平高集团智能制造整体规划研究

平高集团有限公司 付灿栋 苗沛淋 朱超锋 郭永豪

智能制造对提升国家的制造业核心竞争力具有重要的战略意义。而且，智能制造还是引领“第三次工业革命”浪潮的核心动力。正因为如此，智能制造在全国乃至全球都发展如火如荼。对于企业，应该如何构建符合企业自身情况的智能制造体系架构、如何推动智能制造相关项目落地，是大多数企业当前所面临的问题。本文将通过对国家智能制造标准体系研究、现状调研、差异分析等方法，构建平高集团的智能制造整体架构，形成平高集团智能制造整体规划，为平高集团智能制造推进工作指明方向。也为其他企业在做智能制造整体规划研究提供借鉴。

一、引言

智能制造是基于新一代信息通信技术与先进制造技术深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的新型生产方式。

发展智能制造有利于加快信息技术在制造业的集成应用，降低生产成本、减少能源资源消耗、缩短产品开发周期，有效提高生产效率和产品质量；有利于推动制造业供给侧结构性改革，促进生产方式向定制化、分布式、服务型转变；有利于提升制造业竞争力和可持续发展能力，推进制造业向中高端迈进。

据此，平高集团开展智能制造整体规划方案研究，项目目标是按照《中国制造 2025》、《智能制造发展规划（2016–2020 年）》、《智能制造工程实施指南（2016–2020 年）》、《国家智能制造标准体系建设指南（2018 年版）》等国家相关文件的要求，通过智能制造整体规划方案的研究，一方面需要结合平高集团的业务及战略，形成未来平高集团智能制造的整体框架及详细蓝图；另一方面，结合平高集团当前的条件成熟度以及行业的发展状况，为平高集团规划出智能制造的咨询路径及阶段指标，为下一步智能制造推进工作指明方向，既要有平高集团整体智能制造战略规划，又要根据调研情况选取平高集团内部两到三家单位进行智能制造的详细咨询规划。

二、研究概要

本章节将依据智能制造的特征来概述智能制造整体规划所包含的内容。

1. 智能制造的特征

产品智能化：产品智能化是把传感器、处理器、存储器、通信模块、传输系统融入各种产品，使得产品具备动态存储、感知和通信能力，实现产品可追溯、可识别、可定位。

装备智能化：通过先进制造、信息处理、人工智能等技术的集成和融合，可以形成具有感知、分析、推理、决策、执行、自主学习及维护等自组织、自适应功能的智能生产系统以及网络化、协同化的生产设施。在智能制造时代，装备智能化的进程可以在两个维度上进行：单机智能化，以及单机设备的互联而形成的智能生产线、智能车间、智能工厂。需要强调的是，单纯的研发和生产端的改造不是智能制造的全部，基于渠道和消费者洞察的前段改造也是重要的一环。二者相互结合、相辅相成，才能完成端到端的全链条智能制造改造。

生产方式智能化：个性化定制、极少量生产、服务型制造以及云制造等新业态、新模式，其本质是在重组客户、供

应商、销售商以及企业内部组织的关系，重构生产体系中信息流、产品流、资金流的运行模式，重建新的产业价值链、生态系统和竞争格局。

管理智能化：随着纵向集成、横向集成和端到端集成的不断深入，企业数据的及时性、完整性、准确性不断提高，必然使管理更加准确、更加高效、更加科学。

设计智能化：应用数字化三维设计与工艺技术进行产品、工艺设计与仿真，并通过物理检测与试验进行验证与优化。建立 PLM 产品生命周期管理系统，实现产品协同设计、工艺数据的集成管理。同时工厂的总体设计、工艺流程及布局均已建立数字化模型，并进行全数字模拟仿真。

服务智能化：智能服务是智能制造的核心内容，越来越多的制造企业已经意识到了从生产型制造向生产服务型制造转型的重要性。今后，将会实现线上与线下并行的 O2O 服务，两股力量在服务智能方面相向而行，一股力量是传统制造业不断拓展服务，另一股力量是从消费互联网进入产业互联网，比如智能化服务未来连接的不仅是人，还包括设备和设备、服务和服务、人和服务。个性化的研发设计、总集成、总承包等新服务产品的全生命周期管理，会伴随着生产方式的变革不断出现。

