ICS 35.240.50
CCS Z04

团　　体　　标　　准

T/CAMIE XXXX—202X

环保设施运行管理智能体分类分级规范

Specification for Classification and Grading of Intelligent Agents for Operation and Management of Environmental Protection Facilities

(草案)

XXXX-XX-XX 发布　　XXXX-XX-XX 实施

中国环保机械行业协会 发布

目　次

前　　言 I
引　　言 II
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 环保设施分类 3
4.1 分类原则 3
4.2 类别设计 3
5 智能体分级与能力要求 3
5.1 分级原则 3
5.2 分级要素 4
5.2.2 要素分类与判定规则 4
5.3 智能体级别划分 4
5.3.1 L1 级 4
5.3.2 L2 级 4
5.3.3 L3 级 4
5.3.4 L4 级 4
5.3.5 L5 级 5
5.4 各等级技术要求 5
5.4.1 一般要求 5
5.4.2 L1 级技术要求 5
5.4.3 L2 级技术要求 5
5.4.4 L3 级技术要求 6
5.4.5 L4 级技术要求 6
5.4.6 L5 级技术要求 7
附录 A （资料性） 环保设施运行管理智能体等级与核心能力对应关系 8
附录 B （资料性） 操作人员与各等级环保设施运行管理智能体的角色分工协同规范 10
参考文献 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。

本文件由中国环保机械行业协会提出并归口。

本文件起草单位：北京金控数据技术股份有限公司、哈尔滨工业大学、北京英视睿达科技股份有限公司、红杉天枰科技集团有限公司、北京北水融智教育科技有限公司。

本文件主要起草人：杨斌、梁恒、唐小斌、唐丽娜、田启明、陈超、冀广鹏。

引　　言

随着环保产业数字化、智能化转型的持续深化，融合人工智能技术的智能系统已广泛应用于环保设施运行管理领域，但行业内普遍存在智能体概念界定模糊、分级标准不统一、适配场景不精准的问题，无法匹配不同复杂度环保设施的智能化升级需求，导致环保智能装备研发、集成、应用标准混乱，供需对接效率低、产品质量参差不齐，制约行业规范化、高质量发展。

为统一行业认知、规范技术标准、适配不同场景落地需求，本文件立足环保产业实际应用场景，简化整合原有设施分类体系，将环保设施统一划分为设备类、单元类、工厂类三类。同时，基于各类设施的工艺复杂度、集成度、自动化水平及管理需求，围绕自主感知、记忆、决策、交互、执行五大核心能力，为三类设施分别建立 L1 级至 L5 五级环保设施运行管理智能体分级体系，形成分类、分层、精准适配的智能体技术规范。

本文件填补了环保设施运行管理智能体分级标准空白，可有效规范不同层级环保设施运行管理智能体的研发、生产、集成与落地应用，引导环保智能装备向精准化、智能化、无人化迭代，助力国家“人工智能+”行动及环保产业数字化转型落地实施。

环保设施运行管理智能体分类分级规范

1 范围

本文件将环保设施划分为三类，针对各类环保设施配套智能体，规定了分级原则、分级要素、等级划分依据、L1～L5 各等级核心技术要求，明确了不同等级智能体的能力边界、适配场景与人机协同规范。

本文件适用于具备自主感知、记忆、决策、交互及执行能力的各类环保设施配套智能体，适配污水处理、废气处理、固体废物处置、土壤修复、环境监测等领域的环保设施，其他环保相关智能装备及智能管理系统可参照执行。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

环保设施 environmental protection facilities

治理工业、商业及服务行业在生产经营过程中所产生并对环境造成影响的物质，使其达到法定要求所需要的设施、设备和装置以及环境监测设备。

[来源：GB/T 38221—2019, 3.1, 有修改]

3.2

智能体 intelligent agent

具备自主感知、记忆、决策、交互与执行能力的智能系统，是人工智能产品及服务的重要形态。

3.3

自主感知能力 autonomous perception capability

智能体通过传感器、数据接口等组件，结合对应层级设备的运行特点，实时采集核心信息并完成初步筛选、校准及预处理的专属能力。

[来源：GB/Z 177.1—2026, 7.1, 有修改]

