200 = 1/3000 \text{ s}$ 的时间步求解。

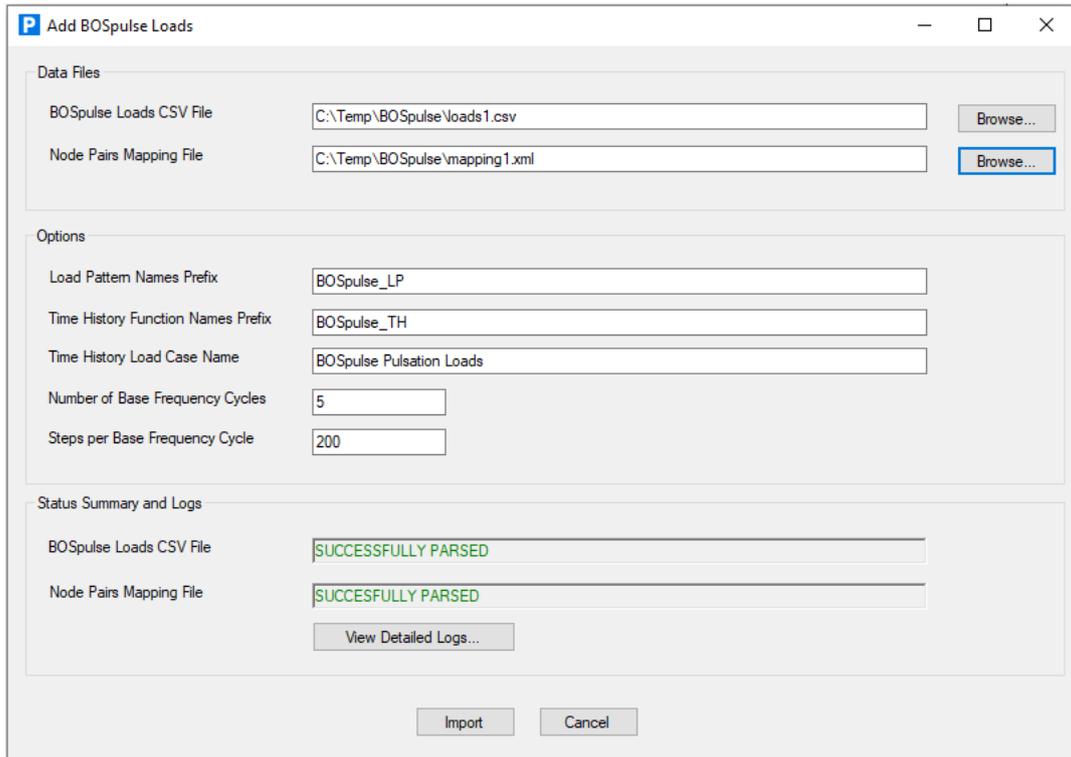


图1: 添加BOSpulse荷载对话框

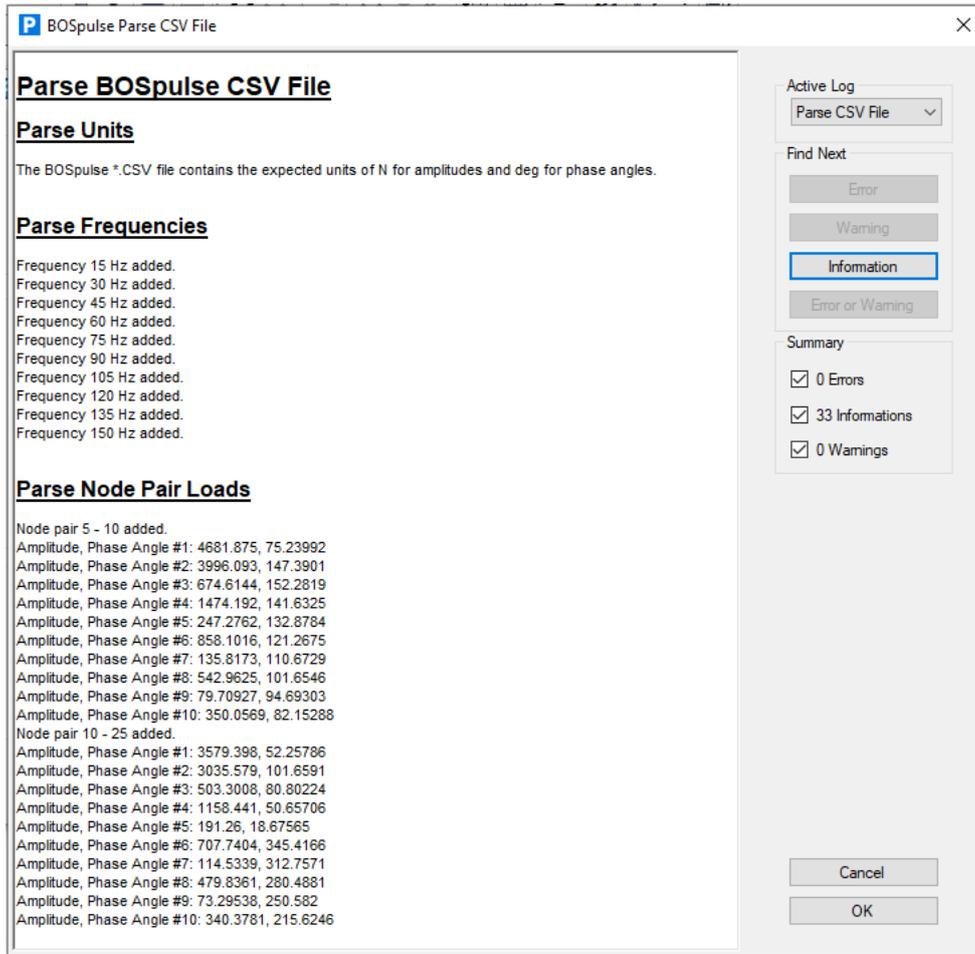


图2: 解析BOSpulse *.CSV文件的日志

