文章编号：1008－8857(2026)03－0173－05　**DOI**: 10.13259/j.cnki.eri.2026.03.006

基于数字孪生的海上石油生产信息多源集成平台设计

黄锴恒
（中海油信息科技有限公司湛江分公司，广东 湛江 524057）

摘　要：海上石油生产信息多源集成平台的数据库一般设计为单向结构，信息集成范围较小，导致最终得出的集成频次较低。为此，提出了基于数字孪生的海上石油生产信息多源集成平台设计方案。根据当前的测定需求，构建信号处理器，并将其接入主控电源，完成海上石油生产信息多源集成平台硬件的设计；构建数字孪生动态石油生产信息多源集成模块，采用多阶方式扩大信息集成范围，建立多阶数据库，完成平台软件的设计。结果表明：相比于大数据信息化平台、数据挖掘信息集成平台，基于数字孪生的海上石油生产信息多源集成平台的集成频次相对较高，说明在数字孪生技术的辅助与支持下，所设计的海上石油生产信息多源集成平台更为高效，集成数据的完整度高，具有实际应用价值。

关键词：数字孪生；数字技术；海上石油；生产信息；数据集成；平台设计
中图分类号：P208　　**文献标志码**：A

Design of multi-source integrated platform for offshore oil production information based on digital twin

HUANG Kaiheng
(CNOOC Information Technology Co., Ltd. Zhanjiang Branch，Zhanjiang 524057, China)

Abstract: The database of current multi-source integration platforms for offshore oil production information is generally designed with a unidirectional structure, resulting in a limited scope of information integration and consequently low integration frequency. To address this issue, a design scheme for a multi-source integration platform for offshore oil production information based on digital twin is proposed. Based on the measurement requirements, a signal processor is constructed and connected to the main control power supply to complete the hardware design of the platform. Building on this, a digital twin-driven dynamic multi-source integration module for oil production information is developed. A multi-level approach is adopted to expand the scope of information integration and establish a multi-level database, thereby finalizing the software design of the

收稿日期：2024－07－12
第一作者：黄锴恒(1983—)，男，工程师。研究方向：企业级网络管理、信息安全技术、物联网技术。
E-mail：sxpgw7135@163.com

platform. Test results indicate that, compared to big data platforms and data mining-based information integration platforms, the proposed digital twin-based platform achieves significantly higher integration frequency. With the support of digital twin technology, the designed platform is more efficient, offers high data integrity, and possesses practical application value.

Keywords: digital twin; digital technology; offshore oil; production information; data integration; platform design

随着能源需求的持续增长及数字化转型的加速推进，海上石油生产行业发展迅速。在此背景下，日常的信息集成与管理工作也面临前所未有的挑战。传统海上石油生产作业高度依赖现场操作，不仅成本高昂，风险巨大，而且效率低下，安全隐患较多，导致信息集成难度显著增加。为解决这一问题，相关人员致力于开发更为高效、智能的信息集成处理系统。大数据信息化系统是集数据采集、存储、处理、分析功能于一体的综合平台，能够高效整合海量数据资源，深入挖掘数据价值，并将其快速转化为企业决策的支持，以推动业务的智能化升级[1]。数据挖掘信息集成系统通过集成多种数据挖掘算法与工具，实现对数据的深度剖析与智能预测，为企业提供更为精准、高效的决策依据[2]。目前该系统较依赖于人工的辅助判断与数据转换集成，从而在一定程度上限制了信息集成的效率与最终效果。为进一步优化信息集成流程，提升管理效能，提出基于数字孪生技术的海上石油生产信息多源集成平台设计。该平台充分利用数字孪生技术的优势，集成物联网传感数据、视频监控数据、设备运维数据等多源数据，实现海上石油生产全过程的数字化、智能化管理。通过物理设施与虚拟模型的精准映射与实时交互，该平台不仅能在三维仿真环境中提供全方位的数字化展示，还能为企业智能决策提供强有力的支持，这也代表了海上石油生产行业发展的未来趋势[3]。

1 设计数字孪生石油生产信息多源集成平台硬件

1.1 信号处理器设计

信号处理器是数据信息集成的关键硬件。针对海上石油生产的具体需求和标准设计硬件结构。在当前的测试环境中，接入一个 TMS320F2812 主控的集成控制芯片，并在预设位置设置不同类型的传感装置，在预设传感范围内设置一定数量的检测节点。各节点间互相连接，形成循环式的覆盖控制区域。构建的初始信息集成处理框架如图 1 所示，其中：ROM 为只读存储器；SPI 为串行外设接口；RAM 为随机存取存储器。

