



液压支架液压传动的 计算与设计



[苏]Ю.Ф.波诺马连科 等著·董玉文 等译·煤炭工业出版社

液压支架液压传动的 计算与设计

〔苏〕Ю.Ф.波诺马连科 等著

林延中 陈长年 祁寿坝 吴国华 译
冯德恩 邢志信 董玉文

董玉文 校

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书概述和分析了液压支架的液压系统和液压元件的结构,提出了对该系统及其元件的基本要求,推荐了以水型乳化液为工作介质的液压泵、液压缸、安全阀、液控单向阀、操纵阀、液压管路,以及带压移架用的主动增压和被动增压系统的计算和设计方法;指出了支架液压系统参数的确定和计算方法,说明了支架液压系统及液压元件试验室和矿井试验用的试验台及试验方法;论述了支架液压系统优化设计原理和支架控制系统的自动化原理。

本书可供煤炭工业及其他工业部门从事液压传动的设计、制造、试验和使用的工程技术人员参考。

责任编辑:殷永龄

Ю.Ф. Пономаренко, А.А. Баландин, Н.Т. Богатырев и др.;

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

ГИДРОПРИВОДОВ

МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

Машиностроение, М., 1981

液压支架液压传动的

计 算 与 设 计

〔苏〕 Ю.Ф.波诺马连科 等著

林延中 陈长年 祁寿坝 吴国华 译
冯德恩 邢志信 董玉文

董玉文 校

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本850×1168¹/₃₂; 印张11

字数290千字 印数1—5,360

1985年10月第1版 1985年10月第1次印刷

书号15035-2742 定价2.45元

本书各章由下列同志翻译：

第一章

林延中

第二、四、八、十章

陈长年

第三章

祁寿坝

第五章

冯德恩

第六章（包括第十章第六节）

邢志信

第七、十一章

董玉文

第九章

吴国华

全书由董玉文同志审校。

目 录

| | |
|----------------------------|-----|
| 第一章 液压支架的液压系统 | 1 |
| 第一节 液压支架概述 | 1 |
| 第二节 液压传动的一般特性 | 4 |
| 第三节 液压传动的工作程序 | 7 |
| 第四节 液压支架液压系统的装置 | 8 |
| 第五节 液压传动的优化原理 | 12 |
| 第六节 液压支架液压系统结构的优化 | 21 |
| 第二章 泵站 | 37 |
| 第一节 高压泵的结构 | 37 |
| 第二节 泵的流量调节 | 42 |
| 第三节 泵的基本计算 | 49 |
| 第四节 泵站的液压系统及设备 | 59 |
| 第三章 动力液压缸 | 74 |
| 第一节 液压立柱 | 74 |
| 第二节 液压千斤顶 | 82 |
| 第三节 辅助液压缸 | 86 |
| 第四节 液压缸的密封件 | 89 |
| 第五节 液压缸的计算 | 94 |
| 第四章 立柱的阀组 | 103 |
| 第一节 安全阀 | 103 |
| 第二节 液控单向阀 | 121 |
| 第三节 立柱的阀组 | 131 |
| 第五章 液压操纵阀 | 136 |
| 第一节 概述 | 136 |
| 第二节 操纵阀的结构 | 138 |
| 第三节 平面操纵阀的工作特点 | 147 |
| 第四节 具有平面工作副的操纵阀的计算 | 155 |
| 第五节 具有阀式工作副的操纵阀的计算 | 160 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 第六章 液压管路 | 164 |
| 第一节 概述 | 164 |
| 第二节 刚性液压管路 | 167 |
| 第三节 高压软管 | 176 |
| 第四节 高压软管接头 | 183 |
| 第七章 带压移架用的增压系统 | 191 |
| 第一节 概述 | 191 |
| 第二节 支架的被动和主动增压系统 | 194 |
| 第三节 增压系统的计算与设计 | 202 |
| 第八章 工作液 | 215 |
| 第九章 液压系统的计算 | 222 |
| 第一节 液压损失的计算 | 222 |
| 第二节 支架支护速度的计算 | 231 |
| 第十章 液压系统及元件的试验 | 255 |
| 第一节 概述 | 255 |
| 第二节 试验计划的编制及试验室试验数据的处理 | 256 |
| 第三节 液压元件的流量特性 | 262 |
| 第四节 泵的试验 | 267 |
| 第五节 安全阀的试验 | 273 |
| 第六节 高压软管的试验 | 280 |
| 第七节 液压缸的试验 | 290 |
| 第八节 液压传动的矿井试验 | 295 |
| 第十一章 液压支架控制的自动化 | 316 |
| 第一节 概述 | 316 |
| 第二节 远距离邻架控制系统 | 320 |
| 第三节 支架的成组控制和自动控制系统 | 326 |
| 参考文献 | 343 |