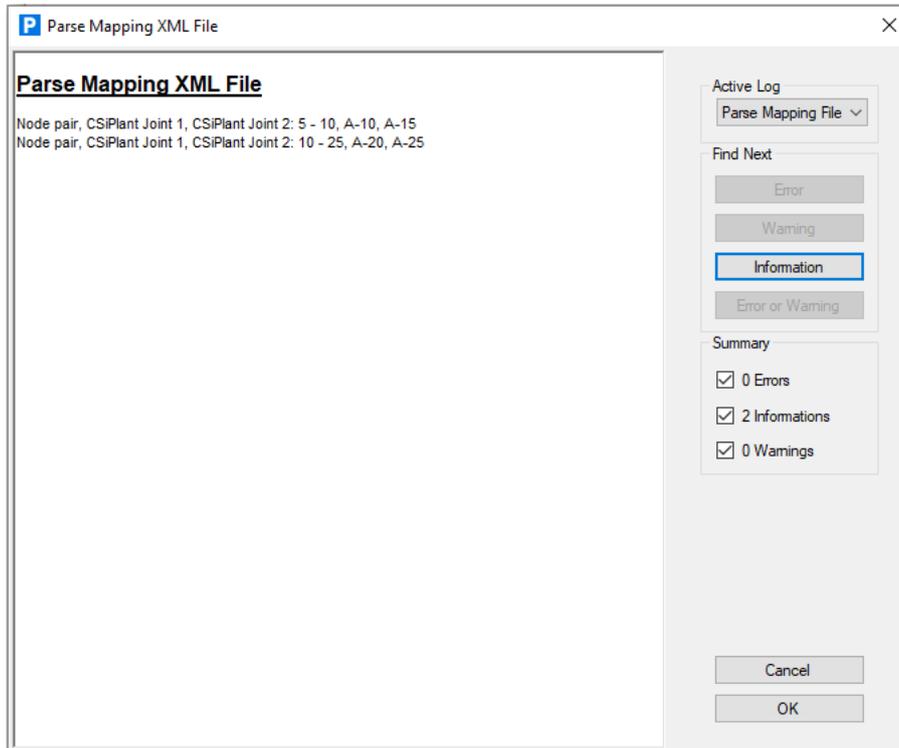


图3: 解析XML映射文件的日志

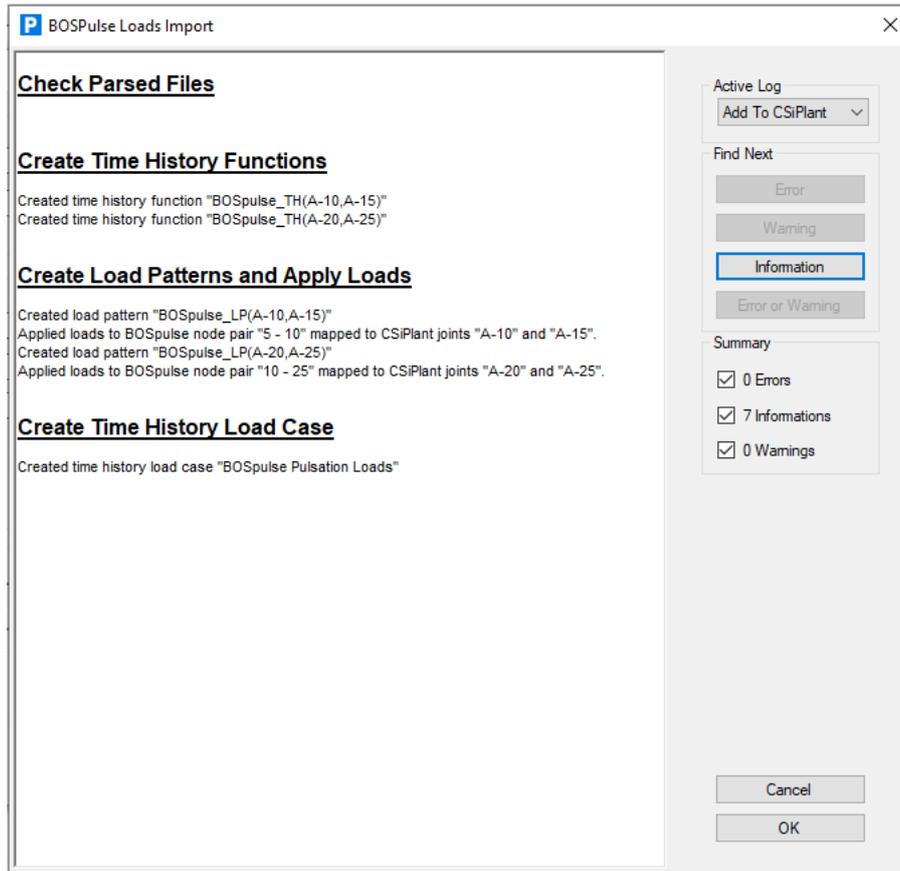


图4：将荷载数据导入到CSiPlant的日志

3.3 XML 映射文件

XML映射文件需要由用户创建，用于指定CSiPlant模型中的两个节点，它们对应于 BOSpulse *.CSV文件中的每个节点对。图5所示为XML映射文件的示例截图。XML映射文件必须对CSiPlant安装目录中“Miscellaneous\Import-BOSpulse Loads\BospulseLoadsNodeAirMapping.XSD”中的XSD文件有效。

