

Application analysis of cold arc welding repair for hydraulic bracket cylinder body

Liang Wang Chaoqun Ding

Shaanxi Shaanmei Huangling Mining Co., Ltd. Electromechanical Company, Yan'an, Shaanxi, 727307, China

Abstract

As critical equipment for efficient and safe deep coal mining in China, hydraulic support cylinders face challenges from prolonged high-pressure alternating loads and complex working conditions. These stresses often cause wear, strain, corrosion, and cracks in the core components, leading to unstable internal pressure and external leakage in hydraulic systems. Cylinder leaks not only compromise the support's load-bearing capacity but also weaken roof stability, posing serious safety risks in underground operations. Traditional repair methods like overlay welding, chromium plating, and spray coating lack sufficient thermal input, bonding strength, and wear resistance to meet long-term operational demands under coal mine conditions. Cold arc cladding technology, with its low thermal input, minimal dilution rate, metallurgical bonding integrity, and precision repair capabilities, has emerged as a vital solution for cylinder restoration in coal mine hydraulic support systems.

Keywords

coal mine; hydraulic support cylinder; leakage; cold arc welding; repair; application; analysis

液压支架缸体冷弧熔敷修复的应用分析

王亮 丁超群

陕西陕煤黄陵矿业有限公司机电公司, 中国·陕西 延安 727307

摘 要

煤矿液压支架是我国深部煤炭资源高效、安全开采的重要装备,其核心部件缸体在长期高压交变载荷与复杂工况作用下易出现磨损、拉伤、腐蚀及裂纹等缺陷,从而导致液压系统内部压力不稳与外泄漏问题。液压支架缸体一旦产生泄漏,不仅直接影响支架的承载与支护功能,还会导致矿井顶板稳定性下降,进而威胁井下作业安全。传统修复手段如堆焊、镀铬、喷涂等在热输入、结合强度及耐磨性能方面存在不足,难以完全满足煤矿复杂工况下的长期服役要求。冷弧熔敷修复技术以其低热输入、稀释率小、冶金结合牢固以及可实现精确修复等特点,逐渐成为煤矿液压支架缸体修复的重要工艺手段。

关键词

煤矿; 液压支架缸体; 漏液; 冷弧熔敷; 修复; 应用; 分析

1 引言

液压支架是煤矿开采作业中最常用的设备之一,广泛应用于煤矿井下的顶板支撑作业。该设备可以保证顶板的稳定,有效地隔离采空区与工作区,为开采作业提供安全的施工空间。在实际的开采过程中,井下的环境、地质等条件复杂多样,导致液压支架需要承受较大的压力,使液压支架的缸体出现漏液等情况,降低液压支架的稳定性,从而产生安全隐患。有鉴于此,本文将就煤矿液压支架缸体冷弧熔敷修复展开分析,以供参考。

2 煤矿液压支架缸体概述

煤矿井下综采工作面的主要支护设备液压支架,其缸

体作为支架液压系统的主要承载件肩负了承压、导向以及能量转换等功能。结合实践来看,液压支架缸体一般以无缝钢管加工或是高强度合金钢锻造,并通过精密镗削、珩磨等内部处理而成。由于工作承受压力大、环境粉尘多以及冲击载荷与水分大等众多因素影响,液压支架缸体内壁容易腐蚀、锈蚀、磨损、涨缸,并且缸体与活塞密封性能达不到使用要求,造成液压支架内部泄压无法使用。特别当液压支架缸体处于交变载荷下工作时,如果材料本身存在组织缺陷或表面硬度较低抗蚀能力差,则极易发生裂纹扩展及疲劳损伤,不仅会减低自身工作效能,同时还可能会影响到整个液压支架系统乃至煤矿生产安全性^[1]。例如,在高压立柱缸体产生内漏时,液压油便会在高压的作用下,从密封副之间发生外溢,使支架运动缓慢甚至失去支撑能力,并随着架体下降最终出现脱落失稳的情况,最终导致顶板的崩塌与片帮事故发生,从而加大了井下作业人员生命的危险性。由此可知,缸体的

