

采煤机网络化智能 设计与分析

范秋霞 著

煤炭工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书介绍了面向服务架构的采煤机智能设计与分析方法,从采煤机零部件的结构特点出发,在面向服务思想的基础上,利用本体论对采煤机零部件 CAE 分析领域知识资源进行建模,通过对概念名、属性、结构、实例相似度的综合量化解决知识异构问题,建立结构-语义-属性-实例集成规则,完成采煤机零部件 CAE 分析资源本体的集成,实现采煤机零部件 CAE 分析资源的共享和重用,在此基础上,提出适用于采煤机零部件 CAE 分析的数据交换方法,最后构建采煤机零部件 CAE 分析服务模型,提出多 Agent 支持的服务方法,从而解决采煤机零部件智能 CAE 分析的关键问题,提高分析系统的分析效率。

本书可供从事煤矿机械设计与研究的科研人员、工程技术人员,高等院校机械工程专业研究生、本科高年级学生参考使用。

前 言

目前，我国煤炭行业机械化率已达到 70%，但综采化水平与世界水平仍存在较大差距，其中，我国综采率约为 40%，世界平均综采率已超过 80%，有些国家综采率甚至达到 100%。煤炭行业的机械化不仅可以降低生产者的劳动强度，增强生产中的安全性，还可以达到降低消耗、提高产量和效率的目的。采煤机作为煤矿生产机械化的重要设备之一，属于机械、液压和电气集为一体的大型复杂系统。近年来，我国采煤机行业发展迅速，截至 2010 年，全国采煤机生产企业多达 24 家，销量约 800 多台，产能约 1500 台。我国采煤机行业由于受计划经济时代的影响，行业竞争态势平稳，导致我国采煤机行业技术水平低，且生产产品单一。虽然近年来我国采煤机技术有了很大提升，但与国际采煤机生产巨头相比，我国采煤机生产企业在技术研发、产品可靠性和稳定性上仍存在明显差距，这一缺点在露天煤矿采掘设备方面更为明显。

采煤机设计包括结构设计和 CAE 分析等，其合理性是保障采煤机产品可靠性和稳定性、提高采煤机生产企业效率的重要因素之一。而我国采煤机整机及其零部件 CAE 分析结果的准确性和可靠性主要依靠设计专家的经

验和设计人员对软件的掌握程度,采煤机生产企业应用系统对采煤机 CAE 分析知识的需求是各自制定的,缺乏统一完整的知识定义和表示,知识重复存储,共享不便,致使采煤机整机及其零部件的设计周期长,效率低,缺乏国际市场竞争力。如何应用智能技术将分散于各个企业的采煤机设计分析资料、专家的设计经验和技术等资源规范统一表示,实现采煤机 CAE 分析知识资源的共享与重用,并合理利用知识资源实现采煤机整机及其零部件 CAE 分析的智能化,是采煤机现代设计方法的重要研究方向之一。

本书从采煤机零部件的结构特点出发,在面向服务思想的基础上,利用本体论对采煤机零部件 CAE 分析领域知识资源进行建模,通过对概念名、属性、结构、实例相似度的综合量化解决知识异构问题,建立结构-语义-属性-实例集成规则,完成采煤机零部件 CAE 分析资源本体的集成,实现采煤机零部件 CAE 分析资源的共享和重用,在此基础上,提出适用于采煤机零部件 CAE 分析的数据交换方法,最后构建采煤机零部件 CAE 分析服务模型,提出多 Agent 支持的服务方法,从而解决采煤机零部件智能 CAE 分析的关键问题,提高分析系统的分析效率。

本书得到山西省科技基础条件平台项目(项目编号 2010091014)和山西省重大科技专项项目(项目编号 20111101040)的资助。太原理工大学机械工程学院杨

