

浅谈石化智能数字工厂的构架和设计

王纪有

上海石化股份公司技术中心

摘要：智能石化数字工厂是石化企业的数字化集成应用平台，其体系结构是灵魂，模型是核心，应用构架是关键，优化技术是企业资源合理配置的手段，而控制技术是提高产品质量降低企业成本重要途径。

智能石化数字工厂是在石化业务语意空间与业务语法空间之间的数字化转换应用平台。业务的概念和规则组成业务语意，语法是语意的抽象形式，语法可表达具体业务。实现数字化工厂首要任务是研究业务的语意，将其形式化、抽象化，设计语法元素，构造业务语法空间，同时设计相应数字工厂的转换引擎和体系结构。在数字工厂中，业务模型在业务语法空间中都有对应的数字模型，并且在优化决策时，各数字模型能够和谐工作。业务模型的正确抽象和数字模型的正确表达是石化数字工厂的核心。应用构架、界面和平台是用户理解和有效应用的关键。

关键字 数字工厂、业务语意、语法空间、转换因子

1、石化智能数字工厂的概念

石化智能数字工厂是以 IT 技术提供提升石化传统行业的综合技术，它是集石化业务规划决策优化、计划方案优化、调度优化和在线闭环控制优化于一身的综合技术。设计石化智能数字工厂，首先必须了解石化企业的业务，其次对这些业务进行有效的分类和抽象，再次以抽象业务概念进行石化数字工厂的概念设计。

1.1 石化业务分析

石油是一种不可再生的资源，石油价格高居不下，上涨的趋势明显，石油资源所占石化企业成本的比例日趋增大。石化企业要跻身于行业前列，工作的重点必须结合自身内在资源围绕石油、产品和市场等资源展开。石化企业的主要业务是结合自身内在资源、产品价格趋势和市场容量等因素，优化选购、综合利用原油资源，平衡企业成本和产品价值，优化配置企业自身资源和社会资源，使企业利润最大化。

石化资源分为石化企业自身资源和市场资源。自身资源由装置、设备、工艺、优化控制方案等要素组成。石化市场资源包括原料市场资源和产品市场资源。石化企业的最终原料是石油，中间原料和产品（统称石化产品）的界限难以划分。石化产品品种繁多，用途广泛，并且可以有条件的进行加工转换。石油加工转换不是一种简单的加工链，而是一种复杂的“加工网链”。这种石

油加工网链上的每个环节都需消耗成本,其成本的高低主要取决于原油的组份、加工路线和方案。

1.2 智能石化数字工厂的概念设计

“智能石化数字工厂”是石化业务功能的数字影射,其概念如下:语意空间、语法空间、模型库、转换因子、执行引擎、优化引擎和数据服务接口;其操作构架可分为:基础数据维护平台、模型构造平台、业务功能构造平台、优化应用平台。

基础数据 主要包括业务数据库、信息库、知识库;

语意空间 由实际业务模型组成的集合;

语法空间 以描述业务模型的语法元素,将业务模型的语意空间表达成数字模型描述空间。语法空间由语法元素集合与相应的数字模型组成。

模型库 存放业务数字模型场所,也语法空间的物理场所。模型可理解为一个抽象的化工操作单元,它处理的不是输入输出的物料,而是输入输出的数据。模型是数据输入输出的关系。

转换因子的功能是实现业务模型在语意空间与语法空间之间进行双向转换。

执行引擎 从模型库中取出业务数字模型描述,能根据知识库中的知识,从数据库和信息库中取出相应的物性数据和业务信息,作为业务模型的数据输入,执行引擎执行运算,最终返回模型的计算结果。

优化引擎是石化企业效益的优化引擎基础,是构造石化企业资源优化平台的核心。从数字角度讲,企业优化模型主要由两部分构成,一部分是企业效益目标函数,另一部分是相关的约束模型组成。优化引擎一般由LP(线性规划)技术实现。

数据服务接口:为石化智能数字工厂内部模块和外部系统提供数据接口服务。

2、石化数字工厂设计方法探讨

智能石化数字工厂是一个大主题,探讨其方法论将是不可或缺步骤。智能系统范畴的智能石化数字工厂,其方法论也从智能系统的一般方法论开始,再结合石化企业业务特点,来探讨其方法论。

