

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/T XXXX—XXXX

# 水电水利工程三维模型轻量化 技术规范

Technical Specifications for Lightweighting the 3D Model of Hydraulic and  
Hydroelectric Engineering

（征求意见稿）

2024 - XX - XX 发布

2024 - XX - XX 实施

陕西省市场监督管理局 发布

# 目 次

前 言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
3.1 .....	1
3.2 .....	1
3.3 .....	1
3.4 .....	1
3.5 .....	1
3.6 .....	1
3.7 .....	2
3.8 .....	2
4 建模质量要求 .....	2
5 模型简化要求 .....	2
5.1 通用简化要求 .....	2
5.2 地形地质 .....	3
5.2.1 地形 .....	3
5.2.2 地质 .....	3
5.3 水工建筑物 .....	3
5.3.1 坝工【先规范主要类型，再辅助其他类型，要考虑全面性】 .....	3
5.3.2 厂房 .....	3
5.3.3 附属建筑物 .....	4
5.4 机电及金属结构 .....	4
5.4.1 水力机械 .....	4
5.4.2 金属结构 .....	4
5.4.3 建设设施 .....	4
5.5 施工与临时工程 .....	4
5.6 实景与点云数据 .....	5
5.6.1 倾斜摄影模型 .....	5
5.6.2 激光点云模型 .....	5
6 轻量化要求 .....	5
6.1 通用要求 .....	5
6.2 设计协同与深化 .....	6
6.2.1 设计协同应用 .....	6
6.2.2 工程算量应用 .....	6
6.2.3 装配运动仿真 .....	错误！未定义书签。
6.2.4 深化设计应用 .....	6

6.3 数字化交付 ..... 6

6.4 智能建造 ..... 6

6.4.1 施工组织设计 ..... 6

6.4.2 施工进度管控 ..... 6

6.4.3 施工现场管理 ..... 7

6.4.4 施工过程模拟 ..... 7

6.4.5 施工质量监控 ..... 7

6.4.6 施工安全管理 ..... 7

6.5 运行管理 ..... 8

6.5.1 工程安全监控 ..... 8

6.5.2 工程调度运行 ..... 8

6.5.3 工程运行维护 ..... 8

7 轻量化方法 ..... 8

7.1 数据内容 ..... 8

7.2 数据提取 ..... 9

7.2.1 组织结构 ..... 9

7.2.2 几何特征 ..... 9

7.2.3 属性数据 ..... 9

7.2.4 构件材质 ..... 错误！未定义书签。

7.2.5 三维标注 ..... 9

7.3 数据存储 ..... 9

7.4 数据压缩 ..... 10

8 轻量化结果评价 ..... 10

# 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。

本文件由陕西省水利厅提出归口，负责解释。

本文件起草单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、陕西省水利电力勘测设计研究院（集团）有限公司、陕西省水电开发集团股份有限公司

本文件主要起草人：栗煜、韩娅娜、杨党锋、史宏波、李梦、刘立峰、张伟、邢洁莹、刘源、党天宇、刘晓东、补舒棋、黄勇、赵天赋、李腾飞、武佩佩、吕祎航、张佟瑀、徐宇涛、刘冲、王蒲伟、张荣兵

本文件由中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司负责解释。

本文件为首次发布。

联系信息如下：

单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

电话：029-89810100

地址：西安市长安区城南大道18号

邮编：710100

# 水利水电工程三维模型轻量化技术规范

## 1 范围

本文件规定了水利水电工程三维模型质量、模型简化、轻量化、轻量化方法和轻量化结果评价。

本文件适用于水利水电工程三维模型在设计协同深化、数字化交付、智能建造、运行管理等全生命周期应用中的简化与轻量化处理。

## 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。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T 24734.11 数字化产品定义数据通则 第 11 部分：模型几何细节层级

