

采煤工作面

液压支架设计

丁绍南 编著



世界图书出版公司

77255
77516

采煤工作面液压支架设计

丁绍南 编著

李贵轩 审订

世界图书出版公司

内 容 提 要

本书包括薄煤层、中厚煤层、厚煤层采煤工作面以及采煤工作面端头使用的各种类型液压支架的设计。对液压支架的选型、整体结构尺寸设计、部件设计、性能参数确定、受力计算及强度设计以及液压系统设计等方面均作了详细的论述。

本书可作为大学煤矿机械化及煤矿机械设计专业用教材和毕业设计的教学参考书，也可作为从事液压支架设计、研究、制造和使用等工作的工程技术人员继续教育的教材。

采 煤 工 作 面 液 压 支 架 设 计

丁绍南 编著

*

世界图书出版公司 出版

(北京朝内大街 137 号)

阜新矿业学院印刷厂 印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 14

1992 年 4 月第一版 1992 年 4 月第一次印刷

印数 0001—4,000 字数 332 千字

ISBN 7-5062-1346-X/TB·10

定价 6.90 元

前 言

煤炭是工业的粮食，到本世纪末和二十一世纪初叶，能源生产和消费结构中以煤为主的格局不会改变，到本世纪末至少需要原煤14.5亿吨，从现在算起，每年递增0.4亿吨。如何才能实现这样大幅度的增产，答案是明确的，即：依靠煤炭生产的机械化和自动化，绝不能再走增人增产的老路，依靠科技进步，把科学技术是第一生产力的观点落到实处，绝不能单用拼体力、拼能耗换取煤炭增产的办法。综合机械化采煤方法是高效、安全的采煤方法，而液压支架是综合机械化采煤方法中最重要的设备之一。液压支架在我国煤矿中的使用已有近二十年的历史，从消化引进设备开始，到我国自己能独立研究、设计和制造液压支架，我们已经积累了丰富的经验，对这些经验进行总结和提高，势在必行。这对于提高液压支架的设计和制造质量，对于进一步开发液压支架的新品种，以满足煤炭生产和打入国际市场的需要，对于提高教学水平都将起到不可估量的作用。

作者在阜新矿业学院任教多年，在总结液压支架教学经验的基础上，比较系统和全面地分析了国内外液压支架设计和研究的最新成果以及液压支架使用中出现问题，并进行归纳和总结，在此基础上对原教学讲义进行修订从而形成了本书。

到目前为止，在我国煤矿中使用的液压支架类型很多。本书对薄煤层、中厚煤层以及厚煤层采煤工作面液压支架和采煤工作面端头支架的选型、整体结构尺寸和性能参数的确定以及另件强度的设计计算等，都作了比较详细的论述，还对液压支架的液压系统设计作了说明。并介绍了有关优化设计和计算机辅助设计程序。这些内容经过液压支架的设计和科研单位以及制造厂的应用实践，证明对液压支架的设计和研制有一定的实用价值。

在编写本书过程中，吸取了煤炭科学研究总院北京开采所、上海分院、北京煤矿机械厂、郑州煤矿机械厂等单位的宝贵设计经验。对上述诸单位给予的关怀和支持，在此表示衷心的感谢。在本书的编写过程中也参考了专家和学者在杂志上和液压支架学术交流会上发表的论文，从中得到不少启迪，对这些论文的作者在此也一并致谢。

全书除第8章由段鹏文编写、第9章由李中复编写、第10章由林贵瑜编写外，其余各章均由丁绍南编写并统稿，最后本书经李贵轩悉心修改并审订。

由于作者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

丁绍南

1991. 11

目 录

第1章 概述

- 1.1 采煤工作面液压支架的使用、分类和结构..... (1)
- 1.2 采煤工作面液压支架设计目的要求和设计液压支架必须的基本参数..... (8)

第2章 中厚煤层液压支架的选型

- 2.1 液压支架的支撑力与承载的关系..... (10)
- 2.2 液压支架的架型选择..... (12)

第3章 中厚煤层液压支架的整体结构尺寸设计

- 3.1 支架高度、支架间距、底座长度的确定..... (16)
- 3.2 四连杆机构的作用和四连杆机构设计的几何作图法..... (17)
- 3.3 四连杆机构与附加力的关系..... (21)
- 3.4 四连杆机构优选设计法..... (32)
- 3.5 顶梁长度的确定..... (44)
- 3.6 立柱和千斤顶位置的确定..... (45)
- 3.7 通风断面的验算..... (53)

第4章 中厚煤层液压支架部件设计

- 4.1 顶梁..... (55)
- 4.2 掩护梁和四连杆机构..... (57)
- 4.3 侧护板..... (58)
- 4.4 底座..... (61)
- 4.5 立柱..... (62)
- 4.6 千斤顶..... (68)

第5章 中厚煤层液压支架的受力分析

- 5.1 液压支架的支护性能与外载荷..... (73)
- 5.2 液压支架基本技术参数的确定..... (74)
- 5.3 支架受力分析与计算..... (81)
- 5.4 支架受力的影响因素..... (92)
- 5.5 液压支架受力计算的计算机算法..... (95)
- 5.6 液压支架型式试验规范..... (111)
- 5.7 各种加载试验方式时各部件的受力分析..... (116)

