

比例伺服阀在铜带轧机厚度控制系统中的应用

张磊, 李谋渭, 刘鸿飞

(北京科技大学机械工程学院, 北京 100083)

摘要: 介绍了 BOSCH NG6 比例伺服阀的结构及特性, 并将其应用于上海某铜厂 250mm 铜带冷精轧机液压厚度自动控制系统中, 控制精度满足使用要求, 并且维护成本较低, 效益明显。

关键词: 比例伺服阀; 液压厚度控制系统; 铜带轧机

中图分类号: TG335.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-3881(2008)1-104-2

Application of the Proportional Servo Valves in AGC System for Copper Strip Mill

ZHANG Lei, LI Mouwei, LIU Hongfei

(School of Mechanical Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: BOSCH NG6 proportional servo valves and its characteristics were introduced, and its application in the system of automatic gauge control was presented in 250mm copper cold strip mill. Its precision of control is satisfied, and its cost of maintaining is low. So, benefits of using it is very obvious.

Keywords: Proportional servo valve; Hydraulic AGC; Copper strip mill

早在二战时期, 出于军事的需要, 电液伺服阀首先出现在飞机的控制系统上。在随后的 20 多年, 电液伺服技术不断发展, 日臻成熟, 以其快速性、高动态的响应, 成为武器和航空、航天自动控制以及一部分民用工业设备自动控制的重要组成部分。随着微电子技术和计算机技术的发展, 各类民用工程对电液控制技术的需求变得更为广泛和迫切。但是, 由于伺服阀的高成本、对流体介质清洁度的苛刻要求及维护的困难, 使其成为电液伺服技术推广民用化的障碍^[1]。在此背景下, 工业伺服技术和电液比例技术开始得到迅速的发展。

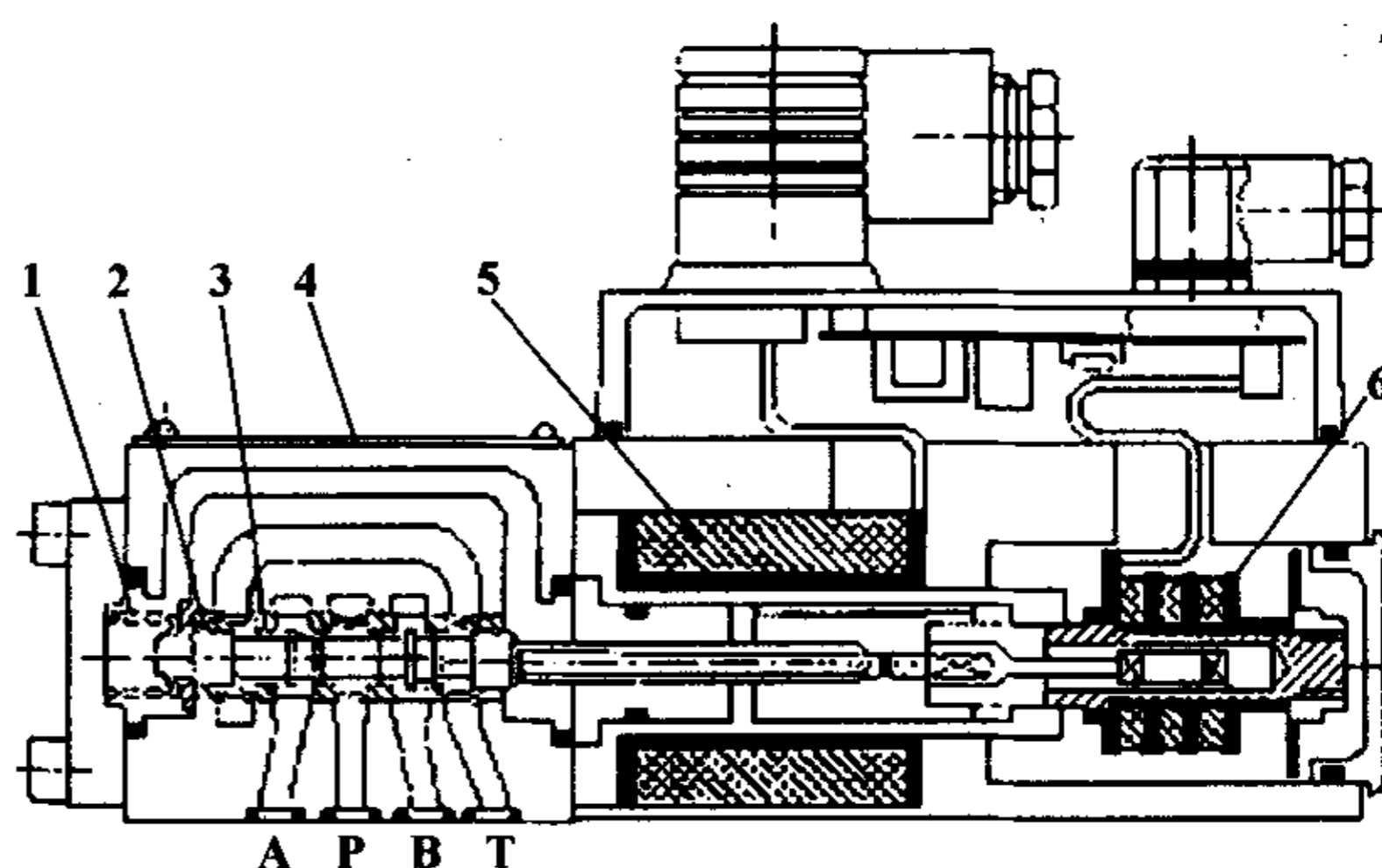
伺服比例阀是比例技术和伺服技术结合的产物, 早起出现的比例伺服阀由于其关键的电-机转换器仍然是最大控制电流仅几十毫安的力马达或力矩马达, 仍属于伺服阀的范畴, 也称之为工业伺服阀。直到 1995 年前后, 出现了新型比例伺服阀, 其特点是阀的机-电转换器采用比例电磁铁, 功率级阀芯采用伺服阀的结构和加工工艺, 零遮盖阀口, 阀芯与阀套之间的配合精度与伺服阀相当^[2]。其价格与性能介于伺服阀和普通比例方向阀之间, 某些性能已达到或超过伺服阀, 同时由于比例伺服阀对油液清洁度低于电液伺服阀, 故适合于各种工业开环、闭环系统。

