

中国船舶工业行业协会团体标准

T/CANSI 190—2025

船舶结构有限元分析模型数据要求

Data requirements for the finite element analysis model of ship structures



2025-09-11 发布

2025-10-01 实施

中国船舶工业行业协会 发布



目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 2

5 基本要求 2

附录 A（规范性）前处理数据要求 5

附录 B（规范性）求解结果数据要求 24

附录 C（规范性）规范校核数据要求 27

参考文献 32



前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国船舶工业行业协会标准化分会提出。

本文件由中国船舶工业行业协会归口。

本文件起草单位：中国船级社、中国船舶科学研究中心、水上载运装备安全研究院（宁波）有限公司、中船奥蓝托无锡软件技术有限公司、哈尔滨工程大学、中国船舶集团有限公司综合技术经济研究院、中国船舶集团有限公司第七〇一研究所。

本文件主要起草人：王丽荣、黎庆芬、孟凡冲、张道坤、李淳芳、胡欣、刘玉川、孙安林、李旭、胡丰梁、蔡忠云、李明、林庆忠、吴薇、张丽萍、王思源、李敏、金建海、丁军、胡涛、郭翔、李云骧、王裕飞、孙川、姚竞争、老轶佳、胡杰鑫、王明皓、殷涛、彭伟才、李巧平。



船舶结构有限元分析模型数据要求

1 范围

本文件规定了船舶结构强度、刚度、屈曲稳定性、动力响应等力学性能有限元分析模型的数据基本要求，包括塑性材料非线性分析的数据要求，不涵盖其他非线性分析的模型数据要求。

本文件适用于船舶结构有限元分析软件数据的编辑、生成、交换、存储等。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 3100—1993 国际单位制及其应用

GB/T 3101—1993 有关量、单位和符号的一般原则

GB/T 10853—2008 机构与机器科学词汇

GB/T 31054—2014 机械产品计算机辅助工程 有限元数值计算 术语

GB/T 33582—2017 机械产品结构有限元力学分析通用规则

3 术语和定义

GB/T 10853—2008、GB/T 31054—2014和GB/T 33582—2017界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

前处理数据 preprocessing data

结构有限元计算前所有输入数据和模型准备的统称，将实际船舶结构转化为可计算的有限元模型，包括几何、材料、载荷、边界条件等参数的规范化表达，形成符合求解格式的完整有限元模型。

注：包含前处理模型数据及历程数据两部分内容。

3.2

求解结果数据 solution result data

船舶结构有限元分析中求解结果的数据。

3.3

规范校核 rule checking

根据船舶入级和建造规范，对船舶结构有限元分析求解结果进行校核的处理过程。

3.4

规范校核数据 rule checking data

根据船舶入级和建造规范，对船舶结构有限元分析求解结果进行校核的输入和输出数据。

3.5

船舶入级和建造规范 rules for classification and construction of ships

船级社对船体结构和设备，船用材料，保证船舶在海上安全航行所必需的系统、装置、设备的设计、建造、安装、试验等所作的涉及安全和质量方面的最低标准和综合性技术规定以及船舶入级和检验规定。

3.6

屈服校核 yield check

根据船舶入级和建造规范，校核船舶结构屈服强度的结构分析。

3.7

屈曲校核 buckling check

根据船舶入级和建造规范，校核船舶结构屈曲强度的结构分析。

3.8

疲劳校核 fatigue check

根据船舶入级和建造规范，校核船舶结构疲劳强度的结构分析。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DOF: 自由度 (Degree Of Freedom)

ID: 标识 (Identification)

SI: 国际单位制 (International System Of Units)

5 基本要求

5.1 单位制

单位制的选择应遵守GB 3100—1993和GB/T 3101—1993的规定，推荐采用SI单位制。船舶结构有限元分析软件可根据模型和分析目标等实际情况定义配套的量纲系统，所有的输入数据应采用同一个量纲系统，常用的量纲系统见表1。

表1 常用量纲系统

量词	SI 单位 (m)	SI 单位 (mm)
长度	m	mm
载荷	N	N
质量	kg	tonne (10 ³ kg)

表 1 常用量纲系统（续）

量词	SI 单位（m）	SI 单位（mm）
时间	s	s
应力	Pa（N/m ² ）	MPa（N/mm ² ）
能量	J	mJ（10 ⁻³ J）
密度	kg/m ³	tonne/mm ³

5.2 数据描述方法

每个模型要素的数据结构应包含一个或多个属性或子元素项。对每个属性和子元素项的阐述应包含类型、可选项、频次、描述等四项内容，见表2。

表 2 模型数据描述模板

属性/子元素	类型 ^a	可选项 ^b	频次 ^c	描述 ^d
ID	int	必选	[1, 1]	标识符
<p>^a 定义属性或子元素项的数据类型。本文件所有数据类型包括整数型（int）、字符型（string）、双精度浮点型（double）、布尔型（bool）、枚举型（enum）、日期型（date）、类（表示多种数据的复合体）</p> <p>^b 定义属性或子元素项的数据是“可选”，还是“必选”。“可选”表示该属性项在定义数据结构时可以没有，“必选”表示该属性项在定义数据结构时是必需存在的</p> <p>^c 定义属性或子元素项在所描述的要素中可出现的次数。频次以[m1, m2]格式表示，并定义了属性或子元素项在上述要素中出现的频率。“m1”表示出现的最小次数，“m2”表示出现的最大次数。例如：“[0, 1]”表示最多出现一次也可不出现，“[1, 1]”表示出现且仅出现一次，“[0, n]”表示可出现多次也可不出现，“[1, n]”表示至少出现一次</p> <p>^d 定义属性或子元素项的含义</p>				

5.3 数据内容

船舶结构有限元分析模型数据内容应符合下列规定：

- a) 船舶结构有限元分析模型数据包括前处理数据、求解结果数据和规范校核数据。
- b) 前处理数据包括坐标系及坐标点、材料、节点、单元、载荷、约束和求解参数等数据。
- c) 求解结果数据包括位移结果、速度结果、加速度结果、频率结果、应力结果、应变结果、截面作用力结果和反作用力结果等数据。
- d) 规范校核数据由输入数据和输出数据组成，其中输入数据包含规范信息、船舶主要特性、肋位定义、结构定义、舱室定义、单元腐蚀定义、弯矩剪力定义、装载模式，输出数据包含屈服校核、屈曲校核和疲劳校核等数据。
- e) 前处理数据应符合附录 A 的要求、求解结果数据应符合附录 B 的要求、规范校核数据应符合附录 C 的要求，各部分数据的使用流程见图 1。
- f) 可根据实际数据资源情况 and 应用需求，在附录 A～附录 C 的基础上，对数据进行扩展。数据扩展应符合表 2 的要求，扩展数据应保证现有数据的属性/子元素的唯一性。