GB/T 26099.1 机械产品三维建模通用规则 第 1 部分：通用要求

GB/T 42869 机械产品三维模型简化与轻量化要求

GB/T 51212 建筑信息模型应用统一标准

NB/T 10508 水电工程信息模型设计交付规范

DL/T 2748 抽水蓄能电站建筑信息模型数字化交付标准

T/CWHIDA 005-2019 水利工程信息模型设计交付标准

T/CWHIDA 0007-2020 水利水电工程信息模型分类和编码标准

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**模型单元** Model unit

水利水电工程信息模型中承载信息的实体及其相关属性的集合，是工程对象的数字化表述。

### 3.2

**最小模型单元** minimal Model unit

根据水利水电工程项目的应用需求而分解和交付的最小拆分等级的模型单元。

### 3.3

**模型精细度** Level of development (LOD)

水利水电工程信息模型中所容纳的模型单元丰富程度的衡量指标。

### 3.4

**几何表达精度** Level of geometric detail

水利水电工程模型单元视觉呈现时，几何表达真实性和精确性的衡量指标。

### 3.5

**网格模型** Mesh

网格模型是由点、边与面定义的网格几何表示模型，面由边围成，边由点连接，通过几何与拓扑信息完整描述三维物体的表面形态。

### 3.6

简化 Simplification

允许某些特征、某些零件或部件、以简单形体替代、包络等使模型减少复杂度的三维模型处理方法。

3.7

轻量化 Lightweight

采用面片化、参数化、图元合并等方法对三维模型几何数据部分进行压缩处理，并视情况保留、全部或部分删除非几何信息的模型处理方法。

3.8

参数化表示 parametric representation

用参数变量与数学函数定义曲线、曲面、实体的几何形态，而非显式存储所有离散点/面片。

4 建模质量要求

为保证轻量化模型的完整性及可渲染性等内容，三维模型建模应符合以下要求：

- a) 应避免模型出现破面、碎面等问题，检查并确保几何体封闭、模型完整。
- b) 模型结构需精简优化，避免模型及结构冗余。
- c) 用于仿真模拟的装配模型，建模时应严格控制模型构件及零部件的最小模型单元。
- d) 除满足上述各条规定外，模型还应符合《建筑信息模型应用统一标准》（GB/T51212-2016）的规定。
- e) 水电工程模型还应符合《水电工程信息模型设计交付规范》（NB/T 10508-2021）的规定。
- f) 水利工程模型还应符合《水利工程信息模型设计交付规范》（DB50/T 1676-2024）的规定。
- g) 水利水电工程信息模型包含的最小模型单元应由模型精细度等级衡量，模型精细度基本等级划分应符合表 1 的规定。根据工程项目的应用需求，可在基本等级之间扩充模型精细度等级。

表 1 水电工程信息模型精细度等级划分

等级	英文名	简称	所包含的最小单元模型
1.0 级模型精细度	Level of model definition 1.0	LOD1.0	项目级模型单元
2.0 级模型精细度	Level of model definition 2.0	LOD2.0	功能级模型单元
3.0 级模型精细度	Level of model definition 3.0	LOD3.0	构件级模型单元
4.0 级模型精细度	Level of model definition 4.0	LOD4.0	零件级模型单元

5 模型简化要求

5.1 通用简化要求

三维模型简化应依据模型单元在不同应用阶段的模型精细度等级要求执行，主要对模型几何和辅助几何进行简化，并应符合以下规定：

- a) 三维模型简化应同步考虑几何表达与属性数据的处理。对于无法通过几何简化表达的关键工程特征或材料标号、承载力、抗渗等级等设计参数，应以属性数据形式完整保留，确保模型简化后信息不缺失、应用需求仍满足。
- b) 模型简化后应保持良好的树状组织结构与专业构件可识别性。
- c) 模型简化不得引发语义误解，禁止产生几何表达的多义性。
- d) 简化不应影响模型单元自身及其附属构件的核心功能表达。
- e) 对简化后的模型文件进行命名，并应原模型名称保留继承性。
- f) 若简化模型用于投影生成二维工程图，其表达内容应符合工程制图相关标准规范要求。
- g) 对于湿陷性黄土特性区域的灰土挤密桩、强夯置换墩等复合地基，在 LOD3.0 及以上精度，应保留桩/墩的布置范围、桩径、桩长及置换率等核心参数的模型表达；LOD2.0 及以下精度，可将其简化为基础底板的整体外包络体，但应附加非几何的工艺属性信息。
- h) 对涉及古水利遗址、秦岭生态保护红线等控制性边界的模型，应全阶段保留其本体及保护边界的三维空间占位，禁止简化或删除。

5.2 地形地质

5.2.1 地形

地形模型简化应在保证工程范围内关键地形特征完整表达的前提下，合理控制模型复杂度，并应符合表 2 的规定。

表 2 地形模型简化分阶段要求

应用阶段	项建阶段	可研阶段	初设阶段	施工图阶段
简化原则	保留宏观地形起伏特征，可忽略微地形。	保留区域地形骨架，可适度简化次要冲沟、小丘等。	保留工程区主要地形特征，简化非工程区细节。	保留工程区及施工影响区全部地形细节，不得简化。
模型范围	覆盖整个规划区域，范围宜大。	覆盖比选方案区域及周边。	覆盖选定方案工程区及必要影响范围。	覆盖工程区、施工区及所有扰动区域。

