



中华人民共和国黄金行业标准

YS/T XXXX—202X

智能制造 黄金行业数字仿真 通用技术要求

Intelligent manufacturing — Digital simulation in gold industry —
General technical requirements

(征求意见稿)

202X-XX-XX发布

202X-XX-XX实施

中华人民共和国工业和信息化部

发布

目 次

前言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 1

 4.1 总体要求 1

 4.2 数字仿真总体框架 1

5 基础设施 2

 5.1 信息基础设施 2

 5.2 生产设备数字化 2

 5.3 网络建设 2

6 数据集成 3

 6.1 一般要求 3

 6.2 设备几何模型数据库 3

 6.3 生产数据库 3

 6.4 工艺数据库 4

7 仿真计算 4

 7.1 一般要求 4

 7.2 数值仿真 4

 7.3 混合建模 5

 7.4 动态仿真 5

8 仿真技术要求 5

 8.1 一般要求 5

 8.2 设备仿真 5

 8.3 单元流程数字仿真 5

 8.4 全流程数字仿真 6

附录 A（资料性） 关键设备数据字典 7

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。

本文件由中国黄金协会提出。

本文件由全国黄金标准化技术委员会（SAC/TC 379）归口。

本文件起草单位：紫金矿业集团股份有限公司、长春黄金研究院有限公司、矿冶科技集团有限公司、……

本文件主要起草人：

智能制造 黄金行业数字仿真 通用技术要求

1 范围

本文件规定了黄金行业数字仿真的总体框架、基础设施、数据集成、仿真计算和仿真模型等技术要求。

本文件适用于黄金选矿、冶炼相关设备和流程的数字仿真实施过程。

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 41255 智能工厂 通用技术要求

GB 50782 有色金属选矿厂工艺设计规范

GB/T 51196 有色金属矿山工程测控设计规范

YS/T 3046 黄金行业数字化车间 通用要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

设备仿真 **equipment simulation**

通过数字模型对生产设备的运行状态进行虚拟仿真，模拟设备在不同工况下的负荷、转速、温度、压力等参数的变化。

3.2

单元流程数字仿真 **unit process digital simulation**

对生产工艺中的各单元环节进行数字化建模与仿真，模拟各单元流程的运行状态与工艺参数变化。

3.3

全流程数字仿真 **whole process digital simulation**

对整个生产流程从原料输入到最终产品输出的所有环节进行数字化建模和仿真，整合各单元流程和设备的数据，实现全流程的优化和协同。

4 总则

4.1 总体要求

黄金行业数字仿真应依托神经网络、人工智能模型等数据驱动的建模方法，利用大数据处理、知识提取等新一代信息技术，对黄金选矿、冶炼生产过程进行模拟，通过对生产中的关键设备、单元流程和全流程进行数字建模和仿真分析，为优化生产工艺、设备提供解决方案，提升生产效率，推动企业数字化生产经营目标实现。

4.2 数字仿真总体框架

本文件主要结合黄金行业生产实践，涵盖了黄金行业数字仿真所需的基础设施、设备建模、单元流程和全流程的数字仿真方向及技术要求，总体框架如图 1 所示。



图1 黄金行业数字仿真总体框架

5 基础设施

5.1 信息基础设施

信息基础设施应符合黄金行业生产工艺流程的要求，完善信息安全建设，实现各工艺流程基础设施的互联互通，确保设备间通讯和数据交互顺畅，具体要求如下：

- a) 应建设有效的信息安全管理体系，确保数据在传输、存储和处理过程中的机密性、完整性和可用性；
- b) 应采取防火墙、加密、身份认证等技术手段，防止非法访问和数据泄露；
- c) 设备和系统应定期进行安全漏洞扫描与风险评估，并根据评估结果及时修复安全漏洞；
- d) 应建立数据备份机制，定期对生产运行数据、关键业务数据及系统配置数据进行备份，明确备份周期、备份方式及数据恢复流程，降低系统故障或数据损坏后风险；
- e) 应建立应急响应机制，确保在信息安全事件发生时，能够及时采取有效措施进行处理，减少潜在的损失；
- f) 信息基础设施建设与生产设备数字化应符合 YS/T 3046 的要求。

