

业务引领的架构设计方法研究与实践

李海峰，俞戍远

(上海安托信息技术有限公司，北京 邮编：100024)

摘要

在制造业数字化转型实践中，“业务-技术-价值”脱节导致的“最后一公里”难题长期制约转型成效。本文针对该痛点，提出一种以业务流程为核心、价值为导向、架构为支撑的业务引领架构设计方法（APA——AtoZ Process Approach）。通过融合与发展 TOGAF 标准化框架、达索 VE 的价值导向思维、PTC RVP 的成果驱动理念，APA 构建了“概念-逻辑-操作”三层递进式架构设计路径，实现业务需求与技术实现的精准映射。本文详细阐述了 APA 方法的核心原则、框架及实施流程，并结合工业软件应用案例，展示了其在数字化转型中的实际效果。在数十个大中型制造业数字化转型的项目实战中，APA 方法能够有效促进业务与技术的深度融合，显著提升数字化转型的成功率。

关键词

制造业；数字化转型；业务流程架构；业务引领；架构设计；APA

Research and Practice of Business-led Architectural Design

Methodology

Li Haifeng, Yu Shuyuan

(Shanghai ATOZ Information Technology Co., Ltd., Beijing 100024)

Abstract

In the practice of digital transformation within the manufacturing industry, the "last mile" challenge, stemming from the disconnection between "business-technology-value," has long constrained the effectiveness of transformation efforts. Addressing this critical pain point, this paper proposes a business-driven architecture design method centered on business processes, guided by value, and supported by architecture – the AtoZ Process Approach (APA). By integrating and evolving the TOGAF standardized framework, the value-oriented thinking of Dassault Systèmes VE, and the outcome-driven philosophy of PTC RVP, APA establishes a three-tier progressive architecture design pathway ("Conceptual-Logical-Operational") to achieve precise mapping between business requirements and technological implementation. This paper elaborates in detail on the core principles, framework, and implementation process of the APA method. Furthermore, through an industrial software application case study, it demonstrates the practical results achieved in digital transformation initiatives. Proven in dozens of large and medium-sized manufacturing digital transformation projects, the APA method effectively fosters deep integration between business and technology, significantly enhancing the success rate of digital transformation.

Keywords

一、引言

在全球新一轮科技革命与产业变革交织叠加的背景下，企业数字化转型已从“可选动作”升级为“必答题”。根据中国信息通信研究院《2023 中国企业数字化转型发展趋势研究报告》^[1]，我国数字经济规模已达 50.2 万亿元，占 GDP 比重 41.5%，超 65% 的规上企业已启动或完成数字化转型规划。然而，尽管转型共识高度凝聚，实践层面的矛盾却日益凸显——麦肯锡全球研究院调研显示^[2]，仅 23% 的企业能通过数字化转型实现显著的可持续价值提升，42% 的企业因“效果未达预期”陷入“转型焦虑”；埃森哲《2023 中国企业数字化转型指数》亦指出^[3]，超 50% 的企业存在“系统空转”现象：耗费巨资部署的 ERP、MES 等系统未能真正融入业务流程，数据价值沉睡率高达 68%。

这一“高共识、低实效”的矛盾，本质上是数字化转型“最后一公里”的落地困境，研究如何解决好最后一公里问题，是目前企业数字化转型极为关注的重要课题。

从目前企业数字化转型实践来看，行业缺乏标准统一的实施方法指导是实施项目效果不佳的重要原因之一。当前主流参考采用的数字化落地方法主要有：

（一）OMG 组织的 TOGAF：企业架构设计的标准化框架^[4]

TOGAF（The Open Group Architecture Framework）作为国际公认的企业架构标准，通过“四大核心架构”（业务、数据、应用、技术）构建了从战略到技术的完整闭环，其核心价值在于：

1. 系统性：提供“架构开发方法（ADM）”八阶段流程，覆盖从现状诊断到迁移规划的全周期；
2. 通用性：通过“企业连续体（Enterprise Continuum）”分类架构资产（从通用参考模型到企业定制方案），支持跨行业、跨阶段的灵活适配；
3. 治理能力：通过架构委员会与合规性审查机制，确保技术实施与战略目标一致。

实践局限：TOGAF 作为企业架构领域的权威标准，其“强标准化、通用化”特性在数字化转型场景中，往往带来框架约束性过强，技术指导抽象，实施复杂度高企的问题。

（二）达索系统公司的 VE：价值导向的数字化转型咨询服务体系^{[5][6]}

达索系统的 VE（价值导向的数字化转型，Value Engagement）以“业务价值最大化”为核心，通过结构化咨询方法，推动企业从战略到技术的系统性变革。其核心特征包括：

1. 战略解耦能力：从企业愿景出发，通过“战略目标→业务能力→流程需求→技术支撑”的四层分解，将抽象战略转化为可执行的数字化行动项；

2. 行业最佳实践赋能：依托达索在航空、汽车等领域的积累，提供“行业模板库”（如航空行业 A&D ISE/IPE 等），加速企业经验沉淀；
3. 虚拟孪生验证：通过 3DEXPERIENCE 平台的虚拟调试功能（如 DELMIA 数字孪生），在物理实施前验证方案可行性，降低试错成本。

实践局限：VE 的“咨询属性”使其更侧重顶层设计，决定了其核心关注点集中于战略层与业务层的顶层设计，而对技术实施层的技术适配细节的把控存在天然短板。

（三）PTC 公司的 RVP：成果驱动的项目实施方法^{[7][8]}

PTC 公司的 RVP（价值实现平台，Value Realization Platform）是典型的“成果驱动型”实施方法，其核心逻辑是通过系统化流程与工具，将数字化技术与业务目标深度绑定，确保转型成果可量化、可追踪。具体表现为：

1. 流程标准化：提供从需求分析到上线运维的分阶段交付模板（如启动、规划、开发、部署、支持），通过双周状态审查与关键节点（Gate）确认，降低项目风险；
2. 价值显性化：内置 KPI（关键绩效指标）库与价值路线图工具，要求客户在项目初期即明确“通过数字化实现哪些具体业务成果”（如研发周期缩短 30%、库存周转率提升 20%）；
3. 技术适配性：深度整合 PTC 工业软件（如 Windchill PLM、ThingWorx IoT），针对制造业研发、生产、服务等场景提供“工具+方法”的打包解决方案。

实践局限：RVP 虽能保障单项目的高效交付，但过度聚焦“技术落地”，易忽视企业长期价值生态的构建，易导致“局部优化、全局低效”的问题。

本文聚焦制造业数字化转型落地实施这一核心场景，以达索系统公司的 VE（价值导向的数字化转型）方法、PTC 公司的 RVP（价值实现平台）方法的实践经验为支撑，深度融合 TOGAF 企业架构框架方法体系，通过多年跨行业、多类型项目的实践，提炼并构建了一套业务引领的架构设计方法——APA（AtoZ Process Approach）。该方法以业务流程为核心价值载体，将系统工程思想（分解与综合、迭代推进与优化、在每一个层面识别并解决主要矛盾）运用于制造业数字化转型落地实践中，使用“概念层-逻辑层-操作层”三层递进式架构设计路径，旨在实现从业务需求洞察到技术实现的精准映射与动态适配，为制造业数字化转型提供从战略到落地的端到端方法指引。

二、APA 方法概述

TOGAF 侧重“框架指导”、VE 侧重“战略咨询”、RVP 侧重“技术落地”，我们尝试将它们有机地融合，形成一种既有理论基础，又便于操作实践，还能够广泛、灵活的应用于不同的领域和场景的工作方法。

本文提出的 APA 方法，其核心要点可概括为“四张图和三句话”，如下图所示。



图 1 APA 工作原则和框架

三句话即三个工作原则，构成了 APA 项目实施方法的三大原则，也是其重要指导思想。

1、以业务价值为导向，以业务流程为纲领：强调在开展工作时，需先对业务进行深入分析，明确业务流程的定义，将业务价值的实现作为核心目标，把业务流程作为贯穿项目的主线。

2、业务价值的实现，来自于良好的架构设计：突出架构设计在项目中的关键地位。这意味着在项目推进过程中，要投入足够的时间和精力进行蓝图方案设计，尤其是四大架构设计。没有合理的、可落地的、并获得广泛共识的顶层规划直接进入大规模详细设计与开发，是数字化转型项目失败的重要原因。

3、架构设计遵循从概念到逻辑，再到操作，自顶向下，逐层分解落地：运用系统工程思想，从全局出发，先构建整体概念，再逐步细化到逻辑层面，最后落实到具体操作，保证架构设计在整个团队内有条不紊地推进。

