

DOI:10.13196/j.cims.2015.03.021

钢铁企业多视图能耗模型体系结构研究与应用

乔非, 祝军⁺, 李莉

(同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要:为实现钢铁企业能源系统的信息集成、功能集成和逻辑集成,针对已有能耗模型的局限性,提出一个多视图能耗模型体系结构。该体系结构是一组模型和方法的集合,包括数据视图、工序视图和分厂视图的形式化表示,以及工序视图和分厂视图中层次的形式化。为实现多视图能耗模型集成的多视图关联,提出了保证多视图能耗模型一致性的条件。基于所提体系结构,提出了钢铁企业多视图建模方法,将该体系结构中的数据视图、工序视图和分厂视图用不同的建模方法予以实现。基于所提体系结构和建模方法,开发了某大型钢铁企业多视图能耗信息系统,说明了所提方法的有效性,可为系统节能提供决策支持。

关键词:钢铁企业;能源系统;多视图模型;集成;系统节能

中图分类号:TP301 **文献标识码:**A

Research and application of multi-view energy model architecture for iron and steel enterprises

QIAO Fei, ZHU Jun⁺, LI Li

(School of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: To achieve informative integration, functional integration and logical integration of energy system, an Architecture of Multi-view Energy Model (AMEM) was proposed aiming at the limitations of existing energy model. It was a set of models and methods which included formal representation of Data Views (DV), Production Process Views (PPV) and Branch Plant Views (BPV), and hierarchy formalization of PPV and BPV. Multi-view correlation was proposed to integrate all energy models, and the conditions were proposed to keep the consistency of multi-views. Based on AMEM, multi-view modeling approaches were proposed, and DV, PPV, BPV in AMEM were realized by different modeling approaches. Based on AMEM and proposed modeling approaches, a multi-view energy information system of some large steel enterprise was created to verify the effectiveness of proposed method, which provided the decision support for system energy conservation.

Key words: iron and steel enterprises; energy system; multi-view model; integration; system energy conservation

0 引言

钢铁行业是国民经济的重要基础产业,也是能源密集型产业,其节能成效对实现《节能减排“十二五”规划》的约束性目标^[1]意义重大。随着钢铁企业上游原燃料价格的大幅上升,节约能源还可降低成

本,增强企业抵御风险的能力^[2]。

钢铁企业的节能技术包括结构节能技术、工序节能技术和系统节能技术。其中系统节能是组织、管理与运行企业能源生产和使用的思想,它基于载体观点、系统观点和信息观点,综合考虑企业的能源和非能源,考虑各个工序之间的相互联系,考虑信

收稿日期:2014-01-02;修订日期:2014-04-21。Received 02 Jan. 2014; accepted 21 Apr. 2014.

基金项目:国家自然科学基金面上资助项目(61273046);国家自然科学基金重点资助项目(61034004);国家科技支撑计划资助项目(2012BAF10B05);安徽省钢铁产业技术创新规划研究资助项目(09020203014);上海市重点学科建设资助项目(B004)。**Foundation items:** Project supported by the National Natural Science Foundation, China(No. 61273046,61034004), the National Key Technology R&D Program, China(No. 2012BAF10B05), the Technology Innovation Planning Research Foundation of Iron and Steel Industry in Anhui Province, China(No. 09020203014), and the Construction Projects of Key Disciplines in Shanghai, China(No. B004).

息流中的潜在规律,建立能源系统的各种模型,通过最优化方法确定最佳工作状态,实现企业能源生产和使用的合理化、节约化。其中,能源系统的各种能耗模型是系统节能的基础和关键^[3-5]。钢铁企业能耗模型可分为描述模型、分析模型和优化模型三类。描述模型可对钢铁企业能耗状况和能流物流状况进行深入而全面的认识,能流图和 Sankey 图是使用较多的两种模型。其主要功能和目的是加深认识、提高管理水平。能流图从能源的角度,基于能源平衡,对各个生产单元的用能状况进行描述^[6];而 Sankey 图基于质量平衡,还增加了物流状况的描述,是能流图的扩展^[7]。分析模型对钢铁企业工序和总体的能源使用状况进行比较、分析和预测,经常使用的方法包括 $e-p$ 分析法、 e_0-p_0 分析法、投入产出模型、数学规划模型和人工神经网络模型等,目的是分析钢比系数和工序能耗这两类因素变化对吨钢能耗的影响及节能潜力^[3],研究各种生产流程和各种物流对能耗影响的规律^[8],以及进行能耗预测、设备状态预测^[9]等。优化模型是针对分析模型发现的问题,利用各种优化模型和方法,确定最佳节能状态,使得能源生产和运行合理、平衡、能耗最低、损失最小,包括工序生产参数优化模型^[10]、企业能源分配模型^[11-12]、工序和企业多级能源分配模型^[13]等。