5.2 生产设备数字化

结合黄金生产工艺流程，应用自动控制和智能感知技术，实现生产设备数字化，具体要求如下。

- a) 自动化控制。应支持设备的自动化控制，能够根据实时数据自动调整设备运行参数。
- b) 智能感知与数据采集。应在设备上部署智能传感器、数据采集装置、摄像头、射频识别（RFID）等设备，全面采集设备状态、工艺参数及其他相关数据。
- c) 互联互通。设备应通过工业网络与服务器连接，实现设备数据的实时传输、存储与管理，确保设备与生产控制系统、数据采集系统和监控平台之间的信息流畅通。
- d) 生产过程监控。应通过数字化系统对设备的运行状态、工艺参数、质量指标等进行实时监控和分析。
- e) 远程监控与操作。操作人员可通过远程平台查看设备状态，获取实时数据，实施远程操作。
- f) 生产设备数字化建设中的测控与自动化设计应符合 GB/T 51196 的要求。

5.3 网络建设

5.3.1 应建设覆盖设备区域的工业网络，采用工业以太网、工业光纤网络、工业总线、3G/4G/5G、窄

带物联网等有线和无线通信技术，实现数据互联互通。

5.3.2 应保障控制网络的通信畅通。

5.3.3 应确保网络通讯质量的稳定性和可靠性，并具备冗余备份功能，以确保数据传输的稳定性和安全性。

5.3.4 应实现局域网与广域网的数据访问与交互，支持远程操作与监控。

5.3.5 应采用分布式工业控制网络，建设基于软件定义的敏捷网络，实现网络资源优化配置，网络架构包括设备层、控制层和管理层，以支持不同层级的控制需求和数据流动。

5.3.6 网络性能应满足黄金行业各流程的数据交互和数据传输要求。

6 数据集成

6.1 一般要求

应通过设备和系统的集成，实现生产数据的高效交互与共享，支持生产关键环节的动态监控和优化。

6.2 设备几何模型数据库

6.2.1 通过几何概念描述黄金行业设备的物理形状、工艺设备的形象联系数据，利用计算机图形学和计算机辅助设计技术建立二维和三维几何模型，用于构建黄金生产行业的设备和工艺流程模型库。数据库应满足如下要求：

- a) 包含设备的结构特征、工艺连接部分；
- b) 具备仿真模型及参数的识别、导入和管理功能。

6.2.2 设备几何模型的建立可采用以下方法之一：

- a) 模型导入法，从已有的设计图纸、CAD 文件或者实际设备模型中提取提取设备几何信息，并将其导入至仿真分析前处理软件，用于生成符合仿真需求的模型；
- b) 直接建模法，直接在仿真分析前处理软件中创建设备几何模型，适应特定仿真需求，并具备模型的准确性和可操作性。

6.2.3 设备几何模型应体现以下特性。

- a) 选矿设备（如破碎、磨矿、浮选等）应反映设备的操作负荷、料流、物料颗粒的分布情况等，应反映破碎、筛分、磨矿等操作中的物料流动，宜考虑设备内物料流动、粒度分布、浮选药剂与矿浆的接触过程。
- b) 几何模型应考虑冶炼设备（如浸出槽、浸出罐、压力浸出设备等）内部的液体流动、矿浆和药剂的接触面积，模拟金属和溶剂的溶解反应过程。
- c) 选矿设备：如破碎机、磨矿机、浮选机等。模型应反映设备的操作负荷、料流、物料颗粒的分布情况，并模拟破碎、筛分、磨矿等过程中物料的流动和处理。宜考虑设备内物料流动、粒度分布、浮选药剂与矿浆的接触过程。
- d) 冶炼设备：如浸出槽、浸出罐、压力浸出设备等，应考虑设备内部液体流动、矿浆与药剂的接触面积、反应槽的设计与功能等，应考虑预氧化设备等其他环节设备的几何模型，反映各设备在生产过程中的作用。

6.2.4 功能接口应满足如下要求：

- a) 设备几何模型应包括与其他设备和工艺环节的连接接口，如矿石输送带、浆料管道等，模型应反映设备之间的物质流动；
- b) 浸出槽、溶解槽、混合搅拌器等，模型应考虑工艺反应的动力学和设备接口。

6.3 生产数据库

6.3.1 通过集成企业现有的单机控制系统、传感器、仪器仪表等设备，生产数据库应全面采集、监控并管理来自破碎、磨矿、分选、浸出、预氧化、冶炼等环节的数据，优化生产效率并确保工艺质量。