第一章 液压支架的液压系统

第一节 液压支架概述

回采工作面用的液压支架是复杂的采煤机械，是综采设备的组成部分，在采区的范围内，用来支护和保护工作面，并随着煤层的开采在煤层内进行自移等。液压支架可在工作空间狭窄、空气含有煤尘以及淋水的条件下使用。由于支架与围岩的相互作用以及采煤机、工作面输送机和其它设备的作业影响而使液压支架在不同的方向承受很大的载荷。对于这些采煤机械设备来说，液压支架既是支护设备，又是推移机具。液压支架在结构上的主要特点是：它是由一种节型或两种节型（较少）组成的成套支架，而且每套支架的长度很大（100至250米）。液压支架沿工作面长度布置，相互间无刚性连接，因此，支架间可能产生相当大的相对位移。布置在成套液压支架端部的支架称作端头支架，其余的则称为工作面支架。

在一种称之为组合式的液压支架里，各节支架利用可伸缩移动的连接部件同基准件（基础）接在一起。在另一种称之为成组式的液压支架里，各节支架也是利用可伸缩的连接部件按一定的方式连接成支架组。每一组支架通常由两节支架或三节支架组成。由各支架组组成的液压支架称为成组式液压支架。

组合式支架的构造如图1.1所示。

当支架处于原始位置时，支撑在顶板9和底板10之间。支撑力是由一根或者几根立柱8产生的，该力经过顶梁6传递到顶板上，经过底座12传递到底板上。此时，立柱的活塞腔由立柱阀组5的液控单向阀7加以闭锁，活塞腔内形成压缩工作液的封闭腔，其压力由安全阀11加以控制。当支架处在原始位置时，液压

千斤顶 13 的内腔经过操纵阀 4 的孔道和管路 15 同回液管路 2 相连接。

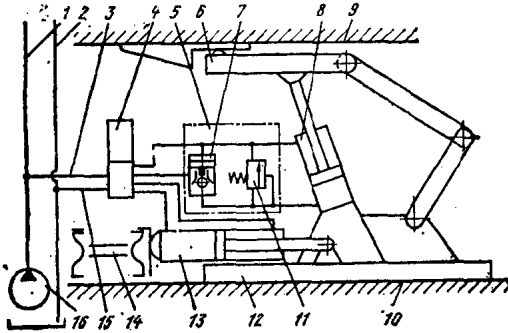


图 1.1 液压支架的液压系统

当立柱的液控单向阀卸载及其压力降低到移架的数值时，即开始移架。这时，液体从泵 16 沿支架的供液管路 1，经过操纵阀、管路 3 和支架管路进入立柱的活塞杆腔，并作用于液控单向阀的顶杆，而活塞腔中的工作液则经过打开的液控单向阀、支架的管路、操纵阀的孔道和回液管路流回液箱。随后，推移千斤顶 13 的一个腔（如图 1.1 所示，该腔为活塞杆腔）与供液管路连通，把支架拉向输送机 14。移架后，使支架重新支撑在顶底板之间，为此，立柱活塞腔与泵相连通，而它的活塞杆腔则与回液管路相通。