钢铁企业能源系统是一个复杂系统,涉及企业的工序、分厂、能源和信息等方面。已有描述模型如能流图和 Sankey 图等,能够实现从能源的角度、基于能源平衡对各个生产单元的用能状况进行描述,以及基于质量平衡实现物流状况的描述。已有分析模型和优化模型针对特定的需求进行分析和优化,但是角度孤立单一,不能反映工序和工厂的能耗状况,以及能流、物流、工序和工厂之间的关联,单个模型也无法实现这些描述。由于钢铁企业能源系统的复杂性,不可能仅通过一个简单的模型描述清楚。为实现更全面协调的系统节能,需要有机集成各类信息和功能。而这迫切需要由一组模型组成的、每个子模型完成能源系统某一个局部特性的描述,按照一定约束和连接关系将所有子模型组成在一起的能源系统模型。为此,本文提出一个钢铁企业能耗模型体系结构,集成能源系统的各类信息,将能源中心的综合监控和基础管理功能进行集成。

1 钢铁企业多视图能耗模型体系结构

体系结构^[14]是对系统(不论物理的或概念的

象或实体)中各部分的基本配置和连接的描述(模型)。为全方位、多层次考察和分析钢铁企业的能源系统,清楚描述企业的组织、过程和能源等信息,支持能耗分析和优化,实现系统节能,本文借鉴企业建模及集成信息系统体系结构(Architecture of Integrated Information System, ARIS)^[15-16],给出一个钢铁企业多视图能耗模型体系结构(Architecture of Multi-view Energy Model for iron and steel enterprise, AMEM),如图1所示。

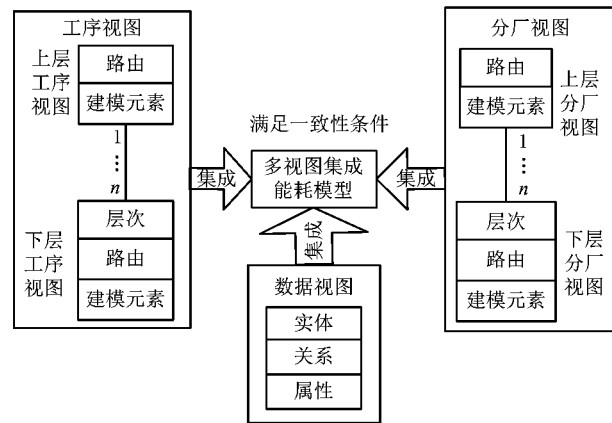


图1 钢铁企业多视图能耗模型体系结构

AMEM 是一组用以描述钢铁企业能源系统不同方面的、结构化的、多层次多视图的模型和方法的集合,可以按照从视图形式化、层次形式化、多视图关联和一致性保证的路线展开。

(1)视图形式化 包括数据视图、工序视图和分厂视图。数据视图描述钢铁企业能源系统中的各类元素信息以及建模所需的路由信息,为其他两类视图提供数据支持,是其他两类视图的基础;工序视图从工序视角描述钢铁企业能源系统,是视图维的核心,也是多视图集成的关键;分厂视图从分厂的角度描述和把握能耗状况,是钢铁企业能源系统的一个重要侧面。

(2)层次形式化 视图形式化给出了钢铁企业能源系统的多个描述横向侧面,而层次形式化从纵向形式给出了工序视图、分厂视图的结构,用以描述工序之间的上下关系、分厂之间的包含关系等。

AMEM 的视图形式化和层次形式化建立了各个分层多视图模型,但仍需保证其整体性和一致性。多视图集成是通过各类和各级视图间的元素及其关系的关联,将各个视图统一为一个整体,实现多视图能耗模型的整体性。一致性是为多视图集成服务的,通过视图间一致性准则和层次间一致性条件,以

及一致性条件的实施机制,保证集成的多视图模型互不冲突、协调一致。

1.1 视图形式化

1.1.1 数据视图

钢铁企业能源系统涉及焦炉煤气、铁水等能源,焦化厂、炼铁厂等分厂,以及焦化、烧结等工序,数据视图用以说明钢铁企业能源系统中所包含的信息,即能源、工序、分厂等的属性信息。建立数据视图是建立可靠的数据结构和数据库的基础。下面给出能源、工序和分厂的形式化描述。

(1)能源 $e = (e_{ID}, A)$ 。其中: e_{ID} 为能源标识; $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, n \geq 1$ 为该能源的属性集合,主要包括能源名称、类别、计量单位、标煤系数等。

(2)工序 $w = (w_{ID}, A, w_{up}, w_{under})$ 。其中: w_{ID} 为工序标识; $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}, m \geq 1$ 为该工序的属性集合,包括名称、计量单位、本期能耗、预测下期能耗、历史最低能耗、能耗标杆值等; w_{up} 为该工序的上层工序; $w_{under} = \{w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{ik}\}$ 为该工序的下层工序集合。

(3)分厂 $p = (p_{ID}, A, p_{up}, p_{under})$ 。其中: p_{ID} 为分厂标识; $A = \{a_1, a_2, \dots, a_l\}, l \geq 1$ 为该分厂的属性集合,包括名称、计量单位、本期能耗、历史最低能耗等; p_{up} 为该分厂的上层分厂; $p_{under} = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ik}\}$ 为该分厂的下层分厂集合。