第6章 中厚煤层液压支架的强度计算

- 6.1 强度条件..... (129)
- 6.2 强度校核..... (130)
- 6.3 抗扭强度计算..... (150)

6.4 空间力系组合强度 计算.....	(161)
第 7 章 薄煤层液压支架设计	
7.1 薄煤层液压支架简介.....	(169)
7.2 薄煤层液压 支架的结构尺寸设计.....	(169)
7.3 薄煤层液压支架的操 作系统.....	(170)
7.4 薄煤层液压支架的结 构部件设计.....	(171)
第 8 章 厚煤层液压支架设计	
8.1 厚煤层液压支架类 型.....	(173)
8.2 一次采全高的液压支架 设计.....	(173)
8.3 顶煤冒落法的液压支架 设计.....	(176)
8.4 分层开采铺底网液压支 架 设计.....	(183)
第 9 章 端头支架设计	
9.1 工作面端头的特点以及端头支 架 类型.....	(187)
9.2 端头支架设 计 中的几个问题.....	(191)
第10章 液压支架的液压系统设计	
10.1 液压支架的液压系统简介.....	(193)
10.2 液压支架的液压系统拟定.....	(194)
10.3 液压系统的计算.....	(197)
10.4 液压支架的电液控制系统.....	(201)
附录	
一、活塞导向环.....	(207)
二、挡圈 (缸口蕾形圈用)	(207)
三、卡箍.....	(208)
四、导向环.....	(209)
五、鼓形橡胶密封圈	(209)
六、蕾形橡胶密封圈.....	(211)
七、山形密封圈.....	(212)
八、J 型橡胶防尘圈	(215)
主要参考资料	(218)

第 1 章 概 述

1.1 采煤工作面液压支架的使用、分类和结构

一、液压支架的用途

在采煤工作面的煤炭生产过程中,为了防止顶板冒落,维持一定的工作空间,保证工人安全和各项作业正常进行,必须对顶板进行支护。而液压支架是以高压液体作为动力,由液压元件与金属构件组成的支护和控制顶板的设备,它能实现支撑、切顶、移架和推移输送机等一整套工序。实践表明液压支架具有支护性能好、强度高,移架速度快、安全可靠等优点。液压支架与可弯曲输送机和采煤机组成综合机械化采煤设备,它的应用对增加采煤工作面产量、提高劳动生产率、降低成本、减轻工人的体力劳动和保证安全生产是不可缺少的有效措施。因此,液压支架是技术上先进、经济上合理,安全上可靠、是实现采煤综合机械化和自动化不可缺少的主要设备。

二、液压支架在工作面工作情况

支架在工作面布置如图 1-1 所示。为了及时支护,采用先移架后推溜的工作方式。一个循环包括降柱、移架、升柱、推溜等四个动作。随着采煤机的前进,按次序搬动操纵阀,使顶梁下降,支架前移,到达预定位置后,顶梁升起,支护顶板。再通过支架的推移千斤顶,又将输送机推向煤壁。

