

矿用刮板输送机链轮优化设计

牛国旭

宁夏天地奔牛实业集团有限公司 宁夏 石嘴山 753000

摘要: 随着煤炭产业规模持续扩大,在矿业生产里,矿用刮板输送机是物料运输的关键设备,承担着将煤炭等从工作面转运至后续环节的重任。本文聚焦矿用刮板输送机链轮优化设计。首先阐述链轮的工作原理、结构组成及设计要求等基础内容,接着深入剖析现存链轮在材料、结构、制造工艺和受力等方面存在的问题。针对这些问题,提出一系列优化设计策略,涵盖材料、结构参数(包括齿形与链窝参数)、热处理工艺、表面处理、润滑系统、制造工艺以及安装结构等方面。通过这些优化措施,旨在提升矿用刮板输送机链轮的性能与可靠性,延长其使用寿命,降低设备故障率与维护成本,为矿用刮板输送机的稳定运行提供有力保障。

关键词: 矿用刮板; 输送机; 链轮; 优化; 设计

引言: 在煤矿等矿山开采作业中,矿用刮板输送机作为关键的运输设备,承担着煤炭及物料的高效运输任务。链轮作为刮板输送机的核心传动部件,其性能优劣直接影响输送机的整体运行效果与可靠性。然而,当前矿用刮板输送机链轮在实际使用过程中,频繁出现磨损、断裂等问题,不仅导致设备停机维修时间增加,影响生产效率,还带来较高的维修成本与安全隐患。因此,对矿用刮板输送机链轮进行优化设计具有重要的现实意义。旨在深入分析现有链轮存在的问题,并提出切实可行的优化设计策略,以提升链轮性能,保障矿用刮板输送机的稳定、高效运行。

1 矿用刮板输送机链轮设计基础

1.1 链轮工作原理

矿用刮板输送机链轮通过与刮板链的啮合传动实现物料输送。电动机经液力耦合器、减速器驱动链轮旋转,链轮齿形与链条链环精准咬合,将旋转运动转化为刮板链的直线循环运动。以边双链结构为例,两条圆环链对称布置于刮板两侧,链轮两侧齿形同步驱动链条,使刮板在中部槽内做往复运动,推动煤炭等物料从机尾向机头移动。在重载工况下,链轮需承受刮板链传递的拉力(如500吨/小时输送能力的设备,链轮轴可能承受50kN拉力)及物料冲击载荷,同时需适应井下粉尘、潮湿等恶劣环境。链轮与链条的啮合精度直接影响传动效率,齿形参数(如齿顶高、齿侧斜度)需与链条节距匹配,以减少啮合冲击和磨损^[1]。

1.2 链轮结构组成

链轮主体由链轮体、轮齿、轴孔、键槽及链窝等部件构成。链轮体作为支撑结构,通常采用合金钢整体锻造(如42CrMo或40Cr),经调质处理后硬度达HB260-

320,确保抗冲击性能;轮齿与链条直接啮合,其齿形设计需符合链条规格(如22×86圆环链对应特定齿廓),齿面经淬火处理(HRC45-55)以提高耐磨性;轴孔与传动轴配合,通过键槽传递扭矩,键槽深度需根据轴径计算(如直径80mm轴对应键槽深度约10mm);链窝是链条链环的嵌入部位,其尺寸精度(如链窝宽度公差±0.05mm)和表面粗糙度(Ra3.2以下)直接影响链条运行平稳性。

1.3 链轮设计要求

设计需满足强度、耐磨性、可靠性及工艺性四方面要求。强度方面,链轮需承受交变载荷(如转矩12500N·m、弯矩由链轮自重和链条偏载共同作用),通过材料力学第三强度理论校核危险截面(如轴肩、键槽处),安全系数需大于1.5;耐磨性要求齿面硬度高于链条链环(HRC差值≥10),链窝表面淬火层深度不低于3mm;可靠性需考虑疲劳强度,通过应力循环曲线计算安全系数(如应力幅80MPa、平均应力30MPa时,安全系数需满足规定值);工艺性要求链轮体采用锻造工艺,齿形由专用铣床加工,键槽对称度误差≤0.1mm,轴孔与轴的配合公差为H7/k6。此外,设计需兼顾互换性,如边双链轮两侧齿形对称度误差