最后一道工序即推溜工序完成后，支架在新的位置上又处于原始工作位置。在这道工序中，工作液从供液管路流向液压千斤顶的另一腔（见图 1.1，流向活塞腔），此时，输送机在支撑的立柱和输送机溜槽之间所产生的力的作用下向前推移。

图 1.1 所示是支架液压系统的典型部件。用来使支架动作的液压缸可分为主液压缸（液压立柱和液压千斤顶）和辅助液压缸。辅助液压缸包括小液压缸和用来平衡支架构件、控制支架在煤层内的位置及在前梁上形成作用力的其它各类液压缸。

根据支架结构系统的不同，每节支架可装有 1~7 根立柱、

1~2根推移液压千斤顶及5根辅助液压缸。

每节支架中立柱液压阀组的数量也可能不同。一柱、二柱、有时甚至三柱式支架，只利用单个立柱阀组来控制每个立柱的工作。具有多立柱的支架可以采用一个立柱阀组来控制一组立柱。在这种情况下，立柱的活塞腔形成共同的封闭系统(连通器方式)，该系统的压力用一个安全阀加以控制。这样的系统不仅保证载荷能在立柱之间均匀的分布，而且也简化了操作过程。通常，由强力支架的一排立柱的活塞腔(沿工作面的一排)或者由该支架的一组立柱的活塞腔连通成一个共同的封闭系统。

目前，应用最广泛的 M87ДH 型支撑式液压支架如图 1.2 所示。该支架的主要部件包括：顶梁 1，立柱 2，底座 5，推移千斤顶 6，液压元件 3，挡矸板 4。

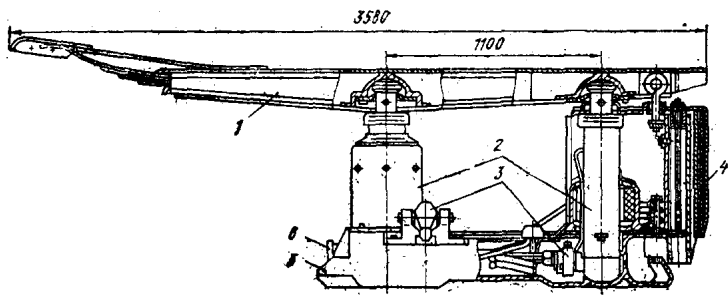


图 1.2 M87ДH型液压支架

支架的结构，除了这些主要部件之外，还可能包括护板、伸缩前梁、支撑梁、滑板、小型液压缸。支架的顶梁同立柱一起，在工作面内起支撑顶板和防止冒落矸石砸伤工作人员的作用。伸缩前梁、护板和其它部件是组合式顶梁的组成部分，其作用相同。下部的底座是支架的支座。底座上装有推移千斤顶及液压传动部件。支撑梁、滑板、小液压缸用来调架和控制支架在煤层平面上的位置。

第二节 液压传动的一般特性

液压支架的液压传动包括一个或者几个容积式泵、往复作用式液压缸、液压管路、操纵阀、安全阀及控制阀等。该传动系统用于完成支撑顶板、移架及推溜等主要操作工序，也用于完成控制支架的辅助工序。

