

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

团体标准

T/CCPIA XXX—2026

农药工业智能工厂评价规范

Assessment Standard of Pesticide Industry Smart Factory

（征求意见稿）

2026 – XX – XX 发布

2026 – XX – XX 实施

中国农药工业协会 发布

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这些专利的责任。

本文件由中国农药工业协会提出并归口。

本文件起草单位：中国空分工程有限公司、浙江赫宇包装科技有限公司、江苏东宝农化股份有限公司、江苏省农用激素工程技术研究中心有限公司、江苏金旺智能科技有限公司、四川利友作物科学有限公司、山东京博农化科技股份有限公司、河北兴柏农业科技股份有限公司、广西田园生化股份有限公司、福华通达化学股份有限公司、河北临港化工有限公司、山东汇盟生物科技股份有限公司、广西田园生化股份有限公司、西门子（中国）有限公司。

本文件主要起草人：

CCPIA 团体标准征求意见稿

农药工业智能工厂评价规范

1 范围

本文件规定了农药工业智能工厂评价的指标体系构建原则、指标体系、指标说明、评价要求与方法以及评价结果应用。

本文件适用于从事农药原药(母药)及中间体生产、制剂加工生产的智能工厂规划与实施水平评价。

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 37413—2019 数字化车间 术语和定义
- GB/T 39116—2020 智能制造能力成熟度模型
- T/CCPIA 258—2024 农药工业智能工厂建设指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

基础级 basic level

具备生产线基础自动化、局部数据采集和必要过程控制能力的智能制造水平。

3.2

成长级 standardized level

具备车间层级生产过程规范化管理、多产线协同运行、关键数据互联和基本智能控制能力的智能制造水平。

3.3

规范级 collaborative level

具备工厂层级统一规划、关键制造环节数据自动采集、数据平台集成、系统互联互通和智能协同生产能力的智能制造水平。

3.4

卓越级 advanced level

具备数字化、网络化和持续优化能力,能够体系化部署智能制造装备、工业软件和系统,实现设计、生产、经营数据集成贯通,制造装备智能管控,生产过程在线优化,以及产品全生命周期和供应链全环节综合优化能力的智能制造水平。

3.5

领航级 excellence level

具备新一代人工智能等数智技术与制造全过程深度融合能力,在装备、工艺、软件和系统研发应用方面实现创新突破,形成研发方式、生产方式、服务体系和组织架构系统性创新,并对未来制造模式、产业模式和企业形态变革具有可验证的行业示范引领作用的智能制造水平。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

- AAS: 高级报警管理系统 (Advanced Alarm Management System)
- ADS: 自主决策系统 (Autonomous Decision Systems)
- AI: 人工智能 (Artificial Intelligence)

AMS: 智能设备管理系统 (Asset Management System)
 APC: 高级过程控制 (Advanced Process Control)
 BC: 批量控制 (Batch Control)
 BI: 商业智能 (Business Intelligence)
 CCTV: 视频监控系统 (Closed-Circuit Television)
 CI: 一致性指标 (Consistency Index)
 CPM: 控制性能管理 (Control Performance Management)
 CR: 一致性比例 (Consistency Ratio)
 DCS: 集散控制系统 (Distributed Control System)
 ELN: 电子实验记录 (Electronic Laboratory Notebook)
 ERP: 企业资源计划 (Enterprise Resource Planning)
 ESD: 紧急停车系统 (Emergency Shutdown Device)
 GDS: 气体检测系统 (Gas Detection System)
 HSE: 职业健康、安全及环境 (Health Safety Environmental)
 KPI: 关键绩效指标 (Key Performance Indicator)
 LIMS: 实验室信息管理系统 (Laboratory Information Management System)
 MES: 生产执行系统 (Manufacturing Execution System)
 Modbus: Modbus通信协议 (Modbus Protocol)
 MQTT: 消息队列遥测传输协议 (Message Queuing Telemetry Transport)
 OEE: 设备综合效率 (Overall Equipment Effectiveness)
 OPC UA: 开放平台通信统一架构 (Open Platform Communications Unified Architecture)
 OTS: 仿真培训系统 (Operator Training System)
 PLC: 可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller)
 RFID: 射频识别 (Radio Frequency Identification)
 RI: 随机一致性指标 (Random Index)
 SIS: 安全仪表系统 (Safety Instrumented System)

5 指标体系构建原则

5.1 科学性

真实体现农药工业智能工厂核心内涵和特征,客观、公正地反映农药工业数字化、智能化的现状及发展水平和持续改进方向。

5.2 实用性

立足工业实践,评价新一代自动化、信息化、数字化等技术农药工厂融合的能力与水平。

5.3 系统性

综合考虑农药工业智能工厂的宏观和微观状况,系统评价农药工业智能工厂的核心要素、基础能力与绩效水平。

5.4 可操作性

评价数据应易于采集、统计和分析,评价证据应可核验、可追溯,并客观反映农药工业智能工厂现状水平。

5.5 先进性

追踪新技术发展,体现农药工业智能工厂先进适用技术的应用水平。

6 指标体系

6.1 总体框架

农药工业智能工厂总体架构由运行控制、运营管理和智能决策3个部分构成（总体框架见图1）。农药工业智能工厂评价指标是以智能工厂架构为核心，评价企业在生产管理、运营管理、生产作业、研发设计等智能制造装备、工业软件和系统上数智技术与制造融合环节。



图1 农药工业智能工厂总体架构

6.2 评价指标分类

智能工厂评价指标体系由智能产线、智能车间、智能工厂三个层级组成，评价等级分别为基础级、成长级、规范级、卓越级、领航级五个等级。其中，智能产线对应基础级，智能车间对应成长级，智能工厂对应规范级、卓越级、领航级。

表1 智能工厂评价指标分类

层次	智能产线	智能车间	智能工厂
性质	具体功能单元，设备和生产线层面智能化	以生产流程为中心，强调协同和整体优化	综合集成与扩展，关注全域智能化及生态协同
核心特征	实现设备自动化运行和数据采集；重点关注生产效率、柔性化能力和过程控制智能化程度；强调生产线设备间协同和实时数据交互能力	集成多个智能产线，实现车间内系统互联与资源共享；包括生产管理、质量控制、能源管理和安全管理等智能功能；通过智能调度优化资源配置和生产效率	工厂内外部信息互联互通，打通供应链、研发、物流等环节；强调跨工厂、跨企业的智能化协同和生态系统建设；实现自主决策、自适应优化以及高水平安全和环保管理；建设信息安全团队、制度和基础设施
评价重点	生产设备自动化率、柔性化切换能力、数据采集与实时监控覆盖率、单一生产线智能管理与安全性能	车间多线协同运行、设备系统互联互通、安全环保联动响应及全过程智能管理的综合能力	聚焦智能化运营、跨工厂协同、数据互联共享、安全管理和战略执行能力的综合水平
目标	打造高效、灵活、稳定智能生产单元，形成智能化生产最小功能模块	建设车间层级智能协同管理体系，实现资源优化配置和全流程智能化运行	实现全工厂智能化运营，打造面向未来智能制造生态系统
评价对象	独立产线（仅制剂）	独立车间（原药/制剂）	原药/制剂工厂
层级	层级一	层级二	层级三
等级	基础级	成长级	规范级、卓越级、领航级

