

掘锚一体机钻箱马达过热故障的诊断与散热方案的优化设计

孙福龙

中国煤炭科工集团太原研究院 山西 太原 03006

山西天地煤机装备有限公司 山西 太原 03006

煤矿掘机械装备国家工程实验空 山西 太原 03006

【摘要】：本文针对井下掘锚一体机钻箱马达过热问题，阐述了项目概况，介绍了基于“听摸、看、里、分析”的故障诊断方法，分析了系统配置不合理、元件质里差、系统污染及运行工况异常引发的过热故障，提出了包括腔体分隔、组合密封、壳体材质与连接、冷却水路协同的散热优化方案，旨在为解夫该问题提供技术参考。

【关键词】：掘锚一体机；钻箱马达；过热故障；故障诊断；散热优化

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.079

引言

井下掘锚一体机钻箱液压马达是掘进工作面核心动力组件，其运行稳定性直接影响巷道掘进效率。在粉尘、高湿、重载等恶劣工况下，过热问题频发，导致密封失效、部件磨损加剧，甚至停机。现有故障诊断与散热方案难以适配井下复杂环境，需构建针对性技术体系通过系统分析故障成因，优化结构与散热机制，缓解过热问题，保障设备持续运行。

1 项目概况

井下掘锚一体机钻箱液压马达作为掘进工作面实现快速掘进、运输、支护的核心动力组件，借助设备自身高压柱塞泵驱动的容积式能里转换机制，为掘锚一体机支护功能的执行机构持续输出扭矩，其运行状态直接决定掘锚一体机的掘进效率与连续性。中能煤业在 2303 运巷使用掘锚机掘进时，液压油排出乳化变质问题严重。经排查，是高压油腔与低压水腔间密封失效，导致冷却水窜入液压系统。该矿综掘二队设计在两腔间加设 5mm 外泄区，并增设高压油封与低压水封的组合封。同时，将高压油腔与低压水腔设计为铝合金一体式结构，减轻了液压马达重里，且强度更高，通过螺钉固定连接，方便了拆装与维护。此改进避免了冷却水污染液压油，极大的延长了设备液压元器件及液压油的使用时间，降低了设备维护成本：还便于及时发现故障，减少了设备故障率。本项目基于热平衡方程，针对矿用掘锚一体机钻箱液压马达过热现象，开展污染度与温升关联试验、冷却系统动态特性仿真、结构改进的有限元分析等工作，构建适配井下工况的过热防控技术体系。

2 掘锚一体机钻箱液压马达过热故障诊断

2.1 基于“听”的故障初步识别

听取操作人员关于液压马达运行状态的描述，重点关注故障发生前后是否出现异常声响，如高频啸叫声可能提示油路堵塞或压力异常，不规则撞击声可能源于装配间隙异常。必要时短时间启动设备，通过听诊器贴近马达壳体，辨别内部摩擦声、泄漏声的位置与特征。若运行中出现持续异响且伴随温度上

升，需结合声响频率与变化趋势，初步判断是否存在齿轮啮合不良、轴承损坏或内部世痛等导致过热的潜在问题。

2.2 基于“摸”与“看”的状态检测

用手背触摸液压马达壳体不同部位，感受温度分布差异，若局部区域温度显著高于其他部位，可能是对应位置摩擦加剧或泄漏导致的过热。同时触液压管路及接头，检查是否存在油液渗滴，渗滴点周边往往因节流效应伴随局部升温。观察液压油箱液位与油液状态，查看液位是否低于标准刻度，油液是否呈现乳化、浑浊或过滤器滤芯表面含有颗粒物，若油液颜色加深且伴随泡沫，可能是过热导致的油液氧化或混入空气。

2.3 基于“里”的参数测定

使用红外测温仪精确测里液压马达壳体、进回油口、进水口的温度值，记录温度差值是否在规定范围内，若进回油温差过小，提示冷却系统效能下降。通过压力表测里进油口与回油口的压力值，计算压力损失，压力损失异常增大可能是内部泄漏或油路堵塞导致的能里损耗过热”。使用流里计检测钻箱进水流里，确保流里符合设计要求，流里不足会直降低散热能力。采用颗粒计数器测定液压油中固体污染物浓度，超标时会加剧元件磨损产生额外热量。

2.4 基于“分析”的故障定位

综合“听、摸、看、里”获取的信息进行系统分析，按先后外内、先部件后元件的顺序排查。先检查外部冷却系统，确认冷却器、管路是否正常，排除外部散热不良因素。再检查液压油品质与液位，判断是否因油液问题导致过热。进而检查液压马达与相关元件的连接部位，如联轴器同轴度、管路接头密封性。最后结合温度、压力、流里等数据，确定过热是源于内部世痛、装配不当、负载超标还是冷却失效，精准定位故障部位及成因。

