

钻机液压系统的分析与改进

郑 超

立轴式油压钻机在我国使用至今已有20年的历史。目前在钻探设备中仍有相当大的数量。随着金刚石钻进方法的推广,近期内,在钻探生产上起主力军作用的,恐怕仍然是立轴式油压钻机。因此,我很赞成“改、造并举,逐步更新”这样的方针,也就是说,现有的立轴式油压钻机要尽快改进,让它更好地适应金刚石钻进工艺的需要。另一方面,还要大力开展新型钻机的研究,尽量应用新技术,以期在不远将来赶上和超过世界先进水平。

二十年来立轴式油压钻机有不少改进。XU—600和XU—300钻机从“1”型改进到“3”型,尤其是配套了液压拧管机,是国产钻机的独特之处。可是,在钻机液压系统方面,却没有多大的改进。目前各类钻机采用的液压元件如:YBC45/80齿轮泵,多路阀和给进速度控制阀等仍然是仿制瑞典XH—60型钻机的产品,在油路系统设计方面改进也不大,而且大小钻机一个样,就连最近通过鉴定的JXU—1500型钻机也仍然是老一套。随着我国液压技术的发展、金刚石钻探技术的推广,立轴式油压钻机(以下简称钻机),不但在转速、稳定性等方面要进行改进,而且在液压系统方面也大有改进的必要。以下仅就此问题作一初步分析,并提出改进意见,供有关方面参考。

一 关于钻机油泵的选用问题

1.我国钻机配用的油泵,品种单一。XU—300型钻机和JXU—1000型钻机配用CB32型齿轮泵,其他钻机均配用YBC—45/80型齿轮泵。如果说XU—600型钻机配用

YBC45/80型齿轮泵,在压力、流量等方面是合适的话,而在JXU—1500型钻机上配这样的齿轮泵就未必合适。JXU—1500型钻机要求油缸起重量大,油缸直径也大,而用同样泵量的齿轮泵,则倒立轴的速度慢,增加了辅助工作时间。

2.钻机采用的是定量泵供油,功率消耗大,泵的使用寿命短。钻机工作的特点是,给进时速度慢,倒立轴时要求速度快。如果按倒立轴的速度选择泵量,则在正常钻进时,齿轮泵排出一定量的油,除满足给进速度的需要和补偿系统的泄漏之外,其余大部份油则通过溢流阀回油箱。

假设某一钻机,油缸的内径为80毫米,活塞杆直径为40毫米,则上油缸面积 $F =$

$$\frac{\pi}{4} (D - d)^2 = 12.56 \text{ 厘米}^2, \text{ 这时设给进}$$

速度 $V = 60 \text{ 米/小时} = 1 \text{ 米/分}$,则所要求的泵量 $Q = 2 F \cdot V$

$$Q = 2 \times 12.56 \times 100 \\ = 2.589 / \text{分}$$

这个例子说明,每小时60米的给进速度只需要2.589/分的泵量,若在硬岩中以2—3米/小时的速度钻进,需要的泵量则更少。减压钻进时,不但全部泵量溢流,还要溢走下油缸排出的油,因此说在钻进过程中油泵输出的大量油做了废功,使油发热,白白地消耗去大量功率。若以工作压力为50公升/厘米²计算,YBC45/80型齿轮泵消耗功率 $N = \frac{\Delta P \cdot Q}{612 \eta}$

$$= \frac{50 \times 45}{612 \times 0.7} = 5.24 \text{ 千瓦}$$

何况钻机的纯钻时间都在50%左右,用定量

泵供油,在钻进过程中不但造成功率的消耗,而且还影响液压件的工作寿命,尤其是泵的使用寿命。油的发热也是油压钻机的一个难题。钻机上的油箱容量不能太大,按一般要求油箱容量为泵量的3倍,但在钻机上最多不超过2倍,而钻机上又不能增加冷却装置,