智能制造要建立一个智能生态系统，当智能无所不在、连接无处不在，数据无处不在的时候，设备和设备之间、人和人之间、物和物之间、人和物之间的联系就会越来越紧密，最终必然出现一个系统连接另一个系统、小系统组成大系统、大系统构成更大系统的情况——对于智能制造的目标智能制造而言，它就是系统的系统。

2. 整体规划内容

依据对平高集团现状评估，以国家相关政策要求为依据，形成平高集团智能制造整体规划，涵盖设计、生产、管理、服务等环节。

设计方面包含数字化产品设计与工程研发以及数字化工艺，涵盖产品全生命周期过程，包括需求工程、设计验证与确认、质量数字化、研发项目管理、配置与变更管理等。

生产方面包含数字化工厂布局、数字化工厂自动化、数字化制造运营，主要围绕生产制造执行系统（MES）、先进的计划与排产、质量管理、工业互联网、数据采集、布局优化改进等方面展开。

管理方面主要围绕数字化供应链、数字化管理运营等方面展开，涵盖数字化供应链构建与协同以及一体化管控平台搭建，以提高管理运营效率为目标。

服务方面主要围绕数字化产品运维展开，包含了数字化产品运维平台的构建、维修技术相关信息的管理、远程运维、预测维修、运维生态体系的建立。

三、研究方法

本章节介绍智能制造整体规划的研究方法。首先，对智能制造体系架构、智能工厂建设标准等标准体系进行研究，制定出属于平高集团的智能制造标准体系架构。其次，对平高集团智能制造现状进行调研并评估当前所处位置。再次，根据平高集团智能制造现状，结合标准体系架构进行差异分析。最后，根据差异分析结果规划相对应的改进提升措施。

1、标准研究

通过对中国电子技术标准研究院发布的《智能制造能力成熟度模型白皮书（1.0 版）》、工业和信息化部、国家标准化管理委员会共同组织制定的《国家智能制造标准体系建设指南（2015 版）》和《国家智能制造标准体系建设指南（2018 版）》等政策文件及资料的研究，结合平高集团智能制造现状以及战略规划，形成了平高集团的智能制造整体架构，如图 3−1 所示。

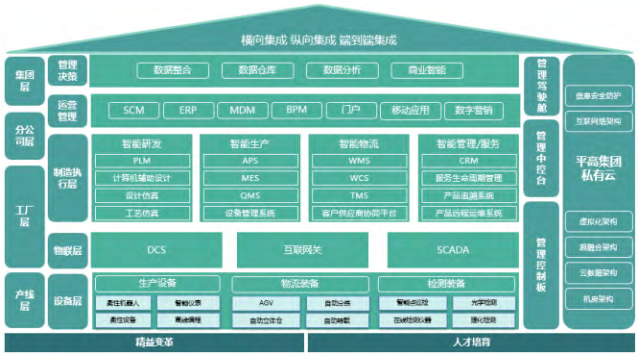

图 1 平高集团智能制造整体架构

2. 现状调研

本次在平高集团智能制造整体规划研究中所采用的调研方法包括：面对面访谈、生产制造现场走访、资料研读分析。

（1）面对面访谈

举行面对面访谈的目的是为了能够快速了解企业当前现状以及急需解决的问题。

访谈对象主要是企业高层以及各部门负责人（或其委托人）。

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn

访谈内容主要围绕六个方面展开：访谈对象所在部分的组织架构、业务流程、所使用的信息系统、当前面临的痛点、部门的发展规划与展望以及部门所承担的考核指标及其达成情况。

为达成访谈的最终效果，也需要采用适当的访谈方法：访谈中要快速准确捕捉信息，及时收集有关资料；访谈过程中恰当的进行提问，适当的做出回应；及时做好访谈记录（访谈记录文档如图 2 所示），条件允许可录音，以便后期整理访谈内容。