3.4

记忆能力 memory capability

智能体根据对应层级设备的运行数据量、复杂度，对相关数据进行分类存储、动态更新及快速检索

的能力。

［来源：GB/Z 177.1—2026, 7.4, 有修改］

3.5

决策能力 decision-making capability

智能体基于对应层级设备的运行特性、感知及记忆数据和内嵌算法或模型，分析判断并生成针对性调控方案、处置指令或优化策略的能力。

3.6

交互能力 interaction capability

智能体根据设备层级交互需求，实现信息传递、指令交互、状态反馈的能力。

3.7

执行能力 execution capability

智能体根据自身决策指令，结合对应层级设备的自动化程度，控制设备完成相关操作以确保治理效果的能力。

3.8

设计运行域 operational design domain

由设施类型、工艺流程、设备能力、运行参数边界、工况场景界定的智能体有效自主运行范围，是智能体自主决策、闭环执行与风险兜底的前置条件；超出该域须启动人工接管或安全保护机制。

3.9

风险兜底策略 risk backstop strategy

环保设施智能体超出设计运行域或遭遇无法处置的异常工况时，为保障设施安全与环保达标预设的应急处置方案。执行模式取决于智能体自主等级：低等级以人工接管为主；高等级可自动执行安全保护程序并同步请求人工介入。

3.10

设备类环保设施 equipment-level environmental protection facility

由单台或少量同类环保设备组成，以现场人工操作为主的基础环保设施，无成套工艺控制系统。

3.11

单元类环保设施 unit-level environmental protection facility

具备完整独立治理工艺、成套设备组合，搭载 PLC/DCS 基础控制系统，可实现远程监控、参数采集，核心操作需人工确认的中等集成度环保工艺系统。

3.12

工厂类环保设施 factory-level environmental protection facility

由多个工艺单元组成、系统高度集成、具备全厂级协同管控基础、可实现全流程协同自动控制与常见故障自诊断的智能系统，通常为站级或厂级设施。

4 环保设施分类

4.1 分类原则

本文件依据环保设施的系统集成规模、工艺组合复杂度、自动化控制层级及运维管理维度，遵循“层级清晰、边界独立、全覆盖、无交叉”的划分原则，将全域环保治理设施划分为设备类、单元类、工厂类三类。分类以设施物理形态、工艺链路完整性、自控能力及运维管理口径为核心判定依据，为不同层级设施智能体的分级判定、能力适配与技术指标设定提供统一的基础分类框架。

4.2 类别设计

结合环保工程落地应用场景，将环保设施划分为设备类、单元类、工厂类三类。每类设施的结构组成、自控与运维特点及功能特征如表 1 所示。

表 1 环保设施类别划分

设施类别	结构组成	自控与运维特点	功能特征
设备类	单台或少量同类型设备组合，无成套联动工艺结构	无独立控制系统，无设备联动能力，运维依赖人工现场操作	功能单一，仅实现特定治理或监测目标，不涉及工艺耦合
单元类	多台关联设备集成，形成完整闭环治理工艺链路	搭载 PLC 或小型 DCS 自控系统，支持远程监测与基础联动操作，可独立完成运维验收	可独立实现污染物达标治理，工艺路线相对固定，是构成工厂类系统的核心工艺单元
工厂类	整合多类工艺单元及单体设备，形成全流程、全链路协同的完整环保治理体系	搭载全域智能管控系统，支持多工艺协同调度、跨单元联动运维及故障自诊断	统筹全厂环保合规运行，具备全流程自适应调控与跨单元故障联动处置能力

5 智能体分级与能力要求

5.1 分级原则

5.1.1 基于设备类、单元类、工厂类三类环保设施的工艺复杂度、系统集成度、自动化水平、管理范围及运维需求等方面的差异，针对每一层级环保设施，按照智能体自主感知、记忆、决策、交互、执行五大核心能力上的自主化、精准化、智能化程度，统一划分为 L1 级至 L5 级五个等级。等级越高，智能体的自主运行能力、自主优化能力及应急处置能力越强，对人工干预的依赖程度越低。

