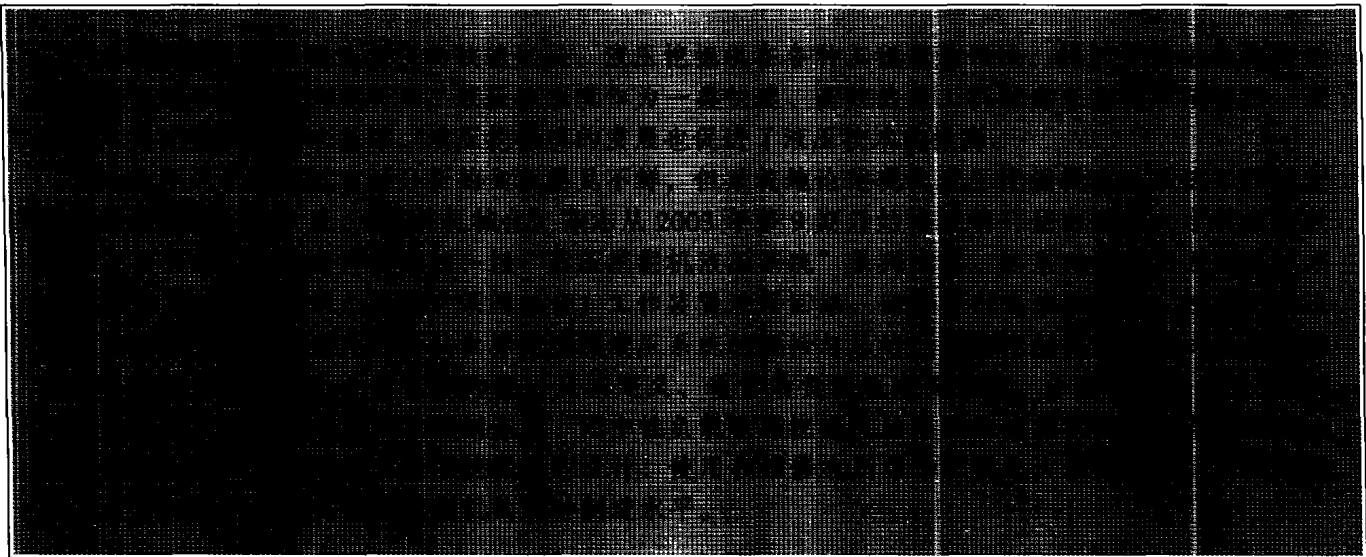




# 液压挖掘机液压系统概述

黄宗益, 叶 伟, 李兴华

(同济大学, 上海 200092)

**[摘 要]** 在简要说明液压系统对挖掘机的重要性后, 提出了挖掘机对液压系统的几点性能要求, 具体分析液压挖掘机工作循环的 4 个基本动作以及行走时的复合动作过程液压作用元件互相配合的流量分配和功率分配, 进而介绍挖掘机液压回路的基本类型。

**[关键词]** 液压挖掘机; 液压系统; 复合动作; 控制方式; 流量分配; 功率分配

**[中图分类号]** TU62 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1001-1366(2003)09-0012-05

## A survey of hydraulic system in hydraulic excavators

HUANG Zhong-yi, YE Wei, LI Xing-hua

### 1 前言

挖掘机的发展历史可追溯到 19 世纪三四十年代, 由于当时美国进行大规模西部开发的需要, 产生了以蒸气机作为动力, 模仿人体大臂、小臂和手腕构造, 能行走和扭腰的挖掘机。早期挖掘机主要用于矿山开采。

随后的 100 余年中挖掘机并没有得到很大发展, 发展迟缓的原因主要是挖掘机作业装置动作多、运动范围大、采用多自由度机构, 古老的机械传动对它不太合适; 而且当时的工程主要是国土开

