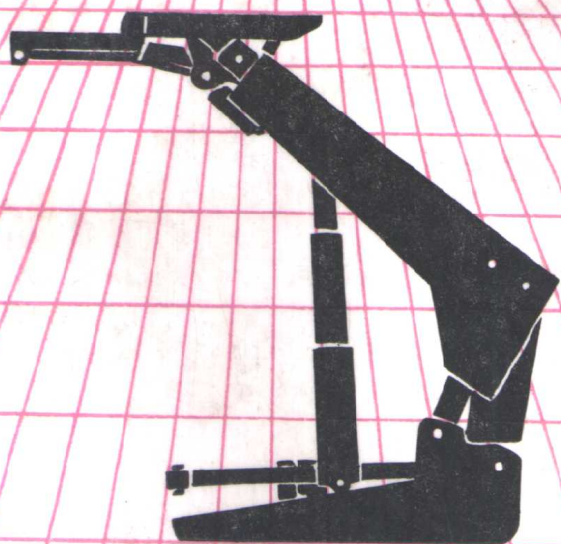


液压支架结构 与材料的优化设计

朱诗顺 著 · 沈立山 罗恩波 杨振复 审



煤炭工业出版社

液压支架结构与材料的 优化设计

朱诗顺著

沈立山 罗恩波 杨振复审

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

液压支架结构材料的优化设计 / 朱诗顺著. - 北京: 煤炭工业出版社, 1996

ISBN 7-5020-1327-X

I. 液… II. 朱… III. 矿山支护-液压金属支柱-结构材料-最佳化-设计 IV. TD350.4

中国版本图书馆CIP数据核字 (96) 第08086号

液压支架结构与材料的优化设计

朱诗顺著

沈立山 罗恩波 杨振复审

责任编辑: 翟 刚

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092 mm^{1/32} 印张 6^{1/4}

字数 154 千字 印数 1—400

1996年8月第1版 1996年8月第1次印刷

书号 4095 G0366 定价 11.70元

前 言

优化设计是以数学理论为指导的，以计算机为基本实现手段的现代设计方法。而目前普遍采用的机械设计则是以手册、图表和设计者经验为基本依据，以人工简单计算与制图为主要实现手段的传统设计方法。两者的主要区别是：传统设计只能考虑设计工作中极少数的主要影响因素、比较简单的工作状况和受载状态，仅能实现少数几个设计方案的简单技术经济对比分析，设计者的主观意识、传统习惯及工作经验对所设计产品的质量可靠性、经济合理性和技术先进性起着关键性的作用；而优化设计则是通过数学分析的方法，建立包含众多的对所设计产品的可靠性、经济性和技术先进性有影响的各关联因素的优化设计数学模型，并同时根据技术经济的可行性，确定设计参数的可行取值范围，即性态和几何约束条件，采用计算机对成千上万个设计方案进行综合可行性分析和技术经济比较，最后确定一个或几个质量最可靠、技术上最先进、经济上最合理的能够完全满足工程实用要求的最佳设计方案。

优化设计的根本目的，是为了尽可能地提高产品的质量、降低设备的重量或制造成本，对重量大、批量大、投资大的机械设备尤其如此。液压支架是以承力为主的、生产安全性和工作可靠性要求很高的煤矿综采工作面关键性设备。一个装备100架支架的标准综采工作面，支架总重达1500t以上，设备投资超过1500万元。全国每年新增综采工作面50个

ABA/4/03

以上，用于制造液压支架的钢材用量达7万t以上，因此，对液压支架进行优化设计具有特别重大的技术经济效益。

作者近年来一直从事液压支架结构与材料的优化设计研究工作。现将有关的研究成果加以总结写成本书，藉以抛砖引玉。通过对研究成果的实践认为：对于液压支架这类批量大、原材料费用高的大型设备，应以整体优化和局部优化设计相结合，在优化设计过程中，采取适当的人工干预，可以达到设计过程简便和高效率的结果。进行支架结构参数的优化设计，可以较大幅度地降低其重量和原材料成本。如在各种材料的强度等级合理匹配并且加工工艺可行的条件下，实施结构参数和结构材料的同步优化设计，可使设备重量和原材料成本更大幅度地降低。