5.2.2 地质

地质模型简化应在地质原型的基础上进行，不同阶段的简化应符合表 3 的规定。

表 3 地质模型简化阶段要求

应用阶段	简化核心规定
可研/初设	厚度小于 2m，且工程性质相近的连续薄层，可概化为统一地质单元。禁止跨越多层或关键标志层进行合并。
	长度小于 10m 且距建筑物大于 50m 的非控制性节理裂隙，可删除。
施工图	所有厚度大于 0.2m 的软弱夹层、泥化层需单独建模，禁止合并或删除。
	体积大于 1m³的溶洞或采空区，应如实反映其空间形态和边界，尺寸简化误差不得超过 5%。
竣工移交	开挖揭露的实际地质界面、断层迹线、地下水出露点，应与竣工地质资料完全一致，不得进行任何概化。

5.3 水工建筑物

5.3.1 坝工

坝工模型简化应符合以下要求：

- a) 各设计阶段模型应保留坝顶、上下游坝面、坝肩衔接面等核心轮廓。坝体中心线、特征高程、关键断面尺寸的简化偏差不宜超过设计值的 1‰。
- b) 混凝土坝 LOD2.0 及以下精度可删除表面倒角（半径小于 0.5m）、非结构性装饰纹理；LOD3.0 及以上精度应保留所有分缝、廊道（尺寸大于 1.5m×2.0m）、孔洞（直径大于 1.0m）及止水结构。
- c) 土石坝、堆心重力坝等应完整保留防渗体、反滤层、排水体的分层界面，不得将其合并为单一实体。
- d) 坝体及工程核心影响区内的断层、软弱夹层禁止简化。

5.3.2 厂房

厂房模型简化应符合以下要求：

- a) 应保留厂房轮廓、轴线、层高及与坝体的衔接关系，其空间定位偏差不宜大于±20mm。
- b) 主厂房中发电机层、水轮机层、安装间及其结构楼板的标高与板厚信息应完整保留，不应简化。
- c) 面积小于 1.0 m²或任一维度尺寸小于 0.5m 的内部非承重隔墙、洗手间及小型储物间，可删除或简化为单一空间占位体块。
- d) 不得删除或移动所有影响设备吊装、运输通道净空尺寸的结构构件。
- e) 厂房结构构件中梁、柱及承重墙体简化时，包络尺寸偏差不应大于±10mm。直径小于 50mm 的非结构性、用于固定管道、支架的小型预埋件的功能性预埋件可删除；受力钢筋、预应力筋、受力锚栓等结构预埋件不得简化。。
- f) 地下洞室群中主变洞、母线洞、尾闸洞的轴线、轮廓、支护结构应保留。锚杆、锚索可简化为点图元或线图元，但应表达其布置范围与间排距。

- g) 各洞室之间的交叉、贯通口应保留，其空间位置偏差不应大于 $\pm 20\text{mm}$ 。
- h) 管线系统中所有公称直径大于 DN100 的主管线和电缆桥架应保留，并准确表达其走向与接口。
- i) 公称直径不大于 DN50 的单个分支管线、仪表阀组可删除。无法删除的多排次要管线，应合并为等外径的束管外包络体表达。

### 5.3.3 附属建筑物

附属建筑物模型简化应符合以下要求：

- a) 泄洪通道有效过流断面的几何尺寸误差不应大于 $\pm 10\text{mm}$ ，禁止因简化而产生狭窄或阻挡。
- b) 拦污栅应保留栅面整体轮廓与主梁位置。单根栅条在 LOD3.0 及以下精度可简化为沿栅面方向的不透明面。
- c) 输水管道轴线偏差不应大于 $\pm 10\text{mm}$ 。所有伸缩节、进入孔应保留。壁厚可简化为无厚度的曲面，但应在属性中保留壁厚参数。

