

FAST液压促动器液压技术探讨

李兴奎 梁利文 甘秋萍

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

摘要:FAST是目前世界上最大的射电望远镜,它的反射面是靠液压促动器对伸缩缸带动下拉索调节反射面形,实现全偏振及宽频带观测。通过对目前比较成熟的两种液压促动器的液压技术进行探讨,从而找出比较适合FAST液压促动器要求的液压技术,以供从事FAST项目工程的研究、施工等工作提供技术参考。

关键词:促动器 位移 速度 液压技术

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2016.02.004

1 FAST液压促动器简介

FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope) 是500m大口径射电天文望远镜英文缩写,是目前世界最大的射电望远镜。FAST射电天文望远镜反射面口径达500m,反射面是由1788个球面单元拼合而成,每个单元由三个促动器支撑和驱动,在计算机的控制下,通过改变每支促动器的伸缩形成瞬时300m口径的旋转抛物面,使馈源舱接收相关信号,从而实现望远镜的全偏振及宽频带观测。

FAST液压促动器是可以进行控制和位置反馈的伸缩机构,一端与地锚固定,另一端与连接索网节点的下拉索铰接,根据控制信号指令,促动器克服索网内力产生下拉索拉力,通过改变自身长度而改变地锚点与索网节点下拉索端头的间距从而调整索网的节点位置,实现反射面单元的面形调整,如图1所示。

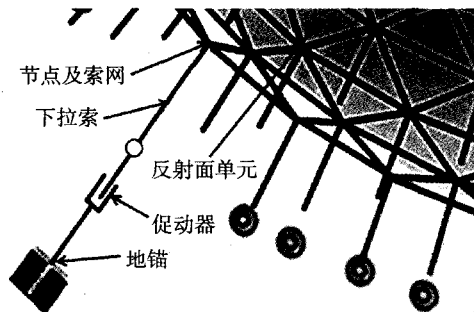


图1 促动器应用示意图

促动器的主要功能需求集中在受控运动、位置反馈、精确定位、换源和跟踪、自锁或保位、过载保护、位置限制、环境保护、故障随动、机

旁手动、组网通信等十一个基本方面,促动器基本技术指标见表1。

表1 促动器基本技术指标

序号	项目	值或范围	说明
1	工作载荷	1-6t: 1801套 1-7t: 273套 2-10t: 151套	始终受拉
2	换源速度	$\geq 1.6\text{mm/s}$	点对点运动,终止位置满足精度要求。适当控制加速度,保持运动平稳。
3	扫描跟踪	双向变速 0~1.2mm/s	运动过程中满足精度要求,含倍速跟踪和编织式扫描
4	普通跟踪	双向变速 0~0.6 mm/s	运动过程中满足精度要求
5	定位精度	0.25mm	动态(运动过程)和静态(点对点)均应满足
6	重复精度	0.05mm	
7	噪声	1m内测量单台 不高于65dB(A)	GB12348-2008的 3类标准要求
8	电磁干扰	70MHz~3GHz ITU-R RA.769	国际电联射电天文参考标准。

2 促动器总体技术方案

由于FAST的促动器总共2225支,数量较多,考虑到现场搬运、安装、维护的方便性,本促动器一改传统的油缸与液压系统分体式,采用了集成整体式,即:油缸、液压系统、控制系统集成为一体,外观为一个整体,不需油管,所有液压元件、电气控制元件均封装于密闭容器内,与上位机通讯采用光纤,如图2所示。这样有利液压系统、电气系统防尘、防雨,维护简单。与外面只用1根光纤通讯,有利于EMC设计。

由于促动器伸缸或缩缸速度要求为0~1.6mm/s变化范围大,采用比例阀难以实现小流量大范围

精确控制，而且长时间比例节流调节，发热量大，此系统又是采用密闭结构，热量难以散发。因此采用节能的容积调速方式，通过变频调速泵控形式，避免了溢流能量损失，系统效率高，发热量小。



图2 促动器动载试验

3 液压系统技术方案

从图1可知，促动器一端与地锚连接，另一端与索网的下拉索连接，通过促动器伸缩实现反射面形改变，从而实时跟踪目标。为了保证反射面稳定的形变，下拉索始终受拉力，其拉力随着反射面形改变而改变，拉力范围为1t~10t，换算为压力约为2MPa~20MPa。反射面形变需圆滑、可靠，这就要求促动器活塞伸、缩缸平稳、可精确控制。

