

编者按:中国福马机械集团有限公司承担了国家高技术研究发展计划(“863计划”)项目,开展了“人造板连续平压和精准控制技术”的课题研究,并形成了多项具有自主知识产权的技术。其开发的“BPY74265宽幅人造板连续压机成型压制系统”,被国家科技部、环保部、商务部和质监总局联合认定为“2014年度国家重点新产品”;参与制订的行业标准LY/T 2730-2016《连续平压热压机》已颁布施行;投入市场的八英尺、六英尺生产线通过验收并可靠运行。

本刊自2017年第1期起开辟专栏,报道此项研究的系列技术成果,旨为我国人造板企业的装备升级提供参考。

连续压机液压控制阀对板坯加压响应时间的影响

余文霞, 盛振湘, 岳群飞, 路世伟, 瞿国富, 张红建

(中国福马机械集团有限公司, 北京 100029)

摘要: 采用伺服比例阀与电磁球阀结合固定节流孔两种方式控制的液压系统,用于人造板连续压机,分析并对比系统对板坯加压响应时间的影响,为不同运行速度的人造板生产线液压系统控制阀选型提出建议。

关键词: 连续压机; 人造板; 伺服比例阀; 电磁球阀; 固定节流孔; 加压响应时间

中图分类号: TS64; TS653 文献标识码: A 文章编号: 1001-8654(2017)05-0009-04

Influence of Hydraulic Control Valves on Response Time of Mat Pressing for Continuous Presses

YU Wen-xia, SHENG Zhen-xiang, YUE Qun-fei, LU Shi-wei, QU Guo-fu, ZHANG Hong-jian

(China Foma (Group) Co., Ltd., Beijing 100029, China)

Abstract: The authors calculated and analyzed different mat pressing response times in continuous presses by a hydraulic servo control valve and an electromagnetic ball valve combined with fixed orifice, respectively. Therefore, suggestions for selecting hydraulic control valves for continuous presses in wood-based panel production lines with different speeds were presented.

Key words: continuous press; wood-based panel; servo control valve; electromagnetic ball valve; fixed orifice; response time of mat pressing

人造板连续压机的液压系统是连续压机极为重要的部件之一,承担着按照工艺曲线,在电控系统程序的作用下,将板坯压制合格成品板的作用。

液压系统主要由动力单元(泵源和蓄能器)、控制单元(控制阀组)和执行单元(油缸)组成,

还包括过滤冷却循环系统、油箱及附件。液压系统控制单元各控制阀组的作用为:主油缸控制阀组主要负责框架油缸加压、卸压及油缸过压保护等功能;行程控制阀组控制上热压板升降;平衡控制阀组主要提供克服入口板坯反弹的压力,使之保持在一定压力范围内;压辊控制阀组控制上压辊油缸作用在上钢带上压力和位移,便于入口辊杆导入和上钢带角度在合适的范围内;钢带控制阀组负责入口上下钢带调偏和出口钢带张紧及调偏。可见,在人造板

收稿日期:2017-06-05;修改日期:2017-08-14

基金项目:国家高技术研究开发计划(“863计划”)“人造板连续平压和精准控制技术”(2010AA101702)。

作者简介:余文霞(1976—),中国福马机械集团有限公司连续压机事业部高级工程师。

连续压机的液压系统中，控制阀组起着至关重要的作用。

笔者通过分析连续压机中液压控制阀的不同组合对板坯加压响应时间的影响，对不同运行速度的连续压机生产线的液压系统控制阀选型提出建议。

1 控制阀类型及在连续压机上的应用

1.1 控制阀类型

国内外连续压机液压系统中，板坯加压的控制阀目前常用三种类型：伺服比例阀、高频响比例阀及电磁球阀结合节流孔。其各自特性如下。

1) 伺服比例阀：阀芯由永磁式线性力马达驱动，阀芯和阀体中的阀套精密配合，零遮盖无死区，动态响应高，而且对油液的清洁度要求略低。目前，这种阀以进口为主，价格比伺服阀低廉，国外连续压机设备上普遍应用。

2) 高频响比例阀：阀芯由比例电磁铁驱动，阀芯和阀体中的阀套精密配合，具有伺服性能；油液清洁度要求与伺服比例阀相近，价格比伺服比例阀略低。高频响比例阀的各项性能指标，完全满足连续压机不同运行速度对板坯加压控制精度的要求，国内外连续压机液压设备上均普遍应用。目前这种阀亦以进口居多，国内压机制造商也在尝试采用国产的类似替代品，以降低设备成本。