液压支架的液压系统是液压支架液压传动的组成部分和结构，其中包括连接支架的管路、泵站及中心操纵台的所有支架的液压系统。

单架的液压系统是装设在单节液压支架上的部分液压系统，其中包括用液压管路按一定系统连接起来的液压缸（液压立柱、液压千斤顶和辅助液压缸）、操纵阀和立柱液压阀组。

增压系统是包括液压管路、阀和操纵阀（有时包括专用的液压缸）的部分液压系统，在移架过程中，借助于该系统可使顶梁与顶板之间产生并保持一定的接触作用力。

液压稳压系统是用于使支架保持在给定的空间位置的部分液压系统。

泵站是用于将电机的机械能转变为工作液的势能和动能的机组。泵站是由液箱、电动机、一台或几台泵、检测装置、调节装置、控制装置及辅助设备组成。

液压操纵阀用于改变两个或者较多液压管路中的工作液流动的方向。液压支架操纵阀按照用途可分为动力操纵阀、先导操纵阀、管路操纵阀和支架操纵阀。动力操纵阀用于控制液压传动中工作液流的方向；先导操纵阀用于传递液压脉冲信号，对动力操纵阀或者其它指令性装置进行切换；管路操纵阀安置在一个巷道内或安置在端头支架上，用于使支架管路同泵站的供液管路和回液管路相连接；结构上与其它液压元件（安全阀、单向阀和其它阀，压力表，继电器等）相连接的装置，称作中心液压控制台；支架操纵阀装设在支架上。支架动力操纵阀用于使支架液压缸的工作腔与液压支架的管路相连接。按照用于切换的作用形式，液

压操纵阀可分为手动、机械、液压和电气控制等类型。

液压立柱系指液压支架的液压缸，用于形成一定的作用力以阻止顶板下沉。有单作用和双作用的立柱，也有单伸缩和多伸缩的立柱。单作用的立柱，其活塞在工作液的作用下，向一个方向运动；双作用的液压立柱，其活塞在工作液的作用下，向两个方向运动。单伸缩立柱的伸缩量等于液压缸的行程。双伸缩或多伸缩立柱是由两个或者几个组装在一起的液压缸组成的，其伸缩量等于各液压缸行程之和。

立柱液压阀组由立柱安全阀、液控单向阀和压力指示器等元件组成的一个组件。

液压千斤顶是用于移动液压支架部件的液压缸。液压千斤顶有单作用和双作用的（参看液压立柱部分）。行程很小的小千斤顶是该千斤顶的变型。小液压千斤顶用于支架稳定、调架以及前梁升降等系统。

管路是用于使所有支架的液压系统与泵站连接的液压管路。

软管是一种柔性管件，它具有密封性和弹性的内橡胶层，该橡胶层可用纤维增强层和金属编织式或缠绕式增强层进行加固。由分段软管和管接头构成的制品也称作软管。

软管接头是用于连接软管与液压装置的部件，它由芯子和连接部分组成，芯子的作用是确保接头同软管的连接具有可靠的强度和密封性，而连接部分的作用是确保接头同液压装置或液压缸之间实现定位和密封。

多芯软管是由安装在一个套管内的多芯软管及管接头组成的部件，它用于传递若干个先导脉冲信号。

初撑力是以泵站额定压力向立柱工作腔供液时立柱所产生的作用力。

本架控制是指操作人员直接在被移动的支架上进行控制。

远距离控制是指从邻架或支架外部的控制台进行控制。

工作液是用于驱动液压缸运动的工作介质。对于液压支架的液压传动来说，必须使用不可燃的工作液：水型乳化液、水型聚

合物或无水合成液体。水型乳化液应用最广，它是由两种互不相溶解的液体组成的离散系统：其中一种液体作为离散相分布在另一种液体即离散介质中。水可以作为离散相（油包水型乳化液），水也可以作为离散介质（水包油型乳化液）。

对于液压支架的传动装置，提出以下基本要求：采用结构比较简单、外形尺寸小的设备来远距离地传递大的能量；承受大的载荷；没有复杂的传动机构；在有爆炸危险和含尘的空气里保证工作安全；动作迅速；操作、调节简单；过载及损坏保护简单。