本书由朱诗顺博士著，沈立山教授，罗恩波、杨振复高级工程师对全书进行了审校。由于作者水平所限，错误在所难免，恳请广大读者给予批评指正。

作 者

1996.1.28

内 容 简 介

本书系统、全面地介绍了以承力为主的煤矿综采工作面关键设备——液压支架的结构参数与结构材料优化设计的理论与方法，并通过实例介绍这一理论与方法的应用技术与实施步骤。其主要内容包括：液压支架外载荷特征及受力分析，液压支架梁体结构的强度分析，液压支架结构优化设计的理论与方法，液压支架结构材料优化设计的理论、方法与实验，液压支架结构与材料优化设计的应用，液压支架强度设计与强度试验的计算机仿真。

本书可供从事优化设计研究以及液压支架研究、设计的工程技术人员参考，亦可作为在校研究生、大学生的学习参考教材。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 国内外液压支架优化设计研究的现状 及存在问题	4
第三节 液压支架的基本结构	7
第二章 液压支架外载荷特征与受力分析	20
第一节 液压支架外载荷的特征	20
第二节 液压支架结构的受力分析	23
第三节 液压支架强度试验方法	34
第四节 小结	39
第三章 液压支架梁体结构的强度分析	40
第一节 梁体结构断面的基本形状和有关假定	40
第二节 梁体承受对称载荷时的强度计算	45
第三节 梁体承受非对称载荷时的强度计算	52
第四节 梁体结构中盖、腹、隔板的局部强度 及稳定性	58
第五节 加劲肋及其他约束对梁体强度和稳定性 的影响	72
第六节 支架整体强度和稳定性计算	85
第七节 小结	90
第四章 液压支架结构优化设计的理论与方法	91
第一节 支架结构的主要优化设计方法	91
第二节 支架结构优化设计断面的确定	99
第三节 支架结构优化设计变量和目标函数	106

第四节	支架结构优化设计的约束条件及其简化	113
第五节	支架结构与材料优化设计通用软件功能简介	117
第六节	支架优化设计计算机软件使用介绍	119
第七节	小结	124

第五章 液压支架结构材料优化设计的理论、

方法与实验	125
-------	-----

第一节	液压支架结构材料优化设计的概念	125
第二节	液压支架结构材料优化设计的理论与方法	129
第三节	常用材料力学性能实验	141
第四节	材料优化结构实验	144
第五节	小结	150

第六章 液压支架结构与材料优化设计的应用

第一节	MTZ720支架顶梁结构参数优化设计	153
第二节	MTZ720支架顶梁结构材料优化设计	159
第三节	结构参数与结构材料优化设计的技术 经济效益分析	160
第四节	MTZ720支架实验应力和有限元应力分析	164
第五节	小结	168

第七章 液压支架强度设计与强度试验的

计算机仿真	171
-------	-----

第一节	概述	171
第二节	仿真模型的建立方法	175
第三节	实验室试验工况的计算机仿真	184
第四节	支架局部载荷的仿真	184
第五节	支架整机强度的仿真试验设计与结果分析	188

参考文献	190
------	-----

第一章 绪 论

第一节 概 述

液压支架作为长壁综采工作面的关键设备,近年来得到迅速的发展。一方面,综采工作面的自动化程度有了很大的提高。如美国、澳大利亚、南非等80年代起推广使用长壁综采技术的国家,为了节约昂贵的劳动力费用,增加产量,提高生产效率和降低生产成本,广泛采用高技术、高性能和高度自动化的综采设备。美国、澳大利亚的大部分长壁工作面都采用了电液控制技术,通过设在巷道内主控微机和支架本身的控制器,对液压支架的各种动作功能,对采煤机的截割状态以及刮板输送机等配套设备的运行状况实行多种方式远距离的程序控制和性能监测。同时,为了便于自动控制和提高设备运转的可靠性,他们要求支架的结构和动作功能尽可能的简单,因而大量采用整体顶梁的高支撑阻力的两柱掩护式支架,以保证回采工作面的快速推进。为了保证支架在工作过程中结构的强度绝对可靠,他们不惜制造成本,要求设计的支架的额定工作阻力高出实际所需工作阻力的1倍左右,因而大量采用高强度的低合金钢板。钢材强度的屈服极限达到700~1200MPa,为我国支架常用低合金钢板强度的2~3.6倍。钢材强度高既保证了结构的工作可靠性,也降低了支架的重量。即使设备购置费用加大,但与劳动力费用和维修费用的降低相比较也是相对合理的。所有这些都与美