5.1.2 L1 级至 L5 级为能力递进关系，各等级智能体应满足对应等级的全部基本能力要求。其中，自主执行能力与风险防控能力直接影响设施安全及环保合规运行，未达到对应等级要求时，不得认定为该等级。

5.1.3 分级遵循分层适配、逐级递进、能力匹配、场景贴合的原则。同一设施类别下，各等级能力梯度清晰、功能边界明确，可适配不同智能化改造需求。等级间的实质性差异体现在人工参与程度、自主决策范围、自主执行广度、风险处置能力及持续优化能力的逐级跃升。

5.1.4 环保设施运行管理智能体等级与核心能力的对应关系参见附录 A，操作人员与各等级智能体的角色分工及协同规范参见附录 B。

5.2. 分级要素及判定

5.2.1 针对设备类、单元类、工厂类三类环保设施，各层级智能体 L1 级至 L5 级的等级划分，应围绕以下七项核心要素综合判定：

a）自主感知能力：智能体在对应设施层级上实现参数采集范围、数据质量控制、异常识别及状态感知的能力；

b）记忆能力：智能体对运行数据、历史工况、事件记录及知识信息进行存储、分类、检索、关联分析和持续更新的能力；

c）决策能力：智能体基于感知信息、历史数据、机理模型、算法模型及运行规则，进行工况识别、原因分析、策略生成和自主决策的能力；

d）交互能力：智能体与操作人员、设备、控制系统及其他智能体之间进行信息传递、指令交互、状态反馈和协同控制的能力；

e）执行能力：智能体根据决策结果，通过控制系统或执行机构实施操作、闭环控制、异常处置及策略调整的能力；

f）风险防控能力：智能体对运行异常、设备故障、工艺偏离、安全风险及环保合规风险进行识别、预警、隔离、处置和安全兜底的能力；

g）场景匹配能力：智能体的能力范围与对应环保设施类别、工艺流程、设备能力、设计运行域及实际运行场景的适配程度。

5.2.2 上述七项要素中，自主感知、记忆、决策、交互和执行五项能力构成智能体的核心能力体系；风险防控能力与场景匹配能力作为等级评价的约束性判定要素。

5.2.3 智能体等级判定应综合考量上述全部七项要素，并以对应等级的最低能力要求为基本准入条件；所有要素均达到对应等级要求，方可认定为该等级。

5.2.4 涉及设施安全、环保合规及关键控制的自主执行能力，应作为等级判定的重要约束条件。

5.3 智能体级别划分

5.3.1 L1 级

各层级设施 L1 级智能体仅具备基础感知能力，可采集并展示少量核心数据；不具备记忆、决策、交互及执行能力。全部运维处置工作由人工完成，智能体仅作为感知辅助工具，人工承担全部运行管理责任。

5.3.2 L2 级

各层级设施 L2 级智能体具备完整的感知能力与基础记忆能力，可实现全量数据采集、短期存储及简单异常预警；不具备自主决策能力，仅可响应人工发出的简单指令，关键操作仍由人工执行。

5.3.3 L3 级

各层级设施 L3 级智能体具备完整的感知能力、全量记忆能力、基础决策能力与人机交互能力，可输出标准化的调控方案和异常处置建议。所有控制指令须经人工审核确认后方可执行，实现人机协同运维；智能体不得自主开展影响设施安全、环保合规及工艺稳定运行的操作。

5.3.4 L4 级

各层级设施 L4 级智能体在设计运行域限定场景内，可完成“感知—决策—交互—执行”全闭环自

主运行，并具备成熟的应急处置机制与风险兜底策略。仅在复杂或极端工况下需人工介入。当运行条件超出设计运行域时，智能体应自动触发兜底策略并请求人工接管。

5.3.5 L5 级

各层级设施 L5 级智能体应全面覆盖设施全设计运行域，支持全场景自主处置、自适应策略迭代及跨模块协同优化，实现常态化无人化运维，仅需人工实施宏观监管及极端场景兜底。智能体所涉及的模型更新与策略迭代，须建立完善的版本管理、测试验证、授权发布、运行监测及异常回滚机制；涉及安全及环保合规的参数调整，不得突破法律法规要求及设施设计边界；超出设计运行域的重大风险工况，仍应由人工接管。