因此解决的办法,只有采用变量泵。

目前国外钻机大部分都采用变量泵,有的采用手动变量的叶片泵,有的采用限压式自动变量叶片泵,还有采用大小双联齿轮泵(表1)。

表 1

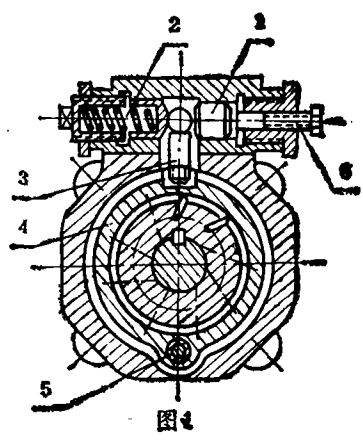
国别	钻 机 型 号	孔 深 (以BW钻杆为准)	泵 的 型 式	泵量 (升/分)	压 力 (公斤/厘米 ²)
美 国	长年“44”型	975	变 量 叶 片 泵	0~70	最大工作压力 70
	长年“38”型	700	变 量 叶 片 泵	0~45	最大工作压力 70
	长年“34”型	400	变 量 叶 片 泵	0~45	最大工作压力 70
日 本	立根TDC-4	1000	变 量 叶 片 泵	0~60	70
	立根TXL	3000	双 联 齿 轮 泵	12、58	工作压力100 最大压力210
	矿研EP-1W	200~1000	限压式自动变量叶片泵	0~94	55~70
	矿研ROCY-2	300~400	2FA型自动变量叶片泵	0~56	30~70
澳 大 利 亚	明德利尔10型	795	恒 压 变 量 叶 片 泵		
	明德利尔13型	1195	恒 压 变 量 叶 片 泵		
	明德利尔20型	1490	恒 压 变 量 叶 片 泵		

从表中可以看出,目前国外中深孔钻机均采用变量泵,美国长年公司连浅孔钻机(长年“24”型)也采用变量叶片泵(排量22.7升/分,最大工作压力52.6公斤/厘米²)。采用变量泵,既节省动力又减少油的发热,延长泵的使用寿命,我国的钻机何不予以采用呢?

变量叶片泵分单向变量和双向变量两大类,单向变量叶片泵是定子相对转子只向一个方向偏移,因而泵的输油方向不变,输油量可变。这类泵又有三种变量方式:手动调节单向变量叶片泵(代号YBS);限压单向变量叶片泵(代号YBP);稳流量单向变量叶片泵(代号YBQ)。其中限压单向变量泵比较适合钻机使用。

限压式变量泵的结构如图1,由柱塞1,弹簧2,调节杆3,定子环4,支撑5,流量调节螺钉6等组成。当系统压力超过限定压力(弹簧2的调整压力)时,压力油推动柱塞1向左移动,通过调节杆3使定子环4绕支撑5转动,从而减少了偏心距,使泵的输出流量减小。当系统压力恢复到限定压力以内时,弹簧2向右的推力大于柱塞1向左的推力,则泵的输出流量不变。调整

流量调节螺钉6可以改变泵的输出流量。由于在倒立轴以及移动钻机对中井口或离开井口时,系统工作压力都不高,但这时要求速度快,而钻进过程,尤其是开孔加压钻进和



深孔减压钻进,则系统工作压力高而速度慢(排量小),因而限压变量叶片泵正合此用,只要将压力恰好调到“倒立轴”的工作压力,则可根据钻机工作需要自动地改变泵的输出油量,以达到节省动力消耗等的极佳效果。

变量叶片泵在我国早有生产,但多在机

床上使用, 目前已有三种系列: 广州机床研究所设计的 YB 型系列; 榆次液压件厂生产的 YBN 型系列; 南京液压件厂生产的 NYBP 型系列。技术规格如表 2。

表 2

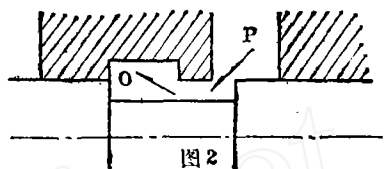
型 号	流 量 (升/分)	压 力 (公斤/ 厘米 ²)	转 速 (转/分)	功 率 (千瓦)
YBP-25	25	63	1000	3.2
YBP-40	40	63	1000	5.2
YBP-63	63	63	1000	8.1
YBP-100	100	63	1000	13.1
YBN-40N-IB	45	18~70	1800	5.14
NYBP-25	25	63	1450	
NYBP-40	40	63	1450	
NYBP-63	63	63	1450	
NYBP-100	100	63	1450	

