

## 蓄能器在轧机液压压下系统中的应用

彭熙伟,耿庆波,王晓平

## Application of Accumulator in Hydraulic Screwdown System of Rolling Mill

PENG Xi-wei, GENG Qing-bo, WANG Xiao-ping

(北京理工大学 自动控制系,北京 100081)

**摘要:**蓄能器是利用气体的可压缩性来蓄集液体的压力能,是轧机液压压下系统中的重要辅助元件。该文就蓄能器在轧机液压压下系统中作辅助能源、改善动态特性、吸收压力脉动等基本问题进行了阐述。

**关键词:**蓄能器;轧机;液压压下

中图分类号:TH137.8+1 文献标识码:B 文章编号:1000-4858(2005)05-0070-03

## 1 引言

随着科技进步和激烈的市场竞争,现代轧制装备向精确化、高速化、自动化、大型化和高效能的方向发展。在轧机压下自动厚度控制(AGC)系统中,电动-机械压下装置的辊缝定位精度仅为 $\pm 0.2$  mm,设定辊缝需要人工调节;闭环频率响应仅 $0.5 \sim 2$  Hz,即不能在带载轧制过程中实时调节辊缝,产品尺寸精度低。而液压压下装置定位精度达 $\pm 0.008$  mm,可按规程自动设定辊缝;闭环频率响应达 $15 \sim 28$  Hz,可实现带载轧制过程中实时调节辊缝,产品尺寸精度高。因此,精度高、动态响应快的液压压下系统(HAGC)在板带轧机中得到了越来越广泛的应用。

蓄能器是HAGC系统重要的辅助元件,是HAGC系统优良动态特性的重要保证。本文就轧机液压压下系统中蓄能器应用的一些基本问题进行阐述。

## 2 蓄能器的选型

蓄能器有气体蓄能器、重锤蓄能器和弹簧蓄能器等。在液压系统中,最早应用的是重锤蓄能器,但重锤蓄能器相对于它的容量而言,其体积和重量都很大。现在,重锤蓄能器和弹簧蓄能器已很难见到,而应用最广泛的是气体蓄能器。

气体蓄能器通常有皮囊式、活塞式和隔膜式3种。隔膜式蓄能器的容量很小,它主要应用于航空机械上。皮囊式、活塞式蓄能器的容量都比较大,由于皮囊式蓄能器不存在克服活塞密封的静摩擦力和活塞加、减速运动的惯性问题,因此,在系统压力变化的条件下,皮囊式蓄能器比活塞式蓄能器响应快。通常,皮囊式蓄能器响应时间低于 $25$  ms,而活塞式蓄能器响应时间在 $30$  ms以上。

为提高效率,现代轧机向高速化轧制发展,中板轧制速度 $6$  m/s,冷、热轧带钢轧制速度分别在 $40$  m/s和 $30$  m/s以上。高速轧制对轧机压下系统的动态响应提出了更高的要求。因此,轧机液压压下系统通常选用动态响应快的皮囊式蓄能器。

## 3 蓄能器的功用

## 3.1 积蓄能量

在轧机压下系统的一个工作循环内,系统需要的流量差别很大,空载快速设定辊缝要求的流量大,而带载轧制辊缝调节需要的流量小。因此,采用蓄能器和泵供油,此时不需要按系统最大流量 $q_2$ 来选择液压泵,而按系统所需要的平均流量 $q_1$ 来选择液压泵。如图1所示的运行周期,在时间周期 $t_2 - t_1$ 和 $t_4 - t_3$ 内,

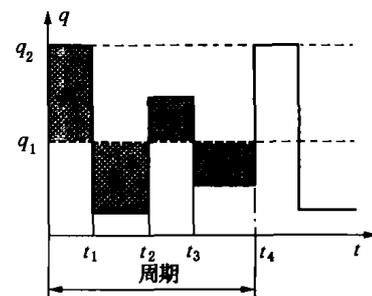


图1 系统流量工况

系统需要的流量小,蓄能器储蓄油;在 $t_1$ 和 $t_3 - t_2$ 周期内,系统需要的流量大于泵的输出流量 $q_1$ ,蓄能器与泵同时供油。若泵的流量 $q_1$ 按 $q_1 = q_2/2$ 选择,则可降低液压泵和电机功率 $50\%$ ,从而降低了设备费用