5.4. 各等级技术要求

5.4.1 一般要求

各等级智能体应满足对应等级的基本能力要求，并根据设备类、单元类和工厂类环保设施的实际运行特点确定具体技术指标。感知、数据、决策和执行等性能指标应采用可测量、可验证的方法进行评价。

智能体等级评价不应以单一指标作为唯一判定依据，应结合五大核心能力、风险防控能力和场景匹配能力进行综合评价。

5.4.2 L1 级技术要求

适用于设备类、单元类、工厂类环保设施配套的 L1 级智能体，以基础监测辅助为核心功能，能力要求如下：

a） 具备基础自主感知功能，可采集对应设施层级的核心基础参数，实现数据实时展示与基础超限报警；

b） 不具备自主数据存储、记忆检索、工况分析能力，不具备自主决策、人机交互及自主执行功能；

c） 设施的全部运维调控、故障处置、数据整理等工作完全由人工完成；

d） 智能体应在设施正常供电、通信及数据采集条件下持续执行基础监测任务；

e） 智能体异常或停止运行时，不应影响环保设施原有控制系统及人工操作功能。

注：设备类聚焦单设备基础参数监测，单元类聚焦单一工艺核心参数监测，工厂类聚焦全厂核心综合指标监测。三类设施仅在监测适配范围上存在差异，核心能力标准统一。

5.4.3 L2 级技术要求

适用于设备类、单元类、工厂类环保设施配套 L2 级智能体，以全量感知、数据留存及被动响应为核心功能，能力要求如下：

a） 具备完整的自主感知能力，可全维度采集对应设施层级的核心运行参数、工艺参数及联动参数，满足行业基础运行监测精度需求；

b） 具备基础记忆存储能力，可短期留存设施运行数据，支持常规数据查询与工况记录，并具备数据断电保护及日志留存功能；

c） 可针对设施单一参数超限、常规设备及工艺异常实现精准预警，不具备自主工况决策与调控能力；

d） 可被动响应人工发出的简易操作指令，完成基础启停、参数微调等辅助操作；

e） 不具备自主执行与工况优化能力，核心运维处置工作仍由人工主导；

f） 应具备运行数据完整性校验与异常数据识别机制，对通信中断、数据缺失、明显异常值等情况进行提示或记录；

g） 人工未持续参与时，智能体可继续完成数据采集、数据留存与异常预警，但不得自主改变设施关键运行状态。

注：设备类覆盖单设备多类核心参数，单元类覆盖工艺联动参数，工厂类覆盖全厂综合及各单元核心参数，监测维度随设施层级复杂度提升。

5.4.4 L3 级技术要求

适用于设备类、单元类、工厂类环保设施配套的 L3 级智能体，以人机协同及辅助决策为核心功能，能力要求如下：

a） 具备精准的自主感知能力，可全面采集对应设施层级核心运行参数、工艺参数及联动参数，适配设施常规运行监测需求；

b） 具备完善的记忆能力，可长期存储设施全量运行数据，支持历史工况回溯、运行趋势分析及快速数据检索；

c） 具备基础自主决策能力，可识别设施常规异常、工艺偏离及运行偏差问题，生成标准化的工况调控建议及异常处置建议；

d） 配备专属人机交互界面，支持工况实时查询、异常信息反馈及人工指令交互；

e） 所有决策建议所对应的操作及异常处置工作，均应经人工审核确认后方可执行；无人干预时，智能体可持续预警并保持设施安全运行状态；

f） 形成标准化的人机协同运维模式，人工负责安全合规把控，智能体负责数据感知与分析辅助；

g） 智能体生成的调控建议应具备可解释性，能够提供建议依据、目标参数、预期效果及风险提示等必要信息；

h） 对涉及安全、环保合规或关键工艺参数的控制操作，应设置人工确认和权限控制机制。

注：设备类聚焦单设备工况辅助调控，单元类聚焦独立工艺单元优化处置，工厂类聚焦全厂跨单元工况统筹分析与调控建议输出。

5.4.5 L4 级技术要求