7 指标说明

7.1 智能产线评价指标说明及赋分

表2 智能产线评价指标说明及赋分

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	综合权重	赋分标准	指标说明及要求
智能产线	100%	智能传感与终端	25.8%	传感器覆盖率	49.9%	12.9%	100分：覆盖率≥95%且冗余部署达标	a. 传感器应覆盖原料投料、温湿度、压力、流量、设备状态、质量检测等关键工序，覆盖率应≥95%； b. 传感器类型应与生产工艺需求匹配，关键参数（如反应釜温度、灌装精度）应部署冗余传感器。
							60分：80%≤覆盖率<95%或冗余部署部分缺失	
							30分：50%≤覆盖率<80%	
							10分：覆盖率<50%	
				传感器精度与稳定性	16.7%	4.5%	100分：误差≤2%且校准记录完整	a. 传感器误差应≤2%，全年故障率应小于1次/年； b. 传感器校准记录应完整，校准周期应符合规定。
							50分：2%<误差≤5%或校准缺失≤10%	
							10分：误差>5%或校准缺失>30%	
				终端设备智能化	16.7%	4.5%	100分：满足全部条款	a. 终端设备宜具备自诊断故障报警、参数记录与必要的自动调节能力，高级别评价时可考察自学习能力，故障自动报警率应≥95%； b. 设备参数调整记录应自动同步至中央数据库，同步延迟应≤1秒。
							50分：仅满足自诊断功能	
							0分：依赖人工干预	
		基础自动化与控制	54.8%	设备互联性与数据共享	16.7%	4.5%	100分：完全互联互通兼容性达标	a. 设备应实现跨协议互联（如OPC UA、Modbus），数据实时共享延迟应≤1秒； b. 数据共享接口应标准化，兼容性测试通过率应≥98%。
							50分：部分互联（延迟≤5秒）	
							0分：未实现关键设备数据自动采集或系统间数据无法有效共享	
				自动化控制系统的自主性	66.8%	26.6%	100分：生产系统采用DCS/PLC等，若制剂生产线灌装、封口、贴标等环节自动化覆盖率应≥80%	a. 生产系统采用DCS/PLC等； b. 关键控制点设置安全自动连锁控制； c. 若制剂生产线灌装、封口、贴标等环节自动化覆盖率应≥80%。
							50分：关键控制点设置安全自动连锁控制	
							0分：完全依赖人工干预	
				控制系统的稳定性与安全性	18.6%	9.1%	100分：高度稳定，具备故障自诊断及应急停机功能	a. 系统全年故障率应≤0.5%，应急停机触发时间应≤5秒； b. 安全日志应加密存储，存储周期应≥3年。
							50分：稳定性较好，具备一定的故障诊断功能	
							0分：稳定性差，缺乏有效的安全保障措施	
				异常响应效率	16.6%	9.1%	100分：全自动实时响应，高危工艺异常处理时间≤30秒，普通异常≤1分钟，无人工干预	a. 高危工艺异常处理时间应≤30秒，普通异常应≤1分钟； b. 异常处理记录应自动关联至根本原因分析模块。
							50分：自动诊断并启动预案，30秒<异常处理时间≤3分钟，人工确认后执行	

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	综合权重	赋分标准	指标说明及要求
		自主运行与控制	19.4%	生产线的自适应与灵活性	50.0%	9.7%	20分：半自动响应，系统报警后人工操作处理，3分钟<平均处理时间≤5分钟	a. 生产线应支持≥3种产品形态切换，切换时间应≤1小时且质量波动≤2%； 切换参数应自动备份，历史配置调用成功率应≥95%。
							100分：高度自适应，能灵活调整生产线	
							50分：部分自适应，能调整部分参数	
				生产决策支持与优化能力	50.0%	9.7%	0分：无自适应能力，无法应对环境变化	a. 决策系统应基于实时数据生成优化方案，方案采纳率应≥85%； b. 优化效果应通过 KPI（如 OEE、能耗）对比验证，提升率应≥10%。
							100分：全程采用AI和大数据支持决策与优化	
							50分：部分过程依赖AI支持	
							0分：仅依赖人工决策，无智能支持	

7.2 智能车间评价指标说明及赋分

表3 智能车间评价指标说明及赋分

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	综合权重	赋分标准	指标说明及要求
智能车间	100%	智能产线	34.1%	智能传感与终端	25.8%	8.8%	见表2	见表2
				基础自动化与控制	54.8%	18.7%	见表2	见表2
				自主运行与控制	19.4%	6.6%	见表2	见表2
		生产管理	17.1%	生产计划与调度智能化	34.7%	5.9%	100分：全自动调度（满足全部条款，且计划调整准确率≥95%）	a. 生产调度系统应基于实时市场需求数据、原料库存数据及设备运行状态，自动生成或调整生产计划； b. 动态调整后的计划应满足资源利用率的目标； c. 常规场景下生产计划调整不应依赖人工操作； d. 计划调度管理系统与关键系统互联，实现生产数据与物料信息、库存信息及生产执行反馈信息、排放信息等数据集成，汇集各相关系统数据进行综合分析，对生产进行优化调度，辅助决策。
							50分：部分自动调度（仅满足动态调整功能，人工干预频率≤50%）	
							0分：无智能调度（完全依赖人工排程）	
				生产过程透明化与追溯能力	18.1%	3.1%	100分：全过程追溯（覆盖所有生产环节，检索响应达标）	a. 生产信息化系统应记录原料投料、加工参数、质量检测、设备状态等全环节数据；

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	综合权重	赋分标准	指标说明及要求
							50分：部分环节追溯（覆盖关键环节≥60%，检索响应超时≤20%） 0分：无追溯功能	b. 追溯信息应支持按批次/工单快速检索； c. 数据存储周期不应少于产品保质期+1年。
				实时数据分析与决策支持	23.6%	4.0%	100分：系统自动决策（满足全部条款，建议采纳率≥80%） 50分：手动辅助决策（仅提供数据看板、自动建议功能） 0分：无决策支持	a. 系统应实时采集生产数据（如能耗、良品率），并自动生成分析报告； b. 分析结果应推送至决策端，且支持工艺参数、排产方案的自动优化建议； c. 应检查是否部署 BI 平台、数据看板或算法分析模块，并验证其预警或优化建议输出记录及采纳情况。
				生产效率提升	23.6%	4.0%	100分：生产效率提升≥20% 50分：10%≤生产效率提升<20% 0分：生产效率提升<10%或无数据支撑	a. 生产效率提升比例应基于智能化改造前后同期数据对比（公式：提升率=(原周期-新周期)/原周期×100%）； b. 应提供改造前后数据对比，确认单位能耗、周期、人工占比变化，提升率达标才能按高档赋分，数据应可追溯验证。
		质量管理	8.8%	质量检测自动化	37.5%	3.3%	100分：自动化检测率≥90% 50分：70%≤自动化检测率<90% 0分：自动化检测率<70%	a. 应检查是否配备在线检测设备（如图像识别、光谱分析仪），并验证自动检测覆盖率、设备清单及检测记录。 b. 关键质量检测工序应配备自动化检测设备，实时监控产品缺陷；
				产品质量数据追溯	37.5%	3.3%	100分：实现全面追溯（覆盖所有生产环节） 50分：部分追溯（覆盖生产环节≥40%） 0分：无追溯功能	a. 形成生产批次质量闭环数据链，能在 MES 系统中检索追踪质量记录（生产批次、操作人员、工艺参数及检测结果）； b. 追溯信息应支持跨系统（如 ERP、MES）检索。
				在线质量控制系统	12.5%	1.1%	100分：全程在线控制（覆盖所有关键工序） 50分：部分环节控制（覆盖工序≥50%） 0分：无在线控制	a. 关键工艺点（如反应、混料）应部署在线质量监控设备，实时采集质量数据； b. 质量波动超出阈值时，系统应触发报警并触发控制策略； c. 系统联动性应现场验证。
				质量异常自诊断与调整	12.5%	1.1%	100分：系统自动调整（无需人工干预） 50分：人工确认后调整 0分：无调整功能	a. 质量异常场景下，系统应自动诊断根本原因并生成调整方案；