伺服比例阀和高频响比例阀性能相近，二者可视为同类伺服比例阀。

3) 电磁球阀结合节流孔：早期国外连续压机设备上应用较多。此类阀对液压系统清洁度要求低，电磁球阀几乎无泄漏量，液压系统发热量低等，对于低速运行的连续压机具备优势。

1.2 控制阀在连续压机不同区域的应用

连续压机对板坯的压力控制，是通过伺服比例阀或者电磁球阀结合节流孔来实现，以适应生产工艺的要求。根据连续压机生产线上的不同热压区域（图1）及压机速度要求，压机不同区域选用控制阀类型一般有三种方案。

1.2.1 第一种 压机高压区、保压区和校正区，均采用电磁球阀结合节流孔进行压力控制。

电磁球阀本身无法控制压力，通过节流孔提供的小流量，在要求的范围内控制油缸压力。由于节

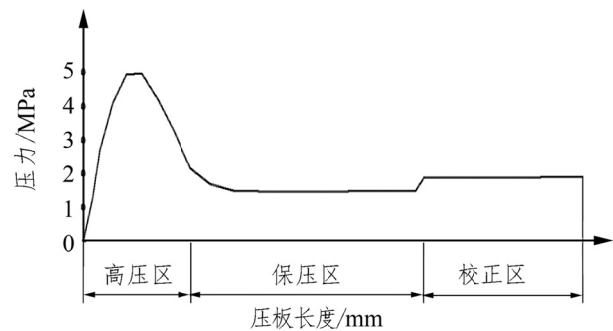


图1 连续压机MDF热压曲线示意图

Fig.1 Pressure profile of continuous presses in MDF production

流孔尺寸固定，在进板阶段压差不变的情况下，流量不变，故加压响应时间较长，不适用于高速运行的连续压机；在正常生产阶段，由于板坯含水率波动，需要进行加压或卸压的微调，这时节流孔又偏大，导致压力会超调，很难控制在要求的偏差范围内；另外，电磁球阀频繁动作，使用寿命也受到一定限制，只能用在精度要求不高的液压系统中。

但由于其清洁度要求低、成本低，在多层、单层压机上可以作为主阀的先导阀使用。

1.2.2 第二种 压机高压区采用伺服比例阀；保压区和校正区采用电磁球阀结合节流孔进行控制，多用在较高速生产线上。

板坯进入高压区，压缩量大，要求建压快速，故采用伺服比例阀。板坯到达保压区后，压力的高低及建压快慢，对产品质量影响小；到达校正区时，整个过程中压力主要控制板坯厚度。因此，在后两区采用电磁球阀结合节流孔的控制方式仍然可行。

但在速度较高时，校正区为了控制板坯厚度，电磁球阀的电磁铁会频繁切换，直到位移稳定在设定范围值内，而阀的寿命有限，需要定期更换。

1.2.3 第三种 压机高压区、保压区和校正区，全采用伺服比例阀进行压力控制。

伺服比例阀能够连续无级控制流量及压力，几乎没有延时，是高速薄板生产线的首选。从2000年开始，随着人造板生产线装备的转型升级，对连续压机运行速度、产品品质的要求提高，多采用伺服比例阀。但其价格昂贵、清洁度要求高，有些连续压机设备厂家为节约成本，在压机低速运行时，仍用电磁球阀结合节流孔的控制方式（即第二种方案）。

2 控制阀对板坯加压响应时间的影响

由于高压区板坯压缩量大,要求快速建压,能明显地反映不同类型控制阀的加压效果,所以笔者选择高压区油缸相关液压参数及实时数据,进行板坯加压响应时间的计算分析。

以某连续压机生产线生产 13 mm 素板为例,压机速度 340 mm/s,热压时间 8.8 s/mm,选择高压区第五组一侧油缸(图2)相关液压参数及实时数据,分析和计算采用不同类型液压控制阀时,板坯的加压响应时间。

