

挖掘机力士乐液压系统分析

[主要内容]

介绍了力士乐闭中心负载敏感压力补偿挖掘机液压系统组成及其工作原理、特性。重点分析了多路阀

液压系统、液压泵控制系统、各主要液压作用元件液压回路及多路阀先导操纵系统等。

目前液压挖掘机有两种油路：开中心直通回油六通阀系统和闭中心负载敏感压力补偿系统，我国国产液压挖掘机大多采用“开中心”系统，而国外著名的挖掘机厂家基本上都采用“闭中心”系统。闭中心具有明显的优点，但价格较贵。国内厂家对开中心系统比较熟悉，而对闭中心系统不太了解，因此有必要来介绍一下闭中心系统，本文重点分析力士乐闭中心负载敏感压力补偿(LUDV) 挖掘机油路。

LUDV 意为与负载无关的分配阀。

LUDV系统

LUDV 系统是力士乐等公司在改进负荷传感技术的基础上发展起来的，它是不受负载影响的流量分配系统，它将常开式压力补偿阀改为常闭式，泵所提供的流量与负载所需相匹配，避免了不必要的空流和节流损失。即使泵的流量小于系统复合动作所需的流量，各动作的相对速度也不会发生变化，从而保证动作的协调性，避免动作冲击。

力士乐挖掘机液压系统可以看作由以下4 部分组成：

- ①多路阀液压系统(主油路) ；
- ②液压泵控制液压系统(包括与发动机综合控制) ；
- ③各液压作用元件液压子系统，包括动臂、斗杆、铲斗、回转和行走液压系统，还包括附属装置液压系统；
- ④多路阀操纵和控制液压系统。

1 多路阀液压系统

多路阀液压系统是液压挖掘机的主油路，它确定了液压泵如何向各液压作用元件的供油方式，决定了液压挖掘机的工作特性。力士乐采用的闭中位负载敏感压力补偿多路阀液压系统的工作原理见图1（因换向阀不影响原理分析，故未画出）。

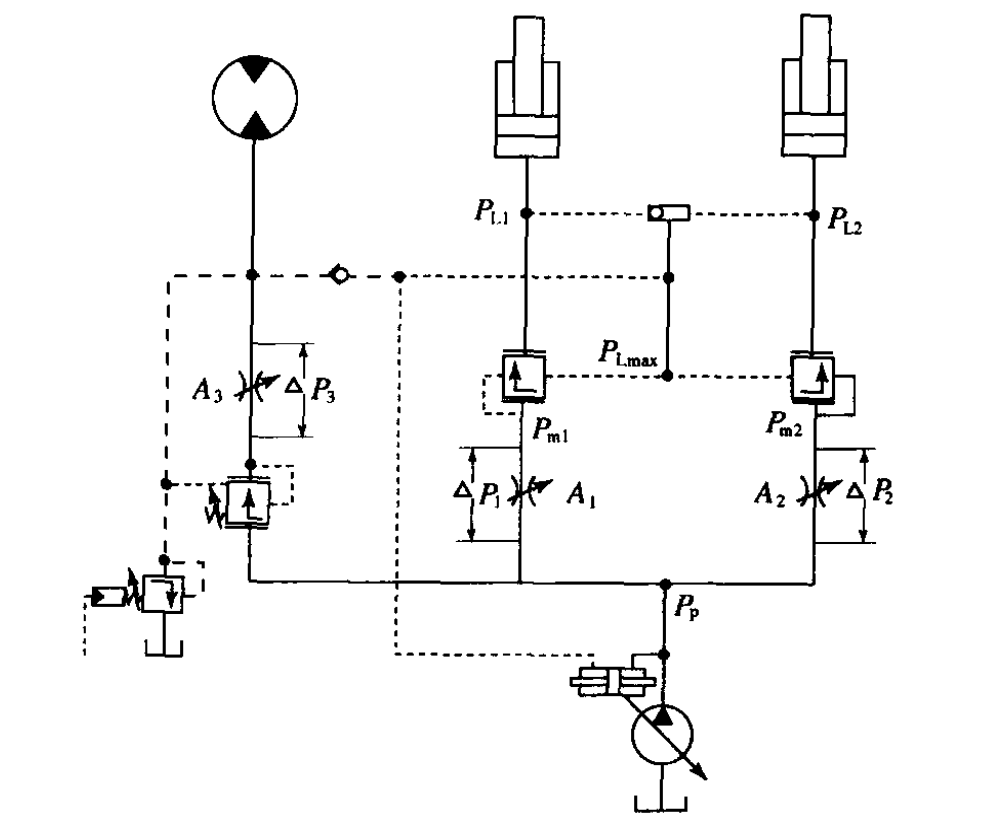


图1 挖掘机力士乐主油路简图

挖掘机力士乐主油路由工装油路和回转油路二个负载敏感压力补偿系统组成。

1.1 工装油路

工作装置和行走油路(除回转外)简称工装油路,用阀后补偿分流比负载敏感压力补偿(LUDV)系统,具有抗饱和功能。在每个操纵阀阀杆节流口后,设压力补偿阀,然后通过方向阀向各液压作用元件供油。LUDV 多路阀原理符号见图2。