A—A 断面是采煤机还未截割时的状态,此时,输送机紧靠煤壁。推移千斤顶处于活塞杆伸出状态,支架底座前端与输送机槽帮之间距离为 600mm。

B—B 断面是采煤机截割后的状态。此时,支架顶梁前端与煤壁之间距离为 600mm,是采煤机的截深。

C—C 断面是移架后的状态。它是在采煤机截割后,支架经降柱卸载,并以输送机为支点,支架前移到靠近输送机的位置,然后升柱,支护好新暴露的顶板。

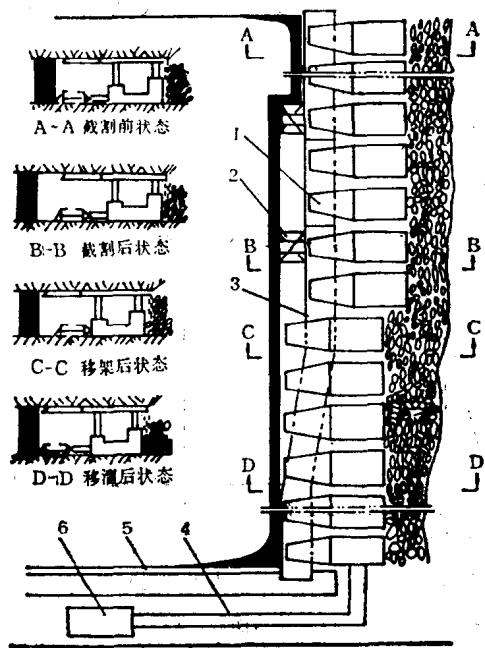


图 1-1 支架在工作面布置

1—液压支架; 2—滚筒采煤机; 3—输送机; 4—管道; 5—转载机; 6—泵站

D--D断面是推溜后的状态。在支架支撑顶底板后，以支架为支点，把输送机推向煤壁的情况。

此至，支架完成了一个工作循环。

三、液压支架的动作原理

液压支架在工作过程中，必须具备升、降、推、移四个基本动作，这些动作是利用泵站供给的高压乳化液通过工作性质不同的几个液压缸来完成的。如图 1-2 所示。

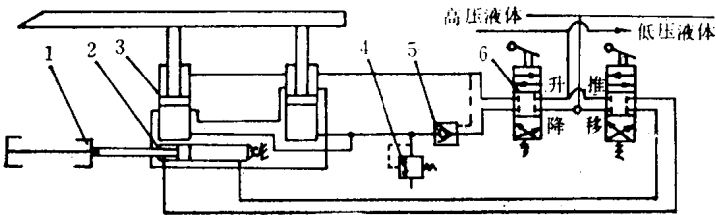


图 1-2 液压支架工作原理

1—输送机；2—推移千斤顶；3—立柱；
4—安全阀；5—液控单向阀；6—操纵阀

1. 升柱

当需要支架上升支护顶板时，高压乳化液进入立柱的活塞腔，另一腔回液，推动活塞上升，使与活塞杆相连接的顶梁紧紧接触顶板。

2. 降柱

当需要降柱时，高压液进入立柱的活塞杆腔，另一腔回液，迫使活塞杆下降，于是顶梁脱离顶板。

3. 支架和输送机前移

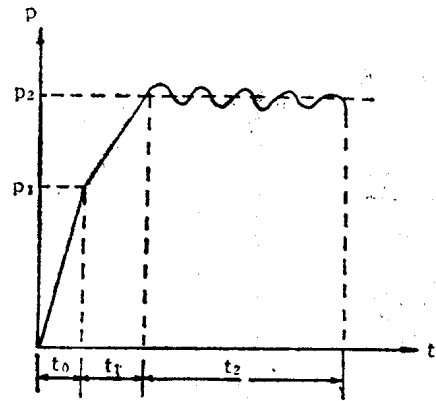


图 1-3 支架的工作特性曲线

t_0 —初撑阶段； t_1 —增阻阶段； t_2 —恒阻阶段； P_1 —初撑力； P_2 —工作阻力

支架和输送机的前移，都是由底座上的推移千斤顶来完成的。当需要支架前移时，先降柱卸载，然后高压液进入推移千斤顶的活塞杆腔，另一腔回液，以输送机为支点，缸体前移，把整个支架拉向煤壁；当需要推输送机时，支架支撑顶板后，高压液进入推移千斤顶的活塞腔，另一腔回液，以支架为支点，使活塞杆伸出，把输送机推向煤壁。

支架的支撑力与时间曲线，称为支架的工作特性曲线，如图 1-3 所示。

支架立柱工作时，其支撑力随时间的变化过程可分为三个阶段。支架在升柱时，高压液进入立柱下腔，立柱升起使顶梁接触顶板，立柱下腔压力增加，当增加到泵站工作压力时，泵站自动卸载，支架的液控单向阀关闭，立柱下腔压力达到初撑力，此阶段为初撑阶段 t_0 ；支架初撑后，随顶板下沉，立柱下腔压力增加，直至增加到支架的安全阀调正压力，立柱下腔压力达到工作阻力。此阶段为增阻阶段 t_1 ；随着顶板压力继续

增加，使立柱下腔压力超过支架的安全阀压力调整值时，安全阀打开而溢流，立柱下缩，使顶板压力减小，立柱下腔压力降低，当低于安全阀压力调整值后，安全阀停止溢流，这样在安全阀调整压力的限止下，压力曲线随时间呈波浪形变化，此阶段为恒阻阶段 t_2 。

四、液压支架的分类

按液压支架在采煤工作面的安装位置来划分，有端头液压支架和中间液压支架。端头液压支架简称端头支架，专门安装在每个采煤工作面的两端。中间液压支架是安装在除工作面端头以外的采煤工作面上所有位置的支架。

