

机械化支架 与顶板的相互作用

煤炭工业出版社

TD350.6

4

机械化支架 与顶板的相互作用

[苏]A.A.奥尔洛夫 B.Ю.雪得科夫

C.Г.巴朗诺夫 等

芮素生 辛镜敏 张声涛

高超宏 潘惠正 译

煤炭工业出版社

B 059377

内 容 提 要

本书论述在不同矿山地质条件的缓倾斜煤层中机械化支架与顶板的相互作用,是逐次改变支架阻力的专门试验的研究结果。同时引述了概率论和数理统计的基本原理,以供整理分析上述试验资料和编制计划及进行研究时应用。

本书阐述了在采用机械化支架条件下工作面周边及上方顶板岩石动态的规律。给出了考虑顶板在工作面空间存在时间因素的顶板下沉及状态与机械化支架阻力的关系。提出了顶板分类意见。论述了机械化支架阻力选择及其型号系列计算的原则。这些原则是根据所获得的研究结果和考虑了经济因素后提出的。最后给出了今后研究的发展方向。

本书可供煤炭工业部门的科研工作者,机械设计工作者和矿山设计工作者使用。

责任编辑:王振铎

А.А.Орлов, В.Ю.Сетков, С.Г.Баранов
О.Т.Степаненко, Э.И.Ялышев, В.В.Ухалков

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ С КРОВЛЕЙ

МОСКВА «Недра» 1976

*

机 械 化 支 架 与顶板的相互作用

芮素生 辛镜敏 张声涛

高超宏 潘惠正 译

*

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10⁵/₈

字数 277 千字

印数1—3,120

1983年12月第1版

1983年12月第1次印刷

书号15035·2588 定价1.35元

译 者 的 话

从1979年起,我们开始翻译了这本书。它总结了苏联六、七十年代机械化支架使用的经验,特别针对当时西欧、北美等国家在设计机械化支架时工作阻力日益增高的趋势,提出了应选择合适的支架工作阻力的观点。所谓合理的工作阻力,即在这样的工作阻力下,既能保证工作面顶板的良好状况,又能使支架的造价最便宜。这对我国目前正在努力进行的降低综机设备成本的工作,具有现实意义。

作者认为选择合理的工作阻力的前提是要了解机械化支架与围岩相互作用的规律。对各种不同生产地质条件的工作面进行现场实测是揭示这种规律的最重要方法。它不仅可以从定性上,而且也能从定量上给出支架参数与矿压显现(即工作阻力与顶板状况)之间的关系。为此,书中详细地介绍了在现场实测研究中所采用的方法。作者还用较大的篇幅介绍了通过调节安全阀的开启压力,以改变支架工作阻力的方法,来确定支架的临界工作阻力;并揭示出支架阻力与顶板状况间的关系,以及时间因素的影响等。

基于矿山条件的多变性和实测数据的离散性,作者将矿压实测数据视为随机数,将概率论和数理统计系统地运用到数据整理与分析上,使矿山压力现场研究建立在比较严格的科学基础上。

经过对各类顶板条件的大量的实测,并对所观测的资料进行综合分析后,作者提出了根据顶板的岩性、结构、强度进行顶板分类的意见。书中将顶板分为轻型、中型、重型三大类;根据直接顶的稳定性,每类顶板又分为不稳定、中等稳定和稳定三级,并指出各类顶板可能出现的破坏情况和允许的顶板暴露面积。最后分类中还对各种条件下的顶板管理方法、对机械化支架和单体支柱的使用提出了建议。

我们认为，这本书不仅使我们能了解苏联使用和研究机械化支架的情况，更重要的是介绍了他们研究支架与顶板相互作用的比较系统的方法，对我国开展这方面的研究工作有重要价值。本书不仅可供科研教学单位学习参考，也可供矿井生产单位学习参考。书中介绍的确定合理的支架工作阻力的观点，对于根据我国的矿山地质条件确定我国支架工作阻力系列，也是有益的。这对于降低液压支架的创造成本，具有重大作用。

降低综机设备的制造成本和价格，是我国发展综采，提高综采效益的一个关键问题。我国综采设备购置费中，液压支架约占65%；支架工作阻力降低60%，成本相应的降低约30%。所以确定合理的工作阻力，是发展综采的一个重要科学技术问题。

本书有关概率论和数理统计部分，在翻译中得到了中国矿院赵淑玉教授的大力协助；并承平寿康副教授校阅了全文。对此表示衷心的感谢。由于我们的水平所限，书中的缺点和错误，请读者批评指正。

前 言

不断提高煤炭产量，提高劳动生产率，提高生产安全性和降低煤炭成本，是煤炭工业发展的基本趋向。在生产过程综合机械化和自动化的基础上正进行着煤矿企业的技术改造。在矿井的采煤工作面中广泛应用着由机械化支架装备的成套设备，能够保证较高的技术经济指标和生产的安全性。1975年，在缓倾斜和倾斜煤层中，使用机械化支架成套设备的煤炭产量，占相同条件下煤炭总产量的60%。

在1975年1月，在87个工作面应用了机械化支架配套的综采设备〔47〕。1974年由这些工作面生产的煤炭共1.981亿吨，占缓倾斜和倾斜煤层总产量的54.1%，与1973年比较增加了14.5%。用机械化支架装备的工作面的单产，按1974年工作日平均计算为865吨；43个先进采煤队年产超过50万吨，他们的月平均劳动生产率为500~1400吨。

尽管在研制和使用机械化支架方面获得了巨大成就，但是在应用中还有许多没有解决的问题。譬如，在薄和急倾斜煤层中机械化支架尚未获得广泛的应用；缺乏在不稳定顶板和松软底板条件下工作的机械化支架；没有很明确地规定出现有机械化支架的合理使用条件，因而往往导致工作不够理想，甚至必须提前拆除；现有的和研制的机械化支架参数的合理性问题仍是悬案。从1971年1月1日实施的缓倾斜煤层机械化支架基本参数的国家标准ГОСТ15852-70，仅仅规定了支架阻力的下限。为了制定国家标准，曾经利用了使用单体支柱时所获得的矿压显现规律，以及初期使用机械化支架所取得的较少经验。由于机械化支架用量的日益增多和其使用条件的不断扩大，确定支架的合理参数就更为迫切。

机械化支架最重要的参数是工作阻力，它首先确定支架和顶

板相互作用的特征、支架的重量和成本。支架阻力不足可导致支架压死，甚至工作面完全压垮。支架阻力过大，由于大量使用，会造成金属的无谓消耗。将来必须力求确定合理的阻力，以便在支架制造和使用费用最低的情况下能保证可靠地支撑和管理顶板。由于六十年代末和七十年代初国外出现了远比我国国家标准高的高阻力机械化支架，因而近年来关于机械化支架最佳工作阻力的问题显得特别尖锐。英国和西德的厂家《伽力克》、《道梯》、《威斯特伐利亚》、《史瓦尔兹》等已经生产了单架阻力为400~700吨力，即80~150吨力/米²的支架。英国根据美国的订货，正研制单架阻力为1600吨力或300~400吨力/米²的《休伍德-莫斯塔巴尔》型样机。

为了选择机械化支架的最佳参数和确定其合理的使用条件，必须要知道机械化支架与围岩的相互作用规律^①，以及矿压显现的基本参数与支架参数的关系。为了确定这些关系，必须直接在矿井条件下在逐次改变支架参数的情况下进行研究。近年来，全苏测量研究院在不同矿山地质条件下的缓倾斜煤层中，根据特定的研究试验项目，按照逐次改变支架阻力的做法，完成了大量有关各种类型支撑式机械化支架与顶板相互作用的研究工作。

研究工作以及试验资料加工分析方法的制订，是在A.A. 阿尔洛夫的领导下进行的，除了作者以外，还有Г. И. 苏里耶夫，B. Г. 阿鲍耶夫，B. П. 瓦赫拉循耶夫，B. B. 比尔热科夫，B. Г. 契列循斯基，С. П. 伊万诺夫，И. А. 尤扎宁，П. В. 斯米尔诺娃，B. M. 索科洛夫等人参加了研究工作。

作者认为有责任向对本书做出可贵评审的科学技术副博士B. B. 瓦维洛夫表示诚挚的感谢。

① 为了简便，以下改称机械化支架与顶板的相互作用。

目 录

第一章 机械化支架与顶板的相互作用的研究现状与方向	1
第一节 机械化支架及其主要参数	1
第二节 长壁采煤工作面支架与顶板的相互作用概念的 演变	7
第三节 采煤工作面上方顶板岩体的动态	19
第四节 确定机械化支架与顶板的相互作用规律的途径 及方法	28
第二章 概率论和数理统计的基本原理	33
第一节 概述	33
第二节 随机变量分布律的确定方法	37
第三节 样本构成的随机性检验方法	41
第四节 确定趋势(规律性)类型的方法	44
第五节 总体划分方法	49
第六节 置信界限	57
第七节 确定随机变量相互关系的方法	60
第三章 研 究 方 法	66
第一节 地质和矿山技术条件的研究方法	66
第二节 支架与顶板的相互作用的研究方法	67
第三节 采煤工作面上方岩体中顶板岩石动态的研究 方法	73
第四节 机械化支架进行逐次改变阻力试验的专门问题	75
第四章 在《红军煤炭》生产联合企业《苏共二十一大》矿的研 究结果	90
第一节 地质和矿山技术条件	90
第二节 确定必要的观测延续时间	91
第三节 顶板的状况和动态	103
第四节 顶板下沉量	107
第五节 支架压缩量	134

第六节	支架的初撑力和阻力	139
第七节	采煤工作面上方岩体中顶板岩石的动态	149
第八节	生产工序对工作面矿山压力显现的影响	160
第九节	支架和顶板的相互作用	163
第五章	在 I 级顶板条件下的研究结果	168
第一节	地质与矿山技术条件	168
第二节	顶板的动态和状况	172
第三节	顶板下沉量	178
第四节	支架压缩量	190
第五节	支架的初撑力和工作阻力	193
第六节	采煤工作面上方岩体中顶板岩石的动态	200
第七节	生产工序对工作面矿山压力显现的影响	206
第八节	支架与顶板的相互作用	212
第六章	在 II 级顶板条件下的研究结果	216
第一节	地质与矿山技术条件	216
第二节	顶板的动态与状况	219
第三节	顶板下沉量	221
第四节	支架压缩量	227
第五节	支架的初撑力与阻力	229
第六节	采煤工作面上方岩体中顶板岩石的动态	233
第七节	生产工序对工作面矿山压力显现的影响	237
第八节	支架与顶板的相互作用	240
第九节	在《腊琴斯卡娅》二矿顶板粘土页岩尖减期间的观测结果	242
第七章	机械化支架和顶板的相互作用规律	247
第一节	顶板状况	247
第二节	顶板下沉量和支架压缩量	252
第三节	支架阻力和必需的测量支架的数量	263
第四节	采煤工作面上方岩体中顶板岩石的动态	267
第五节	生产工序对工作面矿山压力显现的影响	269
第六节	顶板与支架的相互作用	272
第七节	顶板岩石的分类	283

第八章 机械化支架阻力的选择及其型号系列的计算 290

第一节 机械化支架合理的工作阻力的选择原则及其合理的型号系列的计算原则 290

第二节 机械化支架的制造成本与其阻力和生产批量的关系 298

第三节 机械化支架的参数系列和型号系列 301

第四节 现有支撑式机械化支架的使用条件 317

第五节 今后的研究方向 319

附录 322

一、名词索引 322

二、文献目录 328

第一章 机械化支架与顶板的相互作用的 研究现状与方向

第一节 机械化支架及其主要参数

机械化支架综合机组是目前井工采煤时实现大幅度增产，提高劳动生产率，保证生产安全和降低成本的设备。

现在苏联成批生产和广泛使用的机械化支架综合机组有：KM-81，KM-87，KMK-97，《顿巴斯》，MK，OMKGM，KTY和它们的改进型^[32,45]。另外还有一系列其他机械化支架综合机组处在不同的研制阶段。

国外大量生产各种类型机械化支架的公司如下：英国——《道梯》；《西蒙-伽利克》，《维尔特》，《费列特切》《液压电气公司》，《地下采矿设备公司》《多布逊》，《休伍德》，《鲍恩泽尔》；西德——《赫姆夏特》，《威斯特伐利亚》，《克吕克纳-费罗迈蒂克》，《埃增休捷》，《史瓦尔兹》，《莱茵钢铁公司》，《贝卡利特》，《惠施》；法国——《索迈米》，《玛列尔》；奥地利——《艾列·蒙坦钢铁公司》；美国——《采矿进步公司》及其他公司。

表1列出了1961到1974年期间苏联生产的机械化支架的应用概况^[47]。由此表可见，装备机械化支架的工作面个数持续地增加，支架使用的效果也不断提高。在十年期间（1961~1971）采用机械化支架的工作面个数差不多增加了5倍，这些工作面的产量增加了16.5倍，工作面劳动效率提高了1倍，工作面单产提高了2倍。1974年，这些工作面的产量占井工总产量的41.5%，占缓倾斜及倾斜煤层产量的54.1%。每年生产200多套机械化支架。

采用机械化支架的工作面的单产和劳动效率大大高于相似条

表 1

指 标	1961年.	1966年.	1967年.	1968年.	1969年.	1970年.	1971年.	1972年.	1973年.	1974年.
机械化支架工作面个数	110	331	437	529	543	581	629	703	780	867
百 万 吨	7.0	36	50.0	67.0	88.0	101.8	122.2	147.2	173	198.1
年 产 量										
占矿井总产量的百分比%	2.0	8.2	11.3	15.2	19.6	22.0	26.5	31.5	34.6	41.5
占缓倾斜和倾斜煤层 的百分比%	—	—	15.5	20.8	26.4	30.0	35.3	41.7	48.1	54.1
机械化支架工作面	240	442	—	600	627	710	735	787	841	865
工作面日平均产量										
浅截深单体支柱工 作面	—	—	—	—	—	—	560	595	629	648
日平均产量等于或大于1000吨的机械 化支架工作面个数	—	—	—	100	149	—	260	348	400	—
采煤工作面平均 效率, 吨										
机械化支架工作面	6.9	10.8	11.2	12.2	12.8	13.7	13.75	15.0	—	—
浅截深单体支柱工 作面	—	—	—	—	—	6.40	6.41	6.45	—	—
准备好的机械化 支架的数量										
成套工作面	—	194	219	217	212	242	—	—	—	—
米	—	18320	24160	20860	23100	29640	—	—	—	—

件下采用单体支架的工作面。许多机械化支架工作面的平均日产等于或高于1000吨。

尽管在研制、推广和使用机械化支架方面已取得了显著成绩，但是至今在这方面尚有许多问题没有解决。例如，在急倾斜煤层，机械化支架从根本上讲还没有得到工业性应用。在急倾斜煤层，仅有KГД和AⅢ型两种机械化支架综合机组进行了工业性试验，1974年成批生产的16种机械化支架综合机组中，仅有两种用于急倾斜煤层。对于厚度小于0.7~0.75米的薄煤层，机械化支架仅处在试验阶段。对于极不稳定的和要求高支架阻力的难管顶板，以及极松软的底板，现在还没有专用的机械化支架。现有机械化支架的合理使用条件也还没有很准确地确定下来，因而常常导致支架的使用效果不好，甚至必须过早拆移。现有的和新研制的支架的参数合理性问题亦尚未解决。

表2列出了1971年1月1日开始实行的苏联国家标准ГОСТ 15852-70规定的缓倾斜煤层机械化支架参数。国家标准仅规定了支架阻力的下限，而支架阻力应是多少，以至多大阻力是合理的，这些都没有规定。计算支架参数系列（支架在活柱伸出状态下的额定高度）时所用的顶板下沉量没有考虑支架阻力因素。对于厚度1米以下的煤层，顶板下沉量系按下式计算的：

$$\Delta l = 0.04mR \quad (1)$$

对于厚度大于1米的煤层：

$$\Delta l = 0.05mR \quad (2)$$

式中 Δl ——顶板下沉量；
 m ——煤层厚度；
 R ——从煤壁到所计算的支柱排的距离；

0.04和0.05——系数，与顶板分类有关。

公式（1）是B.T.达维江茨根据顿巴斯的条件得出的〔9〕，公式（2）是C.T.库兹涅佐夫针对兹巴斯的条件得出的〔15〕。为了得出上述顶板下沉量与煤层厚度、工作面空间宽度以及顶板分类的关系，达维江茨在各种支架类型及支架阻力下（木支柱和

木丛柱，金属支柱CДТ，СГК，单体液压支柱ГС及其丛柱，切顶支柱MOC，OKY，MOK以及机械化支架MΠK)所测得的顶板下沉量相对每一种类顶板进行了分组，并按分组数据导出了顶板下沉量与煤层厚度及工作面空间宽度之间的平均关系。库兹涅佐夫是利用库兹巴斯矿区缓倾斜煤层采煤工作面的平均顶板下沉量数据得出关系式(2)的，这些数据主要来自采用未改进的木棚支护工作面〔15〕。

因此，国家标准中所列的支架阻力参数和顶板下沉量参数是不相关的。

表 2

活柱伸出状态下 支架的额定高度， 毫 米	支架工作阻力不小于		支架的液压伸 缩系数不小于
	吨力/米 ²	吨力/米	
400 450 500	20	30	1.85
560 630 800 1000	30 30(20)	50	1.90 1.95
1400 1600 1800 2000 2240	40(20)	70	1.60

注：括号中的数表示对于莫斯科近郊煤田及与其相类似的条件下，支架顶梁支撑部分的平均工作阻力值。对这些条件，以吨力/米表示的支架阻力标准中未予规定。

还应指出，公式(1)和(2)没有考虑顶板在工作面空间内的暴露时间。

所有上述问题在制定国家标准时是不可能得到解决的。编制国家标准时利用的是当时采用单体支柱条件下所获得的矿山压力显现规律和最早应用机械化支架的少量经验。随着机械化支架应

用规模和使用条件的扩大, 选择合理的, 以至最优支架参数的问题就越来越成为一个急待解决的问题了。

采煤工作面机械化支架的作用是保证工作面劳动安全和使顶板管理与支护过程实现机械化。支架结构应该做到不难制造, 便于运输, 使用方便和工作可靠。支架的初期制造费, 运输安装费及整个服务年限内的维护费的总和应当最小。支架在多大程度上能够满足上述要求, 在很大程度上决定于支架所采用的参数。决定机械化支架与顶板的相互作用条件的主要参数是: 初撑力, 支架达到额定工作阻力前的刚度, 额定工作阻力, 初撑力和支架工作阻力沿工作面空间宽度上的分布。在所有这些参数中, 最重要的是工作阻力。支架阻力如果与工作面矿山压力显现不相适应, 将使支架与顶板的相互作用的过程由可以控制变为不能控制。支架阻力不够可能导致支架被《压死》, 甚至导致整个工作面冒顶。阻力过高, 超出需要的限度时, 将把支架与顶板接触处的岩石压碎, 支架失去护顶能力, 从而使工作面劳动条件恶化。支架阻力值是计算支架构件的基础, 因此它决定着支架的重量和造价。阻力过高不可避免地使支架结构笨重和提高造价。所以, 必须确定最佳的支架阻力, 使这种支架在制造费和生产维护费为最小的条件下, 能可靠地支护和管理好顶板。

采煤工作面支架(包括机械化支架)的最佳阻力问题, 一直为研究人员所关注。近年来, 鉴于国外出现了高阻力的机械化支架, 这个问题就更加尖锐了。例如, 英国《伽利克》公司生产了每架承载能力为300, 450, 500, 600和700吨力(即80~140吨力/米²)的支架。《道梯》公司生产有每架阻力为400和600吨力的支架。西德《威斯特伐利亚》和《史瓦尔兹》公司生产每架阻力为500~600吨力的支架。美国《采矿进步》公司亦生产这种高阻力支架。《休伍德》公司, 根据美国的订货, 制造了最新的支架样机, 每架阻力为1600吨力, 或300~400吨力/米²。