兆建教授对本书内容的编写提出了指导性的意见，出版社的编辑对本书的出版提出了很多中肯的修改意见，在此一并感谢！

由于时间关系，书中错误之处，敬请读者批评指正。

作 者

2017年8月

目 次

1 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 采煤机网络化智能设计与分析研究的 背景与意义	1
1.3 国内外采煤机设计方法研究动态	3
1.3.1 采煤机现代设计方法	3
1.3.2 面向服务架构方法	6
1.3.3 资源建模方法	10
1.3.4 模型数据交换方法	15
1.4 小结	17
2 面向服务架构的采煤机零部件 CAE 分析模式	18
2.1 引言	18
2.2 传统 CAE 分析模式	18
2.3 面向服务架构的 CAE 分析模式	21
2.3.1 定义	21
2.3.2 服务构成	23
2.3.3 服务建模方法	24
2.3.4 采煤机零部件 CAE 分析模式	25
2.4 小结	27
3 采煤机零部件 CAE 分析资源模型构建	28
3.1 引言	28
3.2 采煤机零部件 CAE 分析资源特点与分类	28

3.2.1	CAE 分析资源特点	28
3.2.2	CAE 分析资源分类	30
3.3	采煤机零部件 CAE 分析资源建模	32
3.3.1	分析资源建模特点	32
3.3.2	本体理论	32
3.3.3	CAE 分析资源本体定义	37
3.3.4	CAE 分析资源本体构建	38
3.4	采煤机零部件 CAE 分析资源异构	43
3.5	采煤机零部件 CAE 分析资源本体映射方法	44
3.5.1	相似度计算	45
3.5.2	相似度权重系数	46
3.5.3	对比试验	48
3.6	采煤机零部件 CAE 分析资源本体集成	49
3.6.1	本体集成规则	49
3.6.2	本体集成过程	53
3.6.3	集成推理过程	53
3.6.4	本体集成实例及应用	56
3.7	小结	59
4	采煤机零部件 CAE 分析数据交换方法	60
4.1	引言	60
4.2	传统的数据交换技术	60
4.3	采煤机零部件 CAE 分析数据交换的要求	63
4.4	采煤机非壳体零件的数据交换方法	64
4.5	采煤机壳体零件的数据交换方法	68
4.5.1	模型分解	68
4.5.2	LOD 模型生成	75
4.6	采煤机零部件 CAE 分析对象引用方法	77
4.7	小结	81

5 面向服务架构的采煤机零部件 CAE 分析服务模型	82
5.1 引言	82
5.2 采煤机零部件 CAE 分析服务模型构建方法	82
5.3 采煤机零部件 CAE 分析模型	83
5.3.1 静力学分析模型	86
5.3.2 动力学分析模型	88
5.4 采煤机零部件 CAE 分析服务模型	93
5.5 分析模型到服务模型的映射	95
5.6 小结	99
6 面向服务架构的采煤机零部件 CAE 分析服务方法	100
6.1 引言	100
6.2 多 Agent 支持的 CAE 分析服务的必要性	100
6.3 多 Agent 支持的 CAE 分析服务过程及结构	101
6.3.1 多 Agent 的服务过程	101
6.3.2 多 Agent 分析服务中间件的结构	105
6.4 多 Agent 的分析服务求解	107
6.5 CAE 分析服务过程中的冲突与消解	108
6.5.1 冲突特点及类型	108
6.5.2 冲突消解方法	116
6.6 对比试验	120
6.7 小结	121
7 面向服务架构的采煤机零部件 CAE 分析服务系统	122
7.1 引言	122
7.2 系统总体设计	122
7.2.1 体系结构设计	122
7.2.2 功能模块设计	123
7.3 系统资源模块设计与实现	126

7.3.1 计算资源	126
7.3.2 数据资源	127
7.4 系统服务模块设计与实现	127
7.5 系统测试与应用	132
7.5.1 系统测试	133
7.5.2 系统应用	146
7.6 小结	150
参考文献	151

