



T/CECS XX-202X

中国工程建设协会标准
Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization (CECS)

核电站核岛安装工程虚拟建造
应用标准

Standard for Virtual Construction Application in Nuclear Power
Plant Nuclear Island Installation Project

(征求意见稿)

2024年10月

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2023 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2023〕第 10 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分 7 章和 5 个附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、模拟输入、仿真模拟、成果输出、多维虚拟建造等。

本标准由中国工程建设标准化协会建筑信息模型专业委员会负责管理，由核工业工程研究设计有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给核工业工程研究设计有限公司（地址：北京市顺义区顺康路 58 号，邮编：101300）

主 编 单 位：中国核工业二三建设有限公司

核工业工程研究设计有限公司

参 编 单 位：中核建创新科技有限公司

中国核电工程有限公司

中国核电工程有限公司郑州分公司

中广核研究院有限公司

深圳中广核工程设计有限公司

中核能源科技有限公司

福建宁德核电有限公司

大工星派仿真科技（北京）有限公司

南华大学

北京工业大学

主要起草人员：

主要审查人员：

目 次

1 总 则	(1)
2 术 语	(2)
3 基本规定	(4)
4 模拟输入	(5)
4.1 一般规定	(5)
4.2 模型创建	(6)
4.3 建造方案制定	(7)
5 仿真模拟	(8)
5.1 一般规定	(8)
5.2 模拟验证	(8)
5.3 脚本编制	(8)
5.4 模拟视频制作	(9)
6 成果输出	(11)
6.1 一般规定	(11)
6.2 视频剪辑	(11)
6.3 成果	(12)
7 多维虚拟建造	(13)
附录 A 虚拟建造模拟审核记录单	(14)
附录 B 模型单元几何表达精度	(15)
附录 C 模型单元信息深度	(25)
附录 D 虚拟建造模型单元几何表达精度	(26)
附录 E 模拟脚本示例	(28)
用词说明	(34)
引用标准名录	(35)
附：条文说明	(36)

Contents

1 General provisions	(1)
2 Terms	(2)
3 Basic requirements	(4)
4 Simulation input	(5)
4.1 General requirements	(5)
4.2 Create model	(6)
4.3 Develop construction plans	(7)
5 Simulation	(8)
5.1 General requirements	(8)
5.2 Simulation verification	(8)
5.3 Write scripts	(8)
5.4 Create simulation videos	(9)
6 export results	(11)
6.1 General requirements	(11)
6.2 Clip videos	(11)
6.3 Results	(12)
7 Multidimensional virtual construction	(13)
Appendix A Virtual construction simulation audit record form	(14)
Appendix B Level of geometric detail of model units	(15)
Appendix C Level of information detail of model units	(25)
Appendix D Level of geometric detail of virtual construction model units	(26)
Appendix E Script of simulate example	(28)
Explanation of wording	(34)
List of standards	(35)
Addition: Explanation of provision	(36)

1 总 则

1.0.1 本标准适用于核电建设项目建筑信息模型的施工应用阶段,主要针对核岛厂房范围内机电安装施工过程。旨在形成标准化虚拟建造流程和方法,提高仿真模拟效率和质量。

1.0.2 本标准规定了核电站核岛安装工程虚拟建造的工作流程、模拟输入、仿真模拟、成果输出和多维虚拟建造的相关要求。

1.0.3 虚拟建造的应用除应符合本标准外,尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 虚拟建造 virtual construction

是指利用数字技术和建筑信息模型（BIM）来模拟、可视化和优化建筑项目的施工过程。它是 BIM 的一种应用，通过建立虚拟的建筑模型和模拟施工过程，可以在实际施工之前进行预先规划、协调和优化。

2.0.2 工程对象 engineering object

构成建筑工程的建筑物、系统、设施、设备、零件等物理实体的集合。

2.0.3 工程对象模型 model of engineering object

将构成建筑工程的建筑物、系统、设施、设备、零件等物理实体建成的三维模型。

2.0.4 辅助模型 auxiliary model

除构成建筑工程的建筑物、系统、设施、设备、零件等物理实体的三维模型外，在虚拟建造过程中需要体现的施工所需的施工环境、工机具、机械设备、工程车辆等三维模型。

2.0.5 模型单元 model unit

建筑信息模型中承载建筑信息的实体及其相关属性的集合，是工程对象的数字化表达。

2.0.6 几何信息 geometrical information

建筑信息模型构件内部几何形态和外部空间位置的数据集合。

2.0.7 非几何信息 non-geometrical information

除建筑信息模型几何数据以外的所有数据的集合。

2.0.8 模型精细度 level of model definition (LOD)

建筑信息模型中所容纳的模型单元丰富程度的衡量指标。

2.0.9 几何表达精度 level of geometric detail

模型单元在视觉呈现时，几何表达真实性和精确性的衡量指标。

2.0.10 信息深度 level of information detail

模型单元承载属性信息详细程度的衡量指标。

2.0.11 模拟脚本 simulation script

类似于影视作品剧本,为了获得最佳的画面形式以及最快速的完成视频的一种重要手段,是模拟视频制作的主要依据,简称脚本。

2.0.12 成果输出 export results

指经过视频片段合并、剪辑、配乐、配音,以及添加标识、字幕、片头、片尾等后输出成果的过程。

2.0.13 多维虚拟建造 multidimensional virtual construction

在三维仿真模拟的基础上加入了进度、人员、材料、机械等施工资源信息维度的虚拟建造过程。

3 基本规定

3.0.1 施工难度大、风险高或采用新技术、新工艺、新设备、新材料的复杂施工过程，宜进行虚拟建造。

3.0.2 核电站核岛安装工程中的施工技术方案、施工逻辑方案、施工进度方案宜进行虚拟建造。

3.0.3 虚拟建造过程应包括模拟输入、仿真模拟、成果输出三方面内容。

3.0.4 应按照以模拟输入为依据，仿真模拟为主要实施过程，成果输出为结果的流程开展核电站核岛安装工程的虚拟建造（图 3.0.4）。

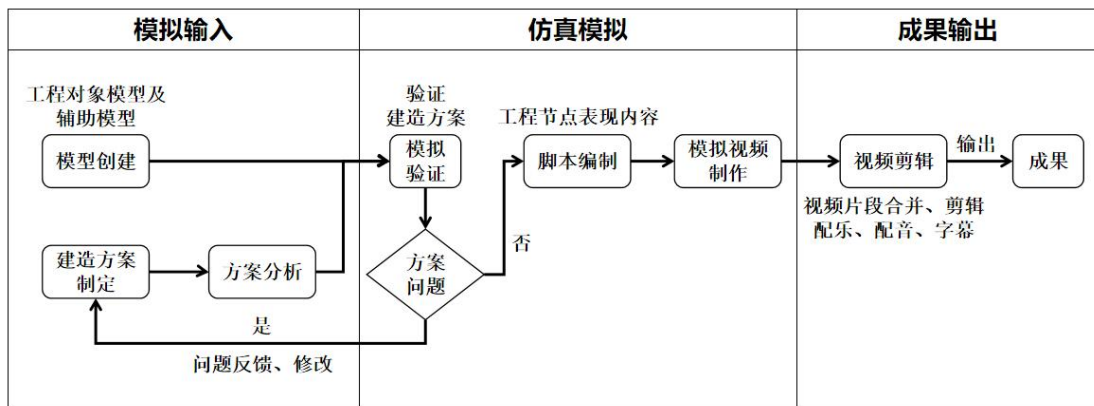


图 3.0.4 虚拟建造流程

3.0.5 虚拟建造的模型宜基于模型单元几何信息和非几何信息进行模型精细度划分。

3.0.6 虚拟建造前期策划时宜把主要构件按照专业类型进行细分，每类构件应按照几何表达精度 G1-G4 分别进行界定，见本标准第 4 章。

3.0.7 虚拟建造的成果应包括虚拟建造视频、效果图片、可视化文档、仿真程序等多种形式。

3.0.8 虚拟建造过程及形成的成果应进行审核，并应形成审核记录单，审核记录单模板详见附录 A。

4 模拟输入

4.1 一般规定



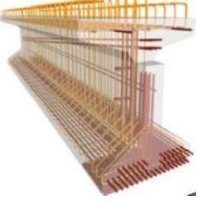
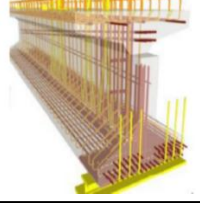
4.1.1 模拟输入应包含模型创建、建造方案制定两部分内容。

4.1.2 核电站核岛安装工程模型单元的几何表达精度应符合下列规定：

- 1 应选取适宜的几何表达精度呈现模型单元的几何信息；
- 2 在满足虚拟建造应用需求的前提下，应选取较低等级的几何表达精度；
- 3 不同的模型单元可选取不同的几何表达精度。

4.1.3 核电站核岛安装工程根据模型单元几何信息的不同，几何表达精度的等级划分应符合表 4.1.3 的规定。

表 4.1.3 几何表达精度的等级划分

等级	代号	几何表达精度要求	示例	备注
1 级几何表达精度	G1	满足二维化或者符号化识别需求的几何表达精度		具备基本外轮廓形状，粗略的尺寸和形状
2 级几何表达精度	G2	满足空间占位、主要颜色等粗略识别需求的几何表达精度		满足空间占位近似几何尺寸，形状和方向，能够反映物体本身大致的几何特性；主要外观尺寸不得变更，细部尺寸可调整
3 级几何表达精度	G3	满足建造安装流程、采购等精细识别需求的几何表达精度		物体主要部分必须在几何上表述准确，能够反映物体的基本外形，保证施工模拟和碰撞检查中不产生错误判断
4 级几何表达精度	G4	满足高精度渲染展示、产品管理、制造加工准备等高精度识别需求的几何表达精度		详细的模型实体，最终确定模型尺寸

4.1.4 核电站核岛安装工程，按照建筑、结构、工艺、给排水、暖通、电气、过程仪表、机械/设备分为 8 类，每类模型单元具体几何表达精度要求应符合表 B-1 至表 B-8 的规定。

4.1.5 核电站核岛安装工程模型单元的信息深度应符合下列规定：

- 1 应选取适宜的信息深度体现模型单元的属性信息；
- 2 属性宜包括中文字段名称、编码、数据类型、数据格式、计量单位、值域、约束条件；
- 3 属性值应符合下列规定：
 - 1) 应符合唯一性原则，即属性值和属性应一一对应，在单个应用场景中属性值应唯一；
 - 2) 应符合一致性原则，即同一类型的属性、格式和精细度应一致。

4.1.6 核电站核岛安装工程根据模型单元的非几何信息，信息深度等级的划分应符合表 4.1.6 的规定，每个信息深度等级对应的属性信息要求应符合表 C 的规定。

表 4.1.6 信息深度等级的划分

等级	代号	等级要求
1 级信息深度	N1	宜包含模型单元的身份描述，项目信息、组织角色等信息
2 级信息深度	N2	宜包含和补充 N1 等级信息，增加实体系统关系、组成及材质，性能或属性等信息
3 级信息深度	N3	宜包含和补充 N2 等级信息，增加生产信息、安装信息
4 级信息深度	N4	宜包含和补充 N3 等级信息，增加资产信息和维护信息

