

热机现象对湿式多片制动器设计的影响*

孙冬野 秦大同 王玉兴
(重庆大学) (山东工程学院)

摘 要: 产生于滑动盘片间的热机现象对湿式多片制动器的衬片压力和表面温度分布具有显著的影响, 并已成为制动器破坏的主要原因之一。为了降低热机作用的影响, 对对流换热系数、摩擦系数、摩擦速度和初始衬片压力分布等一些重要的设计和材料参数进行了详细的分析, 针对湿式多片制动器设计方法提出了等温度设计的新观点。

关键词: 湿式制动器; 热机现象; 有限元

热机现象是因为不合理的热弹性变形引起的。在湿式制动器制动过程中, 由于对流换热系数、摩擦系数以及热流密度等参数沿半径方向的不均匀分布, 导致摩擦盘表面温度按不同的比率增加。在表面温度高的区域, 形成的热弹性变形也必将偏大, 即使制动器摩擦盘间具有均匀的热量分布, 由于对流换热系数和摩擦系数的影响, 最终形成的变形量也不会相同。在变形量较高的区域, 必将引起较大衬片压力的出现, 其结果是导致在这些区域较高温度的产生, 并由于热变形的进一步增加, 带来衬片压力于局部区域的进一步增大, 这种恶性循环的过程被称为热机现象(或称为热弹性失稳)^[1,2]。这种现象的出现将导致摩擦副间实际接触面的减少, 其结果是引起钢盘摩擦温度的增加, 以及摩擦盘磨损量的增大。因此, 热机现象已被视为湿式制动器破坏的主要原因。

热机现象可通过优化摩擦衬片压力分布降低其作用。在有限元分析的基础上, 针对湿式多片制动器设计, 本文提出了等温度设计的新方法。

1 设计参数对热机现象的影响

1.1 对流换热系数的影响

在摩擦材料表面分布着许多供冷却油流动的油槽, 油槽结构类型的不同, 冷却油与钢盘间对流换热系数沿半径方向的分布规律也将不同。图 1 所表示的是一种得到广泛采用的油槽形式—多道平行式油槽, 以及在该种油槽条件下, 对流换热系数沿半径方向的变化规律, 其中, 图 1b 表明在摩擦盘内径端的冷却效果明显好于外径端, 这意味着在内径处冷却油将带走更多的由制动器钢盘与摩擦盘运动所产生的热量。所以, 为了保证摩擦副沿半径方向具有相等的热弹性变形量, 靠近内径端的热流量就应设计得更高一些。

1.2 摩擦系数的影响

根据组成成分的不同, 摩擦材料可被划分为: 青铜基、碳基、合成橡胶基以及纸基材料。选

收稿日期: 1998-07-29 修订日期: 1999-08-05

* 国家“八五”重大引进技术消化吸收项目(EX-92-04-1/14)

孙冬野, 博士, 副教授, 重庆市 重庆大学机械传动国家重点实验室, 400044

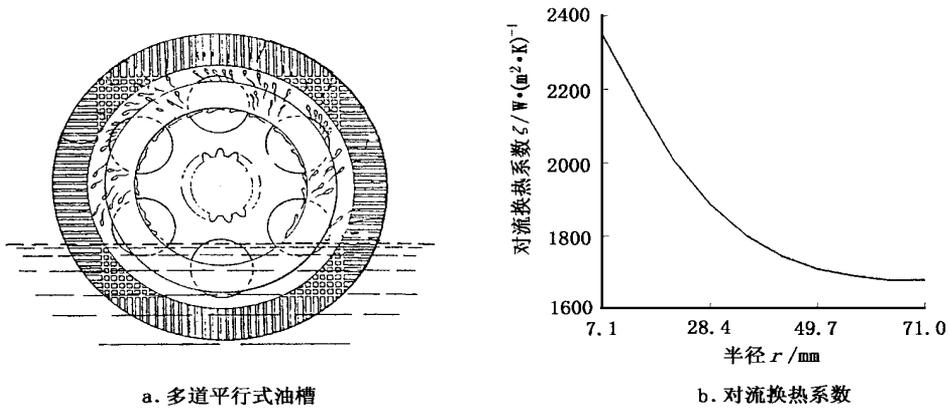


图 1 油槽结构简图和沿半径方向对流换热系数的变化规律

Fig 1 Scheme of groove pattern and variation of heat transfer coefficient in the radial direction