1.1.2 工序视图

钢铁企业能源系统涉及焦化、烧结、炼铁、炼钢和轧钢等主工序,每个主工序又包含若干子工序,能源和物料在各个工序中被消耗、利用和回收,形成错综复杂的能流关系。工序视图用以定义工序和能源、分厂和能源以及工序和分厂之间的逻辑关系。建立工序视图,可以准确描述钢铁企业能源系统的生产流程。下面给出工序视图的形式化描述。

首先给出路由的表示: $r = (r_{ID}, A)$,其中: r_{ID} 为路由标识, $A = \{a_1, a_2, \dots, a_j\}, j \geq 1$ 为该路由的属性集合。

工序视图形式化为: $\Sigma_w = (W, E, P, F)$,其中: $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 为所有工序的集合; $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 为所有能源的集合; $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ 为所有分厂的集合; $F \subset (W \times E) \cup (E \times W) \cup (W \times P) \cup (P \times W) \cup (E \times E)$,其中, $(W \times E) \cup (E \times W)$ 表示工序和能源之间的消耗和产出关系, $(W \times P) \cup (P \times W)$ 表示工序和分厂之间的包含和被包含关系, $E \times E$ 表示能源之间的路由关系。

1.1.3 分厂视图

钢铁企业能源系统包含生产部门的组织结构,分厂视图用以识别企业生产部门所有组织实体与能源间的消耗和产出关系及其能耗状况,从组织的角度描述和把握能耗状况,对于实现能源管理和系统节能十分必要。建立分厂视图,可以准确地描述能源在分厂之间的流动情况。下面给出分厂视图的形式化描述。

分厂视图形式化为: $\Sigma_p = (E, P, F)$,其中: $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 为所有能源的集合; $P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ 为所有分厂的集合; $F \subset (P \times E) \cup (E \times P) \cup (E \times E)$, $(P \times E) \cup (E \times P)$ 表示分厂和能源之间的消耗和产出关系; $E \times E$ 表示能源之间的路由关系。

1.2 层次形式化

AMEM 的不同视图描述了钢铁企业能源系统的不同横向侧面,而层次是 AMEM 的纵向形式,对于工序视图和分厂视图,分别有两个层次。工序视图分为上层工序视图和下层工序视图;分厂视图分为上层分厂视图和下层分厂视图。

1.2.1 工序视图层次形式化

对于工序 $w = (w_{ID}, A, w_{up}, w_{under})$,其层次形式化过程如下:

步骤 1 若 $w_{under} = \emptyset$,则该工序只有下层工序视图,要建立其工序视图,令 $w' \leftarrow w$,转步骤 2;否则该工序具有上下两层工序视图,转步骤 7。

步骤 2 打开新的视图界面,画出工序 w' 。

步骤 3 从 $(W \times E) \cup (E \times W)$ 中确定工序 w' 消耗和产出的能源,并在工序 w' 两侧分别画出。

步骤 4 从 $E \times E$ 中确定步骤 3 画出的能源之间的连接路由,在能源之间画出。

步骤 5 从 $W \times P$ 中确定与工序 w' 相关的分厂。

步骤 6 将工序 w' 和画出的能源、路由以及分厂按照有向连接线和无向连接线的连接方式进行连接。

步骤 7 若 $w_{under} \neq \emptyset$,则对工序 w ,令 $w' \leftarrow w$,转步骤 2。

步骤 8 若 $w_{under} \neq \emptyset$,则对 $w_i \in w_{under}$,令 $w' \leftarrow w_i, w_{under} \leftarrow w_{under} - \{w_i\}$,转步骤 2。

步骤 9 $w_{under} = \emptyset$,退出。

1.2.2 分厂视图层次形式化

对于分厂 $p = (p_{ID}, A, p_{up}, p_{under})$,其层次化过程如下:

步骤 1 若 $p_{\text{under}} = \emptyset$, 则该分厂只有下层分厂视图, 要建立其分厂视图, 令 $p' \leftarrow p$, 转步骤 2; 否则该分厂具有上下两层分厂视图, 转步骤 6。

步骤 2 打开新的视图界面, 画出分厂 p' 。

步骤 3 从 $(P \times E) \cup (E \times P)$ 中确定分厂 p' 消耗和产出的能源, 并在分厂 p' 两侧分别画出。

步骤 4 从 $E \times E$ 中确定步骤 3 画出的能源之间的连接路由, 在能源之间画出。

步骤 5 将分厂 p' 和画出的能源、路由按照有向连接线连接方式进行连接。

步骤 6 若 $p_{\text{under}} \neq \emptyset$, 则对分厂 p , 令 $p' \leftarrow p$, 转步骤 2。

步骤 7 若 $p_{\text{under}} \neq \emptyset$, 则对 $p_i \in p_{\text{under}}$, 令 $p' \leftarrow p_i$, $p_{\text{under}} \leftarrow p_{\text{under}} - \{p_i\}$, 转步骤 2。