4.1.7 用于虚拟建造的模型单元，其几何表达精度不宜低于表 D 的规定，信息深度宜达到 N1 等级。

4.2 模型创建

4.2.1 模型创建应综合考虑三维模型使用的范围及目的，模型精细度应满足虚拟建造的需求。

4.2.2 工程对象模型宜采用上游设计模型，上游设计无法共享获取时考虑自行创建。

4.2.3 辅助模型宜通过模拟软件的素材库、互联网等资源、自行创建三种方式获取。

4.2.4 不同建模软件创建的模型或同一建模软件拆分成的不同部分模型,应确保坐标原点一致。

4.2.5 仿真模拟开始前,应结合建造方案将不同建模软件创建的模型或同一建模软件拆分成的不同部分模型综合成一个整体。

4.2.6 模型综合不宜在建模软件中进行,宜使用专用的模型综合软件。

4.2.7 模型综合软件应能够打开、合并各建模软件创建的不同格式模型,应能对模型进行名称查看、移动、旋转、测量、编组、配色等操作。

4.2.8 模型综合软件应能将模型导出成通用格式,该格式应能被模拟视频制作软件识别。

4.3 建造方案制定

4.3.1 建造方案应由施工建造单位制定。

4.3.2 建造方案宜参照创建的三维模型进行制定。

4.3.3 建造方案应图文并茂的表达出施工建造过程。

4.3.4 建造方案应包含仿真模拟所要展示的工程照片、图片、进度计划图表、资源配置图表等。

4.3.5 仿真模拟前,仿真模拟人员必须细读并分析建造方案,应理解建造方案中的施工建造过程。

4.3.6 方案分析宜结合已创建的三维模型开展。

5 仿真模拟

5.1 一般规定

- 5.1.1 仿真模拟应包含模拟验证、脚本编制、模拟视频制作三部分内容。
- 5.1.2 仿真模拟应以建造方案为依据，利用创建的三维模型模拟、可视化和优化建造方案。
- 5.1.3 仿真模拟应将优化的建造方案按照模拟脚本的表现要求制作成可视化模拟视频。
- 5.1.4 应用于仿真模拟的软件应支持将核电站核岛安装工程各建模软件创建的模型直接或间接的导入。
- 5.1.5 用于仿真模拟的软件应具备对模型进行移动、旋转、缩放、配色、透明、贴图等操作的功能，并能制作、输出模拟视频。

5.2 模拟验证

- 5.2.1 模拟验证应结合三维模型从空间角度对施工技术方案和施工逻辑方案进行合理性判断。
- 5.2.2 模拟验证应对施工临时布置、施工逻辑、运输通道、碰撞风险、资源管理、质量和安全风险等要素进行分析。
- 5.2.3 模拟验证中发现的建造方案问题应反馈至建造方案制定方。
- 5.2.4 针对模拟验证发现的建造方案问题，建造方案制定方应给出合理的说明，必要时应对建造方案进行调整。
- 5.2.5 对调整后的建造方案，应再次开展模拟验证和建造方案问题反馈，直至所有问题解决后进行模拟视频制作。
- 5.2.6 模拟验证过程中发现问题并进行反馈的过程，应形成反馈记录。

5.3 脚本编制

- 5.3.1 模拟视频制作前，应按照模拟验证完成后的建造方案编制模拟脚本。
- 5.3.2 模拟脚本编制人员宜由具备一定的工程经验和文字表达能力的人员担任。

5.3.3 模拟脚本应包含以下内容：

- 1 章节名称；
- 2 步骤序号；
- 3 画面内容；
- 4 参考画面；
- 5 字幕；
- 6 字数；
- 7 时长。

5.3.4 模拟脚本可在表格中编制，模拟脚本可按照表 E-1 样式编制，脚本示例详见表 E-2。

5.3.5 模拟脚本每章节的步骤数量不宜过少，应尽可能拆分成细小详实的步骤单元，并分别描述画面内容。

5.3.6 模拟脚本的画面内容应详尽的描述建造方案的工程节点表现内容。

5.4 模拟视频制作

5.4.1 模拟视频制作应物项完整、逻辑准确、动作连贯顺畅、关键动作突出、色差合理、标识清楚。

5.4.2 模型导入至仿真模拟软件中时，不应将综合成一个整体的模型直接导入，应按照模拟软件的需求对模型进行编组、配色等操作后导入。

5.4.3 当模型体量较大时，不宜将所有模型导入至仿真模拟软件，应与建造方案无关的模型进行适当删减。

5.4.4 模型导入至仿真模拟软件后，应对模型进行命名，宜以工程对象的实际名称或编码命名。

5.4.5 模拟视频宜考虑项目实际情况创建合适的地貌、天气、光照、风向等场景：

- 1 核电建设项目宜部署海水、山丘等地貌；
- 2 厂房外部宜设置为黄土和必要的道路场景；
- 3 厂房内部宜设置为混凝土场景。

5.4.6 不得将模型综合时配色的模型导入至仿真模拟软件直接用于模拟视频的制作，应在仿真模拟软件中根据模型类型对模型进行统一配色。

5.4.7 模型统一配色宜采用设置模型 RGB 数值的方式，模型颜色可按照表 5.4.7 的规定配置。

表 5.4.7 模型颜色配置表

序号	模型类型	RGB 数值
1	土建	128, 128, 128
2	钢结构	42, 78, 108
3	管道	146, 208, 80
4	管道支架	0, 0, 255
5	风管	255, 153, 0
6	风管支架	85, 20, 150
7	桥架	255, 0, 255
8	桥架支架	100, 0, 100
9	设备	0, 176, 240

5.4.8 模拟视频应通过调整太阳光、灯光等光线实现画面的明暗效果：

- 1 当需要调整整个环境的明暗效果时，宜调整太阳光；
- 2 当需要调整局部场景的明暗效果时，宜调整灯光。

5.4.9 模拟视频制作过程中应随时查看模拟视频效果，对发现的问题应及时做出调整。

5.4.10 仿真模拟软件输出的视频宜为“.mp4”格式，分辨率不应低于 1920×1080，帧率不应低于 60fps。

6 成果输出

6.1 一般规定

- 6.1.1 成果输出应包含视频剪辑、成果两部分内容。
- 6.1.2 成果输出应将由仿真模拟软件制作的模拟视频进行剪辑,并输出虚拟建造成果。
- 6.1.3 成果输出软件包括视频处理、剪辑两种软件。
- 6.1.4 视频处理软件应具备视觉效果和动态图处理、调色和特效处理、图层合成、媒体文件导入和处理的功能。
- 6.1.5 视频剪辑软件应具备对视频片段进行合并、剪辑、配乐、配音、添加字幕等功能。

6.2 视频剪辑

- 6.2.1 视频剪辑应完成片头、片尾、过场的制作,视频片段合并和剪辑,配乐、配音、字幕和标识的添加。
- 6.2.2 片头、片尾、过场应在视频制作软件中完成,同一项目的不同模拟视频应采用同一套片头、片尾、过场模板。
- 6.2.3 视频剪辑应在视频剪辑软件中将片头、片尾、过场视频和由仿真模拟软件制作的模拟视频片段,进行裁剪、切断、分割、合并。
- 6.2.4 视频剪辑应添加字幕,并应符合以下规定:
 - 1 字幕应放置在画面下方,居中;
 - 2 字幕的字体样式应使用规整的字体;
 - 3 字幕的字体颜色应与画面主体色调形成鲜明的差异;
 - 4 每个画面字幕中应添加标点符号,末尾不应添加标点符号。
- 6.2.5 同一项目的不同模拟视频字幕位置、字体样式、字体颜色应统一。
- 6.2.6 视频剪辑宜添加字幕配音,可选择机器配音或人工配音。
- 6.2.7 视频剪辑应添加配乐,并应符合以下规定:
 - 1 应根据视频画面内容的风格选择合适风格的配乐;

- 2 配乐时长应与模拟视频时长相匹配;
 - 3 配乐时长与模拟视频时长不匹配时, 应对配乐进行裁剪重组;
 - 4 裁剪重组的配乐不应有明显的断音。
- 6.2.8** 视频剪辑时应添加必要的工程对象名称和标识、标注、风险提示等信息。
- 6.2.9** 工程对象名称和标识应放置在画面的合适位置, 并与字幕区别。
- 6.2.10** 标注应明显、突出, 并应符合以下规定:
- 1 标注的颜色宜设置为红色;
 - 2 当画面中红色较多, 标注的颜色设置为红色不能明显分辨时, 应设置为其他与画面反差较大的颜色, 如白色、绿色等;
 - 3 标注的字体、尺寸线大小应与画面匹配。
- 6.2.11** 视频剪辑时应将模拟验证过程中发现的施工风险点添加至画面中, 并写明风险注意事项。

6.3 成果

- 6.3.1** 根据实际项目需求, 输出成果中宜添加标识成果归属的企业标志。
- 6.3.2** 成果为虚拟建造视频时, 宜为“.mp4”格式, 分辨率不应低于 1920×1080, 帧率不应低于 30fps。
- 6.3.3** 成果为效果图片时, 应符合以下规定:
- 1 效果图片应能清晰明了的表达建造的关键点;
 - 2 效果图片宜为“.png”格式;
 - 3 效果图片的分辨率宜与视频保持一致。
- 6.3.4** 成果为可视化文档时, 应根据建造方案的文字描述添加必要的虚拟建造效果图片。
- 6.3.5** 成果为仿真程序时, 应添加必要的工程表现节点标签, 宜为“.exe”格式。

7 多维虚拟建造

7.0.1 核电站核岛安装工程宜在仿真模拟的基础上加入进度、人员、材料、机械等施工资源信息开展多维虚拟建造。

7.0.2 多维虚拟建造的模型应具有唯一的编码，编码应能被虚拟建造软件唯一识别。

7.0.3 多维虚拟建造模型的编码宜采用上游设计的工程对象编码，当上游设计无对应工程对象编码时，应参照现行国家标准《电厂标识系统编码标准》（GB/T 50549）编制相应的编码。

7.0.4 加入进度信息的多维虚拟建造应将工程对象模型与计划进度进行关联，并进行可视化呈现。

7.0.5 加入进度信息的多维虚拟建造，其进度计划宜按照合同进度计划根据施工逻辑和时间要求分解到施工的最小单元。

7.0.6 加入进度信息的多维虚拟建造应分析施工进度风险对进度计划的影响，并在虚拟建造成果中呈现。

7.0.7 加入人员、材料、机械等施工资源信息的多维虚拟建造，应在进度仿真模拟的基础上开展。

7.0.8 多维虚拟建造人员、材料、机械等施工资源的数据，可采用平均的计算基数进行计算。

7.0.9 开展多维虚拟建造的模型单元不宜过多，宜以一个施工房间的工程对象模型为单位开展多维虚拟建造。

7.0.10 多维虚拟建造的成果宜通过可视化的协同管理系统呈现。

附录 A 虚拟建造模拟审核记录单

表 A 虚拟建造模拟审核记录单

XXXX 公司					
虚拟建造模拟审核记录单				文件类型	
项目名称				第 页, 共 页	
序号	错误标记	错误位置	审核意见		处理情况
审核人 签字 及日期		设计人 改后签字 及日期		审核人 验证后签字 及日期	

