

ICS XXX
CCS XXX

团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

矿山安全元宇宙技术规范

Technical Specifications for Mine Safety Metaverse
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国计算机行业协会 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 矿山安全元宇宙 (Mine Safety Metaverse)	1
3.2 AR (Augmented Reality, 增强现实)	1
3.3 XR (Extended Reality, 扩展现实)	2
3.4 分布式计算架构 (Distributed Computing Architecture)	2
3.5 微服务架构 (Microservices Architecture)	2
3.6 渲染引擎 (Rendering Engine)	2
3.7 双目立体渲染 (Stereoscopic Rendering)	2
3.8 多模态交互 (Multimodal Interaction)	2
3.9 虚拟演练 (Simulation Training)	2
3.10 实时监测与预警 (Real-time Monitoring and Early Warning)	3
4 技术架构	3
4.1 技术应用	3
4.2 基础平台层	3
4.3 渲染引擎层	4
4.4 应用层	5
4.5 交互与展示层	5
4.6 操作系统层	5
5 功能要求	6
5.1 安全管理	6
5.2 虚拟演练与培训	6
5.3 实时监测与预警	7
5.4 事故应急处置	7
6 性能指标	8
6.1 响应时间	8
6.2 并发处理能力	8
6.3 渲染性能	8
6.4 系统稳定性	8
7 安全保障	9
7.1 数据加密	9

7.2 访问控制	9
7.3 安全审计	9
7.4 抗攻击能力与漏洞修复	10
7.5 数据隐私保护	10
7.6 应急预案管理	10
附录 A 矿山安全元宇宙技术应用实例	11
A.1 实例一：某矿山安全培训系统	11
A.2 实例二：某矿山安全监测与预警平台	11
A.3 实例三：某矿山远程应急指挥系统	12

前 言

本文件依据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。

本文件由中国计算机行业协会提出并归口。

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这些专利的责任。

本文件起草单位：中国电子系统技术有限公司、中国黄金集团数智科技有限公司、中国黄金集团内蒙古矿业有限公司、长春黄金设计院有限公司、中电云计算技术有限公司、长江云通有限公司

本文件主要起草人：陆昀、武迪、张蕾、金枫、张永贵、张化武、金大有、蔡畅、葛婷婷、方益、王宪强、王景军、陈继巍、孙兴琳、张海涛、姜昭晖、杨楠、张嘉熙、仇王健、沈亮、张祥

本文件为首次发布。

1 范围

本文件旨在明确矿山安全元宇宙技术规范，特别适用于金属非金属矿山、煤矿等各类矿山的安全管理。本规范详细规定了矿山安全元宇宙技术的技术架构、功能要求、性能指标、安全保障等，着重于元宇宙技术在矿山安全培训、演练、监测和应急处置等场景的应用。

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。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

YD/T 4198-2023 虚拟现实（VR）服务中用户沉浸体验评估算法及参数

YD/T 4313-2023 增强现实（AR）应用服务平台技术功能评估规范

GB/T 38259-2019 信息技术 虚拟现实头戴式显示设备通用规范

AQ/T 2050.1—2016 金属非金属矿山安全标准化规范导则

GB 16423-2020 金属非金属矿山安全规程

GB 14161-2008 矿山安全标志

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 矿山安全元宇宙（Mine Safety Metaverse）

利用元宇宙技术构建的，专为矿山安全设计的三维沉浸式虚拟环境，用于模拟矿山实际作业场景，进行安全培训、演练、监测和应急处置等活动。

3.2 AR（Augmented Reality，增强现实）

一种将虚拟世界的数字信息与真实世界相结合的技术。通过在现实场景中叠加虚拟的图像、声音、视频等内容，AR 创造了一种增强的视听体验。在矿山安全元宇宙中，AR 技术可以用于提供实时的安全指导、标注危险区域、展示虚拟的应急设备等，以增强用户的安全意识和应急处理能力。