1 比例伺服阀的结构及特性

1.1 结构

笔者选用的是 BOSCH 比例伺服阀 NG6, 其结构

如图 1 所示。



1—阀芯复位弹簧 2—阀芯 3—钢质阀套
4—铸造阀体 5—比例电磁铁 6—位移传感器

图 1 BOSCH 比例伺服阀结构图

1.2 特点

这种比例伺服阀的特点:

(1) 采用大电流连续作用的比例电磁铁, 最大线圈电流达 2.7A, 功率大 (25VA), 提高了阀的工作可靠性及动态性能。

(2) 采用差动变压器检测阀芯位置, 将位置信号反馈到比例放大器, 与比例电磁铁形成一个闭环位置电控系统, 大大提高了比例电磁铁的动静态特性。

(3) 采用带钢质阀套的滑阀结构, 不但耐磨性提高, 而且保证了伺服阀所必须的零开口工作状态, 以确保中位时阀口的精确零遮盖及提高了系统的快速性和控制精度。

(4) 具有故障保险位, 当系统意外断电时, 阀

收稿日期: 2007-01-26

作者简介: 张磊 (1974—), 男, 甘肃嘉峪关人, 博士研究生, 主要从事复杂过程控制系统研发工作。电话: 010-65007366, E-mail: winder515@126.com。

芯自行进入安全位，以确保控制系统的执行元件处于安全状态。

1.3 静、动态特性

比例伺服阀采用与伺服阀一样的性能考核指标，阀的特性包括静态特性和动态特性。静态特性包括控制特性（输出流量与输入电压或电流关系）、压力特性和内泄漏特性。该款比例伺服阀其流量/输入信号关系为 100% 线性，如图 2 所示。

