

全液压钻机节流调速方案的选择

刘跃进, 陈赤武

(中国地质装备总公司 北京 100085)

摘 要 根据多年产品开发过程中液压系统设计的经验和体会, 结合液压元件的新进展, 通过几种典型的开式液压系统节流调速控制方式的对比和分析, 对不同种类钻机及不同档次产品的性价比, 提出建议及解决方案, 供同行参考。

关键词 全液压钻机 液压系统 节流调速

中图分类号: P634.3+1; TH703.61 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2005)S1-0212-05

Selection of Speed Regulation with Throttle for Full Hydraulic Rig/LIU Yue-jin, CHEN Chi-wu (China Geology Equipment Controlling Corporation, Beijing 100085, China)

Abstract : Some suggestions and settling alternatives were put forward, after comparison of the performance to price ratio for different kinds of rigs in different quality and comparison and analysis on several typical speed regulations by throttle in open hydraulic system, based on many years experiences of hydraulic system design during product development and taking new advancement of hydraulic devices into account.

Key words : full hydraulic rigs ; hydraulic system ; speed regulation by throttle

目前采用全液压驱动的工程机械已经普及, 全液压钻机的品种与数量也日益增多。随着静液压传动技术的发展与进步, 各种先进的调速传输与控制方案已成熟应用于典型的工程机械, 换句话说, 某种先进的控制方式的产生往往是为了迎合某种典型的、大批量的工程机械的工况需求。但由于钻机自身工况的特点, 我们又不能简单的照搬工程机械的控制方案, 不同用途和种类的钻机又有其自身的特殊性, 所以在全液压钻机的液压系统设计中, 尤其是对调速控制方案的合理选择应引起足够的重视。

全液压钻机的可靠性已大为提高, 仍存在的主要问题是传动效率低、系统温升高, 这就使得同能力的钻机要比机械传动多配备成倍的动力机功率, 往往还要比其他同等功率级别的工程机械配备更大的油箱及散热器。排除元件性能、管路长短、通径匹配等共性因素外, 造成液压系统效率低、发热量大的原因, 在一般工程机械中常常是在进行长时间的复合动作时发生, 而钻机由于钻进过程中至少有两个动作(给进与回转)在同时工作, 一般都配备两个或两个以上的液压泵分别驱动, 所以钻机液压系统的非正常温升, 往往是由于给进机构、动力头回转这两个回路长时间工作在调速和调压状态下(节流或溢

流)产生的。

笔者根据多年产品开发过程中液压系统设计的经验和体会, 结合液压元件的新进展, 通过几种典型的开式液压系统节流调速控制方式的对比和分析(限于篇幅, 对其他调速方案不予详述), 针对不同种类钻机对控制性能的要求以及不同档次产品的性价比, 提出建议及解决方案, 供同行参考。

1 常用的节流调速控制方式

1.1 定量泵节流调速(见图1)

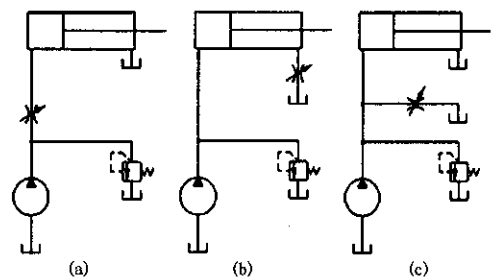


图1 定量泵节流调速示意图

节流调速控制效率低, 功率损失大, 由于节流口两端压差的大小受负载影响, 在进行多动作的复合操作时, 不能做到流量的按需分配。

根据节流阀安装的位置不同, 又分为进油节流

收稿日期 2005-06-30

作者简介 刘跃进(1958-)男(汉族), 河北蠡县人, 中国地质装备总公司副总工程师、教授级高级工程师, 勘探机械专业, 从事岩土钻掘设备开发工作, 北京市 2853 信箱 7 分箱(德外双全堡甲 2 号)(010)64843702 陈赤武(1965-)男(汉族), 河北辛集人, 中国地质装备总公司技术中心开发一部副主任、教授级高级工程师, 探矿工程专业, 从事岩土钻掘设备开发工作。