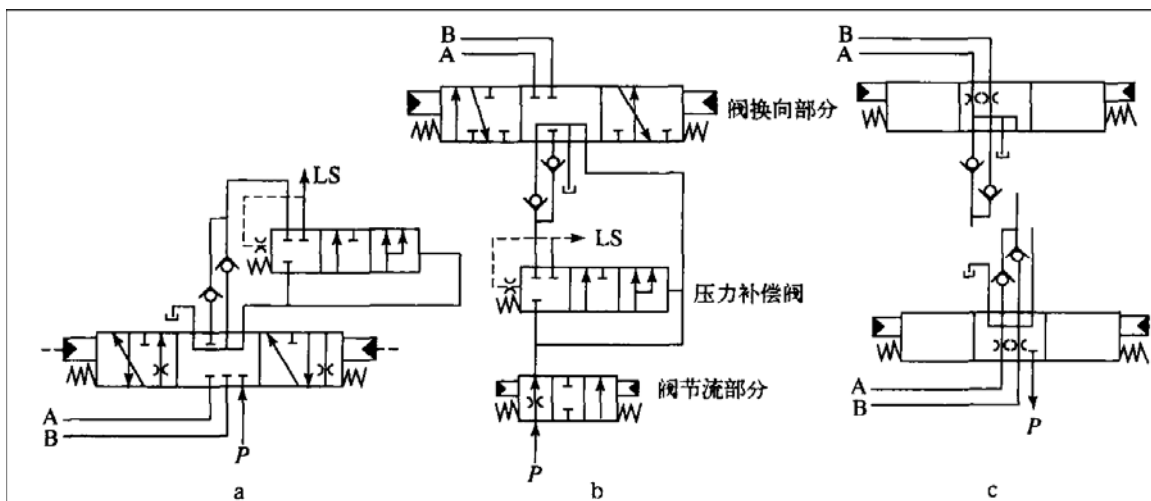


图2 力士乐多路阀原理符号图

LUDV 每个阀块主要由操纵阀和压力补偿阀组成，其原理符号如图 2a 所示。为了便于理解阀的原理，把操纵阀进行分解后可知，它实际上由阀的节流部分和阀的换向部分两部分组成。阀块原理展开如图 2b 所示，压力油进入操纵阀先通过阀节流部分，后经压力补偿阀，最后通过阀换向部分去液压作用元件。阀后补偿压力补偿阀布置在操纵阀可变节流口之后，由于液压作用元件一般都是双作用，有 A、B 两条油路，为了避免两条油路都设压力补偿阀，因此油路换向部分必须设在压力补偿阀之后。为了简化阀的结构，把节流部分和换向部分集成于一体（操纵阀中），如图 2a 所示。

工作装置和行走操纵阀虽基本相同，但中位油路连通有所区别。工作装置操纵阀中位 A、B 油口封闭，如图 2a、2b 所示，行走操纵阀中位 A、B 油口与回油路通过节流相通，如图 2c 所示。对压力补偿阀取力平衡得（见图 1）： $P_{m1} = P_{Lmax} = P_{m2}$ 。即压力补偿阀进口压力都相等，故经各操纵阀的压差都相等（ $\Delta P_1 = \Delta P_2 = \Delta P = P_P - P_{Lmax}$ ），则通过各操纵阀的流量 $Q = k \Delta P$ ，只与反映阀杆行程（开口量）的 k 有关，具有抗饱和的功能。负荷低的压力补偿阀产生压力降：

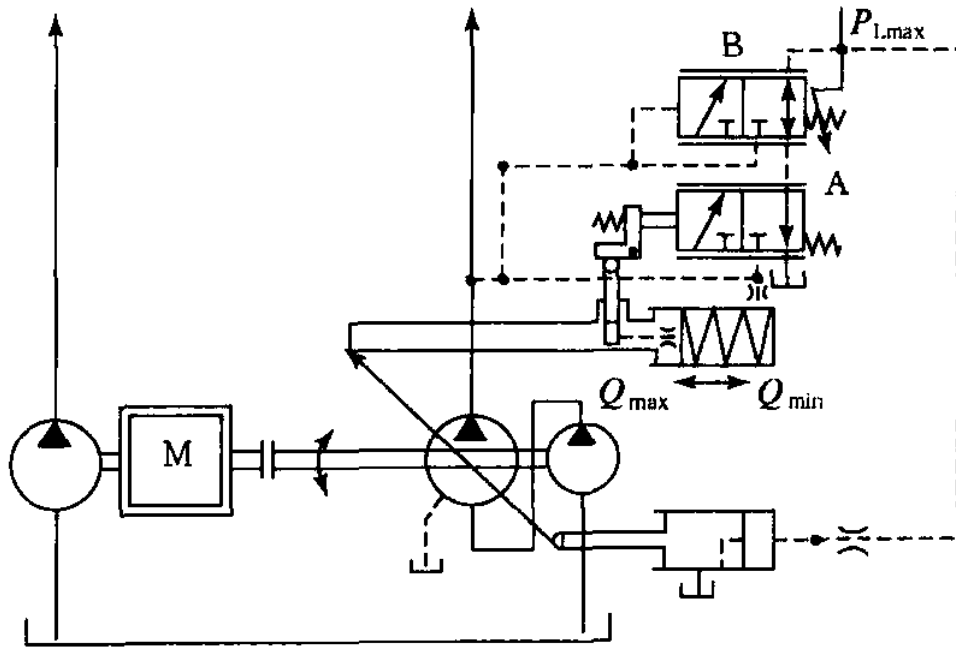
$$\Delta P_C = P_{Lmax} - P_{L2} \quad (\text{设 } P_{L1} = P_{Lmax}) ,$$