注：

1. 文件类型包括脚本、视频、图片、程序等；
2. 错误标记：原则或技术错误为×，一般错误为△，画面或文字错误为○；
3. 审核意见可文字描述或附图，审核后未发现问题在审核意见处注“无”，同时改后签字栏、验证后签字栏划“/”标识；
4. 处理情况：同意并改正为√，协商后撤销为#，其他情况用文字简要说明；
5. 本记录单可附页，可填写审核内容后打印也可打印后手动填写审核内容，纸质文件如有修改，需在修改处注明修改人及日期。

附录 B 模型单元几何表达精度

表 B-1 建筑模型单元几何表达精度

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
外墙	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜体量化表示空间占位； 2. 宜表示核心层和外饰面材质； 3. 外墙定位基线宜与墙体核心层外表面重合，如有保温层，宜与保温层外表面重合。
	G3	1. 构造层厚度不小于 20mm 时，宜按照实际厚度建模； 2. 宜表示安装构件； 3. 宜表示各构造层的材质； 4. 外墙定位基线应与墙体核心层外表面重合，无核心层的外墙体，定位基线应与墙体内表面重合，有保温层的外墙体定位基线应与保温层外表面重合。
	G4	1. 构造层厚度不小于 10mm 时，宜按照实际厚度建模； 2. 安装构件图元几何细度为 10mm； 3. 宜表示各构造层的材质； 4. 外墙定位基线应与墙体核心层外表面重合，无核心层的外墙体，定位基线应与墙体内表面重合，有保温层的外墙体定位基线应与保温层外表面重合。
内墙	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜体量化表示空间占位； 2. 宜表示核心层和外饰面材质； 3. 内墙定位基线宜与墙体核心层表面重合，如有隔音层，宜与隔音层外表面重合。
	G3	1. 构造层厚度不小于 20mm 时，宜按照实际厚度建模； 2. 宜表示安装构件； 3. 宜表示各构造层的材质； 4. 内墙定位基线应与墙体核心层外表面重合，无核心层的外墙体，定位基线应与墙体内表面重合，有隔音的内墙体定位基线与隔音层外表面重合。
	G4	1. 构造层厚度不小于 10mm 时，宜按照实际厚度建模； 2. 安装构件图元几何细度为 10mm； 3. 宜表示各构造层的材质； 4. 内墙定位基线应与墙体核心层外表面重合，无核心层的内墙体定位基线应与墙体内表面重合，有隔音层的外墙体定位基线应与隔音层外表面重合。
门窗	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜表示框材、嵌板； 2. 门窗洞口尺寸应准确。

续表 B-1

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
门窗	G3	1. 宜表示框材、嵌板、主要安装构件； 2. 内嵌板的门窗应明确表示； 3. 门窗、百叶框材和断面图元几何细度应为 30mm。
	G4	1. 宜表示框材、嵌板、主要安装构件、密封材料； 2. 内嵌板的门窗应明确表示。
屋顶	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜体量化表示空间占位； 2. 平屋面建模可不考虑屋面坡度，且结构构造层顶面与屋面标高线宜重合； 3. 坡屋面与异形屋面应按设计形状和坡度建模，主要结构支座顶标高与屋面标高线宜重合。
	G3	1. 应输入屋面各构造层的信息，构造层厚度不小于 20mm 时，应按照实际厚度建模； 2. 楼板的核心层和其他构造层可按独立楼板类型分别建模； 3. 平屋面建模宜考虑屋面坡度； 4. 坡屋面与异形屋面应按设计形状和坡度建模，主要结构支座顶标高与屋面标高线宜重合； 5. 屋面主要构件宜建模，图元几何细度为 20mm。
	G4	1. 应输入屋面各构造层的信息，构造层厚度不小于 10mm 时，应按照实际厚度建模； 2. 楼板的核心层和其他构造层可按独立楼板类型分别建模； 3. 平屋面建模应考虑屋面坡度； 4. 坡屋面与异形屋面应按设计形状和坡度建模，主要结构支座顶标高与屋面标高线宜重合； 5. 屋面其它构件宜建模，图元几何细度为 10mm； 6. 如视觉表达需要，屋面各层构造、构件宜赋予可识别的材质信息。
楼面	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜体量化表示空间占位； 2. 除非设计要求，无坡度楼板顶面与设计标高应重合，有坡度楼板根据设计意图建模。
	G3	1. 应输入楼板各构造层的信息，构造层厚度不小于 20mm 时，应按照实际厚度建模； 2. 楼板的核心层和其他构造层可按独立楼板类型分别建模； 3. 主要的无坡度楼板建筑完成面应与标高线重合。
	G4	1. 应区分建筑楼板和结构楼板； 2. 应输入楼板各构造层的信息，构造层厚度不小于 10mm 时，应按照实际厚度建模； 3. 楼板的核心层和其他构造层可按独立楼板类型分别建模； 4. 无坡度楼板建筑完成面应与标高线重合。

续表 B-1

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
地面	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜体量化表示空间占位； 2. 地面完成面与地面标高线宜重合。
	G3	1. 应输入地面各构造层的信息，构造层厚度不小于 20mm 时，应 按照实际厚度建模； 2. 地面的核心层和其他构造层可按独立楼板类型分别建模； 3. 建模应符合地面坡度变化； 4. 平地面完成面与地面标高线宜重合。
	G4	1. 应输入地面各构造层的信息，构造层厚度不小于 10mm 时，应 按照实际厚度建模； 2. 地面的核心层和其他构造层可按独立楼板类型分别建模； 3. 建模应符合地面坡度变化； 4. 平地面完成面与地面标高线宜重合； 5. 如视觉表达需要，屋面各层构造、构件宜赋予可识别的材质信息。
天花板	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜体量化表示空间占位； 2. 宜表示嵌板，并按照设计意图划分。
	G3	1. 宜表示嵌板、主要支撑构件； 2. 人孔、百叶等应明确表示。
	G4	1. 宜表示嵌板、主要支撑构件、支撑构件配件、安装构件、密封材 料； 2. 人孔、百叶等应明确表示应明确表示。
楼梯	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜体量化表示空间占位； 2. 楼梯应建模踏步、梯段。
	G3	1. 梯梁、梯柱应建模，并应输入构造层次信息，构造层厚度不小于 20mm 时，应按照精确厚度建模； 2. 平台板可用楼板替代，但应在属性中注明“楼梯平台板”。
	G4	1. 梯梁、梯柱应建模，并应输入构造层次信息，构造层厚度不小于 10mm 时，应按照实际厚度建模； 2. 平台板可用楼板替代，但应在属性中注明“楼梯平台板”。
坡道、台阶	G1	宜二维图形表示。
	G2	宜体量化表示空间占位。
	G3	坡道或台阶宜建模，并应输入构造层次信息，构造层厚度不小于 20mm 时，应按照精确厚度建模。
	G4	1. 坡道或台阶宜建模，并应输入构造层次信息，构造层厚度不小于 10mm 时，应按照实际厚度建模； 2. 防滑条和安装构件宜建模。
栏杆	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	宜体量化表示空间占位，图元几何细度为 10mm。

续表 B-1

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
栏杆	G3	应建模，图元几何细度宜为 5mm。
	G4	应建模，按照实际尺寸建模。
散水与明沟	G1	宜二维图形表示。
	G2	宜体量化表示空间占位。
	G3	构造层厚度不小于 20mm 时，应按照精确厚度建模。
	G4	构造层厚度不小于 10mm 时，应按照实际厚度建模。
雨篷	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜体量化表示空间占位； 2. 雨篷板按照设计意图划分。
	G3	宜表示雨篷板、主要支撑构件。
	G4	宜表示雨篷板、主要支撑构件、支撑构件配件、安装构件、密封材料。
变形缝	G1	宜二维图形表达。
	G2	宜体量化表示空间占位。
	G3	应建模，图元几何细度宜为 10mm。
	G4	应建模，图元几何细度宜为 5mm。
室内构造	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜体量化表示空间占位； 2. 宜表达基层、面层、嵌板。
	G3	宜表达基层、面层、嵌板，并按照设计意图划分、主要支撑构件、主龙骨。
	G4	宜表示基层、面层、嵌板，宜表达板块分格、主要支撑构件、龙骨；安装构件宜反应实际规格尺寸、坡度、保温厚度。
孔洞、预埋件	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	应建模，反应出孔洞、预埋件的大致位置。
	G3	应建模，反应出孔洞、预埋件的大致位置，图元几何细度宜为 5mm。
	G4	应建模，反应出孔洞、预埋件的精确位置，按照实际尺寸建模。
设备基础	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜表示空间占位、位置和方向； 2. 图元几何细度宜为 300mm。
	G3	1. 宜表示精确的尺寸、形状、位置和方向； 2. 图元几何细度宜为 30mm。
	G4	1. 宜表示实际尺寸与位置； 2. 图元几何细度宜为 10mm。

表 B-2 结构模型单元几何表达精度

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
地基、基础	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜体量化表示空间占位； 2. 空间占位、位置和方向。
	G3	1. 精确的尺寸、形状、位置和方向； 2. 图元几何细度宜为 20mm。
	G4	1. 实际的尺寸、形状、位置和方向； 2. 图元几何细度宜为 10mm。
柱	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜体量化表示柱几何特征； 2. 宜表示核心层和外饰面材质； 3. 柱定位基线宜与柱核心层表面重合，如有保温层，宜与保温层外表面重合。
	G3	1. 构造层厚度不小于 20mm 时，宜按照实际厚度建模； 2. 宜表示安装构件； 3. 宜表示各构造层的材质； 4. 柱定位基线应与柱体核心层外表面重合，无核心层的柱，定位基线应与柱内表面重合，有保温的柱定位基线与保温层外表面重合。
	G4	1. 构造层厚度不小于 10mm 时，宜按照实际厚度建模； 2. 安装构件图元几何细度为 10mm； 3. 宜表示各构造层的材质； 4. 柱定位基线应与柱体核心层外表面重合，无核心层的柱，定位基线应与柱内表面重合，有保温的柱定位基线与保温层外表面重合。
梁	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	应建模，图元几何细度宜为 10mm。
	G3	应建模，图元几何细度宜为 5mm。
	G4	应建模，按照实际尺寸建模。
配筋	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	主要结构筋、构造筋应建模。
	G3	主要结构筋、构造筋、箍筋应建模。
	G4	各类配筋应建模。
钢结构	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	应建模，图元几何细度宜为 10mm。
	G3	应建模，图元几何细度宜为 5mm。
	G4	应建模，图元几何细度宜为 2mm。