步骤 8 $p_{\text{under}} = \emptyset$, 退出。

1.3 多视图关联

AMEM 的视图形式化和层次形式化建立了多个分层多视图模型, 但仍需实现其整体性, 才能发挥众多视图的最大描述能力。为对能源系统描述的整体性, 需要将视图进行集成。而多视图集成是通过各类和各级视图间的元素及其关系的关联, 将各个视图统一为一个整体。多视图能耗模型的内在联系在模型上表现为图 2 所示的逻辑关联, 可以看出, 工序视图居于核心地位, 是多视图集成的核心。

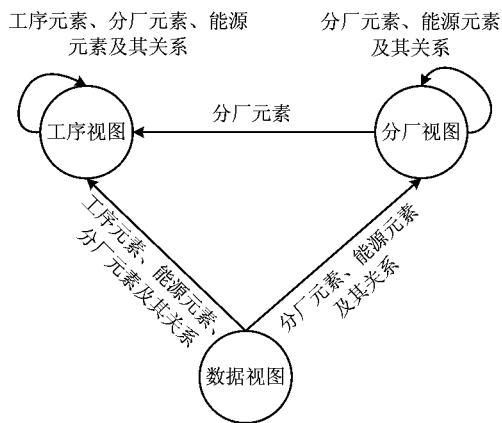


图2 各个视图之间的关联

(1) 工序视图与分厂视图的关联

由于工序视图中包含分厂元素, 分厂视图通过相应的分厂元素关联起来。

(2) 工序视图与数据视图的关联

工序视图中的工序元素、能源元素和分厂元素均是数据视图中的实体, 数据视图因此关联到了工序视图。同时, 工序视图各个元素关系的属性也在

数据视图中。

(3) 分厂视图与数据视图的关联

分厂视图中的分厂元素、能源元素是数据视图中的实体, 数据视图因此关联到了分厂视图。同时, 分厂视图各个元素关系的属性也在数据视图中。

(4) 上层工序视图和下层工序视图的关联

上层工序视图的工序元素、分厂元素、能源元素是其所有下层工序视图各类元素的集合; 上层工序视图中元素的属性是其对应下层工序视图对应属性的集合或加和。

(5) 上层分厂视图和下层分厂视图的关联

上层分厂视图的分厂元素、能源元素是其所有下层工序视图各类元素的集合; 上层分厂视图中元素的属性是其对应下层分厂视图对应属性的集合或加和。

1.4 一致性保证

AMEM 的视图形式化和层次形式化建立了各个分层多视图模型, 多视图关联实现了视图的集成。由于多视图能耗模型的庞大及其层次性, 使视图之间的关联错综复杂, 但仍需保证视图的一致性。一致性的要求保证了不同视图模型描述的对象是一致的, 模型的一致性评价是一个模型体系的重要准则。一致性主要包括两个方面: ①不同视图模型之间的一致性; ②上下层视图模型之间的一致性^[17]。

(1) 视图间一致性

视图间一致性指的是 AMEM 的工序视图和分厂视图分别描述的对象保证一致性。为此, 在建模过程中需要利用以下引用规则:

工序视图和分厂视图的各类建模元素必须从数据视图中引用, 如果有新的建模元素需求, 则应先在数据视图中定义。

(2) 层次间一致性

由于工序视图和分厂视图的层次化, 对下层工序不存在一致性要求。只有对上层工序, 即工序 w 的 $w_{\text{under}} \neq \emptyset$, 才需要进行一致性检验。

1) 逻辑一致性条件

对工序 w , 若 $w_{\text{under}} \neq \emptyset$, 则工序 w 的逻辑一致性条件为:

$$(1-a) \bigcup_{w_i \in w_{\text{under}}} \{e | (w_i, e) \in W \times E, e \in E\} = \{e | (w, e) \in W \times E, e \in E\};$$

$$(1-b) \bigcup_{w_i \in w_{\text{under}}} \{e | (e, w_i) \in E \times W, e \in E\} = \{e | (e, w) \in E \times W, e \in E\};$$

$$(1-c) \bigcup_{w_i \in w_{\text{under}}} \{p | (p, w_i) \in P \times W, p \in P\} = \{p$$

$\| (p, w) \in P \times W, p \in P$ 。

2) 数量一致性条件

对工序 w , 若 $w_{\text{under}} \neq \emptyset$, 记工序 w 的第 j 个属性为 $w \circ a_j$, 则工序 w 的数量一致性条件为:

$$\sum_{w_i \in w_{\text{under}}} w_i \circ a_j = w \circ a_j。$$

与工序视图类似, 分厂视图的层次间一致性也包括逻辑一致性和数量一致性, 限于篇幅, 本文不再说明。

(3) 一致性实施机制

为保证一致性规则和条件的实施, 提出如下一致性机制:

1) 约束机制 在建模过程中, 按照一致性规则约束相关的建模操作, 如为保证视图间一致性规则的实施, 不允许在工序视图中直接使用数据视图中未定义的实体元素。

2) 反馈机制 在建模过程中, 每当完成一个视图的建模, 就按照一致性规则和条件进行检查, 如在某个工序视图建模完成后, 就对该工序视图进行视图间一致性和层次间一致性的检查, 提示进行一致性维护。

3) 抽查机制 建模过程中或完成后, 允许对各个视图的一致性进行检查。抽查机制可以发现视图间的冲突之处, 提示进行一致性维护。

1.5 AMEM 对系统节能的支持

钢铁企业系统节能的载体是能源中心, 它在能源生产管理中主要实现综合监控、基础管理和平衡调度三方面功能。已有的钢铁企业能耗模型和方法可以支撑能源中心的这些功能, 而 AMEM 可从多方面支持和强化能源中心的这些功能, 主要包括:

(1) 信息集成, 扩展综合监控范围

可将分散孤立的能流、物流和信息流等信息集成到统一的多视图能耗模型框架中, 将能源中心的监控范围从水、电、风和气进行全面扩展。

(2) 功能集成, 优化基础管理功能

基于 AMEM, 可将能源中心的各类基础能源管理功能集成到多视图能耗模型框架中, 如工序能耗计算表是钢铁企业常用的单耗性指标, 其中包含的能源消耗和产出信息、工序能耗值等均可在工序视图中进行表达。功能集成有利于各个功能的协调配合, 可以优化基础管理的功能。

(3) 逻辑集成, 加强平衡调度功能

一方面, 基于 AMEM 集成的各类信息可为平衡调度提供更完全、及时的数据支持; 另一方面, 基于 AMEM 的多视图能耗模型将钢铁企业能源系统中的各类工序、能源、分厂及其关系进行了逻辑表达, 为平衡调度提供了逻辑支持, 为相关系统节能方法的研究提供了支持, 这些新的系统节能方法可以加强能源中心的平衡调度功能。

1.6 AMEM 与已有能耗模型的关系

基于 AMEM 的多视图能耗模型集成钢铁企业能源系统中的各类工序、能源、分厂及其关系的各类逻辑信息和数量信息, 可为相关系统的节能模型和方法提供支持。已有的钢铁企业能耗模型可分为描述模型、分析模型和优化模型三类, AMEM 与三类模型之间的关系如图 3 所示。

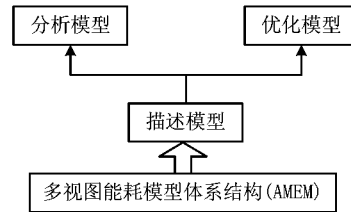


图3 AMEM与已有能耗模型的关系

AMEM 是一组用以描述钢铁企业能源系统的不同方面的、结构化的、多层次多视图的模型和方法的集合, 基于该体系结构可建立钢铁企业的描述模型, 体现对系统的整体描述和认识, 为实现系统节能提供了基础。

在 AMEM 指导下, 可对钢铁企业的能源系统进行具体的描述和刻画, 有机集成能源系统的各类信息和功能, 表达能源系统中能源、工序、分厂之间的复杂逻辑关系, 建立钢铁企业描述模型, 支持和扩展能源中心的监控功能。同时, 基于 AMEM 的钢铁企业描述模型不但可以集成各类逻辑信息和数量信息, 而且可以集成分析模型和优化模型的信息, 如能耗计算和能耗预测数据。这些集成的逻辑信息和数量信息又可为分析模型和优化模型的系统节能方法提供支撑。

2 基于 AMEM 的钢铁企业能源系统建模

2.1 数据视图建模

概念模型是对信息世界建模, 概念模型中最著名且最常用的是 P. P. S. Chen 提出的实体关系模型 (entity-relationship model)。该方法用 E-R 图来描述现实世界的概念模型。E-R 图提供了表示实体

型、属性和联系的方法。其中:①实体型用矩形表示,矩形框内写明实体名;②属性用椭圆表示,并用无向边将其与相应的实体连接起来;③联系用菱形表示,菱形框内写明联系名,并用无向边分别与有关实体连接起来,同时在无向边旁标上联系的类型 $1:1, 1:n$ 或 $m:n$ 。

基于 E-R 图,钢铁企业能源系统的实体包括能源、工序和分厂,这三个实体之间的关系复杂,其 E-R 图如图 4 所示。其中,能源和工序、能源和分厂均存在消耗和产出这两种多对多关系,而工序和分厂存在着包含和被包含两种关系,分别是一对多和多对一类型,能源之间存在着路由关系,如替换等。这 7 组关系的属性如表 1 所示。