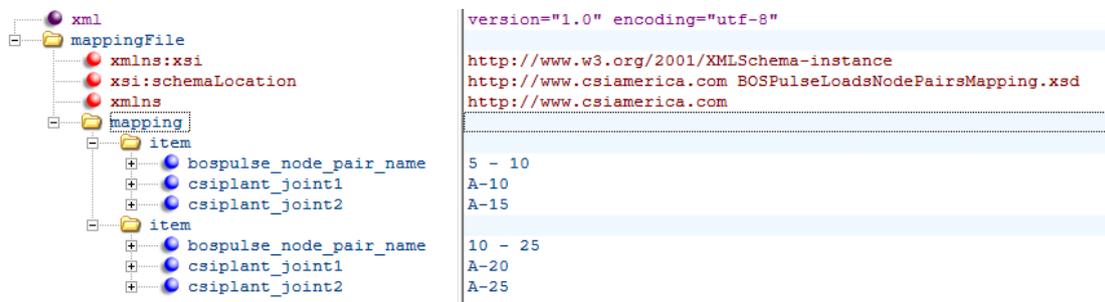


图5：XML映射文件

3.4 创建时程函数

为每个节点对创建单独的 "正弦序列"类型的时程函数。图6显示了正弦序列函数的整体属性，图7显示了序列中单个正弦函数的详细信息。

初始时间偏移等于基频周期，用于从零初始状态逐渐施加启动荷载。

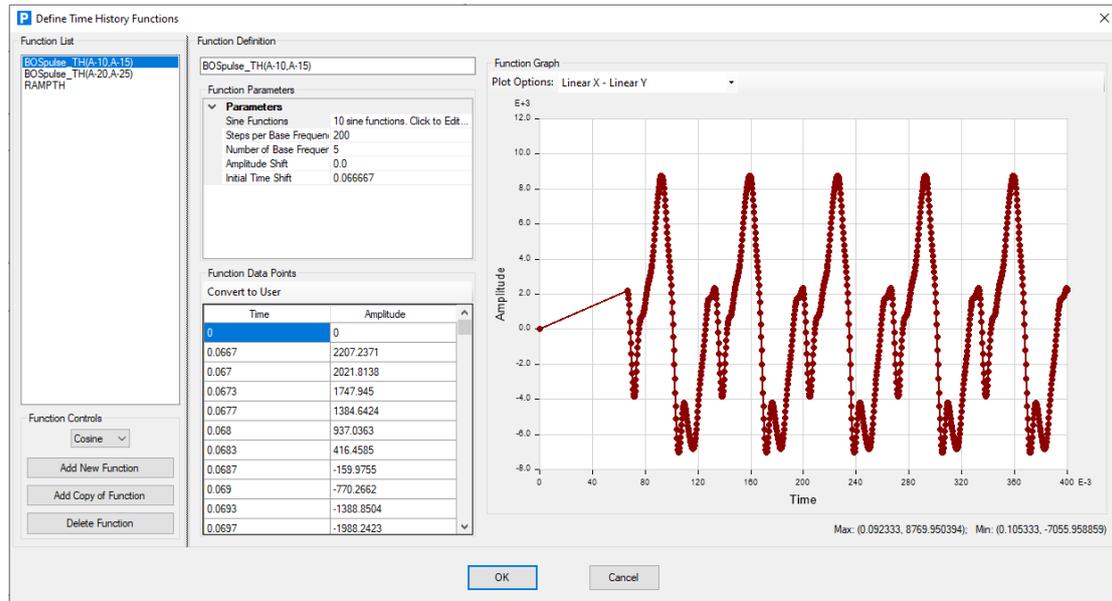


图6: 定义正弦序列时程函数对话框

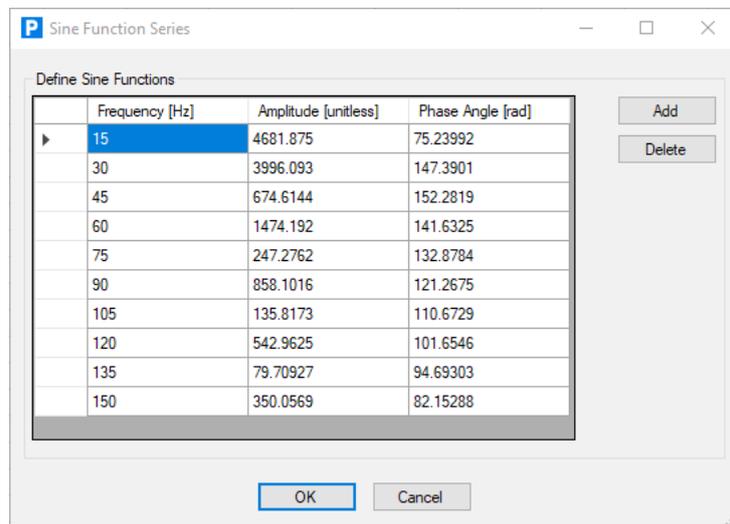


图7: 单个正弦函数的属性

3.5 创建荷载模式并施加单位荷载

BOSpulse计算每个力对的单个谐波力（分解的谐波分量）。假设该力作用于构成力对

的两个节点之间的整个管段，并从力对中的第一个节点指向第二个节点。

