

ICS

CCS

团 体 标 准

T/CMES XXXX—202X

代替 T/CMES XXXX—201X

面向智能工厂仿真布局的 VR/AR 虚拟评价技术规范

Technical Specification for VR/AR-based Virtual
Evaluation of Simulation Layout in Smart Factories

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

中国机械工程学会标准征求意见稿

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

前 言 iv

引 言 v

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 技术要求 2

 5.1 总体要求与评价体系框架 2

 5.2 仿真布局模型要求 3

 5.3 虚拟评价内容 3

 5.4 虚拟评价方式 4

 5.5 评价指标体系 5

 5.6 优化与再评价 5

 5.7 系统支撑能力要求 5

6 测试方法与判定规则 7

 6.1 一般要求和测试环境 7

 6.2 模型与数据验证 8

 6.3 评价内容与评价过程验证 8

 6.4 VR/AR 评价方式验证 9

 6.5 系统支撑能力测试 9

 6.6 增强能力专项测试 10

 6.7 结果记录与判定规则 10

7 实施与推广指南（资料性） 11

 7.1 适用对象与实施条件 11

 7.2 实施准备 11

 7.3 人员与职责 11

 7.4 评价实施流程 11

 7.5 报告与归档 11

7.6 应用效果记录 12

附 录 A （资料性） 虚拟评价指标示例 13

附 录 B （资料性） 终端及系统支撑能力参数记录示例 14

附 录 C （资料性） 虚拟评价内容质量要求 16

参考文献 17

表 A.1 虚拟评价指标示例 18

表 B.1 终端及系统支撑能力参数记录示例 20

表 C.1 虚拟评价内容质量检查示例 21

表 1 系统支撑能力的适用性分层 11

表 2 测试环境和条件记录 13

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。

本文件由中国机械工程学会提出并归口。

本文件起草单位：西北工业大学、华中科技大学、武汉理工大学、无锡雪浪数制科技有限公司、吉利汽车集团有限公司。

本文件主要起草人：白晓亮、朱海平、王峻峰、郑锦泉、江克洪、马风雪、胡晓峰、吴旭敏、贺文锐、白纪龙、沈浏政、梅蔚琪、郭秦旭、张一凡。

本文件首次制定。

中国机械工程学会标准征求意见稿

引 言

智能工厂规划、建设和改造过程中，设备、工装、物流设施、人员活动区域及其运行路径之间存在复杂的空间关系。VR/AR 技术能够在设计数据和仿真结果基础上提供沉浸观察、空间测量、动态复核、协同评议、问题记录和结果追溯等手段，为布局方案的评价和优化提供直观支撑。

本文件以智能工厂仿真布局的 VR/AR 虚拟评价活动为主线，并规定完成评价任务所需的数据、模型和系统支撑能力。系统支撑能力及性能声明按照评价任务、适用条件和能力声明确定，不要求所有系统采用相同的软件架构、终端配置或增强功能。

本文件参考了 ISO 23247《制造领域数字孪生框架》、GB/T 39334.2—2020《机械产品制造过程数字化仿真 第2部分：生产线规划和布局仿真要求》、GB/T 45873—2025《信息技术 车间数字孪生参考架构》、GB/T 41255—2022《智能工厂 通用技术要求》等国内外标准，以 VR/AR 虚拟评价活动及其支撑系统为主要标准化对象，以智能工厂仿真布局为应用场景，规定基本评价要求、条件适用要求、增强能力验证方法及评价实施过程。本文件不替代布局基础设计、专业仿真、机械安全、消防、职业健康等法定验收或专业审查，也不对具体行业的工艺参数、安全距离、评价权重和项目考核指标作统一规定。对于科研项目、工程项目或合同验收的测试，仍应以受测对象对应的项目任务书、课题任务书、合同、技术协议、验收方案或其他经批准的约束性文件为直接判定依据。

面向智能工厂仿真布局的 VR/AR 虚拟评价技术规范

1 范围

本文件规定了基于 VR、AR 或二者融合技术开展智能工厂仿真布局虚拟评价时的总体要求、模型要求、评价内容、评价方式、评价指标、优化与再评价、系统支撑能力、测试方法和判定规则，并给出了实施与推广指南。

本文件适用于智能工厂规划、产线布局设计、物流系统优化、设备与工装布置、既有产线改造等场景中的 VR/AR 虚拟评价活动。

本文件不限定具体的软件架构、开发平台、算法实现方式和终端设备型号，不规定布局方案的基础设计、专业仿真算法、三维建模工具及 VR/AR 终端本体的产品要求，也不替代机械安全、消防、职业健康等法定验收或专业审查。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 38247—2019 信息技术 增强现实 术语