表 B-3 工艺模型单元几何表达精度

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
管道及管件	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 直径不小于 20mm 的管线应建模； 2. 宜表示管线几何特征； 3. 有坡度的管道宜表示坡度； 4. 有保温的管道宜表示管道保温层材质及厚度。
	G3	1. 直径不小于 10m 的管线应建模； 2. 宜按照管线实际材质及规格尺寸建模； 3. 有坡度的管道宜按照实际坡度建模； 4. 有保温管道宜按照实际保温材质及厚度建模； 5. 宜表示管道支架的几何尺寸。
	G4	1. 所有管线应建模； 2. 宜按照管线实际材质及规格尺寸建模； 3. 管道配件和连接件宜按照其实际材质和规格尺寸建模； 4. 有坡度的管道宜按照实际坡度建模； 5. 有保温管道宜按照实际保温材质及厚度建模； 6. 宜按照管道实际安装尺寸进行分节，建出焊口及法兰等； 7. 按照支架实际尺寸建模。
管道附件	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	宜表示构件的几何特征及空间占位。
	G3	1. 宜按照构件的实际材质及规格尺寸建模； 2. 宜表达构件的其他附件及其连接件结合方式。
	G4	宜按照构件的实际材质、细部构造、规格尺寸、连接方式、安装附件等建模。
在线设备	G1	宜以二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜表达设备的几何特征； 2. 宜表示构件的材质及附件布置。
	G3	1. 宜详细表达设备的外形尺寸及位置，粗略表达其内部构造； 2. 宜表达其连接管道、阀门、管件、附属设备或基座等安装位置及尺寸。
	G4	宜按照产品的实际尺寸建模或采用高精度扫描模型。

表 B-4 给排水模型单元几何表达精度

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
管道及管 件	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 直径不小于 50mm 的管线应建模； 2. 宜表示管线几何特征； 3. 有坡度的管道宜表示坡度； 4. 有保温的管道宜表示管道保温层材质及厚度。
	G3	1. 直径不小于 20mm 的管线应建模； 2. 宜按照管线实际材质及规格尺寸建模； 3. 有坡度的管道宜按照实际坡度建模； 4. 有保温管道宜按照实际保温材质及厚度建模； 5. 宜表示管道支架的几何尺寸。
	G4	1. 直径不小于 10mm 的管线应建模； 2. 宜按照管线实际材质及规格尺寸建模； 3. 管道配件和连接件宜按照其实际材质和规格尺寸建模； 4. 有坡度的管道宜按照实际坡度建模； 5. 有保温管道宜按照实际保温材质及厚度建模； 6. 宜按照管道实际安装尺寸进行分节； 7. 按照支架实际尺寸建模。
管道附件	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	宜表示构件的几何特征及空间占位。
	G3	1. 宜按照构件的实际材质及规格尺寸建模； 2. 宜表达构件的其他附件及其连接件结合方式。
	G4	宜按照构件的实际材质、细部构造、规格尺寸、连接方式、安装附件等建模。
设备、水 池、水箱	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜表达设备的几何特征； 2. 宜表示构件的材质及附件布置。
	G3	1. 宜详细表达设备的外形尺寸及位置，粗略表达其内部构造； 2. 宜表达其连接管道、阀门、管件、附属设备或基座等安装位置及尺寸。
	G4	宜按照产品的实际尺寸、构造信息等符合其生产加工要求建模。

表 B-5 暖通模型单元几何表达精度

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
风管和管 件	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜表示管线几何特征； 2. 宜表达风管末端位置。
	G3	1. 宜按照风管实际材质及规格尺寸建模； 2. 风管末端及末端百叶应按照其实际尺寸及位置建模； 3. 有保温风管宜按照实际保温材质及厚度建模； 4. 宜表示风管支架的几何尺寸。
	G4	1. 宜按照风管实际材质及规格尺寸建模； 2. 风管末端及末端百叶应按照其实际尺寸及位置建模； 3. 有保温风管宜按照实际保温材质及厚度建模； 4. 宜按照风管实际安装尺寸进行分节； 5. 按照支架实际尺寸建模。
风管附件	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	宜表示构件的几何特征及空间占位。
	G3	1. 宜按照构件的实际材质及规格尺寸建模； 2. 宜表达构件的其他附件及其连接件结合方式。
	G4	宜按照构件的实际材质、细部构造、规格尺寸、连接方式、安装附件等建模。
液体输送 管道和管 件	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	1. 直径不小于 20mm 的管线应建模； 2. 宜表示管线几何特征； 3. 有坡度的管道宜表示坡度 4. 有保温的管道宜表示管道保温层材质及厚度。
	G3	1. 直径不小于 10mm 的管线应建模； 2. 宜按照管线实际材质及规格尺寸建模； 3. 有坡度的管道宜按照实际坡度建模； 4. 有保温管道宜按照实际保温材质及厚度建模； 5. 宜表示管道支架的几何尺寸。
	G4	1. 所有管线应建模； 2. 宜按照管线实际材质及规格尺寸建模； 3. 管道配件和连接件宜按照其实际材质和规格尺寸建模； 4. 有坡度的管道宜按照实际坡度建模； 5. 有保温管道宜按照实际保温材质及厚度建模； 6. 宜按照管道实际安装尺寸进行分节， 建出焊口及法兰等； 7. 按照支架实际尺寸建模。
液体输送 管道附件	G1	宜二维图形或体量化表达。
	G2	宜表示构件的几何特征及空间占位。
	G3	1. 宜按照构件的实际材质及规格尺寸建模； 2. 宜表达构件的其他附件及其连接件结合方式。

续表 B-5

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
液体输送管道附件	G4	宜按照构件的实际材质、细部构造、规格尺寸、连接方式、安装附件等建模。
设备	G1	宜以二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜表达设备的几何特征； 2. 宜表示构件的材质及附件布置。
	G3	1. 宜详细表达设备的外形尺寸及位置，粗略表达其内部构造； 2. 宜表达其连接风管、阀门、管件、附属设备或基座等安装位置及尺寸。
	G4	宜按照产品的实际尺寸建模或采用高精度扫描模型。

表 B-6 电气模型单元几何表达精度

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
电缆桥架 (主桥架、次桥架)	G1	宜以二维图形表示。
	G2	应体量化建模表示主体空间占位。
	G3	1. 应按照桥架的实际规格尺寸及材质建模； 2. 应建模表示电缆桥架支架的尺寸及位置。 3. 有防火包裹的宜按照实际包裹材质及厚度建模。
	G4	1. 应按照桥架实际规格尺寸及材质建模； 2. 应建模表示电缆桥架支架的尺寸及位置； 3. 有防火包裹的应按照实际包裹材质及厚度建模； 4. 宜按照桥架实际安装尺寸进行分段或分节； 5. 宜按照实际尺寸建模安装构件。
电线/电缆 配线管	G1	宜以二维图形表示。
	G2	应体量化建模表示主体空间占位。
	G3	应建模表示构件尺寸及位置。
	G4	应按照产品的实际尺寸、构件信息建模。
报警装置、 安装构件	G1	宜以二维图形表示。
	G2	宜体量化建模表示主体空间占位，如无可视化需求，可以二维表达。
	G3	1. 宜表示构件的几何特征； 2. 宜表示构件的材质； 3. 宜表示其配件和连接件。
	G4	宜按照构件的实际材质及规格尺寸建模。
电气设备	G1	宜以二维图形表示。
	G2	应体量化建模表示主体空间占位。
	G3	1. 宜建模详细表达设备外形尺寸及位置，粗略表达其内部构造； 2. 宜建模表示其连接电缆桥架、母线、附属设备或基座等安装位置及尺寸。
	G4	宜按照产品的实际尺寸建模或采用高精度扫描模型。

表 B-7 过程仪表系统的模型单元几何表达精度

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
仪表管	G1	宜以二维图形表示。
	G2	宜体量化建模表示主体空间占位。
	G3	1. 宜按照管线实际材质及规格尺寸建模； 2. 有坡度的管道宜按照实际坡度建模； 3. 有保温管道宜按照实际保温材质及厚度建模； 4. 宜表示管道支架的几何尺寸。
	G4	1. 宜按照管线实际材质及规格尺寸建模； 2. 管道配件和连接件宜按照其实际材质和规格尺寸建模； 3. 有坡度的管道宜按照实际坡度建模； 4. 有保温管道宜按照实际保温材质及厚度建模； 5. 宜按照管道实际安装尺寸进行分节，建出焊口等； 6. 按照支架实际尺寸建模。
仪表	G1	宜以二维图形表示。
	G2	宜体量化建模表示主体空间占位。
	G3	1. 宜表示构件的几何特征； 2. 宜表达构件的其他附件及其连接件结合方式。
	G4	宜按照构件的实际材质、规格尺寸、连接方式、安装附件等建模。
仪表框架	G1	宜以二维图形表示。
	G2	应体量化建模表示主体空间占位。
	G3	1. 宜建模详细表达设备外形尺寸及位置； 2. 宜建模表示其仪表等安装位置及尺寸。
	G4	宜按照产品的实际尺寸建模或采用高精度扫描模型。

表 B-8 机械/设备的模型单元几何表达精度

模型单元	几何表达精度	几何表达精度要求
机械/设备	G1	宜以二维图形或体量化表达。
	G2	1. 宜表达设备的几何特征； 2. 宜表示构件的材质及附件布置。
	G3	3. 宜详细表达设备的外形尺寸及位置，粗略表达其内部构造； 4. 宜表达其连接管道、阀门、管件、附属设备或基座等安装位置及尺寸。
	G4	宜按照产品的实际尺寸建模或采用高精度扫描模型。

附录 C 模型单元信息深度

表 C 模型单元信息深度

信息深度	属性分类	常见属性组	宜包含的属性信息
N1	项目信息	项目标识	项目名称、编号、简称等
		建设说明	地点、阶段、自然条件、建设依据、坐标、采用的坐标体系、高程基准等
		建筑类别或等级	建筑类别、等级、消防等级、防护等级等
		设计说明	各类设计说明
		技术经济指标	各类项目指标
		建设单位信息	名称、地址、联系方式等
	身份信息	建设参与方信息	名称、地址、联系方式等
		基本描述	名称、编码、类型、功能说明
	定位信息	编码信息	编码、编码执行标准等
		项目内部定位	所属的地块、建筑、楼层空间名称及其编号、编码
坐标定位		可按照平面坐标系统或地理坐标系统或投影坐标系统分项描述	
N2	系统信息	占位尺寸	长度、宽度、高、厚度、深度等
		系统分类	系统分类名称
N3	技术信息	关联关系	关联模型单元的名称、编号、编码以及关联关系类型
		构造尺寸	长度、宽度、高度、厚度、深度等主要方向上特征
		组件构成	主要组件名称、材质、尺寸等属性
		设计参数	系统性能、产品设计性能
	生产信息	技术要求	材料要求、施工要求、安装要求等
产品通用基础数据		应符合现行行业标准《建筑产品信息系统基础数据规范》JGJ/T236 的规定	
N4	资产信息	产品专用基础数据	应符合现行行业标准《建筑产品信息系统基础数据规范》JGJ/T236 的规定
		资产登记	—
	维护信息	资产管理	—
		巡检信息	—
		维修信息	—
		维护预测	—
备品备件	—		

