

# 模拟盾构机推进液压系统泵站集成设计

杨扬, 龚国芳, 胡国良, 杨华勇

(浙江大学流体传动及控制国家重点实验室, 杭州 310027)

**摘要:** 推进液压系统是盾构液压系统的重要组成部分。本文针对盾构模拟试验平台, 介绍了推进液压系统的结构设计特点及其工作原理, 采用 Pro/E 三维软件对主油路阀块、分组阀块以及泵站进行了集成设计, 提高了设计效率, 保证了设计的准确性及加工的便利。

**关键词:** 盾构机; 推进液压系统; 集成阀块; 三维设计

**中图分类号:** TH137 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-3881(2006)4-118-3

## Integrate Design of Pumping Station in Thrust Hydraulic System of Simulator Shield

YANG Yang, GONG Guofang, HU Guoliang, YANG Huayong

(State Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** Thrust hydraulic system is a key to the shield tunnelling machine. Working principle and structural characteristic of the system were presented. Pumping station and valve blocks for main oil circuit and grouping were designed integrally using Pro/E (a three-dimensional modeling software), which is advantageous for the machining facility, the design efficiency and the accuracy.

**Keywords:** Shield machine; Thrust hydraulic system; Integrate valve block; Three-dimensional design

### 0 前言

盾构掘进机是一种隧道工程专用的大型高科技综合施工设备。它集电气、液压、测量导向、控制、材料等多学科技术于一体, 具有开挖切削土体、输送土碴、拼装隧道衬砌、测量导向纠偏等功能。采用盾构掘进机, 施工速度快, 自动化程度高, 一次成型, 有利于环境保护和降低劳动强度。而且盾构掘进机适用范围广, 从软土、淤泥到硬岩都可应用, 施工质量高, 可控制地面沉降, 开挖时不影响面上建筑和交通, 与传统的隧道工程相比, 具有明显的优势<sup>[1]</sup>。

在我国经济高速发展的带动下, 未来 20 年, 我国城市化将进入加速发展时期。随之而来的市政工程、城市地铁、水利等基础设施建设已经摆到了一个非常重要的地位, 大量采用盾构技术进行地下空间开发利用已成为我国城市化进程的必然选择<sup>[2]</sup>。据预测, 今后 10 年我国盾构掘进机的市场可达 10 亿美元, 若有 60% 采用国产盾构掘进机, 至少可节省外汇 6 亿美元, 并可振兴我国的掘进机制造业。因此, 发展拥有自主知识产权的盾构机关键技术已成为社会各界广泛关注的焦点之一。

作为一种特殊的超大型工程机械, 盾构掘进机需要针对隧道的地质条件专门设计, 每台都不一样, 对电液控制系统有特别高的要求。我国幅员辽阔, 地理情况复杂, 即使采用进口盾构也急需研究适用的电液系统集成设计理论和方法。搭建盾构模拟试验平台, 可以为以后的系统设计理论提供试验数据, 进而形成适合我国国情的适应性理论指导, 具有重要的意义。本文主要讨论盾构模拟试验台推进液压系统泵站的集成设计分析。

### 1 推进液压系统结构设计及其工作原理

在整个盾构掘进机当中, 推进系统有着举足轻重的地位。作为盾构模拟试验平台的一个关键部分, 推进系统的协调动作使盾构掘进机保持合适的姿态是盾构掘进机能够沿着设计路线准确向前推进的前提。研究控制推进液压缸的同步前进、姿态控制和位置纠偏也成为盾构模拟系统关键技术的重要部分。

#### 1.1 推进液压系统结构设计

盾构掘进机在实际施工过程中, 由于被切削的土层土质条件比较复杂, 以及施工过程中出现的许多不可预见的因素, 常常导致盾体各个部分受到的土层压力不相一致, 使得盾构掘进机的前进方向偏离设计轴线; 而且考虑到实际情况, 盾构掘进机在施工过程中还要进行转弯或曲线行进, 这些都要根据盾构掘进位置与理想位置的偏差情况, 来协调和控制各推进油缸压力, 以调整盾构掘进机姿态。在盾构掘进机中, 采用推进液压缸分组控制技术进行盾构掘进方向控制及纠偏, 即将液压缸进行分组均布, 并对每组分别调整, 在符合控制要求的前提下, 可达到既控制成本, 又简化结构的目的<sup>[3]</sup>。