GB/T 38258—2019 信息技术 虚拟现实应用软件基本要求和测试方法

GB/T 39334.2—2020 机械产品制造过程数字化仿真 第 2 部分：生产线规划和布局仿真要求

GB/T 39334.3—2020 机械产品制造过程数字化仿真 第 3 部分：装配车间物流仿真要求

GB/T 43064.2—2024 智能工厂建设导则 第 2 部分：虚拟工厂建设

GB/T 44465—2024 虚拟/增强现实内容制作流程规范

3 术语和定义

GB/T 38247—2019、GB/T 38258—2019、GB/T 39334.2—2020 和 GB/T 43064.2—2024 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

仿真布局虚拟评价 Simulation layout virtual evaluation

评价人员利用 VR/AR 技术，依据预先确定的评价目标、范围、指标和判定依据，对智能工厂仿真布局进行观察、测量、检查、记录、评议和再评价的活动。

3.2

评价任务 Evaluation task

针对特定评价对象、评价目标、评价范围、评价依据、参与人员和输出要求组织开展的一次可追溯虚拟评价活动。

3.3

空间干涉 Spatial interference

对象或规定空间在同一时刻发生几何重叠，或对象之间的间隙小于评价任务规定值的情形。

3.4

运行冲突 Operational conflict

设备、物流装备、人员或物料的运动范围、路径或时序关系不满足评价任务规定要求的情形。

3.5

人因工程虚拟评价 Virtual ergonomic evaluation

在 VR/AR 环境中对作业、维护和通行活动涉及的可达性、活动空间、姿势、视线和相关人因风险进行的辅助评价。

3.6

虚实配准 Virtual-real registration

建立虚拟对象坐标与物理环境坐标之间对应关系的过程。

3.7

再评价 Re-evaluation

布局、参数、评价依据或问题处理状态发生变化后，对受影响内容重新执行检查、计算和判定的活动。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AGV：自动导引运输车（Automated Guided Vehicle）

AMR：自主移动机器人（Autonomous Mobile Robot）

AR：增强现实（Augmented Reality）

VR：虚拟现实（Virtual Reality）

5 技术要求

5.1 总体要求与评价体系框架

- a) 虚拟评价应以明确的评价任务为基础，根据评价对象、评价阶段和评价目标选择适用的评价内容、评价方式和评价指标。
- b) 评价使用的模型、数据、判定依据、问题记录、变更内容和评价结果应保持版本关联并可追溯。
- c) 评价结论应以设计文件、适用标准、项目技术要求或经确认的评价任务规定值为依据，不应仅依据沉浸观察或系统自动输出形成专业结论。
- d) 对用于科研项目、工程项目或合同验收的虚拟评价系统，测试项目、测试条件、允许值和判定规则应符合受测对象所对应的项目任务书、课题任务书、合同、技术协议、验收方案或其他经批准的约束性文件。采用本文件不应替代或降低上述文件已经规定的要求。

- e) 虚拟评价系统应具备与评价任务相适应的支撑能力；未纳入评价任务且未作能力声明的增强功能，不作为基本符合性的必要条件。
- f) 评价任务、测试方案或系统能力声明应明确适用条款、声明能力和不适用项；未声明且评价任务不要求的增强能力不纳入基础符合性判定。
- g) 涉及机械安全、消防、职业健康、工艺和人因等专业结论时，应由具备相应职责或专业能力的人员确认。
- h) 系统宜通过通用数据格式或接口获取相关模型和数据，但本文件不限定具体的数据管理系统、接口协议和软件架构。

5.2 仿真布局模型要求

5.2.1 数据来源与版本

- a) 模型和相关数据应具有来源、版本标识和生成时间；必要时还应记录数据提供方或责任单位。
- b) 评价任务应记录实际使用的数据版本；数据更新后，应识别既有评价结果可能受到的影响。
- c) 不同系统提供的数据应明确文件或接口格式及其版本、计量单位、坐标系、时间基准和对象标识规则。

5.2.2 模型组成与完整性

- a) 模型应包含完成评价任务所需的设备、工装、物流设施、人员活动区域、安全通道及其他相关对象。
- b) 模型应保留评价所需的对象标识、层级关系、几何尺寸、空间位置、类别、名称、状态和可移动性等信息。
- c) 涉及动态评价时，模型应包含或关联评价所需的运动范围、轨迹、速度、时序或状态信息，并说明其数据来源。
- d) 已知模型缺陷、未覆盖对象和数据限制应在评价开始前记录，并说明其对评价结果的影响。

5.2.3 单位、坐标与尺度

- a) 模型中的关键几何尺寸和空间关系应与设计数据保持一致。
- b) 长度、角度和时间等计量单位应统一；存在单位不一致时，应转换并保留转换记录。
- c) 坐标转换参数应可查询和追溯。采用 AR 评价时，还应记录虚拟坐标系与物理坐标系的配准关系。
- d) 模型可缩放显示，但应明确显示比例。真实尺度的测量、可达性或虚实配准判定应在真实尺度显示或经验证的等效条件下进行。