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	综合权重	赋分标准	指标说明及要求
		能源管理	8.8%	能源消耗监控与优化	85.7%	7.5%		b. 重大异常（如连续 3 批次不合格）应触发生产暂停指令。
							100分：综合能耗优化 $\geq 15\%$	a. 能源消耗数据应实时采集并与生产计划关联分析；
							50分：5% $\leq$ 综合能耗优化 $< 15\%$	b. 通过优化（如变频节能、错峰运行）实现单位产出能耗下降，应有同比数据佐证。
				能源使用自动调整	14.3%	1.3%	0分：无优化或数据缺失	a. 系统应根据负荷波动自动调节能源分配（如蒸汽、电力）；
							100分：全自动调整	b. 设有能源 AI 调度系统。
							50分：需人工辅助调整	
		设备资产管理	8.8%	设备维护自动化	53.9%	4.7%	0分：无调整功能	a. 关键设备配备预测性维护系统，健康状态检测覆盖率 $\geq 90\%$ ；
							100分：自动化维护覆盖率 $\geq 50\%$	b. 维护记录应自动同步至生命周期管理平台。
							50分：10% $\leq$ 自动化维护覆盖率 $< 50\%$	
				设备生命周期管理	29.7%	2.6%	0分：自动化维护覆盖率 $\leq 10\%$	a. 设备档案应包含采购、运维、维修、退役全流程数据；
							100分：全生命周期管理（数据完整度 $\geq 95\%$ ）	b. 设备系统平台统一、完整、可查询。
							50分：部分管理（60% $\leq$ 数据完整度 $< 95\%$ ）	
		HSE管理	8.8%	设备故障率与应急响应	16.4%	1.4%	0分：无管理	a. 运行日志、报警记录，核算年故障率，故障率统计应基于设备运行日志（公式：故障率=故障时长/总运行时长 $\times 100\%$ ）；
							100分：故障率 $\leq 1\%$ ，同时响应时间 ≤ 10 分钟	b. 应急响应时效应从故障报警至恢复运行计时。
							50分：1% $\leq$ 故障率 $< 5\%$ ，或10 min $<$ 响应时间 ≤ 20 min	
				安全监控与预警系统	53.9%	5.2%	0分：故障率 $\geq 5\%$ 或响应时间 > 20 分钟	a. 高危区域（如反应釜、危险化学品仓库）CCTV、烟雾/气体/温度传感器部署，重大危险源实现监控全覆盖；
							100分：部署高危区域（如反应釜、危险化学品仓库）CCTV、烟雾/气体/温度传感器，实现监控全覆盖，且具备联动性与报警响应机制	b. 具备联动性与报警响应机制、预警闭环能力，并留存处置记录。
							50分：部署高危区域（如反应釜、危险化学品仓库）CCTV、烟雾/气体/温度传感器，重大危险源实现监控全覆盖，暂不具备联动性与报警响应机制	
							0分：高危区域未部署CCTV、烟雾/气体/温度传感器或重大危险源监控未全覆盖；	

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	综合权重	赋分标准	指标说明及要求
				环境监控与污染防治	25.2%	2.2%	100分：污染物排放数据实时上传至公司环保平台，排放合规率≥95%，且异常自动治理机制及工单闭环验证	a. 污染物排放数据应实时上传至公司环保平台； b. 异常自动治理机制及工单闭环验证。
							50分：污染物排放数据实时上传至公司环保平台，85%≤排放合规率<95%	
							0分：排放合规率<85%	
				职业健康管理	15.9%	1.4%	100分：职业健康档案全员覆盖，且监测设备在线率≥95%	a. 职业健康档案应包含全员体检数据及岗位风险评级； b. 高风险岗位宜根据作业特点配置人员定位、暴露监测或在线告警等职业健康辅助设施。
							50分：职业健康档案全员覆盖，50%≤监测设备在线率<95%	
							0分：无管理	
		仓储协同	4.8%	智能库存管理	50.0%	2.4%	100分：仓储系统实时与MES联动，具备自动补货与安全库存调节功能	a. 库存数据应实时同步MES，动态调整安全库存； b. 具备安全库存预警、库存联动和必要时自动生成采购/领料建议功能。
							50分：仓储系统实时与MES联动	
							0分：无智能库存系统	
				物流信息化与可追溯	50.0%	2.4%	100分：入库→在库→出库→运输全过程实时上传位置信息并可扫码/RFID查询，物流节点记录完整	a. 物流节点（如入库、出库、在途）应实时上传位置及状态数据； b. 追溯信息应支持二维码、条码或RFID扫描查询。
							50分：入库→在库→出库→运输全过程实时上传，并可扫码/RFID查询，物流节点记录部分完整	
							0分：入库→在库→出库→运输全过程无上传记录	
		制剂加工	8.8%	制剂配方管理与灵活调整	40.0%	3.5%	100分：具有配方管理系统及配方调整自动同步至生产线（如配料比例、工艺参数）	a. 具有配方管理系统； b. 配方调整应自动同步至生产线（如配料比例、工艺参数）； c. 调整耗时应从指令下发至设备就绪计时。
							50分：具有配方管理系统	
							0分：无配方管理系统	
				产量与质量一致性	10.0%	0.9%	100分：质量一致性≥95%	a. 质量一致性应基于关键指标（如有效成分含量、pH值）的批次间标准差计算； b. 生产区温湿度、颗粒物浓度应实时监控并自动调节； c. 环境超标时应触发报警并在严重时实现生产暂停。
							50分：85%≤质量一致性<95%	
							0分：质量一致性<85%	

