

文章编号: 1001-1986(2007)06-0077-04

# ZDY6000L 型履带式全液压坑道钻机液压系统设计

殷新胜<sup>1</sup>, 姚宁平<sup>1</sup>, 陈跟马<sup>2</sup>, 姚克<sup>1</sup>, 田宏亮<sup>1</sup>, 凡东<sup>1</sup>

(1. 煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054;

2. 铜川矿务局陈家山煤矿, 陕西 耀县 727102)

**摘要:**提高全液压坑道钻机液压系统的技术水平,对于改善钻机整机性能及提高瓦斯抽采孔的成孔率具有重要意义。在对全液压坑道钻机液压系统现状分析的基础上,根据钻探工艺和液压传动控制系统节能的要求,设计了 ZDY6000L 型履带式全液压坑道钻机液压系统,其功能主要包括行走回路、回转回路、给进回路和辅助回路。经型式试验和现场工业性试验表明,该液压系统设计合理、先进可靠,具备良好的机动性,且节能增效。

**关键词:**负载敏感;节能;钻机;液压系统

**中图分类号:**P634.3 **文献标识码:**A

## Design of hydraulic system of ZDY6000L track-mounted tunnel drilling rig

YIN Xin-sheng<sup>1</sup>, YAO Ning-ping<sup>1</sup>, CHEN Gen-ma<sup>2</sup>, YAO Ke<sup>1</sup>, TIAN Hong-liang<sup>1</sup>, FAN Dong<sup>1</sup>

(1. Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China;

2. Chenjiashan Coal Mine, Tongchuan Coal Mining Administration, Yaoxian 727102, China)

**Abstract:** It is significant to improve the hydraulic system for better performance of drilling rig and the higher ratio of finishing gas hole. The current state of the development of hydraulic system drilling rig in tunnel is discussed from the perspective of the drilling process and energy saving. The hydraulic system of ZDY6000L track-mounted drilling rig is developed, and rotational, feeding and assistant loops are described. The experiment of ZDY6000L drilling rig showed that the developed hydraulic system is of high effectiveness and reliability, as well as fine flexibility and energy saving.

**Key words:** load-sensing; energy saving; drilling rig; hydraulic system

随着先进开采方法的采用和煤炭生产的快速发展,特别是一井一面高产高效达到 600 万 t、800 万 t 甚至 1 000 万 t 的产量,对煤矿瓦斯抽采技术及设备提出了更高的要求。针对这种情况,煤炭科学研究总院西安研究院研发出 ZDY6000L 型履带式全液压坑道钻机。该钻机是具备履带行走功能的全液压力头式坑道钻机,适宜孔口回转钻进和孔底液力马达(螺杆钻具)钻进,具有钻进能力大、可靠性高、钻进效率高及辅助功能齐全等优点,主要应用于煤矿井下近水平大直径瓦斯抽放孔和横贯通风孔的钻进等安全领域。

液压系统是全液压钻机的核心,其性能直接影响钻机的整体性能和可操作性等。ZDY6000L 型履带式全液压坑道钻机液压系统采用了负载敏感技术,经试验和应用证明,该系统成功可行,对全液压坑道钻机的液压系统具有升级换代的意义。

## 1 全液压坑道钻机液压系统

全液压坑道钻机液压系统主要由回转和给进两

个基本功能回路和辅助功能回路组成。其中回转回路主要为钻具提供回转动力,在给进回路提供的给进力的配合作用下,实现钻具的钻进。回转回路主要用于克服钻具的负载转矩,因此其压力就与回转负载的变化相适应。给进回路主要用于提供钻进的给进、起拔力,结合钻探工艺实现加压、减压钻进。

液压传动控制系统可以分为:阀控制、泵排量控制和泵转速控制。以下针对不同的液压传动控制系统对钻机各液压功能回路进行性能分析。

### 1.1 阀控制系统

阀控液压系统是用阀来实现系统的压力、流量和方向控制的液压系统。典型的系统由定量泵-溢流阀-节流阀组成,具有系统简单、能耗大、温升高等特点。目前全液压坑道钻机液压系统主要采用这种阀控系统。

在回转回路中,当孔内地层情况比较复杂,负载变化剧烈频繁时,回转压力相应地会有大幅快速波动,同时泵压力随之变化,其内泄量也不断变化,这导致其输出流量频繁波动,致使回转速度波动,影响

收稿日期:2007-08-10

作者简介:殷新胜(1958—),男,陕西杨凌人,研究员,硕士生导师,主要从事钻探机具的研制与推广。



马达寿命;而在松软地层中,发生抱钻、卡钻等事故时,会造成系统高压溢流,能量损失大,发热严重;当钻机不回转,进行辅助操作时,系统中位卸荷回油,也存在一定的能量损失;同时阀控系统回转速度调节困难。