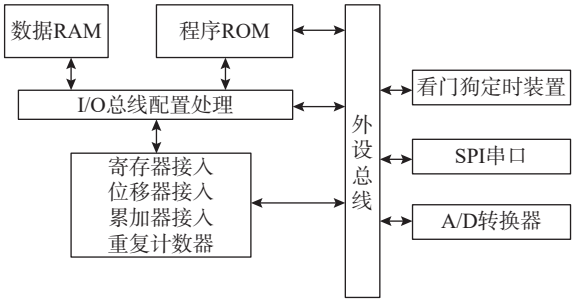

图 1 初始信号集成处理框架

Fig. 1 Initial signal integration processing framework

在当前的硬件处理与控制架构下，设置引脚和串行通信组件，引入 A/D 转换控制程序，通过部署的节点，在指定区域内进行精确标定。在可控的硬件框架内，接入信号处理器。该处理器与石油生产相关的设备进行无缝对接。系统运行时，数据将自动流向预设的处理器，再经过分类预处理，实现基础数据的存储[4]。此外，利用 TMS320F2812 主控芯片对硬件系统中的设备进行实时调度处理。为增强系统的数据存储与处理能力，接入 Flash 内存装置，通过传感器进行实时数据监测与整合，辅以快速 A/D 转换器，实现基础测试环境的部署及管控。

1.2 主控电源设计

在完成信号处理器的接入与整体设计后，为增强控制效果，设计并构建主控电源。主控电源作为整个系统的核心动力源，需采用工业级的高效率电源模块。本文接入的是 DC−DC 转换器，

将转换装置与 TMS320F281 芯片进行关联，以确保系统电压的稳定供应。为应对可能的紧急情况，增设不间断电源(UPS)系统，以确保电源系统能在各种工况下稳定、可靠地运行[5]。主控电源执行条件及环境设定如表 1 所示。

表 1　主控电源执行条件及环境设定

Tab. 1　Master power supply execution conditions and environment settings

主控电源执行条件	实际参数标准值
基础电压/V	220
额定电流/A	850 ～ 1 200
绝对稳压系数	11.62
负载调整率	4.1
执行响应时间/s	0.13 ～ 0.42

在此基础之上，结合可控的石油生成设备的实时运行状态，在主控电源周围设定相应的稳压电路[6]。需要注意的是，当前设定的稳压标准及范围并不是固定的，而是根据实际需求进行调整，以确保系统在任何运行状态下都能保持高度的稳定性和安全性。

为进一步增强系统的数据处理能力并拓展其功能，引入微控制器(MCU)作为主控单元。这一举措不仅显著提升了数据处理效率，还使得外设接口更加丰富。但接口数量并不固定，而是根据当前数据处理需求进行动态调整，即随着数据量的增减而相应增减接口数量。该设计极大地扩展了信息集成处理的覆盖范围，并有效提升了信息处理效率，使系统能够轻松应对多源数据采集与处理任务，充分满足硬件控制的各种要求。

2　数字孪生石油生产信息多源集成平台软件设计

2.1　数字孪生动态石油生产信息多源集成模块设计

石油生产信息多源集成功能模块旨在实现石油生产过程中多源信息的动态集成与高效管理[7]。通过构建石油生产环境的虚拟镜像，实现了物理世界与数字世界的实时同步与交互。在此基础上，结合数字孪生技术，设计石油生产多源集成模块。根据海上石油生产的特定需求，细化各模块的应用设计[8]。首先是数据采集与预处理模块。该模块广泛用于连接各类数据源(如传感器、分布式控制系统(DCS)、安全仪表系统(SIS)等，实时采集温度、压力、流量、设备状态等石油生产过程中的各类数据。按照去噪、清洗、填补缺失值以及格式转换的顺序对数据进行处理。采用小波变换技术进行信号去噪，通过多尺度时频分析将原始信号分解为不同频率子带，依据噪声特性设定阈值抑制高频噪声，再重构信号并输出。结果表明，去噪后信号质量显著提升，通常能达到 90% 以上的准确率，同时利用信噪比或均方误差等指标进行验证。根据缺失类型与数据特性选择合适方法填补缺失值。具体实施时先识别缺失值，再选择合适的方法进行填补，并评估填补数据的合理性与一致性，为后续分析提供可靠基础。其次是数字孪生建模模块。利用建模技术构建石油生产过程的数字孪生模型，并设计对应的执行环节。数字孪生模型结构图 2 所示。

