

# 基于AMESim的商用车制动总阀建模及仿真分析

刘 强 杨 斌 张国锐  
陕西重型汽车有限公司 陕西 西安 710200

**摘 要：**文章根据商用车制动总阀内部结构和工作原理，基于AMESim建立制动总阀模型并进行静特性仿真。通过调整制动总阀模型及参数得到与实物一致的特性曲线，分析仿真结果得出制动总阀结构变化对特性的具体影响，为制动总阀开发及性能优化提供数据支持。同时，通过AMESim仿真分析可有效缩短商用车制动阀类开发周期，为进一步提升气压制动系统性能提供方法。

**关键词：**商用车；制动总阀；建模；仿真

目前，商用车普遍采用气压制动系统作为其核心制动机制。在该系统中，制动总阀直接受到由驾驶员通过制动踏板的操控，负责执行行车制动功能。制动总阀在车辆行车制动和制动解除过程中，可以实现精准的随动控制，确保制动过程的平稳与迅速响应。制动总阀的特性影响制动踏板力、踏板行程、制动减速度和驾驶员的制动感受等，是保证整车制动性能的关键部件。本文介绍的制动总阀为双腔串联活塞式结构，上、下腔分别向后桥制动气室和前轴制动气室提供控制气压。为进一步提高制动总阀性能开发效率，本文基于AMESim多领域仿真模型软件建立制动总阀动态模型<sup>[1]</sup>，根据制动总阀特性仿真结果为阀类性能开发提供支持，有效缩短产品开发周期提升产品竞争力。

## 1 制动总阀结构及工作原理

制动总阀工作过程有三个阶段，分别是制动过程，平衡过程，制动释放<sup>[2]</sup>。制动总阀结构如图1所示。

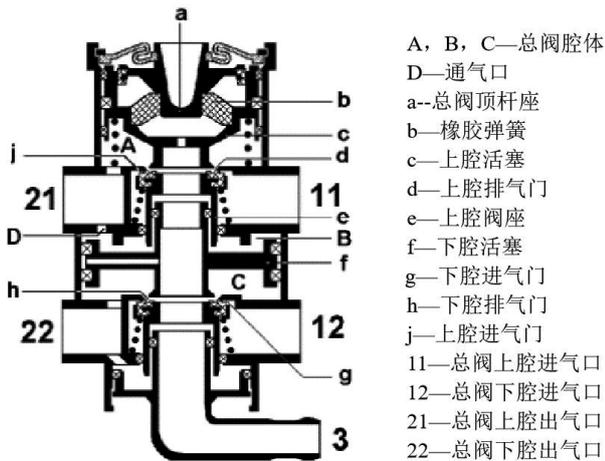


图1 制动总阀结构图

### 1.1 制动过程

驾驶员轻踩制动踏板时总阀顶杆座a在操作力下向下

移动，经橡胶弹簧b推动上腔活塞c向下移动关闭上腔排气门d，上腔活塞c下移带动下腔阀座e向下，打开上腔进气门j，气压从接气源的上腔进气11口经A腔到上腔出气21口，再到达后桥回路的继动阀、气室等装置使后桥产生制动力。同时，上腔出气21口内的气压经通气D口进入B腔，B腔气体压动下腔活塞f向下移关闭下腔排气门h，打开下腔进气门g，气压从接气源的下腔进气12口经C腔进入下腔出气22口，再到达前轴回路的继动阀、气室等装置使前轴产生制动。

### 1.2 平衡过程

随着A腔气压的增大，其作用于上腔活塞c向上的力与橡胶弹簧b向下弹力相平衡时，上腔阀座e与上腔活塞c一起上行关闭上腔进气门j，此时总阀上腔达到平衡状态，进、排气门均已关闭。同理，随着C腔气压的增大，其作用于下腔活塞f向上的力与B腔向下的力相平衡时，下腔进气门g关闭，此时总阀下腔达到平衡状态，进、排气门均已关闭。

### 1.3 制动释放

当在上述轻踩或半踩所达到的平衡状态下，需要减小制动气压时，驾驶员抬起脚制动踏板一定行程，橡胶弹簧b的弹力减小，A腔、C腔压力促使上腔活塞c和下腔活塞f相应上移一定行程，上下腔排气门d、h会打开释放掉一部分来自出气21口和22口的气压，直到建立新的平衡状态，上下腔排气门d、h再次关闭。制动完全解除时上下腔活塞c、f先后在A腔、C腔压力下上行打开排气口，21、22口气压排空制动解除。

## 2 AMESim 制动总阀模型建立

### 2.1 制动总阀模型建立

AMESim (Advanced Modeling Environment for Simulation of engineering system) 为基于键合图理论开发的多学科领域系统建模仿真软件，无需建立复杂数学模