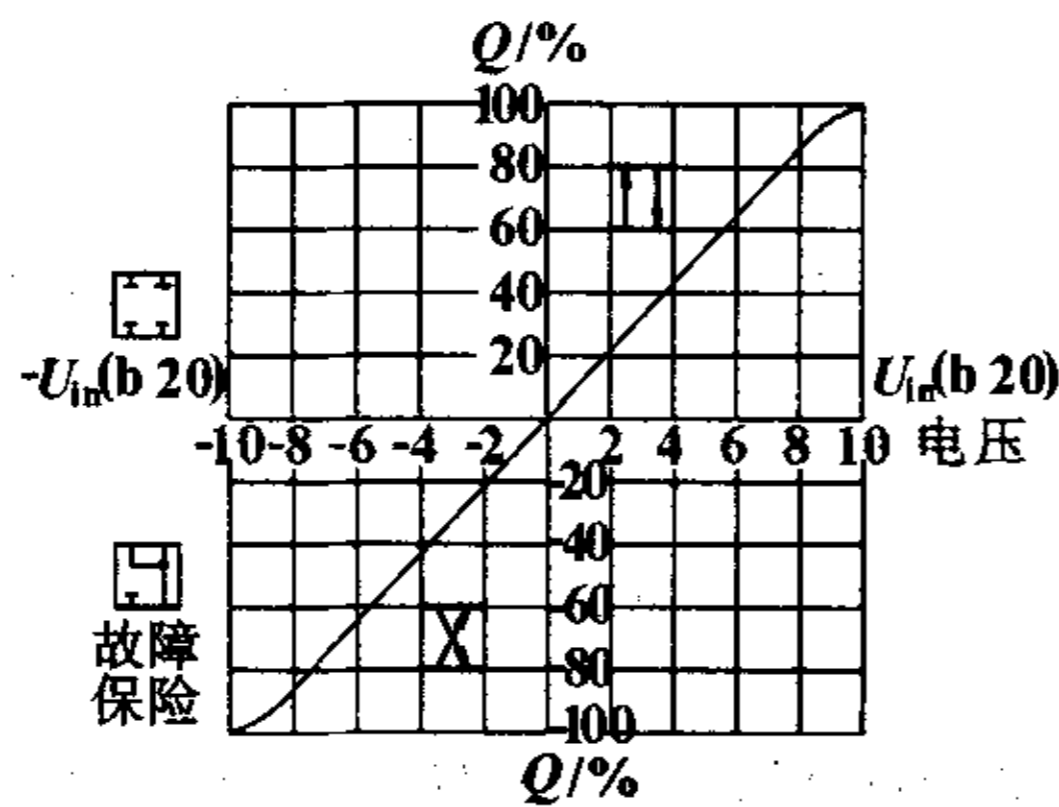


图 2 比例伺服阀线性控制特性

对于闭环控制系统的阀来说，一个重要的指标就是中位时的零重叠，零重叠的精确度由压力增益曲线来表示，如图 3 所示。它要求加工精度高，材料耐磨。

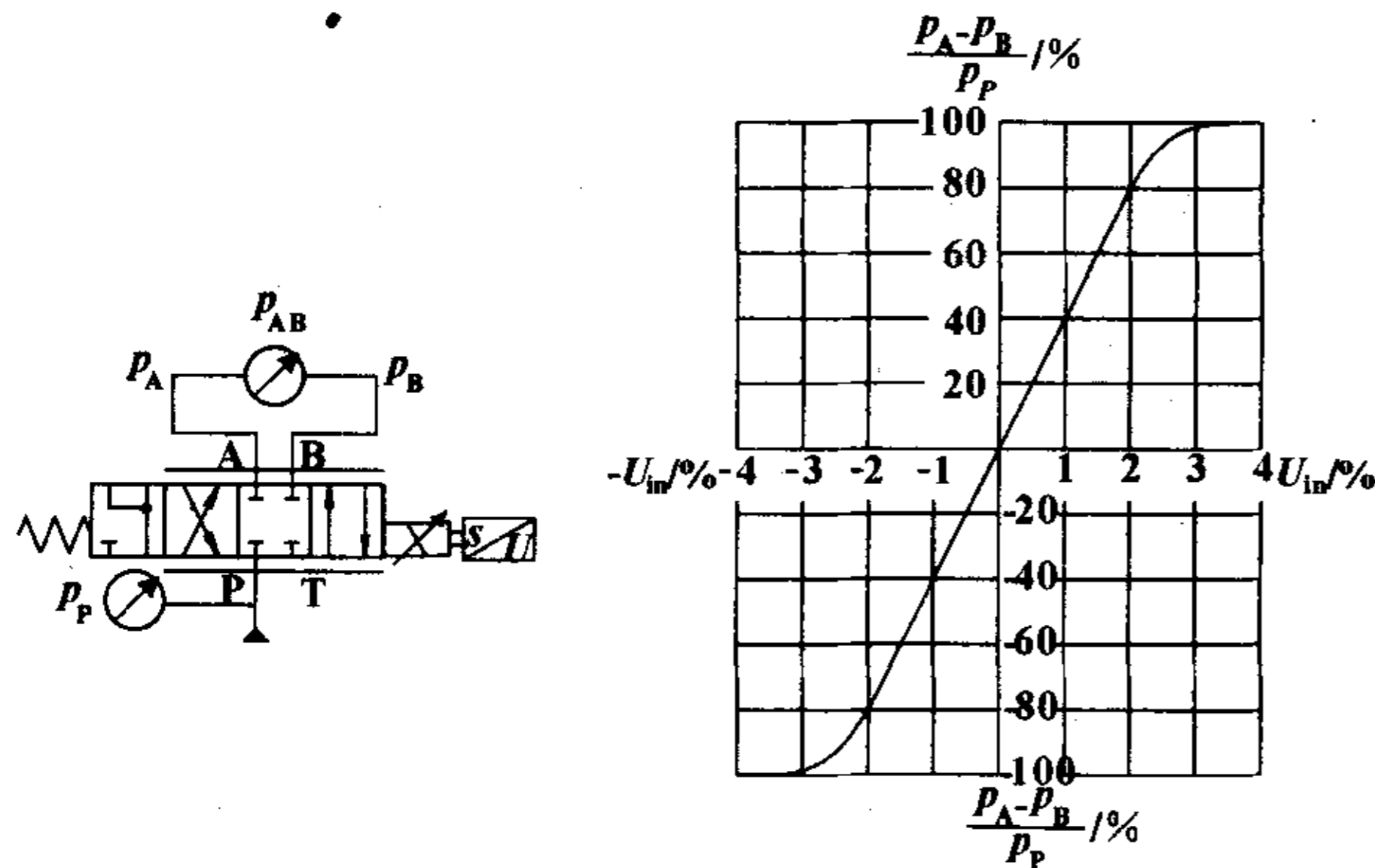


图 3 比例伺服阀的压力增益特性

其它静态性能指标参数见表 1，可见该款比例伺服阀的静态特性已达到传统伺服阀的性能指标。

表 1 比例伺服阀的静态特性指标

特性	数值
滞环	<0.2%
重复误差	<0.1%
温漂	<1%，在 $\Delta T < 40^\circ\text{C}$

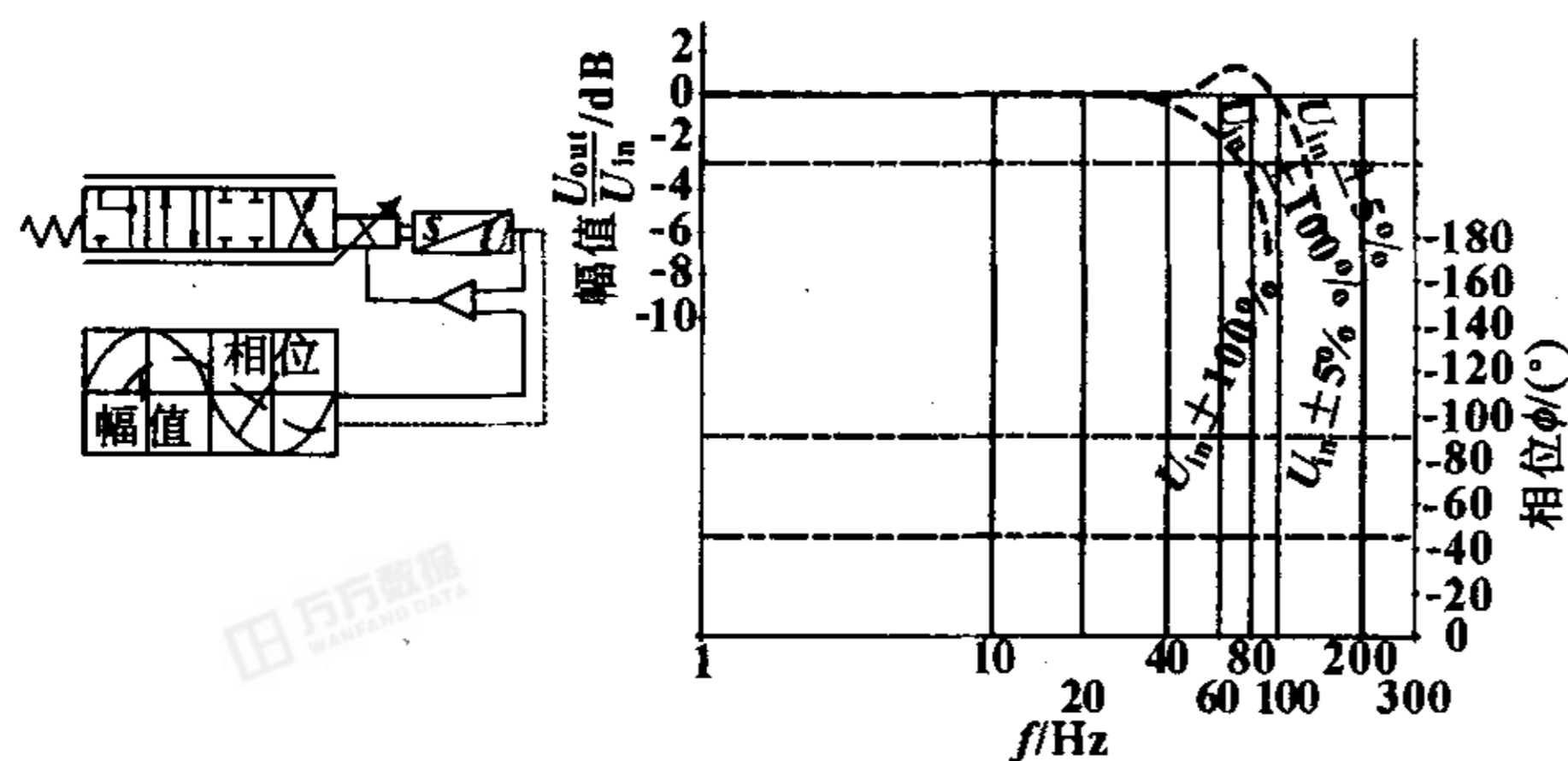


图 4 比例伺服阀的频率响应特性

动态性能是指对快速变化信号的瞬态反映的能力，动态性能可用频率响应（波德图）来表述，如图 4 所示。

取幅频宽（-3dB 时的频率）和相频宽（相位滞后 -90° 时的频率）中较小者作为阀的频宽值^[3]，可知该款比例伺服阀的频宽值约为 65Hz。

2 比例伺服阀在铜带轧机厚度控制系统中的应用

2.1 轧机及液压系统参数