四张图分别代表了 APA 工作方法的四个重要组成部分。

1、TOGAF 架构指导框架：是 APA 架构设计的业务流程和方法的基础，为整个 APA 架构设计提供了重要的参考依据和指导方向。

2、APA 业务流程架构分级定义：也称作业务流程框架。APA 将业务架构从概念到逻辑再到操作，由粗到细地分解为五级业务流程（L1 - L5）。这样做是为了避免业务流程过于繁杂难以理解，通过逐步展开的方式，更清晰地描述业务流程，便于各个层面的人员理解和应用。

3、APA 业务架构到解决方案架构：在构建好业务流程框架后，将其转化为解决方案框架。该框架涵盖数据架构、应用架构和技术架构，并且在概念、逻辑和操作层面，各架构之间都存在相互对应和协调的关系，以确保架构的完整性和一致性。

4、APA 项目执行与管理过程：用于指导项目的实施过程。在项目管理中，按照不同阶段进行划分，并对每个阶段的交付物进行详细定义，以此保障项目的顺利推进和有效交付。

三、架构设计核心过程

（一）架构设计总体过程

APA 架构设计基于 TOGAF 的四大架构，融合概念、逻辑、操作系统工程分层推进思想，在实际操作中对四大架构进行分层处理。

其中对业务架构细分为 L1 至 L5 五层定义结构，每往下一层，业务流程图都是对上一层中某一个业务活动的进一步细化与分解。在这个架构设计体系里，概念层主要负责明确划分业务领域，确定其适用范围，明晰其业务模式。逻辑层则是对概念业务的具体拆解，需要详细定义角色、活动流以及数据流，让业务的具体运作模式更加清晰。而操作层则是对逻辑业务活动的再一次细化，它要确定具体的操作界面、操作步骤以及数据的输入输出等内容。

数据架构、应用架构和技术架构这三者合称为解决方案架构，业务架构与解决方案架构是相辅相成的关系。业务架构从业务角度出发，为解决方案架构提供方向和需求；解决方案架构从技术和实现角度出发，为业务架构的落地提供支持和保障。两者共同构成了企业信息化建设的整体框架，缺一不可。业务架构与解决方案架构在进行定义和设计的过程中，它们并非是相互孤立的，而是在概念、逻辑以及操作这三个层面都需要相互权衡、让步，并不断迭代。

APA 架构设计的完整流程是从两个方向逐步展开的，类似剥洋葱的过程。具体步骤如下图所示。

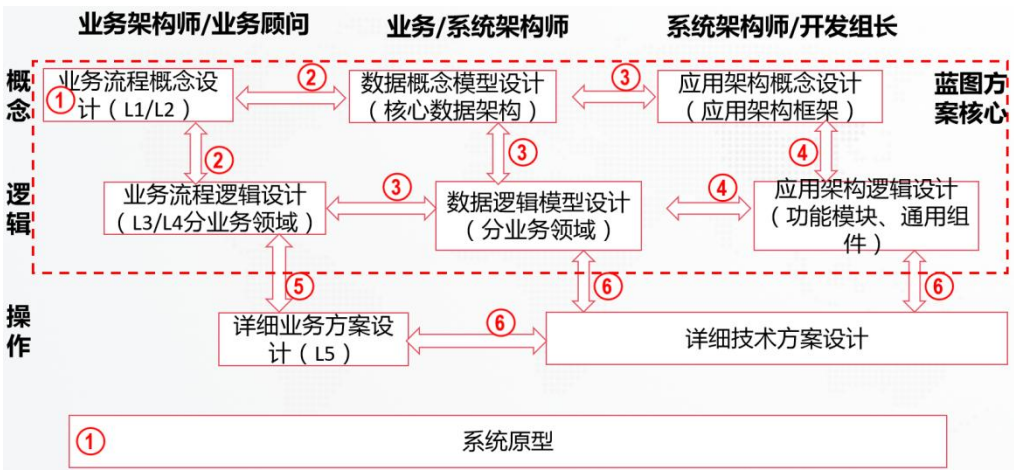


图 2 APA 架构设计总体过程

1、概念层业务梳理与原型搭建：项目启动初期，在概念层先开展业务梳理工作，进行流程概念设计，绘制 L1、L2 业务流的大致框架图。通常数字化项目是基于某个成熟工业软件平台进行定制开发，所以此时还需要搭建标准的系统原型。

2、概念层数据模型设计与逻辑业务流程分解：当概念层的业务框图完成后，开始设计概念层的数据模型，即核心数据结构。同时，将业务流程进一步向下分解，形成逻辑业务流程，并绘制出更为详细的角色泳道图。

3、概念层应用架构设计与逻辑数据模型构建：继续在概念层推进工作，进行应用架构的概念设计。针对已经形成的逻辑业务流程，设计其背后的数据逻辑模型，细化到数据对象，通过这种方式进一步迭代和验证逻辑业务流程的合理性。

4、应用架构逻辑设计：接下来进行应用架构的逻辑设计，根据之前的业务和数据设计成果，确定系统包含的系统数量、模块以及组件，并将它们合理地切分出来。

5、详细业务设计：完成上述步骤后，才进入到业务的 L5 详细业务设计阶段，对业务在系统操作层面进行更深入细致的规划和定义。

6、详细技术方案设计：在详细业务设计的同时，结合数据和应用架构，开展详细的技术方案设计。此时主要是进行程序逻辑设计，虽然尚未进入完全的代码开发阶段，但已经为后续的开发工作奠定了坚实的基础。

在整个架构设计过程中，不同角色承担着不同的职责。业务架构师和业务顾问主要侧重于业务方面的设计工作；系统架构师和开发组长则负责系统和开发实施相关的事务。而数据相关的工作较为特殊，可能需要业务人员和系统架构师共同协作完成。

当完成从概念层到逻辑层的设计工作后，会形成一个蓝图方案，也就是项目的总体方案。在完成对这个蓝图方案的评审后，整个蓝图方案阶段就结束了，业务需求也被相应的冻结，后续将依据这个确定的方案展开操作层架构设计和具体的系统实施工作，包括详细设计、开发、测试以及系统上线。

（二）架构设计迭代过程

APA 架构设计迭代包括两个方面的含义：（1）同一架构的不同层之间的迭代，比如概念层与逻辑层，逻辑层与操作层之间迭代。（2）不同架构之间的迭代，比如在逻辑层，需要开展业务逻辑、数据逻辑、应用逻辑和技术逻辑之间的迭代。

同一架构不同层迭代在 APA 架构设计中意义重大，它贯穿于概念层、逻辑层、操作层等各层级之间，是保障架构设计合理性与有效性的关键环节。通常由概念层率先确定架构设计的大方向和原则，为后续工作奠定基础，随着设计向逻辑层深入推进，可能会出现概念层原则与逻辑层实际情况不匹配的现象。一般情况下，要坚持概念层大原则下调整逻辑层设计，但当逻辑层出现无法按照概念层既定原则顺利推进时，需反向回溯到概念层，此时，需要对概念层的原则进行全面评估，分析问题产生的根源，是否需要调整概念原则。通过这种同一架构不同层之间的迭代，能够有效解决各层级之间的矛盾和冲突，使架构设计更加贴合实际业务需求，有助于提高架构的整体质量，增强系统的稳定性和可扩展性。

不同架构间迭代是保障架构整体有效性、适应性的关键环节。四大架构并非各自独立，在不同层级要相互迭代，如业务架构设计时，每个层面都要考虑其他架构，权衡并同步推进。比如业务架构的一个定义过程，不是说从 L1 到 L5，一直在做这个事情，我们同时还要在每个层面要去看解决方案架构，也就是说这个业务会映射到我们这个 IT 系统里边，它的数据架构会是什么样，它的应用架构，包括技术架构，那么在每个层面我们都要去权衡去迭代，一个技术上无法实现或代价过大的问题，可能通过业务上的合理调整而得到解决。

在逻辑层架构设计中，业务、数据、应用和技术逻辑之间的相互迭代尤其重要和明显，是 APA 架构设计的核心工作过程，我们定义了一个逻辑业务流程开展四轮迭代的过程和方法，如下图所示。

