

数据要素驱动智能制造高质量发展

吴盛楠^①

【摘要】未来，驱动制造业高质量发展的关键是数据，因为它是少有的贯穿了整个价值链的要素，是系统性改善的源泉和推力。首先，本文对数据驱动对智能制造未来发展方向的影响进行了浅析，强调制造业在效率提升、质量提升、成本控制等方面的迫切需求，是工业技术升级和经济全球化背景下的必然要求。其次，文章详细介绍了软硬技术结合的实施路径，以智能制造的典型案列为说明，从“硬”技术的装备支撑到以“软”实力的软件定义制造为核心，强调数据驱动和软件系统在进一步提升智能制造效能中的关键作用。最后，通过三一集团的四个具体实践案例进一步阐述数据驱动智能制造再升级的实际应用场景和实施效果。

关键词：智能制造；数据驱动；软硬技术结合；软件定义制造；全局协同

一 引言

三一集团主业是装备制造业，主导产品为：混凝土机械、挖掘机械、起重机械、筑路机械、桩工机械、风电设备、港口机械、石油装备、煤炭装备、装配式建筑 PC 机械、环卫机械、高空作业机械等全系列产品。目前，三一混凝土机械稳居世界第一品牌；挖掘机械自 2020 年起连续三年蝉联全球销量冠军，在国内市场已连续十二年全面蝉联销量冠军；大吨位起重机械、履带起重机械、桩工机械、煤炭掘进机械、港口机械稳居中国第一。同时，三一集团正在全面布局光伏、氢能、锂能等新能源赛道。

当前，三一集团在处于“习近平新时代中国特色社会主义思想指引下的中国梦”和“第四次工业革命叠加第三次能源革命”的窗口期这两大旷世机遇的交会点上，正在实施三大战略转型——“全球化、数智化、低碳化”，以成就三一集团更加美好的未来。本文将结合三一集团在制造领域的数智化应用，阐述“数据要素如何驱动智能制造高质量发展”。

根据国家统计局全国人口普查报告，我国 15~59 岁人口总量逐年下降，2010-2021 年约减少为 4500 万人。其中劳动人口自 2011 年起逐年减少，平均每年下降约 450 万人。根据教育部《全国教育事业统计公报》，人口红利迅速消失，同时大学生数量呈增长趋势，10

【作者简介】

吴盛楠 博士，现任三一集团副总裁、商用车智造公司总经理。研究方向为企业数智化转型、数据驱动业务持续改善、精益生产、卓越运营等。

年间年大学生数量增长了近 200 万人。同时三一集团年用工成本较 2011 年已近翻倍。

随着我国人口红利的消失，低端劳动密集型产业向东南亚转移。与之相对的，欧美发达国家提出“制造业回归”战略，高端制造业向发达国家回流。据美国商务部经济分析局统计，美国制造业在 2021 年创造的 GDP 上涨至约 2.5 万亿美元，占美国经济比例提升至 11.15%，增幅明显，制造回归进程加速。

随着工业技术快速升级，基础零部件技术壁垒逐渐消失，产品同质化愈演愈烈，终端售价急剧下降，成本成为企业可持续发展的核心竞争力。工业机器人技术的突飞猛进，致使其应用领域大幅拓宽。2011 年仅在焊接与涂装场景有应用，而至 2021 年，工业机器人已经融入各个领域，不仅限于焊接与涂装，还包括上下料、分拣、冲压、机加、装配。工业机器人的发展不仅体现为技术上的突破，还体现为价格上的下降。常规的焊接机器人由 2011 年的 75 万元，下降至 2021 年的 40 万/台。一个简单的焊接工作站投资回报周期仅为 1.1 年。

在第十三届全国人大一次会议“代表通道”上，三一集团董事长梁稳根先生提出：“智能制造是中国制造的唯一出路！不翻身，就翻船！”

此后，三一集团大力发展智能制造，通过硬件的升级，使自动化逐步替代低端、重复、简单的人工工作。三一集团为智能制造领域贡献了三座“灯塔工厂”，至此实现了智能制造 1.0。与此同时，三一集团意识到另一座金矿并未被有效开采——“数据”！