图 2 访谈记录

（2）生产制造现场走访

生产制造现场走访的主要目的是为了印证面对面访谈所涉及到的生产制造现场相关问题，也是为现状评估以及差异分析提供依据。

生产制造现场走访对象是平高集团旗下平高电气、通用电气、天津平高的生产制造现场。

生产制造现场走访的主要内容围绕以下五个方面展开：

①从生产安全、环境、整洁与秩序，空间使用、物料移动与生产线流动，库存与在制品水平等方面确认精益管理现状。

②从加工、装配、物流、仓储等方面确认自动化现状。

③从已有系统及其使用状况，实施中或已规划系统的资料信息确认信息化现状。

④从能源管理制度、计划、执行、控制等方面确认能源管理现状。

⑤其他信息需要从员工对精益管理、智能制造等方面的认知进行确认。

为达成生产制造现场走访的最终效果，也需要采用适当的方法：一看，深入现场实地观察了解生产制造现状，掌握现场基本情况和第一手资料；二问，询问陪同或现场人员，进一步了解实际情况；三听，充分听取陪同人员或现场人员的抱怨与建议；四理，通过了解到的现场真实情况，理清当前存在的主要问题，并做好相应记录如图 3 所示。

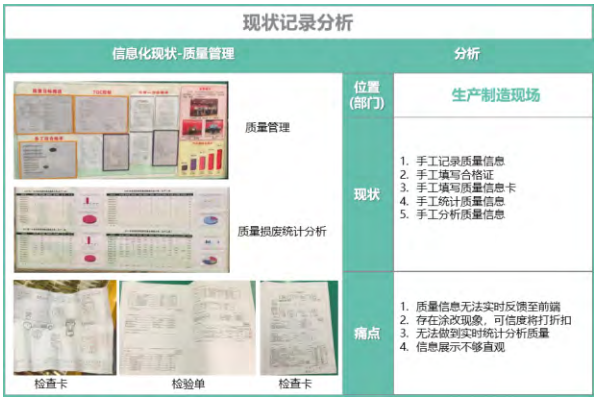

图 3 现场走访

（3）资料研读分析

资料研读分析的主要目的是为了战略与经营分析提供数据基础；为标杆选择提供资料支撑；为现状评估、差异分析及建议提供依据。

资料研读分析的主要对象包含以下五个方面：

①平高集团的战略、企业架构、业务流程等文件。

②客户群体、对标企业、当前面临问题、信息化清单、设备清单、厂房和设备布局图、物流路线图、工序流程图、产品 PQ–PR 分析、自动化内控标准、主要产品清单等资料。

③对标企业以及电力行业的相关信息及资料。

④国家智能制造相关政策文件。

⑤其他补充资料。

（4）调研结果

根据面对面访谈、生产制造现场走访、资料研读分析，对平高集团智能制造建设现状进行调研总结如下：

目前平高集团在智能化设备、软件系统方面有一定的基础，具备智能制造的推动基础。但是，由于没有建立集团层面的统一推动部门，各产业单位实际情况差异较大，在智能制造规划和推动方面存在较多问题，并且集团在标准化推进方面目前的力度还需要加强，如能构建专门的推动组织，将来对集团整体业务执行的流畅性能起到积极推动的作用，而且集团智能制造整体实施还处于起步阶段，需要进行整体规划和分步实施；同时，专业人才是推进智能制造顺利进行的重要因素之一，加强智能制造领域的人才培养是智能制造实

施的基础。

3. 差异分析

本小节通过对平高集团的调研，结合智能制造的整体要求，对平高集团智能制造成熟度进行评估，评估结果如图 3-4 所示，并对平高集团智能制造现状执行差异分析，并采用专家评估法对平高集团各产业单位执行智能制造实现优先程度选择评估，评选出平高集团智能制造示范试点单位。

（1）存在的主要问题汇总分析。

①现场管理水平有待提升。

实现智能制造的途径一般遵循标准化→精益化→数字化（自动化 / 信息化）→智能化的过程；所以，标准化和精益化的现场管理是实现智能化的基础工作之一；目前，集团及产业单位层面缺乏专门的精益生产推动组织（IE），来统筹集团的现场改善、自动化、信息化提升等相关工作，以及后续智能制造的推动工作；同时，大部分产业单位生产现场管理较弱，缺乏系统的精益生产推动组织和体系，仅看到平高电气机械制造事业部有开展部分精益生产项目；从现场 5S 和目视化、车间布局、到班组团队管理、再到工厂管理需建立不同层级的体系，形成精益化的管理体系，为智能制造的推动打下坚实基础。所以，精益生产基础工作还有待继续夯实。