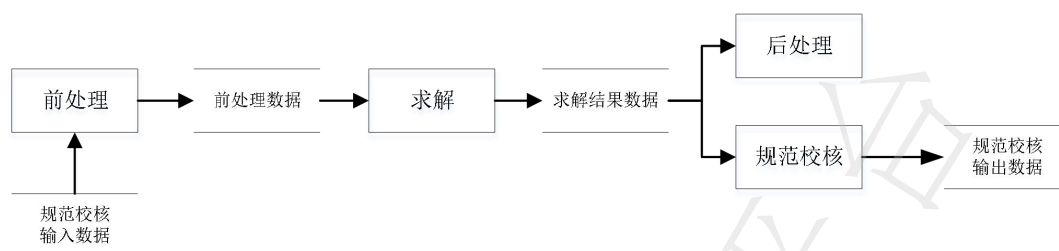


图1 数据使用流程

附录 A
(规范性)
前处理数据要求

A.1 坐标系及坐标点

A.1.1 全局坐标系

全局坐标系应符合右手法则，宜选用三维笛卡尔坐标系，必要时可选用圆柱坐标系或球坐标系。建立船舶结构有限元分析模型时，应定义全局坐标系。全局坐标系（见图 A.1）应按照下列右手向坐标系来定义：

- 原点：船舶中纵剖面、船长后端和基线的相交处；
- X 轴：纵向轴，向船首为正；
- Y 轴：横向轴，向左舷为正；
- Z 轴：垂向轴，向上为正。

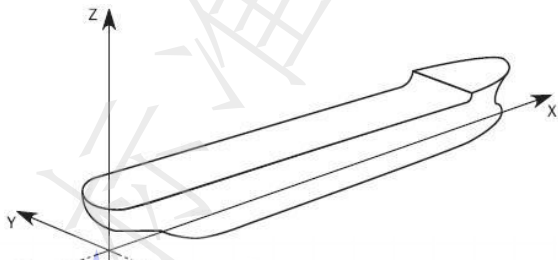


图 A.1 船舶全局坐标系

当模型显示需求与全局坐标系不一致时，可增加局部坐标系。

A.1.2 局部坐标系

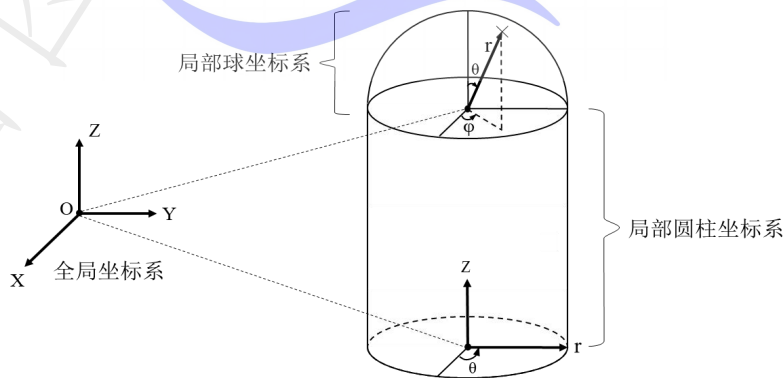


图 A.2 局部圆柱坐标系和局部球坐标系示意图

局部坐标系分为三维笛卡尔坐标系、圆柱坐标系和球坐标系三种，见图 A.2。
局部三维笛卡尔坐标系见表 A.1。局部圆柱坐标系见表 A.2。局部球坐标系见表 A.3。

表 A.1 局部三维笛卡尔坐标系 LocalRectangularCoordinate 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	局部直角坐标系编号
OriginPiont	Piont3D	必选	[1, 1]	原点坐标
PointOnLocalXaxis	Piont3D	必选	[1, 1]	X 轴上一点坐标
PointInXYPlane	Piont3D	必选	[1, 1]	XY 平面上一点坐标, 与 OriginPiont 和 PointOnLocalXaxis 不能共线

表 A.2 局部圆柱坐标系 LocalCylindricalCoordinate 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	局部圆柱坐标系编号
OriginPiont	Piont3D	必选	[1, 1]	原点的坐标
PointOnLocalRaxis	Piont3D	必选	[1, 1]	r 轴上一点坐标
PointInRThetaPlane	Piont3D	必选	[1, 1]	r- θ 平面上一点坐标, 与 OriginPiont 和 PointOnLocalRaxis 不能共线

表 A.3 局部球坐标系 LocalSphericalCoordinate 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	局部球坐标系编号
OriginPiont	Piont3D	必选	[1, 1]	原点坐标
PointOnLocalRaxis	Piont3D	必选	[1, 1]	r 轴上一点坐标
PointInRThetaPlane	Piont3D	必选	[1, 1]	r- θ 平面上一点的坐标, 与 OriginPiont 和 PointOnLocalRaxis 不能共线

A.1.3 三维坐标点

三维坐标点 Piont3D 见表 A.4。

表 A.4 三维坐标点 Piont3D 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
X	double	必选	[1, 1]	在坐标系中 X 坐标值
Y	double	必选	[1, 1]	在坐标系中 Y 坐标值
Z	double	必选	[1, 1]	在坐标系中 Z 坐标值

A.1.4 三维向量

三维向量 Vector3D 见表 A.5。

表 A.5 三维向量 Vector3D 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
X	double	必选	[1, 1]	三维向量的 X 方向分量
Y	double	必选	[1, 1]	三维向量的 Y 方向分量
Z	double	必选	[1, 1]	三维向量的 Z 方向分量

A.2 材料

船舶结构常用材料见表 A.6～表 A.8。如材料属性随温度变化，则各参数定义时应添加对应温度。

表 A.6 通用材料属性 General 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
MaterialID	int	必选	[1, 1]	材料编号
Density	double	必选	[1, 1]	材料的密度 ρ
Temperature	double	可选	[0, 1]	温度

表 A.7 各向同性线弹性材料属性 Elastic 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
MaterialID	int	必选	[1, 1]	材料编号
Density	double	必选	[1, 1]	材料的密度 ρ
Temperature	double	可选	[0, 1]	温度
YoungsModulus	double	必选	[1, 1]	材料的弹性模量 E
ShearModulus	double	可选	[0, 1]	材料的剪切模量 G
PoissonsRatio	double	必选	[1, 1]	材料的泊松比 ν
TensileStressLimit	double	可选	[0, 1]	拉伸应力极限 σ_T
CompressiveStressLimit	double	可选	[0, 1]	压缩应力极限 σ_C
ShearStressLimit	double	可选	[0, 1]	剪切应力极限 τ_s

表 A.8 各向同性塑性材料属性 Plastic 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
MaterialID	int	必选	[1, 1]	材料编号
Density	double	必选	[1, 1]	材料的密度 ρ
YoungsModulus	double	必选	[1, 1]	材料的弹性模量 E
ShearModulus	double	可选	[0, 1]	材料的剪切模量 G
PoissonsRatio	double	必选	[1, 1]	材料的泊松比 ν
Temperature	double	可选	[0, 1]	温度
YieldStress	double	可选	[0, 1]	屈服应力 σ_s
PlasticStrain	double	可选	[0, 1]	塑性应变 ϵ_0