发, 大规模的筑路和整修场地等, 平面作业多, 因此铲土运输机械是当时工程机械的主力机种, 得到较快的发展。

20 世纪 60 年代开始, 液压传动技术得到了很快发展, 逐渐成为成熟的传动技术; 挖掘机找到了适合它的传动方式, 为其发展建立了强有力的技术支撑。

同时工程建设和施工形式也发生了变化。在大

**[收稿日期]** 2003-05-21

**[作者简介]** 黄宗益 (1936-), 男, 教授, 博士生导师, 上海市四平路 1239 号。

规模国土开发的同时,向城市型土木施工发展,给了挖掘机以展现自己才能的机会。具有较长的臂和杆、能装上各种各样工作装置的挖掘机,会行走、能回转,可实现多自由度动作,既能切削高的垂直壁面,又可以挖掘深的基坑和沟,是一种万能型的工程机械,因此得到了很迅速的发展。目前挖掘机已成为工程机械中无可争议的第一主力机种,在世界工程机械市场上已占据首位,并且仍在发展扩大。

挖掘机和液压传动是紧密地联系在一起的。所谓挖掘机在现代主要是指液压挖掘机,机械式挖掘机已很少见。液压技术是挖掘机的技术基础,反过来由于挖掘机对液压技术的高要求,从而大大地推动了液压技术的发展。液压挖掘机是一个大家族,目前向小型化和大型化两个方向发展。最小液压挖掘机重量仅 100kg 左右,斗容量  $< 0.01\text{m}^3$ ;而最大挖掘机重达 800t 左右,斗容量  $42\text{m}^3$ 。挖掘机的发展促使液压元件的高压化、小型化和大型化,其液压系统是工程机械液压系统中最复杂的,很多液压传动的先进技术体现在挖掘机上。

现代液压挖掘机作业动作复杂、功能齐全,要求多功能的多路阀和复杂控制的液压泵,泵、阀和马达都要采用电子控制,挖掘机的发展使最初对各液压元件的个别控制发展到智能化的综合控制。先进的液压挖掘机被称为土建机械手,是建设机器人的代表。作者认为有必要对挖掘机液压系统进行详细讨论。

## 2 液压挖掘机基本动作分析

要了解和设计挖掘机的液压系统,首先要分析液压挖掘机的工作过程和了解挖掘机的作业要求。要掌握各液压作用元件动作时的流量、力和功率要求,液压作用元件互相配合的复合动作要求,共同工作时油泵对同时动作的各液压元件供油时的流量分配和功率分配。

下面对液压挖掘机工作循环的 4 个基本动作:挖掘—满斗—举升—回转—卸载—返回,以及行走进行分别说明。

### 2.1 挖掘

通常以铲斗液压缸或斗杆液压缸分别进行单独挖掘,或者两者配合进行挖掘。在挖掘过程中主要是铲斗和斗杆有复合动作,必要时配以动臂动作。

平整土地和切削斜坡时,须同时操纵动臂和斗

杆,使斗尖能沿直线移动(图 1),此时斗杆收回和动臂抬起,希望斗杆和动臂分别由独立泵供油,以保证彼此独立、互不干扰,并要求泵供油流量小、油缸动作慢,容易控制,使铲斗保持一定切削角并按一定轨迹进行切削,或用斗底来压整地面,则需铲斗、斗杆、动臂三者同时作用完成复合动作(图 2)。

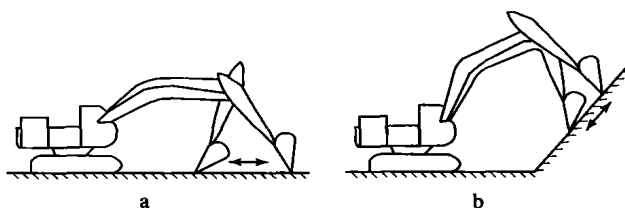


图 1 斗尖沿直线掘削

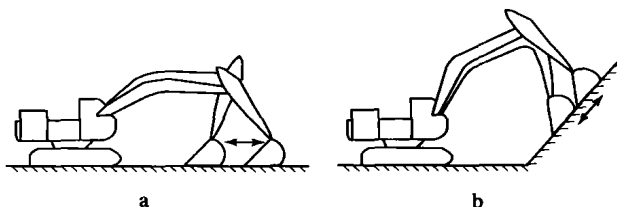


图 2 铲斗保持切削角进行切削和压整地面

为提高掘削速度,采用斗杆挖掘时,一般采用双泵合流,个别采用了三泵合流。铲斗单独挖掘时,也有采用双泵合流(特别是大型挖掘机)。下面以三泵系统来说明复合动作挖掘时,油泵流量分配和分合流油路连接供油情况。