型即可进行机电液气等多学科领域仿真，目前在车辆和航天等领域得到了广泛运用<sup>[3]</sup>。本文在对制动总阀结构和原理分析的基础上，基于AMESim软件利用其信号库、机械库、气动库及气压元件设计库相应元件，建立制动总阀模型如图2所示。其中11、21、12、22口分别为后桥回路进气口、后桥回路出气口，前轴回路进气口、前轴回路出气口。左侧输入口输入顶杆力，模拟脚踩制动。

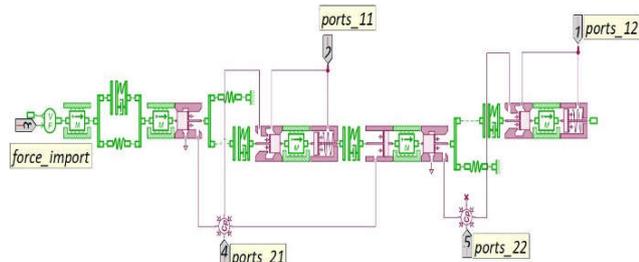


图2 脚制动阀AMESim模型

## 2.2 制动总阀模型参数

为保证仿真结果的准确性，基于制动总阀实物进行拆解并测量，得到主要参数如下表所示：

表1 制动总阀模型参数

关键参数	参数值
顶杆座质量/g	35.6
上腔活塞质量/g	81.6
上腔活塞外径/mm	60
上腔活塞内径/mm	23
下腔活塞质量/g	30.3
下腔活塞外径/mm	54
下腔活塞内径/mm	20
上腔阀座质量/g	15.1
下腔阀座质量/g	15.1
上腔回位弹簧刚度/N/mm	2.05
下腔回位弹簧刚度/N/mm	2.05

## 3 AMESim 制动总阀特性仿真

### 3.1 制动总阀顶杆力和特性曲线仿真

按照上表1测量数据对制动总阀模型参数进行赋值并仿真，得到顶杆座位移-输出气压曲线如图3所示，其中，横坐标为顶杆座位移，纵坐标为顶杆对应位移下21/22口输出气压。经对比，仿真曲线与实际阀体台架试验曲线误差在8%以内，该模型满足工程需求<sup>[4]</sup>。

由仿真结果可知，22口输出气压相对于21口存在一定行程的迟滞，与实际情况一致，21口输出气压作用于后桥，22口输出气压作用于前轴。当21口输出气压达到饱和时，22口输出曲线存在一个台阶，这是由于自由状态下下腔活塞两侧均存在间隙，当两侧间隙均消除时，22/21口输出才可达到完全一致。

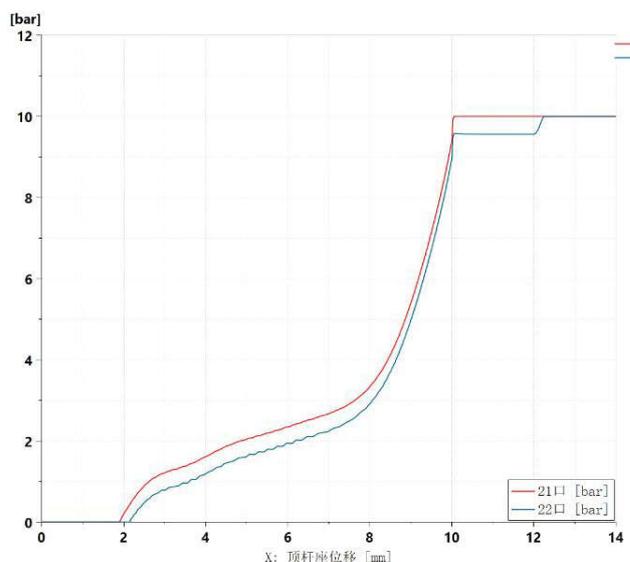


图3 顶杆座位移-21/22口输出气压曲线

### 3.2 制动总阀特性影响因素仿真

制动总阀性能对于商用车气压制动响应至关重要，总阀总体结构较复杂，影响其性能的参数众多，本文在AMESim模型基础上，研究其中某些结构参数的变化对21口输出气压的影响。

调整上腔活塞外径，使用AMESim软件的Study Manager功能进行批处理参数设置，将上腔活塞外径以2mm为梯度从56mm增大到62mm，仿真结果如图4所示。由仿真结果可知，当上腔活塞外径增大，相同顶杆座位移下，21口输出气压将减小，但不影响最大开度的输出气压。可通过此特性调节制动总阀的输出响应。