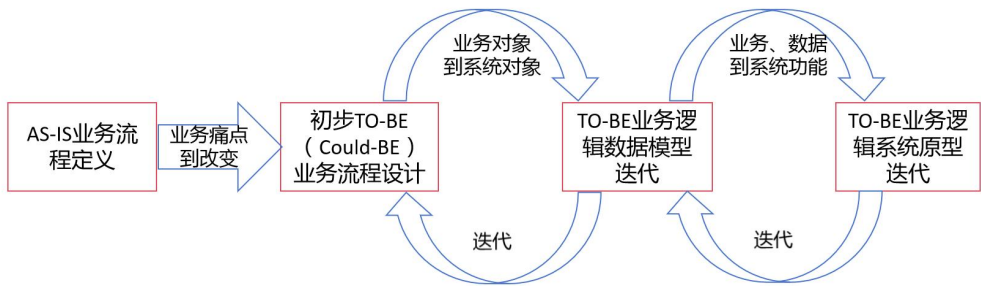


图 3 逻辑架构设计四轮迭代

第一轮、绘制 ASIS 业务流程：实施方通过 workshop（专题研讨会）形式，研读客户程序文件或访谈获取信息，绘制 ASIS 业务逻辑图，明确客户现有业务流程并标注痛点和问题。

第二轮、引入 CouldBe 并绘制 TOBE 业务流程图初稿：识别 ASIS 业务痛点，引入最佳实践，结合客户数据与客户交流达成一致，绘制 TOBE 业务流程图初稿，并通过 workshop 与客户反复确认和迭代。

第三轮、基于数据模型的迭代：用数据模型和纸面推演验证 TOBE 业务流程的可行性，确保业务流程中的业务对象与系统对象匹配，若有问题需权衡是否进行系统开发或在业务上让步。

第四轮、结合系统原型迭代：在原型系统中为前三轮设计的 TOBE 应用流程制作标准 demo，结合系统原型进行验证，方案设计阶段以配置为主，若需开发则用示意图说明。

在 APA 架构设计中，避免“两张皮”问题至关重要，它直接影响架构的完整性和有效性。“两张皮”问题通常指业务架构与数据架构等不同架构之间缺乏有效衔接和协同，各自独立、互不关联，无法形成有机整体。

比如在某一个项目执行过程中，业务图和数据图无法对应，业务流程里明确有编辑和产生工艺路线这一数据对象，但在数据架构图中却找不到与之对应的工

艺路线数据对象。这使得业务流程在实施时，数据的存储、流转和使用缺乏依据，可能导致数据不一致、业务流程中断等问题。

除了业务和数据架构，应用架构和技术架构也可能与业务、数据架构脱节。应用架构的功能设计未充分考虑业务流程和数据需求，技术架构在选型和搭建时，未结合业务和数据的特点，导致系统整体性能不佳、功能实现困难等。

四、架构设计流程

（一）业务架构概述

业务架构设计是 APA 方法的核心，包括概念层、逻辑层和操作层设计。概念层通过业务流程全景图和分解清单定义业务范围；逻辑层细化业务流程，明确角色和数据流；操作层详细定义用户操作界面和数据模型。

APA 方法将业务架构细化为 L1-L5 五层定义结构，每一层都有其独特的功能和详细程度，从宏观到微观逐步深入，共同构成了完整的业务流程架构体系，如下图所示。

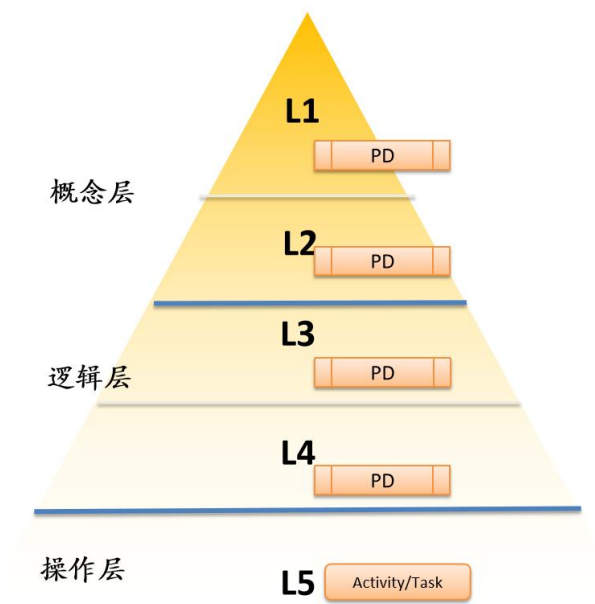


图 4 业务流程分级定义

业务流程分级架构是一种对业务流程进行有序梳理和管理的方法，旨在将复杂的业务流程清晰化、层次化，以便不同层级的人员理解和管理。

1、概念层（L1 - L2）

L1 全景业务流程图是对一个组织宏观的、全局的业务活动（或业务域）的高度概括。它需要描述该业务在研制全生命周期的位置和持续的长度，以及所属的业务部门。通过这张图，可以看到整个业务的大致轮廓，包括主要的业务阶段、涉及的主要部门，以及业务流程的起点和终点，用大线条勾勒出业务域，为后续的细化工作奠定基础。

L2 业务流程图是对 L1 中某业务域的进一步细化分解，可能包含多张图。在 L2 中，会在 L1 确定的业务域内细分出具体的业务流程。例如，若 L1 中确定了“项目管理”业务域，L2 可能会将其细化为项目立项、项目计划制定、项目执行等具体流程。每个流程用一个单独的框表示，此时这些框就成为了后续逻辑层流程进一步展开的基础。

典型的 L1/L2 示例图如下。

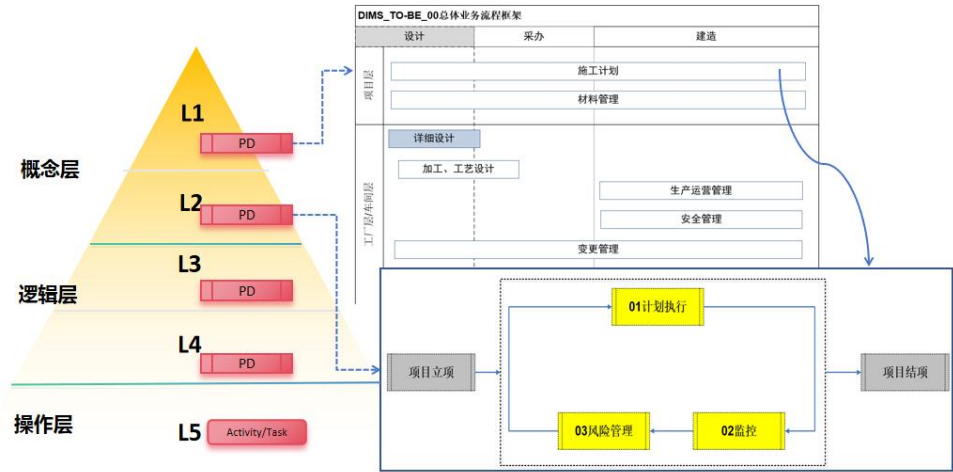


图 5 概念业务流程（L1/L2）样例

2、逻辑层（L3 - L4）

L3 业务流程图是对概念层业务流程的进一步分解和细化。该层横向按时序、纵向（泳道）细化到业务角色的定义，需要体现业务流和数据流。业务活动之间通过实线箭头连接，形成不间断的业务流，数据（包括文档类和数据类）的输入输出则用虚线箭头表示。复杂的业务过程在 L3 可体现为一个子流程，将相对复杂、关联性较强的业务活动整合在一起，以便整体呈现和理解。

L4 业务流程图对 L3 中的子流程进行进一步细化拆解。通过更详细的描述，将业务活动拆解到一个角色连续可以完成的工作，让业务流程的逻辑更加清晰，便于各业务角色明确自己的工作内容和顺序，以及与其他角色之间的协作关系。

典型的 L3/L4 示例图如下。

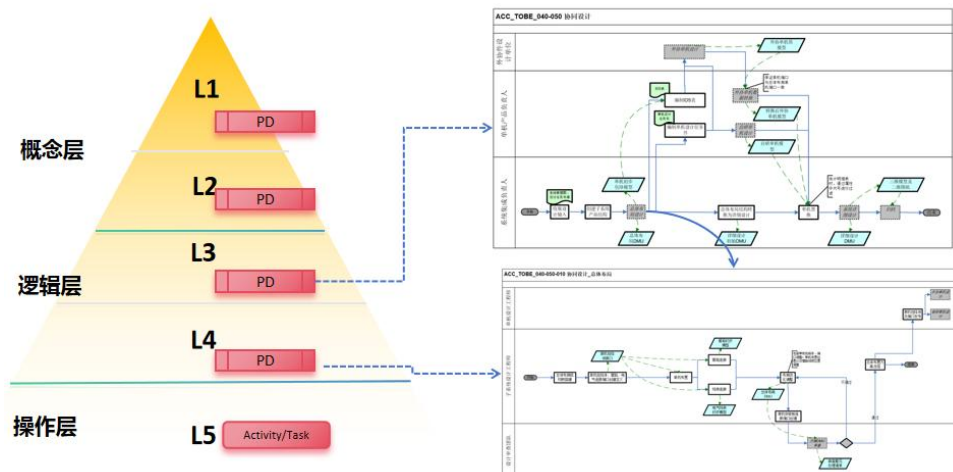


图 6 逻辑业务流程（L3/L4）样例

3、操作层（L5）

L5 级业务流程以 Word 文件的形式，对 L3/L4 级业务流程在用户操作层面进行详细定义和描述。它展开详述每个业务活动下负责角色从登陆系统开始如何一步步完成操作生成数据，同时定义详细的数据模型。L3/L4 级业务流程图中的每一个活动，在 L5 级文件中都对应一个小节，以表格等形式详细说明每个操作步骤、操作界面、输出数据等内容，为最终用户的实际操作提供具体的指导手册。典型的 L5 示例图如下。

