

数学模型与数值模拟在铸造充型过程的应用研究

——评《铸造充型凝固过程数值模拟系统及应用》

铸造工艺在现代制造业、冶炼业、压延加工业中占据重要地位，其工艺基本原理是指将金属液注入到特定铸型当中，通过冷却、凝固、修整、清理等工序之后形成符合标准（尺寸、形状、性能）的铸件。基于铸造工艺形成的成品、半成品要确保质量，除了需要考虑铸型材料、铸造方法、铸造工序等，最重要的是确保金属液的充型能力，即金属在液态下能够有效充满铸型内腔，以此确保成形后的铸件轮廓清晰、尺寸精准。中国是铸造工艺起源较早的国度，华夏匠人于3000年前就铸造出了举世闻名的青铜器，但在现代工业范畴内，中国铸造业面临“大而不强”的困境。周建新等人编著的《铸造充型凝固过程数值模拟系统及应用》（机械工业出版社出版，2020年6月版）一书，以铸造充型凝固过程数值模拟系统为切入点，全面且深入地分析了数学模型与数值模拟在铸造充型过程的应用，对于促进我国铸造业创新发展具有重要现实意义。总览全书，主要有以下三大特色。

一、采用双线叙事结构，保障理论框架与实践应用的对称

全书内容由“铸造充型凝固过程数值模拟理论”与“铸造充型凝固过程数值模拟应用”两部分构成，具有逻辑架构清晰、内容布局合理等特征。依据两部分研究内容差异，本书采用了双线叙事结构，“上篇”中重点介绍铸造工艺数学模型、数值模拟的方法，几乎将国内外主流的理论知识都展现出来，可谓“体大而虑周”。在“下篇”中重点介绍铸造充型凝固过程中数学模型、数据模拟软件的应用，作者筛选了具有我国自主知识产权的“华铸CAE系统”作为实现工具。至此，从表面上看，该书存在“理论框架”和“实践应用”相脱节的问题，但细究可发现该书内容层面处理得当，保障了理论框架与实践应用的对称。例如，上篇“铸造数值模拟技术概述”内容，与下篇“华铸CAD/CAE一体化模块”内容是高度对称的，前者列举出的数值模拟技术，在后者“数据类型选择”中均有体现。整体而言，采用双线叙事一大优势在于，能够避免学习者陷入定势思维，因为理论是抽象的、应用是具体的，这一点在工科类著作中表现得很突出，以抽象理论直接关联具体应用，就容易出现“依赖工具”的问题，事实上，数学模型与数值模拟在铸造充型过程的应用不限于某一种软件系统（如华铸CAE）。

二、侧重具体方法指导，促进数学模型与数值模拟的统一

“方法”是本书的一个关键词。本书所筛选的

“方法”在教育领域、产业领域均有代表性，如数学模型构建方法中的“流动方程求解法”“流动前沿追踪方法”“SOLA-VOF方法”等，以及数值模拟方法中的“有限差分法”“有限元法”“有限体积法”等。侧重具体方法指导，有利于促进数学模型与数值模拟的统一，书中提供了大量数学模型与数值模拟相融合的案例，如基于华铸CAD系统实现的铸型型腔二次开发，主要模块中涉及的“数据库”“温度载荷智能加载”“缺陷判定”等功能，可通过连续方程数学模型与ANSYS-APDL数值模拟融合方式实现。此外，本书充分考虑了铸造充型凝固过程的复杂性，在分析数学模型与数值模拟应用过程中，提供了大量的图像、示意图、数据表等，在数学模型设计方面给出了关键步骤，如“4.5.1型壁冲击力数学模型”设计中，本书详细列出了动量守恒方程下的三个速度分量表达式，进一步将其纳入到数值模拟算例中，提供了不同参数下铸型型壁的冲击力示意图。

三、具备明显系统思维，构建完整铸造充型凝固实现过程

本书在分析铸造充型凝固过程数值模拟系统时，作者自身也具备明显的“系统思维”，书中基于华铸CAE软件构建了一个完整的实现过程，这样即便读者是“从零起步”，也能够迅速理清学习思维、抓住关键点。具体而言，整个系统流程可归纳为“系统说明→系统安装→系统运行→系统操作”，其中“系统操作”是本书重点突出的部分，进一步可以划分成“软件操作”“模块操作”“案例操作”三部分，而作者突出“操作”的意图非常明显，就是为了确保数学模型、数值模拟在铸造充型过程得以充分应用，以及进一步增强全书的实战型价值。

同时，数学模型与数值模拟在“系统操作”环节得到了充分展现。华铸CAE是完全国产化的系统，主要应用在国内铸造工艺分析及优化工艺流程等方面，该软件中提供的“高压铸造计算”“低压铸造计算”“后处理数学模型”等，都比较契合中国工业的应用环境。书中重点介绍了“华铸CAD/CAE一体化模块”，该模块中提供了多种模拟类型可供选择，配合砂型铸钢件、球墨铸铁件、铜合金铸件、压铸件等具体事例，有助于学习者快速掌握数学模型设计与数值模拟规律。

（陈志伟，董萍萍，重庆传媒职业学院；
刘涛，西南大学）