【作者简介】王亮(1985-),男,中国江苏沛县人,本科,高级工程师,从事机电自动化研究。

完好性和密封性是关系着液压支架支护效能的根本条件以及煤矿综采工作面的安全稳定。

3 煤矿液压支架缸体冷弧熔敷修复的应用

3.1 缸体裂纹的冷弧熔敷修复工艺

长期处于交变载荷下运行的煤矿液压支架缸体极易产生裂纹缺陷,其中以分布在受力集中区域内呈纵向或横向的裂纹较为多见。针对液压支架缸体裂纹修复时,冷弧熔敷工艺应用须按严格规范进行。首先通过磁粉探伤加超声波探伤方法来检测裂纹的长度、深度和扩展情况,确定槽口的位置。其次,按照确定的裂纹修复位置用碳弧气刨+机械加工的方法进行开槽,将槽口成形的角度保持在 60° ~ 70° 之间,并把槽底清根至干净无残留裂纹,使之不能成为应力集中源。然后利用角向磨机将坡口两侧槽壁打磨干净,直至露出均匀的金属光泽,并用无水乙醇擦洗干净以保证熔敷结合面洁净。选择低氢型高强度合金焊丝,目的在于所用焊丝材质的强度、等级与缸体母材强度等级一致,以使得焊接后的焊缝金属与缸体母材间有良好的冶金结合。接着进行低熔敷量焊接(其焊接电流通常不超160A),焊接时应采取分段多层堆焊的方法,每层的堆焊厚度保持在2mm左右,在减小了焊接热输入量同时,避免由于熔敷成型层的过厚所造成的母材晶粒的粗大化及热裂纹的形成^[1]。每层焊道完成以后均需要用焊锤予以轻敲,使母材发生塑性变形从而释放残余应力以改善焊接组织致密性和细化晶粒,并且须注意层间温度需要控制在小于 150°C ,防止因热量聚积而造成晶粒的再结晶和韧度下降。冷弧熔敷后通过对缸体表面车削和精磨加工方式恢复原几何尺寸和配合精度,接着仔对焊缝区和热影响区利用超声波检测技术进行全检,以保证熔敷层要致密无缺陷,从而促使其能正常承受后续的压力运行工作。

3.2 缸体磨损内壁的冷弧熔敷修复工艺

液压支架缸体在井下高压循环工况下易发生内壁磨损,导致配合间隙失控与密封副失效,因此需采用冷弧熔敷工艺进行再制造修复。修复工序首先通过数控镗削方式去除磨损层,镗削余量需控制在 $0.3\sim 0.5\text{mm}$,并保证内壁圆柱度误差小于 0.02mm ,以满足熔敷层成形的几何精度要求。内表面处理完成后,需通过机械抛光和丙酮清洗,去除金属屑、氧化膜及油污,确保基体表面活性状态。冷弧熔敷采用专用内孔自转送丝装置,焊丝直径一般选用 $\Phi 1.2\text{mm}$ 低合金耐磨丝,熔敷过程中电流、电压参数需稳定控制在 $180\sim 220\text{A}$ 、 $22\sim 26\text{V}$ 范围内,焊丝伸出长度保持在 $10\sim 12\text{mm}$,送丝速度保持均匀,以获得致密无裂纹的冶金结合层。熔敷轨迹为环向匀速螺旋沉积,层间搭接率控制在 $35\%\sim 45\%$,单层沉积厚度约 1.2mm ,总厚度维持在 $3\sim 4\text{mm}$ 范围。熔敷间歇需采用角向砂轮打磨,去除熔敷层表面氧化皮和飞溅颗粒,层间清理必须彻底,以避免夹渣和未熔合缺陷。熔敷完成后进行高温回火处理,温度控制在 $550\sim 580^{\circ}\text{C}$,保温23h,以消除残

余应力并稳定组织性能^[1]。最终通过精密珩磨恢复缸体内壁几何精度,珩磨余量控制在 $0.02\sim 0.05\text{mm}$,表面粗糙度要求达到 $\text{Ra}0.20.4\mu\text{m}$,并保证圆度误差小于 0.01mm 、直线度误差小于 0.015mm ,从而使修复后缸体满足液压支架长期稳定运行的使用条件。

