

流体仿真在物理分选中的应用

卢东方 刘振强

中南大学资源加工与生物工程学院

DOI:10.12238/mef.v4i11.4239

[摘要] 矿物的分选是资源利用系统的重要一环,并且物理分选在矿物加工中占有重要的地位。但在物理分选的设备研发、以及知识传授中,由于矿浆流中的混沌状态导致颗粒之间的分离状态难以观测与描述,导致该部分信息传达效率低下,实际状态难以被科研人员探测,并且难以用准确的语言进行描述与传递。但随着高算力计算机的普及以及流体力学模拟计算仿真技术的发展,使得越来越多的科研工作者可借助个人计算机进行物理分选多相流的模拟仿真计算,并可得到不同时刻不同相的各种信息,用这种方法来实现高效地观测、预测以及信息传递。

[关键词] 矿物加工;物理分选;计算流体力学

中图分类号: TD923

文献标识码: A

Application of Fluid Simulation in Physical Separation

LU Dongfang, LIU Zhenqiang

School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University

[Abstract] Mineral separation is an important part of resource utilization system, and physical separation plays an important role in mineral processing. However, in the research and development of physical separation equipment and knowledge transmission, it is difficult to observe and describe the separation state between particles due to the chaotic state in the slurry flow, resulting in low efficiency of information transmission, and the actual state is difficult to be detected by researchers and difficult to be described and transmitted with accurate words. More and more scientific researchers can use personal computers to simulate and calculate physical separation multiphase flow, with the popularity of high-performance computer and the development of computational fluid dynamics. And all information of different phases and different time can be gotten from the results of calculation. Efficient observation, prediction and information transmission can be realized by simulation calculation.

[Key words] minerals processing; physical separation; CFD

在世界巨茂的版图中,中国自古地大物博,蕴藏着极为丰富的矿产资源。这些资源经开采、分选后可用于制成各种材料。矿物分选是利用矿物的物理或者物理化学性质的差异,借助各种矿物分选设备将矿石中的有用矿物和暂无法利用的脉石矿物进行分离,从而富集有用矿物。矿物加工技术研究的即是如何更高效经济的对有用矿物进行富集,这是一门分离、富集、综合利用矿产资源的技术科学。根据矿石类型以及产品要求的差异,在实际生产中主要采用的选矿方法可分为“重、磁、电、浮”四种

方法,其中“重、磁、电”均为物理选矿方法。重选与磁电选是一门关于依据矿物之间密度、磁性、导电性等的差异,对矿物进行分选的理论与实践的课程,其中心任务是客观而系统地介绍实现分选所需要的科学技术和典型的生产工艺。

而在学习中,颗粒群中不同性质颗粒的运动轨迹、速度,以及颗粒在分选区域的分布状态仅能依靠相关书籍中复杂的计算公式、静态抽象的图片来进行构建与刻画,每个人的空间想象能力各有差异,一知半解的结果将导致对专业知识认知的偏差。除此之外,在混沌的

浆料中难以实时探测某一位置准确的浓度、密度、品位、粒度分布,以及流体的流向、流速等具体信息,而仿真计算可较好的解决这一问题,培养学生利用模拟仿真计算解决在实际工况中的问题,可大大提高学生的专业能力。新的分选装备的初步制作一般会进行多次的结构方面的改进与优化,才能得到一适宜实验室使用的研究装置,但分选装备的初步制作与多次改进都需耗费大量的资金。所以在学生进行装备设计时,若能熟练的使用流体计算模拟仿真软件对所设计的装置进行初步的计算与分析,

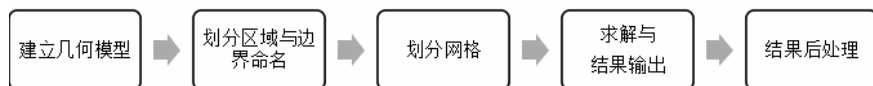


图1 CFD 计算流程

可大大减少相应的开支。并且随着计算机技术的发展,现个人电脑既有相当可观的算力,已经可以进行基础的流体计算。所以将模拟仿真计算引入到本科生与研究生的教学中的条件已然充分,并且该课程的进行是重要的也是必要的。

1 CFD简介

计算流体力学(Computational Fluid Dynamics)萌生于上世纪五十年代,其随计算机技术的进步而蓬勃发展,在计算量与计算内容上突飞猛进,该学科涵盖但不限于数学、流体力学、物理学、计算机学,其通过计算机的巨大算力通过数学中的数值分析方法计算流体力学或者物理学中的各种控制方程,对流体中的动量、体积、传质、传热等现象进行数值仿真,从而对流体流动、化学反应、热量传递等物理化学现象进行定量、定性分析。进入二十一世纪之后,计算机技术得以更加飞速的进化发展,算力呈指数增大,通过计算流体力学能解决的问题更加全面与尖端,其也被广泛的应用于航天、化工、汽车、矿业等诸多领域。该技术帮助人们分析并显示流场中的各种现象,大大的缩短了求解时间,可以更快的对流场进行预测。有了的模拟技术的帮助,人们不仅可以更容易的理解流体力学问题,还可以为流体实验进行指导,并且还可以对设计提供支持,节省了很多人力物力成本,缩短了研发时间,提高了效率。

