

寇子明 著

液压支架动态特性 分析与检测

冶金工业出版社

液压支架动态特性 分析与检测

寇子明 著

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书是研究矿山机械动态特性方面的专著。作者应用现代广义设计科学体系中的信息论、系统论、控制论、对应论和优化论等方法学,系统地论述了研究液压支架动态特性的理论和方法以及在这方面取得的主要研究成果。

全书共有 8 章,主要包括:液压支架外载荷的分析计算、预测和检测的理论与方法;液压支架运动学、力学特性研究的方法与通用数学模型;建立了基于功率键合图的液压支架各工况动态数学模型及其仿真实例;自动增压初撑系统及元件的开发研制、动态优化和试验;二柱掩护支架平衡千斤顶损坏机理研究;液压支架系统及元件的动态检测方法和手段以及主动预防性维护策略等。

本书可作为机械设计与制造、机电控制与自动化、流体传动与控制等专业研究生和高年级本科生的教材,也可作为相关专业科技人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压支架动态特性分析与检测/寇子明著. 北京:冶金工业出版社, 1996. 9

ISBN 7-5024-1942-X

I. 液… II. 寇… III. ①液压支架-动态特性-分析 ②液压支架-动态特性-检测 IV. TD355

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96)



出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

河北固安印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1996 年 9 月第 1 版, 1996 年 9 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 8.125 印张; 218 千字; 247 页; 1—850 册

14.20 元

序

我看过寇子明博士撰写的《液压支架动态特性分析与检测》的书稿后,感到非常高兴。作者几年来在液压支架理论与实践研究方面做了大量艰苦细致的工作,先后承担了多项省、部级项目和一些厂矿横向合作项目,发表了多篇学术论文,在吸取前人和他本人前期成果的基础上,提出了许多创新的学术观点和方法。

液压支架是综采工作面实现高产高效和保证安全的关键设备。经过近30年来的艰苦努力,我国液压支架在架型设计、结构设计和加工制造等方面取得了较为丰富的经验,并达到或接近国际水平。近年来在液压支架及其液压系统动态性能研究、控制技术、计算机辅助设计等方面也取得了相当进展。随着高产、高效综采技术的迅速发展和机、电、液一体化技术的应用,对综采装备的可靠性和动态特性的要求越来越高。故研究液压支架的动态特性,具有重要的理论意义和实用价值。

正如作者在书中论述的,采场围岩的复杂性、支架与围岩作用的相关性,决定了液压支架工况条件的千变万化,决定了液压支架动态性能的复杂性和随机性。因此,研究液压支架动态特性必须把液压支架的载荷分析和预测作为进行动态特性分析的前提,而把动态特性研究结果作为识别支架-围岩相互适应性的依据。只有把对液压支架动态特性研究和对矿山压力的研究密切联系起来,才有可能得到与实际吻合的研究成果。

作者善于综合应用现代广义设计科学体系中的各种方法学,理论密切联系实际,能够抓住核心问题,多有创新和突破。例如,作者建立的反映支架运动过程的单自变量代数方程组,使对支架连杆机构的设计计算变得更为简捷和准确,并为支架的优化设计和动力学研究打下良好的基础。书中提出的自动增压初撑系统,原理正确、结构简单,可缓解供液系统中对高压力要求和流量

要求的相互制约关系，有重要的推广应用价值；对二柱掩护支架平衡千斤顶的损坏机理所作的研究是深刻的，提出的改进措施有一定的参考价值；对支架液控单向阀卸载冲击机理的论述是准确的，对液压支架的进一步改进和设计有一定的指导意义。

本书层次清楚，行文流畅，深入浅出，是关于液压支架理论与实践研究方面的一本好的论著。我相信这本书的出版大有裨益于我国综采技术的发展和矿山机械工程的教学与研究。

耿兆瑞

1996年4月10日

前 言

高产高效综采技术的迅速发展，迫切要求综采装备具有较高的可靠性和良好的动态特性。高度机、电、液一体化综采装备的应用和无人采煤工作面的出现给矿山机械的设计和研究带来许多新的难题，传统的经验设计法或静态研究法不再十分奏效。因此，分析研究矿山机械的动态特性，探索相关理论体系和研究方法是十分必要的。作为综采工作面关键设备的液压支架更具有特殊性，其中固液耦合作用、采场围岩与液压支架相互作用、高水基高压液控系统的冲击作用等问题决定了研究液压支架动态特性的复杂性。显然依靠单一的理论和方法来研究其动态特性是不可能的，而必须站在现代化广义设计科学的高度，吸收信息论、系统论、对应论、控制论和优化论等方法学的精华，有机地结合流体传动与控制、机械动力学、采场矿山压力与围岩控制等学科的理论方法和研究成果，形成一个较为完整的研究液压支架动态特性的理论体系和研究方法。

本人围绕着上述问题和设想，进行了十分艰苦的研究工作，并在邵荷生、沈立山两位教授指导下完成了“液压支架动态特性及其自动增压初撑系统”的博士学位论文。先后主持或直接参与了2项煤炭部科学基金项目，1项山西省重点攻关项目，1项山西省青年基金项目，1项煤炭部青年基金项目，5项厂矿合作项目。这些工作奠定了本书的写作基础。

为了深入了解液压支架动态特性与矿山压力及围岩控制的关系，本书把液压支架载荷分析和预测作为进行动态特性分析的前提，而把动态特性研究结果作为识别支架-围岩相互适应性的依据，从而把对液压支架的研究和对矿压的研究密切联系起来。事实上，也只有将采场围岩与液压支架作为一个整体系统来研究，才

有可能得到与实际吻合的研究结果。

本书的另一个特点是把液压支架动态特性的理论研究和试验研究作为相辅相成的两个方面。理论研究的目的在于建立描述液压支架动态特性的数学模型,并依据该动态数学模型分析各种因素对动态特性的影响,进而进行动态优化设计;而试验研究的目的在于验证其动态数学模型,并确定有关的软参数,使得动态优化设计得以实施。在试验研究中,检测技术和手段起着重要的作用。

本书的完成,与沈立山教授、许步勤教授、熊诗波教授的指导密切相关,也得到靳钟铭教授、贾喜荣副教授、杨艾奇副教授、樊淑趁博士、许勇博士、黄晶硕士、牛毅敏工程师和研究生沈现军、张勇等同志对我的支持和帮助,作者对他们表示衷心的感谢。个别章节还参考和吸收了部分专家和学者撰写的文章或资料,这里对所有参考文献的作者也表示真诚的谢意。

本书成稿后,承蒙沈立山教授、许步勤教授等的精心审阅,并提出一些宝贵意见,作者对他们表示衷心地感谢。

虽然为写好这本书付出许多艰苦劳动,但书中难免有疏漏和不妥之处,渴望能得到有关专家和同行的指教,作者不胜感激。

本书得到煤炭科学基金和山西省青年科学基金的资助。

寇子明

1996年4月于太原

目 录

1	液压支架的发展状况和研究途径	1
1. 1	综采技术的发展状况	1
1. 2	液压支架的发展状况	6
1. 3	液压支架的研究途径	11
2	液压支架载荷的分析与检测	13
2. 1	液压支架与围岩的关系	13
2. 2	液压支架载荷的确定方法	20
2. 3	液压支架载荷的预测	24
2. 4	液压支架的动载荷	31
2. 5	液压支架载荷的检测	39
3	液压支架工况与特性分析	46
3. 1	液压支架的工况分析	46
3. 2	液压支架支柱的工作过程	49
3. 3	支架的液压系统	54
3. 4	液压支架运动特性分析	61
3. 5	液压支架力学特性分析	65
4	支架液压系统的状态方程	71
4. 1	支架液压系统动态特性概述	71
4. 2	乳化液泵站及供液回路的状态方程	76
4. 3	立柱升降控制回路的状态方程	80
4. 4	推移控制回路的状态方程	87
4. 5	支架卸载冲击机理与状态方程	94
5	支架液压系统及元件的数字仿真	103
5. 1	数字仿真的基本模型	103
5. 2	支架液压系统工作方式的数字仿真	107
5. 3	液压支架移架过程的数字仿真	112
5. 4	立柱控制回路冲击过程的数字仿真	115

5. 5 溢流阀动态特性的数字仿真	118
6 液压支架自动增压初撑系统的研究	125
6. 1 液压支架初撑力的问题	125
6. 2 液压支架的增压初撑系统	131
6. 3 自动增压阀的研制	134
6. 4 自动增压阀的仿真试验	139
6. 5 自动增压初撑系统的仿真研究	144
6. 6 自动增压阀的试验研究	146
7 二柱掩护支架动态特性的研究	157
7. 1 二柱掩护支架的概况	157
7. 2 掩护支架运动学分析	160
7. 3 掩护支架力学特性分析	167
7. 4 掩护支架结构参数的优化设计	174
7. 5 掩护支架的自动补液控制系统	176
8 液压支架及其元部件动态特性检测	184
8. 1 液压支架整机测试	185
8. 2 液压支架元部件的测试	191
8. 3 液压支架供液系统的测试	202
8. 4 液压支架相似模型试验系统	207
8. 5 综采工作面支护质量的动态监测	213
附录 1 功率键合图的作用、构成和符号	221
附录 2 液压支架动态特性仿真程序 CSSA 使用说明与程序 清单	224
参考文献	243