3.3 XR (Extended Reality, 扩展现实)

XR 是 VR (虚拟现实)、AR (增强现实) 和 MR (混合现实) 等多种技术的总称。XR 技术通过计算机和可穿戴设备, 创造出一个真实与虚拟结合、可人机交互的环境。在矿山安全元宇宙中, XR 技术可以提供更加全面、沉浸式的安全培训和演练体验, 帮助用户更好地理解 and 应对矿山作业中的安全隐患。

3.4 分布式计算架构 (Distributed Computing Architecture)

一种将计算任务分散至多个节点以提高系统计算能力和可用性的计算模式。在矿山安全元宇宙中, 它支撑大规模三维渲染和数据处理。

3.5 微服务架构 (Microservices Architecture)

一种将应用程序构建为一组小型、自治服务的方法, 每个服务都运行在独立的进程中, 通过轻量级通信机制交互。微服务架构有助于提高系统的可扩展性和可维护性。

3.6 渲染引擎 (Rendering Engine)

一种专门用于处理三维图形渲染的软件组件, 它能够将三维模型、纹理、光照等元素组合成逼真的图像或动画。在矿山安全元宇宙中, 渲染引擎是实现沉浸式体验的关键技术之一。

3.7 双目立体渲染 (Stereoscopic Rendering)

一种利用双眼视差原理, 通过为左眼和右眼分别渲染不同的图像, 从而在大脑中合成出立体视觉效果的技术。在矿山安全元宇宙中, 双目立体渲染能够增强用户的沉浸感和空间感知能力。

3.8 多模态交互 (Multimodal Interaction)

通过多种交互方式 (如手势、语音、眼动、手柄等) 与计算机系统进行交互的技术。在矿山安全元宇宙中, 多模态交互能够提供更自然、便捷的用户体验。

3.9 虚拟演练 (Simulation Training)

在矿山安全元宇宙中, 通过模拟真实的矿山作业场景和安全隐患, 让用户进行虚拟的安全演练活动。虚拟演练有助于提高用户的安全意识和应急处理能力。

3.10 实时监测与预警 (Real-time Monitoring and Early Warning)

利用传感器、数据分析等技术，对矿山作业环境中的关键参数进行实时监测，并在发现异常情况时及时发出预警信号的技术。在矿山安全元宇宙中，实时监测与预警是预防事故、保障安全生产的重要手段。

4 技术架构

4.1 技术应用

4.1.1 AI 数字人

- 1) 支持专属数字人形象的展示。
- 2) 支持专属数字人不同动作展示。
- 3) 支持专属数字人与用户对话交流。
- 4) 宜支持不同行业特性的数字人形象。
- 5) 宜支持数字人结合行业数据训练提供专业知识咨询。

4.1.2 空间计算能力

- 1) 具备 Inside-out 定位。
- 2) 具备头手 6Dof 空间交互。
- 3) 具备大空间 Outside-in 定位能力。
- 4) 具备特定 marker 识别能力。
- 5) 具备平面跟踪能力。
- 6) 具备 3D 物体识别能力。