容积式液压传动可最大限度地满足这些要求，因此，所有液压支架均采用这种液压传动。

液压支架的液压传动，与其它机械的容积式液压传动有很大的区别，其特点如下：

工作液的压力高（管路内的压力达20~40兆帕，立柱内的压力达30~70兆帕），流量大（35~140升/分）；

在液压系统中，采用低粘度和大容量的液体作为工作介质（达600公斤）；

液压缸、操纵阀、其它调节和控制装置等总的数量大（高压泵1~6台、液压缸300~1500个，安全阀150~300个，还有同样数量的液控单向阀）；

很长的液压管路（200~300米刚性管，500~3000米高压软管）；

泵——液压缸传动系统的换算弹性模数较低；

根据支架的长度改变液流的参数；

所有支架在结构上都有着相同的液压缸、液压装置以及它们之间都有相同的连接方式（相同的液压系统）；

每节支架都重复着相同的工序，这些工序的总和即是液压支架的基本工序；

为了保证系统具有较高的容积效率，实现无故障作业及工作人员的安全，液压系统的元件和部件的密封性和可靠性是特别重要的。

这些基本特性决定了液压传动元件以及整个系统在系统和结构上的特点。

液压支架是以单节支架为单元的，这就决定了液压系统的这样构成，即工作面支架和端头支架的液压系统成为液压支架的基本组成部分。此外，可以把泵站、中心控制台和支架的液压管路等部分作为支架的公用液压系统。其中每个部分都有其独立的功能，在改善液压传动或者制定新的方案时，一般都可以单独地加以研究。

第三节 液压传动的工作程序

所有液压支架的功能基本上是相同的，支架操作工序的组成一般与它的结构型式无多大关系。因此，所有液压支架的液压传动系统都用于完成相同的操作工序，而液压支架的工作循环与其液压传动的工作循环是吻合的。在这种情况下，由于支架结构特点的影响，虽然支架的工序不多，但是每节支架都要重复地进行这些工序，因而导致控制系统的复杂化。支架液压系统的工作循环系指支架立柱和液压千斤顶工作联合运动而形成的规定的程序。每一个循环都从初始的状态开始，在该状态下，支架的立柱承受载荷，其活塞腔处于封闭状态，活塞腔内的压力与外力（顶板作用力）和液压安全阀的特性有关。在初始状态下，通常支架的控制装置处在中立位置，这时由供液管路至支架管路系统可以是开路的，也可以是闭路的，与泵站是否运转无关。

支架从原始状态开始进行推移工序，其程序如下：首先移架、然后推溜，或者按相反程序进行。这些工序可部分地或全部地同时进行。工序同时进行的可能性是由整套设备的结构、矿山条件和工作面作业所采用的工艺方式决定的。

在液压支架中，由推移液压千斤顶所完成的功能是不相同的。在组合式液压支架中，液压千斤顶既用于推移支架，又用于推溜；在成组式液压支架中，液压千斤顶仅用于移架，或者仅用于推溜。

根据推移液压千斤顶功能的这些特点，支架的液压系统可分为两类：成组式液压支架的液压系统和液压千斤顶仅用于移架的某种组合式液压支架的液压系统属于第一类；所有其它的液压支架，主要是组合式液压支架的液压系统属于第二类。

卸载、推移和支撑，是液压支架的主要操作工序。此外，许多支架还可完成一些辅助工序。这些辅助工序可与其中一种主要工序同时进行，或者单独进行。

辅助工序包括下列几种：支架沿工作面长度方向彼此相对移动；支架及其部件在空间里保持规定的位置；前梁产生作用力；前梁伸缩及升降等。

除了主要的和辅助工序之外，还可完成与装配、检修或者处理工作面事故有关的辅助工序。在这种情况下，必须利用装在支架上的液压装置。这些辅助工序包括：把输送机推离工作面，切断支架与供液管路的联系等。

第四节 液压支架液压系统的装置

液压支架传动装置的液压系统图是支架的主要技术文件，利用该系统图可以确定支架液压系统中液压设备的名目，控制液压传动的工作以及规定工序完成的程序。利用液压系统图还可以确定液压传动各部件之间的相互联系、液压支架传动的功能、支架液压传动部件的数量、型式和相互联系。单独装置的液压系统（泵站、单节支架、控制阀组等等）决定着部分系统的相互作用。