A.3 节点

节点 Node 见表 A.9。

表 A.9 节点 Node 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	节点的编号，在文件内唯一
ReferenceCsysOfCoordinatesID	Int	可选	[0, 1]	节点坐标参考坐标系的编号，取值为 0 时表示全局坐标系
X	double	必选	[1, 1]	节点在参考坐标系中 X 坐标值，见表 A.10
Y	double	必选	[1, 1]	节点在参考坐标系中 Y 坐标值，见表 A.10
Z	double	必选	[1, 1]	节点在参考坐标系中 Z 坐标值，见表 A.10
ReferenceCsysOfLoadsAndBoundaryID	int	可选	[0, 1]	定义节点位移、自由度、约束和解向量的参考坐标系编号，取值为 0 时表示全局坐标系

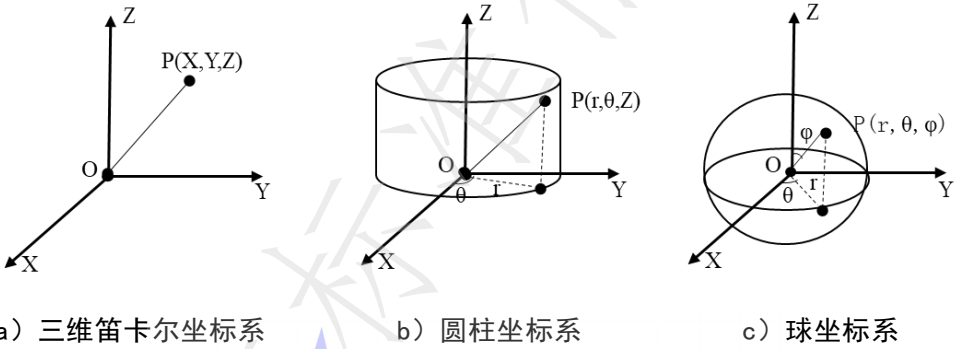


图 A.3 参考坐标系中的坐标

表 A.10 节点在参考坐标系中的坐标的意义

类型	X_P	Y_P	Z_P
标系	X	Y	Z
圆柱坐标系	r	θ (度)	Z
球坐标系	r	θ (度)	φ (度)

A.4 单元

A.4.1 杆单元

杆单元 Truss 见表 A.11。

表 A.11 杆单元 Truss 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元编号

表 A.11 杆单元 Truss 定义 (续)

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
Type	enum	必选	[1, 1]	杆单元类型, 取值及含义如下: <ul style="list-style-type: none"> ● T3D2: 三维一阶杆单元 ● T3D3: 三维二阶杆单元
SolidSectionID	int	必选	[1, 1]	杆单元截面属性的编号
NodeID1	int	必选	[1, 1]	节点编号, 且 NodeID1≠NodeID2
NodeID2	int	必选	[1, 1]	节点编号, 且 NodeID1≠NodeID2

杆单元或体单元截面属性 SolidSection 见表 A.12。

表 A.12 杆单元或体单元截面属性 SolidSection 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元属性的编号
MaterialID	int	必选	[1, 1]	材料属性卡名称
CrossArea	double	可选	[0, 1]	横截面面积, 仅适用于杆单元, 对于体单元不需要此属性

A.4.2 梁单元

梁单元 Beam 见表 A.13。

表 A.13 梁单元 Beam 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元编号
Type	enum	必选	[1, 1]	梁单元类型, 取以下值之一: <ul style="list-style-type: none"> ● B31: 线性梁单元 ● B32: 二次梁单元 ● B33: 三次梁单元
BeamSectionID	int	必选	[1, 1]	梁单元属性的编号
NodeID1	int	必选	[1, 1]	节点编号, 且 NodeID1≠NodeID2
NodeID2	int	必选	[1, 1]	节点编号, 且 NodeID1≠NodeID2
FreedomEndNode1	int	可选	[0, 1]	节点 1 处被释放的自由度组合, 取 1-6 之间的整数组合
FreedomEndNode2	int	可选	[0, 1]	节点 2 处被释放的自由度组合, 取 1-6 之间的整数组合
注: 整数组合的每位数字代表一个自由度的编号, 见表 A.14, 比如“134”代表释放 X 方向平动自由度、Z 方向平动自由度和绕 X 轴旋转的旋转自由度				

船舶结构有限元分析模型中的自由度 (DOF) 见表 A.14。

表 A.14 自由度

自由度编号	物理意义
1	aX 方向平动自由度
2	aY 方向平动自由度

表 A.14 自由度（续）

自由度编号	物理意义
3	aZ 方向平动自由度
4	绕 X 轴旋转的旋转自由度
5	绕 Y 轴旋转的旋转自由度
6	绕 Z 轴旋转的旋转自由度

注：aX、aY 和 aZ 方向分别与全局 X、Y 和 Z 方向一致；但是如果在节点上定义了局部变换坐标系，则与局部坐标系方向一致

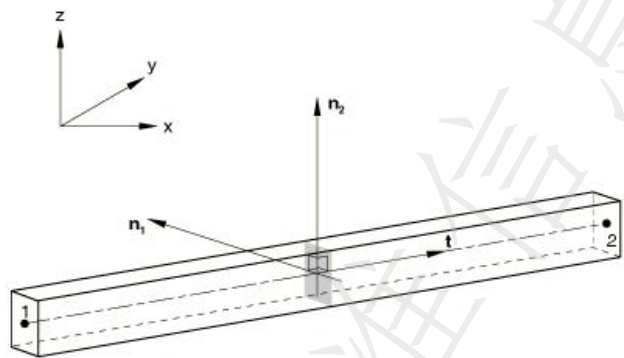


图 A.4 梁单元的单元坐标系

梁单元截面属性 BeamSection 见表 A.15。

表 A.15 梁单元截面属性 BeamSection 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元属性的编号
MaterialID	int	必选	[1, 1]	材料属性卡名称
BeamShapeAlongLength	enum	必选	[1, 1]	是否变截面梁，取值及含义如下： ● Constant: 常截面梁 ● Tapered: 变截面梁
ProfileIDofNode1	int	必选	[1, 1]	节点 1 截面尺寸的编号
ProfileIDofNode2	int	可选	[0, 1]	节点 2 截面尺寸的编号，当 BeamShapeAlongLength=Tapered 时适用
BeamOrientation	Vector3D	必选	[1, 1]	截面平面向量 n1，见图 A.4
BeamOffsetofNode1	Vector3D	必选	[1, 1]	节点 1 处截面偏置向量
BeamOffsetofNode2	Vector3D	可选	[0, 1]	节点 2 处截面偏置向量，当 BeamShapeAlongLength=Tapered 时适用