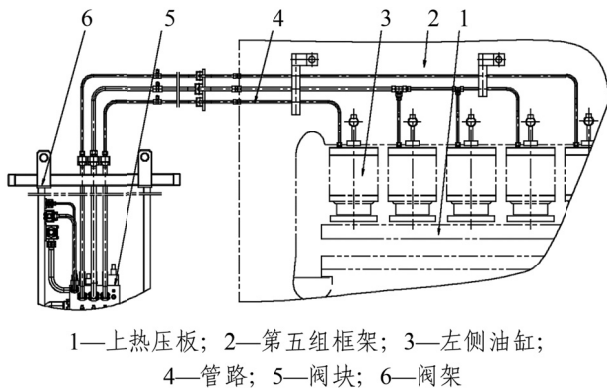


图2 第五组油缸及阀组示意图

Fig.2 Diagram of the fifth cylinder and valve system

- 1) 执行元件油缸的参数: 直径 $D = \phi 300$ mm; 行程 $L = 100$ mm。
- 2) 从阀块出口到油缸之间的管路参数: 管路 1 直径 $d_1 = \phi 20 \times 3.5$ mm, 长度 $L_1 = 6\ 015$ mm; 管路 2 直径 $d_2 = \phi 28 \times 4$ mm, 长度 $L_2 = 1\ 780$ mm。
- 3) 油缸位移: 设定值为 16.2 mm, 实际值 $L_3 = 18.53$ mm, 进板后位移 $L_4 = 16.29$ mm。
- 4) 压力: 进板前压力 0.08 MPa, 进板后压力 7.16 MPa。

将上述参数代入公式 1~4, 分别计算: 进板前油缸内油液体积 V_1 、管路内油液体积 V_2 ; 以及油缸和管路内油液压力从 0.08 MPa 加压到 7.16 MPa, 油液体积的压缩量^[1] ΔV_1 ; 进板后, 油缸压力、位移变化增加的油液体积 ΔV_2 。

$$V_1 = \pi D^2/4 \times (L - L_3) \quad (1)$$

$$V_2 = \pi(d_1 - 0.0035 \times 2)^2/4 \times L_1 + \pi(d_2 - 0.004 \times 2)^2/4 \times L_2 \quad (2)$$

$$\Delta V_1 = (V_1 + V_2) \cdot \Delta p \cdot \beta_p \quad (3)$$

$$\Delta V_2 = \pi D^2/4 \times (L_3 - L_4) \quad (4)$$

式中: Δp —为进板前、后油缸内的压差, MPa;
 β_p —体积压缩系数, 一般矿物油取 $1.4 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{N}$ 。

计算结果为: $V_1 = 5.756 \text{ L}$; $V_2 = 1.92 \text{ L}$; $\Delta V_1 = 0.076 \text{ L}$; $\Delta V_2 = 0.1582 \text{ L}$ 。

2.1 伺服比例阀控制加压的响应时间

如图 3 所示, 来自低压油箱内的压力油, 通过液控单向阀充满油缸, 当检测信号检测到板坯进入压机且到达油缸压板位置时, 电气控制系统输出电信号给 YV1 阀, 伺服比例阀加压。压力或位移传感器将检测到的油缸压力/位移反馈给控制系统, 控制系统将实际值和设定值进行比较, 其差值控制伺服比例阀开口量, 直到两者差值为零, 伺服比例阀回到中位, 油缸维持在此位置。系统采用闭环控制, 且油缸压力和位移可以连续控制。

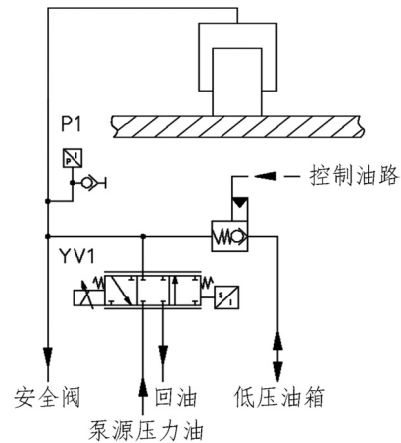


图3 伺服比例阀控制示意图

Fig.3 Control diagram of servo control valves

以国外某伺服比例阀产品为例, 该阀在 7 MPa 阀压差 ($\Delta P_N = 3.5 \text{ MPa}$ /每一节流边) 情况下, 公称流量 $Q_N = 33 \text{ L/min}$ 。忽略油路沿程阻力、油液黏度、液动力等因素的影响, 伺服比例阀入口压力 26 MPa, 压差为 18.84 MPa。

$$Q_1 = Q_N \sqrt{\frac{\Delta P}{\Delta P_N}} \quad (5)$$

$$t_1 = (0.076 + 0.1582) / Q_2 \quad (6)$$

式中: Q_1 —负载流量, L/min; Q_N —控制阀的额定流量, L/min; ΔP_N —控制阀的额定压降, MPa; ΔP —控制阀的实际压降, MPa; t_1 —控制阀控制达到负载要求压力所用时间, s。

基于油缸到达最终要求的压力 7.16 MPa, 及系统压力保持在 26 MPa 和油缸压力差的条件下, 计算出

加压响应时间为 0.18 s。实际上，油缸压力从 0.08 MPa 到 7.16 MPa 是逐渐增大的，伺服比例阀的压差由大逐渐减小，通过阀的流量亦不断减小，当压力到达 7.16 MPa 时流量最小。因此，生产中控制阀的实际负载流量要大于理论计算的流量，即到达设定压力的响应时间短于 0.18 s。