6.3.2 宜包含的主要数据类型及其分类，包括但不限于以下内容。

- a) 基础数据与实时监控数据。宜采集的设备、工艺、质量、环境等相关的基础数据及实时监控数据：
 - 1) 设备运行数据：如设备状态、运行参数、生产速率等；
 - 2) 工艺数据：如矿石性质、矿石品位、矿物组成等；

- 3) 质量控制数据：如金属回收率、产品含量、冶炼损耗等；
- 4) 环境监控数据：包括废气、废水、废渣的排放数据。
- b) 生产过程控制数据。宜集成的各工序和作业环节的生产操作数据：
 - 1) 选矿环节：如破碎、磨矿、浮选、浓缩等环节的物料流量、设备负荷、工艺参数；
 - 2) 浸出环节：液位、药剂投加量、反应温度、搅拌速度等；
 - 3) 冶炼环节：关键设备温度、反应时间、能量消耗、氧气流量等。
- c) 资源利用与效率数据。资源利用数据应反映能源、物料的转化与使用情况：
 - 1) 能耗：电能、燃料、热能的消耗量等；
 - 2) 回收率：贵金属回收效率及冶炼损耗率；
 - 3) 余热利用：余热回收效率与再利用数据。
- d) 环境监测数据。应采集的生产车间、库房、机房等区域的环境参数：
 - 1) 废气监控：有害气体（如氰化氢、二氧化硫）浓度、颗粒物等；
 - 2) 废水监控：废水的 pH、化学需氧量、金属离子浓度等；
 - 3) 噪声监控：工厂环境噪声强度；
 - 4) 固废监控：尾矿、冶炼渣等固废的排放量和处理状态。

6.4 工艺数据库

6.4.1 工艺数据库的设计宜整合图像识别、高温传感、震动监测、声学识别、视频监控、电磁感应等技术。

6.4.2 工艺数据库的内容宜覆盖生产设备运行状态数据，包括但不限于以下内容。

- a) 设备运行状态信号与工况参数采集，宜采用自动控制与智能感知技术，实时采集生产设备和基础设施的运行状态，具体数据来源：
 - 1) 破碎、磨矿、浮选设备：设备负荷、运行速率、温度、压力、振动等；
 - 2) 冶炼设备：温度、压力、炉内气体浓度、设备能耗；
 - 3) 关键辅助设备：泵、搅拌器、脱水设备的实时工况参数；
 - 4) 其他。
- b) 工艺过程控制数据，宜整合各生产环节的控制参数与反馈数据：
 - 1) 矿浆属性：粒度分布、浓度、pH；
 - 2) 浮选药剂：添加量、分布比例；
 - 3) 浸出与冶炼：反应条件（温度、时间）、药剂浓度、金属沉淀效率；
 - 4) 其他。

7 仿真计算

7.1 一般要求

7.1.1 应通过对生产流程中关键设备、工艺环节的模拟与优化，提升生产效率、增强系统灵活性与安全性。

7.1.2 应涵盖软测量、故障诊断、流程优化等功能，并支持实时反馈机制和动态调整。

7.2 数值仿真

7.2.1 用于模拟生产设备中物料、流体的运动行为和工艺过程，优化生产效率，提升工艺精度与设备性能，为生产过程中的优化决策提供科学依据。

7.2.2 数值仿真应满足以下要求：

- a) 通过模拟设备内物料的运动轨迹、颗粒碰撞、气泡破裂、矿浆流动、熔体流动、气体行为等过程，发现潜在瓶颈和不合理的工艺设计；
- b) 提供关键流场数据，如流速分布、压力分布、流体分布等，并具备可视化展示功能，帮助分析工艺优化潜力；
- c) 支持复杂流场的建模与计算，包括矿浆流动、气泡行为、熔体流动、气体行为等多相流模拟，以适应复杂生产工况需求。

7.3 混合建模

7.3.1 结合数值计算方法与数据驱动方法，通过实时运行数据与历史数据的结合，对设备进行优化调整。

7.3.2 混合建模应满足以下要求：

- a) 结合数值仿真与人工智能模型，构建适用的设备仿真模型，模拟物料流动、颗粒运动、气泡行为及设备运行状态；
- b) 支持生产过程中的关键参数的定量计算，包括矿浆流量、矿浆浓度、气泡行为、温度、压力等，通过优化模拟提升生产过程中的能量与物质流转效率；
- c) 分析设备与工艺的不同运行状态，通过模型预测设备性能，提供设备运行优化建议；
- d) 结合实时数据反馈，通过分析设备运行情况，自动优化设备运行参数，确保不同生产条件下的稳定性；
- e) 提供设备状态监测与故障预警功能，提前识别潜在设备故障，避免生产中断或设备损坏；
- f) 通过仿真分析不同工艺与设备配置的效果，评估其对生产效率、能耗、设备负荷等方面的影响，为生产管理提供决策依据。

