



T/CECS XXXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

电气化接触网工程智能建造技术

作业系统技术规程

Technical specification for intelligent construction execution system for

overhead contact line

(征求意见稿)

XXXX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

电气化接触网工程智能建造技术

作业系统技术规程

Technical specification of intelligent construction execution system for
overhead contact line

T/CECS XXXX—202X

（征求意见稿）

主编单位： 中铁第四勘察设计院集团有限公司

批准单位： 中国工程建设标准化协会

执行日期： 202X年XX月XX日

× × × × 出版社

20×× 北京

中国工程建设标准化协会公告

第 XXX 号

关于发布《电气化接触网工程智能建造技术 作业系统技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2023 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2023〕10 号），由中铁第四勘察设计院集团有限公司等单位编制的《电气化接触网工程智能建造技术作业系统技术规程》，经协会铁路分会组织审查，现批准发布，编号为 T/CECS XXXX-202X，自 202X 年 X 月 X 日起施行。

中国工程建设标准化协会

二〇二X年X月X日

前言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2023 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2023〕10 号）的要求，标准编制组在深入调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外现行标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本文件。

本文件共分为 10 章，主要技术内容包括：总则、术语和缩略语、基本规定、系统主要功能与运行环境、系统总体架构、项目数据中心构建及协同配置要求、生产组织基本单位技术作业系统构建及数据架构、工班生产作业操作系统构建及数据架构、数据接口标准与传输协议、生产指标评估原则与方法等。

本文件由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由中铁第四勘察设计院集团有限公司负责具体技术内容的解释。本文件在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄往解释单位（地址：湖北省武汉市武昌杨园和平大道 745 号，邮政编码：430063），并抄送归口管理单位（地址：北京市海淀区北蜂窝路乙 29 号，邮政编码：100038）以供修订时参考。

主编单位： 中铁第四勘察设计院集团有限公司

参编单位： 中国铁路经济规划研究院有限公司
中国铁建电气化局集团有限公司
中铁十一局集团有限公司电务公司
深圳云基智能科技有限公司
成都云铁智能交通科技有限公司

主要起草人： 戚广枫、李红梅、方志国、卢广苗、吕青松、赵航、杨文龙、朱郭福、夏炎、刘诗慧、姜森浩、李凯、韩超、张兵涛、贾亮、刘春雨、凌敏、蒋海、殷自强、曾晓红、全宇慧

主要审查人：

目次

1 总则	3
2 术语和缩略语	4
2.1 术语	4
2.2 缩略语	4
3 基本规定	5
4 系统主要功能与运行环境	6
5 系统总体架构	7
6 项目数据中心构建及协同配置要求	8
7 生产组织基本单位技术作业系统构建及数据架构	9
8 工班组生产作业操作系统构建及数据架构	10
9 数据接口标准与传输协议	11
9.1 数据接口标准与传输协议	11
9.2 网络环境要求	11
10 生产指标评估原则与方法	13
附录 A：生产组织架构设计与对应各级执行系统的示例说明	15
附录 B：生产率各项指标的定义与计算示例	17
本规程用词说明	20
引用标准名录	21

Contents

1 GENERAL	3
2 TERMS AND SYMBOLS	4
2.1 Terminology	4
2.2 Symbols	4
3 GENERAL PROVISIONS	5
4 FUNCTIONS, WORKING CONDITIONS, AND OPERATING ENVIRONMENT OF THE SYSTEM	6
5 SYSTEM STRUCTURE	7
6 CONSTRUCTION OF PROJECT DATA CENTER AND COLLABORATIVE CONFIGURATION REQUIREMENTS OF RELATED SYSTEMS	8
7 CONSTRUCTION AND DATA ARCHITECTURE OF TECHNICAL OPERATION SYSTEM FOR BASIC UNITS OF PRODUCTION ORGANIZATION	9
8 CONSTRUCTION AND DATA ARCHITECTURE OF PRODUCTION OPERATION SYSTEM FOR WORK CLASSES	10
9 NETWORK, DATA INTERFACE STANDARDS, AND TRANSMISSION PROTOCOLS	11
9.1 Data Interface Standards and Transmission Protocols	11
9.2 Network Environment Requirements	11
10 ASSESSMENT PRINCIPLES AND METHODS FOR INTELLIGENT CONSTRUCTION PRODUCTION INDICATORS OF ENGINEERING PROJECTS	13
APPENDIX A: DESIGN OF PRODUCTION ORGANIZATION STRUCTURE AND EXAMPLE EXPLANATION OF CORRESPONDING HIERARCHICAL EXECUTION SYSTEMS (INFORMATIVE)	15
APPENDIX B: DEFINITION OF PRODUCTIVITY INDICATORS AND CALCULATION EXAMPLES (INFORMATIVE)	17
EXPLANATION OF TERMS USED IN THIS SPECIFICATION	20
LIST OF REFERENCED STANDARDS	21

1 总 则

1.0.1 为推广应用以数字引擎为特征的接触网智能建造技术，有效提升建造过程生产总效率，有必要创建并应用施工过程协同作业执行系统，特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于具备 BIM 应用条件的新建高速、普速及市域铁路等电气化铁路工程。既有线电气化改造工程具备必要信息化条件的，也可参照使用。