## 5.4 机电及金属结构

### 5.4.1 水力机械

水力机械模型简化应符合以下要求：

- a) 水轮机中转轮、导水机构等核心过流部件在 LOD3.0 及以上精度时，叶片曲面的几何简化偏差不应超过 2mm；在 LOD3.0 及以下精度时，可简化为满足水力计算边界的特征包络体。
- b) 蜗壳与尾水管内腔水体体积的简化误差不应超过原始设计体积的 $\pm 0.5\%$ 。
- c) 所有影响检修、吊运空间的设备最大外廓包络体不得简化或缩尺。
- d) 电气设备中带电体与接地体、异相导体之间的空间距离不得因简化而减小，应满足设计规范要求的最小安全净距。
- e) 电缆主桥架层数、宽度与路径应保留。路径上的弯通、三通应保留。电缆可简化为桥架容积率的属性信息。

### 5.4.2 金属结构

金属结构模型简化应符合以下要求：

- a) 应保留闸门全关和全开两个位置的运动轨迹包络。支铰、主轮的相对位置不得改变，对于厚度小于 20mm 的非受力工艺性筋板、焊脚等局部特征，可简化为平面或忽略其厚度表达。
- b) 压力钢管岔管的相贯线应精确表达，禁止使用简单的布尔并集替代。月牙肋应保留其空间占位。
- c) 启闭机运行轨道的轨顶高程、轨距以及启闭机运行极限包络空间应保留，尺寸偏差不应大于 $\pm 5\text{mm}$ 。

### 5.4.3 建设设施

建设设施模型简化应符合以下要求：

- a) 消防系统应保留消防系统中消防水池、消防泵房主要设备、消火栓箱、气体灭火瓶组、消防主管道及喷淋头布置路径，确保防火分区、疏散通道的识别。
- b) 暖通空调系统应保留暖通空调系统中冷水机组、锅炉、冷却塔、空调处理机组、风机等大型设备的外轮廓，以及主要风管、水管的走向与管径。散流器、百叶风口可采用简化图元表示。
- c) 给排水/消防系统应保留给排水系统中水泵、储水罐、主要阀门井及给排水主管路等，确保系统压力分区和高程关系的准确表达。
- d) 上述系统以外的通信、门禁、综合布线等系统的监测控制设备，应保留其主要机柜和现场控制箱的空间占位，设备内部的电路板、接线端子等可简化。

## 5.5 施工与临时工程

施工与临时工程模型简化应符合以下要求：

- a) 施工隧洞中导流洞、交通洞等过流或通行断面的有效净空尺寸不得因简化而减小。封堵体位置应保留。施工期的临时轨道、管线，在 LOD3.0 及以下阶段可简化为沿路径的空间占位符号。
- b) 围堰应保留堰顶高程、防渗结构的空間位置。堰体填筑分层可在初设阶段概化，但施工图阶段应反映实际分层厚度和材料分区。



- c) 施工道路与栈桥等干线道路路面宽度、纵坡、最小转弯半径应保留，其数值不得修改。关键施工栈桥的桥面标高与允许荷载值应作为属性挂接。
- d) 应保留料场和渣场的空间范围、容量、边界特征及与施工道路的衔接关系。料源分区、渣料分类可进行适当合并，但应保留宏观分区标识。
- e) 生产生活设施与拌合系统应保留砂石料加工系统、混凝土拌和楼（站）、综合加工厂、施工营地等主要生产生活设施的平面布置范围、主体设备的最大外包络轮廓与空间占位，以满足施工总平面布置的碰撞检查，非核心辅助设施可做最大程度的简化处理。
- f) 对于陕西省陕北黄土高原地区，施工模型应特别关注水源工程、施工临时排水、沉沙池、淤地坝造地工程等临时设施的简化表达。对于秦岭高寒地区，应保留混凝土冬季施工保温棚、骨料预热系统等临时设施的占位模型，以服务于特殊施工措施的交底与仿真。

### 5.6 实景与点云数据

#### 5.6.1 倾斜摄影模型

倾斜摄影模型的简化应在保证模型几何精度与纹理真实性的前提下，通过减面、纹理压缩、分块等技术手段降低数据体量，并应符合表 4 的要求。

表 4 倾斜摄影模型简化分阶段要求

应用阶段	项建阶段	可研阶段	初设阶段	施工图阶段
简化原则	保留区域宏观建筑、地形轮廓，可删除大量细节。	保留主要建（构）筑物、道路、水系的主体形态，简化次要地物。	保留工程区及周边所有地物的主体结构，简化非关键附属物。	保留工程区及施工区全部地物的精细结构，不得简化。
纹理处理	可采用低分辨率纹理或通用纹理替代。	可采用中等分辨率纹理，允许适度压缩。	应采用高分辨率真实纹理，允许适度压缩以平衡性能。	应采用最高分辨率真实纹理，压缩比应最小化。