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	综合权重	赋分标准	指标说明及要求
				生产环境控制	40.0%	3.5%	100分：环境监测系统覆盖关键区域，并自动调节，环境超标时应触发报警并在严重时实现生产暂停	a. 追溯系统集成生产、质量、设备数据，支持一键生成溯源报告。
							50分：环境监测系统覆盖关键区域	
							0分：无控制系统	
				质量追溯系统	10.0%	0.9%	100分：全程追溯（覆盖所有批次）	a. 追溯系统集成生产、质量、设备等数据，支持按批次生成溯源报告，覆盖关键生产批次、工艺参数、质量检测结果及异常处置记录
							50分：部分追溯（覆盖批次率≥50%）	
							0分：无追溯	
		原药生产	8.8%	生产灵活性与调整响应	33.3%	2.9%	100分：生产自动化切换，包含工艺参数、反应条件、清洗程序的自动调整	a. 生产切换应包含工艺参数、反应条件、清洗程序的自动调整。
							50分：生产反应条件、清洗程序的自动切换	
							0分：生产切换无自动调整	
				原料与副产品管理	16.7%	1.5%	100分：具有投料误差控制系统、副产品有效利用或回收，系统记录完整	a. 数据通过系统自动统计； b. 查看投料误差控制系统、副产品有效利用或回收，系统记录完整。
							50分：副产品有效利用或回收，系统有记录	
							0分：无控制系统	
				反应安全与防控	33.3%	2.9%	100分：在危险工艺中部署双重联锁（超温超压+气体泄漏），并具备应急自动响应机制，完全符合安全要求且全年无事故	a. 高危反应配备双重安全联锁（如温度、压力、气体浓度）； b. 联锁触发后应自动执行应急程序（如泄压、冷却）； c. 在危险工艺中部署双重联锁（超温超压+气体泄漏），并具备应急自动响应机制。
							50分：在危险工艺中部署双重联锁（超温超压+气体泄漏），（全年事故≤1次/年）	
							0分：无安全系统或事故大于1次/年	
				排放与环保合规	16.7%	1.5%	100分：具备自动治理设备，超标时应自动启动设备；治理设备运行记录完整保存至少3年	a. 排放数据应实时对接政府监管平台，超标时应自动启动治理设备； b. 治理设备运行记录应完整保存≥3年。
							50分：具备自动治理设备，超标时需人工启动设备，治理设备运行记录保存完整	
							0分：无自动治理设备	

7.3 智能工厂评价指标说明及赋分

表4 智能工厂评价指标说明及赋分

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	综合权重	赋分标准	指标说明及要求
智能工厂	100%	智能车间	25.7%	智能产线	34.1%	8.8%	见表3	见表3
				生产管理	17.1%	4.4%	见表3	见表3
				质量管理	8.8%	2.3%	见表3	见表3
				能源管理	8.8%	2.3%	见表3	见表3
				设备资产管理	8.8%	2.3%	见表3	见表3
				HSE 管理	8.8%	2.3%	见表3	见表3
				仓储协同	4.8%	1.2%	见表3	见表3
				制剂加工/ 原药生产	8.8%	2.3%	见表3	见表3
		经营管理	10.6%	智能化经营决策支持	50%	5.3%	100分：建有基于ERP/MES/BI平台的智能经营分析系统，且提供市场预测、库存优化及采购建议等决策支持功能；	a. 经营决策系统应基于大数据与 AI 技术，提供市场预测、库存优化及采购建议等决策支持功能； b. 建立基于 ERP/MES/BI 平台的智能经营分析系统。
							50分：建有基于ERP/MES/BI平台的智能经营分析系统（仅实现基础预测功能）	
							0分：无系统支持	
				运营数据可视化与报告自动化	50%	5.3%	100分：具有部署统一可视化平台，系统能自动生成财务报表、生产报表、能耗报表等多维度报告	a. 具有部署统一可视化平台； b. 系统应自动生成财务报表、生产报表、能耗报表等多维度报告。
							50分：只部署了统一可视化平台，系统只能部分生成财务报表、生产报表、能耗报表等报告	
							0分：无统一可视化平台	
		综合办公管理	6.2%	办公自动化与智能协作	100.0%	6.2%	100分：部署OA系统、流程自动化平台、电子签批与移动办公系统实现办公全流程数智化	a. 办公平台应支持文档管理、任务分配、会议安排等全流程功能； b. 自动化流程比例、覆盖岗位、跨部门协作效率、系统使用率高。
							50分：实现办公部分流程数智化	
							0分：无数智化	
		人力资源管理	6.2%	人力资源智能化 管理	100.0%	6.2%	100分：人员档案全部数字化，覆盖招聘、培训、考核、激励全部功能，同时具备员工信息电子化、自动预警能力、培训记录可追溯性、绩效分析智能化能力	a. 人员档案应全部数字化，覆盖招聘、培训、考核、激励等功能； b. 员工信息电子化率、自动预警能力、培训记录可追溯性、绩效分析智能化程度高。
							50分：人员档案数字化，覆盖招聘、培训、考核、激励部分功能，具备员工信息电子	

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	综合权重	赋分标准	指标说明及要求
		研发与知识管理	6.2%	研发数据管理与分析能力	83.3%	5.2%	化、自动预警能力、培训记录可追溯性、绩效分析智能化的部分能力	建立研发项目管理系统、ELN 或 LIMS；依据协同效率、流程节点实现电子化、成果转化周期评定等功能。
							0分：无自动化	
							100分：建立研发项目、实验数据或配方数据管理系统，支持研发数据结构化存储、检索、统计分析及与生产系统必要衔接	
				知识管理与共享平台	16.7%	1.0%	50分：建立研发项目管理系统或电子实验记录系统，实现研发流程的电子化管理	a. 建立知识管理平台，具备分类归档、搜索、共享、版本控制等功能； b. 平台具有活跃度、访问频率、知识更新机制等统计功能。
							0分：无研发项目管理系统	
							100分：知识内容应来源于生产、质量、设备、HSE、研发等实际业务场景，并与相关业务记录或系统实现关联检索	
		数据及信息互联互通	13.2%	设备与系统互联互通	53.9%	7.1%	50分：建立知识管理平台，具备分类归档、搜索、共享等基本功能，但知识内容未与业务系统关联或未形成持续更新机制	a. 生产设备、传感器与信息系统应实现跨协议互联； b. 具有实时通信、边缘控制联动性、数据一致性和传输时效性的能力。
							0分：无平台	
							100分：生产设备、传感器与信息系统应实现跨协议互联，具有实时通信、边缘控制联动性、数据一致性和传输时效性的能力	
				数据标准化与格式统一	16.4%	2.2%	50分：生产设备、传感器与信息系统实现跨协议互联，但不完全具备实时通信、边缘控制联动性、数据一致性和传输时效性的能力	a. 数据接口应符合行业标准（如 OPC UA、MQTT）； b. 建立统一数据标准、数据字典与编码规则，系统间实现语义一致。
							0分：无标准化	
				实时信息共享与数据传输	29.7%	3.9%	100分：建立统一数据中台，数据实时共享至生产、质量、销售部门，传输稳定，具有	a. 建立统一数据中台；