5.2.4 轻量化与导入检查

- a) 模型轻量化和格式转换不应改变评价所需的关键尺寸、空间边界、运动包络、对象标识和语义属性。
- b) 模型导入后应检查对象数量、关键尺寸、坐标位置、层级关系、属性、动态关联及上游结果关联，并形成检查记录。
- c) 发现对象缺失、比例或坐标异常、属性丢失、关联断裂等问题时，应修复后再评价；无法修复但经确认不影响评价目标时，应记录限制条件。
- d) 纹理、材质和标识等内容的制作与处理应符合 GB/T 44465—2024 的适用要求。

5.3 虚拟评价内容

评价组织者应根据评价对象、评价阶段和任务目标，从下列内容中选择适用项。未选择的内容

应在评价任务或报告中说明原因，不应要求每次评价同时覆盖全部内容。

5.3.1 布局空间评价

- a) 评价设备、工装和设施的布置关系、安装空间、维护空间和扩展空间。
- b) 评价通道、出入口、物料暂存区、人员活动区和危险区域之间的空间关系。
- c) 依据评价任务规定值检查关键距离、净空、可达性和视线遮挡。

5.3.2 物流运行评价

- a) 涉及物流任务时，评价物流路径、交叉冲突、转弯空间、拥堵点、缓冲区和配送关系。
- b) 物流效率、节拍和调度结果宜采用专业仿真结果作为输入，VR/AR 评价重点复核其与空间布局及运行过程的关系。

5.3.3 安全与人因评价

- a) 评价人员活动空间、操作和维护可达性、视线遮挡、危险区域、通行路线及安全标识可见性。
- b) 采用数字人体、姿势分析或专业人因方法时，应说明人体参数、算法、适用范围和判定依据。
- c) 体验性意见可作为问题线索和辅助证据，不应在缺少客观依据或专业复核时直接形成合规结论。

5.3.4 动态运行与干涉风险评价

- a) 涉及动态数据时，应评价设备运动、物流运行、运动包络、路径冲突和时序关系。
- b) 宜通过空间观察、测量、上游分析结果复核及适用的系统检测等方式识别布局干涉风险。
- c) 自动干涉检测不作为所有系统的必备能力。系统未声明具备该能力时，应能够支持相关问题的定位、记录、复核和再评价。
- d) 上游未提供干涉或冲突结果时，不应据此推定输入模型不存在相关问题。

5.4 虚拟评价方式

5.4.1 一般要求

- a) 应根据评价目标、现场条件、任务规模和所需精度选择 VR 评价、AR 评价或二者融合的评价方式。
- b) 系统仅支持 VR 或 AR 一种方式时，应在任务和报告中明确，不要求所有系统同时支持两种方式。
- c) 评价可采用单人评价或多人协同评价。多人协同属于条件适用能力，仅在评价任务提出要求或系统声明具备时纳入验证。

5.4.2 VR 评价

- a) VR 评价应支持与任务相适应的整体、局部和第一人称观察，以及必要的移动、旋转、缩放、复位和对象查询。
- b) 采用真实尺度评价时，应正确设置视点高度、空间比例和活动边界。
- c) 跟踪失效、帧率异常或交互不可用时，应提示使用者，并提供退出、返回或安全复位方式。

5.4.3 AR 评价

- a) AR 评价应明确采用现场原位、非原位或缩比叠加方式，并显示配准状态和显示比例。
- b) 配准或跟踪失效、置信度不足或超出声明工作范围时，应提示使用者，并限制可能导致误判的精确测量或定位结果。
- c) 虚拟内容不应持续遮蔽人员、运动设备、台阶、障碍物和安全标识等真实危险信息；无法避免时，应采用提示、透视或限制显示等措施。
- d) 缩比或非原位叠加不应用于真实尺度的安全间距或配准精度判定。

5.4.4 多人协同评价

- a) 采用多人协同评价时，应明确参与人员、角色权限、共享信息、协同区域、网络条件和结果确认方式。
- b) 系统应按评价任务或能力声明区分同一工作区协同和远程协同，并声明相应的并发人数。
- c) 共享对象、标注和问题状态发生变更时，应保持目标终端之间的一致性，并处理并发修改、权限冲突和断线恢复。

5.5 评价指标体系

- a) 评价指标宜包括布局合理性、物流运行合理性、安全与人因合理性以及评价过程质量等方面，具体示例见附录 A。
- b) 评价组织者应根据评价对象、评价阶段和任务目标选择适用指标，并在评价开始前明确指标定义、数据来源、计算或评价方法、允许值及判定规则。
- c) 指标允许值应优先采用适用的法律法规、标准、设计文件和项目技术要求。缺少统一允许值时，可采用经确认的评价任务规定值。
- d) 项目任务书、课题任务书、合同、技术协议或验收方案已经规定指标及允许值的，应采用相应规定；未作规定的，可依据适用标准、设计文件、企业技术规范、系统能力声明或经相关方确认的评价任务规定值确定。