②设备智能状况差别较大。

因为产品工艺不同，不同制造分厂之间设备差异较大，平高电气绝缘分厂、组合电器事业部，通用电气中压断路器厂，天津平高真空灭弧室制造厂、充气柜制造厂等设备智能化程度较高，可以实现设备自动取数、汇总反馈功能；智控事业部、电力电子制造厂等智能设备较少，手工加工过程较多，实现自动采集数据功能比较困难，需要进行自动化改造；同时，已有自动化设备没有进行有效互联互通，基本处于信息孤岛状态，设备状态或生产数据大部分靠手工填写或者录入汇总。

③现有软件系统未有效打通。

目前，集团层面和各分子公司已经陆续上线了 ERP、PLM、MES、CRM、SCM 等信息软件系统，ERP-PLM-MES 虽局部打通，但仍然采用通知单附图纸的形式，造成仍需要手工整理 BOM 来进行传递数据，降低了这些软件的使用价值和数据的有效利用效果，需要提升管理水平来适应信息系统的使用。

④工厂生产过程管理有待提升。

制造执行系统（MES）仅仅在部分单位试点使用，如平高电气机械制造事业部、电镀分厂和组合电气事业部，天津平高的真空灭弧室制造厂测试车间和充气柜制造厂装配生产线；功能也仅限于简单的报工以及部分信息采集，缺乏生产过程的监控、数据的及时采集、产品质量的追溯，生产数据的自动汇总分析并上报集团职能部门的功能，存在大量手工填写、统计、汇总和分析的工作。

⑤物流自动化程度不均衡。

平高电气所有单位的物料流转基本依靠人工操作叉车运送，仅有机械制造事业部在试运行 AGV 运送，仓储有立库但物料的取放也是依靠人工操作叉车完成；通用电气物料流转基本依靠人工操作叉车或龙门行吊运送，仓储有立库但物料取放基本依靠人工操作叉车完成，仅中压断路器分厂的部分仓库已实现智能化立库，但使用故障率高，均衡性较差；天津平高工序间内物料流转依靠轨道车，不同产线间物料流转使用叉车和龙门吊，自动化程度较高、搭配合理，仓储取放物料大部分依然是由人工操作叉车完成，仅充气柜部分仓库已完全实现智能立库出入库。

⑥集团协同制造能力不高。

部分软件系统如 MES、WMS 等只有部分单位试点运用，没有大面积推广且没与其它软件模块打通，从而形成整体合力，实现集团跨部门、跨单位、跨业务环节综合协同，以及从设计、工艺、制造、物流、服务等全生命周期闭环管理，构建集团信息神经网络和智能决策体系，实现集团经营管理数字化、可视化、智能化，全面建成集团协同制造的能力。

⑦缺乏集团各级透明管理。

目前，生产过程信息需靠人工统计填写或人工录入相对应的系统，如计划执行状况、生产状况、质量状况等信息；中层管理人员想了解生产情况时，需要到系统中查找或者由现场人员收集信息后逐层反馈，无法实时掌握生产状况；无一体化管控平台辅助高层进行决策。因此，一定要把设备和系统、人和系统，通过专业平台都能连接起来，把统计、分析工作交给后台系统，实现生产过程的透明化管理。

⑧智能制造人才短缺。

从国家至企业层面都面临着智能制造人才的短缺局面，企业在引进外部人才的同时，更需要逐步建立企业内部智能制造人才培养的体系；目前平高集团暂未建立系统的智能制

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn

造人才培养体系，无法为后续的智能制造推行提供人才保障。

（2）智能制造实现优先程度选择评估

本研究中采用基于德尔菲法的专家评估法，是在定量和定性分析的基础上，以打分方式做出定量评价，其结果具有数理统计特性。

评估步骤分为五步：

①明确评估维度

②明确评估等级，并用分值表示

③由专家对评估对象进行评估打分

④采用乘积评分法求出总分值

⑤依据评估对象的总分值进行排序

评估维度主要围绕管理基础、信息程度、智能设备、设施场地四大维度，涵盖了精益管理基础、雇员培训、信息化覆盖及运用状况、信息化规划工作、智能生产设备、智能物流设备、现有场地利用程度、将来可规划利用程度等。