叶片泵与齿轮泵比较, 流量均匀, 运转平稳, 噪音小, 工作寿命长(据介绍可达 10,000 小时以上)。因此, 建议中深孔、深孔钻机采用上述油泵作为动力源。值得提出的一种泵是双联叶片泵。它是在一个泵体内安装了两套转子和定子并由一根转动轴驱动, 泵体有一个共同的吸油口, 两个泵的流量可以任意组合(最好是一大一小), 两泵的输出流量可以单独使用, 也可以合并使用, 例如在倒立轴时, 轻载快速, 则两泵同时供油, 而钻进时重载慢速, 则小泵单独供油, 大泵卸荷(应用这种泵的油路系统将在后面介绍)。因此也同样可以达到减少功率消耗的目的。日本 TXL 型和 ANDES 型钻机均采用大小双联泵的供油方式, 但他们用的是双联齿轮泵。

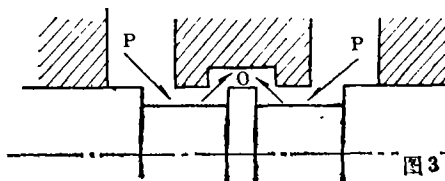
二 多路换向阀的缺点及改进

多路换向阀是钻机液压系统组成中的主要控制元件。目前我国所有钻机上采用的多路换向阀是仿制瑞典五十年代 XH-60 型钻机上用的老产品, 这种多路换向阀, 由三片阀体组成, 阀体平面之间没有“O”形圈密封, 因此工作压力低, 阀体的油道数目较多, 共 8 条, 轴向尺寸长, 阀体结构的对称性差, 因此, 铸造工艺性和加工工艺性都不

好, 而阀芯中立位置的回油道是两槽结构(图 2 为两槽结构, 图 3 为三槽结构)。这种结构开口量小, 阀芯处于中立位置时油道阻力大, 三槽结构还可减小液动力对换向过程中操作力的影响, 而两槽结构增加阀芯的

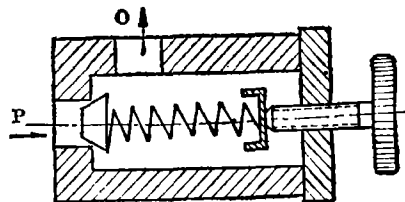


滑动阻力。除了结构上的缺点之外, 尤其不利于钻机调压给进的是其直接作用式的溢流阀。这种溢流阀的作用, 除了使多余的油流回油箱, 更重要的是靠它调整并保持钻头的给进压力, 根据金刚石钻进工艺的特点, 要求给进压力准确、稳定, 而这种直接作用式



的溢流阀阀动大, 噪音大, 调压范围有限, 给进压力不稳, 受负载变化(也就是孔内阻力变化)的影响较大。

直接作用式溢流阀(图 4)是靠液压力与弹簧力直接平衡, 控制排油口启闭及其开口大小来进行工作的。当溢流阀刚开始溢流



时, 因阀芯抬起高度不大, 弹簧的压缩量小, 所以这时油液打开阀口的压力(称为开启压力) $P_{开}$ 较小。当溢流量增加时, 阀芯上升, 开口增大, 这时必须进一步压缩弹

簧，因而弹簧力增大。阀芯升到最高位置时，这时的压力称为调定压力 $P_{调}$ 。调定压力 $P_{调}$ 和开启压力 $P_{开}$ 的差值，就是溢流阀压力随溢流量变化的变化值，即所谓稳态特性。由于直接作用式的阀需用比较硬的弹簧才能平衡液压力，而弹簧越硬，压力变化值越大，稳态特性越差，随着液流流量的变化，系统压力波动比较厉害，因此这种阀只适于作为安全阀，不宜用于调节油缸的给进压力。

鉴于上述情况，建议一方面设法克服上述缺点，提高产品质量，另一方面推荐采用一机部多路阀联合设计组设计的并于1977年通过国家鉴定的 ZL 型多路换向阀。该系列多路阀是组合式多路阀，具有工作压力高，结构紧凑流道阻力小，不易外漏，通用性好，微调性能好等特点。它可以根据钻机各种执行机构的需要组成并联、串联、串并联等多种油路，可选6级压力（80~160公斤/厘米²）。详细情况见《液压技术通讯》1977年3期，这里不赘述。