1.1.1.2.2 活动 20：创建更改请求 CR

活动编号	TO-BE_030-010_20
活动名称	创建更改请求 CR
业务目标	初始化更改请求 CR，记录本次技术状态更改的基本信息。
负责角色 (部门)	更改负责人
权限要求	CR 状态：创建 更改负责人有创建更改请求 CR 的权限 更改负责人有暂停、取消、删除更改请求 CR 的权限
主要工作内容	1. 更改负责人登陆到数字化平台，根据技术协调会议的决策信息，在系统首页进入 质量管控-技术状态更改 页面，点击 新建 按钮： 编号 (name)：必填项，手工输入 (textbox)。 型号代号：必填项，搜索选择 (可多选，多选后展示效果如 TGTH/TGWT)，所选择的型号代号列表信息需要业务管理员在前台维护。 研制阶段：必填项，下拉选择 (可多选，多选后展示效果如 C、Z)，所选择的研制阶段列表信息需要业务管理员在前台维护。 分系统名称：必填项，搜索选择 (单选)，所选择的分系统名称列表信息需要业务管理员在前台维护。 密级：必填项，下拉选择 (单选，range：内部、秘密)。 更改类别 (Category of Change)：必填项，下拉选择 (单选，range：1、2、3)。 内外控：必填项，下拉选择 (单选，range：内控、外控)。 更改项目 (description)：必填项：手工输入 (textarea)。 技术状态序号变化：非必填，手工输入 (textbox)。 更改原因 (Reason for Change)：必填，手工输入 (textarea)。 申请单位 (organization 参考“负责的组织”)：无需填写 申请人 (owner)：无需填写。 2. 更改负责人在 技术状态更改 页面，可以选中某一更改请求对象，通过 删除、暂停、取消 按钮进行相应操作。可以通过 + 号展开某一更改请求对象，关联展示会议、任务、论证报告、CO、CA、落实检查 (CI)。 3. 默认 技术状态更改 页面为查看到所有有权限看到的更改请求 CR。列展示：编号 (name link)，更改项目，类型 (type)，状态 (state)，型号代号，研制阶段，更改类别，分系统名称，申请单位，申请人，发起日期，落实检查 (多行，name link)，摘要报告，编辑，新窗口。 在系统实现时需要注意规则如下： 内外控信息在更改请求的评估论证过程中根据需要可以随时调整/维护。

图 7 操作业务流程（L5）样例

业务流程分级架构是对企业复杂业务非常好的表达方式，首先可以增强流程的可理解性和沟通性。对于高层管理者而言，概念层流程如同企业发展的“导航图”；从中层管理者的角度，逻辑层流程是跨部门沟通的“语言”；对基层员工来说，操作层流程是工作的“说明书”。

业务流程分级架构便于架构设计的分工和协作。业务流程分级架构将复杂的业务架构设计分解为不同层次的任务，使不同专业背景的人员能够专注于自己擅长的领域，这种分工模式避免了不同人员在工作内容上的重叠和冲突，提高了整体的工作效率，分级架构还为团队成员之间的协作提供了明确的接口和规范。

业务流程分级架构便于架构设计在不确定环境中逐步推进。在不确定的市场环境和业务需求变化中，概念层相对稳定且容易达成一致，基于概念层的共识，企业可以在逻辑层和操作层逐步探索和细化业务流程，这种逐步推进的方式能够有效降低架构设计在不确定环境中的风险。

业务流程分级架构便于架构设计的稳定和调整优化。业务流程分级架构将整个业务架构划分为不同层次，每个层次具有相对独立的功能和职责，当需要进行调整优化时，可以将更改范围控制在特定的层次内。在架构设计过程中，通过分级架构可以在较低层次进行小规模的试验和尝试，由于分级架构能够实现局部调整的可控和试错成本的降低，使得整个业务架构在不断优化和适应变化的过程中保持相对稳定。

（二）业务架构设计流程

业务架构设计是四大架构设计中的首要工作。业务架构设计的核心是对企业的业务战略、业务流程、业务功能等进行全面的梳理和规划。通过这一过程，能够清晰地界定企业的业务目标和发展方向，为后续的应用架构、数据架构和技术架构设计提供明确的指引。如果业务目标不明确，后续的架构设计可能会失去方向，导致系统建设与企业实际需求脱节。

在实际项目工作过程中，我们总结了一套 APA 业务架构定义的工作流程，包括业务架构的概念层设计和逻辑层设计工作，如下图所示。

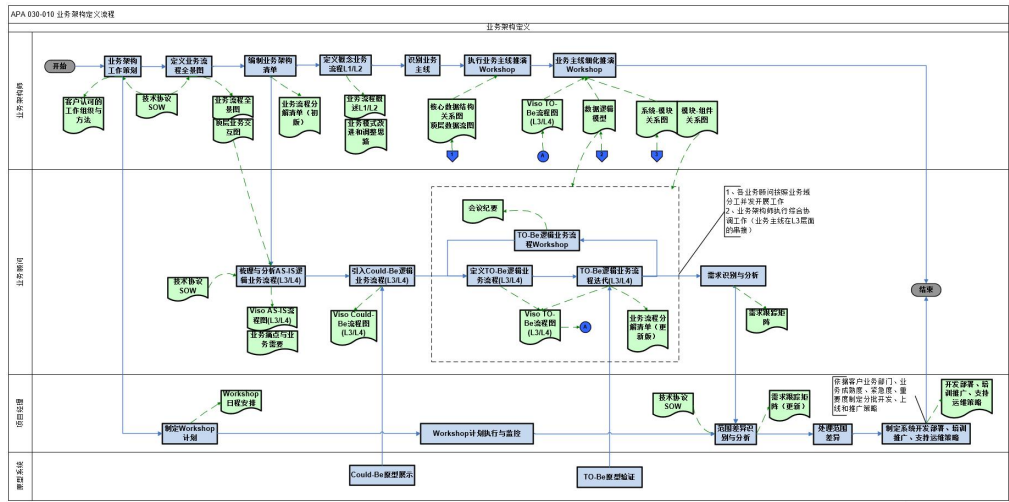


图 8 APA 业务架构定义流程

该流程图详细阐述了业务架构从策划到最终制定开发部署等策略的全流程，涉及多角色协同工作以及各类产出成果，为业务架构设计提供了系统的操作指引。

图中以业务架构师为核心的泳道，开展业务架构概念层定义一系列工作，流程关键环节及任务包括：

1、业务架构工作策划：为后续流程奠定基础，确定业务架构设计的方向和框架，是整个流程的起始点。

2、识别业务与定义概念业务：精准找出企业运营中的各类业务，并对其概念进行清晰定义，为后续构建业务架构体系提供基础。

3、定义业务流程全景图、业务流程分解清单：从宏观层面展示业务流程的全貌，包括 L1/L2 级别的流程图和分解到逻辑业务流程的架构清单，让业务架构师、业务顾问等相关人员对整体业务流程有全面、直观的认识。

