**1.功能架构**

业互联网作为新一代信息技术与制造业深度融合的产物，日益成为新工业革命的关键，如图1.1所示，当前企业内网络呈现“两层三级”的结构。“两层”是指存在“工厂IT网络”和“工厂OT网络”两层技术异构的网络；“三级”是指根据目前企业管理层级的划分，网络也被分为“现场级”、“车间级”、“工厂级/企业级”三个层次，每层之间的网络配置和管理策略相互独立。



图1.当前企业网络架构

**（1）现场级网络**

在现场级，大都使用现场总线来连接现场的传感器、执行器、工业控制器，通信速率在几Kbps到几十Kbps之间。现场总线的优点为有较强的实时性，可靠安全，其缺点为支持的通信带宽太小。

**（2）车间级网络**

该部分网络主要是完成控制器之间，控制器与本地或远程监控之间和控制器与运营级之间的通信，采用的是当前通用的802.3的百兆以太网扩展而来的工业以太网，然而不同的工业以太网协议间的互联性和兼容性限制了大规模网络的互联。

**（3）企业级网络**

企业IT网络通常采用高速以太网以及TCP/IP进行网络互联，即正常使用的因特网。因为在企业级都是由员工使用，不需要保证实时性与可靠性，而TCP/IP网使用广泛恰好满足了需求。

**2.关键技术**

**现场总线协议：**目前市场常见的总线协议有几十种之多，主要有：PROFIBUS、Modbus、HART、CANopen、LonWorks、DeviceNet、ControlNet、CC-Link 等，其优点有：同一线路上的控制和数据信息的串行传输、主从结构、覆盖更长距离，可靠性高，良好的实时性能。但其缺点为只能传输低比特率。

**工业以太同网协议：**工业以太网是随以太网技术成熟后将其引入工业控制领域产生的通信技术，当前主流的工业以太网技术有：EtherNet/IP、PROFINET、ModbusTCP、Powerlink、EtherCAT等，它的优点有：通信速率高，软硬件成本低，可将工业控制网与企业信息网的无缝连接。

**工业无线网协议：**工业wifi是使用无线电波、激光、红外线等作为数据传输的介质，传送距离一般只有几十米，其优点为：高可靠性、高传输率和长时间的电池寿命等；无线传感网是由大量（数百或数千）无线连接的异构传感器节点组成的系统，目前应用于工业的无线技术有：IEEE 802.15.4、WIA-PA、WIA-FA等，其优点为：自组织、快速部署、灵活性和固有的智能处理能力等；基于蜂窝的窄带物联网（NB-IoT）是一种将蜂窝网应用到物联网的场景，具有强连接、高覆盖、低功耗与低成本等优点。

**其他网络协议：OPC UA协议**产生于OPC基金会，为用户提供安全，可靠和独立于厂商的新一代技术，其特点为：访问统一性、通信性能高、有高可靠性和冗余性设计、标准的安会模型、与平台无关性。

**软件定义网络(SDN):**是一种将控制平面和数据平面分离的网络体系，控制平面在逻辑上集中，数据平面只执行简单的数据交付功能。企业内网中通过SDN技术来搭建出不同的平台，通过不同的平面实现不同的服务质量，以便支持实时信息传输，同时支持整个生产体系、生产流程的动态调整。

**网络功能虚拟化(NFV):**目标是采用业界通用的硬件加软件的方式实现网络功能，其网络功能以软件的方式交付给运营商。工业互联网中使用NFV的方法可使资源组合更加灵活，功能升级更加方便。

**时间敏感网络(TSN):**TSN是一系列技术的总称，它的优点是可以提供具有确定性时延的数据传输能力，这一特征对工业互联网具有强大的吸引力，因为对于一些对时延因素特别敏感的网络来说，信号传输的确定性意味着整个系统的可行与可靠。

**边缘计算：**边缘计算是在移动网络边缘提供IT服务环境和计算能力，强调靠近移动用户，以减少网络操作和服务交付的时延。工业互联网应用场景相对孤立，因此对边缘计算的需求也不同，但可从设备，协议转换，边缘数据处理三个方面进行应用。

**5G网络：**5G网络通过网络切片提供适用于各种制造场景的解决方案，实现实时高效和低能耗，并简化部署，为智能工厂的未来发展奠定坚实基础。在5G中可通过按需分配对不同应用分配不同资源，如时延，网络覆盖，带宽等；还能将用户数据面功能模块部署在靠近终端用户的本地数据中心，尽可能地降低时延，保证对生产的实时控制和响应。