2.2 电磁球阀结合固定节流孔控制加压的响应时间

如图 4 所示：在油缸充满油的情况下，阀 YV2 得电，系统压力油通过 $\phi 0.7$ mm 节流孔、电磁球阀 YV2，使油缸开始加压。电磁球阀 YV1 得到电信号，油缸开始卸压。

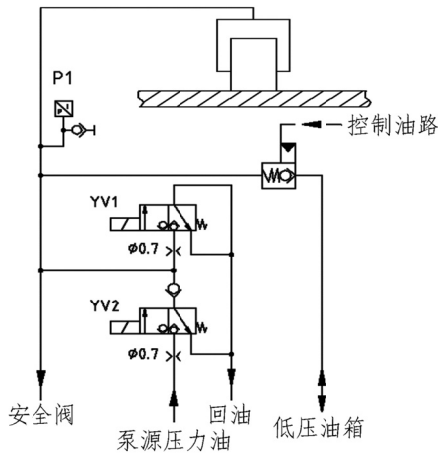


图 4 电磁球阀控制示意图

Fig.4 Control diagram of electromagnetic ball valves

不考虑油液黏度、液动力、沿程阻力等因素的影响，通过固定节流孔的流量为 $Q_2^{[1]}$ ：

$$Q_2 = \mu A \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}} \quad (7)$$

式中： μ —流量系数，0.62； A —固定节流孔面积， $3.85 \times 10^{-7} \text{ m}^2$ ； γ —矿物油密度， 9.81 kg/m^3 ； g —重力加速度， 9.81 m/s^2 。

采用电磁球阀结合固定节流孔控制时，加压到要求工艺压力所需的时间为 t_2 ：

$$t_2 = (0.076 + 0.1582) / Q_2 \quad (8)$$

根据压差为 18.84 MPa 下的流量，计算出加压响应时间 t_2 约 4.68 s。

2.3 两种控制阀的加压响应时间对比

图 5 所示，第五组油缸控制热压板长度为 832.5 mm，板坯经过时间为 $832.5 / 340 = 2.45 \text{ s}$ 。电磁球阀结合固定节流孔加到设定压力需要 4.68 s，伺服比例阀只需要 0.18 s，两者相差约 25 倍。结果表明伺服比

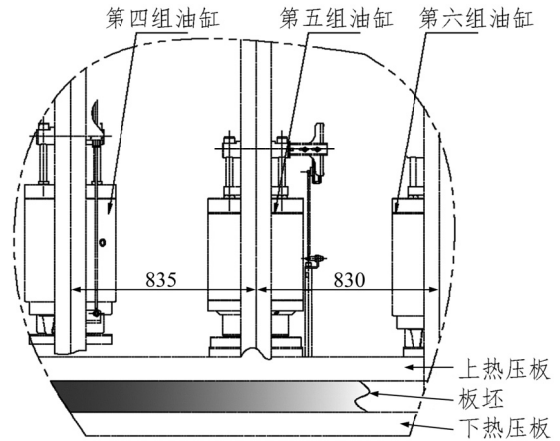


图 5 第 4、5、6 组油缸示意图

Fig.5 Diagram of the fourth, fifth and sixth cylinders

例阀建压快，跟随性好；电磁球阀结合固定节流孔建压时间相对迟缓。

以上数据是基于生产线上高压区第五组油缸中的一组，板坯处于刚进入状态；对保压区板坯的加压，采用电磁球阀结合固定节流孔的控制方式，虽然加压缓慢、压力低，但对板坯的影响并不大；而在校正区，若加压速度不够快，易导致刚出压机的板坯很难成型。

3 结语

设计连续压机液压系统需要考虑不同工艺要求下控制阀的工作状态：进板和卸板阶段，控制阀响应速度都必须及时满足工艺要求，才能保证板材的高品质。

1) 实际选型时，胶合板生产线及运行速度低于 600 mm/s 的连续压机，可采用电磁球阀结合节流孔进行压力控制；

2) 刨花板和中厚密度纤维板生产线及运行速度低于 1 000 mm/s 的连续压机，高压区可采用伺服比例阀（高频响比例阀），保压区和校正区可采用电磁球阀结合节流孔进行压力控制；

3) 薄型或超薄型中高密度纤维板生产线及运行速度高于 1 000 mm/s 的连续压机，压机各区域均采用伺服比例阀（高频响比例阀）进行压力控制。

参考文献：

[1] 周世昌. 工程流体力学[M]. 哈尔滨：东北大学出版社，1995.

(责任编辑 向琴)