当斗杆和铲斗复合运动挖掘时,供油情况如图 3a 所示,斗杆油压接近溢流阀压力时,原来溢流的油供给铲斗有效利用;当斗杆和动臂复合动作时,因动臂仅起调整位置作用,主要是斗杆挖掘,故采用斗杆优先合流、双泵供油,如图 3b 所示。

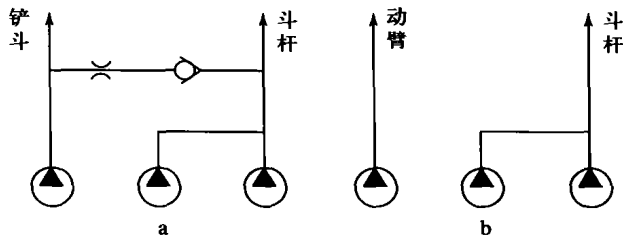


图 3 三泵供油系统

当动臂、斗杆和铲斗复合运动时,为了防止同泵供油时动作相互干扰,三泵系统的各泵单独供一

个液压作用元件较好。对双泵系统复合动作相互干扰可能性大,需采用节流等措施进行流量分配,其流量分配要求和三泵系统相同。

进行沟槽侧壁掘削和斜坡整修时,为有效地垂直掘削,要求向回转马达提供压力油,产生回转力,保持铲斗贴紧侧壁进行切削,因此需回转和斗杆同时供油,一起动作,如图4a所示。回转和斗杆收缩同时动作,由同一泵供油,需采用回转优先油路,否则油流向压力低处,使得掘削时紧贴侧臂很困难。在斗杆油缸活塞杆端回油路上设置可变节流阀,此阀开口大小和节流程度由回转先导压力来控制,回转先导压力大、节流大,则斗油缸回油压力增高,使泵供油压力提高。因此随着回转操纵杆行程增大,回转马达油压增加、回转力增大。

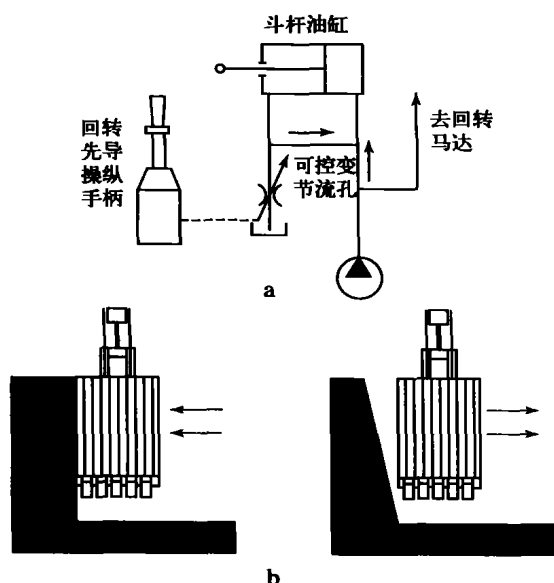


图4 沟槽侧壁掘削

挖掘过程中有可能碰到石块和树根等、往往挖不动而需短时增大掘起力时,希望液压系统暂时增压,提高主压力阀压力,增力把障碍物挖掉。

## 2.2 满斗举升回转

挖掘结束后,动臂缸将动臂顶起、满斗提升,同时回转液压马达使转台转向卸土处,此时主要是动臂和回转的复合动作。动臂举升和回转同时动作时,两者要求在速度上匹配,要求回转到指定卸载位置时,动臂和铲斗自动举升到正确的卸载高度。由于卸载所需回转角度不同,随挖掘机相对自卸车的位置而变,因此动臂举升速度和回转速度相对关