4、执行业务主线推演 Workshop：业务顾问按业务域分工并发开展工作，业务架构师进行综合协调，初步梳理业务主线，为后续细化和业务识别做准备。

5、业务主线细化推演 Workshop：对业务主线进一步细化，明确各业务域在业务主线上的具体运作，使业务流程更加清晰。

图中以业务顾问为核心的泳道，依据业务流程分解清单，业务顾问开展业务架构逻辑层定义一系列工作，流程关键环节及任务包括：

1、梳理与分析 AS-IS 逻辑业务流程（L3/L4）：对现有业务流程进行深入梳理和分析，找出其中存在的问题和不足，为后续改进提供依据。

2、引入 Could-Be 逻辑业务流程（L3/L4）：探索业务流程的创新可能性，为业务发展提供新的思路 and 方向。

3、定义 TO-Be 逻辑业务流程（L3/L4）：根据业务需求和改进方向，设计未来理想的业务流程，推动业务优化和提升。

4、TO-Be 逻辑业务流程迭代（L3/L4）：通过数据逻辑和应用逻辑架构设计过程，对设计的未来业务流程进行迭代优化，使其更符合实际业务需求和可落地实施。

业务架构在流程推进过程中，产出的主要成果包括：业务流程分解清单、概念和逻辑流程图（过程流程图还包括 AS-IS、TO-Be、Could-Be）、顶层业务交互图等多种成果，这些成果是业务架构设计的重要体现，有助于各方理解业务架构和进行后续开发工作。

在业务架构工作策划阶段，项目经理需参与制定整体 Workshop 工作计划，确定项目目标、范围和时间节点，协调业务架构师、业务顾问等各方资源，确保各环节工作有序开展。在执行业务主线推演 Workshop 以及业务主线细化推演 Workshop 时，要保障各业务顾问分工明确、协同高效，监督业务架构师综合协调工作的执行情况。在业务流程迭代过程中，可能会因为业务需求的调整、新需求的发现等原因，对需求跟踪矩阵中的内容进行修改，确保其与实际业务需求保持一致。

（三）数据架构设计流程

数据架构设计基于业务架构结果，分为概念层和逻辑层，与业务架构概念层和逻辑层相对应。概念层定义核心数据结构，如 EBOM、MBOM 等；逻辑层结合业务流程，设计数据对象及其关系，确保数据的一致性和可追溯性。APA 中对数据架构设计流程定义如下图所示。

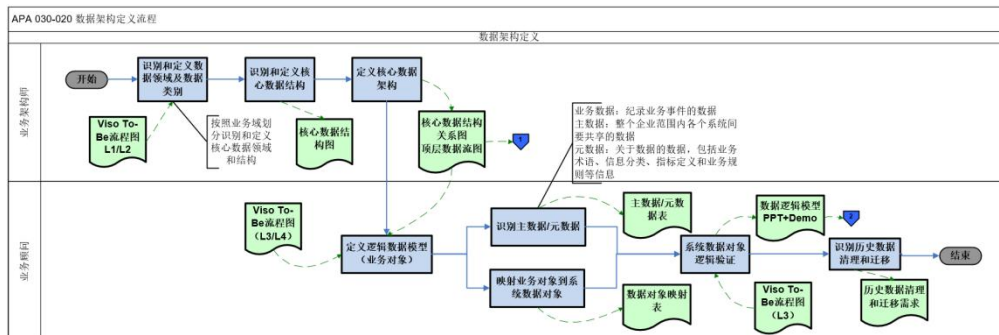


图 9 APA 数据架构定义流程

业务架构师负责数据概念架构的定义工作：业务架构师基于业务概念架构，首先按照业务域划分，识别和定义核心数据领域及核心数据结构；然后定义核心数据结构之间的关系，尤其是业务主线对应的核心数据结构之间的关系，即数字主线的定义。

业务顾问负责数据逻辑架构的定义工作：业务顾问基于核心数据结构，结合逻辑业务场景，定义逻辑数据模型，逻辑数据模型定义需要细化到数据对象，并识别主数据/元数据；开展数据对象映射，即映射业务对象到系统数据对象；如果项目需要，还需要识别和梳理历史数据，明确历史数据清理和迁移需求。

在数据架构设计中，对数据类别的识别是一项重要工作，直接会影响到后续的技术设计时对数据对象的处理方式，其中重要的数据类别包括：业务数据、主数据和元数据。

在数据架构设计过程中，业务架构师和业务顾问是重要参与角色，全程参与到数据架构定义的各个环节，负责数据的识别、定义、验证等工作。

（四）应用架构设计流程

应用架构设计是一个深度关联系统功能与业务需求的关键设计过程，设计过程中需考虑功能模块划分、系统集成和用户界面逻辑。在实际操作中，通常存在两种主要的设计路线：基于现有平台二次开发和自主开发两种路线。基于平台的设计注重组件复用和系统集成，自主开发则强调高度定制化。

1、基于现有专业软件平台二次开发：企业借助成熟软件平台进行定制化开发。此方式因利用平台底层架构、通用功能和接口，能减少开发工作量与技术风险，加快交付、降低成本，还可获得平台供应商技术支持与更新，是企业数字化转型常用选择。

2、完全自主开发：企业依据自身业务特性和发展战略从零构建应用架构，适合有强大技术研发团队、充足资金和时间的企业。虽能实现高度定制化，但面临技术难题、系统稳定性和兼容性等挑战，大型科技企业为创新和技术领先常采用此方式。

企业需综合业务特点、技术实力、资金预算和发展战略等因素选择技术路线。不同路线的选择，应用架构设计流程也完全不同。现实中，绝大部分企业数字化转型采用专业的软件平台为基础这条技术路线，其应用架构设计流程如下图所示。

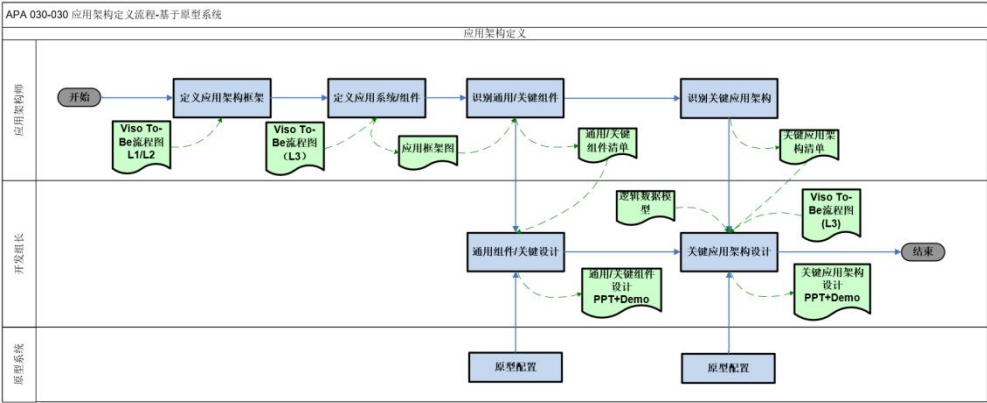


图 10 APA 应用架构设计流程

应用架构设计的关键步骤与核心环节包括：

- 1、流程启动：由应用架构师与开发组长共同开启，借助原型系统作为基础支撑，为后续设计工作搭建起初始框架。
- 2、架构框架定义：依据业务概念流程图（L1/L2），深入剖析业务需求与系统功能，精准勾勒出应用架构的整体框架，确定系统的基本构成与大致轮廓，为后续工作奠定坚实基础。
- 3、组件与架构识别：参照业务逻辑流程图（L3/L4），明确应用系统的各个组件，梳理出通用和关键组件，形成组件清单。同时，精准识别关键应用架构，整理出关键应用架构清单，实现对系统关键要素的初步梳理与提取。
- 4、设计环节推进：针对通用组件/关键组件以及关键应用架构分别展开设计工作，设计过程紧密关联逻辑数据模型。设计成果以 PPT+Demo 的形式呈现，直观展示设计思路、功能特性与预期效果。
- 5、原型配置与流程结束：完成设计后，对通用组件/关键组件以及关键应用架构分别进行原型配置，将设计方案转化为可实际操作的原型。全部工作完成后，流程正式结束，实现从应用概念到应用逻辑的实现。

四、案例分析：APA 在某制造企业数字化转型的应用

（一）企业与项目背景

海洋石油工程股份有限公司（以下简称“海油工程”），作为海洋油气装备制造领域的领军企业，积极响应国家“十四五”智慧能源战略与海洋强国政策^[9]，以数字化转型驱动产业升级。面对传统海洋工程装备制造中存在的效率低下、质

量控制难、成本压力大等行业痛点，公司依托“1235”数字化战略布局^[10]，于2020年启动国家级“智能工厂”示范项目——天津临港智能制造基地，并自主研发数字化智造管理系统（DIMS）。

本项目旨在构建面向项目层的建造项目管理和工厂层运行管理系统，覆盖项目层面施工计划管理、工作包定义、材料管理及工厂层面生产计划定义、生产排程、派工、生产执行、异常管理、设备管理、人员管理、变更管理、质量安全管理及生产监控等业务过程。通过数字化建设为抓手，引入业内先进的业务模式、流程标准及技术手段，来提升项目管控效率、力度以及精益化的生产运营管理。为此，本项目将构建以下几方面的能力手段：