因乘积评分法灵敏度很高，被评估对象各指标间的关系特别密切，其中一项的分数连带影响到其他各项的总结果，即具有某项指标不合格，就对整体起否定作用的特点，强调了要全面达标。因此特点符合智能制造强调全面的要求，故选择乘积评分法做评估。

依据智能制造实现优先选择评估结果，如图 4 所示。结合平高集团战略规划及现状，评选出天津平高充气柜制造厂的断路器产线、平高电气机械制造事业部的精加工车间和绝缘分厂的浇注线，三个试点为平高集团智能制造详细规划对象。

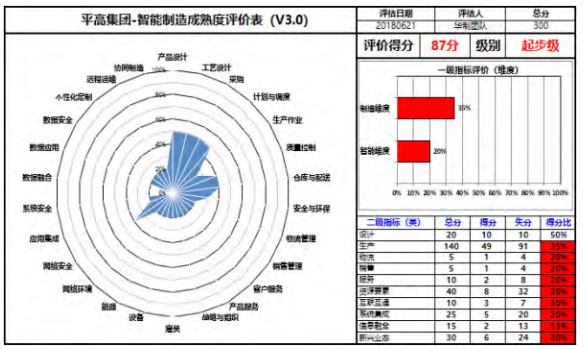

图 4 平高集团智能制造成熟度评估

4. 应对措施

根据平高集团智能制造现状调研结果，结合平高集团战略规划及现状，制定出平高集团智能制造提升措施，主要围绕以下八个方面展开。

①精益基础提升，包含了布局规划、仓库管理、设备管理、生产管理等方面的提升，主要围绕如工程布局规划、车间布局规划、工序布局规划、仓库基础管理、三点定位管理、物料分类管理、设备及生产的日常管理和一次反馈机制等方面的制度建立，提升当前管理水平。

②自动化提升，包含了以提高产品质量、减少人力成本、确保安全生产、缩短交货周期、实现智能制造的自动化提升目标的建立，以及基于精准、高效、高性价比为目标的精益自动化提升策略，基于以上前提条件根据各产业单位的实际需求推动自动化水平提升。

③工业互联网建设，分为提供平高集团制造数字化网络智能化发展的各类使能要素、构建全面互联制造体系，打造全面信息数据链，催生融合发展新模式两大步骤。网络基础设施建设、工业互联网平台建设、设备智能模块、感知与计算能力、优化模型及算法、综合安全防护是支撑基础；逐步打破设备－车间－工厂的传统企业层级，逐步打破地域限制，形成产业链上下游和平高集团各层级以及产品生命周期数据链为关键路径。

④数字化工厂建设，全面建立以生产过程执行管理（MES）为核心的数字化工厂，通过工厂数据透明化、固化生产管理和执行能力、制造现场透明化，确保交期及计划达成率、单一主数据、简化集成接口、提升集团化主数据管控能力等步骤来实现数字化工厂的构建。

⑤可视化平台建设，通过前面四个方面的建设，完成可视化平台构建的数据基础要求，通过对各类数据的清晰、分析将结果呈现于可视化平台，以辅助不同管理层级执行决策。

⑥数字化运营管理平台构建，以管理集中化、决策智能化为建设目标。在清晰地核心管理业务基础上，通过信息化系统的建设与之相匹配，从而提升流程执行的效率和管理集中度，便于通过数据和分析做出决策。集成打造创新研发、供应链协同和一体化管控三大支撑平台，打通各业务部门运作流程，提升运营水平；智能分析和监控三大支撑平台和底层执行情况，及时提供决策支持，提高决策效率和质量；移动应用、智能分析及物联网等先进技术与企业价值链的不同流程相结合，支持实时智能工厂运转。

