

工程机械液压系统设计计算

马永辉 徐宝富 刘绍华 编

机械工业出版社

工程机械液压系统设计计算

马永辉 徐宝富 刘绍华 编

机械工业出版社

工程机械液压系统设计计算

马永辉 徐宝富 刘绍华 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $15 \frac{1}{2}$ · 字数 381 千字

1985 年 3 月北京第一版 · 1985 年 3 月北京第一次印刷

印数 00,001—13,000 · 定价 2.50 元

*

统一书号: 15033 · 5787

目 录

绪论	1	第六章 车辆行走机构液压系统	121
第一章 起升机构液压回路	6	§ 6-1 概述	121
§ 1-1 概述	6	§ 6-2 行走机构液压系统的型式	126
§ 1-2 起升机构液压回路方案分析	8	§ 6-3 行走机构液压系统设计	142
§ 1-3 起升机构液压回路设计计算	23	第七章 液压转向机构	154
§ 1-4 制动器液压缸和脚踏泵设计	28	§ 7-1 概述	154
第二章 伸缩机构液压回路	32	§ 7-2 转向液压系统	156
§ 2-1 概述	32	§ 7-3 转向液压系统设计	175
§ 2-2 伸缩机构液压回路方案分析	34	§ 7-4 转向阀设计	194
§ 2-3 伸缩机构液压回路设计计算	50	§ 7-5 转向稳流阀设计	204
第三章 变幅机构液压回路	57	第八章 工程机械液压系统分析	208
§ 3-1 概述	57	§ 8-1 起重机液压系统	208
§ 3-2 变幅机构液压回路方案分析	59	§ 8-2 挖掘机液压系统	214
§ 3-3 变幅机构液压回路设计计算	64	§ 8-3 装载机液压系统	217
§ 3-4 平衡阀的设计	69	第九章 工程机械液压系统设计	225
第四章 回转机构液压回路	76	§ 9-1 概述	225
§ 4-1 概述	76	§ 9-2 工程机械主要技术参数的确定	225
§ 4-2 回转机构液压回路方案分析	80	§ 9-3 工程机械液压系统方案确定	231
§ 4-3 回转机构液压回路设计计算	85	§ 9-4 工程机械液压系统设计计算	237
§ 4-4 缓冲阀组的设计	91	§ 9-5 拟定液压系统工作原理图	239
第五章 支腿液压回路	96	§ 9-6 液压元件的选择及非标准液压元件 的设计	240
§ 5-1 概述	96	§ 9-7 液压系统的验算	241
§ 5-2 支腿液压回路方案分析	98	§ 9-8 绘制液压系统装配图和编写技术 文件	243
§ 5-3 支腿液压回路设计计算	109		
§ 5-4 液压锁设计	116		

绪 论

《工程机械液压系统设计计算》一书，主要以起重机、挖掘机和装载机三大机型液压系统为主来编写，并兼顾其他型式的工程机械。这三大机型不仅使用面广，而且其液压系统也较复杂，具有一定的代表性。了解和掌握三大机型的液压系统的设计和计算后，对其他型式工程机械的液压系统设计，就不会发生困难。

一、三大机型概况

（一）工程起重机概况

工程起重机是各种工程建设中广泛应用的重要起重设备。它有轮胎式，汽车式，履带式多种。广泛应用于工业建筑、民用建筑和工业设备安装等工程中的结构和设备安装，以及建筑材料和构件的垂直运输与装卸工作。它也广泛应用于交通、农业、油田、水电和军工部门的装卸和安装工作。

由于液压传动具有体积小、重量轻、结构紧凑、能无级调速、操纵简便、运转平稳等优点。因此，近年来国内外各种类型的工程起重机广泛采用液压传动。我国目前已研制成功的有3、5、8、12、16、32、40、65 t级的伸缩臂式液压起重机。国外液压起重机在品种和产量方面都有较大的发展，特别是大起重量液压起重机发展非常迅速。目前国外已有200 t级的液压汽车式起重机。中小起重量的起重机已普遍采用液压传动。

轮胎式和汽车式液压起重机主要由起升、变幅、伸缩、回转、支腿和行走机构组成。除行走机构外，均采用液压传动。起升机构由液压马达通过减速装置驱动卷筒旋转，继而通过钢绳、吊钩起吊重物。变幅机构是由液压缸驱动工作臂升降，以达到改变幅度的目的。伸缩机构由液压缸或由液压缸和机械组合使两节（或多节）工作臂相对伸缩，以改变工作臂的长度。回转机构是由液压马达通过减速装置，使小齿轮和大齿圈啮合传动，以使上车相对下车回转。支腿是液压缸将起重机顶起，以便使起重机安全、稳定工作。

汽车式起重机是安装在通用或专用载重汽车底盘上的起重机。图1表示汽车式伸缩臂液压起重机外观图。由于它是利用汽车底盘，所以具有汽车的行驶通过性能，机动灵活，行驶速度快，可快速转移。由于汽车底盘通常由专业厂生产，因而在现成的汽车底盘上改装起重机比较容易和经济。但也有弱点，主要是起重机总体布置受汽车底盘限制，一般车身较长，转弯半径大，并且只能在起重机左右两侧和后方作业。

轮胎式起重机是将起重机作业部分安装在专门设计的自行轮胎底盘上的起重机。由于它不利用汽车底盘，因而起重机设计不受汽车底盘的限制，一般轮距较宽，稳定性好，轴距小，车身短，转弯半径小，适用于狭窄的作业场地，轮胎式起重机可前后左右四面作业，在平坦的地面可不用支腿吊重物以及吊重慢速行驶。但其行驶速度较汽车式起重机慢。