附录 D 虚拟建造模型单元几何表达精度

表 D 虚拟建造模型单元几何表达精度

专业	工程对象	几何表达精度
建筑	外墙	G2
	内墙	G2
	门窗	G2
	屋顶	G1
	楼面	G2
	地面	G2
	天花板	G1
	楼梯	G2
	坡道、台阶	G2
	栏杆	G2
	散水与明沟	G2
	雨蓬	G1
	变形缝	G2
	室内构造	G2
	孔洞、预埋件	G3
	设备基础	G3
结构	地基、基础	G3
	柱	G3
	梁	G3
	钢结构	G2
工艺	管道及管件	G4
	管道附件	G2
	在线设备	G2
给排水	管道及管件	G4
	管道附件	G2
	设备、水池、水箱	G2

续表 D

专业	工程对象	几何表达精度
暖通	风管及管件	G4
	风管附件	G2
	液体输送管道及管件	G4
	液体输送管道附件	G2
	设备	G2
电气	电缆桥架（主桥架、次桥架）	G3
	电线/电缆配线管	G3
	报警装置、安装构件	G2
	电气设备	G2
过程仪表	仪表管	G4
	仪表	G2
	仪表框架	G2
机械/设备	机械/设备	G2

附录 E 模拟脚本

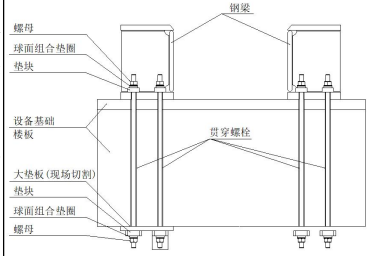
表 E-1 模拟脚本样式

章节名称*	步骤 序号	画面内容	参考画面	字幕	字数 (个)	时长 (s)	备注
片头	1						
章节一	1						
	2						
	3						
	...						
章节二	1						
	2						
	3						
	...						
片尾	1						
时长合计		—	—	—	—	—	
注：章节数量可根据实际项目需求增加，章节名称应以实际项目规划为准。							

表 E-2 某柴油发电机组安装可视化模拟脚本示例

章节名称	步骤序号	画面内容	参考画面	字幕	字数(个)	时长(s)	备注
片头	1	公司 LOGO+项目名称“某柴油发电机组安装可视化模拟”	片头模板	—	14	5	—
-6m 层设备引入	1	整体展示厂房外形, 介绍柴油发电机组的所在位置		柴油发电机组位于 0m 层的柴油发电机房内	18	6	
	2	隐藏掉厂房外墙, 镜头聚焦到 0m 层至-6m 层的预留孔洞		发电机组引入前事先将位于 0m 以下, -6m 层的设备通过预留孔洞引入	29	9	
	3	(-6m 层) 水处理箱通过 0 米层预留孔洞吊装引入至-6m 层, 落座在设备基础上进行安装	—	水处理箱通过 0m 层预留孔洞吊装至-6m 层	18	6	—
	4	(-6m 层) 处理泵(左侧)、高温预热器(右侧)在安装设备基础上	—	安装处理泵、高温预热器	11	4	—
0m 层其他设备安装及临时存放	1	镜头切换至 0m 层, 展示 0m 层预留孔洞浇筑	—	-6m 层设备安装完成后, 进行 0m 层预留孔洞浇筑	20	6	—
	2	镜头切换至柴油发电机房整体效果, 将 2 个空气瓶依次引入至发电机房内侧靠墙处, 临时放置	—	2 个空气瓶依次引入, 临时放置于柴油发电机房内侧靠墙处	26	8	—
	3	低温水板换引入至发电机厂房内侧靠墙处, 临时放置	—	低温水板换热器临时放置在柴油发电机房内侧靠墙处	23	7	—
	4	(0m 层) 其他辅助设备引入控制室临时放置, 同时画面展示控制室位置	—	0m 层其他设备暂时放置在控制室	14	5	—

续表 E-2

章节名称	步骤序号	画面内容	参考画面	字幕	字数(个)	时长(s)	备注
柴油发电机组引入	1	画面切换至厂房外,柴油发电机房引入的门口,展示厂房外回填区	—	厂房外回填区夯实,面积17.0m×6.0m	12		—
	2	按照施工方案要求,在夯实的回填区铺设第一层钢板	—	铺设第一层钢板	7		—
	3	镜头全景展示发电机房,将厂房外钢梁依次引入至厂房内,放置在安装位置	—	将机组两侧4段钢梁用地牛依次运至安装位置,顺序为A2、B2、A1、B1	31		A2、B2、A1、B1依次就位,4段钢梁引入完毕后同时显示
	4	将钢梁固定在发电机组基础上,根据方案要求安装贯穿螺栓;镜头切换至楼板下侧,贯穿螺栓从楼板下侧贯穿至楼板上侧,之后镜头切换至楼板上侧,将贯穿螺栓通过螺母与钢梁锁紧		钢梁就位后使用贯穿螺栓将钢梁与楼板固定 贯穿螺栓自下至上贯穿楼板,通过上下两端的垫块和螺母锁紧	46		镜头特写贯穿螺栓螺母过程,画面中可附加贯穿螺栓详图
	5	镜头切换至厂房外,根据方案要求在第一层钢板上铺设第二层钢板	—	钢梁安装完毕后,铺设第二层钢板	15		—
	6	镜头不动,根据方案要求在第二层钢板上铺设轨道	—	铺设两趟轨道	6		—
	7	镜头特写轨道,说明轨道样式及各项数据	—	轨道由L80×8角钢制作,间距210mm,铺设长度32m,两条轨道中心距为1770mm	30		

续表 E-2

章节名称	步骤序号	画面内容	参考画面	字幕	字数(个)	时长(s)	备注
柴油发电机组引入	8	镜头远景拉直柴油发电机房外, 根据方案要求的间距在轨道内布置 8 台坦克小车, 同时画面中展示 8 台坦克小车的间距数据	—	在轨道内按放置 8 台坦克小车	13	4	—
	9	吊绳固定在公共底座的 4 个吊点上, 利用汽车吊将公共底座吊装至小车上	—	将公共底座吊装至坦克小车上	13	4	—
	10	吊绳固定在柴油机的 8 个、发电机的 4 个吊点上, 同样利用汽车吊将柴油机和发电机依次吊装至公共底座上	—	采用 650 吨吊车, 依次将柴油机、发电机吊装至公共底座上	25	8	—
	11	根据方案要求, 在厂房外, 机组后方设置 2 台卷扬机用于拖动柴油发电机组引入至厂房内	—	机组吊装完毕后, 机组后方设置 2 台卷扬机	19	6	—
	12	镜头切换至柴油发电机房内, 根据方案要求在房间内墙侧设置 4 个定滑轮, 用于牵引柴油发电机组; 同时, 画面中应显示 4 个定滑轮的定位数据	—	厂房内墙壁设置 4 个定滑轮, 4 个定滑轮距离楼板面的高度均为 700mm	29	9	—
	13	将卷扬机钢丝绳释放, 穿过定滑轮固定至机组底座固定点上, 将机组整体引入至厂房内, 直至安装位	—	卷扬机钢索穿过定滑轮, 固定在公共底座的吊耳上; 启动卷扬机, 将柴油发电机组整体匀速牵引至厂房内	46	14	画面中可显示柴油发电机组引入方向的箭头

续表 E-2

章节名称	步骤序号	画面内容	参考画面	字幕	字数(个)	时长(s)	备注
柴油发电机组安装	1	撤出定滑轮及卷扬机,画面中将其去掉	—	引入完毕后,撤出定滑轮及卷扬机	15	5	—
	2	切换镜头,整体显示柴油发电机组底部,画面中展示公共底座边缘至基础边缘的尺寸 326mm	—	公共底座边缘至基础边缘尺寸为 326mm	15	5	—
	3	根据方案要求,在钢梁和公共底座之间柴油发电机组两侧各放置 5 个千斤顶及垫板,共 10 个千斤顶及垫板	—	机组两侧,钢梁与公共底座之间各放置 5 个 25t 的千斤顶	24	8	—
	4	起升 10 个千斤顶,将机组抬升至公共底座下表面至钢梁上表面间距 550mm,画面中显示间距数据	—	同时起升 10 个千斤顶,将机组整体提升至公共底座下表面与钢梁上表面间距 550mm	34	11	—
	5	镜头切换至适当角度,显示坦克小车、轨道、钢板撤出的画面	—	撤出坦克小车,撤出钢板和轨道	14	5	避免模型遮挡,可暂时透明或隐藏机组,画面中也可显示撤出方向的箭头
	6	依次镜头切换至柴油发电机组前端和后端的底部,显示钢梁两个端部的安装	—	安装钢梁端部 A1, 安装钢梁端部 B1	15	5	前端钢梁端部 A1, 后端钢梁端部 B1
	7	通释放千斤顶,将机组下降至公共底座下表面至钢梁上表面间距 400mm	—	释放千斤顶,使机组整体下降,至公共底座下表面与钢梁上表面间距 400mm	31	10	—

续表 E-2

章节名称	步骤序号	画面内容	参考画面	字幕	字数(个)	时长(s)	备注
柴油发电机组安装	8	根据方案要求,在钢梁与公共底座之间布置隔振器,对准螺栓孔	—	在钢梁与公共底座之间放置隔振器,对准公共底座和钢梁的安装孔	29	9	—
	9	千斤顶泄压,将柴油发电机组整体落座在隔振器上	—	千斤顶泄压,使隔振器承受机组全部重量	18	6	—
	10	镜头切换至适当角度,画面中出现隔振器固定螺栓,之后撤出全部千斤顶	—	安装隔振器固定螺栓,撤出千斤顶	15	5	—
其他设备及管线安装	1	镜头切换至适当角度,显示0m层设备的安装过程,将柴油发电机组引入前临时存放的2个空气瓶、低温水板换和控制室内其他辅助设备移动至基础上	—	安装空气瓶,安装低温水板式换热器,安装其余设备	23	7	如有必要显示设备编号
	2	镜头切换至厂房整体画面,显示与柴油发电机组连接的管线、桥架、烟囱,以及其他设备和与至连接的管线	—	安装发电机组与各设备之间的管路系统	17	6	—
	3	镜头远景切换至柴油发电机厂房整体,结尾	—	—	—	2	—
片尾	1	公司 LOGO	片尾模板	—	—	5	根据需要显示作者
时长合计		—	—	—	—	237	—