钻机的给进系统比较复杂,不同工况要求能够实现高压小流量、高压大流量、低压小流量、低压大流量。系统设计根据最大功率要求进行设计,因此需要通过减压阀、节流阀、调速阀等实现钻进需要的压力与流量,存在很大的能量损失,同时操作复杂。

采用阀控系统的钻机系统元件简单,目前应用很广,但存在以上明显的缺点,特别是整机效率往往仅有 40% 多,操纵复杂等,已逐步被其他系统所取代。

### 1.2 泵排量控制系统

泵控系统就是当系统的压力达到设定值时,高压油不从溢流阀溢流,而是泵排量会相应地减小。主要可分为恒压变量泵控系统、恒功率变量泵控系统和负载敏感泵控系统等。可以负载敏感液压系统为例,其工作原理如图 1 所示。通过节流阀前后的压差控制负载敏感阀来调节泵的流量输出,而不受负载压力变化的影响;泵的出口压力,仅比负载压力高出一定值(该压差值通常为 0.7~2.1 MPa),在最高限压范围内能自动适应负载的变化。液压泵只需提供与执行元件负载相匹配的压力、流量,液压系统中不产生过剩压力和过剩流量,因而系统具有显著的节能效果。

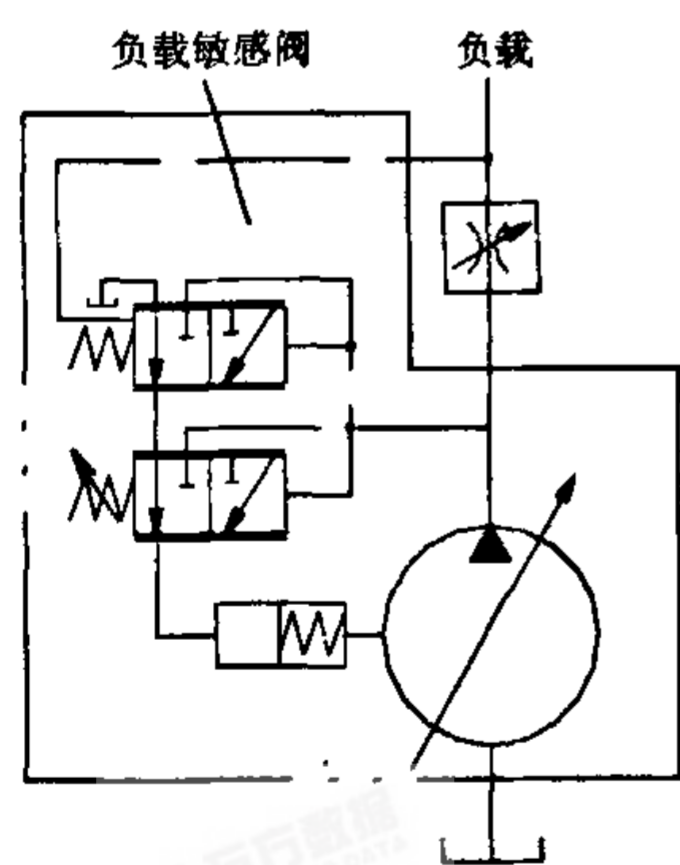


图 1 负载敏感控制原理图

Fig.1 Principle map of load-sensing control

目前很多国外钻机生产商都采用了这种泵控系统。煤炭科学研究总院西安研究院将负载敏感系统、恒压变量系统技术应用在 ZDY6000L 型履带式全液压坑道钻机,率先研发出了具有负载敏感泵控系统的全液压坑道钻机。

### 1.3 泵转速控制系统

泵转速控制系统又称为变频调速泵控系统,它通过改变泵的转速调节泵的流量输出。目前该系统还

在研制阶段,成本较高,没有进入大规模推广阶段。

## 2 钻探工艺对液压系统的要求

通过钻探理论分析和实践经验,可总结出几种典型地层钻进对钻探工艺的要求(表 1)。

表 1 几种典型地层钻进工艺特点

Table 1 Technical properties of several typical drilling rigs

地层特点	回转速度	给进速度	给进压力
软岩层(煤层碳质泥岩、软质泥岩等)	低	慢	小
(页岩、泥灰岩、褐煤、黄土等)	高	快	小
中硬岩层(粗砂岩、石灰岩等)	较高	快	大
硬岩层(花岗岩、石英岩等)	高(金刚石钻进) 较低(复合片钻进)	慢	大