1 绪 论

1.1 引言

工业和信息化部装备工业司、工程机械工业协会发布的“十二五”规划中重点提及了加大技术改造力度，加强关键零部件攻关、共性技术研发等内容。在我国，高等院校及科研机构主要承担着技术改造及技术研发等重担，企业则承担着产品制造与销售等重担，企业在制造时很难从高等院校及科研机构及时获取有效的帮助。在此情况下，一种基于 Web 的 CAE 应用系统^[3]应运而生，此系统能够及时、快速地使企业与科研机构进行沟通，从而使企业及时获取所需要的信息，加快生产速度，并且此系统还能使得企业减少在科研方面投入的资金。将采煤机和基于 Web 的 CAE 系统联系起来，实现对不同采煤机不同零部件的分析研究，目前仍是现代采煤机研究方面的一个空缺。本书通过建立基于网络的学术交流服务平台，将采煤机的设计资源进行整合，完善了采煤机分析服务和 CAE 分析技术服务体系，为企业提供了 CAE 共享基础条件支撑和科研、设计、制造、设备运行分析的手段，从而提高了采煤机的质量和生产效率。

1.2 采煤机网络化智能设计与分析研究的背景与意义

对采煤机整体和零部件的设计与分析问题，企业一般均通过专业的软件来进行解决，但企业在使用专业软件方面存在很多的误区，这些误区主要包括对软件的盲目使用性和更新滞后性等。企业在选择专业软件时没有考虑企业的实际需求而是一味地与大公司相比、与国际接轨，一旦购买了专业软件就要求软件更新、更专、更全，这样就造成了大量的资源浪费。而对于中小企业来

说,其资金比较紧张,没有足够的资金购买最新的专业软件,使得中小企业与大公司之间出现技术的断裂,中小企业设计制造的零部件无法满足大型企业的要求,这样将影响企业的制造水平和产品的市场占有率。

鉴于上述情况,为了缩小中小企业和大型企业间的差距,提高采煤机的整体研究、生产水平,建立采煤机零部件 CAE 智能分析系统迫在眉睫。而现有的 CAE 分析方法不能完全满足采煤机零部件 CAE 智能分析的要求,主要体现在:

(1) 采煤机整机及其零部件的结构设计知识、维护与维修知识、CAE 分析知识等资料分散,没有实现有效的管理和应用。多数技术以书籍或文档形式保存,甚至以抽象的形式保存于专家的大脑里,知识资源管理的落后导致了采煤机零部件 CAE 分析知识的分裂,使得知识资源出现易流失和难共享等问题。

(2) 采用传统的 CAE 分析方法,主要依据专家的设计经验来进行设计分析,由于专家的个体差异性,导致采煤机 CAE 分析知识、结构名称等没有完整的描述,知识表示难以实现统一,致使采煤机的 CAE 分析缺乏科学的理论依据,不能满足采煤机零部件 CAE 智能分析的需求。

(3) 目前市场上面向对象、面向过程、面向功能的智能分析方法,虽能实现简单的智能分析,但是存在缺乏协调性、分析任务划分过细、分析时间过长、对设计人员的专业知识要求过高等缺陷。

因此,作者提出面向服务架构的采煤机零部件 CAE 分析方法,从采煤机零部件的结构特点出发,在面向服务思想的基础上,利用本体论对采煤机零部件 CAE 分析领域知识资源进行建模,以及通过对概念名、属性、结构、实例相似度的综合量化解决知识异构问题,建立结构-语义-属性-实例集成规则,完成采煤机零部件 CAE 分析资源本体的集成,以实现采煤机零部件 CAE 分析资源共享和重用,在此基础上,提出适用于采煤机零部件 CAE 分析的数据交换方法,最后构建采煤机零部件 CAE 分析

服务模型, 提出多 Agent 支持的服务方法, 从而解决采煤机零部件智能 CAE 分析的关键问题, 提高分析系统的分析效率。

本方法是在多种新型技术支撑下对传统 CAE 分析模式的一种根本改进。适用于采煤机零部件复杂结构特点的 CAE 分析, 该方法的研究意义重大, 主要体现在以下方面:

(1) 有助于采煤机 CAE 分析知识和技术的共享和重用。

面向服务架构的采煤机零部件 CAE 分析方法将专家的设计分析经验和知识, 以及分散的知识资源进行标准化表示, 构建了本体模型, 实现了采煤机 CAE 分析知识和技术资源的共享和重用。

(2) 探索了采煤机壳体类零件几何模型的数据交换方法。

深入分析采煤机壳体零件的几何形状及结构关系特点, 提出一种补模式-LOD 几何模型的数据交换方法, 为智能 CAE 分析系统提供技术基础, 为解决曲面零件以及更复杂零件几何模型的数据交换提供理论基础。

(3) 提高了采煤机零部件 CAE 分析的智能性。

通过二级映射方法, 将采煤机零部件 CAE 分析模型转化为基于面向服务架构的服务模型, 在多 Agent 技术的支持下, 实现了面向服务架构的采煤机零部件 CAE 分析智能化, 并采用基于特征依赖图的检测方法检测智能系统中可能出现的冲突, 通过自动协调和人机对话方式消除冲突。

1.3 国内外采煤机设计方法研究动态

1.3.1 采煤机现代设计方法

20 世纪 60 年代初, 日本及欧美国家学者对现代设计方法学进行了探索、研究和实践, 促使现代设计方法学得到飞速发展^[4]。将系统工程融合于现代设计方法学中, 实行人-机-环境系统一体化设计。该方法能有效利用动态分析方法, 实现动态设计分析; 实现设计过程和设计战略、设计方案和设计数据的选择等优化; 实现计算、绘画等计算机化。现代设计方法的特点主要

有程式性、创造性、优化性、综合性、系统性等。

由于国际市场的需求和客户对产品的外观、寿命、可靠性、生产周期等要求越来越高，以及新型技术的不断更新，以计算机与电子控制为代表的现代科学技术与产品设计及制造的相互融合，促使传统的设计制造技术演变为跨学科的集成化的现代设计制造技术。如今先进设计制造技术主要表现在集成化、柔性自动化，智能设计分析，网络协同，虚拟仿真制造等。现代设计技术是现代制造技术的关键，电子和 Internet 控制技术的不断更新，产品设计和制造模式也不断改进，人们对资源、自然环境的关心和对产品复合性能等功能方面的要求，将随之变化。现代设计技术的发展方向如下^[5]：

(1) 突变论是现代设计方法的关键技术之一，主要应用于定性的方案决策、系统设计。

(2) 现代设计技术的前提是具有高度综合性的信息论方法。它主要以信息的获取、变换、传输、处理等为主要问题，以预测技术法、信息合成法、信息分析法为常用方法。

(3) 系统法是从系统的整体角度对系统进行分析并用整体的观点去解决各个分支具体问题的方法。其中系统指的是具有特定功用的、相互联系又相互制约的一种有序整体。设计方法主要有模式识别法、系统分析法、逻辑分析法和系统辨识法等。

(4) 离散论方法是现代设计方法细解的精细设计，主要有有限元法、子模态分析法、离散优化及其他离散数学技术法等。

(5) 智能论方法是现代设计的核心，应用智能理论可实现计算机求解、设计、控制等^[6]。

(6) 控制论法重点研究动态信息与控制、反馈过程，以使系统在稳定的前提下正常工作。常用的方法有动态分析法、柔性设计法、动态优化法等。

(7) 对应论法是以相似或对应模型作为思维、设计方式的科学方法。常用的方法有科学类比法、相似设计法、模拟设计法等。

(8) 模糊论法是将模糊问题量化求解的科学方法,主要用于模糊性参数的确定、设计方案的综合性能评价等方面。常用方法有模糊分析法、模糊评价法、模糊控制法等。

由于将上述现代设计理论引入采煤机整机及其零部件的设计分析中,可大大节省设计时间、提高采煤机的设计和制造水平,因此,成为国内外采煤机领域专家、学者研究的热点。美国宾夕法尼亚州立大学的 Somanchi、Sriradha^[7] 等人构建了采煤机及滚筒数据库,为滚筒的设计提供了可靠的理论依据。伊朗哈马丹科技大学的 Hoseinie、Seyed Hadi^[8] 对采煤机滚筒可靠性现代设计方法进行了研究。我国辽宁科技大学的李丽娟^[14-15] 和太原理工大学机械工程学院的杨兆建^[9-11] 等人则对采煤机智能设计系统、可靠性、优化设计等进行了研究。目前,常用的采煤机现代设计方法大致有:

(1) 数字化采煤机设计法。数字化的采煤机设计需要对采煤机的确定性和非确定性变量进行描述和构建数学模型,非确定性变量包括:工作载荷的随机变量、随机过程、专家经验的模糊变量等。应用数学模型解决在不同工况下采煤机整机及其零部件的可靠性、疲劳和故障诊断问题,为后续的动态设计提供必要的理论依据^[12]。

(2) 智能化采煤机设计法。智能化的采煤机设计主要包括:研究和完善采煤机类型和零件的设计经验、设计手册、国内外设计动态等知识和技术;研制智能建模、分析等专用功能的高级软件(如研制模糊信息、现场分析数据、市场信息的获取和表示技术,智能 CAD/CAE 专用平台和应用软件等)。目前采煤机智能化设计系统方法包括面向知识工程^[9-11]、面向本体^[13]、面向服务等方法。设计知识库的建立以及信息的获取方法包括模糊论、规则论、离散论等。

(3) 采煤机优化设计法。采煤机优化设计主要包括多维无约束优化、多维约束优化、多目标优化和离散变量优化等优化方法^[14-15]。

(4) 基于 Web 的采煤机并行设计及协同设计法。由于该方法使用了 Internet、Web 和可视化等技术,从而实现了处于不同地域的设计成员在网络共享的条件下协同设计、相互交流、分工合作、并行开发,从而大大缩短了采煤机的开发周期,提高了采煤机的综合性能,降低了设计成本。该设计方法的实现需要多学科多领域的专业人员参与,包括概念设计人员、详细设计人员、制造加工人员及用户等。

(5) 采煤机虚拟设计技术和仿真虚拟试验方法。基于 Internet 的 CSCW 技术、CAD/CAE 集成技术、知识获取与表示、网页设计、虚拟现实技术和分析服务管理技术融合于一体,实现采煤机设计分析的虚拟化。该方法首先构建采煤机整机及零部件的仿真模型,利用计算机仿真和 CAE 分析软件对各种工况进行分析,得到量化受力和变形等情况,最后制作采煤机的物理样机。

1.3.2 面向服务架构方法

1996 年 Gartner 最早提出了面向服务架构 SOA 这一概念,顾名思义,SOA 是面向服务的架构,是技术应用和业务构架的综合体现。至今 SOA 还没有一个统一的被学者们广泛认可的定义。SOA 通常被认为是一种组件模型^[20-21],通过“服务”间设定的接口技术和协议,将应用程序中各种功能的“子服务”联系起来。如图 1-1 所示为 W3C 发布的 Web 服务架构 SOA,基于两种基本角色和一个可选的服务注册中心^[22]。诸多学者、专家和机构对 SOA 从不同的研究方向进行了详细描述,具有较大影响力的描述如下:

IBM 认为:SOA 是一种 IT 体系结构风格,这种结构增加了企业信息和业务之间的联系,将企业业务转换为一组相互联系的服务或可重复性的任务,以面向服务为原则实现系统之间的联系,通过 Web 可以在需要时调用系统提供的服务,从而在随机改变客观条件和用户需求下,使服务具有快速响应能力^[23]。