轧机最大轧制力为 500kN，轧机刚度 250t/mm，轧制最高速度为 2.2 ~ 5m/s，成品出口厚度为 0.2 ~ 0.6mm，公差要求在 $\pm 5\mu\text{m}$ 之内，材质为黄铜。液压系统压力为 24MPa，系统流量为 24L/min。

2.2 液压厚度控制系统

液压厚度控制系统用来控制铜带产品的纵向厚度公差在一定的精度范围之内。该款比例伺服阀的最大压力为 31.5MPa，额定流量为 40L/min（压差为 3.5MPa 时）；由此可见该比例伺服阀满足液压系统的要求。

液压厚度控制系统具有响应快、精度高等特点。其动态性能越好，对带材的厚度偏差的纠偏能力就越强。同时，轧制速度越高，对动态性能的要求也越高。控制系统频宽（-3dB 点）为 13Hz 左右。阀的频宽约为系统频宽的 5 倍，符合设计要求。由于该轧机轧速较低，系统控制周期为 100ms，而阀的响应时间（信号变化从 0 ~ 100%）< 10ms。由表 1 的数据，该款比例伺服阀的滞环、重复误差等指标已满足闭环控制系统的要求。温漂小，工作温度范围宽。

在系统调试过程中，可以方便地通过调节设置在控制室中的比例伺服阀放大器来实现调零 $\pm 5\%$ 。

放大器输入信号电压为 $\pm 10\text{V}$ ，控制系统经限幅 PID 调节输出电压信号为 $\pm 5\text{V}$ ，在负载工作状态下，油缸位置环控制精度达到 $\pm 2\mu\text{m}$ 。在动态工况下，系统响应快速，厚控效果满意。