此压降正好补偿负荷压力差，因此压力补偿阀实际上起了负荷均衡器的作用。多路阀液压系统工作原理图 1 中，检出最高负载压力 P_{Lmax} 采用的是梭阀网，而实际液压系统中，工装和行走油路不采用梭阀网，而是采用三位三通的压力补偿阀来检出最高负载压力作为补偿压力。

1.2 回转油路

2 液压泵控制系统

2.1 A11VO 的LRS 控制系统



如图3 所示, 该系统由以下部分组成。

恒功率阀A 是二位三通阀。在弹簧力作用下,恒功率阀A 处于右位,下油缸压力油通过A 阀回油,在上油缸腔内油压和弹簧作用下油泵向

大流量方向摆动。油泵压力油通过上油缸腔作用在顶杆上，顶杆顶推杠杆使杠杆绕支点摆动，推动A阀向右移动，使A阀处于左位，油泵压力油通过A阀经B阀进入下油缸，推动其活塞杆，克服上油缸液压力并压缩弹簧使油泵向小流量方向摆动。同时由于上油缸活塞杆右移，顶杆顶推杠杆的力臂减小，使杠杆推A阀的力下降，直至与A阀弹簧力相等，油泵摆角处于新的平衡位置。

这种恒功率装置通过杠杆机构来实现，只要杠杆系统设计得好，就能实现很理想的恒功率曲线。

2.1.2 油泵流量调节阀

油泵流量调节阀(补偿压力阀，见图3中B阀)为二位三通阀，阀的左端受泵的出口油压 P_p 作用，阀的右端受多路阀负载敏感腔的油压 P_{Lmax} 和弹簧力 F_{S2} 作用，此阀的作用是设定系统的补偿压力。从B阀力平衡可得：

$$P_A = P_{Lmax} A + F_S$$

$$\Delta P = P - P_{Lmax} = F_S / A$$

当 $\Delta P > F_S / A$ 时(A 为受压面积)，该阀处左位，油泵压力油通向下油缸，使油泵流量减少。

当 $\Delta P < F_S / A$ 时，该阀处于右位，下油缸通过该阀回油，使油泵流量增大。

流量调节阀的作用是使系统压差 ΔP ($P - P_{Lmax}$)保持定值。 ΔP 由设计确定称为系统的补偿压差，是系统各操纵阀的进口压力 P 与出口压力 P_m ($= P_{Lmax}$)之差，各操纵阀在保持补偿压差一定条件下，通过改变阀杆的开口面积来控制去各液压作用元件的流量。

系统通过油泵流量调节，按司机操纵阀杆的开度大小，提供所需流量，而且只供给比负载稍高一点(ΔP)的油压。避免了系统的流量损失和过大的压力损失。

当弹簧力和阀的受压面积在设计时取定后，LRS油泵控制系统是不变的，因此恒功率阀设定功率是不变的。油泵流量调节阀设定的补偿压力也是不变的，虽然可以停机通过调整弹簧来改变功率设定和补偿压力设定，但显然是不方便和不理想的，但实际挖掘机工作中需要改变功率和改变补偿压力，这是LRS系统的不足之处。