系应该是可调整的。卸载回转角度大,则要求回转速度快些,而动臂举升速度慢些。

回转起动时由于惯性较大,油压会升得很高,有可能从溢流阀溢出,此时应将溢流的油供给动臂,如图5a所示。在回转举升时除了动臂举升外,斗杆要同时外放,有时还需对铲斗进行调整,此时是回转、动臂、斗杆和铲斗进行复合动作。

由于满斗举升时动臂油缸压力高,导致变量泵流量减小,为使动臂举升和回转、斗杆外放相互配合,由一个泵专供动臂缸,另一泵除供回转和斗杆外,还有部分油供动臂,如图5b所示。但由于动臂举升油压较高,大部分时间单向阀是关闭的,左泵只供回转和斗杆。

三泵系统供油情况如图5c所示,各泵分别供给一液压动作元件,动作无干扰。回转运动一般所需流量较小,宜采用较小流量泵,若用大流量泵驱动,在启动和制动过程中转动惯量很大,功率损失较大。

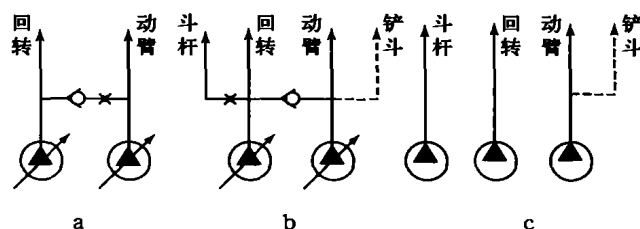


图5 回转举升供油

## 2.3 卸载

回转至卸土位置时,转台制动,用斗杆调节卸载半径和卸载高度,用铲斗缸卸载。为了调整卸载位置,还需动臂配合动作。卸载时,主要是斗杆和铲斗复合作用,间以动臂动作。

## 2.4 空斗返回

卸载结束,转台反向回转,同时动臂缸和斗杆缸相互配合动作,把空斗放到新的挖掘点。此工况是回转、动臂和斗杆复合动作。由于动臂下降有重力作用,压力低、变量泵流量大、下降快,要求回转速度快,因此该工况的供油情况是一个泵全部流量供回转,另一泵大部分油供动臂,少部分油经节流供斗杆,如图6所示。

发动机在低转速时油泵供油量小,为防止动臂因重力作用迅速下降、动臂油缸产生吸空现象,可采用动臂下降再生补油,利用重力将动臂缸无杆腔的油供至有杆腔。

## 2.5 行走时复合动作

在行走的过程有可能要求作业装置液压元件(回转、动臂、斗杆和铲斗)动作进行调整。在双泵系统,一泵供左行走、另一泵供右行走,此时如某一液压元件动作,使某一泵分流供油,就会造成一侧行走速度降低,影响直线行驶性,特别是当挖掘机进行装车运输或上下卡车行走时,行驶偏斜会造成事故。

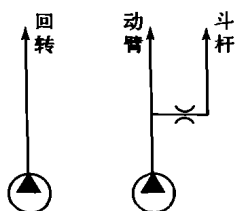


图6 空斗返回供油

为了保持直线行驶性,对三泵系统供油系统左右行走分别供油,另一泵供其它液压作用元件(动臂、斗杆、铲斗和回转),如图7a所示。对双泵系统目前采用以下方式:①一泵并联供左右行走,另一泵供液压作用元件,其多余的油通过单向阀向行走供油,如图7b所示;②双泵合流并联向左、右行走马达和作业装置液压作用元件同时供油,如图7c所示。

为了保持直线行驶性,对三泵系统供油系统左右行走分别供油,另一泵供其它液压作用元件(动臂、斗杆、铲斗和回转),如图7a所示。对双泵系统目前采用以下方式:①一泵并联供左右行走,另一泵供液压作用元件,其多余的油通过单向阀向行走供油,如图7b所示;②双泵合流并联向左、右行走马达和作业装置液压作用元件同时供油,如图7c所示。