构建的液压厚度控制系统包括位置、压力闭环控制，监控 AGC、预控 AGC、流量 AGC 等控制。

2.3 对油液清洁度的要求

通常伺服阀需要油液清洁度达到 NAS1638 5 级，而比例伺服阀的抗污染能力强，可工作在 NAS1638 7—9 级^[4]，大大地减少了由污染而造成的工作故障，提高了厚度控制系统的工作稳定性和可靠性。实际使用过程中，至今没有发生因伺服阀堵塞引起的系统故障。

2.4 应用效果

自 2005 年 6 月正式投入运行，经过连续 1 年多的生产，NG6 运行稳定可靠，产品精度实测值为 $0.20\text{mm} \pm 5\mu\text{m}$ ，厚度公差在 $\pm 5\mu\text{m}$ 内的带材占整卷 99.3%。

（下转第 149 页）

S 模块中的参数设置。S 函数名称必须设定为 AMESim 模型名称加 “_” 形式，以实现 AMESim 模型与 S 函数的结合。S 函数中的参数是为了规定 AMESim 模型仿真结果格式而进行设置的。在标准仿真界面中前两个参数必须进行设置：第一个参数用于规定是否生成 AMESim 模型仿真结果文件，“1” 代表生成该文件，其它值代表不生成该文件；第二个参数用于规定仿真结果文件的采集时间间隔，“0” 或负值代表该间隔与 Simulink 仿真结果文件相同，若设定值为 “0.01” 即代表该间隔为 “0.01s”。