4.1.3 系统应用

- 1) 支持展示主控室环境与操作面板。
- 2) 支持全局虚实融合投屏功能。
- 3) 支持本地无线串流和云渲染推流。

4.2 基础平台层

4.2.1 分布式计算架构与微服务架构

1) 节点数量: 根据矿山规模和需求, 系统应部署至少 10 个计算节点, 以确保高可用性和负载均衡。对于大型矿山, 推荐增加节点数量。。

2) 服务响应时间: 每个微服务的平均响应时间应不超过 50 毫秒, 对于关键服务, 建议进一步优化至更低响应时间。

3) 故障恢复时间: 在单个节点故障的情况下, 系统应在 30 秒内自动切换到备用节点, 确保服务连续性。

4.2.2 跨平台支持

1) 操作系统兼容性: 系统应支持 Windows、Linux、国产化操作系统 (如统信、银河麒麟等)。

2) 移动终端支持: 系统应能在主流智能手机和平板电脑上流畅运行, 帧率不低于 60FPS。

4.3 渲染引擎层

4.3.1 渲染引擎

1) 自主知识产权比例: 渲染引擎中自主知识产权代码的比例应不低于 80%。

2) 2D/3D 应用界面布局设计: 支持至少 5 种不同的界面布局模板, 且每种布局下的渲染效率差异不超过 5%。支持 XR 应用设计为曲面界面。

3) 具备模型加载、材质处理、光照计算、阴影渲染、后处理模块。

4) 提供物理系统、网络系统、动画系统和脚本系统, 支持复杂场景和交互的开发。

5) 具备包括 VR 资源管理、场景编辑、脚本编辑、构建打包等完整功能。

6) 支持GPU产品实时串流至XR一体机设备并自适应光学参数。

7) 实现基于技术平台的从应用到渲染引擎、编解码、推流服务等一整套工具软件 and 开发工具包。

4.3.2 资源格式与实时预览

1) 支持资源格式数量：渲染引擎应支持至少 8 种主流三维模型格式（如 FBX、OBJ、GLTF 等）。

2) 实时预览帧率：在实时预览模式下，帧率应不低于 30FPS。

4.3.3 渲染自适应优化：

性能提升比例：在不同设备上的渲染效率差异应通过自适应优化算法降低至不超过 15%。支持发布应用的渲染自适应优化，确保高中低端各类设备的渲染效率一致性。

4.4 应用层

4.4.1 三维沉浸式应用

1) 双目立体渲染效果：立体视差角度应控制在 5° 至 10° 之间，以确保舒适的观看体验。

2) 低延时渲染：渲染延时应控制在 20 毫秒以内，以确保流畅的交互体验。

4.4.2 多人协同与任务模式配置

1) 最大并发用户数：系统应支持至少 50 个用户同时在线进行协同操作。

2) 任务模式数量：系统应提供至少 20 种不同的任务模式配置，以满足不同的培训和演练需求。

4.5 交互与展示层

4.5.1 三维内容创作与展示平台

1) 内容创建效率提升：与传统代码开发方式相比，无代码平台的内容创建效率应提升至少 30%。

2) 多终端演示支持：平台应支持 PC 电脑、移动端和 XR 眼镜端的多终端演示，且各终端上的展示效果差异不超过 10%。

4.5.2 AR 效果展示

AR 标记识别率：AR 标记的识别率应不低于 90%，且识别时间不超过 200 毫秒。