对于促动器缩缸，由于受拉力作用，液压油输入油缸有杆腔，自然形成一种负载平衡，完全可以实现平稳控制。但对于伸缸，油路应设置背压阀，使液压缸中产生的背压平衡活塞受拉索作用下拉力，防止活塞受拉力作用超速伸缸，出现不可控制的现象。

系统需要保压自锁，保证自锁精度达0.5mm/h。鉴于此其换向阀采用无泄漏球阀和单向阀防止油路泄漏，同时油缸活塞密封采用高可靠低泄漏密封件，做到最小泄漏，按此设计完全可满足于FAST促动器要求。

为了提高系统寿命，其液压、电气采用密闭容腔，在密闭腔充满一定压力的氮气，既保证液压系统的正常呼吸，又使液压系统不与空气接触，避免油液污染，提高液压油抗氧化性能，同时提高液压系统及电气系统使用寿命。

为此提出了两种方案。

3.1 方案一

其液压原理图如图3所示，采用传统的液压回路，缩缸采用油泵供油，其缩缸速度是通过调节泵输出流量来实现，伸缸采用泵向外抽油放式，泵后面设置背压阀，实现伸缸运动时平衡活塞上拉索的拉力，考虑到速度（0~1.6mm/s）调节范围大，因此采用大、小泵供油，该回路共四个泵，实际为四个柱塞，每个柱塞为独立泵。

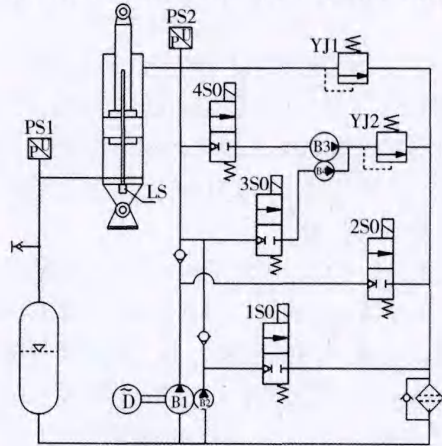


图3 方案一液压原理

主要工作原理：B1泵或B2泵供油、1S0或2S0电磁阀得电，促动器油缸缩缸。3S0或4S0电磁阀得电，B3泵或B4泵泄油、在后面配置1个背压阀，使B3泵或B4泵泄油稳定，从而确保促动器油缸在下拉索拉力作用下伸缸。油缸伸（缩）缸速度是通过大小泵组合或单独供油、以及变频调速技术实现油缸活塞伸缩速度0~1.6mm/s。

此方案性能基本得到保障，但由于电机和泵都存在稳定可靠的最低转速特性，即不是无极限的低转速，因此在极低速度（0~0.1mm/s）情况下只能采用间断供油方案，以适应扫描过程中伸、缩转向波峰波谷低速控制。

3.2 方案二

为了提高促动器性能，同时降低成本，总体思想是减少泵阀数量，避开电机、泵控制死区，

真正实现0~1.6mm/min中任一速度连续稳定工作，其液压原理如图4所示。

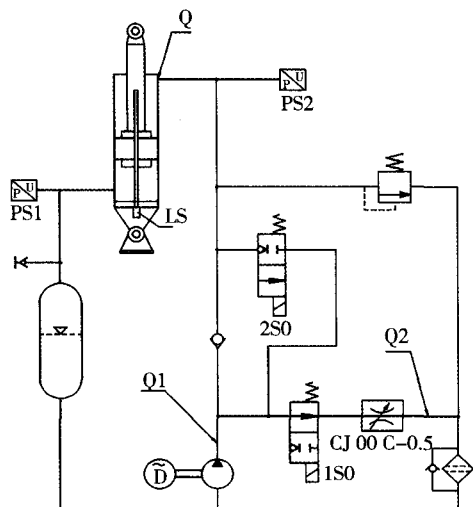


图4 方案二液压原理

方案二液压回路设计时在油路上设置了恒流量阀SJ00C-0.5。假定输入油缸有杆腔流量为 Q ，油泵输出流量为 Q_1 ，恒流量阀的泄油 Q_2 为恒定常数，本系统设定为0.5L/min，对整个液压回路则应有 $Q = Q_1 - Q_2$ 。

