doi:10.16576/j.ISSN.1007-4414.2024.06.041

ZY5000/15/30 型矿用液压支架底座受力分析及结构优化*

董永昌

（霍州煤电集团 霍汾煤炭设计咨询有限责任公司，山西 霍州　031400）

摘　要：液压支架是矿井重要的支撑设备，支架底座作为液压支架的关键承载结构，在采煤过程中发挥着重要作用。文章以 ZY5000/15/30 型液压支架为研究对象，并借助 Ansys 有限元软件，对其开展不同工况条件下的受力分析，得出造成应力集中的根本原因。再通过增加过桥钢板的厚度、削减侧板和肋板的厚度对液压支架的底座结构进行改进，最后对改进后的结构进行仿真分析。仿真验证结果表明：底座最大应力下降近 60%，最大变形降低近 20%，达到了预期效果，试验结果为矿井的安全生产提供了理论借鉴依据。

关键词：矿用液压支架；底座受力；应力集中；结构改进

中图分类号：TH137.5　　文献标识码：A　　文章编号：1007-4414(2024)06-0148-03

Force Analysis and Structural Optimization of ZY5000/15/30 Hydraulic Support Base for Mining

DONG Yong-chang

(*Huofen Coal Design Consulting Co., Ltd, Huozhou Coal Power Group, Huozhou　031400, Shanxi, China*)

Abstract: Hydraulic support is one of the most important supporting equipment in mine, and it plays a very important role in coal mining. Support base is the key bearing structure of hydraulic support. In this paper, the ZY5000/15/30 hydraulic support is studied, and the main reason of stress concentration is found by using ANSYS software. Through increasing the thickness of bridge plate and reducing the thickness of side plate and rib, the basic structure of hydraulic support is improved. The simulation results indicate that the maximum stress of the base is decreased by 60%, and the maximal deformation is decreased by 20%, which has reached the expected effect, and provides a theoretical reference for the safety production of the mine.

Key words: hydraulic support of mine; foundation force; stress concentration; structural improvement

0　引　言

液压支架是矿山企业在实际开采过程中不可或缺的一种重要支护设备，同时也是可移动刮板输送机中不可缺少的部件。其主要作用是当回采工作面向前推进时，其可以支撑顶底板，从而保证设备的正常工作及井下作业人员的生命安全。液压支架的底座结构是液压支架的核心部位，其承受的来自上覆岩层及顶板的重力均是通过液压支架的机械臂梁传递给底座，因此其在工作过程中会承受较大的力，极易发生应力集中现象。因此，底座结构性能的好坏将在很大程度上影响液压支架整体的工作性能。笔者以 ZY5000-15/30 D 型液压支架为例，采用 Ansys 有限元软件，研究其在不同工况条件下的应力状态，并开展针对性优化，以在一定程度上提高其自身的可靠性和稳定性[1]。

1　矿用液压支架结构组成分析

目前矿用液压支架的种类已经发展出了很多种，但最常见的就是掩护式液压支架。矿用掩护式液压支架结构图如图 1 所示。

在井下支护过程中来自顶板及上覆岩层的力会通过立柱及连杆传递至底座，再经由底座传向底板。所以，液压支架的底座作为受力的关键性部位，其刚度及强度应必须符合煤矿安全生产的有关规程。

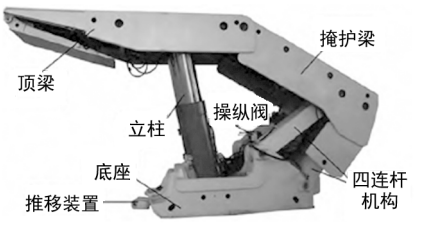


图 1　液压支架主要结构示意图

以 ZY5000/15/30 型两柱掩护式液压支架为研究对象。该型号液压支架的中心距为 1 500 mm，高度在 1 500~3 000 mm 之间，支架宽度为 1 430~1 600 mm 之间，工作阻力为 5 000 kN，支架的强度均值在 0.93~0.99 MPa 之间，底板比压均值在 2.26~3.24 MPa 之间，截割深度为 0.865 m，泵站压力 31.5 MPa，整台设备的质量约为 21.5 t。液压支架的结构组成原件包含液压原件及金属原件。考虑到液压支架的工作条件相对恶劣，其结构尺寸又比较大[2]。因此，对底座的受力情况进行不同工况下的分析探讨，并开

* 收稿日期：2024-02-20

作者简介：董永昌（1985-），男，山西临汾人，工程师，主要从事煤矿机电设备管理方面的相关工作。

展针对性优化改进是很有必要的。

2 矿用液压支架底座模型建立及受力分析

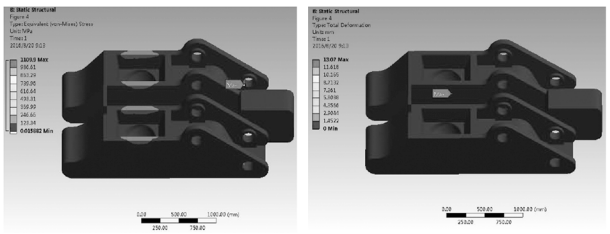
2.1 有限元模型建立

文章利用 Ansys 软件对液压支架底座进行建模并分析其不同工况下的力学特性。首先确定液压支架的底座材料,支架底座的材料均设置为 Q690 型钢,此材料的屈服应力为 690 MPa,泊松比及杨氏模量分别为 0.3 和 210 GPa,材料密度为 7 850 kg/m^3。网格的结构采用 SOLID 45 六面体元,每个单元有 8 个节点。然而,当网格尺寸变小时,得到的网格数目就会相应地增大,这样在提高精度的同时,也会导致计算效率的下降[3]。文章考虑液压支架底座的整体结构,最终将单元的尺寸确定为 50 mm,这样在确保计算精度的同时也加快了软件的运算速度。

2.2 基于不同工况下的受力分析结果

2.2.1 集中载荷作用下底座受力分析

根据上述建立的底座模型,对其进行顶板集中载荷作用下的受力分析,并借助 Ansys 软件的后处理程序提取研究所需的计算结果。对于文章研究而言,主要关注支架底座的应力及变形分布情况,具体计算结果如图 2 所示。



(a) 底座应力云图 (b) 底座位移云图

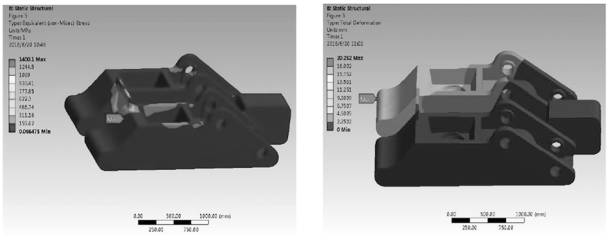
图 2 底座应力变形分布云图

从图 2 中可以看出,支架底座结构整体的受力及变形情况分布地比较均匀。对基础各部分而言,其应力分布并不十分明显,虽然局部有一定的应力与变形,但大部分区域的应力与变形都比较小,近似为 0,但也都不严重。而产生这种情况的主要原因是应力集中。

由图 2(a)底座模型的应力分布云图可以看出,底座的应力集中主要出现在立柱窝处的四个主筋板上,其大小仅为 123.34 MPa,该工况下的最大应力值为 246.66 MPa,主要分布在垫块与底座右侧板接触的部位。从图 2(b)的底座位移变形云图看出,整个底座的变形量非常小,最大变形量也仅有 1.45 mm 左右。综合上述分析结果可知,当支架底座承受集中载荷作用后,底座产生的位移变形非常小,大部分部位都是 0,最大位移变形也只有 1.45 mm,几乎可以忽略。而对于底座结构的受力来说,其最大应力为 246.66 MPa,由于支架底座的材料为 Q690 钢,该材料的屈服强度为 690 MPa,其最大值远低于屈服强度,所以在此工况条件下,底座的应力和变形都能满足安全生产的标准[4]。

2.2.2 扭转载荷作用下底座受力分析

考虑到矿井工作环境变化大、工况条件复杂且受力情况多变,液压支架底座除了会承受来自顶板的集中载荷以外,还有可能承受扭转载荷的作用。为此,结合矿山开采实际情况,对支架底座在扭转载荷作用下的受力情况开展进一步分析探讨。扭转载荷作用下底座的应力及变形云图如图 3 所示。



(a) 底座应力云图 (b) 底座位移云图

图 3 底座应力变形分布云图

由图 3(b)底座的位移云图可知,对比上一工况,虽然该工况下底座出现的变形量较大,但最大变形量也仅为 5.75 mm,此值在煤矿安全规程允许的范围之内。所以,在相同的实际工作状态下,底座的变形情况能够达到安全支护的基本要求。然而,其最大应力分布在支架底座的过桥部位,最大应力值达到了 777.85 MPa。由上文可知,底座材料为 Q690,屈服强度仅为 690 MPa,该工况下其最大应力值已超出该材料所能承受的极限值。换句话说,底座在该工况下承受扭转载荷作用时,将会产生不可逆的损伤变形,久而久之会造成设备的故障失效,这将严重威胁井下的安全生产,必须对其结构进行优化改进[5]。

3 支架底座结构改进方案及效果分析

3.1 底座结构优化方案

根据上述不同工况下支架底座的受力分析结果可知,支架底座过桥处是最大应力集中和失效几率最大的部位,必须对底座过桥部位进行结构优化。经进一步研究发现,过桥处之所以会存在局部应力集中现象,是由于此截面的钢板厚度较薄,属于底座结构的薄弱环节。所以,在对其结构进行优化改进的过程中,首先是增加底板过桥部位应力集中区的钢板厚度,以达到增强其强度、刚度的目的。此外,考虑到设备自身重量及运输的便捷性,还应控制设备的重量,使其不能超重。根据模拟结果可知,由于大部分结构受力和变形都很小,所以可以适当地减小其体积,从而使底座结构的总体质量和设备的生产成本得以降低。从应力分布图可以看出,底座结构中的肋板和侧