Oracle 认为:以 SOA 为基础,企业可以享用可重用的、有针

对性的业务流程和服务，从而增强企业的运作能力和业务能力。SOA 具有良好的更新能力、智能交互性和高度可集成能力^[25]。

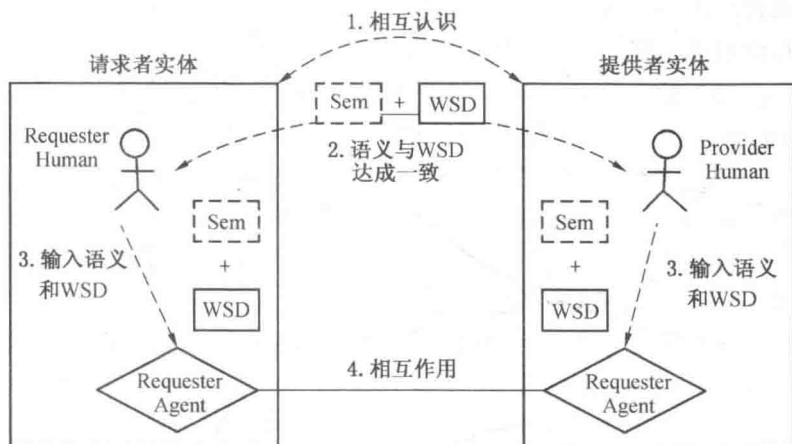


图 1-1 Web 服务的架构 (SOA)^[154] (2004 年 2 月 11 日由 W3C 发布)

OASIS 认为：SOA 表示一系列服务已知的、企业级的分布式计算的最优实践原则和模式，其关键技术表现在网络传输、服务描述、互操作标准、业务流程、协同、集成、工作流程建模和其他支持敏捷编程的标准化^[26]。

文献 [27] 给出了 SOA 的定义：多个服务的集合，即服务之间利用单一的信息传输，或者是若干个服务协调完成特定的功能。因此，服务就是精准定义、封装完好、独立于其他服务所处环境和状态的函数 (Service-Oriented Architecture Definition)^[27]。

文献 [28] 定义 SOA：按需要将资源连接的系统，其他成员可以利用 Internet 通过规定协议随机使用服务，因此面向服务构架使得资源的松耦合关系更加灵活^[28]。

SOA 模型一般包括服务提供者 (service provider)、服务请求者 (service requester) 和服务代理 (service broker) 三种角色，如图 1-2 所示。

(1) 服务提供者：根据接口契约来发布可提供的服务，并

且对使用服务的用户请求做出快速响应。

(2) 服务请求者：服务请求者 (service requester) 是一个应用程序或一个软件模块，利用服务代理 (service broker) 搜索查询服务，根据协议来使用服务功能。

(3) 服务代理：注册与发布系统服务及其提供者 (service requester)，将所提供的服务完成分类，并能实现搜索服务功能。

(4) 发布：使服务提供者 (service requester) 可以向服务代理 (service broker) 注册自己的功能及访问接口。

(5) 查找：服务使用者 (service requester) 可以通过服务代理 (service broker) 查找特定服务。

(6) 绑定：使服务使用者 (service requester) 能够调用或激活服务。

(7) 服务描述：声明接口特征和各种非功能特征 (如安全要求、事务要求等)，以此来帮助服务使用者 (service requester) 搜索特定服务的提供者 (service requester)。

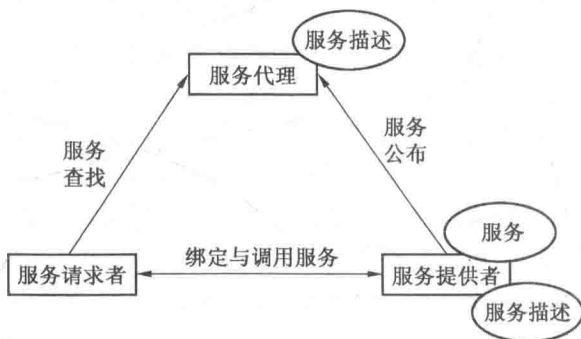


图 1-2 面向服务的体系结构 (SOA)^[21]

毛新生在文献 [30] 中给出了如图 1-3 所示的概念层次，其将功能方面所涉及的对象、组件、数据、界面、业务流程等要素按照服务的提供者和消费者角度进行层次划分，并提出了安全构架、集成构架、数据构架、服务管理和智力等不同的