当 $Q_1 > Q_2$ ， $Q > 0$ 压力油进入促动器有杆腔，促动器油缸缩缸。 Q_1 的流量可以通过变频调速来改变输入油缸流量大小，从而实现缩缸的0~0.6mm/min速度要求。当缩缸速度要求较快时（0.6~1.6mm/s），则使1S0电磁阀得电，即关闭恒流量阀的泄油，此时恒流量阀的泄油 $Q_2 = 0$ ，进入油缸有杆腔 $Q = Q_1$ ， Q_1 可通过变频调速来改变，即可改变输入油缸流量 Q 大小，从而实现缩缸的0.6~1.6mm/s速度要求。设计时1S0为常开电

磁球阀，未得电油泵处于泄荷状态，确保回路正常启动。

当 $Q_1 < Q_2$ ，则 $Q < 0$ ，促动器伸缸。当2S0电磁阀得电，油缸活塞在下拉索拉力作用下油缸内液压油压力为2~20MPa，通过恒流量阀泄油 Q_2 ，实现油缸活塞伸缸。改变油泵流量大小，可实现促动器慢快要求。当泵不工作时，即 $Q_1 = 0$ ，则 $Q = -Q_2 = -0.5$ L/min，实现伸缸速度1.6mm/s。详见图5促动器工作特性曲线。

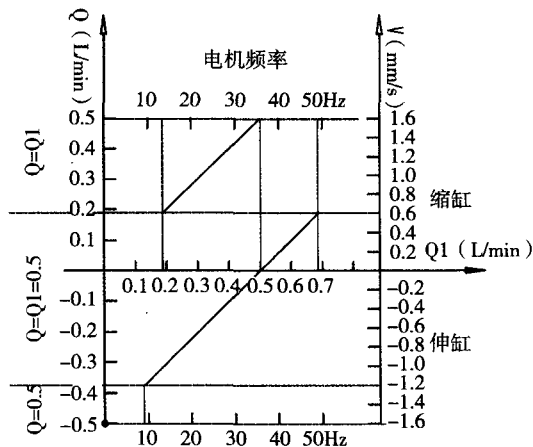


图5 促动器工作特性

此种方案采用旁路恒流阀与泵控方式，巧妙地避开了泵、电机运行死区，使其电机、泵工作于稳定的工作范围，通过单片机实现稳定的控制系统，为整个FAST控制奠定了良好的基础。此种系统控制阀数量少，成本低。

综合上述，两套方案全面比较如表2所示。

通过上述比较，采用旁路恒流量阀油路简单，成本低，可控性好。

表2 技术方案对照表

序号	项目	权值	方案一		方案二	
			评价	说明	评价	说明
1	受控运动	1	良	可以实现	优	精确控制
2	换向阀数量	1	中	4个换向阀	优	2个换向阀
3	伸缸背压	2	中	溢流阀\泵\负载	优	负载
4	保压	2	优	两个球阀+两个单向阀	优	1个球阀+1个单向阀
5	控制死区	1		存在死区，超低速采用间断伸缩缸控制		不存在死区
6	低速性能	3	中	由于存在死区，只能间断运动实现	优	通过加、减法避开死区系统实现连续低速运行
7	随动功能	1	优	容易实现	优	容易实现
8	油泵数量	1	中	4个独立泵	优	1个泵
9	阀可靠性	1	中	球阀可靠性高，小流量背压阀需自制	良	球阀可靠性高，恒流量阀成熟产品
10	系统可靠性	2	中	由于阀、泵数量多，相对故障率高	优	由于阀、泵数量少，相对故障率低

(下转第40页)

同顶升过程分级缓慢下落，确保梁就位准确且与支座密贴。

5 施工效果

(1) 由表3数据可知，桥面系复位满足要求，各墩向外偏移值均得到减小，墩柱偏心受力状况得到进一步改善。

(2) 第二联桥面系复位后，对第一联桥面系未产生偏移，满足要求。

(3) 经过复位施工后连续两周观测，无偏移反复现象。

该纠偏复位工程自施工准备至纠偏复位完成，工期共计30天。另外，桥梁使用后期需加强对桥墩及桥面系观测，至少半年内观测2次。

(上接第20页)

