

ICS 03.120.01

CCS L 05

T/CICC

中国指挥与控制学会团体标准

T/CICC 35013—2025

复杂智能系统环境适应性技术要求

Technical requirements for environmental adaptability of complex intelligent
systems

2025-09-12 发布

2025-09-12 实施

中国指挥与控制学会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语与定义	1
4 缩略语	3
5 智能系统环境适应性核心对象	3
5.1 环境要素	3
5.2 数据对象	3
5.3 模型对象	4
6 智能系统环境适应性定量要求	4
7 智能系统环境适应性定性要求	7
7.1 计算环境适应性要求	7
7.2 自然环境适应性要求	7
7.3 训练环境适应性要求	7
7.4 测试环境适应性要求	8
7.5 使用环境适应性要求	8
8 智能系统环境适应性支撑技术与方法	8
8.1 确定寿命期环境剖面	8
8.2 编制使用环境文件	8
8.3 确定环境类型及其量值	9
8.4 制定智能系统环境适应性设计准则	9
8.5 智能系统环境适应性设计	10
8.6 智能系统环境适应性预计	10
8.7 智能系统环境适应性测试	11
8.8 智能系统环境适应性评估	12
9 基于模型架构类型的环境适应性	12
9.1 大模型	13
9.2 联邦学习	13
9.3 深度神经网络	13
9.4 迁移学习	13
9.5 Transformer模型	14
9.6 扩散模型	14
9.7 强化学习	14
9.8 多智能体系统	15
10 基于功能类型的环境适应性要求	15
10.1 感知功能	15
10.2 认知功能	15
10.3 决策功能	16
10.4 控制功能	16

10.5	执行机构	17
11	智能系统环境适应性全生命周期过程	17
11.1	需求阶段	17
11.2	设计阶段	18
11.3	训练阶段	18
11.4	测试阶段	18
11.5	运行阶段	19
11.6	维护与更新阶段	19
11.7	退役阶段	20

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》的规定编写。

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。

本文件由中国指挥与控制学会提出并归口。

本文件起草单位：北京航空航天大学、杭州市北京航空航天大学国际创新研究院（北京航空航天大学国际创新学院）、可靠性与环境工程技术重点实验室、北京航空航天大学可靠性工程研究所、中国科学院声学研究所、中国船舶集团有限公司系统工程研究院、中国农业大学、浙江荷湖科技有限公司、北京智臻领航科技有限公司。

本文件主要起草人：杨顺昆、颜思玮、侯展意、郝程鹏、吴梦丹、段峙宇、司昌龙、马欣瑞、叶洲腾、李炳华、安冬、黄海驰、杨懿、蒋亮亮、熊中运、刘磊、李道颐、李晓亮。

复杂智能系统环境适应性技术要求

1 范围

本文件规定了复杂智能系统环境适应性的核心对象、定量与定性要求及支撑技术方法，并针对不同模型架构与功能类型，细化了对应的环境适应性要求。

本文件适用于复杂智能系统在需求、设计、训练、测试、运行、维护与退役阶段的各项环境适应性活动。

2 规范性引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本文件的条款。凡注日期或版次的引用文件，其后的任何修改（不包括勘误的内容）或修订版本都不适用于本文件，凡不注日期或版次的引用文件，其最新版本适用于本文件。

GB/T 11457—2006 信息技术 软件工程术语

GB/T 29833.1-2013 系统与软件可移植性 第1部分:指标体系

GB/T 29833.2-2013 系统与软件可移植性 第2部分:度量方法

GB/T 29833.3-2013 系统与软件可移植性 第3部分:测试方法

GB/T 42018-2022 信息技术 人工智能 平台计算资源规范

GB/Z 42759-2023 智慧城市 应用场景人工智能技术 分类指南

GB/T 44385-2024 航天器空间环境适应性保证通用要求

GJB 451B-2021 装备通用质量特性术语

GJB 8892.14-2017 武器装备论证通用要求 第14部分: 环境适应性

GJB 8892.15-2017 武器装备论证通用要求 第15部分: 电磁环境适应性

T/CICC 35012—2025 复杂智能系统环境适应性技术要求

ISO/IEC 5259-1-2024 人工智能 用于分析和机器学习的数据质量 第1部分: 概述、术语和示例(Artificial intelligence - Data quality for analytics and machine learning (ML) Part 1: Overview, terminology, and examples)

ISO/IEC 5259-3-2024 人工智能 用于分析和机器学习的数据质量 第3部分: 数据质量管理要求和准则(Artificial intelligence - Data quality for analytics and machine learning (ML) Part 3: Data quality management requirements and guidelines)

ISO/IEC 5338-2023 信息技术 人工智能系统生命周期流程(Information technology Artificial intelligence AI system life cycle processes)

ISO/IEC 25059-2023 软件工程系统和软件质量要求与AI系统质量评估模式(Software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) Quality model for AI systems)

3 术语与定义

3.1

复杂智能系统 Complex Intelligent Systems

由感知、认知、决策与执行等功能模块构成，采用机器学习等方法，在不确定、开放环境下执行任务的人机环管协同系统。其复杂性体现在多源异构数据、动态场景、要素耦合以及全生命周期演化。

3.2

环境适应性 Environmental Adaptability

智能系统在不同物理环境、计算环境、网络环境及应用场景中保持功能稳定、性能可靠与安全可用的能力。

3.3

外部环境适应性 External Environmental Adaptability

智能系统在训练、测试、运行过程中对外部物理条件（如声、光、电、电磁、温湿度、振动等）以及算力、网络资源变化的适应能力。

3.4

使用环境适应性 Operational Environmental Adaptability

智能系统在不同应用场景、数据特征分布、任务需求与安全策略下保持功能可用与性能稳定的能力。

3.5

生命周期环境适应性 Lifecycle Environmental Adaptability

智能系统在概念、训练、测试、运行、维护与退役各阶段对环境变化的适应能力。

[来源:ISO/IEC 5338:2023,定义 3.1,有修改]