2.2 A11VO 的LE2S 控制系统

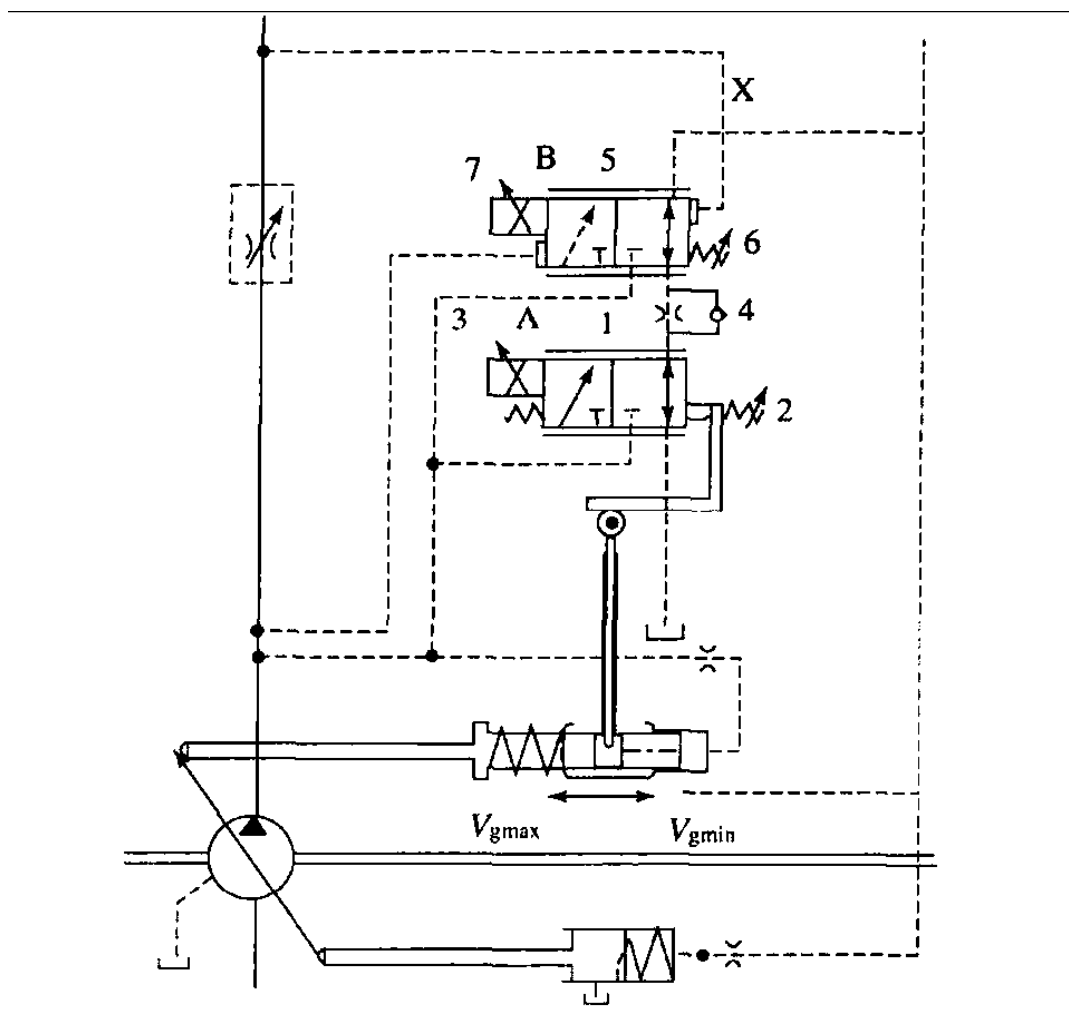


图4 A11V0 LE2S 控制系统

1 - 变功率控制阀；2 - 功率设定调整弹簧；3 - 变功率比例电磁铁；4 - 调节响应时间的单向节流阀；5 - 变补偿压力控制阀；6 - 补偿压力设定调整弹簧；7 - 变补偿压力比例电磁铁

如图4 所示，L E2S 控制系统与LRS 控制系统不同之处是采用了变功率比例电磁阀和变补偿压力比例电磁阀，可以实现变功率控制和变补偿压力控制。为此，在LRS 控制系统中恒功率阀和油泵流量调节阀中都加上了比例电磁铁，成为变功率比例电磁阀和变补偿压力比例电磁阀。

2.2.1 变功率比例电磁阀

在恒功率阀上加上比例电磁铁，其电磁力作用在阀杆上，其功能实际上是改变弹簧作用力。油泵功率与弹簧力 F_S 成正比，通过改变比例电磁铁的输入电流 I 使电磁力变化，从而改变了油泵的功率控制曲线。

油泵功率曲线随先导电流 I 的变化情况如图5所示,

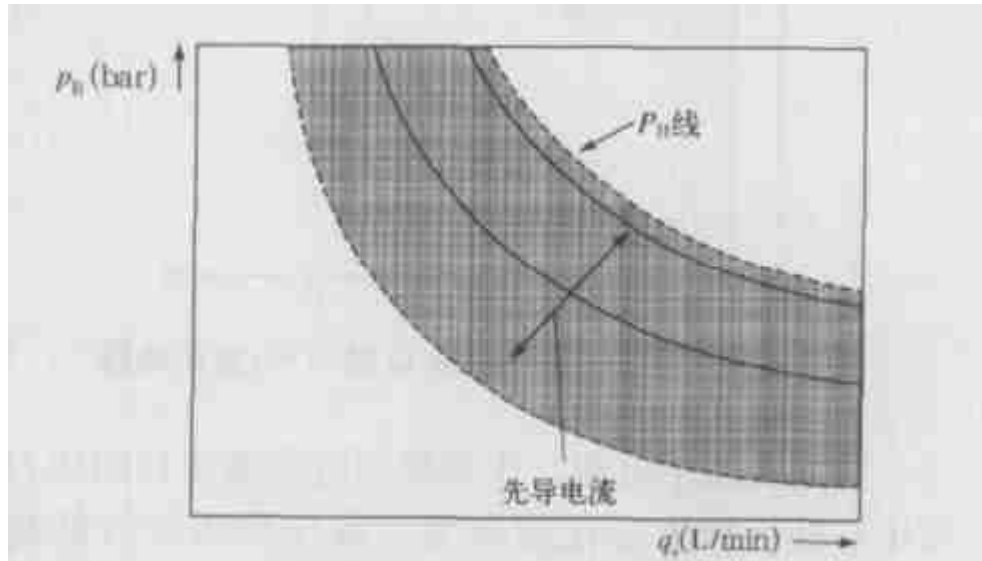


图5 油泵功率曲线随电流 I 的变化

为了充分利用发动机功率, 电控设定的最大功率线高于发动机额定功率线 P_H , 电控失效后, 功率线低于 P_H , 电控最小功率线更低。从图5可见比例电磁铁控制的恒功率曲线是一个区间。变功率控制在挖掘机有二大功用: ①实现全功率控制: 无变功率控制时, 考虑到大气状态(气压, 气温和湿度)变化、采用较差燃油和使用过程中发动机性能恶化等原因都会使得发动机功率有所下降, 为了防止发动机过载和熄火, 一般油泵功率设定都低于发动机额定功率。采用变功率阀, 最大功率设定高于发动机额定功率, 可采用转速感应控制使发动机始终保持在发动机额定转速点工作, 充分利用发动机功率。②实现工况控制: 挖掘机要求在不同工况下作业, 例如重掘削工况、经济作业工况和精细作业工况等, 要求油泵功率有不同的设定, 变功率控制能实现这个要求。