2 联合仿真应用举例

系统建模，图 1 为 AMESim 中的系统模型，图 2 为 Matlab 中的系统模型。

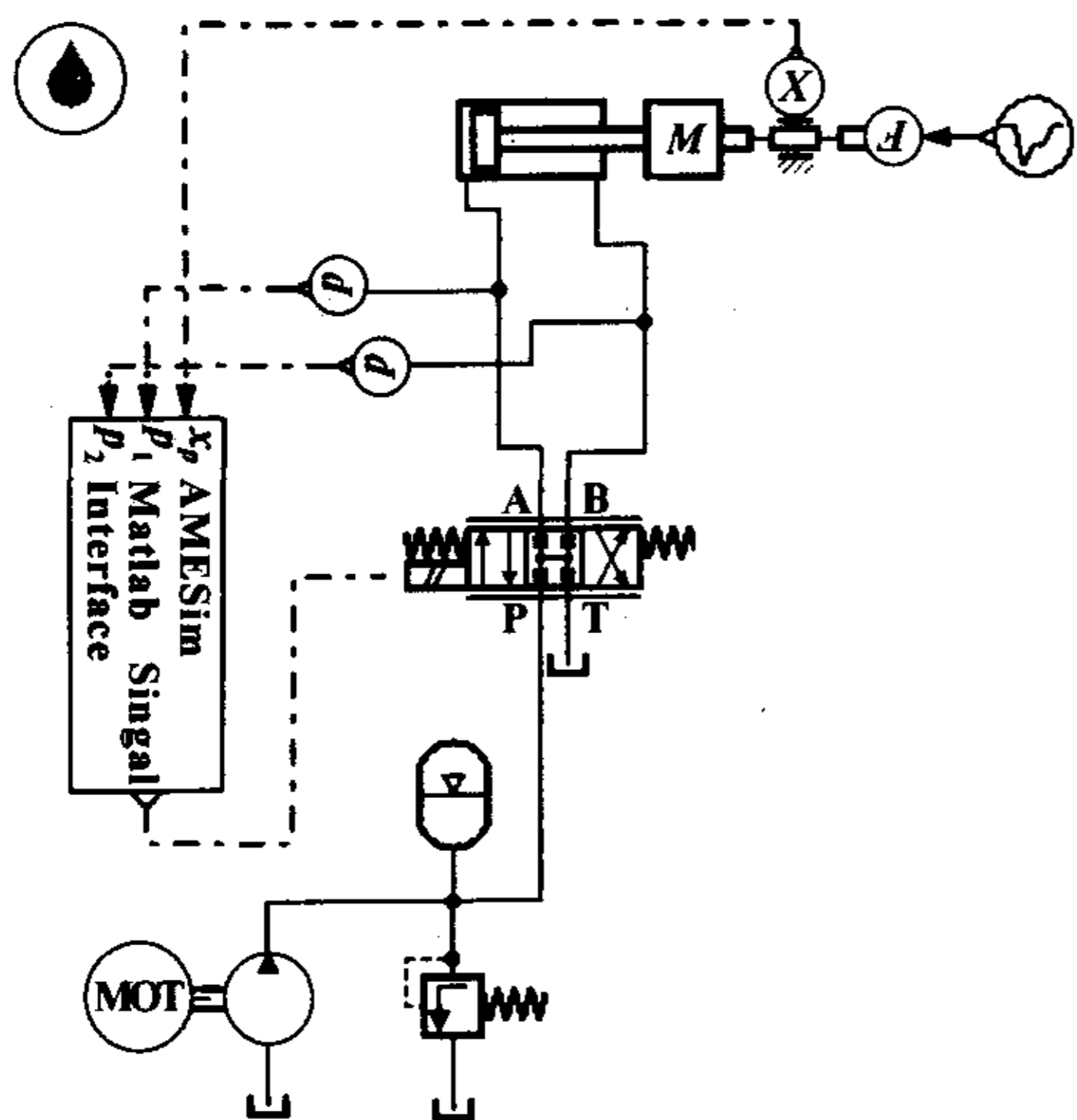


图 1 AMESim 环境下的系统模型

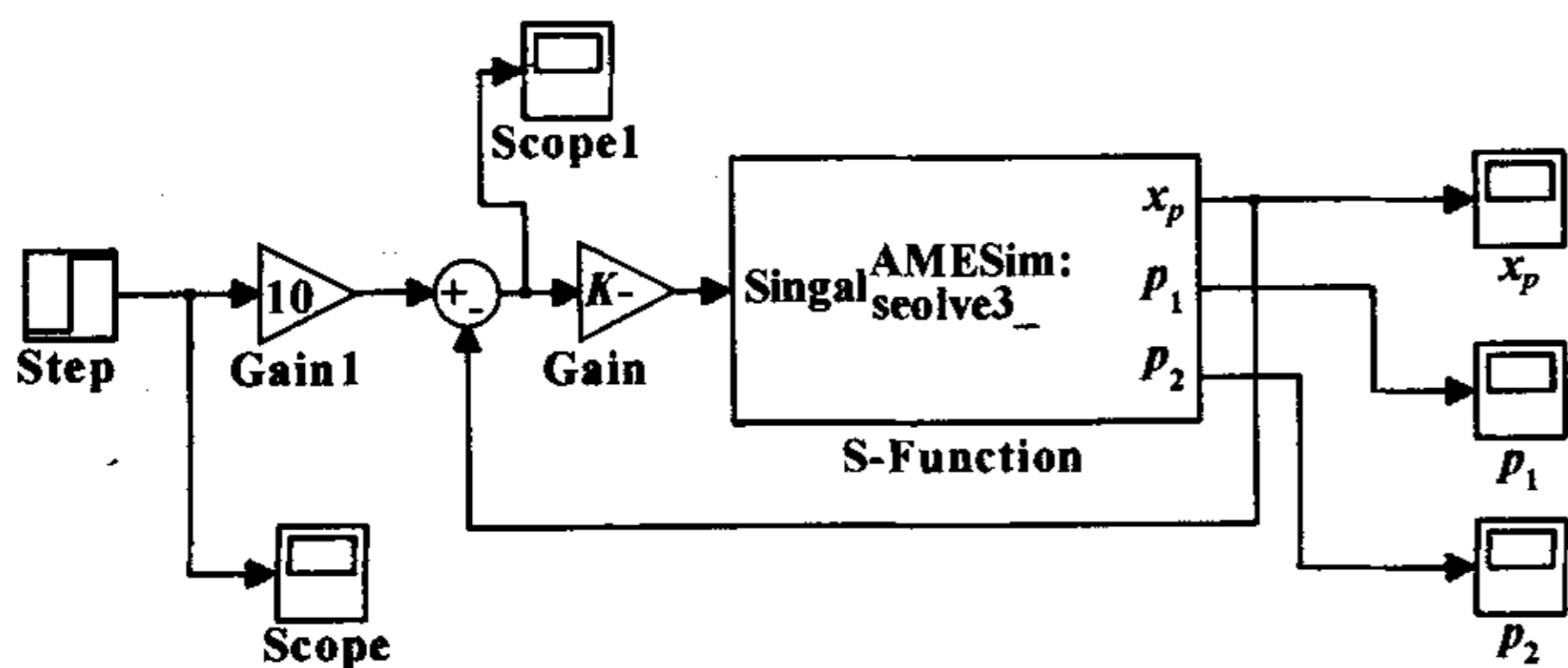


图 2 Matlab 环境下的系统模型

设定系统参数为：活塞缸质量 1 000kg；三位四通换向阀各通路流量 1L/min，压降 0.1MPa，阻尼比 