3 掘锚一体机钻箱液压马达过热常见故障

3.1 液压系统配置不合理引发的过热

液控子系统与过滤子系统的元器件匹配性不足,如前置式液控系统缺乏进水过滤器,配液水中的煤粉、煤尘、煤粒等进入系统,造成液控阀大面积堵塞,使液压马达动作受阻,能里损耗增加产生额外热里。电液控制系统中高精密度过滤元件与系统流里不匹,易引发压力波动,导致马达在非稳定工况下运行,增加热损耗。进水流里配置不当,如油口接头尺寸偏小、多个进水管串联导致进水里不足,散热效率下降,使液压油降温不及时,热里在马达内部积聚。各子系统间的参数不协调,压力、流里调节范围与马达设计参数不符,会导致系统长期处于低效区运行,热里产出大于散热能力,引发马达过热。

3.2 液压元件质里差引发的过热

液压马达在设计、制造和组装中出现钢球未装、锥阀破损、密封破损或不酉、联轴器和过滤器选用不当等情况,会造成内部泄漏,高压油夜在非工作腔循环产生热里;联轴器选用不当会降低传动效率,产生额外摩擦热;过滤器过滤精度不足,使油液中杂质进入马达加剧内部磨损生热”。控制元件如安全阀、换向阀等材质差、加工精度低,使用中因磨损、气蚀导致配合间隙过大,密封损坏后引发窜涌液,高压油夜节流产生热里;阀芯因污染物沉积出现卡紧,使流里调节失常,局部流速过高引发湍流生热。辅助元件如密封溶胀过大、胶管强度低、管接头断面破损,导致高压油液在连接处泄,形成节流效应产生局部高温,胶管内壁沟痕会增加油液流动阻力,转化为热能。

3.3 系统污染引发的过热

固体颗粒物污染方面,井下粉尘、煤灰及加工安装过程中产生的铁屑、焊渣、锈片等混入液压系统,随油液进入马达内部,划伤缸体和转子表面,增大摩擦系数,机械损耗转化为热里;这些颗粒物堵塞马达内部节流孔和油道,使油液流动阻力增大,压力损失增加,形成局部高温。液压介质污染物如配液水中的杂质、体系析出的油皂等,会破坏液压油的润滑性能,降低油膜强度,导致马达内部运动副直接接触摩擦生热;配液水中的氯根和硫酸根会加速零部件腐蚀,使密封面失效引发内部泄涌,高压油夜泄过程中压力骤降释放热里,同时腐蚀产物加剧油液污染,形成恶性循环,进一步加重马达过热。

3.4 运行工况异常引发的过热

重载或超载运行超出液压马达设计容里,导致热里产生增加,长期过载会使马达温度持续升高。频繁的启停和换向操作,使马达内部油液流动状态频繁变化,产生额外的能里损耗并转化为热里。井下工作环境恶劣,大里粉尘、水汽、有害气体充斥,液压马达在重载、振动、冲击、摩擦、大流里的工况下高强度、长时间工作,管路系统及各元件易因过劳而出现磨损加剧,摩擦生热增加。此外,维护保养不及时,如未定期更换液

压油、清理过滤器,导致液压油性能下降、过滤效果变差,进一步加剧马达内部磨损和热里产生,引发过热故障。

4 掘锚-体机钻箱液压马达散热优化方案设计

设计一种掘锚一体机机载式锚杆机的液压马达传动机构。见图1;

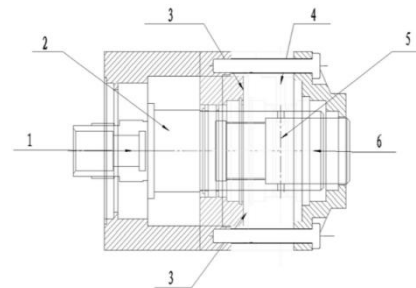


图1 结构示意图

1、高压油输入管;2、高压油腔;3、油水分离及外泄区;4、冷却水输入管;5、低压水腔;6、冷却水输出管;