4.6 操作系统层

4.6.1 混合现实计算机操作系统

1) 多模态交互支持：操作系统应支持手势交互、6Dof手柄交互、眼动交互、全局语音交互等多种交互方式。

2) 空间计算能力：

定位精度：Inside-out定位方式的精度应不低于5厘米，Outside-in定位方式的精度应不低于3厘米。

3D物体识别准确率：3D物体识别的准确率应不低于90%。

5 功能要求

5.1 安全管理

5.1.1 用户管理与权限控制

1) 用户角色数量：系统至少支持 5 种用户角色，每种角色权限明确且可动态调整，以适应不同矿山的 management 需求。

2) 权限控制粒度：细化至具体操作和功能级别，确保权限管理的精确性和灵活性。

5.1.2 安全审计与日志管理

1) 日志记录频率：系统应每分钟记录一次用户操作和系统运行状态日志。

2) 日志保留时间：日志数据应至少保留 6 个月，以便进行安全审计和故障排查。

5.2 虚拟演练与培训

5.2.1 演练场景数量与种类

系统应提供至少 20 种真实、复杂且具有挑战性的虚拟演练场景，涵盖瓦斯爆炸、火灾、透水事故等矿山常见安全隐患，每种场景包含至少 3 种演练情节。

5.2.2 演练过程指标

1) 演练开始响应时间：从用户选择演练场景到演练正式开始的响应时间不超过 10 秒。

2) 演练过程中交互延迟：用户操作与系统反馈之间的延迟时间不超过 100 毫秒。

3) 演练结果评估时间：演练结束后，系统应在 30 秒内生成详细的评估报告，包括演练

成绩、错误操作分析、改进建议等。

5.3 实时监测与预警

5.3.1 瓦斯监测

- 1) 监测精度：瓦斯浓度监测精度应达到 $\pm 0.1\%$ 。
- 2) 预警响应时间：当瓦斯浓度超过预设阈值时，系统应在 3 秒内发出预警信号。

5.3.2 火灾监测

- 1) 烟雾识别率：系统对烟雾的识别率应不低于 98%。
- 2) 火灾报警时间：从烟雾被识别到发出火灾报警的时间不超过 5 秒。

5.3.3 透水监测

- 1) 水位监测精度：地下水位监测精度应达到 ± 1 厘米。
- 2) 透水预警时间：当水位异常上升或达到预警阈值时，系统应在 10 秒内发出预警。

5.3.4 实时监测参数

- 1) 设备运行状态监测：系统应能实时监测至少 10 种不同的设备运行状态参数。
- 2) 人员位置与环境参数监测：系统应能实时监测人员位置和环境参数（如温度、湿度、气体浓度等），监测精度不低于 90%。

5.3.5 预警与报警功能

- 1) 预警阈值设置：系统应允许用户自定义预警阈值，且预警触发时间不超过 5 秒。
- 2) 报警通知方式：系统应通过声音、弹窗、短信等多种方式及时通知相关人员，报警通知的准确率应不低于 99%。

5.4 事故应急处置

5.4.1 应急预案数量

系统应内置至少 15 种针对不同类型矿山事故的应急预案。

5.4.2 应急响应速度

- 1) 事故识别时间：系统从接收到事故信号到识别事故类型的时间不超过 5 秒。
- 2) 应急方案启动时间：识别事故后，系统应在 10 秒内自动启动相应的应急预案。