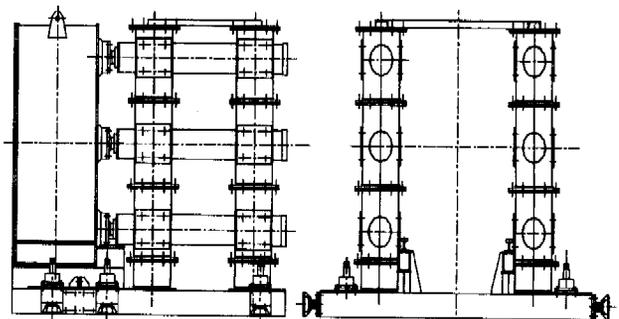


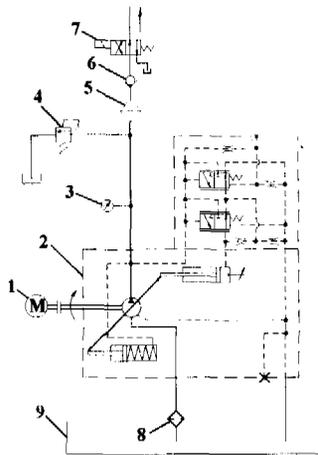
图1 推进系统分布示意图

模拟盾构掘进机的推进液压缸分布如图 1 所示。

采用6个 $\phi 200\text{mm}/160\text{mm} \times 1500\text{mm}$ 的液压缸作为推进液压系统的执行机构, 轴向对称分布, 模拟实际盾构六个分区。每个液压缸内置有一个磁致伸缩式位移传感器, 测量该区液压缸行程, 各个区的液压缸压力根据需要可以调节, 改变液压缸的速度和行程来达到控制盾构的掘进方向。液压缸两端支撑形式为铰接, 便于小半径曲线掘进和掘进方向纠偏, 而且, 铰接油缸受力较小, 可延长其使用寿命。

### 1.2 推进液压系统工作原理

推进液压系统采用变量泵2实现负载敏感功能, 主油路上设置了一个二位四通换向阀7, 可使每个分组油缸在推进时先切换其三位四通电磁换向阀, 从而保证其同步推进, 并使整个系统具有单个液压缸分别退回的功能。其主油路原理图如图2所示。

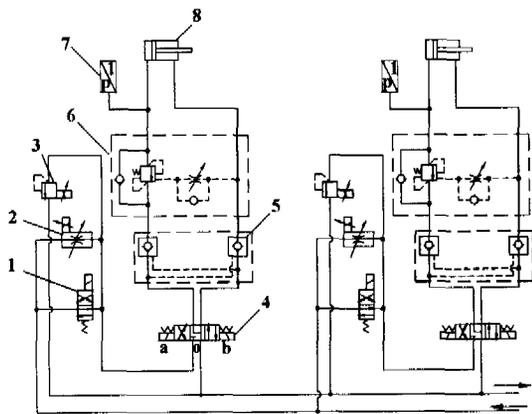


对于每个独立分组, 根据其内置式的位移传感器以及压力传感器实时检测推进压力及位移, 采用节流控制方式, 来调节比例溢流阀和比例调速阀, 进行闭环复合控制, 以调整盾构掘进机的推进速度和推进压力, 从而提高系统的控制精度和动态响应。推进液压系统分组工作原理如图3所示。