注：本文件所称评价任务规定值，可来源于项目任务书、课题任务书、合同、技术协议、设计文件、企业技术规范、验收方案或经相关方确认的测试大纲。

- e) 采用综合评分时，应明确权重、评分锚点和汇总方法；不同评价任务可采用不同权重，不宜将固定权重作为所有场景的通用要求。
- f) 不适用指标可不纳入计算，但应说明理由；不应以综合得分抵消安全性不符合项或替代具体问题、测量结果及其证据。
- g) 用户满意度、评价效率提升、问题发现数量变化等应用效果指标可单独记录，不纳入基本符合性判定。

5.6 优化与再评价

- a) 评价发现问题后，宜形成优化方案，并对变更可能影响的内容开展再评价。
- b) 优化可在虚拟评价系统内完成，也可在上游设计、仿真或专业分析系统中完成。
- c) 修改操作不应直接覆盖评价使用的原始版本，应形成新版本或可恢复记录。
- d) 再评价应识别受影响的对象、运行关系、指标、问题和判定结果，并明确采用系统检测、人工辅助复核或上游专业系统复算等验证路径。
- e) 再评价应记录变更对象、变更版本、影响范围、评价条件、结果、证据和复核人员。未经再评价确认的受影响问题，不应标记为已验证关闭。
- f) 系统内直接编辑、自动重算、自动更新评分、自动生成优化方案及优化前后动态叠加等功能为可选增强能力，一经声明具备，应按 6.6 进行验证。

5.7 系统支撑能力要求

5.7.1 一般要求

系统应具备完成评价任务所需的模型与场景管理、呈现与交互、检查与测量、问题记录和结果输出能力。动态评价、AR 配准、多源信息可视化、多模态交互、多人协同、自动干涉检测和 AI 辅助等能力仅在评价任务要求或系统声明支持时适用。

表 1 系统支撑能力的适用性分层

能力类别	基本要求	适用或声明后要求	增强能力
模型与场景	导入、加载、对象查询、版本识别、场景保存	动态数据关联、跨端资源关联	自动转换、自动修复
评价交互	观察、视角控制、对象选择、问题记录	空间测量、多模态交互、AR 配准	自然语言或智能代理交互
评价协同	角色与结果确认	多人同区或远程协同	智能冲突协调
检查与优化	问题定位、证据、再评价闭环	动态回放、上游结果复核	自动干涉检测、自动优化
结果输出	问题、测量、结论和限制条件	跨端回传、报告归档	自动摘要和智能建议

5.7.2 场景呈现与交互

- 系统应支持模型导入、加载、分层显示、对象查询、版本识别和场景保存。模型或数据加载失败时，应给出可识别的提示。
- 系统应支持与评价任务相适应的移动、旋转、缩放、复位、整体观察和局部观察，并明确裁切、透明或剖视等显示状态。
- 对象名称、状态、单位、告警和操作结果应清晰一致，非任务信息不宜过度遮挡评价对象。

5.7.3 空间测量与问题记录

- 系统应支持评价任务需要的距离、高度、角度、间隙或其他空间量测量，并显示单位和测量结果。
- 测量点、被检查对象和检查结果应能够与评价任务、数据版本和问题记录关联。
- 问题记录应至少包括编号、对象或位置、描述、证据、发现人、时间、严重程度和处理状态。

5.7.4 多源信息可视化与多模态交互

- 系统声明支持多源信息可视化时，应列明显示终端类型、信息源类型与数量、数据显示形式、适用场景和位置或上下文敏感的信息推送规则。
- 系统声明支持多模态交互时，应列明交互模态、交互功能、适用终端、触发条件和反馈方式。
- 不同终端或交互方式承载同一任务时，任务标识、对象标识、数据版本、问题编号和状态应保持一致或建立可追溯映射。

5.7.5 目标跟踪、虚实配准和 AR 状态提示

- 系统声明支持目标识别、跟踪或注册时，应声明目标类别、目标数量、尺度范围、工作距离、环境条件、识别或预测准确性、跟踪注册误差和延迟等适用参数。
- AR 虚实配准应记录配准方式、参照物、坐标转换关系、工作区域和状态。
- 目标丢失、配准失效或超出声明条件时，应给出提示，不应继续输出无提示的精确测量或

定位结果。

5.7.6 多人协同和跨端业务关联

- a) 系统声明支持多人协同时，应显示参与者身份、角色、在线状态和必要的操作状态。
- b) 系统声明支持多人协同时，应声明同一工作区及远程协同的用户数量、终端类型、网络条件、共享对象和同步范围。
- c) 任务、场景、资源、用户、问题、证据、状态和结论在不同终端之间传递时，应保持唯一标识、版本和关联关系。
- d) 关键协同及跨端业务操作应形成可查询记录，包括执行人、时间、对象、状态变化和结果。