进行计算模拟仿真大致可分为三部分操作,分别是前处理、求解器、后处理,现常用的计算流体力学软件包ANSYS的计算流程如图1所示。

由此可见,利用CFD对设备的选别过程进行仿真计算,可在几何模型的建立中使学生亲身体验分选设备各个重要部件的组成结构与分选区域的分布;在区域划分与边界命名中学习分选设备内部各区域的功能,以及给料、给水、产品排出的方式方法;在边界设置中学习选

矿设备运行的环境条件、矿浆出入口的参数;在后处理中可直接获取分选设备中浓度、密度、速度、压力等各种参数的云图、流线、矢量线等各种信息。

2 CFD在物理分选中的应用

传统的选矿知识的教学主要是通过文字描述、简化后的图片、复杂冗长的公式来获得。但由于在分选设备中矿物颗粒与流体的运动、分布特性极为复杂,理解不同性质的矿物颗粒的松散—分层—分离—分选,而实际设备规模庞大,基本都以钢铁铸成,难以窥探其内部的运行状态。即便是使用透明材料制成的模型装置,遮光度过强的矿浆原料、粒度极细的矿物颗粒也无法实现颗粒运动的可视化。这是困扰教学的难题。

模拟仿真可计算每个网格节点处的所有物理量信息,并以图像乃至动画的形式呈现在荧幕上,可实现粒子运动轨迹、流体流动轨迹、速度云图变化、体积分数分布等相关信息的可视化,可更生动、直观的让学生学习到来自个人操作过程与结果中的选矿过程的相关知识。以下本文将以课程中较为苦难的三个案例为例,说明如何在矿物加工授课过程中引入模拟仿真计算。

2.1 旋流器

在水力旋离器中,水流流动速度较大,颗粒在其中的运动速度较大,旋流器中流体的分布复杂,传统教学仅能依靠书籍中的速度等高线二维剖面图进行讲解,颗粒分布与运动状态更为抽象,需要学生有极强的空间想象能力。在进行旋流器的教学中,利用建模软件对旋流器进行三维模型构建,展示出设备内部的主要结构,利用三维模型具象的刻画各个结构如溢流口直径、椎体角度、长度等对产品的浓度、粒度、品位等参数的影响。并模拟仿真计算结果,可观测在不同位置、不同时刻处旋流器中水流方向、速度、流线的分布,以及颗粒在分选区域内的运动状态,并可根据保

存的数据进行动画的制作,这种三维立体的动画中,可自主选择观察的角度,更便于对分选过程的理解。图2显示了在不同角度观察旋流器中的颗粒的具体位置,从图3可见在旋流器中水流运动的流线图、体渲染图、云图,以及压力云图,从图4的流速矢量图中可以得知任意位置处水流的方向与大小。

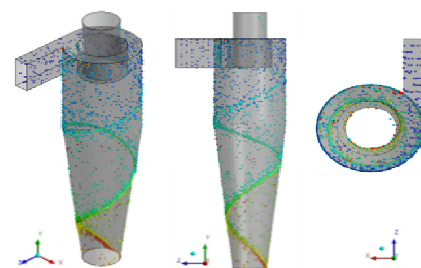


图2 颗粒在旋流器中的分布

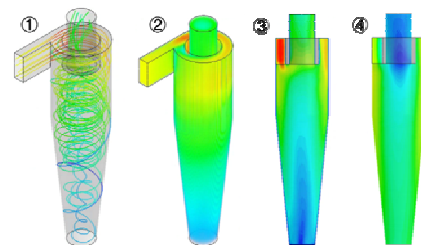


图3 旋流器中的水流速度

①流线图;②体渲染总览;③体渲染左视中心剖面;④体渲染正视中心剖面

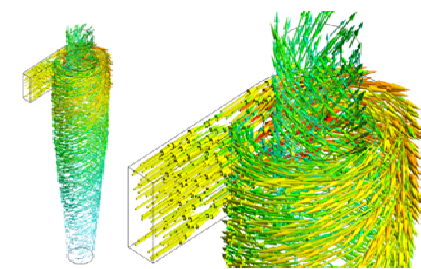


图4 旋流器中水流速度矢量图

2.2 气泡在流化床中的运动行为

气固流化分选是新兴的一种分选方法,由于其选用空气代替液态水作为流体来实现颗粒群的流化与分散,可去除后续的占地面积较大浓缩设备。脉动气固流化床可为分选床层提供强制振动的脉动气流,可减少分选床层中物料的沟流与短路情况。现对于脉动流化床的研究中,气泡特性是其中一个重要的研究方向,但在教学中,如何讲解气泡在细颗粒群中的形变、位移、合并等运动状

态是十分复杂且难以想象的。

在进行该部分的讲解时,可利用CFD中的多相流中的VOF模型对气泡的运动情况进行计算与刻画。如图5、图6所示,经过实际操作之后可计算得到气泡在流化床中每个时刻的状态、形状,除此之外,每个时刻处的气泡周围的颗粒的运动速度、方向也可以从计算结果中输出得知。这种云图、矢量图的展现方式更加的形象、更利于学生理解气泡、颗粒的各种运动行为。