导入为每个节点对创建单独的荷载模式，并将单位荷载施加到节点对。单位荷载的一半施加在节点对中的每个节点上，力的方向从力对中的第一个节点到第二个节点，见图8。注意，在分析时程荷载工况时，单位荷载通过时程函数值按实际振幅进行缩放。

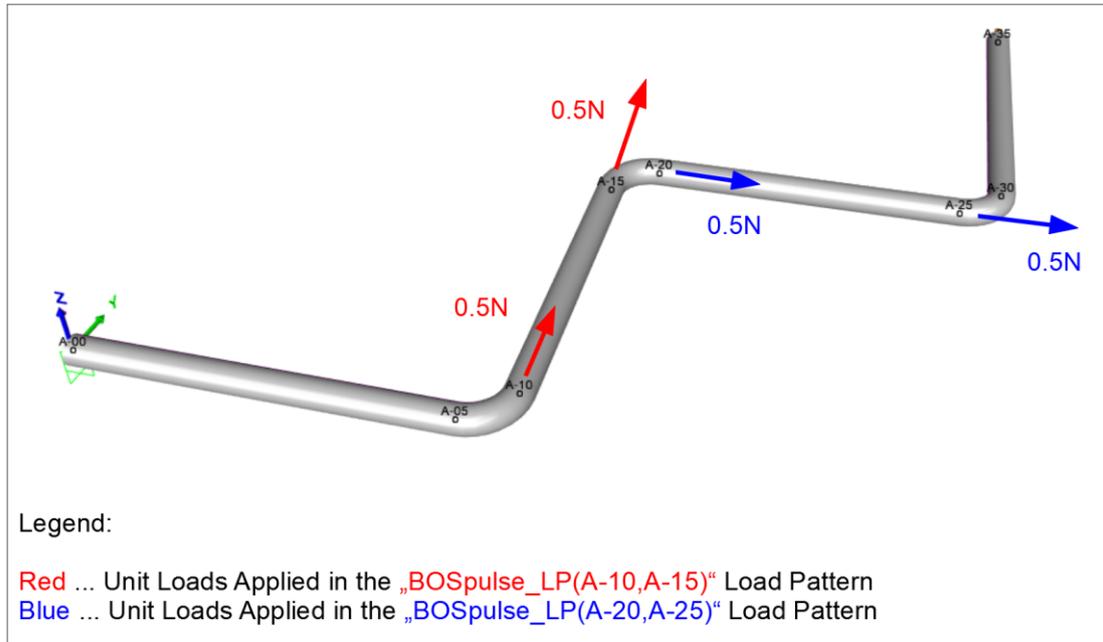


图8：施加到节点对的单位荷载和相应的荷载模式

3.6 创造时程荷载工况

最后一个导入步骤是创建一个非线性直接积分时程荷载工况，该工况将施加在节点对的单元荷载与相应的时程函数相关联，以定义随时间变化的荷载。

导入完成后，用户可以手动设置该时程荷载工况的初始刚度、调整阻尼等其他参数或更改时程荷载工况类型等。CSiPlant提供了两种不同的分析选项，用于定义和分析时程工况——FNA模态时程和直接积分时程。正如CSI文档[2]中所讨论的，每种方法都有各自的优点。FNA模态和直接积分都能进行线性或非线性的时程动力分析。