5.7.7 AI 辅助和自动化能力

- a) 系统声明支持 AI 辅助时，应明确输入信息、输出类型、响应时间的起止事件、适用范围和限制条件。
- b) AI 建议应可识别、可复核，并由有权限的人员决定采用、修改或驳回；AI 输出不应直接替代评价结论。
- c) 自动干涉检测、自动评分、自动优化和自动报告摘要等能力均应保留输入、参数、输出、版本和人工确认记录。

5.7.8 性能声明与使用安全

- a) 系统应声明典型场景和最大声明场景的对象数、三角面数、动态对象数、终端配置、网络条件，以及适用时的并发用户数等测试条件。
- b) 渲染帧率、交互响应时间、跟踪误差、空间测量误差、AR 配准误差、状态更新时间、连续运行时间和协同同步时间等指标，应按适用的规范性引用文件、系统声明值或评价任务允许值确定。
- c) 性能声明应明确测量对象、单位、起止事件、样本数量、重复次数和统计口径。结果宜报告平均值、最大值和 95%分位值，并记录异常、超时或丢失次数。
- d) 系统实测结果不应劣于系统声明值，也不应超过评价任务规定的允许值。未形成统一允许值的指标，可记录实测结果，不作为基本符合性的通用判定线。
- e) VR/AR 使用区域、连续使用时间、休息安排和监护措施应根据终端说明、评价任务、人员状态和现场风险确定。

6 测试方法与判定规则

6.1 一般要求和测试环境

- a) 测试应覆盖基本评价要求、评价任务适用的系统支撑能力以及系统已声明的增强能力。未声明且任务不要求的增强能力不纳入基本符合性测试。
- b) 测试前应冻结被测系统和软件版本、接口规范、数据字典、终端配置、模型版本、测试脚本和判定依据。采用等效实现方式时，应记录字段、状态或功能映射关系。
- c) 测试前应识别被测对象适用的项目任务书、课题任务书、合同、技术协议和验收要求，并建立“项目任务指标—本文件适用条款—测试项目—判定依据—证据材料”的对应关系，同时区分系统能力测试、评价过程验证和增强能力专项测试。
- d) 上述文件已经明确测试对象、测试条件、指标阈值、样本数量或考核方式的，应按照其规定实施测试；未明确的内容，可依据本文件、其他适用标准、系统能力声明或经确认的评价任务规定值确定。
- e) 本文件中超出项目约束文件范围的条件适用要求和增强能力，除非已纳入评价任务或系统

能力声明，不应直接转化为该项目的验收判据。

- f) 用于距离、角度、时间、位姿或配准测试的设备和装置应经校准或具有可追溯基准，其精度应满足被测指标要求。
- g) 性能测试应在相同条件下重复进行。测试报告应说明重复次数、异常值识别规则、统计方法和可能影响结果的不确定度来源。
- h) 测试场景宜包括功能测试场景、典型应用场景、最大声明场景和增强能力专项场景；不要求所有系统使用完全相同的固定场景组成。

表 2 测试环境和条件记录

类别	至少记录的内容
系统与主机	系统名称与版本、操作系统、CPU、GPU 及驱动、内存、存储和后台进程限制
终端与外设	VR/AR 终端、显示设备、定位与交互设备、固件、工作模式和连接方式
模型与数据	模型版本、对象数、三角面数、纹理、动态对象、信息源、场景时长和已知限制
网络与协同	拓扑、带宽、时延、抖动、丢包、并发人数、终端分布和同步对象
AR 环境	评价区域、工作距离、光照、遮挡、参照物、跟踪与配准方式
任务与方法	任务脚本、判定依据、允许值、系统声明值、测量工具、重复次数和统计口径

6.2 模型与数据验证

- a) 选取具有明确来源、版本和生成时间，并包含几何、属性、层级、对象标识、动态关联和上游结果的测试数据，执行导入、保存、重新加载及必要的导出或回传。
- b) 比较源数据与系统内数据的对象数量、关键尺寸、坐标、单位、标识映射、属性、关联关系和结果定位，记录缺失、替换和转换项。
- c) 设置单位不一致、坐标异常、对象缺失、标识冲突、属性缺失和关联断裂等异常，检查系统提示、阻断或限制说明。
- d) 对轻量化模型抽取关键对象进行尺寸、边界、运动包络和属性复核，确认不影响评价目标。
- e) 更新模型或资源版本，检查评价任务中的版本记录、影响提示和既有问题关联。
- f) 检查评价任务、模型对象、问题记录、证据材料和评价报告之间的标识及版本关联，确认不存在静默替换、对象错配或结果错挂。

6.3 评价内容与评价过程验证

- a) 建立具有明确对象、目标、范围、依据、人员和输出要求的典型评价任务。
- b) 检查是否根据任务选择适用的评价内容、评价方式和评价指标，并在评价开始前确定允许值和判定规则。
- c) 在场景中设置设备布置、通道、可达性、物流路径、视线或动态关系等代表性问题，检查系统能否支持观察、测量、定位、记录和复核。

