

文章编号:0253-9993(2007)03-0317-04

水垫带式输送机水垫压力场数值模拟

刘宪伟^{1,2}, 范 迅¹

(1. 中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083; 2. 长春装甲兵技术学院 机械工程系, 吉林 长春 130117)

摘 要: 在对水垫带式输送机压力场理论研究的基础上, 建立了水垫压力场的数学模型. 用 Fluent 6.1 软件对水垫压力场的分布进行了数值模拟. 研究表明: 与传统的喷嘴平行布置方式相比, 改进的喷嘴错位布置方式能够大幅度地提高水垫带式输送机的承载能力; 减小排距和列距可以改善水垫压力场的均匀稳定性; 提高带速或者增大喷嘴直径都可以提高水垫压力场的压力值.

关键词: 水垫带式输送机; 压力场; 数值模拟

中图分类号: TH222 文献标识码: A

Water cushion pressure fields numerical simulation of water cushion belt conveyor

LIU Xian-wei^{1,2}, FAN Xun¹

(1. School of Mechanical, Electronic & Information Engineering, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Department of Mechanical Engineering, Changchun Armored Forces Technology Institute, Changchun 130117, China)

Abstract: Based on the research on water cushion pressure fields, the mathematical model of water cushion pressure fields was derived. The distribution of water cushion pressure fields was simulated by using software Fluent 6.1. The results show that the load-carrying capacity of water cushion belt conveyor is improved by using offset muzzles. The smaller distance of the muzzles array, the better the uniformity and stability of water cushion pressure fields are. The values of the water cushion pressure are higher with higher belt velocity or bigger muzzles diameter.

Key words: water cushion belt conveyor; pressure fields; numerical simulations

胶带输送机主要用于输送煤炭、矿石、沙石、谷物等散装物料, 遍及矿山、冶金、化工、建筑、轻工、港口和车站货场. 传统的托辊带式输送机具有运动件数目多、维修费用高、启动阻力大等缺点, 并且托辊与输送带之间摩擦会产生静电火花, 极易在矿井下引起火灾和瓦斯爆炸事故. 为克服传统托辊带式输送机的缺点, 近代出现了多种胶带与支承件之间不直接接触的带式输送机. 前苏联科学家最早研制成功了水垫带式输送机, 由于水垫带式输送机胶带与盘槽间的摩擦因数大大降低, 提高了胶带的耐磨性, 从而较大程度地提高了输送机的使用寿命^[1,2]. 胶带在盘槽内滑动的结构更加简单, 减小了大量的运动部件, 可有效地降低胶带的振幅, 并可利用水垫压力水的冲洗作用自动将胶带上散落下来的撒溶物料冲出盘槽. 这种水垫输送机较之通常的胶带托辊结构输送机节省 80% 的运输成本, 设备投资只为其一半, 是一种很有应用前景的输送设备, 因此受到了人们越来越多的关注^[3]. 水垫带式输送机能够正常工作的关键在于要

收稿日期: 2006-05-15 责任编辑: 高雪梅

基金项目: 高校博士点专项科研基金资助项目(20050290011)

作者简介: 刘宪伟(1976-), 男, 辽宁鞍山人, 博士研究生. E-mail: liuxianwei@163.com

保证水垫有一个压力值足够大的压力场,而目前对于水垫压力场的形成机理以及分布规律了解不多,因此很有必要对水垫的压力场进行数值模拟研究.本文选用 Fluent6.1 软件,采用数值模拟的方法对水垫压力场的分布规律进行了研究,得到了水垫压力场的详细分布规律.

1 数学模型

水垫带式输送机的基本结构如图 1 所示.盘槽为圆弧型,沿长度方向对称分布着若干排喷嘴.工作中,如果装料均匀,由于胶带受有较大的张紧拉力,其上部受到物料的压力,下部由高压水均匀地支承,因此,可以认为胶带不会发生局部变形,胶带整体变形后的形状仍近似地保持为圆弧型.假设水垫内的液体流动为等温过程.忽略流体的惯性项和体力项,并假设水的密度和黏度不发生变化^[4~6].采用如图 2 所示坐标系,由流体力学润滑基本方程中的运动方程、连续性方程可得水垫雷诺方程为

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h^3 \frac{\partial p}{\partial y}\right) = 6\mu U \frac{\partial h}{\partial x} + 12\mu \frac{\partial h}{\partial t} - 12\mu v \delta,$$

式中, h 为水垫厚度, mm; p 为水垫压力, Pa; U 为输送带速度, m/s; δ 为 Kronecker 函数, 此函数在喷嘴处等于 1, 在非喷嘴处等于 0; μ 为水的黏度, (N·s)/m²; v 为喷嘴喷出的水流速度, m/s.