2.1 数字化系统的一般设计方法

数字化系统的设计方法一般从业务概念出发,分析业务语意(即业务的概念和规则),通过概括、抽象分析,进行仔细的分类,并且认真研究其存在的形式,从语意和语法两方面,分步进行抽象和形式化,抽取其抽象的业务对象和业务规则对象,从中提取描述元素,设计出能够表达业务语意的语法元素,形成表达具体业务的语法空间。然后,针对这语法空间,设计业务语意的解释引擎和处理引擎。这两个引擎负责将以语法元素表达的业务语意还原成实际业务,并且能够在数字应用平台上处理业务,优化决策。

2.2 石化业务特点分析

在1.1节“智能石化功能要素的分析”中简单介绍了石化业务特点。一方面,石化业务所涉

及技术领域、处理的内容或要素众多，另一方面，石化业务涉及内容和因素之间的关系也极其复杂，表达和处理方法非常专业。

石化涉及物料品种繁多，物性复杂，加工工艺及路线冗长，产品分布和用途广泛，其价格变动频繁而复杂；另外，原油组份复杂，不同原油品种的组份性质差异和加工工艺不同，其产品收率变动很大，然而不同组份的原油价格存在较大差别。

然而由于石化业务涉及因素极其复杂而繁多，且描述因素及其关系的形式也多样化，也恰恰说明了石化业务优化领域存在着有意义的工作。

2.3 智能石化数字工厂设计方法

石化智能数字工厂的设计方法是建立一套规范和步骤：

1. 对石化行业的概念重新界定，进行业务概念设计。
2. 运用数字化方法论，对石化业务概念进行分解，设计能够表达石化业务语意（即业务的概念和规则）的语法元素集合。
3. 针对石化业务语法元素，设计石化智能数字工厂的概念。
4. 设计体系结构，数字工厂的体系结构的功能是运用数字化概念和方法，将石化业务语法表达空间在智能石化数字工厂中实现。
5. 设计石化智能数字工厂应用构架。

3、模型是智能石化数字工厂的核心

模型是输入数据空间与输出数据空间的影射关系。模型分为真实原始模型即业务模型和转换模型，如数字化模型，数字化模型是业务模型的影射。数字化模型以数据、信息、知识和规则等数字化概念来表达。

数据是数字化领域中最一般的概念，因为所有数字化产品或系统都以数据的形式存在。描述数据的数据，称信息。描述信息的信息，称知识，也称元信息。如何使用知识的信息，称规则。

3.1 业务模型分类

业务模型是一个输入与输出的关系，所以任何一个相对独立的石化业务都可理解为一个业务模型。为了便于建立石化企业与智能石化数字工厂的影射关系，必须对石化业务模型进行合理的分类。

整个石化企业就是一个投入产出模型，其输入是资源和经营操作变化，输出的销售收入。然而，石化企业不是一个简单的投入产出模型，石化业务模型和石化相关业务模型都是石化企业模型不可分割的一部分。这些业务模型对石化企业模型具有强相关的约束作用，因此，石化企业模型是一个复杂业务矩阵模型。

由于石化业务模型繁杂，也存在多种分类方法。从其业务本身和业务处理进行分类，具体分类如下：

石化相关业务模型

原油市场资源模型

产品市场资源模型

石化业务模型

石化业务模型分为三类，即计划优化模型、调度操作模型和控制执行模型。

计划优化模型

销售模型

资源库存模型

原油采购模型

装置工艺模型，包括各装置的加工成本模型、装置风险评估模型。

物料平衡模型，包括硫平衡、氢平衡等模型。

公用工程平衡模型，包括煤、重油、蒸汽、电的能量平衡优化模型。

调度操作模型

调度操作模型是计划优化模型细化。计划优化模型的本身时间无关，即它们应用于某时间段（如月计划）的优化模型，技术上称其为单周期模型，不考虑具体时间因素。而调度操作模型是多周期的调度模型，必须考虑各时间段（如周、日、班）的平衡。

控制执行模型

控制执行模型用于执行调度模型下达的生产指令。在生产指令的约束前提下，结合装置设备的能力和加工成本，完成优化控制的目的。

3.2 数字模型分类

石化数字模型从技术层面进行分类，一般分为单周期决策优化模型、多周期调度优化模型和动态控制模型三类。

决策优化模型

资源经济模型、投入产出经济模型、计划优化业务模型都属于这类决策优化模型。决策优化模型的技术特点都是单周期模型，业务特点是其输入输出量都可转换为价值量。

调度优化模型

调度优化模型的技术特点是多周期模型，业务特点是关注业务是每个时间段的物料、能量等的平衡。

动态控制模型

动态控制模型是强力关注时间要素的控制模型，一般以传递函数矩阵形式存在。动态控制模型一般应用于DCS、PLC等传统过程控制系统和多变量预估控制（即先进过程控制系统）。