#### 5.6.2 激光点云模型

激光点云模型的简化应在保留关键地物特征点、地形特征线的前提下，通过抽稀、滤波、分类等手段降低点云密度，并应符合表 5 的要求。

表 5 激光点云模型简化分阶段要求

应用阶段	项建阶段	可研阶段	初设阶段	施工图阶段
简化原则	保留宏观地形点云，可大幅抽稀。	保留区域地形骨架及主要地物轮廓点云。	保留工程区主要地形及地物特征点云，可适度抽稀非关键区域。	保留工程区及施工区全部点云，不得抽稀。
分类要求	可不进行分类。	宜进行地面点与非地面点的粗分类。	应进行地面点、植被点、建筑物点等精细分类。	应进行精细分类，并用于施工质量检测。

### 6 轻量化要求

#### 6.1 通用要求

三维模型轻量化应符合以下要求：

- a) 应结合设计协同、数字化交付、智能建造、运行管理等阶段应用场景，实施模型轻量化处理。
- b) 轻量化模型组织结构级应与原设计模型保持一致。
- c) 轻量化模型严禁出现几何失真、构件缺失、面重叠等质量缺陷。
- d) 轻量化模型外观应结合应用需求，按需控制纹理材质及关联贴图的是否导出。
- e) 轻量化模型的属性、参数应根据应用场景需求，采取保留或适度精简的方式处理。
- f) 进行多专业模型格式转换时，需统一单位制与比例。
- g) 轻量化后的模型需支持多专业统一装配、集成与浏览。
- h) 轻量化后的模型文件命名应按照 GB/T 26099.1 的规定进行，并考虑与原模型名称的继承性。
- i) 轻量化后的模型文件应保存轻量化版本标识、模型精细度等级、适用场景等关键信息。

## 6.2 设计协同

### 6.2.1 设计协同

面向设计协同应用的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 应结合数据共享、信息交换、模型浏览、成果审阅等业务需求，明确轻量化导出时的最小模型单元、几何特征、属性信息及模型外观等要求。
- b) 若原始模型包含三维标注信息，应结合设计协同审阅需求，明确是否导出该类信息。
- c) 应具备模型标注、标签设置、视点管理功能，支撑设计协同交互与过程留痕。
- d) 应具备点、线、面、体要素精准测量能力，满足设计校审数据核查及复核需求。
- e) 应具备碰撞检测能力，支持自定义碰撞检测规则，可精确定位碰撞位置，并输出检测结果。
- f) 应具备协同审阅信息留存能力，支持审阅信息内嵌存储或与轻量化模型绑定，确保过程可追溯。

### 6.2.2 工程算量

面向工程算量的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 应保留构件尺寸、材质、规格等关键属性及原始工程量参数，满足工程量的计算与统计分析。
- b) 应支持提取土建、钢筋、金属结构、机电管线等专业工程量，输出成果符合清单计量规则。
- c) 应支持按施工分部、分项及单元工程维度汇总工程量，适配分段施工组织与分段结算管理要求。
- d) 应与工程分项计价条目建立关联，统一工程量核算标准，确保数据全程可追溯、可核查。
- e) 应实现设计与施工工程量对标分析，有效排查计量偏差，保障施工成本动态可控。
- f) 应在设计变更发生时，实现关联工程量与模型同步更新。

### 6.2.3 深化设计

面向模型深化设计的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 模型精度应满足细部结构表达需要，确保符合模型校核要求。
- b) 应完整保留构件编码、材质参数及技术指标，为深化设计工程量复核、材料统计提供可靠数据支撑。
- c) 应支持按施工标段、施工段、施工工序进行分层分块，实现模型与施工区段关联匹配。
- d) 应支持施工隧洞、道路等临时工程模型的构建、细化与优化表达。

## 6.3 数字化交付

面向数字化交付应用的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 应提前完成属性数据及其他相关信息的挂接工作。
- b) 应具备唯一编码与完整属性，满足数字化交付及运行管理应用要求。
- c) 应支持与竣工图纸、设计文件、工程文档的绑定关联，支撑通过模型对资料进行检索调阅。
- d) 应支持与运维、改造及工程变更，实现业务信息与模型动态联动、同步更新。
- e) 应支持工程施工交底、施工质量管控及竣工验收提供可视化支撑。