a. 为适应不同的钻进地层,钻机的回转转速要求有较大的调节范围;

b. 钻机的给进系统不仅要满足高压小流量、低压大流量,而且还要实现高压大流量、低压小流量;

c. 钻机的给进系统要求有较大的功率储备;

d. 钻机的给进系统要能实现加压钻进、减压钻进等功能。

## 3 ZDY6000L 钻机液压系统设计

针对履带式全液压坑道钻机液压传动控制的特点与钻探工艺对钻机液压系统的要求,设计了 ZDY6000L 型履带式全液压坑道钻机液压系统(图 2),按其功能主要可分为行走回路、回转回路、给进回路和辅助回路。

### 3.1 行走回路

煤矿井下道路条件恶劣,具备履带式行走功能钻机的必须机动性强、移动搬迁方便,能适应条件恶劣的道路,支撑稳固,现场安装等辅助时间短。但煤矿井下巷道狭窄,两片履带在直线行走过程中如何保持同步,特别在其中一片遇到障碍时,两片履带负载相差大时,防止撞向巷道十分重要;同时钻机要能在狭窄巷道原地转向;还应解决钻机的坡道驻车问题,防止突然断电伤人等问题。所以,履带的液压系统设计,要解决好履带行走时,系统单油泵供油一双马达转动的压力协调、流量分配及原地转向、坡道驻车等问题。

ZDY6000L 型履带式全液压坑道钻机液压系统(图 2)中,左右履带的行走由一组液控先导手动阀 2 控制四联比例多路换向阀 7 中的前两联来实现,并由同一个液压泵 9 来供油。由于行走与回转回路不会同时工作,因此行走回路和回转回路共用一个泵,