用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《建筑信息模型应用统一标准》 GB/T 51212

《建筑信息模型施工应用标准》 GB/T 51235

《建筑信息模型设计交付标准》 GB/T 51301

《电厂标识系统编码标准》 GB/T 50549

中国工程建设协会标准

《核电站核岛安装工程虚拟建造应用标准》

XXXX XXX - 20XX

条文说明

制 定 说 明

本标准的制定过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国核电站建造过程中基于建筑信息模型技术开展虚拟建造的实践经验，同时参考了有关国家标准、行业标准，广泛征求了有关方面的意见，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时能正确理解和执行条款规定，《核电站核岛安装工程虚拟建造应用标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总 则	(39)
2 术 语	(40)
3 基本规定	(41)
4 模拟输入	(42)
4.1 一般规定	(42)
4.2 模型创建	(43)
4.3 建造方案制定	(44)
5 仿真模拟	(46)
5.1 一般规定	(46)
5.2 模拟验证	(47)
5.3 脚本编制	(47)
5.4 模拟视频制作	(48)
6 成果输出	(51)
6.1 一般规定	(51)
6.2 视频剪辑	(51)
6.3 成果	(52)
7 多维虚拟建造	(54)
附：参考文献	(56)

1 总 则

1.0.1 近年来，随着数字化技术的发展，以 BIM 技术为基础的数字化技术已经在核电建设项目的施工阶段中得到了广泛的应用，尤其是虚拟建造技术。核电站的核岛厂房安装工程对象众多，施工复杂，核电安装企业在施工过程中开展了大量的仿真模拟工作，优化了施工过程，为缩短施工工期提供了帮助。然而，核电站核岛安装工程的虚拟建造流程和方法尚不统一，有必要制定一套核电站核岛安装工程虚拟建造应用标准，来规范虚拟建造的流程和方法，提高仿真模拟效率和质量。

2 术 语

2.0.4 辅助模型

虚拟建造过程主要是应用模型来模拟、可视化和优化建筑项目的施工过程，施工过程应用到的模型不仅包括建筑物、系统、设施、设备、零件等物理实体的模型，还应包括施工所需的施工环境、工机具、机械设备、工程车辆等的模型，本标准将这些模型定义为辅助模型。

2.0.8 模型精细度

本条术语摘自《建筑信息模型设计交付标准》（GB/T 51301-2018）。而《建筑信息模型施工应用标准》（GB/T 51235-2017）术语中也对模型精细度有定义，将其称作“模型细度 level of development (LOD)”，定义为“模型元素组织及几何信息、非几何信息的详细程度”。本标准认为《建筑信息模型设计交付标准》（GB/T 51301-2018）的标准更加准确，因此，采用 GB/T 51301-2018 标准定义。

2.0.13 多维虚拟建造

通常在 BIM 模型的基础上加入时间信息，将时间作为第四个维度，加入成本信息，将成本作为第五个维度，实现对建筑项目的时间、成本管理和控制。在核电站核岛安装过程中，除了时间进度和成本外维度外，人员、材料、机械等施工资源信息维度的管理同样重要。因此，本标准规定，在三维仿真模拟的基础上加入进度、人员、材料、机械等施工资源信息维度的虚拟建造过程，称之为多维虚拟建造。

3 基本规定

3.0.2 本标准没有对施工成本方案进行规定，主要是考虑到成本信息往往涉及企业的商业秘密，不适宜公开可视化。

3.0.3、3.0.4 虚拟建造不能制定建造方案，它是建造方案的可视化。虚拟建造的依据之一应该是由工程技术人员制定的建造方案，此外还应包括工程对象模型和辅助模型。在拿到建造方案开展仿真模拟之前，应对方案进行充分的分析，了解方案的整个过程，此内容也是模拟输入的重要部分。

仿真模拟是虚拟建造的主要实施过程，它应以模拟输入为依据，利用三维模型对建造方案进行可视化模拟验证和优化。以此，其与建造方案之间有一个反馈、修改的过程。当建造方案无问题后编制模拟脚本，制作模拟视频，为最终成果的输出做准备。

虚拟建造的输出成果一般为模拟视频，仿真模拟过程中制作的模拟视频不能直接作为虚拟建造的结果，还应对视频片段合并、剪辑、配乐、配音，以及添加标识、字幕、片头、片尾等，最终形成虚拟建造的可视化模拟结果。

3.0.7 BIM 可视化成果的形式多种多样，虚拟建造形成的成果不应只局限于视频形式，为了能够更清晰方便的表达虚拟建造，还应结合施工现场的实际情况考虑三维效果图片、附加了三维效果图的可视化文档，以及添加了工程表现节点的程序等成果形式。

3.0.8 虚拟建造过程主要是指模拟脚本，成果主要是指视频、图片、程序。为了保证核电站核岛安装工程虚拟建造的质量，虚拟建造过程及成果应进行审核，同时，遵循“凡事有据可查”的核安全文化理念，确保质量记录的可追溯，审核过程应形成审核记录单。

4 模拟输入

4.1 一般规定

4.1.1 按照 3.0.3 条的虚拟建造流程，模拟输入包含模型创建和建造方案制定两部分内容。其中，在按照建造方案开展仿真模拟前，要进行方案分析，保证对虚拟建造过程的充分理解。

4.1.2 模型单元的视觉呈现水平，通过几何表达精度衡量，反应模型单元与物理实体的真实逼近程度。核电站核岛安装工程的虚拟建造应根据不同的仿真模拟需求，选择不同等级的几何表达精度。在满足虚拟建造应用需求的前提下，采用较低的几何表达精度，避免过度建模情况的发生，有利于控制模型文件的大小，提高运算效率。

4.1.3 本条的规定与《建筑信息模型设计交付标准》（GB/T 51301-2018）对几何表达精度的等级划分规定保持一致，目的在于为虚拟建造的模型几何表达精度的选取提供参考。同时，表 4.1.3 在《建筑信息模型设计交付标准》（GB/T 51301-2018）几何表达精度的等级划分基础上增加了示例和对几何表达精度要求的备注说明，更加便于理解。

4.1.4 核电站核岛安装工程一般涉及到建筑、结构、工艺、给排水、暖通、电气、过程仪表、机械/设备共 8 类，本条根据 4.1.2 的规定将 8 类的模型单元对应的几何表达精度要求进行了规定，为虚拟建造的模型几何表达精度的选取提供参考。

4.1.5 核电站核岛安装工程 BIM 技术应用的模型单元应写入必要的属性信息，应根据每一项应用需求为所涉及的模型单元选取相应的信息深度，并符合唯一性和一致性原则。虚拟建造作为核电站核岛安装工程 BIM 的一种应用，其模型单元的信息深度也应符合上述要求。

4.1.6 本条的规定与《建筑信息模型设计交付标准》（GB/T 51301-2018）对信息深度等级的划分规定保持一致，目的在于为虚拟建造的模型信息深度的选取提供参考。

4.1.7 虚拟建造模型单元，其几何表达精度不宜过低，过低将使模型单元与物理实体的真实逼近程度相差较远，无法起到仿真模拟的效果，也影响仿真模拟的可视化效果。因此，本条规定了虚拟建造的模型宜达到的最低几何表达精度。

虚拟建造主要还是从空间角度模拟施工过程，模型单元对属性信息的要求不是很高，一般情况下包含了模型单元的身份描述即可满足要求。在核电站核岛安装工程中模型单元的身份描述一般指安装五项的编码表示，包括管道的管线号、风管的管段号、桥架的托盘段号、设备的功能位置码和设备名称等。因此，用于虚拟建造的模型，其信息深度一般达到 N1 等级即可满足要求。加入进度、人员、材料、机械等施工资源信息进行多维虚拟建造时，模型的信息深度应根据实际的虚拟建造需求确定。

4.2 模型创建

4.2.1~4.2.3 用于虚拟建造的模型包含工程对象模型和辅助模型两种，模型创建时应结合建造方案及虚拟建造的需求，确定两种模型的模型精细度。为了减少重复建模的人力投入，同时，为了保证模型的唯一数据源，实现核电建设的“一模到底”，工程对象模型首先应考虑采用上游设计模型。但是，实际项目中，受设计与施工单位合同关系和利益冲突的关系，往往上游设计模型很难共享到下游施工单位，此时，虚拟建造的工程对象模型应考虑通过施工图纸自行创建，即“翻模”。目前，一些国产的 BIM 仿真模拟软件已经具备素材库功能，即在软件中可直接下载工程中常见的工机具、机械设备、工程车辆等模型，并能布置山、水、树木、临建设施等施工环境。为了方便虚拟建造工作的开展，辅助模型建议优先从模拟软件的素材库获取；其次，通过互联网等其他资源获取；最后，考虑自行创建。

4.2.4、4.2.5 核电站核岛安装工程虚拟建造的模型往往是通过多种软件创建的，有的情况下应用同一建模软件为了防止模型文件过大导致计算机运算效率低的情况，需要将模型拆分成不同的部分。核电站核岛安装工程的模型可以按照厂房、层高、区域、房间、专业、系统等进行拆分。为了保证模型综合成一个整体时不出现位置偏差，建模时规定模型的统一坐标原点，通常以反应堆厂房中心，标高±0.000m 为统一的坐标原点。模型创建完成后，应优先将所有模型综合成一个整体，再根据建造方案对模型进行编组、配色等操作，便于模型导入至仿真模拟软件中开展仿真模拟工作。

4.2.6 模型综合一般不在建模软件中进行，因为在建模软件中综合容易造成模型

过大使软件卡顿,也存在不同的建模软件形成的不同格式模型很难综合到某一款建模软件中的情况。例如,核电建设项目应用到的模型创建软件一般有 PDMS (Plant Design Management System, 最新版软件改名为 Everything 3D)、Revit、SP3D (Smart Plant 3D)、SolidWorks、CATIA、Tekla 等,几款软件能够导出的模型格式各不相同,很难将所有格式的模型导入到其中一款建模软件中进行模型综合。需要有一款专用的模型综合软件能够将各种软件创建的模型导入其中。

4.2.7 模型综合软件的主要用途是打开、合并由不同建模软件创建的模型。因此,其应具备支持打开、合并不同格式模型的功能,至少应能打开、合并核电建设项目常用的 PDMS、Revit、SP3D、SolidWorks、CATIA、Tekla 创建的模型。模型综合软件的另一主要用途是,对综合成一个整体的模型结合建造方案从三维角度进行方案分析,以及对模型进行仿真模拟前的处理。因此,其还应具备对模型进行名称查看、移动、旋转、测量、编组、配色等功能。

4.2.8 当仿真模拟软件不能支持将建模软件创建的原生格式模型直接导入时,需要通过模型综合软件将模型转化通用格式后导入至仿真模拟软件中,如“.fbx”、“.ifc”、“.obj”、“.stl”等。这些格式通常具有良好的跨平台兼容性,能够在不同的软件之间顺畅地交换数据,可以被各种 3D 模拟视频制作软件识别,确保模型传输和后续模拟视频制作过程的顺利进行。