中间液压支架按其结构形式来划分，可分为三种基本类型，即：支撑式、掩护式和支撑掩护式。

支撑式支架又有垛式和节式之分。图1-4为垛式，图1-5为节式。

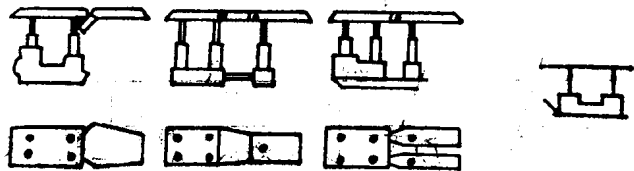


图 1-4 垛式支架

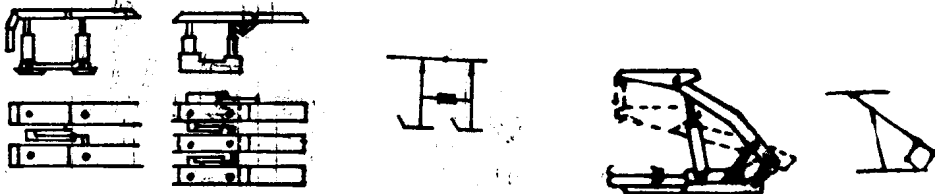


图 1-5 节式支架



图 1-6 插腿式支架

掩护式支架又有插腿式和非插腿式之分。图 1-6 为插腿式，图 1-7 为立柱支在掩护梁上非插腿式，图 1-8 为立柱支在顶梁上非插腿式。



图 1-7 立柱支在掩护梁上非插腿式支架

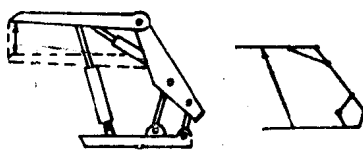


图 1-8 立柱支在顶梁上非插腿式支架

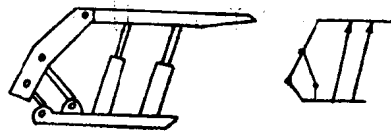


图 1-9 四柱平行支在顶梁上支架

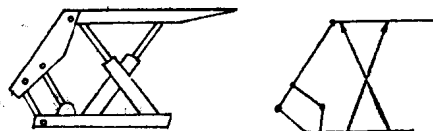


图 1-10 四柱交叉支在顶梁上支架

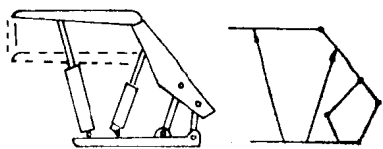


图 1-11 两柱支在顶梁
两柱支在掩护梁上支架

五、液压支架结构

1. 支撑式支架

支撑式支架的结构以 $D_1-240/22$ 型支架为例如图 1-12 所示。它由前探梁、后梁、前梁短柱、立柱、挡矸帘、操纵阀、控制阀、复位千斤顶、推移千斤顶、底座箱等组成。

$D_1-240/22$ 型支架的液压系统如图 1-13 所示。它由泵站、四根立柱、两个千斤顶、一个前梁短柱、一个操纵阀五个控制阀和管路等组成。泵站供给的高压液体经主进油管通向各架的操纵阀。各架的回液经主回液管返回泵站。

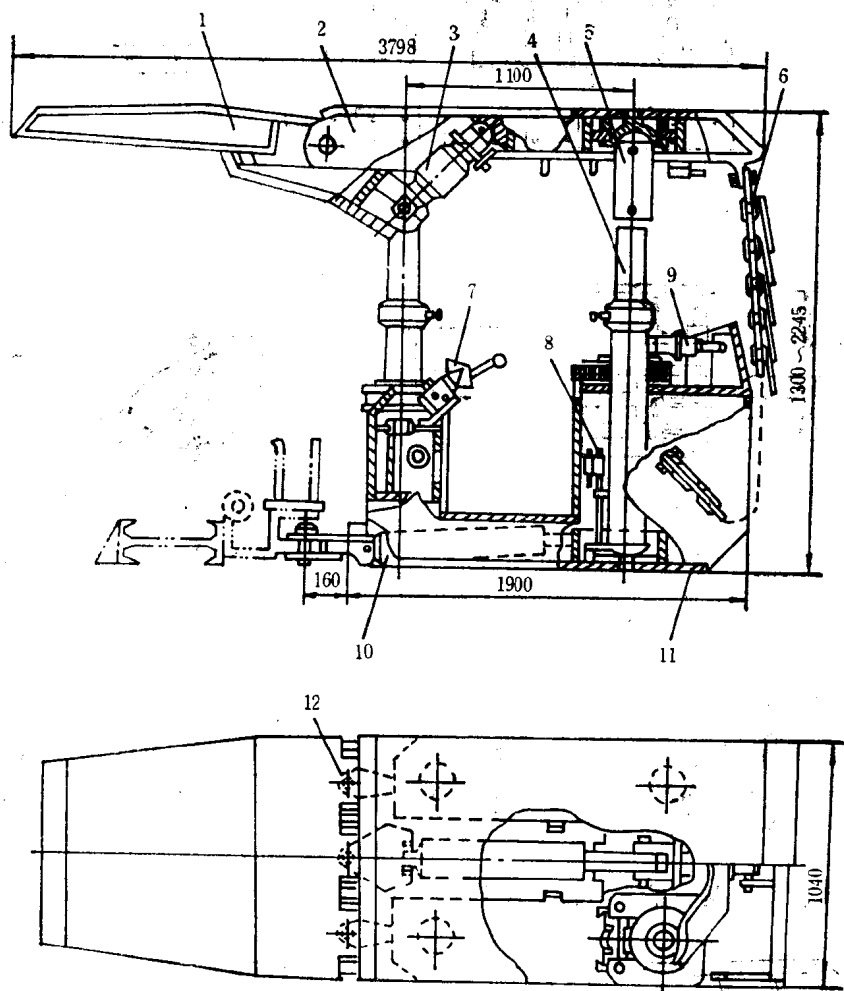


图 1-12 $D_1-240/22$ 型支架

1—前探梁；2—后梁；3—前梁短柱；4—立柱；5—加长杆；6—挡矸帘；
7—操纵阀；8—控制阀；9—复位千斤顶；10—推移千斤顶；11—底座箱；12—碰块

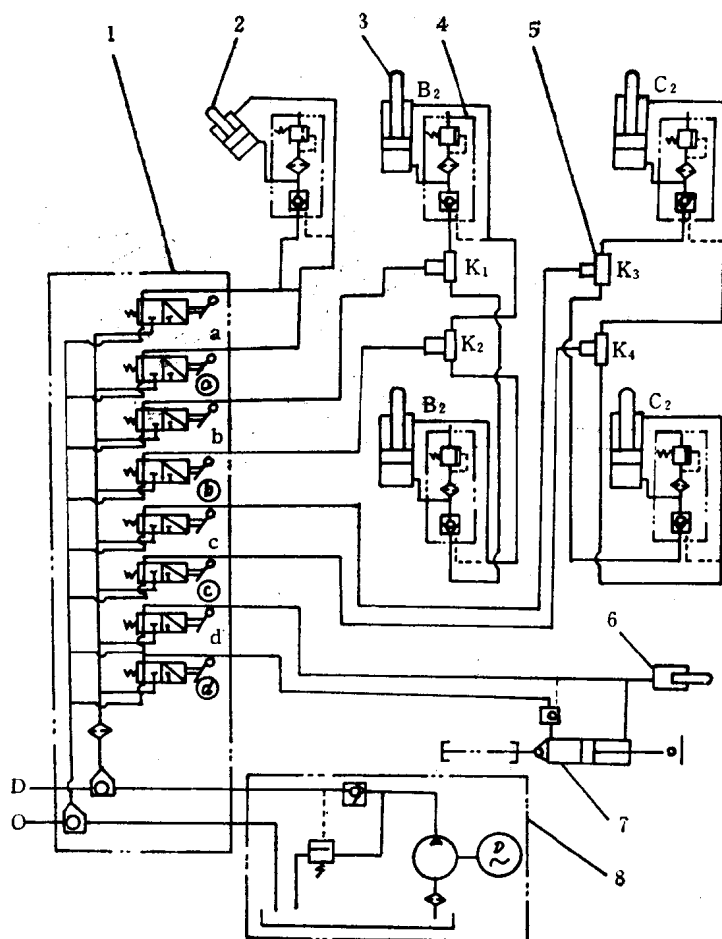


图 1-13 D₁—240/22型支架液压系统

- 1—操纵阀； 2—前探梁千斤顶； 3—立柱； 4—控制阀；
5—三通接头； 6—复位千斤顶； 7—推移千斤顶； 8—泵站

液压系统的主要部分是控制阀和操纵阀。控制阀装在立柱和前梁短柱的活塞腔液路上。操纵阀为八个二位三通阀的组合物，每两个阀成一组，分别以 $a-\textcircled{a}$ ， $b-\textcircled{b}$ ， $c-\textcircled{c}$ ， $d-\textcircled{d}$ 表示，相应控制前梁升降、前柱升降、后柱升降和移架推溜等八个动作。

2. 掩护式支架

掩护式支架的结构以 QY250—13/32 型支架为例如图 1-14 所示。它由前梁、主梁、掩护梁和侧护板、底座、前后连杆、前梁千斤顶、立柱、平衡千斤顶、推移千斤顶、操纵阀、控制阀等组成。

QY250—13/32 型支架的液压系统如图 1-15 所示。它采用本架控制，有两种供液压力（高压 $P_h = 32\text{MPa}$ ，低压 $P_b = 15\text{MPa}$ ），立柱、平衡千斤顶、前梁千斤顶的活塞腔用高压，其余的活塞腔用低压。在操纵阀上加一个配液板（图中 6），通过该二个单向阀可使升柱时高低压同时供液，使升柱速度加快，初撑力大，有效地防止顶板离层。

在推溜液路上未设液控单向阀，可使系统简单，为了避免移架时将输送机拉向采空区

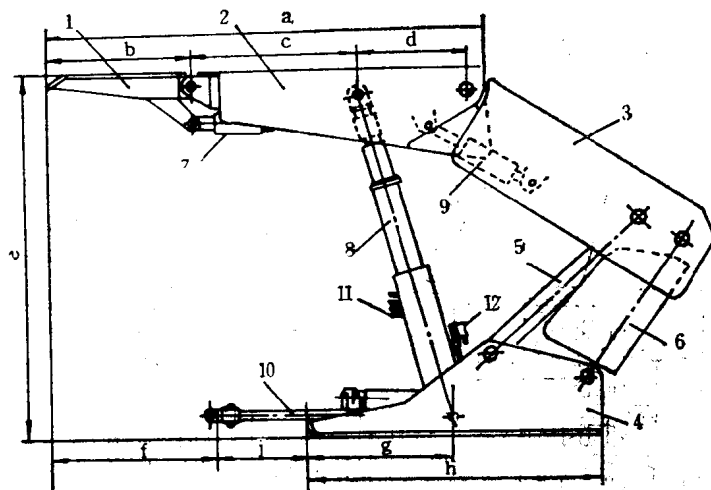


图 1-14 QY250—13/32型支架

1—前梁；2—主梁；3—掩护梁和侧护板；4—底座；5、6—前、后连杆；7—前梁千斤顶；8—立柱；9—平衡千斤顶；10—推移千斤顶；11—操纵阀；12—控制阀

侧，操作时应将邻架的推移操纵阀放在推溜位置上，以克服移架时的反作用力。

平衡千斤顶前、后两腔都设控制阀，使前后腔都成为承载腔。

侧推千斤顶两腔油路上都有节流孔，这是因为该千斤顶行程较短，节流孔可使其动作平缓。但没有控制阀，这是因为它不需要承载。

在总回液路上有一个单向阀7，起背压作用，使各动作平稳。

操纵阀为组合式片阀，可以同时操作。

3. 支撑掩护式支架

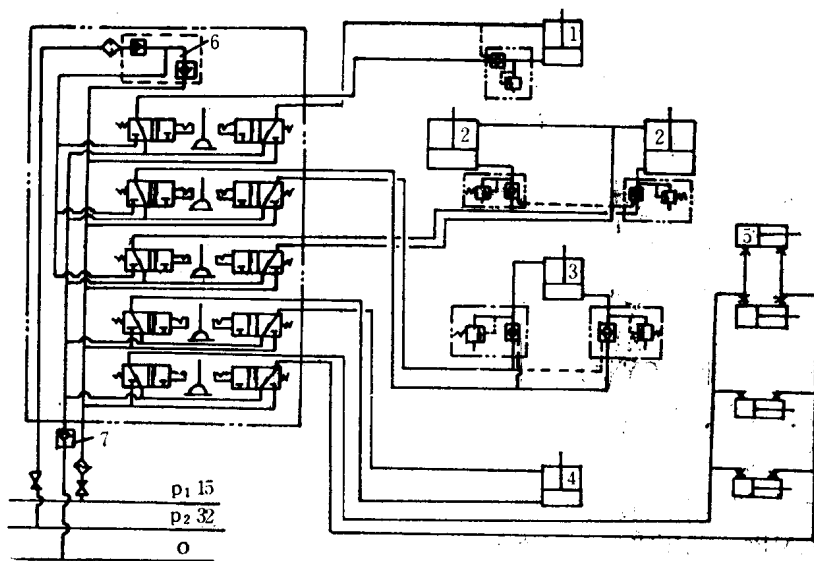


图 1-15 QY型支架液压系统

1—前梁千斤顶；2—立柱；3—平衡千斤顶；4—推移千斤顶；5—侧推千斤顶；6—配液阀；7—背压阀

支撑掩护式支架的结构以ZY—35型支架为例，如图 1-16 所示。它由防片帮千斤顶、前梁、顶梁、掩护梁、底座、推移千斤顶、立柱等组成。

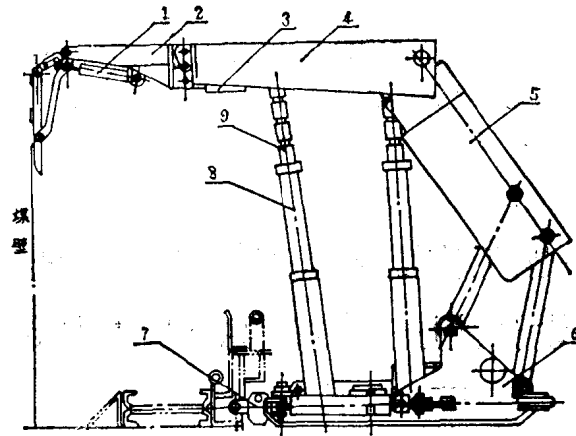


图 1-16 ZY—35型支撑掩护式支架

1—防片帮千斤顶；2—前梁；3—短柱；4—顶梁；5—掩护梁；6—底座；7—推移千斤顶；8—立柱；9—机械加长杆

ZY—35 型支架液压系统如图 1-17 所示。

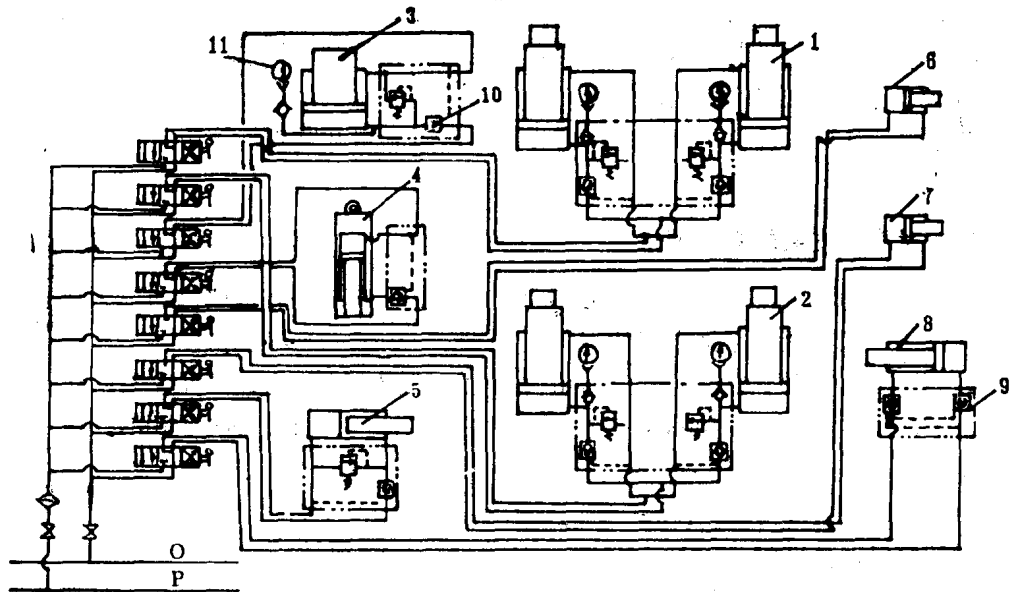


图 1-17 ZY—35型支架液压系统

1—前柱；2—后柱；3—前梁千斤顶；4—推移千斤顶；5—防滑千斤顶；
6—顶梁侧推千斤顶；7—掩护梁侧推千斤顶；8—护帮千斤顶；9—双向液
压锁；10—大流量安全阀；11—压力表

ZY—35型支架液压系统的特点是在前梁千斤顶的承载腔液路上采用大流量安全阀（图中10）。其整定压力为 38.8MPa ，比立柱安全阀整定压力（ 31.8MPa ）高，流量大（约 40L/min ）。升架时前梁千斤顶先推出，前梁端部先接触顶板，在支架继续升起直到顶梁撑紧顶板时，前梁被迫下降，使前梁千斤顶收缩，在此过程中，大流量安全阀过载而大量溢流。从而使前梁千斤顶达到 600kN 的工作阻力。这样前梁对顶板的支撑力能较快地达到

额定值，从而可以有效地支控工作面前端的顶板，防止离层。

当煤层厚度变化时，中间液压支架的结构稍有变化，但仍不失去上述三种基本类型。对于厚煤层，由于开采方法对支架有特殊要求，因此支架结构有些特殊变化。如用冒落法采煤，在支架上要安装落煤窗口、插板等特殊结构。有的支架还要装设铺金属网结构。

端头支架也有多种结构型式，如锚固式、局部支护式和全封闭式等。

液压支架的类型很多，影响液压支架结构型式的因素是各种各样的，在以下有关章节中将陆续论述。

1.2 采煤工作面液压支架设计目的、要求和 设计液压支架必要的基本参数

一、设计目的

采用综合机械化采煤方法是大幅度增加煤炭产量、提高经济效益的必由之路。为了满足对煤炭日益增长的需要，必须大量生产综合机械化采煤设备，迅速增加综合机械化采煤工作面（简称综采工作面）。而每个综采工作面平均需要安装 150 台液压支架，可见对液压支架的需要量是很大的。

由于不同采煤工作面的顶底板条件、煤层厚度、煤层倾角、煤层的物理机械性质等的不同，对液压支架的要求也不同。为了有效地支护和控制顶板，必须设计出不同类型和不同结构尺寸的液压支架。因此，液压支架的设计工作是很重要的。由于液压支架的类型很多，因此其设计工作量也是很大的，由此可见，研制和开发新型液压支架是必不可少的一个环节。

二、对液压支架的基本要求

1. 为了满足采煤工艺及地质条件的要求，液压支架要有足够的初撑力和工作阻力，以便有效地控制顶板，保证合理的下沉量。
2. 液压支架要有足够的推溜力和移架力。推溜力一般为100kN左右，移架力按煤层厚度而定，薄煤层一般为100kN~150kN，中厚煤层一般为150kN至250kN，厚煤层一般为300kN~400kN。
3. 防矸性能要好。
4. 排矸性能要好。
5. 要求液压支架能保证采煤工作面有足够的通风断面，从而保证人员呼吸、稀释有害气体等安全方面的要求。
6. 为了操作和生产的需要，要有足够宽的人行道。
7. 调高范围要大，照明和通讯方便。
8. 支架的稳定性要好，底座最大比压要小于规定值。
9. 要求支架有足够的刚度，能够承受一定的不均匀载荷和冲击载荷。
10. 在满足强度条件下，尽可能减轻支架重量。
11. 要易于拆卸，结构要简单。
12. 液压元件要可靠。

三、设计液压支架必需的基本参数

1. 顶板条件

根据老顶和直接顶的分类，对支架进行选型。

2. 最大和最小采高

根据最大和最小采高，确定支架的最大和最小高度，以及支架的支护强度。

3. 瓦斯等级

根据瓦斯等级，按保安规程规定，验算通风断面。

4. 底板岩性及小时涌水量

根据底板岩性和小时涌水量验算底板比压。

5. 工作面煤壁条件

根据工作面煤壁条件，决定是否用护帮装置。

6. 煤层倾角

根据煤层倾角，决定是否选用防倒防滑装置。

7. 井筒罐笼尺寸

根据井筒罐笼尺寸，考虑支架的运输外形尺寸。

8. 配套尺寸

根据配套尺寸及支护方式来计算顶梁长度。

第2章 中厚煤层液压支架的选型

2.1 液压支架的支撑力与承载的关系

从架型的结构特点来看，由于架型的不同，它的支撑力分布和作用也不同；从顶板条件来看，由于直接顶类别和老顶级别的不同，支架所承受的载荷也不同。所以，为了在使用中合理地选择架型，要对支架的支撑力与承载的关系进行分析，使支架的支撑力能适应顶板载荷的要求。