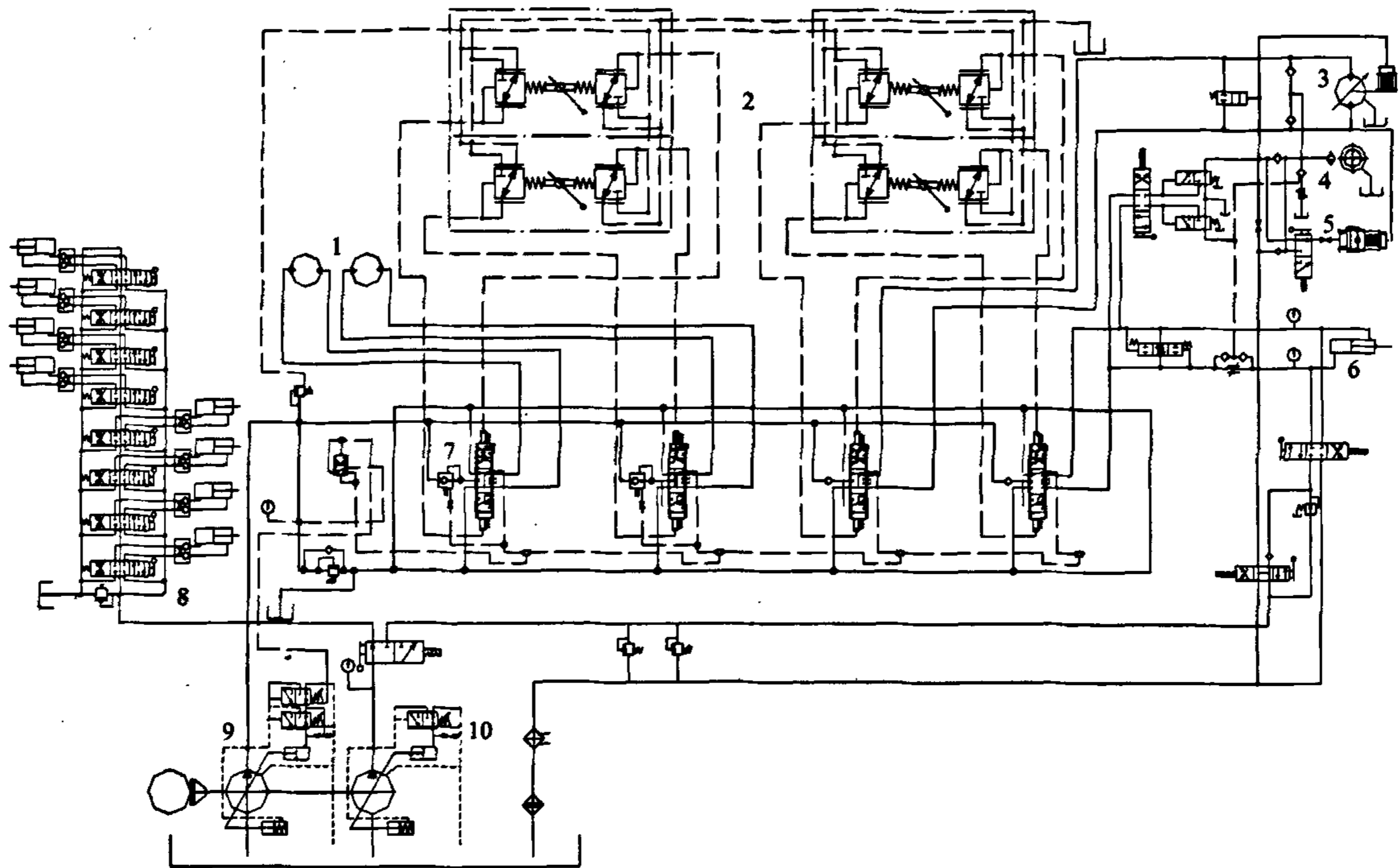


图2 ZDY6000L型履带式全液压坑道钻机液压系统原理图

Fig.2 Principle map of hydraulic system of ZDY6000L track-mounted tunnel drilling rig

1——行走马达;2——液控先导手动阀;3——回转马达;4——卡盘;5——夹持器;6——给进油缸;

7——四联比例多路换向阀;8——支撑油缸控制阀;9——I泵;10——II泵

并选取具有停车自动自锁、过载保护等回路的行走马达总成,有效地解决坡道驻车等问题。

### 3.2 回转回路

ZDY6000L型履带式全液压坑道钻机液压系统(图2),具有摩擦定位功能的液控先导手动阀2控制四联液控比例多路换向阀7的第三联,再控制回转马达,实现对钻机回转的控制。其中主要用于向回转供油的泵9选用了负载敏感泵,多路阀选用了具备负载反馈功能的液控比例多路换向阀,从而构成了负载敏感液压系统。

负载敏感液压系统的原理是:通过节流阀(多路换向阀)前后的压差控制负载敏感阀来调节泵的流量输出,不受负载压力变化的影响;泵的出口压力仅比负载压力高出一定值(该压差值通常为0.7~2.1 MPa),在最高限压范围内能自动适应负载的变化。液压泵只需提供与执行元件负载相匹配的压力、流量,液压系统中不产生过剩压力和过剩流量。

ZDY6000L钻机回转回路具有以下特点:

**a. 中位最小流量控制** 当钻机进行辅助操作,不动作时,也就是司钻不操纵先导阀即主阀阀芯处于中位时,先导油使主泵内油缸活塞杆推动配油盘摆角变小,实现最小流量输出(仅维持系统内泄漏量),此时系统压力为2 MPa左右,最大限度地减少了传统中位卸荷液压功率损耗和系统发热,具有显

著地节能效果。

**b. 良好的启动特性** 当电动机启动后,I泵为全排量,当压力瞬时达到负载敏感泵设定的变量压力即2 MPa时,先导油使主泵内油缸活塞杆推动配油盘摆角变小,实现最小流量输出,降低了对电动机启动力矩的要求,减少了冲击,进一步提高了原动机的使用寿命。

**c. 压力切断** 液压系统最大工作压力的控制是通过I泵上设置的压力切断阀来控制实现。当外载荷超过设定值时,压力切断阀起作用,从而使主泵出口压力始终处于系统额定的状态,对系统起到保护作用,此时主泵几乎无压力油输出,这就最大限度地减少了功率损耗和系统发热,具有显著的节能效果。而传统的做法是通过主阀上的安全阀过载溢流来实现的,此时的功率损耗和系统发热都较大。

**d. 转速稳定、操控方便** 系统提供一个恒定的流量,并可用远控先导阀比例控制。恒定的流量减少回转负载波动对钻机及钻具的冲击影响,提高钻机及钻具的寿命,在复杂多变或破碎地层中意义显著。系统提供的流量可以方便地实现远控比例调节,可以随时根据工况改进工艺,提高钻机的工艺适应性和操作方便性。

### 3.3 给进回路

单泵系统结构简单,操作维修简便,成本低。但



在要求的给进压力大于回转压力时,靠节流阀人为地增压会导致油液严重发热,影响系统效率。双泵系统将钻机同时工作的给进和回转部分分成两个独立的系统,使钻进参数调节更为方便。ZDY6000L型钻机采用双泵系统,在钻进时Ⅰ泵、Ⅱ泵各自独立的工作,满足回转参数与给进参数独立调节的要求。