二 数据驱动智能制造实施路径

（一）“软”“硬”结合，赋能智造

施耐德电气提出，深刻揭示智能制造发展内在逻辑和必然趋势的观点是智能制造不仅要有“硬技术”，更要有“软实力”。智能制造发展的核心要素是数据，通过集成先进技术，如自动化设备、传感器、人工智能技术、机器学习、大数据、云计算、机器视觉等，能实现制造过程的自动化和智能化。数据驱动的核心在于数据的收集、预处理、分析、应用。

数据采集：工业数据通常来源于用户行为、材料流转信息或设备运行信息等多个方面，企业一般通过传感器、设备互联和手工输入等方式采集原始数据。

数据预处理：通过数据预处理，进行初步的筛选和转换，去除无效数据和噪声。通过清洗、格式化、提取资料，保证资料的质量和连贯性，然后将处理后的资料存入资料库，保证资料的持久性及存取性。

数据分析与建模：通过对数据的深度挖掘分析，利用统计工具和机器学习框架挖掘潜在的模型和规律，建立分析模型。对于训练好的模型可以通过监控工具实时追踪模型的性能，

确保其在实际应用中的精确性和可靠性，例如应用程序编程接口（API）、云服务或边缘计算。

数据应用：数据应用是企业数字化转型和数据赋能的重点，可以驱动业务分析、决策和进行优化，如通过实时推送系统、动态报表等工具实现数据、业务异常、运营状态等内容的可视化展示和应用，便于管理者及时了解公司的运营状态。再结合实际应用反馈不断优化前端的数据采集、后端的模型调优，实现数字与业务双向驱动的循环，最终实现业务的持续改进。

实现运营技术业务数字化的关键环节是设备的互联互通和数据的实时采集。该环节能有效地辅助人员发现过程中的问题，并通过对设备或传感器运行数据的实时采集，增强企业的监控能力和生产效率。此外，通过 IT 与 OT 的高度融合，不仅可以更深入地分析和处理数据，还可以实现对优化决策的远程监控、预测预警和支持，全面支持工厂数字化、智能化改造，提升企业整体竞争力。以图 1 为例，通过树根互联股份有限公司的互联平台，以及 IT/OT 融合支持，三一集团内部子公司进行了数字化、智能化改造，实现了数据的实时采集和处理，以及 OT 业务数字化（见图 1）。