利用支架液压系统图来研究液压支架液压传动的工作是比较方便的。

M87ДН型支架的液压系统图如图 1.3 所示。每节 M87ДН 型支架由下列液压传动部件组成：两个单伸缩或双伸缩的立柱 5，推移千斤顶 3，两个立柱液压阀组 4，带断流阀 2 的液压操纵阀 1，稳定系统的液压缸 6。沿三条液压管路向支架供液并从支架回液，其中有一条管路（管路Ⅲ）仅用于稳定系统。

操纵阀 1 装设在支架上，利用手动方法进行切换，工作液经

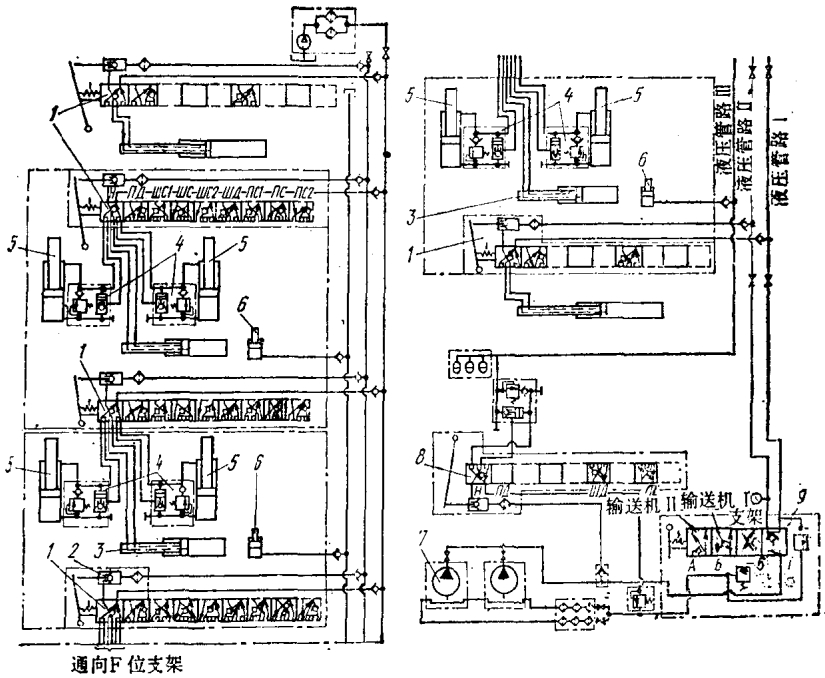


图 1.3 M87DH型支架液压系统图

该阀的通道和高压软管进入邻架的立柱和液压千斤顶，然后再从立柱和千斤顶返回。每节支架的工作系统与上述第二类液压系统相符合。上述系统的特点正如M87~M88型支架的全部液压系统一样，操纵阀中具有单独的位置用于控制两个立柱的同时支撑和卸载，或控制每个立柱的单独支撑和卸载。此外，操纵阀还有两个用以控制移架的位置。

当滑阀转到III C位置时，顶梁下降。这时工作液经过立柱阀组4同时进入前立柱和后立柱5的活塞杆腔，而立柱活塞腔的液体则经过立柱阀组4的液控单向阀排出至回液管路1。为了使前立柱卸载，操纵阀1的滑阀处在III C1的位置，而为了使后立柱卸载，操纵阀1的滑阀处在III C2位置。

当操纵阀的滑阀处在III D位置时，工作液流向液压千斤顶3

的活塞杆腔，在立柱卸载的情况下进行移架。当滑阀处在 ΠC 位置时，支架进行支撑，为此，液体经过立柱液压阀组的单向阀流向两个立柱的活塞腔，而立柱活塞杆腔内的液体则排出至回液管路。当滑阀处在 ΠC_1 和 ΠC_2 位置时，前立柱和后立柱分别进行支撑。

为了按波形方式推溜或者需要推移输送机的个别部位时，使操纵阀处在 ΠD 位置，工作液流向千斤顶 3 的活塞腔，而千斤顶活塞杆腔里的液体排出至回液管路 1。

在支架的液压系统中，液流的各种分配方式是根据当顶板处于破坏、悬岩和不平时，能够灵活地控制支架以及使支架适用于各种工作条件为前提而规定的。为了同样的目地，在上述的液压系统中，还规定了液压系统应能实现波形或整体式推溜的要求。