## 6.4 智能建造

### 6.4.1 施工组织设计

面向施工组织设计应用的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 应具备唯一编码与完整属性，支持项目属性挂接，满足工程施工组织设计的应用要求。
- b) 应与施工图纸保持一致，保留施工分部、分项、单元工程及构件层级关系，满足工程分区管控需求。
- c) 应支持开展施工工序模拟、施工现场布置及空间冲突检查，指导现场标准化施工实施。
- d) 应支持与专项方案及质量安全管控资料的挂接，实现资料与模型关联查阅。
- e) 应支持按施工分区拆分模型并实现按需加载，满足多专业、多角色协同作业需求。
- f) 应兼容多终端环境，具备快速加载、三维漫游、剖切检视、空间测量及专业分层显隐功能。

### 6.4.2 施工进度管控

面向施工进度管控的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 应完整保留设备编号、运行参数、启停逻辑、管路流向、系统分区等调度核心属性，支持运行期不同工况仿真切换、工况信息联动调取，满足调度方案模拟推演需求。
- b) 应支持按区域、系统、机组进行独立显隐控制，适配运行期分时分区调度仿真、运行路径模拟、工况切换展示等仿真业务场景。
- c) 模型坐标、空间衔接关系应与工程实景严格一致，保障运行期调度动线、水流流向、设备联动等模拟仿真过程精准无误，贴合实际运行工况。
- d) 应平衡轻量化压缩比例，兼顾运行期大屏集中仿真展示、远程协同调度仿真等使用需求，确保仿真展示效率与运行逻辑完整性双重达标。
- e) 应满足机构联动、闸门启闭、机组运转、液压机构动作等仿真应用要求，保证运动逻辑与动作时序准确一致。

#### 6.4.3 施工现场管理

面向施工现场管理的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 应支持关联质量安全、物资材料及工程管控等信息，支持施工全过程资料可追溯可核查，实现多专业三维可视化集成管控。
- b) 应支持按坐标轴线及施工工序逐步生成模型，支持施工进度动画模拟，直观呈现施工推进全过程。
- c) 应支持接入实际进度数据，具备进度偏差对比分析能力，实现进度动态管控。
- d) 应支持对质量控制点、危险源及隐蔽工程进行定点标识，实现质量安全可视化与动态化管控。
- e) 应支持设置分级权限管控机制，按角色配置浏览、批注、查阅等操作权限，满足参建各方协同管理需求。

#### 6.4.4 施工过程模拟

面向施工过程模拟的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 轻量化模型应满足外形轮廓、几何尺寸、装配位置关系与原始模型保持一致。
- b) 轻量化模型应满足质量、质心、转动惯量等物理特性与原模型等效，适配吊装及运动姿态仿真精度要求。
- c) 轻量化模型应满足完整留存配合接触面、限位结构、运动副、运动轨迹等仿真关键特征，装配间隙与避让空间参数保持不变，确保干涉校核结果精准可靠。
- d) 轻量化模型应满足适配装配序列规划、拆装路径模拟、吊装过程仿真、现场动态干涉检查、施工机具运动仿真等全品类施工仿真业务。
- e) 轻量化模型应满足多工况快速调用复用需求，适配各类施工场景，兼顾运算效率与仿真准确度。

#### 6.4.5 施工质量监控

面向施工质量监控的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 轻量化模型应满足施工前期及过程管控需求，明确各工序施工标准，为现场规范作业提供指导，并能提前预判质量隐患、支撑针对性防控措施落实。
- b) 轻量化模型应具备现场实体质量管控功能，可对施工合规性进行核查、对实体参数进行校核，支撑偏差对比及整改工作，确保现场施工与设计模型一致。
- c) 轻量化模型应满足专业协同及现场质量巡查需求，可排查交叉施工碰撞隐患，支持移动端调阅，实现现场施工实际状态同步比对。
- d) 轻量化模型应具备工程验收支撑功能，可完成隐蔽工程复核、样板工程核验，为分部分项工程报验提供辅助，支撑施工质量与设计符合性核查。
- e) 轻量化模型应满足质量问题处置及资料管理需求，可实现质量问题定位、整改、溯源的闭环管理，作为质量追溯佐证资料留存归档。
- f) 轻量化模型应具备完整的竣工质量管控支撑能力，可对工程整体施工质量进行全面核对，确保符合工程竣工验收相关标准。

#### 6.4.6 施工安全管理

面向安全管理的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 轻量化模型应符合安全管理相关规范标准，确保模型数据真实准确，可作为安全验收、隐患溯源、责任认定的有效依据，保障安全管理工作依规开展。