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	综合权重	赋分标准	指标说明及要求
							信息实时性（延迟）、共享范围及访问权限管理机制	b. 数据实时共享至生产、质量、销售部门，传输稳定； c. 具有信息实时性（延迟）、共享范围及访问权限管理机制。
							50分：建立统一数据中台，未能实现数据跨系统共享	
							0分：无实时共享	
		智能决策	6.2%	基于 AI 的决策支持系统	100.0%	6.2%	100分：部署面向农药生产经营场景的AI模型、知识库、智能体或算法分析模块，并在工艺优化、异常分析、生产调度、质量预测、知识检索等至少两个场景形成可验证应用效果	a. 部署 AI 引擎（如机器学习预测模型）、算法平台、智能推荐或优化模块； b. 决策系统应支持库存优化、订单交付预测等多场景分析。
							50分：部署AI引擎（如机器学习预测模型）并应用于设备故障预测、质量检测或产量预测等场景至少一个，功能可实现并产生可验证效果	
							0分：无AI支持	
		跨工厂跨企业智能化协调	13.3%	跨工厂协同生产与管理	100.0%	13.3%	100分：具备多基地或供应链协同条件的企业，应至少在订单协同、库存联动、质量对标、供应链可视化等场景形成闭环	a. 工厂间应共享生产计划、库存数据及质量标准，协同数据一致性； b. 具备生产排程共享程度、订单流转效率、库存联动机制和供应链透明度等功能。
							50分：工厂间实现生产计划、库存数据或质量标准的部分共享，但未形成自动联动或闭环	
							0分：无协同	
		信息安全	6.2%	信息安全与数据保护	100.0%	6.2%	100分：信息安全措施完善（部署终端防护、入侵检测、数据备份与恢复机制）	a. 应部署数据加密、访问控制及定期备份与恢复演练机制； b. 高危漏洞应按制度及时闭环整改，备份恢复成功率应≥95%。
							50分：信息安全措施部分完善（仅基础加密）	
							0分：无措施	
		战略规划与人才保障	6.2%	战略规划智能化与执行	75.0%	4.7%	100分：建立战略执行监控平台，具备数据驱动目标动态调整能力	a. 建立战略执行监控平台； b. 具备数据驱动目标动态调整能力。
				人才培养与保障系统	25.0%	1.6%	50分：建立战略执行监控平台，但不具备数据驱动目标动态调整能力 0分：未建立战略执行监控平台	
							100分：建立智能制造复合型人才培养计划，明确DCS、MES、数据分析、信息安全等	a. 具备智能培训平台与人才梯队管理机制；

一级 指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	综合 权重	赋分标准	指标说明及要求
							关键岗位能力要求,并保留培训、考核或认证记录	b. 支持在线学习、成长路径规划、关键岗位技能预警等功能。
							50分:有智能制造人才培养计划但未形成体系化培训与认证机制	
							0分:无智能培训平台与人才梯队管理机制	

CCPIA 团体标准征求意见稿

8 评价要求与方法

8.1 合规性要求

8.1.1 工厂应依法设立，在建设和生产过程中遵守有关法律、法规、政策和标准。

8.1.2 工厂近3年(含成立不足3年)经营和财务状况良好，无不良信用记录、无较大及以上安全、环保等事故，无违法违规行为。

8.1.3 制剂加工企业不使用国家禁用的助剂产品，满足国家对产品中有害物质限制使用的要求。

8.2 评价方法

8.2.1 评价流程

农药工业智能工厂评价工作包括：评价准备、正式评价、发布评价结果等三个环节。

8.2.2 评价准备

8.2.2.1 受理评价申请

评价方应对受评价方所提交的申请材料进行评审，确认受评价方已完成智能产线、智能车间或智能工厂建设，综合确定是否受理评价申请。

8.2.2.2 组建评价组

应组建一个有经验、具备评价能力的评价组实施评价活动。评价组应确认一名评价组长和多名评价组员，总人数应为奇数。评价组员职责包括：

- a) 应遵守相应的评价要求；
- b) 应掌握运用评价原则、评价程序和方法；
- c) 应按计划的时间进行评价；
- d) 应优先关注重要问题；
- e) 应通过有效的访谈，观察、文件与记录评审、数据采集等获取评价证据；
- f) 应确认评价证据的充分性和适宜性，以支持评价发现和评价结论；
- g) 应将评价发现形成文件，并编制适宜的评价报告；
- h) 应维护信息、数据、文件和记录的保密性和安全性；
- i) 应识别与评价有关的各类风险。

评价组长履行评价组员职责的同时，还应履行以下职责：

- a) 负责编制评价计划；
- b) 负责整个评价活动的实施；
- c) 实施正式评价前对评价组员进行评价方法的培训；
- d) 对评价结果进行最终审核；
- e) 向受评价方报告评价发现。

8.2.2.3 编制评价计划

评价前应编制正式评价计划，并与受评价方确认。评价计划至少包括评价目的、评价范围、评价任务、评价时间、评价人员、评价日程安排等。

8.2.3 正式评价

8.2.3.1 首次会议

首次会议的目的：

- a) 确认相关方对评价计划的安排达成一致；
- b) 介绍评价人员；
- c) 确保策划的评价活动可执行；

会议内容至少应说明评价目的、介绍评价方法、确定评价日程以及明确其他应提前沟通的事项。

8.2.3.2 采集评价数据

在实施评价的过程中,应通过适当的方法收集并验证与评价目标、评价范围、评价准则有关材料。采集的材料应予以记录,采集方式可包括但不限于访谈、观察、现场巡视、文件与记录评审、信息系统演示、数据采集等。

8.2.3.3 评价证据清单与核验要求

评价证据应与评价范围、适用指标和赋分标准相对应。受评价方宜至少提供以下证据:智能工厂建设方案或总体架构图,设备、传感器、控制系统和信息系统清单,关键测点和数据点位台账,系统接口和数据标准文件,自动控制、联锁、报警、追溯、能源、HSE、仓储、质量、经营、研发、信息安全等模块的运行记录、导出数据或系统截图,以及必要的现场演示记录。

证据核验应采用文件审查、现场巡视、系统演示、数据抽查、人员访谈和交叉比对相结合的方式。仅有系统名称、采购合同或单次截图,不应单独作为高分证据;数据缺失、无法追溯或无法现场核验的,相应指标不应按高档赋分。

8.2.3.4 末次会议

在完成采集评价证据活动后,召开末次会议。评价组针对现场发现进行讨论交流,形成最终评价发现。评价组应对评价发现达成一致意见,必要时进行组内评审。

8.2.4 发布评价结果

评价组应根据评价发现形成评价结论书。评价结论书应至少包括评价范围、评价依据、评价过程、适用性判定说明、综合得分、等级限制核验情况、主要评价发现及评价结论。

8.2.5 计算方法

8.2.5.1 权重赋值

评价指标权重见附录A,企业现状水平综合得分按公式(1)计算。

$$E = \sum_{i=1}^n (P_i \times I_i) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

E ——智能产线、智能车间或智能工厂现状水平综合得分;

i ——三级指标序号;

n ——纳入计算的三级指标总数;

P_i ——第 i 项三级指标的评分分值;

I_i ——第 i 项综合权重。

8.2.5.2 适用性判定与权重归一化

评价组应依据评价对象、产品类型和评价范围进行适用性判定。智能产线评价主要适用于制剂独立产线,智能车间评价按原药生产或制剂加工选择适用模块;同一评价对象中原药生产与制剂加工模块不应简单重复计分,确需覆盖两类业务的,应分别评价或明确主评价范围后按适用模块计分。

指标不适用仅限于企业客观不存在的业务环节、评价范围之外的功能模块,或受产品工艺、法规许可条件限制确无法设置的情形。企业未建设系统、数据缺失、管理不到位或无法提供证据的,不应认定为不适用,应按对应赋分标准低档或 0 分处理。