国、澳大利亚、南非等国的煤层赋存条件简单、开采技术条件优越、设备配套能力充足、资金雄厚、工人技术素质好、企业管理水平高以及原材料在支架成本构成中比重较低是相适应的。他们以高投资为代价，来获得设备的高性能、高技术、高阻力、高功率，以保证工作面的高产出和高效率。因此，德国、英国等先进国家的支架制造厂商，由于其设计手段先进、加工设备精良、原材料质量好的优势，所生产的液压支架的工作阻力高、重量较轻、技术先进，但价格十分昂贵。

另一方面，中国、俄罗斯等煤层赋存条件多样、复杂的国家，致力开发了适应各种煤层条件的、多功能的系列液压支架。如适应于坚硬煤层顶板条件的高阻力强力支架，适应于厚煤层开采的大采高和放顶煤液压支架，适应于薄煤层开采和急倾斜煤层开采的特种支架等。尽管这些液压支架的自动化程度与国外先进国家相比还较低，但与原开采方法及所使用的设备相比较，仍然有了长足的技术进步。我国目前也正在开发研制达到国际水平的高产高效成套设备，并且取得了很大的成功。总之，随着综采技术的推广和生产经验的积累，工人技术素质的提高，新型支架的研制与创新，使液压支架的应用范围不断的扩大，已由单一煤层、分层开采，逐步应用于坚硬板煤层、“三软”煤层、特厚煤层、薄煤层和急倾斜煤层的综合机械化开采。由于液压支架应用条件的复杂化，开采方法的多样化和高产高效的要求，就普遍要求支架的结构强度大，支护阻力高。而要满足支架结构强度大、工作阻力高的要求，一是采用目前国内不能满足的进口优质高强度钢材，这样势必大幅度增加支架的制造成本；二是采用国产钢材，增大支架的结构，这样一来不仅增加了支架的

制造成本，还大幅度地增加了支架的重量，给支架的运输、使用、搬迁和安拆维修都来了许多困难。因此，目前因液压支架结构强度加大、工作阻力提高而导致支架重量和制造成本的大幅度增加已成为摆在支架的制造企业和使用单位面前的一个十分尖锐的问题。

在液压支架的重量构成中，顶梁、底座、掩护梁和连杆组等结构件占支架总重的85%左右。在支架的成本构成中，原材料费用占55%~66%。高强度的优质钢材只能依赖进口，其价格比国内钢材高出50%以上，而且不能保证供应。目前，煤炭生产企业资金严重不足，开采难度加大。煤机制造行业经济效益差。在社会主义市场经济条件下，如何以优质、高性能和价格适宜的支架来满足煤矿的生产要求，是摆在广大企业家和工程技术人员面前急需解决的重大课题。作者认为，在提高支架性能，加大结构强度和工作阻力的同时，相对地降低支架的重量和制造成本，最关键和最有效的技术手段是从产品的设计入手，改以经验、手册为主的传统设计为以数学理论指导的、以电子计算机为基本手段的现代设计。据统计，产品成本的60%以上是在设计阶段就已经确定，而象液压支架这类以原材料成本为价格主体的产品，则这个比例数将大为提高。因此，要降低支架的成本，降低支架的重量，首先宜从占支架总重量85%以上的结构件的设计入手，对结构采用优化设计，研究支架结构优化设计的理论、方法与准则，并且切实应用到具体的设计工作中去。要更进一步降低支架的重量和制造成本，就必须在进行结构参数优化设计的同时，进行结构材料的优化设计。

第二节 国内外液压支架优化设计研究的 现状及存在问题

目前,国外液压支架设计,在设计手段上普遍采用了电子计算机,在设计方法上是传统设计与现代设计相结合。对于支架结构的零部件设计,普遍采用了计算机辅助设计与制图,使图纸的设计精度和设计质量都有了很大的提高。其设计的图纸和有关参数,可以提供于数控机床和光电跟踪切割机加工零件时使用,大大提高了零件的加工精度和制造质量,节省了人工放样、加工的工时,消除了手工操作所产生的误差。在结构的强度设计方面,也比较普遍地采用大型的结构静动力有限元分析软件,模拟支架在煤矿井下的实际受载工况或在实验室中支架样机强度试验的有关工况,通过计算分析,对整个支架各部位的结构强度进行比较准确和全面的了解。所有这些,都是由于国外发达国家计算机及计算机技术的高度普及和大型结构分析有限元软件的推广应用的结果。

在支架的结构优化设计方面,国外也做了许多工作。但是,由于支架的原材料费用在其产品成本构成中所占的比例不大,所以他们把更为主要的精力投入到支架功能的增加、支架性能的提高和产品质量的改进等研究工作上,如采煤工作面电液控制系统的研制与改进,无人操作的难采煤层、条件恶劣的采煤工作面支护以及采煤、运输设备的研制等。支架功能的增加、性能的改进和产品质量的提高,必然使产品价格大幅度的提高,但与国外发达国家昂贵的劳动力价格相比较,其技术经济性仍然是比较合理的。所以,国外目前支架优化设计的侧重点,不是放在支架的结构优化设计上,而是放在与他们企业的发展相适应、市场相适应的产品功能增

加、性能改善和产品质量提高等研究方向上。

在我国，煤矿地质及生产技术条件均比较复杂，资金不足，钢材紧缺，特别是高强度钢材紧缺。无论是液压支架的制造企业还是使用单位，在经济上、技术上都面临着巨大的困难。对于煤矿企业，为了满足工作面高产高效的要求，必须加大支架的结构强度，提高支架的工作阻力和工作可靠性，但又希望尽可能地降低支架的重量和购置费用。支架工作阻力的提高和结构强度的加大，可以带来支架较高的安全性和工作可靠性，但也会增加支架的重量和结构的体积，给工作面的设备配套环境，井巷及工作面的开掘、布置，以及对煤层厚度、倾角等条件的适应性都会带来一定程度的影响，而不仅仅是增加设备购置费用的问题。对于支架的制造企业，在满足煤矿要求的条件下，尽可能合理地利用高强度的优质钢材，在降低支架的重量的同时，尽可能地降低支架的制造成本，这又是一个需要解决的重大技术经济问题。支架的设计与制造是一个大的系统工程，如何使得煤矿和支架制造企业在不增加人力、设备和投资的前提下，获得重大的技术经济效益，根本的出路还是在于依靠技术进步，而成本最低、效果最为显著、实现最为快捷的办法是改产品的传统设计为以优化设计为核心内容的现代设计。

目前，我国包括支架在内的众多产品设计，仍然是以传统设计为主。所谓传统设计，就是人们在设计中总是遵循着一定的设计理论，凭借着设计者本身的经验来选择设计参数，并借助一些手册、图表、经验数据来完成各种设计。这种半经验、半理论的传统设计方法常常带有一定的盲目性，使得所做的设计很难达到客观存在的最优方案。对于使用条件复杂、受载工况多变的液压支架的设计，尤其如此。

优化设计理论是现代设计理论的核心内容之一。它改传统地依靠图表、手册、经验等的静态设计为在数学理论指导下采用电子计算机技术和科学方法的动态设计，即在综合方案下利用各种数学优选方法进行参数计算的方法。近年来促进优化设计研究和应用的主要因素有三个：即近代科学技术与生产需要最适宜的方案、计划与信息；电子计算机技术和最优化计算方法的发展和相互促进，使优化设计有了可能；现代产品设计要求高速度、高质量地完成设计任务，优化才能保证这一任务的完成。所谓的优化，就是在多种因素条件下寻求使人最满意、最适应的一组参数。在传统设计中是把设计变量当作常量来看待，而在优化设计中是将设计变量当作随机变量来对待。我国在液压支架优化设计研究方面已经做了大量的工作，取得了重要的研究成果。支架优化设计研究的内容广泛，有支架性能优化设计研究，支架运动参数优化设计研究，也有以提高支架承载能力和降低支架重量为目的的结构优化设计研究。并且，有些研究成果已在生产中应用，取得了良好的技术经济效益，促进了液压支架设计水平和设计质量的提高。这些科研工作，对液压支架的设计和生產都具有一定的指导作用。但是，由于科研经费的严重不足，科研力量分散等原因，液压支架的科研设计仍存在一些没有解决或尚未完全解决的问题：