本次设计的模型涵盖油井、炼油装置、管道网络等关键设施。结合石油生产信息的集成需求，在信息与应用之间建立虚拟映射，并计算出实现信息集成的虚拟映射均值，即

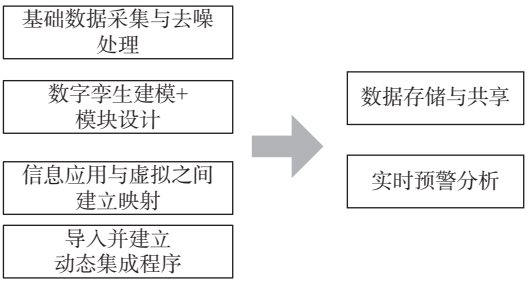

图 2　数字孪生模型结构

Fig. 2　Digital twin model structure

$$F=\left(1-\sum_{e=1}^{E}\partial e+\eta^{2}\right)-\gamma \tag{1}$$

式中：F为虚拟映射均值；∂为单元集成信息量；e为映射周期；E 为映射周期总数；η为动态可控范围；γ为映射差。

根据当前测定，以及得出的虚拟映射均值，在模型中建立动态集成程序。该程序通过持续的

动态模拟和实时数据更新，确保数字孪生模型与物理世界的高度同步与一致性。其中，多源信息集成模块负责收集、整合并融合来自不同系统、格式的多源数据。该模块利用数据接口、数据仓库等技术，实现了数据的统一化管理和跨平台共享。此外，实时监控与预警模块通过预设的阈值和预警规则，能够敏锐地捕捉到生产过程中的异常情况，并立即触发预警机制。同时，提供可视化界面，使管理人员能够迅速掌握生产状态，从而做出快速响应和有效决策。这些模块之间相互协作，共同构成一个循环式的集成控制体系，从而实现数字化、智能化的高效控制。

2.2 多阶数据库设计

在多层数据库设计的框架下，首先聚焦于顶层设计。这一阶段的核心在于对石油生产数据资源的全面规划和整合。通过明确数据的分类、来源及其相互间的关系，为整个数据管理打下坚实基础；同时，对各类数据源进行统一标识和索引，以确保后续数据集成工作的顺利进行。随后进行中间层设计，其核心任务是构建数据仓库并合理划分主题域。数据仓库作为石油生产过程中数据存储和处理的核心，负责整合来自多个异构数据源的数据，并通过清洗、转换和加载(ETL)处理，确保数据的准确性和可用性。而主题域划分是基于对业务需求和数据特性的深入分析，将油井状态、设备维护、生产计划等关键领域的数据进行归类，以便于数据的组织、查询和分析。

最后是底层设计，主要针对数据表与关系建模的精细化操作。在这一层次，根据上层设计的数据需求和数据结构包括字段定义、数据类型、索引设置、传输共享等，确保数据的有效存储和高效访问。数据库数据表结构设计如图 3 所示。

通过构建关系模型，明确石油生产数据之间的内在联系，确保数据的完整性和一致性。完成基础设计框架后，结合数字孪生技术，实现对石油生产信息的多源集成与实时同步。在此过程中，开发数据接口，制定数据交换标准，并构建数据同步机制。根据采集的数据，计算出数据集成转换率，即

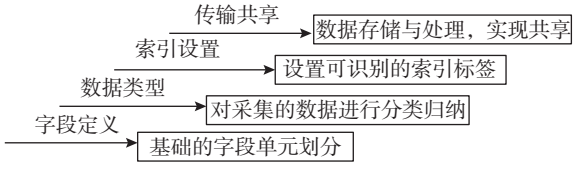

图 3 数据库数据表结构设计

Fig. 3 Database table structure design

$$C = \int \left(1-\beta^2\right) \times \sqrt{x+y} \tag{2}$$

式中：C为数据集成转换率；$\int \left(1-\beta^2\right)$为集成频次，$\beta$ 为异构数据源损耗系数；x和y分别为初始数据源和实际数据源。

将计算得出的数据集成转换率设定为限制标准。在数据存储之前，先对其进行必要的转换处理，以确保达到数据设定的转换率阈值，且不同数据源的数据能够实时、准确地集成到平台中，从而为构建数字孪生模型以及实现实时监控功能提供有力支持。

3 系统测试

为了全面评估海上石油生产信息多源集成平台的应用效果，并确保测试结果的真实性与可控性，基于数字孪生技术，采用对比验证的方法展开测试。选取 H 海上石油工程作为测试对象，将大数据信息化平台、数据挖掘信息集成平台以及所设计的数字孪生海上石油生产信息多源集成平台进行对比。结合数字孪生技术，采集并整合各平台的应用数据和信息，并将其存储在预设的数据库中。