- d) 检查问题是否关联对象或位置、证据、数据版本、发现人员、严重程度和处理状态。
- e) 对预设对象或运行关系实施变更，检查是否形成新版本、识别影响范围、执行再评价并更新问题状态。
- f) 检查评价报告与任务、输入数据、问题、证据、变更、再评价和确认记录的一致性。

6.4 VR/AR 评价方式验证

6.4.1 VR 评价验证

- a) 验证整体、局部和第一人称观察，移动、旋转、缩放、复位、对象查询及评价任务要求的交互操作。
- b) 在真实尺度任务中验证视点高度、空间比例和测量状态。
- c) 模拟跟踪失效、交互不可用和帧率异常，检查提示、限制和安全退出机制。

6.4.2 AR 评价验证

- a) 在系统声明的评价区域、工作距离、光照和遮挡条件下设置可追溯参照点，验证配准过程、配准状态和误差测量。
- b) 改变观察位置、距离、光照和遮挡，检查跟踪或配准失效提示以及超出工作范围时的结果限制。
- c) 设置人员、运动设备、台阶、障碍物和安全标识等真实风险目标，检查虚拟内容遮蔽控制和风险提示。
- d) 检查原位、非原位和缩比叠加的状态提示、显示比例和测量限制。

6.5 系统支撑能力测试

6.5.1 呈现、交互和空间测量

- a) 按评价任务脚本执行场景加载、视角操作、对象查询、测量、问题记录、保存和恢复，检查功能正确性及异常提示。
- b) 采用可追溯尺寸基准，在不同距离、方向和量程内测试空间测量误差和重复性。
- c) 在典型场景和最大声明场景下测量渲染帧率、交互响应、状态更新时间和连续运行稳定性，并记录统计结果。

6.5.2 多源信息可视化和多模态交互

- a) 按系统声明或评价任务要求，核对显示终端、信息源类型与数量、显示形式、适用场景和位置敏感推送。
- b) 逐项执行声明的交互模态和交互功能，检查识别、触发、反馈、失败提示及不同终端间的数据一致性。

6.5.3 目标跟踪和虚实配准

- a) 按系统声明或评价任务要求设置目标类别、数量、尺度、距离和环境条件，测试目标识别、跟踪和注册。
- b) 统计识别或预测准确性、跟踪注册误差和延迟时，应固定真值、起止事件、样本量和统计口径，并与评价任务规定值或系统声明值比较。

6.5.4 多人协同和跨端业务关联

- a) 按评价任务或系统声明的并发用户数建立同一工作区或远程协同任务，执行对象变更、标注新增、问题状态变更和权限冲突操作。
- b) 检查任务、场景、资源、用户、问题、证据、状态和结论在不同终端间的标识及版本一致性。
- c) 在声明的典型和不利网络条件下记录同步时间、超时、丢失、冲突和断线恢复情况。

6.5.5 报告、权限和追溯

- a) 完成一次包含任务建立、问题记录、变更、再评价和结果确认的完整任务，生成或导出报告并逐项核对。
- b) 验证角色权限同时覆盖界面入口和相应操作，关键业务动作能够通过任务生命周期、审批记录、集成记录或日志追溯。
- c) 报告形式和文件格式按评价任务或冻结需求执行，重点检查内容、编号、版本和证据关联，不额外派生未规定的版式或性能指标。

6.6 增强能力专项测试

6.6.1 自动干涉检测

- a) 仅在系统声明具备自动干涉检测能力或评价任务提出要求时开展专项测试。
- b) 测试前应固定检测对象、检测类型、几何表示、间隙阈值、时间步长和真值判定方法。样例集应包含正样本、负样本和边界样本。
- c) 应统计检出、漏检、误报、结果定位和证据完整情况，并报告检测延迟的平均值、最大值和 95%分位值。
- d) 实测结果应与系统声明值或评价任务规定值比较；本文件不规定脱离样例集、检测范围和场景条件的统一百分比限值。

6.6.2 人因专业分析

- a) 仅在系统声明具备数字人体、姿势评分或等效专业分析能力时开展专项测试。
- b) 应固定人体参数、动作、观察时段、算法版本和参考结果，检查计算结果、风险等级和证据的可复核性。

6.6.3 AI 辅助和自动优化

- a) 检查 AI 或自动优化输出是否标明来源、输入、版本、适用范围和限制条件。
- b) 检查建议的采用、修改和驳回是否由有权限的人员确认并留痕，系统不应将未确认建议直接固化为评价结论。
- c) 涉及响应时间时，应按系统声明或评价任务规定的起止事件、样本量和统计口径进行测试。