梁单元的截面尺寸 BeamProfile 见表 A. 16。

表 A. 16 梁单元的截面尺寸 BeamProfile 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	截面尺寸的编号
Type	enum	必选	[1, 1]	横截面的类型，见表 A. 17
CrossArea	double	必选	[1, 1]	当 Type=GENERAL 时，横截面的面积
MomentOfInertiaForBendingAbout1Axis	double	必选	[1, 1]	当 Type=GENERAL 时，横截面的惯性矩 I_{zz}
MomentOfInertiaForBendingAbout2Axis	double	必选	[1, 1]	当 Type=GENERAL 时，横截面的惯性矩 I_{yy}
MomentOfInertiaForCrossBending	int	必选	[1, 1]	当 Type=GENERAL 时，横截面的惯性矩 I_{zy}
TorsionalConstant	double	必选	[1, 1]	当 Type=GENERAL 时，扭转常数 I_{xx}
SectorialMoment	double	可选	[0, 1]	当 Type=GENERAL 时，对于开口截面，扇形力矩 Γ_0
WarpingConstant	double	可选	[0, 1]	当 Type=GENERAL 时，对于开口截面，翘曲常数 Γ_w
LocalX1CoordinateOfCentroid	double	可选	[0, 1]	当 Type=GENERAL 时，横截面型心相对于局部坐标系 n1 轴的坐标
LocalX2CoordinateOfCentroid	double	可选	[0, 1]	当 Type=GENERAL 时，横截面型心相对于局部坐标系 n2 轴的坐标
LocalX1CoordinateOfShearCenter	double	可选	[0, 1]	当 Type=GENERAL 时，横截面剪心相对于局部坐标系 n1 轴的坐标
LocalX2CoordinateOfShearCenter	double	可选	[0, 1]	当 Type=GENERAL 时，横截面剪心相对于局部坐标系 n2 轴的坐标
DimensionsOfProfile	double	必选	[1, n]	当 Type \neq GENERAL 时，横截面特征尺寸。不同横截面类型对应的积分计算点和特征尺寸参数详见表 A. 17
^a 扇形力矩 $\Gamma_0 = \int_s S_w t ds$ ^b 翘曲常数 $\Gamma_w = \int_s S_w^2 t ds$				

梁单元横截面类型及其积分计算点、特征尺寸参数见表 A. 17。

表 A. 17 梁单元横截面积分计算点和特征尺寸参数

截面类型	描述	积分计算点和特征尺寸参数示意图	特征尺寸参数
GENERAL	参数型截面	—	—

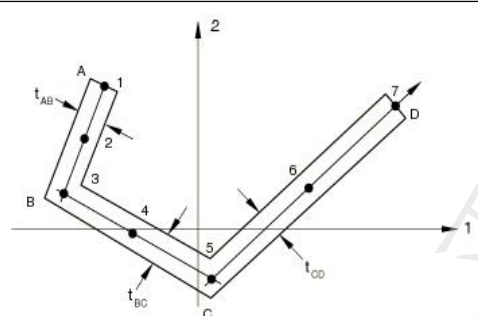
截面类型	描述	积分计算点和特征尺寸参数示意图	特征尺寸参数
ARBITRARY	任意形截面	 The diagram shows an arbitrary cross-section with vertices A, B, C, and D. Seven integration points are marked: 1 and 2 on segment AB, 3 and 4 on segment BC, and 5, 6, and 7 on segment CD. A coordinate system with axes 1 and 2 is centered within the section. Characteristic dimensions are indicated: t_{AB} for the thickness of segment AB, t_{BC} for the thickness of segment BC, and t_{CD} for the thickness of segment CD.	

表 A. 17 梁单元横截面积分计算点和特征尺寸参数 (续)

截面类型	描述	积分计算点和特征尺寸参数示意图	特征尺寸参数
BOX	箱型截面		a, b, t_1, t_2, t_3, t_4
CIRC	圆形截面		r (半径)
HEX	六边形管状截面		d, t
I	工字形截面		$h, b_1, b_2, t_1, t_2, t_3$
L	L 形截面		a, b, t_1, t_2

表 A. 17 梁单元横截面积分计算点和特征尺寸参数（续）

截面类型	描述	积分计算点和特征尺寸参数示意图	特征尺寸参数
T	T 形截面		b, h, t_1, t_2
RECT	矩形截面		a, b
THICK PIPE	厚壁圆管状截面		r （外圆半径） t （壁厚）
PIPE	薄壁圆管状截面		r （外圆半径） t （壁厚）
TRAPEZOID	梯形截面		a, b, c

A. 4. 3 壳单元

壳单元 Shell 见表 A. 18。

表 A. 18 壳单元 Shell 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元的编号
Type	enum	必选	[1, 1]	单元类型，取值及含义如下： <ul style="list-style-type: none"> ● S3：三节点三角形单元 ● S4：四节点四边形单元 ● S4R：四节点四边形单元（缩减积分） ● S4I：四节点四边形单元（非协调） ● SC6R：六节点三角形单元 ● SC8R：八节点四边形单元
ShellSectionID	int	必选	[1, 1]	壳单元截面属性的编号
NodesID	int	必选	[3, 8]	节点的编号，其数量根据单元类型来确定

壳单元截面属性 ShellSection 见表 A. 19。

表 A. 19 壳单元截面属性 ShellSection 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	壳单元截面属性的编号
MaterialID	int	必选	[1, 1]	材料属性的编号
Thickness	double	必选	[1, 1]	单元厚度，可以定义均值厚度，也可以通过单元、节点离散场定义厚度
Offset	double	可选	[0, 1]	板单元偏置

A. 4. 4 体单元

体单元 Solid 见表 A. 20。

表 A. 20 体单元 Solid 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元的编号
Type	enum	必选	[1, 1]	单元类型，取值及含义如下： <ul style="list-style-type: none"> ● C3D4：线性四面体单元 ● C3D5：线性五面体单元 ● C3D6：线性三棱柱单元 ● C3D8：线性六面体单元 ● C3D8R：线性六面体单元（缩减积分） ● C3D8I：线性六面体单元（非协调） ● C3D10：二阶四面体单元 ● C3D15：二阶三棱柱单元 ● C3D20：二阶六面体单元 ● C3D20R：二阶六面体单元（缩减积分）
SolidSectionID	int	必选	[1, 1]	体单元截面属性的编号
NodesID	int	必选	[4, 20]	节点的编号，其数量根据单元类型来确定

A. 4.5 弹簧单元

弹簧单元 Spring 见表 A. 21。

表 A. 21 弹簧单元 Spring 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元的编号
Type	enum	必选	[1, 1]	弹簧单元类型，取值及含义如下： <ul style="list-style-type: none"> Spring1: 接地弹簧单元 Spring2: 作用于固定方向的两节点之间的弹簧单元 SpringA: 作用于节点连线方向的两节点之间的弹簧单元
SpringPropertyID	int	必选	[1, 1]	弹簧单元属性的编号
NodeID1	int	必选	[1, 1]	节点编号，且 NodeID1 ≠ NodeID2
NodeID2	int	可选	[0, 1]	节点编号，且 NodeID1 ≠ NodeID2。对于接地弹簧不需要 NodeID2

弹簧单元属性 SpringProperty 见表 A. 22。

表 A. 22 弹簧单元属性 SpringProperty 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	弹簧单元属性的编号
DOFAtFirstNode	enum	可选	[0, 1]	第 1 个节点的弹簧刚度方向，取值范围为 {1, 2, 3, 4, 5, 6}，当 Etype=springA 时，无需输入
DOFAtSecodNode	enum	可选	[0, 1]	第 2 个节点的弹簧刚度方向，取值范围为 {1, 2, 3, 4, 5, 6}，当 Etype=springA 或者 Etype=spring1 时，无需输入
SpringStiffness	double	必选	[1, 1]	弹簧刚度