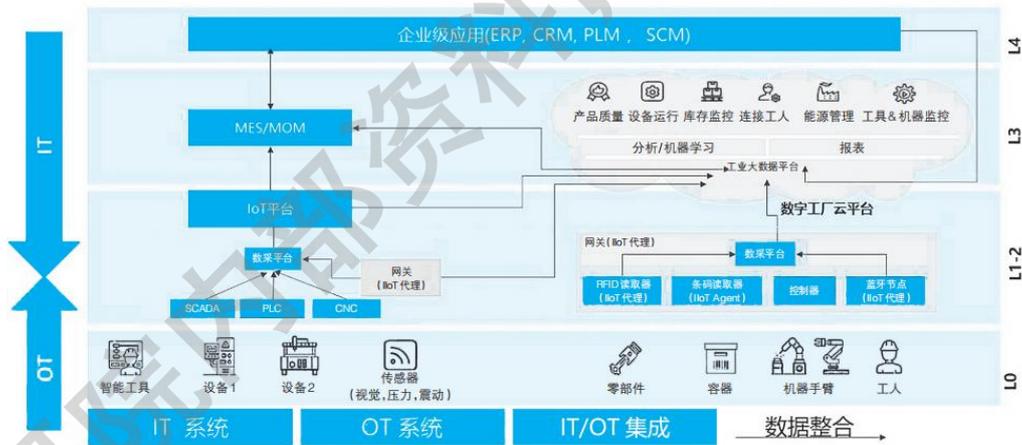


图 1 新一代企业 IT 架构

数据不仅为智能制造系统提供了实时、准确的决策依据，还通过不断优化生产流程，提升生产效率和产品质量。在智能制造及运营过程中，数据主要包括以下几个方面的作用。

辅助决策：通过对市场趋势、消费者行为和竞争对手动态、供应链信息、加工过程信息等价值链环节中各类信息的分析，企业在决策制定上获得了有力支持。

优化运营：通过数据的有效分析，公司可以发现运营中的问题和瓶颈，从而优化生产流

程，降低成本，提高资源利用率。

激发创新：通过对用户需求和行为数据的分析，企业可以更好地聚焦用户，开发更符合市场需求、符合客户期望的新产品和服务。

（二）“硬”技术——智能制造的基石

智能制造的“硬”技术主要是指一系列支持智能制造实现的硬件设备和关键技术。作为智能制造基石的硬技术，不仅能够直接提升生产效率和产品质量，而且能够推动生产模式的变革，因此，其重要性不言而喻。“硬”技术包括但不限于物联网技术、大数据、云计算、人工智能技术、机器人技术、高级自动化技术、传感技术、智能传感与检测设备、智能物流和仓储设备与技术等，这些技术使得反应效率、生产效率、质量都得到了很大的提升。

物联网技术：物联网是智能制造的基础设施，通过与 5G 等技术的深度融合应用，构建智能制造的神经网络，实现生产设备、材料、产品、服务等互联互通。

自动化产线和智能机器人：它是智能制造的重要执行者，能够在生产线上完成高精度、高重复性的工作，能提高柔韧性和响应速度、降低人工劳动强度、提高生产效率和安全性及产品一致性等。

传感与检测技术：通过引入高精度的传感器、机器视觉等，为制造过程提供实时准确的数据采集能力。

人工智能：在智能制造中，人工智能通过自我学习和优化，辅助人员精准定位问题并提供有效建议。人工智能技术被应用于辅助决策等方面，如预测维护、质量控制、生产调度等。

大数据：大数据将企业内部和外部的信息进行了整合，打破了内部和外部、内部各个部门之间的信息孤岛，实现了信息在企业内部的共享。通过大数据可以增强各环节之间的信息交换能力，提高企业的协调能力；而通过大数据分析，可以对包括生产过程中的潜在问题和价值在内的价值流环节进行深度挖掘，对消费者需求进行预测，对资源进行优化配置。

云计算：云计算为数据存储、处理和分析提供了强大的计算能力，通过由多台服务器组成的“云”网络对海量的数据进行处理、分析和计算，并将最终结果反馈给用户。云计算的优势在于它可以存储和处理比传统服务器更多的数据，并且运行效率更高。同时，所有的智能设备都可以通过无线网络连接到云端，通过这种方式，可以实现工厂的实时孪生。

人机交互：人机交互涉及人类如何与自动化系统进行互动和沟通。在智能制造过程中，机器不仅仅是一个工具，还是一个伙伴和助手。至今仍有许多需要人类操作的机器。人类可以基于机器传递给他们的信息来监控和管理工作流程。同时，机器通过感知人类活动（包括

语言、动作，甚至表情等）来收集和分析信息，并最终做出相应的反应。人类与机器以合作的方式完成任务，人机交互的实施需要许多技术领域的支持，比如多模态传感器、智能系统、增强现实等。

（三）“软”实力——软件定义制造，智能制造的灵魂

软件定义制造是近年来在智能制造领域发展起来的一个新概念，它把数据作为驱动生产流程优化的关键要素，使企业能够对生产过程进行更为精准的控制和最优的资源调配，从而获得更强的市场竞争力。企业通过数据应用和创新，使智能制造系统具有更强的生命力。因此，软件定义制造在提高生产效率和质量的同时，也为企业带来了更高的运营效益。

三一集团是以装备数智化为基础，用工业 PaaS 平台打通制造的“任督二脉”，从智能制造、智能产品和智能运营三个方面实现数据要素的应用落地（见图 2）。



图 2 数据要素在三一集团的全景图

数据驱动：在软件定义制造中，数据是举足轻重的核心资产——企业可以通过大量数据的收集、处理和分析来发现潜在问题和机会点，并因此做出有力决策。数据驱动则促使生产流程的透明和可视化，从而使管理人员对实时生产状况做到心中有数，并迅速做出响应。