1、项目施工计划管控能力：基于高级作业包理念（AWP），实现在线的、数字化的施工计划管理，过程透明且可量化，提高项目施工效率，保证项目质量、进度和持续改进；

2、协同生产建造能力：通过构建统一真实数据中心，所有角色在此基础上透明协作，实现材料、施工、质量、完工等阶段的一体化协同生产建造；

3、精益生产运营能力：通过引入高级排程实现从单项目到多项目的精益生产管理转变；通过生产过程标准化、透明化提升生产效率和持续改进；

4、材料全过程管控：全过程的材料管理，从采购、仓储到生产现场全过程物料追踪，提升材料管理透明度和利用率；

5、质量控制与生产过程融合：质量控制与建造过程的融合，提升建造过程合规性、可追溯性及与持续改进；

本项目从2020年12月启动，2021年6月完成蓝图方案设计，2021年12月系统上线试运行。方案架构设计阶段经历三轮迭代，历时6个月，累计开展多场次Workshop专题研讨：

第一轮（AS-IS 业务流程研讨及分析）：15场研讨会，151人次参与，形成15份纪要及备忘录。

第二轮（TO-BE 业务流程定义及确认）：36场研讨会，335人次参与，形成36份纪要及备忘录。

第三轮（解决方案架构设计）：18场研讨会，130人次参与，形成18份纪要及备忘录。

（二）架构设计实践

1、业务架构设计

架构设计的第一步是开展业务概念架构的设计，按照前面APA方法的介绍，我们需要做四个重要的工作和交付：业务全景图、顶层业务交互图、业务流程分解清单和业务主线识别。

首先，在概念层需要厘清数字化项目的业务边界，本项目涵盖七大业务域：施工计划、材料管理、加工工艺设计、生产运营管理、安全管理、变更管理和质量管理，业务全景图如下图所示。

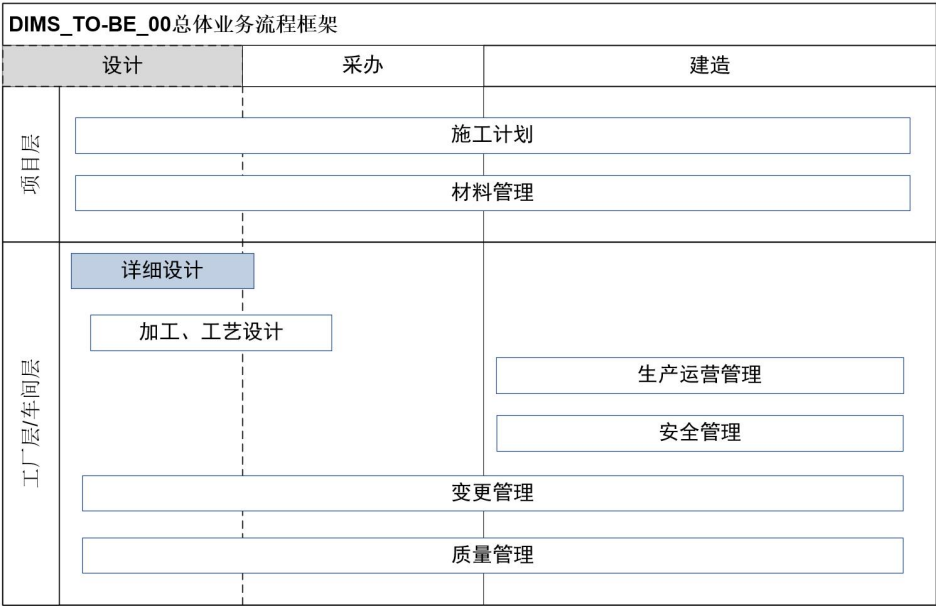


图 11 业务全景图

从业务全景图开展业务域顶层交互关系定义，如下图所示。

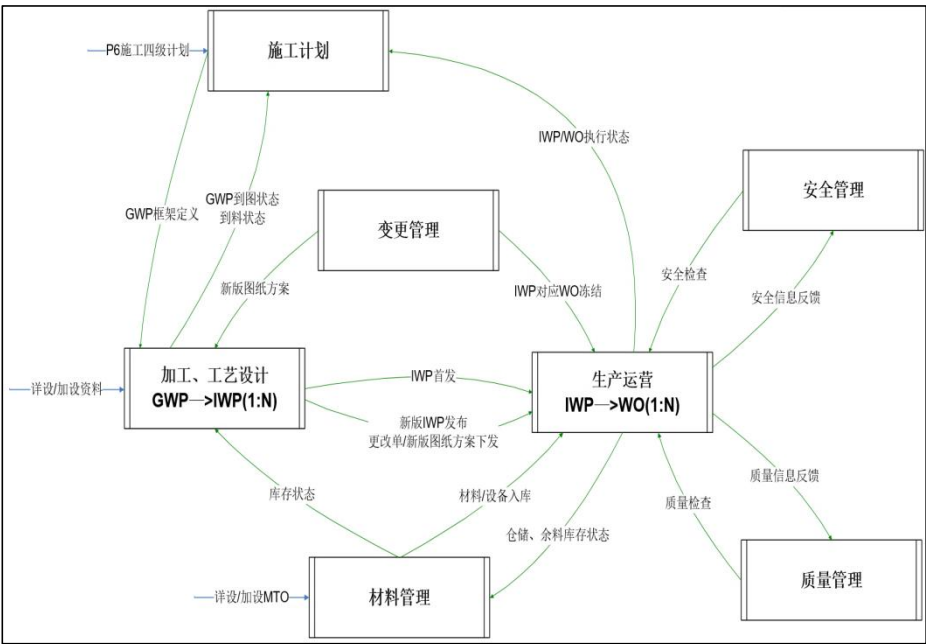


图 12 顶层业务交互图

然后，对每个业务域进行分解，得到从概念到逻辑的业务流程清单，汇总成一张 Excel 表，如下图所示。

1	2	3	4	A	B
				8 Level	TOBE 业务流程
				9 1	000 总体业务流程框架
				10 1	000 主业务流程图
				11 1	000 主业务数据流图
-				12 2	010 施工计划管理
.				13 3	010-010 计划定义与拆解
+				14 3	010-020 计划执行与反馈
.				16 3	010-030 计划监控
.				17 3	010-040 完工交付
-				18 2	020 加工设计
.				19 3	020-010 UDM管理
.				20 3	020-030 Process库管理
+				21 3	020-050 装配IWP数据包定义与发布
.				24 3	020-070 非装配IWP数据包定义与发布
.				25 3	020-090 图料匹配
.				26 3	020-100 WO创建与下发（依据IWP）
-				27 2	030 材料管理(MOM材料管理)
.				28 3	030-010 材料定义（编码库）
.				29 3	030-020 材料采办（ERP系统）
+				30 3	030-030 入库管理（到货验收、入库，含ITP材料审核）
.				32 3	030-040 材料发放（预套料、预留）

图 13 业务流程分解清单

概念业务架构设计的最后一项工作是识别业务主线，通过前面几步概念业务架构的设计，我们很容易能够得到该项目的业务主线是从施工计划开始，通过加工工艺设计定义 IWP 数字化工作包，然后进入生产运营业务 IWP 转化为车间可执行的工单 WO，穿透 3 大业务域。

随后开展逻辑业务架构设计，按照业务流程分解清单进行分工，开展业务逻辑的设计和迭代，如前面所述，通常一个逻辑业务流程需要通过四轮迭代过程。该项目业务架构设计图总共包括 10 个业务概念图（3 个 L1 业务图，7 个 L2 业务图），63 个 L3/L4 业务逻辑图。

由于逻辑业务流程图比较多，限于篇幅有限，我们以施工计划管理业务域的计划定义与拆解 L3 逻辑业务流程设计为例进行说明：本业务流程基于四级计划的五级计划拆解，并通过四级计划长周期排程，预测关键资源产能和瓶颈是否相匹配，指导资源分配。通过工单（WO）排程，优化排程操作，生成用于指导车间进行实际生产的计划。确保每个工单拥有合适的资源和时间段进行执行，而不会出现不合理的计划。施工计划定义与拆解业务流程如下图所示：

