膏体充填管道输送数值模拟与分析

王新民 丁德强 吴亚斌 张钦礼 卢央泽
(中南大学·长沙 410083)

摘 要: 首先介绍了膏体充填技术的基本情况, 接着提出了 FLOTRAN CFD (计算流体动力学) 的基本分析过程, 在建立管道几何模型和提出膏体充填管道输送的基本假设的基础上, 运用 ANSYS 软件中的 FLOTRAN CFD 模块进行模拟分析。通过改变荷载或参数, 对 FLOTRAN CFD 进行重启动, 得出一系列结果, 符合科学基本规律, 说明了该方法的科学性和有效性。

关键词: 膏体充填 数值模拟 阻力
中图分类号: TD825.6 **文献标识码**: A **文章编号**: 1004-4051 (2006) 07-0057-03

NUMERICAL SIMULATION AND ANALYSIS OF PASTE BACKFILLING WITH PIPING TRANSPORT

Wang Xinmin Ding Deqiang Wu Yabing Zhang Qinli Lu Yangzhe
(Central South University · Changsha 410083)

Abstract: At first, the basic circumstance of the paste backfilling technology is introduced, then it puts forward the basic analysis process of FLOTRAN CFD (calculation of flow dynamics). At basis of building up piping models and putting forward the basic assumption, imitate and analyze the flowing in the pipe with FLOTRAN CFD of the ANSYS software. At last, change loads of the flow or parameter, start the FLOTRAN CFD again and get a series of results, the data match basic regulation of scientical theories, which shows the science and effectiveness of this method.

Key words: Paste backfilling Numerical simulation Resistance

1 引言

膏体充填技术自 20 世纪 80 年代初于德国普鲁萨格金属公司巴德格隆德 (Bad Grund) 铅锌矿成功试用后, 相继在美国、加拿大、澳大利亚和南非等许多国家应用起来[1,5]。经过不断地研究探索与矿山实践, 该理论技术已逐渐成熟, 日益引起注意和重视。

将一种或多种充填材料与水进行优化组合, 配制成具有良好稳定性、流动性和可塑性的牙膏状胶结体, 在重力或外加力 (泵压) 作用下, 以柱塞流的形态输送到采空区完成充填作业的过程, 叫做膏体充填[2]。膏体充填系统有一系列优点, 如可使用全尾砂、充填体不需脱水, 因而井下无充填污染, 也节省了排水费用, 充填体强度高且水泥消耗量少, 充填体易于接顶, 有利于采场稳定和采矿作业安全等等。但该技术方法也存在一些缺点, 如充填系统投资高, 充填倍线要求大或需大功率泵送设备, 充填管道容易堵塞等等[3]。因此, 如何克服以上缺点, 既要避免高压带来的高流速造成对管道的冲击和磨损, 又要避免压力小而流阻大造成的充填管道堵塞, 最关键的问题就是要解决管道阻力损失与膏体自重加速 (甚至泵压) 之间的平衡问题。

在矿山膏体充填中, 管道阻力损失的大小是影响整个膏体充填管道输送系统工艺正常运行最主要的因素, 运用合适的数值模拟方法, 对膏体充填管道输送进行模拟, 对其进行定性研究, 可以得到管道输送的阻力损失值, 根据所得结果对充填工艺进行改进, 这样可使设计更为完善。本文就是运用 ANSYS 软件中 FLOTRAN CFD (计算流体动力学) 模块对膏体充填管道输送, 进行数值模拟和分析。

2 ANSYS FLOTRAN CFD 简单介绍及其分析

ANSYS 软件由世界上最大的有限元分析软件

收稿日期: 2006-01-16
作者简介: 王新民 (1957-) 男 中南大学资源与安全工程学院教授 长期从事采矿工程和安全技术教学与科研工作
丁德强 (1982-) 男 中南大学资源与安全工程学院 硕士研究生 研究方向: 采空区充填工艺

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

公司之一的美国 ANSYS 公司开发出来的，它是融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的大型通用型有限元分析软件[4]。目前已广泛应用于机械、汽车、土木工程、海洋工程、地质、石油化工、生物等诸多领域。ANSYS 软件中的 FLOTRAN CFD 分析功能，是一个用于分析二维及三维流体流动的先进的工具，可解决一些弯管中流体的复杂的三维问题。

本文的 FLOTRAN 分析过程，采用如下七个主要步骤：确定问题的区域；确定膏体流动的状态；建立有限元模型及生成网格；确定、施加边界条件；设置 FLOTRAN 分析的参数；求解与反馈；检查、分析结果。