用不同的材料,在湿式多片制动器制动过程中,其平均动摩擦系数的变化将是非常显著的,即使是同一种摩擦材料,由于摩擦表面温度 t 、滑摩速度 v 以及衬片压力 p 的不同,平均动摩擦系数仍将发生很大的变化,在参数 v 和 p 为常量条件下,摩擦系数的热衰退试验曲线如图 2 所示。借助德国 SCHENCK 公司制造的 LBA 0049 惯性式双制动试验台,采用正交试验方法,对纸基摩擦材料的动摩擦系数进行了测试,其结果如下:

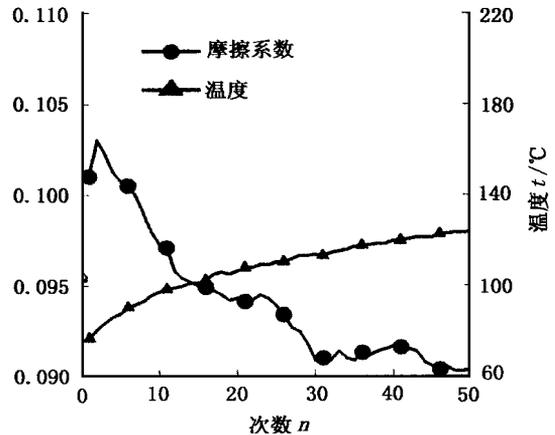


图 2 重复制动时摩擦系数的热衰退变化

Fig 2 Variation of the thermal attenuation of friction coefficient in repeated braking

1.3 基本设计参数的影响

对热机现象更为明显的影响因素则是来源于由一些基本设计参数,如支承盘和活塞盘的结构形状、钢盘和摩擦盘的厚度、摩擦材料的弹性模量以及浮动油环的刚度模量等所确定的制动器初始衬片压力分布规律。如果忽略对流换热系数和摩擦系数沿半径方向分布的非线性,为了获得理想的热弹性变形分布,保证沿径向恒定的热流量 q 是十分必要的^[4],即

$$q = fpv = \text{const} \tag{2}$$

式中 f ——摩擦系数; p ——衬片压力, N/m^2 ; v ——滑摩速度, m/s 。

为了验证理论分析的正确性,有限元分析被引入衬片压力分布计算中。根据厦门工程机械股份有限公司生产的 ZL 80S 轮式装载机所采用的湿式多片制动器,如图 3 所示,其有限元简化模型被建立,它主要包括摩擦盘、钢盘、支承盘和活塞盘 4 个部分,其中摩擦盘是由两侧衬有摩擦材料的钢背构成。初始衬片压力分布的计算和试验结果如图 4 所示,无因次衬片压力参数 p 定义如下:

$$p = p / (F / A) \tag{3}$$

式中 F —— 作用于活塞盘上的压力, N; A —— 每个摩擦外表面的面积, m^2 。

在制动器实际结构中, 活塞盘和支承盘的形状往往是非常复杂的, 如何设计二者的刚度模量分布, 是建立起理想衬片压力分布的关键问题。

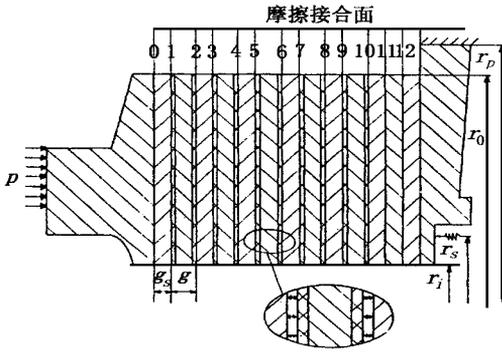


图 3 湿式多片制动器有限元分析模型简图

Fig 3 FEA model scheme of a multiple disc wet brake

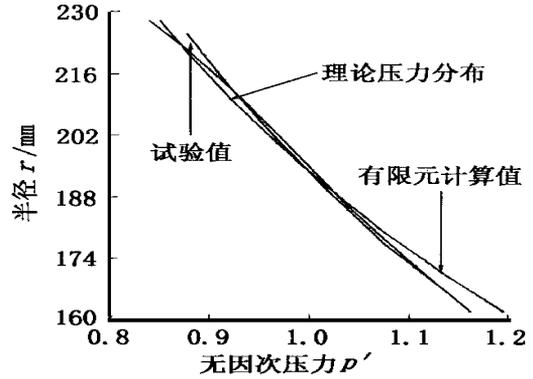


图 4 无因次衬片压力分布

Fig 4 Dimensionless lining pressure distributions

2 设计方法

实际上, 对流换热系数和摩擦系数沿半径方向的分布是非均匀的, 虽然由图 4 可以发现, 实际初始衬片压力分布与由公式 (2) 所确定的所谓理想压力分布非常接近, 但在制动器制动过程中, 衬片压力的非均匀分布变化仍是非常显著的, 这一点如图 5 所示, 其结果是导致局部区域高温的出现 (见图 6)。由此可见, 为了设计出真正理想的衬片压力分布, 对流换热系数和摩擦系数的影响是不能忽略的。