5.4.3 应急通讯保障

在事故状态下，系统应确保与所有相关人员的通讯畅通无阻，通讯延迟不超过 200 毫秒。

6 性能指标

6.1 响应时间

6.1.1 系统启动时间

从启动命令发出到系统完全可用的时间应不超过 3 分钟。

6.1.2 关键操作响应时间

如打开应用、加载场景等关键操作的响应时间应控制在 2 秒以内。

6.2 并发处理能力

6.2.1 最大并发用户数

系统应支持至少 50 个用户同时在线，且在高并发情况下系统的响应时间延长不超过 50%。

6.2.2 资源占用率

在高并发情况下，CPU 和内存的占用率应分别控制在 80%和 70%以内。

6.3 渲染性能

6.3.1 帧率稳定性

在不同场景和视角下，系统的帧率波动应不超过 10FPS。

6.3.2 画质清晰度

渲染出的图像质量应达到 4K 分辨率标准，且无明显锯齿或模糊现象。

6.4 系统稳定性

6.4.1 系统崩溃率

系统崩溃率应低于 0.01%，以确保长时间运行的可靠性。

6.4.2 恢复时间

在发生系统崩溃或故障后，系统应能在 3 分钟内自动恢复或切换至备用系统，确保服务的连续性。

7 安全保障

7.1 数据加密

7.1.1 加密算法

应采用 AES-256 等高强度加密算法对敏感数据进行加密存储和传输。

7.1.2 密钥管理

应建立严格的密钥管理制度，确保密钥的安全存储和定期更换。

7.2 访问控制

7.2.1 身份验证机制

应采用双因素身份验证等机制确保用户身份的真实性。

7.2.2 访问控制策略

应实施基于角色的访问控制策略，确保不同用户只能访问其权限范围内的资源。

7.3 安全审计

7.3.1 审计日志分析频率

每周全面分析安全审计日志，及时发现安全风险。对于大型或高风险矿山，建议增加分析频率。

7.3.2 应急响应机制

建立应急响应团队和预案，确保安全事件迅速响应。增加对应急响应流程、资源调度和信息共享的具体要求。

7.4 抗攻击能力与漏洞修复

系统应具备抵御常见网络攻击的能力，如 DDoS、SQL 注入等。发现漏洞后，应在 24 小时内完成修复，确保系统安全。

7.5 数据隐私保护

实施数据脱敏处理，遵循最小化数据收集原则，确保用户隐私安全。对敏感数据进行严格访问控制，防止数据泄露。

7.6 应急预案管理

7.6.1 应急预案更新

应定期（每年至少一次）对内置应急预案进行审查和更新，以反映最新的矿山安全规定、技术发展和应急处置经验。

7.6.2 应急预案验证

应定期组织模拟演练或测试，以验证应急预案的有效性和可操作性。演练结果应详细记录并分析，用于改进和优化应急预案。

附录 A 矿山安全元宇宙技术应用实例

A.1 实例一：某矿山安全培训系统

A.1.1 系统概述

某矿山引入了矿山安全元宇宙技术，构建了一套全面的安全培训系统。该系统利用虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术，模拟真实的矿山作业环境，为矿工提供沉浸式的安全培训体验。

A.1.2 功能特点

三维沉浸式环境：系统创建了高度逼真的矿井下环境，包括巷道、工作面、设备等，让矿工能够身临其境地感受实际作业场景。

虚拟演练：系统提供了多种虚拟演练场景，如瓦斯爆炸应急处理、火灾逃生演练等，帮助矿工熟悉应急预案和操作流程。

实时监测与预警：通过与矿山现有的监测系统对接，系统能够实时显示瓦斯浓度、温度等关键参数，并在异常情况下发出预警信号。

交互性：矿工可以通过手柄、语音等多种方式与系统进行交互，提高了培训的参与度和效果。

A.1.3 应用效果

该系统自投入使用以来，显著提高了矿工的安全意识和应急处理能力。通过虚拟演练，矿工能够更快速地响应紧急情况，减少了安全事故的发生。同时，实时监测与预警功能也为矿山的安全生产提供了有力保障。

A.2 实例二：某矿山安全监测与预警平台

A.2.1 系统概述

某矿山企业利用矿山安全元宇宙技术，搭建了一套集监测、预警、应急响应于一体的安全监测与预警平台。该平台整合了多种传感器和数据分析技术，实现了对矿山作业环境的全面监控。

A.2.2 功能特点

多参数监测：平台能够实时监测瓦斯浓度、温度、湿度、风速等多种参数，为安全生产提供数据支持。

智能预警：通过数据分析算法，平台能够在异常情况发生前发出预警信号，提醒相关人员及时采取措施。

三维可视化展示：利用 XR 技术，平台将监测数据以三维图形的形式展示出来，便于用户直观地了解矿山作业环境的安全状况。

应急响应：平台内置了多种应急预案，当发生安全事故时，能够迅速启动相应的应急方案，指导人员进行救援和处理。

A.2.3 应用效果

该平台的使用大大提高了矿山的安全管理水平。通过实时监测和智能预警，企业能够及时发现并处理安全隐患，避免了多起潜在的安全事故。同时，三维可视化展示功能也让企业管理人员能够更直观地了解矿山的安全状况，为决策提供了有力支持。

A.3 实例三：某矿山远程应急指挥系统

A.3.1 系统概述

某大型矿山企业为了提升应急响应能力，引入了矿山安全元宇宙技术，构建了一套远程应急指挥系统。该系统能够实现远程监控、应急指挥、资源调度等功能，为矿山的应急管理提供了有力支持。

A.3.2 功能特点

远程监控：系统能够实时获取矿山的监控视频和传感器数据，为应急指挥提供第一手信息。

应急指挥：在发生安全事故时，系统能够迅速启动应急指挥流程，调度相关资源进行救援和处理。

资源调度：系统能够根据应急需求，自动或手动调度矿山内的救援设备、人员等资源，确保救援工作的顺利进行。

多模态交互：系统支持语音、视频、文字等多种交互方式，便于指挥人员与现场人员进行沟通。

A.3.3 应用效果

该远程应急指挥系统的使用显著提升了矿山的应急响应速度和救援效率。在多次模拟演练和实际应急事件中，系统均能够迅速启动应急指挥流程，调度资源进行有效的救援和处理。同时，多模态交互功能也提高了指挥人员与现场人员的沟通效率，为救援工作的顺利进行提供了有力保障。