6.7 结果记录与判定规则

- a) 测试结果应分别与受测对象所对应的项目任务书、课题任务书、合同、技术协议、验收方案等约束性文件，以及适用的规范性引用文件要求、评价任务规定值和系统声明值比较。未冻结或未形成依据的性能阈值仅记录实测结果，不作为通过或不通过判定依据。
- b) 测试同时服务于项目验收和本文件技术验证时，测试报告应分别给出项目任务要求的判定结论和本文件相关条款的验证状态。
- c) 满足项目任务书、合同或技术协议规定的指标，不等同于已经完成本文件全部条款的符合性评价；本文件涉及但未纳入项目任务范围的内容，应根据实际情况记录为“不适用”或“适用但未验证”；系统声明具备的增强能力，可另行开展增强能力专项验证。
- d) 同一指标在项目约束文件和本文件中均有要求时，应分别按各自依据作出判定，不应以其中一项结论替代另一项结论。
- e) 基本评价要求和评价任务适用的系统支撑能力均满足时，可判定符合本文件的基本要求。
- f) 条件适用要求仅在相应评价内容、评价方式或任务条件存在时纳入判定。增强能力不作为基本符合性的必要条件；系统一经声明具备相应增强能力，应通过对应专项测试。
- g) 未声明且评价任务不要求的增强能力，可记录为“不适用”，不作为不符合项。
- h) 标准涉及但本次测试范围、场景条件或送测版本未覆盖的能力，可记录为“适用但未验证”，

不应据此作符合或不符合结论。

- i) 系统支撑能力符合性与一次评价过程符合性应分别给出。系统通过能力测试，不代表任一评价任务自动符合；一次评价过程符合，也不代表系统未测试的能力符合。
- j) 应用效果、用户满意度和效率提升情况不纳入基本符合性判定，可在测试或应用报告中单独记录。
- k) 不符合项整改后可重新测试或再评价，应保留原记录、整改内容和复测结果。
- l) 结论应限定在实际测试的系统版本、终端配置、模型规模、环境和适用条件范围内，不应超出已测试能力作扩大声明。

7 实施与推广指南（资料性）

7.1 适用对象与实施条件

本章适用于智能工厂规划设计单位、仿真软件开发和集成单位、VR/AR 应用单位及生产制造企业。实施前宜具备可用于评价的布局模型、明确的评价任务、适用的终端和场地，以及必要的数据、人员和管理条件。

7.2 实施准备

- a) 明确评价目的、对象、范围、评价阶段、输入数据、评价内容、评价方式和输出要求。
- b) 核对模型来源、版本、单位、坐标、对象标识、上游分析结果和已知限制。
- c) 根据任务选择终端、主机、网络、活动区域、AR 参照物和必要的测量工具。
- d) 形成系统能力声明与任务要求对应表，避免将系统已有的全部功能自动转化为本次评价要求。

7.3 人员与职责

- a) 评价组织者负责建立任务、确定依据、组织实施和确认结果。
- b) 系统管理员负责数据导入、系统配置、权限、运行保障和日志保存。
- c) 评价人员负责按任务执行观察、测量、记录和评议。
- d) 专业复核人员负责确认涉及安全、人因、工艺等专业结论。
- e) 结论确认人员负责批准评价报告及未解决事项。

7.4 评价实施流程

- a) 建立评价任务，确定评价指标、允许值、问题严重程度和结果确认规则。
- b) 准备和检查数据、模型、系统、终端、网络、场地和人员。
- c) 按选定的评价内容和方式开展空间观察、测量、动态复核、问题记录和协同评议。
- d) 针对问题形成变更方案，在虚拟评价系统或上游系统完成修改。
- e) 对受影响内容开展再评价，确认问题状态和结论。
- f) 形成报告，经复核和批准后归档。

7.5 报告与归档

评价报告宜包括任务信息、系统与环境、输入数据和版本、评价依据、评价内容和方式、评价结果、问题与证据、变更与再评价、专业复核意见、未解决事项、限制条件和结论。任务记录、原始数据清单、问题证据、变更记录、报告和确认记录宜按委托方要求归档。

7.6 应用效果记录

应用单位可记录问题发现数量、评价周期、参与人员、重复修改次数、报告完成时间和用户反馈等信息，用于改进实施方法。应用效果受项目阶段、场景复杂度、人员经验和基准方法影响，不宜作为系统基本符合性的通用指标。

中国机械工程学会标准征求意见稿

附 录 A（资料性） 虚拟评价指标示例

表 A.1 给出了与智能工厂仿真布局及相关运行关系直接有关的指标或检查内容示例。评价组织者宜根据任务目标选择适用指标，并确定定义、数据来源、评价方法、允许值和判定规则。不宜直接套用固定权重。

表 A.1 虚拟评价指标示例

评价维度	指标或检查内容示例	主要数据或证据	允许值或判定依据
布局合理性	设备间距、安装空间、维护空间、通道净宽、区域占用、扩展空间	模型尺寸、设计图、测量记录、问题截图	适用标准、设计文件或任务规定值
物流运行合理性	路径长度、交叉冲突、转弯空间、拥堵点、缓冲区、配送关系	物流仿真结果、轨迹、回放、问题记录	专业仿真结果或任务规定值
安全与人因合理性	人员活动空间、危险区域、操作和维护可达性、视线、标识可见性	测量、数字人体、专业复核、体验意见	适用标准、人体参数或专业确认
动态运行关系	运动包络、动态碰撞、路径或时序冲突、状态变化	动态数据、轨迹、上游结果、回放证据	专业仿真结果或任务规定值
评价过程质量	数据版本、导入损失、证据完整性、问题闭环、结论可追溯性	任务记录、日志、报告、审批和归档记录	本文件第 5 章和第 6 章