三 有关加减压给进问题

用油缸加减压、给进的立轴式钻机有三种给进状态：

1. 加压给进 孔深200米以内时，

钻头压力 $P = Q + PF_1$

式中：Q—钻具重量；

P—溢流阀调节的压力；

F_1 —上油缸面积。

调节液流阀（或称调压阀）控制上油缸的压力大小来满足孔底钻头所需要的钻进压力，这时的给进速度是无级的，随负荷而变，也就是随孔内钻头切削岩石的情况而变。

2. 减压钻进 深孔时必须平衡一部分钻具重量才能满足钻头所需要的压力，这时，

钻头压力 $P = Q - PF_2$

式中：Q—钻具重量；

P—溢流阀调节的压力；

F_2 —下油缸面积。

减压钻进时操纵方向阀使压力油作用于下油缸，并调节溢流阀的压力，以平衡钻具

的一部分重量，使孔底保持工艺上所需要的钻头压力，这时定量泵送出来的油量全部溢流，给进速度也是随负荷而异。

3. 速度控制给进 即在下油缸出口接一个可调节流阀，以控制钻头的给进速度，其压力关系是：

$$P = P_1 \cdot F_1 + Q - P_2 \cdot F_2 \quad (\text{加压给进}) \quad (1)$$

式中：P—钻头压力；

P_1 —溢流阀调节的压力；

P_2 —下油缸压力；

F_1 —上油缸面积；

F_2 —下油缸面积。

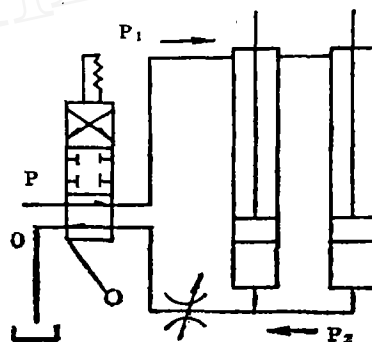


图5

由于油泵输出的油量是不变的，这时靠改变节流阀的开口大小，就改变下油缸排油量的大小，从而控制了油缸的给进速度，其速度值

$$V = \frac{Kf}{F_2} \sqrt{\Delta P} \quad (2)$$

式中：K—与节流阀结构及油粘度有关的系数；

f—节流阀开口面积；

ΔP —节流阀两端的压差，由于节流阀出口接油箱则 $\Delta P = P_2$

据公式（1）得：

$$P_2 = \frac{P_1 F_1 + Q - P}{F_2}$$

（2）

$$\text{得 } V = \frac{K \cdot f}{F_2} \sqrt{\frac{P_1 F_1 + Q - P}{F_2}}$$

从公式可知：（1）钻进速度与节流阀的开口面积 f 成正比，开口面积 f 越大，钻进速度越快；（2）钻进速度还受到负荷 P 的影响，也就是说受岩层变化的影响，负荷大钻进速度慢，反之亦然。

这种给进方式主要用于扫孔、扩孔、穿过空洞及钻进破碎地层等。另外对于合理使用金刚石钻头以求得最佳的技术经济效果，有时也需要人为地控制钻头的钻进速度以延长金刚石钻头寿命。因此，在一般均质地层也要用该种方式给进。减压钻进时也可以加上节流阀控制其给进速度。

目前我国立轴式钻机给进方式上存在的问题。

（1）XU—300 型钻机没有设置节流阀，因此不能进行速度控制给进，若用于金刚石钻进则应在下油缸出口处设置可调节节流阀。

（2）XU—600 型钻机使用的节流阀是XH—60型钻机上的所谓“给进控制阀”，也叫三位二通节流阀，其职能符号如图(6)。使用这种阀的缺点是倒立轴时，需要操作一次，使下油缸进油畅通，否则影响倒立轴速度。



图6

（3）由于钻机上采用的全部是定量

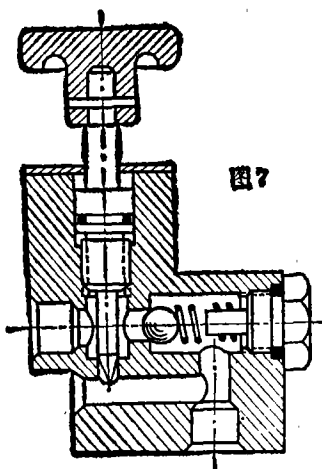


图7

泵，在给进时泵量过剩，大部分压力油用于发热，而在倒立轴时又嫌速度慢，增加辅助时间。

如果选用了变量泵以及有多路线溢流阀调压性能方面又有所改善，则在加减给进问题上就剩一个节流阀的问题，这里建议采用JXU—1000型钻机上使用的单向可调节节流阀，如图7。该阀靠转动针阀手轮调节下油缸的回油量，从而控制给进速度的快慢，而当倒立轴时，压力油顶开球阀，油路畅通，比XU—600型钻机上使用的给进控制阀好。