2.2.2 油泵流量调节变补偿压力阀

在油泵流量调节阀上加上比例电磁铁, 通过改变电流可改变其电磁力, 此电磁力作用在流量调节阀上, 实际上是改变了弹簧力, 上面已说明油泵流量调节阀的补偿压力取决于弹簧力, 改变弹簧力也就改变了补偿压力。

补偿压力与电流 I 成直线关系, 如图6 所示。

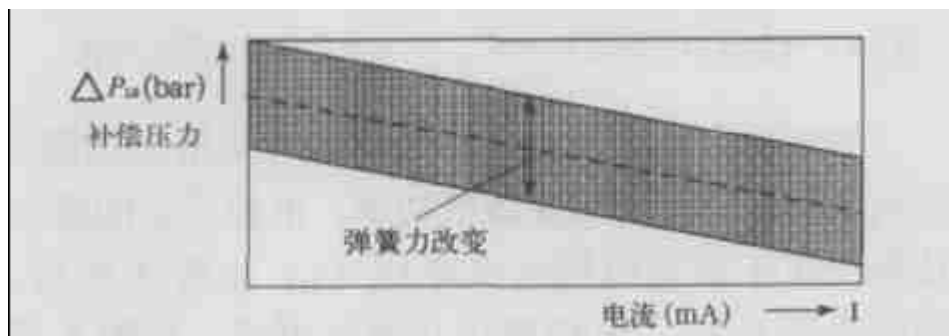


图6 补偿压力 ΔPLS 随电流和弹簧力变化曲线

图中表示了调节弹簧力也可以改变补偿压力。

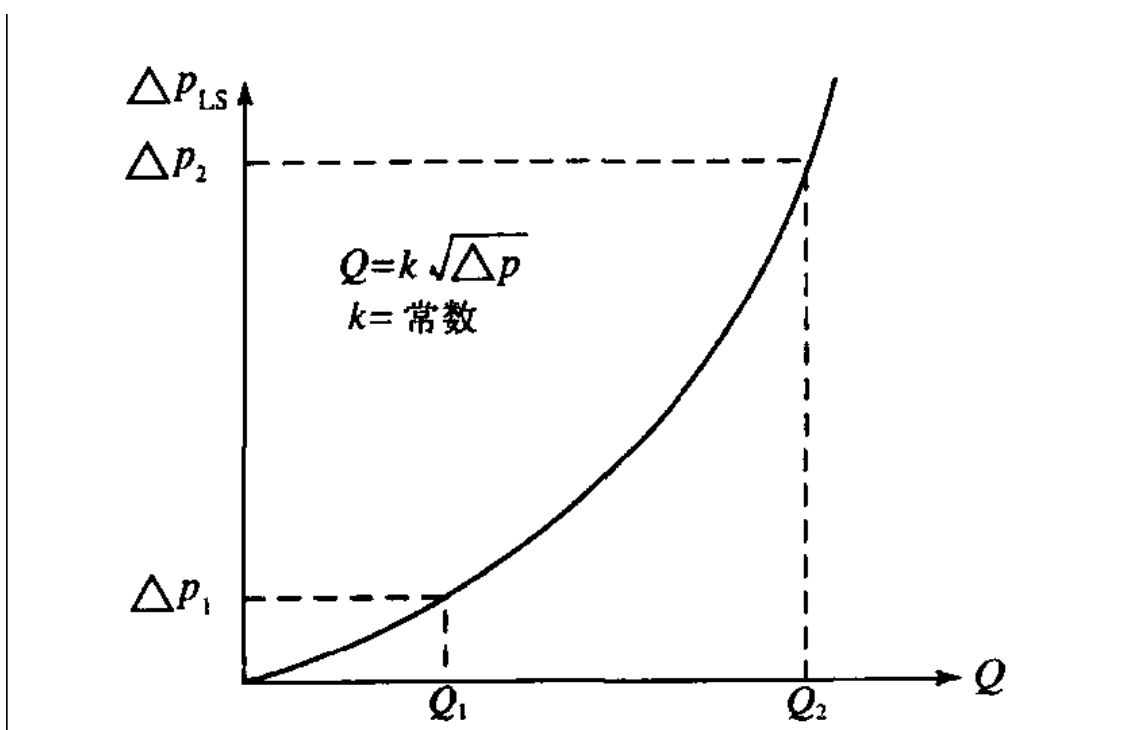


图7 阀杆行程一定时流量 Q 随 ΔPLS 变化曲线

