

附件 1

中国造船工程学会标准制修订项目立项申请书

项目名称 (中文)	船舶爆炸冲击 CAE 分析结果处理与评价要求		
项目名称 (英文)	Requirements for Post-processing and Evaluation of CAE Analysis Results for Ship Explosion and Shock		
制修订	☒ 制定 ☐ 修订	被修订标准号	
被修订标准名称		编制周期	☒ 12 个月 ☐ 18 个月 ☐ 其他_____
起草单位 (不少于 3 家)	中国船舶科学研究中心、深海技术科学太湖实验室、中船奥蓝托无锡软件技术有限公司		
联系人	徐娜	地址	江苏省无锡市山水东路 222 号
电话	18362366376	邮箱	xuna@cssrc.com.cn
技术与市场发展背景	随着船舶及海洋工程领域数字化设计、数字化分析和数字化验证技术的持续发展,计算机辅助工程(CAE)分析已逐步成为船舶结构设计、性能评估、安全性分析及工程决策的重要技术手段。在船舶爆炸冲击及抗爆性能分析领域,CAE 数值计算能够模拟爆炸载荷作用下船体、结构及设备的瞬态响应,并获得压力、位移、速度、加速度、应力、应变、能量以及损伤失效等多类型分析数据,为船舶抗爆结构设计、方案优化、性能评估和安全性分析提供重要技术支撑。随着 CAE 技术应用范围不断扩大,分析结果的数据规模和复杂程度持续提高,分析结果处理已逐渐成为 CAE 分析流程中不可缺少的重要环节。 船舶爆炸冲击 CAE 分析具有载荷持续时间短、响应变化快、瞬态特征明显、高频响应显著以及非线性程度高等特点。尤其在水下爆炸分析中,还涉及冲击波传播、流固耦合、结构局部响应、塑性变形、损伤失效和能量传递等复杂过程,使得计算结果具有数据量大、时间尺度短、空间分布复杂以及特征参数多等特点。随着 CAE 分析由单一的数值计算逐步向工程设计、性能评价和方案决策延伸,分析结果已不再只是计算软件输出的数据,而是逐渐成为结构设计优化、抗冲击性能评价和工程决策的重要依据。因此,如何对计算结果进行规范化处理、特征量提取、质量检查和定量评价,已成为提高 CAE 分析应用质量的重要技术环节。 目前,船舶爆炸冲击 CAE 分析涉及的软件、计算方法和数据处理工具较多,不同分析单位和技术人员在结果数据提取、测点设置、时间范围选取、峰值识别、异常数据处理、数据平滑与滤波、特征量计算、多工况结果对比以及评价结果表达等方面存在一定差异。同一计算结果在采用不同的数据处理方式时,可能得到不同的特征参数和评价结果,影响分析结论的一致性和可比较性。同时,随着		

	工程项目中 CAE 计算数据规模不断增加，对分析数据的统一组织、规范存储、版本管理和全过程追溯也提出了更高要求。现有相关技术规范主要侧重于计算方法、结构设计或特定应用领域，对于爆炸冲击 CAE 计算完成后的结果处理与工程评价缺少系统、统一的要求。 因此，有必要针对船舶爆炸冲击 CAE 分析建立统一的结果处理与评价要求，规范分析结果的数据基础、处理流程、特征量提取、质量检查、合理性评价、工程评价以及数据存储与过程追溯方法，减少因结果处理方法差异造成的分析偏差，提高分析结果的一致性、可比性、可复核性和可追溯性，进一步提升 CAE 分析结果向工程设计和性能评价转化的应用价值，为船舶爆炸冲击 CAE 分析结果的规范化应用提供统一的技术依据。
标准必要性和可行性	目前主流 CAE 软件普遍具备数据读取、曲线绘制、云图显示、动画展示、结果提取及数据导出等后处理功能，能够满足分析人员对计算结果进行查看和基本处理的需求。然而，不同 CAE 软件在结果数据组织方式、变量定义、数据接口以及后处理功能方面存在差异，软件具备“结果显示和数据导出”功能，并不意味着行业已经形成统一的“结果处理与工程评价规则”。 对于船舶爆炸冲击分析中的压力、位移、速度、加速度、应力、应变等瞬态响应数据，时间范围确定、采样数据处理、峰值识别、异常数据判断、数据平滑与滤波以及特征量提取等处理方式均可能对最终结果产生影响。因此，有必要从行业应用层面建立独立于具体 CAE 软件的结果处理与评价要求，明确分析结果的数据基础、处理原则、质量检查和评价方法，形成跨软件、跨单位的统一技术依据。本标准不针对某一特定 CAE 软件规定具体操作流程，也不重复规定现有软件已经具备的基础后处理功能，而是重点解决不同软件 and 不同分析人员在结果处理与评价过程中缺少统一规则的问题。 船舶爆炸冲击问题具有载荷持续时间短、响应变化快、高频响应明显、非线性程度高以及局部变形和损伤特征显著等特点，水下爆炸还涉及冲击波传播、流固耦合和能量传递等复杂物理过程，其分析结果在数据规模、时间尺度、空间分布和响应特征等方面具有较强的专业性。因此，不能简单采用一般静力分析或常规结构动力学分析中的结果处理方式。对于爆炸冲击响应，需要重点关注响应峰值、特征时间、冲量、冲击谱、能量变化、结构变形、局部损伤及失效特征等结果，并根据不同分析场景建立相应的结果处理和评价要求。将船舶爆炸冲击 CAE 分析结果处理与评价作为标准化对象，能够针对其典型工程问题形成具有专业针对性的技术要求，同时与 CAE 软件开发、数值求解及建模方法等已有技术体系形成合理分工。对于船舶碰撞、搁浅、落物冲击等其他瞬态动力学问题，虽然在数据处理方面具有一定共性，但由于载荷形成机制、响应特征及工程评价重点存在差异，本标准不将其作为主要适用对象，相关通用的数据处理原则可根据实际需要参考采用。 从实施条件看，目前国内船舶企业、科研院所、高校及 CAE 软件研发单位已在船舶爆炸冲击、水下爆炸、结构动态响应、结构毁伤及工程数值分析等领域形成较为丰富的技术积累和应用基础，具