四 液压系统的设计问题

钻机的液压系统，先首要满足钻机工作性能的要求，也就是根据钻机的钻进能力，要达到相应的给进力，起拔能力和液压卡盘夹紧力等方面的要求，以满足各种运动的要求，在这个前提下力求简单，经济和维修方便。目前钻机上所采用的液压系统大同小异，基本上是由调压回路、回油节流调速回路和方向控制回路等基本回路组成。由于采用的是定量齿轮泵供油，对辅助件如：油箱、过滤器等要求不高，在管路连接上多采用管式连接，不少接头还保持管螺纹的连接方式，这样的连接方式拆装麻烦，漏油严重。在现场经常见到这种情况，工人眼巴巴看着钻机在严重漏油情况下坚持运转，除非大拆大卸，扳手是伸不进去的。这种状况应该改变。在设计阀和管路连接的位置安排上应充分考虑拆装、维修的方便性。

如果将定量泵改为变量泵则在液压系统上也要相应有所改变。以下提出二种限压变量叶片泵供油和双联泵供油的钻机油路系统，供参考。

1. 日本TXL型钻机油路系统（图8）特点：

（1）双联泵供油，当正常钻进时12升/分的小泵工作，58升/分的大泵经泵量控制阀3卸荷，单向阀2阻止小泵压力油进入大泵，安全阀6调定压力为140公斤/厘米²，当倒立轴时，先操作给进油缸控制阀6的手把，使下油缸进油，这时再操作泵量控制阀3的手把，使大泵回油路关闭，则大小油泵

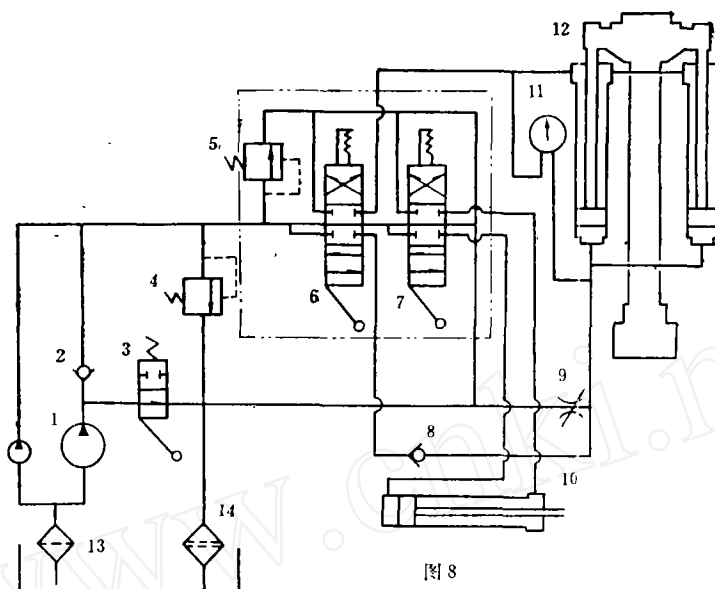


图 8

1. 双联齿轮泵, 2. 单向阀, 3. 泵量控制阀, 4. 安全阀, 5. 溢流阀, 6. 给进油缸控制阀, 7. 移动油缸控制阀, 8. 单向阀, 9. 速度控制阀, 10. 移动油缸, 11. 双针压力表, 12. 给进油缸, 13. 吸油粗过滤器, 14. 回油细过滤器