- b) 轻量化模型应满足基础安全管控需求，精准标注高空作业、临时用电、机械作业等危险区域，划定警示范围，直观展示安全防护设施布设位置，实现危险源可视化识别，提供空间管理依据。
- c) 轻量化模型应支撑安全隐患排查工作，清晰呈现各类现场隐患点位，便于管理人员定位隐患、判定等级，为隐患整改落实提供精准指引。
- d) 轻量化模型应适配安全技术交底应用，明确各工序安全操作要求、风险提示与防护措施，统一作业安全标准，有效防范施工安全事故。
- e) 轻量化模型应服务现场日常安全巡查，实时同步现场安全施工状态，比对实际工况与模型标准差异，及时发现违规作业、防护缺位等问题，压实现场安全管控。

## 6.5 运行管理

### 6.5.1 工程安全监控

面向工程安全监控的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 应完整留存安全监测点位、监测属性、预警阈值、测点坐标等核心业务信息，支持监测数据与模型监测点位联动绑定，满足监测数据可视化展示需求。
- b) 应支持近距离剖切查看、空间测距、高差比对、风险区域圈选等实操功能，适配现场隐患排查、风险研判及安全工况复核工作。
- c) 应适配现场移动端、监控大屏等使用场景，模型体量需合理精简，保证多区域同步浏览、数据联动时流畅稳定，无卡顿现象。
- d) 应保留结构受力关键断面、节点构造等核心信息，满足安全风险评估、隐患整改指导等相关工作需求。

### 6.5.2 工程调度运行

面向工程调度运行的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 应完整保留设备编号、运行参数、启停逻辑、管路流向、系统分区等调度核心属性，支持不同工况信息联动调取，满足调度推演需求。
- b) 应支持按区域、系统、机组进行独立显隐控制，适配分时分区调度推演、运行路径模拟、工况切换展示等业务场景。
- c) 模型坐标、空间衔接关系应与工程实景严格一致，保障调度动线、水流流向、设备联动等模拟过程精准无误。
- d) 应平衡轻量化压缩比例，兼顾大屏集中展示、远程协同调度等使用需求，确保展示效率与运行逻辑完整性双重达标。

### 6.5.3 工程运行维护

面向工程运行维护的轻量化模型应符合以下规定：

- a) 应完留设备构件型号、材质、维保周期、检修点位、备品备件关联信息等运维核心属性，所有运维台账相关信息不得删减，确保运行期运维仿真、检修模拟的数据可追溯。
- b) 应保留设备接口、连接节点、易损部件、检修空间、通行通道等实用几何信息，外观装饰类非必要结构可适当简化，满足运行期检修流程仿真、故障排查模拟需求。
- c) 应支持设备巡检、故障定位、空间管理、资产盘点等可视化运维业务。
- d) 应支持与设备编码、运维台账、工单系统等关联挂接。
- e) 应具备版本管理、变更记录及版本回溯能力，支持局部构件增量更新与替换。
- f) 应支持加密及权限管控，满足运行管理中安全保密要求。

## 7 轻量化方法

### 7.1 数据内容

通过对设计模型数据提取、存储及压缩，形成轻量化模型，其数据内容应符合如下要求：

- a) 轻量化模型应涵盖组织结构、几何特征、属性数据、模型外观及三维标注等核心内容。
- b) 组织结构应包含模型结构层级关系及空间位置信息。
- c) 几何特征应包含面结构、线段和三角面等几何信息。
- d) 属性数据主要包含模型设计属性及工程参数以及自定义参数等核心信息。

- e) 模型外观主要包含颜色配置及纹理材质等视觉相关内容。

## 7.2 数据提取

### 7.2.1 组织结构

模型组织结构的提取应符合以下规定：

- a) 组织结构提取应完整继承原始模型层级架构，保持项目、标段、单项工程、单位工程、分部工程、构件逐级隶属关系不变。
- b) 模型构件编码、唯一标识、层级名称、属性关联关系完整保留，确保轻量化模型可反向溯源原始模型。
- c) 装配关系、组合关系、主次从属结构关系应完整提取，不得随意打散整体装配结构。
- d) 精简冗余层级时严禁破坏工程实际结构逻辑。

