

# Φ14.87 m盾构液压推进系统分析

## Analysis of Hydraulic Propulsion System of Φ14.87 m Shield Machine

吕建中, 庄欠伟

LV Jian-zhong, ZHUANG Qian-wei

上海隧道工程股份有限公司, 上海 200233

Shanghai Tunnel Engineering Co. Ltd., Shanghai 200233, China

**【摘要】** 针对在上海市上中路隧道工程施工的Φ14.87 m超大直径泥水气平衡盾构, 介绍了其液压推进系统的功能、泵组控制、分区设计、单个分区的液压控制方式。结果表明: 盾构液压推进系统满足了盾构总推力及速度控制要求, 提高了管片拼装效率; 比例减压控制策略满足了工程需要。

**【Abstract】** The function, pump package control, partition design and hydraulic control mode for single partition of hydraulic propulsion system are introduced in terms of Φ14.87 m exceed diameter mud-water-air balance shield machine used in Shangzhong Road Tunnel of Shanghai. The study shows that the hydraulic propulsion system meets needs of the gross propulsion and speed control, enhances the assembly efficiency of duct pieces; the strategy of pressure reducing by proportions satisfies project needs.

**【关键词】** 盾构机; 液压推进系统; 分区控制; 比例减压控制

**【Key words】** shield machine; hydraulic propulsion system; partition control; pressure reducing by proportions

中图分类号: U455.3

文献标识码: B

文章编号: 1000-033X(2008)07-0075-03

## 0 引言

随着超大直径盾构的广泛应用, 在盾构技术先进的国家中, 大直径盾构掘进机的设计、制造工艺和施工技术已达到相当高的水平。他们将计算机技术、机械自动化技术等应用于大直径盾构掘进机, 使其功能更完备、科学, 施工更安全可靠<sup>[1]</sup>。

盾构掘进机(简称盾构)依靠液压缸的推力向前推进, 其前进方向和姿态靠液压缸的协调动作实现。液压缸的精确控制是保证盾构沿着设计的路线方向准确向前推进的前提。本文主要介绍了从法国引进并应用于上海上中路越江隧道工程的Φ14.87 m泥水气平衡盾构的液压系统功能、分区设计和单个分区液压控制方式设计。

## 1 液压推进系统的功能

推进系统的功能是使盾构向前运动, 同时推进液压缸, 并保持管片的定位。液压推进系统有推进模式和管片拼装模式2种操作模式<sup>[2]</sup>。

### 1.1 推进模式

在推进模式下, 系统的功能是克服阻力, 提供盾构前进的动力以及盾构姿态调整的扭转力矩。推进模式下只有JZ2000泵提供高压液压油。JZ2000泵为比例变量泵, 可通过改变比例泵的输入信号来调整泵的输出流量, 从而调整推进速度。

在盾构施工中, 隧道轴线与设计轴线的偏差量是衡量盾构施工质量的一个重要指标。为达到要求, 液压推进系统采用分区控制, 合理调节推进系统液压缸各个分区的推进压力可以得到所需扭转力矩, 从而完成盾构姿态的调整。

### 1.2 管片拼装模式

在管片拼装模式下, 系统的功能是盾构完成一段掘进后, 实现管片拼装成环。这时推进液压缸的作用是使液压缸回缩, 为某块管片提供拼装空间; 保持管片的定位, 防止管片下落; 克服推进面的水土压力, 防止盾构后退。为了提高管片拼装速度, 系统设置了低压高流量的齿轮泵JZ2010和JZ2020, 提高了液压缸伸缩速度。管片拼装模式下系统压力为10 MPa, 可以满足管片定位的需要<sup>[3]</sup>。

## 2 液压推进系统泵站

液压推进系统泵站的原理如图1所示。泵站共有4只泵,各泵采用串联方式由1台电机驱动。JZ2000为比例变量柱塞泵,为推进过程提供高压比例流量调节的液压油;JZ2010和JZ2020为定量齿轮泵,为管片拼装过程提供低压大流量液压油;JZ2030为定量齿轮泵,为JZ2000提供3 MPa的辅助压力。在推进过程中,电磁铁EV2001通电,电磁铁EV2011断电,JZ2000通过溢流阀设定系统最大工作压力为35 MPa,JZ2010和JZ2020输出压力为0。推进过程中只有JZ2000工作,为推进系统提供液压油,流量最大为211 L/min。盾构施工过程要根据工况的不同来调节推进速度,推进速度的改变可依靠调节输入比例变量泵的比例信号来实现。管片拼装过程中,电磁铁EV2002和EV2011通电,JZ2000通过溢流阀设定系统最大工作压力为12 MPa,JZ2010和JZ2020的输出压力为10 MPa。推进过程中JZ2010和JZ2020为推进系统提供液压油,流量为832 L/min,可以实现液压缸的快速伸缩,提高管片拼装效率。