3.6

环境适应性测试 Environmental Adaptability Test

通过实验方法、仿真验证或现场测试，对智能系统在特定环境条件下的稳定性、鲁棒性和可靠性进行验证的过程。

3.7

声环境适应性 Acoustic Environmental Adaptability

智能系统在高噪声、多声源及复杂声学环境中保持功能稳定与识别准确的能力。

3.8

光环境适应性 Optical Environmental Adaptability

智能系统在强光、弱光、背光及光照突变等条件下维持感知与识别性能的能力。

3.9

电环境适应性 Electrical Environmental Adaptability

智能系统在电压、频率波动及供电异常情况下保持正常运行的能力。

3.10

电磁环境适应性 Electromagnetic Environmental Adaptability

智能系统在电磁环境中能正常工作且不对其他设备造成不可接受电磁干扰的能力。

[来源:GJB 8892.15-2017,3.1,有修改]

3.11

温度环境适应性 Temperature Environmental Adaptability

智能系统在高温、低温及温度循环条件下维持稳定运行的能力。

[来源:GJB 8892.14-2017,3.1,有修改]

3.12

湿度环境适应性 Humidity Environmental Adaptability

智能系统在高湿、低湿及湿度变化条件下保持功能可靠的能力。

3.13

振动环境适应性 Vibration Environmental Adaptability

智能系统在长期振动及瞬态冲击条件下维持结构完整与功能稳定的能力。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件：

EA	环境适应性 (Environmental Adaptability)
EEA	外部环境适应性 (External Environmental Adaptability)
OEA	使用环境适应性 (Operational Environmental Adaptability)
LEA	生命周期环境适应性 (Lifecycle Environmental Adaptability)
EAT	环境适应性测试 (Environmental Adaptability Test)
CIS	复杂智能系统 (Complex Intelligent System)
AHP	层次分析法 (Analytic Hierarchy Process)
CPU	中央处理器 (Central Processing Unit)
GPU	图形处理器 (Graphics Processing Unit)
TPU	张量处理器 (Tensor Processing Unit)
DPU	数据处理单元 (Data Processing Unit)
NPU	神经处理器 (Neural Processing Unit)

5 智能系统环境适应性核心对象

5.1 环境要素

5.1.1 计算环境

按照GB/T 42018—2022第6章确立的程序，智能系统应分别明确其在训练过程和使用过程中所适用的计算环境，包括CPU/GPU/TPU/DPU/NPU、内存、存储、接口、网络等与计算相关的资源条件和要求。

5.1.2 自然环境

智能系统应分别明确其在训练过程和使用过程中所适用的自然环境，包括声、光、电、电磁、温度、湿度、振动等各种自然、物理和化学等相关的可能影响智能系统功能、性能或任务的相关干扰因素。

5.1.3 训练环境

在智能系统训练过程中，除了要明确其所适用的计算环境外，还要考虑自然环境相关干扰因素对其训练结果和模型的精度及有效性所带来的可能影响。例如：可以增加对各种环境因素的模拟。

5.1.4 测试环境

智能系统在测试过程中，除了要明确其所适用的计算环境外，还要考虑自然环境相关干扰因素对其训练结果和模型的精度及有效性所带来的可能影响。例如：可以增加对各种环境因素的模拟。

5.1.5 使用环境

智能系统在使用过程中，除了要明确并满足其所适用的计算环境外，还要考虑自然环境相关干扰因素对模型的正常运行和结果的有效性所带来的可能影响。

5.1.6 执行机构

智能系统在执行过程中，需依赖机械、电子、液压或其他形式的执行机构完成感知、决策结果的物理实现。

5.2 数据对象

5.2.1 训练数据

智能系统在训练过程中采用的训练数据应涵盖各种环境因素,包括对多种环境因素的组合干扰数据。

[来源:ISO/IEC 5259-1-2024,5.1,有修改]

5.2.2 测试数据

智能系统在测试和验证过程中所采用的测试数据应涵盖各种环境因素,并增加对多种环境因素的组合干扰数据及边界和异常情况。

5.2.3 使用数据

智能系统在使用过程中应对系统输入数据中可能存在的各种环境干扰和对抗情况进行有效的识别和防控,并对系统的输出结果进行不确定性和可信性分析。

5.3 模型对象

智能系统应对其模型架构、参数、权重、超参数、神经元、激活函数、损失函数等关键要素进行环境适应性设计、分析、测试、验证、评价与保护。

6 智能系统环境适应性定量要求

环境适应性及计算方法如表1所示:

表 1 智能系统环境适应性定量要求

序号	指标	含义	计算方法	参考来源	备注
1.	环境风险极值	在智能系统寿命周期内,通过统计或试验方法得到的某一环境因素在特定时间段内可能出现的最高或最低值。	$ERE = \min F_E \text{ 或 } ERE = \max F_E$ $T: \text{统计时间};$ $F_E: \text{某一环境因素强度}。$	GJB 451B-2021	数值越接近真实环境边界条件,代表设计考虑越充分
2.	环境损伤率	智能系统及在一定的环境条件下使用一定时间后性能变化量与初始值之比。	$A_{ED} = \frac{F_E - F_S}{F_S} \times 100\%$ $F_E: \text{智能系统在一定的环境条件下使用一定时间后性能};$ $F_S: \text{智能系统的原始性能}。$	GJB 451B-2021	0<X≤1, 越接近0越好
3.	环境损伤速率	智能系统在一定的环境条件下性能随时间变化的快慢程度,可采用单位时间内性能变化量来表示。	$R_{ED} = \frac{\Delta F(t)}{\Delta T}$ $F(t): \text{智能系统随时间变化的性能};$ $T: \text{时间}。$	GJB 451B-2021	数值越小越好,表示性能下降越慢