一、支撑式支架的支撑力分布与承载

1. 支撑式支架的特点和支撑力的分布

支撑式支架的特点是顶梁较长，控顶距较大，立柱呈直立布置，而且一般都位于顶梁的后半部。因此，支撑力也相应集中在控顶区的后半部，以阻止上部岩层的移动，实现切顶作用。而在煤壁附近的主要工作空间的顶板，则处于无立柱支撑状态，仅靠支撑力较小的前梁来维护。故支架的工作阻力在控顶区范围内很不均匀，其预想的支撑力分布规律如图2-1所示。

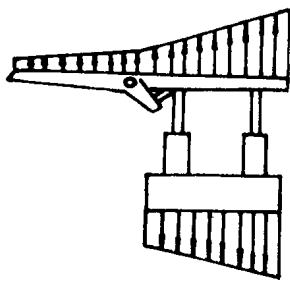


图 2-1 支撑式支架支撑力分布

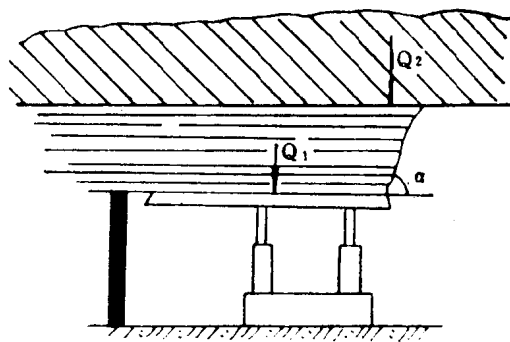


图 2-2 支撑式支架在中硬以上稳定顶板条件下的受力情况

2. 支撑式支架在不同顶板条件下承载分析

(1) 支撑式支架在中硬以上稳定顶板的受力情况，如图2-2所示。

一般来说，支架顶梁承受的顶板压力可视为两部分组成，其一是直接顶作用在支架上

的压力 Q_1 ；其二为老顶通过直接顶间接地作用在支架上的压力 Q_2 。

开始支架只承受直接顶压力 Q_1 ，作用点位于近似支架顶梁中部，它相当于均布载荷。

周期来压时，裂隙带下沉，其一端通过直接顶间接地作用在支架顶梁上；另一端落在冒落岩石上。作用在支架上的压力为 Q_2 ，作用点位于支架顶梁后部，相当于三角形载荷分布。

支架承受载荷 Q_1 和 Q_2 ，使支架顶梁后部受力大，同时底板对底座后部反力也大。由于支撑式支架前梁无立柱，支撑力小。顶梁后部有立柱，支撑力大。所以这种支架能适应中硬以上稳定顶板的条件。

(2) 支撑式支架在破碎不稳定顶板条件的受力情况，如图2-3所示。

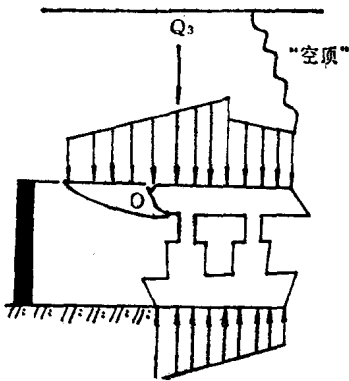


图 2-3 支撑式支架在破碎不稳定顶板条件下的受力情况

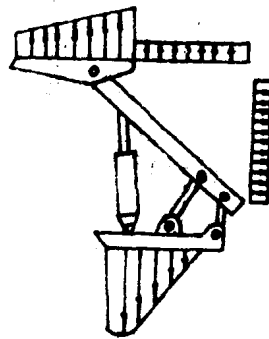


图 2-4 掩护式支架支撑力分布

由于支撑式支架顶梁较长，在支架重复支撑过程中（假设顶梁长为4m，支架每前进一次为0.6m，则支架顶梁对顶板的重复支撑次数为6.7次），使直接顶破碎冒落，支架顶梁后部出现空顶，使顶板压力前移，合力 Q_3 作用点靠近前柱，顶梁载荷呈阶梯状分布，出现支架顶梁前部支撑能力小，而载荷大；支架后部支撑能力大，而载荷小的受力状态。同时底板对底座后部反力也小。所以支撑式支架不能适应破碎不稳定顶板。

二、掩护式支架的支撑力分布与承载

1. 掩护式支架的特点和支撑力分布

掩护式支架的特点是顶梁较短，控顶距较小，支撑力主要集中在顶梁部位，且分布较均匀，顶梁端部的支撑能力比支撑式支架大，其支撑力的分布规律如图2-4所示。

2. 掩护式支架在不同顶板条件下承载分析

(1) 掩护式支架在破碎不稳定顶板条件下的受力情况

支架的顶梁和掩护梁受力情况，如图2-5所示。

顶梁受力：由于支架顶梁短，使支架重复支撑次数少，所以顶板较完整。顶板作用在顶梁上的合力 Q_3 ，载荷分布如图2-5所示。

掩护梁受力：由于顶板破碎，在顶梁后部自由冒落岩石的一部分作用在掩护梁上，对掩护梁的作用力可以分解为垂直分力和水平分力，如图2-5所示。