《自动化系统与集成 生产自动化能力分级 第1部分：框架与定义》编制说明

1 任务背景

根据《中国智能制造发展报告 (2021)》的数据，截至2020年底，我国智能制造核心产业规模已达到1.6万亿元人民币。市场研究机构IDC预测，到2023年，全球智能制造市场规模将达到2.4万亿美元。

然而，作为智能制造基石的生产自动化系统 (PCS)，长期以来一直缺乏统一标准对PCS进行恰当的能力评估，导致企业面临定位模糊、智能化信息化开展困难等问题。特别地，在当今时代背景下，制造企业亟需优化生产流程和资源利用，以降低能源物料消耗，满足新一代发展需要，利用IT和OT技术地进一步融合，进行工业企业数字化转型，从自动化走向信息化并最终走向智能化，在这一过程中，需要有可靠的评价体系评估并引导工业企业的数字化转型升级过程，并为企业进一步信息化发展做基础支撑。

为此，研制《自动化系统与集成 生产自动化能力分级》标准，规范制造企业生产过程自动化能力模型、等级定义、等级划分框架和各等级技术要求，帮助企业对制造过程自动化能力进行定位及提升，助力企业进行数字化转型升级。通过生产过程自动化能力分级能帮助企业找到自身自动化能力中的位置，定位弱势技术点位并制定合适的提升计划，为企业数字化信息化建设打下基础并助力工业企业数字化转型。

2 任务来源

本标准编制任务来源于浙江省自动化学会于2025年2月28日下达的浙自学标委[2025]3号《浙江省自动化学会标准起草任务书》归口单位为浙江省自动化学会标准技术工作委员会，标准名称为《自动化系统与集成 生产自动化能力分级 第1部分：框架与定义》，起草任务书号:ZJAA2025003。

3 主要起草单位和工作组成员

本标准负责起草单位：浙江大学

本标准参与起草单位：

本标准主要起草人：

4 主要工作过程

4.1 成立标准起草工作组

根据任务要求，浙江大学于2025年2月成立了标准编制工作起草小组，组织标准编制组织工作。标准编制工作起草小组从2025年2月份积极组织筹备和征集标准起草单位。经过近2个月的征集、评审和筛选，并最终由浙江大学确定了标准起草工作组的成员单位，成立了标准起草工作组；同时，根据本单位多年的标准研制以及企业实践经验，主导起草了《自动化系统与集成 生产自动化能力分级 第1部分：框架与定义》(草案)，提交浙江省自动化学会。

4.2 第一次编制讨论及项目立项

2025 年4月21日，由浙江省自动化学会组织专家组，召开立项会议，对本单位起草的《自动化系统与集成 生产自动化能力分级 第

1 部分：框架与定义》团标进行沟通讨论，从行业发展和建立标准的必要性考虑，最终通过了本单位《自动化系统与集成 生产自动化能力分级 第 1 部分：框架与定义》团标立项，确定了标准的工作内容、工作思路以及后续的主要工作安排。

专家组还对《自动化系统与集成 生产自动化能力分级 第 1 部分：框架与定义》（草案）提出了修改意见。

1. 制订《自动化系统与集成 生产自动化能力分级 第 1 部分：框架与定义》团体标准编制说明。会后，工作组严格按照要求制定编制说明。

2.修正标准文档内容及格式。会后，工作组对标准的文档内容及格式进行了调整：使用最新的浙江省自动化学会团体标准模板。

3.根据现有草案及资料，结合各起草单位，尽可能多地收集相关组织、单位的意见，开展本标准的完善工作；要继续进行更为广泛和深入的市场调查，对市场情况有非常全面和科学的认知，才能够确保以后做出来的标准符合大部分同行的制造水平；目前标准的内容还比较单薄，需后续对相关数据进一步整理扩充。

4.3 第二次工作组会议

为了提高沟通效率，工作组讨论会主要以线上交流的方式进行。在 2025 年 4 月 22 日至 2025 年 5 月 7 日两周内，工作组成员对编制讨论的内容进行了详细的校对评审，并对标准草案进行了深入的研讨，尤其对标准的条款及内容等进行分析研判，形成了基本共识。

5 标准编制原则和主要内容

5.1 标准编制原则

本标准的制定工作遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则，本着先进性、科学性、合理性和可操作性的原则，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。

本文件由浙江省自动化学会提出并归口。

本标准不对新技术设定约束，仅对新技术的应用进行了描述。

5.2 标准主要内容

本标准规定了制造过程自动化的能力模型、能力等级定义、等级划分和各等级技术要求，为制造企业、制造流程自动化系统解决方案提供商和监管机构开展生产自动化等级的差距识别、方案规划和改进提升提供参考。