7.4 动态仿真

7.4.1 通过实时数据监控和仿真分析，动态优化设备和工艺流程，确保生产过程的稳定性与高效性。

7.4.2 动态仿真应满足以下要求。

- a) 能够准确模拟设备在不同生产状态下的工作情况，实时调整操作参数，优化设备性能。
- b) 支持生产全流程的动态仿真，实时捕捉每个工艺环节的运行状态，优化工艺流程，提高资源回收率和生产效率。
- c) 根据实时数据反馈，动态调整生产操作参数，优化各工艺环节，适应复杂生产环境中的波动与变化。
- d) 具备多变量条件下的模拟能力，支持生产过程的实时反馈，确保工艺的动态适应性。
- e) 通过关键工艺节点的变化趋势分析，实时预测设备与工艺的表现趋势，发现潜在问题并采取纠正措施。
- f) 支持模拟工艺流程中的变量波动，提供灵活的控制手段，通过实时监控与调整确保生产稳定性。工艺参数监测与控制应符合 GB 50782 的要求。
- g) 仿真计算与数字仿真的设计、优化应符合 GB/T 41255 的要求。

8 仿真技术要求

8.1 一般要求

8.1.1 应对生产流程建模，实现关键设备与工艺流程的动态优化和安全管理。

8.1.2 应融合大数据分析、三维建模、冶金机理仿真及实时反馈技术，构建生产全流程的数字孪生体系。

8.2 设备仿真

8.2.1 应实现关键生产设备的运行状态模拟与性能优化，支持设备全生命周期管理和动态调节。

8.2.2 应通过建模，模拟设备在不同工况下负荷、转速、温度、压力、能耗等关键参数的运行状态。

8.2.3 应基于设备运行数据进行性能分析与故障诊断，提前识别潜在问题并提供维修建议，避免突发停机或设备性能下降。

8.2.4 应支持设备动态参数调整功能，根据实时仿真分析优化设备运行，降低能耗、提高效率。

8.2.5 应支持设备健康管理功能，通过监控运行状态和分析运行趋势，提供维护优化建议和使用寿命评估。

8.2.6 应涵盖设备能效与环保优化，模拟不同条件下的能效表现并提供节能减排建议。

8.3 单元流程数字仿真

8.3.1 实现生产工艺关键环节的建模与优化，确保单元流程的高效、稳定运行。

- 8.3.2 应反映单元流程中的生产过程，包括设备运行、物料流动、能量消耗及关键工艺参数的动态变化。
- 8.3.3 应支持多变量的仿真分析，能够模拟流量、浓度、温度等不同条件的变化对生产效率和产品质量的影响。
- 8.3.4 应根据实时数据反馈，动态调整工艺参数，确保工艺的稳定性。
- 8.3.5 应识别单元流程中的瓶颈环节，通过仿真分析提供优化策略和改进建议。
- 8.3.6 应支持单元流程与上下游流程的衔接，确保数据一致性和流程整体优化。

8.4 全流程数字仿真

- 8.4.1 对生产全流程建模与分析，实现生产流程整体的高效协同与优化。
- 8.4.2 应构建覆盖选矿、冶炼环节的全流程模型，模拟物料流动、设备运行状态、能量消耗和废气、废水排放等环境参数。
- 8.4.3 应具备实时数据反馈机制，能够动态调整仿真模型，根据生产数据优化工艺流程，最大限度提升资源利用效率并降低能耗。
- 8.4.4 应支持金属回收率等关键性能指标的监控与优化，为生产管理提供数据支持和决策依据。
- 8.4.5 应实现多场景仿真分析，模拟原料品位变化、设备负荷波动等不同生产条件的影响，识别风险并制定应对策略。
- 8.4.6 应结合数字孪生技术，与物理生产过程实现实时数据交互，确保仿真模型与实际生产同步。
- 8.4.7 应支持与企业其他系统的集成，实现数据共享和协同优化。