3.3 缸体端口磨损及拉伤的冷弧熔敷修复工艺

煤矿液压支架缸体端口磨损及拉伤十分常见,修复该缺陷应当严格按照冷弧熔敷工艺参数进行,以达到修复后尺寸、几何形状及耐磨损性能等满足使用要求的目的。修复前需要利用精密车床将端口台肩部位进行加工,加工面的切削深度应全部盖过疲劳层和拉伤部位,并确保其表面平整光滑,不能产生二次热应力集中现象,加工余量控制为 $0.3\sim 0.5\text{mm}$;熔敷前应该将端口表面彻底喷砂清理并用丙酮清洗干净,随后用乙炔气割去掉残存焊丝毛刺。熔敷材料选择高硬度镍基或铁基耐磨合金焊丝,硬度要求为 $\text{HRC}45\sim 55$ 。以小电流($90\sim 120\text{A}$)、短弧长度($\leq 2\text{mm}$)、快速($200\sim 250\text{mm}/\text{min}$)冷弧熔敷工艺进行堆焊修复,以实现焊接层间温度较低与稀释较小,从而控制端口部位堆焊层因过热导致变形或者硬度过高问题。沉积层应分段均匀堆焊,焊道搭接量控制在 $30\%\sim 40\%$,每层焊后应立即进行轻微机械打磨以消除表面应力集中并利于层间熔合。熔敷完成后需采用精车工艺恢复端口尺寸及形位精度,端口内径圆度及同轴度公差应严格控制在 0.02mm 以内,切削参数宜选用低速精切配合硬质合金刀具以避免产生加工硬化。端口密封槽需在熔敷后重新加工成型,车削深度与槽宽必须严格依照原设计尺寸执行,槽底粗糙度 Ra 值控制在 $0.8\mu\text{m}$ 以下,以保证密封圈在高压下的密封性能及使用寿命。最后,修复完成的缸体端口需进行静压和动压联合液压试验,静压试验压力应达到额定工作压力的1.25倍并保持不少于30分钟,动压循环试验次数不少于500次,以全面验证端口在高压交变载荷下的密封可靠性与耐压强度。

3.4 缸体外表面腐蚀坑的冷弧熔敷修复工艺

缸体外表面在煤矿井下长期服役过程中,受高湿度及含硫腐蚀介质的作用,极易形成局部腐蚀坑缺陷,该类缺陷若不及时处理,将导致缸体承载性能与密封性能下降。针对该问题,冷弧熔敷修复工艺是当前应用较为成熟的修复方法。具体工艺实施过程中,首先需对腐蚀区域进行严格预处理,采用高压喷砂方法彻底清除氧化皮、硫化物沉积及锈蚀产物,喷砂粗糙度应控制在 $\text{Ra}6.3\sim \text{Ra}12.5\mu\text{m}$,以确保熔敷金属与基体的冶金结合界面清洁稳定。喷砂完成后立即进行酸洗处理,常用 $10\%\sim 15\%$ 稀盐酸溶液,酸洗时间严格控制在 $5\sim 8\text{min}$,并配合机械刷洗,直至腐蚀产物完全去除,基体金属呈现金属本色表面,随后采用清水中和并烘干,避免二次氧化^[4]。熔敷操作采用冷弧熔敷设备,以低热输入方式对腐蚀坑逐层填充,单层熔敷厚度应严格控制在 $2.0\sim 2.5\text{mm}$,分层多道施焊,每层之间需进行金属刷清理与表面轻磨处