表2 智能系统环境适应性定量要求（续表）

序号	指标	含义	计算方法	参考来源	备注
4.	环境耐受时间	智能系统在预期使用环境下性能和功能变化达到规范允许的影响程度或变化范围(容差)前的使用时间。	$T_{EE}=t_{UE}-t_{US}$ t_{UE} : 智能系统在预期使用环境下性能和功能变化达到容差的时刻; t_{US} : 智能系统运行开始时刻。	GJB 451B-2021	数值越大越好, 表示系统耐受时间更长
5.	功能收敛率	智能系统在不同环境条件下, 智能系统能够保持并实现的功能集合与设计/指定功能集合之间的覆盖比例。	若缺少的功能数量为 A , 指定的功能数量为 B , 功能收敛的大小为 X , 则: $X=1-\frac{A}{B}$ A = 缺少的功能数量 B = 指定的功能数量	GB/T 29833.2-2013	$0 \leq X \leq 1$, 越接近1越好
6.	功能的正确性	智能系统在不同的环境条件下, 能提供正确结果功能所占的比例。	$X=1-\frac{A}{B}$ A = 不正确的的功能数量 B = 定义的功能数量	GB/T 29833.2-2013	$0 \leq X \leq 1$, 越接近1越好
7.	系统可用度	智能系统在外部环境干扰下仍能处于可运行状态的概率。	$X=\frac{A}{B}$ A = 智能系统正常运行时间 B = 智能系统总运行时间	GB/T 29833.2-2013	$0 \leq X \leq 1$, 越接近1越好
8.	任务成功率	智能系统在环境变化条件下, 智能系统任务成功完成的比例。	$X=\frac{A}{B}$ A = 智能系统成功运行的任务数 B = 期望智能系统能适应且正确运行的任务总数	GB/T 29833.2-2013	$0 \leq X \leq 1$, 越接近1越好

表3 智能系统环境适应性定量要求（续表）

序号	指标	含义	计算方法	参考来源	备注
9.	操作系统适应性	智能系统在不同操作系统及其版本、补丁更新带来的软件环境变化下仍能稳定运行的能力。	$X = \frac{A}{B}$ A = 智能系统能够适应的硬件数量 B = 期望智能系统能适应且正确运行的硬件环境类型的总数	GB/T 29833.2-2013	0≤X≤1，越接近1越好
10.	数据库适应性	在智能系统运行的新环境中数据库对智能系统正确运行的影响。	$X = \frac{A}{B}$ A = 智能系统能成功适应的数据库个数 B = 期望智能系统能成功适应的数据库个数	GB/T 29833.2-2013	0≤X≤1，越接近1越好
11.	支撑模块适应性	在智能系统运行的新环境中支撑模块对智能系统正确运行的影响。	$X = \frac{A}{B}$ A = 智能系统能成功适应的支撑软件个数 B = 期望智能系统能成功适应的支撑软件个数	GB/T 29833.2-2013	0≤X≤1，越接近1越好
12.	通信适应性	智能系统在不同网络条件下维持通信与服务质量的能力。	$X = \frac{A}{B}$ A = 用户能够成功适应的通信模式的数量 B = 用户期望能够适应的通信模式的数量	GB/T 29833.2-2013	0≤X≤1，越接近1越好
13.	数据适应性	智能系统对数据变化的适应能力。	$X = \frac{A}{B}$ A = 应成功或者运行并被观察到的数据种类数 B = 期望能在智能系统适应的环境中运行的数据科类总数	GB/T 29833.2-2013	0≤X≤1，越接近1越好

表 4 智能系统环境适应性定量要求（续表）

序号	指标	含义	计算方法	参考来源	备注
14.	数据的连续使用性	智能系统在变更之后继续使用原有数据的能力。	$X = \frac{A}{B}$ A = 在其他更换的智能系统中使用并证实能继续使用的数据个数 B = 在其他更换的智能系统中使用并计划能继续重新使用的数据个数	GB/T 29833.2-2013	0≤X≤1，越接近1越好

7 智能系统环境适应性定性要求

7.1 计算环境适应性要求

对计算环境的适应性提出要求，包括算力资源匹配、计算框架兼容性、存储与网络条件等，具体内容如下：

- a) 根据不同计算单元（CPU、GPU、TPU、NPU、DPU 等）的资源情况，明确智能系统的最小运行配置。
- b) 根据分布式计算架构，明确跨节点数据一致性与参数同步的要求。
- c) 根据不同深度学习框架（如 PyTorch、TensorFlow、ONNX Runtime 等），明确接口兼容性和迁移要求。
- d) 应考虑在资源受限环境下（如边缘设备）提供压缩、蒸馏或量化版本，保证系统可用。
- e) 必须明确系统在断电、断网情况下的应急运行与数据恢复措施。

7.2 自然环境适应性要求

按GB/T 44385—2024的要求，对自然环境的适应性提出要求，包括声、光、电、电磁、温度、湿度、振动等外部物理环境，具体内容如下：

- a) 根据声学干扰条件，明确语音识别与声传感器的抗噪声能力要求；
- b) 根据光照变化条件，明确视觉传感器在强光、弱光、背光下的鲁棒性要求；
- c) 根据供电波动情况，明确电气接口的抗干扰与防护要求；
- d) 根据电磁兼容性（EMC）标准，明确抗电磁干扰措施；
- e) 根据高温、低温、温湿度循环条件，明确系统稳定性与保护要求；
- f) 根据振动与冲击条件，明确传感器与硬件结构的防护与冗余设计。