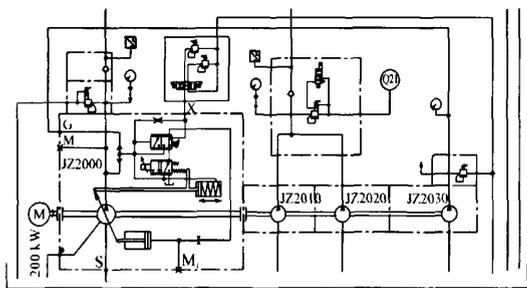


图1 Φ14.87 m盾构液压推进系统泵站原理

## 3 液压推进系统的分区

在掘进施工中,盾构需要按照指定的路线轨迹轴向前进,因此刀盘或刀架的精确进刀与对刀至关重要。而被切削的地质比较复杂,整个盾构盾体受到地层的阻力往往不均,容易使盾构的掘进方向发生偏离,这时就需要通过协调精确控制推进液压缸来实现盾构的纠偏,达到盾构沿设计路线轨迹推进的目的。另外,盾构进行曲线推进时,有时要前倾、后仰、左右摆动或向复合方向上掘进。在盾构的施工中,隧道轴线与设计轴线的偏差量是衡量盾构施工质量的一个重要指标。为了达到要求,通常需要合理调节推进系统液压缸的推进压力以得到所需扭矩,从而实现盾构姿态的调整。

由于推进系统液压缸数量较多,为了减少液压缸的控制阀数量、控制成本、降低复杂程度,可采用分组分区控制,即将相邻的2个液压缸作为1组控制,将为数众多的推进液压缸小组按圆周分成几个区,对各分区液压缸分别进行控制。这样既可以节约成本、降低控制复杂程度,又可以实现对盾构姿态调整、纠偏的精确控制。本系统采用4个分区(图2),分区个数比较少,布局分为上、下、左、右4个区,姿态和纠偏控

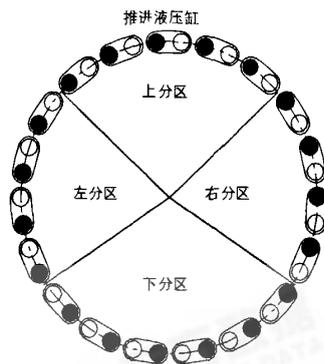


图2 Φ14.87 m盾构推进液压缸截面分布

制简单。左、右分区各有4组8个液压缸,上分区有5组10个液压缸,下分区有6组12个液压缸。每个分组2个液压缸中1个液压缸装有行程传感器,图2中加黑的圆圈代表带有行程传感器的液压缸,没有加黑的圆圈代表没有行程传感器的液压缸。每个分区装有1个压力传感器,对分区压力进行监控。

## 4 液压推进系统的控制方式

液压推进系统采用一个换向阀块(图3)实现液压推进系统所有液压缸的伸缩控制。通过每个分区中的换向阀控制插装阀实现液压缸后腔管路的通断来选择哪个液压缸参与伸缩动作。

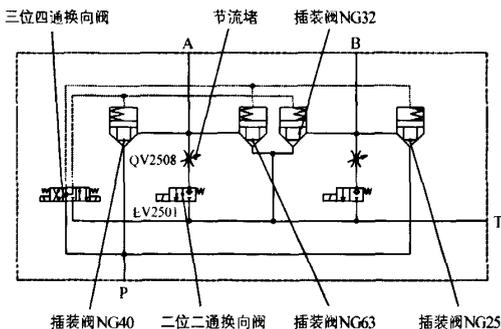


图3 Φ14.87 m盾构换向控制块液压原理

由于盾构直径比较大,液压推进系统需要的流量比较大,用普通换向阀难以控制液压缸的伸缩,因此选择插装阀加换向阀组合来实现大流量液压油流向的改变,从而实现液压推进系统液压缸的伸缩。液压推进系统换向控制块如图3所示。通过三位四通换向阀分别置于3个位置来实现P、T、A、B 4个口的通断,进而实现液压缸的伸缩和停止的功能。二位二通换向阀和节流阀的功能是减小插装阀换向时的压力冲击。例如推进系统由推进模式转为管片拼装模式,这时A口保持较高压力,若不进行压力释放就直接进行液压缸缩回,将A口接回油口T,B口接回油口P,将会产生液压的急速变化,对系统造成巨大的冲击。如果在液压缸缩回前EV2510通电,通过节流阀QV2508将A口的高压缓慢释放,这时再进行换向,使液压缸回缩,就可以避免液压的急速变化,减小系统的压力冲击。