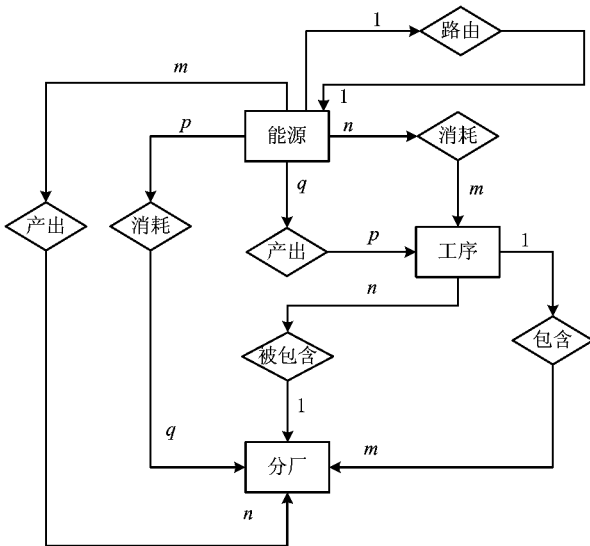


图4 钢铁企业能源系统ER图

表 1 实体间关系的属性表

关系名	相关实体名	属性
消耗	能源、工序	工序名、能源名、本期消耗量、上期消耗量、预测下期消耗量、当前库存、统计周期等
产出	能源、工序	工序名、能源名、本期产出量、上期产出量、预测下期产出量、统计周期等
消耗	能源、分厂	分厂名、能源名、本期消耗量、上期消耗量、预测下期消耗量、统计周期等
产出	能源、分厂	分厂名、能源名、本期产出量、上期产出量、预测下期产出量、统计周期等
包含	工序、分厂	工序名、分厂名、包含关系逻辑(可用 0 表示)
被包含	工序、分厂	工序名、分厂名、包含关系逻辑(可用 1 表示)
路由	能源、能源	能源名 1、能源名 2、路由名

2.2 工序视图和分厂视图建模

工序视图从生产流程的角度给出钢铁企业能源系统的描述。下面从工序视图建模元素、连接线、路由的角度分别进行说明。

(1) 建模元素

工序视图包含能源、工序和分厂三类建模元素,其图形表示如图 5 所示。



图5 工序视图的建模元素

(2) 连接线

连接线包括有向连接线和无向连接线两种。有向连接线用于对能源到路由、路由到能源、工序到路由、路由到工序进行连接,箭头指向代表能源的流动方向;无向连接线用于对工序和分厂进行连接。其中工序和分厂的连接是工序视图与分厂视图关联的部分,也是多视图集成的关键。

(3) 路由

路由表示钢铁企业生产中能源的流动约束,包括顺序路由、并行路由、选择路由以及互斥路由四种,其图形表示如图 6 所示。

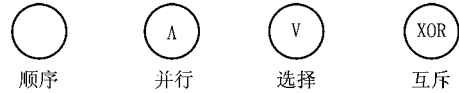


图6 工序视图的四种路由

1) 顺序路由 当某工序仅消耗一种能源时,或者工序仅回收一种能源时,用顺序路由表示。

2) 并行路由 当某工序需消耗多种能源且缺一不可时,或者工序产生多种能源时,用并行路由表示。

3) 选择路由 当某工序有多种能源可以使用,但选择其中至少一种能源才能生产时,或者工序可以产生多种能源,但至少产生其中一种时,用选择路由表示。

4) 互斥路由 当某工序有多种能源可以使用,但只能选择其中一种才能生产时,或者工序可以产生多种能源,但每次只产生其中一种时,用互斥路由表示。

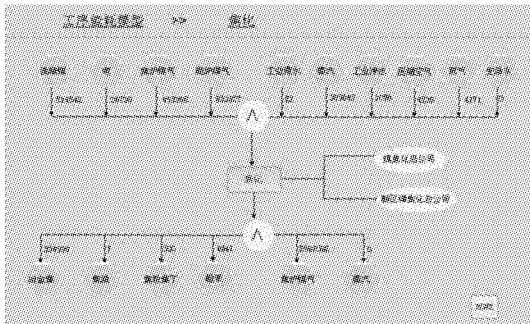
3 案例研究

基于 AMEM 和相应的钢铁企业能源系统建模方法,笔者所在课题组开发了某大型钢铁企业多视图能耗信息系统。下面给出工序视图和数据视图的说

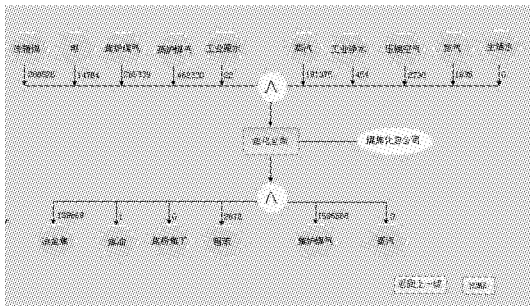
明,由于分厂视图与工序视图类似,不再另作说明。

(1) 工序视图

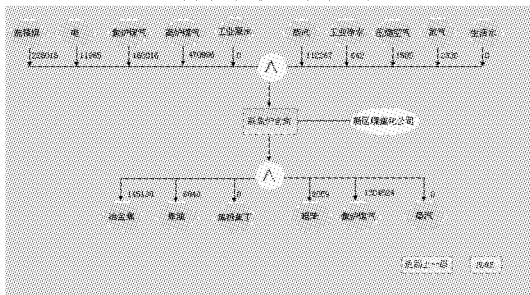
基于工序视图元模型方法,该企业的焦化工序视图如图 7a 所示。由图 7 可见:①焦化工序消耗洗精煤、电、焦炉煤气、高炉煤气、蒸汽、工业净水、工业原水、生活水、压缩空气和氮气;②各种消耗能源由并行路由连接;③焦化工序产出冶金焦、焦油、焦粉焦丁、粗苯、焦炉煤气和蒸汽;④各种产出能源由并行路由连接;⑤焦化工序的关联工厂是煤焦化公司和新区煤焦化公司。