A. 4.6 阻尼单元

阻尼单元 Dashpot 见表 A. 23。

表 A. 23 阻尼单元 Dashpot 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元的编号
Type	enum	必选	[1, 1]	阻尼单元类型，取值及含义如下： <ul style="list-style-type: none"> Dashpot1: 接地阻尼单元 Dashpot2: 作用于固定方向的两节点之间的阻尼单元 DashpotA: 作用于节点连线方向的两节点之间的阻尼单元
DashpotPropertyID	int	必选	[1, 1]	阻尼单元属性的编号
NodeID1	int	必选	[1, 1]	节点编号，且 NodeID1 ≠ NodeID2
NodeID2	int	可选	[0, 1]	节点编号，且 NodeID1 ≠ NodeID2。对于接地阻尼

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
				不需要 NodeID2

阻尼单元属性 DashpotProperty 见表 A. 24。

表 A. 24 阻尼单元属性 DashpotProperty 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	阻尼单元属性的编号
DOFAtFirstNode	enum	可选	[0, 1]	第 1 个节点的阻尼刚度方向，取值范围为 {1, 2, 3, 4, 5, 6}，当阻尼单元类型为 DashpotA 时，无需输入
DOFAtSecondNode	enum	可选	[0, 1]	第 2 个节点的阻尼刚度方向，取值范围为 {1, 2, 3, 4, 5, 6}，当阻尼单元类型为 Dashpot1 或 DashpotA 时，无需输入
DashpotCoefficient	double	必选	[1, 1]	阻尼系数，单位相对速度下的阻尼力

A. 4. 7 间隙单元

间隙单元 Gap 见表 A. 25。

表 A. 25 间隙单元 Gap 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元的编号
Type	enum	必选	[1, 1]	Gap 单元类型，取值及含义如下： <ul style="list-style-type: none">● GAPUNI：接触方向在空间固定● GAPUNIT：模拟两个节点间的接触及热相互作用● GAPCYL：接触方向垂直于某个轴● GAPSPHER：接触方向在空间是任意的● DGAP：用于传热分析中两节点的热相互作用
GAPPropertyID	int	必选	[1, 1]	间隙单元属性的编号
NodeID1	int	必选	[1, 1]	节点编号，且 NodeID1≠NodeID2
NodeID2	int	必选	[1, 1]	节点编号，且 NodeID1≠NodeID2

间隙单元属性 GapProperty 见表 A. 26。

表 A. 26 间隙单元属性 GapProperty 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	间隙单元截面属性的编号
Clearance	double	可选	[0, 1]	当单元类型为 GAPUNI、GAPUNIT 时，表示初始间隙；当单元类型为 GAPCYL 或 GAPSPHER 时，表示分离距离；当单元类型为 DGAP 时，表示间隙
DirectionoftheContact	Vector3D	可选	[0, 1]	当单元类型为 GAPUNI 或 GAPUNIT 时，表示接触方

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
Direction				向向量；当单元类型为 GAPCYL 时，表示接触方向垂直的轴向向量
Cross-SectionalArea	double	可选	[0, 1]	单元截面积

A. 4. 8 质量属性

有限元分析中，质量属性分派到节点和单元上，分为集中质量、非结构质量、流体虚拟质量三种。集中质量属性见表 A. 27，非结构质量属性见表 A. 28，流体虚拟质量属性见表 A. 29。

表 A. 27 集中质量属性 Mass 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元质量属性 Mass 的编号
NodeID	int	必选	[1, n]	集中质量作用节点编号
Type	enum	必选	[1, 1]	质量类型，取值范围为 {Isotropic, Anisotropic}
Mass	double	必选	[1, 1]	当质量类型为 Isotropic 时单元的质量 M
PrincipalMassAbout Local1Axis	double	必选	[1, 1]	当质量类型为 Anisotropic 时关于局部 1 轴的质量 M_{11}
PrincipalMassAbout Local2Axis	double	必选	[1, 1]	当质量类型为 Anisotropic 时关于局部 2 轴的质量 M_{22}
PrincipalMassAbout Local3Axis	double	必选	[1, 1]	当质量类型为 Anisotropic 时关于局部 3 轴的质量 M_{33}
MassAboutLocal12Axis	double	必选	[1, 1]	当质量类型为 Anisotropic 时关于局部坐标系质量矩阵非对角元素 M_{12}
MassAboutLocal13Axis	double	必选	[1, 1]	当质量类型为 Anisotropic 时关于局部坐标系质量矩阵非对角元素 M_{13}
MassAboutLocal23Axis	double	必选	[1, 1]	当质量类型为 Anisotropic 时关于局部坐标系质量矩阵非对角元素 M_{23}

表 A. 28 非结构质量属性 NonstructuralMass 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元编号
ElementID	int	必选	[1, n]	非结构质量属性作用的单元编号
Type	enum	必选	[1, 1]	非结构质量类型，取值及含义如下： <ul style="list-style-type: none"> ● TOTAL MASS：总质量 ● MASS PER VOLUME：单位体积质量 ● MASS PER AREA：单位面积质量 ● MASS PER LENGTH：单位长度质量
Mass	double	必选	[1, 1]	非结构质量数值

表 A. 29 流体虚拟质量属性 Mfluid Property 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	单元编号
ElementID	int	必选	[1, n]	流体虚拟质量属性作用的单元编号

表 A. 29 流体虚拟质量属性 Mfluid Property 定义（续）

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
FreeSurfaceorNot	enum	必选	[1, 1]	是否包括自由面，取值及含义如下： <ul style="list-style-type: none"> ● ON：包括自由面 ● OFF：不包括自由面
LocalCsysID	int	可选	[0, 1]	局部坐标系的编号，如不指定局部坐标系，则默认为全局坐标系
Depth	double	必选	[1, 1]	液面高度
DensityofFluid	double	必选	[1, 1]	流体密度

A. 5 载荷

A. 5.1 节点集中力

节点集中力 ConcentratedForce 见表 A. 30。

表 A. 30 节点集中力 ConcentratedForce 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	节点集中力的编号
NodeID	int	必选	[1, n]	节点的编号
LocalCsysID	int	可选	[0, 1]	局部坐标系的编号，如不指定局部坐标系，则默认为全局坐标系
Force	Vector3D	必选	[1, 1]	集中力在指定坐标系中的 X、Y、Z 方向矢量分量

A. 5.2 节点集中力矩

节点集中力矩 ConcentratedMoment 见表 A. 31。

表 A. 31 节点集中力 ConcentratedMoment 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	节点集中力矩的编号
NodeID	int	必选	[1, n]	节点的编号
LocalCsysID	int	可选	[0, 1]	局部坐标系的编号，如不指定局部坐标系，则默认为全局坐标系
Moment	Vector3D	必选	[1, 1]	集中力矩在指定坐标系中的 X、Y、Z 方向矢量分量