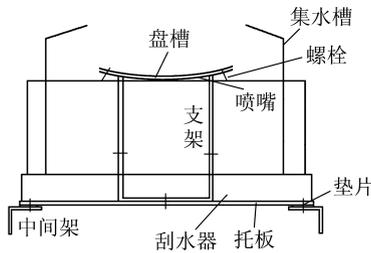


图 1 水垫装置

Fig. 1 Sketch of the water cushion

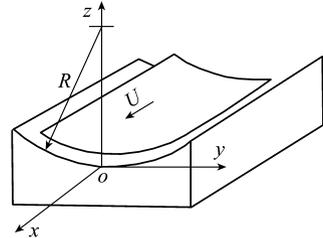


图 2 水垫带式输送机坐标系

Fig. 2 Coordinate system of the water cushion belt conveyor

2 计算网格以及边界条件

为了减少计算量,根据相似准则将水垫带式输送机缩减为一个 300 mm × 190 mm 的模型进行水垫压力场分析.在贴近进水孔等流体流动变化较大的区域采用局部网格加密处理.给定计算条件下水的出入口边界条件:在喷嘴喷水口截面给定进水压力 3 500 Pa;胶带与盘槽之间水垫侧面为出水口,设环境压力为 0.由于水流较快,热交换较少,所以忽略传热问题.以上述数学模型为基础,应用软件 Fluent 6.1,采用工程上应用最广泛的流场计算方法——速度和压力耦合方程组的半隐式方法 (Simple 算法).

3 数值模拟结果及分析

3.1 喷嘴的布置对水垫压力场的影响

(1) 喷嘴的分布对水垫压力场的影响 水垫带式输送机的喷嘴布置方式有 2 种:平行和错位布置.2 种布置的列距与排距均相同,所不同的是错位布置中每列喷嘴都与邻列的喷嘴在 y 轴方向上都有 12.5 mm 的错位.由图 3 (a), (b) 可以明显看出,喷嘴错位布置在压力场中央所形成的高压区 (压力值在 1 310 ~ 1 750 Pa) 比喷嘴平行布置所形成的高压区面积要大得多.可见将常规的喷嘴平行布置方式稍微进行改动就可以大幅度地提高水垫带式输送机的承载能力.

(2) 排距对水垫压力场的影响 在相同情况下对 4 ~ 9 排喷嘴的水垫压力场进行了数值模拟.图 4 为各个排数喷嘴在水垫中间位置的水垫压力场压力分布的对比,可以看出,水垫压力场的压力值随喷嘴排数的增加而增加,并且水垫压力场在 y 轴方向上的分布也随喷嘴排数的增加而更加均匀.由图 4 (a) 可以看出,当喷嘴排数为 9 排时,水垫压力场的分布形状接近于一个弧形,与胶带上的物料载荷分布形状比较