调速(见图 1a)、回油节流调速(见图 1b)和旁路节流调速(见图 1c)。进油与回油节流调速速度稳定性好,回油节流调速还可承受负性负载,而旁路节流调速系统压力随负载大小变化,效率较高。

1.2 定量泵开式负荷传感系统

该系统由定量泵和带负荷传感控制的多路阀组成,属于定量泵节流调速范畴,它可以在定量泵节流系统中做到系统工作压力基于负载,最大限度地减少节流引起的损失,目前常用于推土机和装载机。

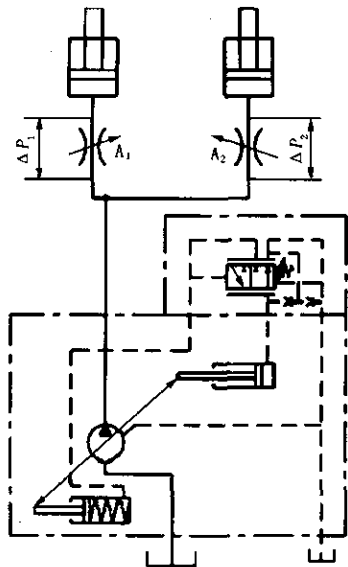
1.3 变量泵容积节流调速

容积节流调速的基本工作原理是采用压力补偿式变量泵供油、调速阀(或节流阀)调节进入执行元件的流量并使泵的输出流量自动地与执行元件所需流量相适应。

在工程机械液压应用领域中,对于集成控制系统、大功率密度系统和更多的操作舒适性方面的要求,促使了新型控制方案的开发与研制。在过去的几年里,新型工程机械普遍采用了 LS 负荷传感控制系统,同时基于负荷传感的 LUDV 控制系统也开始得到应用。LS 控制系统和 LUDV 控制系统非常适用于多作业装置、经常进行复合动作的工程机械。LS 和 LUDV 负荷传感控制系统仍属于容积节流调速的范畴。

常用的容积节流调速方案有:恒压变量泵(DR)与调速阀等组成的恒压调速控制系统;负荷传感变量泵(DFLR)与 LS 控制阀等组成的负荷传感控制系统;负荷传感变量泵(DFLR)与 LUDV 控制阀等组成的 LUDV 控制系统。

1.3.1 恒压调速控制系统(见图2)



万方数据图2 恒压控制示意图

图 2 所示为恒压变量泵和调速阀(或节流阀)构成的容积节流调速回路,该回路采用闭芯阀组,支持多个元件同时工作。这种调速回路的运动稳定性、速度负载特性、承载能力和调速范围均与节流调速回路相同,此回路只有节流损失而无溢流损失。恒压变量泵与调速阀等组成的容积节流调速回路,具有效率较高、调速较稳定、结构较简单等优点,适合于中等功率、经常工作在低压大流量或高压小流量的场合。

1.3.2 负荷传感控制系统(LS 和 LUDV)

与传统的调速控制系统比较,LS 和 LUDV 负荷传感控制系统的主要优点是:

(1) 节省能量消耗。使用负荷传感变量系统, 泵能够根据负荷的情况对自身的排量进行调节, 由压差传感器检测负荷压力, 通过泵阀控制器发出指令, 根据负荷的需求调节液压泵排量, 使泵输出压力始终比负荷压力高出一个不大的恒定值(设定压力一般为 $1 \sim 2 \text{ MPa}$), 从而保证液压泵输出功率与负载相适应, 减少能量损失。

(2)流量控制精度高,不受负荷压力变化的影响。

(3) 几个执行元件可以同步运动或以某种速比运动,且互不干扰。但当多个执行元件同时工作时所需的流量之和大于泵的最大输出流量时,LUDV系统在流量分配方面更显示出其优越性能。