（二）挖掘机概况

各种类型的挖掘机械广泛应用于民用，交通运输、水利工程、矿山采掘以及现代军事工

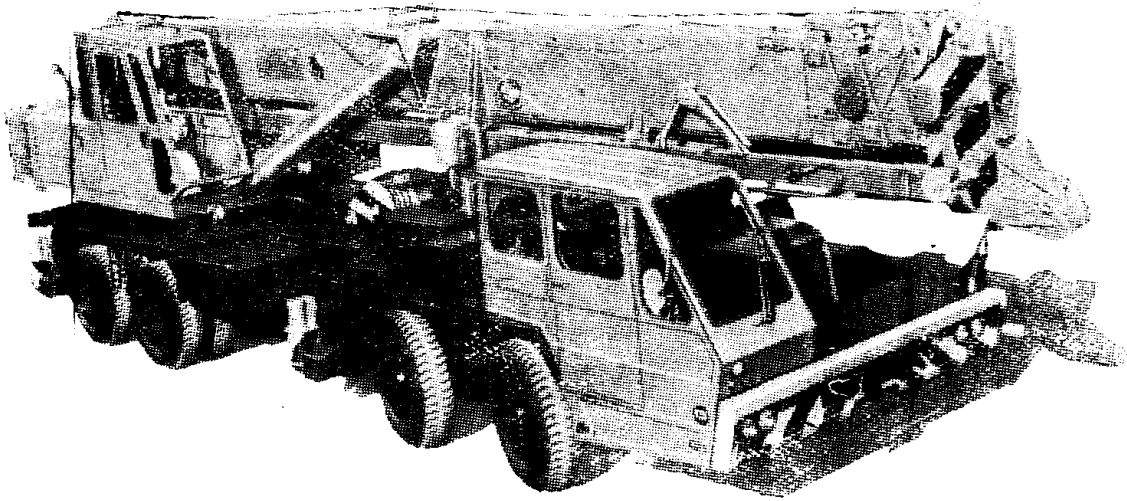


图1 汽车式伸缩臂液压起重机

程的机械化施工。据统计，施工中约有60%的土方量是由挖掘机来完成的。

挖掘机按作业循环不同，可分单斗和多斗两种。按行走机构不同，又可分为履带式、轮胎式、汽车式和步行式等多种。按传动形式不同，又可分机械式和液压式两种。

随着液压技术的发展，使用液压传动的液压挖掘机60年代即开始蓬勃发展，60年代末世界各国的液压传动挖掘机总产量与挖掘机总产量之比，平均已达80%以上。国外已研制了 $17.5\sim 30\text{m}^3$ 的液压挖掘机。我国已研制成功 0.1 、 0.2 、 0.4 、 0.6 、 1 、 1.6 、 2.5m^3 的单斗液压挖掘机。

单斗液压挖掘机主要由工作装置（包括动臂、斗杆和铲斗）、回转和行走机构组成。工作装置由三个液压缸分别驱动动臂、斗杆和铲斗的运动。回转机构由一个液压马达通过减速装置，使小齿轮和大齿圈啮合传动，以便使上车和下车相对转动。对履带式液压挖掘机，其行走机构是通过两个液压马达来驱动的，无支腿装置，如图2所示。对汽车式和轮胎式单斗液压挖掘机，其行走机构一般为机械传动。但为工作需要，还设置液压支腿，

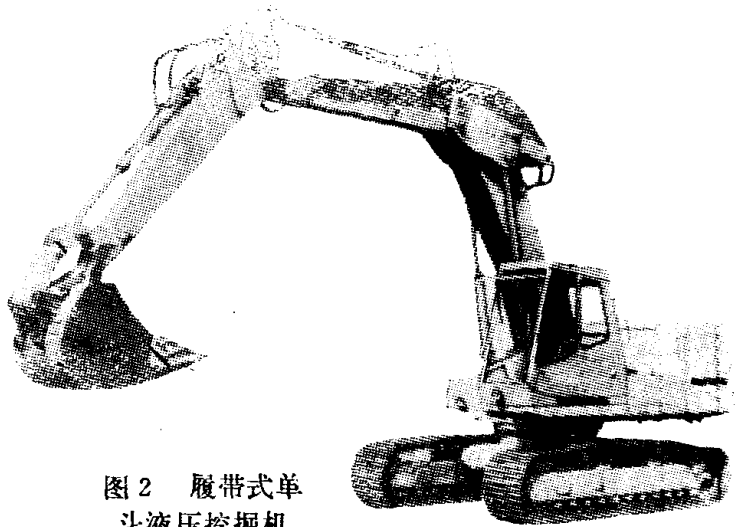


图2 履带式单斗液压挖掘机

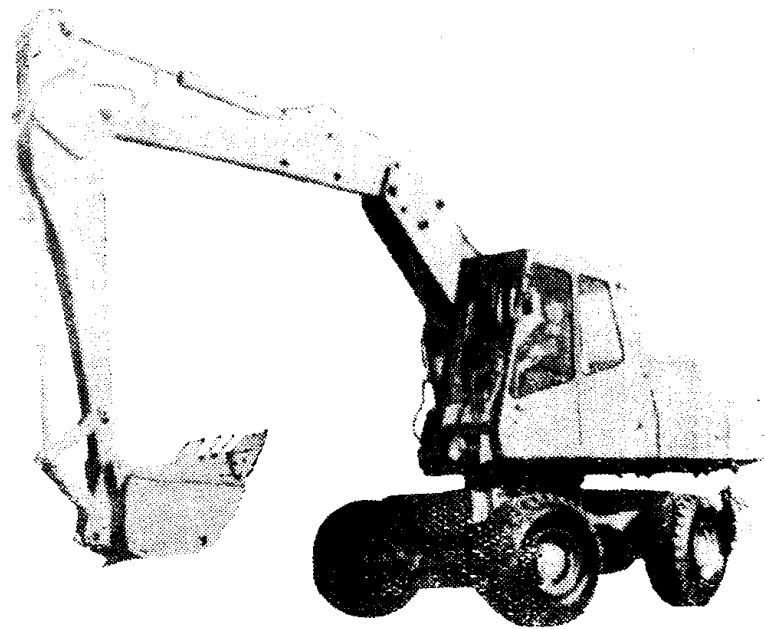


图3 轮胎式单斗液压挖掘机

如图 3 所示。

(三) 装载机概况

装载机是一种作业效率高，机动灵活，用途广泛的工程机械，它不仅对松散的堆积物料可进行装、运、卸作业，还可对岩石、硬土进行轻度铲掘工作，并能用来清理、刮平场地及牵引作业。如果换装相应的工作装置后，还可以完成推土、挖土、松土、起重以及装载棒料等工作。因此，它被广泛用于建筑、矿山、道路、水电和国防建设等国民经济各个部门，对加速工程进度，保证工程质量，解放繁重体力劳动，降低工程成本具有重要作用。得到很迅速发展，成为工程机械的主要机种之一。

装载机根据行走机构不同可分为轮胎式(图 4)和履带式两种。现代轮式装载机一般由车架、动力传动系统、行走机构、工作装置、转向系统、液压系统和操纵系统组成。发动机的动力经变矩器传给变速箱，再由变速箱把动力经传动轴分别传到前、后桥以驱动车轮转动。发动机动力还经过分动箱驱动液压泵工作。工作装置是由动臂、铲斗、杠杆系统、动臂液压缸和转斗液压缸等组成。动臂一端铰接在车架上，另一端安装了铲斗，动臂的升降由动臂液压缸来推动。铲斗的翻转则由转斗液压缸通过杠杆系统来实现。车架由前后两部分组成，中间用铰销连接，依靠转向液压缸使前后车架绕铰销相对转动，以实现转向。