当上述支架处于初始位置时，循环开始时液压千斤顶伸长，因此，支架的操作工序首先由移架开始。

M87DH 型支架液压系统的主要特点是：采煤机通过之后，立即进行移架；在采煤机单向工作的情况下，可按整体方式进行推溜，在采煤机穿梭式工作的情况下，可分段地进行推溜；可远距离控制支架；具有稳定系统，防止支架移动时发生侧向倾倒。以下介绍液压传动的工作程序。

工作液从高压泵 7 进入控制台 9。控制台有四个位置： Γ ——中立位置；B——支架；B——运输机 I；A——运输机 II。在控制台处在 B 位置（支架）的情况下，液体进入液压管路 II，随后流向支架的液压操纵阀 I。这时，液压管路 I 通过压力为 0.3~1.0 兆帕的增压阀及过滤器组与泵站的油箱连通。当操纵阀 8 的滑阀处在 III D 位置时，工作液经过液压管路 III 流向支架稳定系统的液压缸 6。

液压支架控制程序如上所述。

由控制台 9 远距离控制实现整体推溜，液压操纵阀 I、8 应处于中立位置。控制台 9 的滑阀处在 B 位置（输送机 I）时，高压工作液进入液压管路 I，并经过液压操纵阀 1 同时流入液压千

千斤顶 3 的整个活塞腔，进行推溜。液体从千斤顶活塞杆腔经过液
压操纵阀 1 的单向阀进入液压管路 II。

控制台处在位置 A 时（输送机 II），高压工作液沿着液压管
路 I 和 II 同时流进液压千斤顶的活塞腔和活塞杆腔，这时接通液
压千斤顶 3 的差动系统，实现整体推溜。

“顿巴斯”型支架的液压系统如图 1.4 所示。六根立柱分成
两组进行控制。第一组包括两根前立柱 11，第二组包括四根立柱
7。每组立柱的支撑和卸载可单独进行。此外，该系统所有立柱
可同时进行支撑。每一对立柱都装有一个液压阀组，该阀组包括
液控单向阀 10 和安全阀 8。

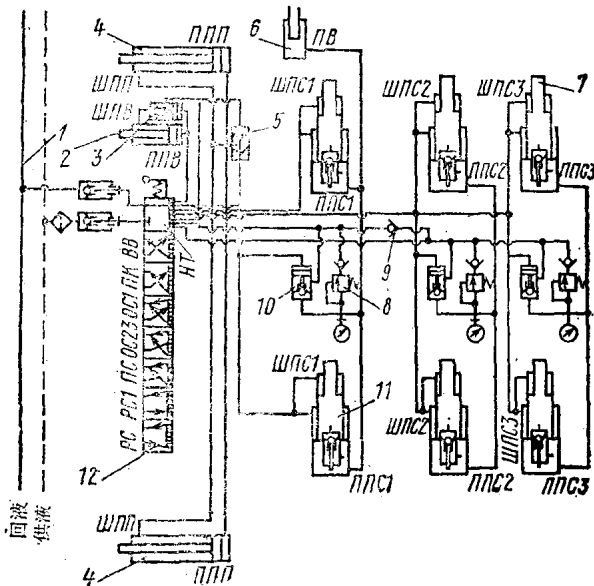


图 1.4 “顿巴斯”型支架液压系统图

ПНС 1...ПНС 3—立柱的活塞腔；ШНС 1...ШНС 3—立柱的活塞杆腔；
ППП, ППВ—支架和前梁推移千斤顶的活塞腔；ШПП, ШПВ—支架和
前梁推移千斤顶的活塞杆腔；ПВ—液压缸的工作腔；HT—中立位置；
ПК—推溜；OC1和OC23—前立柱和后立柱卸载；PC—移架；PC1和PC—
前立柱和全部立柱支撑