灵活定制：用软件定义制造的手段来提高生产流程的可灵活定制化和快速调整能力。企业可根据客户的需求和市场变化迅速调整生产计划和资源分配方案，从而满足个性化定制的市场需求，使企业的敏捷交付能力增强，进而在竞争激烈的市场中保持竞争优势。

智能决策：智能决策系统除了可以对数据进行处理外，还可以提供基于数据分析结果的智能决策支持，可能涉及生产计划、库存管理、质量控制、设备维护等多个方面。智能决策系统能帮助企业提高决策的准确性和时效性、提高经营效率和市场竞争力，从而实现对生产过程的持续优化。

跨界融合：企业通过整合先进的运营技术、信息技术、数字技术，实现资源共享、优势互补、协同发展，构建跨领域、跨行业的生态系统。这种跨界融合，既能促进制造业转型升

级，又能为其他相关产业注入新的发展动力。

（四） 软硬结合的发展之路

以融合“硬”技术和“软”实力为重点的智能制造正逐步走向成熟。“硬”技术、“软”实力两手抓，“两手都要硬”的发展理念正随着时代的发展而不断得到贯彻与落实。“互联网+”“物联网+”“大数据+”及因此衍生出来的一系列新兴技术正在不断推动智能制造向纵深方向发展。因此，可以预见以下几个发展趋势：一是由单一向多面发展；二是由局部向统筹发展；三是从传统制造业向智能制造转移；四是以智能化为引领的产业转型升级；五是推动智能制造“互联网+”深度融合。

更加智能的软件系统：今后随着技术的不断发展和创新，软件系统的智能化程度会越来越高。这些系统会不断地自我学习和进化以适应复杂多变的生产环境中的不同场景需求，并能够进行精准有效的决策。企业会通过这些智能系统取得更高的效益，从而不断地进行创新与改进。

更广泛的跨界融合：今后行业间的深度融合将使智能制造系统更具有包容性，不同的行业领域之间的技术和资源会被整合到一起形成一个统一的生态系统，从而实现资源共享、技术共享、优势互补、协同创新等方面的融合，以及协同效应的增强。

更加人性化的用户体验：今后系统的使用者之间的交互方式会更加贴近用户的需要与习惯。系统会针对用户的不同喜好与使用习惯进行个性化定制服务，提供更加快速方便与多样化的服务以满足用户的各种需求。如此人性化的系统设计会促使制造业向服务业拓展，促进制造业与服务业的融合。

“硬”技术与“软”实力的深度融合对于智能制造的发展具有非常重要的意义，但在整个智能化转型的推进过程中仍面临着诸多挑战。

1. 强化数据驱动的文化

数据是智能制造中的核心资产，要想达到“硬”技术与“软”实力的深度融合，企业首先要建立“数据驱动”的文化，即从管理层到一线员工都要认识到数据的重要性，学会用数据来指导决策优化流程。企业本身要培养数据驱动的管理思维，由上至下地加以拉动，同时可结合培训提升员工对数据的重视程度，以及用激励机制配合案例分享等方式，增强员工的数据分析能力。

2. 推行敏捷管理模式

智能制造的目的是使企业在对市场变化的快速响应中达到最优生产状态，通过对生产计

划和资源配置进行灵活调整，使企业的运营效率提升。要达到这一目的，企业必须施行敏捷管理模式，打破传统的层级结构，组建跨部门跨职能的协作团队，以加速决策流程并提高执行效率，然后利用先进的项目管理工具和方法，如敏捷开发和精益生产等，对生产流程和供应链管理进行持续优化，使企业达到最优生产状态。

3. 培养复合型人才

人才保障是企业实施智能制造所必须具备的基本要求，企业既要有掌握先进技术的专业人才，又要有具备跨界整合能力、创新思维和团队合作精神的复合型人才，因此，企业要在人才培养方面加大投入，与高校和研究机构建立紧密合作关系，共同培养适应智能制造需求的高素质人才。另外，企业也要重视内部人才的挖掘和培养，以轮岗培训为手段，以职业规划为目的，激发职工的潜能和创造力，从而促进智能制造的实现。