3 充填管道的几何模型及定性分析的基本假设与前提

3.1 充填管道几何模型的建立

基于 ANSYS 软件的一些局限性和矿山充填管道输送的复杂条件，在定性分析中，管道的几何模拟可以简化成如图 1 所示。管道竖直段为 20m，水平段为 30m，几何倍线 2.5，两段成 90°，管道内径为 125mm，采用内径为 125mm 的直角弯管连接。

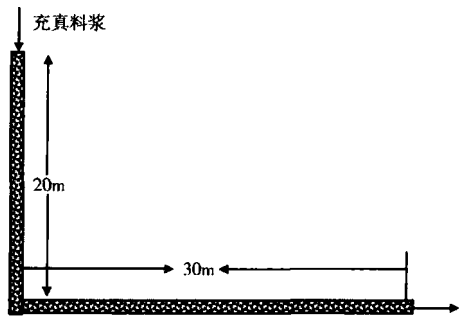


图 2 充填管道几何模型示意图

3.2 FLOTRAN CFD 分析的基本假设和前提

矿山充填管道浆体输送工艺及其力学结构的复杂性，决定了当前尚无法求得管道输送问题的精确解，为了便于建模和分析计算，作出如下假设：①粘性浆体具有恒粘性，不随温度、时间的变化而变化；②浆体为非牛顿流体，其流变模型近似于宾汉姆体；③不考虑热交换；④不考虑振动、地压波等对管道输送的影响。

4 载荷的施加及分析结果

4.1 载荷的施加

在本次 FLOTRAN 分析中，对管道施加四种载荷。第一种是给定膏体在管道中的进口速度；第二种是对管道壁施加无滑动位移边界条件；第三种是在给定矿山井下通风条件良好的情况下，管道出口的气压与井上管道进口的大气压相等，即相对气压为零；第四种是重力载荷，即在垂直负方向上的重力加速度。在计算中施加的载荷，将不随单元方向变化而改变，始终保持它们最初的方向，表面载荷作用在单元表面的法向。

4.2 FLOTRAN 分析结果

(1) 分析过程中的收敛监测量

各个自由度的收敛监测量，这些自由度包括：速度（VX、VY）、压力（PRES）、紊流动能（ENKE）、动能耗散率（ENDS）。在分析初始阶段出现了振荡，但收敛监测量的逐渐减小，都趋于收敛（图 2），证明模拟结果较为可靠。

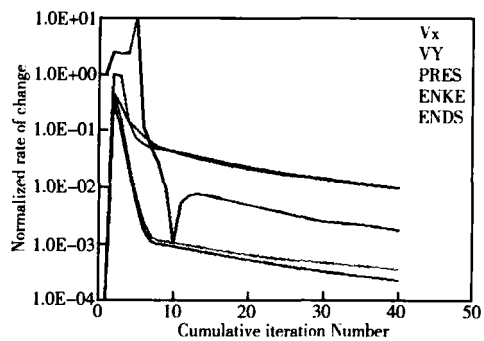


图 2 各自由度收敛监测量值

(2) 流速分析

管道沿程流速除出入口、弯道处发生变化外，基本稳定在 2.86～3.22m/s（图 3），管道断面流速除靠近管壁部分（25mm 内）呈现较大梯度外，分布基本均匀，呈现结构流特点（图 4）。但在弯管处沿管道截面，流速有较明显梯度分布，自弯管外侧向内侧流速逐渐加大（图 5 和 6）。浆体到达出口时，流速放缓（图 7）。