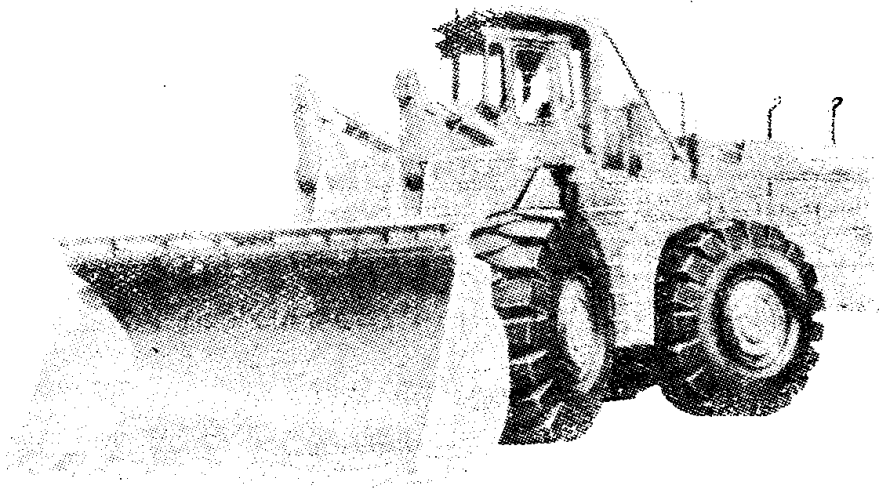


图 4 轮式装载机

装载机按铲斗的额定载重量可分为：小型 (<1t)、轻型 (1~3t)、中型 (4~8t)、重型 (>10t)。轻、中型轮式装载机主要用于工程施工和装卸作业，它要求机动性好，能适应多种作业要求。因而一般常配有可更换的多种作业装置。重型轮式装载机主要用于矿山、采石场作铲掘、装卸作业。由于作业条件恶劣，要求装载机具有更高的结构强度和可靠性。小型装载机小巧灵活，配上多种工作装置，主要用于城市、农村的多种作业。

装载机的型号标记：为了贯彻“三化”（标准化、通用化、系列化），便于管理和组织专业化生产，也便于供销和维修，装载机应有统一的型号标记方法，型号标记应该比较明确、直观地表示装载机的主要性能。

根据机械工业部规定：装载机标记第一个字母 Z 表示装载机，第二个字母 L 表示行走装置是轮胎式，随后标出装载机的额定载重量 (t)，如 ZL50 即表示 ZL 系列轮式装载机，其额定载重量为 5t。

我国已成批生产的 ZL 系列轮式装载机有：ZL10、ZL15、ZL20、ZL30、ZL40、ZL50、

ZL90。

装载机的发展趋势：由于轮胎耐磨性能有了显著改善，轮胎式装载机得到很大发展，并有继续增加的趋势。为了适应近代大工程需要和提高工效，近年来出现了轮式装载机大型化的倾向，装载机的斗容和功率越来越大。目前最大的轮式装载机斗容 18m^3 ，功率1270马力。由于装载机的机动性和通用性好，以及城市环境维护等小型工程的增多，也正向小型化发展，最小的轮式装载机斗容 0.11m^3 ，功率只有12马力，称此为“两极化”。

目前小型轮式装载机行走机构除机械传动外，尚有液压驱动形式以及工作装置的液压化，称为全液压装载机。现今全液压轮式装载机的产量在小型装载机中占有很大的比重。

二、单位制和使用公式

以前，我国通常使用单位制为工程制，现要逐步向国际单位制过渡。本书使用是国际单位制，为阅读方便，把常用单位（工程制）和国际单位作简要说明，并导出国际单位的液压传动常用公式。

1. 长度单位用 m 。
2. 时间单位用 s 。
3. 质量单位用 kg 。
4. 力的单位用 N 。

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = 10^{-3} \text{ kN}$$

5. 压力单位用 Pa 。

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2 = 10^{-6} \text{ MPa}$$

$$1 \text{ kg}/\text{cm}^2 \approx 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa}$$

6. 转速单位用 rad/s 。

$$1 \text{ r}/\text{min} = \frac{2\pi}{60} \text{ rad}/\text{s} \approx 0.1 \text{ rad}/\text{s}$$

7. 速度的单位用 m/s 。

$$1 \text{ m}/\text{min} = \frac{1}{60} \text{ m}/\text{s} \approx 0.0167 \text{ m}/\text{s}$$

8. 流量单位用 m^3/s 。

$$1 \text{ l}/\text{min} = \frac{10^{-3}}{60} \text{ m}^3/\text{s} \approx 1.667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 6 \times 10^4 \text{ l}/\text{min}$$

或

9. 排量单位用 m^3/rad 。

$$1 \text{ cm}^3/\text{r} = \frac{10^{-6}}{2\pi} \text{ m}^3/\text{rad} = 1.59 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{rad}$$

或

$$1 \text{ m}^3/\text{rad} = 6.28 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{r}$$

10. 扭矩公式

$$M = pq \text{ N} \cdot \text{m}$$

式中 p —— 供油压力 (Pa);

q —— 泵或马达排量 m^3/rad 。

$$1 \text{ kg} \cdot \text{m} = 10 \text{ N} \cdot \text{m}$$

11. 功率公式

$$N = pQ \quad \text{W}$$

式中 p —— 压力 Pa;
 Q —— 流量 m^3/s 。

12. 节流公式 (薄壁小孔)

$$Q = Cf \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

式中 C —— 流量系数;
 f —— 节流口过流面积 m^2 ;
 ρ —— 密度 kg/m^3 ;
 Δp —— 节流口前后压差 Pa。

若 $\rho = 900 \text{ kg}/\text{m}^3$ 代入上式, 则通过节流口流量 Q 为:

$$Q = 4.7 \times 10^{-2} Cf \sqrt{\Delta p} \quad \text{m}^3/\text{s}$$

13. 液动力公式

$$F_y = \rho Qv \quad \text{N}$$

或

$$F_y = 2Cf\Delta p \quad \text{N}$$

式中 ρ —— 流体密度 kg/m^3 ;
 Q —— 流量 m^3/s ;
 v —— 流速 m/s ;
 C —— 流量系数;
 f —— 节流口过流面积 m^2 ;
 Δp —— 通过节流口压差 Pa。

第一章 起升机构液压回路

§ 1-1 概 述

一、起升机构在工程机械中的地位和作用

工程起重机械，为了完成垂直运输任务，必须设置起升机构。它是工程起重机械的主要机构，在工程起重机械中具有重要的地位。起升机构性能的优劣，直接影响工程起重机械的工作性能。

起升机构的作用是实现重物的升降运动，控制重物的升降速度，并可使重物停止在空中某一位置，以便进行装卸和安装作业。

二、起升机构的传动方式及其特点

起升机构的传动方式有机械传动、电力传动、液压传动等型式。由于液压传动具有出力大、体积小、重量轻、结构简单、传动平稳、操纵省力、易实现无级变速和自动控制等优点，液压传动的起升机构获得越来越广泛地应用。