本标准主要描述了生产自动化能力的能力模型、能力等级定义、等级划分和各等级技术要求等，包括自动化能力等级和级别主要特征、各级别在感知、控制、执行、安全、优化上的技术能力要求等；

与现有的国际、国内标准不同，本标准对 IEC 62264 规定的 0-2 层 PCS 层的自动化能力进行评估分级，切入点清晰且相关领域尚处空白，具备先进性。

5.2.1 范围

本标准规定了制造企业生产过程自动化能力的分级。

本标准适用于制造企业、制造流程自动化系统解决方案提供商和监管机构开展生产自动化等级的差距识别、方案规划和改进提升。

5.2.2 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 20720.1-2019　企业控制系统集成 第1部分：模型和术语

GB/T 20720.2-2020　企业控制系统集成 第2部分：企业控制系统集成的对象和属性

GB/T 20720.3-2022　企业控制系统集成 第3部分：制造运行管理的活动模型

GB/T 20720.4-2021　企业控制系统集成 第4部分：制造运行管理集成的对象模型属性

GB/T 20720.5-2015　企业控制系统集成 第5部分：业务与制造间事务

5.2.3 术语和定义

GB/T 20720.1-2019、GB/T 20720.2-2020、GB/T 20720.3-2022、GB/T 20720.4-2021 和 GB/T 20720.5-2015 界定的术语和定义适用于本文件。

5.2.4 缩略语

MOM：制造运行管理（Manufacturing Operation Management）

TPA：自动化能力分级（Taxonomy of Process Automation）

5.2.5 生产自动化能力分级

5.2.5.1 生产自动化能力分级

基于工业企业自动化生产系统能够执行生产任务的程度，根据在执行设备自动生产任务中的角色分配以及是否需要人工参与的限制，将生产自动化分成 0 级至 5 级。生产自动化等级与划分要素的关系见附录 A。工厂所需人工操作和自动化生产系统的角色见附录 B。

5.2.5.2 工业生产过程的自动化能力等级定义

自动化能力等级规定了制造系统在不同阶段应该达到的自动化水平。本标准将工业生产过程的自动化能力等级分为6级，自低向高分别为：人工操作级、初级自动化、中级自动化、优化级自动化、高级自动化、完全自动化。划分的主要要素为：

--生产自动化系统是否能执行生产任务中的设备闭环控制，并具备基本安全联锁条件

--生产自动化系统是否能执行生产任务中的设备多变量自动化操作

--生产自动化系统是否能执行生产任务中的多设备协同优化控制操作

--生产自动化系统是否能在全范围内执行生产任务中的多设备协同优化控制操作

--生产自动化系统是否能执行全要素控制，并能全自动启停车

表1列出了各个级别对应的主要特征。

表 1 自动化能力等级和级别主要特征

自动化能力等级级别	级别对应名称	级别对应主要特征
0	人工操作级 Manual	在基本仪器、数据采集和遥感系统的存在下，由人工操作员全职完成所有控制操作
1	初级自动化 Limited Automation	由没有自动设定值优化的单回路控制系统进行闭环操作，由自主系统执行安全联锁，期望人工操作人员执行生产自动化的所有其余方面
2	中级自动化 Semi-Automation	单设备的多变量生产自动化/操作，由单独或协调的先进控制系统来处理生产过程的耦合动态，并期望操作员在任何意外的紧急情况下留下来。
3	优化级自动化 Optimized Automation	通过协调优化控制系统对多设备进行设定值优化/需求预测，期望操作员能适当响应，以达到生产自动化的更高效率。
4	高级自动化 Advanced automation	基于全厂协同优化的生产自动化/全流程操作由自主控制系统实现，即使人工操作人员未能及时干预系统。
5	完全自动化 Full automation	由自主生产自动化系统对动态生产任务的各个方面进行全时执行，不需要人工在操作人员对生产系统进行任何干预。系统实现完全自动的启动和停车操作