0.8，阀芯固有频率 50Hz，额定电流 200mA；泵排量 35mL/r，转速 1 000r/min；位移传感器增益 10；发动机转速 1 500r/min。系统输入为一阶跃信号，运行仿真，得到活塞杆的位移曲线、三位四通换向阀各通路流量曲线以及液压缸进出口压力曲线，分别见图 3—5。

图 3 液压缸活塞位移曲线

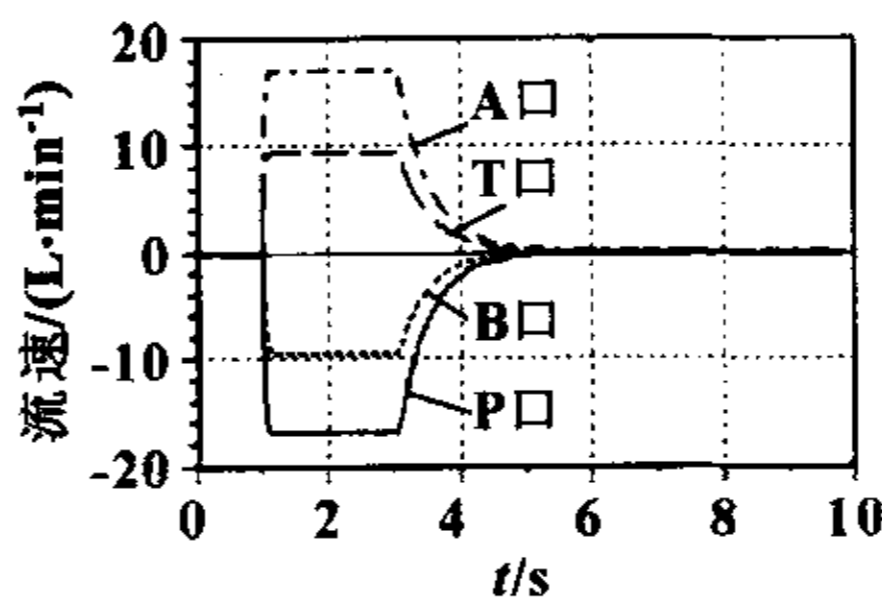
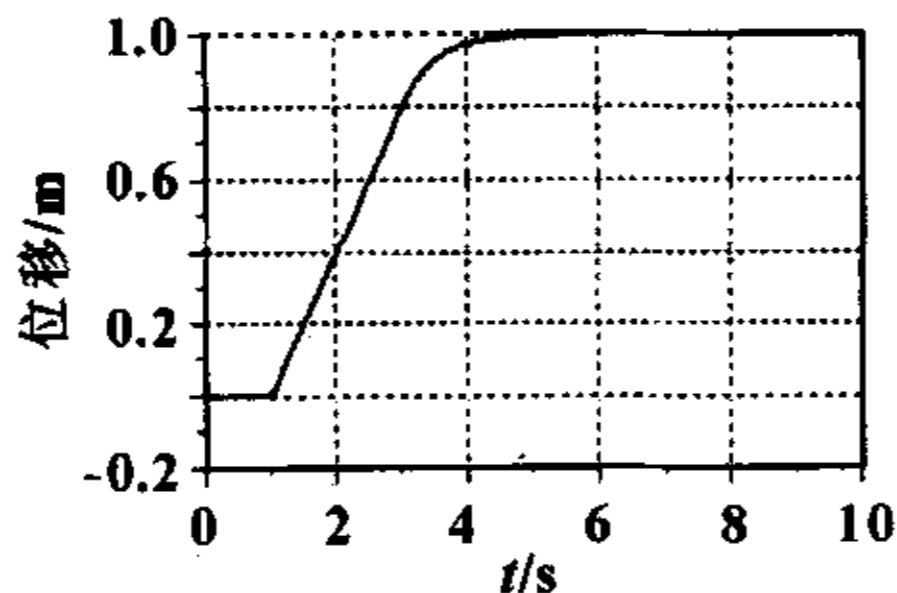