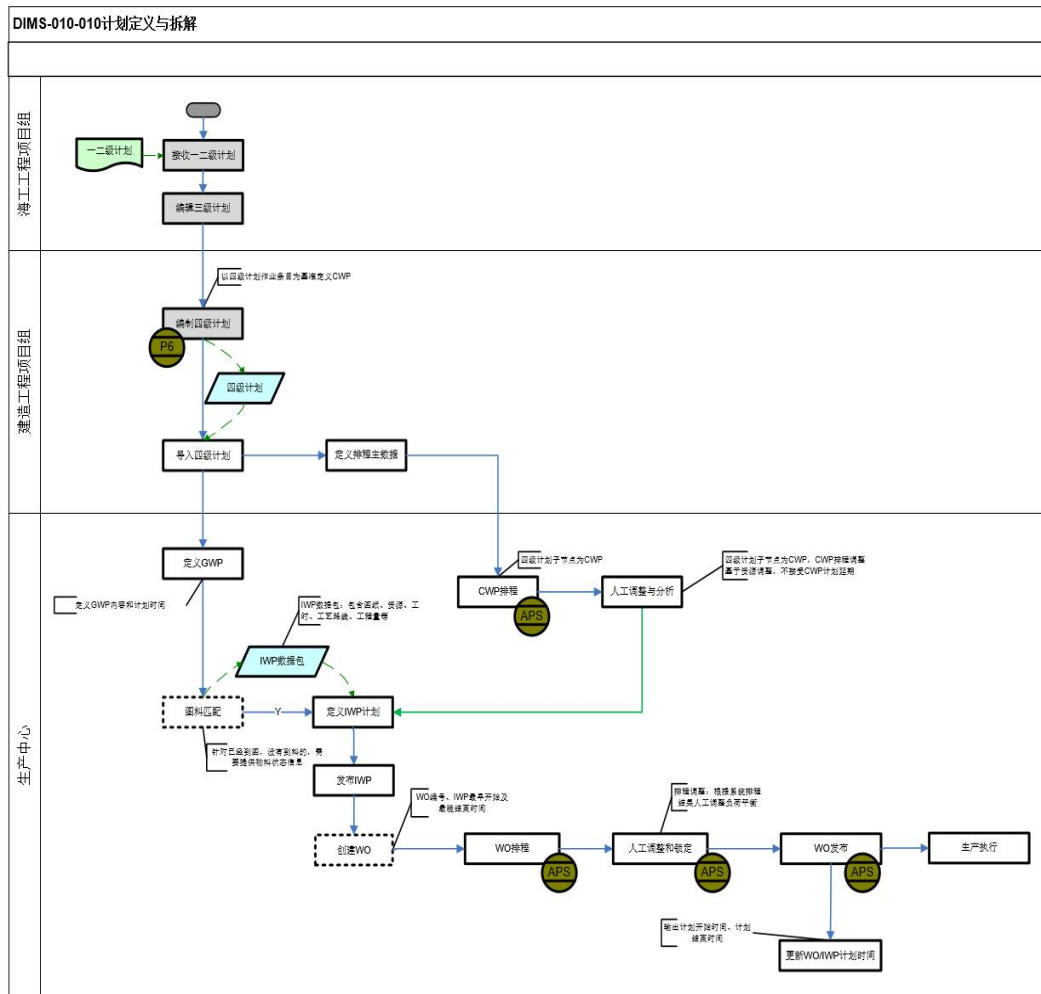


图 14 计划定义与拆解

2、数据架构设计

根据项目识别的核心业务主线，首先要去确定需要有几个核心的数据结构来支撑这几大业务，识别和确定的概念数据结构如下图所示。

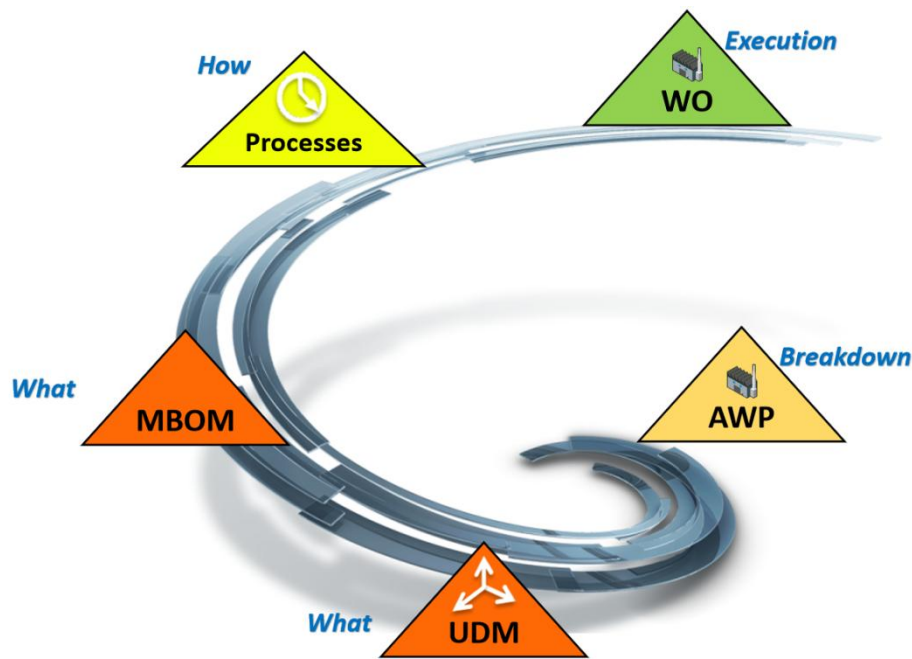


图 15 核心数据结构

- 1、计划管理核心数据结构 AWP：该数据结构负责对建造计划进行分解与管理。
- 2、设计数据管理核心数据结构 UDM：该数据结构对上游设计数据进入系统后进行统一的管理，以便后续对数据的处理。
- 3、建造工艺设计核心数据结构 MBOM：该数据结构对建造工艺数据进行管理。
- 4、建造工艺路线核心数据结构 Process：该数据结构对建造的工艺路线进行管理。

- 5、工单核心数据结构 WO：该数据结构直接对生产车间执行数据进行管理。

基于上述数据概念层的工作，核心数据结构就基本就位了，项目组就可以分工，结合项目实际数据和逻辑业务流程，针对每一核心数据结构开展更细致的设计和验证。

同时，基于核心数据结构对业务主线进行推演和迭代：AWP 在基于 P6 四级计划的基础上，增加了五级计划 IWP, 计划 IWP 与工作包 IWP 有机结合，基于 MTO 和 E3D 可以构建 UDM (UDM 按照产品结构视图和图纸视图来构建)，图料匹配后，将 UDM 中物料数据分配到 IWP 工作包中，IWP 包需要基于 Process 配置工艺路线，工艺路线包括工艺流程、设备、工器具、工种、工时信息，IWP 发布后发到生产中心转换为 WO 进行工单执行。

在数据逻辑架构设计中，我们以施工计划管理业务域的 AWP 核心数据结构为例展开说明：该数据组织结构采用层级化建模方式，顶层节点为 CWP 与 GWP，IWP 作为最底层叶节点。值得注意的是，IWP 节点不设置嵌套结构（即无下级 WO 节点），但通过数据关联实现双向可追溯性。每个 WO 节点需携带对应的 IWP 编码标识，基于此标识可反向追溯至原始 IWP 节点，并将 WO 的实际执行进度同步反馈至 IWP 节点，确保数据溯源的完整性与状态同步的实时性。施工计划管理业务域的 AWP 逻辑数据架构设计可参考下图所示的分层结构。