3.1 测试准备

在测试准备阶段，设定并搭建针对 H 海上石油工程的多源集成平台测试环境。首先，确定基础的测试框架，确保海上石油工程的控制系统与所设计的系统之间实现无缝对接，从而构成一个闭环控制测试环境。接下来，将石油工程的信息集成位置划分为 5 个区段，每个区段均配置适量的监测节点，各节点之间相互连接，从而形成高效的循环式控制结构。在测试位置安装传感装置，并将其与监测节点紧密连接。辅助测试指标参数设定如表 2 所示。

结合上述对数值的调整及优化，利用数字孪生技术，明确信息集成的覆盖环境，实现基础测试环境的设定。

表 2　辅助测试指标参数设定

Tab. 2　Parameter settings for auxiliary test indicators

辅助测试指标	可控参数标准值
传感响应耗时/s	0.12 ～ 0.63
信息集成重叠比	3.92 ～ 6.24
信息集成匹配差	2.11
交互频次	12 ～ 24
模型加载值	11.74

3.2　测试过程与结果分析

预设 4 个测试周期，在单周期内进行实时数据和信息的采集，建立多源集成模型，整合同类型的数据，并将其存储在特定的位置上。单周期内多源数据集成处理变化趋势如图 4 所示。

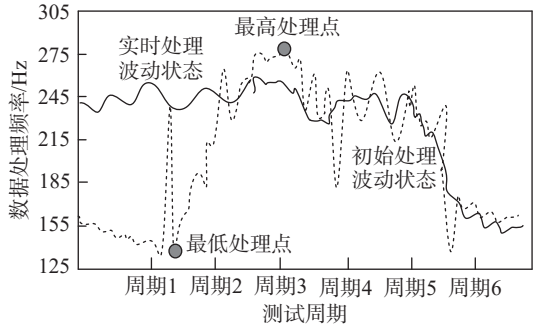

图 4　单周期内多源数据集成处理变化趋势

Fig. 4　Change trend of single-cycle multi-source data integration processing

针对各周期内对石油生产数据的处理和集成整合，计算出当前单周期内多源数据集成频次，即

$$V=\sum_{i=1}^{n}\rho_i-\alpha^2+\lambda \tag{3}$$

式中：V为单周期内多源数据集成频次；ρ_i为第 i 个集成周期的数据转换均值；α为重复集成数据；n 为数据集成周期总数；λ为转换数据。

测试结果对比分析如表 3 所示。从表中可以看出：在 4 个测试周期内，相比于大数据信息化平台、数据挖掘信息集成平台，本文所设计的数字孪生海上石油生产信息多源集成平台的集成频次均相对较高。说明在数字孪生技术的辅助与支持下，所设计的海上石油生产信息多源集成平台更为高效，集成的数据完整度高，具有实际应用价值。

表 3　测试结果对比分析

Tab. 3　Comparative analysis of test results

测试周期	集成频次/次		
	大数据信息化平台	数据挖掘信息集成平台	数字孪生海上石油生产信息多源集成平台
1	8	11	18
2	10	10	16
3	11	9	19
4	9	10	18

4　结束语

本文探讨了基于数字孪生的海上石油生产信息多源集成平台的设计与应用。结合数字孪生技术，构建一个更加灵活、多变的信息集成处理框架。这标志着海上石油工业正迈向数字化、智能化时代。此平台的建立与实施，不仅实现了对海上石油生产全链条的精准监控与智能化管理，还构建了更为紧密的管控链条，有效提升了生产效率，降低了安全风险，并促进了资源的优化配置。未来将持续探索并拓展该平台的应用场景，推动海上石油生产行业的全面数字化转型，为构建安全、高效、绿色的能源体系贡献力量。

参考文献：

[1] 陈新. 基于大数据的校园资产管理信息化系统分析 [J]. 电子技术, 2023, 52(4)：186 − 187.
[2] 陈立萍. 基于数据挖掘的石油信息资源共享系统 [J]. 中国管理信息化, 2023, 26(5)：161 − 164.
[3] 张志超, 王炜, 蔡志强, 等. 中国石油信息系统运行维护管理模式探讨 [J]. 中国管理信息化, 2023, 26(24)：173 − 175.
[4] 王娜. 浅析如何利用科技档案提升石油系统管理水平 [J]. 黑龙江档案, 2023(3)：208 − 210.
[5] 吴磊. 基于 GIS 的不动产统一登记集成管理平台设计与实现 [J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46(1)：145 − 147, 154.
[6] 解亚龙, 王万齐, 沈海燕, 等. 高速综合检测车多源信息融合集成平台设计及关键技术研究 [J]. 铁道标准设计, 2023, 67(8)：192 − 199, 206.
[7] 杨媛. 数字图书馆信息集成系统的设计与实现 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2022, 34(8)：160 − 164.
[8] 吴冬梅. 浅谈石油石化企业物资供应链管理平台建设 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(1)：62 − 64.