收稿日期:2004-11-18

作者简介:彭熙伟(1966—),男,云南昆明市人,副教授,博士,主要从事电液伺服控制、比例伺服控制技术研究工作。

和操作费用。

确定液压泵的流量  $q_1$ , 必须满足  $V_1 + V_2 \leq V_3 + V_4$ 。由于液压压下系统的流量非常大, 因此, 液压泵站通常采用泵组和蓄能器组相结合的方式。蓄能器组的最大供液量  $\Delta V_m$  应为  $n$  个并联蓄能器所排放的液量之和。若蓄能器的排放液量为  $\Delta V$ , 即  $\Delta V = \Delta V_m / n$ , 泵站最低使用压力为  $p_1$ , 最高使用压力为  $p_2$ , 充气压力  $p_0$  可取为  $p_0 = 0.9p_1$ , 则蓄能器的容量为:

$$V_0 = \frac{\Delta V}{\left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{0.7143} - \left(\frac{p_0}{p_2}\right)^{0.7143}} \quad (1)$$

### 3.2 动态特性补偿

轧机液压压下系统通常采用图 2 所示的三通阀控缸的结构形式。由于液压油的压缩性非常小, 在 35 MPa 的条件下, 其体积约减少 1.7%<sup>[1]</sup>; 因此, 这种相对的不可压缩性使得其非常适合于动力传动, 并根据动力控制要求使液压执行机构进行快速的动作调节。伺服阀控制液压缸的运动是基于调节流量来实现的, 其调节流量  $q$  的基本原理为:

$$q = ki \sqrt{p_s - p_c} \quad (2)$$

式中  $k$  是系数;  $i$  是控制电流;  $p_s$  是伺服阀前供油压力;  $p_c$  是控制腔压力。由式(2)可知, 在  $p_s$ 、 $p_c$  一定的条件下, 按电流  $i$  大小, 伺服阀可精确调节流量  $g$ 。但是, 在伺服阀调节流量的过程中, 由于液压泵站与伺服阀的距离比较远, 管路压力损失大, 从液压泵站到伺服阀的压力能传递有较大滞后, 从而造成伺服阀前供油压力  $p_s$  的降低; 而  $p_s$  的降低, 使伺服阀先导级喷嘴挡板的流量增益也随之减小, 从而导致伺服阀动态响应能力降低<sup>[2]</sup>, 也就是使伺服阀控制液压缸的动态特性降低。因此, 通常在伺服阀前的进油路上设置蓄能器, 这样, 当伺服阀进油路压力降低时, 蓄能器

可快速排放蓄储的高压液体来补偿伺服阀进油路压力的降低, 从而保证伺服阀的动态特性不降低。蓄能器最低工作压力为  $p_1$ , 最高工作压力为  $p_2$ , 充气压力为  $p_0 = 0.8p_1$ , 其排放液量  $\Delta V$  由轧制过程中液压缸运动的峰峰值和缸径大小决定, 按式(1)即可计算蓄能器的容量  $V_0$ 。

### 3.3 脉动补偿

由于液压压下采用三通阀控缸的结构形式, 因此, 液压缸有杆腔是恒定的压力油作用。这样, 如果在轧制过程中液压缸有杆腔的压力有脉动, 这将引起轧制力的波动, 从而影响到产品的质量。因此, 为保证轧制力稳定, 通常在液压缸有杆腔的进油路上设置液压力脉动补偿蓄能器(见图 2)。蓄能器平均工作压力取液压缸有杆腔的恒定压力, 则由压力脉动大小即可确定蓄能器最低、最高工作压力  $p_1$  和  $p_2$ , 充气压力为  $p_0 = 0.7p_1$ , 其排放液量  $\Delta V$  由轧制过程中液压缸运动的峰峰值和缸径大小决定, 按式(1)即可计算蓄能器的容量  $V_0$ 。

## 4 蓄能器的安装和使用

蓄能器是精心设计、制造和按检验标准检验的压力容器, 其正确的安装和使用是保证使用性能、安全可靠工作和延长使用寿命的前提条件。主要应注意以下几方面问题:

(1) 蓄能器应采用垂直安装方式, 这样在液体排放时可获得最大的流量输出。如果采用卧式安装, 皮囊就趋向于向蓄能器壳体托靠并产生摩擦, 这将造成皮囊磨损加快;

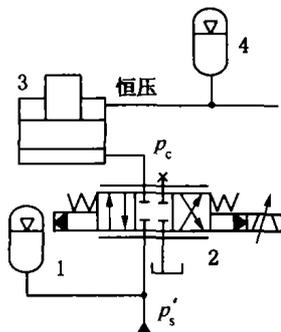
(2) 动态补偿蓄能器应尽可能就近安装在伺服阀前。脉动补偿蓄能器应尽可能安装在操作侧和传动侧两个压下缸有杆腔连接油路的中间位置;