1.0.3 本技术作业系统的构建，是基于设计施工全过程工程建造的“数据贯通”和“BIM 多重复用”理念，与铁路电力牵引供电及电力工程智能建造技术指南总目标和所遵循的基本原则一致，相互之间可配套使用。

1.0.4 本系统仅涉及各级生产执行系统，作为直接关联建造过程中生产活动的相关载体，并不包括但是关联过程中的相关管理系统，具体内容和相关接口要求，在子系统或实施方案中定义与规范。

1.0.5 本规程内容与要求属于工程建造生产管理全过程范畴，不局限于单一施工过程或合同标段生产单位内部，当信息路径中涉及到 BIM 相关设计要素或本施工单位的外部要素时，需具体项目参建单位就数据应用过程中涉及的责任等予以确认或协商一致。

术语和缩略语

2.1 术语

2.1.1 接触网工程智能建造技术作业系统

用于接触网智能建造施工协同作业，由接触网施工基本组织单位对应的技术作业执行系统、工班作业对应的生产操作系统组成。

2.1.2 接触网智能作业生产执行系统

作为接触网智能建造基础组织生产单位的管理和执行系统，负责落实与工序、工艺相关的质量技术要求和对外级执行系统的生产管理与监督，其组织架构对应接触网作业队或预配车间岗位职责。

2.1.3 接触网工班级生产作业操作系统

作为接触网智能建造最底层的生产执行与操作系统，负责按照标准工法要求集合生产资源按约定路径进行有目的的移动、等待、转换过程和检查等生产标准化工艺操作，其组织架构对应接触网工班岗位职责。

2.2 缩略语

SPM 接触网智能作业生产执行系统

SWM 接触网智能车间预配作业执行系统

STM 接触网智能作业工班系统

SCPIV 接触网智能测量系统

3 基本规定

3.0.1 智能建造技术作业系统包括接触网智能作业生产执行系统（SPM）、接触网工班级生产作业操作系统（SWM、STM、SCPIV），可执行管控接触网智能建造装备与人员的技术作业。

3.0.2 接触网智能作业生产执行系统（SPM）应根据项目指导性施组计划定制。

3.0.3 工班级生产作业操作系统（SWM、STM、SCPIV）应根据标准工艺工法要求对应定制。

3.0.4 智能建造技术作业系统各系统间数据接口、数据交互与流转、数据处理应根据执行作业流程实现自动化与智能化分析。

3.0.5 智能建造技术作业系统各系统的主要功能、工作条件、和运行环境应兼容各智能建造装备与人员等作业的执行与控制。

3.0.6 接触网智能建造装备与人员包括智能数据流转赋能的智能生产车间、工地智能安装施工装备及智能施工测量装备等。

3.0.7 智能生产车间应包括腕臂智能预配系统、吊弦智能预配系统、预装配成品智能检测系统等。

3.0.8 工地智能安装施工装备应符合作业工序和工艺标准的要求，通常包括支柱（吊柱）组立装备、腕臂安装装备、吊弦标定施工装备、架线装备等。

4 系统主要功能与运行环境

4.0.1 接触网工程智能建造技术作业系统（简称技术作业系统），适用资源处于离散型分布状态的生产作业条件和多工序多生产主体的协同生产方式，作为可操作的执行系统承载或导引各生产主体按照其达成的约定关系完成某一特定任务。

4.0.2 技术作业系统是多层级跨企业协同生产过程，可作整体应用或自下而上分层应用。该系统可弥补不同参建单位或主体自身相对有限的知识能力和信息加工能力，通过提高数据存储、数据处理和传输能力，提高生产效率。有效应用该系统的前提是工程项目参建方或多主体之间具备按照市场机制集成外部资源的经济或合同关系。

4.0.3 技术作业系统，属于网络协同机制下或市场合同关系下的协同生产过程管理与作业执行/操作系统，所涉生产协同要素原则上仅限于网络各方的个体企业层面和合同约定的接口数据，不应限制且不宜深度参与各主体内部的专有生产工艺过程或涉及核心竞争力或知识产权的相关技术与信息。

【条文说明】

根据企业组织论和信息经济学相关研究成果和现代工业生产模式研究，协同生产过程中各参与者的相关性与数据信息的交互量、时效性和深度密切相关。按适度介入原则，保持协同机制有效外部环境，合理选择、制定考核相关控制或调整目标，界定本系统相关生产过程的里程碑、介入时机与深度。

关于本执行系统的说明可参见“架构分析”内容和附录B中的说明。

4.0.5 接触网工程智能建造系统建设成效可采用生产率指标衡量。除采用“产出时间”、“准时度”、“产能利用率”和“库存（时间）”等标准生产考核指标外，建议增加“协同间的干扰影响或协同影响度”指标评估。具体要求与说明，参见条款 10 和附录 B。

5 系统总体架构

5.0.1 为与主流工程建设管理模式保持一致并面向智能建造技术应用发展，需建立相应的多层级工程建造协同生产系统。为保证生产过程稳定并相对高效运行，业务系统需要构建至少应包括上层、本层车间、下层工班三级系统架构。与具体作业人员配套的设备或经验等技术支撑（工艺工法）关联，根据工艺特点或管理需要，或集成于数字化工班系统或集成于车间级生产系统中。