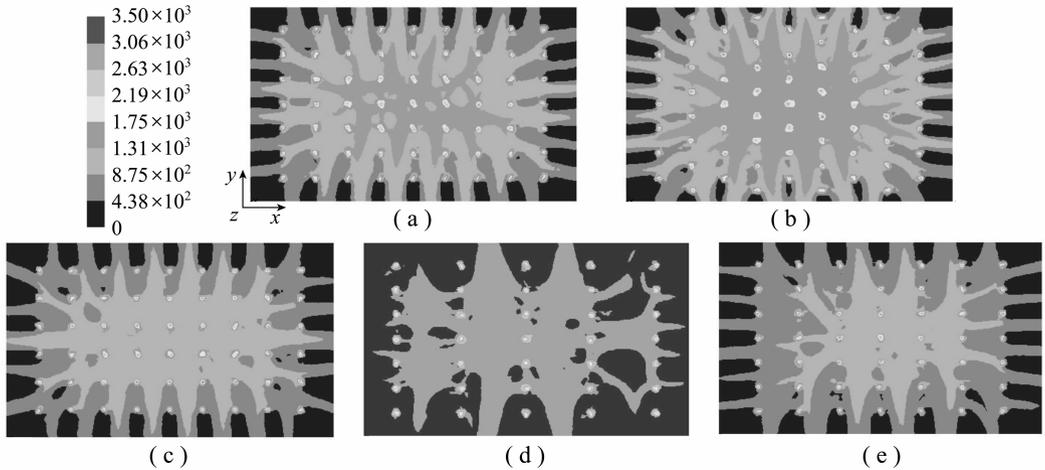


图3 水垫压力场云图

Fig. 3 Water cushion pressure fields contours

(a) 喷嘴平行布置, 7排、9列喷嘴, 直径为4 mm, 带速为0; (b) 喷嘴错位布置; (c) 6排喷嘴; (d) 5列喷嘴; (e) 7列喷嘴

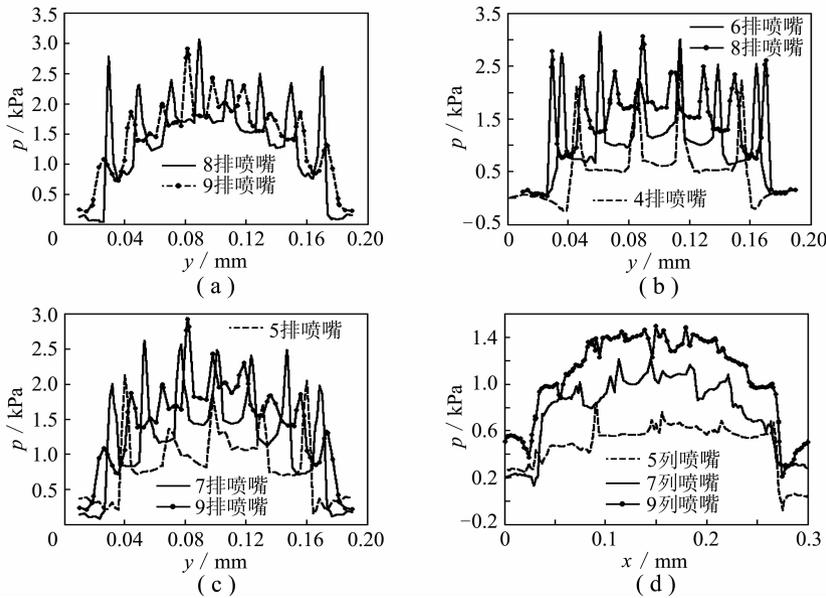


图4 水垫压力场压力分布对比

Fig. 4 Water cushion pressure fields comparison

吻合。水垫中间是整个水垫承受载荷最大的地方, 因此需要的压力也最大。若喷嘴排数为偶数时 (图4 (b)), 水垫压力场在水垫中间出现一处凹值; 而喷嘴排数为奇数时 (图4 (c)), 在水垫中间的压力值则是水垫压力场的最高值, 可见对于水垫带式输送机来说, 喷嘴排数为奇数比喷嘴排数为偶数要更加理想。

(3) 列距对水垫压力场的影响 在相同情况下对5, 7, 9列喷嘴的水垫压力场进行了数值模拟 (图3 (d), (e), (a))。通过水垫压力场云图对比, 可以明显看出, 水垫压力场中间区域的压力值随列距的减少而增大。

图4 (d) 为沿x方向的胶带中间线上3种不同列距的压力分布对比, 在喷嘴周围压力值较大, 在两列喷嘴中间压力值比较小, 列距越大, 则中间压力越小, 水垫压力均匀稳定性就越差。而喷嘴在盘槽单位面积上的所占面积不应超过某一固定值, 因此当列距过小时必然要减少喷嘴的排数, 从而将导致水垫压力横向的均匀稳定性的降低。

3.2 带速对水垫压力场的影响

在相同情况下分别对带速为 0, 10 m/s 的水垫压力场进行了数值模拟. 通过比较可看出, 水垫压力场随带速的增大而相应地增加, 不仅提高了压力峰值, 而且改变了压力场压力的分布状态, 在压力场纵向的中后部形成了较明显的动压压力带. 这是因为当胶带在运动时, 由于水的黏性而不断将水裹挟入胶带与盘槽的间隙中, 并且驱动胶带与盘槽间隙中的水沿胶带的运动方向流动. 因此, 带速越高, 水垫的动压作用就越大, 水垫承载能力就越高, 越有利于水垫的形成, 这也是水垫带式输送机适合于高速运输的原因.