图7表示阀杆行程 S 一定，油泵流量 Q 随补偿压力 ΔPLS 的变化情况。

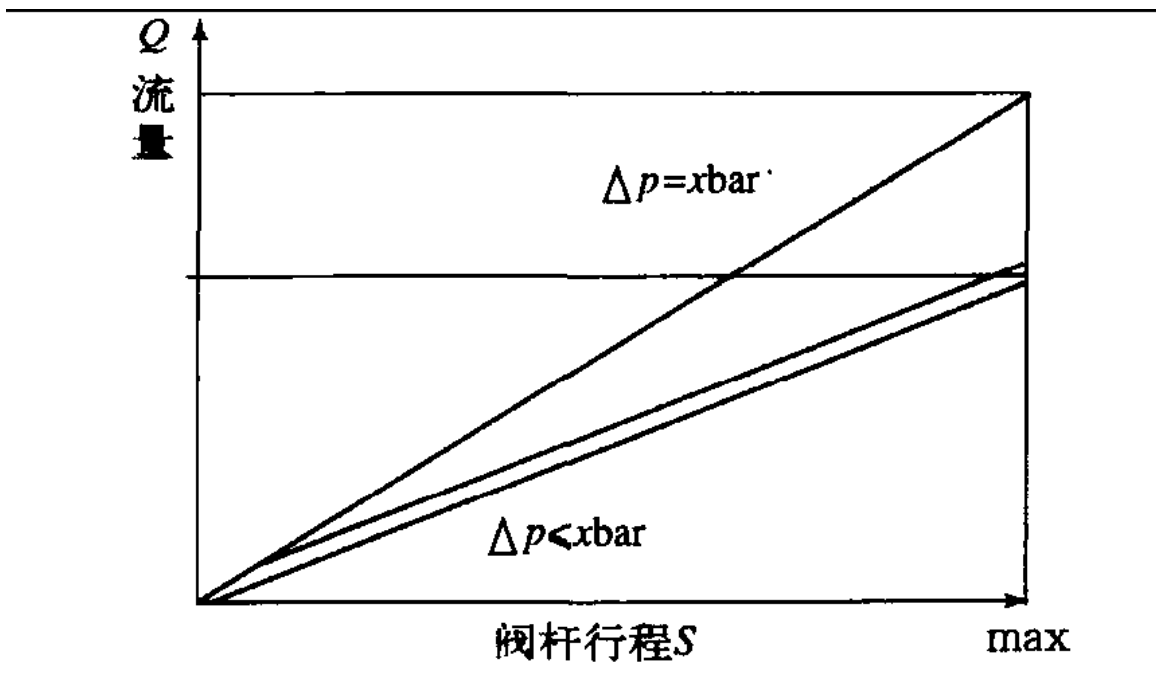


图8 在不同的 ΔPLS 下流量随阀杆行程变化曲线

图8 表示在不同的补偿压力下，供给液压作用元件的流量与阀杆行程的关系。降低 ΔPLS ，供油量减少；阀杆行程增大，流量增加比较平缓。

从这些图中可知，改变控制电流能使补偿压力变化，补偿压力变化能改变去液压作用元件的流量，起调速作用，变 ΔPLS 控制能更好地适应不同作业工况的流量需要，特别是改善了精细作业微动性能；另外随着发动机转速改变，泵的流量随着变化，补偿压力也应随之改变。