7.3 训练环境适应性要求

对训练环境的适应性提出要求，包括数据来源、数据质量与传输环境，具体内容如下：

- a) 根据多源数据的异构性，明确数据清洗与格式转换的要求；
- b) 根据数据采集与存储条件，明确数据完整性与一致性要求；

- c) 根据网络条件（低带宽、高延迟），明确断点续传与数据缓存机制；
- d) 应考虑在训练环境差异下的结果可复现性，明确容器化或配置文件的应用要求；
- e) 应在训练中引入数据增强、多源融合，降低特征分布漂移的风险。

7.4 测试环境适应性要求

对测试环境的适应性提出要求，包括运行平台、操作系统及网络条件，具体内容如下：

- a) 根据目标运行平台（嵌入式设备、云服务器、本地工作站），明确测试环境的覆盖要求；
- b) 根据操作系统及版本差异，明确驱动与依赖的兼容性验证要求；
- c) 根据多种网络条件（高延迟、低带宽、丢包率不同），明确系统鲁棒性验证要求；
- d) 应确保测试环境与部署环境的一致性，避免结果偏差；
- e) 应在测试中锁定依赖版本，防止关键组件更新导致不兼容。

7.5 使用环境适应性要求

对使用环境的适应性提出要求，包括应用场景、任务模式、安全策略，具体内容如下：

- a) 根据输入特征分布的变化，明确系统场景迁移与自适应能力要求；
- b) 根据长期运行条件，明确性能稳定性与防退化机制；
- c) 根据不同任务角色与资源分布，明确系统在多场景下的自适应能力；
- d) 应支持不同安全策略，包括访问控制、数据加密、防入侵措施，并保持功能可用；
- e) 宜在任务环境变化时，具备快速重构通信与决策策略的能力。

8 智能系统环境适应性支撑技术与方法

8.1 确定寿命期环境剖面

8.1.1 适用对象

智能系统在全生命周期（设计、开发、训练、测试、运行、维护）各阶段的环境分析与评估。

8.1.2 实施步骤

对确定寿命期环境剖面的实施步骤提出要求，具体内容如下：

- a) 制定寿命期环境剖面计划；
- b) 分析六类典型状态事件（需求、设计、训练、测试、运行、维护）；
- c) 确定事件发生地点和特征，结合环境机理，识别环境类型；
- d) 按时间序列出环境剖面。

8.1.3 实施要点

对确定寿命期环境剖面的实施要点提出要求，具体内容如下：

- a) 特别关注感知层、数据、算法运行、网络通信、安全威胁五类环境；
- b) 环境应力值来源：实测数据、标准数据库、仿真结果或计算分析；
- c) 订购方需明确使用与保障方案、环境特性数据、提交进度和限制条件。

8.2 编制使用环境文件

8.2.1 适用对象

实际部署和运行场景中的环境数据收集与归档。

8.2.2 实施步骤

对编制使用环境文件的实施步骤提出要求，具体内容如下：

- a) 收集部署场景传感器特征、算力与网络条件、模型性能表现、运行日志；
- b) 制定实测计划（当历史数据不足时），确定数据类型、采集位置、工具和方法；
- c) 数据清洗、统计分析，生成“使用环境文件”。

8.2.3 实施要点

对编制使用环境文件的实施要点提出要求，具体内容如下：

- a) 数据应覆盖传感器、网络、算力、任务场景、异常事件等；
- b) 明确精度要求、测试剖面和设备；
- c) 文件需作为环境适应性设计和验证的重要依据。

8.3 确定环境类型及其量值

8.3.1 适用对象

智能系统开发与测试阶段的环境要求确认。

8.3.2 实施步骤

对确定环境类型及其量值的实施步骤提出要求，具体内容如下：

- a) 分析寿命期环境剖面与使用环境文件；
- b) 提取关键环境因素及其综合效应；
- c) 明确量值准则，确定各类环境要求。

8.3.3 实施要点

对确定环境类型及其量值的实施要点提出要求，具体内容如下：

- a) 自然环境：温度、湿度、电磁、振动；
- b) 数据环境：漂移幅度、噪声水平、缺失率；
- c) 算法环境：延迟阈值、内存上限、精度下限；
- d) 网络环境：最大延迟、带宽下限、丢包率阈值；
- e) 安全威胁：对抗扰动幅度、入侵响应时间。

8.4 制定智能系统环境适应性设计准则

8.4.1 适用对象

设计人员、评审专家、承制方。

8.4.2 实施步骤

对制定智能系统环境适应性设计准则的实施步骤提出要求，具体内容如下：

- a) 基于标准和行业经验，编制设计准则；
- b) 明确各类环境因素下的适应性要求；
- c) 将准则作为设计和评审的依据。

8.4.3 实施要点

对制定智能系统环境适应性设计准则的实施要点提出要求，具体内容如下：

- a) 感知层，确保系统在复杂环境下仍能获取准确、可靠的外部信息；
 - 1) 多源传感器冗余与融合；
 - 2) 抗干扰与屏蔽设计（电磁兼容、噪声滤波）；

- 3) 传感器自诊断与健康管理
- b) 数据层，保证数据在采集、传输、存储和使用环节的质量：
 - 1) 数据预处理（归一化、缺失值填补、异常检测）；
 - 2) 数据质量评估与监控；
 - 3) 关键数据冗余存储与加密传输。
- c) 模型层，提高模型在不同环境下的泛化与鲁棒性：
 - 1) 对抗训练、正则化、剪枝等提升稳健性的策略；
 - 2) 跨环境数据增强（温度、光照、信噪比等扰动）；
 - 3) 采用可解释性增强设计（便于评估与溯源）。
- d) 算法层，保证算法在多平台、多环境中保持一致性与可移植性：
 - 1) 算法跨平台适配与接口标准化；
 - 2) 核心计算模块冗余实现（CPU/GPU/FPGA多实现）；
 - 3) 在有限算力下保持性能的轻量化设计。
- e) 网络层，提升通信与分布式协作的适应性与容错性：
 - 1) 自适应路由与带宽管理；
 - 2) 容错机制（丢包重传、动态切换链路）；
 - 3) 边缘—云协同架构设计。
- f) 系统层，在环境变化和故障情况下保持关键功能运行：
 - 1) 系统降级模式与回退策略（如由自主→半自主→人工控制）；
 - 2) 故障检测、隔离与恢复（FDIR）；
 - 3) 生命周期健康管理（包括环境应力预测）。