更高的自动化能力等级将完全包含低等级能力的所有特征，各等级自动化能力的包含关系如图1所示。

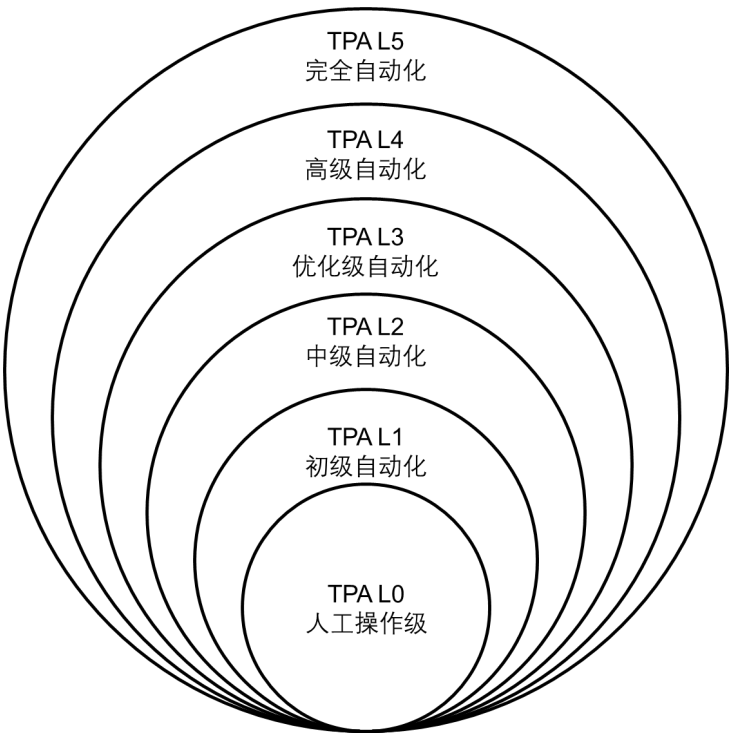


图 1 自动化能力分级

5.2.5.3 生产自动化等级划分

5.2.5.3.1 0 级生产自动化

0级生产自动化（人工操作级）系统不能执行任何生产中涉及的自动控制任务，但具备持续采集设备生产数据信息并执行人工操作指令的能力。

5.2.5.3.2 1 级生产自动化

1级生产自动化（初级自动化）系统具备设备的单回路自动控制功能，但不具备设备内多变量控制的能力。

注：对于流程制造，1级生产自动化的自动控制系统仅支持单入单出的单回路控制；对于离散制造，仅支持单变量控制，不支持多变量控制功能。

5.2.5.3.3 2 级生产自动化

2级生产自动化（中级自动化）系统具备设备内多变量控制的能力，但不具备多设备的协同优化控制功能。

5.2.5.3.4 3 级生产自动化

3级生产自动化（高级自动化）系统具备多设备间的协同优化控制功能，但对系统优化控制的覆盖率不做限制。

5.2.5.3.5 4 级生产自动化

4级生产自动化（优化级自动化）系统的所有设备均具备协同优化控制功能，但对系统自诊断、自维护和自动处理紧急状况不做要求。

5.2.5.3.6 5 级生产自动化

5级生产自动化（完全自动化）系统自动化实现人工能够管理的所有生产操作，并能实现自动停车和启动。

注1：对于5级生产自动化，仍由人决定自动化生产系统的开启和关闭。生产系统也仍受MES、ERP等高级管理系统控制。

注2：在底层生产的层面，5级生产自动化已经具备黑灯工厂、无人工厂的条件。

5.2.5.4 生产自动化各等级技术要求

5.2.5.4.1 0级生产自动化

0级生产自动化系统应满足以下要求：

a) 具备生产信息采集、就地显示和远程显示的能力；

b) 执行器和现场控制设备能通过现场工程师站、工厂中控室远程控制；

c) 生产系统能根据操作员的操作，实现开车、生产和停车等基本生产操作。

5.2.5.4.2 1级生产自动化

1级生产自动化系统应满足以下要求：

a) 生产设备中，部分回路具备闭环控制的能力；

b) 当操作人员请求生产自动化系统解除闭环控制时，立刻设定回路为开环；

c) 当操作人员请求调整控制逻辑和算法参数时，立即响应并执行修改。

d) 具备安全联锁能力；

注1：闭环控制可以在车间级的控制室实现，也可以在设备内部实现

注2：安全联锁可以通过额外的硬件系统实现，也可以通过逻辑编程等软件实现。

5.2.5.4.3 2级生产自动化

2级生产自动化系统应满足以下要求：

a) 生产设备中，在单个回路具备闭环控制能力的基础上，实现多入多出的多变量闭环控制

注：多变量闭环控制可以在车间级的控制室实现，也可以在设备内部实现

5.2.5.4.4 3级生产自动化

3级生产自动化系统应满足以下要求：

a) 部分生产设备的数据应被集成

b) 部分生产设备应具备协同控制优化的能力

注1：可通过将数据收集至统一的控制管理平台实现数据的集成。需要注意的是，本文件考察生产系统偏向底层的应用，在MES、ERP上的设备数据集成不在本文件的考虑范围之内。