A. 5.3 分布载荷

本文件中的分布载荷包括以下几种：

- 作用在物体体积内的分布载荷；
- 作用在物体表面上的分布载荷；
- 作用在物体边上的分布载荷。

作用在物体体积内的分布载荷 BodyForce 见表 A. 32。

表 A. 32 作用在物体体积内的分布载荷 BodyForce 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	重力载荷的编号
LocalCsysID	int	可选	[0, 1]	局部坐标系的编号，如不指定局部坐标系，则默认为全局坐标系
BodyForce	Vector3D	必选	[1, 1]	单位体积内的力 X、Y、Z 分量，对于重力和惯性力，为重力和惯性加速度 X、Y、Z 分量
ElementID	int	必选	[1, n]	体积力作用单元的编号，可以为任意有体积的单元

作用在物体表面上的分布压力 Pressure 见表 A. 33。

表 A. 33 作用在物体表面上的分布压载荷 Pressure 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	分布载荷的编号
Pressure	double	必选	[1, 1]	压力值
ObjectID	string	必选	[1, n]	三角形或四边形二维单元的编号或三维单元表面的编号

作用在物体边上的分布载荷 LineLoad 见表 A. 34。

表 A. 34 作用在物体边上的分布载荷 LineLoad 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	线载荷的编号
Force	Vector3D	必选	[1, 1]	X、Y、Z 方向线载荷值
EdgeID	int	必选	[1, n]	单元边的编号

A. 6 约束

A. 6.1 运动耦合约束

运动耦合约束 KinematicCoupling 见表 A. 35。

表 A. 35 运动耦合约束 KinematicCoupling 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	运动耦合约束的编号
ReferenceNode	int	必选	[1, 1]	参考点编号
Surface	string	必选	[1, 1]	关联区域名称
FirstFreedomConstant	enum	可选	[0, 6]	起始约束自由度，为 1-6 之间的整数。如该值为空，则

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
				所有自由度均约束
LastFreedomConstant	enum	可选	[0, 6]	终止约束自由度, 为 1-6 之间的整数。如该值为空, 则仅约束起始自由度
InfluenceRadius	double	可选	[0, 1]	相对于参考点的影响半径, 如此值忽略, 则默认为全部 surface 覆盖区域
Orientation	double	可选	[0, 1]	定义约束自由度的局部坐标系

A. 6.2 分布耦合约束

分布耦合约束 DistributeCoupling 见表 A. 36。

表 A. 36 分布耦合约束 DistributeCoupling 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	分布耦合约束的编号
ReferenceNode	int	必选	[1, 1]	参考点编号
Surface	string	必选	[1, 1]	关联区域名称
FirstFreedomConstant	enum	可选	[0, 6]	起始约束自由度, 为 1-6 之间的整数。如该值为空, 则所有自由度均约束
LastFreedomConstant	enum	可选	[0, 6]	终止约束自由度, 为 1-6 之间的整数。如该值为空, 则仅约束起始自由度
WeightMethod	enum	必选	[1, 1]	加权方法, 取值及含义如下: <ul style="list-style-type: none"> ● UNIFORM: 一致 ● LINEAR: 线性 ● QUADRATIC: 二次 ● CUBIC: 立方
InfluenceRadius	double	可选	[0, 1]	相对于参考点的影响半径, 如此值忽略, 则默认为全部 surface 覆盖区域
Orientation	double	可选	[0, 1]	定义约束自由度的局部坐标系

A. 6.3 位移转角约束

位移转角约束 DisplacementAngleConstraint 见表 A. 37。

表 A. 37 位移转角约束 DisplacementAngleConstraint 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	位移转角约束的编号
Displacement	Vector3D	可选	[0, 1]	位移
Angle	Vector3D	可选	[0, 1]	绕 X、Y、Z 轴转角
NodeID	int	必选	[1, n]	约束位移/转角的节点编号

A. 6.4 速度/角速度约束

速度/角速度约束 VelocityConstraint 见表 A. 38。

表 A. 38 速度/角速度约束 VelocityConstraint 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	速度/角速度约束的编号
LinearVelocity	Vector3D	可选	[0, 1]	速度
AngularVelocity	Vector3D	可选	[0, 1]	绕 X、Y、Z 轴角速度
NodeID	int	必选	[1, n]	约束速度/角速度的节点编号

A. 6. 5 加速度/角加速度约束

加速度/角加速度约束 AccelerationConstraint 见表 A. 39。

表 A. 39 加速度/角加速度约束 AccelerationConstraint 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	加速度/角加速度约束的编号
LinearAcceleration	Vector3D	可选	[0, 1]	加速度
AngularAcceleration	Vector3D	可选	[0, 1]	绕 X、Y、Z 轴角加速度
NodeID	int	必选	[1, n]	约束加速度/角加速度的节点编号

A. 7 求解参数

A. 7. 1 静力分析求解参数

静力分析求解参数 StaticAnalysisParameters 见表 A. 40。

表 A. 40 静力分析求解参数 StaticAnalysisParameters 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
StepID	int	必选	[1, 1]	分析任务编号
TimePeriod	double	必选	[1, 1]	时间总长
TimeIncrementationMethod	enum	可选	[0, 1]	时间增量类型，取值及含义如下： <ul style="list-style-type: none"> ● Auto: 自动 ● Fixed: 指定
InitialIncrementation	double	可选	[0, 1]	初始步长，仅当 TimeIncrementationMethod=Auto 时
MinIncrementation	double	可选	[0, 1]	最小步长，仅当 TimeIncrementationMethod=Auto 时
MaxIncrementation	double	可选	[0, 1]	最大步长，仅当 TimeIncrementationMethod=Auto 时
MaxNumberOfIncrementation	int	可选	[0, 1]	最大增量步数
IncrementationSize	double	可选	[0, 1]	指定步长，仅当 TimeIncrementationMethod=Fixed 时

A. 7. 2 模态分析求解参数

模态分析求解参数 ModalAnalysisParameters 见表 A. 41。

表 A. 41 模态分析求解参数 ModalAnalysisParameters 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
StepID	int	必选	[1, 1]	分析任务编号

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
NumberOfEigen	int	必选	[1, 1]	频率个数
MaxEigen	double	必选	[1, 1]	最大频率
MinEigen	double	必选	[1, 1]	最小频率

A. 7.3 振动频响分析求解参数

振动频响分析求解参数 VibrationFrequencyResponseAnalysisParameters 见表 A. 42。

表 A. 42 振动频响分析求解参数 VibrationFrequencyResponseAnalysisParameters 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
StepID	int	必选	[1, 1]	分析任务编号
Scale	enum	必选	[1, 1]	计算定义扫频间隔，取值及含义如下： <ul style="list-style-type: none">● Logarithmic：对数间隔● Linear：线性间隔
LowerFrequency	double	必选	[1, 1]	起始频率值
UpperFrequency	double	必选	[1, 1]	终止频率值
NumberOfPoints	int	必选	[1, 1]	计算的频率数
Bias	int	必选	[1, 1]	设置偏置参数，设置不同的偏置参数值可以调整频率点向扫频区间两端集中或向区间中部集中