3.3 喷嘴直径对水垫压力场的影响

在相同情况下分别对喷嘴直径为 4, 2, 6 mm 的水垫压力场进行了数值模拟 (图 3 (a), 图 5 (b), (c)). 通过比较可以看出, 水垫压力场的压力值随喷嘴直径的增大而增加, 此时水垫场压力随外界压力变化而变化的程度减少, 即水垫压力场的刚度增大, 水垫比较稳定. 但如果喷嘴直径过大, 那么在相同压力下流量也会相应增加, 将导致功耗的无谓损失. 因此应根据输送机的实际负载情况, 选择适当的喷嘴直径.

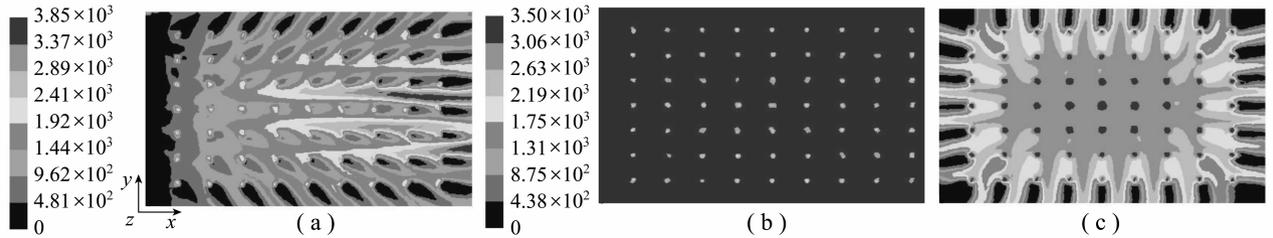


图 5 带速为 10 m/s 及喷嘴直径为 2, 6 mm 时水垫压力场云图

Fig. 5 Pressure fields contours when belt velocity is 10 m/s, the muzzle diameter is 2 and 6 mm

(a) 带速为 10 m/s; (b), (c) 喷嘴直径分别为 2, 6 mm

4 结 论

(1) 改进的喷嘴错位布置方式与传统的喷嘴平行布置方式相比, 能够大幅度地提高水垫带式输送机的承载能力. 减小排距和列距不仅可以提高水垫压力场压力值, 还可以改善水垫压力场的均匀稳定性. 但由于喷嘴在盘槽单位面积上的所占面积不应超过某一固定值, 因此要将排距和列距结合起来, 根据具体工况进行设计.

(2) 在喷嘴孔径、布置方式不变的情况下, 提高带速可以提高水垫压力场的压力值, 这也说明水垫带式输送机适合于高速运输的原因.

(3) 水垫压力场的压力值随喷嘴直径的增大而增加, 要综合考虑到输送机上物料的实际负载情况, 选择适当的喷嘴直径.

(4) 水垫带式输送机的水垫压力场的数值模拟研究为今后的水垫带式输送机实际应用和完善提供了基础.

参考文献:

- [1] 张 钺. 国内外带式输送机的应用概况 [J]. 矿山机械, 2001 (5): 55 ~ 67.
- [2] 吴瑞清. 胶带输送机的国内外发展趋势 [J]. 煤炭技术, 2000, 19 (6): 4 ~ 6.
- [3] 范 迅, 谢 晋, 孟繁瑜. 水垫带式输送机的研究 [J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28 (5): 465 ~ 467.
- [4] 温诗铸, 黄 平. 摩擦学原理 (第 2 版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [5] Jean Frene, Daniel Nicolas, Bernard Degueurce. Hydrodynamic lubrication [M]. Amsterdam: Elsevier Science B. V, 1997.
- [6] 池长青. 流体力学润滑 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.