8.5 智能系统环境适应性设计

8.5.1 适用对象

智能系统环境适应性设计阶段。

8.5.2 实施步骤

对智能系统环境适应性设计的实施步骤提出要求，具体内容如下：

- a) 依据环境适应性要求，开展设计；
- b) 参考设计手册和准则，采用适当技术和方法；
- c) 结合试验结果，修正薄弱环节。

8.5.3 实施要点

对智能系统环境适应性设计的实施要点提出要求，具体内容如下：

- a) 采用成熟的适应性设计技术；
- b) 预留足够设计余量（耐环境余量）；
- c) 优化硬件与软件资源配置，实施负载均衡；
- d) 将环境适应性设计与研制试验、自然环境试验结合。

8.6 智能系统环境适应性预计

8.6.1 适用对象

智能系统环境适应性评估与风险分析阶段。

8.6.2 实施步骤

对智能系统环境适应性预计的实施步骤提出要求，具体内容如下：

- a) 建立性能指标曲线（精度、延迟、能耗、带宽等）；
- b) 分析数据扰动、网络抖动、算力波动对决策的影响；
- c) 评估迁移精度保持、降级运行能力、安全风险等级；
- d) 进行对比分析，判断系统能否承受最恶劣环境。

8.6.3 实施要点

对智能系统环境适应性预计的实施要点提出要求，具体内容如下：

- a) 关注极端环境下的余量与恢复时间；
- b) 风险指标：对抗攻击成功率、数据泄露概率；
- c) 明确订购方与承制方需提交的环境剖面、数据来源、分析方法与资料。

8.7 智能系统环境适应性测试

8.7.1 声环境适应性要求

对声环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 智能系统在高噪声环境下应保持基本功能的可用性；
- b) 应在不同信噪比条件下验证系统识别与交互的准确性；
- c) 宜开展语音识别类系统在多声源干扰条件下的性能评估。

8.7.2 光环境适应性要求

对光环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 智能系统在强光、弱光、背光条件下应保持感知功能的有效性；
- b) 宜在不同光谱条件（可见光、红外、紫外）下验证系统传感性能；
- c) 应开展突变光照条件下的鲁棒性测试。

8.7.3 电环境适应性要求

对电环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 智能系统在电压波动、频率变化条件下应保持功能稳定；
- b) 宜具备异常断电与恢复后的数据完整性保护机制；
- c) 可开展不同供电环境下的长期稳定性验证。

8.7.4 电磁环境适应性要求

对电磁环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 智能系统应满足基本电磁兼容性（EMC）要求；
- b) 应在电磁干扰条件下验证关键功能的连续性；
- c) 宜在静电放电、雷击脉冲等极端电磁条件下进行加严测试。

8.7.5 温度环境适应性要求

对温度环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 智能系统在高温、低温环境下应保持功能可用；
- b) 应在温度循环条件下验证系统的长期稳定性；

c) 宜在超出设计极限的高低温条件下开展加严测试，评估极端温度下的适应能力。

8.7.6 湿度环境适应性要求

对湿度环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 智能系统在高湿、低湿环境下应保持功能可用；
- b) 应在湿度循环条件下验证长期稳定性；
- c) 宜在超出设计极限条件下开展加严测试，评估极端适应能力。

8.7.7 振动环境适应性要求

对振动环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 智能系统在运输、部署过程中的振动条件下应保持结构与功能完整；
- b) 应在典型振动和冲击工况下验证感知、控制与存储功能的有效性；
- c) 宜开展长期振动条件下的耐久性评估。

8.7.8 综合环境适应性要求

对综合环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 智能系统应在多种环境应力同时作用条件下（如高温高湿、电磁干扰叠加振动等）保持基本功能的可用性；
- b) 应开展典型组合环境测试，验证系统在复合环境下的稳定性与鲁棒性；
- c) 宜在极端叠加条件下进行加严试验，评估系统在复杂环境下的极限适应能力。

8.8 智能系统环境适应性评估

8.8.1 适用对象

适用于复杂智能系统在全寿命周期（需求、设计、训练、测试、运行、维护、退役）阶段的环境适应性综合评价，覆盖物理环境、数据环境、算力与网络环境以及安全威胁环境。

8.8.2 实施步骤

对智能系统环境适应性评估的实施步骤提出要求，具体内容如下：

- a) 建立评估框架，确定指标体系和评价准则；
- b) 收集寿命期环境剖面、使用环境文件及测试验证数据；
- c) 对定量指标（如损伤率、耐受时间、可用度、任务成功率）进行测算；
- d) 对定性指标（如功能收敛、功能正确性、数据适应性、通信适应性）进行分析；
- e) 形成环境适应性风险矩阵和综合评分；
- f) 输出评估结论与环境适应性等级。

8.8.3 实施要点

对智能系统环境适应性评估的实施要点提出要求，具体内容如下：

- a) 评估应结合仿真、实验和实际运行数据，确保结果客观；
- b) 应覆盖典型工况、极端工况与复合工况，保证评估全面性；
- c) 宜采用权重化指标体系，建立综合适应性评分模型；
- d) 应在系统版本迭代或重大环境变化时进行再评估，防止适应性退化；
- e) 评估结果应形成标准化报告，为设计改进、运维保障和认证提供依据。