	备开展标准编制、技术验证和工程应用的条件。本标准主要针对 CAE 分析完成后的结果处理、质量检查、结果评价、结果表达以及数据存储与过程追溯进行规范，不规定具体 CAE 软件、求解器、建模方法、计算模型和底层数值算法，因此具有较好的软件独立性、技术兼容性和工程适用性。同时，标准中的数据完整性检查、时间历程处理、异常数据识别、特征量提取、多工况结果对比、数值及物理合理性评价、能量合理性评价及数据存储和过程追溯等内容均具有明确的工程应用基础，可通过典型算例和实际工程数据进行验证和完善，具备形成可执行、可检查、可推广的团体标准的技术可行性。
国内外情况 简要说明	国外在船舶爆炸冲击、水下爆炸及结构抗爆数值分析领域起步较早，经过长期的工程研究和应用，已形成较为完善的爆炸载荷、冲击波传播、流固耦合、结构动态响应、材料动态特性、结构损伤与失效以及数值分析等技术体系。美国、英国、法国、德国等国家长期开展舰船水下爆炸、爆炸冲击环境及结构抗冲击等方面的研究，积累了较为丰富的工程数据和应用经验。国际船级社协会（IACS）以及 ABS、DNV、LR 等船级社针对船舶结构强度、爆炸载荷、动力响应和抗冲击设计等制定了相关规范和技术文件；美国国防领域也形成了水下爆炸、舰船冲击环境及结构抗冲击分析等方面的技术文件。同时，ASME V&V 系列文件以及 ISO 相关标准中关于数值模型验证、计算结果确认、误差及不确定度分析等方面的原则，为 CAE 分析结果的质量评价和可信度分析提供了通用方法基础。 从现有国外标准和技术文件的覆盖范围来看，相关要求主要集中在爆炸载荷确定、结构设计、抗冲击性能分析、数值计算以及模型验证等环节，对于 CAE 计算完成后的结果处理与工程评价尚未形成独立、完整的技术体系。尤其针对测点及结果数据标识、时间历程数据处理、峰值及特征参数提取、异常数据识别、数据平滑与滤波、冲量及冲击谱计算、结构变形与损伤结果评价、数据存储以及全过程追溯等内容，相关要求相对分散。因此，国外已有规范和技术文件能够为本标准提供重要参考，但尚不能完全覆盖船舶爆炸冲击 CAE 分析结果处理与评价的全过程要求。 国内在船舶爆炸冲击、水下爆炸及舰船结构抗冲击领域经过长期研究和工程应用，已形成较好的理论研究、数值计算和工程分析基础。船舶企业、科研院所、高校及 CAE 软件研发单位广泛采用有限元、有限体积、光滑粒子流体动力学（SPH）以及流固耦合等数值方法，开展爆炸载荷、结构瞬态响应、局部毁伤、材料动态特性及结构失效等方面的分析。现有国家标准、行业标准、船舶行业规范及相关技术文件，已从爆炸载荷、船舶结构、动力响应、数值计算及性能评价等方面形成一定的技术基础，为开展船舶爆炸冲击 CAE 分析结果处理与评价标准化工作提供了较好的条件。 然而，现有国内相关标准和技术文件总体上主要关注爆炸载荷、结构设计、数值计算和性能判定等内容，对于 CAE 计算完成后形成的大量时间历程数据、空间场数据、云图数据、能量数据及损伤结果，尚缺少覆盖数据整理、质量检查、数据处理、特征量提取、结果评价、成果表达、数据存储和过程追溯的统一要求。在实际工程

