

数字孪生技术助力中铝华润 实现高效运营

Jana Miller

Bentley 软件公司

摘要：Bentley 软件公司与中铝集团旗下山西中铝华润有限公司（以下简称“中铝华润”）携手打造铝行业首个全工厂数字孪生系统。该项目通过数字孪生技术实现工厂全流程数字化运营，构建了覆盖生产设备、工艺参数及能源管理的三维可视化管理平台。经实际运营验证，该系统每年可节约管理成本逾 600 万元，同时通过实时能耗监控与资源优化配置，为绿色低碳生产提供数据支撑。该项目的成功实施标志着铝工业智能化转型迈入新阶段，为传统制造业数字化升级提供了可复制的创新范式。

关键词：数字孪生；全生命周期；电解铝



基于 Bentley 的企业数字工厂管理平台和数字孪生模型将管理成本降低了 10%

在全球制造业数字化转型浪潮与中国“双碳”战略背景下，铝行业企业正加速推进工厂全流程智能化改造。作为中国铝工业龙头企业，中铝华润通过实施电解铝工程数字孪生应用项目，为传统高耗能产业的绿色化、智能化转型树立了行业标杆。

该项目总投资达 39.4 亿元，在现有 75 万 m² 厂区内构建起完整的电解铝生

产系统及配套设施。沈阳铝镁设计研究院有限公司（以下简称“沈阳铝镁院”）作为技术主导方，依托 Bentley 数字化技术平台，创新性地开发了企业级数字化工厂管理平台，并交付了铝行业首个全厂级数字孪生模型。这一创新举措不仅让工厂的设计、建造、运营和维护走上了全生命周期的数字化管理之路，还极大地提升了生产效率和安全性。

沈阳铝镁院数字工程（BIM）中心项目总监刘方波说：“这个项目从设计、建造到运维都有非常多的创新点，我们在这三个阶段都深入地应用了数字化技术，比如说在设计阶段，我们最多的创新是定制，非常大地提升了我们的设计效率；建造方面，利用 4D 模拟来控制进度。在此基础上，我们对这个项目做了完整的数字化交付，在运维阶段，业

主拿到的是一个有着底层数据并且结合了海量数据的完整的数字化工厂。”

沈阳铝镁院力求将数字孪生技术应用于项目的全生命周期，目标是打造业内首个全厂数字孪生模型，为中铝集团和中国铝行业提供全新的发展和企业战略。刘方波表示：“我们的目标是建立项目全厂数字化模型，并将设计、建造等静态信息全部链接到模型中，形成完整的数字化交付工程项目成果，将数字孪生技术应用于企业运营管理中，通过数字孪生技术在项目全生命周期的应用，提升企业运行管理效率。”

1 解决数据集成与协同问题

该项目涉及多个学科和众多子项目，产生了需要在短时间内管理和协调的海量数据。沈阳铝镁院负责的项目从设计到完成历时 18 个月，包含 52 个子项目，涵盖 13 个不同学科，涉及 100 名工程师、300GB 的数据以及超过 10 万份文档。在开发整个工厂快速而精确的 3D 数字模型过程中，团队面临着巨大的数据集成与协同挑战。

从建模与交付到建立数字运维平台，该项目整合了设计院、施工人员、业主及供应商等多方参与者。因此，沈阳铝镁院必须确保不同类型的数据能够在众多部门和平台之间实现无缝传输。此外，还需要为业主提供数字化交付成果，以提升其管理效率并降低工厂的运营与维护成本。刘方波表示：“关键在于如何为业主整合数据、模型，并生成可操作的结果，以便业主在未来能够高效地进行操作与维护。”

为了准确连接数百 GB 的设计与施工数据，并将其与 3D 模型关联以实现设施管理，沈阳铝镁院转向了一个集中化且标准化的数字系统。他们需要开放的建模技术与连接的数据环境，用于组织、构建并集成数据至 3D 数字模型中，最终生成数字孪生模型，以便准确洞察运营流程，助力业主优化工厂的维护与管理。

2 实施 Bentley 数字孪生技术

沈阳铝镁院选择采用 Bentley 技术，开发企业级数字工厂管理平台，为中润铝工厂构建全生命周期的数字孪生模型。通过利用 ProjectWise 和 Bentley Open 系列应用程序，沈阳铝镁院创建了一个结构化的数据与工程系统，用于管理和存储海量数据，同时定制了标准化的资产编码与识别工作流程，并开发了一套系统的数字化设计流程以精确建模工厂。

经过近 3 个月的密集建模，沈阳铝镁院成功创建了 1 300 多个模型文件，其中包括 14 000 张设计图样。在开放式互连数字化平台上工作有利于将设计和施工过程中生成的数据与所有专业和项目参与方精确关联起来，从而创建完整的三维数字化工厂模型。

沈阳铝镁院基于智能数据采集与资产维护管理工作流程集成，建立了中铝华润工厂的静态三维模型，并应用 Bentley 的数字孪生技术，为项目的整个生命周期创建动态数字流程。刘方波表示：“借助 Bentley 的数字孪生技术，沈阳铝镁院构建了中铝华润电解铝项目的完整三维数字模型，涵盖了设计与施工阶段生成的静态数据，以及运维阶段生成的动态数据。”数字孪生技术可以实时监控设备资产的性能与管理状况，帮助业主就资产维护和工厂运营做出更及时、更明智的决策。通过先进的建模技术和创新的数字化应用，沈阳铝镁院制定了一套交付标准，实现了统一的数据交换，并开发了集成化的工作流，从而为工厂的全生命周期管理生成了智能数字孪生模型。

3 数字化技术推动中国铝行业发展

Bentley 的集成化应用促进了中铝华润工厂系统化、快速化、精准化的三维数字化建模，大幅缩短了建模时间，

节省了约 3 000 个工时。刘方波指出：“相较于以往项目，本项目的整体建模周期缩短了 15% 以上，节省了大约 200 个工作日。”在项目交付与实施阶段，数字孪生技术的数据开放性提升了 30% 的设计效率，并确保智能工厂管理的无缝数字化交付。

与传统的人工管理模式相比，检查与档案管理岗位的人员数量减少了 10% 以上，每年为企业可节省近 100 万元的用工成本。通过开发数字孪生模型，沈阳铝镁院将资产文件管理从分散无序转变为集中智能，实现了预测性和预防性的资产维护。数字化工厂运营每年可减少 600 万元的管理成本，不可预测的设备故障率降低了 40%，污染物排放量减少了 5%。

中铝华润电解铝工程数字孪生应用项目推动了可持续发展与环保实践，彻底改变了铝厂生产、加工与管理的方式。通过将数字孪生技术与人工智能 (AI) 能力相结合，制造设施能够实时访问和分析数据，最大限度减少对高风险工业区的人工干预，降低生产成本，并将碳足迹最小化。中润项目的实施不仅促进了智能工厂管理，还加速了中铝集团的数字化转型进程。刘方波说：“该项目的示范效果影响了整个中铝集团的相关企业，对推动中国铝行业的数字化转型具有重要的标杆意义。”

中铝华润电解铝工程数字孪生应用项目是中铝集团积极响应国家绿色发展与降低能耗号召的重要体现，也是公司加速数字化转型战略的具体实践。在这一转型浪潮中，中铝华润电解铝厂的数字化转型表现尤为亮眼：高度自动化的机床随处可见，每台电解槽旁均配备一台电脑，加料等流程完全实现自动化控制，大幅降低了氟化物排放和电能消耗。随着数字孪生技术的持续迭代，该模式有望在有色金属、化工等高耗能领域推广应用，为中国制造业高质量发展注入新动能。