4.3 建造方案制定

4.3.1 建造方案一般包括施工技术方案、施工逻辑方案、施工进度方案等,是施工建造的重要依据。施工建造单位具备编制这些方案的人力、物力和技术条件,也是后续工程建造的实施主体,因此,建造方案理应由施工建造单位制定。

4.3.2 传统的建造方案是根据施工图纸,按照施工相关标准、规范,借助施工人员经验和必要的分析报告编制的。在创建了三维模型的情况下,在传统建造方案编制方法的基础上,充分利用三维模型的可视化特点,从三维的角度通过深入的分析研究,可以制定更加科学合理的建造方案,为虚拟建造的仿真模拟和项目的实施提供切实可行的输入条件。同时,结合三维模型编制施工的建造方案,也是当前施工单位开展 BIM 技术应用工作的重要方式。

4.3.3~4.3.5 建造方案是核电站核岛安装工程虚拟建造工作的重要输入条件之一,

是开展仿真模拟工作的前提。仿真模拟人员通常不是方案的编制者，也不是专业施工人员，缺乏丰富的施工经验。仿真模拟人员只有细读并分析建造方案，充分理解建造方案要表达的施工建造过程的重点和难点，才能通过仿真模拟的方式更准确的对建造方案进行可视化呈现，才能通过模拟发现建造方案中的技术难题、安全隐患和潜在风险并制定预案，从而优化建造方案。

为了便于仿真模拟人员更加准确高效的理解建造方案，制定建造方案时不应只是抽象的文字、表格描述，如有必要还应添加图片，包括工程照片、图片、进度计划图表、资源配置图表等。同时，图文并茂的建造方案也能够使施工人员更加准确认识将要从事的施工过程，提高施工效率和质量。

4.3.6 不止建造方案应该参照三维模型制定，仿真模拟前的方案分析工作也应参照三维模型制定，不仅可以提高分析的准确性和可靠性，还可以帮助虚拟建造人员更好地优化方案，确保施工过程顺利进行。总之，应该充分利用三维模型可视化的优势，为项目的成功实施提供保障。

5 仿真模拟

5.1 一般规定

5.1.1 按照 3.0.3 条的虚拟建造流程，仿真模拟包含模拟验证、脚本编制、模拟视频制作三部分内容。

5.1.2 仿真模拟是虚拟建造的主要实施过程，其主要的模拟依据就是由施工建造单位制定的建造方案，而仿真模拟的主要工作内容就是对建造方案的可视化模拟及优化。

5.1.3 仿真模拟应将建造方案进行可视化呈现，可视化呈现的表现形式以视频为主，也可以是效果图和仿真程序等，无论哪种表现形式其都应该按照模拟脚本规划的表现要求进行制作。

5.1.4 核电站核岛安装工程一般应用 PDMS、Revit、SP3D、SolidWorks、CATIA、Tekla 等软件创建工程对象模型和辅助模型，因此，用于仿真模拟的软件至少应支持以上软件创建的模型的直接导入。如果仿真模拟软件不能支持将建模软件创建的原生格式模型直接导入，也可以采用间接导入的方式，将模型转化成“.fbx”、“.ifc”等通用格式后导入。

5.1.5 此条为对仿真模拟软件的最低要求，目前一些国产软件除了具备本条规定的操作功能外，还能对模型进行生长、抖动、淡入、淡出、闪烁、跟随等操作。值得一提的是，受国际局势影响，一些国外 BIM 软件已经对我国核电行业采取了禁售行为，目前一些国产的仿真模拟软件功能已经足够强大，已经满足了核电站核岛安装工程虚拟建造的需求，因此，推荐选用国产仿真模拟软件开展核电站核岛安装工程的虚拟建造。

5.1.5 此条为对仿真模拟软件的最低要求，目前部分国产软件除具备本条规定的操作功能外，还具备对模型进行生长、抖动、淡入、淡出、闪烁、跟随等操作功能。受国际局势影响，部分国外 BIM 软件对我国核电行业实行禁售；同时，国产仿真模拟软件功能日益强大，完全满足核电安装工程虚拟建造需求，因此，推荐优先选用国产仿真模拟软件。

5.2 模拟验证

5.2.1、5.2.2 模拟验证是一个综合性过程，它是核电站核岛安装工程虚拟建造的重要环节，此过程要根据建造方案结合三维模型从空间角度模拟验证建造方案的合理性。主要验证施工过程中的临时物项布置是否合理，是否对施工有阻碍；分析施工逻辑（也称施工工序或施工顺序）的正确性，避免不合理的施工逻辑造成后续实际施工的拆改；分析施工技术方案中是否存在未预见的碰撞风险；验证运输通道的宽度、高度和路径等是否满足施工工程对象的运输要求；结合人员配置、工机具准备、材料到货等资源管理情况分析对施工的影响，尤其对施工逻辑的影响；分析施工过程中可能存在的质量和安全风险。

5.2.3~5.2.6 模拟验证的主要目的是分析、发现、优化建造方案中的技术、进度、质量、安全等问题，其必然存在一个模拟分析、发现问题、反馈问题、方案修改、再模拟分析的反复迭代的过程。这个反复迭代的过程应该留存记录，一方面，体现了核安全文化中的“凡事有据可查”的要求，另一方面，也可以作为建造方案制定依据，使建造方案更加合理。反馈记录可以采用报告或问题反馈单的形式，对问题进行详细描述，并给出修改建议（如有）。

5.3 脚本编制

5.3.1 模拟脚本是模拟视频制作的主要依据，模拟脚本编制的依据是建造方案。模拟验证过程中，建造方案处于反复迭代修改的阶段，待模拟验证完成，建造方案的所有问题解决并最终确定后，方可按照建造方案编制模拟脚本。

5.3.2 核电站核岛安装工程在实际项目中已经开展了大量的仿真模拟工作，但大部分仿真模拟没有编制脚本，一般都是由仿真模拟人员直接按照建造方案制作模拟视频。此种方式出现了一些问题，例如，仿真模拟人员往往工程经验不足，对建造方案的理解不够深刻，导致了制作的模拟视频表现力不够，甚至出现施工的原则错误；为了解决模拟视频表现力不够，出现施工原则错误的问题，需要工程经验丰富的工程师花费相当多的时间审核模拟视频，导致模拟视频反复修改，工作效率低。为了解决上述问题，经过多方的经验总结，需要具备一定的工程经验和文字表达能力工程师，理解建造方案后，将建造方案转化成模拟视频制作人员

能够理解的模拟脚本，供模拟视频的制作。

5.3.3、5.3.4 为了能够更加条例清晰的说明建造方案，模拟脚本建议分章节进行编制，每一章节划分为不同的步骤描述对应的模拟视频画面内容。

画面内容的主要作用是将需要展示的模拟视频画面，通过文字的形式表达出来，方便视频制作人员理解。例如，要展示汽车吊吊装大尺寸管道至管廊的画面，画面内容可描述为“将吊索一端挂在捆绑管道的吊绳上，另一端挂在汽车吊挂钩上；汽车吊启动，将管道吊至管廊开口端；管道端部设置两个临时吊耳，水平牵引倒链固定在临时吊耳上将管道牵引至管廊中。”

对于需要展示的画面，当文字描述很难让视频制作人员理解时，如有可参考的图片或视频，可添加到“参考画面”。

脚本编制时宜预先规划在每幕画面中添加的字幕，并统计字幕的字数。字幕应在模拟视频中通过语音读出。

时长指在脚本编制时预估的模拟视频时长。视频的时长受画面展示内容和字幕长短限制，画面展示内容要求的视频时长一般大于或等于字幕要求的视频时长。在脚本编制阶段一般很难确定出画面展示内容要求的视频时长，因此，通过计算字幕要求的视频时长估算整个视频的最短时长。字幕要求的视频时长受配音能够讲解完字幕或视频观看者能够读完字幕限制，一般可按 120~150 字/分钟的人读取速度计算字幕要求的视频时长。考虑画面展示内容要求的时长多出的部分，可将视频最短时长附加 0.2 的系数来估算整个视频的最终时长。

5.3.5、5.3.6 模拟脚本一般为文字的形式，为便于模拟视频制作人员理解所要表现的效果，模拟脚本的画面内容应该尽量详细，章节的步骤应该尽量细化。例如，表 E-2 中“0m 层其他设备安装及临时存放”章节的步骤序号 2~4，不应该只写成一个步骤画面内容：“将 0m 层的空气瓶、低温水板换热器和其他辅助设备引入并临时存放在柴油发电机房内侧靠墙处和控制室。”

5.4 模拟视频制作

5.4.1 此处所指的模拟视频不是虚拟建造的最终输出成果，而是仿真模拟过程中应用仿真模拟软件制作的未经过片段合并、剪辑、配乐、配音，未添加标识、字幕、片头、片尾等的视频，是视频剪辑的基础。模拟视频需要将建造方案的施工

过程进行可视化展示，本条是模拟视频制作的基本原则。

5.4.2 工程对象模型一般是由多个不同的模型单元组成的，在建模软件中每个模型单元是一个独立的部分，例如，一个管件在建模软件中是一个独立的模型单元，而多个管件的模型单元组成了一条管线的工程对象模型。如果不对模型进行编组直接导入至仿真模拟软件中，对这条管线附加模拟动作时，就需要对每个管件的模型单元附加模拟动作；而对模型进行编组后，对这个组分附加模拟动作即可实现对整条管线的动作模拟。一般情况，仿真模拟软件是通过识别模型单元的组别和颜色在软件中进行归类的。例如，某一个模型文件中的模型单元配有红色和绿色两种颜色，当模型导入至仿真模拟软件后，在软件中所有的红色模型单元将被识别成一个组分，所有的绿色模型单元将被识别成另一个组分。

5.4.3 核电站核岛安装工程涉及到反应堆厂房、电气厂房、燃料厂房、辅助厂房等多个厂房的全专业安装工程对象，物项众多，模型复杂。有的时候某项建造方案涉及到的模型体量会很大，直接将综合成一个整体的所有模型导入至仿真模拟软件后会导致软件卡顿甚至崩溃。在这种情况下，应该简化模型，将与建造方案无关的模型进行适当删减，降低仿真模拟软件负担。如果简化模型后仍然存在模型大软件卡顿的情况，此时可考虑将模型拆分成若干个小模型并依次导入的方式；也可分段制作模拟视频，最后将各段视频合并剪辑。

5.4.4 对模型命名是为了便于模拟视频制作过程中查找和区分模型，核电站核岛安装工程的每个工程对象均有唯一的编码标识，可以此唯一编码标识对模型进行命名，包括土建的墙号、管道的管线号、风管的管段号、桥架的托盘段号、设备的功能编码等。