适用于设备类、单元类、工厂类环保设施配套 L4 级智能体，以限定场景全自主运维及风险兜底为核心功能，能力要求如下：

a） 可在对应设施层级设计运行域，激活全维度智能运维功能；

b） 可自主完成设施全量参数感知、数据自检纠错、全维度数据存储分析、工况研判决策、人机智能交互及闭环执行全流程工作；

c） 具备完善的工况分析、故障溯源及运行优化能力，可自主完成常规工况调控与常见故障闭环处置；

d） 搭载智能化交互体系，支持便捷人机交互、工况智能推送及运行数据自动梳理；

e） 具备完备的风险防控与兜底能力，无人工干预时可自动触发对应设施层级安全兜底策略，防止故障扩大及工况超标；

f） 仅复杂、极端及超设计运行域的场景需人工介入处置；

g） 应明确设计运行域、允许自主决策范围、自主执行边界及人工接管条件，并形成可配置、可验证的运行边界；

h） 应具备自主运行过程监视、执行结果评价及异常状态退出机制；

i） 当智能体自身发生模型异常、数据异常、通信异常或执行异常时，应能够切换至预设安全策略或人工接管状态；

j） 智能体自主控制策略应经过测试验证，涉及关键控制参数的调整应具备权限管理、操作记录和回退机制。

注：设备类实现单设备全流程自主运维与故障处置，单元类实现独立工艺全链路自主调控与工艺优化，工厂类实现全厂多单元协同调度、跨区域故障联动处置与全局合规管控。

5.4.6 L5 级技术要求

适用于设备类、单元类、工厂类环保设施配套 L5 级智能体，以全场景无人化及自主迭代优化为核心功能，能力要求如下：

a） 在法律法规、安全运行要求、设施设计能力和控制边界约束下，可覆盖对应设施的全设计运行域，适应不同负荷、运行状态及复杂工况；

b） 实现全要素、全维度参数采集，具备感知设备小型故障及数据异常的自主诊断与处置能力；

c） 具备海量数据长期存储、大数据深度分析及跨工况快速检索能力，支持运行规律挖掘与长效数据溯源；

d） 具备自主学习与迭代优化能力，可自适应工况波动、运行场景变化与合规标准调整，持续优化决策与运维策略；

e） 可全流程自主完成设施运维、工艺优化、故障全域处置、能耗管控及合规自查等全部工作，无需人工常规干预；

f） 具备跨模块、跨单元、跨系统协同交互能力，可实现全域资源优化配置与联动运维；

g） 对自主学习、模型更新和运行策略迭代，应建立模型版本管理、验证测试、授权发布、运行监测及异常回滚机制；

h） 涉及环保合规、安全生产及关键工艺控制的策略调整，应具备明确的安全约束与风险审查机制，不得因自主学习或策略迭代突破设施设计边界或法律法规要求；

i） 应根据运行效果对控制策略进行持续评价与优化，并对策略调整过程形成完整记录，实现运行过程可追溯；

j） 当发生超设计运行、重大安全风险、重大环保风险或超出智能体自主处置能力的极端场景时，应自动进入预设安全状态，并支持人工接管。

注：L5 级智能体的“全场景”是指对应设施全设计运行域内的场景，不包括超出设施设计能力、法律法规允许范围及安全边界的运行场景。设备类实现单设备全场景无人化智能运维与策略迭代，单元类实现独立工艺全工况自适应优化与跨单元协同适配，工厂类实现多厂区、多系统全局统筹运维、全域智能协同与长效优化。

附录 A
（资料性）
环保设施运行管理智能体等级与核心能力对应关系

本附录以表格形式给出设备类、单元类、工厂类三类环保设施在 L1 级至 L5 级下，智能体在自主感知、记忆、决策、交互、执行五项核心能力方面的典型表现，用于辅助理解等级划分和开展等级判定。具体等级判定应结合第 5 章规定的分级原则、分级要素及技术要求综合评价，本附录不作为等级判定的唯一依据。各设施类别的具体对应关系见表 A.1 至表 A.3。