(1) 一些研究课题未能充分地结合液压支架设计、制造和使用的实际进行系统的、全面的研究。各课题之间缺乏相互联系，不能互为补充，从而使得阶段性的、分项独立的研究成果，不能有效地在生产实践中推广使用。

(2) 一些课题在研究过程中，缺乏各学科的专业人员的相互配合，研究人员与使用人员分属不同的单位，研究过

程中双方不能良好地参与、取长补短。背对背的研究成果无法直接应用于生产实践中。某些用于支架设计计算分析用软件,由于在开发过程中忽略了生产实际,使得使用人员对其无法进行维护、修改和补充,因而导致整个研究成果不能在生产中发挥效益。

(3) 在液压支架优化设计理论和方法的研究方面,纯理论、单目标的研究较多。大多数的优化研究工作只围绕四连杆长度、梁端距和一些结构的运动学参数进行,而缺少对占支架重量85%以上的主要结构件在满足外载工况的条件下,结构各断面的最优形状、结构材料的最优利用、设计计算前后数据处理最符合生产实际,以及结构参数优化、结构材料优化与经济效益之间的必然联系的研究等。而这些问题,也正是广大设计人员和生产企业最为关心、急需解决的重大课题。

第三节 液压支架的基本结构

液压支架主要由顶梁(包括前探梁)、掩护梁、前连杆、后连杆和底座组成。这些结构的共同特点是由各种钢板零件焊接而成的以承载为主要目的的箱形结构件。以TZI760—22/34型支撑掩护式液压支架为例,其总体形状如图1-1所示。

一、前探梁

TZI760—22/34型支架的前探梁结构如图1-2所示。整个结构是由若干腹板、盖板和隔板焊接而成的局部半封闭的箱体梁。尽管箱体前端薄,后端厚,而且为了满足支架的动作、联接和安装的特定工艺要求,有的箱格内没有底封板,有的地方焊接有一些与结构承力无关的辅助件,在前探梁的后端还有与主顶梁相联接的耳座和与前梁千斤顶联接的支座

等，但结构的绝大部分为由钢板焊接而成的承力结构，其重量占前梁总重的90%以上。由于前梁千斤顶的初撑力和额定工作阻力都是已知的，前梁与顶板的接触方式，前梁与主顶梁的联接方式也都较为明确和可以实现较为准确的模拟。因此，作用于前梁结构各主要断面的载荷也就比较易于求得，从而对前探梁结构的优化设计也就能够比较顺利地实现。

前探梁的主要功能是，可以灵活地通过调节前梁千斤顶的工作阻力和行程，实施对开采空间前部顶板的有效支护，防止端面顶板的早期离层和破碎，保证开采工作空间的安全。

二、主顶梁

支架顶梁有整体顶梁和铰接顶梁之分。整体顶梁是将前探梁和主顶梁合二为一，是一个整体，主要用于顶板条件好的工作面使用。整体顶梁和铰接顶梁的外形基本一致，所不同的是整体顶梁没有前梁千斤顶。为了增加支架对煤层顶板的适应性，多数支架的顶梁设计为铰接顶梁。铰接顶梁由前探梁和主顶梁组成，它们之间用销耳及前梁千斤顶联接。主顶梁一般长度较小，全长的厚度变化不大，如图1-3所示。主顶梁内除柱窝和侧推导向筒等附属件外，其余均是由钢板焊接而成的承力结构。尽管在主顶梁上嵌有柱窝（用于立柱支撑），但在忽略了一些非承力的工艺要求辅助零件后，其结构仍十分规整，便于结构各断面的参数优化设计。简化后的TZI760—22/34型支架的顶梁如图1-4所示。主顶梁优化设计的零件总重可达顶梁重量的85%左右。由此可见，虽然为适应优化数学模型的建立进行了合理的简化，使顶梁结构整齐、清楚、规范和明了，但不会降低优化设计的技术和经济效益。

顶梁为支架的主要承力结构，与顶板直接接触，受载工况十分复杂，对其强度、刚度及稳定性的要求均十分严格，

图 1-1
TZ1760—
22/34型液
压支架