2 矿用刮板输送机链轮现存问题分析

2.1 材料问题

矿用刮板输送机链轮材料选择不合理是现存突出问题之一。部分链轮选用普通碳钢(如45#钢),其硬度(HRC20-25)和耐磨性不足,在重载工况下易出现齿面磨损、塑性变形甚至断裂。例如,在输送能力达2000吨/小时的综采工作面,普通碳钢链轮齿顶磨损速率可达0.3mm/月,远高于合金钢链轮的0.05mm/月。此外,材料

成分波动导致性能不稳定,如硫、磷等有害元素含量超标($> 0.04\%$),会显著降低材料的冲击韧性,使链轮在冲击载荷下易产生裂纹。热处理工艺缺陷进一步加剧材料问题,如淬火温度偏差($\pm 10^\circ\text{C}$)或回火不充分,导致齿面硬度不均(HRC差值 > 5),局部区域易发生剥落失效。部分企业为降低成本采用废钢重熔材料,其夹杂物含量高(如氧化物夹杂 > 2 级),显著降低链轮的疲劳寿命。

2.2 结构问题

链轮结构设计缺陷直接影响其承载能力和使用寿命。常见问题包括齿形参数不合理,如齿顶高过小(< 1.2 倍链环直径)导致链条易脱齿,齿侧斜度过大($> 15^\circ$)则增加啮合冲击;链窝尺寸与链条不匹配,如链窝宽度公差超差($\pm 0.1\text{mm}$ 以上)会使链条运行偏斜,加剧单侧磨损。分体式链轮的连接结构存在隐患,如螺栓预紧力不足($< 150\text{kN}$)或分布不均,易导致链轮体与滚筒相对滑动,引发螺栓断裂或链轮松动。此外,链轮轴孔与轴的配合间隙过大($> 0.05\text{mm}$)会加剧振动,而键槽对称度超差($> 0.2\text{mm}$)则导致扭矩传递不均,加速轴孔磨损。部分链轮未设计润滑油道,齿面缺乏有效润滑,摩擦系数高达 $0.2-0.3$,远高于设计值($0.1-0.15$),显著缩短使用寿命。

2.3 制造工艺问题

制造工艺粗糙是链轮质量不稳定的主因。锻造环节中,坯料加热温度控制不严($\pm 20^\circ\text{C}$ 以上)导致晶粒粗大,降低材料力学性能;锻造比不足(< 3)使内部缺陷(如缩孔、疏松)难以消除,链轮在服役初期即出现疲劳裂纹。机加工精度不足普遍存在,如齿形采用普通铣床加工,齿面粗糙度达 $\text{Ra}6.3-12.5\mu\text{m}$,远高于设计要求($\text{Ra}3.2\mu\text{m}$),加剧磨损;链窝采用仿形加工,尺寸一致性差(同一链轮链窝宽度差 $> 0.1\text{mm}$),导致链条运行抖动。热处理工艺执行不到位,如淬火介质温度波动($\pm 5^\circ\text{C}$)或冷却速度不均,导致齿面硬度差达HRC10以上,局部区域易发生剥落;回火温度偏低($< 200^\circ\text{C}$)使残余应力未充分消除,链轮在交变载荷下易早期断裂。

2.4 受力问题

链轮在服役过程中承受复杂交变载荷,受力分析不充分导致设计缺陷。在启动阶段,链轮需克服链条静摩擦力和物料惯性,瞬时扭矩可达额定值的 $2-3$ 倍,易引发齿根疲劳裂纹;正常运行时,链条张力波动($\pm 15\%$)导致链轮承受周期性冲击载荷,齿面接触应力峰值达 $800-1000\text{MPa}$,远高于材料屈服强度($600-700\text{MPa}$),加速磨损和塑性变形。此外,链轮与链条的啮合冲击产生高频振动(频率 $> 1000\text{Hz}$),激振力通过轴系传递至减速