	应用中，不同单位采用的 CAE 软件、求解器及后处理工具存在差异，在数据格式、变量命名、测点定义、时间范围、采样信息、峰值识别、异常数据处理、数据平滑与滤波等方面尚未形成统一的处理原则。对于具有高瞬态和强非线性特征的爆炸冲击问题，不同结果处理方法可能导致特征参数产生差异，从而影响不同分析方案 and 不同计算结果之间的比较与评价。 综合国内外发展情况，现有相关标准和技术文件已经为船舶爆炸冲击 CAE 分析提供了较好的载荷、结构、计算及评价基础，但针对 CAE 分析结果处理与评价这一环节仍存在一定的标准化空间。本标准拟在充分参考国内外相关规范、船级社技术文件及计算力学相关方法的基础上，结合船舶爆炸冲击 CAE 工程应用特点，重点建立统一的分析结果处理与评价要求，规范结果数据组织、质量检查、时间历程处理、特征参数提取、结果合理性评价、工程结果表达、数据存储及过程追溯等内容。 本标准与现有相关标准采取协调、衔接和补充的关系，而非替代已有标准。对于已有标准已经明确的爆炸载荷、结构设计、材料性能、数值计算及相关评价要求，本标准不重复规定，而是在其基础上重点补充 CAE 分析完成后的结果处理与评价环节。通过建立独立于具体 CAE 软件的统一技术要求，为不同软件、不同分析单位及不同分析人员提供统一、可操作、可复核、可比较和可追溯的结果处理依据，进一步完善船舶爆炸冲击 CAE 分析相关标准体系。
标准适用范围 和主要技术内容	本标准拟适用于船舶及海洋工程结构在爆炸冲击载荷作用下开展 CAE 分析后，对计算结果进行规范化处理、质量检查、特征量提取、结果评价、结果表达、数据存储及全过程追溯等相关工作，主要覆盖水下爆炸、水面爆炸等典型爆炸冲击工况。适用对象包括船体结构、典型承载结构及相关设备等，其分析结果可涉及压力、冲量、位移、速度、加速度、应力、应变、塑性变形、能量、损伤及失效等响应量等评价结果。 本标准重点规范 CAE 分析完成后的结果处理与工程评价环节，旨在建立统一、规范、可执行的分析结果处理和评价要求，提高不同分析人员、不同计算工况以及不同 CAE 软件所产生结果的一致性、可比性和可追溯性。本标准不规定具体 CAE 软件，不对具体计算模型和求解过程作统一限定。对于船舶碰撞、搁浅、落物冲击等非爆炸瞬态动力学问题，不作为本标准的主要适用对象，但其中与结果数据组织、处理、评价和追溯相关的通用原则，可根据实际需求参考采用。 本标准主要技术内容包括分析结果数据要求、数据预处理与特征量提取、结果质量检查、结果处理与评价、结果表达、数据存储及过程追溯等内容。首先，对分析结果的数据完整性、数据标识、物理量及单位、时间信息、空间位置信息、计算工况和相关元数据提出基本要求，明确结果数据进入后处理环节前应具备的必要信息，为后续处理和评价提供统一的数据基础。 其次，规范分析结果的数据预处理及特征量提取方法，包括数据筛选、有效数据识别、异常数据识别、时间窗口确定、采样数据