液压传动的起升机构通常由液压马达、平衡阀、减速器、卷筒、制动器、离合器、滑轮组和吊钩等组成。如图1-1所示。

液压传动的起升机构可分为下列几种型式。

(一) 按传动部件的类型分：

由于选用的液压马达型式不同，液压起升机构可分为高速液压马达传动和低速大扭矩马达传动两种型式。

高速液压马达传动需要通过减速器带动起升卷筒。减速器可采用批量生产的标准减速器，通常有圆柱齿轮式，蜗轮蜗杆式和行星齿轮式减速器。这种传动型式的特点是液压马达本身重量轻、体积小，容积效率高，生产成本较低。但整个液压起升机构重量较重，体积较大。

低速大扭矩马达传动可直接或通过一级开式圆柱齿轮带动起升卷筒。虽然低速马达本身体积和重量较大，但不用减速器，使整个液压起升机构重量减轻，体积减小。并使传动简单、零件少，起动性能和制动性能好，对液压油的污染敏感性小。壳转的内曲线径向柱塞式低速大扭矩马达，可以装在卷筒内部，由马达壳体直接带动卷筒转动，结构简单紧凑，便于

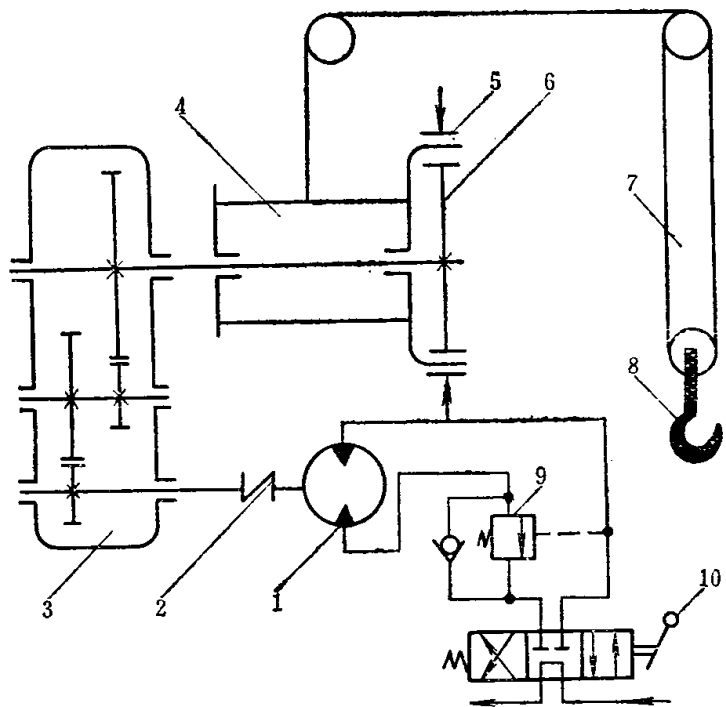


图1-1 液压传动的起升机构

- | | | | | |
|--------|-------|-----------|------|--------|
| 1—液压马达 | 2—联轴器 | 3—减速器 | 4—卷筒 | 5—制 |
| 动器 | 6—离合器 | 7—钢丝绳及滑轮组 | 8—吊钩 | 9—平 |
| | | | | 衡阀 |
| | | | | 10—换向阀 |

布置。

(二) 按结构特点分:

按结构特点可分为单卷筒式, 双卷筒单轴式和双卷筒双轴式三种型式。

1. 单卷筒起升机构

对于小型起重机, 只设置主起升机构, 不需设置副起升机构, 一般都采用这种型式。这是最基本的型式, 只有一个卷筒装在传动轴上, 结构简单, 其液压回路也比较简单, 液压马达与制动器协同工作由液压系统本身保证, 不需要控制油路。如图 1-2 所示。

对于中、大型起重机, 为了提高生产率, 扩大使用范围或进行辅助工作, 需要设置主、副起升机构。

如果采用两个液压马达, 分别驱动主、副起升机构, 组成两个独立的单卷筒起升机构。但要用两个液压马达和两个减速器, 结构复杂, 上车布置也比较困难。

如果采用一个液压马达驱动主、副起升机构, 则必须采用双卷筒单轴式或双卷筒双轴式。

2. 双卷筒单轴式起升机构

图 1-3 所示为双卷筒单轴式起升机构。

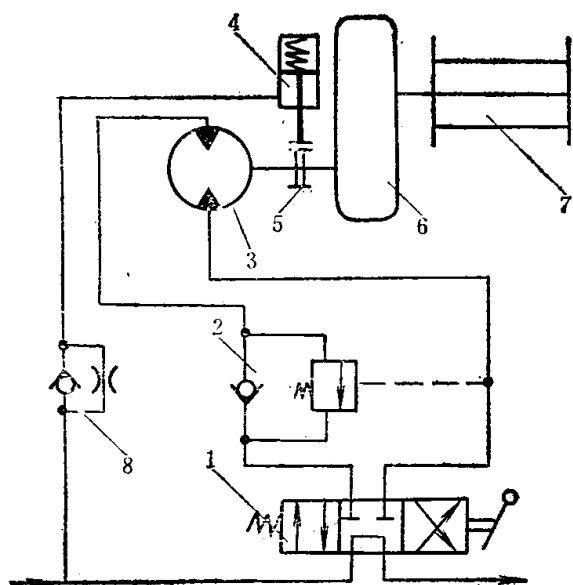


图1-2 单卷筒起升机构

1—换向阀 2—平衡阀 3—液压马达 4—制动器
器液压缸 5—制动器 6—减速器 7—卷筒
8—单向节流阀

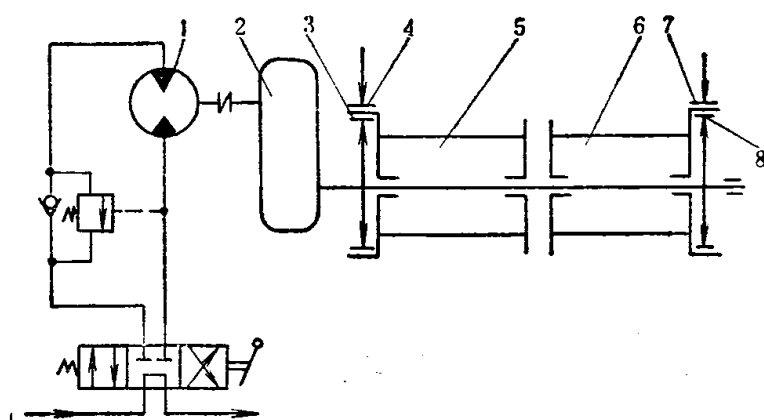


图1-3 双卷筒单轴式起升机构

1—液压马达 2—减速器 3—主卷扬离合器 4—主卷
扬制动器 5—主卷筒 6—副卷筒 7—副卷扬制动器
8—副卷扬离合器

这种型式, 其主起升卷筒和副起升卷筒装在同一根轴上, 由一个液压马达通过减速器集中传动。在主、副卷筒上分别装有各自的制动器和离合器, 以便保证各自独立地工作和实现重力下降。