经评价组确认的不适用指标应在评价报告中列明理由、范围和证据。发生适用性判定时,综合得分按适用指标进行权重归一化计算,见公式(2)。未发生判定时,仍按公式(1)计算。

$$E = [\sum_{i=1}^n (P_i \times I_i)] / \sum_{i=1}^n I_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中: i 、 n 、 P_i 、 I_i 的含义同公式(1); $\sum I_i$ 为纳入评价的适用三级指标综合权重之和。

8.2.5.3 等级划分

表5 智能工厂评价等级

层级	级别	综合得分
层级一（智能产线）	一级（基础级）	$E \geq 50$ 分
层级二（智能车间）	二级（成长级）	$E \geq 60$ 分
层级三（智能工厂）	三级（规范级）	$60 \text{分} \leq E < 75 \text{分}$
	四级（卓越级）	$75 \text{分} \leq E < 90 \text{分}$
	五级（领航级）	$E \geq 90$ 分
注：智能工厂规范级及以上还应满足8.2.5.4规定的等级限制规则。		

等级划分坚持“低等级可进入、高等级有约束”的原则。基础级智能产线侧重判断单条产线是否具备关键数据采集、基础自动控制和必要追溯能力，综合得分门槛为 $E \geq 50$ 分；成长级智能车间侧重判断车间是否形成多环节协同和管理闭环，综合得分门槛为 $E \geq 60$ 分。智能工厂规范级、卓越级、领航级分别按60分、75分、90分设置，并同时受等级限制规则约束。

8.2.5.4 等级限制规则

受评价方不满足7.1合规性要求的，不进入等级评价。评价过程中发现近三年存在较大及以上安全、环保事故，重大违法违规行，或关键证据严重失实的，应终止评价或取消相应等级结论。

为避免少数高分指标掩盖关键短板，智能工厂规范级及以上评价应同时满足关键能力限制要求。规范级除综合得分达到60分外，还应满足HSE管理、数据及信息互联互通、信息安全与数据保护、证据完整性等基本限制条件；不满足限制条件的，即使综合得分达到60分，也不应认定为规范级智能工厂。数据及信息互联互通、HSE管理、信息安全任一适用二级指标得分为0的，智能工厂等级不应评为卓越级及以上；智能决策、跨工厂跨企业智能化协同等高阶指标无有效运行证据的，不应评为领航级。

受评价方应提供与评价范围、适用指标和赋分标准相对应的评价证据。评价证据应包括可核验、可追溯的原始记录、系统日志、运行数据、操作文档、导出数据或现场演示记录等。仅提供建设方案、采购合同、系统名称或单次截图的，不应作为高档赋分的充分证据。数据缺失、无法追溯或无法现场核验的，相应指标不应按高档赋分。

适用指标经权重归一化后达到相应分值区间，但存在关键基础系统未贯通、数据无法追溯、自动控制与安全联动未形成闭环、关键证据不完整等情形的，评价组应按实际能力降低等级或在评价结论中提出限制性意见。未达到相应层级门槛的，评价结论应表述为未达级或不予认定，不另增设评价层级。

卓越级及以上评价，受评价方应提供智能制造建设成效的可验证数据，包括但不限于智能制造相关投入、生产效率提升、能耗下降、质量损失降低、库存周转率改善、安全环保管理效率提升等改造前后对比数据。相关数据应可追溯、可核验。无法提供可验证的投入产出数据的，评价组应在评价结论中予以说明，并根据实际情况调整等级或提出限制性意见。

9 评价结果的应用

9.1 企业自评

企业宜结合实际情况进行全面系统的自我评价，根据本文件的指标内容，评价企业实施智能制造的结果，并参考行业总体现状和发展趋势，了解自身智能工厂的缺陷，明确其智能工厂的发展重点和方向，实现智能工厂智能制造能力的提升。

9.2 专家评价

专家评价应基于评价指标数据采集、统计分析和现场核验结果，客观判定农药工业智能工厂建设水平。

附录 A
(规范性)
指标权重赋值

A.1 层次分析法

A.1.1 建立模型

根据农药工业智能工厂评价指标框架，建立递阶层次结构模型。

A.1.2 构建判断矩阵

根据评价递阶层次结构模型，构造 $n \times n$ 阶判断矩阵。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

对同一层次指标进行两两比较得到量化的判断矩阵，引入1~9的标度（见表A.1）

表A.1 （1~9）标度值

标度 a_{ij}	定义
1	i 因素与 j 因素同等重要
3	i 因素比 j 因素略重要
5	i 因素比 j 因素较重要
7	i 因素比 j 因素非常重要
9	i 因素比 j 因素绝对重要
2, 4, 6, 8	为以上判断之间的中间状态对应的标度值
倒数	若 i 因素与 j 因素比较，得到判断值为 $a_{ij}=1/a_{ji}$ ， $a_{ii}=1$

A.1.3 计算特征值与特征向量

采用和积法计算特征值的近似值。

- a) 将判断矩阵 A 按列归一化（即列元素之和为1）： $B_{ij} = A_{ij} / \sum A_{ij}$ 。
- b) 将归一化的矩阵按行求和： $C_i = \sum B_{ij}$ ， $i = 1, 2, 3 \dots n$ 。
- c) 将 C_i 归一化：得到特征向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ ， $W_i = C_i / \sum C_i$ 。
- d) 求特征向量 W 对应的最大特征值： $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i}$ 。

A.1.4 一致性检验指标

计算出判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 后，需对层次单排序进行一致性检验。

- a) 计算判断矩阵的一致性指标 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ ；
- b) 判断矩阵的平均随机一致性指标 RI （取值见表A.2）。

表A.2 不同阶数 RI 的值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.51

当 $n > 2$ 时，计算判断矩阵的随机一致性比值 $CR = CI / RI$ 。当 $CR \leq 0.1$ 时，认为判断矩阵有满意的一致性。反之，则调整判断矩阵，再行分析。

A.2 判别矩阵构建及权重求解

A.2.1 智能产线评价指标权重

A.2.1.1 智能产线二级指标评价权重

根据指标体系对指标的重要程度进行打分，对打分结果进行讨论和归纳，得到判别矩阵。

表A.3 智能产线二级指标判断矩阵

	智能传感与终端	基础自动化与控制	自主运行与控制
智能传感与终端	1	1/2	2
基础自动化与控制	2	1	3
自主运行与控制	1/2	1/3	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=3.036$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-3)/(3-1)\approx 0.018$$

平均随机一致性指标 $RI(n=3)=0.58$ 。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0.031<0.1$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 4 智能产线二级指标评价权重结果

指标层	权重
智能传感与终端	29.9%
基础自动化与控制	34.9%
自主运行与控制	35.1%

A. 2. 1. 2 智能产线三级指标评价权重

A. 2. 1. 2. 1 智能传感与终端

表A. 5 智能传感与终端三级指标判断矩阵

	传感器覆盖率	传感器精准度与稳定性	终端设备智能化	设备互联性与数据共享
传感器覆盖率	1	3	3	3
传感器精准度与稳定性	1/3	1	1	1
终端设备智能化	1/3	1	1	1
设备互联性与数据共享	1/3	1	1	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=4$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(4-4)/(4-1)=0$$

平均随机一致性指标 $RI=0.89$ 。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0/0.89=0<0.10$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 6 智能传感与终端三级指标权重结果