a 焦化工序视图



b 下层工序视图-焦化全焦



c 下层工序视图-新焦炉全焦

图7 某大型钢铁企业焦化工序视图及其下层工序视图

焦化工序视图的下层工序视图(焦化全焦和新焦炉全焦)如图 7b 和图 7c 所示。容易验证,焦化全焦的所有消耗能源包含在焦化消耗的能源中,焦化全焦的所有产出能源包含在焦化产出的能源中。新焦炉全焦的所有消耗能源包含在焦化消耗的能源中,所有产出能源也包含在焦化产出的能源中。同时,焦化全焦和新焦炉全焦连接的分厂也包含在焦化工序的分厂中。可见上下层视图间满足逻辑一致性。

对于上下层视图间的数量一致性,通过加和计算,可以得知消耗的洗精煤、电、焦炉煤气、高炉煤气、工业原水、蒸汽、工业净水、压缩空气、氮气和生活水,以及产出的冶金焦、焦粉焦丁、粗苯、焦炉煤气、蒸汽均满足数量一致性,只有焦油不满足数量一致性要求,即 6 840+1 为 6 841,与上层视图中的 1 不相等,说明该焦化工序视图的层次化不一致,需要进行人工一致性维护,修正三个数据源,并使其保持数量一致性。

(2) 数据视图

基于数据视图元模型方法,该企业的能源数据视图集成到了工序视图和分厂视图中。图 8 左侧为焦化工序视图,右侧为数据视图。图 9 为“电”相关属性,包括“电”的基本属性,即图 9a 中所示的静态信息和图 9b 中所示的动态信息,也包括“电”和其他实体的关系属性,如图 9c 中所示的关联信息。图 9d 中所示为历史信息的查询窗口。

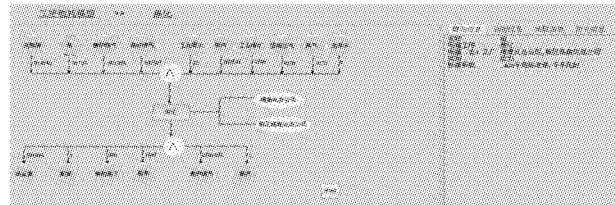


图8 某大型钢铁企业能源系统焦化工序视图及其数据视图

静态信息	动态信息	关联信息	历史信息
名称: 电 所属工序: 焦化 所属(企)工厂: 煤焦化总公司, 新区煤焦化分公司 类别: 电力 标准系数: 404千焦标准煤/千千瓦时	所属工厂工序: 0千千瓦时 所属下级工序: 240万 千千瓦时 所属物料(企)量: 20720.72千千瓦时 所属物料(企)量: 24000.00千千瓦时 年度消耗总量: 200万 千千瓦时 年度产出总量: 0万 千千瓦时 年度净消耗量: 0万 千千瓦时 理论最低消耗量: 0.8万 千千瓦时/吨焦炭 理论最低消耗量: 0.8万 千千瓦时/吨焦炭	其它消耗工序: 1#铸锭, 1#铸锭线, 1#高炉生铁, 1#高炉电炉 其它消耗工厂: 彩涂板厂, 车轮分公司, 第二炼钢厂, 第二炼钢 其它产出工序: 1#高炉生铁, 1#高炉电炉, 2#高炉生铁, 2#高炉电炉 其它产出工厂: 第二炼铁总厂, 第二炼铁总厂, 第二炼铁总厂	物料名称: 电 物料代码: 11000000000000000000 物料单位: 千千瓦时

图9 某大型钢铁企业能源系统数据视图

4 结束语

本文针对钢铁企业能源系统的信息孤立的现状,提出基于 AMEM 的钢铁企业多视图建模方法,包括工序视图元模型、分厂视图元模型和数据视图元模型方法,并给出了某钢铁企业的应用案例,验证了所提出的钢铁企业多视图能耗模型的有效性。

通过对某大型钢铁企业能源系统的案例应用可以发现,工序视图和分厂视图准确地描述了工序、分厂和能源之间的逻辑关系;在工序视图集成的数据视图中,静态信息和动态信息可以涵盖各种工序能耗计算表的信息,而关联信息给出了与能源相关的

其他工序和分厂;同时在分厂视图中集成的数据视图中,静态信息和动态信息可以涵盖各种能源平衡表中的信息,而关联信息给出了与能源相关的其他工序和分厂。可见多视图能耗模型可以实现能源系统的信息集成,扩展能源中心的综合监控功能,集成基础管理的信息,并支持平衡调度功能、能耗分析和优化等系统节能方法。基于多视图能耗信息系统,利用数据驱动方法研究工序能耗预测、上下工序耦合的能耗优化问题等是下一步的研究方向。