⑦大数据及商业智能应用，通过对业务数据、生产设备数据、产品终端数据以及来自合作伙伴等外部数据的抽取、清晰、转换、载入，实现研发、财务、销售、生产、采购、设备运行等方面的数据分类存储，利用工艺大数据分析和商

业智能等技术手段进行数据分析，最后将各类业务报表、核心指标监控、绩效指标评价、

⑧符合相关政策要求的云平台建设，以便于快速部署与集成、灵活的软硬件架构，适应多种生产模式需求为目标，实现对云资源的统一管理，并可对资源进行灵活分配、智能调度，达成核心资源高效利用的需求。

四、研究成果

智能制造整体规划研究项目为平高集团构建出智能制造整体框架以及分阶段实现的目标，为下一步智能制造推进工作指明了方向，既有平高集团整体智能制造战略规划，又有示范试点的详细规划。既遵循了“整体规划，分类施策”的整体规划原则，也满足了“坚持共性先立、急用先行；坚持统筹规划、系统推进；坚持市场主导、集团引导；坚持创新驱动、开发合作”的详细规划原则。

1. 整体规划

按照国家相关政策及文件要求，结合平高集团战略发展目标，理解平高集团战略规划、业务和管理模式，本次规划将平高集团智能制造整体建设为四个阶段、八个步骤，通过不同阶段的建设，最终实现全面智能化。

基础阶段，以实现透明互联为目标，包含以提升管理基础及加强向智能制造升级的变革思想为目标的精益管理基础的提升、以设备及系统互联互通为目标的车间物联网建设、以 MES 为核心的数字化工厂建设、以数字化管理运营为目标的一体化管控平台四大模块的建设。

提升阶段，以实现三化集成为目标，包含了精益化管理提升、自动化提升、数字化提升，以及数字化管理运营能力提升。

发展阶段，通过大数据分析及商业智能以实现数字化管理运营平台赋能为目标。

优化阶段，通过加强大数据分析及商业智能的应用以及云平台的构建，实现数据驱动提升经营能力的目标。

基于前面四个阶段的建设，逐步形成自我完善、可持续优化提升的闭环体系，最终实现全面智能化，达成国际一流电工产业集团的建设目标。

八个步骤包含了精益基础提升、自动化提升、工业互联网建设、数字化工厂建设、可视化平台建设、数字化管理运营平台构建、大数据及商业智能应用、符合相关政策要求的云平台建设。

2. 详细规划

本次详细规划，既结合了平高集团智能制造整体规划的原则及步骤，也结合了各示范试点的具体要求，涵盖了数字化工厂布局规划、数字化工厂自动化规划、工业互联网建设规划、数字化制造运营等方面的详细规划。

详细规划中既有各模块的整体架构、规划思路、具体功能模块，也有详细规划项目所对应的预期收益包括各类定量化指标和定性化指标，还有详细规划各项目的概算，不仅有着今后推进智能制造的指导意义也有实施智能制造具体项目的参考意义。

最后，对智能制造项目推动专项组织的构建也提出了明确的要求，也对智能制造项目团队提出了明确的要求，包含团队、风险、技术、需求等方面。

3. 指导意义

智能制造虽已成为制造企业转型共识，但对其概念和内涵还未有统一的认识，尤其是对智能制造的发展路径还未明确，制造企业在实施智能制造战略时如何确定最终目标，如何整体策划、分步实施还缺乏有效的指引。智能制造整体规划的意义在于立足现状调研和评估平高集团内部管理现状的基础上，结合集团整体战略，指明了未来集团智能制造整体的发展方向。

五、结语

智能制造整体规划从总体上将基础管理、自动化、信息化、网络技术、人工智能等不同专业融合进研发、生产、管理、服务等维度，最终以实现高品质、低成本、高效率、短周期为目标。

通过智能制造整体规划，达到整体系统性最优，提升企业价值链整体收益，从而实现企业的战略与经营目标。

智能制造整体规划不是一次性项目，而是在具体实施过程中要根据企业自身情况不断调整和优化，既要满足智能制造具体项目的指导要求，也要符合企业战略规划目标。

平高集团将以示范试点为标杆推动智能制造建设，通过标杆的建立再在全集团进行全面推广复制。

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn