

高等学校力学参考书

液压支架工作阻力

赵宏珠 执笔



中国矿业大学出版社

PDG

TP211
Z-211C

高等学校教学参考书

液压支架工作阻力

赵宏珠 执笔

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系1986年煤炭工业部第一批科技情报重点项目“液压支架工作阻力研究”的课题研究报告。书中简明扼要地介绍了确定液压支架工作阻力的合理标准及其确定方法、国内外的实例，以及对我国液压支架工作阻力实测数据的分析。

本书可供采矿、机械、管理等专业从事液压支架选型、设计、使用和经营管理的科技人员及大专院校师生参考。

责任编辑：刘泽春

技术设计：孙建波

责任校对：马景山

高等学校教学参考书

液压支架工作阻力

赵宏珠 执笔

中国矿业大学出版社出版 发行

(江苏省徐州市中国矿业大学内)

中国科学院开封印刷厂印刷

开本850×1168毫米1/32 印张4.125 字数87千字

1988年12月第一版 1988年12月第一次印刷

印数1—1000册

ISBN 7-81021-113-7

TD, 43(课)

定价：0.89元

前 言

1985年煤炭工业部情报所和矿压情报中心站批准成立“矿山支护与设备”分站以后，分站当年7月20日上报了“液压支架工作阻力研究”煤炭科技情报重点项目计划任务书。1986年4月1日煤炭工业部情报所(86)煤情管便字3号文通知批准“液压支架工作阻力研究”为1986年第一批科技情报重点项目。该项目主要研究液压支架工作阻力合理的标准、确定方法和合理值大小，在分站成员单位部分联络员的支持及分站工作人员的努力下，经过收集资料，回归分析和加工整理，至今已编写出此报告。报告分为八章，内容包括：液压支架工作阻力合理的标准及其选择；国内外液压支架工作阻力确定方法及实例；我国液压支架工作阻力实测数据及合理值分析；十条简要结论。报告可供采矿、机械、管理等专业从事液压支架选型、设计、使用、经营管理的科技人员、管理人员和大专院校师生参考。

该重点科技情报项目由矿山支护与设备分站站长赵宏珠负责组织，并执笔完成了此报告。

参加收集资料的人员有北京煤机厂冯德恩、耿碧竹、曹月明、王孝福；

参加资料整理工作的有北京煤机厂曹鼎、河北煤矿建筑工程学院刘新河、王同杰；

参加编印工作的还有吴杰、潘小平和郝素娟。

提供调研资料的有徐州矿务局李世龙、邢台矿务局肖桂华等多人，详见附表。

煤炭工业部矿山支护与设备分站

AB E06/06

目 录

前言

第一章 课题研究意义、内容和方法	(1)
第一节 课题研究的意义	(1)
第二节 研究内容和 方法	(4)
第二章 液压支架工作阻力合理 的标准	(7)
第一节 液压支架工作阻力合理的 标志	(7)
第二节 液压支架工作阻力合理的 标准	(11)
第三节 液压支架工作阻力合理标准的 选择	(31)
第三章 国外液压支架工作阻力确定 方法	(32)
第一节 岩石自重法	(32)
第二节 顶底板移近 量 法	(46)
第三节 现场调压试 验 法	(51)
第四节 观测数据统 计 法	(54)
第五节 散体介质法	(56)
第四章 我国液压支架工作阻力确定 方法	(59)
第一节 岩石自重法	(59)
第二节 动载系数法	(65)
第三节 载荷折算法	(66)
第四节 老顶来压步 距 法	(66)
第五节 顶底板移近 量 法	(69)
第六节 支架工作特 性 法	(73)
第七节 实测统计法	(75)
第八节 临界阻力法	(81)
第五章 液压支架合理工作阻力确定 实例	(85)

第一节	南屯煤矿确定 3 和 3 _上 煤层支撑掩护支架合理工作阻力实例	(85)
第二节	邢台煤矿确定 7 煤层掩护支架合理工作阻力实例	(91)
第六章	我国液压支架工作阻力实测数据	(97)
第一节	不同类级顶板实测支架工作阻力	(97)
第二节	不同架型支架工作阻力实测数据	(105)
第七章	对支架工作阻力合理值的分析	(107)
第一节	支架工作阻力的影响作用	(107)
第二节	对影响支架工作阻力因素的分析	(110)
第三节	各类级顶板支架合理工作阻力	(113)
第八章	简要结论	(118)
附录 I	提供“液压支架工作阻力研究调查表”的名单	(121)
附录 II	“液压支架工作阻力研究”评议书	(123)
参考文献		(124)

第一章 课题研究意义、内容和方法

液压支架工作阻力是液压支架研制的关键性参数。国内外学者和工程技术人员十分重视对它的研究，积累了丰富的经验，涌现了大量论文，但因影响该参数合理值的因素多而复杂，故至今对此研究仍处于探索和发展之中。因此，液压支架合理工作阻力研究课题从情报角度来看，属于资料归纳整理工作，从科研角度来看属于根据我国煤层赋存条件，进行顶板分类及架型分析研究的工作。由此看来，该课题不但有情报研究，而且有科学研究探索的意义，所用研究方法、内容也介于情报和科研之间，既有资料整理的方法和研究现状的简介，也有数据分析和结合实测数据进行回归分析的内容。

第一节 课题研究的意义

截至1986年底，我国综采设备在籍406套，其中引进177套，国产229套。这些设备为我国煤矿生产带来了明显的效益，全年共有11个队年产超过100万t，其中5个队是用国产支架，有两个队分别达到140和131万t，创我国最高记录。但是，与美国、西德、英国、澳大利亚等国相比，我国综采设备使用效果的差距也是明显的。与推广综采时间较短的美国相比也存在下列“三低”问题：

1. 设备利用率低。美国液压支架1986年在籍118套，使用100套，设备利用率为91%。而我国仅为64.5%，比美国低29%。
2. 采面平均单产低。每套液压支架平均月产美国为10.2万t，而我国为3.72万t。

3. 采面工效低。美国一般综采工作面工效为300t/工以上，而我国为15.47t/工。

存在这些差距，固然与我国煤层赋存条件和生产技术管理水平有关，但我国液压支架维修量大，事故多，也是不可忽视的。我国使用综采设备以来，支架柱弯、柱断、缸裂、梁断、结构件开焊等事故都已出现。但经常出现的事故是液压系统密封元件损坏造成缸体、阀组、管路中窜、漏液，连接部位磨损与断裂，侧护板、护帮板变形等等。由支架原因而诱发顶板事故所误的工时，相当于支架本身故障所误工时的4~5倍。近几年来顶板事故影响生产是严重的，以1984年为例，支架与顶板事故共误56491个工时，按当年综采单产35774t/月和以此生产水平的纯落煤时间占17%计算，全年影响采煤量约336万t。而美国不允许液压支架维修量大，更不允许因此而导致顶板发生事故。

造成这种状况的原因中，架型影响日趋减少，顶板稳定性差是个重要因素，但主要的是液压支架工作阻力低。

据美国1986年100套正在工作的液压支架统计，两柱掩护式支架占64.4%，四柱支撑掩护式支架占31.7%，其余3.9%为支撑式支架。

我国液压支架架型发展趋势是：1984年全国在籍综采设备262套，其中支撑式支架占27.5%，支撑掩护式支架占28.6%，掩护式支架占43.9%；近三年来，我国基本不再生产支撑式支架，生产的均是掩护式和支撑掩护式支架，如以1986年全国在籍综采设备406套计，则掩护式和支撑掩护式支架共占82%，其中两柱掩护式支架所占比重也日益增大。这些数字表明，我国架型发展趋势和外国液压支架架型发展趋向是一致的。因此，架型影响造成液压支架和顶板事故多不能算是主要原因。

如表1-1所示，在118个综机采面中，有50.8%属于Ⅱ₂顶板，即老顶来压明显，直接顶中等稳定，如以Ⅰ_{1~2}和Ⅱ_{1~2}计，则

占78%，即我国当前绝大多数综采设备是用在具有老顶来压，而直接顶稳定程度又比较差的围岩条件下。显然，顶板稳定性差是造成液压支架和顶板事故多的主要影响因素之一。

表1-1 我国综机采面顶板分类统计

老顶分级	采面 直接顶分类	1	2	3	4	合 计
I	个数	4	8	1	0	13
	%	3.4	6.8	0.8	0	11.1
II	个数	20	60	6	1	87
	%	17.9	50.8	5.1	0.8	74.6
III	个数	0	4	6	1	11
	%	0	3.4	5.1	0.8	9.3
IV	个数	0	0	0	6	6
	%	0	0	0	5.1	5.1
总计	个数	24	72	13	8	118
	%	20.4	61.8	11.0	6.8	100

美国四柱掩护式支架平均工作阻力为 4.446MN/架，最大工作阻力为 6.30MN/架，最小工作阻力为 3.15MN/架。我国四柱掩护型支架平均工作阻力为 5.55MN/架，最大工作阻力为 7.20MN/架，最小工作阻力为 2.52MN/架。

如以我国具有代表性的已经进行过矿压观测的 120 个综采工作面为例；其实测平均最大工作阻力为 2.487MN/架，为额定工作阻力的 70%。其中掩护式支架实测最大工作阻力为 1.80MN/架，支撑掩护式支架实测最大工作阻力为 3.725MN/架。两柱掩护式支架额定工作阻力平均为 2.57MN/架，比美国低 42%。四

柱支撑式和支撑掩护式支架实测最大工作阻力平均为 2.998MN/架 ，其额定工作阻力为 4.283MN/架 ，比美国低23%。显然，支架工作阻力低，导致液压支架设计强度低，安全系数小，是造成液压支架和顶板事故多的主要原因。

然而，根据我国煤层赋存的条件及财力，怎样确定液压支架合理工作阻力呢？

从我国研制液压支架的实践得知：如表 1-2 所示，支架工作阻力过小，造成顶底板移近量大，顶板断裂、台阶下沉、顶板破碎、漏顶、“网兜”大。因此，支架倾倒、下滑、“散架”、“压死”，部件损坏等现象均可产生。支架因“顶不住”而导致“走不动”。支架工作阻力过大，对于坚硬顶板，顶板虽较完整，但地压落煤效果差，若同时煤质坚硬，采煤机载齿和电力消耗大；对于松软顶板，顶板反而变得破碎，往往需要被顶、铺网，费工费料，影响移架。而且，支架制造用钢材多，材质好，使用时要求泵压高，搬运工时多。鉴于提高支架工作阻力，可以减少支架维修量，减少顶板事故，延长支架使用寿命，相对降低吨煤成本，故我国有相当多的人主张加大支架工作阻力，加大设计安全系数，提高支架的可靠性。但也有一部分人主要考虑我国财力较差，设备初期投资不能太多，主张发展经济型支架，支架工作阻力不能太高，适用就行，设计安全系数不宜过大。

总之，解决液压支架工作阻力高低合理的问题，有十分明显的现实意义和经济意义。

第二节 研究内容和方法

为了解决这个课题，必须研究下列问题：

1. 分析研究液压支架工作阻力合理的标准；
2. 总结归纳液压支架合理工作阻力衡量标准、合理值大小及确定方法。

表 1-2

实验工作面	采高 (m)	倾角 (°)	顶底板性质			液压自移支架特性				试验效果
			直接顶	老顶	底板	架型	初撑力 (kPa)	支护 强度 (kPa)	高 (m)	
唐山矿 5282	2.7	5	厚4m的粉砂岩, 呈大块垮落。	厚18m的细砂岩, 坚硬	较坚硬砂页岩	8柱800t主、副架组合迈步式	305	926	1.9~2.8	经历了初次来压, 周期来压, 断层、冒顶、除个别部件损坏外, 基本“顶得住”, “走得动”
阳泉四矿 4212	1.8	3~5	厚8m的页岩和砂页岩	厚18m的砂岩和细砂岩	页岩	4柱200t梁式	112	450	1.26~2.0	同上
徐州庞庄矿 716	2.0	4~12	厚1m的砂页岩	厚2~5m砂岩, 易落, 块转大		4柱240t梁式	130	500	1.4~2.2	同上
大同红一矿 8710	1.2~1.3	<2	伪顶0.2~0.3m厚粉砂岩	坚硬砂岩, 不易垮落		4柱320t梁式	323	662	0.95~1.4	同上
范各庄矿 1292	1.7~2.1	13~15	厚为2.5~4.0m粉砂岩, 厚4m砂岩		粉砂岩	8柱240t主、副架组合迈步式	91	347	1.32~2.2	因支护强度小, 支架倾斜、下滑支柱“压死”, 大量部件损坏、问题很大
锦盛二矿 208	2.2	8~12	中分层金属网假顶上覆页岩中砂岩		煤层	6柱150t梁式	111	357	1.4~2.2	因支护强度小, 金属网出兜, 顶板下沉量大, 支柱“压死”
铜川陈家河斜井 2064	3~3.5	5~7	伪顶0.2~0.5m厚, 厚4~10m砂岩易垮			2柱800t掩护式	/	400	2.54~3.7	因支护强度小, 支柱常被“压死”

为此，1985年7月矿山支护与设备分站向煤炭工业部情报研究所和矿山压力科技情报中心站申报了“液压支架工作阻力的研究”煤炭科技重点项目计划任务书，获得批准。

矿山支护设备分站分三个阶段完成这项情报研究工作。

1. 收集国内外液压支架工作阻力研究成果，写出“国内外确定液压支架合理工作阻力研究现状”，为本课题研究作好了准备。

2. 召开“矿山支护设备工作阻力研讨会”，总结交流国内外有关液压支架工作阻力研究成果，向成员单位说明分站承担“液压支架工作阻力研究”课题的目的、任务和要求，进而要求联络员填报“液压支架合理工作阻力研究调查表”，为课题研究做好基础工作。

3. 整理“液压支架合理工作阻力研究调查表”，用回归分析研究液压支架工作阻力，总结归纳写出此报告。

第二章 液压支架工作阻力 合理的标准

根据我国煤层赋存条件和财力状况确定支架工作阻力或大或小，关键在于确定“合理”的标志和标准。

第一节 液压支架工作阻力合理的标志

一、顶板稳定程度——工作条件安全

顶板稳定性好是回采空间工作条件安全的标志，顶板稳定性差是回采空间工作条件恶劣的反映。顶板稳定性好坏在煤层赋存条件一定、回采工艺相同的情况下，支护设备的支护效能起决定性作用，而支架工作阻力高低又是决定支架支护效果的重要参数。

苏联采用M87Π型支架的工作阻力从0.37 MPa 提高到0.46 MPa。在非周期来压顶板变形阶段（I）、超载变形加大阶段（II）和周期来压时（III）顶板状况完全不同，如表2-1所示。支架工作阻力为0.46MPa时顶板状态良好，顶底板移近量小；支架工作阻力为0.37MPa时顶板状态恶劣，顶底板移近量大。

我国开滦范各庄矿在同一采面使用BYZ型掩护支架的条件下，支架工作阻力高（219.3MN/架）时，顶板稳定，片帮不深，冒高不大，支护效果好。支架工作阻力低（1.666MN/架）时，顶板破碎，片帮深度大，冒顶高度大，冒顶次数多，支护效果差，支架20%歪斜，还有支架被压死，见表2-2。

总之，支架工作阻力高，在相同条件下，顶板稳定性好。因此，顶板稳定程度应是支架工作阻力是否合理的标志之一。从宏

观上看,在采煤过程中,不因顶板垮落而影响安全生产,所采用的支架工作阻力,应该看作是合理的。

表2-1

指 标	顶板变形 分 级	支架工作阻力 (MPa)	
		0.46	0.37
顶底板移近量 (mm)	I	140~160	150~190
	II	190~240	220~280
	III	达 360	达 420
顶板状态	I	良好	冒落
	II	剥落, 冒高 0.2~0.6m	冒高 0.3~0.8m
	III	断裂, 冒高 0.7m	断裂, 冒高大于 1 m

表2-2

支架工作阻力 (MN/架)	老顶初次来压时			老顶周期来压时		
	$E(\%)$	$C(\text{mm})$	$h(\text{mm})$	$E(\%)$	$C(\text{mm})$	$h(\text{mm})$
2.193	0	133.0	0	6.7	900.3	66.7
1.666	34	177.6	340	89.0	1155.7	1155.7

注: E ——顶板破碎度; C ——片帮深度; h ——冒落高度。

二、支架工作状态——支护设备良好

支架工作状态良好是支架对围岩相适应的标志, 支架工作状态恶劣是支架与顶板压力不适应的反映。支架工作状态的好坏在煤层赋存条件一定、回采工艺相同的情况下, 支架性能和强度起决定性作用, 而支架的设计强度又取决于支架工作阻力高低。

苏联采用 20KII 型综采设备在第三分层试验不同工作阻力时支架的工作状态, 如表 2-3 所示。支架工作阻力降低至 0.4MN 不会导致活柱下缩量大量增加。此时循环持续时间为 4~5 h, 顶板状态仍保持良好。循环时间延长可导致支架顶梁前方发生断

裂、顶板冒落和煤壁片帮。支架工作阻力为 0.3MN 时，活柱下缩量急剧增大，采面和顶板状态恶化。显然，工作阻力低于 0.4 MN（相当于支护强度为 0.24MPa）是不合理的。

表2-3

指 标	支架额定工作阻力 (MN)				
	1	0.8	0.6	0.4	0.3
循环末工作阻力(MN)	0.68	0.58	0.58	0.43	0.32
同上与额定值之比(%)	68	73.2	97.5	107.5	108.5
活柱下沉量(mm)					
平 均 值	3.5	5.2	5.7	13.3	44
最 大 值	12	15	16	35	110

表2-4

翼 别	架 型	采 面	动 载 系 数	支架最大工作阻力		支架工作状态
				MN/架 /kPa	与额定值 之比(%)	
西 翼	伽立克 4×300	321-I	2.06	$\frac{2.93}{483}$	100	支架倾斜，前主柱有高差， 支架歪倒，四柱不同步， 支架打架，多则六块顶梁打架。 支架压死，达27架之多。 支柱弯曲67根。 挡矸帘损坏高达68.8%。 底座箱变形9架。 复位装置，防倒千斤顶、串 丝等也发生过变形损坏。
	WS1.7 -2/3.5	322-I	1.97	$\frac{3.408}{631}$	101	平衡千斤顶损坏79个， 支架“压死”五架。
东 翼	改进型	315-I	1.73	$\frac{3.29}{646}$	103.1	支架无损坏， 月产平均4.043t。

我国枣庄柴里煤矿在三号煤层东西翼分别采用了英国伽立克 4×300 架式支架和联邦德国威斯伐利亚 WS1.7 型掩护式支架, 由于支架工作阻力低, 在西翼发生了严重的损坏支架事故, 在东翼则由于围岩发生了变化, 对支架进行了改进, 支架勉强使用, 技术经济指标较差, 见表 2-4。

铜川李家塔矿 2064 采面使用 JZ-I 型掩护式支架, 由于支架额定工作阻力为 0.80MN/架 , 支护强度太低, 尽管老顶来压缓和 (动载系数为 1.3), 活柱下缩仍达 224mm , 开启率达 44%, 支架损坏严重。其中, 掩护梁损坏 54%, 支柱损坏 23%, 安全阀损坏 77%, 底托架损坏 100%, 挡矸板损坏 73%。

总之, 支架工作阻力高, 在相同条件下, 支架工作状态好。因此, 支架工作状态应是支架工作阻力是否合理的标志之一。从宏观上看, 在采煤过程中支架工作阻力过大, 而安全阀根本不开启时, 所采用的支架工作阻力应该看作是不合理的。

三、技术经济指标——客观效果显著

由于支架工作阻力合适, 使得围岩工作状态良好, 可以保证采面快速推进, 从而获得良好的技术经济指标。技术经济指标是采面设备可靠性的综合反映。对于支架来说, 保证综采设备可靠性的基本参数之一就是支架工作阻力。因此, 技术经济指标好是支架工作阻力合理的重要标志。如表 2-5 所示, 我国 1986 年年产破百万吨的综采队所用支架工作阻力均高于 4.0MN/架 。因此, 保证了综采队高产、高效, 这不能不说所用支架工作阻力是合理的。

如前所述, 美国支架工作阻力比我国高 23~42%, 其产量和效率均比我国高很多。

据统计, 美国 1986 年使用综采长壁设备平均班产 2215.4t , 最高班产为 10800t , 最低班产 450t 。每天平均工作 2.5 个班, 最高 3 个班, 最少 1 个班, 以此计算平均日产为 5538.5吨 , 如年工作日以 220 天计, 平均年产 1218470t 。

由此可见, 支架工作阻力高, 在相同条件下, 采面技术经济效果好。因此, 技术经济指标也是支架工作阻力是否合理的标志之一, 保证采面技术经济效果显著的支架工作阻力应该看作是合理的。

表2-5 1986年我国年产破百万吨的综采队

局、矿、队	采煤方法	煤层厚度 (m)	采高 (m)	产量 (t)	效率 (t/I)	架型	支架工作阻力 (MN架)
潞安王庄综一	长壁	6.50	2.94	1402622	53.64	Zy-35	4.0
晋城古书院综一	长壁	3.20	3.00	1311603	47.20	BC400-17/35	4.0
潞安王庄综二	长壁	6.50	2.94	1202728	57.54	Zy-35	4.0
兖州南屯综二	走分	5.80	2.97	1072599	21.35		5.6
平顶山四矿综采	单长	3.30	3.00	1064481	33.02		
潞安石圪节综二	长壁	6.50	3.00	1053667	34.04		4.0
潞安漳村综一	长壁	6.50	3.00	1030096	38.77		4.0
大同同家梁综一	长壁	3.20	3.01	1012539	38.82		5.6
义马耿村综二	长壁	5.00	2.80	1005575	37.76		
鸡西小恒山151	长壁		2.50	1002146	20.80		
兖州兴隆庄综三	长壁	8.65	2.50	1000619	29.72		5.6

第二节 液压支架工作阻力合理化的标准

前述液压支架工作阻力合理与否的标准, 实质上是评定液压支架工作阻力是否合理的原则, 而要从数量和质量上对这些原则进行判定, 则要选取判定参数, 并对其进行一定分级, 才能衡量其合理的程度。所以, 在上列三条原则的基础上, 还要寻求衡量液压支架工作阻力合理化的标准。

一、顶底板允许移近量(S)

顶底板允许移近量, 系指能保证在整个控顶区内顶板完整不破碎, 不沿煤壁产生裂隙, 保证移架安全的顶底板移近量。在一般情况下, 此时不会造成移架时顶板发生局部冒顶和抽条现象。