

复合材料在汽车制动缸中的应用研究^{*}

孟春玲 张 力 郑家杰

(北京工商大学机械自动化学院,北京 100037)

摘要 对复合材料汽车制动缸的材料设计和成型工艺进行了研究,对 3 种复合材料汽车制动缸进行了有限元分析,并与金属制动缸的有限元分析结果进行了比较。结果表明,在制动过程中,复合材料制动缸缸体的应力和位移都比较小,均可满足制动要求。

关键词 汽车制动缸 复合材料 有限元分析

用复合材料代替金属材料制造汽车零部件具有质量轻、成本低、环保和节能等一系列优点^[1]。目前国内生产的汽车制动缸都是用金属铸造成型,并需要进行机械加工,制造工艺比较复杂,加工工序繁多,成本较高。而采用复合材料生产和制造汽车制动缸则可以节约原材料、减少污染、缩短生产周期、降低成本,且复合材料汽车制动缸质量轻,不易被制动液腐蚀,又有很好的力学性能。因而复合材料汽车制动缸已经在国外^[2]得到了广泛的应用,而国内复合材料汽车制动缸的研究还处于起步阶段,迄今为止尚未见到有关复合材料汽车制动缸生产工艺和工业化应用的报道。

1 制动缸的结构

制动缸是液压制动系统采用的活塞式制动蹄的张开机构,结构较为简单,在车轮制动器中布置方便。其缸筒为通孔,需搪磨;活塞由铝合金材料制造;活塞外端压有钢制的开槽顶块,以支撑插入槽中的制动蹄腹板端部或端部接头;工作腔由装在活塞上的橡胶密封圈或靠在活塞内端面处的橡胶皮碗密封。多数制动缸有 2 个等直径活塞;少数有 4 个等直径活塞;双领蹄式制动器的两蹄各用一个单活塞制动缸推动。图 1 示出制动缸的结构。

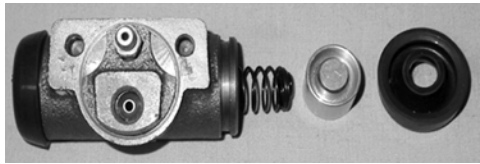


图 1 制动缸的结构

2 制动缸用复合材料设计

聚合物基复合材料是一个很大的材料体系,按其结构形式可以分为树脂基复合材料和橡胶基复合材料。其中树脂基复合材料是以有机聚合物为基体,它具有较高的比强度和比模量,耐疲劳性能好,并具有减振和吸振等特点,而且加工工艺比较简单,

因此被广泛地应用于航空航天、汽车、体育器材等领域。

在分析了制动系统和制动缸工作原理的基础上,根据热固性树脂和热塑性树脂的反应特点,确定以热固性树脂作为复合材料制动缸的基体材料,分别选用不饱和聚酯树脂、镁酞醛树脂和环氧树脂为基体树脂, S-玻璃纤维为增强材料,采用预混法和模压法制造制动缸。其中玻纤增强镁酞醛树脂复合材料制动缸的模压压力在 28 MPa 以上,成型温度在 160 ~180℃,而玻纤增强环氧树脂和玻纤增强不饱和聚酯树脂复合材料的模压压力较低,后者仅为 7 ~15 MPa。

3 制动缸材料参数的数值模拟^[4]

连续纤维增强复合材料在细观组成上是比较复杂的,因为纤维不一定是各向同性的,且纤维力学性能比较难测试;复合材料中的纤维和基体的性质与单独的纤维和基体的性质不尽相同;纤维形状具有不规则性,排列具有随机性,存在复杂的界面相;纤维和基体可能存在残余应力和残余应变;细观应力状态和应变状态都比较复杂,所以采用复合材料细观力学的简单模型法来预测复合材料的宏观性能。由于细观组成的复杂性,在将简单模型法应用于工程估算时对复合材料做了较多的简化假设:①纤维和基体在复合前后性能均未变化;②纤维和基体是紧密粘接的;③纤维和基体分别是各向同性的;④纤维和基体是线弹性、小变形的;⑤纤维和基体无初应力。

在此基础上编写程序,对 3 种制动缸材料的参数进行了数值模拟,主要的计算公式如下:

$$V_f = 0.5; // \text{玻纤的体积分}$$

^{*} 北京市优秀人才资助项目

收稿日期:2006-08-25

$E_f = 85.5$; //玻纤的弹性模量
 $E_m = 10$; //树脂基体的弹性模量
 $V_m = 1 - V_f$; //树脂基体的体积分数
 $U_f = 0.22$; //玻纤的泊松比
 $U_m = 0.34$; //树脂基体的泊松比
 $G_f = 0.5 \times E_f / (1 + U_f)$; //玻纤的剪切弹性模量
 $G_m = 0.5 \times E_m / (1 + U_m)$; //树脂基体的剪切弹性模量
 $E_z(E_z) = E_f \times E_m \times (V_f + n_2 \times V_m) / (V_f \times E_m + n_2 \times V_m \times E_f)$; //纵向弹性模量
 $n_2 = 0.2 \times (1 + 0.22 \times V_f) \times [1.1 - \text{Math.sqrt}(E_m / E_f) + 3.5 \times E_m / E_f] / (1 - V_m)$;
 $E_y(E_y) = E_f \times E_m \times (V_f + n_2 \times V_m) / (V_f \times E_m + n_2 \times V_m \times E_f)$; //横向弹性模量
 $v_{xy} = U_f \times V_f + U_m \times V_m$; //横向泊松比
 $k = 1.095 + (0.8 - V_f) \times 0.27$;
 $v_{xz}(v_{yz}) = k \times (U_f \times V_f + U_m \times V_m)$; //横向泊松比
 $n_3 = 0.28 + \text{Math.sqrt}(E_m / E_f)$;
 $G_{xy} = G_f \times G_m \times (V_f + n_3 \times V_m) / (V_f \times G_m + n_3 \times V_m \times G_f)$; //剪切弹性模量
 $n_4 = 0.388 - 0.665 \times \text{Math.sqrt}(E_m / E_f) + 2.56 \times E_m / E_f$;
 $G_z(G_z) = G_f \times G_m \times (V_f + n_4 \times V_m) / (V_f \times G_m + n_4 \times V_m \times G_f)$; //剪切弹性模量
模拟结果见表 1。

表 1 3 种材料的模拟结果

项 目	镁酚醛树脂/玻纤	环氧树脂/玻纤	不饱和聚酯树脂/玻纤
$\rho/\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	1850	2000	1800
$V_f/\%$	50	45	40
E_x/GPa	26.4	27.5	23.1
$E_y(E_z)/\text{GPa}$	23.9	28.0	18.3
v_{xy}	8.31	0.214	0.21
$v_{xz}(v_{yz})$	9.62	0.255	0.255
G_{xy}/GPa	0.28	11.14	7.66
$G_{xz}(G_{yz})/\text{GPa}$	0.329	12.13	8.705

4 制动缸的有限元分析

4.1 计算模型的建立

该制动缸有一个进油孔和一个出油孔,进油孔和出油孔关于制动缸轴线呈对称分布,两个安装的螺栓孔也呈对称分布。根据制动缸的工作特点、分析目的和结构的受力特性,精确测量尺寸,对实体模型进行局部简化,如简化了进油孔和出油孔局部复

杂的接口;去掉圆角和倒角;对固定平台和缸体采用 ANSYS 布尔运算的 Add 命令;选用 Solid 45-8 节点实体单元,Smart Size=6 进行智能网格划分。划分结果得到制动缸模型,共有节点 3 977 个,单元 30 949 个。建立的计算模型见图 2。

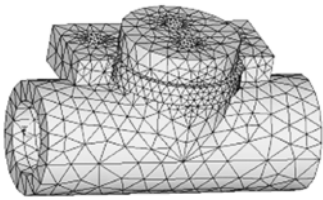


图 2 制动缸的计算模型

4.2 边界条件

制动缸对制动块的作用力 P 与缸体直径 d_w 及制动缸中的液压 p 的关系为^[5]:

$$d_w = 2 \frac{P}{\pi p}$$

式中: $p = 8 \sim 12 \text{ MPa}$,在正常制动刹车时,鼓式制动器的制动管路液压一般不超过 $10 \sim 12 \text{ MPa}$ 。取 12 MPa 作为制动轮缸的压力载荷约束。

制动缸是通过两个安装螺栓孔来固定的,在制动过程中不可能有位移,所以位移边界条件是约束制动缸的两个螺栓孔,使其沿 X 、 Y 和 Z 三个方向的位移均为零。

4.3 计算结果

有限元分析的最大位移和最大应力分别见表 2、表 3,其中环氧树脂/玻纤制动缸对应的位移场和应力场见图 3、图 4。

表 2 有限元分析的最大位移

方 向				μm
	镁酚醛树脂/玻纤	环氧树脂/玻纤	不饱和聚酯树脂/玻纤	金属
X	15.8	12.4	17.8	2.27
Y	2.58	1.93	2.73	0.349
Z	9.16	6.57	8.52	1.23
总计	27.0	21.1	32.6	3.84

表 3 有限元分析的最大应力

方 向				MPa
	镁酚醛树脂/玻纤	环氧树脂/玻纤	不饱和聚酯树脂/玻纤	金属
X	45.8	42.6	44.4	43.4
Y	30.2	29.1	28.6	29.6
Z	15.6	14.5	14.3	15.2
总计	58.3	58.5	60.3	58.6

镁酚醛树脂/玻纤制动缸和不饱和聚酯树脂/玻纤制动缸的位移场和应力场与环氧树脂/玻纤制动缸相似。由表 2、表 3、图 3、图 4 可以看出:

(1) 不同材料的制动缸具有基本相同的应力场

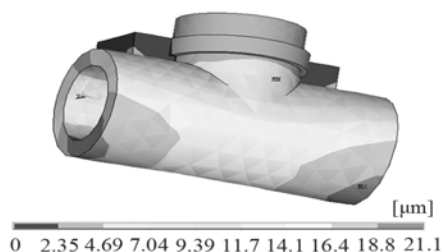


图3 环氧树脂/玻纤制动缸的位移场

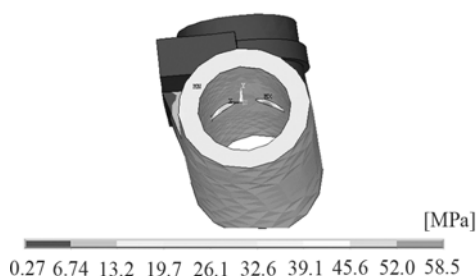


图4 环氧树脂/玻纤制动缸的应力场

分布和位移场分布, 最大位移在离两个安装固定孔最远的区域, 在 3 个方向中沿 X 方向的位移最大, 应力最大位置都在进油孔和出油孔与缸体交接的区域, 因为该区域有一定的应力集中。

(2) 金属制动缸的最大位移为 $3.84 \mu\text{m}$, 而镁酚醛树脂/玻纤制动缸的位移最大为 $27.2 \mu\text{m}$, 环氧树脂/玻纤制动缸的位移最大为 $21.1 \mu\text{m}$, 不饱和聚酯树脂/玻纤制动缸的位移最大为 $32.6 \mu\text{m}$ 。3 种复合材料制动缸在制动过程中的位移均大于金属制动

缸, 但总体位移都较小, 均可满足制动要求。

(3) 金属制动缸的最大应力为 58.6 MPa , 而镁酚醛树脂/玻纤制动缸的最大应力为 58.3 MPa , 环氧树脂/玻纤制动缸的最大应力为 58.5 MPa , 不饱和聚酯树脂/玻纤制动缸的最大应力为 60.3 MPa , 表明不同材料制动缸在制动过程中的最大应力也基本相同, 且均可满足制动要求。

5 结论

在复合材料制动缸的材料设计中, 可选择热固性树脂作为复合材料制动缸的基体材料, S-玻纤作为增强材料, 玻纤含量应该控制在 $40\% \sim 50\%$ 。通过研究热固性树脂和玻纤的力学和物理性能, 可设计出符合使用要求的复合材料制动缸的材料配方。采用复合材料细观力学的简单模型法可以预测复合材料的宏观力学性能。在制动过程中, 复合材料制动缸缸体的应力和位移都比较小, 制动缸能安全正常工作。

参考文献

- 1 王滕宁, 王长春. 汽车材料的应用现状和发展趋势. 世界汽车, 1995 (3): 29
- 2 叶清平. 独联体汽车工艺与材料的现状与发展前景. 世界汽车, 1995 (3): 29
- 3 张力, 张恒. 制造汽车制动缸的新型复合材料. 汽车工艺与材料, 2004 (2): 31
- 4 蔡为仑. 复合材料设计. 北京: 科学出版社, 1989.
- 5 刘惟信. 汽车设计. 北京: 清华大学出版社, 2004.

STUDY ON APPLICATION OF COMPOSITE TO AUTOMOBILE BRAKE CYLINDER

Meng Chunling, Zhang Li, Zheng Jiajie

(College of Mechanical Engineering and Automation, Beijing Technology and Business University, Beijing 100037, China)

ABSTRACT The material design and molding techniques of composite for automobile brake cylinders were studied. The brake cylinders made of three kinds of composites were analyzed by finite element analysis method, and they were compared with metal brake cylinder. The results showed that the stress and displacement of composite automobile brake cylinders were small during the braking process, and they could meet the requirement of braking.

KEYWORDS automobile brake cylinder, composite material, finite element analysis

欢迎订阅《工程塑料应用》2006 年增刊

由中国机械工程学会、中国机械工程学会特种加工分会、全国快速成形技术学术委员会等单位主办, 华南理工大学等单位承办的“第四届全国快速成形与快速制造学术会议”将于 2006 年 11 月 22 日至 25 日在华南理工大学召开。应华南理工大学等承办单位的委托, 《工程塑料应用》杂志社将以 2006 年增刊形式编辑、出版本次会议的应征优选论文作为本次会议的论文专辑。该期刊物将编入连续期刊号 (总第 205 期), 将于 11 月 20 日出版。

该增刊共收录 39 篇优选会议论文, 内容涉及快速成形

新工艺、新设备, 快速成形软件与数据处理技术等, 定价为 20 元/册。欢迎读者通过邮局或银行汇款订阅。

邮局汇款:

收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社
 邮政编码: 250031 传真: (0531) 85947355 85878224
 电话: (0531) 85878057 85878223 85878278

银行汇款:

户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所
 开户银行: 中国工商银行济南八一分理处
 帐 号: 1602001229014425546