- 1. 电机 2. 变量泵 3. 压力表
- 4. 安全阀 5. 压力管路过滤器
- 6. 单向阀 7. 二位四通换向阀
- 8. 吸油过滤器
- 9. 油箱

图2 液压推进系统主油路工作原理图

当三位四通电磁换向阀4处于a位置, 此时进油



- 1. 二位四通电磁换向阀 2. 比例调速阀 3. 比例溢流阀
- 4. 三位四通电磁换向阀 5. 液压锁 6. 平衡阀
- 7. 压力传感器 8. 液压缸

图3 推进液压系统分组工作原理图

当三位四通电磁换向阀4处于a位置, 此时进油

路上的二位二通换向阀1导通, 短路比例调速阀2, 系统向液压缸有杆腔大量供油, 从而使推进液压缸快速推回。液压锁5与具有Y形中位机能的三位四通电磁换向阀4组成在一起成为锁紧回路, 可保证在停止时推进油缸能很好地锁定, 并防止泄漏。液压缸单独退回时, 平衡阀6能起到运动平稳的作用。

## 2 集成阀块及泵站设计

### 2.1 集成阀块的设计

由于模拟盾构机的液压系统比较复杂, 使用集成阀块(一种液压系统无管化连接方式)可省去大量管子和接头, 充分利用各个液压元件的功能, 使得结构更紧凑, 密封性更好, 便于安装、调试和维护。

模拟盾构机的推进液压系统由6个液压分区组成, 若使用一个集成阀块对其进行连接, 不仅结构过于繁琐, 而且也不利于加工和安装。考虑到推进分区结构上的完全一致性, 设计中采用了一个主油路集成阀块和6个分组阀块相配合的方案。

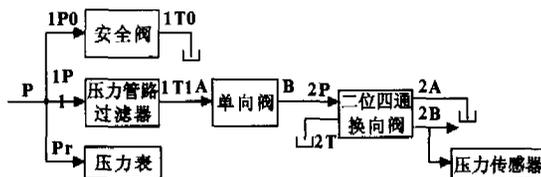


图4 推进系统主油路阀块原理框图

推进液压系统主油路中, 用一个集成阀块连接主要部件, 其原理框图如图4所示。即将安全阀的回油口1T0和二位四通换向阀的出油口2A、回油口2T汇合一起成总回油口T回油箱, 主油路进油口P接变量泵的出油口B, 二位四通换向阀的出油口2B则为主油路出口, 液压油从此进入各个分区。其三维设计图和加工图如图5所示。



图5 推进系统主油路阀块三维设计及加工图

同样, 系统在6个推进液分区中分别安装相同的分组集成阀块, 其原理框图如图6所示。即将比例调速阀的进油口1P0、二位二通电磁阀的进油口1P1, 以及主油路汇合一起成为进油口P, 比例调速阀的回油口1T0、二位二通电磁阀的回油口1T1和三位四通电磁阀的进油口2P、比例溢流阀的进油口3P汇合在一起, 比例溢流阀的回油口3T、三位四通电磁阀的回油口2T汇合成总回油口T回油箱。其三维设计图

和加工图如图 7 所示。

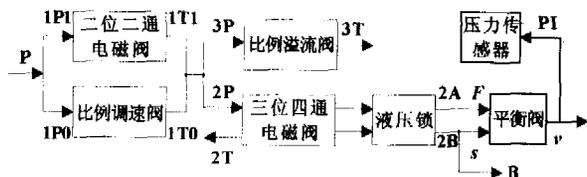


图 6 推进系统分组阀块原理框图

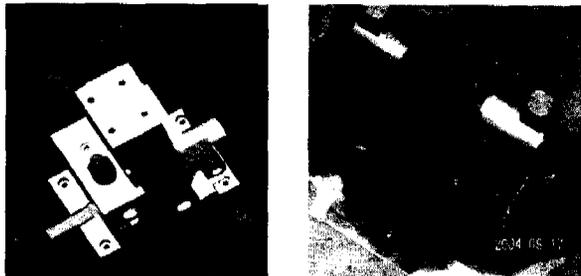


图 7 推进系统分组阀块三维设计及实物图

### 2.2 泵站的三维参数化设计

为了提高集成阀块设计的准确性，以及推进液压系统各部件整体组装的结构紧凑性和密封性，本系统采用了三维参数化设计软件 Pro/E，对设计方法和手段进行了改进。使用 Pro/E 软件建立的三维实体能够完全再现各个实物零件的真实特征，从而方便、直观地进行实体虚拟装配和运动分析<sup>[4]</sup>。通过观察装配体的各个部位，检查设计的正确性、合理性和准确性，