5.4.5 核电建设项目一般位于沿海地带，有的项目有山丘等场景。施工现场的厂房外一般为硬化的土地和临建道路，厂房内为混凝土地面、楼板等。

5.4.6、5.4.7 合理的模型外观设置是模拟视频画面效果鲜明的关键。模型外观设置一般包括贴图、赋材质、配颜色等方式。贴图和赋材质能够使模型呈现出与实际工程对象近乎真实的效果，但贴图和赋材质在模拟视频制作时操作相对复杂，达到与实际工程对象近乎真实的效果比较困难。因此，实际模拟视频制作一般采用模型配色的方式。模型综合时配色的模型，有可能是模型创建后的默认模型颜色，也有可能是为了使仿真模拟软件能够更好的识别模型单元组分进行的配色，

而不是模拟视频最终呈现的配色。所以，严禁将模型综合时配色的模型导入至仿真模拟软件直接用于模拟视频的制作。

经过大量项目的应用总结，采用表 5.4.7 中的各专业设置不同的 RGB 数值的方式对模型进行配色，在仿真模拟软件中实现起来比较简单，同时也能够使模拟视频的画面丰满，且满足模拟视频色差合理的原则。

6 成果输出

6.1 一般规定

6.1.1 按照 3.0.3 条的虚拟建造流程，成果输出包含视频剪辑、成果两部分内容。

6.1.2 仿真模拟阶段制作的模拟视频往往是片段式的，并且也没有添加必要的对建造方案进行讲解说明的标识、字幕和配音，不能直接作为虚拟建造的成果，需要经过视频的剪辑。剪辑后的视频可以作为虚拟建造的最终成果，包括虚拟建造视频、由视频生成的三维效果图、添加了三维效果图的可视化文档，以及添加了工程表现节点的程序文件等。

6.1.3~6.1.5 虚拟建造成果输出主要应用到视频处理软件和视频剪辑软件。视频处理软件主要用于为虚拟建造的模拟视频制作并添加片头、片尾、过场等特效视频，视频剪辑软件主要用于将由仿真模拟软件制作的模拟视频片段进行组合、裁剪、添加背景音乐和字幕，以及为字幕添加配音等工作。

6.2 视频剪辑

6.2.2 常用于制作片头、片尾、过场的软件为 Adobe After Effects。同一个项目制作的所有模拟视频应具有统一的风格，其片头、片尾、过场的模板应保持一致。

6.2.4 为便于工程人员分辨清楚模拟视频中的文字，字幕的字体应使用宋体、仿宋、黑体等规整的字体，不应使用艺术字体等不规整的字体，也不宜将字体设置成斜体。

6.2.5 同一个项目制作的所有模拟视频应具有统一的风格，其字幕的样式应保持一致。

6.2.7 配乐即背景音乐，为视频添加背景音乐，应该确保背景音乐的风格与视频画面内容的风格一致。视频画面内容较大气时，适合较慷慨激昂的背景音乐；视频画面内容较舒缓时，适合选择较柔和的音乐。一般情况施工方案模拟视频，选择较慷慨激昂的音乐；施工逻辑模拟视频，选择较柔和的音乐。在对配乐进行裁剪重组时，应结合音乐的音波高低和 Chorus 部分，确保不会有明显的断音。一般在视频的开头部分配乐会有渐强的效果，只有在视频结尾时配乐才会减弱直至

消失。

6.2.8 核电站核岛安装工程的虚拟建造,应该将一些需要关键的工程对象的名称和标识、标注信息、施工风险点等在模拟视频中进行说明,便于工程人员对建造方案的理解。

6.2.9 工程对象名称和标识一般包括设备、管道、风管、桥架、支架等的名称和标识编码。其应该放置在模拟视频画面的合适位置便于辨认,应避免与字幕的位置冲突。一般情况工程对象名称和标识放置在模拟视频画面的左上角,并不进行配音。

6.2.10 标注一般包括尺寸标注、文字标注、重点标记等。为了使标注突出,便于辨认,标注应设置为其他与画面反差较大的颜色,可为红色、白色、绿色等。标注的字体、尺寸线不宜过大或过小,否则影响标注的辨识和画面协调。

6.2.11 风险提示的主要作用是提示模拟验证过程中发现的施工风险点。施工风险点包括技术风险和安全风险等。

6.3 成果

6.3.1 本条的规定主要是为了保护虚拟建造单位的知识产权,避免成果盗用。企业标志一般添加在模拟视频画面的左上角或右上角,也可以在画面中添加企业标志水印,但水印不得影响模拟视频画面展示的信息。

6.3.2 “.mp4”视频格式具有兼容性强、视频质量好、文件较小、适合流媒体使用、支持多音轨和软字幕等特点,可以在多种设备和软件上播放,相比 AVI 或 MOV 等文件,其通常能提供相似或更好的视频质量但文件大小更小。因此,虚拟建造的成果为视频时,推荐为 “.mp4”格式。同时,分辨率和帧率不能太低,太低会使画面不清晰,因此规定分辨率不应低于 1920×1080 ,帧率不应低于 30fps。

6.3.3、6.3.4 虚拟建造视频能够动态的展示建造的过程,但其播放依赖计算机等硬件设备,在施工现场的可视化展示受到一定的限制。而效果图片和可视化文档则可以不依赖于硬件设备,施工人员经过彩色打印即可带入施工现场随时查看。由于效果图片是静态的,不具备视频的动态表达效果,因此,在生成效果图片时应选择合适的表现节点,能够清晰明了的表达建造的关键点。建造方案往往是抽象的文字描述,当其添加了虚拟建造效果图片时,即形成了虚拟建造可视化文档。

图片格式一般包括“.bmp”、“.png”、“.jpg”三种，清晰度依次降低。“.bmp”是一种未压缩的格式，意味着它不采用任何压缩技术来减少文件大小，其文件通常很大，但能够保持图像的高保真度。“.jpg”格式使用有损压缩，这意味着在压缩过程中会丢失一些图像数据。“.png”格式使用无损压缩，这意味着图像质量在压缩过程中不会丢失；“.png”格式文件的大小通常介于“.bmp”和“.jpg”格式之间。综上考虑，在保持虚拟建造效果图片高质量图像的前提下，又不至于文件过大占用过多的计算机空间，虚拟建造成果的效果图片宜为“.png”格式。

6.3.5 一个虚拟建造模拟视频的时长通常几分钟甚至十几二十多分钟，有些情况下，工程人员只是想了解其中的某一个或几个关键工序或施工工艺的工程表现节点，此时存在的问题是，为了在视频中找到这些工程表现节点，不得不将视频从头播放一遍，或通过快进的方式反复查找，耗费时间。为了解决这一困难，可以在模拟视频制作的基础上将虚拟建造成果输出为仿真程序的形式。在仿真程序中添加必要的工程表现节点标签，工程人员在观看虚拟建造视频时可以点击相应的标签，直接跳转至对应的关键工序或工艺节点位置，使工程人员能够快速找到所要了解的施工工艺，提高了虚拟建造成果的使用效率。

7 多维虚拟建造

7.0.1 传统的虚拟建造主要是从空间角度模拟施工过程，而多维虚拟建造的主要是将施工关注的进度安排、人员配置、材料到货、机械准备等施工资源信息在实际施工之前进行匹配分析，预先规划、协调和优化施工资源，达到多维度的模拟、可视化和优化核岛安装施工方案和过程管理的目的。

7.0.2 基于 BIM 技术的核电站核岛安装工程的进度管理等，三维模型的最小单元和施工进度计划中的最小分解结构完全一致，就搭建了一个统一的虚拟建造标准。从数据基础和软件应用上讲，统一的标准就聚焦于模型单元的编码上，这种统一的编码可以通过技术手段在不同的数据库间进行链接^[2]。

7.0.3 核电站的工程对象一般都具有唯一的编码，该编码自设计阶段就已经确定，因此，建议多维虚拟建造的模型采用上游设计的工程对象编码。但多维虚拟建造中的人、机、料等资源信息目前尚无标准的编码体系，应参照现行国家标准《电厂标识系统编码标准》（GB/T 50549）编制相应的编码。

7.0.4 虚拟建造是在实际施工前对施工过程进行的模拟、可视化和优化，其加入的进度信息必然是计划进度。进度的可视化模拟一般是将工程对象模型与时间关联，并按照时间进展进行工程对象模型的呈现。

7.0.5 开展统一详细施工进度计划（四级进度计划母本）的编制和数据录入时，可按照合同进度计划进行分解至等同于四级进度计划的最小作业，根据施工逻辑和时间要求进行调整，并形成一個整体的核电安装施工详细进度计划^[2]。

7.0.6 施工进度风险包括人员的配置情况，材料的到货情况，机械的准备情况等，尤其以工程对象的到货情况最为突出。加入进度信息的多维虚拟建造应该分析这些施工进度风险对进度计划的影响，给出进度计划排布的优化措施，并在虚拟建造成果中展示这些风险和对应的优化措施。例如，某设备存在晚到货的风险，加入进度信息的多维虚拟建造应对比模拟正常到货和晚到货对后续施工进度的影响，以及晚到货对后续施工的优化措施，以使其对工期的影响降到最低。

7.0.7、7.0.8 人员、材料、机械等施工资源的数据与施工工期有关，在施工工程量一定的情况下，工期短需要投入的施工资源多；工期长可投入较少的施工资源。因此，加入人员、材料、机械等施工资源信息的多维虚拟建造，应在确定的进度

仿真模拟的基础上开展。不同施工单位人员的效率，材料和机械台班的用量都有不同的基础数据，且这些数据一般很难准确获得。因此，可采用平均的计算基数进行计算。例如，采用核电厂建设工程预算定额中关于单位工程量的人员、材料、机械的平均数据。

7.0.9 开展多维虚拟建造的模型单元过多会导致施工进度安排、人员配置、材料到货、机械准备的模拟过于复杂，核电站核岛安装工程常以房间为单位进行施工的组织与安装进度的跟踪，因此，可以一个房间的工程对象模型为单位开展多维虚拟建造。

7.0.10 多维虚拟建造的呈现形式不同于传统虚拟建造，传统虚拟建造的建造方案确定后通过仿真模拟即可形成视频、图片、文档等类型的确定的成果；多维虚拟建造具有不确定性，例如某项施工作业，改变人员施工效率的计算基数，其施工作业人数将随之改变。因此，多维虚拟建造的成果不宜通过视频、图片、文档等形式呈现，宜采用程序、可视化的协同管理系统等结果可变的方式呈现。

参考文献

- [1] 商大勇. BIM 改变了什么 BIM+工程项目管理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- [2] 王顺泽. BIM 技术在核电施工进度计划中的应用[J]. 施工技术, 2017, 46(6): 50-55.
- [3] 张立茂, 吴贤国. BIM 技术与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [4] 丁烈云. BIM 应用·施工[M]. 龚剑, 陈建国. 上海: 统计大学出版社, 2015.
- [5] 刘琰, 李世蓉. 虚拟建造在工程项目施工阶段中的应用及其 4D/5D LOD 研究[J]. 施工技术, 2014, 43 (3): 62-66.