这种型式结构紧凑, 有利于整个机构的布置, 但每个卷筒的长度受到限制, 影响卷筒的钢丝绳容量。

3. 双卷筒双轴式起升机构

双卷筒双轴式起升机构如图 1-4 所示。主、副起升卷筒分别装在三根平行配置的轴上, 由一个液压马达通过减速器集中传动, 在主、副卷筒上分别装有各自的制动器和离合器, 保证主、副起升卷筒的独立动作和实现重力下降。其液压回路可以和双卷筒单轴式完全相同。

只是离合器和制动器都装在卷筒的外侧，使安装、调整和维护比较方便。

由于两个卷筒平行配置，卷筒长度不受限制，可以增加卷筒的钢丝绳容量。同时起升钢丝绳引出的偏移较小，不易出现乱绕现象。

三、主机对起升液压回路的要求

起升机构是起重机的主要机构，为了保证起重机的工作性能，起升液压回路必须满足起重机主要工作性能的要求。起重机对起升液压回路的要求是：

1. 起升液压回路中的液压马达必须具有足够的输出力矩，以便克服起升阻力矩，满足最大起重量的要求。特别是液压马达必须具有良好的起动性能，因为起动阶段，液压马达不仅克服静阻力矩，还要克服惯性阻力矩。

2. 起升液压马达必须具有足够的输出转数，以便满足起升速度的要求。

3. 起升液压回路必须具有良好的调速性能。要求调速范围大，平稳可靠，操纵方便，微调性能好。

4. 必须设置限速油路，防止重物超速下降，一般用平衡阀起限速作用。

当制动器失灵或液压管路破裂时，平衡阀又能起液压锁作用，防止重物突然下降事故。

5. 一般都设置重力下降装置。因为起升高度较大时，为了提高空钩或轻载时的下降速度，在重力作用下，以接近自由落体的速度下降。

有的起重机不设置重力下降装置，而采用快速动力下降，提高空钩或轻载时的下降速度，这样可以使控制油路比较简单。

6. 必须设置制动器液压缸和离合器液压缸的控制油路。通过控制来保证主、副起升机构能够独立地工作或者同时进行工作。

7. 起升液压回路必须设置卸荷油路。当起升机构不工作时，使液压泵处于卸荷状态（对其他机构回路也具有这样的要求）。

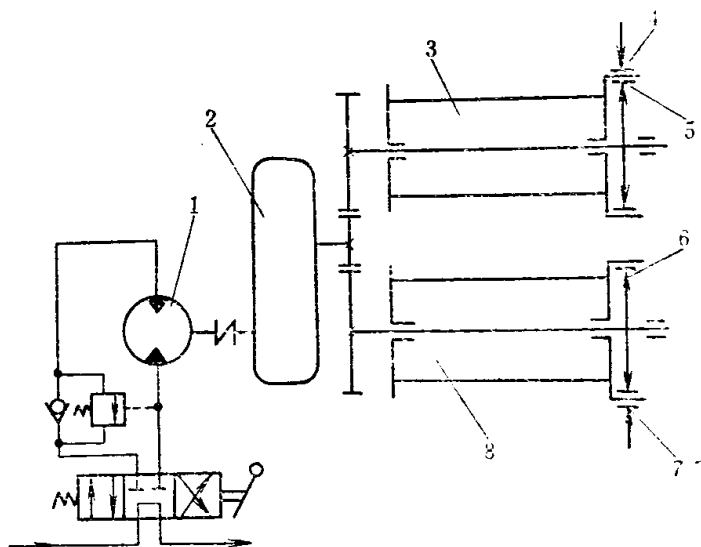


图1-4 双卷筒双轴式起升机构

1—液压马达 2—减速器 3—主卷筒 4—主卷筒制动器
5—主卷筒离合器 6—副卷筒离合器 7—副卷筒制动器
8—副卷筒

§ 1-2 起升机构液压回路方案分析

在工程起重机械中，起升机构液压回路具有各种各样的方案，每种方案都具有自己的特点。下面对一些主要方案进行分析。

一、主起升机构的液压回路

对于只设置主起升机构的起重机，其起升机构液压回路，一般称为主起升机构液压回路。对于设置主、副起升机构的起重机，如果采用两个马达分别驱动主、副起升机构，则也分别采用两个这样独立的回路。如图1-5所示。

当重物起升时，换向阀处于位置①，液压泵来的压力油进入液压马达。同时，压力油进

入制动器液压缸，松开制动器，液压马达驱动卷筒带动重物上升。当换向阀处于位置①时，是重物下降工况。

当换向阀处于中位时，液压泵卸荷，液压马达停止工作。此时制动器液压缸油路通油箱、制动器在弹簧力作用下制动。

在制动器液压缸油路中装有单向节流阀 5。单向节流阀有两种装法，图中的装法是使制动器液压缸进油时起阻尼作用。当液压马达转动提升重物时，液压泵来油通过节流阀进入制动器液压缸，保证液压马达具有一定扭矩后，制动器才打开，避免重物在空中起升时产生滑降现象。但由于制动器滞后打开，制动器磨损比较严重。当液压马达停止工作时，制动器液压缸油经单向阀回油，制动器在弹簧力作用下迅速制动，从而防止重物带动液压马达反转，保证安全。

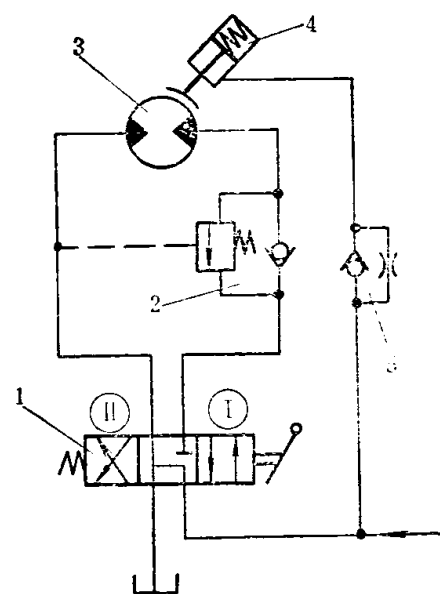


图1-5 主起升机构液压回路原理图

1—手动换向阀 2—平衡阀 3—
液压马达 4—制动器液压缸 5—
单向节流阀

另一种装法是单向节流阀使制动器液压缸回油时起阻尼作用，只要将图中所示的单向阀换成相反方向即可。这种安装方法，制动器打开迅速，对减少制动器磨损有利，但制动滞后，容易产生溜车现象。

在制动器液压缸油路中也可以不安装单向节流阀，这样在制动器打开和制动时都比较迅速，在实际使用中也是安全可靠的。

平衡阀必须装在重物下降时的回油路上，当重物下降时，平衡阀起限速作用，防止重物超速下降，避免发生事故。当制动器失灵或液压管路破裂时，平衡阀又起液压锁作用，液压马达不会在重物的作用下产生反转，防止发生重物突然下降事故。所以，这种平衡阀又称限速液压锁。