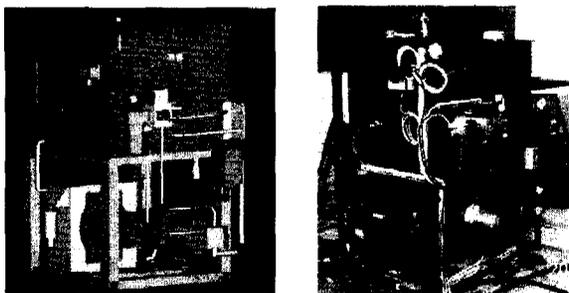


图 8 推进系统泵站三维设计及实物图

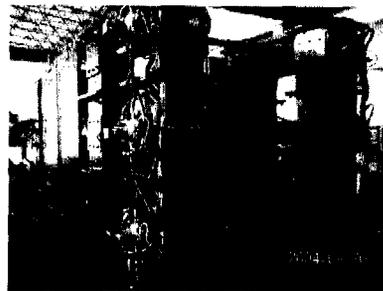


图 9 推进系统分组阀块在总装图中的分布

使各种问题在设计阶段就被发现解决，极大地提高了设计效率。图 8 为推进系统泵站三维设计及实物图，图 9 为推进系统分组阀块在总装图中的分布。

### 3 结束语

本文结合模拟盾构掘进机的技术特点，对其推进液压系统进行了设计。对 6 个液压缸进行了分组控制，可降低成本，适合操作，并采用了推进部分分组阀块和主油路集成阀块相结合的方案，大大简化了系统油路结构，有利于安装和维护。系统设计中广泛采用了三维参数化设计软件，提高了设计效率，保证了设计的准确性及加工的便利。

### 参考文献

- [1] 杨华勇, 龚国芳. 盾构掘进机及其液压技术的应用 [J]. 液压气动与密封, 2004 (1).
- [2] 钱七虎, 李朝甫, 傅德明. 全断面掘进机在中国地下工程中的应用现状及前景展望 [J]. 建筑机械, 2002 (5).
- [3] 庄欠伟, 龚国芳, 杨华勇. 盾构机推进系统分析 [J]. 液压与气动, 2004 (4).
- [4] 刘海芳. Pro/ENGINEER 环境下的实体造型与装配设计 [J]. 机械设计与制造, 2004 (2).

作者简介: 杨扬 (1979—), 男, 浙江杭州人, 浙江大学硕士研究生。主要研究方向: 机电液传动及控制。

收稿时间: 2005-01-05

(上接第 117 页)

组成。

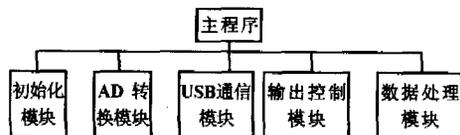


图 6 程序模块图

### 4 结论

本文详细介绍了 HFPE 各控制子系统的功能及特点，并通过分析 HFPE 运行调试的特点及其对控制器电路的要求，给出了一种 PC 机 + DSP 的控制方案，并完成了 PCB 制版、软件的编制及最后的调试。该

控制器工作可靠，能完成对 HFPE 样机的控制，并且参数调节方便。

### 参考文献

- [1] 张压强. 液压双自由活塞发动机实验样机控制系统的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2003. 01. 20.
- [2] 夏必忠. 往复式原动液压泵的机理研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2003. 09.
- [3] 杨华勇, 夏必忠, 傅新. 液压自由活塞发动机——未来的动力之星 [J]. 中国机械工程, 2001 (6).

作者简介: 闫红力 (1980—), 男, 硕士研究生, 主要从事数字信号处理及机电液控制系统研究。电话: 0571-87952500-222。E-mail: luckyhyl@yahoo.com.cn。

收稿时间: 2005-01-04