附 录 A
(资料性)
关键设备数据字典

各关键设备数据字典见表 A. 1~A. 7。

表 A. 1 破碎设备

序号	字段名	数值类型	字长	单位	必选/可选	报警门限	
						下限	上限
1	设备类型	字符型	50	—	必选	—	—
2	设备参数（规格型号）	字符型	100	—	必选	—	—
3	最大进料粒度	整型	4	mm	必选	—	√
4	排料粒度	整型	4	mm	必选	√	√
5	生产能力	整型	4	t/h	必选	√	√
6	电机功率	浮点	8	kW	必选	—	√
7	转速	整型	4	r/min	必选	√	√

表 A. 2 磨矿设备

序号	字段名	数值类型	字长	单位	必选/可选	报警门限	
						下限	上限
1	设备类型	字符型	50	—	必选	—	—
2	设备参数（规格型号）	字符型	100	—	必选	—	—
3	球磨机转速	浮点	8	r/min	必选	√	—
4	电机功率	整型	4	kW	必选	—	√
5	振动幅值	浮点	8	mm/s	必选	—	√
6	矿浆浓度	浮点	8	%	必选	—	√
7	矿浆粒度分布	浮点	8	mm	必选	√	√
8	磨矿能耗	浮点	8	kW	必选	√	√

表 A. 3 分选设备

序号	字段名	数值类型	字长	单位	必选/可选	报警门限	
						下限	上限
1	设备类型	字符型	50	—	必选	—	—
2	设备参数（规格型号）	字符型	100	—	必选	—	—
3	处理能力	浮点	8	m ³ /min	必选	√	√
4	药剂浓度	整型	8	%	必选	√	√
5	泡沫尺寸	浮点	8	mm	必选	√	√
6	泡沫层厚度	浮点	8	mm	必选	√	√
7	检测电压	浮点	8	kV	必选	√	√
8	检测电流	浮点	8	A	必选	√	√
9	精矿量	浮点	8	t	必选	√	√
10	药剂用量	浮点	8	t	必选	√	√

表 A. 4 浸出设备

序号	字段名	数值类型	字长	单位	必选/可选	报警门限	
						下限	上限
1	设备类型	字符型	50	—	必选	—	—
2	设备参数（规格型号）	字符型	100	—	必选	—	—
3	槽体直径	浮点	8	mm	必选	√	√
4	槽体高度	浮点	8	mm	必选	√	√
5	电机功率	浮点	8	kW	必选	√	√

表 A.4 浸出设备（续）

序号	字段名	数值类型	字长	单位	必选/可选	报警门限	
						下限	上限
6	加热功率	浮点	8	W	必选	√	√
7	叶轮直径	浮点	8	mm	必选	√	√
8	叶轮转速	浮点	8	mm	必选	√	√
9	有效容积	浮点	8	m ³	必选	√	√

表 A.5 预氧化设备

序号	字段名	数值类型	字长	单位	必选/可选	报警门限	
						下限	上限
1	温度	浮点	8	℃	必选	√	√
2	压力	浮点	8	MPa	必选	√	√
3	气体流量	浮点	8	m ³ /h	必选	√	√
4	反应时间	浮点	8	min	必选	√	√
5	氧化效率	浮点	8	%	必选	√	√
6	进料粒度	整型	4	mm	必选	√	√
7	排气成分	浮点	8	mg/L	可选	√	√
8	能耗	浮点	8	kW	必选	√	√

表 A.6 冶炼设备

序号	字段名	数值类型	字长	单位	必选/可选	报警门限	
						下限	上限
1	温度	浮点	8	℃	必选	√	√
2	气体流量	浮点	8	m ³ /h	必选	√	√
3	炉压	浮点	8	MPa	必选	√	√
4	能耗	浮点	8	kW	必选	√	√
5	冶炼时间	浮点	8	min	必选	√	√
6	炉料组成	文本型	32	—	必选	—	—
7	熔融液体排放量	浮点	8	t	必选	√	√
8	排气成分	浮点	8	mg/L	必选	√	√

表 A.7 反应设备

序号	字段名	数值类型	字长	单位	必选/可选	报警门限	
						下限	上限
1	反应温度	浮点	8	℃	必选	√	√
2	反应压力	浮点	8	MPa	必选	√	√
3	反应时间	浮点	8	min	必选	√	√
4	实际容量	浮点	8	L	必选	√	√
5	夹套容量	浮点	8	L	必选	√	√
6	内锅尺寸	浮点	8	mm	必选	√	√
7	外锅尺寸	浮点	8	mm	必选	√	√