对各种文献资料〔27, 32, 39, 45, 54, 55〕进行的分析表明, 国内外现有的和正在设计的机械化支架的阻力值的变化范围很大。

用于厚度 1 米以下的缓倾斜煤层，支架阻力由 18 吨力/米²（西德《威斯特伐利亚》公司的 K1.1 型支架）变化到 100 吨力/米²（英国《道梯》公司的垛式支架）；用于厚度为 1~2 米的煤层，阻力由 20 吨力/米²（《道梯》公司的《顶板巨人 1A》型支架）变化到 300~400 吨力/米²（英国《休伍德》公司的《玛斯特巴尔》型支架）；用于厚度大于 2 米的煤层，阻力由 25 吨力/米²（捷克的 OBKA 型支架）变化到 136 吨力/米²（西德《莱茵钢铁公司》的《乌尼奥恩》型支架）。机械化支架每架的阻力在 60~1600 吨力的范围内变化。

是什么原因促使国外许多公司在生产中等阻力支架（25~40 吨力/米²）的同时，又生产高阻力支架呢？遗憾的是，在这方面，国外期刊上的许多文章基本上都是广告性的，对这个问题没有给出确切的回答。这些文章作者的意见是，增加支架阻力可以大大改善工作面顶板的支护及管理条件，并可提高支架工作的可靠性。但是，支架阻力和支架的可靠性显然不是等同的。如果支架阻力是由支护和管理顶板的要求所确定，那么支架的可靠性首先是由强度安全系数来确定。英国的一些研究人员也持有这种看法^[54]。

W.J.W. 布尔聂的文章^[55]和《采矿工程师》杂志上关于机械化支架设计问题的讨论^[54]，对这个问题作了某些阐述。根据这些资料可以认为，生产高阻力支架的原因在于制造厂商为在销售支架中获得最大利润（支架阻力愈大，支架出厂价格愈高），同时也由于美国和澳大利亚一些煤田的特殊矿山地质条件所致，这些煤田的特点是顶板坚硬稳定，悬顶不易冒落，而且采用长壁采煤法的经验很少。

很显然，为了选择最佳的机械化支架参数（首先是支架的阻力），为了确定机械化支架的合理使用条件，必须知道支架与顶板相互作用的规律，知道矿山压力的主要指标与支架参数的关系。

第二节 长壁采煤工作面支架与顶板的相互作用概念的演变

采用长壁工作面采煤是在第一次世界大战开始前不久在欧洲开始的。大战结束后，由于截煤机的出现和采矿工程机械化，长壁采煤法进一步得到发展（国外是在二十年代、苏联是在三十年代发展的）〔37〕。这就使工作面的顶板管理与支护顿时成了一个现实问题。当时工作面支架采用木支架。研究人员的主要精力集中于确定支架上可能承受的载荷和相应的支架阻力。关于支架的可缩性和顶板下沉量问题没有提到日程上来，因为顶板下沉表现为木顶梁受挤压，木柱的劈裂和断裂。这并没有引起特别的担心，因为支架反正必须砍除回掉。

从理论上来确定长壁工作面支架载荷的各种尝试均系根据不同的假说进行的。我们关心的仅是有关计算长壁工作面的支架载荷和支架阻力的建议。第一个，亦是很著名的假说，是压力拱假说。该假说的奠基人之一是B.李特捷尔（1879年），以后E.恩盖赛尔（1882年），M.费奥利（1886年），M.M.普罗托季雅科诺夫（1908年），B.哈阿克（1928年），Ж.日列特采尔及其他人〔3,12,37,38〕又发展了这个假说。目前，这个假说为Φ.什普鲁特所支持。根据压力拱假说所提出的计算长壁工作面支架载荷的公式没有考虑顶板下沉因素。例如，M.M.普罗托季雅科诺夫的公式〔3〕具有如下形式：

$$P_x = \frac{\gamma(a^2 - x^2)}{naf}$$

式中 P_x ——工作面支架上的载荷；

γ ——顶板岩石容重；

a ——拱的半跨距；

x ——从煤壁到所计算支柱的距离；

n ——每平方米顶板面积内的支柱根数；

f ——顶板岩石硬度系数。