器,引发整机共振,导致轴孔、键槽等部位出现微动磨损。在重载工况下,链条偏载使链轮单侧受力增大(达设计值的 1.5 倍),导致齿面不均匀磨损,一侧齿顶磨损速率比另一侧快 30% 以上,显著缩短链轮更换周期^[2]。

3 矿用刮板输送机链轮优化设计策略

3.1 材料优化

针对矿用刮板输送机链轮服役环境恶劣、承载复杂的特点,需从材料成分、热处理工艺及性能检测三方面进行优化。首先,选用高强度合金钢(如 20CrMnTi 或 35CrMoV)替代普通碳钢,其碳含量控制在 $0.18\%-0.25\%$,并添加Cr、Ni、Mo等合金元素,通过固溶强化和细晶强化提升材料抗拉强度($\geq 1000\text{MPa}$)和屈服强度($\geq 800\text{MPa}$),同时降低硫、磷等有害元素含量($\leq 0.03\%$),减少夹杂物对韧性的影响。其次,优化热处理工艺,采用分段淬火技术(如 850°C 油淬+ 200°C 低温回火),使齿面硬度达HRC55-60,心部硬度保持HRC35-40,形成“表硬里韧”的梯度结构,兼顾耐磨性与抗冲击性。

3.2 齿形参数优化

传统链轮齿形设计易导致啮合冲击大、应力集中等问题。优化采用复合圆弧齿形,通过齿顶圆弧过渡减少齿顶应力集中,齿侧直线段与链条链环渐近啮合,降低冲击载荷。同时,优化齿高比例,使齿顶与齿根高度合理匹配,确保链条在重载工况下仍能稳定嵌入齿槽,避免脱齿风险。此外,改进齿形对称度,减少双侧链条受力偏差,防止因偏载引发的单侧过度磨损。优化后的齿形结构更适应矿用输送机频繁启停、重载冲击的工况,显著提升啮合平稳性与抗疲劳性能。

3.3 链窝参数优化

传统链窝直槽结构易造成链条嵌入时侧向力过大,加剧磨损。优化采用圆弧过渡链窝,通过底部圆弧设计增大与链条的接触面积,分散载荷,降低局部压强。链窝侧壁斜度与链条链环侧壁匹配,减少运行阻力,避免链条卡滞或跳动。同时,严格控制链窝宽度公差,确保链条嵌入后间隙均匀,防止因晃动引发的冲击振动。表面处理方面,采用耐磨涂层技术提升链窝抗磨性能,延长使用寿命。优化后的链窝结构显著降低链条运行噪音,提升传动效率与稳定性。

3.4 热处理工艺优化

针对矿用链轮服役中易出现的齿面硬度不足、心部韧性差及残余应力导致开裂等问题,需系统优化热处理工艺。首先,采用分段淬火技术:将链轮加热至 $920-950^\circ\text{C}$ (高于临界温度 $30-50^\circ\text{C}$)进行充分奥氏体化后,先

以油冷至300-350℃(马氏体转变临界区),再切换为高压氮气快速冷却至室温,实现齿面快速形成细小马氏体(晶粒度 ≥ 8 级),硬度达HRC58-62,同时避免心部完全马氏体化导致的脆性。随后进行双级回火:200℃低温回火2小时消除淬火应力,再经520℃高温回火4小时,使心部组织转变为回火索氏体,兼顾韧性(冲击功 $\geq 35\text{J}$)与抗疲劳性。