表 A.1 设备类环保设施运行管理智能体等级与核心能力对应关系

智能体等级	自主感知	记忆	决策	交互	执行
L1	基础核心参数采集与状态感知	无	无	无	无
L2	设备运行参数全量采集与基础异常识别	短期运行数据存储、查询、日志留存	无	无	无
L3	设备运行状态精准感知与异常识别	长期运行数据存储、历史工况追溯与趋势分析	常规工况分析并生成调控建议	支持设备状态查询、异常反馈和人工指令交互	人工审核确认后执行调控指令
L4	全量参数感知、数据质量自检与状态识别	多维数据关联分析与历史工况追溯	设计运行域内常规工况自主决策	运行状态主动推送、智能告警及人工接管交互	设计运行域内自主闭环执行，超界时进入安全状态或请求人工接管
L5	全要素状态感知、异常识别及故障诊断	长期运行数据深度分析、跨工况规律挖掘与持续更新	全设计运行域内自主决策、自适应调整和策略优化	设备、控制系统及相关模块协同交互	全设计运行域内自主运行和优化，极端或超边界场景支持人工接管

表 A.2 单元类环保设施运行管理智能体等级与核心能力对应关系

智能体等级	自主感知	记忆	决策	交互	执行
L1	基础核心参数采集	无	无	无	无
L2	工艺关键参数全量采集与基础异常识别	短期工艺数据存储、查询与事件记录	无	无	无
L3	全工艺参数精准感知、状态识别与异常检测	长期工艺数据存储、历史工况回溯与趋势分析	常规工况识别并生成工艺调控建议	工艺状态查询、异常反馈及人机协同交互	人工审核确认后执行工艺调控指令

智能体等级	自主感知	记忆	决策	交互	执行
L4	工艺全量参数感知、数据自检与运行状态识别	工艺多维数据关联分析、工况追溯与运行规律分析	设计运行域内工艺自主决策、优化与异常处置	工艺运行主动推送、智能告警及人工接管	设计运行域内工艺闭环自主执行，超出边界时触发风险兜底
L5	全设计运行域工艺状态感知、异常诊断与故障识别	工艺大数据深度分析、跨工况规律挖掘与持续更新	全设计运行域内工艺自适应决策、持续优化与跨单元协同决策	跨设备、跨工艺单元及相关控制系统协同交互	全设计运行域内工艺全流程自主运行、自适应优化及异常处置

表 A.3 工厂类环保设施运行管理智能体等级与核心能力对应关系

智能体等级	自主感知	记忆	决策	交互	执行
L1	全厂核心指标基础采集与状态展示	无	无	无	无
L2	全厂核心运行参数采集、基础异常识别与状态监测	全厂短期数据存储、查询与事件记录	无	无	无
L3	全厂跨单元运行参数精准感知与综合状态识别	全厂长期数据存储、历史工况追溯与趋势分析	全厂工况分析并生成跨单元统筹调控建议	全厂运行状态可视化、人机交互及异常反馈	人工审核确认后执行跨单元统筹调控
L4	全厂全量参数感知、跨系统数据校验与全域状态识别	全厂多源、多维数据关联分析与跨单元工况追溯	设计运行域内全厂工况自主统筹决策、协同优化与异常处置	全厂运行主动推送、智能告警、跨单元协同交互及人工接管	设计运行域内全厂协同闭环执行，超出边界时触发风险兜底
L5	全厂全要素状态感知、异常诊断及跨系统运行状态识别	全厂大数据深度分析、跨工艺关联分析、运行规律挖掘与持续更新	全设计运行域内全厂全场景自主决策、多目标优化与跨系统协同决策	跨设备、跨单元、跨系统及多模块协同交互	全设计运行域内全厂自主统筹运行、协同优化及复杂异常自主处置

注 1： 三类设施智能体的等级均按 L1 级至 L5 级逐级递进。等级定义保持一致，但自主能力的作用范围、数据关联范围、决策复杂度和执行范围应与对应设施类别相匹配。