(3) 蓄能器必须使用氮气充气。充空气或氧气有可能会引起爆炸;

(4) 出于安全的原因, 蓄能器最高工作压力应低于产品所规定的最高工作压力; 并且  $p_2/p_0 \leq 4$ , 这将保证最佳效率和工作寿命;

(5) 蓄能器工作参数的设定应保证在排放液体时不能全部排空, 必须有剩余的液体, 其体积  $\geq 0.1V_0$ , 这将保证皮囊的工作寿命;

(6) 工作温度对皮囊寿命有重要影响。当温度很低时, 皮囊趋于脆性; 当温度升高、接近或超过皮囊的最高允许温度时, 皮囊所受应力成倍增加, 并在短时间内造成断裂。通常蓄能器内的温度高于系统的温度,



1. 动态补偿蓄能器 2. 伺服阀 3. 压下缸 4. 脉动补偿蓄能器

图 2 伺服阀控液压缸

# 海水泵球铰副的结构设计及优化

李杰, 杨曙东

## Structural Design and Optimization of Slipper Socket Friction Pairs in Water Hydraulic Piston Pump

LI Jie, YANG Shu-dong

(华中科技大学 机械学院电液所, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 该文通过对海水泵球铰副的3维有限元分析, 对海水泵球铰副进行了优化设计, 为海水泵球铰副的材料选用及结构形式设计提供了一定的理论依据。

**关键词:** 海水泵球铰副; 材料; 优化设计; 有限元分析

中图分类号: TH137.51 文献标识码: B 文章编号: 1000-4858(2005)05-0072-03

### 1 前言

在轴向柱塞式液压泵中, 一般认为有3对关键的摩擦副, 即柱塞/缸孔、配流盘/缸孔端面和滑靴/斜盘。而球铰副(柱塞/滑靴组件中的柱塞球头与滑靴球窝这对摩擦副, 如图1)却往往被忽视。事实上它对柱塞/缸孔副特别是对滑靴/斜盘副能否正常工作起着至关重要的作用。特别在海水泵中如果设计、选材不当, 球铰副相对运转的摩擦阻力太大, 滑靴绕球头运转不灵活, 将引起滑靴倾侧破坏液膜、偏磨, 严重时会引起烧靴, 靴底的泄漏损失也将大幅度增加。因此对海水泵球铰副研究, 特别是其选材与结构设计有着十分重要的意义。

本文利用有限元技术对不同结构、不同材料组合

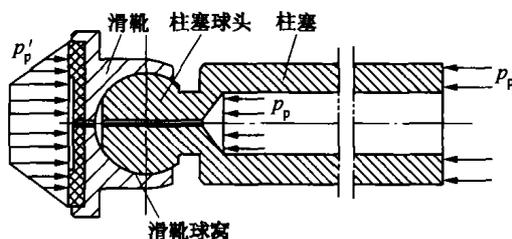


图1 球铰副受力模型

并且温度是随  $p_2$ 、 $V_0$  的增高而上升。因此, 系统油液的温度必须控制在合理的工作范围内;

(7) 蓄能器的壳体上不允许进行任何焊接或机械加工;

(8) 应定期检查充气压力是否正常, 确保充气不泄漏;

(9) 如果要对液压回路进行维修时, 必须先释放

的球铰副进行应力分析和优化设计, 研究不同结构和材料组合的球铰副在实际工作状态下的应力状态和变形情况, 以为海水泵球铰副的设计提供一定理论依据。

### 1 球铰副的选材与结构设计

#### 1.1 选材

对于海水泵柱塞/滑靴组件, 耐蚀合金、工程陶瓷及高分子复合材料是重点候选材料。海水泵在吸、排水过程中, 柱塞组件还受到一定冲击力的作用, 陶瓷材料因为脆性问题有待于进一步的试验验证。工程塑料具有耐磨损、自润滑的优点, 但是难以实现包球工艺。耐蚀合金具有良好的延展性, 能够实现包球的强度及工艺性要求, 所以滑靴与柱塞的主体材料应是耐蚀合金。剩下的问题是如何从结构设计上把具有良好自润滑性能的高分子复合材料与耐蚀合金有机地结合起来, 以有效解决其面临的摩擦学问题, 同时保证必要的

收稿日期: 2004-10-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50175032)

作者简介: 李杰(1976—), 男, 吉林省梨树县人, 硕士研究生, 主要从事海水液压元件的研究工作。

蓄能器内的有压液体。

#### 参考文献:

- [1] A Staff Report. Smooth operators[J]. Hydraulics & Pneumatics, 2003(7): 38-43.
- [2] 李洪人. 液压控制系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981: 152-157.