图 4 三位四通换向阀各通路流速曲线

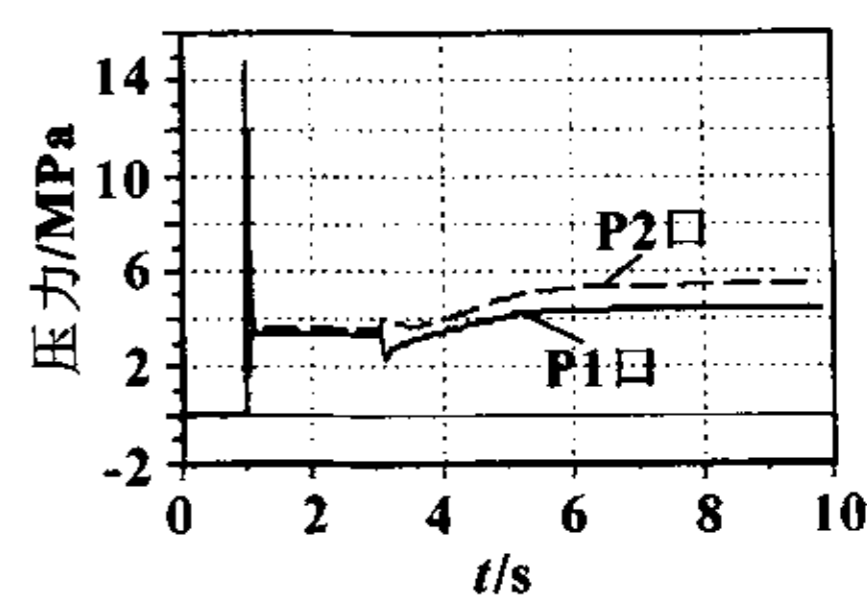


图 5 液压缸进出口压力曲线

由图可以看出，活塞杆位移曲线与系统输入的阶跃信号曲线非常接近，液压缸进出口流量与压力差别不大，系统稳定，仿真效果是非常不错的。

3 结语

本文对 AMESim 与 Matlab/Simulink 联合仿真技术的接口与实现进行了研究，利用 AMESim 对 Simulink 的接口技术，把两个优秀的专业仿真工具联合起来使用，就能既发挥 AMESim 突出的流体机械的仿真效能，又能借助 MATLAB/Simulink 强大的数值处理能力，取长补短，取得更加完美的互补效果。

参考文献

- [1] 王春行. 液压伺服控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [2] 李洪人. 液压控制系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [3] 秦家升, 游善兰. AMESim 软件的特征及其应用 [J]. 工程机械, 2004 (12): 6-8.
- [4] 邢科礼, 冯玉. 基于 AMESim/Matlab 的电液伺服控制系统的仿真研究 [J]. 机床与液压, 2004 (10): 57-58.
- [5] 余佑官, 龚国芳, 胡国良. AMESim 仿真技术及其在液压系统中的应用 [J]. 液压气动与密封, 2005 (3): 28-31.

(上接第 105 页)

3 结束语

随着比例伺服技术的不断发展和创新，以及和电子、计算机技术的紧密结合，比例伺服阀已可以和伺服阀相媲美，同时由于其具有传统比例阀可靠、耐用、使用维护成本低的优点，必将使伺服技术在工业领域的广泛使用成为现实，也将给用户带来明显的经济效益。

参考文献

- [1] 张利平. 液压气动系统设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997: 2-6.
- [2] 许益民. 电液比例控制系统分析与设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 171-175.
- [3] 张利平. 液压阀原理、使用与维护 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 359-363.
- [4] 徐纪纲. 从 BOSCH 电液控制系统看国外技术发展方向 [J]. 液压与气动, 1997 (6): 3-7.