理,以消除夹渣与层间气孔缺陷。为了防止母材热影响区二次脆化,在冷弧熔敷过程中要保证环境温度低于 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 之间,同时不能出现局部高温集中现象;熔敷金属材料应当选择与缸体基体具有较高匹配性、耐蚀性且为低氢型焊丝,这样可以提高结合强度和耐腐蚀能力。完成熔敷后经过数控车削和精磨最终恢复缸体表面几何精度和平面度,尺寸公差控制在 $\pm 0.05\text{mm}$ 范围内,表面粗糙度 $\text{Ra}0.8\text{—}1.6\mu\text{m}$ 以内,以满足液压缸密封及滑动要求。通过对修复表面进一步的精细磨削以及多级抛光处理,使之达到镜面光滑且无加工痕迹的状态。另外,当腐蚀介质浓度大或服役工况苛刻时可采用在修复部位化学镀镍,镀层厚度为 $30 \sim 50\mu\text{m}$,随后经由显微镜检测镀层分布均匀性,以此来确保其能适应井下复杂腐蚀介质工况条件下的长期服役。

3.5 缸体焊接接头失效的冷弧熔敷修复工艺

由于煤矿液压支架缸体在井下工作的频率高且工况较复杂,时间长后容易出现疲劳裂纹和部分脱落等问题,所以针对此类缺陷可应用冷弧熔敷进行修复,具体操作为:先用碳弧气刨将失效的焊缝去除,确保去除范围覆盖到所有疲劳裂纹的扩展区,随后将焊缝区域加工成U型的坡口,以保证形成一个比较稳定的熔池通道,此处坡口两侧要做到圆滑过渡,从而保证避免出现应力集中等问题。其次,在冷弧熔敷期间要使用低稀释率高强韧性的合金焊丝,同时焊接参数必须控制在低电流的稳定燃弧状态,电弧热输入也得在合理的范围内,这样一方面保证母材的稀释率足够小,另一方面则让焊缝与缸体的母材能够形成较为均匀的冶金结合。以分层且多道的方式进行堆焊填充,各层之间的焊道宽度和层间高度差要一样,在层间温度方面严控 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 的标准,每层焊接完成后均需用不锈钢丝刷把熔渣、氧化膜等杂物完全清掉,以免产生夹渣现象。焊完所有焊层之后,要尽快做消除残余应力的热处理,即在 $550 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 之间进行一段时间的保温,从而使焊缝和热影响区残余应力降到较低的水平,避免液压支架缸体服役过程的延迟裂纹的产生^[5]。焊后

检测主要是对修复区域进行超声波以及磁粉两种无损检测,以便于查看焊缝内部有无气孔、裂纹和未熔合等缺陷,最大限度确保焊接接头的冶金质量满足服役需求。最后,把修复好的焊接部位再以数控车床进行精密机械加工并且要严格控制尺寸精度和同轴度,以将缸体焊接接头部位的几何形状和装配精度恢复过来,从而确保液压支架缸体的整体结构稳定性和密封性能。

4 结语

综上所述,液压支架缸体因在复杂性较强的煤矿井下环境长时间工作,出现裂纹、磨损、腐蚀及焊接失效等问题概率极高,这不仅容易导致其产生泄露问题,同时还会引发一系列安全与生产隐患。针对煤矿液压支架缸体修复上,冷弧熔敷凭借着低热输入、冶金结合牢固、稀释率小及修复精度高等众多优点可满足多种缸体问题的高质量修复需要,并且修复后能较好地保证缸体服役寿命与密封性能。基于此,上文结合实践及研究由煤炭液压支架缸体裂纹、内壁磨损、端口拉伤、腐蚀坑及焊接接头失效5方面着手探讨具体的冷弧熔敷工艺,以期对液压支架缸体的修复提供一种高效、可靠的解决方案。

参考文献

- [1] 丁卫东,栗卓新,李国栋.液压支架立柱活塞杆不同修复工艺性能对比[J].煤炭技术,2015(12):3.
- [2] 丁卫东,栗卓新,李国栋.硼对液压支架立柱等离子熔敷涂层组织性能的影响[J].焊接学报,2017,38(4):4.DOI:CNKI:SUN:HJXB.0.2017-04-018.
- [3] 兰志宇,李争,王栋,等.液压支架结构件机器人高效焊接工艺研究[J].煤矿机械,2023,44(9):98-100.
- [4] 刘帅兵,杨博文,毛宁.煤矿液压支架缸体漏液预防方法探究[J].2025.
- [5] 吴培蕾.煤矿液压支架缸体漏液成因与防范分析[J].机械管理开发,2024,39(1):237-239.