**3.成功案例**

**研究背景：**企业内网建设对设备可靠性要求很高，一旦网络系统运行不正常或者出现故障中断将直接导致工厂业务的中断。传统IP网络采用尽力而为的传输机制，时延不稳定且存在丢包，因此在一些时间敏感型场景无法使用；其次，网络安全问题层出不穷，工控设备普遍不打补丁，一旦设备联外网就容易遭到入侵攻击，导致工厂大面积瘫痪；最后，生产区域的任意设备都可以随意接入网络，缺乏接入管控。需要从设备自身和网络架构角度确保网络系统的可靠性和安全性。因此，提出了ADNET智能工厂网络建设方案（ADNET即应用驱动网络）以帮助企业完成工厂网络的升级改造。



图1 工业互联网互联示意图

**实施目标：**实现工厂有线无线网络全覆盖，解决信息孤岛的问题；对主流工业现场总线协议进行适配，实现生产网和信息网的双网融合互通；基于SDN技术部署工厂网络，向上对接工厂云平台，实现网络设备自动配置和业务快速部署，提升产线效率，减少人力投入；建立工厂网络安全保障系统，实现人、机、物、系统的可控接入和行为审计，保证工厂的设备安全、网络安全、控制安全、应用安全和数据安全。

**功能设计：**（1）设备物料的泛在接入能力。智能工厂网络提供多种OT终端接入能力，包括以太网有线接入、无线接入、PON接入；支持Modbus、PROFIBUS、EtherNet/IP等主流工业以太网协议，提供海量终端的接入能力。（2）基于SDN的三级网络架构构建无阻塞、易扩展的网络架构设计。（3）通过对网络设备分类，不同的设备采用和角色对应的配置文件进行自动化部署。（4）通过控制器实现端到端业务编排，并配合工业控制系统实现网络资源的按需调度和一体化运维。

**成功案例：**本解决方案已经在中车株机轨道交通车辆转向架智能制造车间项目中应用。基于ADNET智能工厂网络方案，中车株机转向架车间网络的稳定性大大提升，设备故障切换时间由秒级提升为毫秒级。并且，车间无线信号的覆盖情况也得到改善。高可靠网络为中车株机转向架生产业务提供了保障，提高了工控系统的生产效率。在安全性上，工业安全软件统一接入和管理信息点，同时加入网络安全设备，有效减少了工厂网络病毒木马造成的工业数据丢失、泄密风险。

**4.实施路径**

**企业内网升级改造：**需要推动工业企业内网的建设、改造和升级以满足企业低时延、高可靠、广覆盖的网络需求。首先，加快推进宽带网络基础设施建设与改造，扩大网络覆盖范围，优化升级国家骨干网络。其次，推进工业企业内网的 IP（互联网协议）化、扁平化、柔性化技术改造和建设部署。最后，推动新型智能网关应用，支持工业企业以IPv6、SDN、边缘计算、工业无源光网络（PON）、5G等技术改造工业企业内网。

**内网安全体系构建**：工业互联网推动的“人-机-物”全面互联使得原本封闭的工厂生产环境大量曝露在互联网上，受到来自外部的恶意攻击概率大大增加，需要更加可靠和安全的专用网络传输机制来保障工业数据的安全。系统化的安全防护需要从工厂的实际情况出发构建系统的安全防护体系。在此体系中，使用者、生产设备、产品、个人终端、网络设备、安全设备、态势感知系统充分协同，在安全事件出现前极力规避、预警，出现时能够及时发现，并依据事先制定好的应急方法进行自动化处理。

**产学研协同创新**：内网协同创新以最接近市场的企业为核心动力，通过相应政策制度的制定、规范、完善和执行监督，以IT企业为开发与建设的主力军，以高校、研发机构为技术创新指导。通过产学研协同创新，从而促进工业互联网内网稳定、有序、高效地发展。