【条文说明】

关于多层级工程建造系统的设计说明参见附录 A。第一和第二级系统与项目合同方式和独立法人公司的管理制度有关，本规范不予以定义。本规范仅定义执行层即第三~第四层级的应用系统，也称“生产执行系统”，同时规定本执行层与上级系统相关的数据接口和协议标准建议。

5.0.2 作业队或车间级生产作业执行系统，可关联各主体内既有各传统生产调度或监督等职能管理系统之间的数据交互（如有）建议采用非应用级交互方式，或需根据合同关系具体约定。本层内的生产过程执行系统与同级生产监督管理职能系统（如有）之间可保持非实时协同关系。

【条文说明】

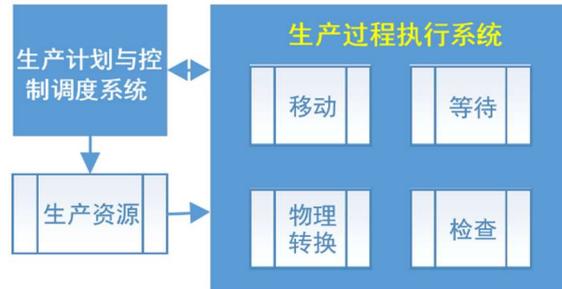
车间级生产作业执行系统，如“接触网工点作业管理平台（“SPM”面向施工作业队）或“SWM”（面向工厂车间，如预配车间），直接承载一线组织单位的生产活动，并承上启下，带动数据流转。

常见的生产调度或监督管理系统，是一种综合性辅助管理手段，同为三级系统层次，但是以计划管理和调整等日常职能部门管理活动为主，具有非直接生产特征。两系统的相关性如图 1 所示。定义参见附录 A 和第 5.0.2 款说明；

【条文说明】图 1：生产过程执行系统与生产计划监督管理系统

6 项目数据中心构建及协同配置要求

6.0.1 应结合专业工程的工艺和技术质量要求，在业务流分析基础上，以相关的信息要素配置要求准则和实现数据自动流转为目标，构建本生产执行系统和整个项目应用实施方案的组织架构。



说明图1 生产过程执行系统与生产计划监督管理系统

6.0.2 构建过程中所涉及的信息需结合各生产过程的特征定义，所约定的系统级/间的交互性主数据不宜过多，且应按照必要、适度、连续、相关性的原则协同配置。数据交互可参照 IFC 标准，或与项目所在设计单位采用的 BIM 数据格式兼容或一致。BIM 信息传输推荐采用数据交互模式。

【条文说明】

已经实际存在的常见实施案例有，如“工程数据中心/管理平台”（名称为举例）、或有“施工建设管理平台系统（注：该名称为举例。是本执行系统的非必要相关二级系统）”，或由“施工现场项目管理系统（注：该名称为举例。是本执行系统的非必要相关三级系统）”等。本执行系统属于总体架构设计中的三级和四级系统（见 6.0.3 款）。

如何识别、定义、合理分级覆盖全部相关生产过程是项目生产组织架构和数据架构设计的中心内容。具体规划，可参见附录 A 设计说明。

本条款中提及的 IFC 标准，如 BIM 铁路联盟的“铁路四电工程信息模型数据存储标准协议”等推荐标准可供借鉴。

6.0.3 生产执行系统的数据架构取决于本过程技术工艺、生产条件与业务流特征的内在需要，也需因地制宜按项目或施工组织方案要求构建与实施，并符合项目合同和公司管理制度基本要求。

【条文说明】

本级生产执行系统应包括基本组织单位的技术作业系统和基层的生产操作系统。且本级系统需与更高一级的企业级的管理平台上间建立数据关系，实时反映生产关系和合同关系。

7 生产组织基本单位技术作业系统构建及数据架构

7.0.1 以生产组织基本单位或专业企业为生产主体构建的技术作业系统和载体，应具备贯彻施工组织计划、控制各基层生产执行系统按其预定流程完成本施组相关的技术作业要求，基本对下级执行系统实施生产管理与监督的功能。

7.0.2 为与相关系统协同实现生产过程各环节间的信息流与物质流的对应衔接，需在相关系统间定义明确的数据交互内容、关系与协议标准。生产技术作业系统应具备分析、传递并下达指令或反馈、调度控制相关协作功能，评估考核各环节的生产效率指标。

7.0.3 数据架构应结合每个具体工程项目的生产管理需要，能够基于标准工艺工法模板和标准数据库快速构建（通过施组设计与工程合同范围和组织机构对应的）。系统间流转或交互的主数据宜包括计划任务有关的目标值和控制值等的约定固定信息、生产过程的状态指标、本层技术作业系统派生的统计分析值和判定值。

【条文说明】

基本生产单位，通常具备固定的组织关系和相对独立的经济成本核算（最小单位）功能，在接触网工程建设管理类过程中视项目规模和任务量可能表现为“专业分部”、“作业队”或“车间”形式。有时也可指“专业架子队”的独立生产单位模式。这里的基本生产组织单位（对应的技术作业系统），一般情况下，非必要并不直接处理加工生产资源或参与物理生产过程，与具体的车间自动化生产线执行系统 MES 或下一级的工班操作层等应用层级 App 的数据交互（即使有）也仅限于阶段性的任务订单输入结果产出（如“作业票”或“作业工单”）、过程时间和数量的统计（表达生产效率），或紧急状态下的干预（停机指令）。（6.0.1 款、6.0.2 款）等包括部分项目管理职能在内的任务处理。