### 7.2.2 几何特征

几何特征的提取应符合以下规定：

- a) 通过几何特征离散方法或直接获取几何方法，得到离散的点、线、面数据。
- b) 几何特征离散精度可以控制模型的顶点数和面数，但应根据需求尽可能保持模型的外形特征和关键细节。
- c) 针对测量、碰撞等功能，若需严格控制几何计算精度，需完整保留拓扑面及相关信息。
- d) 针对柱体、椎体、球体等规则构建宜采用参数化方式表达，以球心、半径、中心线、壁厚、走向控制点及连接关系为核心参数进行定义，减少几何特征的数据体量。
- e) 离散网格优化中三角及多边形网格模型，需进行平滑去噪、网格精简、拓扑规整处理，优化网格分布形态，确保模型轮廓无失真。
- f) 轻量化后模型宜提供多几何表达精度，满足可视化及工程应用精度要求。

### 7.2.3 属性数据

属性参数的提取应符合以下规定：

- g) 属性数据应提取零组件名称、设计版本、变更记录、建模时间等基础信息，并应包含构件编码、标准件尺寸、规格型号、材料标号、强度等级等工程业务信息。
- a) 工程参数应提取构件几何尺寸、工程量、安装标高、构件重量、设计荷载等关键技术参数信息。

### 7.2.4 模型外观

- a) 应完整提取原始模型的外观材质、颜色、纹理、透明度等视觉属性，保持轻量化前后视觉效果一致。
- b) 纹理材质应完整提取贴图、漫反射、法线、高光、透明度、粗糙度、金属度、固有色及纹理坐标 UV 等渲染参数。
- c) 应保留构件外观与模型图层、显示样式、渲染模式的关联关系。
- d) 仅可精简高清纹理贴图分辨率，不得修改主体材质标识。

### 7.2.5 三维标注

三维标注的提取应符合以下规定：

- a) 应完整提取尺寸标注、高程标注、角度标注、文字注释、符号标记等基础三维标注信息。
- b) 应提取平行度、垂直度、同轴度、位置度等形位公差及公差基准、公差等级相关参数。
- c) 应保留三维标注所属视图视角、引线关联、剖切视图等视图布局信息。
- d) 应提取标注字体、字号、颜色、线型、线宽、标注精度等样式属性，保证轻量化后样式统一。

## 7.3 数据存储

轻量化数据存储应符合以下要求：

- a) 应基于提取的结构、几何、属性等数据，定义适配轻量化解析、加载的专用存储结构。
- b) 几何特征应采用模板-实例架构组织，实现基准模型数据复用，有效避免模型几何数据冗余。
- c) 构件材质应采用模板-实例架构组织，实现公共材质模板复用。
- d) 应完整保留原始模型装配层级、干支节点关联关系，维持模型组织结构完整性。

- e) 可视化渲染过程中,应依据存储的模板与实例映射关系,恢复所有实例的空间位置、姿态、缩放及变换参数。
- f) 轻量化存储结构应具备跨平台兼容及增量更新能力,满足不同业务场景的加载与应用要求。

#### 7.4 数据压缩

数据压缩应符合以下要求:

- a) 需选用适配的压缩算法,有效缩减轻量化文件体量、降低网络传输带宽,确保模型数据完整无缺失。
- b) 数据需具备完整的可恢复性,支持无损解压并还原原始模型数据,满足文件复用、模型迭代优化及二次修改的应用需求。
- c) 几何顶点及网格拓扑数据宜采用 MeshOpt、Draco 等算法进行压缩处理。
- d) 材质纹理资源宜采用 Draco 算法进行压缩处理。
- e) 属性及标注信息宜采用 GZip 算法进行压缩处理。
- f) 归档宜采用 LZMA 算法进行压缩处理。
- g) 需控制压缩精度损耗,确保压缩后模型的几何精度、视觉效果及标注信息符合工程应用要求,不影响后续三维可视化展示与数据分析工作开展。

#### 8 轻量化结果评价

- a) 轻量化结果应符合如下要求:
- b) 轻量化模型与原始模型空间定位应保持一致,保证在整体场景中坐标位置准确无偏差。
- c) 模型编码、构件名称、几何特征、显示材质及各类属性信息应完整保留。
- d) 原始模型与轻量化模型数据压缩比不应片面追求高倍率,应在满足精度及应用要求基础上合理优化体量,轻量化前后模型体量比宜控制在 10~144。
- e) 模型加载性能方面应满足千万级构件、亿级三角面数的承载能力,模型首个几何元素呈现耗时不宜超过 3 秒。
- f) 在通用硬件环境下,模型加载响应迅速,渲染过程流畅无卡顿,满足正常交互使用要求。
- g) 系统运行时应保持帧率稳定(大于等于 30 帧)、硬件资源占用合理,不应出现画面异常闪烁等视觉问题,保障可视化展示效果。