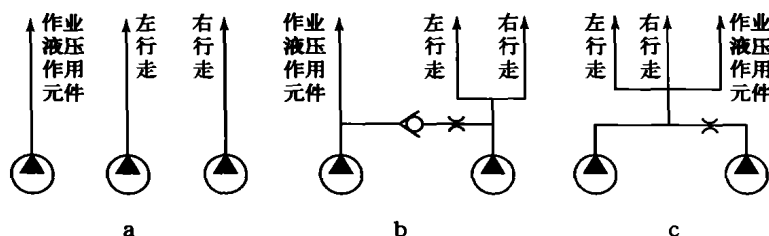


图7 行走复合动作

## 3 对液压系统的性能要求

液压挖掘机具有多种机构(行走、回转、动臂、斗杆和铲斗等)、多自由度,液压作用元件数量多,要求实现的动作很复杂,因此对液压系统提出很高的要求。为了实现这些要求液压系统必须采用各种措施,概括起来,主要包括以下几点。

1) 挖掘机操纵控制性能要求高,精细作业要求微动,高生产率要求快速动作,调速范围要求广,作业阻力变化大及各种不同作业工况要求功率变化范围大,因此各作用元件的调速性要好。

2) 挖掘机作业需各液压作用元件单独动作,但更多情况下要求各作用元件互相配合实现复合动作,而且动臂、斗杆、铲斗、回转和行走之间几乎都要复合动作,且复合动作范围广、形式复杂多样,同

时要求复合动作时有良好的复合操纵性能,能合理地分配共同动作时各液压作用元件的流量和功率。

3) 挖掘机作为生产设备,工作时间长、能量消耗大,要求液压系统效率高、降低能耗和排放,使总发热量小,液压油温不要太高,对各液压元件和管路都要求降低能耗,因此在液压系统中要充分考虑节能措施。

4) 提高挖掘机生产效率很重要,液压系统要考虑与发动机很好匹配,充分利用发动机全功率。

5) 挖掘机工作条件恶劣、载荷变化剧烈、冲击振动大,对各液压元件的可靠性和耐久性有很高的要求。

## 4 液压回路的基本类型

液压挖掘机液压系统的形式和种类很多,可以从不同的角度进行分类。从多路阀的形式可以分成中位开式系统和闭式负荷传感压力补偿系统两大类;从泵的形式来看有定量泵和变量泵;泵的控制方式也有多种,而且根据泵的数量不同还可分为单

泵、双泵、三泵和多泵等。

### 4.1 中位开式系统

该系统采用三位六通阀,其特点是有两条供油路,一条是直通供油路、另一条是并联供油路,如图8所示。这种油路调速方式是进油节流和旁路节流同时起作用,其调速特性受负荷压力和油泵流量的影响,因此这种阀系统操纵性能、调速性能和微调性能差。同时这种油路系统的液压作用元件一起复合动作时相互间有干扰,使得复合动作操纵非常困难,对液压挖掘机来说调速性能和复合动作操纵性很重要,这是中位形式系统的大缺点。

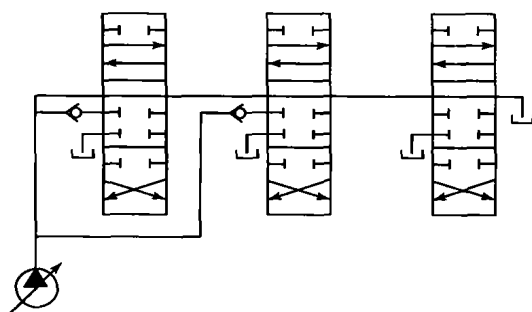


图8 开式油路

#### 4.2 闭式负荷传感压力补偿系统

闭式油路如图9所示,可以采用一个泵同时供给所有液压作用元件,每一个液压元件动作速度只和操纵阀的阀杆行程有关、与负荷和泵流量无关,多个液压元件同时动作时相互无干扰,因此操纵性好是闭式油路的主要特点。