	处理、峰值及极值提取、冲量计算、必要的的数据平滑与滤波、多测点数据处理以及多工况结果对比等。针对爆炸冲击分析中典型的瞬态、高频和快速变化响应特征，明确不同类型结果数据的处理原则，避免因数据处理方式不同造成评价结果的不一致。 针对位移、速度、加速度、应力、应变、压力、能量、损伤和失效等典型分析结果，本标准进一步提出相应的结果处理与工程评价要求。根据不同物理量的特点，规定特征量提取、结果表征、评价指标及评价基准的基本要求，并对冲击谱、峰值响应、响应持续时间、能量变化以及结构变形、损伤和失效等结果的评价方式进行规范，使 CAE 计算结果能够由原始数值进一步转化为具有明确工程含义的评价信息。 同时，本标准建立分析结果质量检查的基本要求，从数据完整性、数据有效性、数值合理性等方面对结果进行检查。质量检查不仅关注最终评价结果，还应关注影响评价结论的关键原始数据、处理过程和计算参数。当发现数据缺失、异常值、单位不一致、时间信息不完整或结果存在明显异常时，应进行必要的识别、说明和处理，并形成相应记录，保证最终评价结果具有明确的数据依据。 在结果表达方面，本标准规定分析结果应根据评价目的选择适宜的表达方式，对关键特征量、典型响应过程、关键位置及主要评价结论进行清晰表达。结果表达应能够反映计算工况、分析对象、评价指标、结果数值及必要的评价基准之间的对应关系，避免仅提供孤立的曲线、云图或数据表，而缺少必要的工程解释和评价信息。 在数据存储与过程追溯方面，本标准提出分析结果数据及相关处理信息的组织和保存要求，可根据实际应用采用 HDF5、VTK、VTU、CSV、XLSX、JSON 等适宜的数据格式，不限定单一的数据文件格式。应保证原始结果、处理数据、特征量及评价结果之间具有明确的关联关系，并保留必要的工况信息、处理参数、计算时间及版本信息。 通过建立“模型—工况—计算—原始结果—数据处理—特征量—评价结果—分析报告”的关联关系，实现 CAE 分析结果从原始数据产生、处理、提取、评价到最终报告形成的全过程追溯。对于影响最终评价结论的关键数据和处理方法，应能够追溯其来源、处理过程及评价依据，从而提高分析结果的可复核性和工程应用可靠性。 本标准原则上不限定具体 CAE 软件、计算平台及数据处理工具，通过规定结果处理和评价过程中的通用技术要求，使不同 CAE 软件和分析平台产生的计算结果能够按照统一规则进行组织、处理和评价，为船舶爆炸冲击 CAE 分析结果的规范化应用、跨平台数据交换以及工程评价提供统一的技术依据。
工作进度安排	第一阶段（第 1-2 个月）：草案编制、审核与立项 组建标准编制工作小组，开展国内外相关标准、技术资料及行业应用情况调研，明确标准适用范围、总体框架和主要技术内容，完成标准草案及立项申请材料编制；组织开展内部讨论、审核与修改完善，配合相关审核部门开展合规性、必要性和可行性审核，根据审核意见进一步优化完善草案及相关申报材料，提交立项申请，推进立项审批流程并获取立项批复。

	第二阶段（第 3-10 个月）：方案细化、核心执行与初步核验 依据立项批复进一步细化标准编制方案，明确任务分工和工作计划，落实相关编制资源；围绕分析结果数据要求、数据预处理与特征量提取、结果质量检查、结果处理与评价、结果表达、数据存储及过程追溯等主要技术内容开展标准正文编制和专题研讨，分阶段推进标准文本形成；组织开展工作组内部审核和多轮修改，形成征求意见稿及编制说明，开展意见征求并汇总、分析和处理反馈意见，修改形成送审稿；组织专家技术审查，根据审查意见进一步完善标准文本及相关材料，完成标准成果初步定稿，并同步做好后续报批及发布准备工作。 第三阶段第 11-12 个月：成果终审、发布与总结归档 根据技术审查意见完成标准文本、编制说明及相关报批材料的最终修改和完善，提交完整成果开展最终审核并履行报批程序；制定标准发布及实施方案，完成发布筹备工作并推动标准正式发布；做好标准发布后的意见反馈和相关问题处理，全面复盘标准编制工作，分析总结实施过程中的经验与不足，整理标准文本、调研资料、意见反馈、审查材料及相关成果，完成项目资料归档。
标准预期实施应用方案	1. 开展标准宣贯和培训工作。 标准发布后，面向船舶及海洋工程领域 CAE 分析、结构设计、性能评估及相关技术人员开展标准宣贯和培训，重点解读标准适用范围、分析结果数据要求、结果处理与评价方法、数据存储及过程追溯等主要技术内容，结合典型应用场景推动相关单位和技术人员准确理解和规范应用标准。 2. 开展试点场景筛选与应用。 选择具有代表性的船舶爆炸冲击 CAE 分析场景开展标准试点应用，重点验证分析结果数据组织、特征量提取、结果质量检查、结果处理与评价以及全过程追溯等要求的适用性和可操作性。通过收集标准实施过程中发现的问题、应用反馈及改进建议，及时分析并优化相关技术要求，形成可复制、可推广的标准应用经验。 3. 开展全面推广与持续改进。 结合试点应用成果，在相关单位、项目和业务场景中逐步推广标准应用，推动形成统一的 CAE 分析结果处理与评价工作模式；建立标准实施应用的常态化监督和反馈机制，持续收集标准执行过程中存在的问题和应用需求，定期开展标准适用性评估、实施效果分析和内容优化，必要时根据行业技术发展和实际应用需求进行修订完善，形成“标准发布—宣贯培训—试点应用—推广实施—反馈改进—持续优化”的标准化闭环。
经费保障	能提供足够的经费保障
技术基础及研究团队	1. 中国船舶科学研究中心 中心是国内船舶与海洋工程领域重要的综合性科研机构，长期从事船舶水动力学、结构力学、振动噪声及相关专业的基础研究、应用研究和工程技术研发，在船舶性能分析、结构安全、结构动力响应及综合性能评价等方面具有深厚的技术积累。中心长期面向船