附录 B
(规范性)
求解结果数据要求

B.1 位移结果

位移结果 DisplacementResult 见表 B.1。

表 B.1 位移结果 DisplacementResult 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
LinearDisplacement	Vector3D	可选	[0, 1]	节点 X、Y、Z 方向的线位移
AngularDisplacement	Vector3D	可选	[0, 1]	节点关于 X、Y、Z 轴方向角位移

B.2 速度结果

速度结果 VelocityResult 见表 B.2。

表 B.2 速度结果 VelocityResult 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
LinearVelocity	Vector3D	可选	[0, 1]	节点 X、Y、Z 方向速度
AngularVelocity	Vector3D	可选	[0, 1]	节点关于 X、Y、Z 轴方向角速度

B.3 加速度结果

加速度结果 AccelerationResult 见表 B.3。

表 B.3 加速度结果 AccelerationResult 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
LinearAcceleration	Vector3D	可选	[0, 1]	节点 X、Y、Z 方向加速度
AngularAcceleration	Vector3D	可选	[0, 1]	节点关于 X、Y、Z 轴方向角加速度

B.4 频率结果

频率结果 FrequencyResult 见表 B.4。

表 B.4 频率结果 FrequencyResult 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
Frequency	double	可选	[0, n]	频率，在频域分析中输出

B.5 应力结果

应力结果 StressResult 见表 B.5。

表 B.5 应力结果 StressResult 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
StressInX	double	可选	[0, 1]	单元、节点的在指定坐标系下 X 轴方向应力分量 σ_{11}
StressInY	double	可选	[0, 1]	单元、节点的在指定坐标系下 Y 轴方向应力分量 σ_{22}
StressInZ	double	可选	[0, 1]	单元、节点的在指定坐标系下 Z 轴方向应力分量 σ_{33}
StressInXY	double	可选	[0, 1]	单元、节点的在指定坐标系下 XY 方向剪应力分量 σ_{12}
StressInXZ	double	可选	[0, 1]	单元、节点的在指定坐标系下 XZ 方向剪应力分量 σ_{13}
StressInYZ	double	可选	[0, 1]	单元、节点的在指定坐标系下 YZ 方向剪应力分量 σ_{23}
MisesEquivalentStress	double	可选	[0, 1]	Mises 应力 σ_e
AllPrincipalStress	double	可选	[0, 1]	所有主应力分量 σ_p
MaxPrincipalStress	double	可选	[0, 1]	最大主应力 σ_1
IntermediatePrincipalStress	double	可选	[0, 1]	中间主应力 σ_2
MinPrincipalStress	double	可选	[0, 1]	最小主应力 σ_3

B.6 应变结果

应变结果 StrainResult 见表 B.6。

表 B.6 应变结果 StrainResult 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
StrainInX	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 X 轴方向应变分量 ϵ_{11}
StrainInY	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 Y 轴方向应变分量 ϵ_{22}
StrainInZ	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 Z 轴方向应变分量 ϵ_{33}
StrainInXY	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 XY 方向剪应变分量 ϵ_{12}
StrainInXZ	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 XZ 方向剪应变分量 ϵ_{13}
StrainInYZ	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 YZ 方向剪应变分量 ϵ_{23}
AllPrincipalStrain	double	可选	[0, 1]	所有主应变分量 ϵ_p
MaxPrincipalStrain	double	可选	[0, 1]	最大主应变 ϵ_1
IntermediatePrincipalStrain	double	可选	[0, 1]	中间主应变 ϵ_2
MinPrincipalStrain	double	可选	[0, 1]	最小主应变 ϵ_3
AllElasticStrainComponents	double	可选	[0, 1]	所有弹性应变分量
ElasticStrainInX	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 X 轴方向弹性应变分量
ElasticStrainInY	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 Y 轴方向弹性应变分量
ElasticStrainInZ	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 Z 轴方向弹性应变分量
ElasticStrainInXY	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 XY 方向弹性剪应变分量

表 B.6 应变结果 StrainResult 定义 (续)

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ElasticStrainInXZ	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 XZ 方向弹性剪应变分量
ElasticStrainInYZ	double	可选	[0, 1]	单元、节点在指定坐标系下 YZ 方向弹性剪应变分量
AllPrincipalElasticStrains	double	可选	[0, 1]	所有弹性主应变分量
MaxPrincipalElasticStrain	double	可选	[0, 1]	最大弹性主应变
IntermediatePrincipalElasticStrain	double	可选	[0, 1]	中间弹性主应变
MinPrincipalElasticStrain	double	可选	[0, 1]	最小弹性主应变

B.7 截面作用力结果

截面作用力结果 SectionForceResult 见表 B.7。

表 B.7 截面作用力结果 SectionForceResult 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
SectionForcePerunitWidthOfComponent	double	可选	[0, 6]	截面集中力, 对于常规壳单元 n=1, 2, 3, 4, 5; 对于连续壳单元 n=1, 2, 3, 4, 5, 6; 对于梁单元 n=1, 2, 3
SectionMoment	Vector3D	可选	[0, 3]	关于 X、Y、Z 轴截面力矩

B.8 反作用力结果

反作用力结果 ReactionForceResult 见表 B.8。

表 B.8 反作用力结果 ReactionForceResult 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ReactionForce	Vector3D	可选	[0, 1]	反作用力
ReactionMoment	Vector3D	可选	[0, 1]	反作用力矩

附录 C
(规范性)
规范校核数据要求

C.1 输入数据

C.1.1 规范信息

规范信息 RuleInformation 见表 C.1。

表 C.1 规范信息 RuleInformation 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
RuleName	string	必选	[1, 1]	船舶入级规范名称
RuleVersion	string	必选	[1, 1]	规范版本号，4 位年份+1 位规范修改版本，如“20241”表示 2024 年第一版

C.1.2 船舶主要特性

船舶主要特性 PrincipalParticulars 见表 C.2。

表 C.2 船舶主要特性 PrincipalParticulars 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ShipType	enum	必选	[1, 1]	船舶类型，取值见表 C.3
LengthOverall	double	必选	[1, 1]	总船长 L_{OA}
Lengthbetweenperpendiculars	double	必选	[1, 1]	垂线间长 L_{PP}
RuleLength	double	必选	[1, 1]	规范船长 L
DeltaLength	double	必选	[1, 1]	为“规范坐标系起点 X 坐标” - “模型原点 X 坐标”所得数值 ΔL
MoldedBreadth	double	必选	[1, 1]	型宽 B
MoldedDepth	double	必选	[1, 1]	型深 D
DesignDraught	double	必选	[1, 1]	设计吃水 T
ScantlingDraught	double	必选	[1, 1]	结构吃水 T_{sc}
NormalBallastDraught	double	必选	[1, 1]	正常压载吃水 T_{BAL}
HeavyBallastDraught	double	可选	[0, 1]	重压载吃水 T_{BAL-H}
DesignDraughtDisplacement	double	可选	[0, 1]	在设计吃水处型排水量 Δ_T
DisplacementTsc	double	可选	[0, 1]	在结构吃水处型排水量 Δ
BlockCoefficient	double	必选	[1, 1]	方形系数 C_B
DesignSpeed	double	必选	[1, 1]	设计航速 V