4 实际应用

按上述恒流量阀加泵控制回路设计的系统制作了样机，并进行了模拟试验

(1) 换源设置活塞杆按照约1.6mm/s的换源平均速度运动，往返4个完整回合，性能稳定，与其FAST促动器工作要求完全吻合。

(2) 跟踪。跟踪分为慢速跟踪（又称扫描）和快速跟踪，其测试曲线如图7、图8，实际运行曲线与FAST促动器扫描快速跟踪工作要求完全吻合。

(3) 通过检测定位精度达到0.1mm，高于0.25mm要求，其保位精度0.2mm/h小于0.5mm/h（促动器要求）

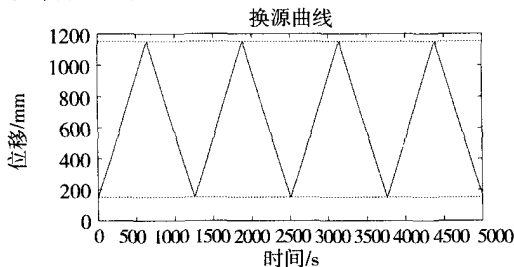


图6 促动器换源特性

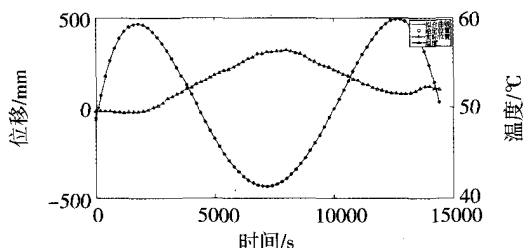


图7 促动器扫描特性图

6 结论

本纠偏工程充分利用梁下千斤顶可布置操作空间，通过同步顶升梁体至滑移体系面，设计了两类小型纠偏复位体系，利用横向千斤顶提供主动纠偏力，驱动梁体滑移，实现梁体横向纠偏复位。该施工工艺优点：充分利用原结构空间，不需要设置顶升反力支架，施工可操作性强，便捷经济，工期短，对同类纠偏工程具有可借鉴性和推广性。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. JTG D62-2004公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [2] 窦勇芝, 刘文, 韦福堂等. 空心板梁桥纠偏复位的关键设计及施工技术[J]. 预应力技术, 2014, (5).

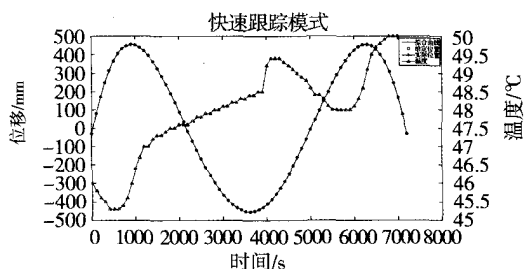


图8 促动器快速跟踪特性

综上，采用旁路恒流量阀、泵控回路各项性能均能满足于FAST液压促动器要求。

5 结束语

通过对液压促动器的液压系统技术进行分析和试验，可以得出以下结论：采用旁路恒流阀加泵控制的技术方案是比较合适FAST的技术要求。

1) 它是一种经济、实用、环保、高稳定性及高可靠性的液压系统；

2) 任意速度控制精度高，能适应FAST的高寒潮湿多变的天气，完全满足项目的换源、跟踪、扫描功能要求。

参考文献

- [1] 孙晓, 王启明, 吴明长. FAST促动器性能测试在线监测系统[J]. 天文研究与技术—国家天文台台刊, 2013, 3(10): 228-232.
- [2] 陆震, 杨光, 王启明等. FAST望远镜主动反射面促动机构运动研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(2): 233-237
- [3] 王宇哲. 大型射电望远镜反射面主动调整系统设计[J]. 电磁场与微波, 2010, 40(3): 36-38
- [4] 朱丽春. FAST主动反射面自动控制系统[J]. 科学技术与工程, 2006, 6(13): 1890-1894;
- [5] 李宁, 薛建兴, 王启明. 基于MATLAB/ADAMS的FAST促动器研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(11): 2760-2763