板受力比较小,可以适当地削弱这部分的钢板厚度。最终得到的针对底座结构的优化设计方案为:将过桥处应力集中部位钢板的厚度增加到 50 mm,同时,将底座结构的侧板及肋板的厚度降低到 70 mm。

3.2　优化效果分析

明确底座结构的优化改进方案,利用 Ansys 软件对该方案下的底座结构进行建模,并验证扭转载荷作用下底座结构的受力情况,具体结果如图 4 所示。从图 4 中可以发现,优化后的底座应力情况得到了很好的改善,最大应力降低到 324.52 MPa,但在对其进行深入的观测后发现,在某些部位仍然存在着应力集中,这是由于支架底面的受力不均匀所致,因而产生不均匀的应力和变形是很正常的。将改造前、改造后的支架底座的最大应力与变形进行对比,对比结果如表 1 所列。

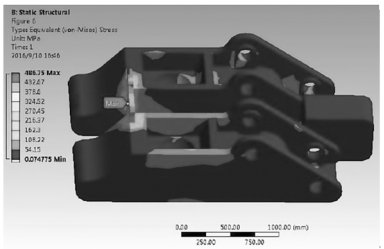


图 4　底座结构优化改进结果

表 1　优化前后最大应力变形对比

优化参数	优化前	优化后	优化程度/%
最大应力/MPa	777.85	324.52	58.28
最大变形/mm	5.75	4.64	19.30

由表 1 可知,优化前的最大应力和最大变形都很大,但经过优化后,底座的最大应力和最大变形都得到了不同程度的降低。由于变形量的减小,使其结构具有更好的刚性,服役时运转稳定性也得到了改善,因此,液压支架工作的安全性和可靠性得到了保障。

4　结　论

文章以 ZY 5000/15/30 液压支架为例,采用有限元方法对其底座结构进行受力分析,并根据模拟分析结果对部分应力集中区域进行结构上的改进,所得结论如下。

(1) 模拟计算结果表明,支架底座受力和变形都具有显著的不均匀性,局部出现较大的应力和变形集中;尽管底座变形很小,但其最大应力已经超过了结构材料的屈服极限,因此需要对其展开结构优化。

(2) 通过进一步分析可知,应力集中部位出现在过桥处,故将该处钢板增厚至 50 mm,将肋板、侧板的厚度减为 70 mm,有限元仿真分析表明,底板最大应力减小 58.28%,应力值降低到屈服强度以下。

通过对该型号支架底座的研究发现,此次改进思路及方案具有很好的应用价值,提高了支架底座的强度及刚度,可为企业进行相关研究提供理论借鉴依据。

参考文献:

[1] 魏　涛,郭瑞豪,周　洋.ZY6800/14/32 型液压支架的有限元分析[J].煤矿机械,2023,44(11):84-87.
[2] 曹　伟,井庆贺,滕　飞,等.两柱掩护式液压支架有限元仿真及优化研究[J].能源与环保,2023,45(10):226-230.
[3] 栗博楠.采煤工作面中矿用液压支架静力学分析[J].机械管理开发,2023,38(6):40-42.
[4] 邢　磊.液压支架组合工况下承载性能的分析[J].机械管理开发,2023,38(5):46-48.
[5] 曾小平.液压支架底座柱窝接触模型及有限元分析[J].煤炭技术,2023,42(4):237-240.

(上接第 147 页)

经批量生产验证,产品制造质量完全满足要求。同时得益于良好的夹持刚性,生产效率也得到了大幅提升。

6　结　语

文章针对哈氏合金材料的薄壁 V 型齿面圆环类产品刚度较低、车削容易发振等问题采用工艺试验进行研究,并验证了一种全新的夹持方法的有效性。该创新车削夹持方法在一个夹持状态下可以完美解决难加工材料车削发振、变形、公差不易保证等难题,减少了因翻身、找正的偏移对产品质量的影响,并有效提升了制造效率。同时该创新车削夹持方法可以根据产品特点灵活变通,具有结构简单可靠、通用性强等优点,具有较好的推广潜力。

参考文献:

[1] 陈建俊.哈氏 B-3 镍钼合金的特性和容器制造工艺特点[J].压力容器,2014,21(11):32-35.
[2] 宋金鹏,黄传真,吕　明.等.TiB2 基陶瓷刀具车削 C-276 哈氏合金切削参数的优化及其磨损性能对比[J].工具技术,2015,49(5):36-40.
[3] 李寒荣,万方前.大长径比全螺纹丝杠轴分段车削技术浅析[J].科学与财富,2019(11):13.
[4] 刘艳平,曾　强,刘家顺.基于变形控制的细长薄壁件加工工艺方法研究[J].东方汽轮机,2019(2):42-45.
[5] 刘建伟,李寒荣,万方前.燃烧器浮动环渗氮变形控制方案[J].金属加工(冷加工),2021(9):30-31.
[6] 闵琼英,孙长荣,刘光耀.机夹可转位汽封齿车刀设计[J].东方汽轮机,2006(1):42-51.
[7] 万方前,李寒荣.基于莫氏锥度自锁紧原理的薄壁圆环车削工装设计[J]. 机械研究与应用,2021,34(2):148-149+152.