3.5 表面处理优化

针对矿用链轮在恶劣工况下易发生的表面磨损、腐蚀及疲劳剥落问题,需采用复合表面处理技术提升综合性能。首先,采用激光熔覆工艺在齿面沉积Ni60+WC合金涂层,通过高能量密度激光束使粉末与基体形成冶金结合,涂层厚度控制在0.5-0.8mm,硬度达HRC62-65,耐磨性较基体提升5倍以上,同时保留心部韧性。其次,对链窝等非承载面实施等离子喷涂Al₂O₃陶瓷涂层,厚度0.2-0.3mm,形成致密氧化层,耐腐蚀性提升3倍,有效抵御煤尘、水分及化学物质的侵蚀。

3.6 润滑系统优化

传统润滑方式易因煤尘堵塞或润滑不足导致链轮-链条早期失效,需构建智能润滑体系。首先,采用递进式集中润滑系统,通过PLC控制泵站定时定量向各润滑点(齿面、链窝、轴承)输送锂基润滑脂,单点供油量误差 $\leq \pm 0.1\text{mL}$,确保润滑均匀性。其次,在链轮两侧增设导油槽,利用离心力将润滑脂引导至啮合区,形成动态油膜,减少干摩擦(摩擦系数从0.25降至0.12)。同时,集成油液监测模块,实时检测润滑脂粘度、水分及金属颗粒含量,当污染度超标时自动触发报警并启动净化循环。

3.7 制造工艺优化

传统铸造链轮易存在缩孔、疏松等缺陷,需通过精密制造技术提升质量稳定性。首先,采用消失模铸造工艺替代传统砂型铸造,使用聚苯乙烯泡沫模样结合负压吸铸,使铸件致密度提升至98%以上,晶粒细化至ASTM 5-6级,显著降低内部缺陷率(从15%降至2%以下)。其次,引入数控滚齿机进行齿形加工,通过五轴联动控制

齿面粗糙度 $R_a \leq 1.6\mu\text{m}$,齿形公差 $\leq \pm 0.03\text{mm}$,确保啮合精度。此外,对关键部位(如链窝、齿根)实施超声波冲击强化处理,通过高频振动产生压应力层(深度 $\geq 0.3\text{mm}$),疲劳极限提升25%。

3.8 安装结构优化

传统链轮安装方式易因轴向窜动或对中偏差导致早期失效,需通过结构创新提升运行稳定性。首先,设计双列圆锥滚子轴承支撑结构,利用轴承预紧力消除轴向间隙(预紧量0.05-0.1mm),同时承受径向与轴向联合载荷,承载能力提升40%。其次,在链轮与传动轴间增设胀紧套联接,通过液压胀紧实现无键过盈配合(过盈量0.1-0.15mm),避免键槽应力集中导致的断裂风险。此外,优化链轮罩壳结构,采用迷宫密封与碳环组合密封,防护等级达IP65,有效阻挡煤尘侵入(粉尘渗透率降低90%)^[3]。

结束语

矿用刮板输送机链轮的优化设计是提升设备可靠性、延长使用寿命的核心环节。通过齿形参数复合化、链窝结构圆弧过渡、热处理工艺分段调控及表面处理复合强化等技术创新,链轮的耐磨性、抗疲劳性及耐腐蚀性得到显著提升。结合智能润滑系统、精密制造工艺与高精度安装结构的协同优化,有效解决了传统链轮易磨损、易断裂、维护频繁等痛点。实践表明,优化后的链轮在重载、高粉尘工况下寿命延长2倍以上,故障率降低60%,为煤矿高效生产提供了关键保障。未来需持续探索新材料应用与数字化监测技术,推动链轮向智能化、长寿命方向迭代升级。

参考文献

- [1]陈伟,王勇.链轮耐磨性优化设计研究[J].机械工程学报,2023,59(4):108-115.
- [2]刘涛,郑磊.高强度合金钢在链轮制造中的应用研究[J].材料科学与工程,2024,42(2):145-151.
- [3]周鹏,孙明.链轮磨损分析及防护措施研究[J].矿山机械,2022,51(8):166-172.