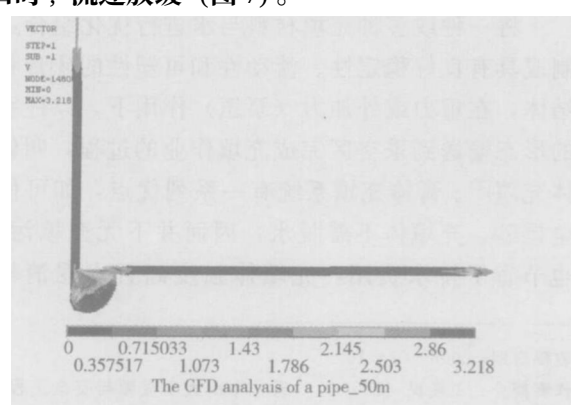


图 3 管道沿程流速

(3) 压力分析

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

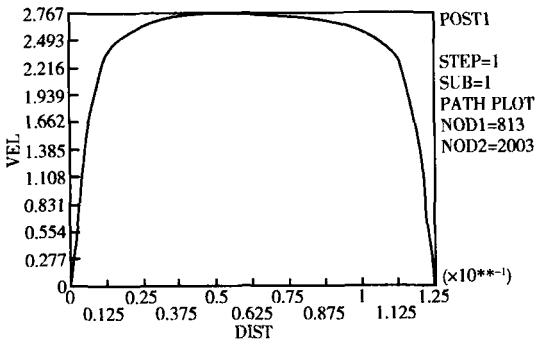


图 4　直管道断面流速分布图

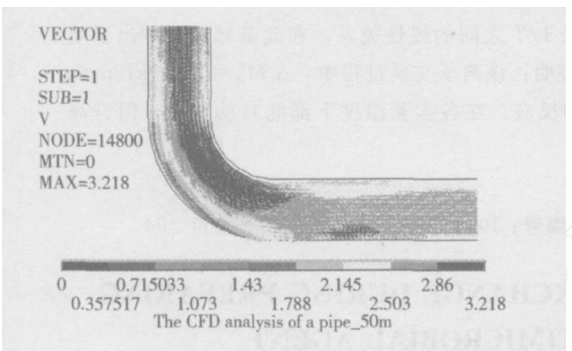


图 5　弯管部分流速变化图

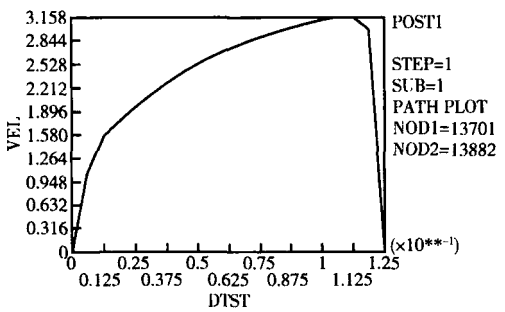


图 6　弯管断面流速分布图

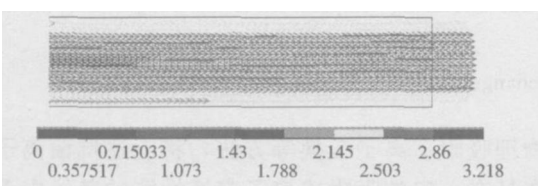


图 7　管道出口部分流速变化图

由于出口压力值为 0，故进口的压力即为整个管道输送的阻力损失值。如图 8 所示，管道进口过直径截面的压力相差较小，最大值为 56593. 95Pa，最小值为 56407. 03Pa，最大值与最小值相差约 190Pa。

(4) 改变载荷或参数后的分析结果比较

倍线对阻力损失的影响。表 1 为不同管道长度

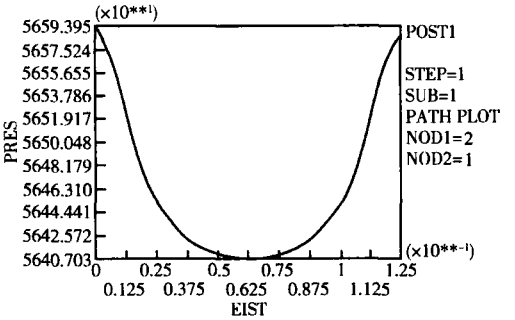


图 8　管道进口断面压力分布图

(垂直管道维持 20m) 阻力损失的变化值。从表中可以看出，在垂直高差一定的条件下，水平管道越长（即充填倍线越大），阻力损失越大。

表 1　管道长度与阻力损失的关系

管道总长度 m	管径 mm	进口速度 m/s	密度 kg/m³	有效粘度	阻力损失 kPa
30	125	2. 6	1640	0. 118	33. 87
40	125	2. 6	1640	0. 118	45. 29
50	125	2. 6	1640	0. 118	56. 59

管径对阻力损失的影响。管径对阻力损失影响的数值模拟结果（表 2）表明，阻力损失随管径增大而减小。

表 2　管径与阻力损失的关系

管径 mm	总长度 m	进口速度 m/s	密度 kg/m³	有效粘度	阻力损失 kPa
125	50	2. 6	1640	0. 118	56. 59
152	50	2. 6	1640	0. 118	38. 66
178	50	2. 6	1640	0. 118	26. 85

流速对阻力损失的影响。流速对阻力损失影响的数值模拟结果（表 3）表明，阻力损失随流速增大而增大。

表 3　流速与阻力损失的关系

流速 m/s	管径 mm	总长度 m	密度 kg/m³	有效粘度	阻力损失 kPa
1. 2	125	50	1640	0. 118	15. 09
2. 0	125	50	1640	0. 118	35. 74
2. 6	125	50	1640	0. 118	56. 59