指标层	权重
传感器覆盖率	49.9%
传感器精准度与稳定性	16.7%
终端设备智能化	16.7%
设备互联性与数据共享	16.7%

A. 2. 1. 2. 2 基础自动化与控制

表A. 7 基础自动化与控制三级指标判断矩阵

	自动化控制系统的自主性	控制系统的稳定性与安全性	异常响应效率
自动化控制系统的自主性	1	4	4
控制系统的稳定性与安全性	1/4	1	1
异常响应效率	1/4	1	1

计算出判断矩阵的最大特征根， $\lambda_{\max}=3$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)=(3-3)/(3-1)=0$

平均随机一致性指标RI=0.52。随机一致性比率：

$CR=CI/RI=0/0.52=0<0.10$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A.8 基础自动化与控制三级指标权重结果

指标层	权重
自动化控制系统的自主性	66.8%
控制系统的稳定性与安全性	16.6%
异常响应效率	16.6%

A.2.1.2.3 自主运行与控制

表A.9 自主运行与控制判断矩阵

	生产线的自适应与灵活性	生产决策支持与优化能力
生产线的自适应与灵活性	1	1
生产决策支持与优化能力	1	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{max} = 2$ 。

表A.10 自主运行与控制权重结果

指标层	权重
生产线的自适应与灵活性	50%
生产决策支持与优化能力	50%

A.2.2 智能车间评价指标权重

A.2.2.1 智能车间二级指标评价权重

表A.11 智能车间二级指标判断矩阵

	智能产线	生产管理	质量管理	能源管理	设备资产管理	HSE管理	仓储协同	制剂加工	原药生产
智能产线	1	2	5	5	5	5	6	5	5
生产管理	1/2	1	2	2	2	2	3	2	2
质量管理	1/5	1/2	1	1	1	1	2	1	1
能源管理	1/6	1/3	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
设备资产管理	1/5	1/2	1	1	1	1	2	1	1
HSE管理	1/5	1/2	1	1	1	1	2	1	1
仓储协同	1/3	1/2	1	2	1	1	1	1	1
制剂加工	1/5	1/2	1	1	1	1	2	1	1
原药生产	1/5	1/2	1	1	1	1	2	1	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{max} = 9.0294$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)=(9.0294-9)/(9-1)=0.0037$

平均随机一致性指标RI=1.46。随机一致性比率：

$CR=CI/RI=0.0037/1.46=0.0025<0.10$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A.12 智能车间二级指标权重结果

指标层	权重
智能产线	34.1%
生产管理	17.1%
质量管理	8.8%
能源管理	8.8%
设备资产管理	8.8%
HSE 管理	8.8%
仓储协同	4.8%
制剂加工	8.8%
原药生产	8.8%

A. 2. 2. 2 智能车间三级指标评价权重

A. 2. 2. 2. 1 智能产线三级指标评价权重

表A. 13 智能产线三级指标判断矩阵

	智能传感与终端	基础自动化与控制	自主运行与控制
智能传感与终端	1	1/2	2
基础自动化与控制	2	1	4
自主运行与控制	1/2	1/4	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=4$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(4-4)/(4-1)=0$$

平均随机一致性指标 $RI=0.89$ 。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0/0.89=0<0.10$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 14 智能产线三级指标权重结果

指标层	权重
智能传感与终端	25.8%
基础自动化与控制	54.8%
自主运行与控制	19.4%

A. 2. 2. 2. 2 生产管理三级指标评价权重

表A. 15 生产管理三级指标判断矩阵

	生产计划与调度智能化	生产过程透明化与追溯能力	实时数据分析与决策支持	生产效率提升
生产计划与调度智能化	1	1	2	2
生产过程透明化与追溯能力	1	1	1/2	1/2
实时数据分析与决策支持	1/2	2	1	1
生产效率提升	1/2	2	1	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=4.2500$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(4.2500-4)/(4-1)=0.0833$$

平均随机一致性指标 $RI=0.89$ 。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0.0833/0.89=0.0936<0.10$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 16 生产管理三级指标权重结果

指标层	权重
生产计划与调度智能化	34.7%

指标层	权重
生产过程透明化与追溯能力	18.1%
实时数据分析与决策支持	23.6%
生产效率提升	23.6%

A. 2. 2. 2. 3 质量管理三级指标评价权重

表A. 17 质量管理三级指标判断矩阵

	质量检测自动化	产品质量数据追溯	在线质量控制系统	质量异常自诊断与调整
质量检测自动化	1	1	3	3
产品质量数据追溯	1	1	3	3
在线质量控制系统	1/3	1/3	1	1
质量异常自诊断与调整	1/3	1/3	1	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=4$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(4-4)/(4-1)=0$$

平均随机一致性指标RI=0.89。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0/0.89=0.0936<0.10$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 18 质量管理三级指标权重结果

指标层	权重
质量检测自动化	37.5%
产品质量数据追溯	37.5%
在线质量控制系统	12.5%
质量异常自诊断与调整	12.5%

A. 2. 2. 2. 4 能源管理三级指标评价权重

表A. 19 能源管理三级指标判断矩阵

	能源消耗监控与优化	能源使用自动调整
能源消耗监控与优化	1	6
能源使用自动调整	1/6	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=2$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(2-2)/(2-1)=0$$

平均随机一致性指标RI=0。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 20 能源管理三级指标权重结果

指标层	权重
能源消耗监控与优化	85.7%
能源使用自动调整	14.3%

A. 2. 2. 2. 5 设备资产管理三级指标评价权重

表A. 21 设备资产管理三级评价指标判断矩阵

	设备维护自动化	设备生命周期管理	设备故障率与应急响应
设备维护自动化	1	2	3

	设备维护自动化	设备生命周期管理	设备故障率与应急响应
设备生命周期管理	1/2	1	2
设备故障率与应急响应	1/3	1/2	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=3.0092$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(3.0092-3)/(3-1)=0.0046$$

平均随机一致性指标RI=0.52。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0.0046/0.52=0.0089<0.10$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 22 设备资产管理三级指标权重结果

指标层	权重
设备维护自动化	53.9%
设备生命周期管理	29.7%
设备故障率与应急响应	16.4%

A. 2. 2. 2. 6 HSE 管理三级指标评价权重

表A. 23 HSE 管理三级指标判断矩阵

	安全监控与预警系统	环境监控与污染防治	职业健康管理
安全监控与预警系统	1	3	3
环境监控与污染防治	1/3	1	2
职业健康管理	1/3	1/2	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=3.0539$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(3.0539-3)/(3-1)=0.0270$$

平均随机一致性指标RI=0.52。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0.0270/0.52=0.0518<0.10$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 24 HSE 管理三级指标权重结果

指标层	权重
安全监控与预警系统	58.9%
环境监控与污染防治	25.2%
职业健康管理	15.9%

A. 2. 2. 2. 7 仓储协同三级指标评价权重

表A. 25 仓储协同三级指标判断矩阵

	智能库存管理	物流信息化与可追溯
智能库存管理	1	1
物流信息化与可追溯	1	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=2$ 。