Analysis and detection of the Dynamic Properties of Powered Supports

Contents

- 1 The development and study method of powered supports
 - 1.1 The development of all-mechanized technology
 - 1.2 The development of powered supports
 - 1.3 The study method of powered supports
- 2 Load analysis and detection of powered supports
 - 2.1 The relationship between powered supports and rock mass around
 - 2.2 Load determination method of powered supports
 - 2.3 Load forecast of powered supports
 - 2.4 Dynamic load of powered supports
 - 2.5 Load detection of powered supports
- 3 Operating mode and property analysis of powered supports
 - 3.1 Operating mode analysis of powered supports
 - 3.2 Operating procedure of powered prop
 - 3.3 Hydraulic system of supports
 - 3.4 Kinematics property analysis of powered supports
 - 3.5 Mechanics property analysis of powered supports
- 4 State equations of powered support system

- 4. 1 Summary of dynamic properties of powered support system
- 4. 2 State equations of emulsion pump station and feeding circuit
- 4. 3 State equations of elevation control circuit preps
- 4. 4 State equations of push control circuit
- 4. 5 State equation and impact mechanism powered supports unloaded
- 5 Dynamic property study of powered support system
- 5. 1 Digital simulation of support hydraulic system
- 5. 2 Digital simulation of operation mode in the support hydraulic system
- 5. 3 Digital simulation of advance procedure of powered supports
- 5. 4 Digital simulation of impact procedure in the props controlling circuit
- 5. 5 Digital simulation of dynamic properties of overflow valve
- 6 Study of a system for automatic boosting the setting pressure of powered supports
- 6. 1 Problems about setting pressure of powered supports
- 6. 2 A system for automatic boosting the setting pressure of powered supports
- 6. 3 Research of automatic pressure-increase valve
- 6. 4 Simulation experiments of automatic pressure-increase valve
- 6. 5 Simulating study of the system for automatic boost-

- ing the setting pressure
- 6. 6 Experimenting study of automatic pressure-increase valve
- 7 Dynamic properties for two-legged shield supports
 - 7. 1 Summarization of two-legged shield supports
 - 7. 2 Kinematics Analysis of shield supports
 - 7. 3 Mechanical property analysis of shield supports
 - 7. 4 Optimal design of structural parameter for powered supports
 - 7. 5 Automatic feeding control system of shield supports
- 8 Dynamic property detection of powered supports and its components
 - 8. 1 Global test of powered supports
 - 8. 2 Test of components in powered supports
 - 8. 3 Test of feeding system in powered supports
 - 8. 4 The similar model experimental system of powered supports
 - 8. 5 The dynamic supervisory test of supporting standard on the all-machined face
- Appendix1 Usage, constitute and symbol of power bond graph
- Appendix2 Operation instruction and program sheet of dynamic property simulating program CSSA of powered supports

References

第 1 章 液压支架的发展状况和研究途径

1. 1 综采技术的发展状况

20 世纪 50 年代中期,随着科学技术的不断发展,一种用于变革煤炭开采工艺新技术、新装备的综合机械化采煤技术出现了。从 1954 年在英国诞生了第一个综采工作面后,综采技术就不断得到发展和完善,在世界范围内得到广泛的应用,成为煤炭工业技术发展的方向。到 1970 年英国已装备 700 个综采工作面,德国已装备 400 个综采工作面,其综采程度均达到 90% 以上。随后综采技术在日本、波兰、法国、前苏联等主要产煤国家得到了进一步的推广应用,同时也被向来以房柱式连续采煤机开采为主的美国、澳大利亚和南非等国家所采用。近几年来,世界综采技术和装备发展更快,高产高效综采工作面层出不穷,已有一大批综采工作面平均日产上万 t 以上,并向一矿一面发展。1988 年在澳大利亚瓦隆岗召开的“21 世纪高产采煤系统国际研讨会”指出,90 年代至本世纪末将出现日产 3~4 万 t 的高产综采工作面,单产工作面矿井是今后的主要方向。

从 1970 年在大同矿务局试验第一套国产综采设备以来,综采技术在我国已有了 20 多年的发展历史。通过引进消化、自行开发研制及推广应用,取得了许多经验和成绩。特别是从 80 年代后期开始,在不断提高综采装备水平的同时,先后提出以提高单产、单进、工效及集中生产的“现代矿井”建设和“高产高效矿井”建设的发展方向,使我国的综机采煤技术有了较大的发展。图 1-1 中的各种曲线全面地反映了我国综采技术的发展状况。图 1-1 (a) 所示为全国统配煤矿综采产量与程度。到 1994 年底综采产量达 165.6Mt,综采程度为 44.75%。图 1-1 (b) 所示为综采装备套数

和年平均综采工作面数。到 1994 年底在籍综采设备 509 套, 动用综采设备 380 多套, 年均综采工作面有 242 个 (其中百万吨以上 53 个)。图 1-1 (c) 所示为综采工作面的产量和工效。1994 年综采工作面最高年产量为 272.3 万 t, 最高工效为 128.3t/工 (全员工效为 10t/工)。图 1-1 (d) 所示为综采矿井死亡率。综采矿井死亡率呈逐年下降趋势 (其变化规律可拟合成指数曲线), 近几年来一直控制在 0.1 人/百万吨左右。

综合分析图 1-1 可以发现, 我国已形成高产高效矿井的初步规模, 减面减人提效取得了预期的成果。由于高产高效技术给采矿业注入了巨大的活力, 1995 年已出现了年产 300 万 t 以上、全员效率 10t/工以上的综采工作面。可以预见, 在今后的几年内高产高效综采工作面的数量、全员效率和年产量都会有进一步的增加和提高。特别需要指出的是, 我国的综采放顶煤技术发展 to 较高的水平。自 1984 年第一套综采放顶煤支架在沈阳蒲河矿下井试验以来, 经过反复试验、改进和不断完善, 先后已有 29 个矿务局 57 个矿应用了综采放顶煤技术, 共开采了 220 个工作面。工作面平均单产达到 50.8 万 t/a, 平均工效为 34.01t/工, 回收率平均为 79.7%, 采区回收率为 71.7%。

锚杆支护技术的应用是巷道支护技术的一次革命。中国早在 50 年代就开始使用这一技术, 但发展缓慢。1975 年煤炭工业部将锚杆支护和锚喷支护列为巷道支护技术的发展方向, 但多用在开拓和准备的岩石或半煤岩巷道中。到 1994 年, 在籍巷道锚杆支护率为 35%, 煤巷支护率仅为 20%, 还有较大的差距。

尽管中国综采技术在近几年有了较大的发展, 但与先进产煤国家相比, 无论从速度上还是在技术水平上, 差距还很大, 特别是综采矿井的经济效益很低。煤矿用人多、效率低、效益差、事故多、安全状况不稳定等问题, 还没有从根本上得到解决。其原因主要有以下几个方面: 综采装备生产能力偏低, 且其配套性和可靠性都较差, 致使设备的利用率很低; 综采矿井的生产环节和辅助系统配套不够, 往往受开拓、运输、提升、通风、供电、供

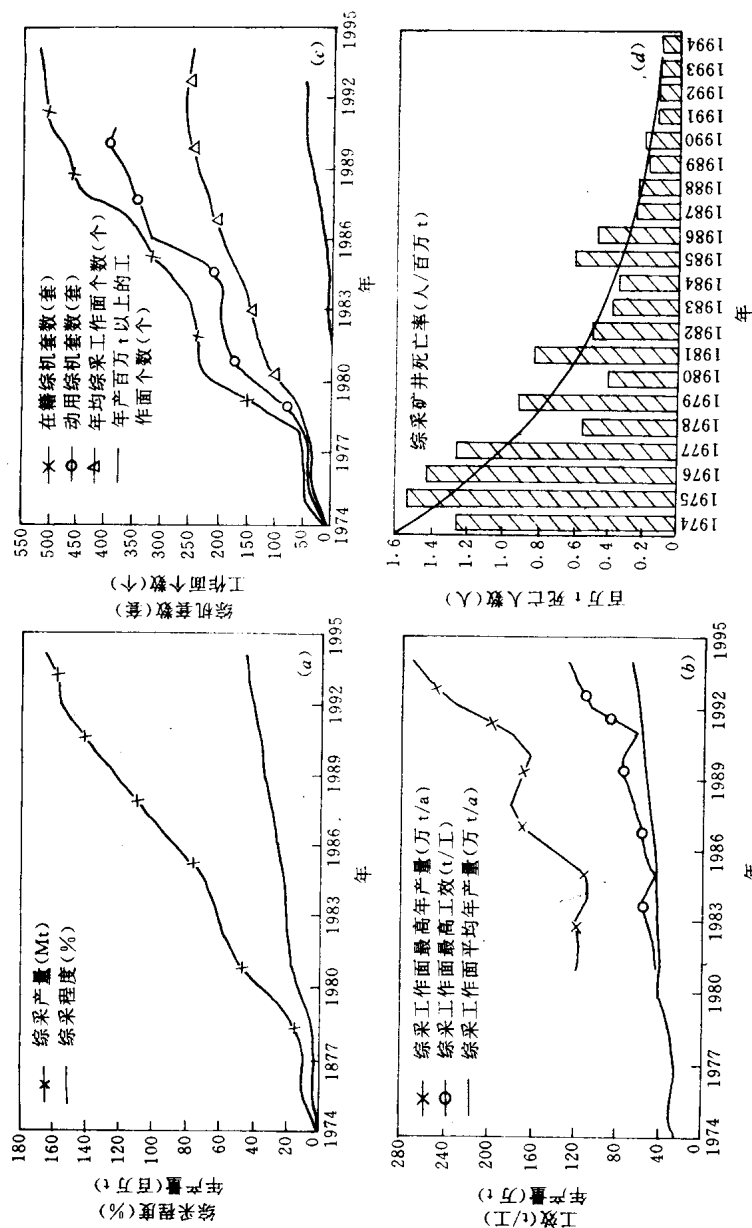


图 1-1 我国综采技术的发展状况

液等许多环节的干扰和制约；地质条件预测不够准确，回采工艺及参数的选择不够合理；生产管理水平低，综采队伍素质较低等。以上问题中，综采装备的问题是核心问题。其一是设备的适应性和配套性较差，其成套设备的性能还不能完全满足高产高效的要求。其二是设备的质量不够理想，运行状态监测、故障诊断和计算机控制等先进技术在综采装备没有得到广泛应用，致使机电事故多、寿命低，可靠性得不到有效的保证，影响设备的开机率和利用率。

基于上述发展状况，煤炭工业部针对高产高效综采矿井的建设，提出了把研究放顶煤综采技术、煤巷锚杆支护技术和解决综采装备问题等列为“九五”重大攻关方向。

1. 1. 1 综采装备的合理选型

综采装备的合理配套是涉及多学科的复杂系统工程。综采装备配套性差也是引起综采工作面停机的主要原因之一。故对综采装备进行合理选型，避免决策者个人偏见或感情色彩的影响是非常重要的。根据国内综采技术的发展状况和有关专家的思想，提出了适用高产高效工作面综采装备的4种模式，如表1-1所示。对于分层开采高产高效综采工作面主要设备配套可参考晋城古书院矿、铁法晓南矿的模式1和兖州南屯矿的模式2；对于放顶煤开采高产高效综采工作面主要设备配套可参考晋城凤凰山矿、兖州兴隆庄矿的模式3和潞安漳村矿、阳泉一矿的模式4。模式1、3是指年生产能力200~300万t，全员效率10t/工以上的矿井；而模式2、4是指年生产能力100~200万t，全员效率5t/工以上的矿井。兖州南屯矿模式是指1992年的综采装备，该矿现已改为放顶煤开采。

需要说明的是，上述几种模式中的有关设备不是唯一确定的，而是可用性能和生产能力相似的同类产品所替代。在实际生产中，即使是采用同一模式的不同工作面或矿井，由于管理水平、人员素质以及地质条件等差别的存在，也可能出现差距较大的技术经济指标。因此，综采装备的选型应因地制宜。在开采条件许可的

表 1-1 国内部分综采工作面的主要设备

	液 压 支 架	采 煤 机	刮板输送机	开 采 方 式	生 产 能 力
晋城古 书院矿	ZZP4400-17/35	EDW-450/1000L 德国艾克卡公司	1000HB280 德国 HB 公司	分层开采	年 产 200~300 万 t
铁 法 晓南矿	ZZP4400-17/35	MG400-W MG2X400-W	SGZ880/ (2~3) 400W 交叉侧卸	分层开采	年 产 150~250 万 t
阳 泉 一 矿	ZFS4400-17/26 中位放顶煤	KWB-3RDU W/S 波兰	SGZ-764/264 前 SGZ-630/220 后	放顶煤开采	年 产 150~250 万 t
晋城凤 凰山矿	ZFS500-16/32B 低位放顶煤	MXA-600 国产	SGB-761/264 前 SGB-764/264 后	放顶煤开采	年 产 200~300 万 t
潞 安 漳村矿	ZFD400 高位放顶煤	MXA-300 国产	SGZ730/400	放顶煤开采	年 产 150~250 万 t
兖州兴 隆庄矿	ZFS5200-17/35 低位放顶煤	AM-500 国产	SGB-764/264 前 SGB-764/400 后	放顶煤开采	年 产 200~300 万 t
兖 州 南屯矿	FDT550/4	AM-500	SGB-764/264	分层开采	年 产 100~200 万 t