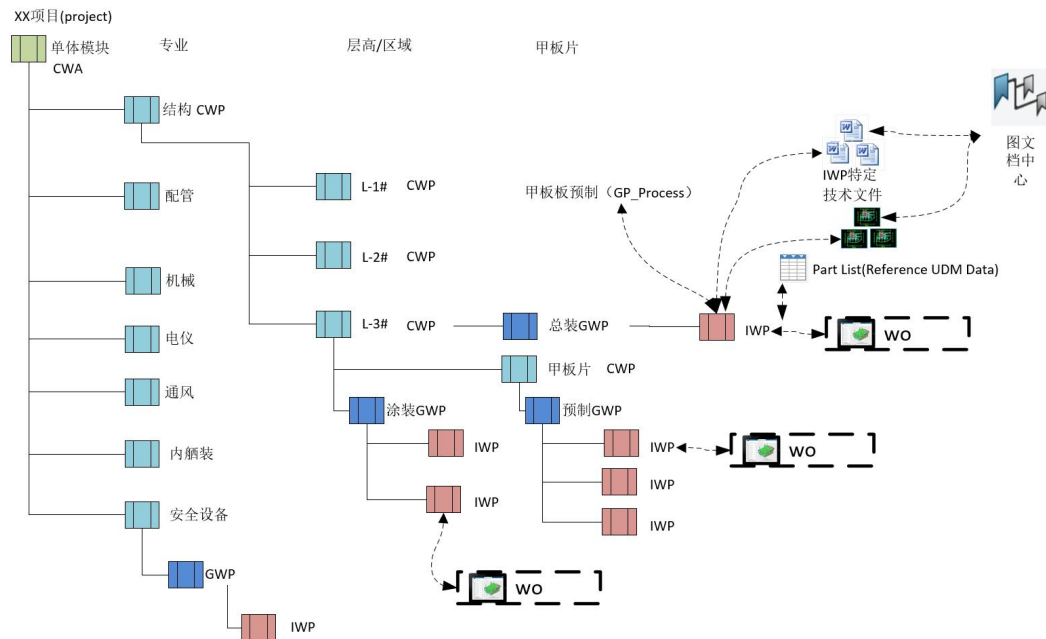


图 16 AWP 逻辑数据架构

其它非业务主线上的模块，比如材料管理、质量管理等，同样也按照此过程开展数据概念架构设计和数据逻辑架构设计。

3、应用架构设计

应用架构的概念层实际上是通过业务架构、数据架构的分析，尽可能把一些通用的业务功能初步的识别出来，把业务需要转化为对功能服务的需求，这些识别的功能服务组合为顶层应用功能模块。

接下来需要定义顶层应用功能模块之间的关系，以及与外部系统之间的集成关系，进一步推演验证之前设计的业务和数据逻辑。最后我们可以得到系统/功能模块之间的关系图如下所示。

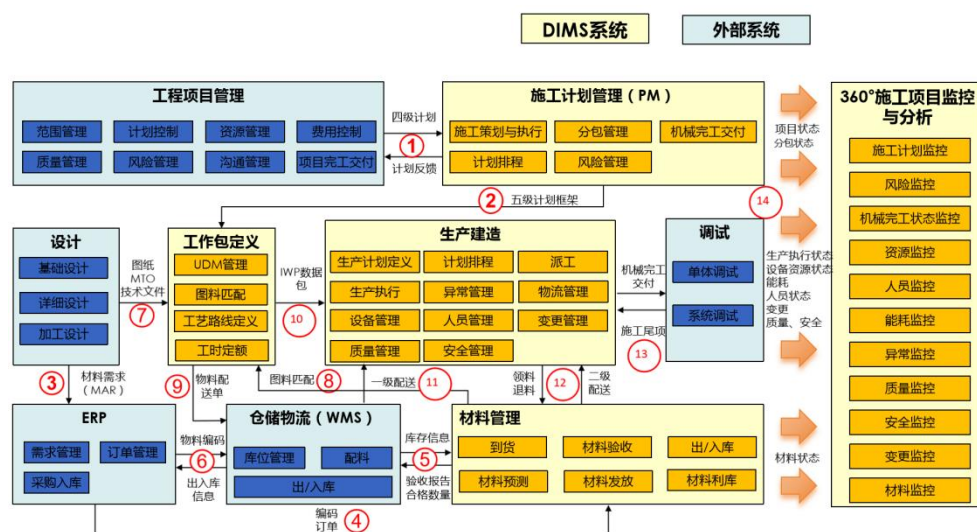


图 17 系统/功能模块关系图

对于技术架构，该项目因为直接采购第三方产品做为底座，所以说技术架构直接使用原厂商的技术架构就可以，不需要花太多的时间重新去做设计。

通过业务、数据、应用与技术四大架构的概念层与逻辑层设计，项目组最终形成《蓝图方案报告》与《需求跟踪矩阵》两项核心交付物，并顺利通过专家组评审。其中，结构化的需求跟踪矩阵针对 L3 逻辑业务流程中的每个业务活动，定义了包含输入输出数据、操作规则、业务约束等维度的详细需求描述，为后续系统实施阶段的开发设计、功能测试及验收环节提供了明确的输入依据。

（三）实施效果

企业通过 DIMS 系统的深度应用，显著提升了海洋油气装备制造的数字化水平与综合竞争力。在渤中 29-6 油田项目中，系统实现了全流程数字化管控，人力成本降低 20%，工期缩短 15%，单项目材料浪费率下降 10%，展现了显著的效率与成本优势^[11]。通过三维可视化建造与智能焊接机器人技术，构件一体化率达 97%，减少返工率，推动施工标准化。质量追溯方面，系统覆盖超千道工序，实现数据实时采集与全生命周期追踪，保障产品合规性与可靠性。

技术层面，DIMS 系统打通设计、生产、物流等环节的信息孤岛，构建“生产可监控、计划可跟踪、质量可追溯”的闭环管理体系，获评“中央企业数字化转型典型案例”^[12]。同时，系统与能源管理模块集成后，通过绿电消纳与工艺优化，助力天津临港基地获评“天津市绿色工厂”^[13]，年碳排放强度降低 12%。

行业影响方面，该系统填补了国内海洋工程全流程智能制造的空白，成为央企数字化转型的标杆。其模块化设计与扩展能力已推广至 FPSO 模块、深水导管架等多元场景，并推动上下游产业链协同，为全球海洋油气行业提供“中国方案”。

五、结论

本文针对制造业数字化转型中普遍存在的“业务-技术-价值”脱节问题，提出了一种以业务流程为核心、价值为导向、架构为支撑的业务引领架构设计方法（APA），该方法有效破解数字化转型“最后一公里”难题。APA 方法深度融合 PTC RVP 的成果驱动理念、达索 VE 的价值导向思维与 TOGAF 的标准化框架，形成兼具灵活性与落地性的实施路径。

企业数字化转型需摆脱“技术优先”思维，建立“业务价值优先”的顶层设计框架。APA 方法通过结构化流程与工具链支持，将战略目标转化为可落地的架构设计，为制造业实现从“局部优化”到“全局效能提升”提供了有效路径。未来，基于案例经验提炼行业通用架构模板，降低中小企业转型门槛，同时，随着工业互联网与人工智能技术的深度融合，APA 方法将进一步向模型化、自适应方向演进，成为企业数字化转型的重要方法支撑。

参考文献

- [1] 中国信息通信研究院. 《中国企业数字化转型发展趋势研究报告》[M]. 北京: 中国信息通信研究院, 2023.
- [2] 麦肯锡全球研究院. 《数字化转型成功率研究报告》[M]. 纽约: 麦肯锡公司, 2022.
- [3] 埃森哲(中国)有限公司. 《中国企业数字化转型指数报告》[R]. 上海: 埃森哲(中国)有限公司, 2023.
- [4] The Open Group. TOGAF® Standard, Version 10.1[S]. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2022.
- [5] 达索系统集团. 《价值导向的数字化转型方法论白皮书: 从战略到技术的系统性变革》[R]. 巴黎: 达索系统集团, 2022.
- [6] 达索系统集团. 《行业数字化转型模板库技术规范(航空/汽车卷)》[R]. 巴黎: 达索系统集团, 2024.
- [7] PTC. RVP 实施工具包[R]. 内部资料.
- [8] PTC. 制造业数字化转型案例[R]. 内部资料.
- [9] 工业和信息化部. 智能制造发展规划(2021-2025年)[R]. 北京: 工业和信息化部, 2021-12-28.
- [10] 海洋石油工程股份有限公司. 天津临港智能制造基地建设规划[R]. 天津: 海油工程研究院, 2020.
- [11] 海洋石油工程股份有限公司. 渤中 29-6 油田开发项目总结报告[R]. 天津: 海油工程, 2023.
- [12] 国务院国有资产监督管理委员会. 中央企业数字化转型典型案例集(2023)[R]. 北京: 国资委出版社, 2023.
- [13] 天津市工业和信息化局. 天津市绿色工厂名单公示[EB/OL]. (2023-09-20)[2025-02-21]. https://gyxxh.tj.gov.cn/ZW GK4147/ZCWJ6355/wjwj/202407/t20240709_6671534.html

作者简介

李海峰(通信作者), 上海安托信息技术有限公司, 首席业务架构师, 博士, 研究方向: 航空制造业企业 PLM 项目咨询与实施, 企业数字化架构设计方法, 业务架构设计. 电子邮箱: hflee@atoz.com.cn;

俞成远, 上海安托信息技术有限公司, 副总经理, CTO, 硕士, 研究方向: 复杂产品研发制造企业数字化转型架构设计, 航空构型管理, 架构设计方法学, 新一代工业软件数字化底座. 电子邮箱: shuyuan.yu@atoz.com.cn;