9 基于模型架构类型的环境适应性

9.1 大模型

9.1.1 外部环境适应性

对大模型外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 大模型训练与推理阶段应适配高性能计算集群、多 GPU/TPU 混合架构，并应具备跨集群资源调度能力；
- b) 应支持在不同数据中心及云服务商提供的计算、存储环境中运行，并保持模型参数一致性；
- c) 宜适应网络延迟与带宽波动对模型分布式训练及推理的影响。

9.1.2 使用环境适应性

对大模型使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 模型应适配不同推理加速硬件（GPU、NPU、ASIC）和框架版本（TensorRT、ONNX Runtime 等）；
- b) 宜在资源受限环境（边缘设备）下提供压缩、蒸馏或量化后的推理版本，以适应低算力环境。

9.2 联邦学习

9.2.1 外部环境适应性

对联邦学习外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 联邦学习系统应适配不同终端设备（手机、边缘节点、嵌入式系统）在算力、内存、存储上的差异；
- b) 应支持在不稳定网络环境（低带宽、高丢包率）下进行参数或梯度的同步与聚合；
- c) 宜具备跨区域、跨时区的调度与通信机制，适应异步训练模式。

9.2.2 使用环境适应性

对联邦学习使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 应适配不同数据格式、特征分布及采集频率的终端数据源，防止因数据异构性导致模型精度下降；
- b) 提供客户端环境适应性自检机制，确保节点满足参与训练的最低资源要求。

9.3 神经网络

9.3.1 外部环境适应性

对神经网络外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 神经网络的训练应适配多种计算平台，包括 GPU、TPU 及异构加速硬件；
- b) 应支持分布式训练环境，适应节点数目和网络拓扑的动态变化；
- c) 宜具备在不同操作系统及容器化环境下的一致运行能力。

9.3.2 使用环境适应性

对神经网络使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 模型应能适配不同输入数据的尺度、维度及分辨率差异；
- b) 宜在不同任务场景下具备超参数自适应调整能力（如学习率、批大小）；
- c) 应支持在推理部署时进行模型压缩、剪枝和量化，以适应低算力环境。

9.4 迁移学习

9.4.1 外部环境适应性

对迁移学习外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 迁移学习过程应支持在多种源任务和目标任务的数据环境中进行知识迁移；
- b) 应适配不同数据分布和标签空间的差异，保证迁移效果；
- c) 宜支持跨域迁移，能够处理异构数据源（图像、文本、语音）的特征差异。

9.4.2 使用环境适应性

对迁移学习使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 模型应具备快速适配新任务和新环境的能力，减少从零开始训练的成本；
- b) 宜支持小样本或零样本学习，在数据有限情况下保持性能；
- c) 应提供任务切换和参数冻结机制，避免灾难性遗忘。

9.5 Transformer 模型

9.5.1 外部环境适应性

对Transformer模型外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) Transformer 模型训练应适配大规模分布式计算环境，并能处理高显存消耗问题；
- b) 应支持多机多卡训练，适应通信带宽和延迟的波动；
- c) 宜适配不同框架实现（PyTorch、TensorFlow、JAX），并保持模型效果一致。

9.5.2 使用环境适应性

对Transformer模型使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 模型应能适配不同长度的输入序列，保持推理效率和准确性；
- b) 宜提供轻量化版本（如 DistilBERT、TinyBERT）以适应边缘设备部署；
- c) 应具备多模态输入适应能力（图文、语音文本等）。

9.6 扩散模型

9.6.1 外部环境适应性

对扩散模型外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 扩散模型训练应支持高性能 GPU/TPU 环境，适应长时间大规模训练的资源需求；
- b) 应能在不同显存容量下进行动态批次调整，保证训练稳定性；
- c) 宜适配多种数据预处理与存储格式，保证训练数据加载效率。

9.6.2 使用环境适应性

对扩散模型使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 模型应支持在不同分辨率、模态（图像、音频、视频）下的生成任务；
- b) 宜提供加速采样机制，适应低延迟推理场景需求；
- c) 应支持模型裁剪、蒸馏与混合精度推理，以适应算力受限环境。

9.7 强化学习

9.7.1 外部环境适应性

对强化学习外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 强化学习系统应适配多种仿真环境及真实环境的接口和通信协议；
- b) 应适应不同实时性要求的执行环境，包括低延迟控制场景（机器人控制）和高延迟反馈场景（网络策略优化）。

9.7.2 使用环境适应性

对强化学习使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 应支持环境参数变化（状态空间、动作空间、奖励函数调整）对训练策略的快速再适应；
- b) 宜具备环境切换后的迁移学习机制，减少重新训练所需时间

9.8 多智能体系统

9.8.1 外部环境适应性

对多智能体系统外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 多智能体系统应适配多种通信网络架构，包括集中式、分布式及混合式架构下的通信协议与数据同步机制；
- b) 应适应多智能体运行环境中的网络延迟、带宽限制及数据包丢失等条件，确保协作与决策的一致性；
- c) 宜支持异构硬件平台下多智能体的协同运行，包括不同算力、内存及传感器配置的节点。

9.8.2 使用环境适应性

对多智能体系统使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 应支持多智能体数量、角色及任务分配变化时的自适应协作策略调整；
- b) 宜具备在任务场景变化（环境地图、资源分布、干扰因素变化）时快速重构通信与决策策略的能力；
- c) 宜提供智能体故障或下线情况下的冗余与任务再分配机制，以保障整体任务完成率。

10 基于功能类型的环境适应性要求

10.1 感知功能

10.1.1 典型使用场景

对感知功能典型使用场景提出规定，具体内容如下：

- a) 智能安防监控（多摄像头、全天候运行）；
- b) 自动驾驶感知（车载雷达、摄像机、激光雷达）；
- c) 工业检测（机器视觉、温度传感）。

10.1.2 环境适应性要求

对感知功能环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 在低光照、强光、雨雪、雾霾等气象条件下应保持感知功能的可用性；
- b) 在噪声干扰、振动、温度变化、湿度波动等条件下应保持传感器输出数据的稳定性；
- c) 在多源传感器异构数据融合时，应具备时间同步和数据一致性保障能力。