4. 建立智能生态系统

制造仅是智能制造的一个中间环节，智能制造的实现离不开上下游企业的紧密合作和资源共享。因此，企业需要建立一个开放、协同的智能生态系统，在系统中做到“企业—供应商—客户”这一链条的高效合作，共同推动智能制造生态系统的发展。各制造企业通过共享资源、共同研发和创新商业模式等方式，实现整个生态系统的共赢发展。在这个过程中，“硬”技术与“软”实力的深度融合将成为推动生态系统发展的重要动力。

三 数据驱动智能制造实践案例

2020年，一场突如其来的“疫情”让中国的制造企业接受了一次“抗震测试”，暴露出经营管理、研发管理等多方面的问题，在经历过人员不足、原材料短缺、复工复产缓慢等困境，看到了数字化基础较好的企业“转危为机”之后，决策者们开始重新审视数字化转型对企业的价值与意义，并且用实际行动加速企业数字化转型的进程，数字化转型已经成为中国制造企业发展的“大势”。

工程机械行业是一个高度的离散型制造行业，其制造模式分散且独立，需要大量的人力、物力予以配合，才能完成产品的生产制造。随着人工成本的提高，工程机械行业的深度发展，这种制造模式已不能满足企业高质量的发展需求。为破解这一困局，三一集团积极借助先进机器人、计算机技术，实施“灯塔工厂”建设，提升设备生产制造能力，从而充分应对工程机械行业多品种、高效率、高质量、低成本方面的压力与挑战。

三一集团在40余家工厂中同时部署了人工智能、工业物联网和自动化用例。以长沙工厂为例，长沙工厂充分利用柔性自动化生产、人工智能和规模化的物联网解决方案，结合人

工智能驱动的过程控制、应用于流程优化的高阶工业物联网、柔性生产数字孪生、机器人技术促进物流运营等几个用例，建立了一个数字化柔性的重型设备制造系统。最终，工厂产能翻倍，过程周期下降了一半。

三一集团通过智能传感器、自动识别系统、工业机器人、数控机床等智能装备，利用物流系统、检测系统、工业软件、工业云平台之间的数据共享和互联互通，并结合 AI 算法等前沿技术，在下料成型、机械加工、焊接、涂装、装配、调试、物流等环节实现了智能化的生产及运营。

（一） 基于人工智能算法的智能套料系统

下料成型工艺作为制造业中的一项关键环节，直接影响产品质量、生产效率和成本。然而，现实中仍存在一系列问题和挑战，如材料在排版和切割过程中产生大量废料，材料利用率低；手动或简单算法排版难以达到最优排版效果，出现小件排版不合理或大件无法充分利用边缘区域的情况。

通过开发基于人工智能算法的智能套料系统，以实现从订单到齐套下料的无接触全自动流转流程，再结合自适应机器人实现自主协作与柔性分拣。

（二） 基于深度学习的焊接质量检测技术

焊缝外观的自动检测技术：采用基于可变形卷积的一阶段快速目标检测算法和基于自注意力机制的语义分割算法级联，利用深度学习技术，通过训练素材教会机器判读焊缝外观的缺陷位置与类别。这样机器通过持续学习和优化，不断提高准确率，从而达到高检出率低误检率的识别效果。

焊缝过程检测技术：以焊接作业过程中的多种数据信息为基础，建立基于焊接熔池图像一声音信息的采集系统，对焊接过程中信息的关键特征进行提取与分析，形成焊接过程一焊后质量数据库，并结合监测系统实现对焊接过程及质量的实时监控、追溯及预警。

（三） 基于全局协同的厂内物流系统

随着现代制造规模的扩大，管理难度的上升，传统的仓储管理方式迫切需要向信息化、智能化、高效化、自动化、合理化的管理方式过渡。提高仓储管理的服务质量、降低成本、改善效率将会是企业的主流发展方向。工厂全局协同的物流面临如下问题：