工程建造过程中构建的生产技术作业系统，是实现较为均速、不中断或尽量连续的生产过程，同时须满足项目的实时性、一次性和独特性需要（6.0.3 款）而构建的基于流程管理的生产管理抓手和载体。只有基于标准工艺工法模板和标准数据库的事先预制才有可能在项目中快速构建（通过施组设计）与工程合同范围对应的组织机构和生产关系。

8 工班级生产作业操作系统构建及数据架构

8.0.1 工班级生产作业操作系统系指最基层的生产执行与操作系统，负责按照标准工法要求集合生产资源按约定路径进行有目的的移动、等待、转换过程和检查等生产标准化工艺操作，完成产品生产过程的备料采购、运输、加工、安装、调试和与路径流程有关的等待（仓储）等阶段性生产任务，同时对照“作业票”或看板管理要求完成数据信息采集，必要时须接受上一级临时调度指令，改变路径或输入、启停某操作步骤。

【条文说明】

这里的生产资源，通常包括完成某特定工序所需要的工+料机+传感器信息等相关物质流生产要素，包括MES或BOA应用软件和机器自动化控制软件的一部分。该操作系统的构建基于控制逻辑的载体由MES和工班组织生产方式。每一相对完整的特定专业工序或工法宜专门定义对应的数字化工班系统（场景）。

8.0.2 工班级生产作业操作系统的相关信息内容包括生产过程的物质流和生产要素。以典型的智能建造目标场景构建的数字化工班系统，数据类型除了物理参数和传感器等状态信息外，还涉及逻辑分析、生产规律函数关系和人机交互指令、生产线设备机器工位指令或MES程序代码。通常与其他生产调度或技术系统之间需建立应用级数据交互条件。

【条文说明】

工班级生产作业操作系统数据信息的采集量较大，包括物理流信息输入输出、用于机器指令的自动化编程控制程序参数等需预先设置、调试（事先调试好后封装，启动后按输入控制参数自动化运转），必要时须接受上一级的临时调度指令。数据信息类型多样，有非结构化信息、图形信息，有机器、操作工位等有关数据传输协议标准（如WebAPI、关系数据库或格式数据文件如Json、Excel）等。通常需要配置开发专门的智能工具辅助和传感器配置。

9 数据接口标准与传输协议

9.1 数据接口标准与传输协议

9.1.1 利用网络进行数据交互和设备间的无线连接，是应用智能测量系统的必要条件和典型工作场景，需结合智慧工地建设的网络环境要求进行合理配置。根据各自功能定位与应用场景需要，系统之间的数据传输可采用 webAPI、关系数据库或 excel 文件交互方式。系统内部或直接生产操作系统与智能施工作业机械或其他物理生产智能终端之间，宜应具备应用级数据交互条件。

9.1.2 各系统之间的数据接口标准可采用不同的约定方式，如：技术作业系统对上级或外部的大数据中心，采用二进制流方式或 http 文件协议，基于数据库文件的导入方式（关系数据表格式需具体实施前另行确认与定义）；技术作业系统对系统内的其他子系统，参照外部方式进行交互，即：基于网络 WebAPI 服务方式（Json 数据编码统一为 UTF-8）；对技术作业系统系统内人机交互接口，可采用基于人工传递并采用 Excel 格式和载体进行数据输入输出（仅限于特定的临时离线状态下使用）。

【条文说明】 鉴于 Excel 格式和载体的特点，数据 XLS 文件承载数据的有效性需在具体的项目管理过程中确认。有条件的不宜采用，或仅限于特定的使用。

9.1.3 与生产监控管理系统等非应用系统或上级系统的数据交换，可采用非实时交互方式。传输协议标准与方式可由相关方协商确定。

【条文说明】

本系统默认以工班为单位进行相对集中的现场管理，数据采集与分析管理功能通常集成在 STM 智能手持终端内，与外部系统如 SPM 等上级系统或劳动作业生产监控系统之间不直接关联。但可非实时地向上述系统传输本测量系统终端记录的相关信息；此时的传输协议标准与方式不予限定。或采用基于网络 WebAPI 服务方式（控制协议为 Json 格式，数据编码统一为 UTF-8，视频或大数据流采用二进制编码方式），或采用安全监控等上级主系统要求的约定格式（限于项目合同中对此有强制性管理要求的情形）。

9.2 网络环境要求

9.2.1 利用网络进行数据交互和设备间的无线连接，是应用智能测量系统的必要条件和典型工作场景，需结合智慧工地建设的网络环境要求进行合理配置。具备良好公网通讯条件的施工现场，或有自构建网络的智慧工地网络覆盖范围内等环境条件下，可利用既有网络完成系统内部或与外部系统之间的数据交互。

不具备稳定的外部网络条件下，不应进行应用级数据交互与传输。

9.2.2 网络覆盖范围应满足同一连续生产工序的相关各设备或子系统间专业生产需要的有效作业范围。对于工班级的操作系统类应用场景，关联设备与操作人员的信息交互（如有）距离按不宜大于视距考虑。不具备公网通讯条件的施工现场，可自构建网络覆盖作业范围的网络条件，比如增设点对点的网络基站桥接加 Wi-Fi 覆盖的方式，或自建 4G 局域网。

【条文说明】

无线网络应实现作业范围的全覆盖。

举例 1：预配加工车间内同一类型加工生产线或现场测量作业的设备之间，可采用设备自带的蓝牙（此时的设备间的可靠传输距离 $>3m$ ）或局域网默认连接方式进行数据信息交换；但鉴于安全管理的可视化监控需要，工班级的操作监控范围不宜大于视距，则涉及覆盖范围时可按关联设备与操作人员的信息交互（如有）距离可按不宜大于视距考虑。

举例 2：具备良好公网通讯条件的，同一类工序作业的数据交互范围可等同于一个作业队工作范围的每个作业面局部（理论上可以实现全覆盖）。实际测量中，最小覆盖范围应至少按照一个作业工班的作业面范围进行网络布设。根据经验，作业队、工班作业面设想可按 1:5 比例配置。

举例 3：通过设置固化于 SPM 主机中的自构建网络系统实现智能工地局域网创建，可以连接各作业面范围内的其他智能施工机械和班组管理系统 STM 进行数据传输和控制。

【注】自创建网络方案在测量工序中属于非必要方式，且网络方案多样，其具体构成属于通用技术标准范畴，本专业技术条件不作具体方案要求或限制；但如果自建网络，应满足：一个路由器的无线传输的覆盖半径 $\geq 50m$ ，即至少大于一个普通班组作业面工作范围（如有特殊需求，可通过网关连接多个路由器的方式扩展覆盖范围）。

10 生产指标评估原则与方法

10.0.1 生产执行系统构建与应用对生产效能和生产率的提升有明显影响，工程项目生产指标的准确与科学评估对于工程项目生产执行系统的推广应用和经济效益具有重要作用。应结合工程建造的特征，确认有效反映生产过程状态评价的 KPI 指标。

10.0.2 可采用“产出时间”、“准时度”、“产能利用率”和“库存”四项生产指标评价生产过程，并结合工程项目特点和生产方式，应充分考虑被动库存影响。针对智能建造，为精确评估生产过程中具体环节受到干扰后对全程的总生产率影响，可以基于信息交互方式 P 的 R_{ai} 影响度作为工程建造生产的各环节工序生产过程状态的 KPI 指标。

【条文说明】

在传统的精益生产理论[7,10]的某 i 生产环节的“产出时间 CT_i ”、“准时度 A_i ”、“产能利用率 ΔU_i^* ”和“库存 T_{di} ”四项生产指标考核基础上，应增加库存分项指标反映工程建造密集型劳动特有的因异地分散的施工工点所往往导则积压人力资源而无法合理被转移利用从而被迫耗费在本生产环节上的停顿或等待时间即被动库存。

关于生产过程状态的 KPI 指标的说明：为通过精确评估生产过程中受到干扰后的生产率影响，在智能建造或智能制造生产过程中建立目标值与控制值之间的函数关系。可采用生产要素对本过程 i 的影响 R_i 以及对后续其他生产环节各项指标的相继与累计影响即总生产率 R_{ai} 的概念、定义和计算方法（式 2-9、式 2-10）。建议以基于信息交互方式 P 的 R_{ai} 影响度作为工程建造生产的各 i 工序生产过程状态的 KPI 指标，即 $R_{ai} = \{ P = (1, 2, 3) \mid CT_i, A_i, \Delta U_i^*, T_{di} \}$ ，式中的“1、2、3”代号，分别指信息传递方式的人工传递、半自动传递和自动流转三种基本方式。

计算方法与示例，见附件 B

10.0.3 工程建造过程中，应根据关键路径上的生产时间节拍受到干扰后对工程项目计划的影响程度评估建造生产过程影响度，并以相应分级控制值作为评价标准，和/或相关生产监督管理或智能生产管理系统自动决策过程中是否应被外界管理介入或干预的判定指标。

【条文说明】

基于工程建造领域的国际工程惯例、合同范本（如菲迪克合同范本[14]）所给出的原则要求，分析为外界对建造生产过程影响度，定义分级控制值供系统（自动）判定干预阈值，则有：工程项目中关键路径上的生产时间节拍与验工计价的周期关联并按以月（4 周）计，超过可能导致验工收款异常；施工组织计划通常以周为单位设计，涉及外部协作时则约定以 2 周为限[14]。对于周节拍，小于 1 天的干扰可视为无影响（可定义为“0”级）；鉴于库存约占生产成本的 50%[13]，库存影响超过 10% 时不能忽视。具体阈值取舍可根据工艺要求比照此原则设定或调整。

通过以上分析可知，影响本生产环节 1 周计划或相关工序的，可能需要内部干预或报

警（超过 2 周的将引起外部干预），此状态应被视为有影响，可定义为“1”级，视情形决定是否干预；影响月度计划的（里程碑或合同工期的），视为有较大影响并可能产生直接经济损失，可视为“2”级（明显影响）。对复杂工程可根据需要细分为五级或更多等级。归纳以上分析提出一般工程适用的目标阈值如表 1。该控制值的大小，可作为生产监督管理或智能生产管理系统自动决策是否应及时介入或干预的判定指标。

表 1：建造生产过程影响度的分级控制值（仅供参考）

生产指标 R _{ai} 阈值 级	产出时间/节拍 CT（单位：日(D)、周(W)	准时度 A（单位：日(D)	产能利用率 U 的差值 ΔU（单位：百分比）	库存 Td（单位：日(D)、周(W)
定义	(式 2-1)	(式 2-2)	(式 2-6)	(式 2-7)
0（无影响）	1D	1D	<50%	1D
1（有影响）	~1W	~1W	50~100%	~1W 或超原值 20%
2（明显影响）	~4W	~2W	>100%	~2W 或超原值 50%

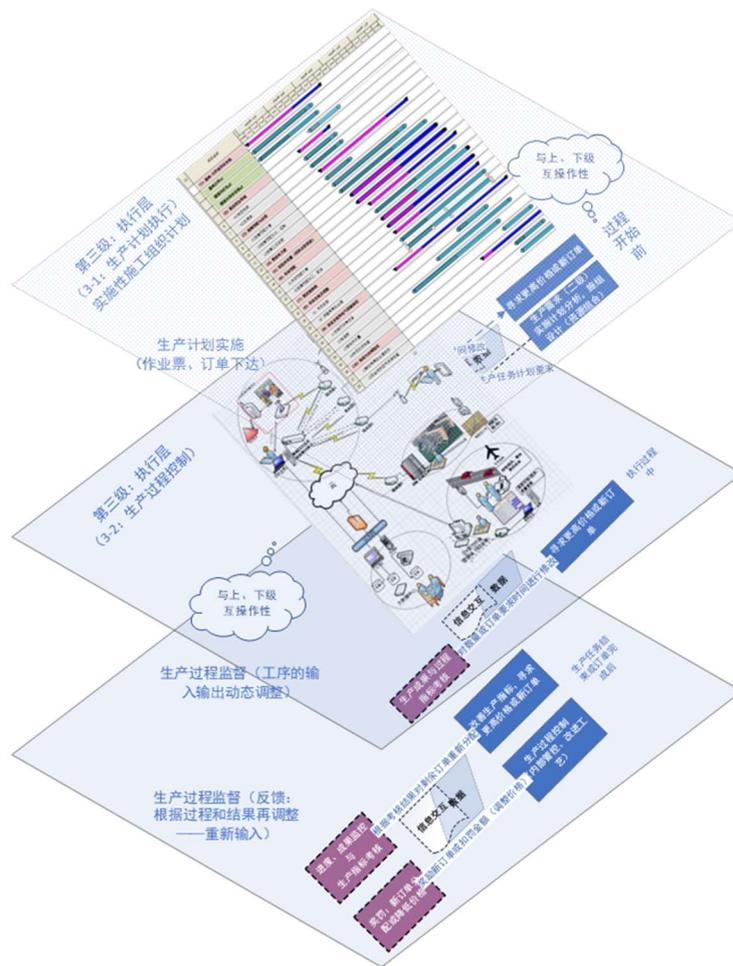
附录 A：生产组织架构设计与对应各级执行系统的示例说明

A.01 协作各方的相关性准则分析是构建系统和架构的关键。为培育市场机制自动调节功能，需研究并管控相关性的合理深度，定义各级相关系统的基本功能需求和系统之间数据交互的深度和广度，根据相关性原则构建本规范定义的执行系统运行所必要的相关系统、平台以及协作关系。

A.02 “工程数据中心”的构建，是实施智能建造的必要条件。

举例说明如下：

通常采用项目部-作业队-工班三级管控机制，对应的接触网工程建造生产计划与控制系统架构如图 A-1：



说明图 A-1 接触网工程建造生产计划与控制系统架构

图 A-1 中：输入来自上层 PPS（图中 3-1 和 3-2 系统的输入和反馈控制关联 PPS），本层的车间级执行系统为 SPM/SWM，下层的数字化工班组 STM 对应图 3-2；3-1 为相关管理系统。

A.03 市场级管理系统的设计基于合同关系：

第一层级反映最终用户或雇主与中心企业或集成商的关系。基于合同，通过“基于 BIM 的铁路工程管理平台”或类似建设单位管理综合平台形成合同约定的信息交互映射。

A.04 企业级或项目部一级的专业工程管理平台：面向生产管理，本质是一种企业级的协同平台。通常包括“工程数据管理平台、和/或“施工建设管理平台、和/或“施工现场管理系统”

*条文说明：*作为“企业级或项目部级的项目生产规划和控制及物流信息系统”（暂简称“TBA-PPS”），如中国国家铁路集团主导的“基于 BIM 的工程建设管理平台”或类似建设单位管理综合平台之上的相关平台，其具体的管理功能需要结合各企业内部管理规定和项目合同范围定义，工程项目部差异较大，整体上不宜作统一限定，但对其中一部分涉及数据载体的功能，需单独说明和定义。

PPS 系统层级本质是一种企业级的协同平台，至少包括三部分：

1) 包含“工程数据管理平台（子系统功能，是本执行系统的必要上级系统)”：

*条文说明：*作为建造的施工实施阶段的平台，需按照 BIM 数据的驱动要求实现联动，承接建造过程的上游即占据 BIM 信息量 80%的设计阶段包括深化设计、工艺设计阶段信息的数据流（参见图 3-1），提供后续执行层必要的动力。“工程数据中心”的构建，是实施智能建造的必要条件。

2) 或“施工建设管理平台”（注：该名称为举例。是本执行系统的非必要相关二级系统)”：

*条文说明：*通过相关性建立与执行层的信息沟通机制，以合同管理信息为主。原则上不与本规范定义的生产执行系统产生应用级的数据直接交互。没有该平台条件时，可通过人工或文件交互式输入输出。

3) 或“施工现场管理系统”（注：该名称为举例。是本执行系统的非必要相关三级系统)”：

*条文说明：*具有 a. 下达作业工单或作业票，建立内部经济成本核算关系； ;b. 施工相关的资源配置和实施性施组计划调度，通常可为常见的标准化项目管理平台/或子公司级的管理系统。没有该平台或载体条件时，可通过人工或文件交互式输入输出。

A.05 车间级生产管理系统，为有效生产单位的第三层级管理+执行系统：

“接触网作业队或车间生产管理平台”

*条文说明：*如“SPM”（面向作业队），或“SWM”（面向车间管理，如预配车间），作为有效生产单位或个体企业主体，需负责落实具体与工序、工艺相关的质量技术要求和下级执行系统的生产管理与监督。

作为最直接且重要的生产过程计划与控制层，不仅要结合生产资源完成三级计划任务规划即生产线的输入（如，下达工班“作业票”或“每日作业工单”等形式），而且要直接

负责生产调度和过程监督，对上需承接二级计划的下达等管理或生产订单阶段性要求，对下需实时监控执行层的物流如生产线、作业机具、人员（工班）和零件材料甚至部分自动化生产监控系统）的状态，评估生产效率指标。以往该平台建设相对薄弱。

A.06 工班级生产管理系统，作为第四层级的最底层执行与操作系统，如“接触网数字化工班系统”（简称“STM”）。

条文说明：“接触网数字化工班系统”（简称“STM”）作为最底层的执行系统，负责按照标准工法要求集合生产资源（工+料机+传感器信息等物质流等各生产力要素，MES或BOA应用软件和机器软件等）“自动”进行有目的的移动、等待、转换过程和检查等生产标准化工序操作，完成产品生产全过程的备料采购、运输、加工、安装、调试和与流程有关的等待（仓储）等阶段性生产任务，同时对照“作业票”或看板管理的要求完成数据信息的采集，必要时须接受上一级的临时调度指令，改变输入、启停某操作程序或步骤。以往该手段和平台缺乏，容易成为生产过程失控的环节。

附录 B：生产率各项指标的定义与计算示例

根据精益生产理论，某*i*生产环节的“产出时间 CT_i ”、“准时度 A_i ”、“产能利用率 ΔU_i^* ”和“库存 Td_i ”四项生产指标，需结合工程建造特点，对考核目标意义予以补充与修正，具体说明如下：

B.01 “产出时间”，是一项具体的（被分解的）生产任务完成需要的时间。

即：“产出时间/节拍” CT_i ，包括本环节内的加工、安装和内部工序间等待、转运+存放时间，也被称为节拍。生产效率/产出率 μ 指单位时间内在本生产过程环节*i*完成 Q_i 个数量生产单位，即有： $\mu_i = Q_i/CT_i$ ，产出时间即节拍=本环节的总通过时间^[5]，可表示为：

$$CT_i = Q_i / \mu \quad (A-1)$$

生产效率（即产出率）即节拍也可以由工作或生产时间 OT 与节拍 CT 换算得到^[4]，即：

$$\mu_i = OT / CT_i \quad (A-2)$$

B.02 “准时度”并不关注时间的长短而是追求“适当”，这是计划与控制控制的重要目标。过短或提前交付不仅有可能影响生产过程成本也有可能造成下道工序的不必要的仓储成本或运输成本，影响总体收益。

“准时度” A （单位：百分比），交付日期与计划日期的差异天数，可按某订单批量产品的总节拍时长或单位评价时长占比计算。则“准时度 A_i ”按定义，为实际交付日期 Di 与计划交付时间之间的差 d_i （天数）；对于工程建造生产过程，如前后生产步骤的节拍差异较大的，可基于专业工程特点取有参考价值的

CT基准值为评价单位时长，此时的单位为计算相对百分比即标么值 A_i^* ，有

$$A_i = \Delta d_i \text{ (天)} \text{ 或 } A_i^* = (\Delta d_i / CT) * 100\% \quad (\text{A-3})$$

B.03 “产能利用率” 参数的最优并不是利用率最大化。

各企业内部 MES 系统通常追求简单利用率最大化，前提是需求大于供应、产品能转化为利润时。但是机器的损坏和适用时限与它的试验强度有关，间接与成本有关。) 在基于总任务目标集成的网络关系下及工程建造的场景下，最优值是与发展规划相符的利用率。

例：“产能利用率 U ” (单位：百分比)，指被利用产能相对拥有产能的比例，则“产能利用率 U_i ” 直接按定义，有：

$$U_i = (\text{被利用产能} / \text{最大产能}) * 100\% \quad (\text{A-4})$$

但设定该值另一主要目的是考核第 i 环节利用率 U_i 距离最优值 U_d 的差异 Δu ，为易于进行计算和分析比较，减少不同生产环节节拍等固有差异的影响，可采用基于所选定的同一基准值进行归算，即标么值 $p.u.$ (标么值=实际值/基准值)，则有：

$$p.u. = U_i^* = \Delta u / CT \quad (\text{A-5})$$

式中： CT 取各步骤的平均节拍或典型值 (如考核环节指标则取各步骤节拍的累计值为基准)； $\Delta u_i = (U_i - U_d)$ ，为实际产能利用率的差异值 (Δu_i 为正值，表示实际产能高于需要产能，可能产生不必要仓储成本； Δu 为负值，表示实际产能不足，可能导致延迟总进度和交货期以及一系列额外支出等相关损失)。

B.04 “库存”， 指广义的库存，包括未能使用状态的劳动力资源的存储。

这里的库存对象包括被存贮的物料、成品以及半成品的物理库存，也包括广义上的劳动力资源库存。生产过程中的库存通常可分为加工过程中的持续库存、各连续加工过程中的同步库存、为销售市场准备的保障性库存。库存时间和成本有关，有时，也包含不同加工过程之间的因为空间上的限制 (离散型企业的特点) 而额外产生的运输和仓储时间。定义如下：

“库存 (时间 Td)”，单位：天或通过 OT 换算为有效生产时间 (小时)；则库存 (时间 Td)，按定义，有： $Td_i = Td_{i1} + Td_{i2} + Td_{i3} + Td_{i4}$ (A-6)

库存时间和成本直接有关^[5.6.7]，间接影响产能利用率 U 。该指标的上述前三子项分别对应加工前仓储、加工后仓储、有意的计划库存时间；其中的 Td_{i4}

为工程建造密集型劳动特有的因异地分散的施工工点所积压人力资源无法合理被转移利用而被迫耗费在本生产环节上的停顿或等待时间。

B.05 生产率：与进度、质量和成本有关的生产过程要素综合评价指标

即第 i 环节的生产率，可集合表达为： $E_i = \{CT_i, A_i, U_i^*, Td_i\}$ (A-7)

B.06 “协同间的干扰影响或协同影响”，记为 R_i ，表示前序 $i-1$ 环节到本环节 i 的信息传递过程中受到干扰或失真时对为本生产环节 i 效率 E_i 的影响。

说明：非连续生产的各环节与相邻或其他生产环节的过程指标不仅是本环节生产率的反映（输出），也将对其他环节产生作用和影响（输入），这种输出与输入之间因为信息特征、传输路径或传输方式的特点导致的信息流传递效率迥异，可能带来对其他环节生产率的显著影响，这种影响我们暂称为“协同间的干扰影响或协同影响”。

按照定义，信息要素或其他生产要素对后续其他生产环节各项指标的累计影响即总生产率的影响设为 Ra_i 的话（单位：取原对应分项值的单位），则有

$$R_i = (E_i' - E_i) = \{(CT_i' - CT_i), (A_i' - A_i), (\Delta U_i'^* - \Delta U_i^*), (Td_i' - Td_i)\} \quad (A-8)$$

式中： $E_i' = \{CT_i', A_i', \Delta U_i'^*, Td_i'\}$ ，为受到干扰或非连续载体改变后的第 i 生产环节的生产率。未受干扰前的计划目标值 E_i 。

同理，第 i 环节对后续各环节即总效率 Ea 的变化或差值即所谓影响度 Ra 此时如记为 Ra_i ，则有：

$$Ra_i = \sum_{i=i+1}^n |c_i \times E_i| / n \quad (A-9)$$

式中：

n 为生产总环节数量；

i 为第 i 个生产环节；

c_i 为加权系数，分别对应本环节 R_i 中对总成本的重要性（如视为同等重要或各工序间节拍较为均衡，则可均取 1），具体取值则与各环节的工艺和专业特征相关。

Ra_i 累计时，正负偏差均视为偏差，其影响程度或意义需结合工程场景分析。在生产资源要素发生改变或改良生产工艺时，考察各个 E_i 值的相应变化即 R_i 值，即可定量评估各种因素对生产的影响程度。同时 R_i 值也可以作为实时生产过程是否需要外界干预的判定依据。

本规程用词说明

1 本规程执行严格程度的用词，采用下列写法：

(1) 表示很严格，非这样做不可的词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

(2) 表示很严格，在正常情况下均应这样做的词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

(4) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

(4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

(1) 在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”；

(2) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》×××的有关规定”；

(3) 当引用本规程中的其他规定时，表述为“应符合本规程第×章的有关规定”、“应符合本规程第×.×节的有关规定”、“应符合本规程第×.×.×条的有关规定”或“应按本规程第×.×.×条的有关规定执行”。

引用标准名录

《智能建筑工程施工规范》GB 50606-2010

《智能制造能力成熟度模型》GB/T 39116-2020

《智能制造能力成熟度评估方法》GB/T 39117-2020