10.1.3 风险控制措施

对感知功能风险控制措施提出要求，具体内容如下：

- a) 宜配置冗余传感器，降低单点失效风险；
- b) 宜在部署前进行场景特定的标定与性能验证。

10.2 认知功能

10.2.1 典型使用场景

对认知功能典型使用场景提出要求，具体内容如下：

- a) 智能客服与问答系统（包括但不限于多语种、多模态输入）；
- b) 医学影像辅助诊断（包括但不限于大规模图像与文本分析）；
- c) 工业大数据分析（包括但不限于云端/本地混合计算）。

10.2.2 环境适应性要求

对认知功能环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 应适应多语言、多数据格式（包括但不限于文本、语音、图像、视频）的输入环境；
- b) 在网络延迟、带宽受限、云端调用不稳定等条件下，应保持核心推理功能可用；
- c) 在知识库更新、规则调整、算法迭代的场景下，应保持推理结果一致性或可预测性。

10.2.3 风险控制措施

对认知功能风险控制措施提出要求，具体内容如下：

- a) 宜建立知识更新回归验证流程，防止更新引入不一致结果；
- b) 宜对输入信息缺失或存在噪声的情况进行容错处理。

10.3 决策功能

10.3.1 典型使用场景

对决策功能典型使用场景提出要求，具体内容如下：

- a) 无人机编队任务调度；
- b) 工厂自动化生产控制；
- c) 物流路径优化与调度。

10.3.2 环境适应性要求

对决策功能环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 在任务目标、约束条件、外部环境参数（包括但不限于天气、交通、设备状态）变化时，应快速调整决策策略；
- b) 在突发事件（包括但不限于设备故障、通信中断、数据异常）场景下，应具备应急决策与安全降级能力；
- c) 在多执行单元（包括但不限于机器人、运输设备）同时运行时，应保持任务分配与执行的协调一致。

10.3.3 风险控制措施

对决策功能风险控制措施提出要求，具体内容如下：

- a) 宜建立决策可追溯机制，记录关键环境参数与决策依据；
- b) 宜在决策链路中设置冗余路径与备份执行单元。

10.4 控制功能

10.4.1 典型使用场景

对控制功能典型使用场景提出要求，具体内容如下：

- a) 智能制造装备的实时过程控制（包括但不限于 PLC、嵌入式控制器）；
- b) 无人机飞行姿态控制与航迹保持；
- c) 智能电网能量分配与调度控制。

10.4.2 环境适应性要求

对控制功能环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 在电磁干扰、供电波动、温度变化等外部条件下，应保持控制信号的实时性与准确性；
- b) 在网络延迟、丢包或断连情况下，应具备本地控制与安全降级机制；
- c) 在多控制回路并行运行时，应保持系统稳定性，避免振荡或超调。

10.4.3 风险控制措施

对控制功能风险控制措施提出要求，具体内容如下：

- a) 宜设计冗余控制通道，降低单点故障风险；
- b) 宜通过硬件隔离和滤波措施，提升控制链路的抗干扰能力；
- c) 宜引入实时监控与告警机制，对控制偏差及时修正。

10.5 执行机构

10.5.1 典型使用场景

对执行机构典型使用场景提出要求，具体内容如下：

- a) 机器人关节与伺服电机执行精密运动；
- b) 智能车辆的转向、制动与动力输出；
- c) 工业自动化中的机械臂、传输带等执行单元。

10.5.2 环境适应性要求

对执行机构环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 在振动、冲击、高低温及湿度变化等物理环境下，应保持执行机构动作的稳定性与精度；
- b) 在电源波动或电磁干扰环境下，应保持执行指令的响应可靠性；
- c) 在高负载、频繁启停工况下，应保证执行机构的寿命与性能不明显退化。

10.5.3 风险控制措施

对执行机构风险控制措施提出要求，具体内容如下：

- a) 宜配置执行机构状态监测与健康管理机制，提前发现故障趋势；
- b) 宜在关键任务场景中采用双冗余或多冗余执行单元，降低任务失败风险；
- c) 宜在执行机构发生故障时具备紧急制动或安全停机功能。

11 智能系统环境适应性全生命周期过程

11.1 需求阶段

11.1.1 外部环境适应性要求

对需求阶段外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 需求阶段应明确智能系统在声、光、电、电磁、温度、湿度、振动等外部物理环境下的适应性需求。
- b) 应明确对计算、存储、网络等资源条件的适配性需求，并规定最小运行条件。
- c) 宜在需求阶段提出多环境叠加条件下的适应性边界。

11.1.2 使用环境适应性要求

对需求阶段使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 需求阶段应明确系统在不同应用场景、任务模式下的功能保持要求。
- b) 按 ISO/IEC 25059—2023 描述的，应提出对数据来源、格式及分布的适应性需求，避免因数据异构导致系统失效。

- c) 宜在需求中提出安全策略要求，包括访问控制、数据加密与容错需求。

11.1.3 风险控制要求

对需求阶段风险控制提出要求，具体内容如下：

- a) 应在需求阶段识别因环境因素引发的主要风险，并提出控制策略。
- b) 应明确关键运行环境参数的阈值及超限风险应对措施。
- c) 宜在需求阶段建立环境适应性需求与风险清单，用于后续设计与验证环节。

11.2 设计阶段

11.2.1 外部环境适应性要求

对设计阶段外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 设计阶段应将需求阶段提出的环境适应性要求转化为系统架构设计方案。
- b) 应在硬件和软件设计中纳入对声、光、电、电磁、温湿度及振动的适应性措施。
- c) 宜在设计中预留冗余与扩展接口，以应对未来环境条件变化。