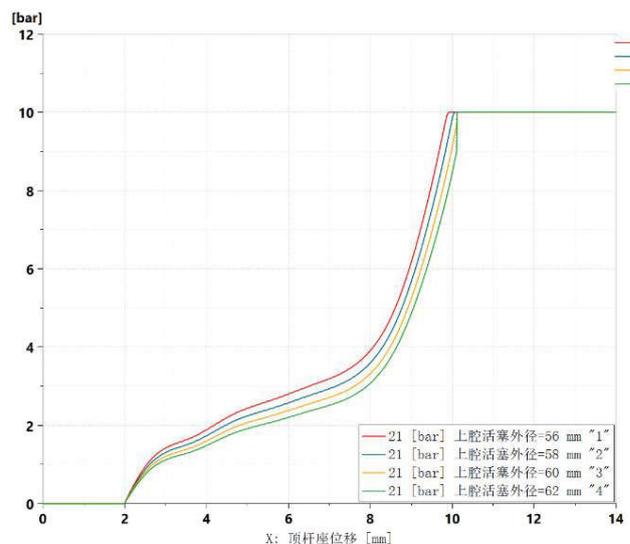


图4 上腔活塞外径对21口输出气压影响分析

实际使用中制动总阀时间响应曲线也是研究的重点，调整输入气压数值由8bar增大到12bar，仿真时间响

应结果如图5所示。

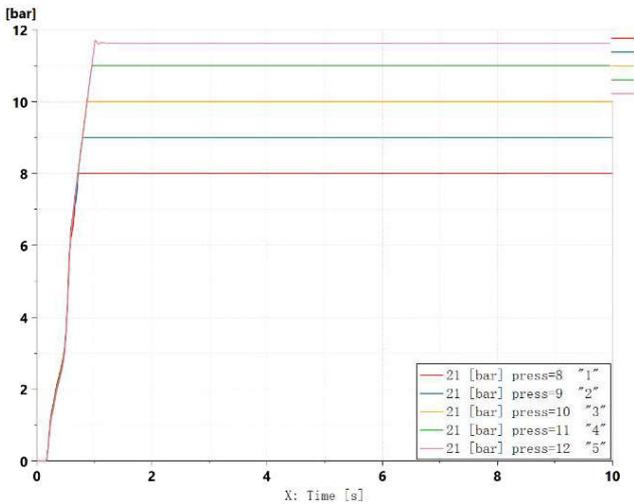


图5 进气口压力对21口输出气压影响分析

由仿真结果可知增大输入气压，达到峰值响应时间增大，但时间响应过程几乎一致，同时由于总阀设计结构，存在最大输出气压值。

制动总阀中存在四个弹簧，现研究上下腔回位弹簧刚度对总阀性能的影响。将回位弹簧刚度由2.05N/mm以5N/mm为梯度增大到17.05N/mm，仿真结果如图6所示。

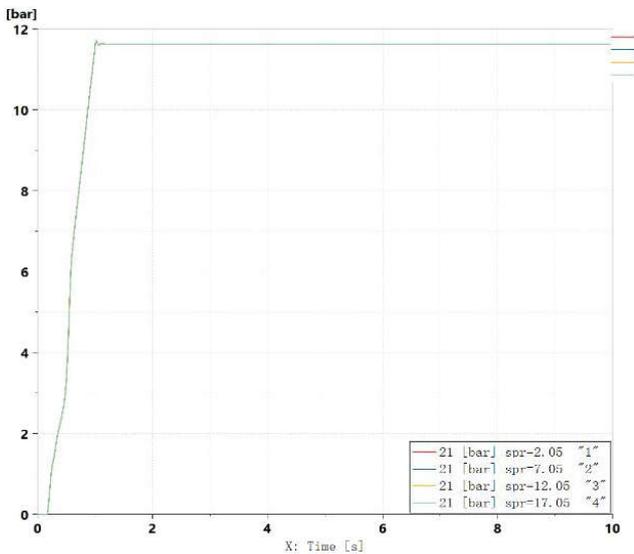


图6 回位弹簧对21口输出气压影响分析

由图可知，调整回位弹簧刚度对系统响应时间及输出气压几乎无影响。这是由于回位弹簧弹力相比于气压及踏板顶杆力极小，不在同一个数量级，对系统的影响可忽略不计。

#### 4 结论

文章应用AMESim仿真软件对气压制动总阀进行模型搭建和特性曲线仿真，分析了活塞外径、输入气压、平衡弹簧刚度等因素对制动总阀动态响应的影响，结果表明：（1）活塞直径等内部结构参数影响输出气压的响应过程；（2）制动总阀输入气压增大影响输出气压响应时间，但不影响响应过程；（3）平衡弹簧刚度对制动总阀的特性曲线影响可忽略不计。

#### 参考文献

- [1]方桂花,毛路遥,魏燕燕,等.基于AMESim的继动阀动态特性研究.机械设计与制造,2019(7):57-60.
- [2]何江李.基于AMESim的牵引车气压制动系统优化研究.长安大学学位论文,2019.
- [3]梁全,谢基晨,聂利卫.Amesim机电一体化仿真教程[M].北京:机械工业出版社,2021.
- [4]郭冬妮,阎阔,李孟华,等.基于Amesim的商用车气制动系统响应时间影响因素分析.汽车零部件,2022(4):11-15.