当起重机液压系统用串联油路时，换向阀的滑阀机能只能用M型、K型和H型。同时，换向阀处于中位时，可使液压泵卸荷。对于K型和H型又可以对液压马达进行补油，起升液压回路不必另设置补油油路。但起升液压回路必须放在串联油路的最末端。避免平衡阀在其他机构回路工作时开锁

制动器液压缸与主油路的连接有三种型式：

1. 制动器液压缸为单作用缸，与起升马达进油路连接，如图1-5所示。

如果采用这种型式，起升回路必须放在串联油路的最末端，即其回油路直接通油箱。如果放在其他机构回路的前面，当起升机构停止工作时，而其他机构工作，制动器仍被打开，容易发生事故。这是在设计起重机液压系统时必须注意的问题。

2. 制动器液压缸为双作用缸（一般用双出杆液压缸），分别与起升马达进、出油路连接，如图1-6所示。

这种型式使起升回路与其他机构回路串联时，可以任意布置，不受位置的限制。只有起升机构工作时，制动器才被打开。起升机构不工作，而其他机构工作时，制动器不会被打开。

因为制动器液压缸的a腔与起升马达进油路A相通，b腔与起升马达回油路B相通。当

后面的工作机构工作时， A 、 B 点均为压力油，所以制动器不会被打开。只有起升机构工作时， A 点为压力油， B 点为回油，此时制动器才能被打开。

如果起升机构与后面某一机构在轻载工况下同时工作时， A 点和 B 点虽都是压力油，但 $p_A > p_B$ ，而压力差 $p_A - p_B$ ，就是起升机构液压马达所需的工作压力，这时制动器仍然被打开。

3. 制动器液压缸为单作用缸，通过交替逆止阀（又称梭阀）与起升马达的两条管路相连。如图1-7所示。

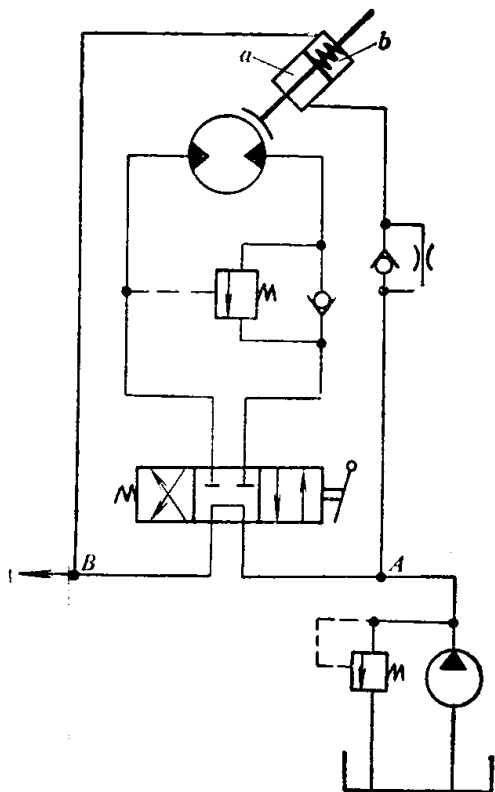


图1-6 制动器液压缸为双作用缸的主起升液压回路

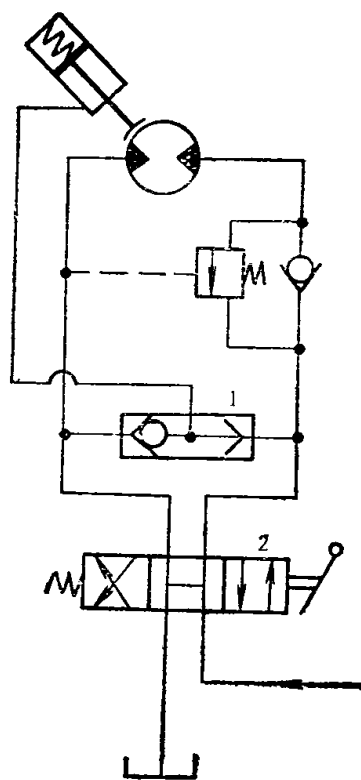


图1-7 制动器液压缸用梭阀连接的起升液压回路

1—交替逆止阀 2—换向阀

当起升机构工作时，无论重物是起升或是下降，制动器液压缸通过梭阀1均进入压力油，使制动器打开。而起升马达不工作时，制动器液压缸与油箱相通，制动器在弹簧力作用下处于制动状态。

因此，这种回路的换向阀必须采用H型，以便保证换向阀处于中位时，制动器液压缸与回油路相通，确保制动器处于制动状态。否则，制动器液压缸不能回油，会使制动器失灵。这种起升回路在串联油路中必须放在最末端。

二、设置重力下降装置的主起升机构液压回路

图1-8是设置重力下降装置的主起升液压回路。在该起升机构中，卷筒与传动轴之间是用内涨式常闭离合器连接。当重力下降时，离合器液压缸进入压力油，推动活塞，压缩弹簧，使离合器与卷筒脱开联系，同时，制动器液压缸也进入压力油，使制动器打开，便可进行重力下降。

这种起升液压回路，必须设置分流控制阀，才能进行重力下降。

分流控制阀的作用是当重力下降时，靠它使主油路建立起一定的压力来控制离合器液压缸和制动器液压缸，并且保持压力恒定。

分流控制阀的工作原理如图1-8所示。

分流控制阀由阀体1，阀芯2，弹簧3，针阀4，弹簧5等组成。

分流控制阀的油口I与起升换向阀回油路相接，油口II与离合器液压缸及重力下降操纵阀相接，油口III接通油箱。

当起升机构进行动力起升和下降时，重力下降操纵阀6于位置①处，起升操纵阀的回油经分流控制阀油口I，c腔，进入f腔，使阀芯2向左运动，使c腔和e腔相通，大部分油液经油口III流回到油箱，另一部分油液经阻尼孔a，油口II，经重力下降操纵阀流回油箱。此时，油口II与离合器液压缸相通，但因为回油，不是压力油，不能使常闭式离合器打开。

当重力下降时，重力下降操纵阀于位置②处，使油口II通油箱的回油路关闭，油口II与离合器液压缸相通的油路压力升高，同时油液经过阻尼孔b进入到d腔，使d腔压力升高并推动阀芯2向右移动，使e腔和c腔间过流面积减小，油压继续升高，直到将针阀4打开为止。使主油路建立起一定压力，打开常闭式的离合器和制动器。并使进入到离合器液压缸和制动器液压缸的油压保持恒定，使重物处于重力下降工况。一般针阀4的压力调定值为5~7MPa。适当调整分流控制阀的压力调定值，还可以使离合器和制动器的动作谐调。