采用评分法时，可设置1~5级评分锚点。例如：1表示严重不满足且影响任务目标；2表示较多不满足；3表示基本满足但仍需改进；4表示较好满足且问题较少；5表示充分满足且证据完整。具体评分定义应在任务开始前确定。

附 录 B（资料性） 终端及系统支撑能力参数记录示例

表 B.1 给出了终端及系统支撑能力宜记录的参数。设备标称参数不等同于系统实测性能，具体允许值以适用标准、系统声明和评价任务要求为准。

中国机械工程学会标准征求意见稿

表 B.1 终端及系统支撑能力参数记录示例

能力类别	宜记录的参数	测试条件	结果表达	判定依据
显示与渲染	分辨率、刷新率、平均/最低帧率、帧时间波动	终端、模型规模、可见对象和运行状态	单次值、平均、最大或 P95	适用标准、任务要求或声明值
空间跟踪	位置误差、姿态误差、工作范围、跟踪丢失	距离、方向、速度、光照和遮挡	平均、最大、P95、丢失次数	任务要求或声明值
目标识别与注册	目标类别与数量、尺度范围、准确性、误差、延迟	真值、目标布置、工作距离和环境	准确率、平均、最大、P95	任务要求或声明值
信息可视化	终端类型、信息源类型与数量、显示形式、场景和推送规则	代表性任务、数据刷新和终端组合	功能清单、正确性和异常记录	任务要求或声明值
多模态交互	交互模态、交互功能、触发与反馈、响应时间	终端、用户、动作或指令集	成功/失败、平均、最大、P95	任务要求或声明值
空间测量	量程、距离、角度、间隙误差和重复性	基准器具、方向和测量对象	误差、重复性、最大值	任务允许值或声明值
AR 虚实配准	工作区域、工作距离、配准误差和状态	参照点、光照、遮挡和观察位置	各测点、平均、最大、P95	任务允许值或声明值
多人协同	同区/远程用户数、同步对象、同步时间、冲突和恢复	网络、终端分布、并发操作	平均、最大、P95、异常次数	任务要求或声明值
AI 辅助	输入、输出、响应时间、采用/修改/驳回和人工确认	冻结模型或服务版本、代表性任务	功能正确性、响应统计和留痕	任务要求或声明值
连续运行	最长单次评价时间、异常退出、数据丢失和恢复	典型操作循环、模型和终端配置	运行时长、异常及恢复记录	任务要求或声明值

附录 C（资料性） 虚拟评价内容质量要求

表 C.1 给出了虚拟评价内容质量检查示例，可用于评价准备、过程检查和报告复核。

表 C.1 虚拟评价内容质量检查示例

质量维度	检查要求	典型证据	处置方式
数据一致性	模型、单位、坐标、对象标识和版本与设计数据一致	数据清单、导入检查、尺寸抽测	修复后评价；无法修复时记录限制
对象覆盖	任务相关设备、工装、物流、人员区域和安全通道覆盖充分	对象清单、场景截图、任务范围	补充对象或收窄评价范围
动态关联	轨迹、状态、时间基准和上游结果与对象正确关联	回放、日志、状态记录	修复关联或限制动态结论
信息呈现	名称、状态、单位、告警和辅助信息清晰，不造成关键对象遮挡	终端截图、操作录像、异常记录	调整信息层级、提示或显示规则
问题证据	问题与对象/位置、时间、证据、版本和处理状态关联	问题清单、截图、视频、测量和审批记录	补充证据或限制结论
再评价闭环	变更、影响范围、再检查、结果和问题关闭状态完整	版本记录、再评价记录和复核意见	补充再评价，不得提前关闭问题
报告一致性	报告与任务、原始记录、问题、证据和确认结论一致	报告、任务记录、日志和归档清单	更正报告并保留版本

参考文献

- [1] GB/T 38259—2019 信息技术 虚拟现实头戴式显示设备通用规范
- [2] GB/T 41255—2022 智能工厂 通用技术要求
- [3] GB/T 45873—2025 信息技术 车间数字孪生 参考架构
- [4] ISO 23247（所有部分） Automation systems and integration—Digital twin framework for manufacturing
- [5] ISO/IEC 18520:2019 Computer graphics, image processing and environmental data representation—Benchmarking of vision-based spatial registration and tracking methods for mixed and augmented reality (MAR)
- [6] ISO/IEC 25023:2016 Systems and software engineering—Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)—Measurement of system and software product quality

中国机械工程学会标准征集意见稿