注 2： 表 A.1 至表 A.3 中“自主执行”是指智能体能够通过控制系统、执行机构或其他授权接口实施控制操作；不应将单纯的信息展示、报警推送或操作建议认定为自主执行。

注 3： 表中“故障诊断”“异常处置”等能力，应以实际设施运行范围和已验证的技术能力为基础，不代表智能体对未知故障或极端工况均具备自主处置能力。

附录 B
（资料性）
操作人员与各等级环保设施运行管理智能体的角色分工协同规范

本附录以表格形式给出设备类、单元类、工厂类三类环保设施在 L1 级至 L5 级下，智能体与操作人员的角色分工及人机协同关系，用于辅助理解不同等级智能体的自主运行边界和人工参与程度。具体等级判定应结合第 5 章规定的分级原则、分级要素及技术要求综合评价。

不同等级智能体的人机协同关系按照“人工主导→人机协同→智能体主导运行→智能体自主优化”的路径逐级演进。智能体等级越高，操作人员对日常运行操作的直接参与程度越低，但安全监管、权限管理和极端场景接管职责不随等级提升而取消。各设施类别的具体分工见表 B.1 至表 B.3。

表 B.1 设备类环保设施人机协同分工规范

智能体等级	智能体角色分工	操作人员角色分工	人机协同要求
L1	基础数据采集、实时显示、基础报警，不具备自主分析、决策和执行能力	全权负责设备决策、操作、数据记录、故障运维及安全管控	人工绝对主导，智能体仅辅助监测，设备运行责任由人工承担
L2	全量数据采集、短期数据留存、基础异常识别和预警，被动响应人工简单指令	负责设备决策、操作执行、数据审核、异常处置及设备维护	人工主导，智能体辅助感知、记录和预警，不自主改变关键运行状态
L3	完成设备状态感知、历史数据分析、常规异常识别并生成调控建议，经人工确认后执行	审核智能体分析结果和调控建议，确认关键操作，处置复杂异常并负责安全合规监管	人机协同，智能体辅助分析和决策，人工审核后执行
L4	在设计运行域及已验证场景内自主完成状态感知、决策、控制执行和常见异常处置，超出边界时主动请求人工介入	监管智能体运行状态，处理超出自主运行边界的异常，实施人工接管并负责系统维护和校准	智能体主导常规设备运行，人工负责边界监管和异常接管
L5	在全设计运行域内自主运行、自主调整和持续优化，具备设备异常诊断及跨模块协同能力	实施宏观监管、权限管理、系统维护和极端场景接管，对关键策略变更进行审核或授权	智能体自主运行，人工宏观监管；超设计能力或重大风险场景由人工接管

表 B.2 单元类环保设施人机协同分工规范

智能体等级	智能体角色分工	操作人员角色分工	人机协同要求
L1	工艺基础参数监测、数据显示和基础报警，不具备工艺分析及自主处置能力	全权负责工艺调控、设备操作、故障处置、数据管理及安全合规管理	人工主导，智能体仅提供工艺数据监测辅助
L2	工艺全量感知、短期数据存储、常规异常预警和人工指令响应	统筹工艺操作、审核运行数据、处置工艺异常和维护系统设备	人工主导工艺运行，智能体辅助感知、记录和预警
L3	完成工艺数据感知、历史工况分析、异常识别并生成工艺调控方案，经人工确认后执行	审核工艺方案、确认关键操作、处置复杂工艺偏差及故障，负责工艺安全和环保合规	人机协同运行，智能体负责分析建议，人工负责关键决策和执行确认

智能体等级	智能体角色分工	操作人员角色分工	人机协同要求
L4	在设计运行域及已验证工艺场景内自主完成工艺调控、运行优化和常见异常处置，并具备风险兜底和人工接管机制	监管工艺自主运行状态，处理超设计运行域或复杂异常，实施人工接管并负责系统维护和校准	智能体主导常规工艺运行，人工负责运行边界监管和异常接管
L5	在工艺全设计运行域内自主完成运行调控、自适应优化、异常处置和跨单元协同	实施工艺运行宏观监管、权限管理、策略维护和极端工况接管，对关键工艺策略调整实施必要审核或授权	智能体自主运行和持续优化，人工负责宏观监管、策略授权和极端场景接管