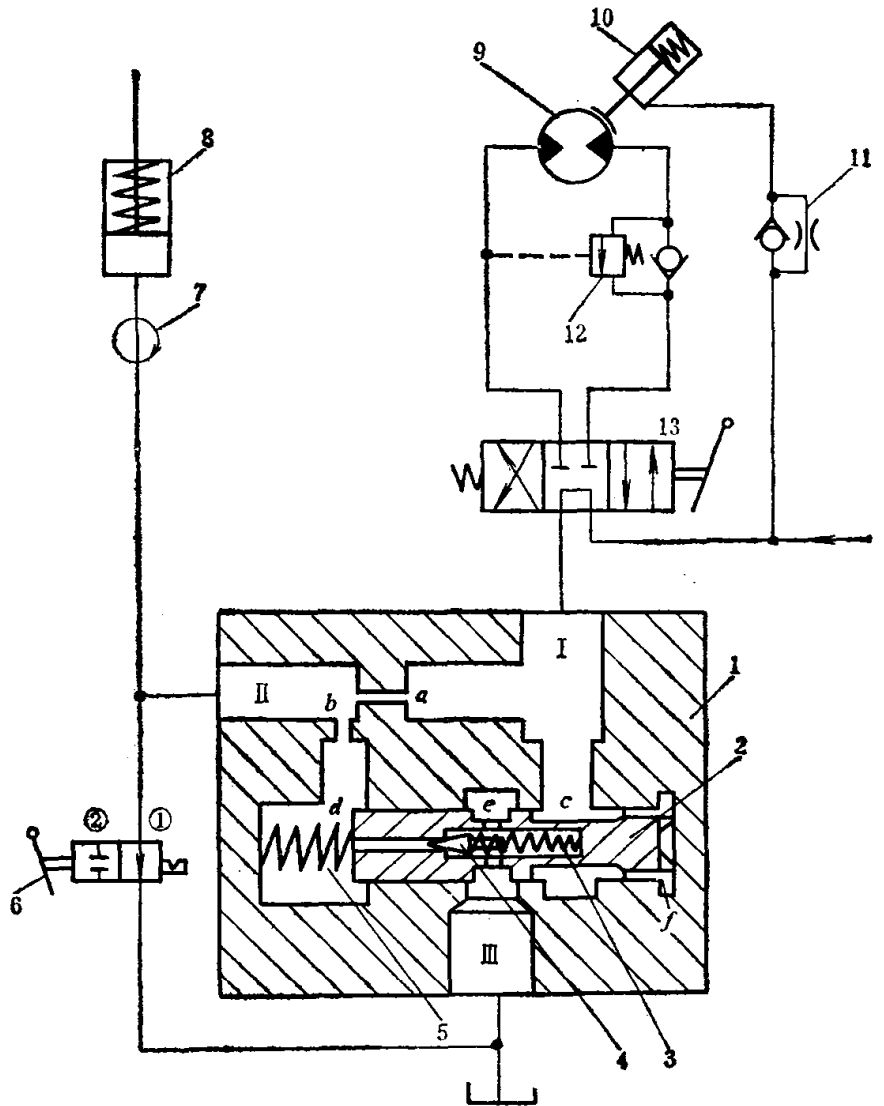


图1-8 有重力下降装置的主起升液压回路

1—分流控制阀阀体 2—阀芯 3—弹簧 4—针阀 5—弹簧 6—重力下降操纵阀 7—离合器液压缸回转接头 8—离合器液压缸 9—液压马达 10—制动器液压缸 11—单向节流阀 12—平衡阀 13—换向阀

三、两个液压马达分别驱动的主、副起升液压回路

对中、大型起重机，一般都设置主、副起升机构。如果采用两个液压马达分别驱动，则主、副起升液压回路可以是独立的，但考虑重力下降和合流供油等问题，两者又有联系。

图1-9是某起重机采用两个液压马达分别驱动的主、副起升液压回路图。

该起重机为双泵双回路系统。泵①(Q_1)向主卷扬液压马达和变幅液压缸供油，泵②(Q_2)向副卷扬液压马达，伸缩液压缸，回转液压马达及支腿液压缸供油。因此，主、副起升机构为分别独立的液压回路。其基本工作原理与前面分析的主起升液压回路是一样的。

下面我们着重分析一下重力下降和双泵合流问题。

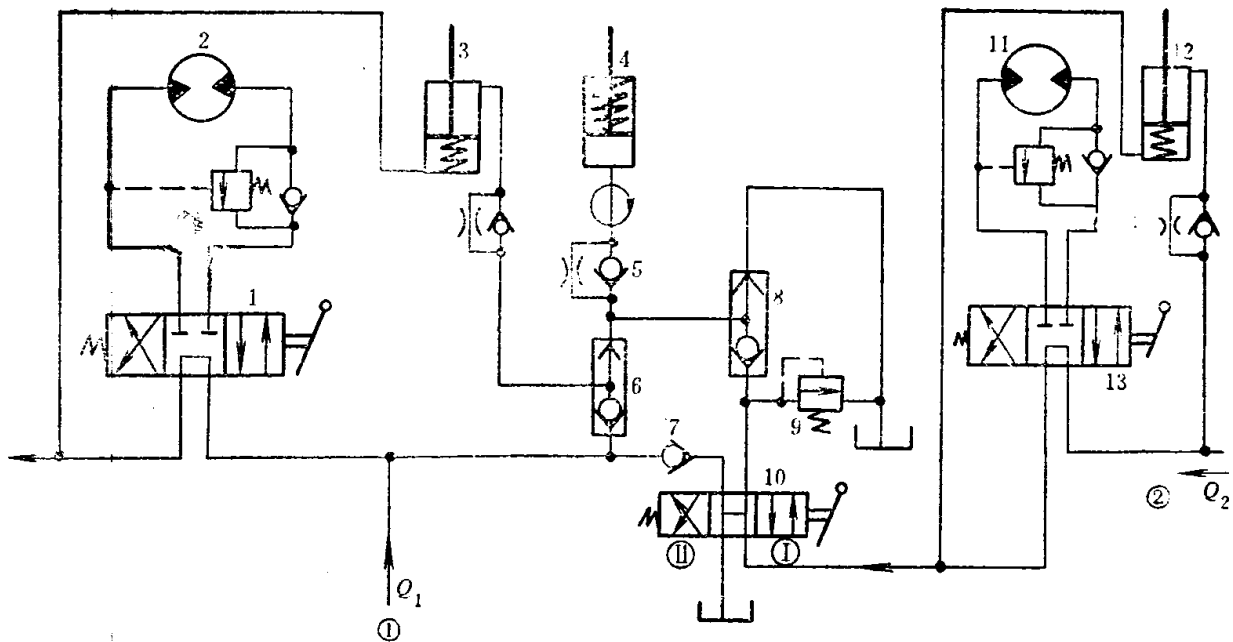


图1-9 两个液压马达分别驱动的主、副起升液压回路图

1—主卷扬操纵阀 2—主卷扬液压马达 3—主卷扬制动器液压缸 4—主卷扬离合器液压缸 5—单向节流阀
6—交替逆止阀 7—单向阀 8—交替逆止阀 9—溢流阀 10—离合器操纵与合流换向阀 11—副卷扬液压
马达 12—副卷扬制动器液压缸 13—副卷扬操纵阀