1.3.2.1 LS 系统控制原理(见图 3)

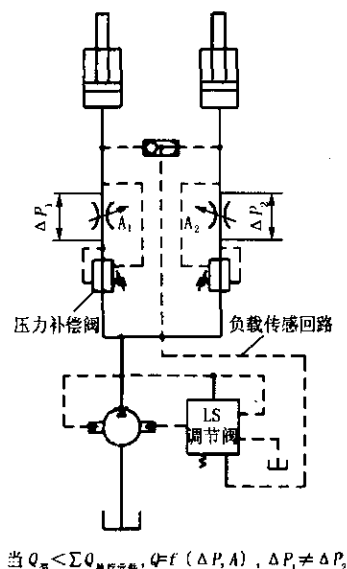


图3 LS系统控制原理图

在 LS 负荷传感系统 (Load Sensing Control) 中 , 与负载压力无关性是通过设在测量阻尼孔前的压力

补偿阀来实现的。只要测量阻尼孔截面所要求的流量小于液压泵的流量,这套系统就以与负载压力无关的方式进行工作。如通过多个测量阻尼孔操纵多个执行元件时所需的流量之和大于泵的最大输出流量时,亦即 $\sum Q_i > Q_{\text{泵}}$,压力平衡的压差调节将失效,其结果是压力补偿阀打开,与负载压力无关性被取消。泵的排量分配不再与测量阻尼孔截面成正比,而是根据负载压力,流向具有最低负载压力的执行元件($\Delta P_1 \neq \Delta P_2$)。具有高负载压力的执行元件降低其速度直至停止运动。

1.3.2.2 LUDV 系统控制原理(见图 4)

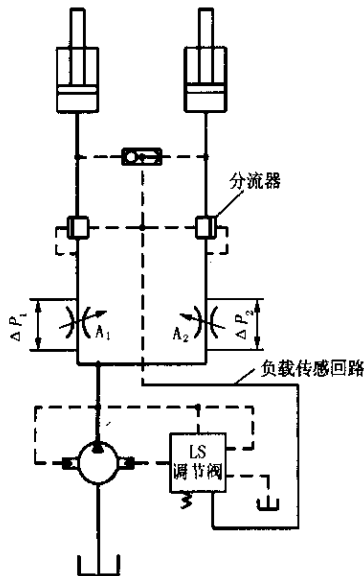


图 4 LUDV 系统控制原理图

LUDV 表示“与负载压力无关的流量分配”(Load pressure independent flow distribution),各 LUDV 压力补偿器均与最高压力有关。如果 LUDV 系统内发生流量不足,即油泵不能提供足够的流量,以所要求速度去操纵各执行元件,则各执行元件将按比例减小速度。LUDV 系统的一大优点是,如果发生供油不足,不会有任何执行元件停止工作。

LUDV 系统控制原理如图 4 所示,这里的压力补偿阀设计在测量阻尼孔之后。

这个功能的基础是执行元件的最高压力 P_2 的信号将传递给所有压力补偿阀和液压泵。由压力流量调节器给定的约为 1~2 MPa 的压差作为调节压差 ΔP 应用于系统,泵与阻尼孔截面 A_1 和 A_2 成正比供油,加于阻尼孔的压差 ΔP 由于压力 $P_1' = P_2'$ 而相等。

当液压泵的供油量 $Q_{\text{泵}}$ 在多个执行元件同时操

作不能满足测量阻尼孔截面时, ΔP_1 和 ΔP_2 将相应减小。由于在所有压力补偿阀作用有最大负载压力信号 P_2 ,所以流量继续以与负载压力无关的方式进行分配,即:

$$Q_1/Q_2 = A_1/A_2$$

液压泵输出流量按比例分配给两执行元件。假设一个执行元件以 $Q = 80 \text{ L/min}$ 进行操作时,液压泵按需求调节式供油。当再接入 $Q = 50 \text{ L/min}$ 的第二个执行元件时,泵的最大供油量 $Q = 100 \text{ L/min}$ 按比例 $100:130 = 0.77$ 分配给两个执行元件,也就是说 $Q_1 = 61.5 \text{ L/min}$, $Q_2 = 38.5 \text{ L/min}$ 。

LS 系统与 LUDV 系统的区别在于测量阻尼孔的压力补偿阀的前后位置不同。在 LS 系统中当多个元件同时工作时,所需的流量大于液压泵能够提供的流量时,将产生供油不足现象。这将不能使正在工作的执行元件与负载压力无关的控制得到保证。而 LUDV 控制方案将保证在供油不足时,所有执行元件的运动速度成比例下降,并且由此来保持与负载压力无关的控制。