注2：设备间的协同优化控制一般在车间级的控制室或相似的控制设备中实现。

5.2.5.4.5 4级生产自动化

4级生产自动化系统应满足以下要求：

a) 所有生产设备的数据应都被集成；

b) 所有生产设备都应具备协同控制优化的能力。

5.2.5.4.6 5级生产自动化

5级生产自动化系统应满足以下要求：

a) 无生产运行范围限制

b) 接受上级系统下发的指令并实现底层的完全的生产自动化

c) 当操作人员请求系统开启时，自行判断检查项，并仅在设计运行条件下激活

d) 对生产过程进行监控，实现性能自诊断、自优化；

e) 分析生产数据并具备故障自诊断、设备自维护功能；

f) 当操作人员请求生产自动化系统退出时，根据工况自动有序停车，并释放系统控制权。如果停车过程中存在安全风险，可暂缓释放。

g) 当操作人员请求生产自动化系统开启时，根据工况自动有序启动，并接管系统控制权。如果启动过程中存在安全风险，可暂缓接管并自动开启下一次尝试。

5.2.6 附录 A 生产自动化等级与划分要素的关系

表A.1 生产自动化等级与划分要素的关系

分级	名称	安全	单回路控制	多变量控制	协同优化控制	协同优化控制覆盖率	全要素控制	启动与停车
0 级	人工操作级	操作员	操作员	操作员	操作员	无	操作员	操作员
1 级	初级自动化	系统	系统	操作员	操作员	无	操作员	操作员
2 级	中级自动化	系统	系统	系统	操作员	无	操作员	操作员
3 级	优化级自动化	系统	系统	系统	操作员和系统	部分	操作员	操作员
4 级	高级自动化	系统	系统	系统	系统	全覆盖	操作员	操作员
5 级	完全自动化	系统	系统	系统	系统	全覆盖	系统	系统

表 A.1 给出了生产自动化等级与划分要素的关系.

5.2.7 附录 B 生产自动化等级与划分要素的关系

表B.1给出了不同级别下操作员和生产自动化系统职责关系

表B.1 操作员和生产自动化系统的角色关系

分级	名称	操作员的角色	系统的角色
0级	人工操作级	监控生产数据 执行所有控制任务 执行有关安全的操作，包括安全联锁和紧急停车	就地或远程显示生产数据 不做任何主动的控制功能
1级	初级自动化	决定是否启用生产自动化系统 监控回路间的生产数据 执行跨回路的协同控制人物 进行生产报警管理	判断启动和停止条件，仅在设计允许的范围内响应操作员的系统启动和停止命令 执行单回路控制 当有异常情况出现时，报警 执行安全联锁和紧急停车
2级	中级自动化	决定是否启用生产自动化系统 监控设备间的数据 协同设备间的操作 进行生产报警管理，随时准备接管控制任务	判断启动和停止条件，仅在设计允许的范围内响应操作员的系统启动和停止命令 监控设备内和设备间的数据 执行设备内和跨设备的控制任务 当有异常情况出现时，报警 执行安全联锁和紧急停车
3级	优化级自动化	决定是否启用生产自动化系统 以协调优化整个控制系统为目的，监控生产数据 执行厂级的设备集成优化控制 进行生产报警管理	判断启动和停止条件，仅在设计允许的范围内响应操作员的系统启动和停止命令 执行设备间的协同控制 当有异常情况出现时，报警 执行安全联锁和紧急停车
4级	高级自动化	决定是否启用生产自动化系统 进行生产报警管理	判断启动和停止条件，仅在设计允许的范围内响应操作员的系统启动和停止命令 执行厂级的设备集成优化控制 当有异常情况出现时，报警 执行安全联锁和紧急停车
5级	完全自动化	决定是否启用生产自动化系统 此级别操作员不再被持续需要	接管制造系统内的所有任务，实现全要素控制 当有异常情况出现时，尝试自动解决并通知管理者 自动有序停车 自动有序启动

6 主要验证试验情况和分析

按照本标准条款要求，对制造企业自动化系统的自动化能力进行了能力评估，实施了相关重要的试验项目并进行验证，全面验证标准编写条款的适用性和可行性，验证结果来看，满足标准编写要求。

7 预期达到的社会效益、对产业发展的作用

标准制定后，现有的制造企业按此标准要求评估其自动化能力，明确自身定位并制定合适的数字化提升计划，将促进产业集约性和规模化发展，该标准以填补国标及行标空白为目的，促进行业发展。

该标准可有效推进制造企业数字化转型和智能化升级，合理利用先进 IT、OT 技术，推动制造企业从自动化走向信息化并最终实现智能化，不断提高能源物料利用效率，实现高效可持续发展。

8 采用国际标准和国外先进标准情况

未直接采用国际标准或国外先进标准。

9 在标准体系中的位置，与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准属于地方团体标准。

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准没有冲突或矛盾。

10 重大分歧意见的处理经过和依据

本标准制定过程中无重大分歧。

11 重大分标准实施日期

待定。

12 标准性质的建议说明

无。

13 贯彻标准的要求和措施建议

本标准目前正在制定阶段，新标准发布后，使用单位须对标准进行宣贯，并按新标准的实施日期执行。

14 废止现行相关标准的建议

无。

15 废止现行相关标准的建议

无。