船及海洋工程领域重大工程需求开展科研工作，在复杂载荷作用下船舶结构响应分析、动力学问题研究以及工程计算方法等方面形成了较为完善的专业技术基础。在船舶 CAE 技术及工程应用方面，中心持续开展专业 CAE 软件、工程分析方法及相关数据处理技术研究，开发了船舶水动力性能集成设计系统（SHIDS）、波浪中船舶水弹性力学工程应用集成软件等具有自主知识产权的专业软件，在数值分析、工程数据处理及分析评价方面积累了丰富的丰富经验。在船舶结构动力学、爆炸冲击及相关 CAE 分析方面，中心具有较好的理论研究和工程应用基础，可为本标准总体框架、分析结果处理方法、工程评价要求及标准适用性研究提供技术支撑。

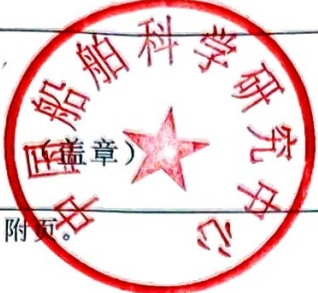
2. 深海技术科学太湖实验室

太湖实验室是由中国船舶集团、江苏省和无锡市三方共建的江苏省实验室，长期开展船舶结构 CAE 软件、数值仿真及前后处理技术研究，形成了涵盖有限元分析、环境载荷、结构安全、振动噪声、爆炸冲击及流固声耦合等方向的专业技术体系，在船舶结构动力学分析和 CAE 工程应用方面具有较好的技术积累。实验室自主研发的船舶结构 CAE 软件 SAM 已形成集前处理、有限元求解、后处理、环境载荷分析、结构安全评估及爆炸冲击分析等功能于一体的综合技术平台，可开展水下爆炸载荷、冲击环境、设备抗冲击及结构响应等相关分析。依托相关研究和软件应用，实验室在爆炸冲击 CAE 分析结果的数据组织、时间历程处理、关键响应参数提取、峰值及冲量计算、冲击谱分析以及设备抗冲击评价等方面具有较好的技术基础，可为本标准的数据组织、特征量提取、结果质量检查、结果处理与评价等核心技术内容提供重要支撑。

3. 中船奥蓝托无锡软件技术有限公司

中船奥蓝托长期专注于高端装备工业软件研发与应用，在 CAE 仿真分析、数值计算、工程数据处理及结果表达等方面具有较好的技术基础。公司围绕船舶及相关装备研发需求，持续开展有限元分析、结构动力学、冲击响应、工程仿真及数据处理等技术研究，具备从计算结果读取、数据解析、数据筛选、特征量提取到结果分析、数据管理和结果表达的软件开发能力。针对船舶冲击动力学 CAE 分析后处理需求，公司具备面向仿真结果开展高效读取、批量处理、数据筛选和特征量计算的技术能力，在 CAE 结果数据接口、数据组织、批量处理及工程化应用方面积累了较好的实践经验，可为本标准的数据预处理、结果处理与表达、数据存储及过程追溯等技术要求提供软件工程化支撑。

综合来看，参与本标准编制的三家单位在船舶工程技术、结构动力学、爆炸冲击 CAE 分析、专业软件研发、工程数据处理及结果评价等方面具有较强的技术互补性，形成了“专业研究—CAE 分析—结果处理—工程评价—软件实现”的技术基础。三家单位具备开展标准技术研究、标准文本编制、技术审查及应用推广的良好条件，能够覆盖本标准从技术研究、方法制定到工程应用和软件实现的主要环节，为本标准的制定、发布及后续实施提供可靠的技术基础和组织保障。

申请立项单位 意见	 2026 年 8 月 21 日
--------------	--

注：如本表空间不够，可另附页。