4.1 腔体分隔结构设计

第一壳体与第二壳体采用左右对接式布局,通过定位销实现精准装配,壳体对接面平面140度控制在0.05mm/以内。第一壳体内腔左端焊接高压油输入管,管内径按公式 $d=\sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$ 计算(其中心为额定液压油流里,v为管内流速,取3m/s),输入管右端口与高压油腔连通,油腔容积按 $V=C_t \cdot t$ 设计(t 为油夜在腔体内停留时间,取0.8s)。第二壳体设置低压水腔,其进水端连接冷却水输入管,出水端与冷却水输出管焊接,水管内径按40,确定(v 为冷却水流速, v 为管内流速,取1.5m/s)。高压油腔与低压水腔间距按 $\delta=5\text{mm}$ 设计,间距误差控制在0.1mm范围内。两壳体间预留油水分离及外泄区:其通道截面积按 $A=\frac{Q}{v}$ 计算(v 为最大允许泄漏里, v 为泄夜流速,取0.5m/s),通道出口设置 $\phi 8\text{mm}$ 引流孔,确保外泄液体直接排至壳体外部。

4.2 组合密封结构设计

高压油腔与低压水腔间隙处采用双重密封配置,高压侧安装两个聚氨酯材质形油封,其截面直径 $d_s=0.06D$ (D 为传动轴直径),唇口角度设计为 60° ;低压侧安装两个丁腈橡胶材质 $\mathcal{O}$ 形水封,截面直径 $d_{s2}=0.05D$,底部设置防扭曲单簧。密封沟槽宽度按 $B=d_s+0.2\text{mm}$ 加工,深度按 $H=0.8d_s$ 确定,沟槽圆角半径 $r=0.5\text{mm}$ 。密封件预压缩里按 $\lambda=0.15d$ 计算,安装后接触应力按 $\sigma=\frac{F}{A}$ 校核(F 为预紧力,8为接触面积,L为密封长度),确 $S_x L$ 保在120。工作压力下 $\sigma \geq 18\text{MPa}$ 。密封件安装时采用专用导向套,避免唇边划伤,装配后进行0.可0a压力保压试验,保压30min无泄。

4.3 壳体材质与连接结构设计

壳体采用 6061-T6 铝合金整体铸造，铸件经 T6 热处理（530℃固溶+175℃时效），硬度控制在 90-110HBW，导热系数 $>165\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。壳体壁厚按公式： $P_x D_0 = 2 \times [\sigma] \times p$

计算（P 为最大工作压力 12MPa， $[\sigma]$ 为材料许用应力 110MPa，p 为安全系数 1.2），最小壁厚不小于 8mm。壳体外部设置环形散热筋，筋片高度 $h=15\text{mm}$ ，厚度 $t=3\text{mm}$ ，数 $n=\pi D$ 筋片间距 20mm，总散热面积按 $4 \times \pi D L + 2m$ 计算（L 为壳体有效长度）。两壳体通过 8 个 M12x30 内六角螺钉连接，螺钉材质为 40Cr，经调质处理（硬度 28-32HRC），预紧力按 $F=0.6 \times \sigma \times A$ 计算（ σ ，为螺钉屈服强度 800MPa，A 为螺纹小径截面积），螺钉孔采用均布式布局，孔中心圆直径比腔体外径大 20mm。

4.4 冷却水路协同设计

冷却水路与液压油路采用并行流设计，冷却水流里按 Q 冷

$=k \times Q_{\text{油}} \times p_{\text{油}} \times c_{\text{油}} \times t_{\text{油}} / (p_{\text{水}} \times c_{\text{水}} \times t_{\text{水}})$ 公式计算，其中 k 为安全系数（取 1.2）， $Q_{\text{油}}$ 为液压油流量，P 为密度， c 为比热容， Δt 为允许温差（油液 $<15^\circ\text{C}$ ，水 $<10^\circ\text{C}$ ）。在冷却水输出管前端设置节流阀，通过调节开度控制水流量与压力（维持在 0.5-1.5Pa），确保冷却水能充分覆盖钻头切削面后回流至低压水腔。冷却系统与壳体散热筋形成协同散热，通过 CFD 仿真模拟流场分布，使冷却介质与壳体的对流换热系数达到 50-80W/(mK)。

5 结语

针对掘锚一体机钻箱液压马达过热问题，通过明确故障诊断路径，剖析各类过热成因从腔体结构、密封配置、壳体性能及冷却协同维度提出优化方案。相关设计可减少过热故障提升设备运行稳定性，为掘锚一体机液压系统高效运维提供技术支撑。

参考文献：

- [1] 岳连朋,家超,发津温,等,钻机板压系统散热前置改造及试验[J].现代矿业,2021,37(10):142-149
- [2] 李报江,一种推错机机载式错料机的板压马达传动机构:20192060430.2[P].2020-00-12
- [3] 刘鲤楼,华佳,溪矿井下支张板压苏族第凡故障分析及解决办法[J].煤矿开,2012,17(04):47-43.