浆体密度对阻力损失的影响。浆体密度对阻力损失影响的数值模拟结果(表4)表明,阻力损失

(下转第 66 页)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

浸出条件：L/ S = 1. 1/ 1，浸出 24h，矿石预处理，添加剂量为矿石量的 0g、0. 2g、0. 4g、0. 6g、0. 8g，矿量为 100g，粒度为 95 %～40 目。

表 8 助浸剂对浸出的影响

助浸剂量	0	0. 2	0. 4	0. 6	0. 8
浸出率 %	84. 2	85. 1	85. 9	86. 3	86. 2

从表 8 看出，添加助浸剂可提高浸出率约 2 % 左右，一般添加 0. 6 %即可。

3 结论

(1) 矿石经预处理后，浸出率大为提高，是提高浸出率的关键所在，矿石预处理后，对破坏云母结构有利，也对浸出有利；

(2) 浸出时，矿石添加助浸剂后，可提高浸出率 2 %左右；

(3) 建议工艺参数：预处理温度 120 ℃，恒温 24h 以上，添加剂 PK 为 1. 8 %，浸出温度 85 ℃～90 ℃，L/ S = 1. 1/ 1，浸出助剂为矿石量的 0. 6 %。浸出时间为 15h。

参考文献

[1] 李晓健. 酸浸 - 萃取工艺在石煤提钒工业中的设计与应用[J]. 有色金属，2000，16 (5)：3，21 - 23.

[2] 邹晓勇等. 含钒石煤无盐焙烧酸浸生产五氧化二钒工艺的研究[J]. 化学世界，2001 (3).

[3] 鲍正襄等. 湘西北钒矿床地质特征及其成因[J]. 湖北地矿，1998，12 (9)：2.

[4] 郑祥明等. 湿法提取石煤中钒的新工艺研究[J]. 湘潭大学自然科学学报，2003 (1).

[5] 鲁兆伶. 用酸法从石煤中提取五氧化二钒的试验研究与工业实践[J]. 温法冶金，2002，21 (4).

(上接第 59 页)

随密度的增大而增大。但浆体密度对阻力损失影响的程度比倍线、管径和流速对阻力损失影响的程度要低（对比分析表 3～表 6）。

表 4 浆体密度与阻力损失的关系

密度 kg/ m³	流速 m/ s	管径 mm	总长度 m	有效粘度	阻力损失 kPa
1640	2. 6	125	50	0. 118	56. 59
1740	2. 6	125	50	0. 118	59. 05
1840	2. 6	125	50	0. 118	61. 47

浆体粘度对阻力损失的影响。浆体粘度对阻力损失影响的数值模拟结果（表 5）表明，阻力损失随有效粘度的增大而增大。

表 5 浆体粘度与阻力损失的关系

有效粘度	密度 kg/ m³	进口速度 m/ s	管径 mm	总长度 m	阻力损失 kPa
0. 09	1640	2. 6	125	50	52. 27
0. 118	1640	2. 6	125	50	56. 59
0. 165	1640	2. 6	125	50	62. 20

5 小结

(1) 在矿山膏体充填管道输送中，随着管道的几何数值及各相关参数的变化，阻力损失发生变化。具体地讲，阻力损失随着管道总长度、膏体初速度、密度、有效粘度的增大而增大；随着管径的增大而减小。

(2) 所得结果符合矿山充填基本科学规律，对深井充填长距离管道输送，可作大概的推算，因而具有一定的科学参考价值。

(3) 本次所建模型比较简单，是应用 ANSYS 软件分析矿山膏体充填管道输送的一次尝试。随着各种大型流体分析软件的逐渐完善，以后可以建立更为复杂的模型进行模拟，为矿山的采空区充填工程作出更大的贡献。

参考文献

[1] 王新民等. 深井矿山充填理论与技术[M]. 长沙：中南大学出版社，2005.

[2] 刘同有等. 充填采矿技术与应用[M]. 北京：冶金工业出版社，2001.

[3] 刘同有等. 国内外膏体充填技术的应用与研究现状[J]. 中国矿业，1998.

[4] 赵海峰，蒋 迪等. ANSYS 8. 0 工程结构实例分析[M]. 北京：中国铁道出版社，2004. 10.

[5] HELMS，W. The development of backfill techniques in Germain metal mines during the past decade. Minefill 93. Johannesburg SAIMN，1993.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net