应当说明，补偿压力阀输出的控制油直接操纵液压泵变量油缸，而功率阀输出的控制油经补偿压力阀操纵液压泵变量油缸，因此两阀的控制关系为补偿压力阀优先。

3 各液压作用元件液压回路

3.1 动臂、斗杆和铲斗液压回路

其特征为：①在油缸的两条油路中都设有限压阀防止过载；②动臂和斗杆的液压回路中若需要可采用再生阀杆，实现再生功能。

3.2 行走液压回路

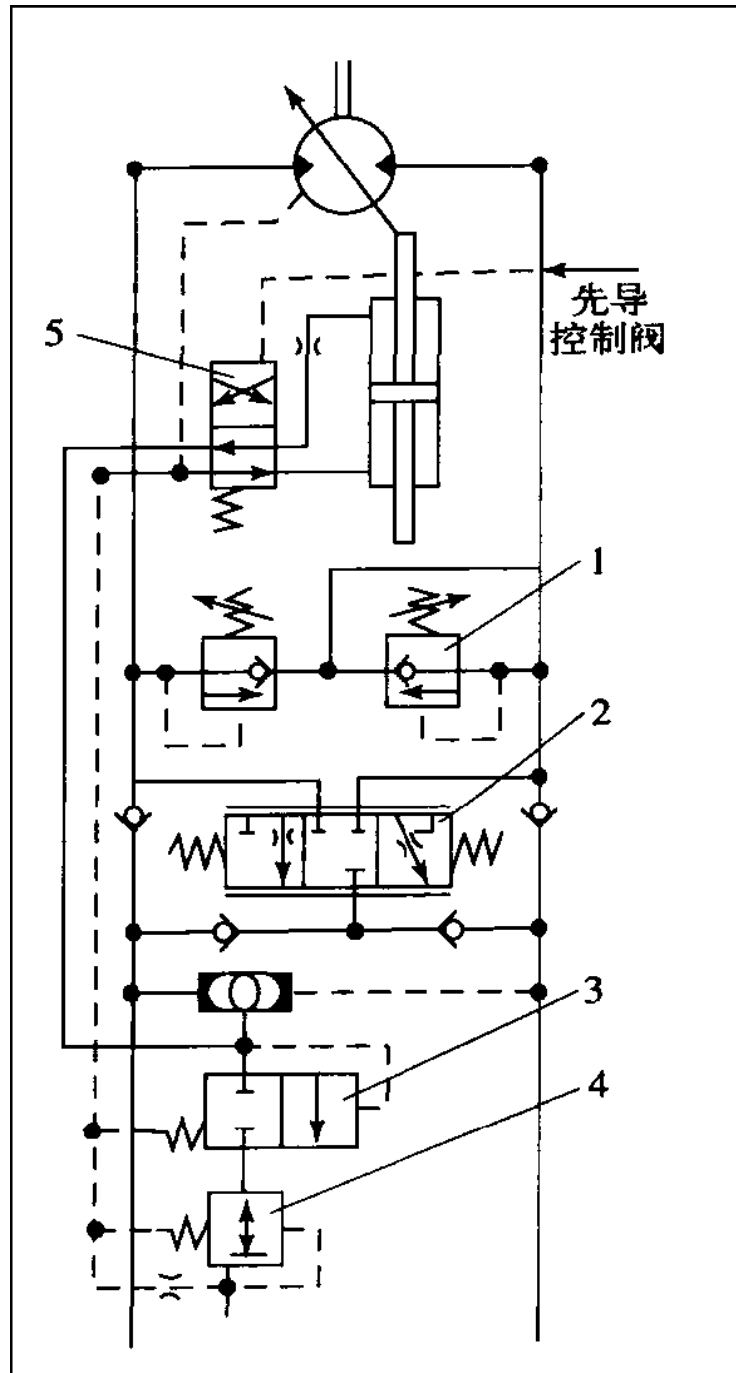


图9 行走液压回路

1 - 限压阀；2 - 平衡阀；3 - 制动操纵阀；4 - 减压阀；5 - 变速阀

如图9 所示，由以下阀组成：①限压阀——二个分别限制行走马达两油路压力，又起补油作用；②平衡阀——防止下坡时超速；③制动操纵阀——由左右油路通过梭形阀引入压力油，在压力油作用下此阀打开，压力油通向制动器；④减压阀——在压力油通向制动器的途中设减压阀，使通向制动器的油压降低，制动器承受较低压力，

有压力油时制动器制动，卸压时制动器压力油通过节流孔回油，使制动器延时制动；⑤油马达自动变速先导控制阀——该阀为两位三通阀，平时在弹簧作用下，该阀处于上位，变速阀先导控制油与先导油泵相通，当行走负载压力大于弹簧压力时，压缩弹簧使该阀处于下位，变速阀先导控制油回油箱；⑥变速阀——在先导控制油作用下，该阀处于上位，变量油缸下腔进压力油，上腔回油，油马达处于小排量，当先导控制油回油时，在弹簧力作用下该阀处于下位，变量油缸上腔进压力油，下腔回油，油马达处于大排量。

行走操纵阀处于中位时，油马达两腔相通，并与回油路相通，使行走马达和管路始终保持充满状态。通过左右行走回路间的旁通阻尼孔进行平衡，来改善直线行走性能。补偿两侧马达泄漏量不同、机械加工误差和控制误差引起的流量偏差。