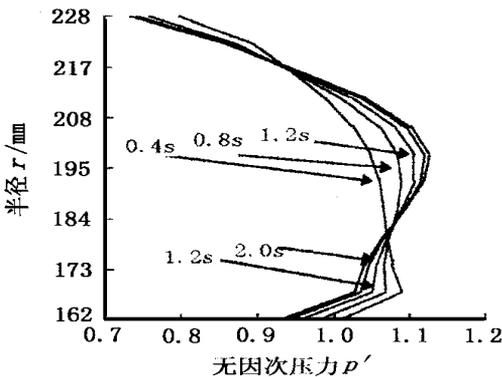


图 5 制动过程中压力分布变化

Fig 5 Changes of pressure distributions during the engagement

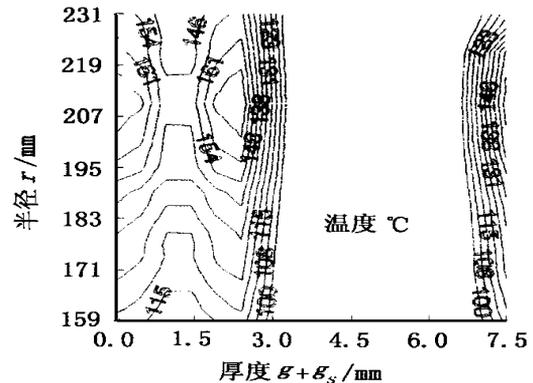


图 6 第 10 摩擦面等温线图

Fig 6 Iso lines of temperature on friction surface 10

综上所述, 为了防止局部高温和高压对制动器的破坏, 进行动态衬片压力分析和温度场分布有限元计算是非常必要的。湿式制动器的设计方法可描述如下: 首先, 在沿半径方向等热流量条件下, 初步估算初始衬片压力分布规律; 其次, 充分考虑对流换热系数和摩擦系数的影响,

通过动态衬片压力分布和温度场分布计算,对估算出的初始衬片压力分布规律进行修正,以实现盘片间均匀的表面温度和热弹性变形分布。这种设计方法被称为等温度设计,其最终目的是降低热机现象的影响。

3 结 论

- 1) 分析了对流换热系数、摩擦系数和初始衬片压力等因素对湿式多片制动器热机现象的影响,提出了等温度设计方法。
- 2) 引起局部区域高温和高压出现的热机现象是导致湿式多片制动器破坏的主要原因。
- 3) 动态衬片压力分布和温度场的有限元分析对设计出高扭矩、大热容量制动器是十分必要的,同时,也是评价一种新型湿式制动器制动性能的重要方法。

[参 考 文 献]

- [1] Zagrodzki P. Influence of design and material factors on thermal stresses in multiple disc wet clutches and brakes SAE Paper No: 911883, 1991
- [2] Michael B Solt Optimizing automatic transmission clutch lining load distribution using finite element analysis SAE paper No: 900559, 1990
- [3] Sun Dongye, Q in Datong, Yang Yalian, et al Analysis of failure mechanism in multiple disc wet brakes Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1998, 11(1): 36~ 40
- [4] 孙冬野. 湿式多片制动器破坏机理与设计方法研究: [博士学位论文] 长春: 吉林工业大学, 1996

Influence of Thermomechanical Phenomena on Design of Multiple Disc Wet Brakes

SUN Dong-ye Q N Da-tong

WANG Yu-xing

(Chongqing University, Chongqing 400044) (Shandong Institute of Technology)

Abstract Thermomechanical phenomena occurring between sliding plates greatly change the distributions of lining pressure and friction surface temperature of a multiple disc wet brake. It has become one of the main causes of a brake failure. In order to reduce the undesirable thermomechanical effects, several design and material factors influencing on thermomechanical phenomena, such as heat transfer coefficient, friction coefficient, sliding velocity, initial lining pressure and so on, were analyzed, and a new viewpoint - isothermal design method was proposed for designing multiple disc wet brakes.

Key words: wet brake; thermomechanical phenomena; finite element