1.3.3 负流量控制变量泵系统

它是另一种型式的负荷传感控制,通过监测主阀回油量的变化,可根据主机负载要求自动改变变量泵流量以达到节能目的。目前日本、韩国和我国的独资合资生产厂生产的挖掘机广泛采用这种系统。

1.4 几种控制方案的比较

从性能价格比的角度讲,各种控制方案都有其一定的适用范围。以上几种常用的控制方案的比较见表 1。

2 几种典型钻机对调速性能的要求及选用

2.1 岩心钻机与水井钻机

这两类钻机一般都配备主卷扬机和辅助卷扬机(绳索取心卷扬),主卷扬机和动力头一般取同等功率,但一般同时工作的几率不大。根据钻进工艺的需要,动力头要求具有较大的调速范围并提供稳定的转速,钻机的给进装置要求同时具有压力给进和速度给进两种控制方式。

较小规格的钻机考虑到性价比,可以采用双泵或三泵定量系统,通过泵的切换和合流使动力头实现有级调速、给进装置的高低速。给进速度的调节采用节流方案,但仍应注意尽量选用较小规格的泵用于正常给进,合理配备散热能力。

对中型以上钻机,建议采用双泵容积节流调速

表 1 控制方案比较表

主要性能		节流调速		容积节流调速		
		进回油	旁路	恒压式	LS	LUDV
机械特性	速度稳定性	较差	差	好	好	好
	承载能力	较好	较差	好	好	好
流量分配性能		差	差	较好	好	最好
系统工作压力		系统压力	负载压力	系统压力	基于负载	基于负载
节流损失		大	较大	较小	小	小
溢流损失		有	有	无	无	无
功率特性	效率	低	较高	较高	高	高
	发热	大	较小	较小	小	小
适用范围		小功率、轻载 中、低压系统		中、小功率 中压系统	大功率、重载 高压系统	

系统 ,动力头、卷扬机(可包括履带行走)选用 LS 或 LUDV 控制 ,给进装置和辅助动作因需求功率较小 ,采用恒压调速控制方案即可满足需要。宝长年的 LF 系列和阿特拉斯的 CS1000 系列岩心钻机就是采用的这种方案。

2.2 旋喷与搅拌钻机

这两类钻机的突出特点是给进(提升)速度与回转转速的恒定和严格的成比例控制 ,尤其是给进(提升)速度的精细调节。因该类钻机总的驱动功率较小(尤其是旋喷钻机) ,以往的设计中大都采用定量泵节流调速系统 ,带来的问题是系统效率过低 ,发热严重 ;为了尽量降低节流损失 ,有的钻机在给进装置中采用了压力与流量的复合控制 ,给钻机操纵带来太多的不便和不确定性。

考虑到该类钻机性价比的市场接受程度 ,控制方案拟定以下两种 :

(1)采用双泵容积节流调速系统 ,动力头(可包括卷扬机、履带行走等)选用 LS 控制 ,给进装置和辅助动作因需求功率很小 ,采用恒压调速控制方案即可满足需要。该方案的不足之处是成本较高。

(2)采用单泵容积节流调速系统 ,选用 LS 控制方式实现回转和给进的复合动作 ,采用这种控制方式的前提是正常工作时给进装置所需流量很小 ,应特别注意适当降低给进装置所需要的压力(适当加大给进油缸缸径或当量马达排量) ,以尽量避免工作中出现回转压力大于给进(提升)压力的情况 ,否则将会产生较大的功率损失与系统温升。同时在给进回路中设调速阀 ,以便于对给进(提升)速度作精细调节。

2.3 非开挖钻机

该类钻机的特点是钻机的回转和给进(回拖)的速度控制精度要求不高 ,给进(回拖)以速度控制为主 ,回转转速调节范围不大。但辅助动作较多 ,并且在钻进过程中其辅助动作又有复合动作需求。

较小规格的钻机可和岩心钻机做同样考虑 ,采用多泵定量系统。目前市场上的小规格钻机基本上都是采用此方案 ,如连云港黄海机械厂的 FDP - 15 系列。

而对于较大规格的钻机 ,建议重点考虑以下两种控制方案 :