一是传统的人工物流管理模式效率低下，人力成本高昂，且容易出错，难以满足企业快速发展的需求。

二是生产过程中的信息流不畅通，各部门之间的信息交互存在障碍，导致生产进度难以

把控，影响了企业的生产效率和产品质量。

三是缺乏对生产过程的实时监控和数据记录，导致生产过程的管理和控制不够精确和及时。

针对重型商用车整车、零部件生产过程中部件、物流、配件的问题，公司设计并建立了多层、多巷道、多机协同的自动化智能物流系统。

(1) 整体：采用精益生产的“一个流”的物流设计理念。工厂采用自动导引车、输送线、设备管理系统等，把各个工序及产线衔接起来，形成整个工厂的“一个流”生产。通过将仓储管理系统与思爱普、制造运营管理系统、仓储控制系统、机器人控制系统等管理系统信息交互集成，形成以仓储管理系统和管理系统平台集中协同管控为核心的数字物流系统。引入自动化物料存储系统及智能投料系统，对上联通制造运营管理系统、仓储管理系统等业务管理系统，对下打通生产线、自动导引车、自动立体仓库及生产线可编程逻辑控制器(PLC)等智能硬件，全流程管控各种物料的位置信息、状态信息、数量信息、使用信息等。根据生产线边库存的存量及配送路线拥堵情况的实时数据进行推算，实现冲压件→立库→焊接岛的自动化存储与精准配送。

(2) “5G+”工业互联网：网络建设充分考虑智能化需求，除基于无线接入点（AP）组建了基础无线网络外，还建设了5G专网，为所有异构设备（自动导引车、机器人、加工过程监控装置、物流信息采集系统、零件质量测量机、立体仓库及生产管理和物流系统等）提供高性价比的大带宽、低时延、万物互联的5G服务（见图3）。

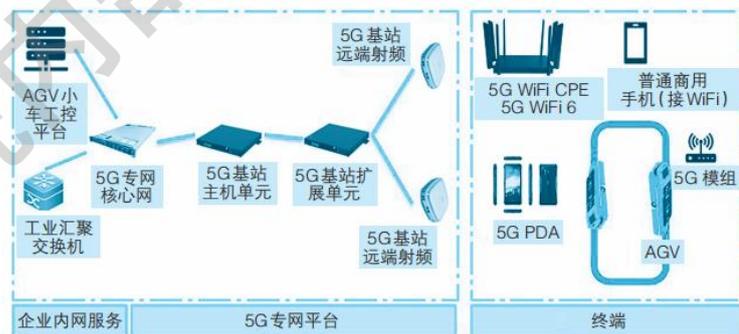


图3 “5G+”工业互联网应用

(3) 厂内物流运营监控：通过打通制造运营管理系统与仓储管理系统的数据库，实现外购物料全流程在线、自制物料生产加工信息在线（冲压、焊装、涂装、总装及半成品、线边缓存区信息）。并结合物流监控系统和智能调度系统，实现对物流运营过程中的机型监

控、预警及调度。

（四）基于大数据的生产及运营监控

生产监控通过查看报表、看板等方式对生产进度、质量、设备使用状态、能源等进行多维度监控。以生产指挥中心为例，通过对生产过程中数据的分析与预测，为生产、工艺和质量改善提供支撑，快速发现问题，并基于问题快速分配任务，以提高管理决策效率。

制造决策机器化，就是指要用机器辅助乃至取代人进行决策。实现智能制造决策机器化，就必然要有自感知、自分析的能力，并在复杂的制造场景中做到自适应，在不断反馈中形成闭环，在螺旋演进中实现智能决策。“三现四表互联”，以及由此开发的应用则为机器自决策分别提供了自感知和自分析的能力。

“三现”指的是现场、现实、现物，“三现”的理念是一切从实际出发，针对现场的实际情况，采取切实的对策解决。数字化时代的“三现”，可以不再依赖人到现场去调查事情的前因后果，更多的是借助多种传感器来感知现场情况，探明现实数据，发现现物的变迁过程，然后利用人工智能技术将感知的现场数据加以识别和分析，找出过去、现在的规律，预测未来的趋势，由此看来，“三现”为自感知提供了得天独厚的条件。