11.2.2 使用环境适应性要求

对设计阶段使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 设计阶段应确保系统能够适配多场景任务，支持不同输入数据分布与任务模式。
- b) 应在设计中引入可移植性和可配置性机制，以支持不同运行平台和操作系统。
- c) 宜通过设计优化保证在低资源环境下的可用性，例如引入模型压缩与加速技术。

11.2.3 风险控制要求

对设计阶段风险控制提出要求，具体内容如下：

- a) 应在设计阶段落实需求阶段识别的环境适应性风险控制措施。
- b) 应在设计中考虑容错、冗余和自恢复机制，降低环境波动对功能的影响。
- c) 宜开展设计级环境仿真与验证，提前发现潜在环境适应性问题。

11.3 训练阶段

11.3.1 外部环境适应性要求

对训练阶段外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

a) 智能系统训练阶段应能够适配不同计算资源环境，包括但不限于 GPU、TPU、CPU 集群及分布式训练环境。

b) 训练阶段应能够适应不同来源和格式的数据采集与存储环境，保证数据完整性与一致性。

c) 训练阶段宜适应不同网络条件下的数据传输，包括低带宽、高延迟环境，并应具备断点续传能力。

11.3.2 使用环境适应性要求

对训练阶段使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 训练工具链应支持不同版本的深度学习框架及其依赖环境，并保持功能一致性。
- b) 训练脚本与模型构建流程宜具备跨平台可移植性，确保在不同操作系统下可一致运行。

11.3.3 风险控制要求

对训练阶段风险控制提出要求，具体内容如下：

- a) 应采取容器化或环境配置文件等手段，防止环境差异导致训练结果不可复现。
- b) 宜设计多级算力适配方案，降低硬件性能瓶颈对训练效率的影响。
- c) 应采取数据增强或多源数据融合等措施，降低异构数据导致的特征分布漂移风险。

11.4 测试阶段

11.4.1 外部环境适应性要求

对测试阶段外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 测试阶段应在目标运行平台上验证智能系统的功能与性能，包括嵌入式设备、云服务器、本地工作站等。
- b) 应在不同操作系统及版本下验证系统功能一致性，并检查关键驱动程序兼容性。
- c) 宜在多种网络条件（高延迟、低带宽、丢包率不同）下验证系统鲁棒性。

11.4.2 使用环境适应性要求

对测试阶段使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 训练工具链应支持不同版本的深度学习框架及其依赖环境，并保持功能一致性。
- b) 训练脚本与模型构建流程宜具备跨平台可移植性，确保在不同操作系统下可一致运行。

11.4.3 风险控制要求

对测试阶段风险控制提出要求，具体内容如下：

- a) 应确保测试环境与实际部署环境的一致性，避免结果偏差。
- b) 应在测试阶段锁定依赖版本，防止关键组件更新导致的不兼容问题。
- c) 宜在测试中引入网络容错与自动重试机制，降低网络波动对功能的影响。

11.5 运行阶段

11.5.1 外部环境适应性要求

对运行阶段外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 运行阶段的智能系统应能够适应目标运行环境的物理条件，包括温度、湿度、气压、振动和电磁干扰等。
- b) 应支持在不同网络质量条件下稳定运行，并具备离线模式与数据同步能力。
- c) 宜适应不同电压、频率及不稳定供电环境，具备电源异常保护措施。

11.5.2 使用环境适应性要求

对运行阶段使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 系统应具备场景迁移能力，能够适应输入特征分布的变化。
- b) 系统应在长期连续运行条件下保持性能稳定，不得出现明显退化。
- c) 系统宜适配不同安全策略，包括访问控制、数据加密、防入侵措施，并保持功能可用。

11.5.3 风险控制要求

对运行阶段风险控制提出要求，具体内容如下：

- a) 应在极端环境条件下开展加严测试，并设计硬件与软件冗余机制。
- b) 应针对数据分布漂移风险，建立在线学习或定期再训练机制。
- c) 宜设计离线应急模式和数据缓冲机制，防止供电或网络中断导致的服务不可用。

11.6 维护与更新阶段

11.6.1 外部环境适应性要求

对维护与更新阶段外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 系统更新应考虑不同硬件和软件环境的兼容性，保证升级过程的平滑性。
- b) 应确保更新包在不同网络条件下可靠分发，并具备断点续传与校验机制。

11.6.2 使用环境适应性要求

对维护与更新阶段使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 更新策略应覆盖不同应用场景和业务连续性需求，包括不停机升级与灰度发布。
- b) 宜支持多版本共存机制，以便在必要时回滚到稳定版本。

11.6.3 风险控制要求

对维护与更新阶段风险控制提出要求，具体内容如下：

- a) 更新过程应设定严格的回退机制，避免因更新失败导致系统不可用。
- b) 应在更新后开展一致性验证，确保功能、性能和安全性不受影响。
- c) 宜引入更新日志与追溯机制，便于快速定位与修复问题。

11.7 退役阶段

11.7.1 外部环境适应性要求

对退役阶段外部环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 退役过程中应保证数据在不同存储环境下的完整迁移或销毁。
- b) 系统应提供跨平台的数据导出能力，保证用户或机构能够顺利交接。

11.7.2 使用环境适应性要求

对退役阶段使用环境适应性提出要求，具体内容如下：

- a) 退役应考虑用户群体和依赖系统的影响，提供替代解决方案或迁移路径。
- b) 应保障在退役过渡期内，关键功能仍能在目标环境下正常运行。

11.7.3 风险控制要求

对退役阶段风险控制提出要求，具体内容如下：

- a) 退役应确保敏感数据的彻底清除，避免隐私泄露和合规风险。
 - b) 应在退役前开展风险评估，防止因服务中止导致的业务中断。
 - c) 宜在退役后保留必要的审计和归档机制，以满足法规和责任追溯需求。
-