参考文献:

- [1] LIU Z, GUAN D B, CRAWFORD-BROWN D, et al. A low-carbon road map for China[J]. Nature, 2013, 500(7461): 143-145.
- [2] DING Yi, WANG Weidong, SHI Deming, et al. Discussion of the position and method of systematic energy conservation in enterprise economy works[J]. China Metallurgy, 2010, 20(8): 48-52(in Chinese). [丁毅, 王卫东, 史德明, 等. 试论系统节能在钢铁企业经济运行中的地位作用与实施途径[J]. 中国冶金, 2010, 20(8): 48-52.]
- [3] LU Zhongwu, CAI Jiuju. The foundations of systems energy conservation[M]. Shenyang: Northeast University Press, 2010(in Chinese). [陆钟武, 蔡九菊. 系统节能基础[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2010.]
- [4] LIU Xianguan, LI Jiluan. Systematic optimization of the metallurgical production process[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 1994, 14(6): 54-59(in Chinese). [刘祥官, 李吉鸾. 冶金生产过程的系统优化[J]. 系统工程理论与实践, 1994, 14(6): 54-59.]
- [5] SUN Wenqiang, CAI Jiuju, DU Tao, et al. Specific energy consumption analysis model and its application in typical steel manufacturing process[J]. Journal of Iron and Steel Research, International, 2010, 17(10): 33-37.
- [6] Energy Research Institute National Development And Reform Commission. GB6421-86 Enterprise energy flow diagram drawing method[S]. Beijing: China Standard Press, 1987(in Chinese). [能源研究所. GB6421-86 企业能流图绘制方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987.]
- [7] SCHMIDT M. The sankey diagram in energy and material flow management part I: history[J]. Journal of Industrial Ecology, 2008, 12(1): 82-94.
- [8] YU Qingbo, LU Zhongwu, CAI Jiuju. Calculating method for influence of material flow on energy consumption in steel manufacturing process[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2007, 14(2): 46-51.
- [9] QIU Dong, WANG Longshan. Study on energy comprehensive optimization model of iron and steel industry[C]//Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation. Washington, D. C., USA: IEEE, 2008: 102-106.
- [10] GU Mingyan, CHEN Guang, LU Zhongwu, et al. The study of energy optimization model in Baoshan iron-steel ltd[C]//Proceedings of the International Conference on Energy and the Environment. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical, 2003: 69-74.
- [11] ZHU Jun, QIAO Fei, ZHAO Fei, et al. Analyzing for gas energy flow network of steel enterprises based on hybrid Petri net[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012, 18(12): 2707-2712(in Chinese). [祝军, 乔非, 赵斐, 等. 钢铁企业煤气能量流网络的混杂 Petri 网分析[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(12): 2707-2712.]
- [12] CHEN Guang, LU Zhongwu, CAI Jiuju, et al. Study on energy optimization model in Baogang[J]. Energy for Metallurgical Industry, 2003, 22(1): 5-9(in Chinese). [陈光, 陆钟武, 蔡九菊, 等. 宝钢能源优化模型的研究[J]. 冶金能源, 2003, 22(1): 5-9.]
- [13] LARSSON M, DAHL J. Reduction of the specific energy use in an integrated steel plant—the effect of an optimization model[J]. ISIJ International, 2003, 43(10): 1664-1673.
- [14] LI Qing, CHEN Yuliu. The overall design of enterprise informatization[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004(in Chinese). [李清, 陈禹六. 企业信息化总体设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.]
- [15] QIAO Fei, YAN Junwei, HE Feiming, et al. Enterprise model architecture based on model construct and its modeling approach[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2000, 6(3): 11-16(in Chinese). [乔非, 严隽薇, 贺飞鸣, 等. 基于模型构件的企业模型体系与建模技术[J]. 计算机集成制造系统, 2000, 6(3): 11-16.]
- [16] FAN Yushun. Integrated enterprise modeling method and system[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007(in Chinese). [范玉顺. 集成化企业建模方法与系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.]
- [17] ZHAO Bo, FAN Yushun. Views consistency in multi-views enterprise modeling[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(7): 522-527(in Chinese). [赵博, 范玉顺. 多视图企业建模方法中的视图一致性研究[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(7): 522-527.]

作者简介:

- 乔非(1967—),女,陕西西安人,教授,博士,博士生导师,研究方向:能源管理、系统工程、现代管理理论与方法、先进制造技术、CIM等, E-mail: fqiao@tongji.edu.cn;
- 祝军(1982—),男,山东诸城人,博士研究生,研究方向:智能生产系统、智能数据处理、Petri网理论与应用等,通信作者: E-mail: junz88@126.com;
- 李莉(1975—),女,辽宁抚顺人,教授,博士,博士生导师,研究方向:智能调度、群体智能理论等。