(1)动力头采用闭式回路容积调速单独驱动 ,给进(回拖)、辅助动作(可包括履带行走)采用 LS 控制方式。该方案的优点是系统效率高 ,不足之处是造价也较高。如连云港黄海机械厂的 FDP - 36 型非开挖钻机就是采用这种方案。

(2)钻机动力头、履带行走采用 LS 控制方案 ,给进(回拖)、辅助动作采用恒压控制方案。该方案性价比较高。

2.4 旋挖钻机

对于旋挖钻机 ,在功能上确实具有回转、给进、卷扬机等作为钻机的基本特征 ;在总体结构的考虑方面 ,和履带起重机有其相近之处 ;在工作模式上 ,应该说更接近液压挖掘机。所以 ,对于旋挖钻机液压系统的控制方案 ,总的来讲应该更多的参照和借用挖掘机的配置方案 ,这就是充分发挥发动机的功率 ,在工作过程中尽量提高发动机在最大功率点工作的机会 ,最大幅度的提高系统效率 ,以及更好的人性化操纵控制方式。

目前市场上的旋挖钻机 ,其液压系统也是随着挖掘机的发展而变化的 ,这里可以举两个例子说明 :

意大利土力公司的 R618 钻机 ,20 世纪 90 年代中期设计 ,基于双泵总功率变量的恒功率、恒压系统 ,先导节流型调速控制方式。

连云港黄海机械厂的 GZX - 15 型钻机 ,基于负流量控制的双泵合流恒功率系统 ,带回油压力传感的先导操纵节流型调速控制方式 ,比前者系统效率大为提高。

对于旋挖钻机液压系统的进一步发展 ,笔者认

为应该是采用先进的基于 LUDV 控制方式的负荷传感控制系统。采用这种控制方式可采用单泵供油方式 ,从而省掉了复杂的合流控制功能 ,使得液压系统管路连接以及液压泵的结构变得更简单。从操纵性能来看 ,各执行元件的动作相互独立 ,互不干扰 ,操作者能轻松地实现各种复合动作 ,更能降低劳动强度 ,提高作业效率。

3 结语

(1)本文只对钻机液压系统的节流调速控制本身进行了一些探讨 ,没有过多的涉及其他类型的调速方式、液压元件选择、液压系统与动力机的匹配等问题。值得指出的是 ,全液压钻机的液压系统经常是多种调速方案的综合 ,如上述方案中所有的容积节流调速方式的液压泵都可以增加恒功率和恒压控制选项 ,恒压控制优先于恒功率控制 ,恒功率控制又优先于负荷传感控制 ,使得动力机的选型和匹配更加合理与节能。我们还经常采用液压有级调速(如多泵合分流、马达的串并联)方案和液压与机械联合调速(如容积调速 + 机械变速箱)方案等。

(2)先进的系统不一定是复杂昂贵的 ,好的系统不是元件的简单重复和堆砌。现代设计方法在重视元件性能的同时也十分注重系统匹配的合理性。在很多情况下 ,一套用相对而言不十分先进的基础零部件精心优化构筑的系统 ,可能比全部用最昂贵的元器件简单堆砌而成的系统的性价比要高得多。

(3)全液压钻机处于发展阶段 ,在相当一段时间里会和传统的机械传动钻机共存 ,所以在液压系统的实际设计工作中 ,要较多地考虑市场承受能力 ,力求通过选择较低价格水平的优质元件配置出较高效率、轻松控制的实用系统。

以上粗浅之见仅供同行参考 ,不当之处敬请指正。

参考文献 :

- [1] 张海涛. LUDV 负荷传感系统在液压挖掘机上的应用 [J]. 建筑机械 ,2004 (10) 61 - 63.
- [2] 江国耀. 力士乐 LUDV 系统—全新液压挖掘机解决方案 [J]. 建设机械技术与管理 ,2004 (5) 21 - 23.
- [3] 王长江. 当今挖掘机对液压系统的要求及液压系统的发展方向 [J]. 工程机械与维修 ,1997 (1).