四表管理是指采用自动化、信息化技术和集中管理模式，对三一集团的能源采购、输配和消耗环节实行集中扁平化的动态监控和数据化管理，监测电、水、燃气、柴油、液压油及压缩空气等各类能源的消耗情况，通过数据分析、挖掘和趋势分析，对各种能源需求及用能情况、能源质量、产品能源单耗、各工序能耗等进行统计、分析和预测，从而为集团加强能源管理、提高能源利用效率、挖掘节能潜力、进行节能评估提供基础数据和支持。

四表能源管理系统是指对整个三一集团的水、电、油、气进行统一管理，系统主要包括四表边缘计算、四表档案库管理、四表能源图谱在线、四表能源分析、峰平谷节能分析（见图4）。

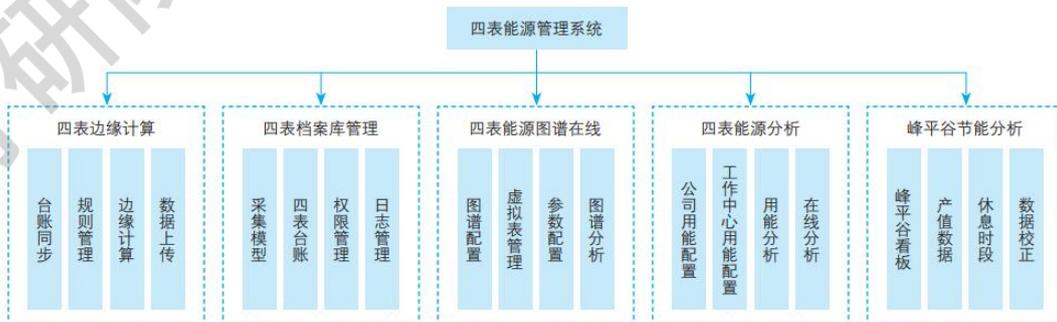


图4 四表能源业务架构

四 总结

数据作为智能制造的神经中枢,是驱动企业实现高质量发展、突破自身瓶颈的核心手段。数据驱动日益成为企业效率提升、成本控制、质量保证的关键利器。作为未来智能制造的主导路径,数据驱动不仅实现了生产过程的智能优化和精准管控,还在虚实融合、柔性制造和全局协同等多方面表现出深远影响。

在推进智能制造过程中,要以现实需求为出发点,推动“软硬”的有机融合,避免偏科发展。这种“软硬”结合的智能制造,代表了未来制造业转型升级的方向,也为企业在复杂多变的市场环境中提供了强劲动力。

同时,不仅应注重企业的数字化素养及数据驱动文化的培养,还要导入及培养具有跨界整合能力、创新思维和团队合作精神的复合型人才,搭建智能生态系统,实现与上下游的供应商、客户的紧密融合,打破传统的管理层级结构,推行敏捷管理模式,实现高效的跨公司、跨部门、跨职能的数智化协作,推动智能制造生态系统向更广泛的全价值链优化迈进。

综上所述,数据驱动正引领制造业走向智能化、数字化的深度变革。在未来,这一趋势将更加凸显,企业需要深度挖掘数据的价值,构建从数据到决策的闭环系统,推动制造业迎接智能制造新时代。通过这一路径,制造业将不仅实现效率、成本和质量的全面提升,更将在全球竞争中占据制高点,迈向高质量发展的新境界。

【作者简介】

吴盛楠,现任三一集团副总裁、商用车智造公司总经理。本科毕业于清华大学,后在美国匹兹堡大学攻读工业工程与运筹学、人工智能方向专业并获得博士学位,同时取得中欧国际工商学院 EMBA 学位。工程师出身,数字化转型专家,善于用流程数智化的精益管理方法和商业模式创新为企业构建核心竞争力。在中美两国服务过多家世界 500 强公司,涉及供应链管理、智能制造、智慧物流、金融科技等行业领域,从 C 端的消费互联网贯穿到 B 端的产业互联网,在产品建设、技术商业化和咨询管理等方面积累了丰富经验,曾带队开发出国际标杆级产品并多次获得国家级、省市级荣誉和奖励,颇具行业影响力。加入三一集团后,主导集团智能制造体系再升级的工作,目前负责商用车公司的全面经营管理,以技术思维和流程治理驱动管理变革。