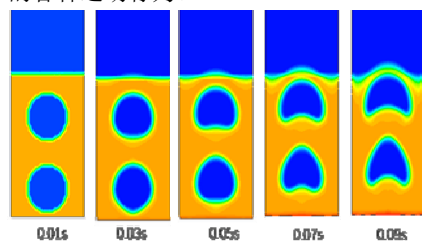


图5 气泡在流化床中的分布状态

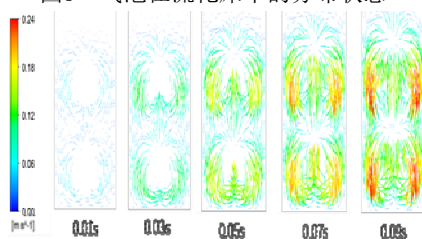


图6 气泡周围流体的运动矢量图

2.3 流化床中不同密度颗粒的分离

在煤炭分选中,2-0.25mm的粗煤泥常用液固流化床法分选,这种分选方法的原理是利用不同颗粒在干涉沉降条件下的沉降速度差异实现颗粒的分选。在流态化水的曳力作用下,颗粒群在分选床层中沸腾、置换、分层、沉积。但颗粒、流体在不同位置、不同时间的具体分布、运动状态难以进行刻画与描绘,细微的条件差别,如颗粒粒度、浓度、流体速度等将导致流态化床层中的颗粒分布差异巨大。如何更好的展现条件差别带来的状态差异、更好的描绘这种状态分布,输出这种流态分选的理论、理

念等知识在这部分的教学中值得深思。在对这部分的教学,可利用CFD模拟仿真计算构建流化床分选体系中的颗粒、流体的运动与分布状态,如图7、图8所示,可以得知在不同时刻,不同位置颗粒的体积分数,以及流体如何透过颗粒群向上迁移,直观的显现出流体在固体颗粒中分布的均匀性。除此之外,在不同时刻,不同位置处流体与固体相互耦合的作用下各自的运动方向、速度也可以实现准确直观刻画。

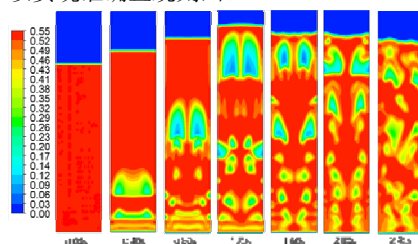


图7 流化床中颗粒分布云图

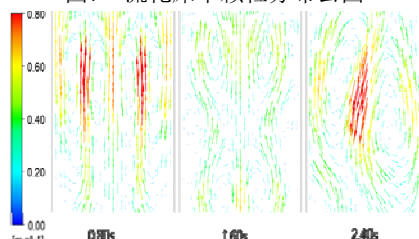


图8 流化床中流体速度矢量图

3 结语

CFD用于物理分选的模拟计算,能较好的计算出分选设备中气、液、固三相的运动行为。可提高学生对所使用设备结构的认识,使学生能更准确清晰地在课堂学习、自主实验、生产实践中理解矿物分选的原理,设备运行的方法,加深学生对专业的认知。通过教学改革,不仅改变了教学方式也改变了学习方式,提高了学生学习的积极性和学习效率。并且,更真实、立体的模型与结果的输出可极大的提高学生的兴趣。不仅如此,学生通过对物理分选中流体仿真的学习与掌握,可将流体仿真知识运用

到生活周边、各行各业中,将该课程的学习从被动接受变为主动进行的一次沉浸式体验。

基金项目:

2021年度中南大学研究生教育教学改革研究项目【一般项目】拟立项目《虚拟仿真技术在物理分选课程水力分级教学中的探索与实践》。

[参考文献]

[1]陈甲斌,霍文敏,冯丹丹,等.中国与美欧战略性(关键)矿产资源形势分析[J].中国国土资源经济,2020,33(8):9-17.

[2]国土资源部.全国矿产资源规划(2016-2020年)[R].北京:国土资源部,2017.

[3]王淀佐,邱冠周,胡岳华.资源加工学[M].北京:科学出版社,2005.

[4]胡岳华,冯其明.矿物资源加工技术与设备[M].北京:科学出版社,2014.

[5]谢广元.选矿学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2012.

[6]王福军.计算流体动力学分析软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.

[7]胡坤,李振北.ANSYS ICEM CFD工程实例详解[M].北京:人民邮电出版社,2014.

[8]王海彦,刘永刚.ANSYS Fluent流体数值计算方法与实例[M].北京:中国铁道出版社,2015.

作者简介:

卢东方(1982--),男,汉族,河南焦作人,副教授,博士生导师,研究方向:基于复合力场、流化床理论进行低品位矿高效预处理、预选设备的研究。

刘振强(1995--),男,汉族,河北沧州人,博士研究生,研究方向:细粒、超细粒矿物的复合力场物理预选设备的试验与理论研究。