给进回路的压力根据钻探工艺的要求,能在大幅度范围内调节,因此不仅存在减压阀减压节流损失,而且会形成大量溢流损失,因此Ⅱ泵选用恒压变量泵,减少了溢流损失。

为了在倒杆时实现快速起下钻具,用排量大的主泵设置了一个快速倒杆回路,减少了钻进的辅助时间。

### 3.4 辅助回路

为了简化和减少操作失误,缩短起下钻作业时间,在液压系统上设计了执行机构间的联动功能:

a. 回转器正、反转时,回转油路中的部分高压油通过单向阀进入液压卡盘4,使卡盘自动卡紧钻杆。

b. 反转时,部分高压油进入夹持器的副油缸,以增加夹持器5的夹紧能力。

c. 操作回转联动阀,可实现正转时卡盘卡紧、夹持器自动松开,停止回转后,夹持器自动卡紧,防止因误操作引起滑杆事故。

d. 通过起下钻联动阀,分别在起钻或下钻工况下实现给进油缸与卡盘、夹持器之间的联动。由于卡盘、夹持器自身工作原理不同,可保证实现“先卡紧,后松开”的特殊要求。当该阀处于中位时取消联动,可单独使给进油缸运动,增加机动性。

e. 在给进油路中串联一个双向节流阀和两

个液控单向阀,通过调节阀的开度改变系统压力,协调给进油缸6与夹持器的动作,避免起下钻时因系统压力过低夹持器不能完全张开,造成钻杆擦伤。并能在夹持器不需要工作时,通过液控单向阀过油,减小回油阻力,让油缸快速运动,缩短辅助时间。

### 4 应用效果

ZDY6000L型履带式全液压坑道钻机于2006年5月在“国家安全生产西安钻机检测检验中心”通过型式试验;2006年8月在山西省晋城煤业集团寺河煤矿进行工业性试验,历时40d,钻进了3个孔,成孔3个,总进尺1565m,最大孔深612m。两项试验结果表明:

a. 该钻机具备直线行走、坡道驻车、原地转向等功能,满足狭窄巷道的使用要求,并具备良好的机动性,适应井下复杂的路面情况;

b. 回转回路工艺适应性强,操作简便,并具备节能的特点。在复杂地层中,能提高成孔质量,延长钻机及钻具的寿命;

c. 给进回路可以方便地实现加减压钻进,能显著节能;

d. 系统具备各种联动功能,能有效减轻劳动强度,提高钻进效率。

### 参考文献

- [1] 雷天觉. 液压工程手册[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- [2] 冯德强. 钻机设计[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1993.
- [3] 韩广德. 中国煤炭工业钻探工程学[M]. 北京:煤炭工业出版社,2000.
- [4] 鄢泰宁. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉:中国地质大学(武汉)出版社,2003.

(上接第76页)涌水量一般小于 $30\text{ m}^3/\text{h}$ ;中等强度含水区涌水量一般为 $100\sim 200\text{ m}^3/\text{h}$ ;富水区的涌水量一般为 $200\sim 400\text{ m}^3/\text{h}$ 。

工作面回采过程中,涌水量的变化还受岩性特征、构造发育形态、回采速度等多种因素影响。出水位置相对物探异常位置具有明显的滞后现象,一般滞后 $30\sim 80\text{ m}$ 不等。

### 4 结语

矿井音频电透视具有明显的特点,有利于解决工作面顶、底板水文异常体探测问题;适宜在准备回采的工作面,或存在有2条顺槽(透距 $\leq 350\text{ m}$ )的区域探测应用。主要探查工作面内部(或2巷道间)顶、底板一定高度(或深度)范围内水文异常地质体

的空间位置、分布形态及含水性相对强弱等。

该技术在济三矿的应用,为工作面采前防治水工作的实施,提供了较为可靠的参考资料。在充分认识音频电透视的技术特点、应用技术条件、解释参数与岩性、构造及回采涌水量的关系的基础上,可以更加科学、准确地预测预报工作面顶部岩层水害,更好地为煤矿安全生产服务。

### 参考文献

- [1] 刘天放,李志鹏. 矿井地球物理勘探[M]. 北京:煤炭工业出版社,1992.
- [2] 曾方禄,王永胜,张小鹤,等. 矿井音频电透视及其应用[J]. 煤田地质与勘探,1997,25(6):54-58.
- [3] 张广文,杨建华,曾方禄,等. 济三煤矿不同条件下井下探水技术研究及应用[R]. 西安:煤炭科学研究总院西安分院,2006.