表A. 26 仓储协同三级指标权重结果

指标层	权重
智能库存管理	50%
物流信息化与可追溯	50%

A. 2. 2. 2. 8 制剂加工三级指标评价权重

表A. 27 制剂加工三级指标判断矩阵

	制剂配方管理与灵活调整	产量与质量一致性	生产环境控制	质量追溯系统
制剂配方管理与灵活调整	1	4	1	4
产量与质量一致性	1/4	1	1/4	1
生产环境控制	1	4	1	4
质量追溯系统	1/4	1	1/4	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=4$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(4-4)/(4-1)=0$$

平均随机一致性指标RI=0.89。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0/0.89=0<0.10$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 28 制剂加工三级指标权重结果

指标层	权重
传感器覆盖率	40.0%
传感器精准度与稳定性	10.0%
终端设备智能化	40.0%
设备互联性与数据共享	10.0%

A. 2. 2. 2. 9 原药生产三级指标评价权重

表A. 29 原药生产三级指标判断矩阵

	生产灵活性与调整响应	原料与副产品管理	反应安全与防控	排放与环保合规
生产灵活性与调整响应	1	2	1	2
原料与副产品管理	1/2	1	1/2	1
反应安全与防控	1	2	1	2
排放与环保合规	1/2	1	1/2	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=4$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(4-4)/(4-1)=0$$

平均随机一致性指标RI=0.89。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0/0.89=0<0.10$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 30 原药生产三级指标权重结果

指标层	权重
生产灵活性与调整响应	33.3%
原料与副产品管理	16.7%
反应安全与防控	33.3%
排放与环保合规	16.7%

A. 2. 3 智能工厂评价指标权重

A. 2. 3. 1 智能工厂二级指标评价权重

表A. 31 智能工厂二级指标判断矩阵

	智能车间	经营管理	综合办公管理	人力资源	研发与知识管理	数据及信息互联互通	智能决策	跨工厂跨企业智能化协同	信息安全	战略规划与人才保障
智能车间	1	3	4	4	4	2	4	2	4	4
经营管理	1/3	1	2	2	2	1/2	2	1/2	2	2

	智能车间	经营管理	综合办公管理	人力资源管理	研发与知识管理	数据及信息互联互通	智能决策	跨工厂跨企业智能化协同	信息安全	战略规划与人才保障
综合办公管理	1/4	1/2	1	1	1	1/2	1	1/2	1	1
人力资源管理	1/4	1/2	1	1	1	1/2	1	1/2	1	1
研发与知识管理	1/4	1/2	1	1	1	1/2	1	1/2	1	1
数据及信息互联互通	1/2	2	2	2	2	1	2	1	2	2
智能决策	1/4	1/2	1	1	1	1/2	1	1/2	1	1
跨工厂跨企业智能化协同	1/2	2	2	2	2	1	2	1	2	2
信息安全	1/4	1/2	1	1	1	1/2	1	1/2	1	1
战略规划与人才保障	1/4	1/2	1	1	1	1/2	1	1/2	1	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=10.0706$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(10.0706-10)/(10-1)=0.0078$$

平均随机一致性指标RI=0.89。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0.0078/0.89=0.0088<0.10$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 32 智能工厂二级指标权重结果

指标层	权重
智能车间	25.7%
经营管理	10.6%
综合办公管理	6.2%
人力资源管理	6.2%
研发与知识管理	6.2%
数据及信息互联互通	13.2%
智能决策	6.2%
跨工厂跨企业智能化协同	13.3%
信息安全	6.2%
战略规划与人才保障	6.2%

A. 2. 3. 2 智能工厂三级指标评价权重

A. 2. 3. 2. 1 智能车间三级指标评价权重

表A. 33 智能车间三级指标判断矩阵

	智能产线	生产管理	质量管理	能源管理	设备资产管理	HSE 管理	仓储协同	制剂加工/原药生产
智能产线	1	2	4	6	4	4	4	4
生产管理	1/2	1	2	3	2	2	2	2
质量管理	1/4	1/2	1	2	1	1	1	1
能源管理	1/6	1/3	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1/2
设备资产管理	1/4	1/2	1	2	1	1	1	1
HSE 管理	1/4	1/2	1	2	1	1	1	1
仓储协同	1/4	1/2	1	2	1	1	1	1

	智能产线	生产管理	质量管理	能源管理	设备资产管理	HSE 管理	仓储协同	制剂加工/原药生产
制剂加工/原药生产	1/4	1/2	1	2	1	1	1	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=8.0130$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(8.0130-8)/(8-1)=0.0019$$

平均随机一致性指标RI=1.41。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0.0019/1.41=0.0013<0.10$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 34 智能车间三级指标权重结果

指标层	权重
智能产线	34.1%
生产管理	17.1%
质量管理	8.8%
能源管理	8.8%
设备资产管理	8.8%
HSE 管理	8.8%
仓储协同	4.8%
制剂加工/原药生产	8.8%

A. 2. 3. 2. 2 经营管理三级指标评价权重

表A. 35 经营管理三级指标判断权重

	智能化经营决策支持	运营数据可视化与报告自动化
智能化经营决策支持	1	1
运营数据可视化与报告自动化	1	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=2$ 。

表A. 36 经营管理三级指标权重结果

指标层	权重
智能化经营决策支持	50.0%
运营数据可视化与报告自动化	50.0%

A. 2. 3. 2. 3 研发与知识管理三级指标评价权重

表A. 37 研发与知识管理三级指标判断矩阵

	研发流程自动化与协同	知识管理与共享平台
研发流程自动化与协同	1	5
知识管理与共享平台	1/5	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=2$ 。

表A. 38 研发与知识管理三级指标权重结果

指标层	权重
研发流程自动化与协同	83.3%
知识管理与共享平台	16.7%

A. 2. 3. 2. 4 数据及信息互联互通三级指标评价权重

表A. 39 数据及信息互联互通三级指标判断矩阵

	设备与系统互联互通	数据标准化与格式统一	实时信息共享与数据传输
设备与系统互联互通	1	3	2

	设备与系统互联互通	数据标准化与格式统一	实时信息共享与数据传输
数据标准化与格式统一	1/3	1	1/2
实时信息共享与数据传输	1/2	2	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=3.0092$ 。为进行判断矩阵的一致性检验，需计算一致性指标：

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1)=(3.0092-3)/(3-1)=0.0046$$

平均随机一致性指标 $RI=0.52$ 。随机一致性比率：

$$CR=CI/RI=0.0046/0.52=0.0089<0.10$$

该判断矩阵通过一致性检验，权重结果可用于评价计算。

表A. 40 数据及信息互联互通三级指标权重结果

指标层	权重
设备与系统互联互通	53.9%
数据标准化与格式统一	16.4%
实时信息共享与数据传输	29.7%

A. 2. 3. 2. 5 战略规划与人才保障三级指标评价权重

表A. 41 战略规划与人才保障三级指标判断权重

	战略规划智能化与执行	人才培养与保障系统
战略规划智能化与执行	1	3
人才培养与保障系统	1/3	1

计算出判断矩阵最大特征根， $\lambda_{\max}=2$ 。

表A. 42 战略规划与人才保障三级指标权重结果

指标层	权重
战略规划智能化与执行	75.0%
人才培养与保障系统	25.0%

A. 2. 4 综合权重

综合权重 = 二级级指标权重 * 三级指标权重