表 B.3 工厂类环保设施人机协同分工规范

智能体等级	智能体角色分工	操作人员角色分工	人机协同要求
L1	全厂核心指标基础监测、数据显示和基础报警，不具备全厂统筹分析和调度能力	全权负责全厂环保设施统筹运维、调度、故障处置和合规管理	人工全权主导，智能体辅助全厂数据监测
L2	全厂核心参数感知、短期数据留存、全局异常预警和人工指令响应	统筹全厂运维、调度各工艺单元、处置全局异常和审核运行数据	人工统筹主导，智能体辅助全厂监测、记录和预警
L3	完成全厂跨单元数据感知、历史工况分析和全局异常识别，生成跨单元统筹调控建议，经人工确认后执行	审核全局调控方案、确认跨单元操作、处置复杂全域故障并负责全厂安全和环保合规	人机协同统筹，智能体辅助全厂分析决策，人工负责关键决策和执行确认
L4	在全厂设计运行域及已验证场景内自主完成多单元协同调度、运行优化和常见异常处置，具备全局风险防控和人工接管机制	监管全厂智能运维状态，处理超出自主运行边界的复杂工况，实施人工接管并负责系统升级维护	智能体主导全厂常规运行和协同调度，人工负责全局边界监管和异常接管
L5	在全厂设计运行域内自主完成多单元、多系统协同运行、自主优化和复杂异常处置，并能够根据运行效果持续优化全局策略	制定宏观运行目标和管理策略，实施权限管理、系统维护及极端场景接管，对涉及安全、环保合规及关键控制策略的调整进行必要审核或授权	智能体自主统筹运行和持续优化，人工实施宏观监管、目标设定和极端场景接管

注 1： 智能体等级越高，操作人员对日常运行操作的直接参与程度越低，但操作人员仍应承担安全监管、系统维护、权限管理和人工接管职责。智能体自主运行不等同于取消人工监管。

注 2： L4 级智能体的自主运行范围应限定在明确的设计运行域和经过验证的运行场景内。发生超出设计运行域、重大设备故障、重大环保风险、安全风险或智能体自身异常等情况时，应按照风险兜底策略进入安全状态并支持人工接管。

注 3： L5 级智能体的自主运行范围为对应环保设施的全设计运行域，不包括超出设施设计能力、法律法规要求、安全运行边界以及未经验证的重大风险场景。发生上述情况时，应触发风险兜底策略并支持人工接管。

注 4： 涉及自主学习、模型更新和控制策略迭代的 L5 级智能体，应建立模型和策略版本管理、验证测试、授权发布、运行监测和异常回滚机制。操作人员可根据风险等级对模型更新和关键策略变更实施审核或授权。

注 5： 当智能体发生数据异常、通信中断、模型异常、执行机构异常或其他可能影响自主运行安全的情况时，应根据预设安全策略降低自主运行权限、切换至安全运行状态或请求人工接管。

参考文献

[1] GB/Z 177.1—2026 人工智能终端智能化分级 第 1 部分：参考框架
[2] GB/T 20984 信息安全技术 信息安全风险评估方法
[3] GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
[4] GB/T 25000.51—2016 系统与软件工程 系统与软件质量要求和评价（SQuaRE）第 51 部分：就绪可用软件产品（RUSP）的质量要求和测试细则
[5] GB/T 35273—2020 信息安全技术 个人信息安全规范
[6] GB/T 38221 环境保护设施运营组织服务评价技术要求
[7] GB/T 45087—2024 人工智能 服务器系统性能测试方法
[8] GB/T 45288.2—2025 人工智能 大模型 第 2 部分：评测指标与方法
[9] GB/T 45397—2025 信息技术 生态环境大数据 系统框架
[10] HJ 164—2020 地下水环境监测技术规范
[11] HJ 1209—2021 工业企业土壤和地下水自行监测 技术指南
[12] HJ 1346.1—2024 固定污染源基本数据集 第 1 部分：基础信息