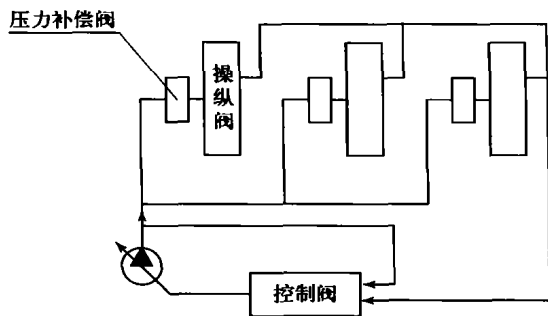


图9 闭式油路

有人认为压力补偿产生压差会使系统效率降低、能量损失大。根据日本小松在10t级和20t级两种挖掘机所作实际测试结果,作业效率以每小时土方量来表示:以开式油路为1,对闭式油路,10t级为1.04、20t级为1.13;燃料消耗量以每升燃料的土方量来表示:以开式油路为1,对闭式油路,10t级为1.02、20t级为1.09。结论是闭式回路的作业效率高、燃料消耗量低,因此日本小松把大量挖掘机从开式油路改为闭式油路。

开式和闭式油路的对比:开式油路主要问题是阀调速特性随负荷波动;多负荷同时工作互相干扰,液压元件最大速度不能任意设定。这些问题采用闭式油路后都可以解决,而且对各种附属装置适应性强,根据附属装置需要,可以通过调整补偿程度来实现完全补偿特性、接近开式油路特性和中间状态特性。闭式油路主要问题是动态性能差,目前已有改进措施。

#### 4.3 定量泵和变量泵

定量泵结构简单、制造方便,用于需要价格便宜的微型挖掘机。但定量泵角功率大(最大压力乘最大流量),要求发动机功率大,使发动机功率利用率低,影响生产率;同时定量泵不能按需变流量供油,功率损失大,油耗高、经济性差和排放不好,因此从挖掘机作业要求来说应该采用变量泵。

#### 4.4 油泵控制方式

节能控制方式有负流量控制、正流量控制和负荷敏感压力补偿控制三种,目前挖掘机都选用其中一种控制方式来实现节能要求。

与发动机匹配的控制方式有压力感应控制和转速感应控制,目前挖掘机一般都具有这两种控制方式。另外一般液压挖掘机还有工况控制、自动怠速控制、平稳操纵控制和自动掘削控制等。

(编辑 吴学松)

高学术水平高知名度的双高期刊 “首届国家期刊奖”获奖期刊  
中国建筑科学类核心期刊 国际建筑数据库(ICONDA)收录期刊

欢迎订阅《工业建筑》(月刊)

邮发代号:2-825 单价:6元/期 全年价:72元

《工业建筑》由中国钢铁工业协会主管、冶金部建筑研究总院主办、1964年创刊。多年来一直本着指导性、针对性、实用性、创新性的办刊宗旨,重点报道建筑设计、建筑结构、地基和基础、建筑材料、施工技术等方面的应用研究成果及开发技术,突出工业建筑、钢结构、鉴定加固技术等特点;优先报道国家级或者省部级自然科学基金资助项目和重大工程建设;内容丰富翔实,理论结合实际;适于土木工程界广大科研、设计、教学、施工等专业技术人员及大、中专学生阅读。

《工业建筑》为大16开本,彩色胶版印刷,每月20日出版,国内外公开发售。全国各地邮局均可订阅,也可直接汇款到本编辑部订阅。本刊兼营广告,收费合理,具有一定的规模,是展示企业形象的理想舞台。

本刊地址:北京海淀区西土城路33号 邮编:100088 E-mail: gyjz@public.sti.ac.cn

联系电话:(010) 82227239(兼传真) (010) 82227235(总编)/7236(发行)/7337(编辑)/7238(广告)