4、石化智能数字工厂的构架

智能石化数字工厂的构架从业务数据模型、体系结构和功能构架这三个方面阐述。业务数据模型即描述石化业务的数据模型，业务语意数据可划分为数据、信息、知识和规则四个层面。体系结构是从技术实现角度对智能石化数字工厂的内部模块划分，而功能构架是从应用角度对智能石化数字工厂的功能模块划分。

4.1 石化业务数据模型

石化业务数据从其信息有序性角度可划分为数据、信息、知识和规则四个层面。描述业务语意的数据、信息、知识和规则的语法结构模型也相应地划分四个层面，即数据结构、信息结构、知识模型和规则模型。业务语意数据与其相应的语法结构模型相结合即形成了业务基础数据库、信息库、知识库和模型库。

业务基础数据库包括原油数据库、物性数据库、过程实时数据库。业务信息库主要存放企业自身资源和市场资源的信息。石化业务基础数据、资源信息的关系和业务模型如何应用等知识存放在业务知识库中。在第三章中介绍的业务模型存放在模型库中。

知识库中主要存放业务模型使用哪些基础数据和信息，以及如何引用这些数据和信息的知识。在业务模型运行时，根据知识库的这些知识，能够进行有效地反复计算。

4.2 智能石化数字工厂的体系结构

智能石化数字工厂的体系结构的主要功能是在石化业务语意空间（如石化业务和业务模型）与石化业务语法空间之间能够双向转换，并且这体系结构功能中处理石化业务和进行优化决策。

智能石化数字工厂体系结构的划分为六层次：

1. 基础层是包含业务数据模型的业务基础数据库、信息库、知识库和模型库。
2. 业务语意空间与语法空间的转换因子和业务模型的执行引擎。
3. 计划优化引擎 在满足各业务模型约束的前提下，优化选择原油混比例，以及相应的各生产装置生产计划，使企业效益最大，是生产计划优化引擎的主要任务。
4. 调度优化引擎 在确保完成生产优化计划的前提下，优化调度方案，即使发生一些非计划停车事故，也能最大限度地完成生产计划。
5. 实时优化机制 在完成调度优化生产方案的前提下，实时下达优化控制方案，使生产装置加工成本尽可能的低。
6. 先进过程控制（APC） APC 接收到实时优化控制方案后，根据装置工况，给常规控制系统动态设置自控回路的设置点值，即 SET POINT 的值。
7. 常规控制系统 围绕 APC 动态设置点的值，进行常规的反馈控制。
8. 数据服务接口 为系统内部模块和外部系统提供数据通讯接口服务。

4.3 智能石化数字工厂的功能构架

从应用角度，将石化智能数字工厂的划分为如下几个应用子系统：

1. 原油数据库和物性数据库的维护子系统
2. 企业信息库维护子系统
3. 业务模型库维护子系统
4. 业务模型调试环境
5. 生产计划组态环境
6. 计划优化调试运行环境
7. 调度方案组态环境
8. 调度方案优化调试运行环境
9. 生产指令下达接收界面
10. 全厂实时优化系统
11. 先进过程控制系统
12. DCS、PLC 等常规控制系统

5、石化智能数字工厂的应用前景

石化行业主要有二个发展方向，即催化剂和装置工艺技术的突破、石化智能数字工厂技术的完善和认识的加深。然而，催化剂、装置工艺技术由于需要巨大的投入，世界范围内这方面的人才和技术逐步被一、二家石化跨国公司或研究机构所垄断，并且以有偿专利等方式让全球石化企业共享。尤其随着石化企业规模不断扩展，决策、计划、操作优化因素日趋复杂，石化智能数字工厂的技术重要性日见突出。

上海石化 2003 年采用 HONEYWELL RPMS 技术实现生产计划及原油混炼方案优化，计算结果显示每月增加效益在 1500 至 8500 万之间。若能将石化企业决策、生产计划、调度、控制等环节实现在线优化和控制，将会发挥更大的经济效益。向石化智能数字工厂的技术要效益，瓶颈要素不是技术，也非资金，而是石化企业管理者的认识。