推进系统采用了分区控制设计,各分区只是在盾构截面的分布位置不同,各分区采用的控制方式完全相同。各分区油缸中设专门的压力传感器及位移传感器各1个,实时监测推进液压缸的推进压力及推进位移,与分区中的电液比例减压阀构成闭环。可以实时进行压力控制,控制推进液压缸的推进压力,从而控制盾构前进的推力;协调控制各个分区的压力,由此控制盾构的扭转力矩来完成盾构姿态的调整<sup>[4]</sup>,位移可由行程传感器对液压缸直接测得。

上分区的液压原理如图4所示。比例减压阀控制整个分区的最高压力,使所有液压缸推进压力不高于比例减压阀的设定压力。每组液压缸控制方式都通过电磁换向阀控制插装阀来实现液压缸大腔液压油的通断,从而实现对某个液压缸

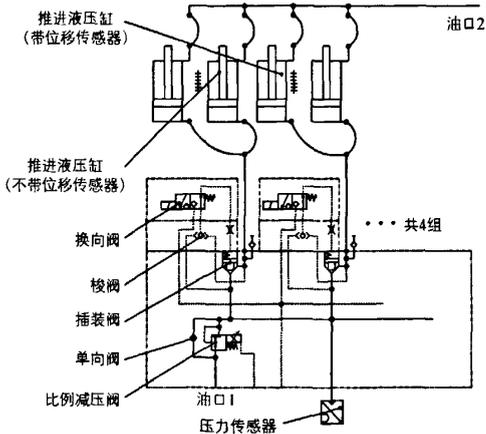


图4 液压推进系统单个分区液压控制原理

(上接第74页)

## 4 发动机替换后的实际工作效果

实际工作证明:更换发动机后的CAT963从工作系统的动力到行驶速度、爬坡能力等方面均能完全符合原机的各项工作要求,工作效果良好。

## 5 经济性分析

(1) 由图3可知,采用S机比采用C机省油。工程机械发动机在作业时一般是高速运转的,转速在1 900~2 200 r/min时S机比C机耗油率低6.0~18.8 g/(kW·h)。经实际工作核算,改装后CAT963的一个台班耗油量比原先节约30%~40%,直接体现了其经济性。

(2) 整个技术改造过程共用了15万元,直接节约了维修费约30万元。

(3) 卡特彼勒的零配件价格是日本小松的2~3倍,而且

的选择。没被选择的液压缸始终不动,只有被选择的液压缸才能动。由于盾构液压推进系统的工况是液压缸推进和缩回,没有同时既有液压缸伸出又有缩回的工况。因此,每个分区的液压缸的小腔连接在一起,由换向控制模块控制液压缸的伸缩和停止,通过比例减压阀控制分区的最高压力。

## 5 结语

(1) 盾构液压推进系统既能满足盾构总推力及速度控制要求,又能提高管片拼装的效率。

(2) 液压推进系统液压缸采用分区控制,在满足姿态控制的同时减少控制的复杂程度,降低制造成本,提高经济效益。

(3) 采用比例减压控制策略能满足盾构液压推进控制系统的工程实际需要。

### 参考文献:

- [1] 朱伟,陈仁俊.盾构隧道施工技术现状及展望——盾构隧道基本原理及在我国的使用情况[J].岩土工程界,2001,4(11):19-21.
- [2] 赵永明,杜守继,张强.盾构隧道通缝拼装管片上浮的监测研究[J].地下空间与工程学报,2007,3(7):1354-1357.
- [3] 李国,何川.超大断面越江盾构隧道结构与力学分析[J].中国公路学报,2007,20(3):76-80.
- [4] 王超领,张永超.地铁盾构机掘进实时姿态定向测量的研究[J].隧道建设,2007,27(6):33-35.

收稿日期:2008-02-12

[责任编辑:张宗涛]

有时缺货,改用日本小松发动机后零配件容易购得且价格低,便于日后的维修同时也减少了维修费用。

## 6 结语

综上所述,在CAT963上用S机替换C机是可行的,经实际生产验证,这项技术改造是相当成功的,达到了原先的修复目的,减少了维修费用,且在实际工作过程中,提高了该机的经济性,也更便于日后的维修。

### 参考文献:

- [1] 董敬,庄志,常恩勤.汽车拖拉机发动机[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 王巍,麻文焱,王羽,等.发动机滑动轴承故障定量诊断方法[J].交通运输工程学报,2007,7(3):16-20.
- [3] 焦生杰,蔡应强.工程发动机动力储备性能的评价指标[J].长安大学学报:自然科学版,2007,27(3):93-98.

收稿日期:2008-01-13

[责任编辑:谭忠华]