船舶类型取值见表 C.3。

表 C.3 船舶类型

序号	船舶类型	描述
1	Oil Tanker	油船
2	Bulk Carrier	散货船
3	Container Ship	集装箱船
4	FPSO	海上浮式装置
5	Ore Carrier	矿砂船
6	Chemical Tanker	化学品船
7	Gas Carrier	液化气体船
8	General Cargo Ship	杂货船
9	Deck Cargo Ship	装载甲板货船
10	RO-RO Ship	滚装船
11	Passenger Ship	客船
12	RO-RO Passenger Ship	客滚船
13	Ferry	客渡船
14	Tug	拖船
15	Offshore Supply Ship	近海供应船
16	Barge	驳船
17	Floating Crane	起重船
18	Dredger	挖泥船
19	Semi-Submersible Vessel	半潜船
20	Special Purpose Ship	特殊用途船
21	Deck Transport Ship	甲板运输船
22	High Speed Craft	高速船
23	Multi-hull Ship	多体船
24	Others	其他

C.1.3 肋位定义

肋位定义 FrameTable 见表 C.4。

表 C.4 肋位定义 FrameTable 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
StartFrame	int	必选	[1, 1]	起始肋位编号
EndFrame	int	可选	[0, 1]	终止肋位编号
Spacing	double	必选	[1, 1]	起始肋位和终止肋位之间每个肋位的间隔距离

C.1.4 结构定义

结构定义¹StructureDefinition 见表 C.5。

表 C.5 结构定义 StructureDefinition 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	编号
Name	string	必选	[1, 1]	结构名称
ElementIDs	string	必选	[1, 1]	属于结构的单元编号集

C.1.5 舱室定义

舱室定义²CompartmentDefinition 见表 C.6。

表 C.6 舱室定义 CompartmentDefinition 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	编号
Name	string	必选	[1, 1]	舱室名称
Type	string	可选	[0, 1]	舱室类型, 用于腐蚀增量的确定
ElementIDs	string	必选	[1, 1]	舱室单元编号集
CenterOfGravity	Point3D	可选	[0, 1]	舱室重心坐标
Length	double	可选	[0, 1]	货舱长度
Breath	double	可选	[0, 1]	货舱宽度
Volume	double	可选	[0, 1]	货舱体积

C.1.6 单元腐蚀定义

单元腐蚀定义 CorrosionAdditionDefinition 见表 C.7。

表 C.7 单元腐蚀定义 CorrosionAdditionDefinition 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	腐蚀分组编号
CorrosionThickness	double	必选	[1, 1]	腐蚀量 t_c
ElementIDs	string	必选	[1, 1]	腐蚀单元编号集

C.1.7 弯矩剪力定义

弯矩剪力定义 HullGirderLoadDefinition 见表 C.8。

¹ 结构定义是指根据船舶入级规范要求的结构分类, 对船舶结构有限元模型中的单元按照所属结构类型进行定义。

² 舱室定义是指根据船舶入级规范要求的舱室分类, 对船舶结构有限元模型中的单元按照所属舱室类型进行定义。

表 C.8 弯矩剪力定义 HullGirderLoadDefinition 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
XPosition	double	必选	[1, 1]	船体梁纵向位置
HoggingBendingMoment	double	可选	[0, n]	中拱弯矩
SaggingBendingMoment	double	可选	[0, n]	中垂弯矩
MaxStillWaterBendingMoment	double	可选	[0, n]	最大静水弯矩
MinStillWaterBendingMoment	double	可选	[0, n]	最小静水弯矩
NegativeShearForce	double	必选	[1, n]	负剪力
PositiveShearForce	double	必选	[1, n]	正剪力

C.1.8 装载模式

装载模式³LoadPattern 见表 C.9。

表 C.9 装载模式 LoadPattern 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ID	int	必选	[1, 1]	编号
Name	string	必选	[1, 1]	装载模式名称
Draft	double	必选	[1, 1]	装载模式下吃水
RollRadiusOfGyration	double	可选	[0, 1]	横摇回转半径 kr
MetacentricHeight	double	可选	[0, 1]	稳性高 GM
HoldName	string	必选	[1, n]	舱室名称
LoadType	enum	必选	[1, n]	装载类型，取值及含义如下： <ul style="list-style-type: none"> ● Full：满载 ● Partial：部分装载 ● Empty：空载
CargoType	enum	必选	[1, n]	货物类型，取值及含义如下： <ul style="list-style-type: none"> ● Liquid：液货 ● Drybulk：干散货 ● General：件杂货
LoadRatio	double	必选	[1, n]	装载率
LoadWeight	double	必选	[1, n]	货物重量
Density	double	必选	[1, n]	密度 ρ
RestAngle	double	可选	[0, 1]	休止角 ψ ，取值范围 (0, 90)

³ 根据船舶入级规范校核要求，定义船舶的装载模式，以便进行船舶入级规范相关载荷的自动施加。

C.2 输出数据

C.2.1 屈服校核

屈服校核 YieldCheck 见表 C.10。

表 C.10 屈服校核 YieldCheck 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ElementIDs	string	必选	[1, 1]	屈服校核对象单元编号集
PermissibleYield UtilisationFactor	double	必选	[1, 1]	屈服利用因子许用值 λ_{yperm}
YieldUtilisationFactor	double	必选	[1, 1]	屈服利用因子实际值 λ_y

C.2.2 屈曲校核

屈曲校核 BucklingCheck 见表 C.11。

表 C.11 屈曲校核 BucklingCheck 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ElementIDs	string	必选	[1, 1]	屈曲校核对象单元编号集
AllowableBuckling UtilisationFactor	double	必选	[1, 1]	屈曲利用因子许用值 η_{all}
ActualBuckling UtilisationFactor	double	必选	[1, 1]	屈曲利用因子实际值 η_{act}

C.2.3 疲劳校核

疲劳校核 FatigueCheck 见表 C.12。

表 C.12 疲劳校核 FatigueCheck 定义

属性/子元素	类型	可选项	频次	描述
ElementIDs	string	必选	[1, 1]	疲劳校核对象单元编号集
Damage	double	必选	[1, 1]	疲劳累积损伤 D
FatigueLife	double	必选	[1, 1]	疲劳寿命 T_f

参考文献

- [1] GB 3102 (所有部分) 量和单位[ISO 31 (所有部分)]
 - [2] GB/T 5271.1—2000 信息技术 词汇 第一部分：基本术语
 - [3] GB/T 7408—2005 数据元和交换格式 信息交换 日期和时间表示法 (ISO 8601:2000, IDT)
 - [4] GB/T 7727.2—1987 船舶通用术语 总体设计
 - [5] GB/T 7727.3—1987 船舶通用术语 性能
 - [6] GB/T 7727.4—1987 船舶通用术语 船体结构、强度及振动
 - [7] ISO/IEC 9899:2018 信息技术—编程语言 (Information technology -- Programming languages)
-