3.3 回转液压回路

如图10 所示，由两个单向补油阀、二个二级溢流阀和先导操纵油压控制的回转压力阀等组成。

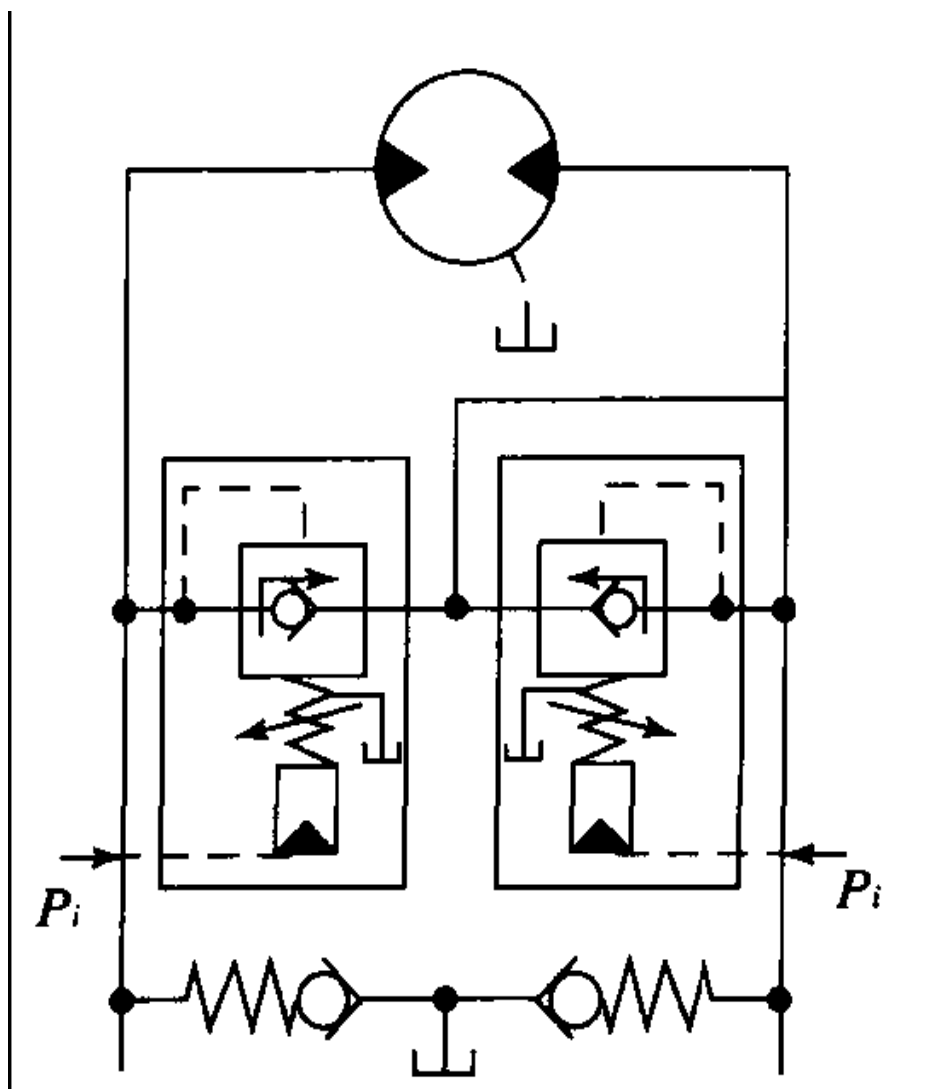


图10 回转液压回路

1) 二个二级溢流阀

具有驱动增压、溢流油压高和制动减压、溢流油压低的功能。回转操纵阀的先导操纵油压 P_i 作用在油马达驱动侧油路的溢流阀上，使驱动侧的溢流压力提高，驱动力矩大，使回转加速快。制动时，无先导油压作用，溢流阀压力低，制动力矩较低，使制动较柔和，回转驱动元件工作较平稳冲击小。当需快速强力制动时可采用反向驱动来制动。

2) 先导操纵油压控制的回转压力阀

此阀在回转操纵换向阀的进油口上，控制进入回转马达的油压，从回转先导操纵阀输出两个方向的操纵油压，通过梭形阀作用在回转压力阀上，使回转压力阀随着先导操纵油压的提高其控制的压力增加。因此司机可通过控制先导操纵油压来控制回转马达的油压，从而实现无级控制改变回转马达的转矩，能很好地按司机的愿望向回转马达提

供所需压力(转矩) 和流量(转速) , 任意回转加速, 操纵得心应手。

4 多路阀先导操纵系统

由定量油泵、先导操纵阀、闭锁电磁阀、安全阀和梭形阀等组成。

先导操纵阀是具有位移和力感觉的比例型操纵阀, 先导操纵油通过单向节流阀操纵多路阀杆的移动, 使操纵平稳柔和。回转先导操纵阀通过梭形阀将先导操纵油压加在回转压力阀上, 控制回转马达油压。左行走先导操纵阀通过梭形阀将先导操纵油压加在补偿负载压力溢流阀C上。闭锁电磁阀起闭锁先导阀操纵作用, 当电磁阀失电时在弹簧力作用下, 该阀处于左位, 先导油泵来油切断, 先导操纵阀进油路回油, 先导操纵阀不能操纵, 只有当电磁阀接通电时, 该阀处于右位, 先导油泵压力油才能通向各先导操纵阀, 先导操纵阀才能操纵, 防止误操纵。

5 系统其它功能阀

系统其它功能阀集成布置在多路阀内, 是组成多路阀液压系统的一部分, 包括以下各阀。

1) 系统安全阀A

起安全保护作用, 一般情况下不打开。

2) 系统卸载阀B

此阀一端受油泵压力油作用, 另一端受补偿负载压力和弹簧力作用。有一操纵阀操纵(即系统工作时), 此阀在补偿负载压力作用下关闭, 建立油压。当各操纵阀都在中位时, 此时补偿压力油回油, 补偿负载压力很低, 油泵压力油只需克服弹簧力, 就能将此阀打开回油箱, 由于油泵的油经此阀回油有一定节流作用, 使油泵出口压力稍提高, 作用在油泵流量调节阀上, $P - PL > \text{弹簧力}$, 流量调节阀起作用, 使油泵流量变小, 只输出少量液压油, 冷却和冲洗系统, 使油泵处于待命状态, 一旦系统工作油泵就能很快响应。使操纵阀在中位时油泵在低压小流量工作, 实现中位卸载节能。

3) 补偿负载压力溢流阀C (切断阀)

该阀控制负载最高压力, 超过此压力该阀打开, 补偿负载压力油通过它回油箱, 由于油流经压力补偿阀油压降低, 使油泵压差增加, 油泵排量减至最小, 起高压切断流量作用, 实现过载节能。左行走先导操纵阀通过梭形阀, 将先导操纵油压加在补偿负载压力溢流阀上, 使行走时自动增压。

4) 补偿压力卸压阀D

其作用是通过其节流孔有极少量地油流至油箱, 防止操纵阀中位时压力补偿腔产生困油现象。使LS 油压升压速度变缓, 增强系统动态稳定

性。

5) 回油背压阀E

使回油路保持一定背压。

6) 双向变节流阀F

由两个单向阀和两个不同的节流孔组成，该阀布置在补偿压力油通向油泵流量调节阀的通道上，它使补偿压力油进入和排出油泵流量调节阀时，其作用腔分别通过不同的节流孔，起控制油泵流量调节阀双向响应速度，同时起防止振动冲击作用。