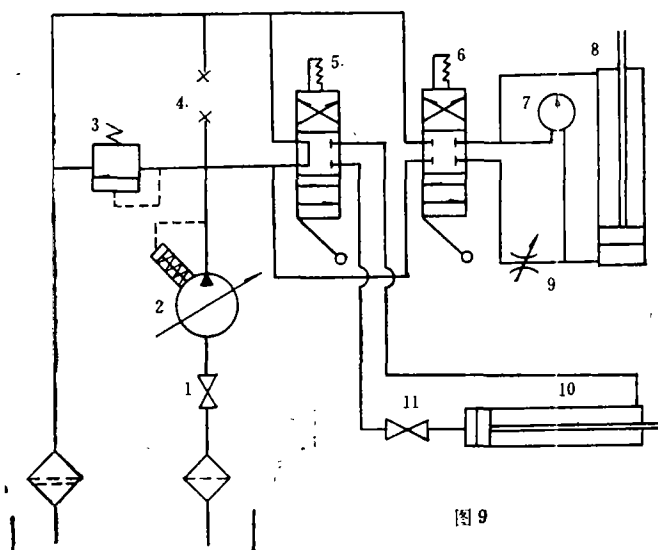


图 9

1. 截止阀, 2. 限压式变量叶片泵, 3. 溢流阀, 4. 绳索取心液马达接头, 5. 移动油缸控制阀, 6. 给进油缸控制阀, 7. 双针压力表, 8. 给进油缸, 9. 速度控制阀, 10. 移动油缸, 11. 截止阀

同时给下油缸供油；快速倒立轴。泵量控制阀（3）的定位方式是弹簧复位，所以松手把时大泵立即卸荷。移动油缸的前进和后退，也可使用大小泵同时供油加快移动速度。

（2）除安全阀4之外，还有溢流阀5作为加减压钻进时及时调节钻头的给进压力。

（3）给进油缸控制阀6经单向阀8将压力油送入下油缸，而当下油缸排油时不通过控制阀6而是经节流阀9直接回油箱。

（4）在钻进过程中，孔内发生故障，需要及时快速将钻具提离孔底，则可操作泵量控制阀3，使大小泵同时供油，快速提升。但在这种情况下，泵的工作时间不能超过10分钟，否则将引起油温的急剧上升，这说明该钻机的油箱容量比较小和溢流阀也不是按全泵量设计的。

2. CR—2型钻机油路系统（图9）特点：

（1）CR—2型钻机是日本矿研公司新改进的深孔钻机，用BQ钻杆可钻进2200米。虽然是深孔钻机，其油路系统仍很简单，采用限压式变量叶片泵供油，最大排量90升/分，最大工作压力70公斤/厘米²，当轻载工作时，如倒立轴，移动钻机离开孔口等则全泵量供油，而当重载工作即加减压钻进时，系统压力超过泵限压弹簧的调定值，

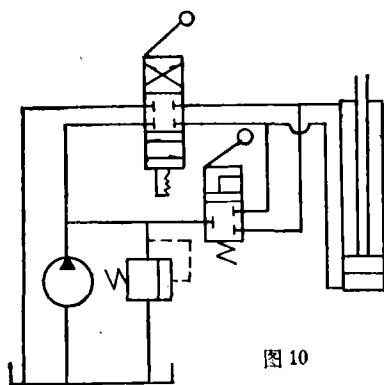


图10

则油泵自动变量，减少功率消耗。当然，这时仍然有少量溢流，多余的油经溢流阀3流回油箱。

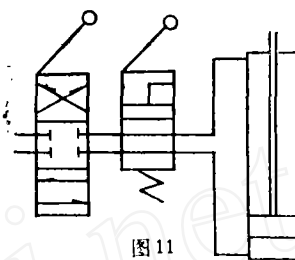


图11

（2）不工作时移动油缸控制阀5处于中位，油泵卸荷，阀5直接控制移动油缸10，当钻进时，钻机移向孔口，锁紧后，将截止阀11关闭，阀5置于上面位置，即将回油路切断，这时，才能操纵给进油缸控制阀6使油缸8给进或者倒立轴。所以，该钻机不用多路换向阀而用二个单独的手动换向阀并联以控制移动油缸和给进油缸工作。

（3）油路系统中设有供绳索取心液马达用的进油管接口4，需要时可引出来使用。

3. 利用差动回路解决快速倒立轴问题

在使用现有定量泵的条件下，如何解决既不过多地消耗功率，又能快速地倒立轴呢？看来只有采用差动回路，即使用泵量比较小的定量泵，而在控制阀和给进油缸之间增加一个换向阀，使倒立轴时，上下油缸连通都进压力油，利用面积差推动活塞快速上升。关于这方面的解决办法很多，如图10、图11就是其中的二个方案。过去的XU—650型钻机就有快速提升阀，但那是转阀，工作压力低，也比较笨重，不宜采用。如今在JXU—1000型钻机上（用CB32型齿轮泵）和在JXU—1500型钻机上（用45/80型齿轮泵）建议考虑快速倒立轴的问题。

（待续）