图9所示是基于非线性静态工况结束状态的非线性直接积分时程荷载定义示例。

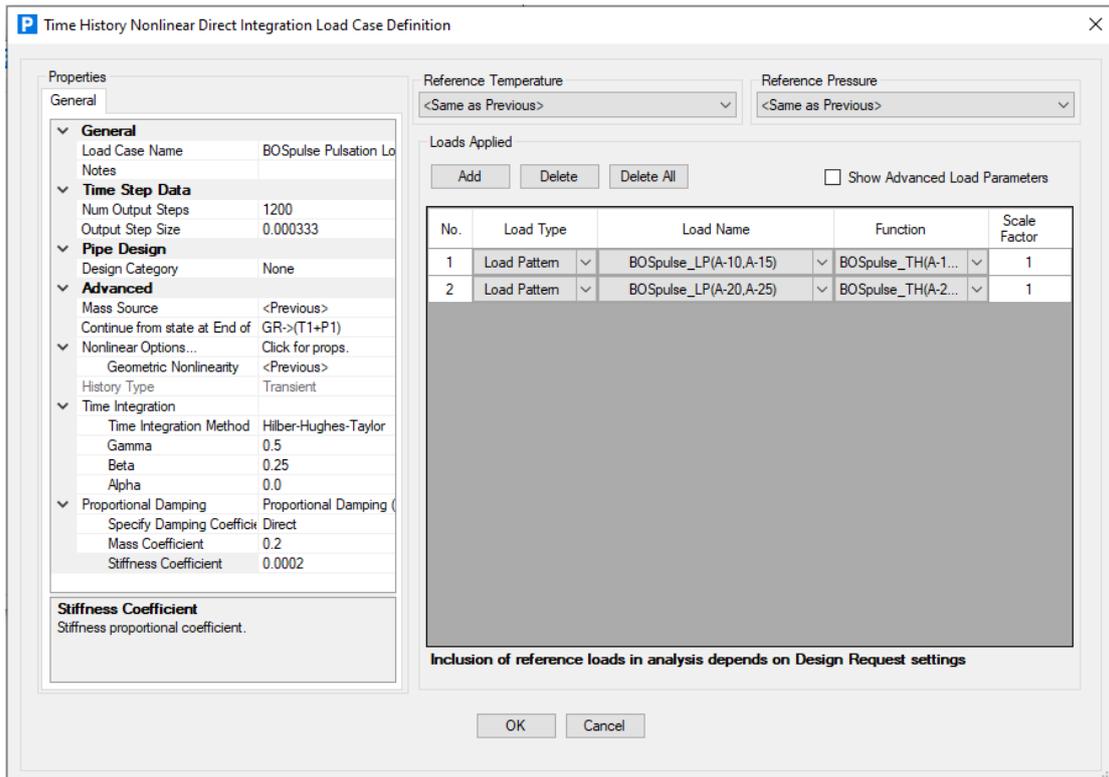


图9: 定义时程函数

4. 分析结果

一旦分析了时程荷载工况，就可以获得图10至图12所示的逐步（step-by-step）结果表格和图形显示。

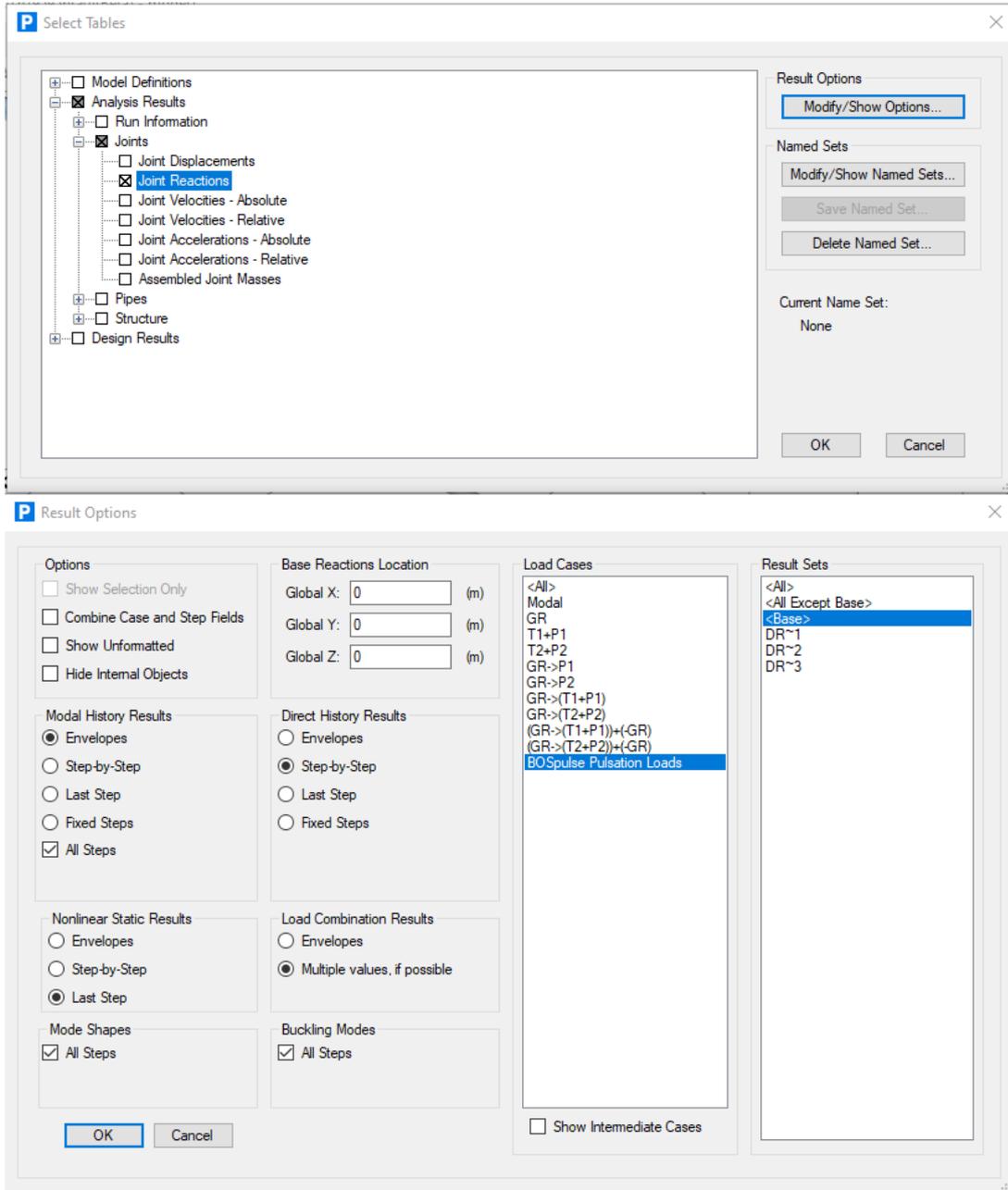


图 10: 选择时程结果的逐步结果显示选项

Table Display

File

Table Selector: Joint Reactions

Filter: Column: Joint ID

Joint ID	Output Case	Result Set	Step Type	Step Num	F1 (kN)	F2 (kN)	F3 (kN)	M1 (kN-m)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0	0	0	0	0	0	0
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.000333333333...	-5.7981E-05	1.6535E-05	0	0	0	2.3576E-05
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.000666666666...	-0.0004	7.3863E-05	0	0	0	0.0001
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.001	-0.0012	0.0002	0	0	0	0.0003
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.001333333333...	-0.0029	0.0004	0	0	0	0.0005