该起重机只设置主卷扬重力下降油路，其制动器和离合器均为常闭式。主卷扬卷筒与传动轴之间用一内涨式常闭离合器联系起来，离合器与传动轴固定连接。副卷扬不设置重力下降装置，所以，不设置离合器，副卷扬卷筒直接与传动轴固定连接。

当主卷扬进行动力起升和下降时，操纵主卷扬操纵阀，液压泵①来油 Q_1 进入主卷扬液压马达2，同时，泵①来油经交替逆止阀6进入主卷扬制动器液压缸，打开制动器，使重物进行动力起升或下降。

当处于重力下降工况时，操纵离合器阀10于位置①处，泵②来油(Q_2)经交替逆止阀8进入离合器液压缸，同时，经交替逆止阀6进入制动器液压缸3，在泵②压力油的作用下，离合器和制动器均被打开，重物在重力作用下进行重力下降。当需要停止时，操纵阀10处于中位，交替逆止阀又回到图示位置，制动器液压缸油路经交替逆止阀6与回油路相通，制动器在弹簧力作用下进行制动，离合器液压缸油路经交替逆止阀8与回油路相通，离合器在弹簧力作用下进行接合。

溢流阀9的作用是保证制动器和离合器控制油路所需压力，一般调定压力为6~7MPa，不致使制动器和离合器控制油路压力过高。

该重力下降油路的特点是由泵②油路控制，不是由泵①的主油路来控制离合器，因而不需要设置分流控制阀。另一个特点是没有设置蓄能器，使油路简单，降低成本，并且是采用常闭式离合器，能够保证安全可靠。

为了提高起重机的起升速度，可以双泵合流供油。当操纵阀10处于位置①时，液压泵②来油与泵①合流。其合流方式为阀内合流，即泵②与泵①合流后再经过操纵阀1进入主卷扬液压马达2。

选择或设计主卷扬操纵阀1时，必须根据泵①和泵②的合流流量 $Q = Q_1 + Q_2$ ，来选型或设计，所以操纵阀1的结构尺寸较大。如果根据泵①流量 Q_1 进行选型或设计，则合流时阀内

阻力损失大，发热严重，这是不合理的。

四、单液压马达驱动的主、副起升液压回路

图1-10为某起重机采用的单液压马达驱动的主、副起升液压回路图。

该起重机采用双泵双回路系统。泵①向起升油路供油，泵②向回转、变幅、伸缩及支腿油路供油，泵②亦可向泵①系统合流供油。

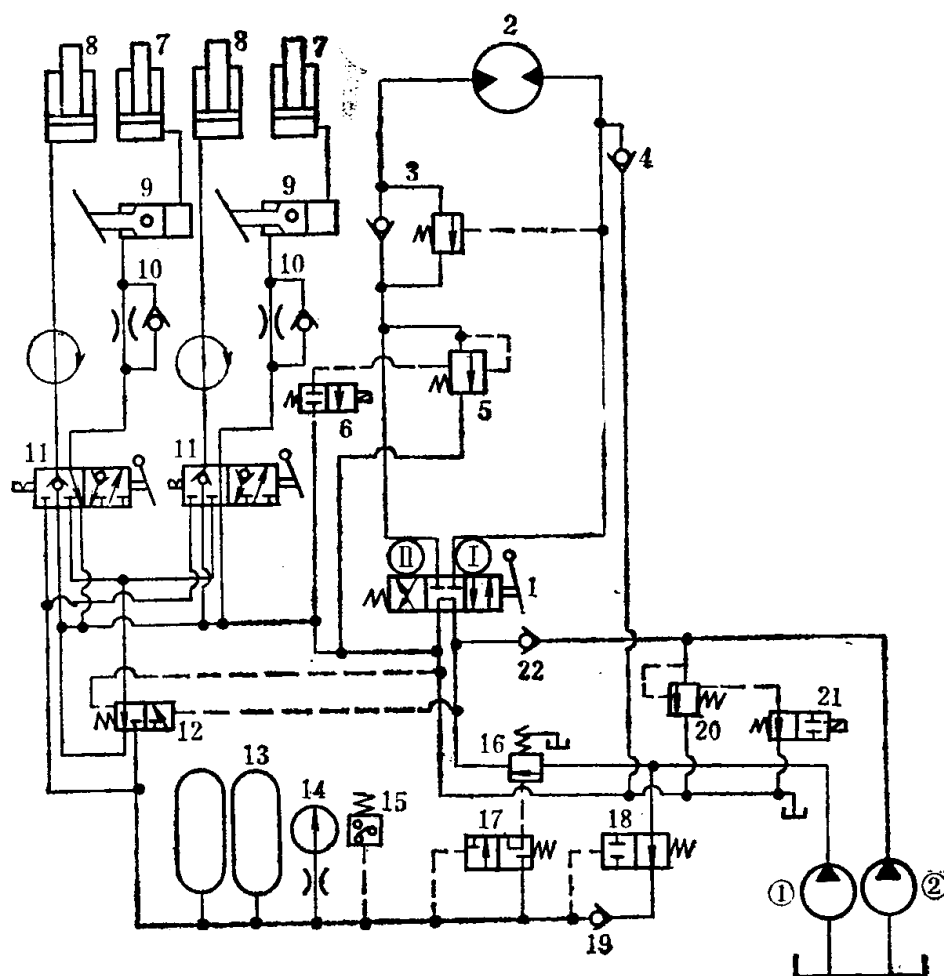


图1-10 单液压马达驱动的主、副起升回路

1—起升操纵阀 2—起升液压马达 3—平衡阀 4—单向补油阀 5—远控溢流阀 6—电磁阀 7—制动器液压缸
8—离合器液压缸 9—脚踏泵 10—单向节流阀 11—制动器和离合器操纵阀 12—液控阀 13—蓄能器 14—
压力表 15—压力继电器 16—远控顺序阀 17—液控阀 18—液控阀 19—单向阀 20—溢流阀 21—电磁阀
22—单向阀

起升机构包括主、副卷扬两套装置，由一个液压马达通过机械减速器驱动。主、副卷筒支承在同一根传动轴上，但并不和传动轴固定连接，而是通过两套常开式离合器分别与传动轴联系起来。两卷筒上各有一套常闭式离合器。当打开制动器，合上离合器时，液压马达才能带动卷筒转动。若同时松开制动器和离合器，卷筒便可在支承轴上自由转动，进行重力下降。

关于起升液压回路的工作原理，前面已经讲过了，下面我们着重分析一下制动器和离合器的控制油路。

两套制动器和两套离合器分别控制主、副卷筒，在起升液压马达的驱动下，可使主、副卷扬分别工作，也可以使它们同时工作。制动器是常闭式，靠弹簧力制动，当制动器液压缸进入压力油时，制动器松开。离合器是常开式的，当离合器液压缸进入压力油时，离合器才