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.001666666666...	-0.0053	0.0006	0	0	0	0.0008
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.002	-0.0084	0.0009	0	0	0	0.0012
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.002333333333...	-0.0116	0.0013	0	0	0	0.0016
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.002666666666...	-0.0145	0.0016	0	0	0	0.0021
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.003	-0.0165	0.0021	0	0	0	0.0025
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.003333333333...	-0.0172	0.0025	0	0	0	0.0029
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.003666666666...	-0.0162	0.0029	0	0	0	0.0032
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.004	-0.0135	0.0032	0	0	0	0.0034
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.004333333333...	-0.0092	0.0035	0	0	0	0.0034
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.004666666666...	-0.0037	0.0037	0	0	0	0.0032
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.005	0.0025	0.0038	0	0	0	0.0029
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.005333333333...	0.0089	0.0039	0	0	0	0.0024
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.005666666666...	0.015	0.0038	0	0	0	0.0016
A-00	BOSpulse Pulsati...	<Base>	Step by Step	0.006	0.0204	0.0037	0	0	0	0.0007

Record: 1 of 1201

Units: kN, m, C

图 11: 时程荷载工况的逐步表格结果 (节点反作用力)

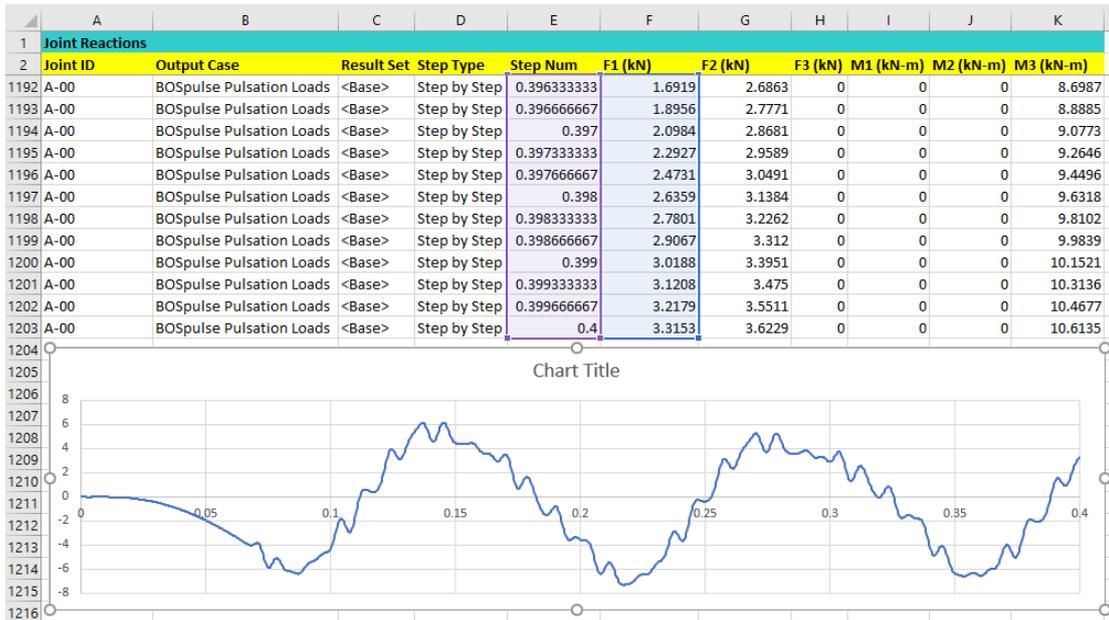


图 12: 节点 A-00 随时间变化的反力

5. 参考文献

- [1] BOSpulse, <https://software.dynaflo.com/bospulse/>, accessed 4/22/2021
- [2] CSI Analysis Reference Manual, November 2017